



پیش نویس

روش انجام آزمایش نفوذ مخروط

شبه ایستا (CPT)



پیش‌گفتار

امروزه نقش و اهمیت ضوابط، معیارها و استانداردها و آثار اقتصادی ناشی از به کارگیری مناسب و مستمر آنها در پیشرفت جوامع، تهیه و کاربرد آنها را ضروری و اجتناب ناپذیر ساخته است. نظر به وسعت دامنه علوم و فنون در جهان امروز، تهیه ضوابط، معیارها و استانداردها در هر زمینه به مجامع فنی - تخصصی واگذار شده است.

با در نظر گرفتن مراتب فوق و با توجه به شرایط اقلیمی و محدودیت منابع آب در ایران، تهیه استاندارد در بخش آب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و از این رو طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور وزارت نیرو با همکاری سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی به منظور تأمین اهداف زیر اقدام به تهیه استانداردهای مهندسی آب نموده است :

- ایجاد هماهنگی در مراحل تهیه، اجرا، بهره‌برداری و ارزشیابی طرح‌ها
- پرهیز از دوباره‌کاری‌ها و اتلاف منابع مالی و غیرمالی کشور
- تدوین استانداردهای مهندسی آب با در نظر داشتن موارد زیر صورت می‌گیرد :
- استفاده از تخصص‌ها و تجارب کارشناسان و صاحب‌نظران شاغل در بخش عمومی و خصوصی
- استفاده از منابع و مآخذ معتبر و استانداردهای بین‌المللی
- بهره‌گیری از تجارب دستگاه‌های اجرایی، سازمان‌ها، نهادها، واحدهای صنعتی، واحدهای مطالعه، طراحی و ساخت
- توجه به اصول و موازین مورد عمل مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران و سایر مؤسسات معتبر تهیه‌کننده استاندارد

استانداردها ابتدا به صورت پیش‌نویس برای نظرخواهی منتشر شده و نظرات دریافتی پس از بررسی تیم تهیه‌کننده و گروه نظارت در نسخه نهایی منظور خواهد شد.

امید است کارشناسان و صاحب‌نظرانی که فعالیت آنها با این رشته از مهندسی آب مرتبط می‌باشد، با توجهی که مبذول می‌فرمایند این پیش‌نویس را مورد بررسی دقیق قرار داده و با ارائه نظرات و راهنمایی‌های ارزنده خود به دفتر استانداردها و معیارهای فنی، این دفتر را در تنظیم و تدوین متن نهایی یاری و راهنمایی فرمایند.

ترکیب اعضای کمیته تهیه کننده :

متن اولیه این پیش‌نویس توسط آقایان مهندس علیرضا شریفی سلطانی و دکتر سیاوش لیتکوهی تهیه شده است.

گروه ژئوتکنیک که مسئولیت نظارت تخصصی بر تدوین این پیش‌نویس را به‌عهده داشته‌اند به ترتیب حروف الفباء عبارتند از:

خانم فیروزه امامی	طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور	فوق لیسانس زمین‌شناسی
آقای فرزانه رفیعا	شرکت مهندسی مشاور کاوشگران	فوق لیسانس مهندسی معدن (مکانیک سنگ)
آقای بهروز گتمیری	دانشگاه تهران – دانشکده فنی	دکترای ژئوتکنیک
آقای سیاوش لیتکوهی	شرکت خدمات مهندسی مکانیک خاک	دکترای مکانیک خاک
خانم مهیار نوربخش پیربازاری	طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور	فوق لیسانس ژئوتکنیک
آقای علی یوسفی	شرکت سهامی خدمات مهندسی برق (مشانیر)	فوق لیسانس مهندسی معدن (زمین‌شناسی مهندسی)

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	مقدمه
۱	۱- هدف
۱	۲- دامنه کاربرد
۲	۳- تعاریف
۲	۱-۳ نفوذسنج مخروطی
۲	۲-۳ مخروط
۲	۳-۳ غلاف اصطکاکی
۲	۴-۳ نفوذسنج مخروطی - اصطکاکی
۲	۵-۳ نوک نفوذسنج
۲	۶-۳ میله‌های رانش
۲	۷-۳ میله‌های داخلی
۳	۸-۳ نفوذسنج مکانیکی
۳	۹-۳ مقاومت نوک (q_c)
۳	۱۰-۳ مقاومت اصطکاکی جداره (f_s)
۳	۱۱-۳ نسبت اصطکاک (R_f)
۳	۱۲-۳ شاخص اصطکاک (I_f)
۳	۴- موارد استفاده
۴	۵- محدودیت آزمایش
۵	۶- دستگاه آزمایش
۵	۱-۶ کلیات
۵	۱-۱-۶ مخروط
۵	۲-۱-۶ لوله جدار
۵	۳-۱-۶ فولاد
۵	۴-۱-۶ میله‌های رانش
۶	۵-۱-۶ میله‌های داخلی
۶	۶-۱-۶ دقت اندازه‌گیری

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۶	۲-۶ نفوذسنج مکانیکی
۶	۳-۲-۶ نفوذسنج مخروطی
۷	۴-۲-۶ نفوذسنج مخروطی - اصطکاکی
۷	۵-۲-۶ تجهیزات اندازه گیری
۸	۳-۶ نفوذسنج الکتریکی
۸	۱-۳-۶ نفوذسنج مخروطی
۸	۲-۳-۶ نفوذ سنج مخروطی - اصطکاکی
۹	۳-۳-۶ انواع دیگر نفوذسنجها
۹	۴-۶ دستگاه رانش
۱۰	۵-۶ سیستم ایجاد بار عکس العمل
۱۰	۷- روش انجام آزمایش
۱۰	۱-۷ کلیات
۱۰	۲-۷ نفوذسنجهای مکانیکی
۱۰	۱-۲-۷ نفوذسنج مخروطی
۱۱	۲-۲-۷ نفوذسنج مخروطی - اصطکاکی
۱۱	۳-۲-۷ ثبت دادهها
۱۲	۳-۷ نفوذ سنج الکتریکی
۱۲	۸- فن آوری های ویژه و احتیاطها
۱۲	۱-۸ کاهش اصطکاک در طول میلههای رانش
۱۳	۲-۸ جلوگیری از خمش میلهها در بالای سطح زمین
۱۳	۳-۸ انحراف نوک
۱۳	۴-۸ فرسودگی و سایش نوک
۱۴	۵-۸ فاصله بین مخروط و غلاف اصطکاکی
۱۴	۶-۸ وقفه در انجام آزمایش (توقف)
۱۴	۷-۸ انجام آزمایش در مجاورت گمانه و یا در کف آن

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱۵	۸-۸ نفوذسنج‌های مکانیکی
۱۵	۱-۸-۸ اصطکاک میله‌های داخلی
۱۵	۲-۸-۸ وزن میله‌های داخلی
۱۵	۳-۸-۸ گیر کردن (کیپ شدن) نوک
۱۵	۹-۸ نفوذسنج‌های الکتریکی
۱۵	۹- تفسیر نتایج
۱۵	۱-۹ معرفی
۱۶	۲-۹ تعیین جنس خاک و لایه بندی (طبقه بندی خاک و لایه بندی)
۱۶	۱-۲-۹ تعیین نوع خاک
۱۷	۲-۲-۹ لایه بندی نسبی
۱۸	۳-۹ تخمین تراکم نسبی D_r در ماسه
۱۸	۱-۳-۹ ماسه به طور عادی تحکیم یافته
۱۹	۲-۳-۹ ماسه بیش تحکیم یافته
۲۰	۴-۹ تعیین زاویه مقاومت برشی مؤثر ϕ'
۲۰	۱-۴-۹ روش مستقیم
۲۲	۲-۴-۹ روش‌های غیر مستقیم
۲۳	۵-۹ رابطه بین مقاومت نوک q_c و شمار N در آزمایش نفوذ استاندارد S.P.T.
۲۵	۶-۹ تعیین مقاومت برشی خاک‌های چسبنده
۲۵	۱-۶-۹ رس‌های به طور عادی تحکیم یافته
۲۶	۲-۶-۹ رس‌های بیش تحکیم یافته
۲۶	۷-۹ تعیین مدول یانگ
۲۶	۱-۷-۹ خاک‌های چسبنده
۲۹	۲-۷-۹ خاک‌های غیر چسبنده
۳۱	۸-۹ ظرفیت باربری مجاز پی‌های سطحی
۳۱	۱-۸-۹ خاک‌های غیر چسبنده
۳۱	۲-۸-۹ خاک‌های چسبنده

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۳۲	۹-۹ نشست پی‌های سطحی
۳۲	۱-۹-۹ خاک‌های غیر چسبنده
۳۵	۲-۹-۹ خاک‌های چسبنده
۳۶	۱۰-۹ ظرفیت باربری پی عمیق
۳۶	۱-۱۰-۹ ظرفیت باربری نوک
۳۹	۲-۱۰-۹ ظرفیت باربری جداره
۴۲	۳-۱۰-۹ ضریب اطمینان - سایر موارد
۴۲	۱۰- گزارش
۴۲	۱-۱۰ اطلاعات قابل ثبت
۴۳	۲-۱۰ سایر موارد
۴۳	۱-۲-۱۰ نمودار تغییرات مقاومت نوک q_c نسبت به عمق
۴۳	۲-۲-۱۰ نمودار تغییرات مقاومت اصطکاکی جداره f_s نسبت به عمق
۴۳	۳-۲-۱۰ نمودار تغییرات نسبت اصطکاک R_f نسبت به عمق
۴۳	۴-۲-۱۰ نفوذ سنج ویژه (پیزوکن)
۴۳	۳-۱۰ تغییر در روش آزمایش استاندارد
۴۴	۱۱- استفاده‌های دیگر از دستگاه آزمایش
۴۵	منابع و مراجع

مقدمه

آزمایش نفوذ مخروط شبه ایستا^۱ (CPT) یکی از آزمایش‌های معمول برجا است که کاربردهای فراوانی در زمینه مهندسی ژئوتکنیک از قبیل تعیین خصوصیات مهندسی خاک، بررسی شرایط ژئوتکنیکی زمین بین گمانه‌های کنترلی و تعیین لایه‌بندی را دارا است.

این آزمایش خصوصاً به دو دلیل عدم ایجاد دست‌خوردگی در خاک و نیز پیوستگی قرائت‌ها از اهمیت ویژه‌ای در مطالعات ژئوتکنیک برخوردار است.

۱- هدف

عموماً، هدف از انجام آزمایش نفوذ مخروط شبه ایستا تعیین پارامترهای ژئوتکنیک خاک یا سنگ ضعیف (در بخش نرم و هوازده آن) است.

با توجه به مشخصات پروژه‌ها و نظر مهندس ژئوتکنیک، این آزمایش می‌تواند با هدف دستیابی به اطلاعاتی به جز مورد یاد شده یا علاوه بر آن نیز انجام شود.

۲- دامنه کاربرد

در آزمایش نفوذ مخروط شبه ایستا، یک مخروط^۲ که به مجموعه‌ای از میله‌های گرد متصل است با سرعتی ثابت و کم به داخل خاک رانده می‌شود. مقاومت در برابر نفوذ نوک مخروط^۳ و در صورت لزوم مقاومت اصطکاکی موضعی^۴ جداره^۵ به‌طور پیوسته یا در فواصل مشخص اندازه‌گیری می‌شود.

از مهمترین دلایل استفاده از این آزمایش، سرعت اجرا، صرفه اقتصادی، امکان ثبت داده‌ها به صورت پیوسته و همچنین جلوگیری از دست‌خوردگی خاک در مقایسه با آزمایش نفوذ استاندارد (SPT) است که با حفاری همراه می‌باشد. با استفاده از این آزمایش می‌توان به سرعت به عمق لایه‌های نرم و تراز قرارگیری سنگ بستر پی برد. همچنین از این آزمایش برای ارزیابی کارایی روش‌های بهسازی خاک استفاده می‌شود.

تعیین خصوصیات مهندسی خاک‌های چسبنده و دانه‌ای و نیز بخش نرم و هوازده سنگ‌ها به کمک این آزمایش امکان‌پذیر است.

به دلیل یکسان بودن تجهیزات و روش‌های انجام آزمایش، انجام دهنده آزمایش^۶ نقش کمتری در دقت نتایج دارد. انجام این آزمایش نسبت به آزمایش نفوذ استاندارد (SPT) آسان‌تر است.

توجه: علامت * در متن این پیش‌نویس استاندارد نمایانگر مواردی است که انجام آنها غیر الزامی (اختیاری) می‌باشد.

1 - Quasi – Static cone penetration test (CPT)

2 - Cone

3 - Cone tip

4 - Local side friction

5 - Sleeve

6 - Operator

۳- تعاریف

۱-۳ نفوذسنج مخروطی^۱

وسیله‌ای به شکل میله استوانه‌ای با نوکی به شکل مخروط است. این وسیله به منظور نفوذ به داخل خاک یا سنگ نرم و اندازه‌گیری مقاومت نوک طراحی شده است.

۲-۳ مخروط

عبارت است از نوک مخروطی شکل نفوذسنج که مقاومت نوک با استفاده از آن اندازه‌گیری می‌شود.

۳-۳ غلاف اصطکاکی^۲ (لوله جدار)

قسمتی از نفوذسنج است که با استفاده از آن مقاومت اصطکاکی جداره به صورت موضعی اندازه‌گیری می‌شود.

۴-۳ نفوذسنج مخروطی - اصطکاکی^۳

عبارت است از نفوذسنج مخروطی همراه با غلاف اصطکاکی که امکان اندازه‌گیری مقاومت نوک و اصطکاک جداره را به طور هم‌زمان فراهم می‌کند.

۵-۳ نوک نفوذسنج^۴

به مجموعه مخروط و غلاف اصطکاکی (در صورت وجود) گفته می‌شود.

۶-۳ میله‌های رانش^۵

به لوله‌هایی با جداره ضخیم یا هر نوع میله مناسب گفته می‌شود که برای راندن نوک نفوذسنج مخروطی به داخل خاک به کار می‌رود.

۷-۳ میله‌های داخلی^۶

به میله‌هایی گفته می‌شود که در داخل میله‌های رانش لغزیده و نوک مجموعه نفوذسنج مکانیکی را به پیش می‌راند.

-
- 1 - Cone penetrometer
 - 2 - Friction sleeve
 - 3 - Friction – Cone penetrometer
 - 4 - Penetrometer tip
 - 5 - Push rods
 - 6 - Inner rods

۸-۳ نفوذسنج مکانیکی^۱

عبارت از نفوذسنجی است که نوک آن به صورت تلسکوپی^۲ با استفاده از میله‌های داخلی، به داخل خاک رانده شده و مقادیر مقاومت نوک و جداره اندازه‌گیری می‌شود.

۹-۳ مقاومت نوک^۳ (q_c)

مقاومت در برابر نفوذ مخروط به داخل خاک بوده و برابر با نسبت نیروی عمودی وارد بر مخروط به تصویر افقی سطح قاعده مخروط است.

۱۰-۳ مقاومت اصطکاکی جداره^۴ (f_s)

نسبت نیروی اصطکاک اندازه‌گیری شده وارد بر غلاف به سطح جانبی غلاف است.

۱۱-۳ نسبت اصطکاک^۵ (R_f)

به نسبت مقاومت اصطکاکی جداره به مقاومت نوک گفته می‌شود و بر حسب درصد بیان می‌شود.

$$R_f = \frac{f_s}{q_c}$$

f_s و q_c باید در تراز یکسان اندازه‌گیری شوند.

۱۲-۳ شاخص اصطکاک^۶ (I_f)

به نسبت مقاومت نوک به مقاومت اصطکاکی جداره گفته می‌شود و عکس نسبت اصطکاک است.

$$I_f = \frac{q_c}{f_s}$$

* ۴- موارد استفاده

از نتایج آزمایش نفوذ مخروط شبه ایستابه طور گسترده در انواع خاک‌های چسبنده، دانه‌ای و حتی سنگ‌های نرم و هوازده در موارد زیر استفاده می‌شود:

۱-۴ تعیین لایه بندی خاک‌های زیر سطحی ، عمق لایه‌های نرم ، تراز قرار گیری سنگ بستر و نیز بررسی وجود حفره‌ها ،

گودال‌ها و سایر ناپهنجاری‌های خاک

۲-۴ طبقه بندی خاک

-
- 1 - Mechanical penetrometer
 - 2 - Telescopic penetrometer
 - 3 - Point (end-bearing) resistance
 - 4 - Side friction resistance
 - 5 - Friction ratio
 - 6 - Friction index

- ۳-۴ تعیین ظرفیت باربری و نشست پی‌های سطحی و عمیق و نیز بررسی قابلیت رانش شمع^۱ در خاک
- ۴-۴ تعیین تراکم نسبی و زاویه اصطکاک داخلی در خاک‌های غیر چسبنده و نیز مدول کشسانی^۲ و مدول عکس‌العمل بستر^۳ در انواع خاک
- ۵-۴ تعیین مقاومت برشی تحکیم نیافته - زهکشی نشده (UU) در خاک‌های چسبنده
- ۶-۴ ارزیابی پتانسیل روانگرایی
- ۷-۴ ارزیابی کارایی بهسازی‌های انجام شده در خاک
- ۸-۴ تخمین شماره N (مربوط به آزمایش SPT) از روی q_c

* ۵- محدودیت آزمایش

- * ۱-۵ در این آزمایش امکان نمونه برداری وجود ندارد. از آنجا که تفسیر نتایج این آزمایش بر پایه روابط تجربی استوار است، بهتر است نتایج این آزمایش با نتایج آزمایش‌های آزمایشگاهی و برجا ارتباط داده شود.
- * ۲-۵ فشار منفذی ایجاد شده در حین انجام آزمایش در پیش رو و اطراف مخروط یا لوله جدار می‌تواند اثر مهمی بر مقادیر اندازه‌گیری شده q_c و f_s داشته و تفسیر نتایج را دچار خطا کند.
- در چنین مواردی می‌توان از نفوذسنج ویژه^۴ که در آن امکان اندازه‌گیری هم‌زمان سه کمیت فشار منفذی ایجاد شده، مقاومت نوک q_c و اصطکاک جداره f_s وجود دارد، استفاده کرد.
- * ۳-۵ عمق نفوذ مخروط تابعی از شرایط خاک و ظرفیت دستگاه است. مقدار نفوذ در شن متراکم اندک است؛ قطعات سنگ نیز اگر مانع نفوذ مخروط نشود، ممکن است نتایج آزمایش را دچار خطا کند. نفوذ مخروط در سنگ تنها محدود به سطح فوقانی هوازده آن است. امکان کاهش دقت اندازه‌گیری در ماسه‌های درشت دانه یا خاک‌های شنی نیز وجود دارد. حتی در ماسه‌های نیمه متراکم در اعماق زیاد به دلیل وجود فشار جانبی قابل ملاحظه، نفوذ مخروط مشکل یا غیر ممکن است.
- * ۴-۵ از آنجا که پتانسیل روانگرایی علاوه بر مقاومت نوک q_c به توزیع دانه بندی مرتبط است و در این آزمایش استفاده از نتایج اصطکاک جداره f_s امکان تعیین دقیق توزیع دانه بندی را فراهم نمی‌کند، در صورت عدم دسترسی به توزیع دانه بندی، استفاده از نتایج این آزمایش در بررسی روانگرایی باید با احتیاط صورت پذیرد.
- * ۵-۵ توصیه می‌شود برای شناسایی خاک‌های زیر سطحی با حفر گمانه، اخذ نمونه، انجام آزمایش‌های آزمایشگاهی و برجا از ارتباط نتایج آنها با نتایج آزمایش CPT استفاده کرد.
- * ۶-۵ سایر مواردی که در آن انجام آزمایش CPT توأم با حفر گمانه یا سایر مطالعات توصیه می‌شود، عبارتند از:
- * ۱-۶-۵ وقتی در تفسیر نتایج آزمایش مشکلی پدید آید.

