



بهینه سازی و تحلیل حساسیت پی رینگی سیلوی بتنی با استفاده از الگوریتم های فرا ابتکاری

سید محمد حجازی *

دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده فنی و مهندسی، گروه عمران، دانشگاه یزد، ایران

بهروز احمدی ندوشن

دانشیار دانشکده فنی و مهندسی، گروه عمران، دانشگاه یزد، ایران

کاظم برخوردار

دانشیار دانشکده فنی و مهندسی، گروه عمران، دانشگاه یزد، ایران

چکیده

در این مقاله به شبیه سازی عددی پی رینگی سیلوی بتنی ذخیره غلات و بررسی چگونگی نشست های پی رینگی به کمک روش اجزاء محدود پرداخته می شود. با وجود شباهت ظاهری بین پی رینگی و پی دایره ای، رفتار آن ها در برخی زمینه ها مانند توزیع فشار باربری در زیر پی و نحوه نشست متفاوت می باشد. امروزه در بسیاری از سازه های مهم نظیر سیلوها، دودکش ها و مخازن از پی های رینگی استفاده می شود و با توجه به اهمیت میزان نشست در این سازه ها، بررسی نشست پی های رینگی امری ضروری می باشد. در این نوع سازه ها هم به دلیل تقارن محوری و هم به خاطر بهره گیری از حداکثر ظرفیت باربری، استفاده از پی های رینگی اقتصادی تر و مناسب تر خواهد بود و جایگزین مناسبی برای پی های دایره ای است. در این پژوهش سعی شده است تا با شبیه سازی عددی و بررسی رفتار پی رینگی بر بستر خاک ماسه ای و با مدل سازی سازه سیلوی بتنی قرار گرفته بر روی پی به تحلیل و بررسی پارامترهای تاثیر گذار بر نشست های پی پرداخته شود. هدف از این پژوهش تاثیر پارامتر های نسبت شعاع داخلی به شعاع خارجی، ارتفاع پی رینگی، عمق مدفون پی، میزان برون محوریت بار از مرکز نوار پی رینگی و مشخصات مکانیکی خاک بر روی نشست پی رینگی می باشد و میزان نشست گوشه داخلی و نشست گوشه خارجی پی رینگی در مدل سازی های انجام شده، مقایسه می شود.

واژگان کلیدی: پی رینگی، سیلوی بتنی، نشست پی، ظرفیت باربری، خاک ماسه ای، روش اجزاء محدود

* Corresponding author: Saied Mohammad Hejazi. Email: smhejazi21@yahoo.com

۱- مقدمه

سیلو غالباً به سازه ای اطلاق می شود که جهت انبار مواد به صورت قائم از آن استفاده می شود. با توجه به اینکه سیلوها دارای ارتفاع بلندی می باشند، پی آنها مکرراً تحت لنگرهای خمشی ناشی از بارهای جانبی از قبیل باد و زلزله قرار می گیرند از این رو به دلیل اعمال بار خارج از مرکز پی، تمایل به انحراف از محور خود را داشته که این امر موجب کاهش ظرفیت باربری آنها و حتی شکست پی می گردد که با توجه به اهمیت و ویژگی سیلوها، بررسی نشست و ظرفیت باربری نهائی پی آنها ضروری است [۱].

پی رینگی یا حلقوی یکی از پی هایی است که برای سازه های خاص و عموماً با تقارن محوری و استوانه ای مانند منابع آب هوایی، راکتورهای اتمی و سازه های گنبدی، پایه ها پل، برج های مخابراتی، سیلوها، دودکش های صنعتی، برج های خنک کننده و مخازن ذخیره نفت و گاز استفاده می شوند. اگرچه پی های رینگی و پی های دایره ای ظاهر مشابهی دارند، ولی رفتار آنها از نظر توزیع فشار تماسی روی خاک و همچنین تغییر مکان لحظه گسیختگی متفاوت خواهد بود و نمی توان به پی رینگی به دید یک پی دایره ای نگاه کرد و پی رینگی در شرایط متفاوت می تواند رفتار متفاوتی از خود نشان دهد [۲].

در این پژوهش برای یک سیلوی بتنی که برای ذخیره غلات کاربرد دارد و تحت بار گسترده قائم و یکنواختی برابر با بار ذخیره شده در سیلو قرار گرفته، به شبیه سازی های عددی سه بعدی به روش اجزای محدود^۱ توسط نرم افزار Abaqus و شبیه سازی دو بعدی پی رینگی به کمک نرم افزار Plaxis 2D پرداخته می شود. با توجه به مدل سازی های انجام شده از پی رینگی و انجام مطالعات پارامتریک و شبیه سازی های عددی پی رینگی بتنی واقع بر بستر خاک ماسه ای، به بررسی رفتار پی و پارامترهای موثر در نشست مجاز و فرایند طراحی بهینه پی رینگی سیلوی مورد نظر پرداخته می شود.

در مورد نشست پی های رینگی تحقیقات محدودی انجام گرفته است. اولین بار فیشر^۲ مطالعاتی بر روی پی رینگی به منظور محاسبه نشست انجام داد و راه حلی برای محاسبه نشست صفحات رینگی انعطاف پذیر واقع بر نیم فضای الاستیک همگن ارائه کرد و نشان داد با افزایش r_i/r_o (نسبت شعاع داخلی به شعاع خارجی) مقدار نشست متوسط کاهش می یابد. اگر^۳ توانست نشست و فشار تماسی در زیر یک پی رینگی صلب را با استفاده از معادلات انتگرال محاسبه کند. راه حل او نشان داد که نشست صفحه رینگی با نسبت r_i/r_o [0.6 و صفحه دایره ای به یک اندازه می باشد] [۳]. اسماعیل^۴ در سال ۱۹۶۶ با انجام تحقیقاتی مشاهده کرد نشست زیر پی رینگی و دایره ای انعطاف پذیر کمتر از پی صلب است. همچنین نتایج نشان داد که با افزایش r_i/r_o از صفر (پی دایره ای) تا ۰/۷۵ هر دو روش تحلیلی فیشر و اندازه گیری های میدانی کاهش در نشست متوسط را نشان می دهد. هرچند روابط تحلیلی مقادیر کمتری را نشان می دهد [۴]. در ادامه چوباستی^۵ در سال ۲۰۱۰ به ارزیابی عددی نشست و ظرفیت باربری پی رینگی در خاک رس پرداخت و نشان داد با افزایش نسبت شعاع ها r_i/r_o ضرایب N_c و N_q کاهش می یابند و N_ϕ تا نسبت ۰/۶ کاهش و در مقادیر بزرگتر افزایش می یابد. همچنین محاسبات ظرفیت باربری نشان داد که نشست فاکتور مهم در تعیین ظرفیت باربری است [۵]. اوهری^۶ در سال ۱۹۷۷ به مطالعاتی در مورد ظرفیت باربری پی های رینگی پرداخت و با انجام آزمایشات متعدد به این نتیجه رسید که برای نسبت شعاع داخلی به شعاع خارجی برابر r_i/r_o برابر ۰/۳۸ پی رینگی به ظرفیت باربری حداکثر خود می رسد [۶].

