



جمهوری اسلامی ایران  
Islamic Republic of Iran

سازمان ملی استاندارد ایران

Iranian National Standardization Organization



استاندارد ملی ایران

۱۸۶۵۲

چاپ اول

۱۳۹۳

INSO

18652

1st.Edition

2014

خاک-آزمون برش مستقیم خاک‌ها تحت  
شرایط تحکیم یافته زهکشی شده - روش  
آزمون

**Soil-Direct Shear Test of Soils under  
Consolidated Drained Conditions - Test  
Method**

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 پیشنهادهای 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 قائم سازمان بین المللی استاندارد (ISO)<sup>۱</sup>، کمیسیون بین المللی الکتروتکنیک (IEC)<sup>۲</sup> و سازمان بین المللی اندازه شناسی قانونی (OIML)<sup>۳</sup> است و به عنوان تنها رابط<sup>۴</sup> کمیسیون کدکس غذایی (CAC)<sup>۵</sup> 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 سامانه های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست محیطی، آزمایشگاه ها و مراکز واسنجی (واسنجی) وسایل 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، واسنجی (واسنجی) وسایل سنجش، تعیین عیار 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

" خاک - آزمون برش مستقیم خاک‌ها تحت شرایط تحکیم یافته زهکشی شده - روش آزمون "

### رئیس:

دانشکده مهندسی عمران دانشگاه تهران و  
مدیر فنی شرکت عمران ایستا

حسام ، دهقان خلیلی  
( دکترای مهندسی خاک و پی )

### دبیر:

مدیر موسسه تحقیقات و پژوهش‌های علمی  
بنیادین پایدار سازه آریا

مصطفی زاده ، سیدحجت  
( کارشناسی ارشد مهندسی عمران )

### اعضا: ( اسامی به ترتیب حروف الفبا )

کارشناس آزمایشگاه مصالح ساختمانی اداره  
کل استاندارد هرمزگان

ترابی زاده ، محمدرضا  
( کارشناس مهندسی عمران )

مدیرعامل شرکت آزمونگاهی خاک بتن  
آزمای پارسه خلیج فارس

ذاکری ، ایمان  
( دکترای مهندسی عمران )

دانشیار دانشگاه پلی تکنیک تهران،  
کارشناس حقیقی تدوین استانداردهای ملی  
ایران

رهر رنجی، احمد  
( دکترای مهندسی کشتی سازی )

کارشناس بخش سازه موسسه تحقیقات و  
پژوهش‌های علمی بنیادین پایدار سازه آریا

طیپی ، سعیده  
( کارشناسی ارشد مهندسی عمران )

کارشناس سازه حوزه معاونت فنی و عمرانی  
شهرداری شیراز

ظهرابی ، مصطفی  
( کارشناس ارشد مهندسی عمران )

کارشناس بخش سازه موسسه تحقیقات و  
پژوهش‌های علمی بنیادین پایدار سازه آریا

کامجو ، بهمن  
( کارشناس مهندس عمران )

هیئت علمی گروه مهندسی عمران دانشگاه  
آزاد اسلامی واحد بندرعباس

عذباشی ، فرهاد  
( کارشناسی ارشد مهندسی عمران )

هیئت علمی گروه مهندسی عمران دانشگاه  
آزاد اسلامی واحد بندرعباس

غلامی، آرش  
(دانشجوی دکتری خاک و پی)

عضو اصلی هیئت‌مدیره سازمان نظام  
مهندسی ساختمان هرمزگان

مصفا، مسعود  
(کارشناس ارشد مهندسی خاک و پی)

کارشناس فنی شرکت آزمونگاهی آزما سازه  
کاوان

مصطفی زاده، سیدمحسن  
(کارشناس مهندسی عمران)

## فهرست مندرجات

صفحه	عنوان
ب	آشنایی با سازمان ملی استاندارد
ج	کمیسیون فنی تدوین استاندارد
ه	پیش گفتار
و	مقدمه
۱	۱ هدف و دامنه کاربرد
۱	۲ مراجع الزامی
۳	۳ وسایل
۴	۴ خلاصه روش آزمون
۴	۵ اصطلاحات و تعاریف
۶	۶ آزمون نمونه آزمون
۸	۷ واسنجی
۹	۸ روش انجام آزمون
۱۲	۹ محاسبات
۱۳	۱۰ گزارش، ورقه‌ها، فرم‌های اطلاعات آزمون
۱۴	۱۱ دقت و اریبی

پیش گفتار

استاندارد "خاک-آزمون برش مستقیم خاک‌ها تحت شرایط تحکیم‌یافته زهکشی‌شده - روش آزمون" که پیش نویس آن در کمیسیون های مربوط توسط موسسه تحقیقات و پژوهش‌های علمی بنیادین پایدار سازه آریا تهیه و تدوین شده است و در پانصد و یکمین اجلاس کمیته ملی استاندارد مهندسی ساختمان و مصالح و فراورده‌های ساختمانی مورخ ۱۳۹۳/۰۲/۰۹ 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 می شود .

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 ماخذی که برای تهیه این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته به شرح زیر است :

ASTM D3080:2004, Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils under Consolidated Drained Conditions

## خاک-آزمون برش مستقیم خاک‌ها تحت شرایط تحکیم یافته زهکشی‌شده-روش آزمون

### ۱ هدف و دامنه کاربرد

۱-۱ هدف از تدوین این استاندارد، تعیین مقاومت برشی مواد خاکی تحکیم‌یافته زهکشی‌شده به روش برش مستقیم است. این آزمون توسط تغییرشکل یک آزمون در یک نرخ کرنش کنترل‌شده، نزدیک به صفحه برشی منفرد، که توسط دستگاه، تعیین می‌شود، انجام می‌گیرد. بطور کلی، سه یا تعداد بیشتری آزمون، با بار قائم متفاوت، آزمون می‌شوند، تا تاثیر آن‌ها بر مقاومت برشی و جابجایی و خواص مقاومتی مانند پوش موهر<sup>۱</sup>، تعیین شود.

۱-۲ تنش‌های برشی و جابجایی‌ها، به‌طور غیریکنواخت در درون آزمون، توزیع و پراکنده می‌شود. یک بیشینه اختصاصی را نمی‌توان برای محاسبه کرنش‌های برشی، تعریف کرد. بنابراین، روابط تنش-کرنش و یا هر مقادیر مدول وابسته دیگر را، از طریق این روش آزمون، نمی‌توان تعیین کرد.

۱-۳ تعیین پوش‌های مقاومت و توسعه و گسترش ضوابط و معیارهای تفسیر و ارزیابی نتایج آزمون، به مهندس ژئوتکنیک، واگذار می‌شود.

