Archive OF SID

سازمان بنادر و دریانوردی به عنوان تنها مرجع حاکمیتی کشور در امور بندری، دریایی و کشتی‌رانی بازرگانی به منظور ایفای نقش مرجعیت دانشی خود و در راستای تحقق راهبردهای کلان نقشه جامع علمی کشور مبنی بر "حمایت از توسعه شبکه‌های تحقیقاتی و تسهیل انتقال و انتشار دانش و سامان‌دهی علمی" از طریق "استانداردسازی و اصلاح فرایندهای تولید، ثبت، داوری و سنجش و ایجاد بانک‌های اطلاعاتی یکپارچه برای نشریات، اختراعات و اکتشافات پژوهشگران"، اقدام به ارایه این اثر در سایت SID می‌نماید.

سازمان بنادر و دریانوردی

مرکز بررسی اطلاعات علمی

ICOPMAS

www.SID.ir

Archive of SID

کاربرد آزمایش نفوذ مخروطی CPT در طراحی ژئوتکنیک سازه‌های فراساحل

مهندس رضا ضیائی مؤید - دکتر محمد حسن بازیار - دکتر بهنام محمود زادگان
دانشکده عمران دانشگاه علم و صنعت ایران

چکیده

امروزه آزمایشهای بر جا به سرعت به عنوان ابزاری بسیار مفید و کارا در تعیین پارامترهای مشخصه لایه‌های تحت الارض بستر دریا در طراحی‌های فراساحل به خصوص در عمقهای زیاد آب مطرح هستند. آزمایشهای برش پره‌ای (Vane)، پرسیومتر، نفوذ مخروطی (CPT) از متداولترین آزمایشهای برجا در مطالعات ژئوتکنیک فراساحل به شمار میروند.

دستگاه نفوذ مخروطی CPT (Cone Penetration Test) یکی از کاراترین دستگاههای آزمایشهای برجا (In Situ Testing) در مطالعات ژئوتکنیک می‌باشد. ثبت نتایج بصورت پیوسته در عمق بستر دریا، امکان ثبت فشار آب منفذی بصورت پیوسته، امکان تشخیص لایه‌های با ضخامت بیشتر از ۵ سانتیمتر از خاکهای روانگرا (لنزهای ماسه‌ای)، تکرارپذیر بودن نتایج آزمایش (Repeatability)، استاندارد بودن نحوه انجام آزمایش، کاهش دست خوردگی خاک و سرعت انجام آزمایش، از مهمترین ویژگیهای دستگاه CPT می‌باشد. در این مقاله سعی شده است که بطور مختصر به کاربری دستگاه CPT در طرحهای ژئوتکنیک فراساحل پرداخته شود.

مقدمه:

شناسایی دقیق ژئوتکنیکی لایه‌های خاک بستر دریا یکی از مهمترین مراحل طراحی سیستم شالوده سازه‌های فراساحل به شمار میرود. تعیین وضعیت لایه بندی نیمرخ زمین شناسی بستر دریا، مشخص کردن دانسیته نسبی رسوبات ماسه‌ای غیر متراکم کف دریا و اندازه گیری مقاومت برشی زهکشی نشده لایه‌های رسی و سیلتی، مواردی هستند که در مطالعات ژئوتکنیک بستر دریا از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند. استفاده از روشهای سنتی مطالعات ژئوتکنیک مانند عملیات نمونه برداری و انجام آزمایش در آزمایشگاه، در

www.SID.ir

Archive of SID

چنین مواردی از کارایی لازم برخوردار نمی‌باشند. مشکلات اجرایی عملیات نمونه گیری، دست خوردگی زیاد نمونه‌های اخذ شده، عدم توانایی در شبیه سازی شرایط موجود در محل با تمهیدات آزمایشگاهی، محققان و کارشناسان ژئوتکنیک را به سمت استفاده روز افزون از آزمایشهای برجا در مطالعات ژئوتکنیک دریایی سوق داده است. آزمایشهای برش پره‌ای (Vane)، پرسیومتر و نفوذ مخروطی CPT از متداولترین این آزمایشها به شمار می‌روند. در ادامه به بررسی نحوه کاربرد دستگاه نفوذ مخروطی CPT و استفاده از نتایج این آزمایش در تعیین مشخصات لایه‌های خاک بستر دریا خواهیم پرداخت.

تجهیزات مورد نیاز برای انجام آزمایش نفوذ مخروطی CPT در مطالعات ژئوتکنیک فراساحل:

دو روش اصلی برای انجام آزمایشهای برجا در مطالعات فراساحل وجود دارد. در روش اول (شکل 1a) تجهیزات اصلی حفاری در کشتی مستقر است و حفاری درون بستر دریا توسط میله حفاری مرتبط به کشتی انجام میشود. چهار جزء اصلی که در این روش به کار میروند عبارتند از کابل کششی (TENSIONER)، میله حفاری (DRILL STRING)، قاب تکیه گاهی (REACTION FRAME) و لنگر (ANCHOR). ترکیب اجزاء فوق، سیستم نفوذی مناسبی را ایجاد می‌کند. در روش دوم (شکل 1b) سکوی حفاری بر روی کف بستر دریا مستقر میشود و کل تجهیزات توسط یک کابل به کشتی مرتبط است.

- بررسی روش اول:

در این روش ساده‌ترین حالت، استفاده از سیستم حفاری متعادل نشده (Uncompensated Drill system) میباشد. در این حالت میله‌های حفاری متناسب با حرکت کشتی حرکت می‌کنند و متد حفاری به میزان دامنه نوسان عمودی کشتی، درون گمانه حفاری شده در بستر دریا بالا و پائین میرود. سادگی این روش باعث استفاده گسترده از آن در مطالعات ژئوتکنیک فراساحل شده است اما از این روش تنها در مواردی میتوان استفاده نمود که فرآیند حفاری احتیاج به کنترل عمودی دقیق نداشته باشد.

