



بررسی تاثیر بار دینامیکی بر ظرفیت باربری پی نواری واقع بر حفره زیرزمینی در خاک رس

پویان تدین^{۱*}، رسول مهدی زاده^۲

۱- پویان تدین دانشجوی کارشناسی ارشد خاک و پی دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد، pouyantadayon@ymail.com

۲- رسول مهدی زاده استادیار دانشکده عمران دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد، mehdizedeh250@gmail.com

چکیده

در این مقاله ظرفیت باربری پی نواری واقع بر خاک رس در دو حالت وجود حفره دایره ای شکل و وجود حفره مربعی شکل در زیر پی، تحت تاثیر بار دینامیکی، بر اساس روش اجزاء محدود با استفاده از برنامه ۲D plaxis تحلیل شده است. با این برنامه قابلیت انجام تحلیل دینامیکی گسترده با امکان سربارهای با بزرگی مختلف بر روی پی وجود دارد. مدل گسیختگی برای خاک رس مورد نظر مدل سخت شونده هایپربولیک درجه دوم می باشد. جهت کالیبراسیون پارامترهای مدل از تطبیق نتایج عددی با نتایج آزمایش های استاتیکی انجام شده توسط مولفین بر روی مدل های مشابه استفاده شده است. تحلیل های انجام شده به منظور بررسی تاثیر بار دینامیکی بر روی پارامترهای موثر بر ظرفیت باربری پی های نواری واقع بر حفره های زیر زمینی شامل فاصله حفره از پی، شکل حفره و قطر حفره انجام شده است. نتایج نشان می دهد که افزایش قطر حفره تحت تاثیر بار دینامیکی موجب کاهش ظرفیت باربری و افزایش فاصله حفره از پی موجب افزایش ظرفیت باربری پی می شود. همچنین شکل حفره تاثیر چندانی در کاهش و افزایش ظرفیت باربری پی ندارد.

واژه‌های کلیدی: حفره زیرزمینی، ظرفیت باربری، پی نواری، بار دینامیکی

The effect of the dynamic load on bearing capacity of the strip footings on the underground void in clay

Abstract

In this paper, the bearing capacity of the foundation laid on the clay in two circular voids and square voids in the foundation, under the influence of dynamic load, based on the finite element method is analyzed using plaxis. The program is extensive with the ability to perform dynamic analysis with large overheads with the possibility of follow-on there. Failure to clay model of the hyperbolic quadratic model is cured. Calibration parameters for the implementation of the numerical results with the static tests conducted by the authors on the same model is used. This analysis was conducted to determine the effects on parameters affecting the dynamic load bearing capacity of strip foundation based on the following hole distances underground void, the shape of the void and the void diameter hole has been done. The results show that increasing the diameter of the cavity under the influence of dynamic load bearing capacity increased and decreased with increasing distance from the cavity of the foundation bearing capacity of the foundation. The shape of the cavity has no significant effect in increasing or decreasing capacity

Keywords: underground void ,bearing capacity , strip footing, dynamic load



۱. مقدمه

خاک ها و سازه ها اغلب فقط تابع بارهای استاتیکی ناشی از سازه ها در داخل و روی زمین نیستند بلکه تابع بارهای دینامیکی نیز می باشند. اگر این بارها همانند زلزله پر قدرت باشند خسارات شدیدی را به بار می آورند. ظرفیت باربری پی های سطحی ممکن است در اثر بارهای دینامیکی کاهش یابد و نشست و دوران در پی ها افزایش یابد، در واقع مقاومت خاک در هنگام اعمال بار دینامیکی بسته به نوع خاک و شرایط ژئوتکنیکی (مانند وجود آب زیرزمینی یا شرایط زهکشی) تاثیر زیادی در کاهش مقاومت خاک و افزایش نشست پی در اثر بار دینامیکی دارد. در اغلب اوقات نشست بیش از حد موجب خرابی پی می شود. در زمینه محاسبات ظرفیت باربری و نشست پی مطالعات زیادی توسط محققین انجام شده است. به همین منظور آزمایش ها و روش های مختلفی برای محاسبه ظرفیت باربری ارائه شده است، اما در تمامی تحقیقات ذکر شده تاثیر مستقیم بار دینامیکی بر ظرفیت باربری پی های نواری واقع بر حفره در خاک رس مورد مطالعه قرار نگرفته و تاثیر پارامترهای مختلف بر روی ظرفیت باربری پی تحت بار دینامیکی مشخص نشده است.

