

## Geotechnical performance of deep foundations in liquefiable soils based on CPT test data

Mohammad Maleki<sup>1</sup>, Abolfazl Eslami<sup>2\*</sup>, Ali Nabizadeh<sup>3</sup>, Amin Bahmanpour<sup>4</sup>

1- PhD Candidate, Department of Civil Engineering, Islamic Azad University Science and Research Branch, Tehran, Iran.

2- Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran.

3- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Shahid Rajaei Teacher Training University, Lavizan, Tehran, Iran.

4- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Islamic Azad University Science and Research Branch, Tehran, Iran.

### ABSTRACT

Using the results of the cone penetration test (CPT) is one of the most important applications of this test to determine the bearing capacity of piles. Due to availability of a large amount of reliable data and the considerable speed of the CPT, the results of the CPT test can be used to both directly and indirectly determine either the tip or sleeve bearing capacity of the piles. The application of earthquake acceleration to sensitive and liquefiable deposits will lead to an increase in excess pore water pressure ( $\square u$ ) and subsequently to a decrease in strength and stiffness in such soils. Therefore, investigation of the pore water pressure development ( $\square u$ ) as an index of dynamic load in seismic conditions is of great importance. The present research firstly aims to verify the applicability of CPT results to evaluate the liquefaction potential of sensitive soils using data provided by 60 practical cases from 11 different earthquakes in 7 countries. The influence of critical parameters such as soil sensitivity, undrained shear strength, and dimensionless parameter of pore water pressure on pore pressure development have been evaluated. In the next step, the effect of above-mentioned parameters on the bearing capacity of piles (including 18 different sites) has been investigated. Comparison between the results obtained from the proposed method and the conventional method shows a significant influence of the above parameters on the bearing capacity of the piles. Therefore, it is necessary to consider the impact of the parameters mentioned above while calculating the bearing capacity of piles in liquefiable soils.

### ARTICLE INFO

**Receive Date:** 06 August 2023

**Revise Date:** 04 October 2023

**Accept Date:** 25 October 2023

### Keywords:

Deep foundations

Liquefiable soils

CPT

Bearing capacity

Excess pore pressure

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: <https://doi.org/10.22065/jsce.2023.409474.3187>

\*Corresponding author: Abolfazl Eslami.

Email address: [afeslami@aut.ac.ir](mailto:afeslami@aut.ac.ir)

## بررسی عملکرد ژئوتکنیکی پی های عمیق در خاک های روانگرا با استفاده از نتایج آزمایش نفوذ مخروط

محمد ملکی<sup>۱</sup>، ابوالفضل اسلامی<sup>۲\*</sup>، علی نبی زاده<sup>۳</sup>، امین بهمن پور<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی عمران، واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۲- استاد، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران.

۳- استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، لویزان، تهران، ایران.

۴- استادیار، دانشکده مهندسی عمران واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

### چکیده

استفاده از نتایج آزمایش نفوذ مخروط (CPT) جهت تعیین ظرفیت باربری شمع ها از جمله مهمترین کاربردها در آزمایش می باشد. با توجه به شباهت ظاهری شمع ها با مخروط استاندارد و مهیا بودن حجم بالایی از اطلاعات مطمئن و سرعت قابل توجه آزمایش، می توان هم بصورت مستقیم و هم بصورت غیرمستقیم از خروجی آزمایش CPT در تعیین ظرفیت باربری نوک و جداره شمع ها استفاده کرد. اعمال شتاب زلزله به خاک های حساس و روانگر منجر به افزایش اضافه فشار آب حفره ای ( $\Delta u$ ) و متعاقباً کاهش مقاومت و سختی در اینگونه خاکها خواهد شد. لذا بررسی تغییرات اضافه فشار آب منفذی ( $\Delta u$ ) بعنوان شاخص بار دینامیکی در شرایط لرزه ای از اهمیت ویژه ای برخوردار است. پژوهش حاضر ابتدا به بررسی قابلیت ارزیابی پتانسیل روانگرایی با استفاده از داده های CPT و بانک های اطلاعاتی شامل ۶۰ مورد عملی از ۱۱ زلزله مختلف در ۷ کشور می پردازد. پارامترهای موثر بر توسعه و محو  $\Delta u$  از قبیل حساسیت خاک، مقاومت برشی زهکشی نشده، و پارامتر بی بعد شده فشار آب منفذی مورد ارزیابی قرار گرفته اند. در گام بعد تاثیر این پارامترها بر ظرفیت باربری شمع ها (شامل ۱۸ سایت مختلف در جهان) بررسی شده است. نتایج بدست آمده از روش پیشنهادی در مقایسه با روش های متداول بیانگر کاهش قابل توجه پارامترهای فوق بر ظرفیت باربری شمع ها می باشد. از این رو لازم است این امر در محاسبات ظرفیت باربری ژئوتکنیکی شمع ها در پروژه های واقع بر خاک های مستعد روانگرایی منظور گردد.

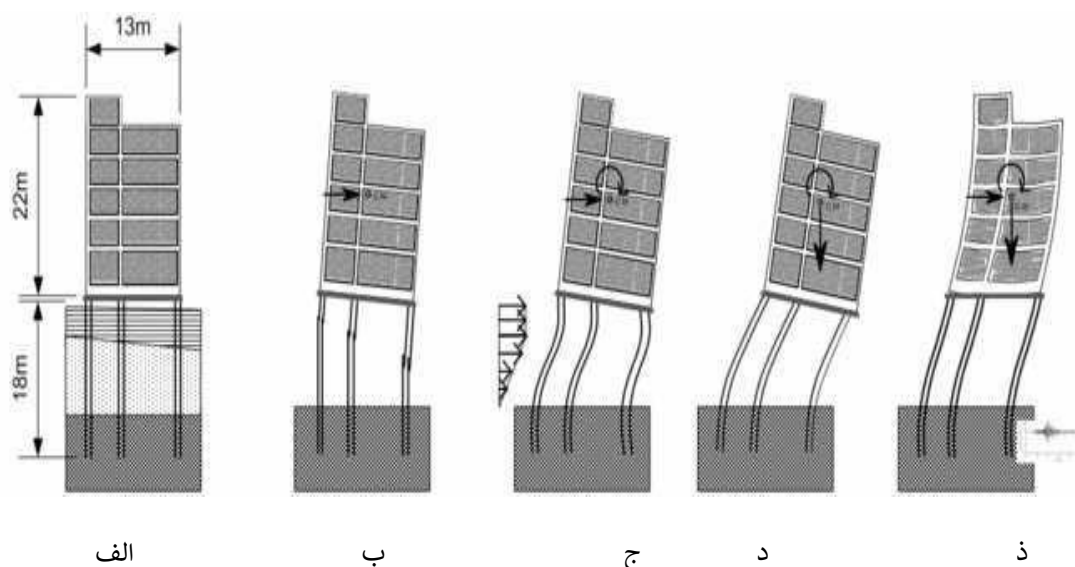
کلمات کلیدی: پی های عمیق، خاک های روانگرا، آزمایش نفوذ مخروط، ظرفیت باربری، فشار آب منفذی

| شناسه دیجیتال: |   | سابقه مقاله: |               |  |                 |            |
|----------------|---|--------------|---------------|--|-----------------|------------|
| doi:           | <a href="https://doi.org/10.22065/jsce.2023.409474.3187">https://doi.org/10.22065/jsce.2023.409474.3187</a> | چاپ          | انتشار آنلاین | پذیرش  | بازنگری         | دریافت     |
|                | <a href="https://doi.org/10.22065/jsce.2023.409474.3187">10.22065/jsce.2023.409474.3187</a>                 | ۱۴۰۲/۰۴/۳۱   | ۱۴۰۲/۰۸/۰۳    | ۱۴۰۲/۰۸/۰۳   | ۱۴۰۲/۰۷/۱۲      | ۱۴۰۲/۰۵/۱۵ |
|                |   |              |               | ابوالفضل اسلامی  | *نویسنده مسئول: |            |
|                |   |              |               | <a href="mailto:afeslami@aut.ac.ir">afeslami@aut.ac.ir</a> | پست الکترونیکی: |            |

## ۱- مقدمه

هنگامی که لایه های ماسه شل تحت لرزش ناشی از زلزله قرار می گیرند، دانه های آن تمایل به قرارگیری مجدد در وضعیتی دارند که متراکم تر شوند، بنابراین حجم توده خاک کاهش می یابد. چنانچه لایه های مذکور اشباع باشند، تمایل به کاهش حجم منجر به افزایش فشار آب منفذی خواهند داشت. در این وضعیت زمان کافی برای مستهلک شدن افزایش فشار آب منفذی تولید شده وجود ندارد و چنانچه افزایش فشار آب منفذی به قدری زیاد باشد تا تنش موثر در خاک صفر شود "روانگرایی کامل" رخ می دهد. اما اگر این افزایش فشار آب منفذی مقدار محدودی داشته باشد، ممکن است خاک مقداری نرم تر شود و اصطلاحاً "روانگرایی جزئی" رخ می دهد [۱].

رفتار شمع در مناطق لرزه خیز به شدت متأثر از روانگرایی خاک می باشد. در چنین خاک هایی مقاومت و سختی خاک به سبب افزایش فشار منفذی کاهش می یابد و شمع ممکن است جابجایی های قابل توجهی را تجربه کند. در این حالت شمع به شدت مستعد ترک خوردگی و حتی گسیختگی می باشد. اهمیت تاثیر روانگرایی روی شمع را می توان بر آسیب های به وجود آمده در آنها در زلزله های گذشته مشاهده نمود. انواع مختلف مکانیزم های گسیختگی شمع از قبیل: گسیختگی برشی، ناپایداری خمشی، گسیختگی کمناشی و گسیختگی دینامیکی در خاک روانگرا مشاهده می گردد.



شکل ۱: مکانیزم مختلف گسیختگی شمع از چپ به راست

(الف): ساختمان بندر کاندلا روی پی شمع (ب): مکانیزم گسیختگی برشی (ج): مکانیزم گسیختگی خمشی (د): مکانیزم کمناشی (ذ): مکانیزم دینامیکی پی های سازه های عمرانی هنگامی که بر روی لایه های روانگرا واقع می شوند، دچار نشست و یا چرخش می شوند. بعنوان نمونه شمع ها می توانند به طور خاص در معرض آسیب ناشی از روانگرایی خاک باشند. اگر خاک زیر شمع روانگرا شود ظرفیت باربری آن کاهش می یابد و شمع می تواند نشست های بیش از حد را تجربه کند. از سوی دیگر اگر عمق روانگرایی خاک نسبتاً کم باشد (در زمین لرزه های با شدت کم) خاک اطراف شمع روانگرا می شود و انتظار می رود از اصطکاک جداره بکاهد. این حالت می تواند بار نوک شمع را افزایش دهد که ممکن است منجر به افزایش نشست شود. افزون بر این موارد، شمع ها در برابر گسترش جانبی زمین آسیب پذیرند. اگر لایه های خاک روانگرا کامل یا جزئی را تجربه کند، ممکن است گسترش جانبی ناحیه شیب دار زمین رخ دهد [۲].

آزمایش نفوذ مخروط  $CPT$  و آزمایش نفوذ مخروط همراه با اندازه گیری فشار آب منفذی موسوم به  $CPTu$  دارای ویژگی تکرارپذیری بوده و نیمرخ قائم و پیوسته ای از خاک تهیه می کند. این آزمایش در نهشته های نرم و متوسط کاربرد دارد و با انجام آن امکان ثبت پروفیل پیوسته از مقاومت نوک مخروط ( $q_c$ ) و اصطکاک جانبی ( $f_s$ ) و فشار آب منفذی ( $U_2$ ) در فواصل کم در عمق خاک

میسر می شود. با در اختیار داشتن اطلاعات مذکور می توان پروفیل خاک و مشخصات ژئوتکنیکی لایه های خاک را در حد مطلوبی تعیین کرد و با استفاده از نتایج بدست آمده می توان با دقت قابل قبولی به ارزیابی پتانسیل روانگرایی پرداخت [۳].

در سال های اخیر استفاده از آزمایش های در جا در طراحی های ژئوتکنیکی افزایش یافته است این شرایط ناشی از پیشرفت سریع وسایل آزمایش های در جا و حذف محدودیت های نمونه گیری و عدم کفایت آزمایش های آزمایشگاهی مرسوم است. استفاده از نتایج *CPT* جهت تعیین ظرفیت باربری شمع ها از جمله اولین کاربردهای آزمایش نفوذ مخروط می باشد. با توجه به شباهت شمع از نتایج این آزمایش تعیین مقاومت کف و جداری استفاده می شود. از نتایج آزمایش نفوذ مخروط به دو صورت جهت تعیین ظرفیت باربری شمع ها استفاده می شود:

الف- روش مستقیم: در این روش با اعمال ضرایبی مبتنی بر مقیاس، از داده های آزمایش *CPT* به طور مستقیم در تعیین مقاومت کف و مقاومت واحد جدار شمع استفاده می شود.