جهت انجام آزمایش نفوذ مخروطی CPT به روش اول در بستر دریا، یک سیستم حفاری متعادل شده (Stabilized Drill system) نیاز می‌باشد. تعادل مزبور شامل توقف حرکات عمودی میله‌های حفاری در انتهای گمانه و تامین یک نیروی عکس العملی جهت مقابله با نیروی فشاری محوری در حدود ۱۰ تن می‌باشد. لنگر میله حفاری، بخشی از تجهیزات است که جهت پایدار نمودن میله حفاری درون بستر دریا و جلوگیری از اعمال نیروهای فشاری رو به پائین به مته حفاری، تعبیه شده است. هنگامیکه تجهیزات مربوط به آزمایش بر جای مورد نظر در انتهای میله‌های حفاری نصب شده و به عمق مورد نظر درون بستر می‌رسد قبل از شروع آزمایش لازمست که سیستم نسبت به اعمال نیروهای اضافی ایزوله شود تا انجام آزمایش در شرایط کنترل شده حرکت عمودی انجام شود. برای این منظور از لنگر میله حفاری استفاده میشود مکانیسم عملکرد این وسیله بدین صورت است که در محلی بالاتر از تجهیزات آزمایش برجا (مطابق شکل 1a) بر روی میله حفاری نصب میشود. هنگامیکه سیستم به عمق مورد نظر رسید لنگر مورد بحث به مانند یک گره باز میشود و به

www.SID.ir

Archive of SID

دیواره گمانه حفاری شده می‌چسبد و بدین ترتیب مانع انتقال نیروهای اضافی به سمت پائین میشود. لنگر میله حفاری تیپ wison III تولید شده توسط شرکت فوگرو (Fugro) به عنوان یک نمونه در این زمینه مطرحست.

دو نوع قاب تکیه گاهی (REACTION FRAME) مستقر شده در بستر دریا، جهت پایداری بیشتر میله‌های حفاری به کار میروند. قاب نوع اول، لوله حفاری را درون بستر دریا مقید می‌کند اما قادر به اعمال نیروی فشاری رو به پائین جهت انجام عملیات حفاری نمی‌باشد و اگر به چنین نیرویی نیاز باشد باید توسط تجهیزات مربوط به آزمایشهای برجا تامین شود. نمونه‌ای از این نوع قاب تکیه گاهی توسط شرکت فوگرو تولید شده است. نوع دوم قاب تکیه گاهی، لوله حفاری را درون بستر دریا مقید میکند و همچنین مجهز به جکهایی می‌باشد که قادر به اعمال نیروی فشاری تا ۱۰ تن است. نمونه‌ای از این قاب تکیه گاهی توسط شرکت مک کلالند (Mc Clelland) تولید شده است.

- بررسی روش دوم:

در این روش سکوی حفاری بر روی بستر دریا مستقر میشود (شکل 1b) و توسط کابلهای ارتجاعی به کشتی متصل است. سیستم موجود قادر به اعمال نیروهای حفاری نمی‌باشد اما میتواند نیروی عکس العملی تا ۲۰ تن را بر بستر دریا اعمال کند. نمونه‌های ارائه شده توسط شرکت‌های فوگرو و مک کلالند (Fugro - Mc Clelland) از نوع سکوهای سنگین می‌باشند در صورتیکه نمونه‌های ارائه شده توسط شرکت‌های وودوارد - کلاید (Woodward - clyde) و دانشگاه لیهای (Lehigh University) از نوع سبکتر می‌باشند که جایگزینی و راه اندازی آنها در بستر دریا ساده‌تر است اما کاربرد آنها به حفاری‌های با عمق کم در حدود حداکثر ۱۰ متر در مصالح نرم محدود میشود.

انجام آزمایش نفوذ مخروطی CPT در هر دو روش اصلی انجام آزمایشهای برجای فراساحل (روش استفاده از میله‌های حفاری و روش استفاده از استقرار سکوی حفاری در بستر دریا) امکان پذیر است. برای آنکه بتوان از نتایج آزمایش نفوذ مخروطی CPT در طراحی‌های ژئوتکنیک فراساحل استفاده نمود باید نحوه انجام آزمایش بصورت استاندارد باشد تا نتایج بدست آمده از آزمایش از دقت و اعتبار کافی برخوردار باشند بدین منظور باید عملیات نفوذ نوک مخروطی درون لایه‌های بستر دریا بصورت استاندارد و با سرعت 2 cm/sec انجام شود لذا باید کنترل عمودی دقیق بر نفوذ میله حفاری اعمال گردد. از اینرو استفاده از دستگاه نفوذ مخروطی CPT در طراحی‌های فراساحل تنها به دو روش امکان پذیر است بدین مفهوم که یا باید از روش استقرار سکوی حفاری در بستر دریا استفاده شود و یا اینکه اگر از روش میله‌های حفاری استفاده می‌کنیم باید حتماً روش حفاری بصورت متعادل شده انجام شود. در شکل (۲) خلاصه‌ای از داده‌های موجود آزمایشهای نفوذ مخروطی مختلف در مطالعات فراساحل ذکر شده است.

در آزمایشات متعارف CPT در مطالعات ژئوتکنیک بستر دریا، در ابتدا حفاری به میزان ۱ متر در کف گمانه انجام میشود و سپس عملیات نفوذ آغاز میشود. در چنین شرایطی با توجه به عمق آب، انجام ۷-۳ متر حفاری در یک ساعت امکان پذیر است.

در صورتیکه از روش استقرار سکوی حفاری در بستر دریا استفاده شود، عملیات نفوذ تا زمانی انجام

www.SID.ir

Archive of SID

میشود که شرایط تعادل سکوی حفاری موجود بوده و ظرفیت نوک مخروطی و طول میله‌های حفاری جوابگو باشند. در شکل (۳) شمالی از نحوه کاربرد دستگاه CPT در مطالعات ژئوتکنیک بستر دریا ارائه شده است.

استفاده از نتایج آزمایش نفوذ مخروطی CPT در مطالعات ژئوتکنیک فراساحل:

با انجام آزمایش نفوذ مخروطی CPT، امکان ثبت پروفیل پیوسته مقاومت نوک مخروطی (q_c)، اصطکاک جانبی (F_s) و فشار آب حفره‌ای (U) در عمق بستر دریا را میسر می‌سازد. با استفاده از اطلاعات مزبور میتوان مشخصات ژئوتکنیکی لایه‌های بستر دریا را تعیین نمود. تعیین وضعیت لایه بندی بستر، دانسیته رسوبات ماسه‌ای، مقاومت برشی زهکشی نشده لایه‌های چسبنده، تشخیص لنزهای روانگرا، تعیین ظرفیت باربری نهایی شمعها و تشخیص لایه‌های افقی خاک با مقاومت پائین از مهمترین کاربردهای دستگاه CPT در مطالعات ژئوتکنیک فراساحل به شمار میروند که در ذیل به آنها خواهیم پرداخت.