مطالعات انجام شده در زمینه رفتار پی ها بر روی حفرات زیرزمینی بسیار محدود و در خصوص بارهای یکنواخت می باشد (Terzaghi (۱۹۴۳)، Joon kyu lee، Ghazavi & Talesaz (۲۰۰۹)، Badie & Wang (۱۹۸۴)، Wang & Badie (۱۹۸۵)، Baus & Wang (۱۹۸۳) et al. (۲۰۱۴). همچنین در زمینه ظرفیت باربری پی ها تحت انواع مختلف بارگذاری اعم از استاتیکی و دینامیکی تحقیقاتی صورت گرفته است. که از میان کارهای استاتیکی انجام شده می توان به کارهای Binquent and Lee (۱۹۷۵)، Fragaszy and Lawton (۱۹۸۴) Guido at al.، (۱۹۸۶)، (۱۹۸۱)، Akimusuro and Akinbolade (۱۹۸۸، ۱۹۹۰)، Huang and Tatsuo ka (۱۹۹۲)، Takemura، Khing et al (۱۹۹۲)، Adams and coolin (۱۹۹۷) et al (۱۹۹۲)، Raymon and komo (۱۹۷۸)، Das (۱۹۹۸) و Ghazavi and Tafreshi (۲۰۰۹) اشاره کرد. در این مقاله تحلیل عددی با استفاده از برنامه اجزاء محدود plaxis ۲D بر روی اثر حفره زیرزمینی (تاثیر فاصله، قطر حفره) در دو حالت حفره دایره ای و مربعی شکل بر ظرفیت باربری پی نواری تحت بار دینامیکی، انجام شده است. همچنین جهت صحت سنجی پارامترهای مورد استفاده از تطبیق نتایج آزمایش های استاتیکی انجام شده روی مدل های مشابه خاک - حفره استفاده شده است.

۲. شرایط مدل

از جمله روش های حل مسائل مهندسی، مدل سازی عددی می باشد که امکان پیش بینی رفتار و مطالعه تاثیر پارامترهای مختلف را در زمان و شرایط سهل تر نسبت به مدل سازی آزمایشگاهی فراهم می سازد. با توجه به سرعت بیشتر روش اجزاء محدود نسبت به روش تفاضل های در حل معادلات دیفرانسیل حاکم و نیز شکل در نظر گرفته شده برای پی (نواری) که امکان تحلیل دو بعدی (کرنش مسطح) را فراهم می سازد، از نرم افزار plaxis ۲D جهت ساخت مدل عددی استفاده شده است. مدل رفتاری برای خاک رس در نظر گرفته شده، مدل سخت شونده (Hardening Soil Model) می باشد که مدلی هایپربولیک و کشسانی خمیری از درجه دوم است. مدل سخت شونده خود شامل دو بخش سخت شوندگی برشی و سخت شوندگی فشاری می باشد. سخت شوندگی برشی برای مدل نمودن کرنش های غیر قابل برگشت به علت اعمال تنش های انحرافی و سخت شوندگی فشاری برای بارگذاری تک محوره همسانگرد، مانند آزمایشات ادومتریک، مناسب است. برای المان خاک از المان مثلثی ۱۵ گره ای استفاده شده است، که از درون یابی مرتبه چهار از تغییر مکان و انتگرال گیری عددی از ۱۲ نقطه گاوس (نقاط تنش) بدست می آید. شرایط مرزی به گونه است که پایین مدل در جهت X و Y بسته است، در حالیکه کناره های آن تنها در جهت X بسته می باشد و در امتداد Y دارای قابلیت حرکت است. زیر پی از المان سطح مشترک (interface) استفاده شده است. زبری اندرکنش پی و خاک بوسیله انتخاب مناسب ضریب کاهش مقاومت R_{inter} مدل شده است. این پارامتر، مقاومت سطح مشترک را به مقاومت خاک مرتبط می سازد. از این المان در زیر پی و اطراف حفره استفاده شده است. از پارامترهای دینامیکی ضریب میرایی (Damping) خاک است. لازم به ذکر است که برنامه plaxis ۲D برای شبیه سازی میرایی در خاک و برای تشکیل ماتریس میرایی از ترکیب خطی ماتریس های جرم و سختی استفاده می کند.

