



اگرچه مقاومت نوک مخروط و مقاومت جانبی آن به‌طور جداگانه قابل اندازه‌گیری هستند، ولی معمول این است که ابتدا مقاومت نوک مخروط به تنهایی و سپس مقاومت کل شامل مقاومت فرو رفتن نوک به همراه غلاف را اندازه‌گیری می‌کنند و در نهایت مقاومت جانبی مخروط از کم کردن مقاومت نوک از مقاومت کل بدست می‌آید. کاربرد آزمایش CPT تقریباً مشابه با آزمایش SPT است، بطوریکه می‌توان با استفاده از مقاومت نوک مخروط (q_c)، مقاومت برشی زهکشی نشده (c_u) در رس‌ها و زاویه اصطکاک داخلی (ϕ) در ماسه‌ها را بدست آورد و طبیعتاً در مورد سفتی رس‌ها و تراکم ماسه‌ها (با استفاده از جدول‌های آزمایش SPT در بخش قبل) اظهارنظر کرد. روابط زیر، همبستگی q_c با c_u و ϕ را نشان می‌دهند.

الف) تعیین مقاومت برشی زهکشی نشده (c_u)

$$c_u = \frac{q_c - \sigma_v}{N_k} \quad (۸-۴)$$

که در رابطه بالا، q_c مقاومت نوک مخروط، σ_v تنش کل در نوک مخروط و N_k ضریب نوک مخروط است که بستگی به شکل هندسی مخروط و میزان نفوذ آن دارد. لازم به ذکر است که مقدار متوسط N_k را می‌توان بصورت تابعی از نشانه خمیری خاک (PI)، از رابطه زیر تخمین زد:

$$N_k = ۱۹ - \left(\frac{PI - ۱۰}{۵} \right), \quad PI > ۱۰ \quad (۹-۴)$$

ب) تعیین زاویه اصطکاک داخلی خاک در نوک مخروط (ϕ)

$$\phi_p = ۳۵^\circ + ۱۱/۵ \log \left(\frac{q_c}{۳۰ \sigma_v'} \right), \quad ۲۵^\circ < \phi_p < ۵۰^\circ \quad (۱۰-۴)$$

که در رابطه بالا (که البته نیازی به حفظ کردنش نیست) q_c مقاومت نوک مخروط و σ_v' تنش مؤثر در نوک مخروط است.

نکات آزمایش نفوذ مخروط (CPT)

۱- آزمایش نفوذ مخروط مانند آزمایش نفوذ استاندارد برای تمامی خاک‌ها استفاده می‌شود ولی در خاک‌های شنی و رس سفت نتایج چندان قابل اعتماد نیست.

۲- اگر امکانات آزمایش اجازه دهد، از یک وسیله به‌نام «پیزوکن» استفاده شده و با قرار دادن آن در داخل مخروط، فشار آب حفره‌ای را نیز اندازه‌گیری می‌کنند. در این حالت به آزمایش نفوذ مخروط، آزمایش $CPTu$ گفته می‌شود.

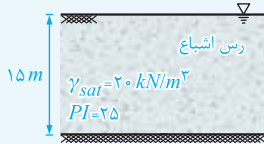
۳- از مقاومت اندازه‌گیری شده نوک q_c و اصطکاک غلاف q_s برای محاسبه نسبت اصطکاک f_r استفاده می‌شود:

$$f_r = \frac{q_s}{q_c} \times ۱۰۰ \quad (۱۱-۴)$$

و از آنجا می‌توان با استفاده از رابطه زیر، حساسیت خاک (S_t) را تخمین زد:

$$S_t \approx \frac{۱۰}{f_r} \quad (f_r \text{ برحسب درصد به کار رود}) \quad (۱۲-۴)$$

۴- با استفاده از نتایج آزمایش CPT می‌توان همانند آزمایش SPT ، ظرفیت باربری پی‌های سطحی و شمع‌ها را تخمین زد.



تمرین ۴: آزمایش نفوذ مخروط *CPT* مطابق شکل بر روی یک لایه رس اشباع انجام شده است و مقاومت نوک مخروط در عمق ۱۰ متری $q_c = 800 \text{ kPa}$ بدست آمده است. مقاومت فشاری محدود نشده رس چقدر است و در مورد سفتی آن چگونه اظهار نظر می کنید؟

هله؟

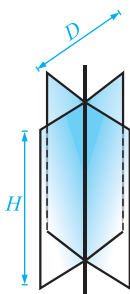
$$\begin{cases} c_u = \frac{q_c - \sigma_v}{N_k} \\ \sigma_v = 10 \times 20 = 200 \text{ kPa} \\ N_k = 19 - \left(\frac{PI - 10}{5} \right) = 19 - \left(\frac{25 - 10}{5} \right) = 16 \end{cases} \Rightarrow c_u = \frac{800 - 200}{16} = 37.5 \text{ kPa}$$

رس با سفتی متوسط \rightarrow (جدول ب) $50 < q_u < 100$ $\Rightarrow q_u = 2c_u = 2 \times 37.5 = 75 \text{ kPa}$ بخش قبل

۴-۲-۴ - آزمایش برش پره (Vane Shear Test)

آزمایش برش پره (*VST*) آزمایشی ساده، ارزان و سریع است که از آن برای تعیین مقاومت برشی زهکشی نشده درجا در خاک‌های رسی استفاده می‌شود. از این رو آزمایش *VST* را بایستی شبیه به آزمون آزمایشگاهی *UU* (آزمایش تحکیم نیافتنه زهکشی نشده) دانست که در آن مقاومت برشی زهکشی نشده خاک در آزمایشگاه تعیین می‌شود.