ب- روش غیر مستقیم: در این روش ابتدا پارامتر های مقاومت برشی نظیر  $S_{u\phi}$  از روابط همبستگی تخمین زده می شوند و سپس با استفاده از روش های تحلیل استاتیکی مقاومت کف و مقاومت واحد جدار شمع تعیین می گردد.

در سی سال گذشته روش های زیادی جهت ارزیابی ظرفیت باربری پی های عمیق با استفاده از نتایج آزمایش *CPT* گذشته ارائه شده است. در این تحقیق از روش هایی نظیر (ICP (2005) Eslami & Fellenius (1997) German (2010) UWA, (2005) Fugro (2005) استفاده شده است [۳].

در خاتمه روش پیشنهادی در این پژوهش معرفی شده است و نتایج بدست آمده از روش پیشنهادی با نتایج روش های قبلی مقایسه شده اند

## ۲- ارزیابی روانگرایی و پایگاه داده ها

آزمایش های رایج درجا پیش بینی روانگرایی عبارتند از آزمایش نفوذ استاندارد (*SPT*)، آزمایش نفوذ مخروط (*CPT*) و آزمایش تعیین سرعت موج برشی. در این بین، آزمایش نفوذ مخروط (*CPT & CPTu*) دلیل دقت و تکرار پذیری دارای جایگاه ویژه ای در تعیین مشخصات ژئوتکنیکی و مقاومت برشی خاکها و ارزیابی پتانسیل روانگرایی می باشد. در سال ۱۹۸۶ سید و دی آلبا با استفاده از همبستگی بین نتایج *SPT* و *CPT* روشی بر مبنای تعداد ضربات *SPT* و منحنی های *CRR7.5* ارائه نموده اند. همچنین سوزوکی در سال ۱۹۹۷ بر مبنای نتایج آزمایش *CPT* از ۶۸ سایت از نقاط مختلف جهان روشی را بر اساس محاسبه شاخص رفتار نوع خاک  $I_c$  را پیشنهاد کرد. سپس در سال های ۱۹۹۷ و ۱۹۹۸ رابرتسون و رایید روش اصلاح شده را مطرح کردند. سپس در سال ۲۰۰۴ اندروس بر اساس همبستگی بین نتایج *CPTu* و *Vs* روشی را ارائه نمود که در آن با استفاده از سرعت موج برشی *Vs* و نسبت تنش سیکنی  $\left(\frac{\tau_{ave}}{\sigma'_{v0}}\right)$  به ارزیابی پتانسیل روانگرایی می پردازد. در سال های اخیر پژوهشگرانی مانند استارک و اولسن (۱۹۹۵)، اولسن (۱۹۹۷)، رابرتسون و کامپنلا (۱۹۸۵)، رابرتسون و رایید (۱۹۹۷)، اسلدن و هویت (۱۹۸۸) ادریس و بولنزه (۲۰۰۴)، به ارائه روش های مختلف جهت ارزیابی پتانسیل روانگرایی پرداخته اند [۳-۴-۵-۶-۷-۸].

## ۲-۱ روش های تحلیلی ارزیابی پتانسیل روانگرایی

روش های تحلیلی روش هایی هستند که با محاسبه ضریب اطمینان به ارزیابی پتانسیل روانگرایی می پردازند. در صورتی که ضریب اطمینان محاسبه شده کوچکتر از یک باشد، خاک مستعد روانگرایی است و در غیر این صورت خاک روانگرا نخواهد شد. ضریب اطمینان از رابطه زیر بدست می آید.

$$FS = \frac{CRR}{CSR} \quad (1)$$

در آن *CRR* مقاومت سیکنی در برابر روانگرایی و *CSR* تنش برشی سیکنی اعمالی به خاک ناشی از زلزله است. "سید" در سال ۱۹۷۱ برای بدست آوردن تنش برشی سیکنی (*CSR*) رابطه ی زیر را پیشنهاد کرد که به عنوان یک رابطه پایه جهت تخمین پتانسیل روانگرایی شناسایی شده است. که در آن  $a_{max}$  شتاب بیشینه افقی تولید شده بر اثر زلزله در سطح زمین، *g* شتاب ثقل،  $\sigma'_{v0}$  و  $\sigma_{v0}$  به

ترتیب تنش های سربار قائم کل و موثر و  $r_d$  ضریب کاهش تنش است که تابعی از عمق است

$$CSR = 0.65 \left( \frac{a_{\max}}{g} \right) \left( \frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \right) r_d \quad (2)$$

## ۲-۲ پایگاه داده ها

بانک های اطلاعاتی یا پایگاه داده ها، مجموعه ای از داده هایی است که به نحو منطقی به یکدیگر مرتبط هستند و به منظور بازیابی اطلاعات در مواقع نیاز طراحی می شوند. هدف اصلی از تشکیل بانک های اطلاعاتی در مهندسی ژئوتکنیک مدیریت و تفسیر داده ها، ارزیابی و بهینه سازی روش های طراحی و توسعه روش های نوین می باشد. در این پژوهش پس از مطالعه و بررسی موارد

جدول ۱: خلاصه ای از بانک اطلاعاتی جهت تحلیل روانگرایی [۸-۹-۱۰-۱۱-۱۲-۱۳-۱۴]

| NO | Location        | Country     | Year | $M_w$ | PGA( g ) | Numbers of cases |
|----|-----------------|-------------|------|-------|----------|------------------|
| 1  | Haicheng        | China       | 1975 | 7.5   | 0.15     | 3                |
| 2  | Imperial Valley | USA         | 1979 | 6.5   | 0.17     | 2                |
| 3  | Edgecumbe       | New zealand | 1987 | 6.5   | 0.50     | 10               |
| 4  | Loma- Perieta   | USA         | 1989 | 6.9   | 0.65     | 3                |
| 5  | Kobe            | Japan       | 1995 | 6.9   | 0.91     | 10               |
| 6  | Chi- Chi.       | Taiwan      | 1999 | 7.7   | 0.90     | 1                |
| 7  | Kocaeli         | Turkey      | 1999 | 7.6   | 0.40     | 2                |
| 8  | Darfield        | Newzealand  | 2010 | 7.1   | 0.25     | 6                |
| 9  | Christchurch    | Newzealand  | 2011 | 6.2   | 1.51     | 6                |
| 10 | Tohoku          | Japan       | 2011 | 9.1   | 0.27     | 1                |
| 11 | Emilia          | Italy       | 2012 | 6.10  | 0.26     | 1                |
| 12 | Adapazari       | Turkey      | 1999 | 7.4   | 0.37     | 1                |

عملی روانگرایی در نقاط مختلف جهان، از بانک اطلاعاتی شامل ۶۰ مورد عملی از ۱۱ زلزله مختلف که در ۷ کشور ( ایالات متحده امریکا، چین، ژاپن، نیوزلند، ایتالیا، ترکیه و تایوان) رخ داده استفاده شده است. در برخی از آنها روانگرایی رخ داده و برخی غیرروانگرا بوده اند. پس از تشکیل بانک اطلاعاتی به ارزیابی پتانسیل روانگرایی با هشت روش مختلف پرداخته و سپس نتایج بدست آمده با مشاهدات ثبت شده از موارد عملی مقایسه گردیده است. از میان ۶۰ مورد عملی در ۴۵ مورد روانگرایی گزارش شده است [۱].

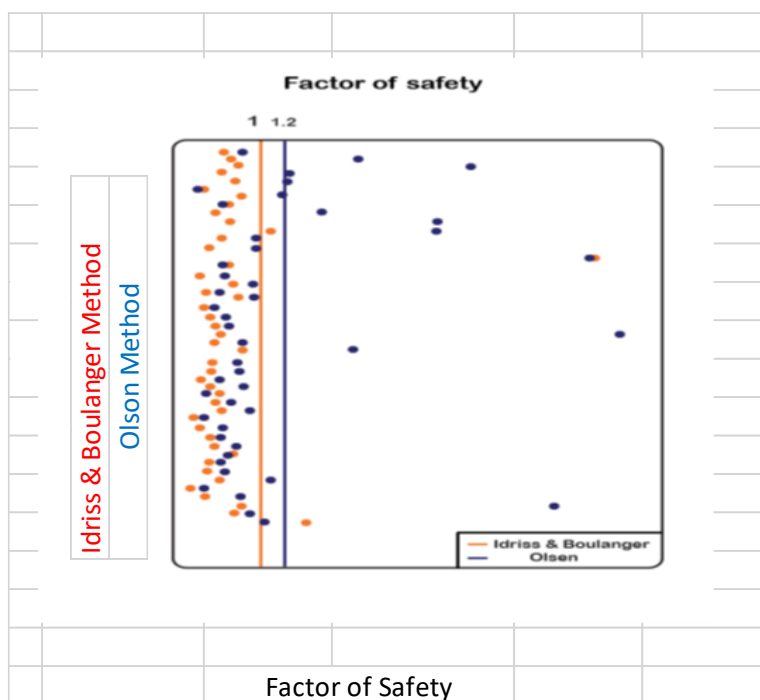
|    |                          |        |      |     |      |   |
|----|--------------------------|--------|------|-----|------|---|
| 13 | Wufeng (Chi- Chi )       | China  | 1999 | 7.6 | 0.60 | 1 |
| 14 | Yuanlin (Chi- Chi)       | China  | 1999 | 7.6 | 0.25 | 1 |
| 15 | Chang – bin (Chi- Chi)   | China  | 1999 | 7.6 | 0.4  | 1 |
| 16 | Evanston ( NWUP )        | USA    | 1979 | 7.5 | 0.45 | 1 |
| 17 | Lock & Dam ( L & D31 )   | USA    | 1979 | 7.5 | 0.35 | 1 |
| 18 | Tiawan ( TWNTP5 )        | Taiwan | ۱۹۹۹ | 7.5 | 0.38 | 1 |
| 19 | Puerto Rico ( PRL )      | USA    | 1979 | 7.5 | 0.40 | 1 |
| 20 | South Amboy ( CPT # 10 ) | USA    | 1979 | 7.5 | 0.40 | 1 |
| 21 | Wood Bridge ( CPT # 6 )  | USA    | 1979 | 7.5 | 0.40 | 1 |

### ۲-۳ مقایسه نتایج تحلیل روانگرایی

به منظور مقایسه و صحت سنجی از روشهای مختلف ارزیابی پتانسیل روانگرایی شامل سید و دی آلبا، رابرتسون و کامپنلا، استارک و السن، رابرتسون و رایید، اسن و ادیس و بولنزه استفاده شده است. سپس با محاسبه  $Q_m$  رفتار خاک تحت بار سیکلی با روشهای کامپنلا و کوکان و اسلادن و هویت مورد بررسی قرار گرفته است. برای هر سایت لایه های خاک به فواصل ۰/۵ متری تقسیم شده و برای هر لایه ارزیابی پتانسیل روانگرایی انجام شده است چنانچه بیش از ۵۰ درصد لایه ها روانگرا باشند سایت مذکور روانگرا در نظر گرفته می شود. شکل ۳ نشان دهنده ضریب اطمینان در برابر روانگرایی برای سایت های مورد مطالعه بر اساس دو روش ادیس - بولنزه و روش اولسن می باشد شکل ۴ منحنی تعیین پتانسیل روانگرایی را بر اساس روش های مختلف نشان می دهد. از شکل ۴ مشخص است که روش استارک و اولسن برای اکثر سایت حالت غیر روانگرا پیش بینی می کند در صورتیکه روش رابرتسون - رایید اصلاح شده بیشترین تطابق را با واقعیت دارد. همچنین این روش با روش های استارک - اولسن، سید و دی آلبا و رابرتسون - کامپنلا نیز مقایسه شده است.