$$C = \alpha M + \beta K \quad (1)$$



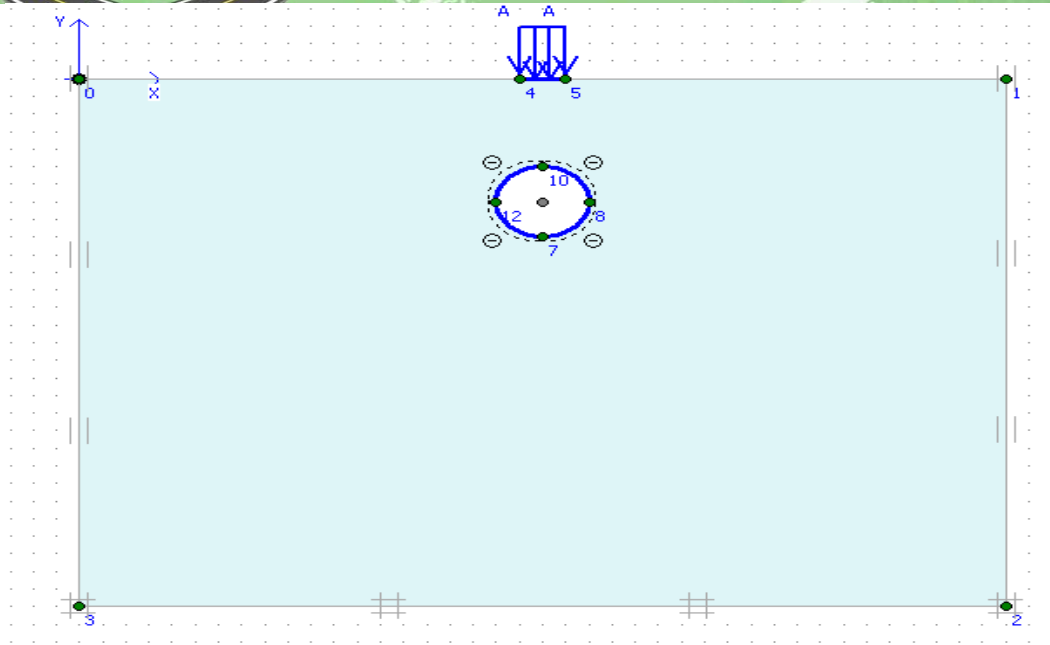
در فرمول بالا ضرایب α و β ضرایب میرایی می باشند.

