

Effect of the Pile & Cap Connection Type in Liquefiable Sand

H. R. Saba*, M. Salehi, M. Baniasadi

Department of Civil Engineering, Tafresh University, Tafresh, Iran

ABSTRACT: The type of pile-to-cap connection in pile foundations is a subject that is always discussed in geotechnical engineering. In this paper, the comparison between two hinged and fixed pile to cap connection types has been accomplished and the earthquake response of the pile group has been measured with shear and axial forces, vertical and horizontal displacement and bending moment through the length of the pile. Therefore a dynamic 3D analysis under earthquake load was used in finite element software ANSYS and the results were compared. Finally, comparisons show that hinged connection minimizes vertical displacement and fixed connection minimizes shear and axial forces and bending moment.

Review History:

Received: 2/8/2016

Revised: 12/20/2016

Accepted: 1/29/2017

Available Online: 8/19/2017

Keywords:

Pile

Pile group

Dynamic analysis

Liquefaction

1. INTRODUCTION

Piles function in liquefiable soils is much more complicated than that of un-liquefiable soils. Because in these soils besides that pile is under different dynamic loads of soil and structure, also the soil resistance and rigidity will decrease during time by soil nonlinear behavior and increasing pore water pressure [1]. In 1964 by Alaska and Niigata earthquakes, many damages occur with leaning many structures which had a significant role in attracting geotechnical experts[2]. To study about liquefaction phenomenon one impressive element in pile group function is the connection of pile to the cap which implements by two fixed and hinged methods [3]. In the past studies about connection type have mentioned increasing share of piles load, axial load and bending moment especially in inclined pile with hinged connection [4]. In this paper, to find the optimum connection type of pile to cap in pile group under dynamic load, used modeling in finite element software by the dynamic behavior of pile group in liquefiable soil and focusing on connection type of pile to cap.

2. SOIL AND PILE SYSTEM MODELING

The constructed 3D model including two-layer whose top layer is liquefiable and the bottom layer is compacted sand. The constructed piles are in 2*3 pile group and main model with 0.5 m diameter with 10 m length which the last 1 m is in compacted soil. The following tables show the properties of soils and pile used in modeling.

Fig. 1 shows the main model used in the analysis.

3. LOADING

To consider the upper structure effect, distributed compressive load applied to the upper surface of the pile cap is 700 KN, and also the ground acceleration is $9.81 \frac{m}{s^2}$. To apply the dynamic load, earthquake load assigned to lower nodes was used. For selecting earthquake, displacement record of Turkey Kocaeli earthquake applied as critical earthquake by comparison between different earthquakes frequency and system natural frequency, considering resonance phenomenon.

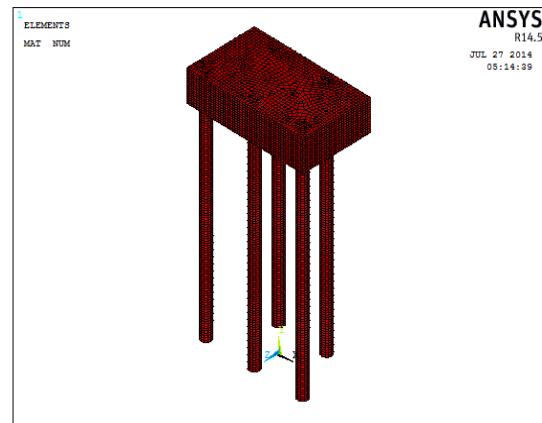


Fig. 1. Main modeling.

*Corresponding author's email: hr.saba@aut.ac.ir

Table 1. Soil properties.

Soil type	ν	ρ ($\frac{kg}{m^3}$)	C (Kpa)	φ	V_s ($\frac{m}{s}$)	E (Mpa)
Liquefiable sand	0.3	1885	1.5	33	100	17.5
Compacted sand	0.2	2015	2	40	220	81

Table 2. Pile properties.

E (Mpa)	ν	ρ (kg/m^3)
20000	0.2	2400

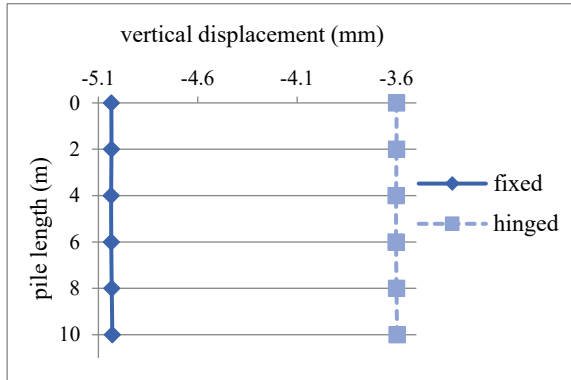


Fig. 2. Effect of Pile & cap connection type on vertical displacement

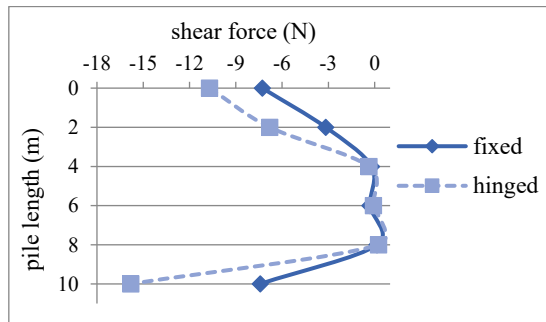


Fig. 3. Effect of Pile & cap connection type on the shear force.