- تعیین وضعیت لایه بندی بستر:

شناسایی وضعیت لایه بندی نیمرخ زمین شناسی بستر دریا مهمترین مرحله از مطالعات ژئوتکنیک به شمار میرود. مشکلات اجرایی اخذ نمونه در عمق بستر دریا و همچنین منقطع بودن عملیات نمونه گیری در عمق لایه‌های بستر محققان را به استفاده از آزمایشهای برجا در تعیین لایه بندی بستر دریا سوق داده است. با توجه به قابلیتهای ویژه دستگاه نفوذ مخروطی CPT نظیر ثبت پیوسته پارامترهای مقاومت نوک مخروطی، اصطکاک جانبی و فشار منفذی در عمق لایه‌ها، میتوان از آزمایش مزبور جهت شناسایی دقیق و سریع لایه بندی بستر، استفاده نمود. دیاگرامهای متعددی در این زمینه توسط محققان مختلف (Robertson 1990 - Dauglas and Olsen, 1981) ارائه شده است [10]. با اندازه گیری پارامترهای مقاومت نوک مخروطی، اصطکاک جانبی و فشار آب حفره‌ای (U) در حین نفوذ میتوان با استفاده از دیاگرامهای فوق الذکر طبقه بندی خاکها را انجام داد و بدین ترتیب لایه بندی خاک در بستر دریا مشخص میشود. در این روش امکان شناسایی لایه‌های با ضخامت بیشتر از 5 سانتیمتر وجود دارد در صورتیکه در روشهای سنتی چنین دقتی در تعیین لایه‌ها وجود ندارد زیرا انجام عملیات نمونه برداری بصورت منقطع در عمق انجام میشود.

- تعیین دانسیته رسوبات ماسه‌ای:

رفتار رسوبات ماسه‌ای غیر متراکم که بصورت هیدرولیکی در کف دریا انباشته شده‌اند به شدت تحت تاثیر میزان دانسیته نسبی آنها میباشد. اندازه گیری دانسیته اینگونه خاکها به روشهای متداول بسیار مشکل و غیر عملی است و همچنین از دقت کافی برخوردار نمی‌باشد. دستگاه نفوذ مخروطی CPT میتواند بعنوان ابزاری مفید در تعیین دانسیته خاکهای مزبور به کار رود با استفاده از پروفیل مقاومت نوک مخروطی ثبت شده در عمق خاک میتوان دانسیته نسبی (D) را تخمین زد در این راستا دیاگرامهای متعددی توسط محققان مختلف (Baldi, 1986 - Jamaiolkowski, 1985) ارائه شده است [10]. تعیین دانسیته نسبی از روی پروفیل مقاومت نوک مخروطی میتواند بعنوان تنها راه حل منطقی برای تعیین دانسیته نسبی در خاکهای ماسه‌ای

www.SID.ir

Archive of SID

بستر دریا مطرح باشد که این پارامتر خود بعنوان یک پارامتر کلیدی در مطالعات روانگرایی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

- تعیین مقاومت برشی زهکشی نشده لایه‌های چسبنده:

مهمترین پارامتر رفتاری خاکهای چسبنده در بستر دریا، مقاومت برشی زهکشی نشده (S_u) میباشد. روشهای مختلفی برای تعیین مقاومت برشی زهکشی نشده اینگونه خاکها وجود دارد. در روش سنتی از نتایج آزمایشهای سه محوری تحکیم نیافته - زهکشی نشده (UU) بر روی نمونه‌های دست نخورده استفاده میشودن اما بعلت مشکلاتی نظیر دست خوردگی نمونه و عدم شبیه سازی دقیق شرایط فشار منفذی و تنش سربار موجود در محل در آزمایشگاه، عملاً نتایج بدست آمده از آزمایشهای سه محوری UU در تعیین مقاومت برشی زهکشی نشده خاکهای چسبنده از دقت کافی برخوردار نمی‌باشند. نشان داده شده است که در بعضی موارد تا ۴۰ درصد کاهش مقاومت برشی در این روش مشاهده میشود(۵). در رسوبات گازدار، تعیین مقاومت برشی زهکشی نشده به روشهای سنتی نمونه گیری و انجام آزمایش سه محوری UU منجر به نتایج محافظه کارانه‌ای میشود. همچنین پراکندگی نتایج بدست آمده از این روش نیز زیاد می‌باشد. از اینرو امروزه علاقه بیشتر مهندسان و محققان ژئوتکنیک به استفاده از آزمایشهای برجا در تعیین مقاومت برشی زهکشی نشده در خاکهای چسبنده بخصوص در لایه‌های زیر بستر دریا می‌باشد. در این راستا متداولترین آزمایش برجای توصیه شده، آزمایش برش پره‌ای برجا (VST) می‌باشد. مقاومت برشی بدست آمده از آزمایشهای برش پره‌ای برجا از پراکندگی کمتری نسبت به مقاومت برشی بدست آمده از آزمایشهای سه محوری UU برخوردار است از اینرو امروزه آزمایش برش پره‌ای برجا در تعیین مقاومت برشی زهکشی نشده از اعتبار ویژه‌ای برخوردار است. محققان نشان داده‌اند که آزمایشهای سه محوری UU مقاومت برشی برابر $\frac{3}{4}$ مقدار بدست آمده از آزمایشهای برش پره‌ای برجا را ارائه می‌کنند (۹).

از نتایج آزمایش نفوذ مخروطی CPT نیز میتوان جهت تعیین مقاومت برشی زهکشی نشده خاکهای چسبنده استفاده نمود مزیت عمده استفاده از CPT نسبت به برش پره‌ای برجا امکان تعیین پروفیل پیوسته مقاومت برشی زهکشی نشده در عمق بستر میباشد بدین ترتیب شناسایی دقیق لایه‌های نازک با مقاومت ضعیف توسط نتایج آزمایش CPT میسر میباشد.

مقاومت برشی زهکشی نشده در خاکهای چسبنده را میتوان با استفاده از فرمول زیر از روی نتایج آزمایش CPT تعیین نمود(۱۰و۷و۳).

$$S_u = q_c / N_k \qquad (۱)$$

در رابطه مقاومت نوک مخروطی CPT است. یک ضریب میباشد که مقدار عددی آن بین ۲۰-۱۰ است و از روی مرتبط ساختن نتایج آزمایشگاهی و مطالعات صحرایی تعیین میشود. در خاکهای مختلف مقدار فرق میکند و عدد ثابتی نیست.

- تعیین ظرفیت باربری نهایی شمعها:

یکی از کاربردهای اساسی نتایج CPT در طراحیهای فراساحل، تعیین ظرفیت باربری نهایی شمعها می‌باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

در اینجا دو روش که در عمل مورد استفاده قرار می‌گیرند ذکر میشود. این دو روش عبارتند از روش رویتر و برینگن (Ruiter and Beringen Method) و روش اشمرتمن (Schmertmann Method).

- دستورالعمل توصیه شده توسط رویتر برینگن (۱۳) در شکل (۴) بصورت خلاصه ارائه شده است و بصورت جزئی تر در مراجع (۱۳ و ۱۰) بررسی شده است. از این روش در حالتیکه حداکثر اصطکاک جانبی 0.13 Mpa و حداکثر مقاومت نوک 16Mpa میباشد میتوان استفاده نمود.