1 - Pile driving
 2 - Young' modulus
 3 - Modulus of subgrade reaction
 4 - Piezocone

- * ۲-۶-۵ امکان مطالعه مجدد در لایه‌هایی که مقاومت نوک در آنها ضعیف بوده و ایجاد تردید کند.
- * ۳-۶-۵ شناسایی لایه‌هایی عمیق تر از حداکثر عمق قابل نفوذ توسط دستگاه آزمایش
- * ۴-۶-۵ در پروژه‌های مربوط به عملیات خاکبرداری که در آن نیاز به اخذ نمونه‌هایی برای انجام آزمایش‌های آزمایشگاهی، تعیین عمق آب زیر زمینی، انجام آزمایش نفوذپذیری و از این قبیل باشد.
- * ۵-۶-۵ به‌طور کلی در سایر مواردی که قضاوت مهندسی، لزوم انجام مطالعاتی علاوه بر آزمایش CPT را تشخیص دهد.

۶- دستگاه آزمایش

۱-۶ کلیات

۱-۱-۶ مخروط

زاویه نوک مخروط باید $60 \pm 5^\circ$ و قطر قاعده آن برابر $35/7 \pm 0/4$ میلی‌متر باشد (سطح تصویر افقی قاعده ۱۰ سانتی‌متر مربع). شعاع نوک مخروط باید کمتر از ۳ میلی‌متر باشد. از نفوذسنج‌های با سطح مقطع بزرگتر (بین ۵ تا ۱۵ سانتی‌متر مربع) برای افزایش حساسیت در خاک‌های ضعیف می‌توان استفاده کرد، اما در صورت استفاده باید سطح مخروط و غلاف اصطکاکی در گزارش یاد شود.

۲-۱-۶ لوله جدار (غلاف اصطکاکی)

قطر خارجی آن هم اندازه با قطر قاعده مخروط است. قطر هیچ قسمت دیگری از نفوذسنج مخروطی نباید از قطر غلاف بیشتر باشد. سطح جانبی غلاف باید معادل $2\% \pm 150$ سانتی‌متر مربع باشد.

۳-۱-۶ فولاد

مخروط و لوله جدار را باید از فولاد با نوع و سختی^۱ مناسب ساخت تا در برابر سایش مقاوم باشد. زبری لوله جدار باید در زمان ساخت معادل AA $50\% \pm 0/5$ میکرون بوده و در دوران استفاده از آن تغییری نکند.

۴-۱-۶ میله‌های رانش

باید از فولاد مناسب ساخته شده و دارای سطح مقطع کافی برای تحمل عکس‌العمل لازم برای راندن نوک نفوذسنج بدون ایجاد کمانش باشد.

قطر خارجی میله‌های رانش به‌ویژه در فواصل زیر نباید از قطر قاعده مخروط تجاوز کند :

- در نفوذسنج مخروطی در فاصله حداقل ۴۰ سانتی‌متر از بالای قاعده مخروط
 - در نفوذسنج مخروطی - اصطکاکی در فاصله حداقل ۳۰ سانتی‌متر از بالای نوک لوله جدار
- کلیه میله‌های رانش مورد استفاده باید دارای قطر داخلی یکسان و ثابت باشد. اتصال میله‌های رانش باید به گونه‌ای باشد که نیروهای وارده را کاملاً منتقل کرده و میله واحدی را با اتصالات صلب و محور مستقیم تشکیل دهد.

۵-۱-۶ میل‌های داخلی

در نفوذسنج‌های مکانیکی، میل‌های داخلی از جنس فولاد یا سایر آلیاژهای فلزی می‌باشند. قطر خارجی این میل‌ها باید ثابت بوده و زبری آن کمتر از AA ۰/۲۵ میکرون باشد. طول میل‌های داخلی باید با طول میل‌های رانش برابر باشد (تا حد $\pm 0/1$ میلی‌متر). سطح مقطع میل‌های داخلی باید به اندازه‌ای باشد که نیرو را بدون کماتش به نوک منتقل کند. فضای خالی بین میل‌های داخلی و میل‌های رانش باید بین ۰/۵ تا ۱ میلی‌متر باشد (۸-۸-۱ را ببینید).

۶-۱-۶ دقت اندازه‌گیری

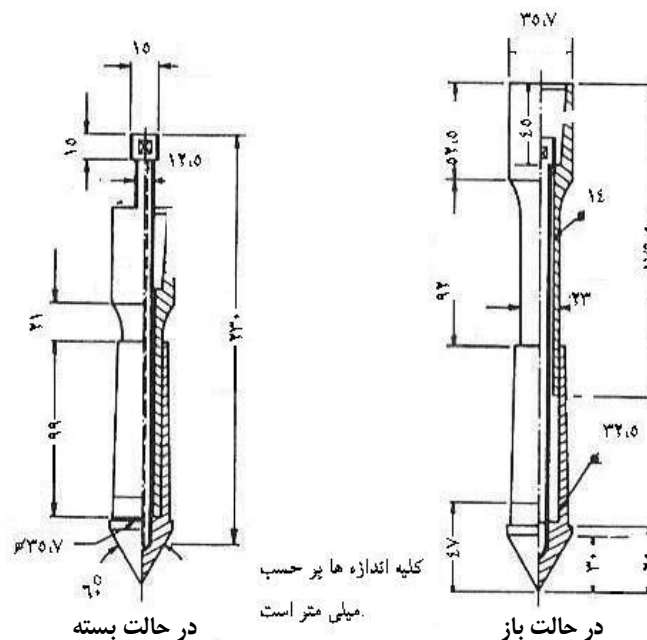
دقت دستگاه‌ها برای اندازه‌گیری نیروها تا $\pm 0/5\%$ مقدار واقعی باشد.

۲-۶ نفوذسنج مکانیکی

- ۱-۲-۶ سازوکار لغزشی مورد نیاز در نوک نفوذسنج مکانیکی باید امکان حرکت روبه پایین مخروط را در ارتباط با میل‌های رانش حداقل به اندازه ۳۰/۵ میلی‌متر فراهم آورد.
- ۲-۲-۶ طراحی نوک نفوذسنج مکانیکی باید به گونه‌ای باشد که مانع از ورود خاک به داخل غلاف شده و مؤلفه‌های مقاومتی را تحت تاثیر قرار ندهد.

۳-۲-۶ نفوذسنج مخروطی

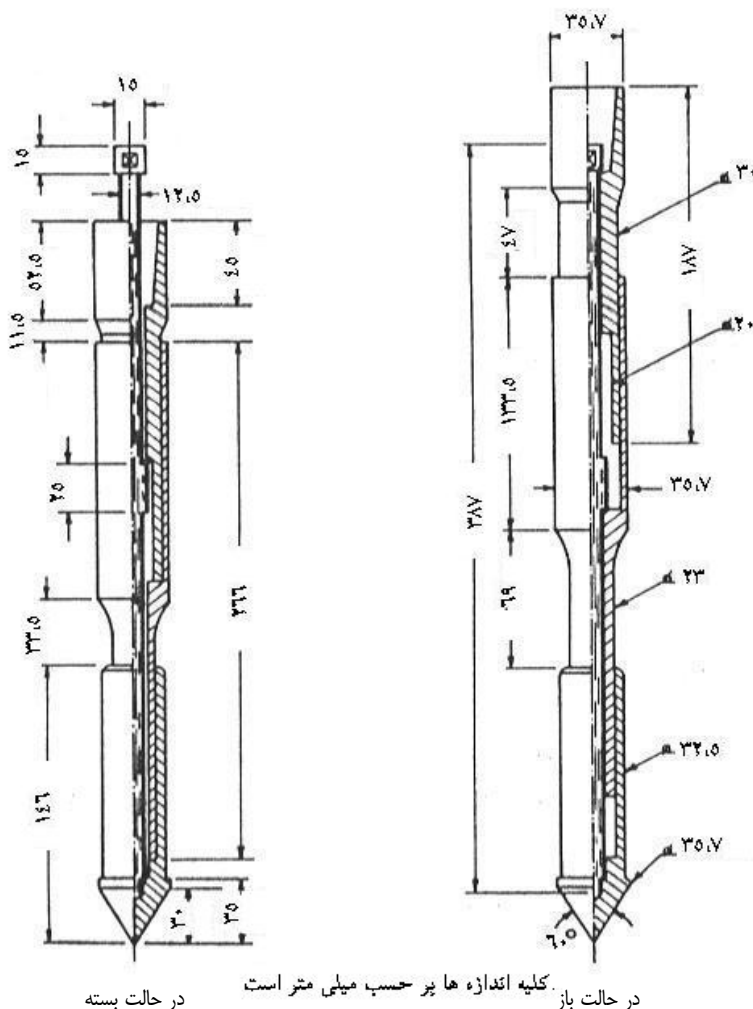
شکل ۱ ابعاد و نحوه عملکرد نوک یک نفوذسنج مخروطی مکانیکی را نشان می‌دهد.



شکل ۱- ابعاد عملکرد نفوذسنج مخروطی مکانیکی (مخروط غلاف دار هلندی^۱)

۴-۲-۶ نفوذسنج مخروطی - اصطکاکی

شکل ۲ ابعاد و نحوه عملکرد نوک یک نفوذسنج مخروطی - اصطکاکی را با عملکرد تلسکوپی نشان می‌دهد. ابتدا قسمت پایینی نوک که شامل غلافی است که به مخروط متصل است به پیش می‌رود. این پیشروی تازمان درگیر شدن بال^۱ به غلاف اصطکاکی ادامه دارد و پس از درگیری، مخروط و غلاف اصطکاکی هر دو هم زمان به پیش می‌روند.



شکل ۲- نمونه نوک یک نفوذ مخروطی - اصطکاکی مکانیکی (نفوذگر مخروطی - اصطکاکی بگمان^۲)

۵-۲-۶ تجهیزات اندازه‌گیری

در سطح زمین مقاومت‌های نفوذ با وسایل مناسبی از قبیل بارسنج هیدرولیکی، الکتریکی و یا حلقه اندازه‌گیری نیرو^۳ اندازه‌گیری می‌شود.

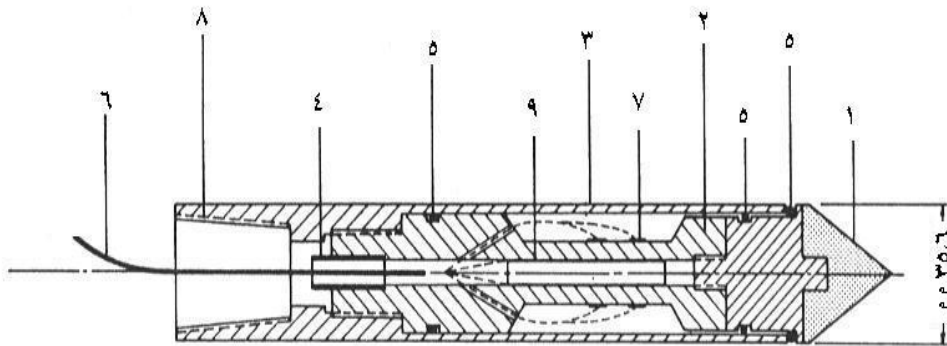
- 1 - Flange
- 2 - Begemann friction - Cone
- 3 - Proving ring

۳-۶ نفوذسنج الکتریکی

۱-۳-۶ نفوذسنج مخروطی

شکل ۳ نوک یک نفوذسنج مخروطی - الکتریکی را نشان می‌دهد.

مقاومت نوک توسط یک سنجشگر نیرو^۱ که به مخروط متصل است اندازه‌گیری می‌شود. یک کابل الکتریکی یا وسیله مناسب دیگری سنجشگر را به سامانه ثبت اطلاعات انتقال می‌دهد. نفوذسنج مخروطی - الکتریکی باید امکان نفوذ پیوسته و ثبت اطلاعات مربوط را در فاصله‌ای به اندازه طول یک میله رانش فراهم سازد. اطلاعات ثبت شده همواره باید در کارگاه قابل دسترسی باشد.



- | | |
|-----------------------------------|----------------------------|
| ۱- نوک مخروطی (۱۰ سانتی‌متر مربع) | ۶- کابل |
| ۲- بارسنج | ۷- کرنش سنج |
| ۳- غلاف حفاظتی | ۸- محل اتصال به میله‌ها |
| ۴- پوشش آب‌بندی | ۹- انحراف سنج ^۲ |
| ۵- حلقه لاستیکی ^۳ | |

شکل ۳- نوک نفوذسنج مخروطی از نوع الکتریکی

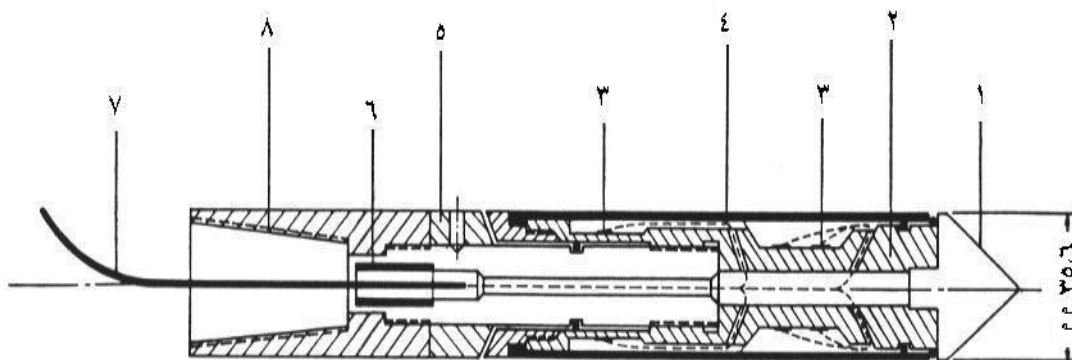
۲-۳-۶ نفوذسنج مخروطی - اصطکاکی

شکل ۴ نوک یک نفوذسنج مخروطی - اصطکاکی از نوع الکتریکی را نشان می‌دهد. در این نوع نفوذسنج فاصله بین انتهای غلاف اصطکاکی از بالای قاعده مخروط نباید از ۱۰ میلی‌متر بیشتر بوده و شرایط یاد شده در مورد نفوذسنج مخروطی (۱-۳-۶) نیز باید برقرار باشد.

1 - Force transducer
2 - Inclinometer
3 - Oring

۳-۳-۶ انواع دیگر نفوذسنج‌ها

نفوذسنج‌های الکتریکی می‌توانند علاوه بر اندازه‌گیری اصطکاک غلاف، دارای قابلیت‌های دیگری نیز باشند. از جمله این قابلیت‌ها می‌توان استفاده از انحراف سنج برای کنترل راستای قائم نوک نفوذسنج را ذکر کرد (۸-۳ را ببینید). برای دستیابی به اطلاعات بیشتری از رفتار و لایه بندی خاک، استفاده از سنجشگر فشار آب حفره‌ای و یا دستگاه اندازه‌گیر سرعت مخروط امکان‌پذیر است. شایان ذکر است که در تمامی دستگاه‌های الکتریکی که برای اندازه‌گیری در نوک به کار رفته اند، تغییرات درجه حرارت نباید تأثیری بر روی قرائت‌ها داشته باشد.^۱ همین‌طور در دستگاه‌های حساس اندازه‌گیری مقاومت نوک و جداره، خروج از مرکز بار وارده نباید تأثیری بر روی قرائت‌ها داشته باشد.



- | | |
|--------------------------------------|----------------------------|
| ۱- نوک مخروطی (۱۰ سانتی‌متر مربع) | ۵- حلقه تنظیم ^۲ |
| ۲- بار سنج | ۶- پوشش آب‌بندی |
| ۳- کرنش سنج | ۷- کابل |
| ۴- غلاف اصطکاکی (۱۵۰ سانتی‌متر مربع) | ۸- محل اتصال به میله‌ها |

شکل ۴- نوک نفوذسنج مخروطی - اصطکاکی از نوع الکتریکی

۴-۶ دستگاه رانش^۳

این دستگاه باید بتواند حرکت پیوسته و ترجیحاً به مقداری بیش از طول یک میله رانش را ایجاد کند. همچنین با توجه به این‌که میزان نیروی لازم اعمال شده از این دستگاه در حین آزمایش (با توجه به شرایط خاک) متغیر می‌باشد، لازم است نوک نفوذسنج را با سرعت ثابت به پیش راند (۷-۱-۶ را ببینید).