۳. مراحل انجام تحلیل عددی

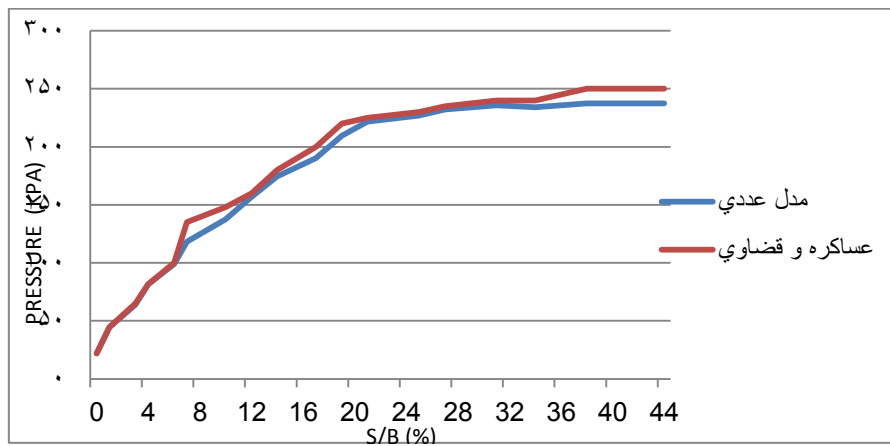
بعد از مدل سازی سیستم خاک؛ پی؛ حفره در مرحله اول (شکل ۱)، تحلیل عددی روی پی نواری تحت شرایط بارگذاری استاتیکی به منظور بدست آوردن پارامترهای خاک انجام شده است. در این مرحله از تطبیق نتایج ارائه شده توسط عساکره و قضاوی (۲۰۰۹) که با مدلسازی مشابه برای بدست آوردن پارامترهای خاک صورت گرفته، استفاده می شود (شکل ۲). در مرحله دوم و با در نظر گرفتن پارامترهای مدل حاصل از تحلیل عددی در مرحله اول، تحلیل عددی تحت بار دینامیکی انجام شده است. در این بخش بار دینامیکی به صورت بار ناشی از رفت و برگشت گلتک بر پی اعمال می گردد و بار استاتیکی که بصورت تخمینی از وزن اجزاء و ملحقات ماشین می باشد ثابت نگه داشته می شود. عساکره و قضاوی (۲۰۰۹) از جدول ۱ به منظور مدلسازی نتایج عددی در *plaxis2D* استفاده نمودند. γ ، E_{δ}^{ref} ، c ، ϕ ، ψ ، ν ، R_{int} به ترتیب دانسیته، مدول سکانت، چسبندگی، زاویه اصطکاک، زاویه اتساع، ضریب پواسون و ضریب کاهش مقاومت خاک رس می باشد. EA ، EI و ν به ترتیب سختی محوری، سختی خمشی و ضریب پواسون غشاء حفره می باشد.

جدول ۱- پارامترها و المان های مورد استفاده در روش عساکره و قضاوی

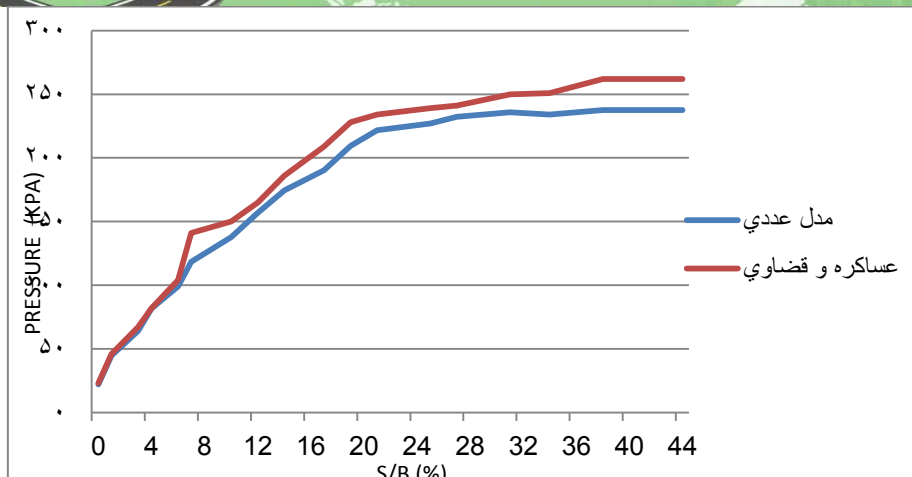
پارامترهای خاک							پارامترهای غشاء حفره			اندازه المان های شبکه (mm)
γ (kn/m ^۳)	E_{δ}^{ref}	C (kpa)	ϕ	ψ	ν	R_{int}	EA (kn)	EI (kn.m ^۲)	ν	۵۷
۱۷	۱۶۰۰۰	۰.۴	۳۴	۴	۰.۳	۰.۶	۱۲۵.۶	۰.۰۱۶	۰.۴۶	



