

استاندارد ملی ایران



جمهوری اسلامی ایران

Islamic Republic of Iran

سازمان ملی استاندارد ایران

۱۰۷۳۱

تجدیدنظر اول

۱۳۹۶

INSO

10731

1st. Revision

2018

Iranian National Standardization Organization

خاک - تعیین حد روانی، حد خمیری،
و نشانه خمیری - روش‌های آزمون

**Soil- Determination of liquid limit, plastic
limit, and plasticity index
- Test methods**

ICS: 93.020

سازمان ملی استاندارد ایران

تهران، ضلع جنوب غربی میدان ونک، خیابان ولیعصر، پلاک ۲۵۹۲

صندوق پستی: ۱۴۱۵۵-۶۱۳۹ تهران- ایران

تلفن: ۸۸۸۷۹۴۶۱-۵

دورنگار: ۸۸۸۸۷۱۰۳ و ۸۸۸۸۷۰۸۰

کرج، شهر صنعتی، میدان استاندارد

صندوق پستی: ۳۱۵۸۵-۱۶۳ کرج - ایران

تلفن: (۰۲۶) ۳۲۸۰۶۰۳۱-۸

دورنگار: (۰۲۶) ۳۲۸۰۸۱۱۴

رایانامه: standard@isiri.gov.ir

وبگاه: <http://www.isiri.gov.ir>

Iranian National Standardization Organization (INSO)

No. 2592 Valiasr Ave., South western corner of Vanak Sq., Tehran, Iran

P. O. Box: 14155-6139, Tehran, Iran

Tel: + 98 (21) 88879461-5

Fax: + 98 (21) 88887080, 88887103

Standard Square, Karaj, Iran

P.O. Box: 31585-163, Karaj, Iran

Tel: + 98 (26) 32806031-8

Fax: + 98 (26) 32808114

Email: standard@isiri.gov.ir

Website: <http://www.isiri.gov.ir>

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

سازمان ملی استاندارد 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.

تدوین استاندارد در حوزه‌های مختلف در کمیسیون‌های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب‌نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می‌شود 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، مصرفکنندگان، صادرکنندگان و واردکنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان‌های دولتی و غیردولتی حاصل می‌شود. پیش‌نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی نفع و اعضای کمیسیون‌های فنی مربوط ارسال می‌شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادها در کمیته ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می‌شود.

پیش‌نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان‌های علاقه‌مند و ذی صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می‌کنند در کمیته ملی طرح، بررسی و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می‌شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می‌شود که بر اساس مقررات استاندارد ملی ایران شماره ۵ تدوین و در کمیته ملی استاندارد مربوط که سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می‌شود به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین‌المللی استاندارد (ISO)^۱، کمیسیون بین‌المللی الکترونیک (IEC)^۲ و سازمان بین‌المللی اندازه‌شناسی قانونی (OIML)^۳ است و به عنوان تنها رابط^۴ کمیسیون کدکس غذایی (CAC)^۵ در کشور فعالیت می‌کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی‌های خاص کشور، از آخرین پیشرفتهای علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین‌المللی بهره‌گیری می‌شود.

سازمان ملی استاندارد ایران می‌تواند با رعایت موادین پیش‌بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرفکنندگان، 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 کند. سازمان ملی تواند به منظور حفظ بازارهای بین‌المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه‌بندی آن را اجباری کند. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده کنندگان از خدمات سازمان‌ها و مؤسسات فعال در زمینه مشاوره، آموزش، بازارسی، ممیزی و صدور گواهی سیستم‌های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست محیطی، آزمایشگاه‌ها و مراکز واسنجی (کالیبراسیون) و سایل سنجش، سازمان ملی استاندارد این گونه سازمان‌ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می‌کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامه تأیید صلاحیت به آن‌ها اعطا و بر عملکرد آن‌ها نظارت می‌کند. ترویج دستگاه بین‌المللی یکاه، واسنجی و سایل سنجش، تعیین عیار فلزات گرانبهای 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 for Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legale)

4 - Contact point

5 - Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

«خاک - تعیین حد روانی، حد خمیری و نشانه خمیری - روش‌های آزمون»

سمت و / یا محل اشتغال

رئیس:

شرکت آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک

اسماعیلی طاهری، محسن
(کارشناسی ارشد مهندسی عمران)

دبیر:

شرکت آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک

زمانی‌فر، الهام
(دکتری شیمی معدنی)

اعضاء: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

شرکت آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک

امیری، علی
(کارشناسی ارشد خاک و پی)