1 - Temperature compensated
2 - Adjustment ring
3 - Thrust machine (Rig)

۵-۶ سیستم ایجاد بار عکس العمل

برای درست کار کردن یک دستگاه رانش وجود یک سامانه عکس‌العمل پایدار و ثابت بار لازم است.

۷- روش انجام آزمایش

۱-۷ کلیات

۱-۱-۷ دستگاه آزمایش باید حتی‌الامکان تراز باشد.

۲-۱-۷ آزمایش نفوذ باید بدون ارتعاش انجام پذیرفته و در حین اجرا هیچ‌گونه پیچش یا دورانی اتفاق نیافتد.

۳-۱-۷ در سطح زمین محور میله‌های رانش نباید بیشتر از ۲٪ نسبت به امتداد شاقولی منحرف شود.

۴-۱-۷ پیش از شروع آزمایش باید نسبت به واسنجی^۱ دستگاه‌های اندازه‌گیری اطمینان حاصل کرد. کلیه دستگاه‌های اندازه‌گیری باید پس از هر ۳۰۰۰ متر آزمایش یا حداقل هر ۶ ماه یک بار واسنجی شوند.

۵-۱-۷ پیش از اعمال نیرو بر میله‌ها در هر مرحله از آزمایش باید نسبت به صاف بودن میله‌ها اطمینان حاصل کرد. در این مرحله میله‌های رانش باید صاف و مستقیم باشند به گونه‌ای که حداکثر خیز در هر نقطه از یک میله رانش یک متری نسبت به خط صاف فرضی بین انتهای میله‌ها، برای ۵ شاخه انتهایی از ۱ میلی‌متر و برای سایر میله‌ها از ۲ میلی‌متر تجاوز نکند. در زمان نصب، این ارقام به ترتیب به ۰/۵ و ۱ میلی‌متر محدود می‌شوند.

۶-۱-۷ سرعت نفوذ

سرعت نفوذ در زمان قرائت مقاومت (ها) باید $\pm 25\%$ (میلی‌متر 20 تا 10) باشد. در بین قرائت‌ها می‌توان از

ثانیه

سرعت‌های متفاوتی استفاده کرد.

۲-۷ نفوذسنج‌های مکانیکی

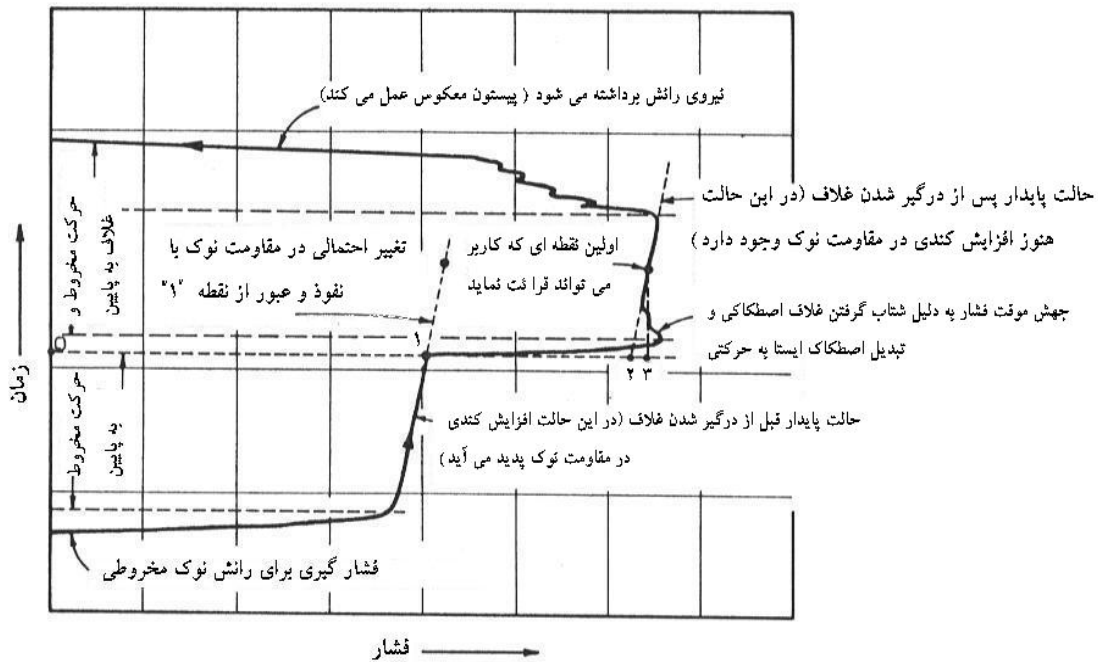
۱-۲-۷ نفوذسنج مخروطی

الف - با اعمال نیروی کافی بر روی میله‌های رانش نوک نفوذسنج به عمق مورد نظر رانده می‌شود.

ب - با اعمال نیروی کافی بر روی میله‌های داخلی نوک مخروطی (مخروط) به پیش رانده می‌شود (شکل ۱). مقدار مقاومت نوک در نقطه‌ای مشخص شده و در حین حرکت رو به پایین میله‌های داخلی (نسبت به میله‌های رانش که در این حالت ثابت هستند) اندازه‌گیری می‌شود. مرحله الف مجدداً تکرار می‌شود. با اعمال نیروی کافی به میله‌های رانش، مخروط باز شده مجدداً جمع شده، به عمق بعدی هدایت می‌شود. با تکرار مداوم دو مرحله فوق مقادیر مقاومت نوک در فواصل و عمق‌های مشخص اندازه‌گیری می‌شود. فواصل یاد شده معمولاً نباید از ۲۰۳ میلی‌متر بیشتر باشد.

۲-۲-۷ نفوذسنج مخروطی - اصطکاکی

از این نوع نفوذسنج مطابق آنچه در ۲-۷-۱ شرح داده شده است استفاده می‌شود. ولی در مرحله ب (مرحله باز شدن مخروط) مقادیر مقاومت نوک و جداره اندازه‌گیری می‌شود (شکل‌های ۵ و ۲). ابتدا مقاومت نوک در مرحله الف اندازه‌گیری می‌شود. وقتی قسمت پایین نوک با غلاف اصطکاکی درگیر شد و آن را به پایین کشاند، اندازه‌گیری دوم که عبارت از مجموع مقاومت‌های نوک و جداره است، انجام می‌شود. پس از تفریق مقاومت نوک اندازه‌گیری شده در مرحله الف از این مقدار، مقاومت جداره به‌دست می‌آید.



شکل ۵- نمودار تغییرات فشار در بارسنج هیدرولیکی در حین اندازه‌گیری نیرو در بالای میله‌های داخلی هنگام پیشروی نوک نفوذسنج مخروطی - اصطکاکی (مکانیکی)

۳-۲-۷ ثبت داده‌ها

در به‌دست آوردن مقادیر مقاومت نوک یا مقاومت نوک و جداره برای اینکه مقادیر مذکور قابلیت کنترل مجدد داشته باشند، باید در زمان استفاده از نوک مخروطی - اصطکاکی صرفاً قرائت‌هایی را که در نقطه‌ای مناسب (در حین پیشروی قسمت فوقانی میله‌های داخلی نسبت به قسمت فوقانی میله‌های رانش) صورت می‌پذیرند، ثبت کرد. به دلیل کاهش طول الاستیک میله‌های داخلی در اثر اعمال بار، قرائت باید پس از جابه‌جایی میله داخلی به میزان ۲۵ میلی‌متر نسبت به میله‌های خارجی انجام شود. در زمان استفاده از نفوذسنج مخروطی - اصطکاکی، قرائت باید درست پیش از درگیری مخروط با غلاف اصطکاکی انجام گیرد (شکل ۵).

مجموع مقادیر مقاومت نوک و اصطکاک جداره در اولین فرصت پس از جهش قرائت می‌شود. با این عمل خطاهای ممکن (شکل ۵) به حداقل می‌رسد. به جز در مواردی که قرائت همانند شکل ۵ به‌طور پیوسته انجام می‌شود، چنانچه تغییر ناگهانی یا نامنظم مقاومت نوک مشاهده شود نباید مجموع مقادیر مقاومت نوک و جداره ثبت شود.

۳-۷ نفوذ سنج الکتریکی

- ۱-۳-۷ در صورت استفاده از کابل الکتریکی، از پیچ و تاب کابل در داخل میله‌های رانش باید جلوگیری شود.
- ۲-۳-۷ در مورد شرایط دستگاه‌های اندازه‌گیری الکتریکی به بند ۳-۳-۶ مراجعه شود.
- ۳-۳-۷ قرائت (های) اولیه دور از تابش مستقیم خورشید و در حالی که نوک نفوذ سنج آزادانه در هوا یا آب آویزان است انجام شود و پس از یک نفوذ کوتاه به عنوان نفوذ اولیه، سوراخ ایجاد شده بازدید شود تا از هم دمایی نوک و خاک اطمینان حاصل شود.
- ۴-۳-۷ مقادیر مقاومت نوک یا مقاومت نوک و اصطکاک جداره به‌طور پیوسته ثبت شود و یا در فواصلی به مقدار ۲۰۳ میلی‌متر قرائت شود.
- ۵-۳-۷ در پایان آزمایش، قرائت‌های نهایی مطابق بند ۳-۳-۵ انجام و با قرائت‌های اولیه مطابقت داده شود. اگر نتیجه به‌دست آمده برای میزان دقت مورد نظر در اندازه‌گیری مقاومت (ها) رضایت بخش نبود، از نتایج آزمایش صرف‌نظر کرده و نوک مورد استفاده تعمیر یا جایگزین شود.

۸- فن‌آوری‌های ویژه و احتیاط‌ها

* ۱-۸ کاهش اصطکاک در طول میله‌های رانش

هدف از کاهش اصطکاک در طول میله‌های رانش، تنها افزایش عمق آزمایش است و ارتباطی با کاهش تفاوت‌های موجود در مؤلفه‌های مقاومتی اندازه‌گیری شده توسط نوک‌های مکانیکی و الکتریکی ندارد.

به منظور کاهش اصطکاک می‌توان از میله خاص با قطر بزرگتر استفاده کرد و یا با ایجاد زوایدی در طول سری میله‌های رانش (زایده با قطر بزرگ‌تر از میله‌های رانش) یا بین میله‌ها و نوک نفوذگر، اصطکاک را کاهش داد. به این زواید «کاهش‌دهنده اصطکاک^۱» می‌گویند. راه مجاز دیگر کاهش اصطکاک، استفاده از میله‌هایی با قطری کوچک‌تر از قطر نوک است.

مطابق آنچه در ۴-۱-۶ گفته شده چنین زوایدی در صورت استفاده از مخروط‌های استاندارد (۱-۱-۶) نباید نزدیک‌تر از ۳۰ سانتی‌متری قاعده مخروط یا ۳۰ سانتی‌متر از بالای نوک لوله جداره قرار گیرند. به‌کارگیری فن‌آوری‌های غیر مکانیکی در کاهش اصطکاک همچون استفاده از گل حفاری^۲ در بالای نوک نیز مجاز است.

1- Friction reducer
2 - Drilling mud

۲-۸ جلوگیری از خمش میله‌ها در بالای سطح زمین

برای جلوگیری از خمش میله‌ها در بالای سطح زمین باید از هادی میله که به صورت لوله‌ای است^۱ استفاده کرد. این هادی در زیر دستگاه عامل نیرو نصب می‌شود و باید دارای طول کافی برای جلوگیری از خمش میله‌های رانش در فاصله بین دستگاه و سطح زمین باشد.

در زمان استفاده از آزمایش در آب باید برای جلوگیری از خمش میله‌های رانش از لوله جدار استفاده کرد. در این حالت لوله جدار باید در قسمت انتهایی دستگاه عامل نیرو تا کف محل آزمایش (و حتی چند سانتی متر به داخل کف) قرار گیرد. این عمل را باید در هنگام آزمایش در جایی که آبرفت نرم بر روی آبرفت متراکم یا سخت (یا سنگ) قرار گرفته نیز انجام داد. در این حالت لوله جدار را باید به طول کافی در لایه نرم راند تا مانع کمزش میله‌های رانش شود. برای جلوگیری از کمزش میله‌های رانش در درون لوله جدار می‌توان از حلقه‌هایی که قطر خارجی آن تقریباً معادل قطر داخلی لوله جدار و قطر داخلی آن تقریباً معادل قطر خارجی میله‌های رانش است استفاده کرد. حلقه‌ها در فاصله‌های مشخص در درون لوله جدار کار گذاشته می‌شوند.

۳-۸ انحراف نوک

برای عمق نفوذ بیش از ۱۲ متر، احتمال انحراف نوک از راستای قائم وجود دارد. بعضی مواقع انحراف قابل توجهی حتی در اعماق کمتر نیز اتفاق می‌افتد. استفاده از میله‌های رانش صاف از انحراف نوک می‌کاهد. همین‌طور با حصول اطمینان از اینکه نفوذ اولیه مخروط به خاک بدون وجود فشار جانبی ناخواسته صورت می‌گیرد، می‌توان از میزان انحراف کاست. عبور نوک از میان یا مجاورت موانعی همچون تخته سنگ، توده‌های بسیار سخت خاک، لایه‌های نازکی از سنگ و یا لایه‌های متراکم مایل می‌تواند موجب انحراف نوک شود.

در حین انجام آزمایش باید به هر گونه علامتی دال بر برخورد به موانع مذکور توجه کرد و باید توجه داشت که پس از بروز چنین علامت‌هایی، متعاقباً امکان نادرست عمل کردن نوک به عنوان نشانه‌ای از انحراف زیاد آن وجود دارد. در نوک نفوذسنج الکتریکی می‌توان از انحراف سنج استفاده کرد که انحراف را نمایش داده و با ازدیاد انحراف اخطار می‌دهد.

۴-۸ فرسودگی و سایش نوک

نفوذ در خاک‌هایی که قابلیت سایش دارند، سبب فرسودگی و سایش نوک نفوذسنج می‌شوند. فرسودگی و سایش نوک نفوذسنج سبب تغییر در هندسه و زبری سطح آن شده و آن را از شرایط مورد قبول (۶-۱) خارج می‌سازد. لذا همواره باید نسبت به تعویض قسمتی از نوک نفوذسنج (یا تمامی آن) که فرسوده و ساییده شده است، اقدام کرد. از تغییرات کم اهمیت صرف‌نظر می‌شود.

۸-۵ فاصله بین مخروط و غلاف اصطکاکی

در داخل خاک و در زمان ثبت هر قرائت، مقاومت اصطکاکی وارد بر غلاف در فاصله‌ای بالاتر از عمقی که مقاومت نوک در آن به طور هم‌زمان اندازه‌گیری می‌شود، وارد می‌آید. در زمان مقایسه مقاومت نوک q_c با مقاومت جداره f_s در یک عمق مشخص، به عنوان مثال در زمان محاسبه نسبت اصطکاک R_f و یا زمانی که رسم نمودار تغییرات R_f نسبت به عمق مدنظر است، باید فاصله عمودی بین مقطع مخروط و مرکز غلاف اصطکاکی را در نظر گرفته و در محاسبات منظور کرد. به طوری که در محاسبه R_f مقادیر q_c و f_s استفاده شده در محاسبات هر دو مربوط به یک عمق مشخص باشند.

بدین ترتیب چنانچه از روی مولفه‌های مقاومتی به دست آمده در حین یک قرائت، نسبت اصطکاک R_f محاسبه شود، چون مؤلفه‌های q_c و f_s مورد استفاده در محاسبه، مربوط به یک عمق مشترک نمی‌باشند، نسبت اصطکاک محاسبه شده در مقایسه با واقعیت امر دارای خطا بوده، ممکن است تفسیرهای بعدی را دچار خطا و یا حتی اشتباه کند.

۸-۶ وقفه در انجام آزمایش (توقف)

ممکن است در حین انجام آزمایش، بنابر دلایلی نفوذ طبیعی نوک نفوذسنج به داخل خاک متوقف شود. به عنوان مثال برخورد به لایه‌های متراکم، سخت، مرجانی یا ... در حین آزمایش. در این مواقع با بیرون کشیدن نوک از داخل خاک از حفاری برای عبور از موانع غیر قابل نفوذ یاد شده که عبور از آن با انجام آزمایش به صورت شبه ایستا امکان‌پذیر نیست، استفاده می‌شود. پس از عبور از مانع غیر قابل نفوذ، دستگاه و وسایل حفاری برچیده شده و مجدداً با استقرار دستگاه و راندن نوک به داخل، آزمایش ادامه داده می‌شود.

اگر نفوذسنج طوری طراحی شده است که راندن آن به صورت دینامیکی به کاربری شبه ایستای آن صدمه نمی‌زند (نفوذسنج‌های نشان داده شده در شکل‌های ۱ تا ۴ دارای این شرایط نیستند)، عبور از چنین موانع یا لایه‌هایی بدون نیاز به حفاری امکان پذیر خواهد بود.

چنانچه تأخیرهای ناشی از مشکلات ایجاد شده برای دستگاه، تجهیزات و یا کاربرها بیش از ۱۰ دقیقه به طول انجامد، تأخیرهای مذکور به عنوان توقف در آزمایش محسوب می‌شوند. ادامه انجام آزمایش نفوذ شبه ایستا پس از ایجاد وقفه در آزمایش صرفاً زمانی مجاز است که انجام آزمایش‌های بعدی منطبق با این استاندارد باشد. در صورت ادامه آزمایش پس از توقف، باید قرائت مؤلفه‌های مقاومتی را پس از عبور از ناحیه دست‌خورده که با تشخیص مهندس ژئوتکنیک تعیین می‌شود، ادامه داد. عمق ناحیه دست‌خورده بستگی به نوع و عمق توقف دارد. راه دیگر می‌تواند ادامه آزمایش و ثبت قرائت‌ها باشد. در این صورت باید عمق ناحیه دست‌خورده را با استفاده از قرائت‌های انجام یافته تعیین کرده و قرائت‌های مربوط به آن عمق را حذف کرد.

