



جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran

سازمان ملی استاندارد ایران

Iranian National Standardization Organization



استاندارد ملی ایران

۱۲۳۰۵-۱

چاپ اول

۱۳۹۳

INSO

12305-1

1st.Edition

2014

تحقیقات و آزمون‌های ژئوتکنیکی - آزمون
صحرائی - قسمت ۱ : آزمون نفوذ مخروط
الکتریکی و پیزوکون

Geotechnical investigation and testing —
Field testing —
Part 1: Electrical cone and piezocone
penetration test

ICS: 93.020

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ تنها مرجع رسمی کشور است که وظیفه تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی (رسمی) ایران را به عهده دارد.

نام موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب یکصد و پنجاه و دومین جلسه شورای عالی اداری مورخ ۹۰/۶/۲۹ به سازمان ملی استاندارد ایران تغییر و طی نامه شماره ۲۰۶/۳۵۸۳۸ مورخ ۹۰/۷/۲۴ جهت اجرا ابلاغ شده است. تدوین استاندارد در حوزه های مختلف در کمیسیون های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می شود و کوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانه صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف کنندگان، صادرکنندگان و وارد کنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان های دولتی و غیر دولتی حاصل می شود. پیش نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی نفع و اعضای کمیسیون های فنی مربوط ارسال می شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادات در کمیته ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می شود.

پیش نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان های علاقه مند و ذی صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می کنند در کمیته ملی طرح و بررسی و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می شوند که بر اساس مفاد نوشته شده در استاندارد ملی ایران شماره ۵ تدوین و در کمیته ملی استاندارد مربوط که سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می دهد به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین المللی استاندارد (ISO)^۱، کمیسیون بین المللی الکتروتکنیک (IEC)^۲ و سازمان بین المللی اندازه شناسی قانونی (OIML)^۳ است و به عنوان تنها رابط^۴ کمیسیون کدکس غذایی (CAC)^۵ در کشور فعالیت می کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی های خاص کشور، از آخرین پیشرفت های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین المللی بهره گیری می شود.

سازمان ملی استاندارد ایران می تواند با رعایت موازین پیش بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و/یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری نماید. سازمان می تواند به منظور حفظ بازارهای بین المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه بندی آن را اجباری نماید. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده کنندگان از خدمات سازمان ها و مؤسسات فعال در زمینه مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سیستم های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست محیطی، آزمایشگاه ها و مراکز کالیبراسیون (واسنجی) و سایل سنجش، سازمان ملی استاندارد ایران این گونه سازمان ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامه تأیید صلاحیت به آن ها اعطا و بر عملکرد آن ها نظارت می کند. ترویج دستگاه بین المللی یکاها، کالیبراسیون (واسنجی) و سایل سنجش، تعیین عبار فلزات گرانبها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این سازمان است.

1- International Organization for Standardization

2 - International Electrotechnical Commission

3- International Organization of Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legale)

4 - Contact point

5 - Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد
» تحقیقات و آزمون‌های ژئوتکنیکی - آزمون صحرایی - قسمت ۱ : آزمون نفوذ
مخروط الکتریکی و پیزوکون«

رئیس:

روا، افشین

(کارشناسی ارشد مهندسی عمران)

دبیر:

پوربابا، مسعود

(کارشناسی ارشد مهندسی عمران)

اعضاء: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

ادریسی، نازیلا

(کارشناسی ارشد معماری)

ارشد شبخانه، بهمن

(کارشناسی ارشد مهندسی عمران)

تبریزی، آذر

(کارشناسی مهندسی عمران)

زمان‌پور، اصغر

(کارشناسی مهندسی عمران)

عدالتی، حسین

(کارشناسی ارشد مهندسی عمران)

قدیمی کلجاهی، فریده

(کارشناسی ارشد شیمی)

سمت و/یا نمایندگی

اداره کل استاندارد آذربایجان شرقی

شرکت کیفیت آفرینان آذر

دانشگاه آزاد اسلامی واحد سردرود

اداره کل استاندارد آذربایجان شرقی

شرکت کیفیت آفرینان آذر

مجتمع مس سونگون

شرکت بتن خاوران

اداره کل استاندارد آذربایجان شرقی

اداره کل استاندارد آذربایجان شرقی

متذکر، نسیبه
(کارشناس ارشد مهندسی عمران)

سازمان ملی استاندارد ایران

مجتبوی، علیرضا
(کارشناس مهندسی مواد)

پیش گفتار

استاندارد " تحقیقات و آزمون‌های ژئوتکنیکی - آزمون صحرائی - قسمت ۱ : آزمون نفوذ مخروط الکتریکی و پیزوکون " که پیش نویس آن در کمیسیون های مربوط اداره کل استاندارد آذربایجان شرقی تهیه و تدوین شده است و در پانصد و نهمین اجلاس کمیته ملی استاندارد مهندسی ساختمان و مصالح و فرآورده‌های ساختمانی مورخ ۱۳۹۳/۲/۲۷، مورد تصویب قرار گرفته است، اینک به استناد بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت های ملی و جهانی در زمینه صنایع ، علوم و خدمات ، استانداردهای ملی ایران در مواقع لزوم تجدید نظر خواهد شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارائه شود ، هنگام تجدید نظر در کمیسیون فنی مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت . بنابراین ، باید همواره از آخرین تجدید نظر استانداردهای ملی استفاده کرد .

منبع و مآخذی که برای تهیه این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته به شرح زیر است :

ISO22476-1:2012, Geotechnical investigation and testing — Field testing — Part 1: Electrical cone and piezocone penetration test

تحقیقات و آزمون‌های ژئوتکنیکی - آزمون صحرائی - قسمت ۱: آزمون نفوذ مخروط الکتریکی و پیزوکون^۱

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، ارایه الزامات اجرا و گزارش آزمون نفوذ پیزوکون و مخروط الکتریکی است. یادآوری- این قسمت از استاندارد الزامات آزمون‌های نفوذ پیزوکون و مخروط الکتریکی را به عنوان قسمتی از تحقیقات و آزمون‌های ژئوتکنیکی مطابق با استانداردهای EN1997-1 و EN1997-2 برآورده می‌کند.

در آزمون نفوذ پیزوکون و مخروط الکتریکی، دو دسته از آزمونهای نفوذ مخروط مد نظر قرار می‌گیرند. الف- آزمون نفوذ مخروط الکتریکی (CPT)^۲، که شامل اندازه‌گیری مقاومت مخروط و اصطکاک پوسته است. ب- آزمون پیزوکون (CPTU)^۳، که آزمون نفوذ مخروط با اندازه‌گیری اضافی فشار منفذی است. آزمون CPTU مانند آزمون CPT انجام می‌شود با اندازه‌گیری فشار منفذی در یک یا چند محل از سطح نفوذ سنج

یادآوری- همچنین آزمون‌های CPT و CPTU را می‌توان بدون اندازه‌گیری اصطکاک پوسته انجام داد اما این استاندارد این روش را در بر نمی‌گیرد.

این استاندارد موارد زیر را در برمی‌گیرد:

الف- نوع آزمون نفوذ مخروط، مطابق جدول ۱

ب- رده کاربرد مطابق جدول ۲

پ- طول نفوذ یا عمق نفوذ

ت- ارتفاع از سطح زمین یا سطح آب زیر زمینی در محل آزمون نفوذ مخروط با ارجاع به سطح مبنا

ث- محل آزمون نفوذ مخروط نسبت به محل نقطه مرجع ثابت تجدید پذیر

ج- آزمون‌های انتشار فشار منفذی

یادآوری- این استاندارد آزمون CPT در خشکی و نزدیکی ساحل را در بر می‌گیرد.

برای الزامات اضافی برای CPT دریایی به استاندارد [۸] NORSOK G-001 مراجعه شود.

۲ مراجع الزامی

مدارک الزامی زیر حاوی مقرراتی است که در متن این استاندارد ملی ایران به آن‌ها ارجاع داده شده است. بدین ترتیب آن مقررات جزئی از این استاندارد ملی ایران محسوب می‌شود.

در صورتی که به مدرکی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدید نظرهای بعدی آن مورد نظر این استاندارد ملی ایران نیست. در مورد مدارکی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن‌ها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدید نظر و اصلاحیه‌های بعدی آن‌ها مورد نظر است.

1- Piezocone

2 -Electrical cone penetration test

3 - Electrical cone penetration test with the additional measurement of pore pressure

استفاده از مراجع زیر برای این استاندارد الزامی است :

۱-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۱۰۰۱۲: سال ۱۳۸۶، سیستم‌های مدیریت اندازه‌گیری- الزامات فرایندهای اندازه‌گیری و تجهیزات اندازه‌گیری

2-2 ISO 8503, Preparation of steel substrates before application of paints and related products
- Surface roughness characteristics of blast-cleaned steel substrates

۳ اصطلاحات و تعاریف، نمادها، اختصارات و یکاها

۱-۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد اصطلاحات و تعاریف زیر به کار می‌رود:

۱-۱-۳

زبری سطح متوسط

R_a

انحراف متوسط بین سطح واقعی نفوذ مخروط و سطح مرجع متوسط قرار گرفته در طول سطح نفوذ مخروط

۲-۱-۳

مخروط

قسمت پایین مخروطی شکل نفوذ سنج مخروطی و با امتداد استوانه ای

یادآوری ۱- موقع فشاردادن نفوذ سنج به داخل زمین، مقاومت مخروط از طریق مخروط به حسگر بار منتقل می‌شود.

یادآوری ۲- در این استاندارد فرض می‌شود که مخروط صلب است و بنابراین موقع بار گذاری تغییر شکل آن نسبت به تغییر شکل سایر قسمت های نفوذسنج مخروط خیلی کوچک است.

۳-۱-۳

آزمون نفوذ مخروط

CPT

راندن نفوذ سنج مخروط در انتهای مجموعه‌ای از میله‌های فشار استوانه‌ای به درون زمین با سرعت نفوذ

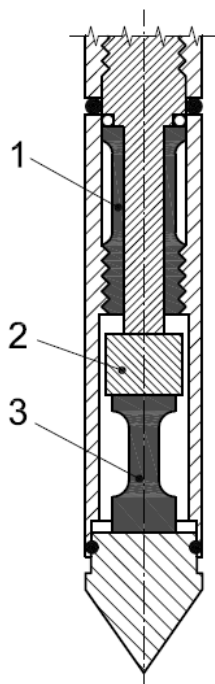
ثابت

۴-۱-۳

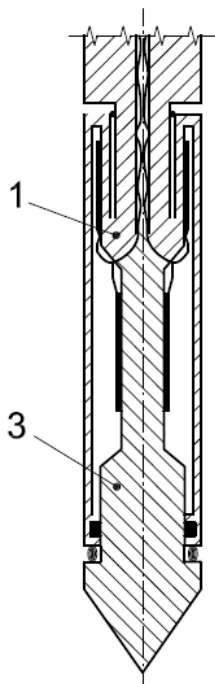
نفوذ سنج مخروط

مجموعه‌ای شامل مخروط، پوسته اصطکاک، سایر حسگرها و سامانه‌ای اندازه‌گیری و همچنین متصل به میله‌های فشار

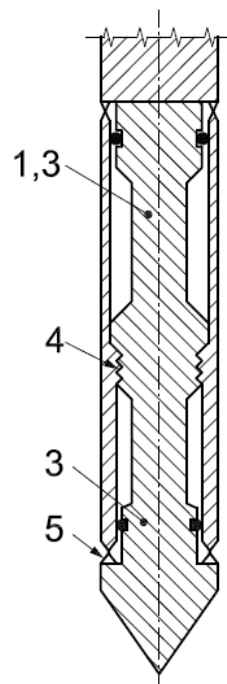
یادآوری- نمونه‌ای از نفوذ سنج مخروط در شکل نشان داده شده است برای سایر محل‌های فیلتر به شکل ۲ مراجعه شود.



پ- نیروسنج‌های مقاومت مخروط و پوشش اصطکاکی در فشار



ب- نیروسنج‌های مقاومت مخروط در فشار و نیروسنج‌های پوشش اصطکاکی در فشار



الف- نفوذسنج مخروطی نوع کاهشی

راهنما

۱ نیروسنج پوشش

۲ دستگاه محافظت در برابر اضافه بار نیروسنج

۳ نیروسنج مخروط

۴ شیار

۵ درزگیر خاک

شکل ۱- سطح مقطع نمونه ای از نفوذسنج مخروط

۵-۱-۳

مقاومت مخروط

مقاومت نفوذ مخروط

۶-۱-۳

مقاومت مخروط اصلاح شده

f_t

مقاومت مخروط اندازه گیری شده، q_c ، اصلاح شده برای تاثیرات فشار منفذی

۷-۱-۳

نسبت اصطکاک اصلاح شده

R_{ft}

نسبت اصطکاک پوشش اندازه گیری شده یا اصلاح شده به مقاومت مخروط اصلاح شده اندازه گیری شده در عمق یکسان

یادآوری- معمولا اصطکاک پوشش اندازه گیری شده به کار می رود، بنابراین در صورت در دسترس بودن اصطکاک پوشش اصلاح شده به کار می رود.

۸-۱-۳

اصطکاک پوشش اصلاح شده

F_t

اصطکاک پوشش اندازه گیری شده ، F_t ، تصحیح شده برای تاثیرات فشار منفذی

۹-۱-۳

آزمون پراکندگی

اندازه گیری تغییرات فشار آب منفذی در طی مرحله توقف راندن وقتی نفوذ سنج مخروطی ثابت نگه داشته می شود.

۱۰-۱-۳

آزمون نفوذ مخروط الکتریکی

آزمون نفوذ مخروط که نیروها به صورت الکتریکی در نفوذ سنج مخروط اندازه گیری می شوند.