۱-۴ نتایج آزمون، ممکن است تحت تاثیر حضور ذرات سنگ یا خاک و یا هر دو، قرار گیرند (بند ۶ را ببینید).

۱-۵ شرایط انجام آزمون از جمله تنش قائم و درصد رطوبت مطابق با شرایط محیط انتخاب می‌شود. برای اطمینان از شرایط زهکشی‌شده می‌بایست نرخ سرعت برش، آهسته باشد.

۱-۶ ممکن است مواردی وجود داشته باشد که فاصله صفحات باید برای تطبیق با اندازه ماسه‌های بزرگتر از فاصله تعیین شده، افزایش یابد. فعلا اطلاعات قابل دسترس و کافی برای تعیین ابعاد فاصله (وقفه) براساس توزیع اندازه دانه، وجود ندارد.

۱-۷ روش استفاده شده برای تعیین چگونگی جمع‌آوری، محاسبه یا ثبت داده‌ها در این استاندارد، مستقیماً به درستی اطلاعاتی که می‌تواند در طراحی یا استفاده‌های دیگر و یا هر دو، بکار روند، وابسته نیست. چگونگی کاربرد نتایج بدست آمده با استفاده از این استاندارد، فراتر از اهداف و گستره آن است.

۱-۸ آزمون برش مستقیم، برای تعیین نسبتاً سریع ویژگی‌های مقاومت زهکشی‌شده و تحکیم‌یافته، مناسب هستند، زیرا راه‌های زهکشی از درون آزمون کوتاه هستند و در نتیجه به فشار حفره‌ای اضافی اجازه می‌دهد تا سریع‌تر از دیگر تحکیم‌های تنش زهکشی شده، پراکندگی و ازهم‌پاشیدگی پیدا کنند. این استاندارد می‌تواند برای همه مواد خاکی و مواد متراکم‌شده یا دوباره قالب‌گیری‌شده و دست نخورده، به کار رود.

۱-۹ نتایج این آزمون، قابل کاربرد برای ارزیابی مقاومت در محل‌های کارگاهی که تحکیم یافتگی کامل تحت تنش‌های قائم موجود، است. گسیختگی، به آرامی تحت شرایط زهکشی بوجود می‌آید، به‌طوری‌که فشارهای

حفره‌ای اضافی، پخش شوند. ممکن است نتایج چندین آزمون، برای بیان روابط بین تنش تحکیم‌یافتگی و مقاومت برشی زهکشی‌شده، به کار روند.

۱-۱۰ در مدت زمان آزمون برش مستقیم، در تنش‌های قائم، چرخش وجود دارد که ممکن است در شرایط کارگاهی، مدل‌سازی شود. علاوه بر این، گسیختگی در صفحات ضعیف، رخ نمی‌دهد زیرا مجبور است که بر روی یا نزدیک یک صفحه افقی در وسط آزمون، بوجود آید. موقعیت ثابت صفحه در این استاندارد، می‌تواند یک مزیت برای تعیین مقاومت برشی در امتداد صفحات ضعیف قابل تشخیص در مواد خاکی و برای آزمون سطوح مشترک بین مواد غیر مشابه، باشد.

۱-۱۱ تنش‌های برشی و جابجایی‌ها، توزیع غیریکنواختی در درون آزمون دارند، و یک انتهای خاص، برای محاسبه کرنش‌های برشی یا دیگر مقادیر مهندسی همراه با آن، تعریف نشده است. نرخ آهسته جابجایی، باعث پراکنده‌شدن فشارهای منفذی اضافی و همچنین جریان خمیری خاک‌های چسبنده نرم می‌شود. باید مراقب باشید این اطمینان حاصل شود که شرایط آزمون بیان‌کننده شرایط مزبور، بررسی و تامین شوند.

۱-۱۲ محدوده‌ای در تنش‌های قائم، نرخ برش خوردگی و شرایط آزمون کلی باید انتخاب شود تا شرایط خاک‌های خاص به طور تقریبی، بررسی شوند.

**یادآوری-** باوجود این‌که شرح وضعیت اندازه‌گیری دقیق و اریبی در این روش آزمون گنجانده شده است، اندازه‌گیری دقیق این روش آزمون، به شایستگی و صلاحیت عملکرد پرسنل و تناسب تجهیزات و تسهیلات استفاده شده، بستگی دارد. شرکت‌هایی که مطابق با استاندارد بند ۲-۹ عمل می‌کنند، عموماً قابلیت فنی و عملی آزمون را بررسی و ملاحظه می‌کنند. کاربران این استاندارد متوجه هستند که مطلوبیت استاندارد بند ۲-۹ به تنهایی ضامن اعتبار آزمون نیست. آزمون معتبر بستگی به چندین عامل دارد؛ استاندارد بند ۲-۹ ارزیابی متوسطی از برخی از این عوامل را فراهم کرده است.

**هشدار-** این استاندارد تمام موارد ایمنی مربوط به کاربرد این روش را بیان نمی‌کند، بنابراین وظیفه کاربر این استاندارد است که موارد ایمنی و اصول بهداشتی را رعایت کرده و قبل از استفاده، محدودیت‌های اجرایی آن را مشخص کند.

## 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 تجدیدنظرهای 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.

استفاده از مراجع زیر برای این استاندارد الزامی است:

2-1 ASTM D 422, Method for particle-Size analysis of soils



- 2-2 ASTM D 653, Terminology relating to soil, rock, and contained fluids
- 2-3 ASTM D 698, Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12 400 ft-lbf/ft)
- 2-4 ASTM D 1557, Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56 000 ft-lbf/ft)
- 2-5 ASTM D 1587, Practice for Thin-Walled Geotechnical Tube Sampling of Soils
- 2-6 ASTM D 2216, Method for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock
- 2-7 ASTM D 2435, Test Method for One Dimensional Consolidation Properties of Soils
- 2-8 ASTM D 2487, Test Method for Classification of Soils for Engineering Purposes
- 2-9 ASTM D2488, Practice for Description and Identification of Soils (Visual-Manual Procedure)
- 2-10 ASTM D 3740, Practice for Minimum Requirements for Agencies Engaged in the Testing and/or Inspection of Soil and Rock
- 2-11 ASTM D 4220, Practices for Preserving and Transporting Soil Samples
- 2-12 ASTM D 4318, Test Method for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils
- 2-13 ASTM D 4753, Specifications for Evaluating, Selecting, and Specifying Balances and Scales for Use in Soil Rock and Construction Materials Testing
- 2-14 ASTM D 6026, Practice for Using Significant Digits in Geotechnical Data

### ۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد، علاوه بر اصطلاحات و تعاریف تعیین شده در استاندارد بند ۲-۲، اصطلاحات و تعاریف زیر نیز به کار می‌رود:

۱-۳

#### جابجایی جانبی نسبی

جابجایی افقی قسمت‌های بالایی و پایینی جعبه برشی (لغزشی).