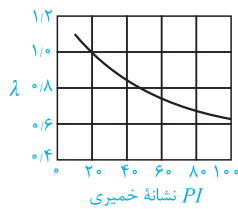
دستگاه برش پره (*VS*) مطابق شکل زیر شامل ۴ تیغه فلزی است که بصورت متعامد نسبت به هم، به یک میله جوش داده شده‌اند. این پره معمولاً از کف یک گمانه تا عمق مورد نظر به داخل خاک رانده می‌شود و سپس با استفاده از یک دسته پیچشی که واقع در بالای سطح خاک و متصل به میله پره برش است، یک لنگر پیچشی با سرعت ۶ درجه در دقیقه اعمال می‌شود. به هنگام رسیدن لنگر پیچشی به مقدار حداکثر خود (در زمان گسیختگی خاک)، می‌توان با ثبت این لنگر، مقاومت برشی زهکشی نشده خاک را با استفاده از رابطه زیر تعیین کرد:



$$c_u = \frac{2T_{max}}{\pi D^2 \left(\frac{H}{D} + \frac{1}{3} \right)} \quad (13-4)$$

که در رابطه بالا D و H به ترتیب قطر و ارتفاع پره می‌باشند که در شکل نشان داده شده‌اند. T_{max} نیز حداکثر لنگر پیچشی است که به ازای آن خاک گسیخته می‌شود. لازم به ذکر است که برای مقاصد عملی پیشنهاد می‌شود، نتیجه بدست آمده از آزمایش *VST* با اعمال ضریب λ بصورت زیر اصلاح گردد:

c_u (اصلاح شده) $= \lambda c_u$ (صحرائی) (14-4)



λ در رابطه بالا، ضریب اصلاحی است که بستگی به نشانه خمیری خاک (*PI*) داشته و می‌توان مقدار آن را با استفاده از نمودار روبرو تعیین کرد:

**نکات مربوط به آزمایش برش پره (VST)**

- آزمایش برش پره مخصوص خاک‌های رسی چسبنده است و نمی‌توان آن را برای خاک‌های درشت‌دانه یا رس‌های خیلی سفت به کار برد.
- بعد از رسیدن به لنگر پیچشی ماکزیمم (T_{max}) پره ۸ تا ۱۰ دور دیگر نیز چرخانده می‌شود تا لنگر پیچشی پسماند (T_r) اندازه‌گیری شود. سپس حساسیت خاک رس (S_t) از نسبت T_{max} به T_r بدست می‌آید:

$$S_t = \frac{T_{max}}{T_r}$$

(۱۵-۱۴)

تمرین ۵: آزمایش برش پره با پره‌ای به ارتفاع $H = 5 \text{ cm}$ و قطر $D = 2H$ در عمق ۱۰ متری از یک لایه خاک رس اشباع با نشانه خمیری $PI = 50$ انجام می‌شود. اگر پس از گسیختگی خاک در اثر دوران میله و پره، لنگر پیچشی لازم برای ادامه دوران برابر $12/5$ نیوتن - متر باشد، در آن صورت مقاومت برشی زهکشی نشده این لایه برای وضعیت اصلاح شده چقدر است؟ ($S_t = 2$ و $\pi = 3$)

$$T_{max} = S_t \times T_r = 2 \times 12/5 = 25 \text{ N.m}$$

هله

$$c_u = \frac{2T_{max}}{\pi D^2 \left(\frac{H}{D} + \frac{1}{3} \right)} = \frac{2 \times 25}{\pi \times 0.1^2 \times \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{3} \right)} = 20000 \text{ N/m}^2 = 20 \text{ kN/m}^2$$

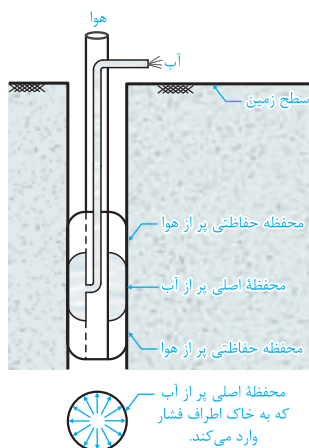
$$\begin{cases} c_u \text{ (اصلاح شده)} = \lambda c_u \text{ (صحرائی)} \\ PI = 50 \rightarrow \lambda = 0.18 \end{cases}$$

$$\Rightarrow c_u \text{ (اصلاح شده)} = 0.18 \times 20 = 16 \text{ kN/m}^2$$

۴-۲-۵ - آزمایش فشارسنجی یا پرسیومتری (Pressuremeters Test)

آزمایش پرسیومتری (PMT) با حفر گمانه در خاک و به کمک یک محفظه تحت فشار، لایه‌های خاک را بصورت جانبی بارگذاری می‌کند. این محفظه مطابق شکل از یک غشاء لاستیکی تشکیل شده است که توسط دو محفظه به همان قطر، از بالا و پایین محافظت می‌شود. محفظه میانی یا همان محفظه اصلی پر از آب می‌باشد که فشار آن توسط منبع فشاری که در سطح زمین قرار دارد، تنظیم می‌گردد. این در حالی است که محفظه‌های حفاظتی بالا و پایین از هوا پر می‌شوند.

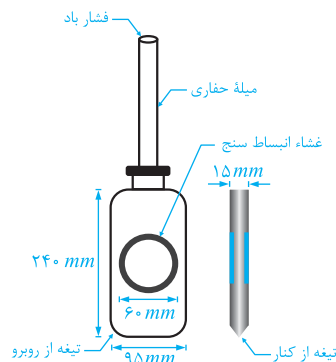
نحوه بارگذاری جانبی خاک به این صورت است که در فواصل زمانی یکسان، فشار افزایش می‌یابد و تغییرات حجم متناظر با هر مرحله اندازه‌گیری و ثبت می‌شود. سپس منحنی فشار - تغییر حجم ترسیم می‌شود و از روی آن مدول الاستیسیته، مدول ارتجاعی برشی و مقاومت برشی زهکشی نشده خاک تخمین زده می‌شود.



نکات آزمایش پرسیومتری (PMT)

۱- آزمایش پرسیومتری برای آن خاک‌هایی استفاده می‌شود که آزمایش *CPT* نیز برای آنها مناسب است، یعنی خاک‌های رسی نرم، سیلت نرم و ماسه ریز.

۲- علاوه بر تعیین مستقیم مدول الاستیسیته، مدول ارتجاعی برشی و ... در آزمایش پرسیومتری، ظرفیت باربری نهایی خاک در لایه‌های مختلف و ضریب فشار جانبی خاک از k_0 تا k_p نیز با این آزمایش تعیین می‌شود.