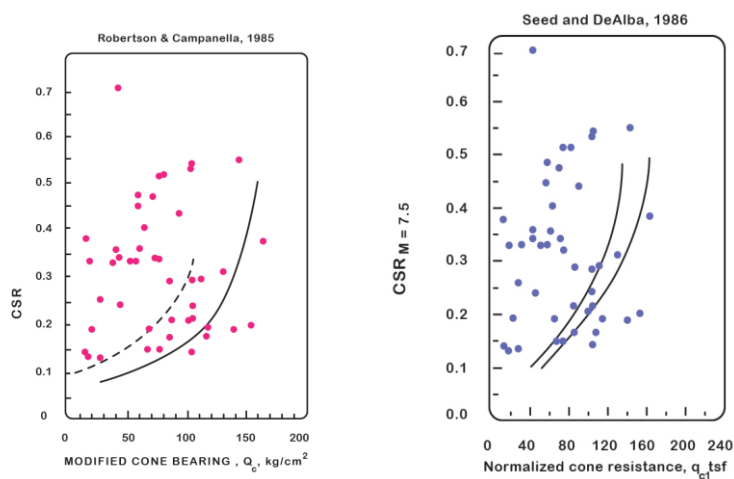


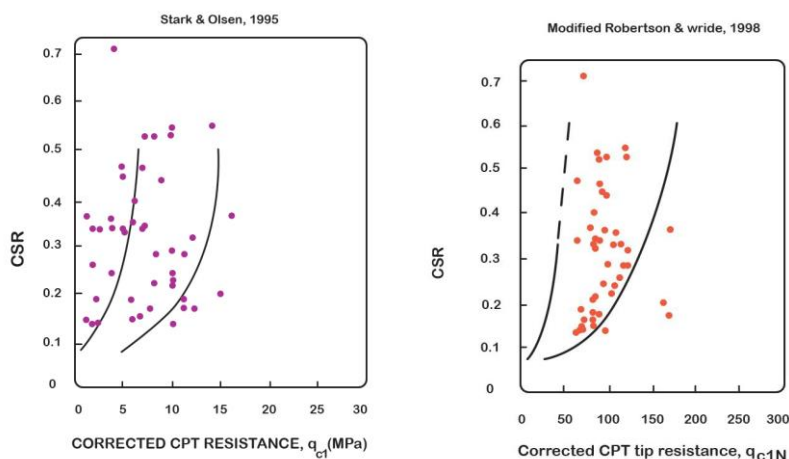
شکل ۲: زلزله های رخ داده در نقاط مختلف جهان بررسی شده در این پژوهش.



شکل ۳: مقایسه ضریب اطمینان بدست آمده بر اساس روشهای ادریس - بولنژ و اولسن [۶].

همانگونه از شکل ۳ ملاحظه می گردد روش ادریس - بولنژ در قیاس با روش اولسن سایت های بیشتری را روانگرا تشخیص داده است که خود بیانگر دقت بیشتر این روش می باشد. و دارای ۹۳٪ تطابق با موارد اجرایی مورد مطالعه دارد.





شکل ۴: مقایسه روشهای مختلف تعیین پتانسیل روانگرایی [۴-۵-۷-۱۶].

### ۳- ظرفیت باربری ژئوتکنیکی شمع براساس نتایج آزمایش نفوذ مخروط

شبهت های زیادی بین مخروط نفوذی و شمع تحت آزمایش بارگذاری وجود دارد شمع و مخروط هر دو تحت بار قائم به داخل خاک نفوذ می کنند و در نوک وجداره از خود مقاومت نشان می دهند از این رو می توان از نتایج *CPT* در طراحی شمع ها استفاده نمود. روش های زیادی جهت ارزیابی ظرفیت باربری پی های عمیق با استفاده از نتایج آزمایش *CPT* در طی سی سال گذشته ارائه شده است. در این تحقیق از روش هایی نظیر (Fugro (2005), UWA (2005), ICP (2005), German (2010) و Eslami & Fellenius (1997) استفاده شده است [۳].

در پایان روش جدید پیشنهادی بررسی شده در این پژوهش معرفی شده و نتایج بدست آمده از این روش با روش های متداول قبلی مقایسه گردیده است در ادامه بطور خلاصه برخی از این روش ها تشریح شده است.

#### ۳-۱ روش ICP

این روش توسط (Jardine et al (2005) ارائه شده است و برای شمع های کوبشی در خاک های ماسه ای قابل استفاده است در این روش مقاومت نوک، مقاومت بسیج شده به ازای جابجایی سر شمع به میزان ۱۰ درصد قطر شمع تعریف می شود در این روش میانگین گیری به صورت حسابی داده های *CPT* در بازه  $1.5B$  بالا و پایین تر از نوک شمع انجام می شود. رابطه ارائه شده برای محاسبه مقاومت نوک شمع در شمع های با انتهای بسته بصورت زیر می باشد:

$$\frac{q_{b0.1}}{q_{c,avg}} = \max \left[ 1 - 0.5 \log \left( \frac{B}{B_{CPT}} \right), 0.3 \right] \quad (۳)$$

$$\frac{q_{b0.1}}{q_{c,avg}} = 8.5 \left( \frac{P_{ref}}{A} \right)^{0.5} A^{0.25} \quad (۴)$$

مقاومت نوک شمع -  $q_{b0.1}$  - میانگین حسابی داده های *CPT* در بازه  $1.5B$  بالا و پایین تر از نوک شمع -  $q_{c,avg}$

قطر شمع -  $B$  - قطر مخروط آزمایش  $0.036$  متر [۳].

#### ۳-۲ روش Fugro

این روش توسط (Kolk et al. (2005) ارائه شده است و برای خاک های ماسه ای قابل استفاده است. در این روش مقاومت نوک، بسیج شده به ازای جابجایی سر شمع به میزان ۱۰ درصد قطر شمع تعریف می شود. و در آن میانگین گیری به

صورت حسابی از داده های  $CPT$  در بازه  $1.5B$  بالا و پایین تر از نوک شمع انجام می شود. رابطه ارائه شده برای محاسبه مقاومت نوک شمع در شمع های با انتهای بسته بصورت زیر می باشد:

$$\frac{q_{b0.1}}{q_{c,avg}} = 8.5 \left( \frac{P_{ref}}{q_{c,avg}} \right)^{0.5} A_r^{0.25} \quad (5)$$

$q_{b0.1}$  - مقاومت نوک شمع

$q_{c,avg}$  - میانگین حسابی داده های  $CPT$  در بازه  $1.5B$  بالا و پایین تر از نوک شمع

$P_{ref}$  - فشار اتمسفر معادل 100KPa

$A_r^{0.25}$  - نسبت سطح موثر  $B$  - قطر شمع  $B_i$  - قطر داخلی شمع

$$A_r = 1 - \left( \frac{B_i}{B} \right)^2 \quad (6)$$

### ۳-۳ روش اسلامی و فلینوس (۱۹۹۷)

در این روش با استفاده از نتایج داده های آزمایش  $CPT_u$  با ترکیب  $q_c$  و  $f_s$  و  $u_2$  (فشار آب حفره های اندازه گیری شده در شانه مخروط) استفاده می شود. اصطکاک جداره، بطور تقریبی اندازه گیری می شود مقاومت نوک مخروط  $q_E$  از نوع تنش موثر بوده و با کم کردن فشار آب حفره ای از رابطه زیر بدست می آید:

$$q_E = q_t - u_2 \quad (7)$$

مقاومت واحد نوک و جداره شمع تابعی از مقاومت نوک مخروط می باشند مقاومت نوک شمع معادل مقاومت موثر نوک مخروط،  $q_E$  در نظر گرفته می شود و بین این دو رابطه یک به یک برقرار است مقاومت واحد جداره شمع با استفاده از مقاومت موثر نوک مخروط و بر حسب درصدی از آن در نظر گرفته می شود. در این روش در مقایسه با سایر روش های مستقیم موارد زیر در نظر گرفته می شود:

الف) میانگین گیری

ب) منطقه تاثیر یا ناحیه میانگین گیری

ج) چگونگی استفاده از مقاومت موثر یا کلی

### ۴- روش پیشنهادی این تحقیق

این روش مشابه روش اسلامی و فلینوس (۱۹۹۷) است یک تفاوت آنها در بازه میان گیری می باشد در این روش بازه میان گیری از  $4B$  در زیر شمع و  $8B$  در بالای انتهای شمع می باشد. حال آنکه در روش اسلامی - فلینوس (۱۹۷۵) این بازه از  $4B$  در زیر شمع و  $4B$  در بالای انتهای شمع می باشد. نظر به اینکه شرایط لرزه ای بویژه در خاک های حساس سبب افزایش اضافه فشار آب حفره ای ( $\Delta u$ ) شده و خاک مقاومت خود را از دست داده و به حالت مایع روان در می آید که این حالت به روانگرایی موسوم است اگرچه روانگرایی به دو صورت روانگرایی کامل و روانگرایی جزئی رخ می دهد. حتی در روانگرایی جزئی کاهش مقاومت خاک مشهود بوده و شمع تکیه جانبی خود را در طول شمع از سوی خاک اطراف از دست می دهد پدیده مذکور تاثیر بسزایی در کاهش باربری ژئوتکنیکی شمع دارد. لذا در این پژوهش تاثیر افزایش اضافه فشار آب حفره ای ( $\Delta u$ ) در کاهش باربری ژئوتکنیکی شمع بررسی شده است. بدین منظور از پارامترهایی نظیر حساسیت خاک  $S_t$  و  $B_q$  و  $u_2/q_t$  که با اضافه فشار آب حفره ای ( $\Delta u$ ) مرتبط هستند استفاده شده است با وارد نمودن تاثیر پارامترهای فوق، ظرفیت باربری ژئوتکنیکی شمع محاسبه شده و با مقدار آن قبل از تاثیر این پارامترها مقایسه شده اند.

در ادامه برخی از آنها تشریح می گردند. حساسیت رسی عبارت از نسبت مقاومت برشی زهکشی نشده دست نخورده به مقاومت برشی زهکشی نشده نمونه بازسازی شده می باشد محققان بسیاری دریافته اند که اصطکاک جانبی  $f_s$  رابطه نزدیکی با

مقاومت برشی نمونه بازسازی شده خاک دارد.

$$S_t = \frac{S_u}{S_{u(re molded)}} = \frac{q_t - \sigma_v}{N_{KT}} \left( \frac{1}{f_s} \right) \quad (8)$$

$S_t$  - حساسیت خاک

$S_{u(re molded)}$  - مقاومت برشی زهکشی نشده در حالت بازسازی شده

$S_u$  - مقاومت برشی زهکشی نشده در حالت دست نخورده

$N_{KT}$  - مقاومت نوک مخروط  $10 < N_{KT} < 20$

$N_{KT}$  - از روابط تجربی براساس آزمایشات مقاومت برشی در محل تعیین می شود در صورتیکه امکان استفاده از روابط تجربی در محل نباشد رابرتسون و کامپلانا عدد ۱۵ را برای مقاومت برشی زهکشی نشده توصیه نمودند. اما از آنجا که فاکتور  $N_{KT}$  بسیار حساس می باشد لذا در خاک های حساس رسی  $8 < S_t < 16$  مقدار  $N_{KT} = 10$  توصیه شده است. در این تحقیق از مقدار  $N_{KT} = 12$  استفاده شده است.

$$B_q = \frac{u_2 - u_0}{q_t - \sigma_{vo}} = \frac{\Delta u}{q_t - \sigma_{vo}} \quad (9)$$

$B_q$  - ضریب فشار منفذی

$u_2$  - فشار آب منفذی اندازه گیری شده در شانه مخروط

$u_0$  - فشار آب منفذی طبیعی

$q_t$  - مقاومت نوک مخروط اصلاح شده بر اساس فشار آب منفذی در شانه مخروط

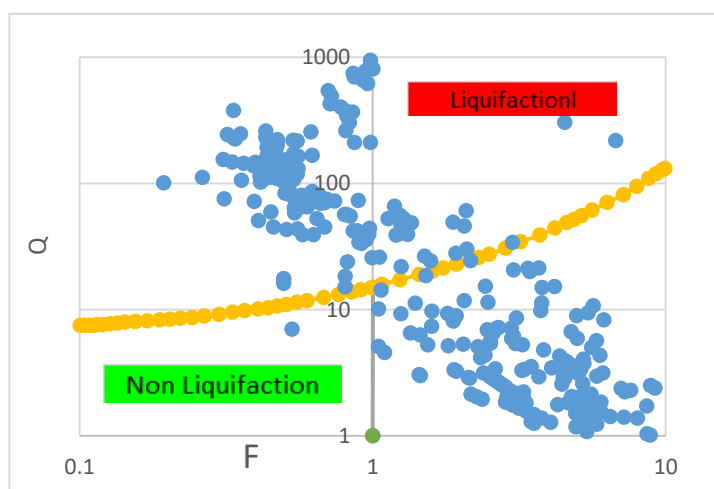
$\sigma_{vo}$  - تنش تحمیلی کل

در این پژوهش جهت لحاظ نمودن تاثیر تغییرات ( $\Delta u$ ) ظرفیت باربری ژئوتکنیکی شمع ابتدا برای هر سایت ظرفیت