1 Finite Element Method (FEM)

2 Fischer

3 Egorov

4 Ismael

5 Choobasti

6 Ohri

۲- مدل سازی و شبیه سازی های عددی

در این تحقیق، جهت بررسی تأثیر متقابل نسبت شعاع داخلی به شعاع خارجی و ارتفاع پی رینگ و نیز تأثیر متقابل پهنا و قطر آرماتورهای حلقوی و عرضی پی رینگ بتنی سیلو بر روی جابه جایی های این پی در بستر خاکی، با انجام مطالعات پارامتریک به کمک شبیه سازی های عددی سه بعدی و تحلیل استاتیکی و دینامیکی یک سیلوی بتنی مستقر بر پی رینگ بتن مسلح واقع بر بستر ماسه ای توسط نرم افزار Abaqus و تغییر در میزان ضخامت و قطر آرماتورهای حلقوی و عرضی پی رینگ به ارزیابی جابه جایی های پی رینگ در مقادیر متفاوت پهنای این پی پرداخته می شود.

۲-۱- مدل سازی سیلوی بتنی و پی رینگ بتن مسلح

جهت شبیه سازی عددی سه بعدی یک سیلوی بتنی مستقر بر پی رینگ بتن مسلح واقع بر بستر ماسه ای، از نرم افزار Abaqus استفاده می شود. سیلوی مذکور، شامل دو استوانه پوسته ای بتنی فوقانی (به قطر، ارتفاع و ضخامت به ترتیب ۸، ۳۳ و ۰/۲۵ متر) و تحتانی (به قطر، ارتفاع و ضخامت به ترتیب ۸، ۴/۶ و ۰/۶ متر) بوده که در بین آن ها یک صفحه پوسته ای بتنی به قطر و ضخامت به ترتیب ۸ و ۰/۶ متر تعبیه شده است. پوسته بتنی همگن و همسان و با مدل رفتاری الاستوپلاستیک با به کارگیری یک مدل ترکیبی پلاستیک-خرابی برای تعریف رفتار پلاستیک بتن فرض می شود و با مشخصاتی مطابق با جدول ۱، در نظر گرفته می شود. قسمت تحتانی سیلو نیز بر روی خط میانی سطح یک پی رینگ بتنی واقع بر بستر ماسه ای قرار گرفته که جهت تسلیح بتن پی مذکور از سه ردیف آرماتور حلقوی در بالا، میانه و پایین پی و ۱۰۴ عدد خاموت در گirdاگرد پی استفاده شده که در دو ردیف بالا و پایین ۱۰ آرماتور و در ردیف میانی ۲ آرماتور (در جوانب پی) به کار رفته که میزان پوشش آرماتورهای پی ۰/۱ متر می باشد. آرماتور مصرفی با مدل رفتاری الاستوپلاستیک کامل (که رفتار فولاد تا رسیدن به تنش تسلیم، الاستیک می باشد) و مشخصاتی مطابق با جدول ۲، استفاده می شود [۷-۸].

قابل ذکر است که در این شبیه سازی ها، میزان وزن مخصوص بتن، مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه استوانه ای به ترتیب ۲۳/۵ کیلو نیوتن بر متر مکعب، ۲۸ مگاپاسکال و نسبت پواسون بتن ۰/۱۵ بوده که میزان مدول الاستیسیته بتن (E_c) نیز با توجه به این میزان وزن مخصوص و مقاومت فشاری از رابطه آئین نامه ای (آئین نامه ACI 318) زیر به دست می آید [۷-۸]:

$$E_c = 15000 \sqrt{f'_c} \quad (1)$$

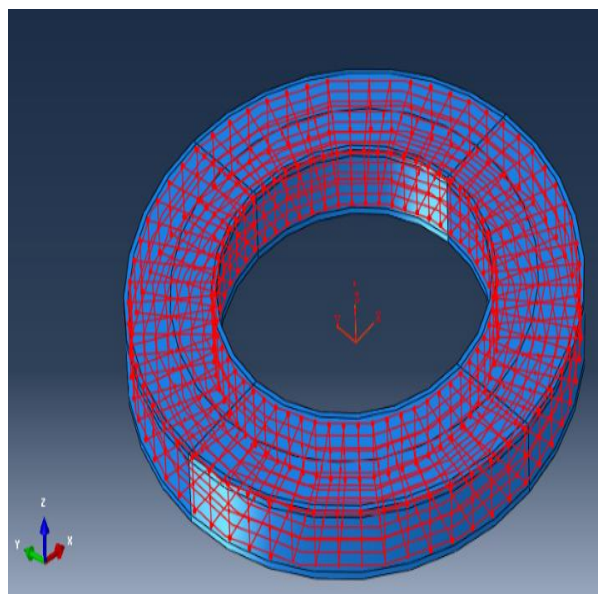
که در آن، f'_c مقاومت فشاری مشخصه بتن بر حسب کیلوگرم بر سانتی متر مربع می باشد. همچنین، بار داخل سیلو نیز بر روی صفحه پوسته ای ما بین دو استوانه پوسته ای بتنی فوقانی و تحتانی قرار گرفته است. جهت مدل سازی بار داخل سیلو در شبیه سازی ها و در طی آن دستیابی به جابه جایی های پی رینگ در طی این بارگذاری، بار گسترده قائم و یکنواختی برابر با بار ذخیره شده در سیلو (به میزان ۲۰۰ کیلو پاسکال) بر روی صفحه بتنی ما بین دو استوانه پوسته ای بتنی فوقانی و تحتانی اعمال می شود [۸].