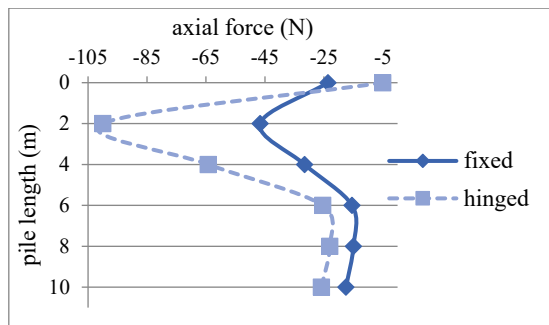


Fig. 4. Effect of Pile & cap connection type on the axial force.

4. RESULTS AND CONCLUSIONS

Comparisons between fixed and hinged connection analysis shown in Figs. 2-6.

The result of pile group analysis shows that:

- Type of pile connection to cap, has a slight 0.3 percent

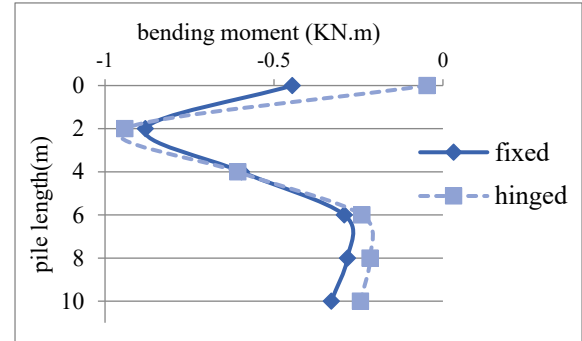


Fig. 5. Effect of Pile & cap connection type on bending moment.

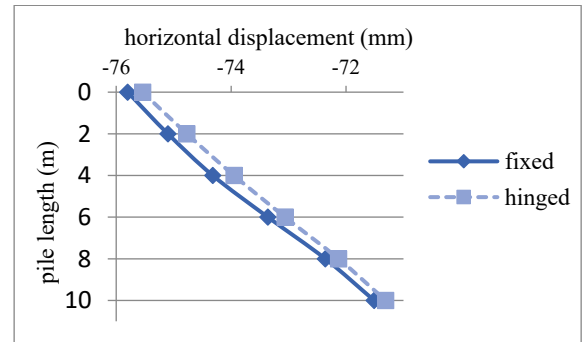


Fig. 6. Effect of Pile & cap connection type on horizontal displacement.

effect on the horizontal displacement that present connection to cap type doesn't have a considerable effect to pile horizontal displacement.

- The pile with a hinged connection to the cap has optimum settlement because in this case, the maximum settlement is 39 percent lower than the fixed connection.

- Fixed connection piles have an optimum condition in axial force by decreasing 114 percent than the hinged connection.

- Fixed connection has optimum 113 percent shear and 7 percent bending moment than the hinged connection, which shows significant effect of connection type to shear force than axial force.

- For both connection types, the maximum horizontal displacement induces at the pile to cap connection, maximum axial force and bending moment induce at 2-meter depth, and maximum shear force induced in 10-meter depth while the vertical displacement is almost the same along the pile length.

REFERENCES

[1] Seed, H.B; (1796) "Evaluation of soil liquefaction effects on level

- ground during earthquake”, *Liquefaction Problems in Geotechnical Engineering, ASCE Annual Convention and Exposition*, 1-104.
- [2] Finn, W. D. L., Fujita, N; “*Piles in liquefiable soils: seismic analysis and design issues*”, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 22(2002), 931-942.
- [3] Mahmoud, Kouhgard; “*numerical investigation of pile foundations under vertical load*”, MS Thesis, Arak University, 2012.
- [4] Mehrzad, esmaeili; “*investigation on the head and end of micropile connection effect on seismic behavior in elastic region*”, Regional Conference of Civil Engineering, Malayer University, 2011.

HOW TO CITE THIS ARTICLE

H. R. Saba, M. Salehi , M. Baniasadi, *Effect of the Pile & Cap Connection Type in Liquefiable Sand, Amirkabir J. Civil Eng., 53(1) (2021) 99-102.*

DOI: [10.22060/ceej.2017.11338.5008](https://doi.org/10.22060/ceej.2017.11338.5008)





بررسی تأثیر نوع اتصال شمع به کلاهک شمع در ماسه روانگرا

حمیدرضا صبا، محمد صالحی*

دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تفرش، تفرش، ایران.