۱۱-۱-۳

فشار منفذی اضافی

فشار منفذی اضافی بیشتر از فشار منفذی محیطی در سطح فیلتر، ناشی از نفوذ نفوذ سنج مخروطی به داخل زمین :

$$\Delta u_1 = u_1 - u_0 \quad (۱)$$

$$\Delta u_2 = u_2 - u_0 \quad (۲)$$

$$\Delta u_3 = u_3 - u_0 \quad (۳)$$

۱۲-۱-۳

فیلتر

عنصر متخلخل در نفوذ سنج مخروطی که فشار منفذی را به حسگر فشار منفذی با حفظ هندسه نفوذسنج مخروطی منتقل می کند.

۱۳-۱-۳

نسبت اصطکاک

R_f

نسبت اصطکاک پوشش اندازه گیری شده به مقاومت مخروط اندازه گیری شده در عمق یکسان

۱۴-۱-۳

کاهنده اصطکاک

بزرگ شدن متقارن و موضعی قطر میله های فشاربرای دستیابی به کاهش اصطکاک در طول میله های فشار

۱۵-۱-۳

پوشش اصطکاکی

مقطعی از مخروط نفوذسنج که اصطکاک بین خاک و پوشش اندازه گیری می شود.

۱۶-۱-۳

فشار منفذی تعادل در جا

U_0

فشار منفذی در جای اصلی در عمق فیلتر

۱۷-۱-۳

شیب

انحراف زاویه ای نفوذ سنج مخروطی از عمود

۱۸-۱-۳

فشار منفذی اولیه

U_1

فشار منفذی اندازه گیری شده در شروع آزمون انتشار

۱۹-۱-۳

مقاومت مخروط اندازه گیری شده

q_c

تفسیر نیروی اندازه گیری مخروط Q_C ، به مساحت مخروط A_C :

$$q_c = Q_c / A_c \quad (4)$$

۲۰-۱-۳

فشار منفذی اندازه گیری شده

u_3, u_2, u_1

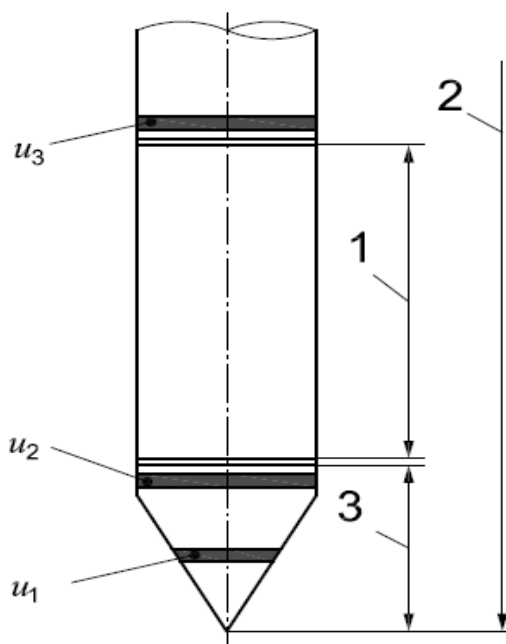
فشار اندازه گیری شده در فیلتر طی آزمون انتشار و نفوذ

یاد آوری - فشار منفذی را می توان در محل های مختلف به شرح زیر اندازه گیری کرد (به شکل ۲ مراجعه شود).

u_1 در رویه مخروط

u_2 در مقطع استوانه ای مخروط (ترجیحا در فاصله بین مخروط و پوشش)

u_3 درست در پشت پوشش اصطکاکی



راهنما
 ۱ پوشش اصطکاکی
 ۲ نفوذسنج مخروطی
 ۳ مخروط

شکل ۲- محل فیلترهای فشار منفذی

۲۱-۱-۳

اصطکاک پوشش اندازه گیری شده f_s

تقسیم نیروی اندازه گیری شده اعمالی روی پوشش اصطکاکی، f_s ، بر مساحت پوشش، A_s ،

$$f_s = f_s / A_s \quad (5)$$

۲۲-۱-۳

سامانه اندازه گیری

تمام حسگرها و قسمت های کمکی به کار رفته برای انتقال و یا ذخیره علائم الکتریکی طی آزمون نفوذ مخروط

یادآوری- معمولا سامانه اندازه گیری شامل اجزای اندازه گیری نیرو (مقاومت مخروط، اصطکاک پوشش)، فشار (فشار منفذی)، شیب، زمان و طول نفوذ می باشد.

۲۳-۱-۳

نسبت مصالح خالص

a

نسبت مساحت سطح مقطع لودسل یا شفت، A_{st} ، نفوذ سنج مخروطی بالای مخروط در محل فاصله‌ای که فشار مایع می‌تواند عمل کند، به مساحت سطح مقطع اسمی پایه مخروط A_c یادآوری - به شکل ۶ مراجعه شود.

۲۴-۱-۳

مقاومت مخروط خالص

q_n

مقاومت مخروط اندازه‌گیری شده اصلاح شده برای اضافه بار کلی فشار خاک

۲۵-۱-۳

نسبت اصطکاک خالص

R_{fn}

نسبت اصطکاک پوشش به مقاومت مخروط خالص اندازه‌گیری شده در عمق یکسان

۲۶-۱-۳

فشار منفذی اضافی نرمالیزه شده

U

فشار منفذی اضافی طی آزمون انتشار مقایسه شده با فشار منفذی اضافی اولیه
یادآوری - به بند ۷-۴ مراجعه شود

۲۷-۱-۳

عمق نفوذ

Z

عمق قائم مخروط نسبت به نقطه ثابت

یادآوری - به شکل ۳ مراجعه شود.

۲۸-۱-۳

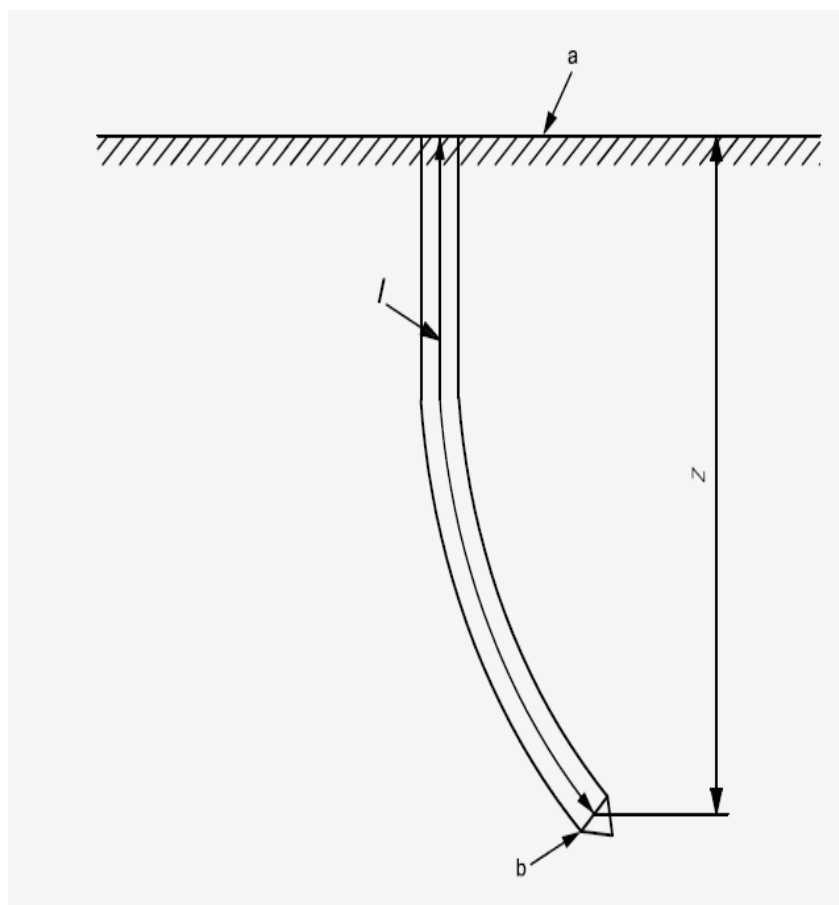
طول نفوذ

L

مجموع طول های میله های فشار و نفوذ سنج مخروطی، کاهش یافته یا ارتفاع قسمت مخروط نسبت به صفحه افقی ثابت

یادآوری ۱ - به شکل ۳ مراجعه شود

یادآوری ۲ - صفحه افقی ثابت معمولا با تراز سطح زمین (در ساحل یا نزدیک ساحل) متناظر است. این موضوع ممکن است در نقطه آغاز آزمون متفاوت باشد.



راهنما

a صفحه افقی ثابت

b پایه قسمت مخروطی

l طول نفوذ

Z عمق نفوذ

شکل ۳- طول و عمق نفوذ

۲۹-۱-۳

آزمون نفوذ پیزوکون

CPTU

آزمون نفوذ مخروط الکتریکی با اندازه‌گیری فشار منفذی حول مخروط

۳۰-۱-۳

نسبت فشار منفذی

Bq

نسبت فشار منفذی اضافی در موقعیت فیلتر u2 به مقاومت مخروط خالص

۳-۱-۳۱

میله فشارش

قسمتی از میله‌ها برای انتقال نیروها به نفوذسنج مخروطی

۳-۱-۳۲

قرائت مرجع

قرائت حسگر درست قبل از نفوذ نفوذ سنج به زمین یا بلافاصله بعد از خروج نفوذسنج
یادآوری ۱- در مکان‌های ساحلی، قرائت در سطح دریا یا در کف گودال حفر شده با فشار آب اعمالی، انجام می‌شود.
یادآوری ۲- در آغاز آزمون در دریا، قرائت مرجع در سطح زمین معادل قرائت صفر است.

۳-۱-۳۳

دستگاه فشارش^۱

دستگاهی که مخروط نفوذسنج و میله‌ها را با سرعت نفوذ ثابت به داخل زمین می‌راند.

۳-۱-۳۴

تنش بار اضافی کل

 vo

تنش ناشی از وزن کلی لایه‌های خاک در عمق پایه مخروط

۳-۱-۳۵

تغییر مکان صفر

تفاوت مطلق بین قرائت صفر (یا قرائت‌های مرجع) سامانه اندازه‌گیری در آغاز و بعد از اتمام آزمون نفوذ
مخروط

۳-۱-۳۶

قرائت صفر

خروجی پایدار سامانه اندازه‌گیری موقعی که بار صفر در حسگرها وجود دارد، به عنوان مثال پارامتر
اندازه‌گیری مقدار صفر دارد، در حالی که هیچ منبع تغذیه کمکی لازم برای کار سامانه اندازه‌گیری روشن
نیست.

۳-۲ نمادها

واحد	نام	نماد
mm ²	مساحت سطح مقطع مخروط	A _c
mm ²	مساحت سطح مقطع سل بارگذاری یا شفت	A _n
mm ²	مساحت سطح پوشش اصطکاکی	A _s
mm ²	مساحت سطح مقطع کف پوشش اصطکاکی	A _{sb}
mm ²	مساحت سطح مقطع بالای پوشش اصطکاکی	A _{st}
	نسبت مساحت خالص	a
	نسبت فشار منفذی	B _q
	ضریب تصحیح برای تاثیر شیب نفوذ سنج مخروطی نسبت به محور قائم	C _{inc}
mm	قطر مخروط با ارتفاع معین	d _{cone}
mm	قطر قسمت استوانه‌ای مخروط	d _c
mm	قطر فیلتر	d _{fil}
mm	قطر پوشش اصطکاکی	d ₂
Mpa	فشار منفذی اضافی فیلتر در محل‌های ۲ و ۳	u _{1,2,3} Δ
kN	نیروی محوری اندازه‌گیری شده روی پوشش اصطکاکی	F _s
Mpa	اصطکاک پوشش اندازه‌گیری شده	f _s
Mpa	اصطکاک پوشش تصحیح شده	f _t
mm	ارتفاع قسمت مخروطی مخروط	hc
mm	طول امتداد استوانه‌ای مخروط	he
m	طول نفوذ	l
m	طول پوشش اصطکاکی	l _s
kN	نیروی محوری اندازه‌گیری شده روی مخروط	Q _c
Mpa	مقاومت مخروط اندازه‌گیری شده	q _c
Mpa	مقاومت مخروط خالص	q _n
Mpa	مقاومت مخروط تصحیح شده	q _t
μm	زبری سطح میانگین	R _a
%	ضریب اصطکاک	R _f
%	ضریب اصطکاک تصحیح شده	R _{ft}
%	ضریب اصطکاک خالص	R _{fn}
s	زمان	t
s	زمان لازم برای اتلاف فشار منفذی اضافی ۵۰٪	t ₅₀
	فشار منفذی اضافی نرمالیزه شده	U
Mpa	فشار منفذی	u
Mpa	فشار منفذی در آغاز آزمون اتلاف	u _i
Mpa	فشار منفذی طی زمان t آزمون اتلاف	u _t
Mpa	در محل، فشار منفذی اولیه	u ₀
Mpa	فشار منفذی در محل ۱	u ₁
Mpa	فشار منفذی در محل ۲	u ₂

نماد	نام	واحد
u_3	فشار منفذی در محل ۳	Mpa
z	عمق نفوذ	m
α	زاویه کلی اندازه‌گیری شده بین محور قائم و محور نفوذسنج مخروطی	°
β_1	زاویه اندازه‌گیری شده بین محور قائم و تصویر محور نفوذسنج مخروطی روی صفحه قائم ثابت	°
β_2	زاویه اندازه‌گیری شده بین محور قائم و تصویر محور نفوذسنج مخروطی روی صفحه قائمی که بر صفحه زاویه β_1 عمود است	°
σ_{v0}	تنش اضافی کلی	Mpa

۴ تجهیزات

۴-۱ نفوذسنج مخروطی

نفوذ سنج مخروطی دارای حسگرهای بار داخلی برای اندازه‌گیری نیروی مخروط (مقاومت مخروط)، اصطکاک کناره روی پوسته اصطکاکی (اصطکاک پوسته) و در صورت امکان فشار منفذی در یک یا چند محل در سطح نفوذسنج مخروطی می‌باشند. یک شیب‌سنج داخلی برای اندازه‌گیری شیب نفوذسنج برای برآورده کردن الزامات رده‌های ۱، ۲ و ۳ که در جدول ۲ ارائه شده‌اند، وجود دارد.