جدول ۱: مشخصات بتن مصرفی

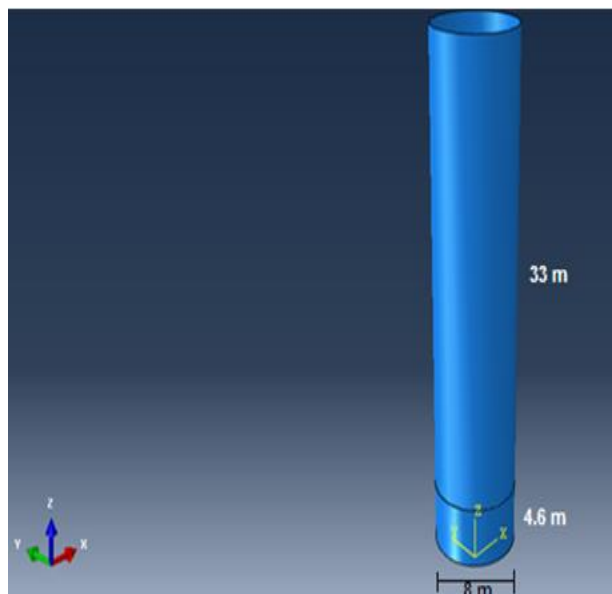
γ (KN/m ³)	E (MN/m ²)	ψ
23.5	25100	0.15

جدول ۲: مشخصات آرماتورهای حلقوی و عرضی

γ (KN/m ³)	E (GPa)	ψ	Fy (MPa)
78.5	210	0.3	400



شکل ۲: مدل هندسی آرماتورهای حلقوی و عرضی در پی



شکل ۱: مدل هندسی سیلوی بتنی

رینگی

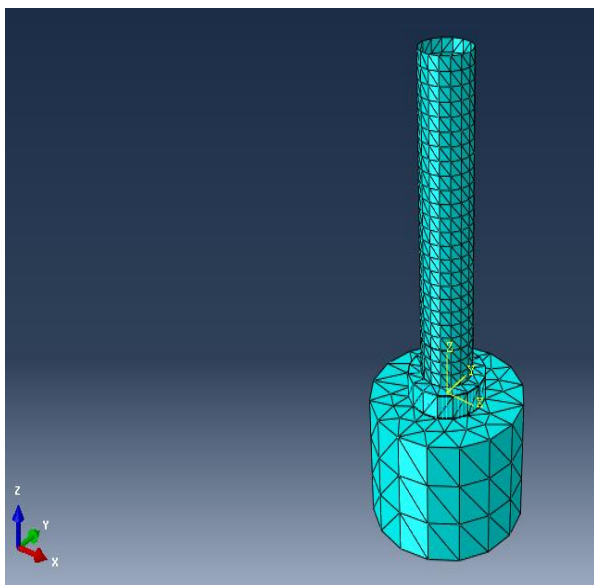
۲-۲- مدل سازی توده خاک

جهت این شبیه سازی های عددی، از یک توده خاک ماسه ای همگن و همسان دایروی با قطر ۸۰ متر (با توجه به تحلیل حساسیت انجام شده بر روی قطر مدل) و عمق (در راستای محور Z) ۲۵ متر (با فرض شروع یک لایه بسیار سخت از عمق ۲۵ متری)، با مدل رفتاری الاستوپلاستیک موهر- کولمب و با مشخصات مکانیکی خاک ماسه ای مطابق با جدول ۳ استفاده می شود. بعد از مدل سازی جهت پایداری مدل، شرایط مرزی اعمال می شود و سپس برای مش بندی توده خاک و توده بتن پی رینگی، از المان های پیوسته سه بعدی ۶ گره ای و ۸ گره ای و برای مش بندی آرماتورهای حلقوی و عرضی، از المان های سازه ای خطی سه بعدی تیر و برای مش بندی اعضای سیلو، از المان های سازه ای پوسته ای مثلثی ۳ گره ای و مستطیلی ۴ گره ای استفاده می شود. قابل ذکر است که بعد از مش بندی، مدل سازی به روش عددی اجزای محدود، کامل می شود که قبل از شبیه سازی اجرای پی رینگی و سیلو باید شرایط اولیه به توده خاک اعمال شود. این عمل، جهت حل مدل برای رسیدن به تعادل اولیه و همچنین دستیابی به وضعیت اولیه قبل از شبیه سازی اجرای پی رینگی و سیلو صورت می گیرد. جهت اعمال شرایط اولیه به توده خاک، با اعمال کل وزن خاک به مدل و ضریب فشار جانبی زمین در حال سکون (k_0)، تنش های اولیه ایجاد می شود. این تنش ها، شامل تنش قائم و افقی اولیه خاک می باشد که تنش افقی اولیه با تنش قائم اولیه به وسیله ضریب فشار جانبی زمین در حال سکون در ارتباط بوده که میزان این ضریب در شبیه سازی مذکور نیز بر اساس فرمول جکی (1-Sin ϕ) به دست می آید [۲].

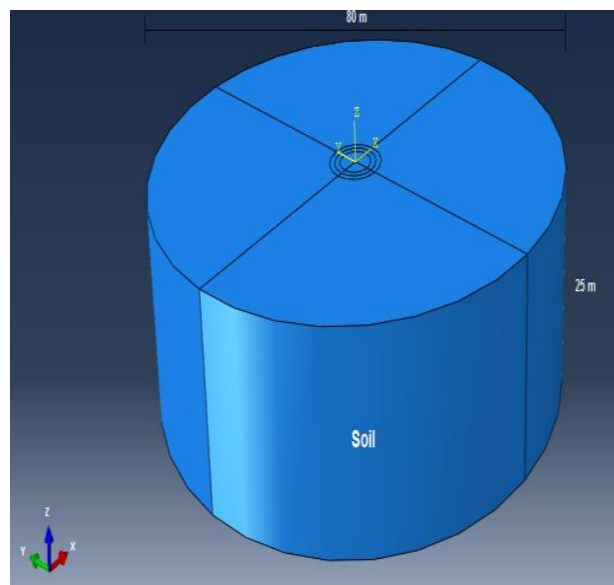
جدول ۳: مشخصات خاک ماسه ای

γ (KN/m ³)	E (KPa)	ψ	C (KPa)	ϕ (deg)
17	20000	0.3	4	31.5

در جدول ۳، γ ، E، ψ ، C و ϕ به ترتیب وزن مخصوص، مدول یانگ، نسبت پواسون، چسبندگی و ضریب اصطکاک داخلی خاک ماسه ای می باشد [۱].



شکل ۴: مدل هندسی و مش سیلو- پی رینگ مسلج - توده خاک

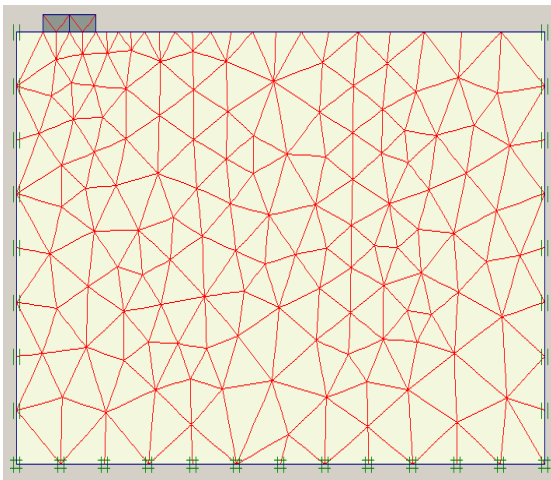


شکل ۳: مدل هندسی توده خاک ماسه ای

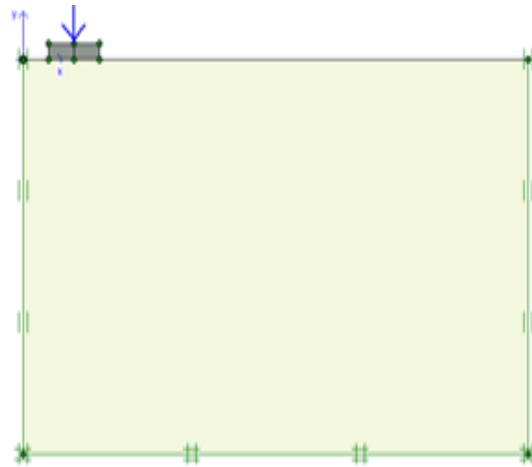
۲-۳- شبیه سازی عددی و تحلیل و بررسی پارامتریک پی رینگ غیر مسلج بر بستر ماسه ای

به منظور بررسی تأثیر متقابل نسبت شعاع داخلی به خارجی و ارتفاع پی رینگ و نیز تأثیر متقابل نسبت شعاع ها و عمق مدفون پی رینگ بر روی رفتار این پی در بستر ماسه ای، با انجام مطالعات پارامتریک به کمک شبیه سازی های عددی دو بعدی یک پی رینگ بتنی غیر مسلج بر بستر ماسه ای و تغییر در میزان ارتفاع پی و عمق مدفون پی رینگ در بستر ماسه ای به کمک نرم افزار Plaxis 2D به ارزیابی جابه جایی های پی رینگ در مقادیر متفاوت نسبت شعاع داخلی به شعاع خارجی این پی پرداخته می شود. نرم افزار Plaxis 2D، یک نرم افزار عددی اجزای محدود بوده که با المان بندی محیط پیوسته، با مدل سازی هندسی دو بعدی کرنش مسطح و یا تقارن محوری و با در نظر گرفتن پارامترهای مکانیکی و مدل های رفتاری مختلف برای مصالح، توانایی تحلیل استاتیکی و دینامیکی پایداری و تغییر شکل ها را در مسائل مختلف ژئوتکنیکی دارا می باشد. در این شبیه سازی ها، از مدل هندسی دوطبقه تقارن محوری استفاده شده که در این مدل ها به منظور مش بندی توده مصالح از المان های مثلثی ۱۵ گره ای استفاده می شود. همچنین، به علت تقارن محوری هندسه مدل ها، تنها یک قطاع (با زاویه واحد) از مدل ها، در شبیه سازی ها در نظر گرفته می شود.