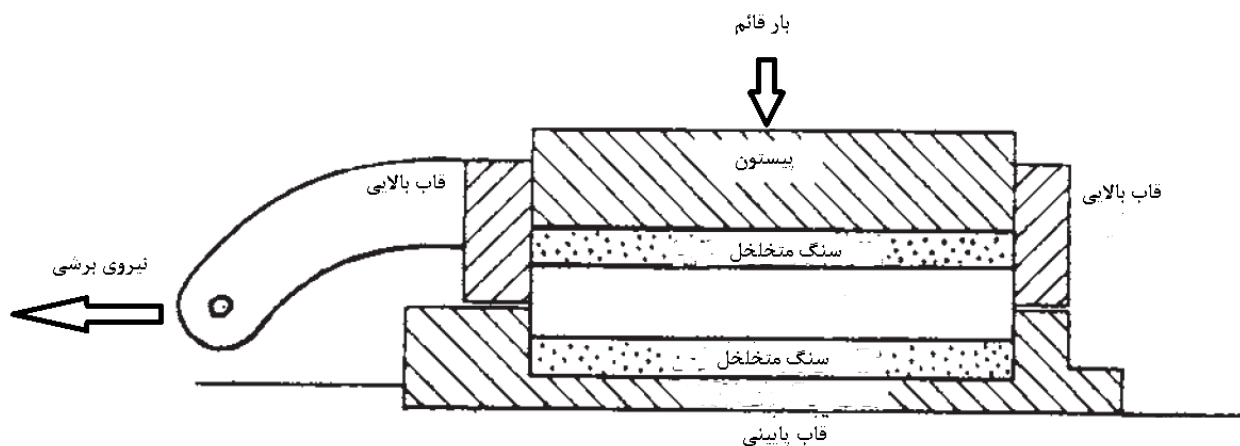
۲-۳

#### گسیختگی

موقعیت تنش در نقطه گسیختگی برای یک آزمون تحکیمی. گسیختگی اغلب منطبق با بیشینه تنش برشی در (۱۵ تا ۲۰) درصد جابجایی جانبی نسبی است. با توجه به رفتار خاک و کاربردهای کارگاهی، معیارهای مناسب دیگری نیز ممکن است تعریف شود.

### ۴ خلاصه روش آزمون

۱-۴ این استاندارد، شامل قرار دادن آزمون در دستگاه برش مستقیم، اعمال تنش قائم از پیش تعیین شده، خیس کردن یا زه‌کشی آزمون و یا هر دو، تحکیم آزمون تحت تنش قائم، باز کردن قالب‌هایی که نگه‌دارنده آزمون است، جابجا کردن افقی یک قاب با ملاحظه دیگر قالب‌ها در نرخ ثابت تغییرشکل برشی و اندازه‌گیری نیروی برشی و جابجایی افقی در هنگامی که آزمون برش خورده است (شکل ۱ را ببینید).



شکل ۱- آزمون‌ها الف) برش منفرد، ب) برش جفت

## ۵ وسایل

۱-۵ وسایل برش، وسایل برش وسایلی است برای نگهداری درست آزمون در بین دو قسمت متخلخل در جاهایی که گشتاور پیچشی برای آزمون اعمال نمی‌شود. وسایل برشی، میانگینی از تنش قائم در سطوح آزمون را، برای اندازه‌گیری تغییر در ضخامت آزمون، اجازه زه‌کشی آب در میان جاسازهای متخلخل در مرزهای پایینی و بالایی آزمون و غوطه‌ور سازی آزمون در آب، فراهم می‌کند. این وسایل، قادر است نیروی برشی برای آزمون، در آب را اعمال کند. همچنین قادر است، نیروی برشی در آزمون در راستای سطح برشی از پیش تعیین شده (برش منفرد)، موازی با سطوح آزمون را اعمال کند. قالب‌هایی که آزمون را نگه می‌دارند باید به اندازه کافی محکم باشند تا از شکستگی و انحراف آزمون در مدت زمان برش خوردگی، جلوگیری کنند. بخش‌های مختلف وسایل برشی باید از موادی ساخته شده باشد که در معرض خوردگی و واکنش شیمیایی با رطوبت و مواد درون خاک، قرار نگیرند (مثل فولاد ضد زنگ، برنز، آلومینیوم و غیره). استفاده از فلزات مختلفی که ممکن است سبب عمل واکنش شیمیایی شوند، مجاز نیست.

۲-۵ جعبه برشی، یک جعبه برشی چه به صورت دایره‌ای و چه به صورت مربع، از جنس فولاد ضد زنگ، برنز، یا آلومینیوم همراه با تدارکاتی برای زه‌کشی از بالا و پایین، است. این جعبه به‌طور عمودی توسط یک صفحه افقی به دو بخش با ضخامت یکسان، تقسیم شده است که با پیچ‌های امتدادی به هم متصل شده‌اند. جعبه برشی همچنین با پیچ‌های شکاف پرکن به هم متصل هستند که فضای بین نیمه بالایی و پایینی جعبه (قالب) برشی را کنترل می‌کنند.

۳-۵ جاسازهای متخلخل، جاسازهای متخلخل برای انجام زه‌کشی آزمون خاک در امتداد مرزهای بالایی و پایینی، به کار می‌روند. همچنین برای توزیع افقی تنش برشی از جاسازها به مرزهای بالا و پایین آزمون، به کار

می‌روند. این جاسازهای متخلخل باید از سیلیکون کاربید<sup>۱</sup>، آلومینیوم اکسید<sup>۲</sup> یا فلزاتی ساخته شوند که در معرض خوردگی و واکنش شیمیایی با مواد تشکیل دهنده خاک یا رطوبت خاک، قرار نگیرند. درجه‌بندی و نوع جاساز به نوع خاک مورد آزمون وابسته است. نفوذپذیری صفحات متخلخل، اساساً باید بیشتر از نفوذپذیری خاک باشد. اما درشتی بافت باید به اندازه‌ای باشد که از نفوذ بیش از حد خاک به درون حفرات جاساز، جلوگیری کند. قطر یا عرض صفحه یا جاساز متخلخل بالایی، باید (۰/۵ تا ۰/۲) میلی‌متر، کمتر از قطر درونی حلقه باشد. اگر کارایی جاساز، انتقال افقی تنش به خاک است، قطر باید به اندازه کافی بزرگ باشد که باعث گسترش اتصالات شوند. ماسه‌پاشی کردن<sup>۳</sup>، ممکن است کمک‌کننده باشد. اما سطح جاساز نباید آن‌قدر نامنظم باشد که سبب تمرکز تنش قائم در خاک شود.