یادآوری ۱- نفوذسنج مخروطی ممکن است حسگرهای دیگری نیز داشته باشد.

محور همه قسمت‌های نفوذسنج مخروطی باید منطبق باشند.

توصیه می‌شود نفوذ سنج‌های مخروطی ایده‌آل دارای نسبت مساحت خالص تقریبی ۱ با در نظر گرفتن زبری نفوذ سنج مخروطی باشند.

یادآوری ۲- نسبت مساحت خالص، a ، بین ۰/۵ و ۰/۹ برای نفوذسنج‌های مخروطی پرکاربرد متغیر است.

مساحت سطح مقطع انتهای بالایی پوشش اصطکاکی نباید کمتر از سطح مقطع انتهای پایینی باشد.

۴-۲ رواداری‌ها

رواداری‌های ابعاد، رواداری‌های عملکردی می‌باشند. رواداری‌های ساخت بهتر است سختگیرانه باشد.

رواداری‌های زبری سطح، رواداری‌های ساخت می‌باشند.

۴-۳ زبری سطح

زبری سطح بیان شده در بندهای ۴-۴ و ۴-۵ به زبری متوسط (R_a) که با مقایسه پروفایل سطح با استاندارد ISO 8503 یا با ارزیابی تعیین می‌شود، اشاره دارد. مفهوم زبری سطح نیازمند جلوگیری از به کار بردن مخروط یا پوشش اصطکاکی " صاف غیر معمولی " و "زبر غیر معمولی" می‌باشد. فولاد، شامل فولاد سخت شده که در معرض پوشاندن در خاک (به ویژه ماسه) می‌باشد و پوشش اصطکاکی زبری خود را با استفاده افزایش می‌دهند. بنابراین مهم است که زبری در ساخت به زبری لازم برای کاربرد برسد. این عقیده وجود دارد که الزامات زبری سطح معمولاً در عمل برای انواع عمومی فولاد به کار رفته برای ساخت نفوذسنج و

شرایط عمومی زمین (ماسه و رس) برآورده می‌شود. بنابراین تلاش لازم برای تایید اندازه‌گیری را می‌توان در عمل محدود کرد.

۴-۴ مخروط

مخروط شامل یک قسمت مخروطی با امتداد استوانه‌ای است. مخروط باید دارای زاویه راس 60° باشد. مساحت سطح مقطع مخروط باید 1000 mm^2 که متناظر با قطر $35/7 \text{ mm}$ است، باشد.

بسته به شرایط زمین، ممکن است مخروط‌های با قطر بین 25 mm ($Ac=500 \text{ mm}^2$) و 50 mm ($Ac=2000 \text{ mm}^2$) برای اهداف خاص، بدون اعمال ضرایب تصحیح به کار روند. در این مورد، هندسه مخروط باید نسبت به قطر تنظیم شود. توصیه می‌شود هندسه پوشش اصطکاکی برای کسب نتایج قابل مقایسه تنظیم شود. به کار بردن مخروط با $Ac \# 1000 \text{ mm}^2$ باید گزارش شود. قطر قسمت استوانه‌ای باید در محدوده الزامات رواداری نشان داده شده در شکل ۴ باشد:

$$35/3 \text{ mm} \leq d_c \leq 36/0 \text{ mm}$$

طول امتداد استوانه‌ای باید در محدوده الزامات رواداری زیر باشد:

$$7/0 \text{ mm} \leq h_e \leq 10/0 \text{ mm}$$

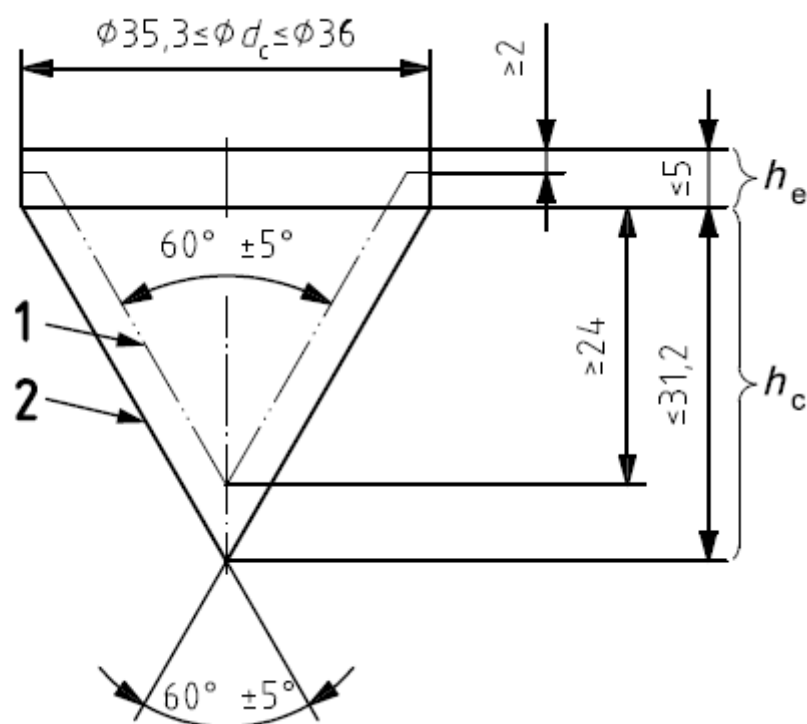
ارتفاع قسمت مخروطی باید در محدوده الزامات رواداری زیر باشد:

$$24/0 \text{ mm} \leq h_c \leq 31/2 \text{ mm}$$

اگر فیلتر در موقعیت u_z قرار گیرد، قطر خود المان فیلتر ممکن است بزرگتر از ابعاد لازم باشد (به بندهای ۴-۴ و ۵-۴ مراجعه شود).

توصیه می‌شود مخروط با زبری سطح $R_a < 5 \mu\text{m}$ ساخته شود.

در صورتی که کنترل چشمی سایش نامتقارن یا زبری غیر معمول نشان دهد حتی اگر الزامات رواداری برآورده شوند مخروط نباید به کار رود.



راهنما:

۱ شکل حداقل مخروط بعد از پوشاندن

۲ شکل حداکثر مخروط

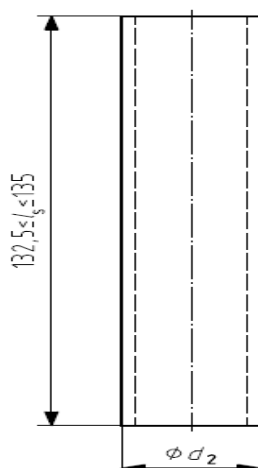
شکل ۴- الزامات رواداری برای به کار بردن نفوذسنج مخروطی با مساحت 1000 mm^2

۵-۴ پوشش اصطکاکی

پوشش اصطکاکی باید درست در بالای مخروط قرار گیرد. ساخت ناشی از فواصل و درزهای خاک نباید بیش از 50 mm باشد.

مساحت سطح اسمی باید 15000 mm^2 باشد. الزامات رواداری در شکل ۵ نشان داده شده است. ممکن است برای اهداف خاص پوشش‌های اصطکاکی با قطر خارجی 25 mm تا 50 mm به کار رود اگر مخروط‌های با قطر متناظر بدون ضرایب اصلاحی به کار رود. توصیه می‌شود نسبت طول به قطر تقریباً $3,75$ باشد. نسبت‌های ۳ تا ۵ مجاز هستند.

قطر پوشش اصطکاکی (d_2) باید مساوی قطر مخروط (d_c) با رواداری 0 mm تا $0,35 \text{ mm} +$ باشد.



راهنما:

l_s طول پوشش اصطکاکی

d_2 قطر پوشش اصطکاکی

$$361 \text{ mm} > d_2, (0.35 + d_c) > d_2, d_2 \geq d_c \quad a$$

$$A_s = 15000 \text{ mm}^2 \quad b$$

شکل ۵- هندسه و رواداری های پوشش اصطکاکی

هندسه و رواداری های پوشش اصطکاکی باید در محدوده الزامات رواداری نشان داده شده در شکل ۵ باشد:

$$d_c \leq d_2 \leq (d_c + 0.35) \text{ mm}$$

$$d_2 < 361 \text{ mm}$$

طول قسمت استوانه ای باید در محدوده الزامات رواداری زیر باشد:

$$\text{mm} < 132.5 \leq l_s < 135 \text{ mm}$$

پوشش اصطکاکی باید با زبری سطح $R_a = 0.4 \mu\text{m} \pm 0.25 \mu\text{m}$ ، اندازه گیری شده در جهت طولی ساخته شود.

در صورتی که کنترل چشمی سایش نامتقارن یا زبری غیر معمول نشان دهد حتی اگر الزامات رواداری برآورده شوند، مخروط نباید به کار رود.

۴-۶ عنصر فیلتر

۴-۶-۱ محل فیلتر عمومی

موقعیت فیلتر بر روی یا درست پشت امتداد استوانه ای مخروط است (همانطور که در شکل ۲ توصیه شده است). محل های دیگر نیز برای فیلتر ممکن است قابل قبول باشد.

یادآوری ۱- اندازه‌گیری در محل‌های فیلتر مختلف علاوه بر آن چه توصیه شده می‌تواند اطلاعات با ارزشی درباره شرایط خاک ارائه کند.

یادآوری ۲- فشار منفذی اندازه‌گیری شده تحت تاثیر نوع خاک، فشار منفذی درجا و محل فیلتر در سطح نفوذسنج مخروطی می‌باشد. فشار منفذی در جا اصلی و فشار منفذی اضافی ناشی از نفوذ نفوذسنج مخروطی در زمین می‌باشد. توصیه می‌شود فیلتر بر اندازه‌گیری مقاومت مخروط یا اصطکاک پوشش تاثیر نگذارد. توصیه می‌شود فیلتر حتی موقعی که نفوذسنج مخروطی در لایه غیر اشباع نفوذ می‌کند اشباع باقی بماند. رواداری ابعاد فیلتر، رواداری در آغاز از مون اشباع می‌باشد.

یادآوری ۳- امکان دارد این موضوع همیشه ممکن نباشد، در این شرایط سایر روش‌ها مانند پیش فشردن، پیش خسته کردن یا تغییرات شرایط مایع اشباع کننده ضروری باشد.

توصیه می‌شود فیلترهای متخلخل دارای اندازه سوراخ بین $2\ \mu\text{m}$ و $20\ \mu\text{m}$ مطابق با نفوذپذیری بین $10^{-4}\ \text{m/s}$ و $10^{-5}\ \text{m/s}$ باشند. توصیه می‌شود از به کار بردن مواد فیلتری که با ذرات ریزدانه دچار گرفتگی می‌شوند خودداری شود.

یادآوری ۴- انواع مواد زیر دارای سابقه خوبی در کاربرد با رس عادی تحکیم یافته نرم دارند: فولاد یا برنز ضد زنگ متخلخل، کربندیم^۱، سرامیک، PVC متخلخل و HDPE.

نفوذ سنج مخروطی باید به روشی طراحی شود که تعویض فیلتر و اشباع کردن آن آسان باشد.

یادآوری ۵- برای انتخاب مایع اشباع کننده، اشباع سامانه اندازه‌گیری فشار منفذی و کاربرد فیلترهای نرم به پیوست ت مراجعه شود.

توصیه می‌شود فیلترها قبل از هر آزمون تعویض شوند.

۴-۶-۲ فشار منفذی u_1

سطح فیلتر باید مناسب شکل مخروط باشد و نباید برآمدگی بیشتر از $0.5\ \text{mm}$ و تورفتگی داشته باشد. توصیه می‌شود انحراف سطح فیلتر نسبت به سطح مخروط، به صورت چشمی بررسی شود. توصیه می‌شود فیلتر در یک سوم میانی قسمت مخروطی قرار گیرد.

۴-۶-۳ فشار منفذی u_2

فیلتر باید رو یا درست پشت قسمت استوانه‌ای مخروط قرار گیرد. قطر فیلتر در شروع آزمون باید متناظر با قسمت استوانه‌ای مخروط و پوشش اصطکاکی با حدود رواداری $0.1\ \text{mm}$ تا $0.2\ \text{mm}$ باشد. فیلتر می‌تواند بزرگتر باشد اما نباید هرگز کوچکتر از قطر قسمت استوانه‌ای مخروط باشد. فیلتر نباید دارای قطر بزرگتر از پوشش استوانه‌ای داشته باشد.

$$d_2 - 0.2\ \text{mm} \leq d_{fil} \leq d_2$$

$$d_c \leq d_{fil} \leq (d_c + 0.2)\ \text{mm}$$

برای تصحیح تاثیرات فشار منفذی بر مقاومت مخروط، بهتر است فیلتر در فاصله بین مخروط و پوشش اصطکاکی قرار گیرد. چون در عمل این کار ممکن نیست، توصیه می‌شود فیلتر در قسمت استوانه‌ای مخروط در نزدیکترین قسمت ممکن به قسمت خالی قرار گیرد.

۴-۶-۴ فشار منفذی u_3

قطر فیلتر باید متناظر با قطر پوشش اصطکاکی با حد رواداری 0.70 mm تا 0.72 mm باشد. قطر فیلتر نباید کوچکتر از پوشش اصطکاکی باشد:

$$d_2 < d_{fil} \leq d_2 + 0.2 \text{ mm}$$

توصیه می‌شود فیلتر درست بالای و در نزدیکترین فاصله ممکن به فاصله بین پوشش اصطکاکی و شفت نفوذسنج مخروطی قرار گیرد.