روش اشمرتمن بصورت خلاصه در شکل (۵) ارائه شده است و بصورت جزئی‌تر در مراجع (۱۴و۳و ۱۰) ذکر شده است. امروزه این اعتقاد وجود دارد که در خاکهای چسبنده، ظرفیت باربری شمعها تحت بارگذاری سریع افزایش می‌یابد و با کاهش سرعت بارگذاری، کاهش می‌یابد. این مسئله در مورد شمعها در سازه‌های فراساحل نیز مطرح است. بدین مفهوم که در شمعهای اجرا شده در سازه‌های فراساحل اگر بار موج در چند ثانیه به شمع اعمال شود بارگذاری سریع است اما اگر بار موج در طی چندین ساعت اعمال شود بصورت بارگذاری آهسته مطرح میشود. مشکلی که در این حالت مطرح است استفاده از روشی میباشد که بتواند بصورت کمی میزان افزایش مقاومت خاک را در اثر بارگذاری سریع تعیین نماید. آزمایشهای برجا در این مورد میتوانند کمک شایانی انجام دهند. بدین منظور میتوان سرعت عملیات نفوذ در آزمایش نفوذ مخروطی CPT را به مقدار بیشتر از 2cm/sec افزایش دارد.

افزایش ظرفیت باربری تحت اثر افزایش سرعت بارگذاری، معمولاً بصورت درصدی از لگاریتم سرعت بارگذاری ارائه میشود. مقادیر ۱۵-۱۰ درصد افزایش باربری بطور متداول وجود دارد.

- تعیین منحنی‌های (بار - تغییر شکل) شمعها توسط نتایج آزمایش CPT:

پیش بینی منحنی (بار - تغییر شکل) برای یک شمع تحت بار قائم، با استفاده از دو تیپ منحنی انجام میشود که عبارتند از منحنی تغییرات اصطکاک بین شمع و خاک نسبت به تغییر مکان عمودی شمع (f-W) و منحنی تغییرات مقاومت نوک شمع نسبت به تغییرات عمودی شمع (q-W). دیاگرامهای مزبور در شکل (۶) ارائه شده است.

Gianeselli and Bustamante (۴و۳) روشی را برای بدست آوردن نیروی اصطکاک شمع (f) و مقاومت نوک شمع (q)، از روی مقاومت نوک اندازه گیری شده در آزمایش CPT (q_c) بصورت زیر ارائه نمودند:

$$q_{(pile)} = K_p * q_c \quad (۲)$$

$$f_{(pile)} = K_s * q_c \quad (۳)$$

$$f_{(pile)} < f_{lim} \quad (۴)$$

مقادیر K_p، K_s و f_{lim} ضرایبی هستند که بر اساس نوع خاک و نحوه اجرای شمع تعیین میشوند. روش مزبور بر اساس نتایج ۵۰ آزمایش بارگذاری شمع در ساحل ارائه شده است.

وربروگ (Verbrugge) [۴]، روشی را برای مدل کردن دیاگرامهای (f-W) و (q-W) با مدل الاستوپلاستیک ارائه نمود (شکل ۶). شیب قسمت خطی این دو منحنی از روی نتایج آزمایشهای بارگذاری در مقیاس واقعی بدست آمده است. این شیبها را میتوان با استفاده از روابط زیر تعیین نمود.

$$f/W = 0.11 \times E/R \quad (۵)$$

www.SID.ir

Archive of SID

$$q/W = 1.56 \times E/R \qquad (۶)$$

در روابط فوق، R شعاع شمع میباشد و E مدول ارتجاعی شمع است. برای شمعهایی که به روش درجا اجرا میشوند، پارامتر E بر حسب KPa را میتوان با استفاده از رابطه زیر بر حسب مقاومت نوک مخروطی CPT بر حسب KPa تعیین نمود.

$$E = 3200 + 2.2 \times q_c \qquad (۷)$$

برای شمعهایی که به روش کوبیدن اجرا میشوند مدول ارتجاعی E بدست آمده از معادله (۷) را باید در عدد ۳ ضرب نمود و سپس در معادلات ۵ و ۶ مورد استفاده قرار داد.

-ارزیابی پتانسیل روانگرایی لایه‌های موجود در بستر دریا توسط نتایج آزمایش CPT:

ارزیابی پتانسیل روانگرایی رسوبات ماسه‌ای تست اشباع در بستر دریا یکی از مهمترین مسائل ژئوتکنیک لرزه‌ای در طراحی‌های ژئوتکنیک فراساحل به شمار میرود. روشهای مختلف تئوریک شامل مدلهای ریاضی و عددی و روشهای تجربی حاصل از بررسی نتایج آزمایشگاهی و صحرایی جهت بررسی پدیده روانگرایی توسط محققان مختلف ارائه شده است. آزمایشهای برجا روش بسیار سریع و مؤثری جهت تعیین پتانسیل وقوع روانگرایی خاکها می‌باشند و از دقت بیشتری برخوردار هستند زیرا مشکلاتی نظیر دست خوردگی نمونه‌ها و اعمال شرایط ژئوتکنیکی خاک در محل در این روشها به حداقل رسیده است. امروزه دستگاه نفوذ مخروطی CPT بعنوان کاراترین آزمایش برجا جهت تعیین پتانسیل روانگرایی خاکها مطرح است. کاهش دست خوردگی خاک، امکان تشخیص لایه‌های با ضخامت کمتر از ۵ سانتیمتر از خاکهای روانگرا (لنزهای ماسه‌ای)، تکرار پذیر بودن نتایج آزمایش، امکان ثبت فشار آب منفذی، استاندارد بودن نحوه انجام آزمایش و سرعت انجام آزمایش از مهمترین ویژگیهای دستگاه CPT میباشد.

روشهای مختلفی جهت بررسی پتانسیل وقوع روانگرایی از روی نتایج آزمایش CPT توسط محققان مختلف ارائه شده است.

مهمترین این روشها عبارتند از:

۱- ارزیابی پتانسیل روانگرایی از روی نتایج CPT با استفاده از ارتباط نتایج آزمایشهای SPT-CPT ([11,12]).

۲- ارزیابی پتانسیل روانگرایی از روی نتایج CPT ثبت شده در محل با نتایج آزمایشهای سه محوری سیکلیک [17].

۳- ارزیابی پتانسیل روانگرایی از روی نتایج CPT محاسبه شده به روش تئوری انبساط حفره‌ای و نتایج آزمایشهای سه محوری سیکلیک [8].