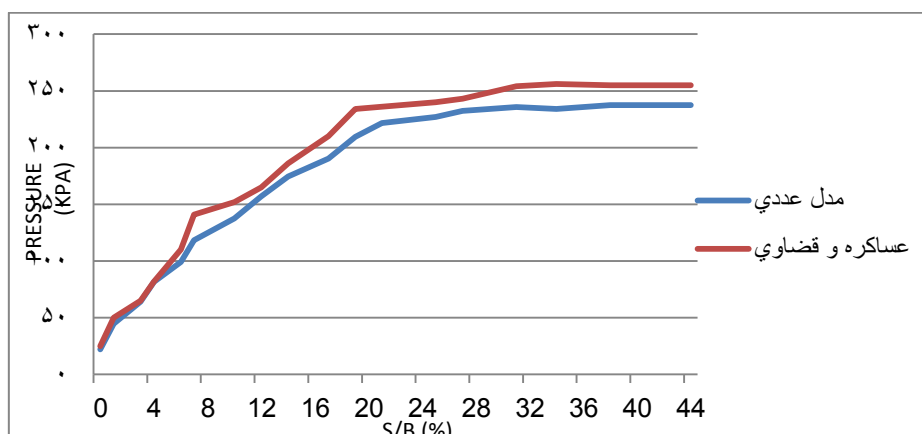
شکل ۱- ابعاد هندسی مدل عددی برای یک خاک حفره دار در عمق ۵ متری



شکل ۲- منحنی تنش - نشست حاصل از تحلیل عددی و مدل مربوط به عساکره و قضاوی برای یک خاک حفره دار برای عمق ۵ متر



شکل ۳- منحنی تنش - نشست حاصل از تحلیل عددی و مدل مربوط به عساکره و قضاوی برای یک خاک حفره دار برای عمق ۴ متر



شکل ۴- منحنی تنش - نشست حاصل از تحلیل عددی و مدل مربوط به عساکره و قضاوی برای یک خاک حفره دار برای عمق ۳ متر

همان طور که در شکل های ۲، ۳ و ۴ دیده می شود نتایج حاصل از مدل سازی با اختلاف ناچیزی نسبت به نتایج مدل مربوط به عساکره و قضاوی برای عمق های مدفون مختلف بدست آمده است. بر این اساس مقادیر عددی پارامترهای استفاده شده برای خاک، غشاء حفره در برنامه plaxis2D در جدول ۲ نشان داده شده است. مقادیر R_{int} ، ψ با توجه به توصیه برنامه انتخاب شده اند. لازم به ذکر است که استفاده از مقادیر بزرگتر ψ موجب به افزایش ظرفیت باربری پی می شود.

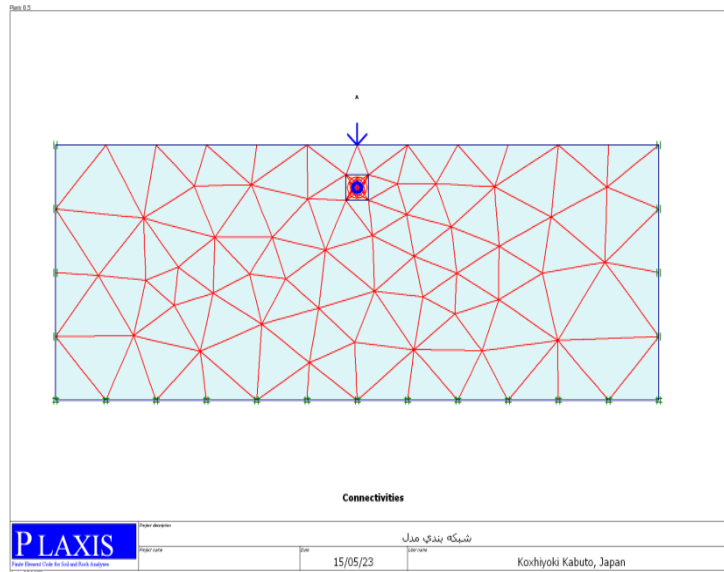
جدول ۲- پارامترهای مصالح و المان های مورد استفاده در تحلیل