۴-۲-۹- آزمایش انبساط‌سنج تخت (Flat Plate Dilatometer Test)


آزمایش انبساط‌سنج تخت (*DMT*) آزمایشی آسان و سریع می‌باشد که مشابه با آزمایش *PMT* بوده ولی از آن کم‌هزینه‌تر است. انبساط‌سنج تخت (*DM*) مطابق شکل از یک تیغه نوک تیز به ضخامت ۱۵، عرض ۹۵ و طول ۲۴۰ میلیمتر تشکیل شده است. روی قسمت تخت این تیغه، یک غشاء فولادی انعطاف‌پذیر به قطر ۶۰ mm تعبیه شده است که به آن غشاء انبساط‌سنج گفته می‌شود. اساس کار این آزمایش، متورم ساختن غشاء موردنظر از طریق فشار باد و ثبت فشار در موقعیت‌های متفاوت است که بصورت زیر انجام می‌شود:

ابتدا تیغه‌ای که به میلۀ حفاری متصل است، با سرعت 2 cm/s ، توسط تجهیزات حفاری به داخل خاک فرو برده می‌شود تا به عمق موردنظر برسد. سپس در هر 200 mm ، فشار باد که از بالا اعمال می‌شود، در سه موقعیت زیر ثبت می‌گردد:

الف) فشاری که غشاء را در موقعیت تراز سطح خاک قرار دهد.

ب) فشاری که غشاء را به اندازه 18 mm بصورت جانبی و دور تا دور به داخل خاک براند.

ج) فشاری که غشاء را به موقعیت اولیه خود برگرداند.

با استفاده از نتایج ثبت شده می‌توان مقاومت برشی زهکشی نشده خاک، فشارهای جانبی خاک، نسبت پیش تحکیمی و مدول الاستیسیته خاک را تعیین کرد.

۴-۲-۷- آزمایش بارگذاری صفحه (Plate Load Test)

آزمایش بارگذاری صفحه (*PLT*) یکی از متداول‌ترین آزمایش‌های صحرایی می‌باشد که با استفاده از آن اطلاعات مهمی از خاک نظیر ظرفیت باربری (q_{ult}) و مدول الاستیسیته (E_s) بدست می‌آید. شرح کامل این آزمایش در بخش (۳)، از فصل (۲) ذکر گردیده است.

**بخش (۲): مطالب تکمیلی در تعیین ظرفیت باربری خاک با استفاده از نتایج آزمایش‌های صحرایی**

یکی از نتایج مهمی که معمولاً از آزمایش‌های صحرایی بدست می‌آید، تخمینی از ظرفیت باربری خاک منطقه است. البته آزمایش‌های مختلف، نتایج متفاوتی را بدست می‌دهند که لازم است با انجام قضاوت مهندسی مناسب، q_{ult} خاک را پیش‌بینی نمود.

در این بخش می‌خواهیم ظرفیت باربری انواع پی‌ها (پی‌های سطحی و عمیق) را با استفاده از برخی آزمایش‌های مطرح شده، محاسبه نماییم.

۴-۳-۱- محاسبه ظرفیت باربری پی‌های سطحی

در این قسمت محاسبه ظرفیت باربری پی‌های سطحی را براساس نتایج آزمایش‌های CPT ، SPT و PMT بیان می‌کنیم.

تعیین ظرفیت باربری با استفاده از آزمایش SPT

براساس مجموع مشاهدات صحرایی و نقطه نظرات بیان شده توسط محققین مختلف، «Bowles» روابط زیر را جهت تعیین ظرفیت باربری پی‌ها بر مبنای نشست مجاز 25 mm ارائه کرده است:

$$q_{all} = \left(\frac{N_{55}}{0.05}\right) k_d, \quad B \leq 1.2\text{ m} \quad (14-16\text{ الف})$$

$$q_{all} = \frac{N_{55}}{0.08} \left(\frac{B + 0.3}{B}\right)^2 k_d, \quad B > 1.2\text{ m} \quad (14-16\text{ ب})$$

که در روابط بالا، B عرض پی، q_{all} ظرفیت باربری مجاز برحسب کیلوپاسکال، N_{55} عدد نفوذ استاندارد متوسط با سطح انرژی ۵۵ درصد در منطقه‌ای به اندازه $0.15 B$ بالا و $2B$ پایین کف پی است. k_d نیز برابر است با:

$$k_d = 1 + 0.33 \left(\frac{D_f}{B}\right) \leq 1.33 \quad (17-14)$$

نکته: اگر نشست مجاز عددی غیر از 25 mm باشد، با یک تناسب ساده می‌توان q_{all} برای نشست موردنظر را

$$(q_{all})_2 = (q_{all})_1 \times \frac{\delta_2}{\delta_1}$$

بدست آورد:

تعیین ظرفیت باربری با استفاده از آزمایش CPT

مشابه با آزمایش SPT ، با استفاده از مقاومت نوک مخروط، می‌توان ظرفیت باربری پی‌های سطحی را بر مبنای نشست 25 mm بصورت زیر بدست آورد:

$$q_{all} = \frac{q_c}{3}, \quad B \leq 1.2\text{ m} \quad (18-14) \quad q_{all} = \frac{q_c}{5} \left(\frac{B + 0.3}{B}\right)^2, \quad B > 1.2\text{ m} \quad (19-14)$$

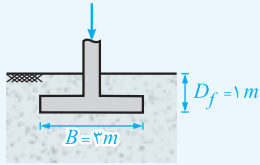
در روابط بالا نیز q_c متوسط مقاومت نوک مخروط در محدوده ذکر شده می‌باشد. در ضمن برای نشست‌های مجاز غیر از 25 mm ، مانند آزمایش SPT عمل می‌کنیم.

تعیین ظرفیت باربری با استفاده از آزمایش PMT

برای محاسبه ظرفیت باربری پی‌های سطحی، «منارد» رابطه زیر را در یک خاک همگن ارائه کرده است:

$$q_{ult} = q_0 + K(P_L - P_0) \quad (20-14)$$

که در این رابطه q_0 و P_0 به ترتیب تنش قائم و فشار افقی سکون در تراز موردنظر هستند. تراز موردنظر، تراز کف شالوده‌ای می‌باشد که قرار است ساخته شود. P_L فشار محفظه‌ای در حالت حدی است و K ضریب تناسب می‌باشد که بستگی به نوع زمین، شکل پی و عمق آن دارد و بین ۱ تا ۳ متغیر است.