۴-۷ فواصل و درزگیری خاک

فواصل بین قسمت‌های مختلف نفوذ سنج مخروطی نباید بیشتر از 5 mm ارتفاع داشته باشد. درزگیر خاک باید از فواصل برای جلوگیری از تاثیر ذرات بر اندازه‌گیری محافظت کند. درزگیرهای خاک باید به راحتی نسبت به لوسل و سایر عناصر نفوذسنج برای جلوگیری از انتقال نیروهای مهم از طریق فواصل تغییر شکل بدهند.

۴-۸ میله‌های فشارش^۱

میله‌های فشارش باید دارای قطری یکسان با مخروط برای حداقل 400 mm اندازه‌گیری شده از پایه مخروط برای مخروط‌های با مساحت پایه 1000 mm^2 باشند. برای سایر اندازه‌های مخروط، این فاصله باید به صورت تناسب خطی نسبت به قطر تعیین شود. قبل از هر کاربرد، مستقیم بودن باید به صورت چشمی کنترل شود. مستقیم بودن میله‌های فشارش باید به طوری که در پیوست الف-۱-۱ مشخص شده در فواصل ارائه شده در جدول الف-۱ تعیین شود.

اصطکاک در طول میله‌های فشارش را می‌توان با افزایش محلی قطر میله کاهش داد (کاهش دهنده اصطکاک). همچنین اصطکاک را می‌توان با روغنکاری میله‌های فشارش، برای مثال با تزریق گل در طی آزمون، کاهش داد. توصیه می‌شود محل تزریق حداقل 400 mm بالای پایه مخروط برای مخروط‌های با مساحت 1000 mm^2 باشد. برای سایر اندازه‌های مخروط، این فاصله باید با تناسب خطی نسبت به قطر مخروط تعیین شود.

بهتر است در بالای سطح زمین، میله‌های فشارش با غلتک‌هایی با پوشش یا ابزارهایی برای جلوگیری از کمانش هدایت شوند. میله‌های فشارش ممکن است با پوششی از آب یا لایه نرم برای جلوگیری از کمانش هدایت شوند.

توصیه می‌شود میله‌های فشارش با در نظر گرفتن سامانه انتقال علایم داده‌ها انتخاب شوند.

یادآوری- میله‌های فشارش را می‌توان همچنین به عنوان تکیه‌گاه و یا قسمت‌های محافظ سامانه اندازه‌گیری به کار برد. همچنین با انتقال آکوستیک نتایج CPT، میله‌ها را می‌توان برای انتقال داده‌ها به کار برد.

۹-۴ سامانه اندازه‌گیری

۱-۹-۴ درستی

وضوح سامانه اندازه‌گیری باید بهتر از یک سوم درستی لازم قابل استفاده برای رده اعمالی ارائه شده در جدول ۲ باشد.

عدم قطعیت در سامانه اندازه‌گیری، شامل تاثیرات دما، در پیوست ۳ بیان شده است.

۲-۹-۴ حسگرهای برای مقاومت مخروط اصطکاک پوشش

حسگر بار باید خروج از مرکزیت احتمالی نیروهای محوری را جبران کند. حسگر باید برای ثبت نیروی اصطکاک جانبی آماده شود تا اندازه‌گیری اصطکاک در طول پوشش انجام شود و نباید فشار زمین در خلاف جهت آن باشد.

یادآوری- سنج‌های نیرو با کرنش نرمال برای ثبت مقاومت مخروط و اصطکاک پوشش به کار می‌رود.

۳-۹-۴ حسگر فشار منفذی

توصیه می‌شود حسگر تغییر شکل مهمی طی بارگذاری نشان ندهد. این حسگر با فیلتر متخلخل روی سطح نفوذسنج مخروطی از طریق محفظه پر شده با مایع، ارتباط برقرار می‌کند. توصیه می‌شود سامانه اندازه‌گیری تا حد ممکن برای به دست آوردن پاسخ مناسب، صلب باشد (به بند ۴-۵ مراجعه شود).

یادآوری ۱- حسگر فشار منفذی معمولاً مبدل فشار از نوع غشایی است.

یادآوری ۲- این سامانه فشار منفذی را در خاک محیط طی نفوذ اندازه‌گیری می‌کند.

۴-۹-۴ حسگر شیب

شیب سنج باید به طور کلی دارای دامنه اندازه‌گیری حداقل $15^\circ \pm$ نسبت به محور قائم باشد. ممکن است سایر دامنه‌های اندازه‌گیری نیز به کار رود، اما این کار ممکن است روی حداکثر نفوذی که می‌توان به دست آورد تاثیر بگذارد.

حسگر شیب در مواردی که نفوذ نهایی کمتر از ۵ m است و برای رده ۴ لازم نیست.

۵-۹-۴ سامانه اندازه‌گیری طول نفوذ

سامانه اندازه‌گیری باید شامل اندازه‌گیری طول نفوذ باشد. در صورت مرتبط بودن، اگر حرکات به بالای میله‌های فشارش نسبت به حسگر عمق به علت کاهش نیرو روی میله‌های فشارش روی دهد، سامانه اندازه‌گیری عمق باید شامل روش تصحیح اندازه‌گیری‌ها باشد.

۶-۹-۴ داده‌های اولیه

داده‌های آزمون ممکن است به عنوان داده‌های اولیه ثبت شوند.

یادآوری- ثبت داده‌ها به عنوان داده‌های اولیه ترجیح داده می‌شود تا برای پردازش بعدی در دسترس باشند. داده‌های اولیه، داده‌های پردازش نشده به عنوان خروجی حسگرها می‌باشند.

۴-۱۰ ماشین فشار

نفوذ سنج مخروطی باید قابلیت نفوذ با سرعت استاندارد و نفوذ $5 \text{ mm/s} \pm 20 \text{ mm/s}$ را داشته باشد و تجهیزات باید بارگذاری و برای حرکات محدود ماشین نسبت به سطح زمین مهار شوند تا نفوذ انجام شود. چکش کاری یا چرخش میله‌های نفوذسنج طی اندازه‌گیری مجاز نیست. واکنش لازم (وزنه تعادل) برای ماشین فشار ممکن است با وزن مرده و یا مهار در خاک تامین شود. تجهیزات فشارش باید حرکتی به اندازه حداقل ۱ m اعمال کنند. طول سایر حرکات ممکن است در شرایط خاص به کار رود.

۵ روش‌های آزمون

۵-۱ انتخاب نفوذ سنج مخروطی

یک نفوذ سنج مخروطی برای برآورده کردن الزامات نفوذ مطابق جدول ۱ انتخاب می‌شود.

جدول ۱- انواع آزمون نفوذ مخروط

نوع	پارامتر اندازه‌گیری شده
TE1	مقاومت مخروط و اصطکاک پوشش
TE2	مقاومت مخروط، اصطکاک پوشش و فشار منفذی
یادآوری- آزمون نفوذ مخروط با اندازه‌گیری فشار منفذی در بیش از یک محل نوع دیگری از نوع TE2 است.	

توصیه می‌شود اندازه‌گیری شیب بسته به رده کاربرد انجام شود، به جدول ۲ مراجعه شود.

۵-۲ انتخاب تجهیزات و روش‌ها

درستی لازم به معنی کارکرد آن چه نتایج برای آن به کار می‌روند است. رده‌های کاربرد برای ارائه راهنمایی برای انتخاب نوع CPT، درستی لازم و فرکانس ورود به سامانه ایجاد شده‌اند. برای نیمرخ‌های خاک ارایه شده و استفاده از نتایج CPT، رده کاربرد، حداقل درستی لازم و حداکثر فاصله بین اندازه‌گیری‌ها را همراه با درجه عدم قطعیت مشخص می‌کند. استفاده از نتایج CPT با ضوابط نیمرخ‌بندی، شناسایی مواد و تعیین پارامترهای خاک بیان شده است.

تجهیزات و روش‌ها باید مطابق با رده کاربرد لازم ارایه شده در جدول ۲ انتخاب شوند.

رده‌های کاربردی به شرح زیر تعریف شده‌اند:

الف- رده ۱، برای خاک‌های نرم تا خیلی نرم به کار می‌رود. آزمون‌های نفوذ رده ۱ معمولاً برای نیمرخ‌های خاک مخلوط شده با لایه‌های نرم تا متراکم مناسب نیست (هر چند پیش‌حفاری لایه‌های سفت می‌تواند مشکل را برطرف کند). آزمون‌ها را فقط می‌توان با به کار بردن CPTU انجام داد.

ب- رده ۲، برای ارزیابی دقیق نیمرخ‌های خاک مخلوط مخلوط با لایه‌های نرم تا متراکم با ضوابط نیمرخ-بندی و شناسایی مواد به کار می‌رود (به یادآوری ۱ مراجعه شود). همچنین تفسیر ضوابط خواص مهندسی با

محدود کردن کاربرد برای لایه‌های نرم، مقدور است. نوع نفوذسنج مورد استفاده بستگی به الزامات پروژه دارد.

پ- رده ۳، برای ارزیابی نیمرخ‌های خاک مخلوط با لایه‌های نرم تا متراکم با ضوابط نیمرخ‌بندی و شناسایی مواد به کار می‌رود (به یادآوری ۱ مراجعه شود). تفسیر با ضوابط خواص مهندسی برای لایه‌های سفت تا سخت و ضخیم تا خیلی ضخیم مقدور است. برای رس و لای‌های سفت و ماسه‌های شل فقط تفسیر می‌تواند ارایه شود. نوع نفوذسنج مورد استفاده بستگی به الزامات پروژه دارد.

ت- رده ۴، فقط برای نیمرخ‌بندی و شناسایی مواد برای نیمرخ‌های خاک مخلوط با لایه‌های نرم تا خیلی سفت یا شل تا خیلی متراکم به کار می‌رود. ممکن است نتایج ارایه شده با ضوابط پارامترهای مهندسی غیر قابل درک باشد. آزمون‌ها با نفوذسنج‌های مخروطی الکتریکی (نوع TE1) انجام می‌شوند و ممکن است اندازه‌گیری شیب حذف شود.

اگر تمام منابع خطاها جمع‌آوری شود، درستی اندازه‌گیری‌های ثبت شده باید بهتر از بزرگترین مقادیر ارایه شده در جدول ۲ باشد. آنالیزهای عدم درستی باید شامل اصطکاک داخلی، خطاها در به دست آوردن داده‌ها، بارگذاری غیر عادی، تأثیرات دما (محیطی و ناپایدار) و خطاهای ابعادی باشد. تایید اندازه‌های قابل کاربرد در آزمون نفوذ مخروط باید مطابق استاندارد ملی ایران شماره ۱۰۰۱۲ باشد. مساحت سطح مقطع واقعی پایه مخروط و مساحت سطح استوانه خارجی پوشش اصطکاکی باید برای کاربرد رده ۱ تعیین و ثبت شود.

یادآوری ۱- نیمرخ‌های خاک مخلوط به شرایط خاک محتوی خاک‌های متراکم و با تراکم عادی اطلاق می‌شود اما ممکن است حاوی لایه‌های نرم نیز باشد.

یادآوری ۲- طول نفوذ یا عمق نفوذ قابل دستیابی بستگی به شرایط خاک، نیروی مفوذ مجاز، نیرویهای مجاز روی میله‌های فشارش و اتصالات میله فشارش و کاربرد کاهنده اصطکاک و یا پوشش میله‌های فشارش و دامنه اندازه‌گیری نفوذ سنج مخروطی دارد.

اگر آزمون‌های اتلاف لازم باشد (به بند ۵-۹ مراجعه شود)، بسته به الزامات پروژه باید تجهیزات آزمون نوع TE2 انتخاب شود.

یادآوری- برای عدم قطعیت‌ها در آزمون‌های نفوذ، به پیوست ۳ مراجعه شود.

جدول ۲- رده‌های کاربرد

کاربرد	فاصله حداکثر بین اندازه‌گیری‌ها	درستی حداقل مجاز ^a	پارامتر اندازه‌گیری	نوع آزمون	رده کاربرد
	خاک ^b				
G,H	A	۲۰mm	۵٪ یا ۳۵kPa	TE2	۱
			۱۰٪ یا ۵۵kPa		
			۲٪ یا ۱۰kPa		
			۲°		
			۱٪ یا ۰/۱m		
G,H* G,H G,H G,H	A B C D	۲۰mm	۵٪ یا ۱۰۰kPa	TE1 TE2	۲
			۱۵٪ یا ۱۵۵kPa		
			۱۵٪ یا ۲۵kPa ^d		
			۲°		
			۱٪ یا ۰/۱m		
G G,H* G,H G,H	A B C D	۵۰mm	۵٪ یا ۲۰۰kPa	TE1 TE2	۳
			۱۵٪ یا ۲۵۵kPa		
			۵٪ یا ۵۰kPa ^d		
			۵°		
			۲٪ یا ۰/۲m		
G* G* G* G*	A B C D	۵۰mm	۵٪ یا ۱۰۰kPa	TE1	۴
			۱۵٪ یا ۱۵۵kPa		
			۱٪ یا ۰/۱m		

یادآوری- برای خاک‌های خیلی نرم، حتی ممکن است درستی بالاتری لازم باشد.

^a درستی مجاز حداقل پارامتر اندازه‌گیری شده مقداری بزرگتر از ۲ عدد بیان شده است. درستی نسبی به مقدار اندازه‌گیری شده اعمال می‌شود و نه به دامنه اندازه‌گیری.