**یادآوری** - معیار دقیقی برای نفوذپذیری جاساز متخلخل برای آزمون‌های خاک، موجود نیست. جاسازهایی با متوسط اندازه نفوذپذیری حدود ( $5 \times 10^{-4}$  تا  $1 \times 10^{-3}$ ) سانتی‌متر بر ثانیه، برای آزمون‌های لای و رس و جاسازهای متخلخل با نفوذپذیری زیاد، حدود (۰/۰۵ تا ۰/۱۰) سانتی‌متر بر ثانیه نزدیک برای آزمون‌های ماسه مناسب است. نباید با تجمع ذرات خاک در حفرات جاساز متخلخل، نفوذپذیری آن، کاهش نیابد. بنابراین بررسی مکرر و تمیز کردن آن (از طریق شستن با جریان سریع و جوشاندن یا توسط شستشوی فراصوتی)، برای اطمینان از حصول نفوذپذیری مورد نیاز، لازم است.

#### ۴-۵ وسایل بارگذاری

**۴-۵-۱ دستگاهی برای اعمال و اندازه‌گیری نیروی قائم، نیروی قائم توسط یک اهرم بارگذاری، اعمال می‌شود** که توسط وزنه‌های ساکن (جرم‌ها) یا توسط یک وسیله بارگذاری که با هوای فشرده کار می‌کند، فعال شده است. این وسایل، باید بتواند بزرگی نیروی قائم را در  $\pm 1\%$  درصد از نیروی مشخص‌شده، بدون این‌که از آن تجاوز کند، پایدار سازد.

**۴-۵-۲ دستگاه برای ایجاد برش در آزمون، این دستگاه باید قادر به برش آزمون در یک نرخ ثابت از جابجایی** با خطای کمتر از  $\pm 5\%$  باشد و باید اجازه تعادل نرخ جابجایی از (۰/۰۲۵ تا ۱/۰) میلی‌متر بر دقیقه را بدهد. نرخ اعمالی، به ویژگی‌های تحکیم خاک‌ها بستگی دارد. این نرخ، توسط یک موتور الکتریکی و جعبه‌دنده، برقرار می‌شود و نیروی برشی توسط یک دستگاه شاخص بار مانند حلقه‌های ثابت<sup>۴</sup> یا سلول بار<sup>۵</sup>، تعیین می‌شوند.

**۴-۵-۳ وزن جعبه برشی بالایی، باید کمتر از ۱ درصد از نیروی قائم اعمالی در مدت زمان آزمون برش باشد.** معمولاً لازم است که جعبه برش بالایی توسط یک نیرو سنج کنترل شود، تا آزمون تحت نیروی قائم اعمالی بزرگتری، برش خورد.

- 
- 1- Silicon carbide
  - 2- Aluminum oxide
  - 3- Sandblasting
  - 4- Proving ring
  - 5- Load cell

**یادآوری** - برش خوردگی آزمون در نرخ بزرگتر از آنچه مشخص شده است، باعث ایجاد نتایج برش زهکشی شده با جداسازی می-شود که با پایداری زهکشی مواد، فرق می کند.

**۵-۵ دستگاه اندازه گیری نیروی برشی**، یک حلقه ثابت یا سلول بار با دقت ۲/۵ نیوتن یا ۱ درصد از نیروی برشی در لحظه شکست، هر کدام که بزرگتر است.

**۵-۶ ظرف جعبه برش**، یک جعبه فلزی که جعبه برش را حمایت می کند و یا یک عکس العمل در مقابل یکی از نیمه های جعبه برشی که متوقف شده است، انجام می دهد و یا یک پایه ثابت همراه با قیودی برای هم تراز کردن یک نیمه از جعبه برشی که آزادانه و منطبق با نیروی برشی به کار رفته در صفحه افقی، حرکت می کند را فراهم می کند.

**۵-۷ اتاق کنترل با رطوبت بالا**، برای آماده کردن آزمون لازم است تا کاهش و افزایش محتوی آب آزمون، به حداقل برسد.

**۵-۸ حلقه های برش دهنده و صاف کننده**، برای بریدن آزمون های خیلی بزرگ و بدست آوردن ابعادی در حد جعبه برشی با حداقل دست خوردگی ممکن است به یک ابزار خارجی برای در امتداد باقی ماندن جعبه برشی نیاز باشد.

**۵-۹ تراز کننده ها**، تطبیق ترازها و مقیاس، مطابق با استاندارد بند ۲-۱۳ که تا ۰/۱ درصد یا دقیق تر از آن قابل خواندن است (بدون هیچ تخمینی).

**۵-۱۰ شاخص های تغییر شکل**، یک وسیله اندازه گیری مدرج یا ترانسفورماتورهای جابجایی با قابلیت اندازه گیری تغییرات ضخامت آزمون با حساسیت ۰/۰۰۲۵ میلی متر و اندازه گیری جابجایی افقی با حساسیت حداقل ۰/۰۲۵ میلی متر.

**۵-۱۱ وسیله ای برای تعیین محتوای آب**، مطابق با استاندارد بند ۲-۶، تعیین شده است.

**۵-۱۲ تجهیزاتی برای قالب گیری دوباره یا متراکم سازی آزمون ها**، (اگر قابل اجرا است).

**۵-۱۳ تجهیزات مختلف** مانند زمان سنج ها با ثانیه شمار، آب مقطر یا دیونیزه، کاردک، چاقو، خط کش، اره سیم-بری و غیره که در آماده سازی آزمون، کاربرد دارند.

## ۶ آزمون

**۶-۱ آزمون هایی که برای آماده کردن آزمون به کار می روند** باید به حدی باشند که حداقل سه آزمون مشابه را بتوان از آن بدست آورد. آماده سازی آزمون ها را در محیطی با دما و رطوبت کنترل شده انجام دهید تا تبادل رطوبت به حداقل برسد.

۶-۱-۱ برای آماده سازی آزمون‌های دست‌نخورده باید دقت زیادی کرد تا از دست‌خوردگی ساختار طبیعی خاک، جلوگیری شود. جرم اولیه آزمون مرطوب را برای استفاده در محاسبات محتوای آب اولیه و وزن واحد آزمون، تعیین کنید.