تمرین ۶: اگر عدد نفوذ استاندارد متوسط در سطح انرژی ۷۰ درصد برای پی مربعی نشان داده شده در شکل برابر ۲۵ باشد، در آن صورت ظرفیت باربری مجاز پی بر مبنای نشست ۲۵ mm چند kPa است؟

هله:

$$\left\{ \begin{aligned} B = 3m > 1/2m &\Rightarrow q_{all} = \frac{N_{\Delta\Delta}}{0.08} \left(\frac{B + 0.3}{B} \right)^2 k_d \\ N_{\Delta\Delta} = C_E N_{\gamma_0} = \left(\frac{\gamma_0}{\Delta\Delta} \right) \times 25 = 31/8 = 32 \\ k_d = 1 + 0.33 \left(\frac{D_f}{B} \right) = 1 + 0.33 \left(\frac{1}{3} \right) = 1/1 < 1/33 \end{aligned} \right.$$

$$\Rightarrow q_{all} = \frac{32}{0.08} \times \left(\frac{3 + 0.3}{3} \right)^2 \times 1/1 = 400 \times 1/1^2 \times 1/1 = 532/4 \text{ kPa}$$

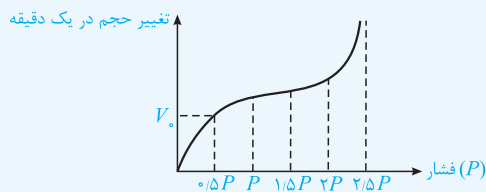
تمرین ۷: یک پی نواری به عرض ۱ متر روی سطح یک خاک ماسه‌ای اجرا شده است. نتایج حاصل از آزمایش نفوذ مخروط در این خاک نشان می‌دهد که متوسط مقاومت نوک مخروط تا عمق ۲ متری از سطح خاک برابر 200 kg/cm^2 است. ظرفیت باربری مجاز این پی بر مبنای نشست مجاز ۳۰ mm چند kPa است؟

هله:

$$B = 1m < 1/2m \Rightarrow q_{all} = \frac{q_c}{30} = \frac{200}{30} = \frac{20}{3} \text{ kg/cm}^2 = \frac{2000}{3} \text{ kPa}$$

$$(q_{all})_2 = (q_{all})_1 \times \frac{\delta_2}{\delta_1} = \left(\frac{2000}{3} \right) \times \frac{30}{25} = 800 \text{ kPa}$$

تمرین ۸: قبل از اجرای یک پی مربعی ($B = 2m$) در عمق ۲ متری از سطح یک خاک رسی، آزمایش پرسیمتری در این عمق انجام می‌شود که نمودار فشار - تغییر حجم آن پس از یک دقیقه بارگذاری به شکل زیر است. اگر V_0 افزایش حجم لازم جهت اعمال بار اولیه زمین بوده و تنش قائم در تراز موردنظر برابر P باشد، با فرض $K = 1/6$ ، ظرفیت باربری نهایی را بر حسب P تخمین بزنید.



هله: با توجه به شکل $P_0 = 0.5P$ و $P_L = 2.5P$ است که به ترتیب معرف فشار افقی حالت سکون (شرایط اولیه زمین) و فشار محفظه در حالت تعادل حدی (تغییر شکل‌های زیاد) می‌باشند. بنابراین با توجه به اینکه $K = 1/6$ و $q_0 = P$ خواهیم داشت:

$$q_{ult} = q_0 + K (P_L - P_0) = P + 1/6 \times (2.5P - 0.5P) = 4/2P$$



۴-۳-۴- محاسبه ظرفیت باربری شمع‌ها

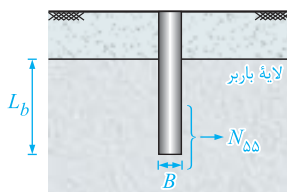
یکی از روش‌های رایج برای محاسبه ظرفیت باربری شمع‌ها، استفاده از نتایج آزمایش‌های صحرائی می‌باشد. در این قسمت روابط مربوط به محاسبه مقاومت انتهایی شمع‌ها با استفاده از آزمایش‌های SPT و CPT را ارائه می‌کنیم:

تعیین مقاومت انتهایی شمع‌ها با استفاده از نتایج آزمایش SPT

میرهوف بر پایه مشاهدات صحرائی، رابطه زیر را برای تعیین مقاومت انتهایی در خاک‌های دانه‌ای (با استفاده از

$$Q_p = \left[40 N_{\Delta\Delta} \left(\frac{L_b}{B} \right) \right] A_p \leq 400 N_{\Delta\Delta} A_p \quad (۴-۳۱)$$

عدد نفوذ استاندارد) پیشنهاد کرد:



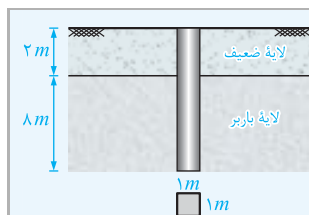
که در این رابطه، A_p سطح مقطع شمع، $N_{\Delta\Delta}$ عدد نفوذ استاندارد متوسط با سطح انرژی ۵۵ درصد در منطقه‌ای به اندازه ۸B بالا و ۳B پایین نوک شمع، B قطر یا عرض شمع و L_b طول نفوذ شمع در لایه باربر است که اگر خاک همگن باشد $L_b = L$ خواهد بود.

تعیین مقاومت انتهایی شمع‌ها با استفاده از نتایج آزمایش CPT

با استفاده از مقاومت نوک مخروط در آزمایش CPT می‌توان ظرفیت باربری شمع‌ها را بصورت زیر محاسبه کرد:

$$Q_p = A_p q_c \quad (۴-۳۲)$$

که در این رابطه، A_p سطح مقطع شمع و q_c مقاومت متوسط نوک مخروط در محدوده تعریف شده یعنی ۸B بالا و ۳B پایین نوک شمع است.



تجربین ۹: عدد نفوذ استاندارد با سطح انرژی ۵۵ درصد در اعماق مختلف خاک ماسه‌ای ناهمگن به شرح جدول زیر است. مقاومت انتهایی شمع چقدر است؟

عمق (m)	۲	۵	۷	۱۰	۱۳	۱۵	۱۸
$N_{\Delta\Delta}$	۱۵	۱۶	۱۸	۲۲	۲۴	۲۶	۲۶

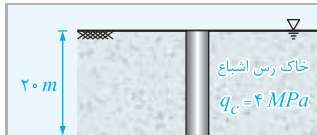
هله: ابتدا بایستی $N_{\Delta\Delta}$ متوسط را در محدوده ۸B بالای نوک شمع (تراز $z = 2m$) و ۳B پایین نوک شمع (تراز $z = 13m$) تعیین کنیم:

$$N_{\Delta\Delta} \text{ متوسط} = \frac{15 + 16 + 18 + 22 + 24}{5} = 19$$

با استفاده از رابطه میرهوف می‌نویسیم: $Q_p = \left[40 N_{\Delta\Delta} \left(\frac{L_b}{B} \right) \right] A_p = \left[40 \times 19 \times \frac{1}{1} \right] (1^2) = 6080 \text{ kN}$