۴- ارزیابی پتانسیل روانگرایی از روی موارد تاریخی ثبت شده CPT در سایتهای روانگرا (روش مستقیم) [15,16].

جدیدترین و معتبرترین روش جهت تعیین پتانسیل روانگرایی خاکها از روی نتایج CPT، روش مستقیم استفاده از موارد تاریخی ثبت شده CPT در نقاط روانگرا شده و نشده میباشد. در این روش با بررسی

www.SID.ir

Archive of SID

داده‌های ثبت شده CPT در ساتیهای روانگرا شده و نشده بدون استفاده از آزمایشهای سه محوری سیکلیک و یا استفاده از ارتباط نتایج آزمایشهای SPT-CPT، دیاگرامهایی جهت تعیین پتانسیل روانگرایی خاکها ارائه میشود.

شیباتاوتپاراک (1988 و Shibata & Teparaksa) [15] و استارک و همکارانش (Stark et - al) [16] (1995، مطالعاتی را در این زمینه انجام دادند و نتایج کار خود را بصورت منحنی‌های مرزی روانگرایی در دیاگرام ($SSR - q_{c1}$) برای سه حالت خاکهای زیر ارائه نمودند. (شکل ۷).

۱- ماسه تمیز (Clean Sand) ← D_{50} (mm) < 2.0 , F.C. (%) < 5

۲- ماسه لای دار (Silty Sand) ← $0.1<D_{50}$ (mm)<0.25 , $5<$F.C (%)<35

۳- ماسه لای دار تا لای ماسه دار (Silty Sand to Sandy Silt):

D_{50} (mm) < 0.1 , F.C (%) > 35

اصول روش مزبور بصورت مبسوط در مرجع (۱) ارائه شده است.

نتیجه گیری:

آزمایشهای آزمایشگاهی و آزمایشهای برجا مکمل یکدیگر هستند. به علت وجود برخی محدودیتها در روشهای آزمایشگاهی بخصوص مسائل دست خوردگی در روشهای سنتی، امروزه استفاده از آزمایشهای برجا در مطالعات ژئوتکنیک به سرعت در حال توسعه می‌باشد. دستگاه نفوذ مخروطی CPT یکی از کاراترین آزمایشهای برجا بخصوص در مطالعات ژئوتکنیک فراساحل به شمار میرود. ثبت نتایج بصورت پیوسته در عمق بستر دریا، امکان ثبت فشار آب منفذی بصورت پیوسته، امکان تشخیص لایه‌های با ضخامت کمتر از ۵ سانتیمتر از خاکهای روانگرا (لنزهای ماسه‌ای)، تکرارپذیر بودن نتایج آزمایش استاندارد بودن نحوه انجام آزمایش و سرعت انجام آزمایش از مهمترین ویژگیهای این دستگاه می‌باشد در مقاله حاضر بطور خلاصه به کاربری دستگاه CPT در طراحیهای ژئوتکنیک فراساحل پرداخته شده است. روش استقرار دستگاه و نحوه انجام آزمایش در بستر دریا مطرح شده است و در بخش دیگر به نحوه استفاده از نتایج آزمایش نفوذ مخروطی CPT در طراحیهای ژئوتکنیک فراساحل نظیر تعیین وضعیت لایه بندی بستر دریا، تعیین دانسیته رسوبات ماسه‌ای تعیین مقاومت برشی زهکشی نشده لایه‌های چسبنده، تعیین ظرفیت باربری نهایی شمعها و ارزیابی پتانسیل روانگرایی لایه‌های موجود در بستر دریا اشاره شده است.

فهرست مراجع و منابع:

۱- ضیائی مؤید - رضا - (۱۳۷۴). «ارتباط نتایج آزمایشهای صحرایی SPT، CPT و تعیین پتانسیل روانگرایی از روی نتایج آزمایشهای CPT» پایان نامه کارشناسی ارشد - دانشکده عمران دانشگاه علم و صنعت ایران.

۲- ضیائی مؤید - رضا - (۱۳۷۴). «استفاده از نتایج آزمایش نفوذ مخروطی CPT در طراحیهای ژئوتکنیک»

www.SID.ir

Archive of SID

3- Briaud, J.L., Tucker, L., Coyle, H.M., "Pressuremeter, cone Penetrmeter and Foundation Design, "Texas A & M University short course Notes, April 1982.

4- Griaed, J.L., Meyer, B., "In Situ Tests and Their Application in Offshore Design, "Conference on Geotechnical Practice In Offshore Engineering 1982.

5- Denk, W.E., Dunlap, W.A., Bryant, W.R., Milberger, L.J., Whelan, T.J., "A Pressurized Core Barrel for Sampling Gas charged Marine Sediments, "Offshore Technology Conference, Vol.4, P. 43-52, 1981.

6- Dobry, R., Baziar, M., O'Rourke, T.D., Roth, B.L., and Youd, T.L. (1992). "chapter 4: Liquefaction and ground failure in the Imperial Valley, Southern California during the 1979,1981, and 1987 earthquakes". Case studies of Liquefaction and lifeline perfoemance during past earthquakes, Vol 2: United stated Case Studies, Tech. NCEER 92-00002, T.D.O'Rourke and M.Hamada

7- Marr, L.S., Endley, S.N., "Offshore Geotechnical Investigation Using Cone Penetrometer, "Offshore Technology Conference, Paper No, 4298 Houston, 1982.

8- Mitchell, J.K., and Tsegn, D.J. (1990), "Assessment of Liquefaction Potential by Cone Pentration resistance. "Proc, H.B. Seed Memorial Symp., Vol 2, Bitech Pubilshing, Vancouver, B.C., Canada

9- Quiros, G.W., Young, A.G., Pelletier, J.,chan, J.H.C., "Strength Interpretation in the Gulf of Mexico: State of the Art," Geotechnical Practice in offshore Engineering, ASCE specially Conference, Austin, April 1983.

10- Riaund, J.L., Miran, J., "The Cone Penetrometer Test", Publication No. FHWA-SA-91-043, Feb.1992.

11- Fobertson, P.K., Campanella, R.G., Wightman, A, (1983). "SPT-CPT Correlations."J.Geotech. Engrg. Vol 109 (11). 1449-1457

12- Robertson, P.K., Campanella, R.G. (1985). "Liqefaction potential of Sands Using the CPT. "J. Geotech. Engrg., ASCE, 111(3), 384-403.

13- Ruiter, J. de, Beringen, F.L., "Pile Foundations for Large North Sea Structures, "Marine Geotechnology, Vol 3, No.3, 1979.