شرکت پرشیا قیر توس

پرویزی، سعید
(کارشناسی ارشد راه و ترابری)

سندیکای شرکت‌های ساختمانی

پورشیرازی، محمدعلی
(کارشناسی ارشد مهندسی عمران)

انجمان شرکت‌های راهسازی ایران

خدابرنگ، بهرنگ
(کارشناسی مهندسی عمران)

شرکت مهندسی مشاور مهاب قدس

خرسروی، نسیم
(کارشناسی مهندسی عمران)

دانشگاه علم و صنعت

دیواندری، حسن
(دکتری مهندسی عمران)

وزارت راه و شهرسازی

رحیمی، محسن
(کارشناسی ارشد مهندسی عمران)

سمت و / یا محل اشتغال

اعضاء: (اسامي به ترتيب حروف الفبا)

شرکت آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک	زندیه وکیلی، محمد (کارشناسی زمین‌شناسی مهندسی)
شرکت ساخت و توسعه زیربناهای حمل و نقل کشور	سعیدی، محسن (کارشناسی ارشد راه و ترابری)
شرکت نفت پاسارگاد	سیفزاده، حمیدرضا (کارشناسی ارشد مهندسی صنایع)
مهندسان مشاور ایران استن	شیرازیان، شهرام (دکتری مهندسی ساختمانی)
شرکت فومن شیمی گستر	فروتن، سارا (کارشناسی ارشد مهندسی شیمی)
شرکت آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک	مسجودی، مسعود (کارشناسی ارشد مهندسی عمران)
شرکت نفت پاسارگاد	محمدنیا، امیررضا (کارشناسی مهندسی مکانیک)
شرکت بهین پالایش نفت قشم	مرشد زاده، علی (کارشناسی مهندسی شیمی)
دانشگاه صنعتی شریف	معتمد، آرش (دکتری مهندسی عمران)
شرکت نفت پاسارگاد	منیعی، سحر (کارشناسی ارشد شیمی)
شرکت آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک	مهرداد، سمیه (کارشناسی مترجمی زبان انگلیسی)

سمت و / یا محل اشتغال

اعضاء: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

شرکت ساخت و توسعه زیربناهای حمل و نقل کشور

منجمی، محمد

(کارشناسی ارشد مهندسی عمران)

مرکز مطالعات ژئوتکنیک و مقاومت مصالح شهرداری
تهران

نوروز زاده، حسن

(کارشناسی شیمی)

ویراستار

شرکت آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک

اسماعیلی طاهری، محسن

(کارشناسی ارشد مهندسی عمران)

فهرست مندرجات

عنوان	صفحه
پیش گفتار	ح
هدف و دامنه کاربرد	۱
مراجع الزامی	۲
اصطلاحات و تعاریف	۳
خلاصه روش آزمون	۴
کلیات	۵
مداخلات	۶
وسایل	۷
مواد و شناساگرها	۸
نمونه برداری و آزمونه	۹
واسنجی وسایل	۱۰
روش‌های آماده‌سازی آزمونه	۱۱
روش اجرای آزمون در تعیین حد روانی به روش الف (روش چند نقطه‌ای)	۱۲
محاسبه حد روانی به روش الف (روش چند نقطه‌ای)	۱۳
روش اجرای آزمون در تعیین حد روانی به روش ب (روش تک نقطه‌ای)	۱۴
محاسبه حد روانی به روش ب (روش تک نقطه‌ای)	۱۵
آماده‌سازی آزمونه حد خمیری	۱۶
روش اجرای آزمون برای حد خمیری	۱۷
محاسبه حد خمیری	۱۸
محاسبه نشانه خمیری	۱۹
بیان نتایج آزمون: فرم‌ها یا برگه‌های آزمون	۲۰
دقت و اربیتی	۲۱
پیوست الف (الزامی) دستگاه تعیین برجهندگی	۳۱
پیوست ب (آگاهی دهنده) نمونه برگه داده‌های آزمون	۳۲

پیش‌گفتار

استاندارد «خاک - تعیین حد روانی، حد خمیری و نشانه خمیری- روش‌های آزمون» که نخستین بار در سال ۱۳۸۷ تدوین و منتشر شد، بر اساس پیشنهادهای دریافتی و بررسی و تایید کمیسیون‌های مربوط برای اولین بار مورد تجدیدنظر قرار گرفت و درهفت‌صد و شصت و نهمین اجلاسیه کمیته ملی استاندارد مهندسی ساختمان و مصالح و فرآورده‌های ساختمانی مورخ ۱۳۹۶/۱۲/۱۴ تصویب شد، 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.