جهت مدل سازی بارگذاری پی رینگی بتنی و در طی آن دستیابی به جابه جایی های این پی در طی بارگذاری، با توجه به شعاع محوری ۴ متری استوانه سیلو، بار خطی قائم و یکنواخت دایره ای برابر با مجموع بار مرده سیلو و بار ذخیره شده در سیلو به میزان ۶۳۳ کیلو نیوتن بر متر به شعاع ۴ متر و با برون محوریت بار از مرکز محور میانی پی رینگی به صورت بار خطی یکنواخت و قائم به میزان ۱۹۸۹ کیلو نیوتن بر رادیان به پی اعمال می شود که این میزان بار تنها برای یک قطاع (با زاویه واحد) از مدل ها می باشد. پس از اعمال شرایط اولیه و مش بندی و بارگذاری جهت شبیه سازی پی رینگی به تحلیل مدل و سپس به بررسی نتایج حاصل از مطالعات پارامتریک صورت گرفته به کمک شبیه سازی های عددی پی رینگی واقع بر بستر ماسه ای پرداخته می شود [۲].



شکل ۶: مش بندی پی رینگی بتنی و توده خاک



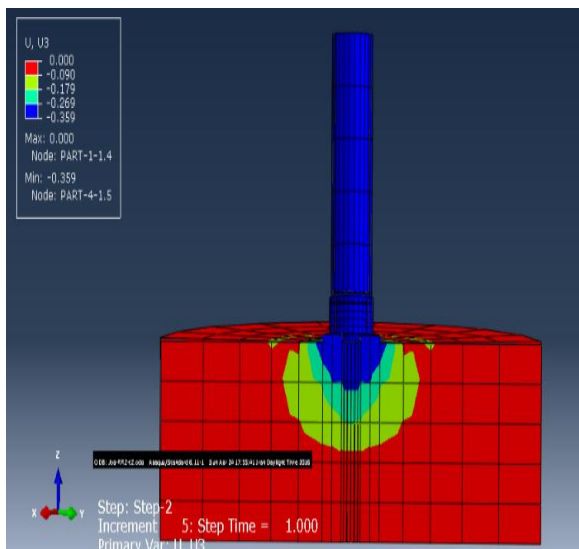
شکل ۵: مدل هندسی پی رینگی بتنی در بستر ماسه ای

۳- ارائه و ارزیابی نتایج شبیه سازی های عددی

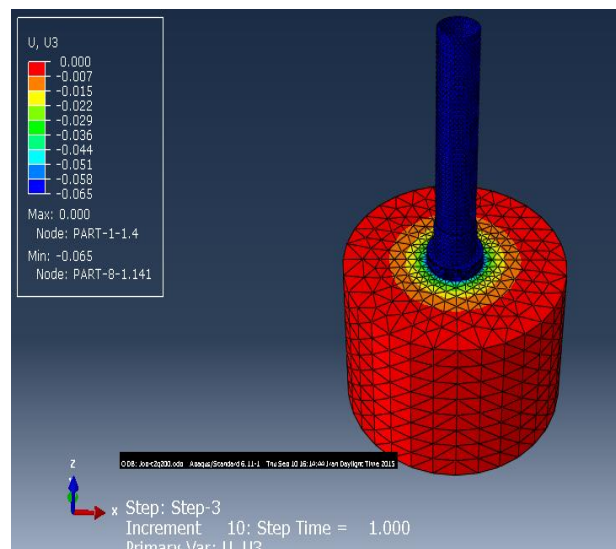
با توجه به مدل سازی های انجام شده از پی رینگی و انجام مطالعات پارامتریک و شبیه سازی های عددی سه بعدی سیلوی بتنی مستقر بر پی رینگی بتن مسلح واقع بر بستر ماسه ای، به بررسی رفتار این پی و پارامترهای موثر در فرایند طراحی بهینه پی رینگی پرداخته می شود. در شبیه سازی عددی سه بعدی انجام گرفته در نرم افزار Abaqus، ابتدا نتایج حاصل از تحلیل استاتیکی و سپس نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی آورده می شود.

به منظور بررسی نتایج حاصل از مطالعات پارامتریک صورت گرفته به کمک شبیه سازی های عددی تشریح شده در بخش قبلی، یعنی شبیه سازی های عددی سه بعدی یک سیلوی بتنی مستقر بر پی رینگ بتنی مسلح واقع بر بستر ماسه ای، با ارزیابی منحنی تاریخچه نشست - مراحل تحلیل (Step-S) میانه سطح تحتانی پی در طی بارگذاری، به مطالعه بر روی تأثیر متقابل پهنا (نسبت شعاع داخلی به شعاع خارجی) و ضخامت یا ارتفاع پی رینگ و نیز تأثیر متقابل پهنا و قطر آرماتورهای حلقوی و عرضی پی رینگ بر روی جابه جایی های این پی در بستر خاکی پرداخته می شود.

لذا، در این مطالعات، با تغییر در میزان ارتفاع پی h (از ۰/۵ تا ۱/۵ متر) و قطر آرماتورهای حلقوی (dr) و عرضی (dh) پی رینگ در سه مجموعه آرماتور حلقوی و عرضی و به ارزیابی جابه جایی های پی رینگ و نسبت شعاع داخلی به شعاع خارجی پی رینگ بتنی از ۰ تا ۰/۶ و نهایتاً ماکزیمم میزان این جابه جایی ها (S_{max}) از روی منحنی تاریخچه نشست میانه سطح تحتانی پی در طی بارگذاری پرداخته می شود.