تاریخچه داوری:

دریافت: ۱۳۹۴/۱۱/۱۹

بازنگری: ۱۳۹۵/۰۹/۳۰

پذیرش: ۱۳۹۵/۱۱/۱۰

ارائه آنلاین: ۱۳۹۶/۰۵/۲۸

کلمات کلیدی:

شمع

کلاهک

تحلیل دینامیکی

روانگرا

خلاصه: نوع اتصال شمع به کلاهک در پی‌های شمع‌ی که به صورت گروهی مورد استفاده قرار می‌گیرند از جمله موضوعاتی است که در مهندسی ژئوتکنیک همواره مطرح بوده است. در این مقاله، مقایسه بین رفتار گروه شمع با دو نوع اتصال شمع به کلاهک گیردار و مفصلی صورت گرفته و پاسخ لرزه‌ای گروه شمع با نیروی برشی، نیروی محوری، جابه‌جایی قائم، جابه‌جایی افقی و گشتاور خمشی در طول شمع سنجیده شده است. برای این منظور تحلیل سه بعدی دینامیکی تحت بار زلزله در نرم‌افزار اجزای محدود ANSYS استفاده شده و نتایج حاصله با یکدیگر مقایسه شده است. در نهایت مقایسه رفتار گروه شمع در دو حالت بررسی شده نشان می‌دهد اتصال مفصلی برای حداقل نمودن تغییر مکان قائم و اتصال گیردار برای حداقل نمودن نیروی برشی و محوری و لنگر خمشی مناسب است.

۱- مقدمه

هر گاه ارتعاش‌ها یا فشار آب درون توده‌ی خاک باعث شود که ذرات خاک تماس‌شان را با یکدیگر از دست بدهند، روانگرایی اتفاق می‌افتد. در نتیجه خاک به مانند یک مایع رفتار می‌کند، در تحمل وزن ناتوان شده و می‌تواند بر روی شیب‌های بسیار ملایم روان شود. این شرایط معمولاً موقت بوده و اغلب در اثر وقوع زمین‌لرزه در خاکریزهای اشباع از آب یا خاک‌های غیرچسبیده^۱ اتفاق می‌افتد. تولید فشار منفذی در شرایط زهکشی نشده، مشخصه اصلی تمام پدیده‌های روانگرایی است.

عملکرد شمع‌ها در خاک‌های روانگرا بسیار پیچیده‌تر از عملکرد آن در خاک‌های غیرروانگرا است؛ زیرا در این حالت علاوه بر اینکه شمع، هم از طرف سازه و هم از طرف خاک تحت بارهای دینامیکی متفاوتی قرار می‌گیرد، مقاومت و سختی خاک در طول زمان در اثر

رفتار غیرخطی خاک و افزایش فشار آب حفره‌ای کاهش می‌یابد. در سال ۱۹۶۴ در اثر زلزله‌های آلاسکا و نیگاتا، خسارات زیادی همراه با کج شدن تعداد زیادی از ساختمان‌ها ایجاد شد، که نقش مهمی در جلب نظر متخصصان ژئوتکنیک جهت بررسی پدیده‌ی روانگرایی داشت [۲ و ۱].

یکی از عوامل تأثیرگذار بر روی عملکرد گروه شمع، نحوه‌ی اتصال شمع به کلاهک است که به دو صورت گیردار و مفصلی اجرا می‌شود. در مطالعات انجام گرفته بر روی نحوه اتصال شمع به کلاهک، به افزایش سهم باربری شمع‌ها، افزایش نیروی محوری و لنگر خمشی به ویژه در شمع‌های مایل دارای اتصال مفصلی اشاره شده است [۳ و ۴]. در مطالعه‌ی حاضر، به منظور یافتن نوع اتصال بهینه شمع به سرشمع در گروه شمع تحت بار دینامیکی، با اعمال یک مدل رفتاری در نرم‌افزار اجزای محدود، مدل‌سازی رفتار دینامیکی گروه شمع در خاک روانگرا با تمرکز روی نوع اتصال شمع به سرشمع صورت گرفته است.