استانداردهای ملی ایران بر اساس استاندارد ملی ایران شماره ۵ (استانداردهای ملی ایران - ساختار و شیوه نگارش) تدوین می‌شوند. برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در صورت لزوم تجدیدنظر خواهند شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارایه شود، هنگام تجدید نظر در کمیسیون فنی مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی ایران استفاده کرد.

این استاندارد جایگزین استاندارد ملی ایران شماره ۱۰۷۳۱: سال ۱۳۸۷ می‌شود.

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

ASTM D4318: 2017, Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils.

خاک - تعیین حد روانی، حد خمیری و نشانه خمیری - روش‌های آزمون

هشدار - در این استاندارد تمام موارد ایمنی و بهداشتی درج نشده است. در صورت مواجهه با چنین مواردی، مسئولیت برقراری شرایط بهداشت و ایمنی مناسب و اجرای آن بر عهده کاربر این استاندارد است.

۱ هدف و دامنه کاربرد

۱-۱ هدف از تدوین این استاندارد بیان روش‌هایی برای تعیین حد روانی، حد خمیری و نشانه خمیری خاک‌ها است.

۲-۱ دو روش برای آماده‌سازی آزمون‌ها بیان شده است: آماده‌سازی به روش اول (آماده‌سازی تر) و آماده‌سازی به روش دوم (آماده‌سازی خشک) که به ترتیب در زیربندهای ۱-۱۰ و ۲-۱۰ شرح داده شده است. روش مورد استفاده برای آماده‌سازی آزمونه، باید از سوی کارشناس درخواست دهنده آزمون مشخص شود. چنانچه روشی برای آماده‌سازی آزمونه مشخص نشده باشد، از روش آماده‌سازی تر استفاده شود. (بند ۶ مداخلات را ببینید).

۳-۱ دو روش برای تعیین حد روانی به این شرح ارایه شده است:
تعیین حد روانی به روش الف: آزمون چند نقطه‌ای طبق بندھای ۱۲ و ۱۳.
تعیین حد روانی به روش ب: آزمون تک نقطه‌ای طبق بندھای ۱۳ و ۱۴.
روش مورد استفاده باید از سوی کارشناس درخواست کننده مشخص شود. چنانچه روشی مشخص نشده باشد، روش الف استفاده شود. (بند ۶ مداخلات را ببینید).

۴-۱ آزمون حد خمیری روشی برای تعیین حد خمیری می‌باشد که روی مصالح آماده شده برای آزمون حد روانی انجام می‌شود. هنگام تعیین حد خمیری، دو روش برای غلتاندن بخش‌های آزمونه به این شرح انجام می‌شود: غلتاندن به روش اول برای تعیین حد خمیری (روش دستی)، غلتاندن به روش دوم برای تعیین حد خمیری (با استفاده از وسیله غلتاندن آزمونه).

۵-۱ حد روانی و حد خمیری خاک‌ها (همراه با حد انقباض)^۱، اغلب حدود آتربرگ^۲ خوانده می‌شوند. این حدّها، مرز میان حالت‌های مختلف قوام خاک‌های خمیری را مشخص می‌کنند.

۶-۱ نشانه خمیری روشی برای تعیین نشانه خمیری می‌باشد که با استفاده از نتایج آزمون حد روانی و حد خمیری محاسبه می‌شود.

1 -Shrinkage limit

2- Atterberg limits

- ۷-۱ روش‌های ارایه شده در این استاندارد تنها بر روی بخشی از خاک، که از الک ۴۲۵ میکرومتر (شماره ۴۰) عبور کرده، انجام می‌شود. بنابراین هنگامی که این آزمون‌ها برای ارزیابی ویژگی‌های خاک به کار می‌روند، اثر نسبی این بخش از خاک بر ویژگی‌های کل نمونه باید در نظر گرفته شود.
- ۸-۱ در این استاندارد، مشخصات اندازه الک "جایگزین" برای الک‌های ۴۲۵ میکرومتری و ۲۰۰ میلی‌متری که در استاندارد ASTM E11 بیان شده است در پرانتز ارایه شده است: الک ۴۲۵ میکرومتری (شماره ۴۰)، الک ۲۰۰ میلی‌متری (شماره ۱۰).
- ۹-۱ تمام مقادیر مشاهده شده و محاسبه شده باید طبق راهنمای رقم‌های معنادار و گرد کردن در استاندارد ASTM D6026 باشد.
- ۱۰-۱ روش‌های به کار رفته برای مشخص کردن چگونگی گردآوری، یادداشت یا محاسبه داده‌ها در این استاندارد، استاندارد صنعتی در نظر گرفته می‌شود. علاوه بر آن، این روش‌ها معرف رقم‌های معناداری هستند که بهتر است نگهداری شوند. در روش‌های به کار رفته، تغییر مصالح، هدف از به دست آوردن داده‌ها، مطالعاتی با اهداف خاص یا هر گونه ملاحظه هدف‌های کاربر در نظر گرفته نشده‌اند و معمول است که رقم‌های معنادار یا داده‌های گزارش شده، برای هماهنگی با چنین هدف‌هایی افزایش یا کاهش داده شوند. پرداختن به رقم‌های معنادار که در روش‌های تحلیلی با هدف طراحی مهندسی به کار می‌روند، خارج از دامنه کاربرد این استاندارد است.