14- Schmertmann, J.H., "Guidelines for Cone Penetration Test: Performance and Design,: U.S. Depertment of Transportation, Federal Highway Administrarion, Report FHWA-TS-78-209, July 1978.

www.SID.ir

Archive of SID

15- Shabata, T., and Teparaksa, W. (1988). "Evaluation of Liquefaction Potentials of soils using Cone Penetration tests. "Soils and Found., Tokyo, Japan, 28(2), 49-60.

16- Stark, T.D., and olson, M. (1995). "Liquefaction Resistance Using CPT and Field Case Histories. "J. Geotech Engrg ASCE, 127(12), 856-869.

17- Tokimatsu, K.J. (1988). "Penetration tests foe dynamic problems."

www.SID.ir

Archive of SID

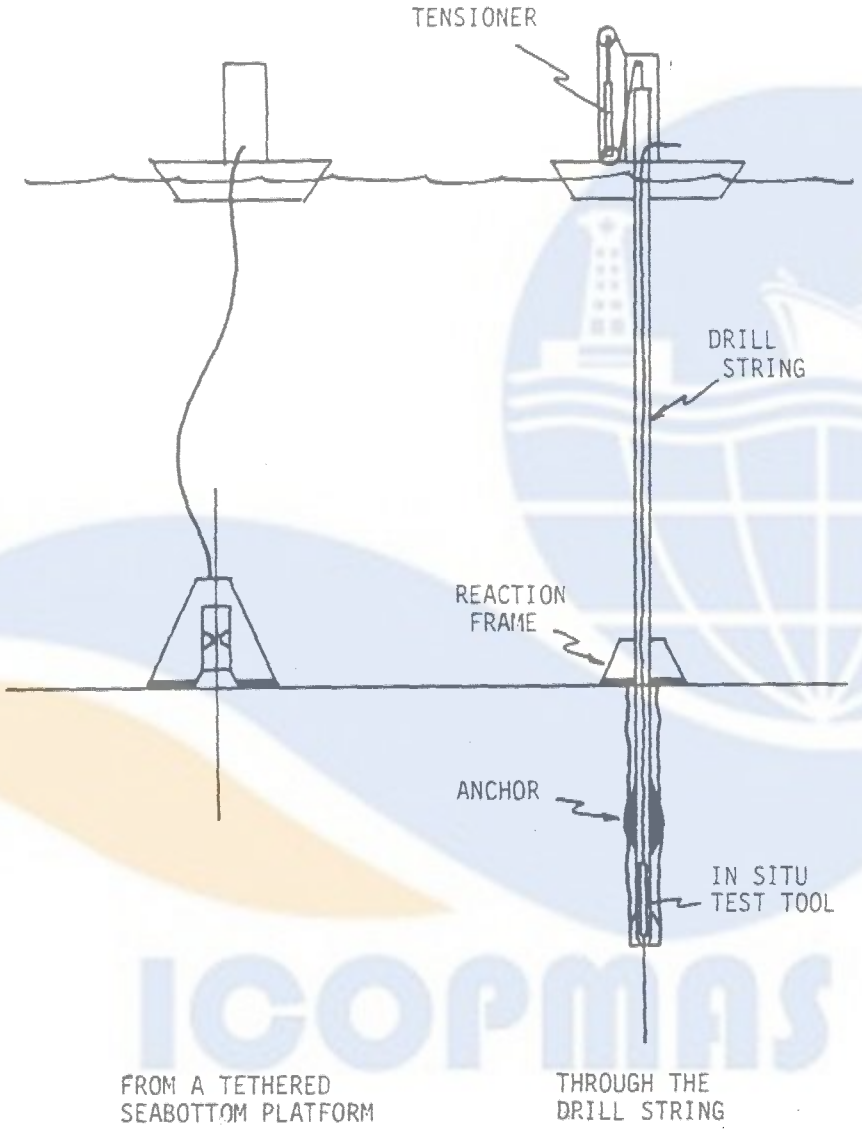


Figure 1 Systems to Place In Situ Testing Tools.

شکل ۱- سیستمهای متداول جایگذاری تجهیزات آزمایشهای برجا در مطالعات ژئوتکنیک فراساحل

www.SID.ir

Archive of SID

OFFSHORE DESIGN TESTS

Name	Years In Operation	Water Depth [ft] Design	Water Depth [ft] Actual	Depth Below Seafloor [ft] Design	Depth Below Seafloor [ft] Actual	Operational Method	Vessel Type
Stingray, Downhole QS-CPT	6	2500	1200	600+	600	SDS	Vessel with moonpool
Stingray, Shallow QS-CPT	4	2500	1200	100	100 [4]	TSP	Vessel with moonpool
Wison III w/Drill String Anchor	4	2100 [1]	1000	[1]	800	SDS	Any drilling vessel
Wison III w/Seaclam	2	2100	650	[1]	330	SDS	Vessel with moonpool
Swordfish	1.5	1800 [1]	100	[3]	300	SDS	Any drilling vessel
Seacalf	10	2100	740	100	100 [4]	TSP	Vessel with moonpool
MITS	4	1600	500	20	20	TSP	Any oceanographic or drilling vessel
XSP-40	1.5	200	100	20-40	38	TSP	Any oceanographic or drilling vessel

NOTES: [1] Combined water depth and penetration is dependent on umbilical length.

[2] SDS - Stabilized Drill String
TSP - Tethered Seabottom Platform

[3] Dependent on drilling capability.