۶-۲ حداقل قطر برای آزمون‌های دایره‌ای و حداقل عرض برای آزمون‌های مربعی، باید ۵۰ میلی‌متر باشد یا کمتر از ۱۰ برابر اندازه قطر بزرگ‌ترین ذره نباشد (هرکدام از این دو که بزرگ‌ترند) و مطابق نسبت طول به عرض تعیین شده در بند ۶-۴ باشد.

۶-۳ حداقل ضخامت آزمون اولیه باید ۱۲ میلی‌متر باشد، اما نباید کمتر از ۶ برابر بیشینه قطر ذره باشد.

۶-۴ حداقل نسبت قطر به ضخامت یا عرض به ضخامت باید دو به یک باشد.

**یادآوری** - اگر بعد از انجام آزمون، ذرات درشت در خاک پیدا شوند، باید یک دانه‌بندی مطابق با استاندارد بند ۲-۱ انجام شود تا تاییدی بر مشاهدات عینی باشد و نتایج آن باید همراه با گزارش آزمون، ارائه شوند.

## ۶-۵ آماده سازی آزمون

۶-۵-۱ آزمون‌های دست‌نخورده، آزمون‌های دست‌نخورده را از آزمون‌های دست‌نخورده بزرگ و یا از آزمون‌هایی که مطابق با استاندارد بند ۲-۵ تهیه شده‌اند و یا از روش‌های دیگر آزمون‌برداری لوله‌ای دست‌نخورده، به دست آورید. آزمون‌های دست‌نخورده را باید به عنوان طرح کلی برای آزمون‌های گروه C یا D در روش استاندارد بند ۱-۲، نگهداری و منتقل کرد. آزمون‌ها را با دقت با دست حمل کنید طوری که دست‌خوردگی، تغییر در مقطع عرضی یا از دست رفتن محتوای آب، به حداقل برسد. متراکم‌سازی و یا هر نوع دست‌خوردگی قابل توجه، که در نتیجه خروج از آزمون‌بردار است را با تقسیم کردن طول لوله آزمون‌برداری و یا بریدن آزمون‌ها به قطعات کوچکتر، به حداقل برسانید. اگر امکان دارد، بریدن آزمون‌ها را در محیطی انجام دهید که تبادل رطوبتی آزمون به حداقل برسد.

**یادآوری** - یک اتاق با رطوبت بالای کنترل شده برای این منظور، مناسب است.

۶-۵-۲ آزمون‌های متراکم‌شده، آزمون‌ها باید با استفاده از روش متراکم‌سازی آماده شوند، محتوای آب و وزن واحد را ثبت کنید. جعبه برشی را سرهم‌بندی و محکم کنید. یک جاساز متخلخل مرطوب را در کف جعبه برش، قرار دهید. آزمون‌ها ممکن است توسط ورز دادن یا کوبیدن هر لایه، قالب‌گیری شوند تا حجم مورد نظر متراکم شود یا ممکن است توسط تعدیل تعداد لایه، تعداد کوبیدن بر لایه و یا تعدیل نیرو بر لایه، قالب‌گیری شوند. سطح بالای هر لایه را باید قبل از پرکردن لایه بعدی، تراش داد. مرزهای لایه متراکم‌شده باید طوری مستقر شود که در مرز قالب بالایی جعبه برش نباشد، در غیر این صورت، این آزمون مناسب برای یک آزمون خاص تلقی می‌شود. وسیله کوبشی که برای متراکم‌سازی مواد، استفاده می‌شود باید دارای سطح تماس با خاک برابر یا کمتر

از نصف سطح قالب باشد. وزن خاک مرطوب مورد نیاز برای متراکم‌سازی را تعیین کنید و آن را در جعبه برش قرار دهید. خاک را تا زمانی که واحد وزن مطلوب بدست آید، متراکم کنید. جادادن و متراکم‌سازی خاک را تا زمانی که همه آزمون متراکم شود، ادامه دهید.

**یادآوری** - ضخامت مورد نیاز لایه متراکم شده، ممکن است از اندازه‌گیری مستقیم لایه یا از علائم روی میله کوبنده که متناسب با ضخامت لایه قرار گرفته است، بدست آید.

۶-۶ خاک مورد نیاز برای آزمون، از اختلاط کامل خاک و آب کافی بدست می‌آیند تا محتوای آب مطلوبی بدست آید. آزمون قبل از متراکم‌شدن، بر اساس جدول (۱)، نگهداری می‌شود:

جدول (۱) - حداقل زمان نگهداری آزمون‌های خاک با توجه به طبقه‌بندی

حداقل زمان نگهداری، ساعت	طبقه بندی استاندارد مطابق با بند ۲-۷
نیاز ندارد	SW, SP
۳	M
۱۸	SC, ML, CL
۳۶	MH, CH

۶-۷ آزمون‌های متراکم‌شده را همچنین می‌توان از خاک‌های متراکم‌شده با استفاده از روش‌ها و تجهیزات به‌کار رفته در تعیین روابط چگالی-رطوبت خاک (مطابق با استانداردهای بند ۲-۳ یا ۲-۴)، تهیه کرد. آزمون‌های آزمون برش مستقیم را از آزمون‌های بزرگتر، وقتی که هنوز دست نخورده‌اند، جدا کنید.

## ۷ واسنجی

۷-۱ در واقع، واسنجی برای تعیین تغییرشکل دستگاه، وقتی که در معرض بار تحکیم قرار گرفته است، می‌باشد. به‌طوری که برای هر بار تحکیم قائم، ممکن است خطای دستگاه از تغییرشکل‌های مشاهده شده، کم‌تر شود. بنابراین، فقط تغییرشکلی که در نتیجه تحکیم آزمون است را باید برای آزمون‌های انجام‌شده، گزارش کرد. انجام واسنجی برای خصوصیات تغییر شکل بار ابزار در هنگامی که دستگاه برای اولین بار مورد استفاده قرار می‌گیرد و یا هنگامی که قسمت‌های مختلف دستگاه تعویض می‌شوند، ضروری است.

۲-۸ دستگاه برش مستقیم را با یک صفحه واسنجی فلزی با ضخامتی تقریباً مساوی با آزمون مطلوب و قطر یا عرضی حداقل یک میلی‌متر و حداکثر پنج میلی‌متر کوچکتر از قطر یا عرض جعبه برشی را سرهم کنید.

۳-۷ شاخص جابجایی قائم را در محل قرار دهید. این شاخص را تا حدی تراز کنید که بتواند برای اندازه‌گیری تحکیم و یا تورم، برای قرائت صفحه واسنجی، استفاده شود. قرائت صفر یا بدون بار را یادداشت کنید.