1 Unconsolidated Soil

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: msalehi.civil7@gmail.com



جدول ۱. مشخصات انواع خاک در مدل سازی ها

نوع خاک	$(\frac{m}{s})V_S$	φ	C(Kpa)	$\rho(\frac{kg}{m^3})$	ν	E(Mpa)
ماسه شل	۱۰۰	۳۳	۱/۵	۱۸۸۵	۰/۳	۱۷/۵
ماسه متراکم	۲۲۰	۴۰	۲	۲۰۱۵	۰/۲	۸۱

جدول ۲. مشخصات شمع در مدل سازی ها

E (Mpa)	ν	ρ (kg/m ³)
۲۰۰۰۰	۰/۲	۲۴۰۰

جدول ۳. مشخصات مدل مرجع

ابعاد مدل	ابعاد کلاهک (m)	ارتفاع خاک روانگرا (m)	L(m)	$\frac{S}{D}$	D(m)
۲۵×۳۰×۳۰	۰/۳×۷/۶×۵	۹	۱۰	۵	۰/۵

۲- مدل سازی سیستم خاک و شمع

مدل سه بعدی ساخته شده شامل دو لایه خاک که لایه بالا ماسه روانگرا و لایه پایین ماسه متراکم است. شمع‌های ساخته شده در گروه شمع ۳*۲ قرار داشته و در مدل مرجع دارای قطر ۵/۵m و طول ۱۰m بوده که ۱ متر انتهای آن در خاک ماسه متراکم قرار دارد. جداول زیر مشخصات انواع خاک روانگرا شونده و شمع بکار رفته در مدل سازی ها را نشان می‌دهد:

در جدول ۳ مشخصات مدل مرجع آورده شده است.

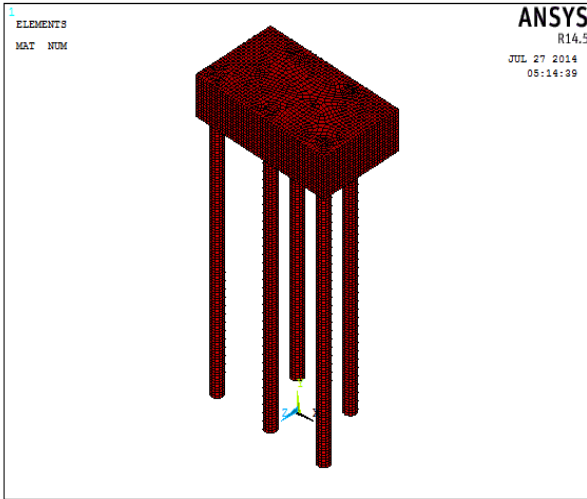
لازم به ذکر است، از آنجا که ابعاد مدل در واقعیت تا بی‌نهایت ادامه دارد ولی در مدل سازی عددی امکان مدل کردن آن وجود ندارد، در این تحقیق ابعاد مدل را به روش سعی و خطا و به مرور افزایش داده و در جایی که نتایج خروجی تغییر نکنند، ابعاد مورد نظر انتخاب شده‌اند. در خصوص بعد المان‌های شبکه‌بندی نیز به علت دقت بیشتر و هم‌چنین زمان بالاتر محاسبات در مش‌های ریزتر، به روش سعی و خطا با کوچک‌تر کردن ابعاد شبکه‌بندی و استخراج نتایج خروجی، بعد مناسب شبکه‌بندی تعیین گردیده است. شکل‌های زیر گروه شمع ساخته شده را نشان می‌دهد.

۳- بارگذاری

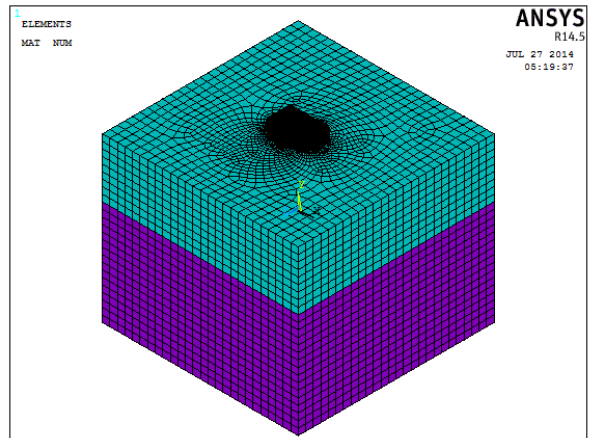
جهت در نظر گرفتن اثر ناشی از سازه فوقانی، بار گسترده فشاری بر سطح فوقانی کلاهک شمع برابر با ۷۰۰ کیلونیوتن و هم‌چنین شتاب گرانش زمین (g) به میزان $9/81 \text{ m/s}^2$ بر مدل‌ها اعمال گردیده است. به منظور اعمال بار دینامیکی، از بار زلزله که به گره‌های تحتانی وارد می‌شود، استفاده شده است. برای انتخاب زلزله، با مقایسه‌ی فرکانس زلزله‌های مختلف با فرکانس طبیعی سیستم و در نظر داشتن پدیده تشدید، رکورد مکان-زمان زلزله کوکائیلی ترکیه به عنوان زلزله بحرانی، به سازه اعمال گردید. شکل زیر نمودار مکان-زمان زلزله کوکائیلی را نشان می‌دهد.