که این مقدار بایستی کوچکتر یا مساوی $400 N_{\Delta\Delta} A_p$ باشد، در غیر این صورت $Q_p = 400 N_{\Delta\Delta} A_p$

خواهد شد: $400 N_{\Delta\Delta} A_p = 400 \times 19 \times 1^2 = 7600 \text{ kN} > 6080 \text{ kN} \text{ o.k.} \Rightarrow Q_p = 6080 \text{ kN}$



تجربین ۱۰: در شکل مقابل مقاومت نوک شمع با استفاده از اطلاعات آزمایش نفوذ مخروط چقدر است؟ (شمع مورد نظر دایره‌ای به قطر ۱m است)

هله:

$$Q_p = A_p q_c = \left(\frac{\pi \times 1^2}{4} \right) (4 \times 10^3) = 1000 \pi \text{ kN} = 3140 \text{ kN}$$

تست‌های فصل چهارم

سوالات تالیفی

- ۱- برای نمونه‌گیری دست‌نخورده از انتهای یک گمانه نسبتاً عمیق کدام روش حفاری مناسب‌تر است؟
- (۱) شستشویی (۲) ضربه‌ای
(۳) دورانی با سرمه آسیابی (۴) اوگری
- ۲- قطر داخلی یک نمونه‌گیر پیستونی (*Piston Sampler*) ۱۰۰ میلی‌متر و قطر خارجی آن ۱۰۵ میلی‌متر است. در صورتی که L_r (*Recovery Ratio*) برای این نمونه‌گیر ۰/۹۵ باشد:
- (۱) استفاده از این نمونه‌گیر، برای نمونه‌گیری دست‌خورده از خاک مناسب است.
(۲) استفاده از این نمونه‌گیر، برای نمونه‌گیری دست‌نخورده از خاک مناسب است.
(۳) استفاده از این نمونه‌گیر، برای نمونه‌گیری دست‌نخورده از خاک ریزدانه مناسب است.
(۴) استفاده از این نمونه‌گیر، برای خاک درشت‌دانه مناسب است.
- ۳- برای کدام‌یک از آزمایش‌های زیر می‌توان از نمونه دست‌خورده استفاده کرد؟
- (۱) سه محوری استاندارد (۲) دانه‌بندی
(۳) تحکیم (ادومتر) (۴) برش مستقیم
- ۴- در حین یک عملیات شناسایی صحرایی، مغزه‌گیری از سنگ لازم شده است. در حین مغزه‌گیری، لوله مغزه‌گیر ۲ متر در سنگ نفوذ کرده و طول مغزه بازیابی شده ۱/۵ متر بوده است. بازده مغزه‌گیری برای این حالت چقدر می‌باشد؟
- (۱) ۲۵٪ (۲) ۵۰٪ (۳) ۷۵٪ (۴) ۱۰۰٪
- ۵- آزمایش صحرایی نفوذ استاندارد (*SPT*) برای کدام‌یک از خاک‌های زیر کاربرد بهتری دارد؟
- (۱) رس (۲) شن دانه‌درشت
(۳) رس و لای (۴) ماسه
- ۶- در یک آزمایش نفوذ استاندارد (*SPT*) در عمق مشخصی از یک لایه خاک رسی، برای فرو رفتن نمونه‌گیر در سه ۱۵ سانتیمتر متوالی به ترتیب ۱۵، ۱۶ و ۱۸ ضربه شمارش شده است. اگر سطح انرژی موجود ۴۵ باشد، با توجه به جدول زیر خاک را چگونه توصیف می‌کنید؟

N_{60}	۳-۵	۶-۹	۱۰-۳۰	> ۳۰
نوع رس	نرم	متوسط	سفت	سخت

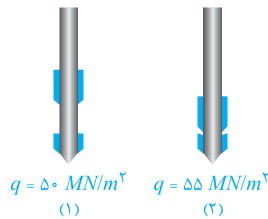
- (۱) رس نرم (۲) رس با سفتی متوسط (۳) رس سفت (۴) رس سخت
- ۷- در یک آزمایش نفوذ استاندارد (*SPT*) که در عمق ۱۵ متری از یک خاک ماسه‌ای اشباع انجام شده است، تعداد ضربات لازم برای نفوذ نمونه‌گیر استاندارد *SPT* به ترتیب برابر ۱۴، ۱۶ و ۱۷ به دست آمده است. اگر قطر گمانه‌ای که آزمایش *SPT* در آن انجام شده است برابر ۱۵۰ mm باشد، در آن صورت عدد نفوذ استاندارد برای سطح انرژی موجود چقدر است؟ ($\gamma_{sat} = 18 \text{ kN/m}^3$)
- (۱) ۲۷ (۲) ۳۰ (۳) ۳۳ (۴) ۳۵



۸- در آزمایش نفوذ مخروط، N_k (ضریب نوک مخروط):

- (۱) با افزایش نشانه خمیری خاک افزایش می‌یابد. (۲) با افزایش نشانه خمیری خاک کاهش می‌یابد.
(۳) با افزایش مقاومت نوک مخروط کاهش می‌یابد. (۴) با افزایش مقاومت نوک مخروط افزایش می‌یابد.

۹- با توجه به اشکال زیر که مربوط به مراحل انجام آزمایش CPT می‌باشد، مقدار ضریب اصطکاک (f_r) چند درصد بدست می‌آید؟



- (۱) ۱۰٪
(۲) ۵٪
(۳) ۱۵٪
(۴) ۲۰٪

۱۰- آزمایش برش پره ($Vane\ shear\ test$) برای کدام یک از انواع خاک‌های زیر بیشترین کاربرد را دارد؟

- (۱) رس اشباع (۲) ماسه اشباع
(۳) هر دو خاک رس و ماسه اشباع (۴) شن خشک

۱۱- در آزمایش برش پره بر روی یک نمونه خاک رس اشباع، لنگر پیچشی ماکزیمم ۲ برابر لنگر پیچشی پسماند بدست آمده است. اگر بر روی همین خاک آزمایش نفوذ مخروط انجام شود، در آن صورت نسبت مقاومت اصطکاک غلاف به مقاومت نوک مخروط کدام است؟