۲ مراجع الزامی

در مراجع زیر ضوابطی وجود دارد که در متن این استاندارد به صورت الزامی به آن‌ها ارجاع داده شده است. بدین ترتیب آن ضوابط جزئی از این استاندارد ملی ایران محسوب می‌شود.

در صورتی که به مرجعی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدیدنظرهای بعدی آن برای این استاندارد الزام‌آور نیست. در مورد مراجعی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن‌ها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدید نظر و اصلاحیه‌های بعدی برای این استاندارد الزام‌آور است.

استفاده از مراجع زیر برای کاربرد این استاندارد الزامی است:

2-1 ASTM C702, Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils.

یادآوری - استاندارد ملی ایران شماره ۷۱۴۶، سال ۱۳۹۳، سنگدانه - کاهش دادن نمونه سنگدانه تا اندازه آزمون - آیین کار، با استفاده از استاندارد ASTM C702/702 M: 2011 تدوین شده است.

2-2 ASTM D75 Practice for Sampling Aggregates.

یادآوری - استاندارد ملی ایران شماره ۱۱۲۶۷: سال ۱۳۹۴، سنجدانه - نمونه برداری از سنجدانه‌ها - آینکار، با استفاده از استاندارد ASTM D75/D75 M: 2014 تدوین شده است.

2-3 ASTM D420 Guide to Site Characterization for Engineering Design and Construction Purposes.

یادآوری - استاندارد ملی ایران شماره ۷۸۲۸: سال ۱۳۹۴، خاک - روش طبقه‌بندی خاک‌ها برای اهداف مهندسی - آینکار، با استفاده از استاندارد ASTM D2487: 2011 تدوین شده است.

2-4 ASTM D2216, Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass.

یادآوری - استاندارد ملی ایران شماره ۷۸۸۳: سال ۱۳۸۳، خاک - تعیین درصد رطوبت - روش آزمون، با استفاده از استاندارد ASTM D 2216: 1998 تدوین شده است.

2-5 ASTM D3282, Practice for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes.

یادآوری - استاندارد ملی ایران شماره ۷۸۲۳: سال ۱۳۹۰، خاک - طبقه‌بندی خاک‌ها و مخلوط‌های خاک-سنگدانه - آینکار، با استفاده از استاندارد ASTM D3282:2009 تدوین شده است.

2-6 ASTM D420, Guide to Site Characterization for Engineering, Design and Construction Purposes.

2-7 ASTM D653, Terminology Relating to Soil, Rock, and Contained Fluids.

2-8 ASTM D1241, Specification for Materials for Soil- Aggregate Subbase, Base, and Surface Courses.

2-9 ASTM D3740, Practice for Minimum Requirements for Agencies Engaged in the Testing and/or Inspection of Soil and Rock as Used in Engineering Design and Construction.

2-10 ASTM D4542, Test Method for Pore Water Extraction and Determination of the Soluble Salt Content of Soils by Refractometer.

2-11 ASTM D4753, Guid for Evaluating, Selecting, and Specifying Balances and Standard Masses for Use in Soil, Rock, and Construction Materials Testing.

2-12 ASTM D6026, Practice for Using Significant Digits in Geotechnical Data.

2-13 ASTM E11, Specification for Woven Wire Test Sieves Cloth and Test Sieves.

2-14 ASTM E177, Practice for Use of Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods.

2-15 ASTM E691, Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method.

۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد علاوه بر اصطلاحات و تعاریف ارایه شده در استاندارد ASTM D653، اصطلاحات و تعاریف زیر نیز به کار می‌رود. تعاریف زیر که در استاندارد ASTM D653، ارایه شده است، برای سهولت در این استاندارد بیان شده است. حرف ایتالیک "D" نشان می‌دهد واحدهای به کار رفته برای بیان اصطلاحات و تعاریف، بی بعد هستند.