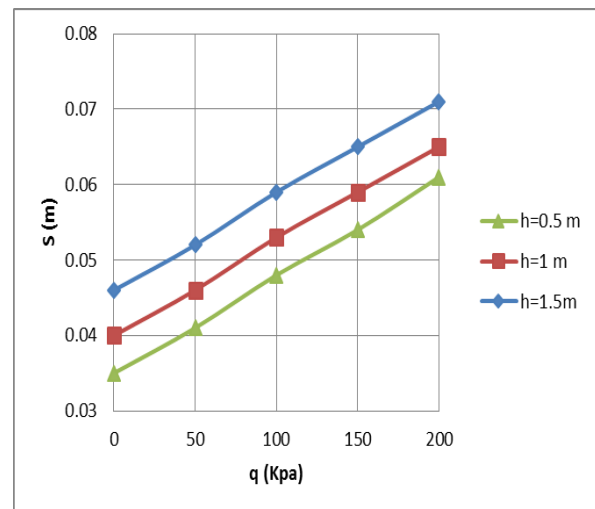
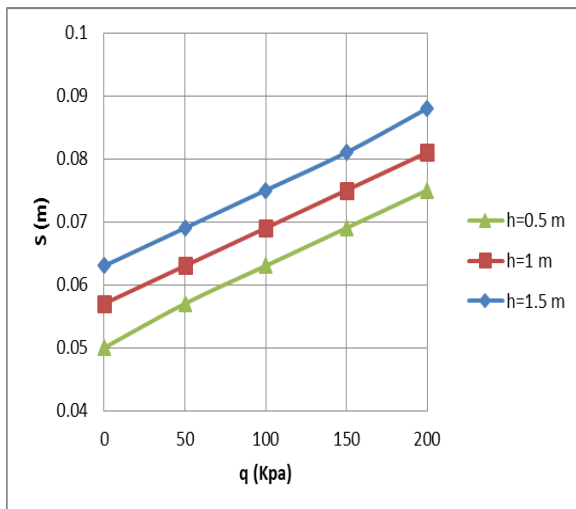
شکل ۸: نتایج حاصل از شبیه سازی عددی و تحلیل دینامیکی



شکل ۷: نتایج حاصل از شبیه سازی عددی و تحلیل استاتیکی

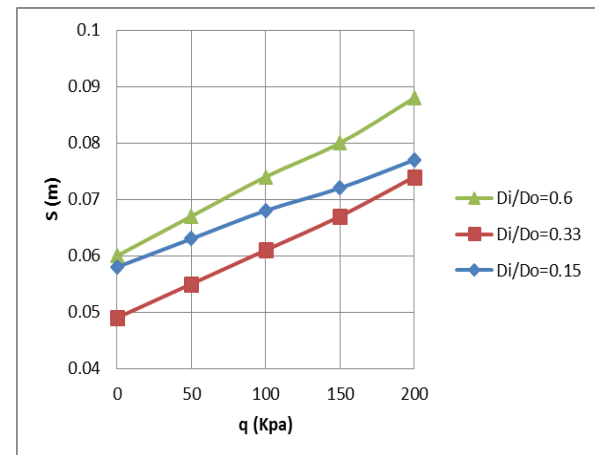
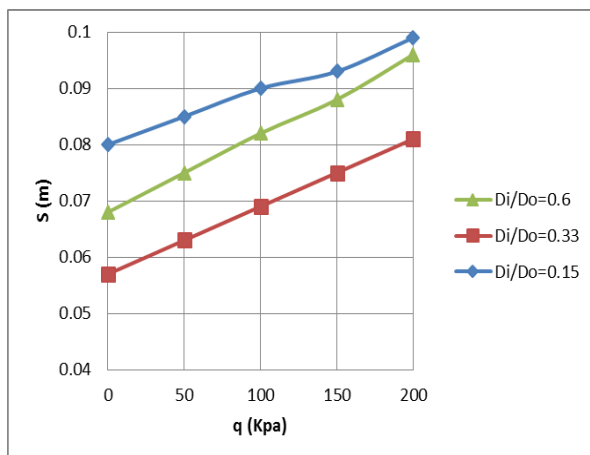
۳-۱- ارزیابی نتایج حاصل از تحلیل استاتیکی

نتایج حاصل از تحلیل استاتیکی شبیه سازی های عددی پی رینگ سیلوی بتنی مسلح بر بستر ماسه ای و بررسی های پارامتریک در قالب نمودارها به صورت زیر بیان می شود.



نمودار ۱: تأثیر ضخامت پی رینگ روی ماکزیمم میزان نشست محیط داخلی پی در مقادیر متفاوت بار سیلو
($D_i/D_o=0.33$, $dh = 14$, $dr = 20$)

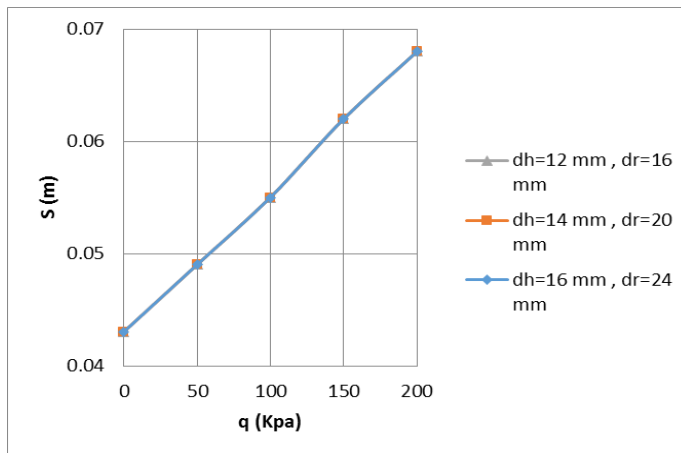
نمودار ۲: تأثیر ضخامت پی رینگ روی ماکزیمم میزان نشست محیط خارجی پی در مقادیر متفاوت بار سیلو
($D_i/D_o=0.33$, $dh = 14$, $dr = 20$)



نمودار ۳: تأثیر نسبت قطر داخلی به خارجی پی رینگ روی ماکزیمم میزان نشست محیط داخلی پی در مقادیر متفاوت بار سیلو
($dh = 14$, $dr = 20$, $h = 1$ m)

نمودار ۴: تأثیر نسبت قطر داخلی به خارجی پی رینگ روی ماکزیمم میزان نشست محیط خارجی پی در مقادیر متفاوت بار سیلو
($dh = 14$, $dr = 20$, $h = 1$ m)

از نمودارهای فوق مشاهده می شود که در مدل سازی های انجام شده ، نشست محیط خارجی بیشتر از نشست محیط داخلی پی رینگ می باشد. همچنین مشاهده می شود با افزایش نسبت قطر داخلی به خارجی پی رینگ، ابتدا نشست کم شده و با افزایش نسبت قطرهای از حدود $0.4/0$ نشست پی افزایش می یابد.



نمودار ۵: تأثیر قطر آرماتورهای پی رینگی روی ماکزیمم میزان نشست میانی پی در مقادیر متفاوت بار سیلو ($h=1\text{ m}$ و $D_i/D_o=0.33$)

از نمودار ۵ مشاهده می شود که در تحلیل استاتیکی پی رینگی، به دلیل افزایش صلبیت و عدم انعطاف پذیری کافی پی، تغییر در میزان آرماتورهای پی رینگی، تاثیری بر میزان نشست پی ندارد.