۴- شرایط مرزی

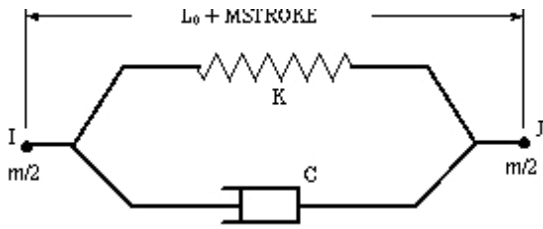
برخورد امواج ناشی از بارگذاری دینامیکی به مرزهای مدل عددی، موجب بازگشت این امواج به داخل مدل و ایجاد خطا در نتایج می‌شود. برای جلوگیری از این امر در مرزهای جانبی مدل از المان‌های میراگر استفاده شده است. در مرزهای جانبی مدل‌ها، از المان لینک ۱۱ جهت میرا کردن انرژی امواج استفاده شده است. این



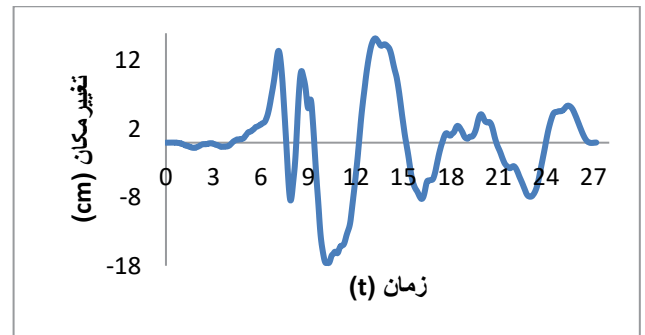
شکل ۲. گروه شمع ساخته شده



شکل ۱. مدل مرجع



شکل ۴. المان 11 link



شکل ۳. نمودار مکان-زمان زلزله کوکائیلی

است. ضرایب α و β از روابط زیر بدست می‌آید:

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

$$\beta = 2\xi / \omega_i + \omega_j \quad (3)$$

که در آن ξ میرایی بحرانی، ω_i فرکانس مود اول و ω_j فرکانس مود دوم سازه است [۵].

۶- اندرکنش خاک-شمع

نرم‌افزار ANSYS یک برنامه توانمند در بررسی مسائل اندرکنش است. جهت در نظر گرفتن اندرکنش بین خاک و شمع، المان تماسی در فصل مشترک خاک و شمع تعریف شده است. سطوح مربوط به خاک در فصل مشترک به علت حرکت کمتر نسبت به شمع به عنوان

المان در گره‌های موجود در مرزهای مدل قرار گرفته و با پارامترهای C (ضریب میرایی) و m (جرم) تعریف می‌شود.

۵- میرایی

سیستم‌های مکانیکی طبیعی شامل چندین درجه میرایی برای انرژی ارتعاشی وارد شده به سیستم هستند که سبب می‌شود ارتعاش سیستم رفته‌رفته کاهش یافته و تا بی‌نهایت ادامه نداشته باشد. در واقع میرایی ناشی از افت انرژی بر اثر اصطکاک داخلی بین مواد و لغزش در طول المان‌های فصل مشترک است.

در این تحقیق علاوه بر میرایی تشعشعی که در شرایط مرزی اشاره شد، از میرایی رایلی که بر حسب سختی و فرکانس سیستم می‌باشد، استفاده شده است:

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

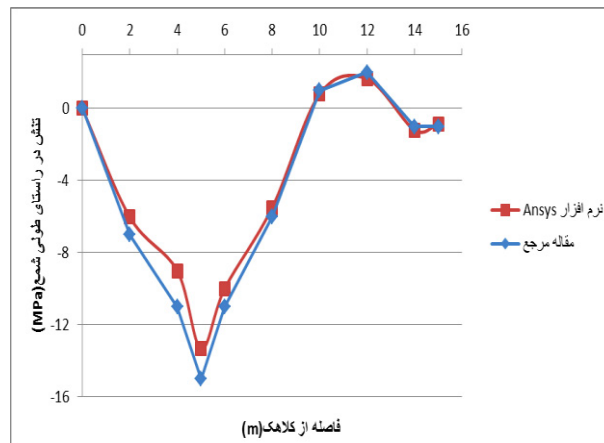
که در آن α ضریب میرایی جرمی و β ضریب میرایی سختی

جدول ۴. مشخصات لایه‌های خاک در صحت سنجی دینامیکی

لایه	ν	$(\frac{m}{s})V_S$	$\rho(\frac{kg}{m^3})$	φ	$H(m)$	$E(Mpa)$
۱	۰/۳۳	۸۵	۱۶۰۰	۱۰	۱۱	۲۷/۲۴
۲	۰/۴۵	۱۱۰	۱۸۰۰	۳۰	۵	۶۳/۱۶۲
۳	۰/۴۵	۱۴۰	۲۰۰۰	۱۰	۴	۱۱۳/۶۸