۸-۷ انجام آزمایش در مجاورت گمانه و یا در کف آن

در صورت نیاز به انجام آزمایش نفوذ مخروط همراه و یا بدون اندازه‌گیری مقاومت اصطکاکی در نزدیکی گمانه حفر شده که پر نشده و یا با استفاده از لوله جدار محافظت نشده باشد، انجام آزمایش باید در فاصله‌ای حداقل معادل ۲۵ برابر قطر گمانه

موردنظر صورت پذیرد. در زمان انجام آزمایش در کف گمانه، ناحیه دست‌خورده در کف گمانه باید توسط مهندس ژئوتکنیک تخمین زده شده و قرائت‌های انجام یافته در این عمق حذف شود. عمق ناحیه دست‌خورده از یک تا پنج برابر قطرگمانه متغیر است. در زمانی که مهندس ژئوتکنیک در تعیین عمق ناحیه دست‌خورده تجربه کافی ندارد، حداقل عمق دست‌خوردگی را باید معادل سه برابر قطرگمانه در نظر گرفت.

۸-۸ نفوذسنج‌های مکانیکی

۱-۸-۱ اصطکاک میله‌های داخلی

وجود ذرات خاک و یا وجود خوردگی می‌تواند اصطکاک بین میله‌های داخلی و میله‌های رانش را افزایش داده و احتمالاً سبب بروز خطاهای قابل توجهی در اندازه‌گیری مؤلفه (های) مقاومتی شود. همواره باید میله‌های داخلی را تمیز و روغن کاری کرد.

۲-۸-۱ وزن میله‌های داخلی

در زمان ثبت مقاومت‌های مربوط به نوک باید قرائت‌ها را با کاهش مجموع وزن میله‌های داخلی از نوک تا بالاترین میله موجود تصحیح کرد.

۳-۸-۱ گیر کردن (کیپ شدن) نوک

وجود ذرات در بین قسمت‌های لغزان نوک یا خم شدن نوک ممکن است در طول باز و بسته شدن متوالی نوک تلسکوپی سبب گیر کردن (کیپ شدن) آن شود. اگر کیپ شدگی نوک در حین آزمایش قابل تصحیح نباشد، باید بلافاصله آزمایش را متوقف و نوک را عوض کرد.

۹-۸ نفوذسنج‌های الکتریکی

سنجشگر الکتریکی را باید به خوبی و نیز به اندازه کافی آب بند نمود. نوک باید به صورت دوره‌ای کنترل شود تا از آب بند بودن آن اطمینان حاصل شود.

* ۹- تفسیر نتایج

* ۹-۱ معرفی

در طول انجام آزمایش نفوذ مخروط شبه ایستا، تغییرات پیچیده‌ای در تنش‌ها، کرنش‌ها و فشارهای منفذی رخ می‌دهد که انجام تحلیل‌های جامع تئوریک را دشوار می‌سازد. اگر چه تحلیل‌های تئوریک بسیاری بر روی آزمایش انجام شده است، لیکن

در عمل، استفاده از نتایج C.P.T هم‌چنان به صورت تجربی انجام می‌گیرد. به همین دلیل توصیه می‌شود تفسیر کلیه موارد ذکر شده در ذیل همراه با در نظر گرفتن نتایج حاصل از آزمایش‌های دیگر و قضاوت مهندسی صورت پذیرد.

* ۹-۲ تعیین جنس خاک و لایه بندی (طبقه بندی خاک و لایه بندی)

از مهم‌ترین موارد استفاده از آزمایش نفوذ مخروط شبه ایستا تعیین تغییرات لایه‌های خاک به صورت پیوسته است. گرچه این امر نسبت به روش‌های سنتی حفاری و اخذ نمونه در عمق‌های مختلف گمانه برتری دارد، لیکن دقت آن نمی‌تواند به اندازه روش‌هایی باشد که در آن نمونه به طور پیوسته اخذ می‌شود. زیرا در این روش‌ها نمونه‌های اخذ شده قابل رؤیت و آزمایش هستند.

محدوده عکس العمل نوک نسبت به تغییرات لایه‌های خاک در بالا و پایین نوک به اندازه ۵ تا ۱۰ برابر قطر نوک است. چنانچه ضخامت یک میان لایه ماسه‌ای بین دو لایه رسی کمتر از ۷۰ سانتی‌متر باشد، نوک نفوذسنج قبل از رسیدن به مقدار کامل مقاومت خود در ماسه مورد نظر از لایه ماسه‌ای رد شده و در نتیجه مقاومت لایه ماسه‌ای را به اندازه واقعی خود نشان نمی‌دهد. در چنین حالتی اگر ضخامت میان لایه ماسه‌ای کمتر از ۱۰ سانتی‌متر باشد، آزمایش قادر به ردیابی لایه ماسه‌ای نیست. برای یک میان لایه رسی واقع در بین دو لایه ماسه‌ای، ضخامت مورد نظر باید حداقل ۱۵ تا ۲۰ سانتی‌متر باشد تا ردیابی انجام شود.

تعیین تغییرات نسبی لایه‌های خاک در یک آزمایش امکان پذیر است. ورود از یک لایه غیر چسبنده (یا چسبندگی کمتر) به لایه‌ای چسبنده (یا با چسبندگی بیشتر) با مقایسه نسبی مقادیر q_c و R_f تعیین می‌شود. حتی می‌توان تناوب لایه‌ها با مقاومت و چسبندگی‌های مختلف رابه خوبی ردیابی کرد. ولی تعیین طبقه بندی با استفاده از نمونه‌های به‌دست آمده از گمانه‌ها و روابط همبستگی محلی امکان‌پذیر می‌شود (۵ را ببینید).

* ۹-۳-۱ تعیین نوع خاک

در صورتی که نیاز به تعیین نوع خاک از روی نتایج آزمایش باشد و دسترسی به سایر روش‌های نمونه‌گیری و تعیین طبقه بندی به‌طور مستقیم امکان پذیر نباشد، در این حالت از نمودار شکل ۶ [3] استفاده می‌شود.

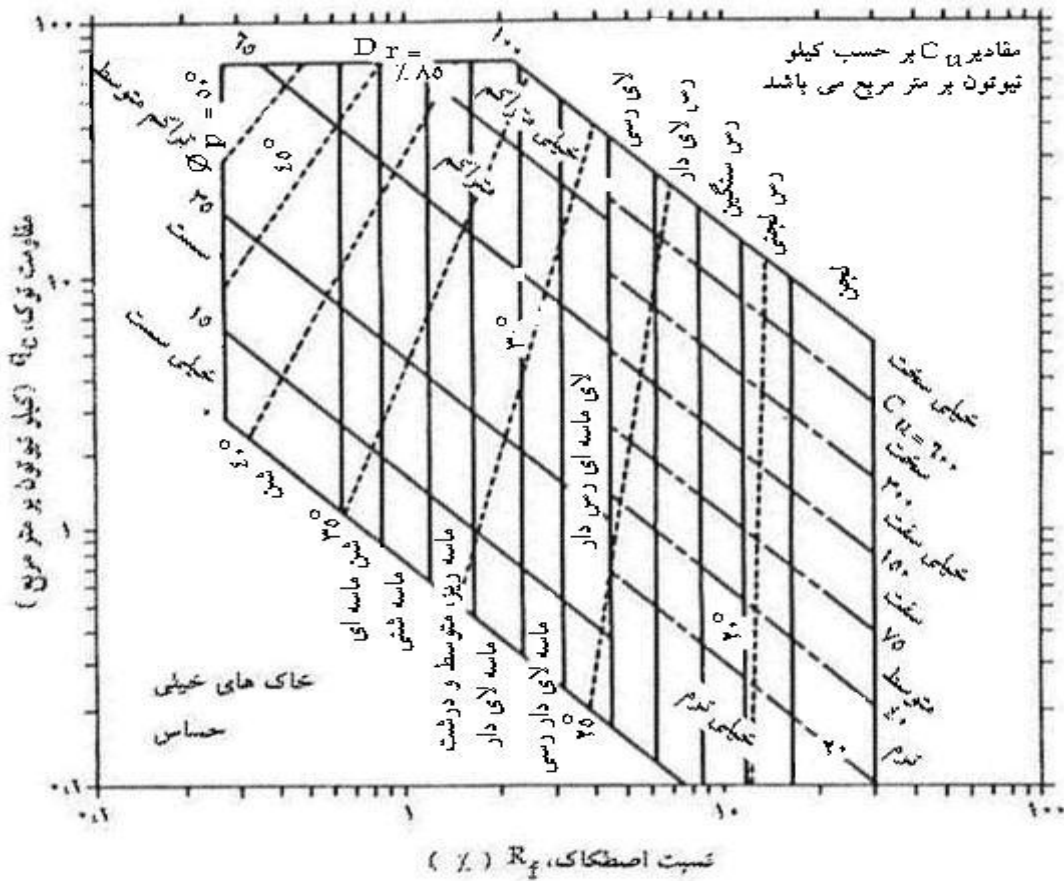
در استفاده از شکل ۶ نکته‌های زیر را باید مد نظر قرار داد:

اول: در بعضی خاک‌های ریزدانه مقدار R_f با افزایش فشار رو بار کاهش می‌یابد. از این‌رو در اعماق زیاد باید از شکل مورد نظر با احتیاط استفاده شود.

دوم: ممکن است روابط همبستگی محلی لایه‌بندی متفاوتی از شکل ۶ را ارائه دهد.

سوم: q_c و R_f باید در یک تراز اندازه‌گیری شوند (۵-۸).

به هر حال باید نتایج این آزمایش با نتایج حاصل از گمانه‌ها و طبقه بندی خاک حاصل از آزمایش دانه بندی هماهنگ شده و ارتباط داده شود.



شکل ۶- تشخیص نوع خاک با استفاده از نفوذ سنج استاندارد

* ۲-۲-۹ لایه بندی نسبی

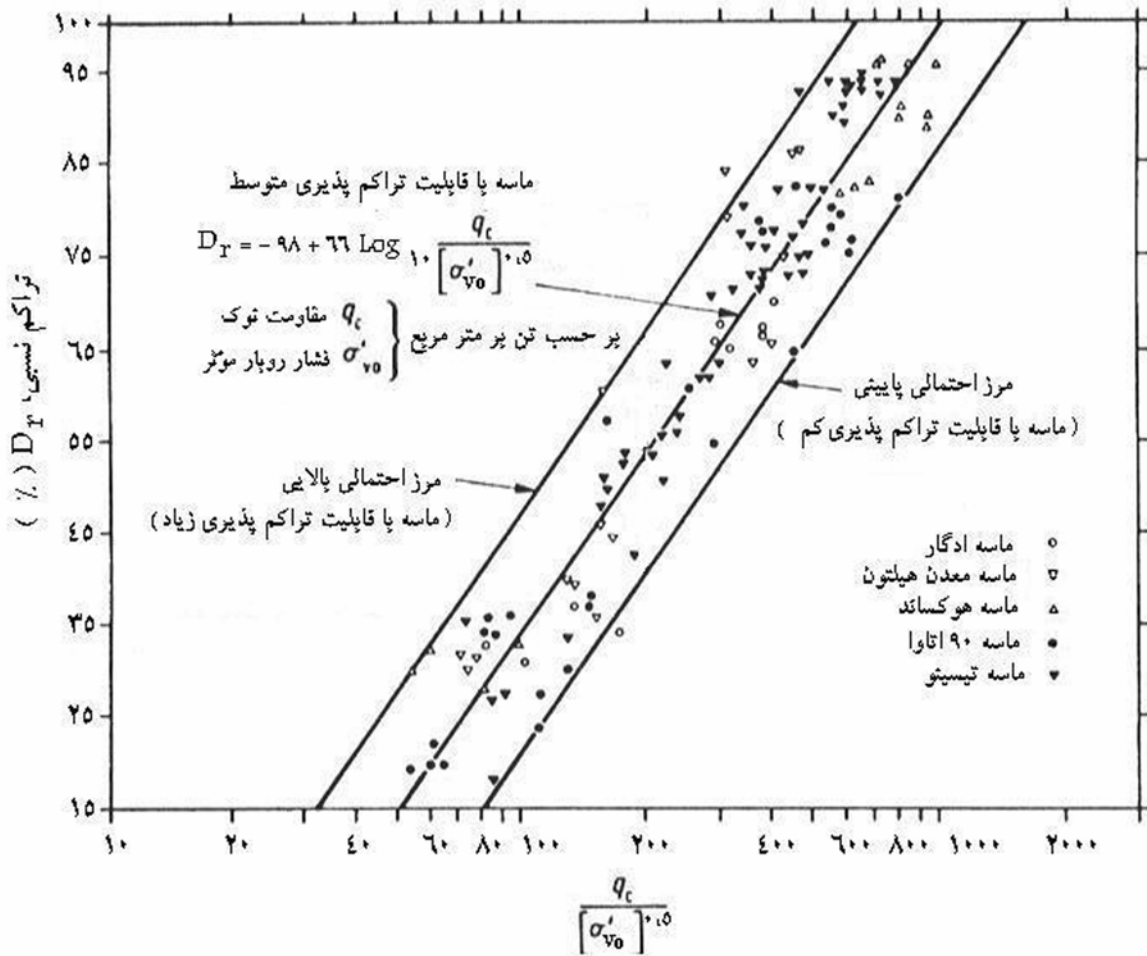
نتایج به دست آمده از آزمایش نفوذ مخروط شبه ایستا در تعیین نسبی لایه بندی بسیار مفید است. در یک آزمایش با مقایسه مقادیر R_f و q_c در یک تراز معین می توان به راحتی تغییرات نسبی در مقاومت و کاهش یا افزایش چسبندگی را تعیین کرد. می توان به وجود لایه غیر چسبنده بسیار متراکم در زیر یک لایه نرم چسبنده به عنوان لایه باربر برای قرار دادن نوک شمع در آن پی برد (این امر در صورت عدم امکان نفوذ به میزان کافی در لایه متراکم برای تعیین مقدار مقاومت و عمق آن، در حد مطالعات اولیه می باشد). با استفاده از این آزمایش می توان وجود سنگ بستر یا لایه مقاوم و عمق قرارگیری آن در کلیه نقاط ساختمانی را با سرعت و دقت زیاد و نیز با صرف هزینه کمتر شناسایی کرد.

استفاده دیگر از این آزمایش در کنترل نسبی میزان بهبود خصوصیات مهندسی خاک در روش های بهسازی زمین است. با انجام آزمایش پیش و پس از عملیات بهسازی خاک و مقایسه نتایج به دست آمده، تغییرات کیفی زمین ارزیابی می شود.

* ۳-۹ تخمین تراکم نسبی D_r در ماسه

* ۱-۳-۹ ماسه به طور عادی تحکیم یافته

تراکم نسبی ماسه به طور عادی تحکیم یافته را می‌توان با استفاده از نمودار شکل ۷ [3] تعیین کرد.



شکل ۷- رابطه میان D_r و q_c برای ماسه عادی تحکیم یافته کوارتزی (دارای منشای کوارتزی)

در نمودار شکل ۷ σ'_{v0} فشار روبار موثر (برحسب تن بر متر مربع) در عمق نظیر q_c (برحسب تن بر مترمربع) است. برای

تصحیح مقاومت نوک q_c باید آن را بر K_q که ضریب تصحیح مقاومت نوک است تقسیم نمود ($\frac{q_c}{k_q} =$ تصحیح شده q_c).

مقدار k_q [3] از رابطه زیر تعیین می‌شود (D_r برحسب درصد):

$$K_q = 1 + \frac{0/2(D_r - 30)}{60}$$

برای تخمین D_r می‌توان ابتدا ضریب تصحیح K_q را معادل واحد فرض کرده و D_r را از روی نمودار و رابطه ارائه شده تعیین کرد. این مراحل را باید تا آنجا ادامه داد که مقادیر نظیر D_r و K_q محاسبه شده در دو گام متوالی کمابیش یکسان شوند. در استفاده از نمودار شکل ۷ موارد زیر را باید مد نظر قرار داد :

- برای مقادیر ثابت σ'_{v0} و D_r ، ماسه‌های با تراکم پذیری زیاد^۱ دارای مقاومت نوک q_c کمتری نسبت به ماسه‌های با تراکم پذیری کم^۲ می‌باشند. مرزهای بالایی و پایینی نمودار شکل ۷ مربوط به ماسه‌های کوارتزی به ترتیب دارای تراکم پذیری زیاد و کم و خط میانی مربوط به ماسه‌های با تراکم پذیری متوسط است.
- نمودار شکل ۷ برای ماسه‌های کوارتزی تمیز، به طور عادی تحکیم یافته و سیمانی نشده^۳ نسبتاً یکنواخت به کار می‌رود که در آن نسبت تنش افقی بر جای^۴ $K_o = 0/45$ است . استفاده از نمودار شکل ۷ برای ماسه‌های با دانه‌بندی یکنواخت، ماسه‌های زاویه دار و ماسه‌های میکادار به دلیل تراکم پذیری بیشتر باید با قضاوت مهندسی همراه باشد.

* ۹-۳-۲ ماسه بیش تحکیم یافته^۵

در این ماسه‌ها ، رابطه تراکم نسبی D_r با تنش افقی موثر σ'_{ho} نتایج بهتری از ارتباط آن با فشار روبار مؤثر σ'_{v0} می‌دهد. از این رو با داشتن مقدار σ'_{ho} می‌توان با جایگزین کردن آن به جای σ'_{v0} از نمودار شکل ۷ برای تخمین مقدار D_r با دقت $\pm 20\%$ استفاده کرد. در ضمن افزون بر تصحیح q_c با استفاده از ضریب K_q ، مقدار q_c نیز باید برای حالت بیش تحکیم یافتگی تصحیح شود. با استفاده از این روش در ماسه‌های بیش تحکیم یافته ، در برخی موارد مقدار تراکم نسبی ممکن است عددی بیش از ۱۰۰٪ شود.

تنش افقی موثر را نیز می‌توان در محل با استفاده از پرسیومتر خود حفار ، و یا دیلاتومتر تخت^۶ با کمک دستگاه رانش C.P.T. اندازه‌گیری کرد (۱۱ را ببینید).