۳-۲- ارزیابی نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی

در شبیه سازی دینامیکی، به منظور در نظر گرفتن میرایی برای مصالح در طی اعمال زلزله، از یک نوع میرایی وابسته به فرکانس موج زلزله تحت عنوان میرایی رایلی^۷ استفاده می شود. جهت اعمال میرایی رایلی در نرم افزار Abaqus، مطابق با روابط زیر نیاز به ضرایبی متناسب با جرم و سختی مدل تحت عنوان ضرایب میرایی رایلی می باشد [۹]:

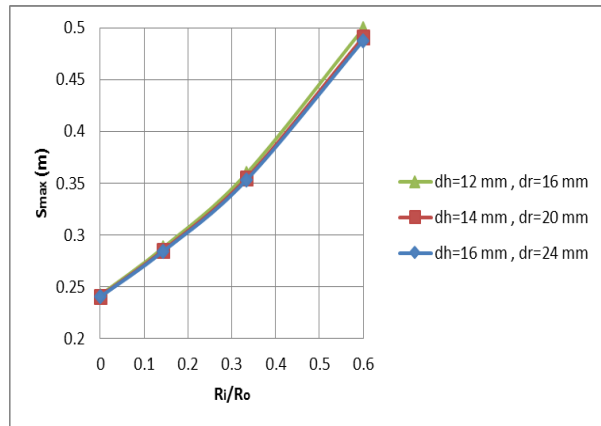
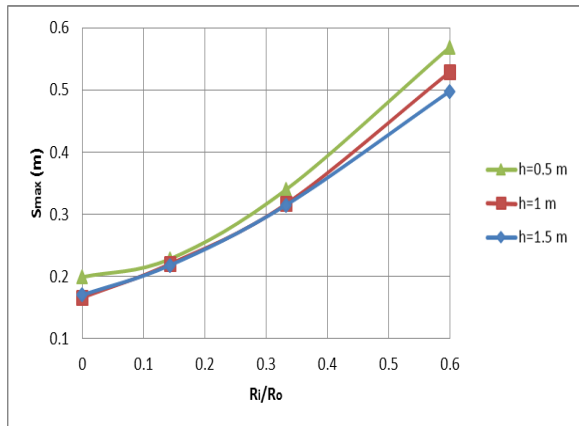
$$\alpha = \xi \frac{2\omega_i\omega_j}{\omega_i + \omega_j} \quad (2)$$

$$\beta = \xi \frac{2}{\omega_i + \omega_j} \quad (3)$$

که در آن α و β به ترتیب ضرایب متناسب با جرم و سختی مدل، ξ ، نسبت میرایی و ω_i و ω_j ، فرکانس های طبیعی مدل در دو مود موردنظر می باشد.

در این شبیه سازی ها، برای تعیین ضرایب میرایی رایلی، ابتدا، به ارزیابی فرکانس های طبیعی مدل ها در پی یک تحلیل الاستیک مودال اقدام می شود. سپس، با در نظر گرفتن فرکانس های طبیعی مدل ها در دو مود دوم و چهارم (به ترتیب ۳/۴۵۷ و ۴/۹۲۹ رادیان بر ثانیه) و نسبت میرایی ۰/۰۵، با توجه به روابط فوق، میزان ضرایب متناسب با جرم و سختی به ترتیب در حدود ۰/۲۰۳ و ۰/۰۱۲ به دست می آید. همچنین، جهت شبیه سازی زلزله، رکورد شتاب زلزله منجیل (که این رکورد توسط نرم افزار Seismosignal) در راستای افقی (محور X) به مرز پایینی مدل ها اعمال می شود. رکورد مذکور، رکوردی با حداکثر شتاب نزدیک به ۳۵۰ سانتی متر بر مجذور ثانیه و مدت زمان ۵۴ ثانیه می باشد.

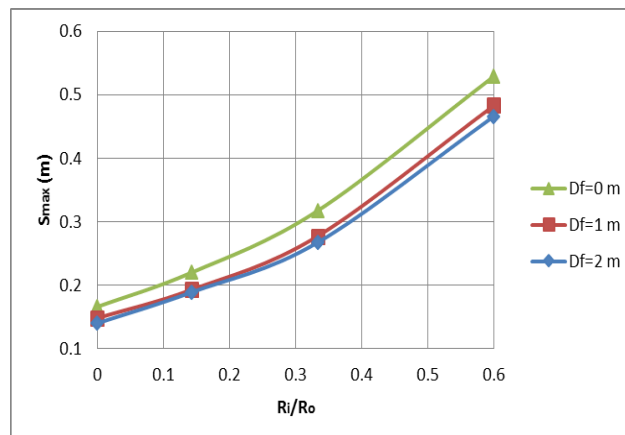
به این ترتیب نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی مدل های شبیه سازی شده در قالب نمودارها به صورت پارامتریک به صورت زیر بررسی می شود.



نمودار ۶: تأثیر متقابل پهنا و قطر آرماتورهای حلقوی و عرضی پی روی نشست لرزه ای میانی پی رینگ بتنی ($h = 1\text{ m}$)

نمودار ۷: تأثیر متقابل پهنا و ارتفاع پی روی ماکزیمم میزان نشست لرزه ای میانی پی رینگ بتنی در بستر ماسه ای ($D_f = 0\text{ m}$)

ملاحظه می شود که با افزایش میزان بار سیلو، بر میزان نشست های پی رینگ افزوده می شود. همچنین، از این اشکال دیده می شود در تحلیل دینامیکی افزایش قطر آرماتورهای حلقوی و عرضی پی، به جهت ضخیم بودن و افزایش صلبیت پی و عدم انعطاف پذیری کافی پی، تنها در نسبت های شعاع داخلی به خارجی بزرگتر از $0/4$ تأثیر کمی بر میزان نشست های پی دارد. همچنین دیده می شود که با افزایش ارتفاع پی از $0/5$ متر تا $1/5$ متر برای مدل های مختلف مشاهده می شود که نشست میانی پی رینگ کاهش می یابد که این میزان کاهش با افزایش نسبت شعاع داخلی به خارجی بیشتر است.

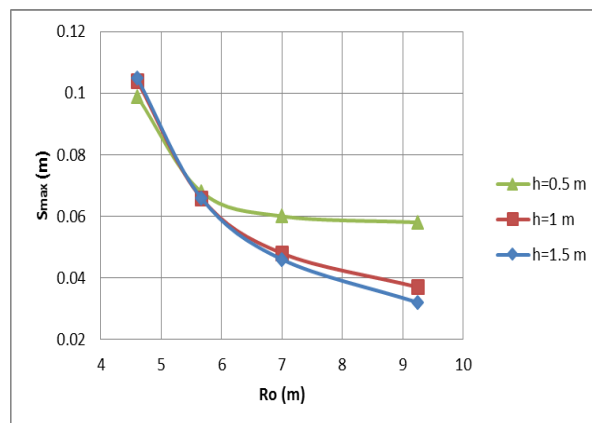
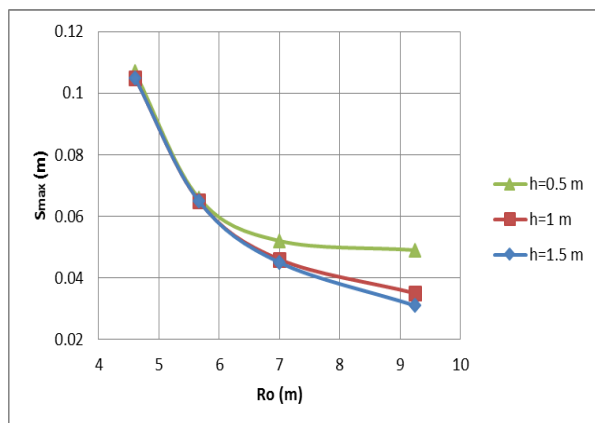


نمودار ۸: تأثیر متقابل پهنا و عمق مدفون پی روی ماکزیمم میزان نشست میانی پی رینگ بتنی در بستر ماسه ای ($h = 1\text{ m}$)

ملاحظه می شود با افزایش عمق مدفون پی نشست میانی پی رینگ کاهش می یابد، این کاهش نشست برای نسبت های بزرگتر شعاع داخلی به خارجی بیشتر است.