جدول ۵. مشخصات شمع بتنی در صحت سنجی دینامیکی

$E(Mpa)$	ν	$\rho(kg/m^3)$
۲۳۵۰۰	۰/۲۵	۲۴۰۰



شکل ۵. نتایج بدست آمده از صحت سنجی دینامیکی

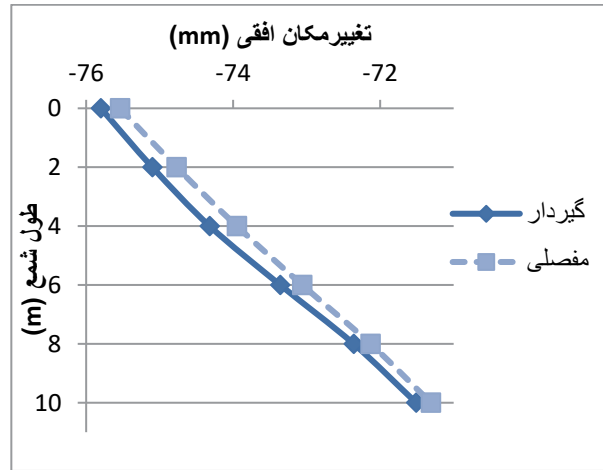
۷- صحت سنجی

جهت بررسی صحت نتایج خروجی نرم‌افزار در شرایط دینامیکی از یک مقاله با موضوع مشابه [۷] استفاده شده است. در این مقاله گروه شمع ۴ تایی و کلاهک بتنی به مدت ۳ ثانیه تحت نیروی وزن و سپس زلزله‌ی نورتریج قرار گرفته است. طول شمع‌ها ۱۵m و قطر آن‌ها ۰/۵m و فاصله‌ی مرکز تا مرکز شمع‌ها ۱/۵m در نظر گرفته شده است. کلاهک شمع به ابعاد ۲/۵m و ضخامت است. مشخصات مصالح خاک و بتن استفاده شده در جداول زیر آمده است.

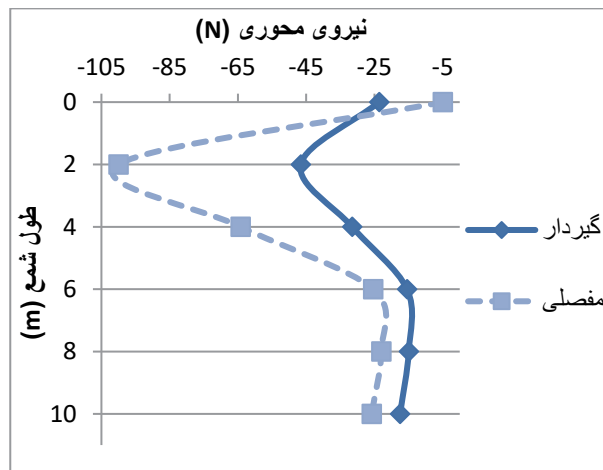
نمودار زیر مقایسه‌ی نتایج خروجی نرم‌افزار و مقاله‌ی فوق را نشان می‌دهد که اختلاف حداکثر ۲۰٪ بین نتایج خروجی نرم‌افزار و نتایج مقاله مورد نظر مشاهده می‌شود.

سطوح هدف^۱ و سطوح مربوط به شمع در فصل مشترک به علت حرکت بیشتر نسبت به خاک به عنوان سطوح تماس^۲ انتخاب شده‌اند. المان‌های تماسی ۱۷۴ و هدف ۱۷۰ جهت در نظر گرفتن اندرکنش انتخاب شده‌اند. المان تماس ۱۷۴ برای بیان تماس و لغزش بین المان‌های سه بعدی استفاده می‌شود و سه درجه آزادی در هر گره دارد. این المان بر روی سطوح المان پوسته‌ای و صلب سه بعدی واقع می‌گردد. مشخصات هندسی این المان همانند المان‌های پوسته‌ای و صلبی است که با آن‌ها تماس برقرار می‌کند. تماس زمانی اتفاق می‌افتد که سطح این المان بر روی یک سطح مشخص، در یکی از بخش‌های المان هدف نفوذ کند [۶].

1 Target
2 Contact



شکل ۶. بررسی اثر نحوه اتصال شمع و سرشمع بر تغییر مکان افقی در طول شمع



شکل ۷. بررسی اثر نحوه اتصال شمع و سرشمع بر توزیع نیروی محوری در طول شمع

۸- نتایج و بحث

۸-۱- تغییر مکان افقی

در این بخش نتایج توزیع تغییر مکان افقی در طول شمع در دو نوع اتصال گیردار و مفصلی شمع به سرشمع مورد بررسی قرار گرفته که نتایج آن به شرح زیر است.