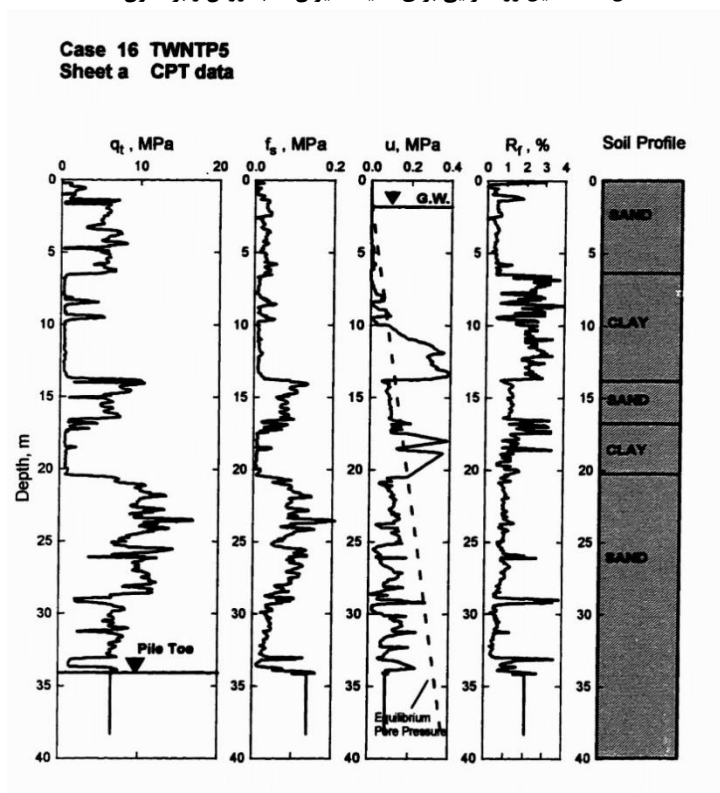
باربری ژئوتکنیکی شمع با استفاده از روش هایی معمول نظیر (ICP (2005) ، (Fugro (2005) ، (UWA (2005) ، (Eslami & Fellenius (2010, 1997) ، (German (2010) و روش جدید پیشنهادی این تحقیق محاسبه شده

سپس ظرفیت باربری ژئوتکنیکی شمع با اعمال ضریب کاهش  $S_t$  و  $(1 - B_q)$  و  $(1 - \frac{u_2}{q_t})$  برای هر روش محاسبه و با

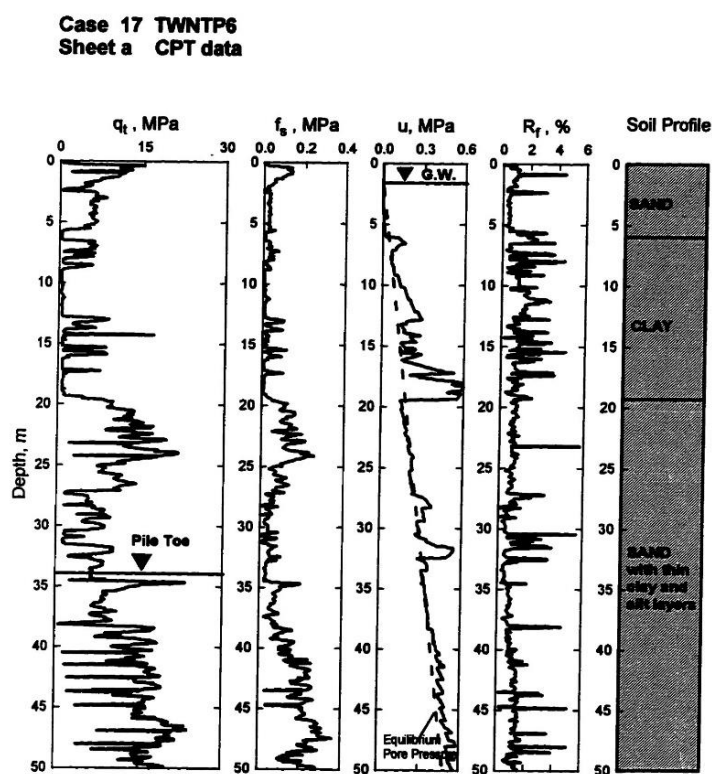
ظرفیت باربری ژئوتکنیکی شمع اولیه مقایسه شده است. در ادامه نمونه ای از محاسبات ظرفیت باربری ژئوتکنیکی شمع برای سایت تایوان ( $TAIWAN\ CPT5-II$ ) ارائه شده است.



شکل ۵: تحلیل روانگرایی برای سایت تایوان ۱۱ به روش رابرتسون (۱۹۹۰).



شکل ۶: نمونه ای از لوگ گمانه و نتایج آزمایش  $CPTu$  برای سایت TWNTP5 بررسی شده در این تحقیق.



شکل ۷: نمونه ای از لوگ گمانه و نتایج آزمایش  $CPTu$  برای سایت  $TWNTP6$  بررسی شده در این تحقیق.

جدول ۲: محاسبه ظرفیت باربری شمع بطول ۱۰ متر و قطر ۰.۴۰ متر برای اعماق ۸ تا ۸/۶۰ متر به روش پیشنهادی برای سایت تایوان ۱۱

| Z(m) | qt(MPa) | fs(kPa) | u2(MPa) | u0(MPa) | $\Delta u$ | qE   | GWT  | $q_{Eg}$ | Rt(KN) | CS   | rs   | rs*Ap(KN) | Rs(KN)   | R(KN)    |
|------|---------|---------|---------|---------|------------|------|------|----------|--------|------|------|-----------|----------|----------|
| 8/00 | 1/05    | 0/05    | 0/07    | 0/07    | 0/00       | 0/99 | 0/00 | 1/06     | 132/88 | 0/05 | 0/05 | 3/10      | 393/7721 | 526/6487 |
| 8/05 | 1/15    | 0/02    | 0/07    | 0/07    | 0/00       | 1/09 | 0/00 |          |        | 0/05 | 0/05 | 3/41      |          |          |
| 8/10 | 0/65    | 0/02    | 0/07    | 0/07    | 0/00       | 0/59 | 0/00 |          |        | 0/05 | 0/03 | 1/84      |          |          |
| 8/15 | 0/65    | 0/01    | 0/06    | 0/07    | 0/00       | 0/59 | 0/00 |          |        | 0/08 | 0/05 | 2/95      |          |          |
| 8/20 | 0/65    | 0/01    | 0/07    | 0/07    | 0/00       | 0/59 | 0/00 |          |        | 0/08 | 0/05 | 2/95      |          |          |
| 8/25 | 0/66    | 0/01    | 0/07    | 0/07    | 0/00       | 0/59 | 0/00 |          |        | 0/08 | 0/05 | 2/94      |          |          |
| 8/30 | 0/66    | 0/01    | 0/07    | 0/07    | 0/00       | 0/59 | 0/00 |          |        | 0/08 | 0/05 | 2/94      |          |          |
| 8/35 | 0/76    | 0/01    | 0/07    | 0/07    | 0/00       | 0/69 | 0/00 |          |        | 0/08 | 0/05 | 3/44      |          |          |
| 8/40 | 0/96    | 0/02    | 0/08    | 0/07    | 0/01       | 0/88 | 0/00 |          |        | 0/05 | 0/04 | 2/78      |          |          |
| 8/45 | 1/26    | 0/02    | 0/08    | 0/07    | 0/01       | 1/18 | 0/00 |          |        | 0/03 | 0/03 | 1/86      |          |          |
| 8/50 | 4/96    | 0/02    | 0/08    | 0/07    | 0/01       | 4/88 | 0/00 |          |        | 0/00 | 0/02 | 1/23      |          |          |
| 8/55 | 5/86    | 0/03    | 0/08    | 0/07    | 0/01       | 5/78 | 0/00 |          |        | 0/00 | 0/02 | 1/45      |          |          |
| 8/60 | 5/26    | 0/03    | 0/08    | 0/07    | 0/01       | 5/18 | 0/00 |          |        | 0/00 | 0/02 | 1/30      |          |          |

جدول ۳: محاسبه ظرفیت باربری شمع بطول ۱۰ متر و قطر ۰.۴۰ متر برای اعماق ۸ تا ۸/۶۰ متر به روش پیشنهادی و لحاظ نمودن ضرایب حساسیت و

فشار آب منفذی  $S_t$ ،  $B_q$ ، سایت تایوان ۱۱

| Z(m)  | qt(MPa) | fs(MPa) | u2(MPa) | u0(MPa) | $\Delta u$ | qE    | GWT   | $q_{Eg}$ | Rt(KN) | CS    | rs    | rs*Ap(KN) | Rs(KN) | $\sigma_v$ (Mpa) | St     | Stavg | Rs(KN) Bq | (1-Bq) | (1-Bq)aver | Rt(KN)  | R(KN)   |
|-------|---------|---------|---------|---------|------------|-------|-------|----------|--------|-------|-------|-----------|--------|------------------|--------|-------|-----------|--------|------------|---------|---------|
| 8/000 | 1/053   | 0/045   | 0/066   | 0/065   | 0/001      | 0/987 | 0/000 | 0/000    | 0/000  | 0/050 | 0/049 | 3/099     | 0/000  | 0/151            | 1/670  | 0/000 | 0/000     | 0/999  | 0/925      | 122/847 | 157/091 |
| 8/050 | 1/154   | 0/022   | 0/068   | 0/066   | 0/002      | 1/086 | 0/000 | 0/000    | 0/000  | 0/050 | 0/054 | 3/411     | 0/000  | 0/152            | 3/796  | 0/000 | 0/000     | 0/998  |            |         |         |
| 8/100 | 0/654   | 0/023   | 0/068   | 0/066   | 0/002      | 0/586 | 0/000 | 0/000    | 0/000  | 0/050 | 0/029 | 1/841     | 0/000  | 0/153            | 1/816  | 0/000 | 0/000     | 0/996  |            |         |         |
| 8/150 | 0/651   | 0/010   | 0/064   | 0/067   | -0/003     | 0/587 | 0/000 | 0/000    | 0/000  | 0/080 | 0/047 | 2/950     | 0/000  | 0/154            | 4/143  | 0/000 | 0/000     | 0/994  |            |         |         |
| 8/200 | 0/654   | 0/008   | 0/067   | 0/067   | 0/000      | 0/587 | 0/000 | 0/000    | 0/000  | 0/080 | 0/047 | 2/947     | 0/000  | 0/155            | 5/193  | 0/000 | 0/000     | 1/000  |            |         |         |
| 8/250 | 0/656   | 0/006   | 0/070   | 0/068   | 0/002      | 0/586 | 0/000 | 0/000    | 0/000  | 0/080 | 0/047 | 2/944     | 0/000  | 0/156            | 6/945  | 0/000 | 0/000     | 0/996  |            |         |         |
| 8/300 | 0/658   | 0/007   | 0/072   | 0/068   | 0/004      | 0/586 | 0/000 | 0/000    | 0/000  | 0/080 | 0/047 | 2/942     | 0/000  | 0/157            | 5/960  | 0/000 | 0/000     | 0/992  |            |         |         |
| 8/350 | 0/759   | 0/007   | 0/074   | 0/069   | 0/005      | 0/685 | 0/000 | 0/000    | 0/000  | 0/080 | 0/055 | 3/442     | 0/000  | 0/158            | 7/158  | 0/000 | 0/000     | 0/992  |            |         |         |
| 8/400 | 0/961   | 0/021   | 0/076   | 0/069   | 0/007      | 0/885 | 0/000 | 0/000    | 0/000  | 0/050 | 0/044 | 2/778     | 0/000  | 0/159            | 3/182  | 0/000 | 0/000     | 0/991  |            |         |         |
| 8/450 | 1/262   | 0/020   | 0/078   | 0/070   | 0/008      | 1/184 | 0/000 | 0/000    | 0/000  | 0/025 | 0/030 | 1/860     | 0/000  | 0/160            | 4/594  | 0/000 | 0/000     | 0/993  |            |         |         |
| 8/500 | 4/965   | 0/019   | 0/081   | 0/070   | 0/011      | 4/884 | 0/000 | 0/000    | 0/000  | 0/004 | 0/020 | 1/227     | 0/000  | 0/161            | 21/070 | 0/000 | 0/000     | 0/998  |            |         |         |
| 8/550 | 5/865   | 0/025   | 0/081   | 0/071   | 0/010      | 5/784 | 0/000 | 0/000    | 0/000  | 0/004 | 0/023 | 1/453     | 0/000  | 0/162            | 19/010 | 0/000 | 0/000     | 0/998  |            |         |         |
| 8/600 | 5/265   | 0/032   | 0/081   | 0/071   | 0/010      | 5/184 | 0/000 | 0/000    | 0/000  | 0/004 | 0/021 | 1/302     | 0/000  | 0/163            | 13/287 | 0/000 | 0/000     | 0/998  |            |         |         |