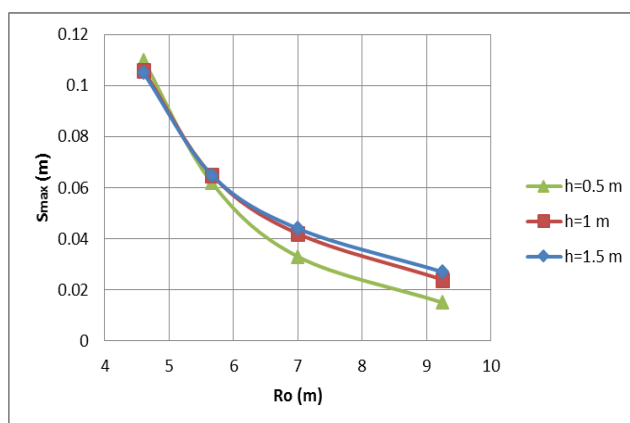
۳-۳- ارزیابی نتایج حاصل از شبیه سازی دو بعدی و بررسی پارامتریک پی بتنی غیر مسلح بر بستر ماسه ای

با توجه به نتایج حاصل از شبیه سازی های عددی پی رینگی بتنی غیر مسلح بر بستر ماسه ای و بررسی های پارامترتیک به کمک نرم افزار اجزا محدود Plaxis 2D، به ارزیابی تاثیر پارامترهای شعاع داخلی پی، شعاع خارجی پی، میزان برون محوریت بار، عمق مدفون و ارتفاع پی بر روی نشست های پی رینگی پرداخته می شود و نتایج در قالب گراف بیان می شود.



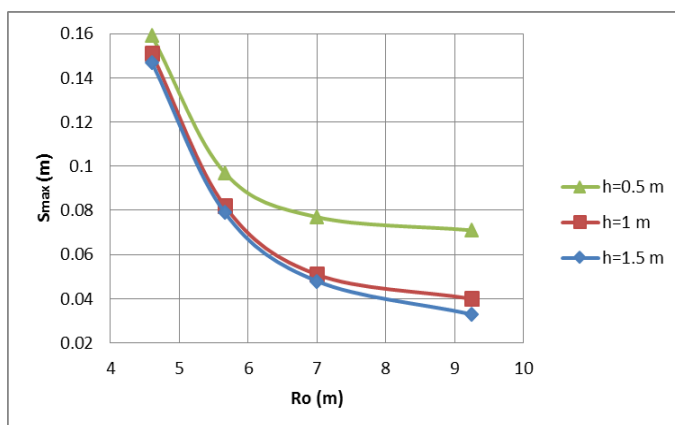
نمودار ۹: تأثیر متقابل شعاع خارجی و ضخامت پی روی ماکزیمم میزان نشست لبه داخلی پی رینگی بتنی (با $R_i = 2.4$ m) در بستر ماسه ای

نمودار ۱۰: تأثیر متقابل شعاع خارجی و ضخامت پی روی ماکزیمم میزان نشست زیر بار پی رینگی بتنی (با $R_i = 2.4$ m) در بستر ماسه ای



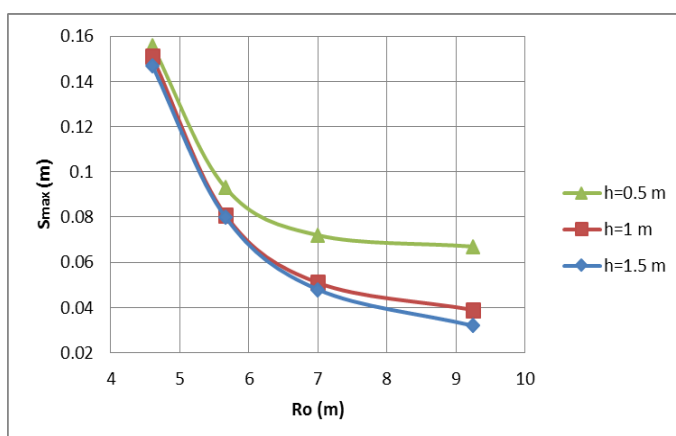
نمودار ۱۱: تأثیر متقابل شعاع خارجی و ضخامت پی روی ماکزیمم میزان نشست لبه خارجی پی رینگی بتنی

(با $R_i = 2.4$ m) در بستر ماسه ای



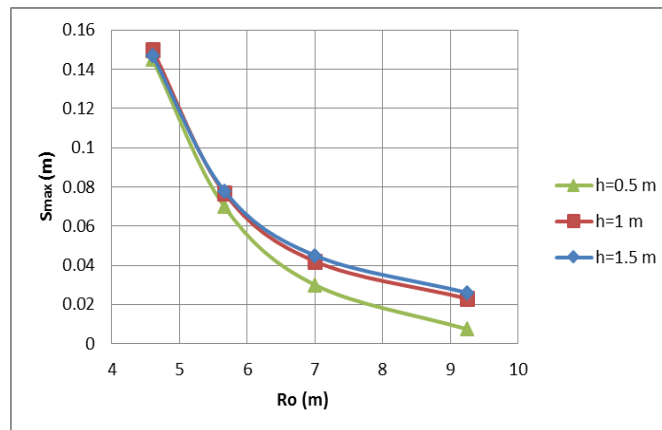
نمودار ۱۲: تأثیر متقابل شعاع خارجی و ضخامت پی روی ماکزیمم میزان نشست لبه داخلی پی رینگ بتنی

(با $Ri = 3.4$ m) در بستر ماسه ای



نمودار ۱۳: تأثیر متقابل شعاع خارجی و ضخامت پی روی ماکزیمم میزان نشست زیر باری رینگ بتنی

(با $Ri = 3.4$ m) در بستر ماسه ای



نمودار ۱۴: تأثیر متقابل شعاع خارجی و ضخامت پی روی ماکزیمم میزان نشست لبه خارجی پی رینگ بتنی
(با $R_i = 3.4 \text{ m}$) در بستر ماسه ای

از گراف های فوق ملاحظه می شود افزایش ارتفاع پی و به طبع آن افزایش صلبیت پی رینگ، بخصوص برای ارتفاع های بیشتر از ۱ تا ۱/۵ تأثیر زیادی بر میزان نشست پی ندارد و عامل موثر تر در میزان صلبیت و نشست پی، پهنای نوار رینگ و میزان شعاع خارجی است.

۴- نتیجه گیری

با توجه به اینکه پی رینگ بیشتر برای سازه های برجی، سیلو یا مخازن بکار می رود اثر سازه روی پی به گونه ای است که صلبیت آن را به میزان بسیار زیادی افزایش دهد و صلبیت یا انعطاف پذیری پی نقش تعیین کننده ای در رفتار پی رینگ دارد. در شبیه سازی های سه بعدی پی رینگ مسلح بر بستر ماسه ای با افزایش نسبت شعاع داخلی به خارجی، نشست میانی ابتدا کاهش و با افزایش نسبت شعاع ها از ۰/۴ نشست افزایش می یابد و نشست لبه خارجی پی رینگ بیشتر از لبه داخلی در خاک ماسه ای است.