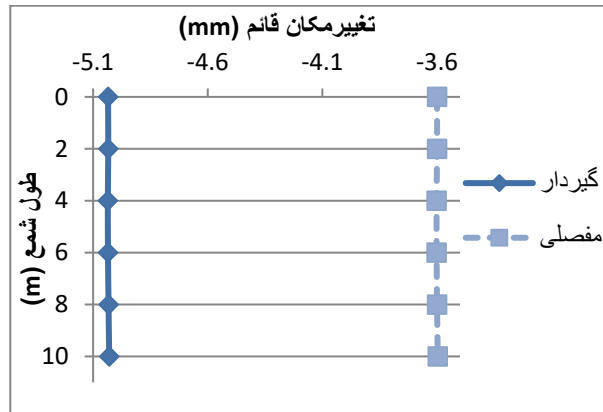
مطابق نمودار فوق، تغییر در نوع اتصال شمع به سرشمع تأثیر بسیار کمی بر تغییر مکان افقی شمع داشته، بطوری که در شمع با اتصال گیردار ۰٫۳٪ افزایش حداکثر تغییر مکان افقی نسبت به شمع با اتصال مفصلی مشاهده می‌شود و در هر دو نوع اتصال، حداکثر تغییر مکان افقی در محل اتصال رخ داده است.

۸-۲- نیروی محوری

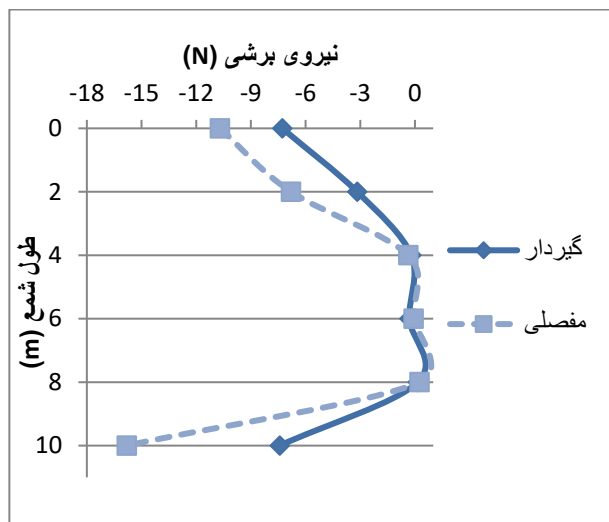
بر اساس نمودار زیر به علت تغییر مکان قائم کمتر در شمع با اتصال مفصلی و در نتیجه ایجاد نیروی بیشتر، در شمع با اتصال مفصلی ۱۱۴٪ افزایش حداکثر نیروی محوری نسبت به شمع با اتصال گیردار مشاهده می‌شود. همچنین در هر دو شمع با اتصال مفصلی و گیردار، حداکثر تغییر مکان قائم در عمق ۲ متری شمع ایجاد شده است.

۸-۴- تغییر مکان قائم

نمودار زیر اثر نوع اتصال شمع به سرشمع را بر تغییر مکان قائم گروه شمع نشان می‌دهد.



شکل ۸. بررسی اثر نحوه اتصال شمع و سرشمع بر توزیع تغییرمکان قائم در طول شمع



شکل ۹. بررسی اثر نحوه اتصال شمع و سرشمع بر توزیع نیروی برشی در طول شمع

نیروی برشی در عمق ۱۰ متری شمع ایجاد شده است.

۸-۵- لنگر خمشی

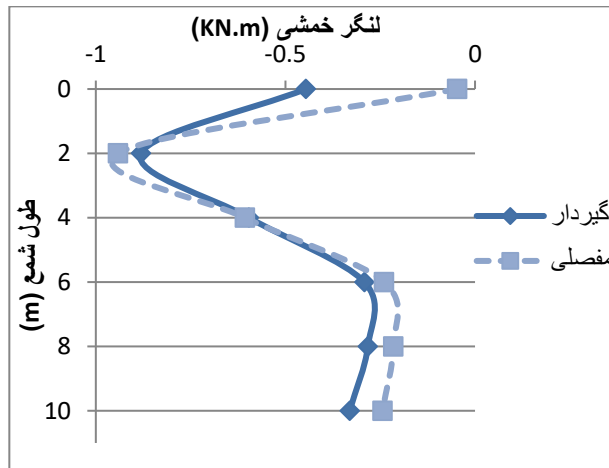
در این بخش نتایج توزیع لنگر خمشی در طول شمع در دو نوع اتصال گیردار و مفصلی شمع به سرشمع در خاک ماسه روانگرا مورد بررسی قرار گرفته که نتایج آن به شرح زیر است.

در شمع با اتصال مفصلی ۷٪ افزایش حداکثر لنگر نسبت به شمع با اتصال گیردار مشاهده می‌شود؛ همان‌طور که در نمودار آمده است، در هر دو شمع با اتصال مفصلی و گیردار، حداکثر لنگر خمشی در عمق ۲ متری شمع رخ داده است و در اتصال مفصلی، به علت مقاومت کمتر در محل اتصال شمع به کلاهک، لنگر خمشی بیشتر از شمع با اتصال گیردار ایجاد شده است.