- (۱) $\frac{1}{5}$ (۲) $\frac{1}{10}$ (۳) $\frac{1}{20}$ (۴) $\frac{1}{50}$

۱۲- کدام یک از آزمایش‌های زیر شبیه آزمایش پرسیمتری است؟

- (۱) PLT (۲) DMT (۳) VST (۴) SPT

۱۳- اندازه‌گیری ضریب رانش جانبی خاک در حال سکون (k_v) و مدول الاستیسیته (E_s) را با کدام آزمایش‌های صحرائی زیر توصیه می‌کنید؟

- (۱) پرسیمتر (PMT) و نفوذ استاندارد (SPT)
(۲) پرسیمتر (PMT) و بارگذاری صفحه (PLT)
(۳) بارگذاری صفحه (PLT) و نفوذ مخروط (CPT)
(۴) نفوذ استاندارد (SPT) و نفوذ مخروط (CPT)

۱۴- با استفاده از کدام یک از آزمایش‌های زیر می‌توان نسبت پیش تحکیمی خاک رس را تعیین کرد؟

- (۱) SPT (۲) CPT (۳) DMT (۴) PLT

سوالات بخش تکلیفی

۱۵- یک پی نواری به عرض ۱ متر روی سطح یک خاک رس اشباع و صرفاً چسبنده اجرا شده است. اگر ظرفیت باربری مجاز این پی، براساس نشست مجاز $30\ mm$ ، برابر $600\ kPa$ باشد، در آن صورت نتایج حاصل از آزمایش نفوذ مخروط، متوسط مقاومت نوک مخروط (q_c) را چقدر نشان خواهد داد؟

- (۱) $9\ MPa$ (۲) $7.15\ MPa$ (۳) $18\ MPa$ (۴) $15\ MPa$



۱۶- در یک آزمایش *CPT* جهت تعیین مقاومت انتهایی یک شمع مربعی ($B = 0.5\text{ m}$)، مقدار متوسط مقاومت نوک مخروط در محدوده $1/5$ متر پایین تر و 4 متر بالاتر از نوک شمع برابر 10 MPa بدست آمده است. اگر شمع در یک خاک ماسه‌ای همگن کوبیده شده باشد، در آن صورت مقاومت انتهایی نوک شمع چند kN خواهد بود؟

- ۱) ۲۵۰۰ (۲) ۵۰۰۰ (۳) ۷۵۰۰ (۴) ۱۰۰۰۰

۱۷- کدام یک از آزمایش‌های زیر جهت تعیین ظرفیت باربری پی‌های سطحی بکار نمی‌رود؟

- ۱) *PLT* (۲) *SPT* (۳) *PMT* (۴) *VST*

سؤالات آزمون‌های کارشناسی ارشد

۱۸- آزمایش نفوذ مخروط (*CPT*):

(سراسری ۷۷)

۱) یک مخروط استاندارد است که داخل نمونه خاک کوبیده شده، در قالب تراکم فرو می‌رود و میزان مقاومت و درصد تراکم خاک را می‌دهد.

۲) چکشی به وزن تقریبی 64 کیلوگرم است که توسط یک طناب، از ارتفاع 76 سانتی‌متری بر یک مخروط فرود می‌آید و تعداد ضربات لازم محاسبه می‌گردد.

۳) مخروطی استاندارد است که به داخل خاک رانده شده و مقاومت نوک مخروط و مقاومت اصطکاک جدار غلاف با خاک اندازه‌گیری می‌شود و ϕ خاک‌های شنی را نیز بر اساس مقاومت نوک مخروط می‌توان بدست آورد.

۴) مانند گزیه (۳)، ولی بر اساس q_c می‌توان ϕ خاک‌های دانه‌ای و سفتی خاک رس را نیز بدست آورد.

۱۹- اگر در آزمایش نفوذ استاندارد (*SPT*) در عمق مشخصی از یک لایه خاک ماسه‌ای، برای فرو رفتن نمونه‌گیر در سه 15 سانتی‌متر متوالی به ترتیب 15 ، 17 و 18 ضربه شمارش شده باشد، خاک را چگونه توصیف می‌کنید؟

(سراسری ۷۸)

۱) ماسه نسبتاً متراکم با چگالی نسبی حدود 0.65 $D_r =$

۲) ماسه‌ای متوسط با چگالی نسبی حدود 0.25 $D_r =$

۳) ماسه‌ای سست با چگالی نسبی حدود 0.2 $D_r =$

۴) ماسه‌ای خیلی متراکم با چگالی نسبی حدود 0.9 $D_r =$

۲۰- آزمایش برش پره‌ای (*Vane*) با پره‌ای به ارتفاع 60 mm و قطر 120 mm در عمق 8 متری از یک لایه خاک رس اشباع، به نتیجه $T = 43/2\text{ N.m}$ منجر شده است. نمونه‌گیری دست نخورده از این لایه نشان می‌دهد که $LL = 70$ (حد روانی)، $PL = 20$ (حد خمیری) و $\gamma = 20\text{ kN/m}^3$ می‌باشد. مقاومت برشی زهکشی نشده این لایه رس به ترتیب در وضعیت «اصلاح نشده» و «اصلاح شده» برحسب kN/m^2 چقدر است؟ ($\pi = 3$)

(سراسری ۷۹)

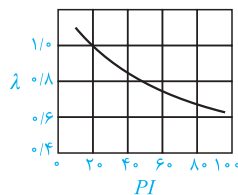
$$T = c_u \pi D^2 \left(\frac{H}{\pi} + \frac{D}{6} \right)$$

۱) 20 kN/m^2 (اصلاح نشده)، 16 kN/m^2 (اصلاح شده)

۲) 16 kN/m^2 (اصلاح نشده)، 20 kN/m^2 (اصلاح شده)

۳) 20 kN/m^2 (اصلاح نشده)، 25 kN/m^2 (اصلاح شده)

۴) 160 kN/m^2 (اصلاح نشده)، 130 kN/m^2 (اصلاح شده)





۲۱- کدام یک، از آزمایش‌های صحرایی ذیل، جهت تعیین مستقیم مدول الاستیسته (E) در خاک‌های درشت‌دانه و ریزدانه، به ترتیب ترجیح دارد؟

(سراسری ۸۰)