چنانچه اندازه‌گیری σ'_{ho} با روش‌های یاد شده مقدور نباشد، در صورت مشخص بودن اندازه نسبت بیش تحکیمی (O.C.R.)^۷ ، می‌توان به کمک رابطه زیر مقدار k_o و در نتیجه مقدار σ'_{ho} را تعیین کرد [3] :

$$K_{o(oc)} = (OCR)^B K_{o(NC)}$$

که در آن :

O.C.R. : نسبت بیش تحکیمی

-
- 1 - High compressibility
 - 2 - Low compressibility
 - 3 - Uncemented
 - 4 - In - Situ horizontal ratio
 - 5 - Over consolidated sand
 - 6 - Flat dilatometer
 - 7 - Over consolidation ratio

$K_{o(oc)}$: نسبت $\frac{\sigma'_{ho}}{\sigma'_{vo}}$ برای لایه بیش تحکیم یافته

$K_{o(NC)}$: نسبت $\frac{\sigma'_{ho}}{\sigma'_{vo}}$ برای لایه عادی تحکیم یافته

σ'_{ho} و σ'_{vo} هم بعد هستند

B : ضریبی است که از رابطه $B \approx 0/275 + 0/26D_r$ به دست می آید.

تصحیح q_c برای حالت بیش تحکیم یافته نیز با استفاده از رابطه زیر صورت می پذیرد:

$$\frac{q_{c(oc)}}{q_{c(NC)}} = 1 + \theta \left[(\text{OCR})^B - 1 \right]$$

که در این رابطه :

$q_{c(oc)}$: مقاومت نوک در لایه بیش تحکیم یافته (اندازه گیری شده در آزمایش)

$q_{c(NC)}$: مقاومت نوک در لایه به طور عادی تحکیم یافته (تبدیل شده برای استفاده در نمودار شکل ۷) که هم بعد

می باشد.

مقادیر ضریب θ بر حسب OCR بین دو مقدار زیر تغییر می کند:

$$\theta = 0/5 \quad \text{برای } \text{OCR} = 2$$

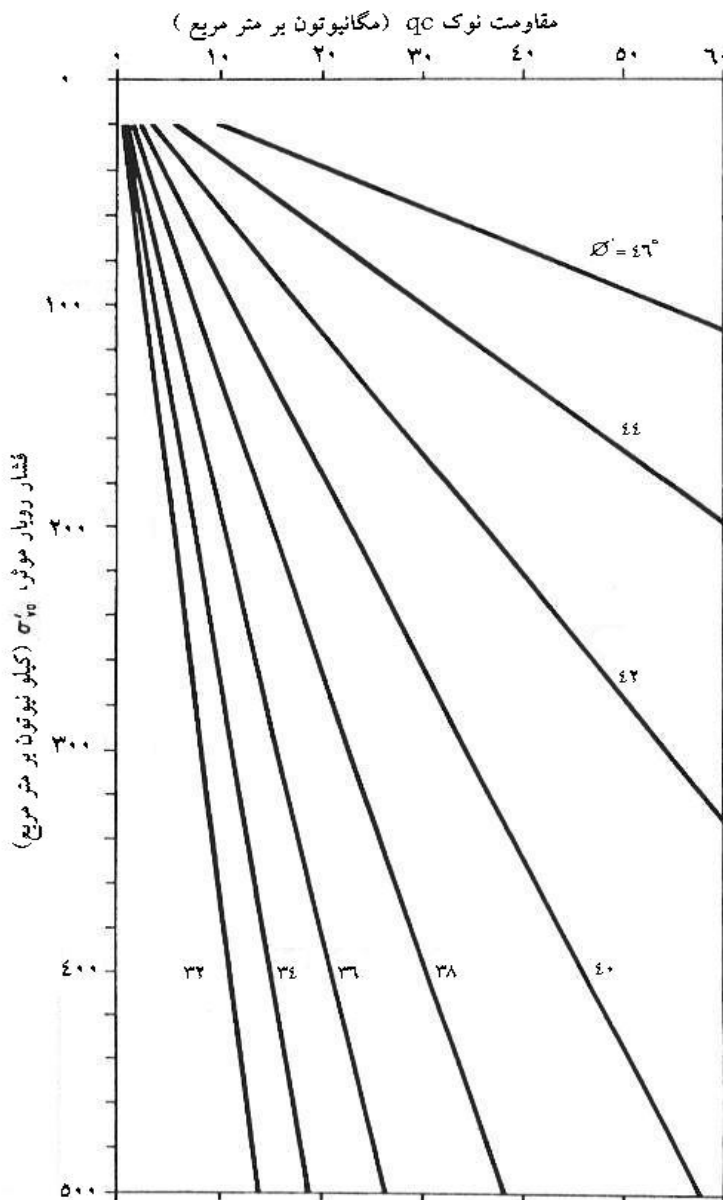
$$\theta = 0/25 \quad \text{برای } \text{OCR} = 15$$

* ۴-۹ تعیین زاویه مقاومت برشی مؤثر ϕ'

* ۱-۴-۹ روش مستقیم

زاویه مقاومت برشی را می توان از نمودار شکل ۸ [3] به دست آورد:

۱- این ضریب تابع شرایط خاک در محل بوده و عملاً بین ۰/۳۳ تا ۰/۵۲ متغیر است. هرچه تراکم خاک بیشتر باشد ضریب مربوط به رقم ۰/۵۲ نزدیک تر می شود.



نمودار شکل ۸- رابطه بین زاویه مقاومت برشی موثر بر حسب مقاومت نوک - برای ماسه کوارتزی
سیمانی نشده و به طور عادی تحکیم یافته

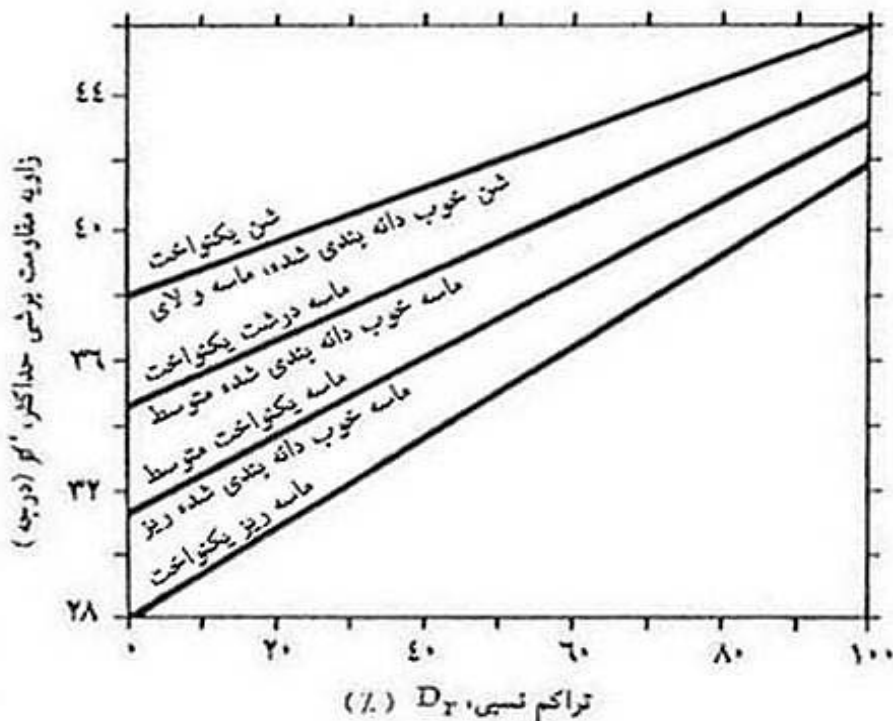
در ماسه‌های با تراکم پذیری زیاد، مقدار زاویه مقاومت برشی ممکن است بیشتر از مقادیر به دست آمده از نمودار شکل ۸ باشد. برای ماسه‌های بیش تحکیم یافته، زاویه مقاومت برشی به دست آمده از شکل ۸ حدود ۱ تا ۲ درجه بیشتر از واقعیت است. به عنوان تخمین اولیه، می‌توان از مقادیر جدول ۱ [2] که مربوط به ماسه‌های کوارتزی و فلدسپاتی است، استفاده کرد. مقادیر مندرج در جدول ۱ در صورت لزوم باید نسبت به فشار رو بار تصحیح شود. ضمناً مقادیر ϕ' برای ماسه لای دار باید حدود ۳ درجه کمتر و برای شن ۲ درجه بیشتر در نظر گرفته شود.

جدول ۱- زاویه مقاومت برشی و q_c برای ماسه‌های کوارتزی و فلدسپاتی

تراکم نسبی D_r	مقاومت نوک q_c (مگاپاسکال)	زاویه مقاومت برشی ϕ' (درجه)	مدول یانگ زهکشی شده E' (مگاپاسکال)
خیلی کم	۰/۰ - ۲/۵	۲۹ - ۳۲	< ۱۰
کم	۲/۵ - ۵/۰	۳۲ - ۳۵	۱۰ - ۲۰
متوسط	۵/۰ - ۱۰/۰	۳۵ - ۳۷	۲۰ - ۳۰
زیاد	۱۰/۰ - ۲۰/۰	۳۷ - ۴۰	۳۰ - ۶۰
خیلی زیاد	> ۲۰/۰	۴۰ - ۴۲	۶۰ - ۹۰

* ۹-۴-۲ روش‌های غیر مستقیم

از روی نتایج C.P.T. می‌توان ϕ' را به طور غیرمستقیم نیز محاسبه کرد. به عنوان مثال: می‌توان تراکم نسبی را تعیین و سپس از نمودار شکل ۹ [3] برای تعیین ϕ' استفاده کرد.



شکل ۹- حداکثر زاویه مقاومت برشی زهکشی نشده بر حسب تراکم نسبی در ماسه‌های کوارتزی

روش دیگر استفاده از رابطه ضریب ظرفیت باربری ترزاقی است:

$$N_{\gamma} = 12 \frac{5}{10} q_c$$

که در آن :

q_c = بر حسب مگانیوتن بر متر مربع است.

پس از محاسبه ضریب N_{γ} ، با استفاده از رابطه نظری ضریب N_{γ} در رابطه ترزاقی، ϕ' قابل محاسبه است.

در این روش اثر فشار روبار در نظر گرفته نشده است.

بدیهی است روش‌های مستقیم به روش‌های غیر مستقیم برتری دارد، زیرا در روش غیر مستقیم دو بار تقریب در روابط تجربی دخالت می‌کند. توصیه می‌شود مقدار ϕ' با استفاده از چندین روش معتبر محاسبه و سپس با قضاوت مهندسی مقدار زاویه مقاومت برشی برای طراحی تعیین شود.

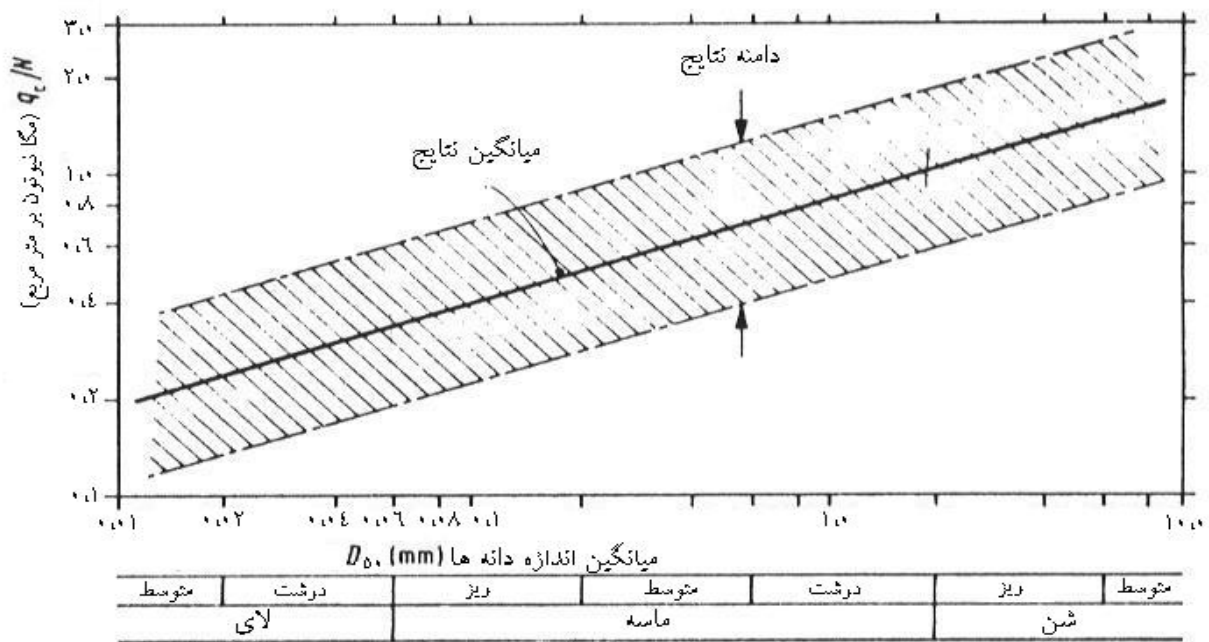
* ۵-۹ رابطه بین مقاومت نوک q_c و شمار N در آزمایش نفوذ استاندارد S.P.T.

از آنجا که اطلاعات آماری بسیاری از نتایج آزمایش نفوذ استاندارد در دست است^۱، می‌توان با تبدیل مقدار مقاومت نوک q_c به شمار N ، با استفاده از روابط تجربی آزمایش نفوذ استاندارد محاسبات مربوط به تعیین ظرفیت باربری مجاز و مقدار نشست شالوده را انجام داد.

در صورت وجود نتایج آزمایش‌های دانه بندی، می‌توان از روی منحنی‌های مربوط، مقدار D_{50} را بر حسب میلی‌متر تعیین و با استفاده از نمودار شکل ۱۰ [3] نسبت مقاومت نوک q_c (بر حسب مگانیوتن بر متر مربع) به شمار N اصلاح نشده^۲ و در نهایت شمار N را تعیین کرد.

با توجه به تغییرات زیاد در دامنه نتایج، نسبت $\frac{q_c}{N}$ نیازمند مقایسه نتایج به دست آمده با سایر آزمایش‌ها و قضاوت مهندسی است.

۱- رجوع کنید به نشریه شماره ۲۲۴ «استاندارد انجام آزمایش نفوذ استاندارد S.P.T.» سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور.
۲- منظور ضربات آزمایش نفوذ استاندارد است که نسبت به فشار روبار اصلاح نشده است.



نمودار شکل ۱۰- رابطه بین q_c/N بر حسب D_{50}

در صورت موجود نبودن نتایج آزمایش دانه بندی، جدول شماره ۲ [8] می‌تواند برای تخمین اولیه $\frac{q_c}{N_{60}}$ بر حسب مگاپاسکال (مگانیوتن بر متر مربع) به کار رود.

جدول شماره ۲

q_c / N_{60}	نوع خاک
۰/۱ - ۰/۲	لای، لای ماسه‌ای و مخلوط لای و ماسه با چسبندگی کم
۰/۳ - ۰/۴	ماسه تمیز ریزدانه تا متوسط و ماسه با کمی لای
۰/۵ - ۰/۷	ماسه درشت و ماسه با کمی شن
۰/۸ - ۱/۰	شن ماسه‌ای و شن

روابط فوق، به ویژه در ساختگاه‌هایی که هر دو آزمایش C.P.T. و S.P.T. در آن انجام می‌گیرد، در ایجاد ارتباط بین قرائت‌های q_c و شمار N کاربرد دارد.

بدین ترتیب انجام تعداد بیشتری از آزمایش C.P.T. که با صرف هزینه و زمان کمتر صورت می‌گیرد، نتایج بهتری به دست می‌دهد.

* ۹-۶ تعیین مقاومت برشی خاک‌های چسبنده

تعیین مقاومت برشی در خاک‌های چسبنده با استفاده از نتایج آزمایش نفوذ مخروط شبه‌ایستا از رابطه زیر به دست می‌آید [2]:

$$C_u = \frac{q_c - \sigma'_{vo}}{N_K}$$

در این رابطه:

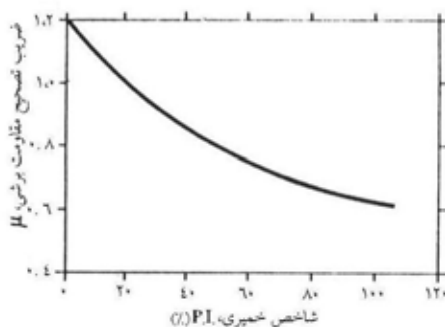
N_K = ضریب مخروط^۱ است (C_u ، q_c و σ'_{vo} هم بعد هستند).

تعیین ضریب مخروط بر پایه تجربیات محلی استوار است و باید با استفاده از رابطه تجربی^۲ بین نتایج حاصل از سایر آزمایش‌ها (ترجیحاً، آزمایش‌های برجا مانند برش پره‌ای در رس‌های عادی تحکیم‌یافته و بارگذاری صفحه‌ای در رس‌های ترک‌دار یا بیش تحکیم‌یافته) و قرائت‌های q_c صورت پذیرد. در صورت نبود چنین روابط تجربی برای ساختگاه مورد نظر، می‌توان به ترتیب زیر عمل کرد:

* ۹-۶-۱ رس‌های به‌طور عادی تحکیم یافته

در رس‌های به‌طور عادی تحکیم یافته، مقدار ضریب مخروط N_K بین ۱۵ تا ۲۱ متغیر است. مقدار چسبندگی حاصل از رابطه $S_u = \frac{q_c - \sigma'_{vo}}{N_K}$ معادل مقاومت برشی تصحیح نشده در آزمایش برش پره‌ای^۳ است که باید برحسب مقدار شاخص خمیری P.I. با استفاده از شکل ۱۱ و تعیین ضریب به شرح زیر تصحیح شود [3]:

$$S_u^* = \mu \times S_u \quad \text{مقاومت اصلاح شده}$$



شکل ۱۱ - ضریب تصحیح مقاومت برشی از آزمایش برش پره‌ای

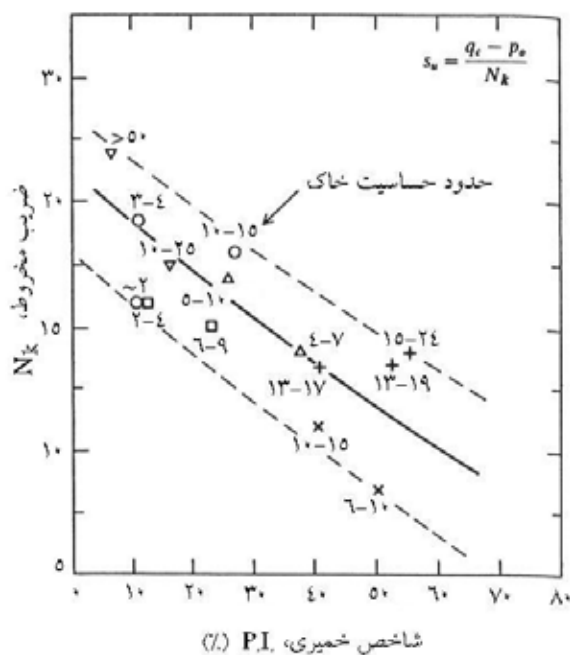
1 - Cone factor

۲- معمولاً می‌توان از مقدار σ'_{vo} صرف‌نظر کرد که بدین ترتیب رابطه موردنظر به $S_u = \frac{q_c}{N_K}$ تبدیل می‌شود.