پارامترهای خاک							پارامترهای غشاء حفره			اندازه المان های شبکه (mm)
γ (kn/m ^۳)	E_{Δ}^{ref}	C (kpa)	ϕ	ψ	ν	R_{int}	EA (kn)	EI (kn.m ^۲)	ν	۵۸
۱۶	۱۵۰۰۰	۰.۴	۲۴	۰	۰.۳	۱	۲۸۰.۲	۰.۳۳۳	۰.۴۶	

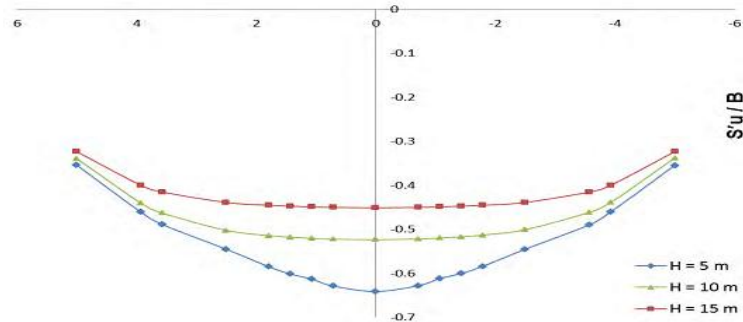


۴. بحث و بررسی نتایج

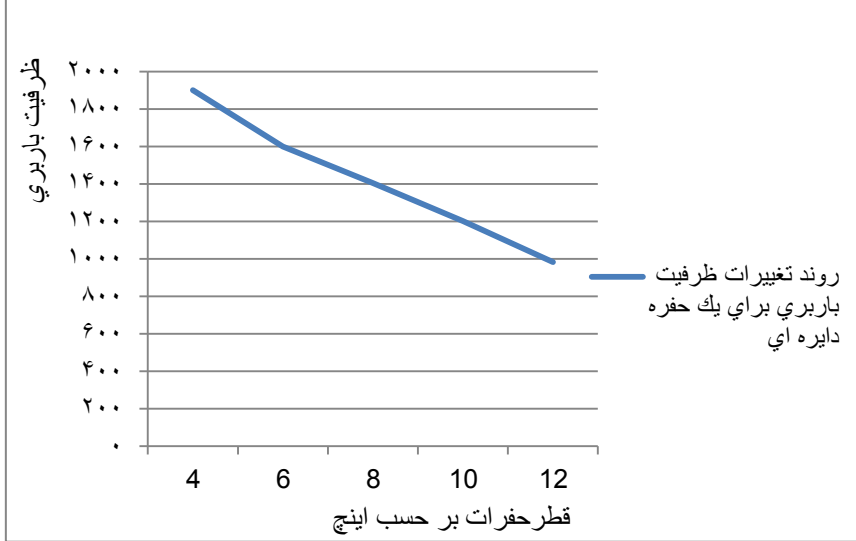
در مدلسازی عددی انجام شده نتایج با استفاده از پارامترهای جدول ۲ برای حفره های دایره ای شکل که همانند لوله با قطرهای مختلف ۴، ۶، ۸، ۱۰ و ۱۲ اینچ هستند و همچنین برای حفره مربعی شکل با ابعاد مشابه تحت بار دینامیکی واقع بر خاک رس در عمق های مدفون مختلف انجام گرفته است، که نتایج به صورت زیر می باشد (شکل ۵ تا ۹).