^b طبق استاندارد ISO 14688-2[1]

A خاک‌های بستر همگن با رس‌ها و لای‌های نرم تا سخت (عموماً $qc < 3MPa$)

B خاک‌های بستر مخلوط با رس‌های نرم تا سخت (عموماً $qc < 3MPa$) و ماسه‌های با تراکم متوسط (عموماً $5 MPa \leq qc < 10MPa$)

C خاک‌های بستر مخلوط با رس‌های سخت (عموماً $3MP \leq qc < 1/5 MP$) و ماسه‌های خیلی متراکم (عموماً $20 MPa < qc$)

D رس‌های محکم و خیلی سفت (عموماً $qc \geq 3MP$) و خاک‌های درشت خیلی متراکم (عموماً $20 MPa \leq qc$)

^c G شناسایی مواد و نیمرخ‌بندی با سطح عدم قطعیت کم

G* شناسایی مواد و نیمرخ‌بندی نشان دهنده با سطح عدم قطعیت زیاد

H تفسیر با ضوابط طراحی با سطح عدم قطعیت کم

H* تفسیر نشان دهنده با ضوابط طراحی با سطح عدم قطعیت زیاد

^d فشار منفذی را فقط در صورتی که TE2 به کار رود می‌توان اندازه‌گیری کرد.

۳-۵ موقعیت و سطح ماشین فشارش

توصیه می‌شود فاصله بین محل آزمون و محل تقاطع تحقیقات قبلی برای جلوگیری از تأثیرات اثر متقابل کافی باشد.

معمولاً بین آزمون‌های نفوذ مخروط، فاصله ۲ m کافی است. بهتر است فاصله برای کندن گودال حداقل ۲۰ برابر بزرگتر از قطر گودال باشد. بعضی روش‌های کندن گودال، مانند حفاری با هوا، ممکن است فواصل بیشتری نیاز داشته باشد.

توصیه می‌شود از حفاری‌های نزدیک اجتناب شود.

ماشین فشارش باید میله‌های فشارش را به نحوی که محور نیروی فشارش تا حد امکان به خط قائم نزدیک باشد براند. انحراف از محورهای مدنظر باید کمتر از 2° باشد. محور نفوذسنج باید متناظر با محور بارگذاری در آغاز نفوذ باشد.

۴-۵ آماده‌سازی آزمون

برای نفوذسنج‌های مخروطی با اندازه‌گیری فشار منفذی، فیلتر و سایر قسمت‌های سامانه فشارمنفذی باید با مایع قبل از استفاده کارگاہی، اشباع شود. توصیه می‌شود اقدامات مناسب برای محافظت از اشباع بودن طی آزمون در نظر گرفته شود.

در مواردی که آزمون روی خاک‌های اشباع انجام می‌شود معمولاً آب مقطر به کار می‌رود. اگر آزمون‌های نفوذ روی خاک‌های غیر اشباع، پوسته خشک و خاک‌های متورم شونده (مانند ماسه متراکم) انجام شود یا در مواردی که سفره آب زیر زمینی در عمق‌های زیاد قرار دارد، بهتر است فیلتر با گلیسیرین یا مایع مشابه اشباع شود.

اشباع نفوذسنج مخروطی قبل از آغاز نفوذ یا طی اجرای حفاری گودال را می‌توان با به کار بردن غشای لاستیکی در اطراف فیلتر حفظ کرد. طی اشباع و سوار کردن غشا لاستیکی، نفوذسنج در معرض تنش‌های کوچک خواهد بود که حسگرها ممکن است مقادیری غیر از صفر نشان دهند.

یادآوری ۱- در مواردی که فیلتر نرم به کار می‌رود به پیوست ت مراجعه شود.

یادآوری ۲- موقع نفوذ مواد درشت‌دانه، اگر نفوذ در لایه‌های پر از سنگ یا درشت‌دانه متراکم متوقف شود، ممکن است پیش حفاری در قسمت‌های مختلف نیمرخ به کار رود. ممکن است پیش حفاری در لایه‌های بالایی درشت‌دانه همراه با قالب‌بندی برای جلوگیری از فروریختن گودال به کار رود. در خاک‌های شل یا نرم، پیش‌حفاری را می‌توان برای نفوذ در پوسته برای رسیدن به سفره آب زیر زمینی انجام داد. پیش‌حفاری را می‌توان با کوبیدن میله‌های ساخته شده با قطر (۴۵ تا ۵۰) mm به لایه ضخیم برای ایجاد گودال باز و کاهش مقاومت نفوذ انجام داد.

قرائت‌های صفر مقاومت مخروط، طول نفوذ پوشش اصطکاکی و فشار منفذی (در صورت کاربرد) و شیب نفوذسنج مخروطی نسبت به محور قائم باید ثبت شود.

به منظور به دست آوردن درستی لازم، بسته به رده کاربرد، ممکن است اطمینان از این که دمای مخروط نزدیک به دمای زمین است قبل از آغاز آزمون ضروری باشد. بهتر است قرائت‌های صفر همه حسگرها با

آزادسازی بار نفوذسنج مخروطی و تثبیت دما به طور ایده‌آل در دمای زمین انجام شود. درستی‌های لازم در جدول ۲ ارائه شده‌اند. پیوست الف شامل روش‌های نگهداری، کنترل و کالیبراسیون است.

یادآوری- وقتی نفوذسنج مخروطی در داخل زمین یا آب پایین برده می‌شود، اگر دمای هوا با دمای زمین متفاوت باشد گرادیان دما کوچکی روی می‌دهد، که بر حسگرها تاثیر می‌گذارد. بنابراین، این که نفوذسنج رها شود تا متعادل شود به نحوی که گرادیان‌های دما به صفر کاهش یابد قبل از آغاز نفوذ، مهم است. معمولاً بزرگترین گرادیان دما بعد از ۲ تا ۳ دقیقه روی می‌دهد. نفوذسنج مخروطی معمولاً بعد از ۱۰ تا ۱۵ دقیقه کاملاً به دمای پایدار می‌رسد.

۵-۵ راندن نفوذسنج مخروطی

طی آزمون نفوذ، نفوذ سنج مخروطی باید با سرعت ثابت نفوذ (5 ± 20) mm/s به داخل زمین رانده شود. سرعت باید با ثبت زمان و طول نفوذ کنترل شود.

یادآوری ۱- نفوذ به طور پیوسته در نظر گرفته می‌شود حتی اگر برای ضربه جدید یا نصب میله فشارش جدید به طور مرتب متوقف شود. بعضی ماشین‌های فشارش می‌توانند نفوذ پیوسته را بدون هر گونه توقف انجام دهند و این موضوع به ویژه در لای لایه‌ای و رسوبات رسی مفید است.

یادآوری ۲- نفوذ وقتی که توقف طولانی‌تر مانند آزمون اتلاف (به بند ۵-۹ مراجعه شود) یا به علت خرابی پیش‌بینی نشده تجهیزات ناپیوسته در نظر گرفته می‌شود.

یادآوری ۳- در شن‌ها و ماسه‌های متراکم، برای جلوگیری از آسیب به مخروط و میله‌های آن می‌توان سرعت نفوذ کمتر از استاندارد را پذیرفت.

۵-۶ استفاده از کاهنده اصطکاک

استفاده از کاهنده اصطکاک (به بند ۳-۱-۴ مراجعه شود) مجاز است. نفوذسنج مخروطی و در صورت مرتبط بودن، میله‌های فشارش باید دارای قطر یکسان برای حداقل ۴۰۰ mm اندازه‌گیری شده از پایه مخروط قبل از اعمال کاهنده اصطکاک (در صورت کاربرد) باشند.

۵-۷ فراوانی ثبت پارامترها

حداقل فراوانی ثبت پارامترها باید مطابق جدول ۲ باشد. ثبت باید شامل زمان (ساعت) رده‌های کاربردی ۱ و ۲ جدول ۲ باشد.

همچنین فواصل ثبت برای مقادیر اندازه‌گیری مختلف را می‌توان بسته به جزئیات لازم در نیمرخ مانند یافت لایه‌های نازک انتخاب کرد. معمولاً فواصل قرائت مساوی برای ثبت مقاومت مخروط، اصطکاک پوشش و فشار منفذی به کار می‌رود.

اگر مقادیر اندازه‌گیری شده بیشتر از فواصل گزارش شده لازم مطابق جدول ۲ باشند، مقادیر میانگین محاسبه شده را می‌توان گزارش کرد. سایر روش‌ها را نیز می‌توان به کار برد. روش به کار رفته باید گزارش شود.

۸-۵ ثبت طول نفوذ

سطح پایه قسمت استوانه‌ای مخروط باید مطابق با الزامات جدول ۲، نسبت به سطح زمین یا سایر سامانه‌های مرجع ثابت (غیر از ماشین فشارش)، تعیین شود. تفکیک‌پذیری طول نفوذ باید حداقل ۱۰ mm باشد. همچنین طول نفوذ باید حداقل در هر ۵ m مطابق جدول ۲ برای آزمون‌ها کنترل و ثبت شود. برای سایر نفوذ نفوذسنج مخروطی و میله‌های فشارش باید وقتی یکی از اتفاقات زیر روی داد خاتمه یابد:

الف- طول نفوذ یا عمق نفوذ مورد نظر حاصل شود (به استاندارد EN 1997-2 مراجعه شود)؛

ب- شیب نفوذسنج مخروطی نسبت به محور قائم از دامنه اندازه‌گیری یا 15° بیشتر شود؛

پ- حداکثر فشارش یا حداکثر ظرفیت نفوذسنج مخروطی یا سامانه اندازه‌گیری توافق شده حاصل شود. آسیب احتمالی به تجهیزات ممکن است دلیل موجهی برای پایان آزمون باشد.

یادآوری- پارامترهای اندازه‌گیری شده برای نفوذسنج مخروطی با شیب زیاد ممکن است از مقادیری که در صورت قائم بودن نفوذسنج مخروطی اندازه‌گیری می‌شد، انحراف داشته باشد.

توصیه می‌شود عمق نفوذ از طول نفوذ و اندازه‌گیری‌های شیب همانطور که در پیوست ب بیان شده است محاسبه شود.

۹-۵ آزمون اتلاف

اگر زهکشی و یا سایر مشخصات تحکیم خاک ارزیابی شوند، آزمون اتلاف ممکن است در عمق‌های از پیش انتخاب شده در عمق انجام شود. در آزمون اتلاف، زوال فشار منفذی با ثبت مقادیر فشار منفذی بر حسب زمان ثبت می‌شود. در خاک‌های ریزدانه با نفوذپذیری کم، ثبت فشار منفذی برای ارزیابی ضریب تحکیم به کار می‌رود.

یادآوری- آزمون اتلاف ممکن است برای تخمین فشار منفذی درجا به کار رود.

فشار منفذی و مقاومت مخروط باید نسبت به زمان اندازه‌گیری شود. این موضوع به ویژه در آغاز آزمون اتلاف دارای اهمیت است. اتلاف باید با میله‌های آزاد انجام شود.

اگر وزن تجهیزات بیشتر از مقاومت کلی خاک باشد، آزمون اتلاف ممکن است با میله‌های مهار شده انجام شود. اگر میله‌ها طی آزمون اتلاف مهار شده باشند، این موضوع باید به عنوان انحراف از این استاندارد ثبت شود.

یادآوری- عمق لازم و حداقل مدت آزمون اتلاف به تحکیم خاک و هدف از اندازه‌گیری بستگی دارد. همچنین حداکثر مدت برای پرهیز از انقطاع طولانی نامناسب، شرایط مرجع متداول است.

توصیه می‌شود فرکانس ورود به سامانه حداقل ۱ Hz برای دقیقه اول آزمون اتلاف باشد، اما برای هر زمان چرخه بعدی نصف شود.

توصیه می‌شود مدت آزمون اتلاف متناظر با حداقل t_{50} زمان لازم برای اتلاف ۵۰٪ فشار منفذی $(u_t \leq u_0 \cdot 0.5 \times \Delta u_i)$ باشد که t_{50} زمان به کار رفته برای اغلب روش‌ها می‌باشد.

اگر u_0 مشخص نباشد، بهتر است تخمین محتاطانه مقادیر انجام شود.

یادآوری- تغییرات مقاومت مخروط در عمل غیر قابل اجتناب است و بستگی به پارامترهایی مانند نوع تجهیزات و شرایط خاک دارد.

۵-۱۰ اتمام آزمون

نفوذ نفوذ سنج مخروطی و میله‌های فشارش باید خاتمه یابد وقتی:

الف- طول نفوذ لازم حاصل شده باشد؛

ب- فشارش حداکثر توافق شده یا ظرفیت حداکثر سامانه اندازه‌گیری حاصل شده باشد.

آسیب احتمالی به تجهیزات نیز ممکن است دلیل موجهی برای اتمام آزمون باشد.

قرائت‌های مرجع پارامترهای اندازه‌گیری شده باید بعد از خارج کردن نفوذسنج مخروطی از خاک، و در صورت ضرورت، بعد از تمیز کردن نفوذسنج مخروطی انجام شود. اگر تغییر مکان صفر پارامترهای اندازه‌گیری شده بزرگتر از درستی مجاز حداقل مطابق با رده کاربرد لازم جدول ۲ باشد، بهتر است از نتایج صرف‌نظر شود یا آزمون را در رده پایین‌تر در نظر گرفت. بعد از تکمیل آزمون، نفوذسنج مخروطی را بررسی کنید و هر نوع پوشش بیش از اندازه یا آسیب را یادداشت کنید.

یادآوری- تغییر مکان صفر تعیین شده از خروجی بار صفر قبل از آزمون و بعد از تمیز کردن، اندازه‌گیری عملکرد صحیح تجهیزات است و برای ارزیابی برآورده شدن الزامات جدول ۲ به کار می‌رود. خروجی‌های بار صفر از مخروط تمیز نشده برای تفسیر نتایج، مهم هستند.

در صورت مناسب بودن، پارامترهای اندازه‌گیری شده را می‌توان برای تغییر مکان صفر اصلاح کرد.

۵-۱۱ کنترل تجهیزات و واسنجی‌ها

کلیه تجهیزات باید تحت روش‌های نگهداری، کنترل و واسنجی بیان شده در پیوست الف باشند. فاصله واسنجی باید به نحوی باشد که درستی لازم برای رده کاربری تایید شود.