- (۱) آزمایش فشارسنجی و آزمایش بارگذاری صفحه‌ای
- (۲) آزمایش نفوذ استاندارد SPT و آزمایش نفوذ مخروط CPT
- (۳) آزمایش بارگذاری صفحه و آزمایش نفوذ استاندارد SPT
- (۴) آزمایش بارگذاری صفحه و آزمایش فشارسنجی (پرسیومتری)

۲۲- تعداد ضربات برای سه مرحله نفوذ لوله نمونه‌گیر SPT، به ترتیب ۱۲، ۱۳ و ۱۸ بدست آمده است. اگر قطر گمانه‌ای که SPT در آن انجام شده ۲۰۰ میلی‌متر باشد، عدد نفوذ استاندارد (SPT) کدام است؟

(سراسری ۸۱)

- (۱) ۲۹ (۲) ۳۰ (۳) ۳۱ (۴) ۳۶

۲۳- کدام یک از جملات ذیل در مورد آزمایش‌های صحرایی صحیح است؟

(سراسری ۸۲)

- (۱) آزمایش برش پره جهت اندازه‌گیری مقاومت برشی زهکشی نشده خاک‌های چسبنده به کار می‌رود.
- (۲) آزمایش نفوذ استاندارد (SPT) برای تعیین ضریب عکس‌العمل بستر خاک به کار می‌رود.
- (۳) در آزمایش نفوذ مخروط (CPT)، مقاومت برشی خاک با توجه به تعداد ضربه لازم برای نفوذ مخروط به میزان ۳۰ سانتی‌متر تعیین می‌شود.
- (۴) استفاده از نتایج آزمایش بارگذاری صفحه در سطح زمین، در مورد پی‌های گسترده مطمئن‌تر از پی‌های منفرد می‌باشد.

۲۴- آزمایش برش پره‌ای (vane shear) از طریق حفر گمانه در عمق ۱۵ متری خاک رس اشباع انجام شده است. از دیدگاه شرایط آزمایش، این آزمایش میدانی با کدامین آزمایش آزمایشگاهی بر روی رس اشباع شبیه‌تر است؟

(سراسری ۸۹)

- (۱) فشاری محدود نشده (تک محوری) - UC
- (۲) تحکیم یافته زهکشی شده - CD
- (۳) تحکیم یافته زهکشی نشده - CU
- (۴) تحکیم نیافته زهکشی نشده - UU

۲۵- به منظور طراحی شمع نتایج کدام آزمایش مناسب‌تر است؟

(سراسری ۹۰)

- (۱) C.P.T (۲) D.M.T (۳) S.L.T (۴) P.L.T

پاسخ تست‌های فصل چهارم

۱- (۳)

با توجه به مطالب ارائه شده در مورد روش‌های گمانه‌زنی (بخش اول - قسمت ۴-۱-۲) می‌توان نتیجه گرفت که گمانه‌زنی دورانی (با سر مته آسیابی) مناسب‌ترین روش برای اخذ نمونه‌های دست‌نخورده است.

۲- (۲)

ابتدا نسبت AR را محاسبه می‌کنیم:

$$AR = \left(\frac{D_o^2 - D_i^2}{D_i^2} \right) \times 100 = \left(\frac{105^2 - 100^2}{100^2} \right) \times 100 \approx 10\%$$

با توجه به اینکه $AR \approx 10\%$ بوده و L_r نیز به یک نزدیک است، می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از این نمونه‌گیر برای نمونه‌گیری دست‌نخورده خاک مناسب است.

۳- (۲)

به بخش اول، قسمت (۴-۱-۴)، نکته (۲) مراجعه شود.

۴- (۳)

بازده مغزه‌گیری همان L_r (Recovery Ratio) می‌باشد:

$$L_r = \frac{\text{طول واقعی نمونه خارج شده از نمونه‌گیر}}{\text{طول تئوریک نمونه}} = \frac{1/5}{2} \times 100 = 7.5\%$$

۵- (۴)

به بخش دوم، قسمت (۴-۲-۲)، نکات مربوط به آزمایش نفوذ استاندارد (نکته ۱) مراجعه شود.

۶- (۳)

برای توصیف خاک بایستی N_{60} (که در جدول آمده است) را بدست آوریم:

$$N_{60} = N_{45} \times C_E = (N_2 + N_3) \left(\frac{E_r \text{ موجود}}{E_r \text{ خواسته شده}} \right) = (16 + 18) \left(\frac{45}{60} \right) = 25$$

بنابراین خاک موردنظر یک خاک رس سفت است.

۷- (۲)

با در نظر گرفتن ضرایب اصلاح برای عدد نفوذ استاندارد خام، خواهیم داشت:

$$\begin{cases} N_{SPT} = (N_2 + N_3) \times C_N \times C_d \times C_r \times C_s \\ C_d = 1 \quad (d = 100 \text{ mm}) \\ C_s = 1 \quad \text{نمونه استاندارد} \\ C_r = 1 \quad (L = 15 \text{ m} > 10 \text{ m}) \\ C_N = 10 \sqrt{\frac{1}{\sigma'_v}} = 10 \sqrt{\frac{1}{15 \times 8}} \approx \frac{10}{11} \end{cases}$$

$$N_{SPT} = (16 + 18) \times \frac{10}{11} \times 1 \times 1 \times 1 = 30$$

بنابراین N_{SPT} برابر است با:



۸- (۲)

طبق رابطه (۴-۹) که در بخش دوم، قسمت (۴-۲-۳) ارائه شد، N_k بستگی به نشانه خمیری خاک داشته و با افزایش PI ، کاهش می‌یابد.

$$N_k = 19 - \left(\frac{PI - 10}{5} \right), \quad PI > 10$$

۹- (۱)

شکل (۱) مقاومت نوک مخروط را به تنهایی (q_c) و شکل (۲) مجموع «مقاومت نوک + مقاومت اصطکاک بدنه» (q_{total}) را نشان می‌دهد. از این‌رو می‌توان نوشت:

$$q_{total} = 55 \text{ MN/m}^2$$

$$q_c = 50 \text{ MN/m}^2$$

$$f_r = \frac{55 - 50}{50} \times 100 = 10\%$$

۱۰- (۱)

همانطور که در بخش دوم، قسمت (۴-۲-۴) گفته شد، آزمایش برش پره برای تعیین چسبندگی خاک رس اشباع در حالت زهکشی نشده (c_u) به کار می‌رود.