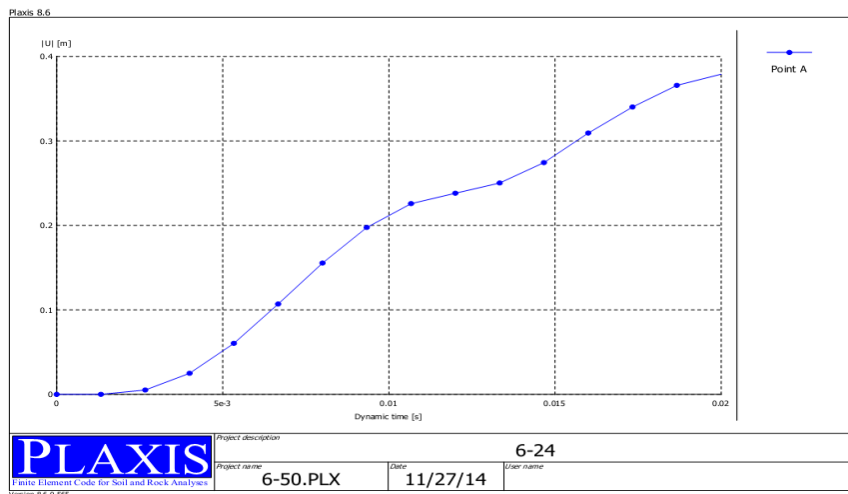
شکل ۵- ابعاد و شبکه بندی مدل



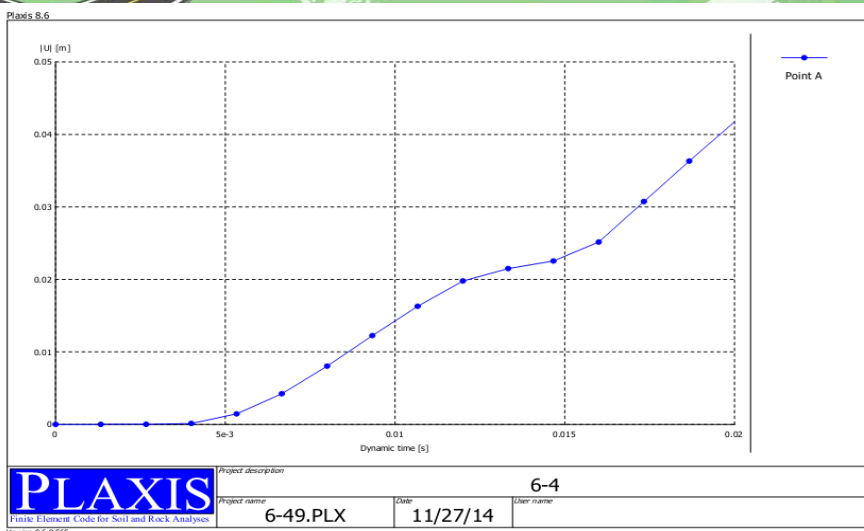
شکل ۶- تغییرات نشست بر حسب عمق مدفون برای یک حفره دایره ای تحت بار دینامیکی



شکل ۷- تغییرات ظرفیت باربری بر حسب قطر برای یک پی نواری واقع بر حفره دایره ای شکل تحت بار دینامیکی



شکل ۸- نشست پی نواری واقع بر حفره دایره ای با قطر ۶ اینچ تحت بار دینامیکی



شکل ۹- نشست پی نواری واقع بر مربعی با طول ۶ اینچ تحت بار دینامیکی

همانطور که در شکل ۶ مشاهده می شود با افزایش عمق مدفون حفرات نسبت به سطح زمین میزان نشست کمتر شده و ظرفیت باربری افزایش پیدا می کند. همچنین با توجه به شکل ۷ که روند تغییرات ظرفیت باربری بر حسب قطر حفرات تحت بار دینامیکی را نشان می دهد مشاهده می شود که با افزایش قطر حفرات از ۴ اینچ تا ۱۲ اینچ ظرفیت باربری کاهش یافته است و بدیهی است میزان نشست افزایش می یابد. آنالیزهای انجام شده برای یک حفره مربعی شکل نیز انجام شده است که با توجه به شکل های ۸ و ۹ که با ابعاد یکسان مدلسازی شده است (۶ اینچ) مبین آن است که میزان نشست در دو حالت حفره مربعی شکل و دایره ای شکل تفاوت چندانی تحت تاثیر بار دینامیکی ندارند.