۵-۱۲ الزامات ایمنی

ملاحظات ایمنی باید بر اساس مقررات ملی، برای نمونه برای موارد زیر، در نظر گرفته شود:

الف- سلامتی کارکنان و تجهیزات ایمنی؛

ب- هوای تمیز (اگر کار در محیط سرپوشیده انجام شود)؛

پ- اطمینان از ایمنی تجهیزات.

۶ بیان نتایج

۶-۱ پارامترهای اندازه‌گیری شده

پارامترهای زیر باید تعیین شوند:

۶-۱-۱ اصطکاک پوشش اندازه‌گیری شده (f_s)؛

۶-۱-۲ طول نفوذ (l)؛

۶-۱-۳ مقاومت مخروط اندازه‌گیری شده (q_c)؛

۶-۱-۴ فشار منفذی، یک یا چند پارامتر زیر (برای رده TE2):

۶-۱-۴-۱ فشار منفذی در رویه مخروط (u_1)؛

۶-۱-۴-۲ فشار منفذی در امتداد استوانه‌ای مخروط (u_2)؛

۶-۱-۴-۳ فشار منفذی اندازه‌گیری شده در بالای پوشش اصطکاکی (u_3)؛

۶-۱-۵ زاویه کلی اندازه‌گیری شده بین محور قائم و محور مخروط نفوذ سنج (α)؛

۲-۶ تصحیح پارامترها

مقادیر ثبت شده که معرف تفسیر نفوذ نیستند باید کنار گذاشته شوند.
یادآوری- فشار آب محیطی بر مقاومت مخروط و اصطکاک پوشش اندازه گیری شده تاثیر می گذارد. این موضوع با تاثیر فشار آب در فواصل بین مخروط و پوشش اصطکاکی، و در فاصله بالای پوشش اصطکاکی بیان می شود.
 وقتی فشار آب با استفاده از عنصر فیلتر در امتداد استوانه ای مخروط (u_2) اندازه گیری می شود، مقاومت مخروط اندازه گیری شده باید با استفاده از رابطه (۶) تصحیح شود:

$$q_t = q_c + u_2(1 - a) \quad (۶)$$

که در آن:

q_t مقاومت مخروط اصلاح شده بر حسب MPa،

q_c مقاومت مخروط اندازه گیری شده بر حسب MPa،

u_2 فشار آب منفذی در قسمت استوانه ای امتداد مخروط (برابر با فشار منفذی در فاصله بین مخروط و پوشش فرض می شود) بر حسب MPa،

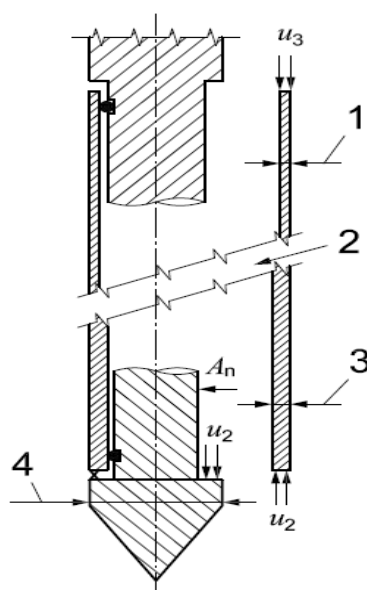
a نسبت مساحت خالص:

$$a = \frac{A_n}{A_c}$$

که در آن:

A_c مساحت سطح مقطع مخروط بر حسب mm^2 (به شکل ۶ مراجعه شود)،

A_n مساحت سطح مقطع لودسل یا شفت بر حسب mm^2 (به شکل ۶ مراجعه شود)، هستند.



راهنما

۱ مساحت سطح مقطع (بالا) A_{st}

۲ مساحت سطح پوشش اصطکاکی (بالا) A_s

۳ مساحت سطح مقطع (پایین) A_{sb}

۴ مساحت سطح مقطع A_c

شکل ۶- تصحیح مقاومت مخروط و اصطکاک پوشش ناشی از تاثیر نابرابر بودن مساحت نهایی

توصیه می‌شود اندازه‌گیری‌ها فقط در صورت اندازه‌گیری u_2 تصحیح شود.

یادآوری- برای به دست آوردن مقاومت مخروط تصحیح شده تقریبی، u_2 را می‌توان با روابط تجربی از روی u_1 یا u_3 ، تخمین زد. در رس‌ها و لای‌های نرم، تصحیح قابل توجهی ممکن است اعمال شود، و اگر ثبت مقاومت مخروط برای تفسیر پارامترهای مکانیکی به کار می‌رود، بهتر است u_2 ترجیحاً اندازه‌گیری شود و تصحیحات اعمال شود. نسبت مساحت را نمی‌توان فقط از ملاحظات هندسی تعیین کرد، بلکه بهتر است با آزمون‌های محفظه فشار یا مشابه آن تعیین شود.

یادآوری- اصطکاک پوشش اندازه‌گیری شده تحت تاثیر فشار آب محیط است. بنابراین وقتی اندازه‌گیری فشار منفذی u_3 در بالای پوشش اصطکاکی روش استاندارد نیست، معمولاً اصطکاک پوشش تصحیح نشده f_s به کار می‌رود. روش تصحیح ممکن برای اصطکاک پوشش ثبت شده در پیوست پ ارایه شده است. سایر تصحیحات مختلف ممکن است برای برآورده کردن الزامات رده کاربرد، مانند تاثیرات دما، مساحت سطح مقطع مخروط، فشار میله‌های فشارش و واکنش ماشین فشارش، ضروری باشد.

۳-۶ پارامترهای محاسبه شده

پارامترهای زیر باید بر مبنای پارامترهای اندازه‌گیری شده محاسبه شوند:

R_f ضریب اصطکاک

Z عمق نفوذ

تصحیح برای شیب (مانند محاسبه عمق نفوذ از طول نفوذ) باید برای رده‌های کاربرد ۱ و ۲ مطابق با روش ارایه شده در پیوست ب محاسبه شود.

پارامتر زیر باید بر مبنای پارامتر تصحیح شده، محاسبه شود:

R_{ft} ضریب اصطکاک تصحیح شده

۷ گزارش

۱-۷ کلیات

در ارایه نتایج آزمون، توصیه می‌شود اطلاعات مانند جداول یا طرح بایگانی استاندارد به راحتی در دسترس باشد. ارایه به صورت دیجیتالی برای آسانی تغییر داده‌ها مجاز است.

زیربند ۲-۷ اطلاعات لازم را برای موارد زیر بیان می‌کند:

الف- ثبت کارگاهی نتایج آزمون،

ب- گزارش آزمون،

پ- جدول و طرح از نتایج آزمون.

گزارش کارگاهی، در محل پروژه کامل شده و گزارش آزمون باید شامل اطلاعات ارایه شده در بند ۲-۷ باشد. نتایج آزمون باید برای قادر ساختن شخص سوم برای کنترل و درک نتایج گزارش شود.

طی آزمون نفوذ مخروط، خصوصیات و انحرافات از این استاندارد باید ثبت شود که ممکن است بر نتایج اندازه‌گیری‌ها و طول نفوذ متناظر تاثیر بگذارد.

۲-۷ گزارش نتایج آزمون

۷-۲-۱ اطلاعات عمومی

	گزارش کارگاهی	گزارش آزمون	هر طرح
الف	ارجاع به این استاندارد	-	×
ب	رده کاربرد	×	×
پ	نوع آزمون (TE1 یا TE2)	×	×
ت	استثنائات یا انحرافات از این استاندارد	×	-
ث	شرکت مجری آزمون	-	×
ج	نام و امضا کاربر تجهیزات اجرای آزمون	×	-
چ	نام و امضا مدیر مسئول پروژه	-	×
ح	عمق آب زیرزمینی (در صورت ثبت)	×	-
خ	اطلاعات فشار منفذی (برای نمونه از پیرومترها) در صورت مرتبط بودن	-	×
د	عمق پیش حفاری یا عمق تفشارشده‌ها	×	×
ذ	نوع مواد مواجه شده (در صورت امکان)	×	-
ر	عمق نفوذ و دلایل احتمالی هر توقف (مانند آزمون‌های اتلاف)	×	-
ز	معیار توقف اعمالی، مانند عمق نهایی، نیروی نفوذ یا شیب حداکثر	×	-
ژ	روش پر کردن حفره، در صورت کاربرد	×	-
س	مشاهدات اجام شده طی آزمون برای مثال - وجود سنگ‌ها - صدا از میله‌های فشارش - میله‌های خمیده شده - ضعف غیر نرمال - تغییرات مهم در قرائت‌ها صفر یا مرجع	×	×
ش	ترتیب ویژه‌ای که از تنظیم کلی دستگاه فشارش منحرف شده است) (مانند سکوی جک زدن)	×	-

۷-۲-۲ محل آزمون

	گزارش کارگاهی	گزارش آزمون	هر طرح
الف	شناسایی آزمون	-	×
ب	ارزیابی آزمون نفوذ مخروط	-	×
پ	مختصات کلی یا محلی	-	×
ت	سامانه مرجع و رواداری‌ها	-	×
ث	ارزیابی مرجع برای یک داده معلوم	-	×

در قرارداد باید مسئول ارایه مختصات و سطوح نقاط تحقیق مشخص شده باشد.

۳-۲-۷ تجهیزات آزمون

	گزارش کارگاهی	گزارش آزمون	هر طرح
الف	نوع نفوذ سنج مخروطی	×	×
ب	هندسه و ابعاد نفوذسنج مخروطی	×	-
پ	نوع دستگاه فشارش به کار رفته، ظرفیت فشارش، سامانه جک و مهار همراه	×	-
ت	سازنده نفوذسنج مخروطی	×	×
ث	شماره شناسایی نفوذسنج	×	×
ج	دامنه اندازه‌گیری مبدل‌ها	×	×
چ	تاریخ آخرین واسنجی حسگرها	×	×
ح	محل فیلتر	×	-
خ	ضریب مساحت خالص	×	-

۴-۲-۷ روش آزمون

	گزارش کارگاهی	گزارش آزمون	هر طرح
الف	تاریخ انجام آزمون	×	×
ب	زمان آغاز آزمون	×	×
پ	زمان طی آزمون	×	×
ت	عمق آغاز نفوذ با ارجاع به سطح زمین	-	×
ث	سیال اشباع به کار رفته در سامانه فشارمنفذ	×	×

۵-۲-۷ نتایج آزمون (وابسته به رده کاربرد)

	گزارش کارگاهی	گزارش آزمون	هر طرح
الف	پارامترهای اندازه‌گیری شده و محاسبه شده مطابق بندهای ۱-۶ و ۳-۶	×	×
ب	پارامترهای تصحیح شده مطابق بند ۲-۶	-	×
پ	قرائت‌های صفر و یا مرجع مقاومت مخروط، پوشش اصطکاکی و در صورت کاربرد، فشار منفذی اندازه‌گیری شده قبل و بعد از آزمون و جابجایی صفر (در واحدهای مهندسی)، برای رده‌های کاربردی ۱ و ۲	×	×
ت	تصحیحات اعمال شده طی پردازش داده‌ها (مانند جابجایی صفر)	-	×
ث	اندازه‌گیری‌های فشار منفذی درجا (در صورت ثبت)	×	×
ج	شیب نفوذسنج مخروطی نسبت به محور قائم، برای فواصل عمق نفوذ حداکثر ۱m، در صورت کاربرد	-	×

۷-۳ ارایه نتایج

در ارایه گرافیکی نتایج آزمون، بهتر است مقیاس‌های محور زیر به کار رود:

الف- عمق نفوذ Z ، مقیاس واحد: 1 m ؛

ب- مقاومت مخروط q_c و q_t ، مقیاس واحد: 0.5 MPa یا 2 MPa ؛

پ- اصطکاک پوشش f_s و f_t ، مقیاس واحد: 0.5 MPa ؛

ت- فشار منفذی u ، مقیاس واحد: 0.5 MPa یا 2 MPa ؛

ث- ضریب اصطکاک R_f و R_{ft} ، مقیاس واحد: $\%$ ۲؛

ج- ضریب فشار منفذی B_q ، مقیاس واحد: 0.5 .

توصیه می‌شود مقیاس واحد برابر 1 cm باشد.

اگر مقیاس‌های توصیه شده در یک نمودار اضافی به کار رفته باشد، ممکن است مقیاس‌های متفاوتی برای ارائه به کار رود. برای مثال مقیاس‌های توصیه شده را می‌توان برای ارایه عمومی به کار برد و در عوض قسمت‌های انتخاب شده برای مطالعه تفصیلی را با مقیاس متفاوتی به کار برد. در رس‌ها، و در مواردی که نتایج آزمون برای تفسیر پارامترهای خاک به کار می‌رود (کاربرد رده‌های ۱ و ۲، به جدول ۲ مراجعه شود)، این مورد به ویژه در مورد کاربرد مقیاس بزرگ در ارایه نتایج آزمون، اهمیت دارد.

مقیاس‌بندی محور برای نتایج آزمون اتلاف (مقاومت مخروط q_c ، فشار منفذی u و زمان t) باید برای مقادیر اندازه‌گیری مناسب باشد.

یادآوری- فرمت ارایه عمومی برای q_c و u استفاده از مقیاس خطی و برای t مقیاس لگاریتمی است.

۷-۴ ارایه نتایج آزمون و پارامترهای محاسباتی

نتایج باید به صورت نیمرخ‌های پیوسته به عنوان تابعی از عمق نفوذ (برای کاربرد رده‌های ۱، ۲ و ۳) یا طول نفوذ (برای کاربرد رده ۴) ارایه شوند.

۷-۴-۱ نتایج آزمون (مطابق رده کاربرد و نوع آزمون)، که باید ارائه شوند عبارتند از:

الف- مقاومت مخروط- عمق / طول، $q_c(\text{MPa}) - Z(\text{m})$

ب- اصطکاک پوشش- عمق / طول، $f_s(\text{MPa}) - Z(\text{m})$

پ- فشار منفذی اندازه‌گیری شده- عمق / طول، $u_{1,2,3}(\text{MPa}) - Z(\text{m})$

ت- شیب- عمق / طول، $\alpha(^\circ) - Z(\text{m})$

عمق نفوذ، طول اندازه‌گیری تصحیح شده برای شیب تصحیح شده است.