۱-۳

حدود آتربرگ

atterberg limits

نخستین بار، آلبرت آتربرگ شش حد را برای قوام خاک‌های چسبنده ریزدانه، به این شرح تعریف کرد: حد بالایی جریان لزج، حد روانی، حد چسبناکی، حد چسبانندگی، حد خمیری و حد انقباض. امروزه در کاربرد مهندسی، حدود آتربرگ تنها به حد روانی، حد خمیری و در برخی از مراجع حد انقباض نیز گفته می‌شود.

۲-۳

$D/(LL, w_L)$ حد روانی

liquid limit

میزان رطوبت خاک‌های چسبنده بر حسب درصد، در یک مرز تعریف شده قراردادی میان حالت نیمه‌روان و خمیری است.

یادآوری - مقاومت برشی زهکشی‌نشده خاک در حد روانی، تقریباً دو کیلوپاسکال در نظر گرفته می‌شود.

۳-۳

$D/(PL, w_P)$ حد خمیری

plastic limit

میزان رطوبت خاک‌های چسبنده بر حسب درصد در یک مرز میان حالت خمیری و نیمه جامد است.

۴-۳

خاک خمیری

plastic soil

خاکی است که در گسترهای از درصد رطوبت، ویژگی خمیری از خود نشان می‌دهد و به هنگام خشک شدن، شکل خود را حفظ خواهد کرد.

۵-۳

نشانه خمیری (PI)

plasticity index

گسترهای از درصد رطوبت است که در آن، خاک‌های چسبنده، رفتار خمیری دارد. نشانه خمیری از نظر عددی با تفاضل حد روانی و حد خمیری برابر است.

۶-۳

قوام

consistency

سهولت نسبی در تغییر شکل یافتن خاک است.

۷-۳

$J/D(I_v, C_r)$

relative consistency

قوام نسبی در خاک‌های چسبنده، «نسبت تفاضل میزان رطوبت و حد روانی در وضعیت مورد نظر» به «نشانه خمیری خاک» است.

۸-۳

$J/D(I_L)$

liquidity index

نشانه روانی که همان نشانه خمیری می‌باشد در خاک‌های چسبنده نسبت «درصد رطوبت خاک منهای حد خمیری آن» به «نشانه خمیری خاک» است که به درصد بیان می‌شود.

۹-۳

عدد فعالیت (A)

activity number

عدد فعالیت در خاک‌های چسبنده، نسبت «نشانه خمیری خاک» به «درصد جرمی ذرات دارای قطر معادل کوچک‌تر از دو میکرومتر» است.

۴ خلاصه روش آزمون

- ۱-۴ آزمونه از مصالح عبوری از الک ۴۲۵ میکرومتری (شماره ۴۰) فراهم می‌شود.
- ۲-۴ حد روانی با انجام آزمون‌هایی تعیین می‌شود که در هر یک، بخشی از آزمونه در جام برنجی پخش شده و با استفاده از شیارزن، دو بخش می‌شود، سپس با ضربه‌های ایجاد شده در اثر سقوط پیاپی جام در دستگاه مکانیکی استاندارد، این دو بخش به سوی هم جریان می‌یابند. تعیین حد روانی به روش الف (روش چند نقطه‌ای)، یا روش ب (روش تک نقطه‌ای)، انجام می‌شود.
- ۳-۴ برای تعیین حد خمیری، بخش کوچکی از خاک خمیری به طور پیاپی (میان انگشتان دست) به هم فشرده و سپس روی یک صفحه شیشه‌ای غلتانده می‌شود تا فتیله‌ای به قطر $\frac{3}{2}$ میلی‌متر تشکیل شود. این عمل تا هنگامی که درصد رطوبت آن به اندازه‌ای کاهش یابد که فتیله خرد شود و دیگر نتوان آن را به هم فشرد و غلتاند، تکرار می‌شود. درصد رطوبت خاک در این نقطه به عنوان حد خمیری گزارش می‌شود.
- ۴-۴ نشانه خمیری با تفاضل حد روانی و حد خمیری محاسبه می‌شود.