3 - Uncorrected vane shear strength

4 - Plasticity index

مقدار N_K رانیز می‌توان از نمودار شکل ۱۲ [8] به‌دست آورده و با مقادیر مربوط، مقایسه کرد.



شکل ۱۲- رابطه ضریب مخروط N_K با شاخص خمیری P.I.

* ۲-۶-۹ رس‌های بیش تحکیم یافته

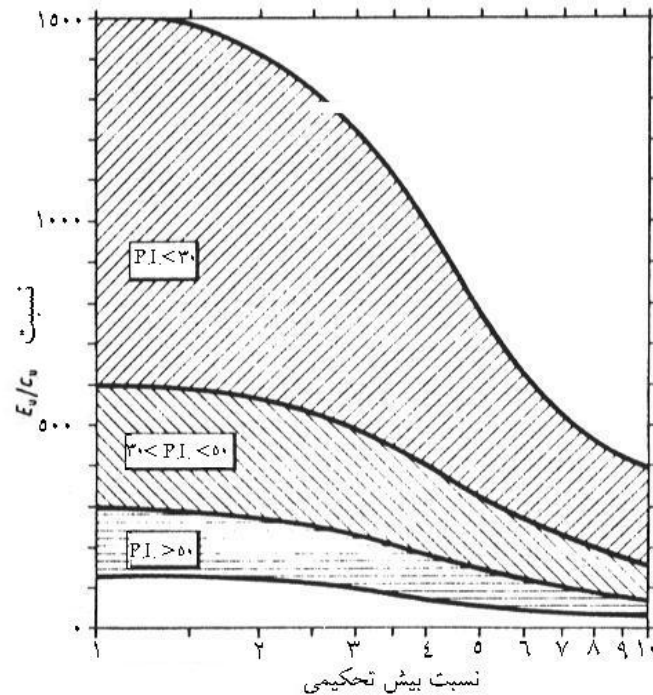
در تعیین مقاومت برشی رس‌های بیش تحکیم یافته مقدار ضریب مخروط N_K برای رس‌های سفت و ترک دار^۱ بین ۲۴ تا ۳۰ متغیر است. مقدار مقاومت برشی نیز معادل مقاومت به‌دست آمده از آزمایش بارگذاری صفحه ای^۲ است.

* ۷-۹ تعیین مدول یانگ^۳

* ۱-۷-۹ خاک‌های چسبنده

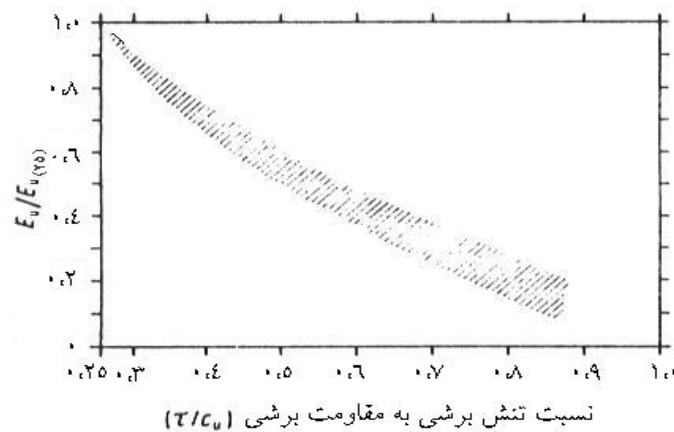
ابتدا مطابق بند ۶-۹ مقدار S_u تعیین و سپس مقدار مدول یانگ زهکشی نشده E_u با استفاده از مقدار S_u محاسبه می‌شود. روابط مورد نظر در مراجع مختلف ارائه شده است. به عنوان نمونه رابطه بین مدول یانگ زهکشی نشده و مقدار S_u بر حسب نسبت بیش تحکیمی در شکل ۱۳ [3] ارائه شده است. مقدار E_u با افزایش تنش برشی کاهش می‌یابد.

1 - Fissured
2 - Plate bearing test
3 - Youngs modulus



شکل ۱۳- نسبت مدول یانگ زهکشی نشده به مقاومت برشی بر حسب نسبت بیش تحکیمی در رس ها

شکل ۱۴ [3] مقدار این کاهش را برای رس های به طور عادی تحکیم یافته نشان می دهد. در شکل ۱۴ رابطه بین E و S_u دارای ضریب اطمینانی در حدود ۴ است (نسبت تنش برشی به مقاومت برشی معادل $\tau/C_u \approx 0.25$).



شکل ۱۴- کاهش مدول یانگ زهکشی نشده در رس های به طور عادی تحکیم یافته در اثر افزایش تراز تنش برشی

مقاومت نوک q_c را می‌توان با استفاده از ضریب α به مدول ادمتری به صورت زیر ارتباط داد:

$$E_{oed} = \alpha q_c$$

در رابطه فوق q_c و E_{oed} هم بعد هستند.

تعیین ضریب α بر پایه تجربه‌های محلی استوار است. در جدول‌های ۳ و ۴ حدود تغییرات α برای انواع خاک‌های چسبنده ارائه شده است:

جدول ۳- حدود تغییرات α برای رس و سیلت به طور عادی تحکیم یافته یا اندکی تحکیم یافته

α	طبقه بندی	نوع خاک
۲ تا ۶	CH, MH	رس و لای با پلاستیسیته زیاد
۳ تا ۸ ۲ تا ۵	CL	رس با پلاستیسیته کم یا متوسط مگاپاسکال $q_c < 0.7$ مگاپاسکال $q_c > 0.7$
۳ تا ۶	ML	لای با پلاستیسیته کم یا متوسط
۲ تا ۸	OL	لای با مواد آلی
۱/۵ تا ۴ ۱ تا ۱/۵ ۰/۴ تا ۱	OH	لجن و رس‌های با مواد آلی $50 < w^* < 100$ $100 < w < 200$ $w > 200$

w^* درصد رطوبت

جدول ۴- حدود تغییرات α برای رس و لای بیش تحکیم یافته

α		طبقه بندی	نوع خاک
مگاپاسکال $q_c > 2$	مگاپاسکال $1/2 < q_c < 2$		
—	۲ تا ۶	MH, CH	رس و لای با پلاستیسیته زیاد
۱ تا ۲/۵	۲ تا ۵	CL	رس با پلاستیسیته کم یا متوسط
۱ تا ۳	۳ تا ۶	ML	لای با پلاستیسیته کم یا متوسط

در جدول‌های ۳ و ۴ تغییرات α گسترده است که برای دقت بیشتر می‌توان از نتایج آزمایش ادمتری و شاخص‌های خاک

در محل استفاده و ارتباطی دقیق‌تر بین q_c و α تعیین کرد.

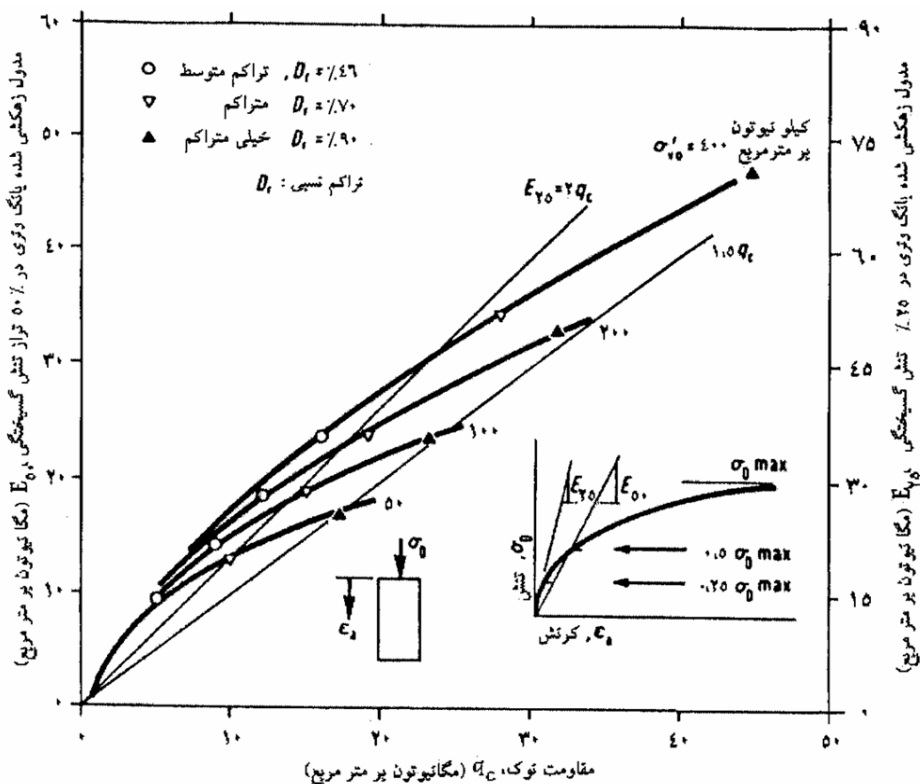
تعیین مدول یانگ زهکشی شده E' از روی نتایج CPT به دلیل کمبود اطلاعات و آمار مقذور نیست، ولی می‌توان با انتخاب مناسب ضریب پواسون^۱ با استفاده از رابطه زیر، E' را به طور نظری محاسبه کرد [2]:

$$E_{oed} = E'(\nu - \mu) / (\nu - \mu - \mu^2)$$

(E' و E_{oed} هم بعد هستند).

* ۹-۷-۲ خاک‌های غیر چسبنده

در حالت‌های یک بعدی^۲ استفاده از مدول یانگ مناسب‌تر از مدول تغییر شکل محصور^۳ M^3 است. مدول یانگ مانند مدول تغییر شکل محصور به تراز تنش بستگی دارد. شکل ۱۵ مقادیر مختلف مدول وتری^۴ زهکشی شده را برای ماسه‌های به طور عادی تحکیم یافته در ۲۵ درصد مقدار تنش گسیختگی (E'_{25}) و ۵۰ درصد تنش گسیختگی (E'_{50}) نشان می‌دهد. مقادیر E' برای ماسه‌های بیش تحکیم یافته نباید بیشتر از دو برابر مقادیر به دست آمده از شکل ۱۵ [3] در نظر گرفته شود.



شکل ۱۵- مقادیر مدول یانگ وتری برای ماسه‌های سیمانی نشده کوارتزی به‌طور عادی تحکیم یافته

- 1 - Poisson's ratio
- 2 - One - dimensional
- 3 - Constrained modulus
- 4 - Secant modulus

مقدار مدول تغییر شکل محصور اولیه (مماسی) M_o برای ماسه را می توان از روابط زیر محاسبه کرد [3]:

- ماسه به طور عادی تحکیم یافته :

$$M_o = 4 q_c \quad \text{مگاپاسکال} \quad q_c < 10$$

$$M_o = 2 q_c + 20 \quad \text{مگاپاسکال} \quad 10 < q_c < 50$$

$$M_o = 120 \quad \text{مگاپاسکال} \quad q_c > 50$$

- ماسه بیش تحکیم یافته با $OCR > 2$:

$$M_o = 5 q_c \quad \text{مگاپاسکال} \quad q_c < 50$$

$$M_o = 250 \quad \text{مگاپاسکال} \quad q_c > 50$$

این مقادیر در شکل ۱۶ [3] ارائه شده اند.

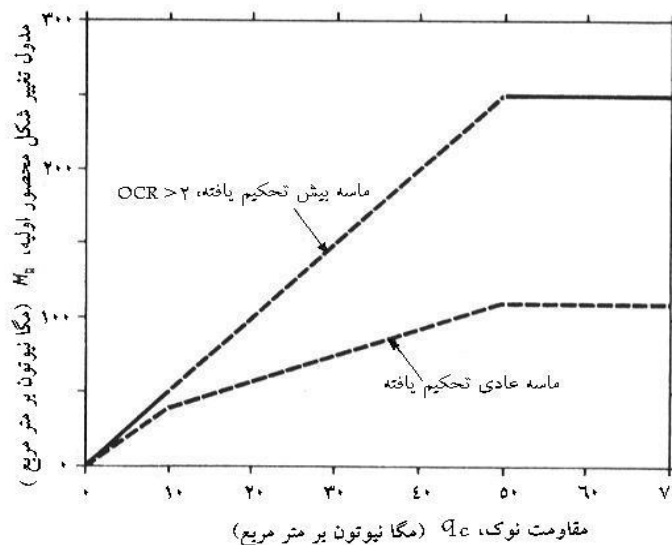
برای تغییرات میزان تنش از مقدار فشار موثر روبار σ'_{vo} به مقدار $\sigma'_{vo} + \Delta\sigma_v$ مقدار مدول تغییر شکل محصور را می توان

از رابطه زیر محاسبه کرد [3]:

$$M = M_o \left(\frac{\sigma'_{vo} + \Delta\sigma_v / 2}{\sigma'_{vo}} \right)^{0.5}$$

این رابطه برای ماسه های به طور عادی تحکیم یافته قابل استفاده است. برای ماسه های بیش تحکیم یافته توان

۰/۵ با افزایش OCR کاهش می یابد، به طوری که برای ماسه بسیار بیش تحکیم یافته مقدار توان به سمت صفر میل می کند.



شکل ۱۶- مدول تغییر شکل محصور اولیه (مماسی) برای ماسه های به طور عادی تحکیم یافته

مقادیر ارائه شده در جدول ۱ مقادیری نظیر نشست ایجاد شده در طول ۱۰ سال است. بر اساس تحقیقات به عمل آمده ، اندازه مدول ممکن است :

- در خاک‌های لای دار ۵۰ درصد مقادیر به دست آمده کاهش یابد.

- در خاک‌های شنی تا ۵۰ درصد مقادیر به دست آمده افزایش یابد.

مقدار E' ممکن است به مقدار قابل توجهی بیشتر باشد. برای تنش‌های بیشتر از $\frac{2}{3}$ ظرفیت باربری طراحی در حالت حدی نهایی ، مقدار مدول E' باید نصف مقادیر ارائه شده در جدول ۱ اختیار شود.

* ۸-۹ ظرفیت باربری مجاز پی‌های سطحی

* ۱-۸-۹ خاک‌های غیرچسبنده

با استفاده از مقادیر q_c می‌توان به پارامترهای لازم برای محاسبه و طراحی پی‌های سطحی با روش‌های متداول دست یافت.

روابط تجربی اشمرتمان^۱ نیز به شرح زیر قابل استفاده است [9]:

$$- \text{پی‌های مربعی: } q_u = 48 - 0/009(300 - q_c)^{1/5}$$

$$- \text{پی‌های نواری: } q_u = 28 - 0/0052(300 - q_c)^{1/5}$$

در روابط بالا q_c و q_u بر حسب کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع است.

* ۲-۸-۹ خاک‌های چسبنده

در این نوع خاک‌ها مطمئن‌ترین روش، تعیین مقدار مقاومت برشی خاک از روی نتایج مقاومت نوک q_c (طبق بند ۹-۶) و سپس استفاده از روابط نظری در محاسبه ظرفیت باربری نهایی است.

روابط تجربی اشمرتمان نیز برای طراحی پی‌های سطحی به شرح زیر قابل استفاده است [9]:

$$- \text{پی‌های مربعی: } q_u = 5 + 0/34q_c$$

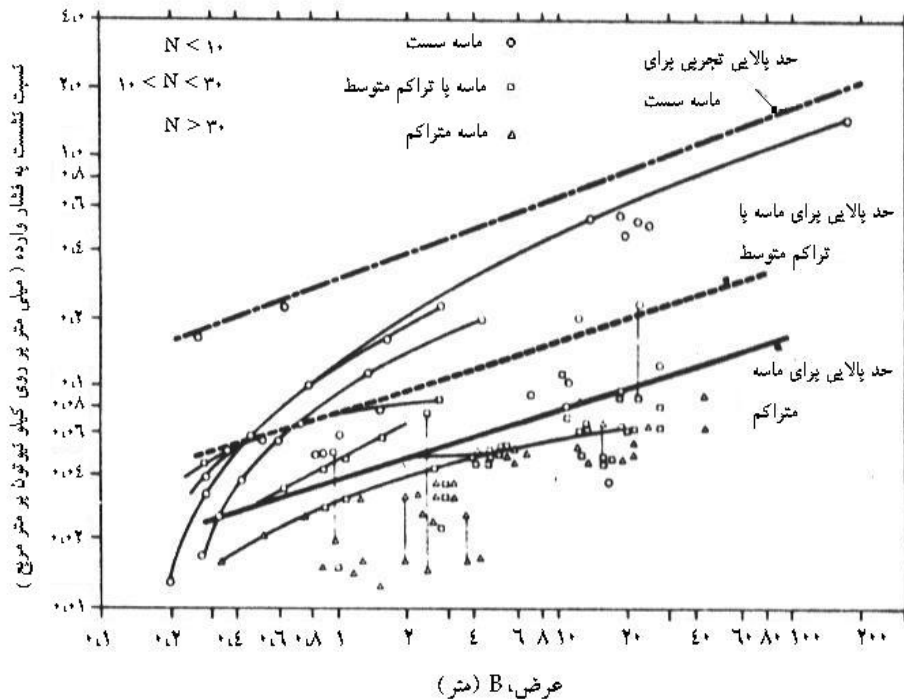
$$- \text{پی‌های نواری: } q_u = 2 + 0/28q_c$$

در روابط بالا q_c و q_u بر حسب کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع است.