جدول ۴: محاسبه ظرفیت باربری شمع بطول ۱۰ متر و قطر ۰.۴۰ متر برای اعماق ۸ تا ۸/۶۰ متر به روش پیشنهادی و لحاظ نمودن ضرایب حساسیت و

$$S_t = \left(1 - \frac{u_2}{q_t}\right) \cdot S_{t0}$$

سایت تایوان ۱۱

| Z(m) | qt(MPa) | fsj(MPa) | u2(MPa) | u0(MPa) | $\frac{\Delta u}{u_0}$ | qE   | GWT  | $q_{Eg}$ | Rt(kN) | CS   | rs   | rs*Ap(kN) | Rs(kN) | $\sigma_c$ (MPa) | St    | St aveg | Rs(kN) | Bq   | ABS u2/qt | 1-u2/qt | 1-u2/qt | 1-u2/qt | avg | Rt(kN) | R(kN) |
|------|---------|----------|---------|---------|------------------------|------|------|----------|--------|------|------|-----------|--------|------------------|-------|---------|--------|------|-----------|---------|---------|---------|-----|--------|-------|
| 8/00 | 1/05    | 0/05     | 0/07    | 0/07    | 0/00                   | 0/99 | 0/00 | 1/06     | 132/88 | 0/05 | 0/05 | 3/10      | 393/77 | 0/00             | 1/95  | 11/50   | 34/24  | 0/06 | 0/94      | 0/86    | 113/91  | 148/16  |     |        |       |
| 8/05 | 1/15    | 0/02     | 0/07    | 0/07    | 0/00                   | 1/09 | 0/00 |          |        | 0/05 | 0/05 | 3/41      |        | 0/00             | 4/37  |         |        | 0/06 | 0/94      |         |         |         |     |        |       |
| 8/10 | 0/65    | 0/02     | 0/07    | 0/07    | 0/00                   | 0/59 | 0/00 |          |        | 0/05 | 0/03 | 1/84      |        | 0/00             | 2/37  |         |        | 0/10 | 0/90      |         |         |         |     |        |       |
| 8/15 | 0/65    | 0/01     | 0/06    | 0/07    | 0/00                   | 0/59 | 0/00 |          |        | 0/08 | 0/05 | 2/95      |        | 0/00             | 5/42  |         |        | 0/10 | 0/90      |         |         |         |     |        |       |
| 8/20 | 0/65    | 0/01     | 0/07    | 0/07    | 0/00                   | 0/59 | 0/00 |          |        | 0/08 | 0/05 | 2/95      |        | 0/00             | 6/80  |         |        | 0/10 | 0/90      |         |         |         |     |        |       |
| 8/25 | 0/66    | 0/01     | 0/07    | 0/07    | 0/00                   | 0/59 | 0/00 |          |        | 0/08 | 0/05 | 2/94      |        | 0/00             | 9/10  |         |        | 0/11 | 0/89      |         |         |         |     |        |       |
| 8/30 | 0/66    | 0/01     | 0/07    | 0/07    | 0/00                   | 0/59 | 0/00 |          |        | 0/08 | 0/05 | 2/94      |        | 0/00             | 7/82  |         |        | 0/11 | 0/89      |         |         |         |     |        |       |
| 8/35 | 0/76    | 0/01     | 0/07    | 0/07    | 0/00                   | 0/69 | 0/00 |          |        | 0/08 | 0/05 | 3/44      |        | 0/00             | 9/03  |         |        | 0/10 | 0/90      |         |         |         |     |        |       |
| 8/40 | 0/96    | 0/02     | 0/08    | 0/07    | 0/01                   | 0/88 | 0/00 |          |        | 0/05 | 0/04 | 2/78      |        | 0/00             | 3/81  |         |        | 0/08 | 0/92      |         |         |         |     |        |       |
| 8/45 | 1/26    | 0/02     | 0/08    | 0/07    | 0/01                   | 1/18 | 0/00 |          |        | 0/03 | 0/03 | 1/86      |        | 0/00             | 5/26  |         |        | 0/06 | 0/94      |         |         |         |     |        |       |
| 8/50 | 4/96    | 0/02     | 0/08    | 0/07    | 0/01                   | 4/88 | 0/00 |          |        | 0/00 | 0/02 | 1/23      |        | 0/00             | 21/77 |         |        | 0/02 | 0/98      |         |         |         |     |        |       |
| 8/55 | 5/86    | 0/03     | 0/08    | 0/07    | 0/01                   | 5/78 | 0/00 |          |        | 0/00 | 0/02 | 1/45      |        | 0/00             | 19/55 |         |        | 0/01 | 0/99      |         |         |         |     |        |       |
| 8/60 | 5/26    | 0/03     | 0/08    | 0/07    | 0/01                   | 5/18 | 0/00 |          |        | 0/00 | 0/02 | 1/30      |        | 0/00             | 13/71 |         |        | 0/02 | 0/98      |         |         |         |     |        |       |
| 8/65 | 4/26    | 0/03     | 0/08    | 0/07    | 0/01                   | 4/18 | 0/00 |          |        | 0/00 | 0/02 | 1/05      |        | 0/00             | 10/45 |         |        | 0/02 | 0/98      |         |         |         |     |        |       |

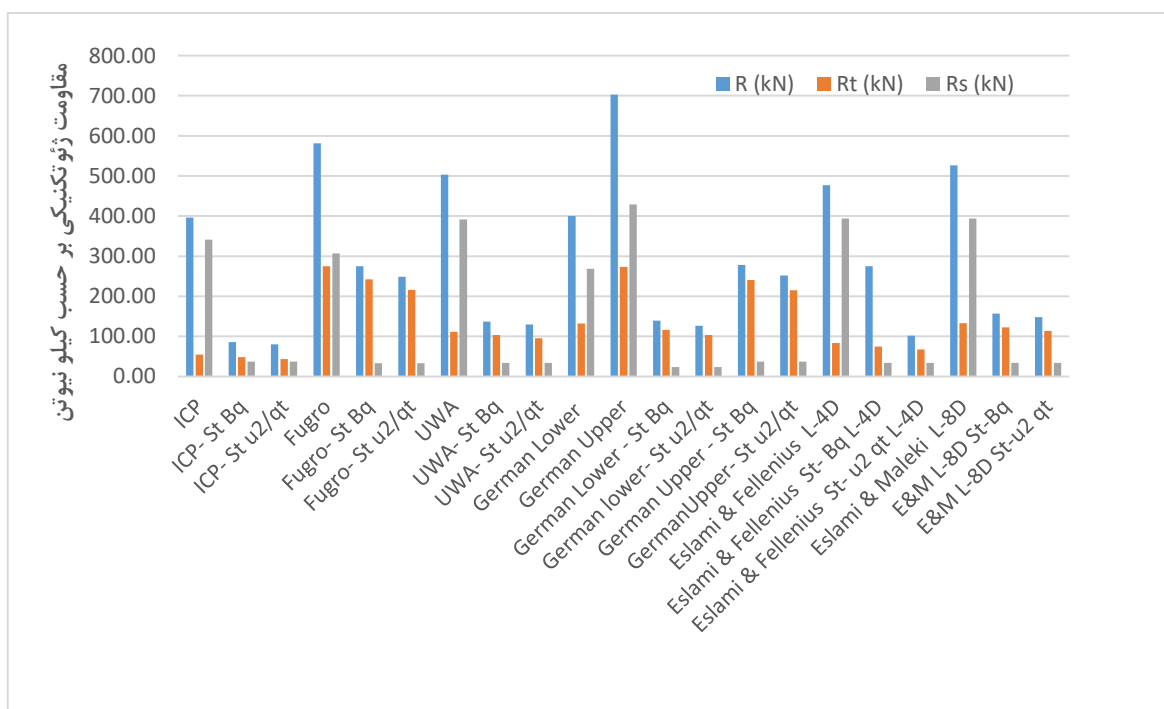
جدول ۵: مقاومت ژئوتکنیکی شمع (بطول ۱۰ متر و قطر ۰.۴۰ متر) بدست آمده برای سایت تایوان ۱۱

| METHOD                            | R (kN)  | Rt (kN) | Rs (kN) |
|-----------------------------------|---------|---------|---------|
| ICP                               | 928/19  | 587/16  | 341/03  |
| ICP- St Bq                        | 604/79  | 567/78  | 37/02   |
| ICP- St u2/qt                     | 582/72  | 545/71  | 37/02   |
| Fugro                             | 1128/78 | 821/84  | 306/94  |
| Fugro- St Bq                      | 849/88  | 817/93  | 31/95   |
| Fugro- St u2/qt                   | 795/78  | 763/83  | 31/95   |
| UWA                               | 832/01  | 440/24  | 391/77  |
| UWA- St Bq                        | 474/23  | 433/44  | 40/78   |
| UWA- St u2/qt                     | 451/09  | 410/30  | 40/78   |
| German Lower                      | 691/68  | 423/41  | 268/27  |
| German Upper                      | 1060/52 | 631/25  | 429/27  |
| German Lower - St Bq              | 449/32  | 421/39  | 27/93   |
| German lower- St u2/qt            | 421/45  | 393/52  | 27/93   |
| German Upper - St Bq              | 672/93  | 628/25  | 44/69   |
| GermanUpper- St u2/qt             | 631/38  | 586/69  | 44/69   |
| Eslami & Fellenius L-4D           | 2162/27 | 616/27  | 1546/00 |
| Eslami & Fellenius St- Bq L-4D    | 849.88  | 611/18  | 161/24  |
| Eslami & Fellenius St- u2 qt L-4D | 726/20  | 564/96  | 161/24  |
| Eslami & Maleki L-8D              | 2284/93 | 738/70  | 1546/22 |
| E&M L-8D St-Bq                    | 888/51  | 727/30  | 161/21  |
| E&M L-8D St-u2 qt                 | 849/68  | 688/47  | 161/21  |

بعنوان نمونه در جدول ۵ ستون اول، روش محاسبه ظرفیت باربری شمع در ستون دوم، مقادیر مقاومت کل  $R$  ستون سوم، مقادیر مقاومت نوک  $R_t$  و ستون چهارم، مقادیر مقاومت جداری  $R_s$  ارائه شده است. برای هر روش بعنوان مثال در روش ICP، در سطر اول محاسبه ظرفیت باربری ژئوتکنیکی براساس روش ICP و در سطر دوم محاسبه ظرفیت باربری ژئوتکنیکی براساس روش پیشنهادی این پژوهش و لحاظ نمودن اثر کاهنده حساسیت خاک  $S_f$  و ضریب  $(1-B_q)$ ، در سطر سوم محاسبه ظرفیت باربری ژئوتکنیکی براساس روش پیشنهادی این پژوهش و لحاظ نمودن اثر کاهنده حساسیت خاک  $S_f$  و ضریب کاهنده  $(1-u_2/q_t)$  (تاثیر تغییرات فشار آب منفذی  $\Delta u$ ) ارائه شده است

در روش ICP مقاومت کل، مقاومت نوک و مقاومت جداری به ترتیب 391.30KN، 341.03KN، 55.09 KN محاسبه شده است حال آنکه مقاومت کل، مقاومت نوک و مقاومت جداری براساس روش پیشنهادی این پژوهش و لحاظ نمودن اثر کاهنده حساسیت خاک  $S_f$  و ضریب کاهنده  $(1-B_q)$  به ترتیب 85.53KN، 48.51 KN، 37.02KN محاسبه گردیده است. همچنین این مقادیر براساس روش پیشنهادی این پژوهش با لحاظ نمودن اثر کاهنده حساسیت خاک  $S_f$  و ضریب کاهنده  $(1-u_2/q_t)$  به ترتیب 80.26KN، 43.25KN، 37.02 KN محاسبه گردیده است. مطابق این پژوهش، تاثیر لحاظ نمودن اثر کاهنده حساسیت خاک  $S_f$  و ضرایب کاهنده  $(1-B_q)$  و  $(1-u_2/q_t)$  قابل توجه است لذا لازم است در محاسبات ظرفیت باربری ژئوتکنیکی شمع ها منظور گردد.

در ادامه به محاسبه ظرفیت باربری شمع در ۱۸ سایت مختلف از سراسر جهان که داده های آزمایش نفوذ مخروط  $CPTu$ ،  $CPT$  آنها جمع آوری شده پرداخته و برای هر سایت میزان کاهش ظرفیت باربری ژئوتکنیکی شمع تحت عناوین  $DELTA1$ ،  $DELTA2$ ،  $DELTA3$ ،  $DELTA4$ ،  $DELTA5$ ،  $DELTA6$  بشرح زیر تعریف شده اند.