واحدهای مورد استفاده ممکن است کیلو پاسکال (KPa)، بسته به مقیاس پارامترهای اندازه‌گیری شده باشد.

در صورت کاربرد، ارایه نتایج آزمون نفوذ مخروط مطابق با رده‌های ۱ و ۲ باید شامل حداقل داده‌های جدول بند ۷-۱ باشد.

برای رده کاربردی ۱، باید مقاومت مخروط تصحیح شده (q_c) رسم شود و ممکن است اصطکاک پوشش (f_t) رسم شود. توصیه می‌شود از پارامترهای تصحیح شده در پردازش داده‌ها استفاده شود. یک استثنا برای آزمون مواد درشت دانه وجود دارد که از تاثیر تصحیح مساحت نهایی صرف‌نظر می‌شود. فشار منفذی در جا را می‌توان از محل سفره آب زیر زمینی یا ترجیحا با اندازه‌گیری‌های فشار منفذی محلی، تخمین زد. همچنین می‌توان این کار را با نتایج آزمون انجام شده برای آزمون‌های اتلاف در لایه‌های نفوذپذیر ارزیابی کرد. اگر اطلاعات کافی وجود نداشته باشد، تخمین چگالی ممکن است با استفاده از نمودار رده‌بندی بر مبنای نتایج آزمون نفوذ مخروط و تجارب محلی حاصل شود.

۷-۴-۲ برای پردازش بیشتر داده‌های اندازه‌گیری روابط زیر به کار می‌رود:

الف- فشار منفذی اضافی: $\Delta u = u - u_0$ ؛

ب- مقاومت مخروط خالص: $q_n = q_t - \sigma_{v0}$ ؛

پ- ضریب اصطکاک: $R_f = \left(\frac{f_s}{q_c} \right) \times 100\%$ ؛

ت- ضریب اصطکاک تصحیح شده: $R_f = \left(\frac{f_s}{q_t} \right) \times 100\%$ ، (اگر f_t معلوم باشد به جای f_s به کار می‌رود) ؛

ث- فشار منفذی اضافی نرمالیزه شده: $u = (u_t - u_0)(u_i - u_0)$ ؛

۷-۴-۳ معلوم بودن پارامترهای زیر برای پردازش نتایج آزمون لازم است:

الف- در محل، فشار منفذی اولیه در برابر عمق: $u_0(\text{MPa})$ در برابر $Z(m)$ ؛

ب- اضافه تنش کلیدر برابر عمق: $\sigma_{v0}(\text{MPa})$ در برابر $Z(m)$.

این پارامترها، یا مقادیر محاسبه شده دیگر، را می‌توان برای شناسایی لایه و رده‌بندی نوع خاک به عنوان مقادیر ورودی پایه برای ارزیابی پارامترهای مهندسی به کار برد.

ضریب اصطکاک باید در نمودار ارایه شود. ارایه پارامترهای تجمعی دیگر، چون بستگی به تفسیر دارند، اختیاری است.

پیوست الف
(الزامی)
نگهداری، کنترل و واسنجی

الف-۱ نگهداری و کنترل

الف-۱-۱ مستقیم بودن میله‌های فشارش

توصیه می‌شود قبل از انجام آزمون، مستقیم بودن میله‌های فشارش با یکی از روش‌های زیر کنترل شود:
الف- نگهداری میله‌ها به صورت قائم و چرخاندن آن‌ها، اگر میله‌ها لق باشند، مستقیم بودن آن‌ها قابل قبول نیست؛

ب- غلتاندن میله‌ها روی سطح صاف، اگر میله‌ها تلو تلو بخورند، مستقیم بودن آن‌ها قابل قبول نیست؛
پ- لغزاندن در یک لوله مجوف مستقیم که کمی درازتر از میله باشد، اگر میله را بتوان بدون متراکم کردن عبور داد مستقیم بودن قابل قبول است؛
اگر هر نشانه‌ای از خم شدن مشاهده شود، بهتر است استفاده از میله‌ها متوقف شود.
ممکن است روش‌های دیگری برای کنترل مستقیم بودن به کار رود.

یادآوری- در رده کاربردی ۴، شیب سنج وجود ندارد، بنابراین کنترل مستقیم بودن میله‌ها مهمتر است.

الف-۱-۲ پوشش نفوذسنج مخروطی

پوشش مخروط و پوشش اصطکاکی برای اطمینان از این که رواداری‌های هندسی برآورده می‌شوند (به بندهای ۴-۴ و ۴-۵ مراجعه شود)، باید به طور منظم کنترل شود (به جدول الف-۱ مراجعه شود). الگوی هندسی استاندارد شبیه به نفوذسنج مخروطی استفاده نشده را می‌توان برای کنترل به کار برد.

الف-۱-۳ فاصله‌ها و درزها

فاصله‌ها و درزها بین قسمت‌های مختلف نفوذسنج مخروطی باید به طور مرتب کنترل شود (به جدول الف-۱ مراجعه شود). درزها باید از لحاظ ورود ذرات خاک کنترل و تمیز شود. نفوذسنج باید قبل از انبار کردن تمیز شود.

الف-۱-۴ سامانه اندازه‌گیری فشار منفذی

در صورتی که اندازه‌گیری فشار منفذی انجام شود، بهتر است فیلتر دارای نفوذپذیری کافی برای پاسخ مناسب باشد (به بند ۴-۶-۱ مراجعه شود). بهتر است قبل از شروع نفوذ، سامانه فشار منفذی کاملاً اشباع شود و تا رسیدن نفوذسنج مخروطی به سطح آب زیرزمینی یا خاک اشباع، اشباع نگهداشته شود. برای فواصل نگهداری به جدول الف-۱ مراجعه شود.

قبل از هر آزمون باید فیلتر به صورت چشمی از لحاظ آسیب، پوشش و گرفتگی کنترل شود. ترجیحاً قبل از هر آزمون، بهتر است فیلتر تعویض شود و مراحل اشباع کردن انجام شود.

الف-۱-۴ سامانه اندازه‌گیری فشار منفذی

در صورتی که اندازه‌گیری فشار منفذی انجام شود، بهتر است فیلتر دارای نفوذپذیری کافی برای پاسخ مناسب باشد (به بند ۴-۶-۱ مراجعه شود). بهتر است قبل از شروع نفوذ، سامانه فشار منفذی کاملاً اشباع شود و تا رسیدن نفوذسنج مخروطی به سطح آب زیرزمینی یا خاک اشباع، اشباع نگهداشته شود. برای فواصل نگهداری به جدول الف ۱ مراجعه شود.

قبل از هر آزمون باید فیلتر به صورت چشمی از لحاظ آسیب، پوشش و گرفتگی کنترل شود. ترجیحاً قبل از هر آزمون، بهتر است فیلتر تعویض شود و مراحل اشباع کردن انجام شود.

الف-۱-۵ روش‌های اجرایی نگهداری

برای نگهداری و واسنجی تجهیزات باید از طرح کنترل جدول الف ۱ به همراه دستورالعمل سازنده برای تجهیزات خاص پیروی شود.

جدول الف ۱ - طرح کنترل برای نگهداری عادی

کنترل عادی	شروع آزمون	پایان آزمون	هر ۶ ماه
عمود بودن دستگاه رانش	×	-	-
عمق حسگر	-	-	×
میله‌های رانش	×	-	-
پوشش	×	×	-
فاصله‌ها و درزها	×	×	-
مقدار صفر	×	×	-
واسنجی	-	-	^a ×
فیلتر	×	×	-
سرعت نفوذ	-	-	×
عملکرد ایمنی	-	-	×

^a و در فواصل آزمون‌های درازمدت، به بند الف-۲-۱ مراجعه شود.

الف-۲ واسنجی

الف-۲-۱ روش‌های اجرایی عمومی

نفوذسنج مخروطی جدید با در نظر گرفتن مواد زیر واسنجی شود:

الف- ضرایب مساحت خالص، به کار رفته برای تصحیح مقاومت مخروط و اصطکاک پوشش اندازه‌گیری شده؛

ب- تاثیر اصطکاک داخلی- محدود کننده حرکت قسمت‌های منفرد؛

پ- تاثیرات تداخل محتمل (تداخل الکتریکی)؛

ت- تاثیرات دمای محیط.

واسنجی‌ها و کنترل‌ها برای هر نفوذسنج مخروطی اختصاصی هستند. آن‌ها تغییرات ناشی از کارکرد و هندسه نفوذسنج را طی عمر نفوذسنج نشان می‌دهند. بهتر است کالیبراسیون به طور مرتب، حداقل هر شش ماه یکبار انجام شود. اگر در ردیابی، انحرافات مهمی ثبت نشود، مدت طولانی‌تری بین واسنجی‌ها می‌توان

اعمال کرد. ممکن است بسته به رده کاربرد، الزامات و جابجایی صفر در بار صفر، مقدار واسنجی بیشتری لازم باشد. ممکن است طی آزمون درازمدت، کالیبراسیون بیشتری انجام شود.

توصیه می‌شود واسنجی‌ها شامل کل سامانه اندازه‌گیری، یعنی مبدل‌های نصب شده، سامانه کسب داده‌ها، کابل‌ها و... باشد. ترجیحا واسنجی با عنوان "واسنجی سامانه" یعنی با استفاده از سامانه کسب داده‌های یکسان انجام می‌شود. توصیه می‌شود طی کار کارگاهی، کنترل عملکرد منظم تجهیزات انجام شود. این کار حداقل باید یک بار در هر مکان و یا یک بار در روز انجام شود. علاوه، بهتر است کنترل عملکرد و واسنجی مجدد احتمالی، در صورتی که کاربر شک داشته باشد که اضافه بار در حسگرهای بار وجود دارد (از بین رفتن واسنجی)، انجام شود.

به طور کلی باید از الزامات استاندارد ملی شماره ۱۰۰۱۲ ایران تبعیت شود.

الف-۲-۲ واسنجی مقاومت مخروط و اصطکاک پوشش

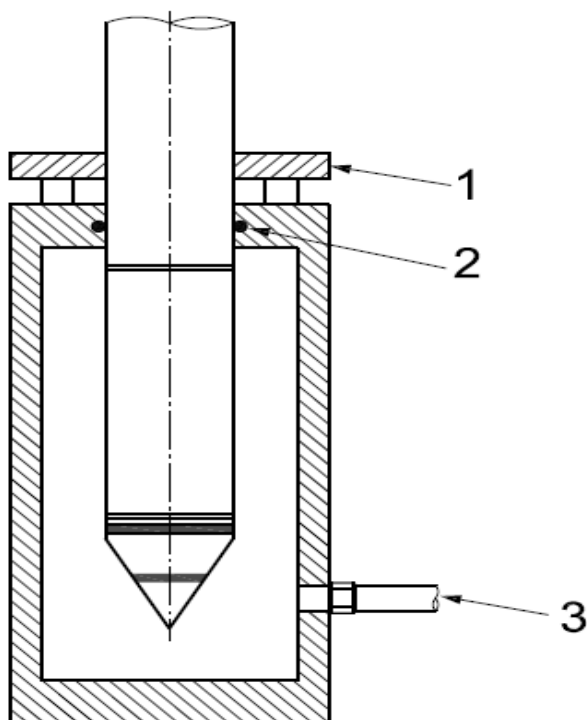
بارگذاری و باربرداری محوری تدریجی مخروط و پوشش اصطکاکی، مقاومت مخروط و اصطکاک پوشش را واسنجی می‌کند. واسنجی‌های مقاومت مخروط و اصطکاک پوشش را می‌توان به طور جداگانه انجام داد اما سایر حسگرها باید به صورت منفرد برای اطمینان از این که بار اعمالی بر آن‌ها تاثیر ندارد کنترل شوند. واسنجی برای اندازه‌گیری‌های مختلف با تاکید ویژه بر محدوده مربوط به آزمون‌های پیش‌رو انجام می‌شود. توصیه می‌شود واسنجی‌های جدیدی بعد از این که آزمون نفوذ مخروط تحت شرایط مشکل اجرا شده باشد، یا شیفت صفر مهمی ثبت شده باشد (برای مثال اگر نفوذسنج مخروطی نزدیک ظرفیت حداکثر خود بارگذاری شده باشد)، انجام شود.

موقع بارگذاری پوشش اصطکاکی تنها، یک واحد واسنجی ویژه جایگزین مخروط می‌شود. این واحد برای انتقال نیروهای محوری به ناحیه انتهایی پایینی پوشش اصطکاکی، طراحی می‌شود. موقعی که یک نفوذسنج مخروطی جدید واسنجی می‌شود، بهتر است حسگرها در معرض ۱۵ تا ۲۰ چرخه بارگذاری تکرار شونده تا بار حداکثر قرارگیرند قبل از این که واسنجی واقعی انجام شود.

یادآوری- الزامات برای روش اجرایی واسنجی مجزا برای مخروط و پوشش اصطکاکی معمولا برای نفوذسنج مخروطی کاهشی لازم نیست.

الف-۲-۳ واسنجی فشار منفذی و ضریب مساحت خالص

توصیه می‌شود واسنجی سامانه اندازه‌گیری فشار منفذی و تعیین تاثیرات فشار منفذی روی مقاومت مخروط، اصطکاک پوشش و ضریب مساحت خالص (a)، به ویژه در طراحی محفظه فشار، انجام شود (به شکل الف-۱ مراجعه شود). توصیه می‌شود محفظه فشار به نحوی ساخته شود که بتوان قسمت پایینی نفوذسنج مخروطی را در محفظه سوار کرد و پوشش اصطکاکی را درزبندی کرد. توصیه می‌شود قسمت محصور نفوذسنج مخروطی در معرض فشار محفظه افزایشی تدریجی قرار گیرد و مقاومت مخروط، اصطکاک پوشش و فشار منفذی ثبت شود. در این روش منحنی واسنجی برای مبدل فشار منفذی حاصل می‌شود و نسبت مساحت خالص را می‌توان از منحنی پاسخ برای مقاومت مخروط و اصطکاک پوشش تعیین کرد. و همچنین محفظه فشار برای کنترل پاسخ حسگر فشار منفذی به تغییرات فشار چرخه‌ای مناسب است.