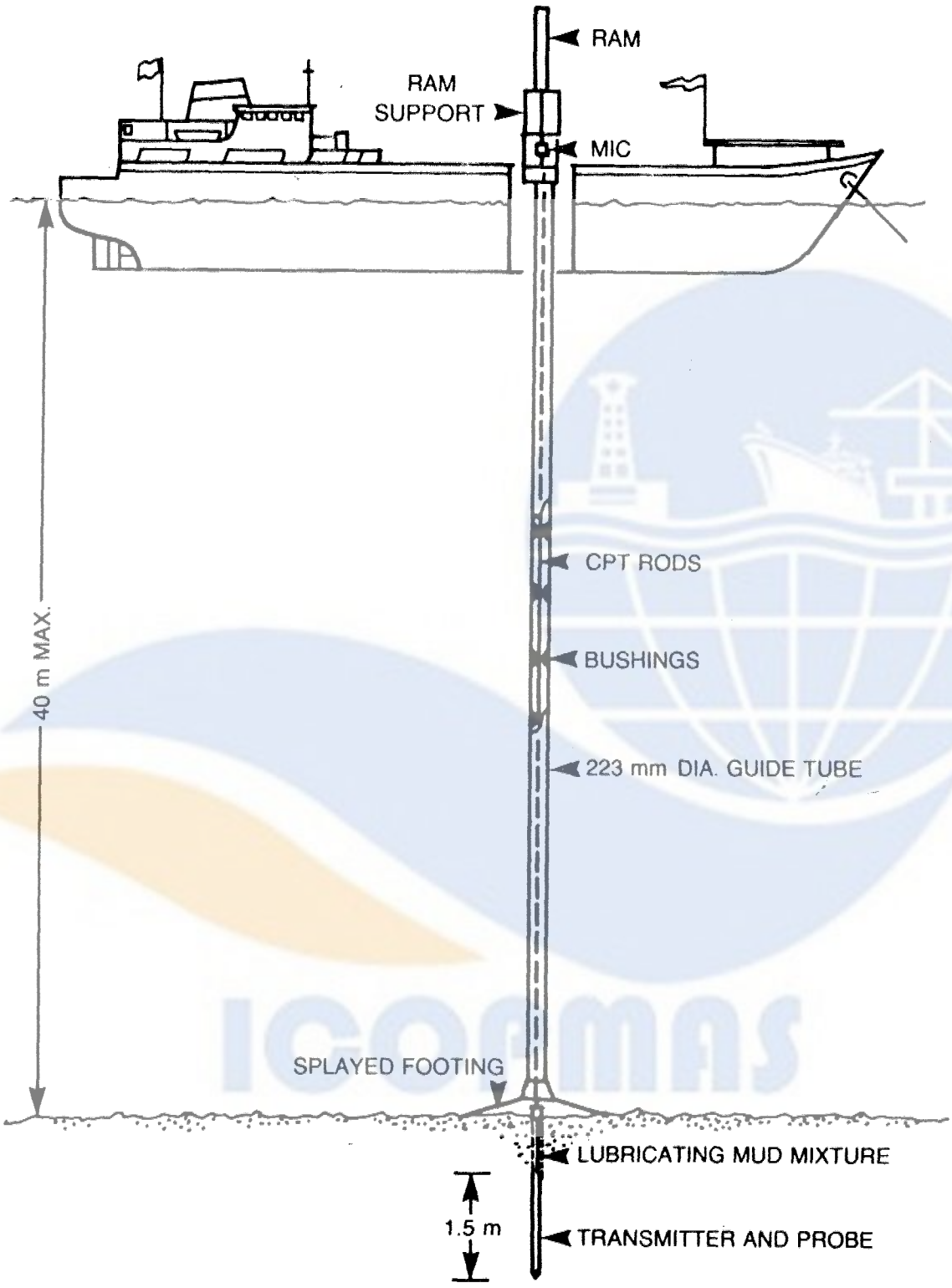
[4] Depends on soil type and strength.

Figure 3 Currently Available QS-CPT Equipment

شکل ۲- داده‌های موجود آزمایشهای نفوذ مخروطی مختلف در مطالعات ژئوتکنیک فراساحل

www.SID.ir

Archive of SID



SCHEMATIC OF CPT DEPLOYMENT

FIGURE 7

شکل ۳- شمایی از نحوه کاربرد دستگاه CPT در مطالعات ژئوتکنیک فراساحل

www.SID.ir

Archive of SID

	SAND	CLAY
Ultimate Skin Friction of Pile	Minumum of f[pile] = 2400 psf f[pile] = f[CPT] $f[pile] = \frac{q[CPT]}{300}$ [Compression] $f[pile] = \frac{q[CPT]}{400}$ [Tension]	$f[pile] = \alpha \frac{q[CPT]}{N_k}$ with $N_k \simeq 20$ α = 1 in N.C. clay α = 0.5 in O.C. clay
Ultimate Point Resistance of Pile	Minimum of q[pile] = average of q[CPT] within zone of influence of pile point q[pile] = limiting value, function of q[CPT] and OCR	$q[pile] = N_c \frac{q[CPT]}{N_k}$ with N_c = 9 $N_k \simeq 20$

Figure 5 The de Ruiter and Beringen Method [after de Ruiter and Beringen (37)]

شکل ۴- روش رویتر و برینگن جهت تعیین ظرفیت باربری شمعها از روی نتایج CPT

	ALL SOILS
Ultimate Skin Friction for Pile	$f[pile] = \alpha f[CPT]$ Charts of α versus D/B for sands Charts of α versus f[CPT] for clays
Point Resistance for Pile	q[pile] = average of q[CPT] within zone of influence of pile point

Figure 6 Schmertmann Method [after Schmertmann (38)]