شکل ۸: نمودار ستونی مقاومت ژئوتکنیکی بدست آمده از روش های معمول و روش پیشنهادی برای سایت تایوان ۱۱.

$$DELTA_1 = \frac{R_{(St-Bq)}}{R} \dots DELTA_2 = \frac{R_{(St-u_2/q_t)}}{R} \dots DELTA_3 = \frac{R_{t(St-Bq)}}{R_t} \quad (10)$$

$$DELTA_4 = \frac{R_{t(S_t-u_2/q_t)}}{R_t} \dots DELTA_5 = \frac{R_{s(S_t-B_q)}}{R_s} \dots DELTA_6 = \frac{R_{s(S_t-u_2/q_t)}}{R_s} \quad (11)$$

$$R = R_t + R_s \quad (12)$$

که در آن:

$R$  - مقاومت کل شمع به روش متداول

$R_{(S_t-B_q)}$  - مقاومت کل شمع به روش پیشنهادی این پژوهش با احتساب ضرایب  $S_t$  و  $(1-B_q)$  بر حسب KN

$R_{(S_t-u_2/q_t)}$  - مقاومت کل شمع به روش پیشنهادی این پژوهش با احتساب ضرایب  $S_t$  و  $(1-u_2/q_t)$  بر حسب KN

$R_{t(S_t-B_q)}$  - مقاومت انتهایی شمع به روش پیشنهادی این پژوهش با احتساب ضرایب  $S_t$  و  $(1-B_q)$  بر حسب KN

$R_{t(S_t-u_2/q_t)}$  - مقاومت انتهایی شمع به روش پیشنهادی این پژوهش با احتساب ضرایب  $S_t$  و  $(1-u_2/q_t)$  بر حسب KN

$R_{s(S_t-B_q)}$  - مقاومت جداری شمع به روش پیشنهادی این پژوهش با احتساب ضرایب  $S_t$  و  $(1-B_q)$  بر حسب KN

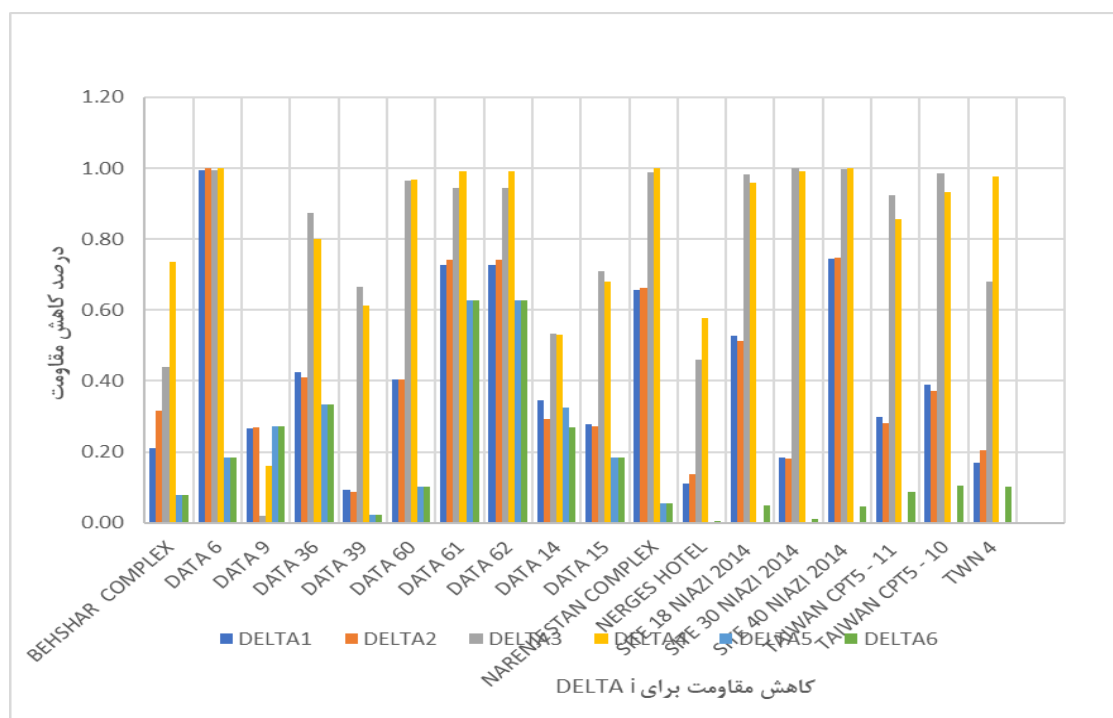
$R_{s(S_t-u_2/q_t)}$  - مقاومت جداری شمع به روش پیشنهادی این پژوهش با احتساب ضرایب  $S_t$  و  $(1-u_2/q_t)$  بر حسب KN

حال نمونه ای از محاسبات انجام شده برای ۱۸ سایت فوق با لحاظ نمودن اثر کاهش حساسیت خاک  $S_t$  و ضرایب

کاهنده  $(1-B_q)$  و  $(1-u_2/q_t)$  ارائه می گردد که بوضوح تاثیر تغییرات فشار آب منفذی  $\Delta u$  را نشان می دهد.

جدول ۶: نسبت کاهش مقاومت ژئوتکنیکی بدست از روش پیشنهادی سایت های مختلف برای شمع بطول ۱۰ متر و قطر ۰.۴۰ متر

| SITE                | DELTA1 | DELTA2 | DELTA3 | DELTA4 | DELTA5 | DELTA6 |
|---------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| BEHSHAR COMPLEX     | 0/21   | 0/32   | 0/44   | 0/74   | 0/08   | 0/08   |
| DATA 6              | 0/99   | 1/00   | 0/99   | 1/00   | 0/18   | 0/18   |
| DATA 9              | 0/27   | 0/27   | 0/02   | 0/16   | 0/27   | 0/27   |
| DATA 36             | 0/42   | 0/41   | 0/87   | 0/80   | 0/33   | 0/33   |
| DATA 39             | 0/09   | 0/09   | 0/66   | 0/61   | 0/02   | 0/02   |
| DATA 60             | 0/40   | 0/40   | 0/97   | 0/97   | 0/10   | 0/10   |
| DATA 61             | 0/73   | 0/74   | 0/94   | 0/99   | 0/63   | 0/63   |
| DATA 62             | 0/73   | 0/74   | 0/94   | 0/99   | 0/63   | 0/63   |
| DATA 14             | 0/34   | 0/29   | 0/53   | 0/53   | 0/33   | 0/27   |
| DATA 15             | 0/28   | 0/27   | 0/71   | 0/68   | 0/18   | 0/18   |
| NARENJESTAN COMPLEX | 0/66   | 0/66   | 0/99   | 1/00   | 0/05   | 0/05   |
| NERGES HOTEL        | 0/11   | 0/14   | 0/46   | 0/58   | 0/01   | 0/01   |
| SITE 18 NIAZI 2014  | 0/53   | 0/51   | 0/98   | 0/96   | 0/05   | 0/05   |
| SITE 30 NIAZI 2014  | 0/18   | 0/18   | 1/00   | 0/99   | 0/01   | 0/01   |
| SITE 40 NIAZI 2014  | 0/75   | 0/75   | 1/00   | 1/00   | 0/04   | 0/04   |
| TAIWAN CPT5 - 11    | 0/30   | 0/28   | 0/92   | 0/86   | 0/09   | 0/09   |
| TAIWAN CPT5 - 10    | 0/39   | 0/37   | 0/98   | 0/93   | 0/10   | 0/10   |
| TWN 4               | 0/17   | 0/20   | 0/68   | 0/98   | 0/10   | 0/10   |
| Average             | 0/42   | 0/42   | 0/78   | 0/82   | 0/18   | 0/18   |



شکل ۹: نمودار درصد کاهش مقاومت ژئوتکنیکی برای سایت های مختلف به روش پیشنهادی برای شمع بطول ۱۰ متر و قطر ۰.۴۰ متر.

جدول ۷: کاهش مقاومت ژئوتکنیکی بدست آمده از روش پیشنهادی برای سایت های مختلف برای شمع بطول ۱۰ متر و قطر ۰.۴ متر

| SITE                | METHOD               | R (kN)  | DELTA1 | DELTA2 | Rt (kN) | DELTA3 | DELTA4 | Rs (kN) | DELTA5 | DELTA6 |
|---------------------|----------------------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|
| BEHSHAR COMPLEX     | Eslami & Maleki L-8D | 569/37  |        |        | 206/76  |        |        | 362/61  |        |        |
|                     | E&M L-8D St-Bq       | 119/17  | 0/21   |        | 91/01   | 0/44   |        | 28/16   | 0/08   |        |
|                     | E&M L-8D St-u2 qt    | 180/35  |        | 0/32   | 152/19  |        | 0/74   | 28/16   |        | 0/08   |
| DATA 6              | Eslami & Maleki L-8D | 2849/14 |        |        | 2849/14 |        |        | 2418/24 |        |        |
|                     | E&M L-8D St-Bq       | 2832/76 | 0/99   |        | 2832/76 | 0/99   |        | 446/76  | 0/18   |        |
|                     | E&M L-8D St-u2 qt    | 2848/96 |        | 1/00   | 2848/96 |        | 1/00   | 446/76  |        | 0/18   |
| DATA 9              | Eslami & Maleki L-8D | 309/98  |        |        | 7/19    |        |        | 302/79  |        |        |
|                     | E&M L-8D St-Bq       | 82/80   | 0/27   |        | 0/15    | 0/02   |        | 82/65   | 0/27   |        |
|                     | E&M L-8D St-u2 qt    | 83/80   |        | 0/27   | 1/15    |        | 0/16   | 82/65   |        | 0/27   |
| DATA 36             | Eslami & Maleki L-8D | 396/95  |        |        | 65/37   |        |        | 331/57  |        |        |
|                     | E&M L-8D St-Bq       | 168/07  | 0/42   |        | 57/08   | 0/87   |        | 111/00  | 0/33   |        |
|                     | E&M L-8D St-u2 qt    | 163/25  |        | 0/41   | 52/26   |        | 0/80   | 111/00  |        | 0/33   |
| DATA 39             | Eslami & Maleki L-8D | 436/65  |        |        | 48/32   |        |        | 388/34  |        |        |
|                     | E&M L-8D St-Bq       | 41/03   | 0/09   |        | 32/08   | 0/66   |        | 8/95    | 0/02   |        |
|                     | E&M L-8D St-u2 qt    | 38/51   |        | 0/09   | 29/56   |        | 0/61   | 8/95    |        | 0/02   |
| DATA 60             | Eslami & Maleki L-8D | 778/12  |        |        | 272/23  |        |        | 505/89  |        |        |
|                     | E&M L-8D St-Bq       | 314/00  | 0/40   |        | 262/95  | 0/97   |        | 51/06   | 0/10   |        |
|                     | E&M L-8D St-u2 qt    | 314/76  |        | 0/40   | 263/70  |        | 0/97   | 51/06   |        | 0/10   |
| DATA 61             | Eslami & Maleki L-8D | 1231/41 |        |        | 381/33  |        |        | 850/08  |        |        |
|                     | E&M L-8D St-Bq       | 894/44  | 0/73   |        | 360/12  | 0/94   |        | 534/33  | 0/63   |        |
|                     | E&M L-8D St-u2 qt    | 912/57  |        | 0/74   | 378/24  |        | 0/99   | 534/33  |        | 0/63   |
| DATA 62             | Eslami & Maleki L-8D | 1231/41 |        |        | 381/33  |        |        | 850/08  |        |        |
|                     | E&M L-8D St-Bq       | 894/44  | 0/73   |        | 360/12  | 0/94   |        | 534/33  | 0/63   |        |
|                     | E&M L-8D St-u2 qt    | 912/57  |        | 0/74   | 378/24  |        | 0/99   | 534/33  |        | 0/63   |
| DATA 14             | Eslami & Maleki L-8D | 250/53  |        |        | 22/31   |        |        | 228/22  |        |        |
|                     | E&M L-8D St-Bq       | 86/16   | 0/34   |        | 11/91   | 0/53   |        | 74/26   | 0/33   |        |
|                     | E&M L-8D St-u2 qt    | 73/49   |        | 0/29   | 11/82   |        | 0/53   | 61/67   |        | 0/27   |
| DATA 15             | Eslami & Maleki L-8D | 388/67  |        |        | 70/35   |        |        | 318/32  |        |        |
|                     | E&M L-8D St-Bq       | 108/22  | 0/28   |        | 49/91   | 0/71   |        | 58/31   | 0/18   |        |
|                     | E&M L-8D St-u2 qt    | 106/14  |        | 0/27   | 47/83   |        | 0/68   | 58/31   |        | 0/18   |
| NARENJESTAN COMPLEX | Eslami & Maleki L-8D | 2129/86 |        |        | 1369/09 |        |        | 760/77  |        |        |
|                     | E&M L-8D St-Bq       | 1395/25 | 0/66   |        | 1354/12 | 0/99   |        | 41/13   | 0/05   |        |
|                     | E&M L-8D St-u2 qt    | 1408/74 |        | 0/66   | 1367/61 |        | 1/00   | 41/13   |        | 0/05   |
| NERGES HOTEL        | Eslami & Maleki L-8D | 311/23  |        |        | 71/93   |        |        | 239/30  |        |        |
|                     | E&M L-8D St-Bq       | 34/53   | 0/11   |        | 33/08   | 0/46   |        | 1/44    | 0/01   |        |
|                     | E&M L-8D St-u2 qt    | 43/00   |        | 0/14   | 41/56   |        | 0/58   | 1/44    |        | 0/01   |
| SITE 18 NIAZI 2014  | Eslami & Maleki L-8D | 759/04  |        |        | 387/78  |        |        | 371/26  |        |        |
|                     | E&M L-8D St-Bq       | 399/14  | 0/53   |        | 380/81  | 0/98   |        | 18/33   | 0/05   |        |
|                     | E&M L-8D St-u2 qt    | 389/77  |        | 0/51   | 371/43  |        | 0/96   | 18/33   |        | 0/05   |
| SITE 30 NIAZI 2014  | Eslami & Maleki L-8D | 9421/54 |        |        | 1638/60 |        |        | 7782/94 |        |        |
|                     | E&M L-8D St-Bq       | 1728/64 | 0/18   |        | 1636/60 | 1/00   |        | 92/04   | 0/01   |        |
|                     | E&M L-8D St-u2 qt    | 1717/36 |        | 0/18   | 1625/32 |        | 0/99   | 92/04   |        | 0/01   |
| SITE 40 NIAZI 2014  | Eslami & Maleki L-8D | 2892/48 |        |        | 2130/56 |        |        | 761/92  |        |        |
|                     | E&M L-8D St-Bq       | 2155/75 | 0/75   |        | 2121/83 | 1/00   |        | 33/92   | 0/04   |        |
|                     | E&M L-8D St-u2 qt    | 2161/92 |        | 0/75   | 2128/00 |        | 1/00   | 33/92   |        | 0/04   |
| TAIWAN CPTS - 11    | Eslami & Maleki L-8D | 526/65  |        |        | 132/88  |        |        | 393/77  |        |        |
|                     | E&M L-8D St-Bq       | 157/09  | 0/30   |        | 122/85  | 0/92   |        | 34/24   | 0/09   |        |
|                     | E&M L-8D St-u2 qt    | 148/16  |        | 0/28   | 113/91  |        | 0/86   | 34/24   |        | 0/09   |
| TAIWAN CPTS - 10    | Eslami & Maleki L-8D | 2284/93 |        |        | 738/70  |        |        | 1546/22 |        |        |
|                     | E&M L-8D St-Bq       | 888/51  | 0/39   |        | 727/30  | 0/98   |        | 161/21  | 0/10   |        |
|                     | E&M L-8D St-u2 qt    | 849/68  |        | 0/37   | 688/47  |        | 0/93   | 161/21  |        | 0/10   |
| TWN 4               | Eslami & Maleki L-8D | 546/08  |        |        | 64/52   |        |        | 481/56  |        |        |
|                     | E&M L-8D St-Bq       | 92/74   | 0/17   |        | 43/94   | 0/68   |        | 48/80   | 0/10   |        |
|                     | E&M L-8D St-u2 qt    | 111/87  |        | 0/20   | 63/07   |        | 0/98   | 48/80   |        | 0/10   |