۴-۷ افزایش‌های نیروی قائم را تا محدودیت‌های تجهیزات، اعمال کنید و قرائت شاخص جابجایی قائم و نیروی قائم را یادداشت کنید. نیروی قائم اعمالی در جهت عکس نیروی اعمالی را حذف کنید و قرائت شاخص جابجایی قائم و نیروی قائم را یادداشت کنید. میانگین مقادیر را حساب کنید و تغییرشکل بار دستگاه را به عنوان تابعی از بار قائم، ترسیم کنید. نتایج را در تعیین ضخامت آزمون و فشردگی در خود جعبه برشی آزمون، برای رجوع در آینده، نگهداری کنید.

۵-۷ صفحه واسنجی را بردارید.

یادآوری - روش‌های دیگری که درستی آن‌ها ثابت شده است را نیز می‌توان برای واسنجی دستگاه، به کار برد.

## ۸ روش انجام آزمون

### ۱-۸ جعبه برشی را سرهم‌بندی کنید

یادآوری - برای کاهش اصطکاک بین آزمون و جعبه برشی در مدت زمان آزمون می‌توان از یک لایه نازک گریس در درون جعبه برشی استفاده کرد. هرچند که حلقه بالایی در برخی از دستگاه‌های برشی، به اصطکاک نیاز دارند تا بعد از فاصله افتادن بین صفحات برشی، از حلقه حمایت کند. برای کاهش اصطکاک بین دو نیمه جعبه برشی در مدت زمان انجام برش، می‌توان از یک لایه نازک گریس، بین دو نیمه جعبه استفاده کرد. به جای استفاده از گریس برای کاهش اصطکاک، می‌توان از پوشش فلئوروکربن<sup>۱</sup> نیز بر روی این سطوح، استفاده کرد.

۱-۸-۱ آزمون دست‌نخورده، دو جاساز متخلخل مرطوب را در دو طرف آزمون در جعبه برش، قرار دهید. سپس جعبه برشی حاوی آزمون دست‌نخورده و جاسازهای متخلخل را درون نگه‌دارنده جعبه برشی قرار داده و جعبه را ببندید.

یادآوری ۱ - تصمیم‌گیری برای مرطوب‌سازی جاساز متخلخل توسط اشباع کردن جعبه برشی، قبل از اعمال نیروی قائم، به مسائلی وابستگی دارد. برای آزمون‌های دست‌نخورده، با قرار دادن آن‌ها در زیر سطح آب، جاسازهای متخلخل، مرطوب می‌شوند. برای خاک‌های متورم‌شده، توالی تحکیم، رطوبت و برش خوردگی باید مطابق شرایط کارگاه باشد. جرم متراکم‌شده آزمون را یا می‌توان از اندازه‌گیری جرم آزمون‌های که در قالب ریخته‌شده و متراکم‌شده است بدست آورد و یا می‌توان از اختلاف بین جرم جعبه برش و آزمون متراکم‌شده و جرم خالص جعبه برش، بدست آورد.

1- TFE-fluorocarbon

**یادآوری ۲-** در برخی از دستگاه‌ها، نیمه بالایی جعبه برش توسط یک میله شکاف‌دار که در محلی درون نیمه بالایی جعبه برشی، مهار شده، در جای خود قرار گرفته است. نیمه پایینی جعبه برش نیز توسط کمربندهای نگهدارنده ظرف جعبه برشی، در محل خود قرار گرفته‌اند. در برخی از دستگاه‌ها، نیمه بالایی جعبه برشی توسط یک صفحه سپری، در محل خود قرار گرفته‌اند.

**۸-۱-۲ آزمون متراکم‌شده، جعبه برشی حاوی آزمون متراکم‌شده و جاسازهای متخلخل را درون نگه‌دارنده جعبه برشی قرار داده و جعبه را ببندید.**

**۸-۲ سامانه بارگذاری نیروی برشی را متصل و تراز کنید تا حدی که هیچ نیرویی بر دستگاه اندازه‌گیری بار، تحمیل نشود.**

**۸-۳ از موقعیت صحیح و تراز دستگاه اندازه‌گیری جابجایی افقی برای اندازه‌گیری جابجایی برشی، مطمئن شوید.**

**۸-۴ یک جاساز متخلخل مرطوب و صفحه انتقال بار را در بالای آزمون در جعبه برشی، قرار دهید.**  
**۸-۵ دهانه بارگذاری نیروی قائم را در موقعیت قرار دهید و آن را طوری تراز کنید که میله بارگذاری افقی باشد.** برای سامانه‌های بارگذاری اهرم بار ساکن، اهرم را تراز کنید. برای سامانه بارگذاری گازی، دهانه را تا جایی تراز کنید که به‌درستی در مقابل گودی صفحه انتقال بار قرار گیرد. و یا بلبرینگ ساچمه‌ای روی صفحه انتقال بار قرار دهید و تا جایی که ارتباط درست است، تراز کنید.

**۸-۶ یک بار قائم کوچک را برای آزمون، اعمال کنید. بررسی کنید که همه اجزاء سامانه بارگذاری استقرار و در محل خود باشند. جاساز متخلخل بالایی و صفحه انتقال بار باید به اندازه‌ای تراز باشند که مانع از حرکت صفحه انتقال بار، به درون جعبه برشی شود. بار عمودی و بار افقی اعمالی بر سامانه را ثبت کنید.**

**یادآوری -** تنش قائم اعمالی بر آزمون، باید تقریباً ۷ کیلوپاسکال باشد.

**۸-۷ دستگاه اندازه‌گیری جابجایی عمودی را متصل کرده و تنظیم کنید. خوانش اولیه برای دستگاه اندازه‌گیری عمودی و یک خوانش برای دستگاه اندازه‌گیری جابجایی افقی را انجام دهید.**

**۸-۸ در صورت نیاز، جعبه برش را از آب پر کنید و آن را در مدت زمان انجام آزمون، پر نگه‌دارید.**  
**۸-۹ نیروی قائم مورد نیاز برای رسیدن به تنش قائم مطلوب یا افزایش‌های مربوط به آن را محاسبه و یادداشت کنید. تنش قائم مطلوب را توسط افزایش جرم‌های مقتضی به بازوی اهرم آویزان یا توسط افزایش فشار گاز، به-کار ببرید.**

**یادآوری -** نیروی قائم اعمالی بر آزمون، به داده‌های مورد نیاز بستگی دارد. کاربرد نیروی قائم در یک افزایش، ممکن است مختص به خاک‌های نسبتاً سفت باشد. برای خاک‌های نسبتاً نرم، کاربرد نیروی قائم، ممکن است برای جلوگیری از آسیب رسیدن به آزمون، چندین بار افزایش لازم باشد.