۱: دستگیره

۲: درزبند حلقه‌ای "O"

۳: لوله فشار

شکل الف ۱ - محفظه فشار برای تعیین نسبت مصالح خالص

الف-۲-۴ واسنجی تاثیرات دمای محیط

نفوذسنج مخروطی باید برای تاثیرات دمای محیط در سطوح دمای مختلف واسنجی شود. برای مثال با قرار دادن نفوذسنج مخروطی در منابع آب در دماهای مختلف، علائم حسگر باید تا زمانی که مقادیر ثابت می‌شوند، ثبت شود. از این نتایج اندازه تغییرات در قرائت‌های صفر در هر $^{\circ}\text{C}$ به دست می‌آید و تاثیر از زمان لازم برای ثابت شدن دما در عملکرد کارگاهی حاصل می‌شود. این موضوع اطلاعات مهمی برای آماده کردن صحیح تجهیزات آزمون قبل از آغاز آزمون نفوذ است. موضوع فوق برای دمای محیط اعمال می‌شود و برای دماهای زودگذر اعمال نمی‌شود.

الف-۲-۵ واسنجی حسگر طول نفوذ

توصیه می‌شود عمق نفوذ حداقل هر ۶ ماه و بعد از هر تعمیر واسنجی شود.

الف-۲-۶ واسنجی شیب‌سنج

شیب‌سنج‌ها در نفوذسنج مخروطی باید در دامنه اندازه‌گیری در دو جهت عمود بر هم به وسیله شاقول واسنجی شود. توصیه می‌شود واسنجی در هر 1° برای رده‌های ۱ و ۲ یا 2° برای رده ۳ انجام شود. از این نتایج، نشانه‌ای از خطی بودن حسگر حاصل می‌شود

پیوست ب

(الزامی)

محاسبه عمق نفوذ

برای رده‌های کاربردی ۱ و ۲ عمق آزمون نفوذ مخروط باید برای شیب با معادله زیر تصحیح شود:

$$Z = \int_0^l C_{inc} dl$$

معادله (ب ۱)

که در آن:

Z : عمق نفوذ برحسب m

l : طول نفوذ برحسب m

C_{inc} ضریب تصحیح برای تاثیر شیب نفوذسنج مخروطی نسبت به محور قائم، هستند.

معادلات برای محاسبه ضریب تصحیح C_{inc} برای تاثیر شیب نفوذسنج مخروطی نسبت به محور قائم، بر روی عمق نفوذ عبارتند از:

الف- برای شیب‌سنج بدون جهت:

$$C_{inc} = \cos \alpha$$

معادله (ب ۲)

که در آن α زاویه مجموع اندازه‌گیری شده بین محور قائم و محور نفوذسنج مخروطی برحسب درجه است.
ب- برای شیب‌سنج دو محوره:

$$C_{inc} = \frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \beta_1 + \operatorname{tg}^2 \beta_2}}$$

معادله (ب ۳)

که در آن:

β_1 زاویه بین محور قائم و تصویر محور نفوذسنج مخروطی در صفحه قائم برحسب درجه،

β_2 زاویه بین محور قائم و تصویر محور نفوذسنج مخروطی روی صفحه قائمی است که بر صفحه زاویه β_1

عمود است، برحسب درجه، هستند.

پیوست پ
(اطلاعاتی)

تصحیح اصطکاک پوشش برای فشار آب

اصطکاک پوشش تصحیح شده را می توان به صورت تعیین کرد:

$$f_t = f_s - \frac{(u_2 \times A_{sb} - u_3 \times A_{st})}{A_s}$$

که در آن:

f_t اصطکاک پوشش تصحیح شده، بر حسب MPa؛

f_s اصطکاک پوشش اندازه گیری شده، بر حسب MPa؛

A_s مساحت پوشش اصطکاکی، بر حسب mm^2 ؛

A_{sb} مساحت سطح مقطع کف پوشش اصطکاکی، بر حسب mm^2 ؛

A_{st} مساحت سطح مقطع فوقانی پوشش اصطکاکی، بر حسب mm^2 ؛

u_2 فشار منفذی اندازه گیری شده بین پوشش اصطکاکی و مخروط، بر حسب MPa ؛

u_3 فشار منفذی اندازه گیری شده در بالای پوشش اصطکاکی ، بر حسب MPa ، هستند.

در صورتی که این تصحیح انجام می شود این تصحیح نیازمند مقادیر u_2 و u_3 است و این مقادیر باید اندازه گیری شوند.

یادآوری - u_3 را می توان از با استفاده از روابط ارایه شده در گزارش SGI ۴۲ [7] از روی u_2 تخمین زد.

این تصحیحات در خاک های خوب دانه بندی شده که در آنها فشار منفذی اضافی طی نفوذ مهم است، دارای اهمیت بیشتری هستند. توصیه می شود مقادیر تصحیح شده نتایج آزمون برای اهداف تفسیر و طبقه بندی به کار رود.

پیوست ت
(اطلاعاتی)
آماده کردن پیژوکون

ت-۱ اشباع کردن

معمولا آب مقطر هواگیری شده برای انجام آزمون در خاک‌های اشباع به کار می‌رود. در مواردی که آزمون-های نفوذ در خاک‌های غیر اشباع با پوسته خشک و خاک‌های اتساعی (مانند ماسه متراکم) انجام می‌شود، توصیه می‌شود فیلتر با گلیسیرین هواگیری شده یا مایع مشابه که نگهداری اشباع در سراسر آزمون را راحت می‌کند، اشباع شود. وقتی آب هواگیری شده به کار می‌رود، بهتر است فیلتر حداقل به مدت ۱۵ min جوشانده شود. توصیه می‌شود فیلتر قبل از انبارش در ظرف درزبندی شده، در آب خنک شود. بهتر است حجم زیادی از آب هواگیری شده تهیه شود. این آب موقع سوار کردن قبل از به کار گیری ضروری است. جوشاندن فیلترها ممکن است برای بعضی از انواع فیلترها (مانند پلی اتیلن متراکم) قابل قبول نباشد. اگر گلیسیرین به کار می‌رود، فیلترهای خشک، مستقیما در مایع قرار گرفته و با خلا تقریبا به مدت ۲۴h اصلاح می‌شود. محفظه مبدل معمولا با مایعی که برای فیلتر به کار رفته اشباع می‌شود. این کار را می‌توان با تزریق مستقیم مایع به درون محفظه یا با تعمیر نفوذسنج مخروطی باز شده در محفظه خلا، انجام داد. توصیه می‌شود خلا تا زمانی که تمام حباب‌های هوا از نفوذسنج مخروطی خارج می‌شوند (تقریبا ۱۵min تا ۳۰min) اعمال شود. بهتر است نصب نهایی فیلتر و درزگیرها با نفوذسنج غوطه‌ور در مایع اشباع انجام شود. توصیه می‌شود بعد از نصب، جاگذاری فیلتر کنترل شود. بهتر است ارتفاع فیلتر کافی باشد تا لقی نباشد و در عین حال به حد کافی کوچک باشد تا بتوان با دست آن را چرخاند. این موضوع از تنش اضافی در درزهای دور فیلتر جلوگیری می‌کند و همچنین اثرات آن را از اندازه‌گیری کاهش می‌دهد. بعد از نصب فیلتر، پوشاندن فیلتر با غشا لاستیکی که موقع تماس نفوذسنج با خاک از بین می‌رود اقدام مناسبی است. سایر جایگزین‌ها نیز ممکن است.

یادآوری- طی اشباع و نصب غشا لاستیکی، نفوذسنج در معرض تنش‌هایی خواهد بود، که ممکن است حسگرها مقادیری غیر از صفر نشان دهند.

ت-۲ فیلتر شکافدار

در این سامانه، فشار منفذی با سامانه باز با شکاف ۰/۳ mm درست پشت قسمت مخروطی اندازه‌گیری می‌شود. بنابراین فیلتر متخلخل بین خاک و محفظه فشار زائد می‌شود. شکاف از طریق چندین کانال با محفظه فشار مرتبط می‌شود. آب هواگیری شده، مایع ضد یخ یا سایر مایعات را می‌توان برای اشباع محفظه فشار به کار برد، در حالی که کانال‌ها با ژلاتین یا مایع مشابه اشباع می‌شوند.

به کار بردن فیلتر شکافدار می‌تواند زمان لازم برای آماده کردن نفوذسنج را کاهش دهد. بعلاوه، این سامانه فشار منفذی موقعی که عبور از طریق نواحی غیر اشباع در خاک انجام می‌شود، اشباع سامانه را بهتر حفظ می‌کند. حسگر فشار مانند پیژوکون‌های فیلتر متخلخل معمولی، تغییرات فشار در سامانه اشباع را ثبت می‌کند. مانند سایر نفوذسنج‌های مخروطی، الزامات اشباع کافی یکسان هستند، به طوری که واکنش فشار منفذی کافی طی نفوذ حاصل می‌شود.

پیوست ث

(اطلاعاتی)

عدم قطعیت در آزمون نفوذسنج مخروطی

منابع عدم قطعیت در آزمون CPT/CPTU شامل (اما نه محدود) موارد زیر است:

الف- تاثیرات دمای محیط و انتقالی؛

ب- پارامترهای واسنجی غیرصحیح، مانند کاهش واسنجی ناشی از خمش یا آسیب؛

پ- عدم اشباع یا اشباع ضعیف؛

ت- انتقال ناصحیح بارهای ناشی از خاک‌های در فواصل و درزها؛

ث- خطا در سامانه جمع‌آوری داده‌ها؛

ج- انحراف هندسی مخروط؛

چ- شیفت‌های صفر.

حتی اگر الزامات این استاندارد برآورده شوند، ممکن است موقع هدایت CPT، عدم قطعیت‌هایی در اندازه-گیری‌ها، عمدتاً به دلیل تاثیرات دما در نفوذسنج مخروطی طی آزمون، روی دهد. این تاثیرات دما عبارتند از:

الف- دمای محیط، شرایط وقتی دمای نفوذسنج مخروطی در دمای ثابت بدون گرادیان دما از طریق بدنه نفوذسنج تغییر می‌کند؛

ب- دماهای انتقالی، تغییر دمای نفوذ سنج (مانند گرم شدن به علت نیروهای اصطکاکی نفوذسنج مخروطی) با گرادیان از طریق بدنه نفوذسنج که قابل جبران نیستند.

جبران تاثیرات دمای محیط برای نفوذسنج مخروطی قابل دستیابی است. تاثیرات دمای محیط را می‌توان با تنظیم دمای بدنه نفوذسنج در زمین از بین برد. تاثیرات دمای انتقالی را نمی‌توان جبران کرد و با تجهیزات و اقدامات ویژه می‌توان کاهش داد. به عنوان مثال این اقدامات ممکن است شامل امکان اتلاف دمای زیاد قبل از نفوذ از لایه ماسه متراکم به لایه رس نرم باشد.

در لایه‌های خیلی متراکم، ممکن است گرادیان‌های دما در نفوذسنج مخروطی تقریباً 1°C بر MPa ، با گرادیان‌های غیر قطعی در بدنه نفوذسنج، روی دهد.

برای پروژه‌های ویژه با CPT_s در رس‌های نرم تا خیلی نرم با تجهیزات ویژه، روش‌ها و اندازه‌گیری دما در نفوذسنج مخروطی (اگر کل آزمون در رس نرم باشد، ضروری نیست)، رده کاربردی ۱ قابل دستیابی است. برای کار با تجهیزات دانه‌پول در ساحل با تعیین خروجی بار صفر نفوذسنج مخروطی، عدم قطعیت می‌تواند مقداری از 100 kPa تا 200 kPa ، بسته به عمق آزمون و شرایط گل حفاری باشد.

توصیه می‌شود کاربرد انطباق اندازه‌شناسی در نفوذسنج مخروطی مطابق استاندارد ISO 10012 باشد. تغییر مکان صفر طی آزمون را می‌تواند نشانه‌ای از عدم دستیابی به رده کاربرد مطلوب باشد. اگر تغییر مکان صفر از حدود درستی رده کاربرد بیشتر شود، نتایج به رده کاربردی پایین‌تر اختصاص می‌یابد. بیانیه عدم قطعیت حاصل از آنالیز عدم قطعیت را می‌توان ارایه کرد. در این آنالیز عدم قطعیت، عدم قطعیت‌ها را می‌توان مطابق [5] WECC DOC. 19-1990 و استاندارد ISO 10012 ارایه کرد.

(اطلاعاتی)

کتابنامه

- [1] ISO 14688-2, *Geotechnical investigation and testing — Identification and classification of soil — Part 2: Principles for a classification*
- [2] ISO 22475-1 *Geotechnical investigation and testing — Sampling by drilling and excavation methods and groundwater measurements — Part 1: Technical execution*
- [3] EN 1997-1, *Eurocode 7: Geotechnical design — Part 1: General rules*
- [4] EN 1997-2, *Eurocode 7: Geotechnical design — Part 2: Ground investigation and testing*
- [5] WECC DOC. 19-1990, *Guidelines for the expression of the uncertainty of measurement in calibrations*
- [6] T. Lunne, P.K. Robertson and J.J.M. Powell, *Cone penetration testing in geotechnical practice*, Blackie Academic/Routledge Publishing, New York, 1997
- [7] SGI Report 42, R. Larsson and M. Mulabdic, *Piezocone tests in clay*, 1991
- [8] NORSOK G-001, revision 2, October 2004, *Marine soil investigations*