در تغییر مکان قائم، شمع با اتصال مفصلی عملکرد بهتری داشته است زیرا در شمع با اتصال گیردار، حداکثر تغییرمکان قائم به دلیل عملکرد انعطاف پذیر شمع با اتصال مفصلی ۳۹٪ نسبت به شمع با اتصال افزایش یافته است.

۸-۳- نیروی برشی

با توجه به نمودار زیر به علت نوع اتصال به سرشمع، در شمع با اتصال مفصلی، نیروی برشی افزایشی معادل ۱۱۳٪ را در مقایسه با شمع با اتصال گیردار داشته است. توضیح آنکه در اتصال گیردار تنش‌های وارده با ایجاد تغییرمکان بیشتر مستهلک شده و در نتیجه نیروی برشی به میزان کمتری نسبت به اتصال مفصلی در شمع ایجاد شده است. هم‌چنین در هر دو شمع با اتصال مفصلی و گیردار، حداکثر



شکل ۱۰. بررسی اثر نحوه اتصال شمع و سرشمع بر توزیع لنگر خمشی در طول شمع

۹- نتیجه گیری

نتایج تحلیل دینامیکی گروه شمع در ماسه روانگرا نشان می‌دهد:
 - نوع اتصال شمع به سرشمع، تفاوت بسیار اندک ۰٫۳ درصدی را بر تغییرمکان افقی شمع دارد که نشان می‌دهد نوع اتصال به کلاهک، اثر قابل ملاحظه‌ای روی تغییرمکان افقی شمع ندارد.
 - در تغییرمکان قائم ایجاد شده در شمع، شمع دارای اتصال مفصلی به کلاهک شرایط بهینه را ایجاد می‌کند، زیرا در این حالت حداکثر تغییرمکان قائم ایجاد شده به میزان ۳۹ درصد کمتر از اتصال گیردار است.
 - شمع با اتصال گیردار، از نظر ایجاد نیروی محوری، با کاهش ۱۱۴ درصدی نسبت به اتصال مفصلی شرایط بهینه را دارد.
 - اتصال گیردار با اختلاف ۱۱۳ درصد در نیروی برشی و ۷ درصد در لنگر خمشی نسبت به اتصال مفصلی به عنوان اتصال بهینه انتخاب گردید که این نشان می‌دهد تغییر در نوع اتصال، تأثیر بیشتری بر نیروی برشی گذاشته است؛ در حالی که این تأثیر در لنگر خمشی کمتر است.
 - در هر دو نوع اتصال شمع به سرشمع گیردار و مفصلی، حداکثر تغییر مکان افقی در محل اتصال شمع به سرشمع، حداکثر نیروی محوری و لنگر خمشی در عمق ۲ متری شمع و حداکثر نیروی برشی در عمق ۱۰ متری (انتهای شمع) ایجاد می‌شود؛ در حالی که

تغییرمکان قائم ایجاد شده در طول شمع تقریباً یکسان است.

مراجع

- [1] Seed, H. B; (1796) "Evaluation of soil liquefaction effects on level ground during earthquake", *Liquefaction Problems in Geotechnical Engineering, ASCE Annual Convention and Exposition*, 104-1.
- [2] Finn, W. D. L., Fujita, N; "Piles in liquefiable soils: seismic analysis and design issues", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 2002(22), 942-931.
- [۳] کوه گرد، محمود؛ «بررسی عددی پی های شمعی تحت بار قائم»، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه اراک، ۱۳۹۰.
- [۴] اسمعیلی فلک، مهرزاد؛ «بررسی تأثیر اتصال سر و نوک ریزشمع بر رفتار لرزه‌ای در محیط الاستیک»، همایش منطقه‌ای مهندسی عمران، دانشگاه ملایر، ۱۳۹۱.
- [۵] صبا، حمیدرضا؛ «تحلیل سه بعدی استاتیکی و دینامیکی گروه شمع قائم با لحاظ کردن اثرات اندرکنش سینماتیک خاک و شمع»، ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، سمنان، ۱۳۹۰.
- [6] Ansys/Help.
- [۷] صیادپوری سخت، هادی؛ حلبیان، امیرمهدی؛ «تأثیر روانگرایی بر پاسخ لرزه‌ای گروه شمع»، چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه تهران، اردیبهشت ۱۳۸۷.

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم

H. R. Saba, M. Salehi, M. Baniasadi, Effect of the Pile & Cap Connection Type in Liquefiable Sand, *Amirkabir J. Civil Eng.*, 53(1) (2021) 411-418.

DOI: 10.22060/ceej.2017.11338.5008