۸-۱۰ بار قائم مطلوب یا افزایش مربوط به آن را در آزمون به کار ببرید و شروع کنید به یادداشت قرائت‌های تغییر شکل قائم در مقابل زمان سپری شده. برای همه افزایش‌های بار، قبل از اقدام، تکمیل تحکیم اولیه را بررسی کنید (مطابق با استاندارد بند ۲-۶ را ببینید). جابجایی قائم را در مقابل لگاریتم زمان یا ریشه دوم زمان (به دقیقه)، ترسیم کنید.

۸-۱۱ بعد از اینکه تحکیم اولیه کامل شد، میله‌ها و پیچ‌های امتدادی را از جعبه برش جدا کنید و فاصله بین دو نیمه جعبه برشی را با استفاده از پیچ‌های فاصله‌ای، تقریباً تا ۰.۶۴ میلی‌متر باز کنید. پیچ‌ها را از پشت نمونه خارج شوند.

۸-۱۲ اعمال برش، یک نرخ جابجایی مشخص را انتخاب کنید. آزمون را در یک سرعت نسبتاً آرام برش دهید تا حدی که هیچ فشار منفذی اضافی در گسیختگی وجود نداشته باشد. معادله (۱) به عنوان یک راهنما برای تعیین حداقل زمان تخمینی مورد نیاز از شروع آزمون تا گسیختگی، باید استفاده شود:

$$t_f = 50t_{50} \quad (1)$$

که در آن:

$t_f$  نهایت زمان سپری شده تخمینی تا گسیختگی، بر حسب دقیقه؛  
 $t_{50}$  زمان مورد نیاز برای اینکه آزمون به ۵۰ درصد از تحکیم تحت تنش قائم مورد نیاز برسد بر حسب دقیقه.

یادآوری - اگر از جابجایی قائم در مقابل ریشه دوم زمان استفاده می‌شود،  $t_{50}$  را می‌توان از زمان دستیابی به تحکیم ۹۰ درصد با استفاده از معادله (۲) بدست آورد:

$$t_{50} = \frac{t_{90}}{4.28} \quad (2)$$

که در آن:

$t_{90}$  زمان مورد نیاز آزمون تا ۹۰ درصد تحکیم، تحت تنش قائم مشخص، بر حسب دقیقه؛  
 ۴/۲۸ ثابت وابسته به فاکتورهای زمانی و جابجایی در ۵۰ درصد و ۹۰ درصد تحکیم.

یادآوری ۱- اگر ماده متورم‌شونده است، خاک باید با آب اشباع شود و اجازه داده شود که قبل از افزایش تنش قائم بزرگ به حالت تعادل کافی برسد که می‌تواند این تمایل به تورم، در حداقل زمان مربوط به گسیختگی تعیین شده باشد.

یادآوری ۲- بعضی از خاک‌ها مانند، ماسه‌های متراکم و رس‌هایی که بیش تحکیم یافته‌اند، منحنی‌های تحکیم - زمان را به‌طور واضح، نمایش ندهند. در نتیجه، محاسبات  $t_f$  ممکن است یک تخمین نامناسب از زمان مورد نیاز برای گسیختگی آزمون تحت شرایط زهکشی را ایجاد کند. برای رس‌هایی که بیش تحکیم یافته‌اند، و تحت تنش‌های قائمی کمتر از فشار قبل از تحکیم خاک،

آزمون شده‌اند، پیشنهاد می‌شود که زمان گسیختگی را با استفاده از مقادیر  $t_{50}$  مساوی با مقداری که از رفتار تحکیم - زمان تحکیم قائم بدست آمده است را برآورد کنید. برای ماسه‌های تمیز متراکم که به سرعت زهکشی می‌شوند، برای مقدار  $t_f$ ، ۱۰ دقیقه و برای ماسه‌های متراکم با بیش از ۵ درصد ریزدانه، برای مقدار  $t_f$ ، ۶ دقیقه ممکن است استفاده شود. اگر برای  $t_f$  از مقادیر دیگری استفاده می‌شود باید دلایل انتخاب آن را همراه با نتایج آزمون، شرح داده شود.

۸-۱۳ جابجایی ایجاد شده را از طریق معادله (۳) تعیین کنید:

$$d_r = d_f / t_f \quad (3)$$

که در آن:

$d_f$  نرخ جابجایی بر حسب میلی‌متر بر دقیقه؛

$d_f$  جابجایی افقی برآورد شده در گسیختگی بر حسب میلی‌متر؛

$t_f$  انتهای زمان سپری‌شده تخمینی تا گسیختگی بر حسب دقیقه.

**یادآوری -** اندازه جابجایی تخمینی در گسیختگی، به برخی از فاکتورها مثل نوع خاک و سابقه تنش خاک بستگی دارد. به عنوان راهنما، اگر ماده مورد آزمون، خاک ریزدانه باشد که به‌طور قائم و آهسته، تحکیم زیادی پیدا کرده باشد از  $d_f$  برابر با ۱۲ میلی‌متر استفاده کنید. در غیر این صورت از  $d_f$  برابر با ۵ میلی‌متر، استفاده کنید.

۸-۱۳-۱ **انتخاب و تنظیم نرخ جابجایی**، برای برخی از انواع وسایل، نرخ جابجایی را می‌توان با استفاده از ترکیب موقعیت‌های اهرم و چرخ‌دنده‌ها، بدست آورد. برای برخی دیگر نیز نرخ جابجایی را از تعدیل سرعت موتور به-دست می‌آید.

۸-۱۳-۲ زمان اولیه، جابجایی‌های افقی و عمودی، و نیروهای قائم و برشی را ثبت کنید.

۸-۱۳-۳ وسایل و برش اولیه را راه‌اندازی کنید.

۸-۱۳-۴ خوانش داده‌های زمانی، جابجایی عمودی و افقی، و نیروی برشی در فواصل مطلوب جابجایی را بدست آورید. خوانش داده‌ها را باید در فواصل جابجایی برابر با ۲ درصد از قطر یا عرض آزمون، انجام داد تا منحنی تنش برشی - جابجایی به‌درستی تعریف شود.

**یادآوری ۱-** خوانش‌های اضافی ممکن است در شناسایی مقدار بیشینه تنش برشی مواد ترد یا تحکیم‌یافته، مفید باشند.

**یادآوری ۲-** ممکن است لازم باشد که آزمون را متوقف کنید و بین دو قسمت جعبه برشی، دوباره فاصله بیاندازید تا فاصله باز بین دو قسمت جعبه برشی، حفظ شود.