۱۱- (۳)

ابتدا با استفاده از رابطه (۴-۱۵)، حساسیت خاک را براساس آزمایش VST تعیین می‌کنیم:

$$S_t = \frac{T_{max}}{T_r} = \frac{2T_r}{T_r} = 2$$

سپس با استفاده از رابطه (۴-۱۲) در آزمایش CPT ، خواهیم داشت: $f_r = 5\%$.

$$f_r = \frac{10}{f_r} \Rightarrow 2 = \frac{10}{f_r} \Rightarrow f_r = 5\%$$

$$f_r = \frac{q_s}{q_c} \times 100 \Rightarrow 5 = \frac{q_s}{q_c} \times 100 \Rightarrow \frac{q_s}{q_c} = 0.05 = \frac{1}{20}$$

و در انتها می‌نویسیم:

۱۲- (۲)

به بخش دوم، قسمت (۴-۲-۶)، شرح آزمایش DMT مراجعه شود.

۱۳- (۲)

همانطور که در بخش دوم، قسمت (۴-۲-۵) گفته شد، در آزمایش پرسیومتری (PMT)، علاوه بر تعیین مستقیم مدول الاستیسیته خاک، ظرفیت باربری نهایی در لایه‌های مختلف و ضریب فشار جانبی خاک از k_p تا k_p نیز قابل تعیین است. (نکات آزمایش PMT ؛ نکته ۲)

همچنین در فصل دوم ملاحظه شد که با استفاده از آزمایش بارگذاری صفحه (PLT) می‌توان ضریب عکس‌العمل بستر برای صفحه (k_s) و از آنجا ضریب عکس‌العمل بستر برای پی (k_f) را محاسبه نمود که سرانجام منجر به محاسبه مدول الاستیسیته خاک یعنی E_s خواهد شد:

$$s_e = q \cdot B \left(\frac{1 - \mu_s}{E_s} \right) I_p, \quad s_e = \frac{q}{k_f} \Rightarrow E_s = k_f B (1 - \mu_s) I_p$$

بنابراین گزینه (۲) پاسخ صحیح است.

۱۴- (۳)

به بخش دوم، قسمت (۴-۲-۶)، شرح آزمایش *DMT* مراجعه شود.

۱۵- (۴)

طبق رابطه (۴-۱۸) مقاومت متوسط نوک مخروط با استفاده از ظرفیت باربری مجاز پی (بر مبنای نشست 25 mm و $B \leq 1/2 \text{ m}$) برابر است با:

$$q_c = 30 q_{all_{25}}$$

بنابراین ابتدا ظرفیت باربری مجاز بر مبنای نشست 25 mm را محاسبه می‌کنیم:

$$q_{all_{25}} = q_{all_{30}} \left(\frac{25}{30} \right) = 600 \times \left(\frac{25}{30} \right) = 500 \text{ kPa}$$

و سپس می‌نویسیم:

$$q_c = 30 \times 500 = 15000 \text{ kPa} = 15 \text{ MPa}$$

۱۶- (۱)

با استفاده از رابطه (۴-۲۲) خواهیم داشت:

$$Q_p = A_p q_c = (0.15)^2 \times 10 = 2.15 \text{ MN} = 2150 \text{ kN}$$

۱۷- (۴)

به متن درس، بخش سوم، قسمت (۴-۳-۱) مراجعه شود. توجه شود که از آزمایش برش پره (*VST*) برای تعیین مقاومت برشی زهکشی نشده خاک رس اشباع استفاده می‌شود.

۱۸- (۴)

به متن درس (بخش دوم - قسمت ۴-۲-۳)، توضیحات مربوط به شرح آزمایش *CPT* مراجعه شود.

۱۹- (۱)

$$N_{SPT} = N_2 + N_3 = 17 + 18 = 35$$

با توجه به آنکه $25 < N_{SPT} < 45$ است، لذا خاک نسبتاً متراکم بوده و $D_r \approx 0.165$ می‌باشد.

۲۰- (۴)

ابتدا c_u اصلاح نشده را با استفاده از رابطه داده شده تعیین می‌کنیم:

$$T = c_u \pi D^2 \left(\frac{H}{\gamma} + \frac{D}{6} \right) \Rightarrow 43.12 = c_u \times 3 \times 0.12^2 \times \left(\frac{0.06}{\gamma} + \frac{0.12}{6} \right)$$

$$\Rightarrow c_u = 20000 \text{ N/m}^2 = 20 \text{ kN/m}^2$$

حال در ادامه برای تعیین c_u اصلاح شده خواهیم داشت:

$$\begin{cases} c_u \text{ (اصلاح شده)} = \lambda c_u \text{ (اصلاح نشده)} \\ PI = 70 - 20 = 50 \end{cases} \xrightarrow{\text{با استفاده از نمودار}} \lambda = 0.18 \Rightarrow c_u \text{ (اصلاح شده)} = 0.18 \times 20 = 16 \text{ kN/m}^2$$



۲۱- (۴)

همانطور که در پاسخ تست (۱۳) گفته شد، از آزمایش‌های PMT و PLT برای تعیین مستقیم مدول الاستیسیته خاک استفاده می‌شود که البته آزمایش PLT برای درشت دانه‌ها مناسب‌تر است. لازم به ذکر است که از نتایج آزمایش‌های SPT و CPT نیز به طور غیرمستقیم برای تخمین مدول الاستیسیته خاک استفاده می‌شود.

۲۲- (۴)

$$\begin{cases} N_{SPT} = N \times C_d \\ N = 13 + 18 = 31 \\ C_d = 1/15 \text{ (قطر گمانه } 200 \text{ mm است)} \end{cases} \Rightarrow N_{SPT} = 31 \times 1/15 \approx 36$$

۲۳- (۱)

به بخش دوم، قسمت (۴-۲-۴)، شرح آزمایش برش پره مراجعه شود.

۲۴- (۴)

همانطور که در متن درس نیز گفته شد (بخش دوم، قسمت ۴-۲-۴، شرح آزمایش برش پره) از آزمایش برش پره برای تعیین مقاومت برشی زهکشی نشده خاک‌های رسی نرم استفاده می‌شود. بنابراین می‌توان گفت این آزمایش میدانی، نتایج بدست آمده از آزمایش UU را در اختیار ما قرار می‌دهد.

۲۵- (۱)

همانطور که در بخش سوم ملاحظه شد، برای محاسبه ظرفیت باربری انتهای شمع از نتایج آزمایش‌های میدانی SPT و CPT نیز می‌توان استفاده کرد.