شکل ۵- روش اشمرتمن برای تعیین ظرفیت باربری شمعها از روی نتایج CPT

www.SID.ir

Archive of SID

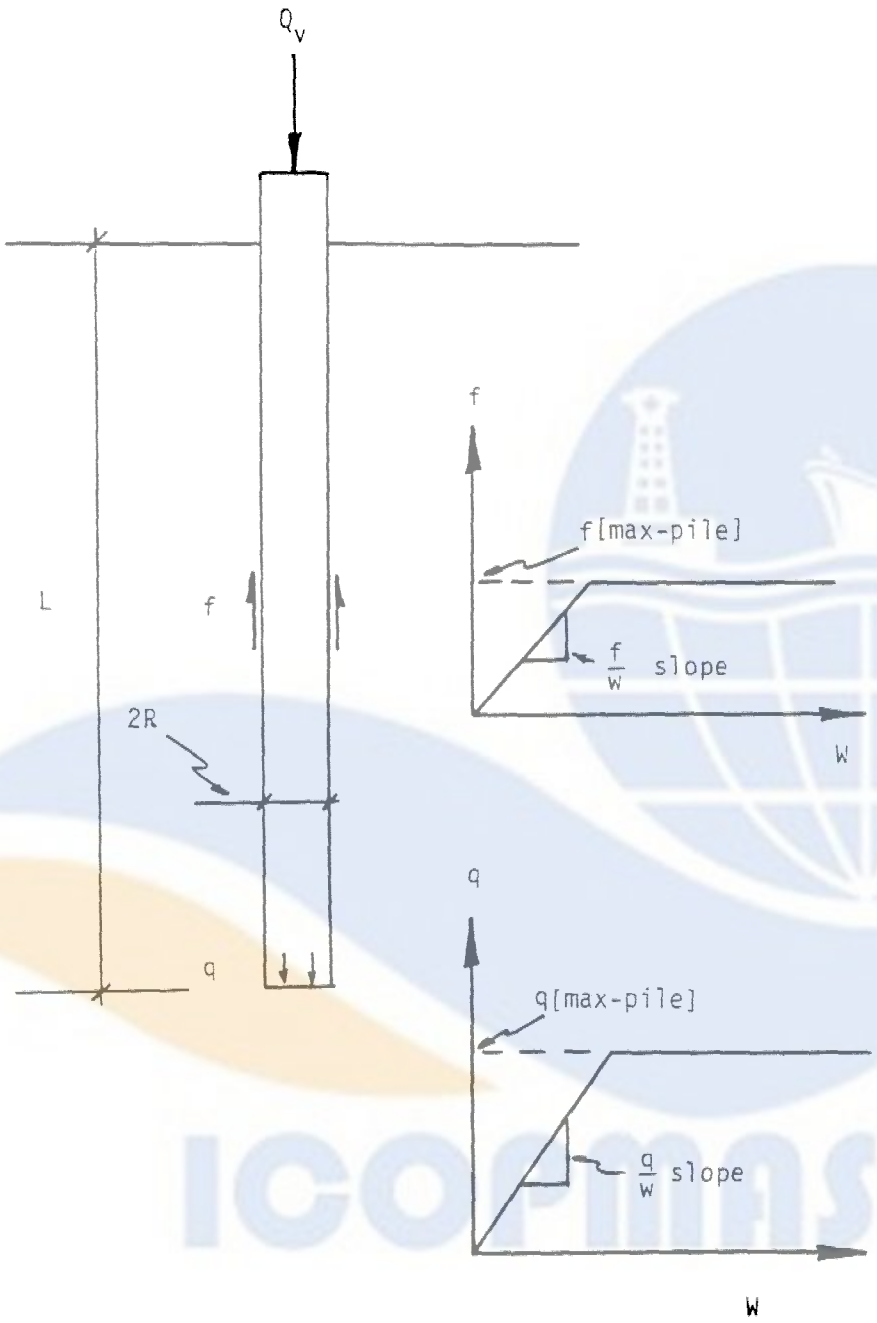
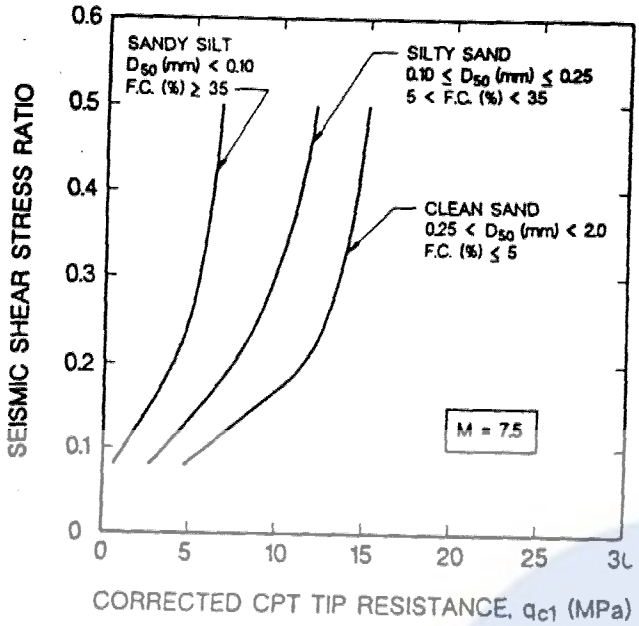


Figure 7 Elastic-Plastic Load Transfer Curves For Vertically Loaded Piles.

شکل ۶- منحنی‌های رفتاری (بار - تغییر شکل) شمعها توسط نتایج CPT

www.SID.ir

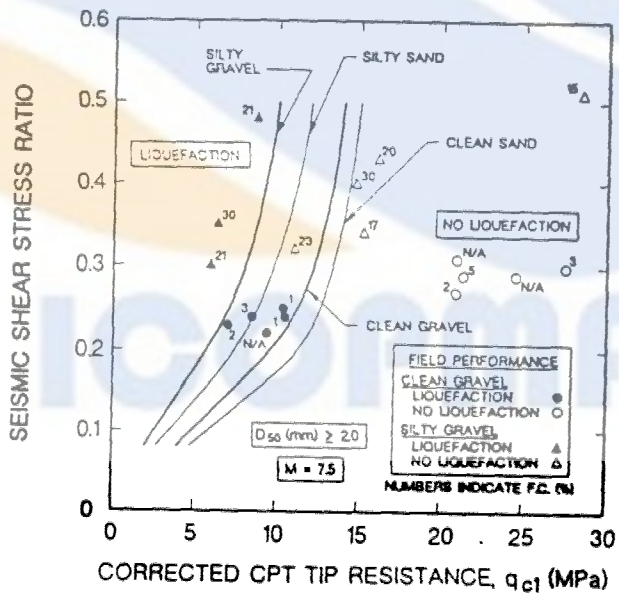
Archive of SID



شکل (۱۴ـ۴) ـ مقایسه روابط پیشنهادی تعیین پتانسیل روانگرایی براساس نتایج CPT

برای سه حالت ماسه‌تمیز، ماسه‌لای‌دار، ماسه‌لای‌دار تا لای‌ماسه‌دار

(Stark et al 1995)



شکل (۱۳ـ۴) ـ رابطه تنش برشی زلزله $(S.S.R)$ با مقاومت نوک اصلاح شده (q_{c1})

برای خاکهای شن‌دار ـ در حالت زلزله به بزرگی $M=7.5$

(Stark et al 1995)

شکل ۷- دیاگرام پیشنهادی استارک برای تعیین پتانسیل روانگرایی بر اساس نتایج CPT

به روش مستقیم برای سه نوع خاک ماسه تمیز، ماسه لای دار، ماسه لای دار تا لای ماسه دار

www.SID.ir

Archive of SID

The Conical Penetration Test (CPT) in Geotechnical Modeling of Offshore Structures

R. Zia'i Moayed, Eng. – M. H. Bazyar, Ph.D. – B. Mahmudzadegan, Ph.D.

Iran University of Science and Technology – School of Civil Engineering

Abstract

Today, in-situ testing is increasingly employed as a useful and practical tool for identifying and indicating the characteristic parameters of the subterranean layers of the seabed in offshore modeling, especially in deep waters. The vane, barometer and the conical penetration tests (CPT) are the most common in-situ tests to be conducted in the offshore geotechnical studies.

The instrument generally used for the cone penetration test is one of the most practical in-situ test instruments utilized in regards with geotechnical studies. It must also be mentioned that the constant recording of the results, the ability to detect the existence of layers thicker than 5 centimeters of liquefactive soils (also known as pebble lenses), sufficient repeatability of the test results, having an established and standard test procedure, the reduction of soil disturbance and the tests rate are among the most significant features of the CPT instrument. In this article, the effort was made to briefly address the application of the above mentioned instrument in the geotechnical offshore modeling in order to reach the results projected by the theoretical section.

Keywords: conical penetration test; geotechnical modeling; offshore structure tests

www.SID.ir