۸-۱۳-۵ بعد از اینکه گسیختگی ایجاد شد، ابزار آزمون را متوقف کنید. این جابجایی ممکن است در محدوده ۱۰ درصد تا ۲۰ درصد از طول یا قطر قائم آزمونه باشد.

۸-۱۳-۶ نیروی قائم را از آزمونه حذف کنید. این کار را می‌توان با حذف وزن از اهرم و آویزها و یا آزاد کردن فشار، انجام داد.

۸-۱۴ برای آزمونه‌های چسبنده، دو قسمت جعبه برشی را با یک حرکت برشی در امتداد صفحه گسیختگی، جدا کنید. دو قسمت جعبه برشی را به‌طور عمودی نسبت به سطح گسیختگی، نکشید زیرا ممکن است باعث آسیب به آزمونه شود. از سطح گسیختگی عکس بگیرید یا طرح ساده آن را بکشید و یا توصیف آن را بنویسید. این روش برای آزمونه‌های غیر چسبنده، کارایی ندارد.

۸-۱۵ آزمونه را از جعبه برشی برداشته و مطابق با استاندارد بند ۲-۶، محتوای آب آن را بدست آورید.

۸-۱۶ تنش برشی ظاهری در مقابل جابجایی جانبی نسبی را محاسبه و ترسیم کنید.

## ۹ محاسبات

موارد زیر را محاسبه کنید:

۹-۱ تنش برشی ظاهری، که بر روی آزمونه اثر می‌کند، برابر است با رابطه (۴):

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (4)$$

که در آن:

$\tau$  تنش برشی ظاهری، بر حسب کیلوپاسکال؛

$F$  نیروی برشی بر حسب نیوتن؛

$A$  مساحت اولیه آزمونه، بر حسب میلی‌مترمربع.

۹-۱-۲ تنش قائم اعمال شده بر روی آزمونه برابر است با رابطه (۵):

$$\sigma = \frac{N}{A} \quad (5)$$

که در آن:

$\sigma$  تنش قائم، بر حسب کیلوپاسکال؛

$N$  نیروی عمودی قائم اعمال شده بر روی آزمونه، بر حسب نیوتن.

**یادآوری** - فاکتورهایی که در ترکیب با فرضیه‌های مربوط به مساحت واقعی سطح آزمون هستند، بیش از نیروهای قائم و برشی که اندازه‌گیری شده‌اند، در محاسبه مقادیر تنش قائم یا برشی یا هردو، به کار می‌روند. اگر تصحیح انجام می‌شود، باید دلایل منطقی استفاده از آن را همراه با نتایج آزمون، شرح داد.

**۳-۱-۹ نرخ جابجایی**، نرخ جابجایی واقعی را از تقسیم جابجایی جانبی نسبی به زمان سپری شده، محاسبه کنید و یا نرخ استفاده شده در این آزمون را گزارش کنید.

$$d_r = d_f / t_f \quad (۶)$$

که در آن:

$d_r$  نرخ جابجایی، بر حسب میلی‌متر بر دقیقه؛  
 $d_h$  جابجایی جانبی نسبی، بر حسب میلی‌متر؛  
 $t_e$  زمان سپری شده از آزمون، بر حسب دقیقه.

**۴-۱-۹ درصد جابجایی جانبی نسبی**، جابجایی جانبی نسبی را برای خوانش هر نیروی برشی را مطابق با رابطه (۷)، محاسبه کنید.

$$d_p = d_i / d_h \quad (۷)$$

که در آن :

$d_p$  درصد جابجایی جانبی نسبی، بر حسب درصد؛  
 $d_h$  جابجایی فزاینده، بر حسب میلی‌متر.

**۵-۱-۹ نسبت حفرات اولیه**، وزن واحد خشک و درجه اشباع بر اساس وزن مخصوص، محتوای آب اولیه، جرم و حجم آزمون نهایی را به دست آورید. حجم آزمون را می‌توان با اندازه‌گیری طول یا قطر جعبه برشی و اندازه‌گیری ضخامت آزمون می‌توان بدست آورد.

## ۱۰ گزارش آزمون

گزارش آزمون حداقل باید شامل اطلاعات زیر باشد:

- ۱-۱۰ ارجاع به این استاندارد ملی ایران؛
- ۲-۱۰ روش‌شناسی استفاده شده در تعیین چگونگی ثبت داده‌ها در ورقه‌ها و فرم‌های اطلاعات مطابق بند ۱-۷؛
- ۳-۱۰ اطلاعات (داده‌های) کلی زیر را به عنوان یک حداقل، ثبت کنید:
- ۱-۳-۱۰ هویت، طرح و موقعیت آزمونه؛
- ۲-۳-۱۰ توصیف نوع دستگاه برشی استفاده شده در آزمون؛
- ۳-۳-۱۰ توصیف ظاهر آزمونه مطابق با استاندارد بند ۲-۹ (استاندارد بند ۲-۸ ممکن است نیز استفاده شود)، حدود اتربرگ<sup>۱</sup> (استاندارد بند ۲-۱۳) و اطلاعات مربوط به اندازه دانه (استاندارد بند ۲-۱)، اگر بدست آمد (بند ۴-۶ را ببینید)؛
- ۴-۲-۱۰ توصیف ساختار خاک، که آیا آزمونه دست‌نخورده، دوباره قالب‌گیری شده، متراکم‌شده است یا طور دیگری آماده سازی شده است؛
- ۵-۲-۱۰ محتوای اولیه و نهایی آب؛
- ۶-۲-۱۰ جرم خشک و وزن واحد رطوبت اولیه و نهایی؛
- ۷-۲-۱۰ وزن واحد خشک اولیه و نهایی؛
- ۸-۲-۱۰ قطر و ضخامت اولیه (و عرض برای جعبه برش مربعی)؛
- ۹-۲-۱۰ تنش قائم، نرخ تغییرشکل، جابجایی برشی، مقدار تنش برشی ظاهری متناظر و تغییرات ضخامت آزمونه؛
- ۱۰-۲-۱۰ ترسیم لگاریتم زمان یا ریشه دوم زمان را در مقابل تغییر شکل بارها  $t_{50}$  معین؛
- ۱۱-۲-۱۰ ترسیم تنش برشی ظاهری را در مقابل درصد جابجایی جانبی نسبی؛
- ۱۲-۲-۱۰ انحراف از مسیر فرایند مانند توالی‌های بارگذاری خاص یا لزوم رطوبت‌دهی خاص.

## ۱۱ دقت و اریبی

- ۱-۱۱ دقت، داده کافی برای بیان دقت وجود ندارد.
- ۲-۱۱ اریبی، داده کافی برای بیان اریبی وجود ندارد.