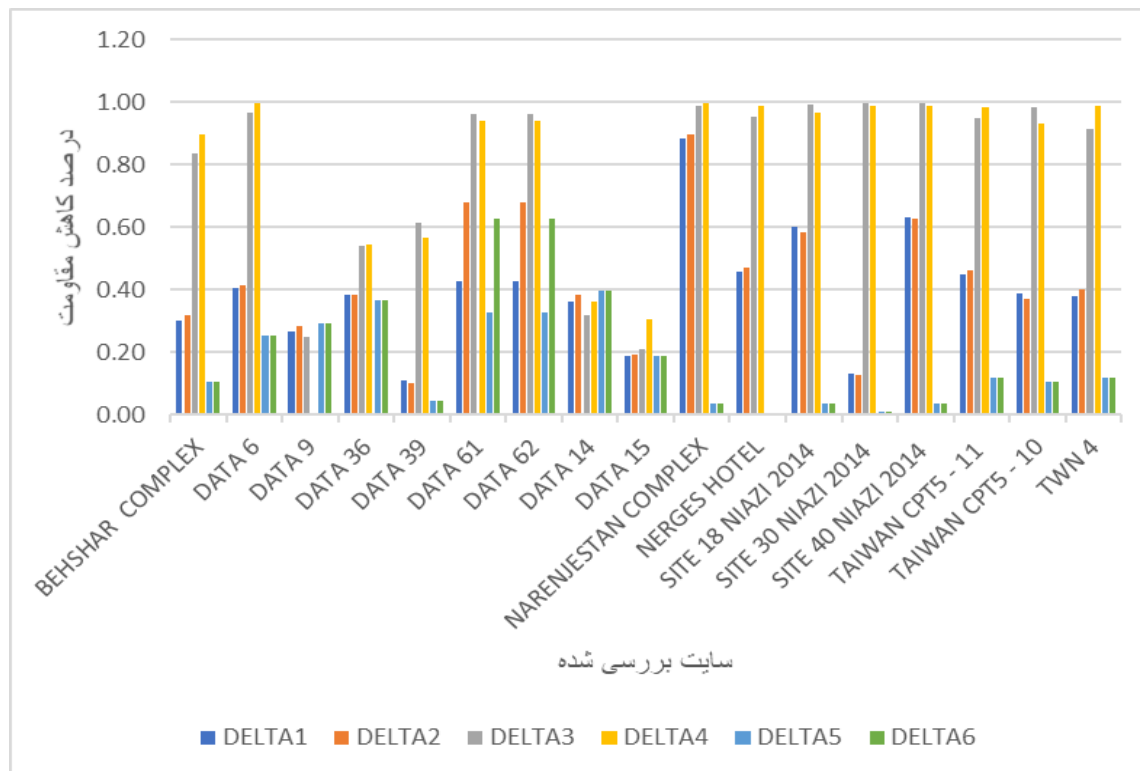
بطور مشابه برای سایت های فوق محاسبات برای شمع بطول ۲۰ متر و به قطر ۰.۵ متر انجام و جهت مقایسه آورده شده است.

جدول ۸: درصد کاهش مقاومت ژئوتکنیکی بدست آمده از روش پیشنهادی برای سایت های مختلف برای شمع بطول ۲۰ متر و قطر ۰.۵ متر

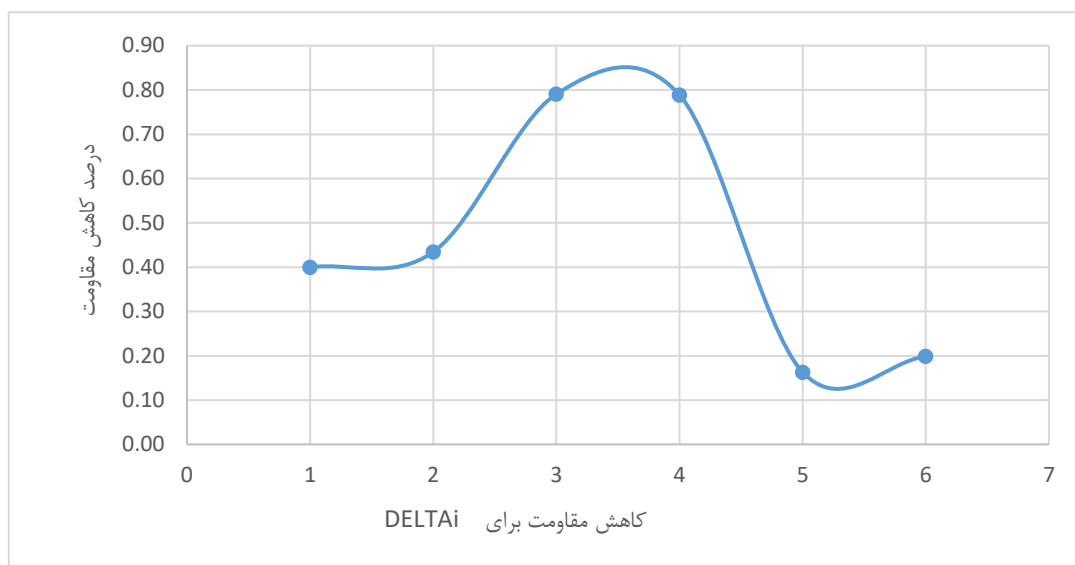
| SITE                | METHOD                  | R (kN)   | DELTA1 | DELTA2 | Rt (kN)  | DELTA3 | DELTA4 | Rs (kN)  | DELTA5 | DELTA6 |
|---------------------|-------------------------|----------|--------|--------|----------|--------|--------|----------|--------|--------|
| BEHSHAR COMPLEX     | Eslami & M L-8D         | 1288/28  |        |        | 343/24   |        |        | 945/04   |        |        |
|                     | E&M L-8D St-Bq          | 387/99   | 0/30   |        | 286/97   | 0/84   |        | 101/02   | 0/11   |        |
|                     | E&M L-8D St-u2 qt       | 409/44   |        | 0/32   | 308/42   |        | 0/90   | 101/02   |        | 0/11   |
| DATA 6              | Eslami & M L-8D         | 6969/43  |        |        | 1490/88  |        |        | 5478/55  |        |        |
|                     | E&M L-8D St-Bq          | 2831/39  | 0/41   |        | 1439/44  | 0/97   |        | 1391/95  | 0/25   |        |
|                     | E&M L-8D St-u2 qt       | 2882/08  |        | 0/41   | 1490/13  |        | 1/00   | 1391/95  |        | 0/25   |
| DATA 9              | Eslami & M L-8D         | 460/23   |        |        | 10/13    |        |        | 450/09   |        |        |
|                     | E&M L-8D St-Bq          | 123/61   | 0/27   |        | -7/31    | -0/72  |        | 130/92   | 0/29   |        |
|                     | E&M L-8D St-u2 qt       | 130/98   |        | 0/28   | 0/07     |        | 0/01   | 130/92   |        | 0/29   |
| DATA 36             | Eslami & M L-8D         | 811/34   |        |        | 93/55    |        |        | 717/79   |        |        |
|                     | E&M L-8D St-Bq          | 312/67   | 0/39   |        | 50/58    | 0/54   |        | 262/09   | 0/37   |        |
|                     | E&M L-8D St-u2 qt       | 313/26   |        | 0/39   | 51/18    |        | 0/55   | 262/09   |        | 0/37   |
| DATA 39             | Eslami & Fellenius L-8D | 908/89   |        |        | 104/28   |        |        | 804/61   |        |        |
|                     | E&F L-8D St-Bq          | 98/69    | 0/11   |        | 64/03    | 0/61   |        | 34/66    | 0/04   |        |
|                     | E&F L-8D St-u2 qt       | 93/83    |        | 0/10   | 59/17    |        | 0/57   | 34/66    |        | 0/04   |
| DATA 60             | Eslami & M L-8D         |          |        |        |          |        |        |          |        |        |
|                     | E&M L-8D St-Bq          |          |        |        |          |        |        |          |        |        |
|                     | E&M L-8D St-u2 qt       |          |        |        |          |        |        |          |        |        |
| DATA 61             | Eslami & M L-8D         | 1868/31  |        |        | 297/17   |        |        | 1571/14  |        |        |
|                     | E&M L-8D St-Bq          | 798/87   | 0/43   |        | 285/65   | 0/96   |        | 513/22   | 0/33   |        |
|                     | E&M L-8D St-u2 qt       | 1267/58  |        | 0/68   | 280/02   |        | 0/94   | 987/56   |        | 0/63   |
| DATA 62             | Eslami & M L-8D         | 1868/31  |        |        | 297/17   |        |        | 1571/14  |        |        |
|                     | E&M L-8D St-Bq          | 798/87   | 0/43   |        | 285/65   | 0/96   |        | 513/22   | 0/33   |        |
|                     | E&M L-8D St-u2 qt       | 1267/58  |        | 0/68   | 280/02   |        | 0/94   | 987/56   |        | 0/63   |
| DATA 14             | Eslami & M L-8D         | 957/89   |        |        | 438/18   |        |        | 519/71   |        |        |
|                     | E&M L-8D St-Bq          | 347/05   | 0/36   |        | 139/47   | 0/32   |        | 207/58   | 0/40   |        |
|                     | E&M L-8D St-u2 qt       | 366/37   |        | 0/38   | 158/78   |        | 0/36   | 207/58   |        | 0/40   |
| DATA 15             | Eslami & M L-8D         | 594/37   |        |        | 38/90    |        |        | 555/47   |        |        |
|                     | E&M L-8D St-Bq          | 112/11   | 0/19   |        | 8/14     | 0/21   |        | 103/97   | 0/19   |        |
|                     | E&M L-8D St-u2 qt       | 115/87   |        | 0/19   | 11/90    |        | 0/31   | 103/97   |        | 0/19   |
| NARENJESTAN COMPLEX | Eslami & M L-8D         | 19699/40 |        |        | 17569/72 |        |        | 2129/67  |        |        |
|                     | E&M L-8D St-Bq          | 17456/28 | 0/89   |        | 17374/87 | 0/99   |        | 81/41    | 0/04   |        |
|                     | E&M L-8D St-u2 qt       | 17637/06 |        | 0/90   | 17555/65 |        | 1/00   | 81/41    |        | 0/04   |
| NERGES HOTEL        | Eslami & Fellenius L-8D | 791/38   |        |        | 374/19   |        |        | 416/59   |        |        |
|                     | E&F L-8D St-Bq          | 361/24   | 0/46   |        | 358/19   | 0/96   |        | 3/04     | 0/01   |        |
|                     | E&F L-8D St-u2 qt       | 373/26   |        | 0/47   | 370/21   |        | 0/99   | 3/04     |        | 0/01   |
| SITE 18 NIAZI 2014  | Eslami & M L-8D         | 2071/59  |        |        | 1216/79  |        |        | 854/80   |        |        |
|                     | E&M L-8D St-Bq          | 1242/91  | 0/60   |        | 1210/71  | 1/00   |        | 32/20    | 0/04   |        |
|                     | E&M L-8D St-u2 qt       | 1208/22  |        | 0/58   | 1176/02  |        | 0/97   | 32/20    |        | 0/04   |
| SITE 30 NIAZI 2014  | Eslami & Fellenius L-8D | 28239/00 |        |        | 3408/57  |        |        | 24830/43 |        |        |
|                     | E&F L-8D St-Bq          | 3679/58  | 0/13   |        | 3401/98  | 1/00   |        | 277/59   | 0/01   |        |
|                     | E&F L-8D St-u2 qt       | 3650/76  |        | 0/13   | 3373/16  |        | 0/99   | 277/59   |        | 0/01   |
| SITE 40 NIAZI 2014  | Eslami & M L-8D         | 7546/54  |        |        | 4692/47  |        |        | 2854/07  |        |        |
|                     | E&M L-8D St-Bq          | 4776/03  | 0/63   |        | 4675/31  | 1/00   |        | 100/72   | 0/04   |        |
|                     | E&M L-8D St-u2 qt       | 4731/16  |        | 0/63   | 4630/43  |        | 0/99   | 100/72   |        | 0/04   |
| TAIWAN CPT5 - 11    | Eslami & M L-8D         | 2864/96  |        |        | 1131/90  |        |        | 1733/06  |        |        |
|                     | E&M L-8D St-Bq          | 1284/34  | 0/45   |        | 1075/21  | 0/95   |        | 209/13   | 0/12   |        |
|                     | E&M L-8D St-u2 qt       | 1321/57  |        | 0/46   | 1112/44  |        | 0/98   | 209/13   |        | 0/12   |
| TAIWAN CPT5 - 10    | Eslami & M L-8D         | 2284/93  |        |        | 738/70   |        |        | 1546/22  |        |        |
|                     | E&M L-8D St-Bq          | 888/51   | 0/39   |        | 727/30   | 0/98   |        | 161/21   | 0/10   |        |
|                     | E&M L-8D St-u2 qt       | 849/68   |        | 0/37   | 688/47   |        | 0/93   | 161/21   |        | 0/10   |
| TWN 4               | Eslami & M L-8D         | 2157/58  |        |        | 706/03   |        |        | 1451/55  |        |        |
|                     | E&M L-8D St-Bq          | 819/15   | 0/38   |        | 646/24   | 0/92   |        | 172/92   | 0/12   |        |
|                     | E&M L-8D St-u2 qt       | 870/19   |        | 0/40   | 697/27   |        | 0/99   | 172/92   |        | 0/12   |