میانگین‌گیری برای مقادیر q_c از کف پی تا عمقی معادل عرض پی برای همه خاک‌های چسبنده و غیر چسبنده توصیه می‌شود.

* ۱-۹-۹ خاک‌های غیر چسبنده

در خاک‌های غیر چسبنده با توجه به مقادیر q_c و تبدیل آن به شمار N در آزمایش نفوذ استاندارد، می‌توان با استفاده از شکل ۱۷ [3] مقدار نشست سطحی را محاسبه کرد.



شکل ۱۷ - نشست مشاهده شده یا اندازه‌گیری شده پی‌های واقع بر روی ماسه با مقادیر مختلف تراکم نسبی

در شکل یاد شده چنانچه نشست معادل نصف مقدار حد بالایی در نظر گرفته شود، نشست حداکثر معمولاً از $1/5$ برابر نشست محتمل تجاوز نخواهد کرد. مقادیر حد بالا به‌خصوص در ارزیابی اولیه نشست سازه‌هایی همچون مخازن بزرگ روغن کاربری دارد. به‌هرحال در استفاده از شکل ۱۷ تعیین یا تخمین D_{50} و نیز تعیین N از روی q_c (۵-۹) لازم است. - روش مناسب در محاسبه نشست پی‌های واقع بر روی خاک غیر چسبنده، استفاده از رابطه زیر است (اشمرتمان [3, 9]):

$$S = C_1 \cdot C_2 \cdot (q - \sigma'_{vo}) \sum_{1}^n (I_z / E') \Delta z$$

در این رابطه :

$$C_1 = 1 - 0.5 \left(\frac{\sigma'_{v0}}{q - \sigma'_{v0}} \right) \quad \text{ضریب تصحیح عمق پی (حدافل معادل ۰/۵)}$$

$$\sigma'_{v0} \quad \text{فشار موثر روبار در تراز کف پی برحسب مگاپاسکال}$$

$$q \quad \text{تنش وارد بر کف پی برحسب مگاپاسکال}$$

$$C_2 = 1 + 0.2 \log_{10}(10t) \quad \text{نشست دراز مدت}$$

$$t \quad \text{زمان مورد نظر از موقع وارد شدن بار بر حسب سال}$$

$$I_z \quad \text{ضریب تاثیر کرنش مطابق شکل ۱۸ [3]}$$

$$E' = \beta \cdot q_c \quad \text{مدول یانگ زهکشی شده برحسب مگاپاسکال (شامل ضرایب شکل پی نیز است)}$$

$$\sigma'_{VP} \quad \text{فشار مؤثر روبار در محل } I_z \text{ max (در عمق } B/2 \text{ برای پی مربع}$$

$$\text{و } B \text{ برای پی نواری } (L/B \geq 10)$$

$$\Delta Z \quad \text{ضخامت میان لایه‌ها در زیر پی برحسب سانتی‌متر}$$

$$S \quad \text{مقدار نشست برحسب سانتی‌متر}$$

در این روش، ابتدا لایه خاک غیر چسبنده از زیر پی به n لایه مساوی به ضخامت ΔZ تقسیم می‌شود. این تقسیم برای پی‌های مربع شکل ($L/B = 1$) به عمق $2B$ در زیر کف پی و برای پی نواری ($L/B \geq 10$) به عمق $4B$ صورت می‌پذیرد. کرنش در هر لایه از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$I_z \times (q - \sigma'_{v0}) / E'$$

همچنین مقدار مدول یانگ زهکشی شده برای ماسه به طور عادی تحکیم یافته از روابط زیر محاسبه می‌شود [3, 9]:

$$E' = 2/5 q_c \quad \text{پی‌های مربعی}$$

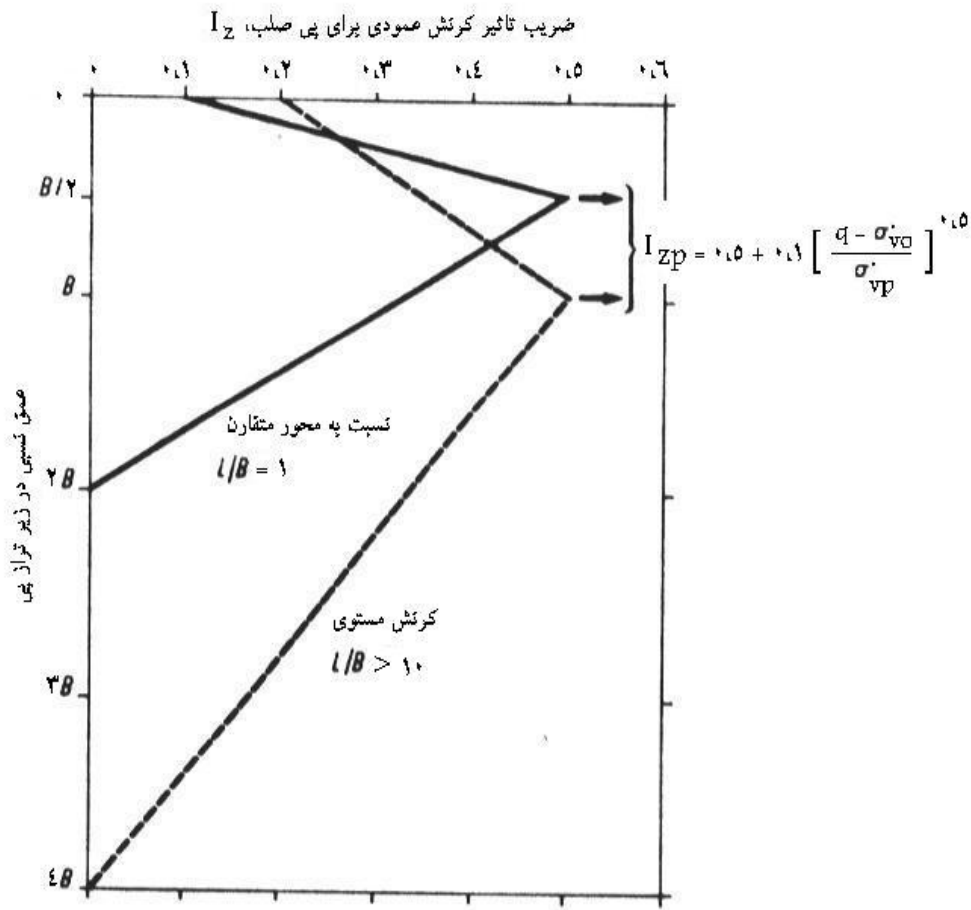
$$E' = 3/5 q_c \quad (L/B \geq 10) \quad \text{پی‌های نواری}$$

در روابط بالا q_c و E' برحسب مگاپاسکال است.

نمودار توزیع کرنش I_z بر اساس عرض پی B و فشارهای موجود ترسیم می‌شود، به طوری که برای پی مربعی و نواری مقادیر حداکثر آن از رابطه زیر به ترتیب در عمق $B/2$ و B محاسبه می‌شود.

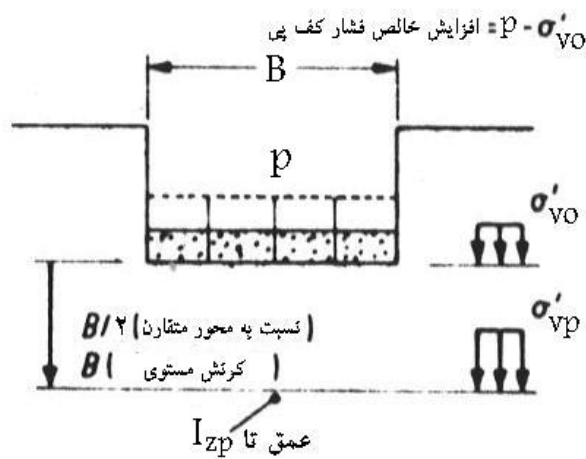
$$I_z = 0.5 + 0.1 \left(\frac{q - \sigma'_{v0}}{\sigma'_{vp}} \right)^{0.5}$$

برای پی مربعی شکل در کف پی $I_z = 0.1$ و در عمق $B/2$ مقدار حداکثر آن مطابق رابطه گفته شده و در عمق $2B$ برابر $I_z = 0$ است. در پی نواری در کف پی $I_z = 0.2$ ، حداکثر I_z در عمق B طبق رابطه ارائه شده و در نهایت در عمق $4B$ ، $I_z = 0$ است.



توجه: در محاسبات، میبایست نمودار فوق مجدداً و متناظر با I_{zp} کشیده شود

الف) توزیع ضریب تاثیر کرنش



ب) توصیف فشارهای موجود در رابطه الف

شکل ۱۸ - نمودار ضریب تاثیر کرنش

پس از ترسیم دیاگرام توزیع کرنش ، خاک زیر پی به تعداد لایه‌های مناسبی تقسیم می‌شود (به عنوان مثال $n = 8$ برای پی مربعی و ۱۶ یا ۸ برای پی نواری) و در هر لایه میانگین q_c (با قضاوت مهندسی) تعیین می‌شود. سپس مقدار I_z در مرکز هر لایه از نمودار قرائت شده و مقدار $(I_z / \beta q_c)$ برای هر لایه محاسبه می‌شود. مقادیر محاسبه شده $(I_z / \beta q_c)$ برای تمامی لایه‌ها با هم جمع شده و حاصل در عبارت $C_1 C_2 (q - \sigma'_{v0})$ ضرب می‌شود و در نهایت نشست محاسبه می‌شود.

برای مقادیر $1 < L/B < 10$ می‌توان کلیه نتایج را بین مقادیر نظیر $L/B = 1$ و $L/B = 10$ با درون یابی محاسبه کرد.

شایان ذکر است که مقادیر β در رابطه $E' = \beta q_c$ برای ماسه به‌طور عادی تحکیم یافته و در بازه ۱۰۰ تا ۳۰۰ کیلو نیوتن بر متر مربع توصیه شده است. بنابراین می‌توان برای ماسه‌های سست مقادیر β را کمتر و برای ماسه‌های خیلی متراکم مقادیر β را بیشتر منظور کرد.

در صورتی که ماسه بیش تحکیم یافته باشد، مطابق آنچه در بند ۹-۷-۲ ذکر شد، حداکثر مقادیر مدول زهکشی شده یانگ را باید ۲ برابر مقادیر نظیر برای ماسه به‌طور عادی تحکیم یافته به شرح زیر انتخاب کرد [3, 9]:

- پی مربعی: $E' = 5q_c$

- پی نواری: $E' = 7q_c$

در روابط بالا q_c و E' برحسب مگاپاسکال است.

* ۹-۹-۲ خاک‌های چسبنده

نشست خاک‌های چسبنده تحت اثر بار پی رامی توان با استفاده از رابطه زیر محاسبه کرد:

$$S = \sum_{1}^N m_v \cdot H \Delta p$$

در این رابطه:

S نشست کل لایه^۱ برحسب سانتی‌متر

n تعداد تقسیمات لایه

H ضخامت لایه‌ها برحسب سانتی‌متر

Δp تنش وارد بر مرکز لایه n ام ناشی از بار گذاری کف پی (برحسب مگانیوتن بر مترمربع)

$$m_v = \frac{1}{M} = \frac{1}{\alpha q_c}$$

مدول فشردگی حجمی (برحسب مترمربع بر مگانیوتن)

در این روش خاک از کف پی به n لایه مساوی به ضخامت H تقسیم شده و در هر لایه میانگین q_c به همراه Δp در مرکز هر لایه محاسبه می‌شود. مقادیر نظیر α طبق آنچه در (۹-۷-۱) ذکر شده تعیین و مقدار m_v برای هر لایه محاسبه می‌شود. در نهایت مقدار نشست از جمع حاصل ضرب مقادیر $m_v \cdot H \cdot \Delta p$ برای هر لایه تعیین می‌شود.

۱ - شامل نشست‌های الاستیک، پلاستیک و تحکیمی است [10].

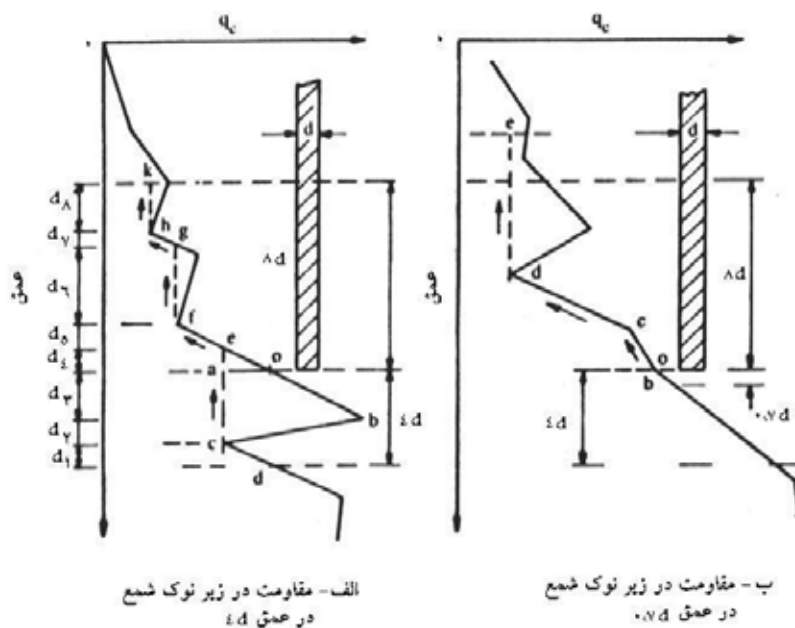
روش دیگر استفاده از روابط پیشنهادی اسکمپتون و بیروم^۱ است که با اعمال تصحیح در تئوری تحکیم ترزاقی نشست را محاسبه می‌کند. این روش در اکثر مراجع قابل دسترسی است [۱۱-۱۲].

* ۱۰-۹ ظرفیت باربری پی عمیق

در اینجا از شیوه پیشنهادی اشمرتمان استفاده می‌شود. در این شیوه مقاومت نوک در خاک چسبنده و غیرچسبنده از یک روش مشابه تعیین می‌شود. مقاومت جداره پی عمیق بسته به قرارگیری آن در خاک چسبنده یا غیرچسبنده از دو روش جداگانه محاسبه می‌شود.

* ۱-۱۰-۹ ظرفیت باربری نوک

در این روش، مقاومت نوک معرف q_p برای شمع به قطر (یا پهنای) d در طولی بین $0.7d$ تا $4d$ در زیر نوک شمع و در طول $8d$ در بالای نوک شمع تعیین می‌شود. شکل‌های الف - ۱۹ و ب - ۱۹ [3, 9] حالت‌های مختلف تعیین q_p را نشان می‌دهد.



شکل ۱۹ - مقاومت در زیر نوک شمع

1 - Skempton & bjerrum
2 - Representative cone point resistance

مقدار q_p را می‌توان با استفاده از رابطه زیر محاسبه کرد:

$$q_p = \frac{(q_{c1} + q_{c2})/2 + q_{c3}}{2}$$

که در آن :

q_{c1} : میانگین مقاومت نوک q_c در زیر نوک شمع در طولی که ممکن است بین $0.7d$ تا $4d$ متغیر باشد.

q_{c2} : حداقل مقاومت نوک ثبت شده q_c در زیر نوک شمع در همان فاصله $0.7d$ تا $4d$

q_{c3} : میانگین مقاومت‌های نوک q_c واقع بر خط گذرنده از حداقل مقادیر ثبت شده در فاصله $8d$ از بالای نوک شمع در این صورت مقاومت واحد نوک شمع^۱ q_b معادل مقدار q_p محاسبه شده از رابطه مذکور است:

$$q_b (\text{شمع}) = q_p (\text{مخروط})$$

مقاومت نهایی نوک شمع^۲ یا در حقیقت ظرفیت باربری نهایی نوک شمع Q_{bu} از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$Q_{bu} = A_b \cdot q_b$$

که در آن:

A_b سطح مقطع نوک شمع است.

مقدار مقاومت مجاز نوک شمع^۳ را با اعمال ضریب اطمینان مناسب F_s می‌توان از رابطه زیر محاسبه کرد:

$$Q_{ba} = \frac{Q_{bu}}{F_s} = \frac{A_b \cdot q_p}{F_s}$$

نحوه تعیین و محاسبه q_c با توجه به نمونه قرائت‌های ارائه شده در شکل‌های الف - ۱۹ و ب - ۱۹ به شرح زیر است:

* ۹-۱۰-۱-۱ وقتی مقادیر q_c در طول $4d$ در زیر نوک شمع از مقدار q_c در نوک شمع کمتر است (شکل

الف-۱۹) در این صورت مقادیر q_{c1}, q_{c2}, q_{c3} به ترتیب طبق روابط زیر محاسبه می‌شود:

$$q_{c1} = \frac{d_3(q_o + q_b)/2 + d_2(q_b + q_c)/2 + d_1(q_c + q_d)/2}{4d}$$

-
- 1 - Unit point resistance of pile
 - 2 - Ultimate base resistance
 - 3 - Allowable point resistance

که در آن :

q_b, q_o و مقاومت نوک نظیر نقاط صفر و b و بر روی منحنی تغییرات q_c است.

$q_{c2} = q_c$: حداقل مقدار مقاومت نوک در طول $4d$ از زیر نوک شمع بر روی منحنی تغییرات q_c که مربوط به نقطه C است.