در تحلیل دینامیکی پی رینگ مسلح نشست ها به مراتب بیشتر از نشست های حاصل از تحلیل استاتیکی می باشد و با افزایش ارتفاع پی از ۰/۵ متر تا ۱/۵ متر برای مدل های مختلف شبیه سازی سه بعدی، در تحلیل استاتیکی مشاهده می شود که نشست میانی پی رینگ افزایش می یابد در صورتی که در تحلیل دینامیکی پی رینگ مسلح افزایش ارتفاع پی موجب کاهش نشست می شود. در تحلیل دینامیکی افزایش قطر آرماتورهای حلقوی و عرضی پی، به جهت ضخیم بودن و افزایش صلبیت پی و عدم انعطاف پذیری کافی پی، تنها در نسبت های شعاع داخلی به خارجی بزرگتر از ۰/۴ تأثیر کمی بر میزان نشست های پی دارد. این در حالی است که تغییر در میزان آرماتور پی در تحلیل استاتیکی هیچ تأثیری بر میزان نشست پی ندارد. با افزایش عمق مدفون پی ملاحظه می شود که نشست پی رینگ کاهش می یابد، این کاهش نشست برای نسبت های بزرگتر شعاع داخلی به خارجی بیشتر است.

در شبیه سازی دو بعدی و بررسی پارامتریک پی رینگ غیر مسلح با افزایش برون محوریت، قسمت بیشتری از زیر پی به کشش می افتد و از ظرفیت باربری پی می کاهد و همچنین با افزایش شعاع داخلی و رفتن به سمت پی رینگ، ناحیه ی بیشتری از زیر پی تحت تنش فشاری قرار میگیرد و کشش در زیر پی کمتر می شود و بسته به نسبت شعاع داخلی به خارجی و برون محوریت، نشست لبه داخلی و لبه خارجی متفاوت می باشد.

همچنین افزایش ارتفاع پی و به طبع آن افزایش صلبیت پی رینگی، بخصوص برای ارتفاع های بیشتر از ۱ تا ۱/۵ تاثیری بر میزان نشست پی ندارد و عامل موثر تر در میزان صلبیت و نشست پی، پهنای نوار رینگ و میزان شعاع خارجی است.

۵- فهرست نماد ها

جدول ۴: پارامترهای طراحی

مقدار	نماد	پارامترهای ورودی
37.6 m	H	ارتفاع سیلو
4 m	r	شعاع سیلو
0.25 m	ts	ضخامت پوسته سیلو
0.6 m	T	ضخامت افزایش یافته
7.36 KN/m ³	γ_g	وزن مخصوص غله
25100 MPa	E _c	مدول الاستیسیته بتن
25 MPa	f _c	مقاومت مشخصه بتن
78.5 KN/m ³	γ_s	وزن مخصوص آرماتور
708 KN	σ_c'	مقاومت برشی بتن
4 KPa	C	چسبندگی خاک
31.5 deg	ϕ	زاویه اصطکاک داخلی
20000 KPa	E	مدول الاستیسیته خاک
17 KN/m ³	γ	وزن مخصوص خاک
0.3	ψ	ضریب پواسون خاک
200 KPa	q _a	تنش مجاز خاک
78.5 KN/m ³	γ_s	وزن مخصوص آرماتور
400 MPa	f _y	تنش تسلیم آرماتور
1.4	LF	ضریب افزایش بار
1.5	SF _o	ضریب اطمینان واژگونی
1.2	SF _s	ضریب اطمینان لغزش
-	R _i	شعاع داخلی پی رینگی
-	R _o	شعاع خارجی پی رینگی
-	h= t	ارتفاع یا ضخامت پی
-	D _f	عمق مدفون پی
-	e	برون محوریت
-	D _i	قطر داخلی پی
-	D _o	قطر خارجی پی
-	dr	قطر آرماتور حلقوی
-	dh	قطر آرماتور عرضی
-	α	ضریب متناسب با جرم
-	β	ضریب متناسب با سختی
-	ξ	نسبت میرایی
-	ω_i	فرکانس طبیعی



۶- مراجع

- [1] Das, M.B., Shallow foundations bearing capacity and settlement, 2nd. ed.(2009), Taylor & Francis.
- [2] Bowles, J., Foundations Analysis and Design. 2003
- [3] El Sawwaf, M. & Nazir, A. (2012), Behavior of eccentrically loaded small-scale ring footings resting on reinforced layered soil, American Society of Civil Engineers, pp 376-384.
- [4] Choobbasti, A .,et al., Numerical Evaluation Of Bearing Capacity And Settlement Of Ring Footing; Case Study Of Kazeroon Cooling Towers.
- [5] Demir, A., et al. (2012), Analysis of Ring Footings using Field Test Results. 3rd International Conference on New Developments in Soil Mechanics and Geotechnical Engineering.
- [6] Ohri, M. L., Purhit, D. G. M., Dubery, M. L. (1997), Behavior of ring footings on dune sand overlaying sand, International conference of Civil Engineers, Tehran, Iran.
- [7] Arora, J. S. (2004), Introduction to optimum Design, Elsevier, California .
- [8] American Concrete Institute (1997). ACI 318, Standard Practice for Design and Construction of Concrete Silos and Stacking Tubes for Storing Granular Materials.
- [9] Budhu, M., in Soil Mechanics And Foundations. 2010



Numerical modeling and investigation of the process of footing ring settlement of concrete silos by using finite element method on sandy soil bed.

Saied Mohammad Hejazi⁸

Department of civil engineering, Yazd university, Iran

Behrooz Ahmadi

Department of civil engineering, Yazd university, Iran

Kazem Barkhordari

Department of civil engineering, Yazd university, Iran

ABSTRACT

In this paper, the numerical simulation of ring footing of concrete silos that are used to store grain as well as the process of ring footing settlement by applying the finite element method was carried out. Despite the apparent similarity between circular footing and the ring footing, their behavior is different in some aspects such as the distribution of the load pressure below the foundation and the process of settlement. Today, ring footing is used in many important structures such as silos, chimneys, and reservoirs. Since the amount of settlement in these structures is a significant issue, investigation of ring footing settlement is necessary. In these types of structures, due to the axial symmetry and the maximum utilization of the bearing capacity, the use of ring footing is more economical and suitable, and is an appropriate alternative to the circular footing. This paper made an attempt to analyze and evaluate the parameters affecting the foundation settlement by applying numerical simulation and studying the behavior of ring footing on a sandy soil bed and modeling the concrete silo structure. The purpose of this study was to investigate the effect of parameters such as ratio of internal to external radius, ring footing's height, footing's buried depth, the amount of load eccentricity from the center of ring footing band, and the mechanical properties of soil on the ring footing settlement. The degree of ring footing settlement of inner and external corners was also compared in the modeling performed.

Keywords: ring footing, concrete silos, settlement, bearing capacity, sandy soil, finite element method

⁸ Corresponding author: Saied Mohammad Hejazi. Email:smhejazi21@yahoo.com