جدول ۹: کاهش مقاومت ژئوتکنیکی بدست از روش پیشنهادی برای شمع بطول ۲۰ متر و قطر ۰.۵۰ متر

| SITE                | DELTA1 | DELTA2 | DELTA3 | DELTA4 | DELTA5 | DELTA6 |
|---------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| BEHSHAR COMPLEX     | 0/30   | 0/32   | 0/84   | 0/90   | 0/11   | 0/11   |
| DATA 6              | 0/41   | 0/41   | 0/97   | 1/00   | 0/25   | 0/25   |
| DATA 9              | 0/27   | 0/28   | -0/72  | 0/01   | 0/29   | 0/29   |
| DATA 36             | 0/39   | 0/39   | 0/54   | 0/55   | 0/37   | 0/37   |
| DATA 39             | 0/11   | 0/10   | 0/61   | 0/57   | 0/04   | 0/04   |
| DATA 61             | 0/43   | 0/68   | 0/96   | 0/94   | 0/33   | 0/63   |
| DATA 62             | 0/43   | 0/68   | 0/96   | 0/94   | 0/33   | 0/63   |
| DATA 14             | 0/36   | 0/38   | 0/32   | 0/36   | 0/40   | 0/40   |
| DATA 15             | 0/19   | 0/19   | 0/21   | 0/31   | 0/19   | 0/19   |
| NARENJESTAN COMPLEX | 0/89   | 0/90   | 0/99   | 1/00   | 0/04   | 0/04   |
| NERGES HOTEL        | 0/46   | 0/47   | 0/96   | 0/99   | 0/01   | 0/01   |
| SITE 18 NIAZI 2014  | 0/60   | 0/58   | 1/00   | 0/97   | 0/04   | 0/04   |
| SITE 30 NIAZI 2014  | 0/13   | 0/13   | 1/00   | 0/99   | 0/01   | 0/01   |
| SITE 40 NIAZI 2014  | 0/63   | 0/63   | 1/00   | 0/99   | 0/04   | 0/04   |
| TAIWAN CPT5 - 11    | 0/45   | 0/46   | 0/95   | 0/98   | 0/12   | 0/12   |
| TAIWAN CPT5 - 10    | 0/39   | 0/37   | 0/98   | 0/93   | 0/10   | 0/10   |
| TWN 4               | 0/38   | 0/40   | 0/92   | 0/99   | 0/12   | 0/12   |



شکل ۱۰: نمودار درصد کاهش مقاومت روش پیشنهادی برای سایت های مختلف برای شمع بطول ۲۰ متر و قطر ۰.۵۰ متر.



شکل ۱۱: متوسط درصد کاهش مقاومت روش پیشنهادی برای سایت های مختلف برای شمع بطول ۲۰ متر و قطر ۰.۵۰ متر.

## ۵- نتیجه گیری

۱- در این پژوهش از نتایج داده های آزمایش نفوذ مخروط به منظور پیش بینی پتانسیل روانگرایی و تعیین ظرفیت باربری ژئوتکنیکی شمع استفاده شده است. از مزایای این روش می توان به تولید رکوردهای پیوسته و دقیق، کاربرد ساده و سریع، جنبه های اقتصادی و کاهش تاثیر اپراتور اشاره کرد.

۲- روش سید - دی آلبا بدلیل استفاده از همبستگی بین نتایج آزمایش نفوذ استاندارد SPT و CPT نسبت سایر روش ها دارای دقت کمتری در پیش بینی پتانسیل روانگرایی می باشد

۳- روش ادریس - بولنزه ۹۳٪ تطابق با موارد اجرایی مورد مطالعه شده را دارد از نظر دقت پیش بینی روانگرایی روش های تشریح شده در این پژوهش و مقایسه آن با مشاهدات عینی ثبت شده از زلزله های اخیر، به ترتیب روشهای ادریس - بولنزه، رابرتسون- رایید اصلاح شده، سید - دی آلبا، رابرتسون - کمپنلا، استارک - اولسن و در خاتمه روش اولسن قرار می گیرند.

۴- مهمترین تاثیر روانگرایی بر خاک های روانگرا و مسئله دار، افزایش فشار آب حفره ای ( $\Delta u$ ) و کاهش ظرفیت باربری است در این پژوهش تاثیر تغییرات ( $\Delta u$ ) بر کاهش ظرفیت باربری شمع بررسی شده است. لذا با معرفی پارامترهای

مرتبط با تغییرات ( $\Delta u$ ) نظیر  $S_r$ ،  $(1 - B_q)$  و  $(1 - \frac{u_2}{q_t})$ ، و اعمال آنها بر ظرفیت باربری ژئوتکنیکی شمع ها، ابتدا برای هر

سایت ظرفیت باربری ژئوتکنیکی شمع با استفاده از روش هایی معمول محاسبه شده، سپس ظرفیت باربری ژئوتکنیکی شمع با روش پیشنهادی این تحقیق محاسبه و با ظرفیت باربری ژئوتکنیکی بدست آمده از روش های معمول مقایسه شده است. خلاصه نتایج بدست آمده از ۱۸ سایت مختلف بررسی شده در این پژوهش در خاک های حساس و مسئله دار و همچنین خاک های روانگرا بشرح زیر می باشد:

الف- نتایج حاصل بیانگر تاثیر زیاد ضریب کاهنده حساسیت خاک ( $S_r$ ) و  $(1 - B_q)$  بر روی مقاومت جداری شمع بوده، بطوریکه این کاهش در اکثر موارد تا ۸۰٪ (هشتاد درصد) رسیده است.

ب- در این خاک ها بطور مشابه وقتی که ضرایب کاهنده ( $S_t$ ) و  $(1 - \frac{u_2}{q_t})$  بر مقاومت انتهایی شمع اعمال می گردد این کاهش حداکثر ب حدوداً ۲۰٪ ( بیست در صد ) بوده و در برخی موارد نیز به کمتر از ۵٪ ( پنج درصد ) محدود می گردد.

پ- برای مقاومت کل (مجموع انتهایی و مقاومت جداری) اعمال ضرایب کاهنده ( $S_t$ ) و  $(1 - B_q)$  و  $(1 - \frac{u_2}{q_t})$  نسبت حالت معمول بین ۳۰٪ تا ۵۰٪ کاهش مقاومت را نشان می دهد. که نشان از تاثیر زیاد این ضرایب بر ظرفیت باربری ژئوتکنیکی شمع هاست لذا لازمست در طراحی شمع ها بویژه در خاک های حساس و مسئله دار و همچنین خاک های روانگرا مد نظر قرار گیرد.

#### مراجع:

- [1] Kramer, L. (1996). Geotechnical Earthquake Engineering, Prentice-Hall International Series In Civil Engineering And Engineering Mechanics William J. Hall, University of Washington.
- [2] Madabhushi, G, Knappett, J, Haigh, S, (2010). Design of Foundations in Liqueable Soils, Imperial Collage Press, London, England
- [3] Eslami, A, Moshfeghi, S. MolaAbasi, H. and Eslami, M. (2019). Piezcone and cone penetration Test (CPTu\_and\_CPT) Applications in Foundation Engineering, Elsevier, Netherland.
- [4] Seed, H.B., and De Alba, K. (1986). Use of SPT and CPT tests for evaluating the liquefaction resistance of sands. Proc., INSITU '86, ASCE Spec. Conf. on Use of In Situ Testing in Geotech. Engrg., Spec. Publ. No.6, ASCE, New York, N.Y.
- [5] Robertson, P.K., and Campanella, R.G. (1985). Liquefaction potential of sands using the CPT. J. Geotech. Engrg., ASCE, 111(3), 384-403.
- [6] Idriss, I.M., and Boulanger. R.W. (2008). Soil liquefaction during earthquakes. Earthquake Engineering Research Institute.
- [7] Robertson, P.K., and Wride, C.E. (1998). Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test. Can. Geotech. J. 35: 442-459, DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9410(1985)111:3(384).
- [8] Olsen, R. (1997). Cyclic liquefaction based on the cone penetrometer test. Proceedings of the NCEER Worakshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils. 225-276.
- [9] Li, Ping, et al. Study on sand liquefaction induced by Songyuan earthquake with a magnitude of M5. 7 in China.", Scientific Reports 12.1 (2022): 1-12.
- [10] PEER, (2000b) .Documentationofsoilconditionsatliquefactionsitesfrom1999 Chi-Chi, TaiwanEarthquake. ([http://peer.berkeley.edu/lifelines/research\\_projects/3A02/](http://peer.berkeley.edu/lifelines/research_projects/3A02/)) [accessed 14.3.14.].
- [11] PEER, (2000a) .Documentingincidentsofgroundfailureresultingfromthe August 17,1999,Kocaeli,TurkeyEarthquake. (<http://peer.berkeley.edu/publications/turkey/adapazari/>); [accessed14.3.14.].
- [12] Brett, W., Maurer, W., Russel, A., Green, O. D., and Taylor. S. (2015). Moving towards an improved index for assessing liquefaction hazard: Lessons from historical data. Soils and Foundations, 55(4):778-787.
- [13] Lee, Y.F., Chi, Y.Y., Lee, D.H, Juang, C.H., and Wu, J.H. (2007). Simplified models for assessing annual liquefaction probability—a case study of the Yuanlin area, Taiwan. Engineering Geology, 90(1-2), 71-88.
- [14] PEER. (2000). Documenting incidents of ground failure resulting from the Aug. 17, 1999, Kocaeli, Turkey earthquake. WWW.<http://peer.Berkeley.edu>.
- [15] Ku, C.S., Lee, D.H., and Wu, J.H. (2004). Evaluation of soil liquefaction in the Chi-Chi, Taiwan earthquake using CPT data. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 24, 659-673.
- [16] Sladen, J.A., and Hewitt, K.J. (1988). Influence of placement method on the in situ density of hydraulic sand

fills. Canadian Geotechnical Journal, 22:564–578.

[17] Timoshenko, S.P. and Gere, J.M., (1961) Theory of elastic stability, McGraw-Hill, New York.