۵ کلیات

- ۱-۵ این روش‌های آزمون برای تعیین مشخصات بخش ریزدانه خاک‌ها (به استانداردهای ASTM D2487 و ASTM D3282 مراجعه شود) و تعیین مشخصات بخش ریزدانه مصالح ساختمانی (به استاندارد ASTM D1241 مراجعه شود)، به عنوان بخش ضروری از روش‌های طبقه‌بندی خاک به کار می‌روند. همچنین حد روانی، حد خمیری و نشانه خمیری خاک‌ها، چه به صورت جداگانه و چه با هم، به همراه سایر ویژگی‌های خاک در برقراری همبستگی با رفتار مهندسی آن، همچون قابلیت فشردگی، هدایت هیدرولیکی (نفوذپذیری)، تراکم‌پذیری، انقباض-تورم، و مقاومت برشی به کار می‌روند.
- ۲-۵ حددهای روانی و خمیری و درصد رطوبت خاک را می‌توان برای بیان قوام نسبی یا نشانه روانی خاک به کار برد. همچنین نشانه خمیری و درصد ذرات کوچک‌تر از دو میکرومتری را می‌توان برای تعیین عدد فعالیت خاک استفاده کرد.

۳-۵ این روش‌ها اغلب برای ارزیابی مشخصه‌های هوازدگی مصالح رس-شیل^۱ کاربرد دارد. هنگامی که این مصالح در معرض چرخه‌های^۲ ترشدن و خشک شدن متوالی قرار می‌گیرند، حد روانی آنها افزایش می‌یابد. مقدار این افزایش، میزان قابلیت هوازدگی شیل را نشان می‌دهد.

۴-۵ حد روانی خاکی که دارای مقادیر قابل توجهی از مواد آلی است و پیش از آزمون در گرمخانه خشک شده است، تا حد قابل ملاحظه‌ای کاهش خواهد داشت. مقایسه حد روانی نمونه قبل و بعد از خشک کردن در گرمخانه، می‌تواند به عنوان برآورده کیفی از درصد مواد آلی خاک مورد استفاده قرار گیرد (به استاندارد ASTM D2487 مراجعه شود).

یادآوری - کیفیت نتیجه به دست آمده با این استاندارد به مهارت آزمایش‌گرهای آن و مناسب بودن تجهیزات و وسایل به کار رفته بستگی دارد. موسسه‌هایی که دارای معیارهای طبق استاندارد ASTM D3740 هستند، معمولاً توانایی انجام صحیح و علمی آزمون، نمونه‌گیری، بازرگانی، و مانند آن را دارند. کاربران این استاندارد باید توجه داشته باشند که مطابقت با معیارهای استاندارد ASTM D3740 به تنها یک اعتبار نتایج را تضمین نمی‌کند. نتایج معتبر به عوامل بسیاری وابسته است و استاندارد ASTM D3740 معیاری برای ارزیابی برخی از این عوامل را فراهم می‌آورد.

۶ عوامل موثر در تغییر نتایج

۱-۶ حد روانی و حد خمیری بسیاری از خاک‌هایی که پیش از انجام آزمون خشک شده‌اند، ممکن است تفاوت قابل ملاحظه‌ای با مقادیر به دست آمده از نمونه‌های خشک نشده داشته باشد. اگر تعیین حد روانی و حد خمیری خاک‌ها برای تخمین یا همبسته کردن با رفتار مهندسی خاک در حالت رطوبت طبیعی مورد نظر باشد، بهتر است نمونه‌ها قبل از انجام آزمون خشک نشوند؛ مگر آنکه داده‌های مربوط به نمونه‌های خشک، به طور مشخص درخواست شده باشد. بنا به دلایل یاد شده، برای آماده‌سازی آزمونه از روش اول (روش آماده‌سازی تر) استفاده می‌شود به استثنای مواردی که روش دوم (روش آماده‌سازی خشک) از سوی کارشناس درخواست دهنده آزمون مشخص شود.

۲-۶ تعیین حد روانی به روش الف (روش چند نقطه‌ای) معمولاً دقیق‌تر از روش تک نقطه‌ای است. توصیه می‌شود در مواردی که ممکن است نتایج آزمون مورد تردید قرار گیرد یا دقت بیشتر مورد نیاز است، از روش الف (روش چند نقطه‌ای) استفاده شود.

۳-۶ در تعیین حد روانی به روش ب (روش تک نقطه‌ای)، تعیین اینکه چه هنگام آزمونه به طور تقریبی در حد روانی خود قرار دارد، نیازمند قضاؤ آزمایش‌گر است. از این رو توصیه می‌شود آزمایش‌گرهای کم تجربه از این روش استفاده نکنند.

۴-۶ رابطه همبستگی که در محاسبه تعیین حد روانی به روش ب (روش تک نقطه‌ای)، به کار می‌رود، ممکن است برای برخی از خاک‌ها مانند خاک‌های آلی یا خاک‌هایی که دست آمده از محیط‌های دریایی فاقد اعتبار باشد. برای تعیین حد روانی چنین خاک‌هایی به شدت توصیه می‌شود که روش چند نقطه‌ای به کار رود.