در تعیین q_{c3} از خط گذرنده که از حداقل مقادیر q_c در فاصله نوک شمع تا ارتفاع $8d$ از بالای نوک شمع می‌گذرد، استفاده می‌شود. این خط (aefghk) به صورت خط چین همراه با علامت پیکان در شکل الف-۱۹ نشان داده شده است:

$$q_{c3} = \frac{d_4 q_e + d_5 (q_e + q_f) / 2 + d_6 q_f + d_7 (q_g + q_h) / 2 + d_8 q_n}{8d}$$

که در آن :

$$q_h = q_k \cdot q_f = q_g \cdot q_a = q_c$$

* ۹-۱۰-۱-۲ وقتی مقادیر q_c در طول $4d$ در زیر نوک شمع از مقدار q_c در نوک شمع بیشتر است (شکل ب-۱۹) در این صورت مقدار q_p در طول $0.7d$ از زیر نوک به شرح زیر مانند شکل ب-۱۹ محاسبه می‌شود:

$$q_{c1} = \frac{q_o + q_b}{2}$$

حداقل مقدار q_c در خود نوک $q_{c2} = q_o$

q_{c3} میانگین قرائت‌های q_c واقع بر روی خط گذرنده از حداقل مقادیر q_c در طول $8d$ در بالای نوک شمع (خط چین با علامت پیکان در شکل ب-۱۹)

در محاسبه میانگین q_{c2} در هر یک از حالت‌های گفته شده (۹-۱۰-۱-۱ و ۹-۱۰-۱-۲) باید از حداقل مقادیر q_{c2} محاسبه شده در دو حالت مزبور صرف نظر شود (از بزرگترین q_{c2} به دست آمده در هر دو رابطه استفاده شود).

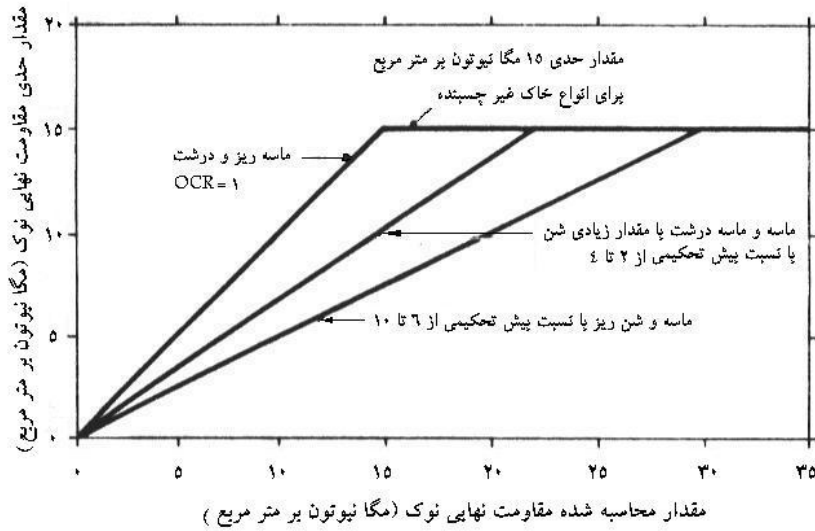
* ۹-۱۰-۱-۳ در نظر گرفتن اثر بیش تحکیمی در ماسه

توصیه می‌شود مقدار مقاومت شمع به دست آمده از روابط مذکور را به دلیل اثر بیش تحکیمی ماسه حداکثر به

$$\frac{15 \text{ مگانیوتن}}{\text{مترمربع}} \text{ محدود نمود (حتی اگر مقادیر } q_c \text{ بیشتر از } \frac{50 \text{ مگانیوتن}}{\text{مترمربع}} \text{ قرائت شده باشند).}$$

با استفاده از نمودار شکل ۲۰ [3] می‌توان مقادیر مقاومت نوک محاسبه شده را بر اساس مقادیر متفاوت نسبت بیش

تحکیمی (O.C.R.) به حداکثر مقاومت نوک قابل استفاده تبدیل کرد.



شکل ۲۰- حداکثر مقادیر مقاومت نوک در ماسه

* ۹-۱۰-۲ ظرفیت باربری جداره

* ۹-۱۰-۱-۲ ظرفیت باربری جداره در خاک‌های غیر چسبنده

ظرفیت باربری جداره شمع Q_{su} را می‌توان از رابطه زیر محاسبه کرد [3, 9]:

$$Q_{su} = K \left[\sum_{\ell=0}^{8d} \frac{\ell}{8d} f_s A_s + \sum_{\ell=8d}^L f_s A_s \right]$$

که در آن:

$$K = \frac{f_{sp}}{f_s} : \text{ضریب تصحیح برای اصطکاک جداره لوله غلاف} (f_s) \text{ مطابق شکل ۲۱}$$

f_{sp} : اصطکاک واحد سطح شمع

f_s : اصطکاک جداره لوله غلاف

ℓ : طولی از شمع که f_s در آن میانگین گیری شده است.

d : قطر یا پهناى شمع

A_s : سطح جانبی شمع در تماس با خاک در طول L

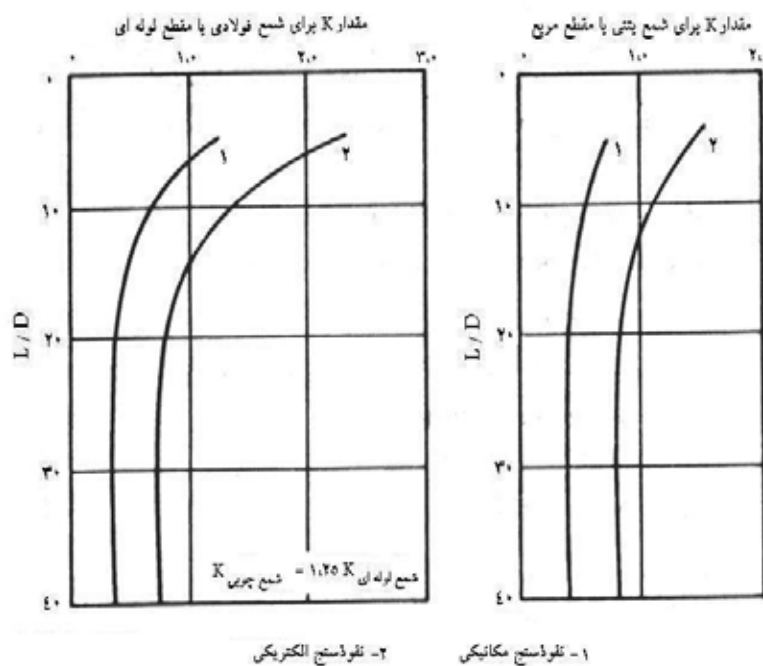
L : طول شمع که در تماس با خاک است.

چنانچه تغییرات f_s نسبت به عمق در طول شمع ناچیز باشد، رابطه ذکرشده را می توان به صورت ساده شده زیر نوشت [9]:

$$Q_{su} = K \left[\frac{1}{2} (f_{sa} A_s)_{0-8d} + (f_{sa} A_s)_{8d-L} \right]$$

که در آن :

f_{sa} : میانگین مقادیر اصطکاک جداره در فواصل عمق صفر تا $8d$ و عمق $8d$ تا L است.



شکل ۲۱- مقدار ضریب K برای شمع های فولادی و بتنی

* ۹-۱-۲- ظرفیت باربری جداره در خاک های چسبنده

ظرفیت باربری نهایی جداره در خاک های چسبنده را می توان از رابطه زیر به دست آورد [9]:

$$Q_{su} = \alpha' f_{sa} A_s$$

که در آن :

α' : نسبت اصطکاک واحد سطح شمع به مقاومت اصطکاکی جداره نفوذسنج (شکل ۲۲) [9]

f_{sa} : میانگین مقاومت اصطکاکی جداره نفوذسنج

A_s : سطح جانبی شمع در تماس با خاک

روش دیگر استفاده از قرائت‌های نوک q_c در محاسبه ظرفیت باربری در خاک‌های چسبنده، محاسبه C_u از روی قرائت‌های q_c (مطابق ۹-۶) و استفاده از روابط نظری موجود است. به عنوان مثال می‌توان از رابطه زیر استفاده کرد:

$$Q_u = Q_{bu} + Q_{su} = C_b N_c A_b + \alpha \bar{C}_u A_s$$

که در آن:

Q_u : مقاومت نهایی کل شمع

Q_{bu} : مقاومت نهایی نوک شمع

Q_{su} : مقاومت نهایی جداره شمع

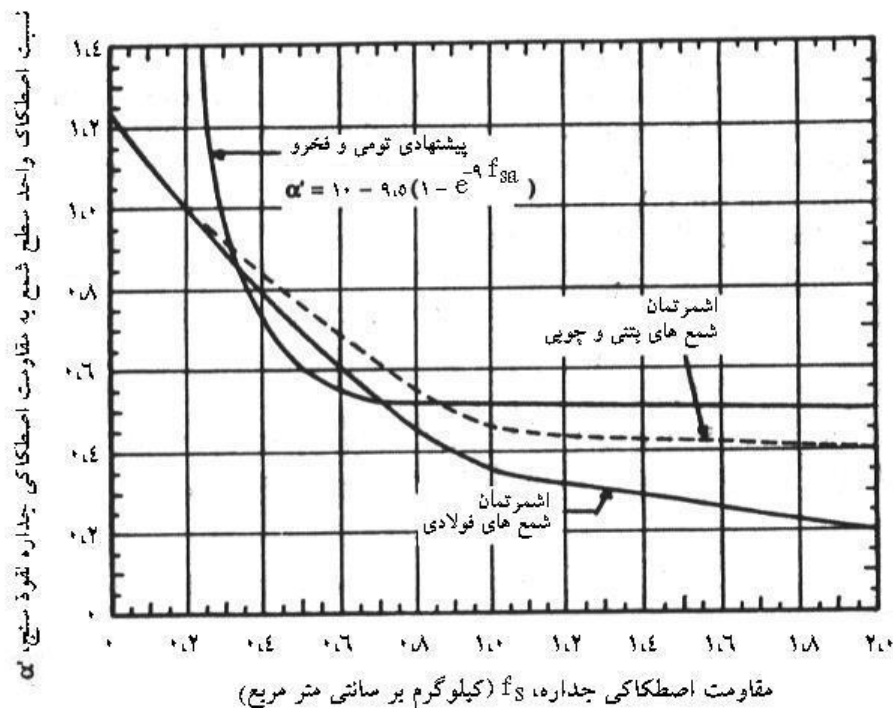
C_b : چسبندگی خاک در نوک شمع

A_b : سطح مقطع نوک شمع

α : ضریب چسبندگی

\bar{C}_u : متوسط چسبندگی خاک در طول شمع (در تماس با خاک)

A_s : سطح جانبی شمع در تماس با خاک



شکل ۲۲- مقدار ضریب α' برای شمع‌های فولادی و بتنی

* ۹-۱۰-۳ ضریب اطمینان - سایر موارد

انتخاب ضریب اطمینان مورد استفاده در محاسبات ظرفیت باربری مجاز شمع بستگی به قابلیت اطمینان از نتایج آزمایش ، روش انجام محاسبات ، تجربیات پیشین از رفتار شمع در خاک‌های مشابه و امکان یا عدم امکان کنترل ظرفیت باربری مجاز با استفاده از آزمایش بارگذاری شمع دارد. چنانچه در نمودارهای C.P.T. انجام شده در یک محل تفاوت‌های زیادی وجود داشته باشد، بهتر است که از مقادیر کمتر استفاده شود. ضمناً چنانچه امکان تخمین نشست وجود داشته باشد، ضریب اطمینان را باید با توجه به این موضوع انتخاب کرد.

در صورت استفاده از نفوذ سنج مخروطی - اصطکاکی از نوع مکانیکی توصیه می‌شود حداقل ضریب اطمینان معادل $F_s = 3$ در نظر گرفته شود (هم برای نوک و هم برای جداره).

۱۰- گزارش

۱-۱۰ اطلاعات قابل ثبت

اطلاعات آزمایش باید در محل ثبت شده و شامل موارد زیر باشد:

۱-۱-۱۰ استاندارد مورد استفاده

۲-۱-۱۰ نام کاربر

۳-۱-۱۰ نام و موقعیت طرح

۴-۱-۱۰ تاریخ انجام آزمایش

۵-۱-۱۰ شماره آزمایش

۶-۱-۱۰ مختصات محل آزمایش

۷-۱-۱۰ ارتفاع محل آزمایش از آب زیر زمینی در صورت وجود (یا در صورت وجود عمق آب در داخل سوراخ آزمایش ، به شرطی که قابل اندازه‌گیری باشد)

۸-۱-۱۰ نوع نوک نفوذ سنج مورد استفاده (در صورت منطبق نبودن با استاندارد، ابعاد قید شود)

۹-۱-۱۰ سیستم مورد استفاده در اندازه‌گیری (مکانیکی ، الکتریکی ، هیدرولیکی)

۱۰-۱-۱۰ نوع دستگاه وارد آورنده نیرو

۱۱-۱-۱۰ قرائت صفر در دستگاه‌های اندازه‌گیری

۱۲-۱-۱۰ اطلاعات مربوط به واسنجی دستگاه به همراه تاریخ انجام

۱۳-۱-۱۰ ثبت انحراف اولیه در صورت وجود

۱۴-۱-۱۰ روش مورد استفاده در ایجاد عکس العمل دستگاه

۱۵-۱-۱۰ ذکر استفاده از کاهش دهنده اصطکاک (در صورت استفاده)

۱۶-۱-۱۰ روش رانش نوک و روش ثبت قرائت‌ها به همراه ثبت سرعت رانش نوک

۱۰-۱-۱۷ ثبت وضعیت نوک و میله‌ها پس از اتمام آزمایش و بیرون کشیدن آنها
 ۱۰-۱-۱۸ در صورت بروز توقف ، ذکر علت ، زمان توقف و چگونگی ادامه آزمایش پس از آن
 ۱۰-۱-۱۹ شرح سایر اتفاقات در حین آزمایش از قبیل جابه‌جایی احتمالی دستگاه، بسته شدن نوک ، تغییرات بسیار ناگهانی در
 مقاومت‌های اندازه‌گیری شده، عدم امکان ادامه آزمایش و ذکر علت آن ، کاهش قدرت دستگاه وارد کننده نیرو ،
 برخورد به موانع و چگونگی عبور از آن (از قبیل استفاده از حفاری)

۱۰-۲ سایر موارد

علاوه بر موارد فوق ، گزارش نفوذ مخروط شبه ایستا باید موارد زیر را نیز شامل شود:

۱۰-۲-۱ نمودار تغییرات مقاومت نوک q_c نسبت به عمق

این نمودار باید حاوی تغییرات اندازه مقاومت نوک q_c (ترجیحاً برحسب کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع یا کیلوپاسکال) نسبت به عمق در واحد متر باشد.

۱۰-۲-۲ نمودار تغییرات مقاومت اصطکاکی جداره f_s نسبت به عمق

لازم است مقادیر مقاومت اصطکاکی جداره f_s را نیز (در صورت وجود) نسبت به عمق رسم کرد. این نمودار را می‌توان در کنار نمودار مقاومت نوک و یا بر روی آن رسم کرد. مقیاس مورد استفاده در عمق باید مشابه مقیاس نمودار q_c در عمق باشد.

۱۰-۲-۳ نمودار تغییرات نسبت اصطکاکی R_f نسبت به عمق

اگر در گزارش طبقه بندی خاک و یا لایه بندی مدنظر باشد، رسم نمودار تغییرات نسبت اصطکاکی R_f بر حسب عمق نیز لازم است در این حالت مقیاس عمق همانند مقیاس مورد استفاده در عمق برای نمودارهای q_c و f_s خواهد بود. این نمودار معمولاً در کنار نمودار q_c رسم می‌شود.

۱۰-۲-۴ نفوذ سنج ویژه (پیزوکن)

در صورت استفاده از پیزوکن ، علاوه بر رسم سه نمودار ذکر شده باید نموداری به موازات نمودارهای قبلی و با مقیاس عمق مشابه، از تغییرات فشار آب منفذی اندازه‌گیری شده در طول آزمایش نسبت به عمق رسم کرد. در صورت بروز توقف ، رسم نمودار تغییرات فشار آب منفذی نسبت به زمان نیز لازم است.

۱۰-۳ تغییر در روش آزمایش استاندارد

در گزارش مربوط، علاوه بر ذکر استاندارد مورد استفاده ، هر گونه انحرافی از موارد استاندارد باید به طور کامل شرح داده شود.

* ۱۱ - استفاده‌های دیگر از دستگاه آزمایش

از دستگاه رانش آزمایش CPT می‌توان در فرستادن دستگاه‌ها و تجهیزات زیر نیز به داخل خاک استفاده کرد:
نمونه‌گیر، پیژومتر، دیلاتومتر، فشارسنج، تجهیزات درون چاهی آزمایش‌های ژئوفیزیکی و حباب آزمایش‌های فشارسنجی و چگالی (دانسیته) هسته‌ای.

همچنین با نوک نفوذسنج تجهیزات زیر را که کمک در اجرای بهتر آزمایش است می‌توان به داخل خاک فرو برد:
سنجش گر اندازه‌گیری انحراف نوک، حرارت و...

منابع و مراجع

- 1- Standard Test Method For Deep, Quasi – Static ,Cone and Friction – Cone Penetration Tests Of Soil ASTM,D3441-86
 - 2- Eurocode 7 Part 3 , Geotechnical Design Assisted by Field Tests, November 1995 (Draft)
 - 3- Cone Penetration Testing ,Methods and Interpretation A.C Meigh , CIRIA (Construction Industry Research And Information)Ground Engineering Report , In-situ Testing.
 - 4- International Reference Test Procedures, Vol.1, Proceedings of The First International Symposium On Penetration Testing.
 - 5- Norwegian Geotechnical Institute. 26 May 1989.
 - 6- Eurocode 7 Part 1, Geotechnical Design, General Rules, 4th Version, 5 February 1993.
 - 7- Tomlinson, MJ.(1995) , “Foundation Design & Construction ”Sixth Edition , Longman Scientific & Technical.
 - 8- Bowles, Joseph E. (1996). “Foundation Analysis and Design “Fifth Edition, McGraw – Hill International.
 - 9- Murthy, V.N.S (1991), “Soil Mechanics & Foundation Engineering, Vol .II ” Eastern Press, India.
 - 10- Tschebotarioff, Gregory P. (1979), “Foundations, Retaining and Earth Structures”, Second Edition, McGraw – Hill Book Company.
 - 11- Tomlinson, MJ (1995), “Fondation Design and Construction, ” Sixth Edition, Longman Scientific & Technical.
- ۱۲- نشریه شماره ۲۲۴ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور «انجام آزمایش نفوذ استاندارد S.P.T.»، طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور، دفتر فنی، امور آب، وزارت نیرو