۵. نتیجه گیری:

در این مقاله تحلیل های انجام شده به منظور بررسی تاثیر بار دینامیکی بر روی پارامترهای موثر بر ظرفیت باربری پی های نواری واقع بر حفره های زیر زمینی شامل فاصله حفره از پی، شکل حفره و قطر حفره صورت گرفته است. نتایج نشان می دهد که :

۱- افزایش قطر حفره تحت تاثیر بار دینامیکی موجب کاهش ظرفیت باربری پی می شود.

۲- افزایش فاصله حفره از پی موجب افزایش ظرفیت باربری پی می شود.

۳- شکل حفره تاثیر چندانی در کاهش و افزایش ظرفیت باربری پی ندارد.



مراجع

- [۱] Terzaghi, k. "Theoretical Soil Mechanics". Wiley, New York. ۱۹۴۳.
- [۲] Baus R. L; "The stability of shallow continuous footing located above a void". PhD thesis pnnsylvania state university. at university park. Pa.. ۱۹۷۸.
- [۳] Baus R. L; Wang M. C;"The bearing capacity of strip footing lacated above avoid in cohesive soil". jornal of Geotechnical Engineering. ASCE. void. Vol. ۱۰۹. No. ۱. pp. ۱-۱۴. ۱۹۸۳.
- [۴] Badie A; Wang M. C;" stability of spread footing above void in clay". jornal of Geotechnical Engineering. ASCE. VOL. ۱۱۱. No. ۸. pp. ۱۰۰۸-۱۰۱۹. ۱۹۸۵.
- [۵] Joon kyu lee, Sangseomjeong, junyoung Ko;"Undrained stability of surface strip footings above voids". Dept. of civil and Environmental Eng. ۵۰ yonse-ro, seodaemum-gu. seoul: ۱۲۰-۷۵. ۲۰۱۴.
- [۶] عساکره و همکاران، بررسی عددی تاثیر سیکل بارگذاری و مسلح کننده بر رفتار پی نواری مستقر بر حفره، مهندسی عمران فردوسی مشهد، پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران، ۱۳۸۹.
- [۷] قضاوی و تفرشی. تحلیل عددی اثر حفره دایره ای بر ظرفیت باربری پی نواری بر روی خاک دانه ای، مهندسی عمران شریف، دوره ۲۶-۲، شماره ۱، ص ۳۵-۲۹، ۱۳۸۷.
- [۸] Das, B.M., and Khing, K.H.,"Foundation on layered soil with geogrid reinforcement effect of a void", Geotextiles and Geomembranes, ۱۳, pp.۵۴۵-۵۵۳, ۱۹۹۴.
- [۹] Reymond, G. P., and Komos, F. E. "Repeated load testing of model plane strain footing", Canadian Geotech, j., ۱۵(۲), ۱۹۰, ۱۹۷۸.
- [۱۰] Akinmusuru, J. O., and Akinbolade, J. A. "Stability of Loaded Footing on Reinforced Soil", journal of Gootechnical Eng. Div., ASCE, Vol. ۱۰۷, NO. ۶, PP. ۴۳۵-۴۴۰, ۱۹۸۱.
- [۱۱] Hung, C. C., and Tatsuaka, F. "prediction of bearing capacity in Level Sand Ground Reinforced with Strip Reinforcement", Proceedings of International Gootechnical Symposium Theory and Practice of Earth Reinforcment, pp. ۱۹۱-۱۹۶, ۱۹۸۸.
- [۱۲] plaxis Reference Manual (version ۸.۵).