۵-۶ ترکیب و غلظت نمک‌های محلول موجود در خاک، همان‌گونه که بر مقادیر درصد رطوبت خاک تأثیر دارند، بر مقادیر حد روانی و حد خمیری مؤثرند (به استاندارد ASTM D4542 مراجعه شود). بنابراین توصیه می‌شود خاک‌های به دست آمده از محیط دریابی یا سایر منابع که ممکن است دارای غلظت زیادی از نمک‌های محلول باشند، به طور خاص مورد بررسی قرار گیرند. مقدار رقیق یا غلیظ شدن نمک‌های موجود در این خاک‌ها باید به دقت بررسی شود.

۷ وسایل

۱-۷ دستگاه حد روانی

دستگاه حد روانی، یک وسیله مکانیکی دارای جام برنجی معلق در تماس با بازوی متحرک است که برای کنترل سقوط جام بر روی سطحی از ماده ارتعاعی سخت که کفی دستگاه می‌باشد، طراحی شده است. شکل ۱ بخش‌های اصلی دستگاه و اندازه‌های آنها را نشان می‌دهد. دستگاه را می‌توان با گرداننده دستی یا موتور برقی به کار انداخت.

یادآوری - ابعاد نشانه‌گذاری شده در شکل ۱ که به عنوان ابعاد ضروری مشخص شده‌اند برای ساخت ابزار حد روانی لازم است. انتظار نمی‌رود که آزمایشگاه‌ها قابلیت تایید تمام ابعاد ضروری را داشته باشند. آزمایشگاه‌ها باید توانایی بررسی ابعاد مهم را که در معرض فرسایش هستند مطابق بند ۱-۱۰، بررسی ساییدگی، داشته باشند.

۱-۱-۷ کفی

کفی از ماده ارتعاعی سخت با برجهندگی حداقل ۷۷٪ و حداکثر ۹۰٪ می‌باشد. آزمون‌های برجهندگی را روی کفی کامل شده دستگاه که پایه‌های آن نیز وصل شده‌اند، انجام دهید. جزئیات اندازه‌گیری برجهندگی کفی دستگاه در پیوست الف بیان شده است.

۲-۱-۷ پایه‌های لاستیکی

پایه‌ها، نگهدارنده کفی دستگاه بوده که امکان جداسازی دینامیک آن را از رویه‌ای که دستگاه بر آن قرار می‌گیرد، فراهم می‌کنند.

۳-۱-۷ جام

جامی از جنس برنج که جرم آن به همراه قلاب، ۱۸۵ گرم تا ۲۱۵ گرم است.

۴-۱-۷ بادامک

وسیله‌ای برای بالابردن آرام و پیوسته جام تا بیشترین ارتفاع آن، که در دوران دست کم ۱۸۰ درجه‌ای بادامک ایجاد می‌شود، به گونه‌ای که در هنگام رها شدن بادامک از سوی دنباله آن، سرعت رو به بالا یا پایین در جام ایجاد نشود (حرکت مطلوب بادامک، منحنی بالا رونده با شتاب یکنواخت است).

یادآوری- بادامک و دنباله آن به گونه‌ای طراحی شده است که پس از تماس، حرکتی با شتاب یکنواخت (سهمی شکل) داشته باشد و سقوط بدون سرعت اولیه جام را تأمین کند (به شکل ۱ مراجعه شود). سایر طرح‌ها برای بادامک نیز این ویژگی را ایجاد می‌کنند و می‌توان آنها را به کار برد. اگر الگوی بالابری بادامک- دنباله مشخص نباشد، با سایش یا پرداخت دقیق بادامک و دنباله آن به گونه‌ای که بلندی بادامک دست کم در محدوده چرخش ۲۰ درجه‌ای تا ۴۵ درجه‌ای بادامک ثابت بماند، می‌توان از سرعت صفر در هنگام سقوط جام اطمینان یافت.

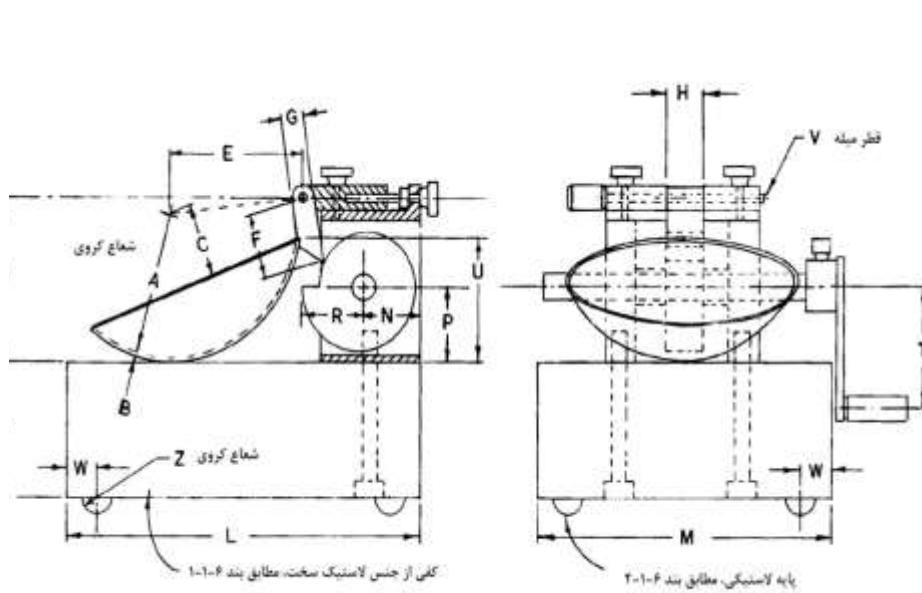
۷-۱-۵ بدن

بدنه چنان ساخته شده که امکان تنظیم آسان و پایدار ارتفاع سقوط جام تا ۱۰ میلی‌متر را فراهم کند و به گونه‌ای طراحی شده که مجموعه جام و قلاب آن با میله قابل انتقال به بدنه متصل شده و به سادگی از آن جدا می‌شود. برای توضیح و تعیین ارتفاع سقوط جام، به شکل ۲ مراجعه شود.

۷-۱-۶ گرداننده موتوری (اختیاری)

به جای گرداننده دستی (در شکل ۱ نشان داده شده است)، برای چرخاندن بادامک می‌توان دستگاه را به یک موتور مجهز کرد. چنین موتوری باید در هر ثانیه بادامک را (10 ± 2) دور بچرخاند و با پشت‌بندهای لاستیکی یا روش دیگر از سایر بخش‌های دستگاه جدا شده تا از انتقال ارتعاش موتور به آنها جلوگیری شود. موتور باید دارای دکمه روشن و خاموش و نیز وسیله‌ای برای قرارگیری مناسب بادامک برای تنظیم ارتفاع سقوط باشد. نتایج به دست آمده با دستگاهی که نیروی محرک آن از موتور تأمین می‌شود، باید با نتایج به دست آمده از دستگاهی که به صورت دستی کار می‌کند، اختلاف داشته باشد.

ابعاد بر حسب میلی متر

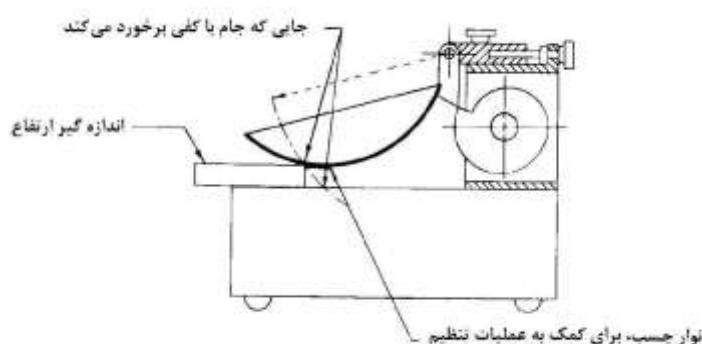


زاویه بادامک درجه	شعاع بادامک
۰	۰,۷۴۲R
۳۰	۰,۷۵۳R
۶۰	۰,۷۶۴R
۹۰	۰,۷۷۳R
۱۲۰	۰,۷۸۴R
۱۵۰	۰,۷۹۶R
۱۸۰	۰,۸۱۸R
۲۱۰	۰,۸۵۴R
۲۴۰	۰,۹۰۱R
۲۷۰	۰,۹۴۵R
۳۰۰	۰,۹۷۴R
۳۳۰	۰,۹۹۵R
۳۶۰	۱,۰۰R

ابعاد دستگاه حد روانی

A*	B*	C*	E*	F	G	H	J*	K*	L*
۵۴±۰,۵	۲±۰,۱	۲۷±۰,۵	۵۶±۲,۰	۳۲	۱۰	۱۶	۶۰±۱,۰	۵۰±۲,۰	۱۵۰±۲,۰
M*	N	P	R	T	U*	V	W	Z	
۱۲۵±۲,۰	۲۴	۲۸	۲۴	۴۵	۴۷±۱,۰	۳۸	۱۳	۶,۵	
* اندازه‌های الزامی									

شکل ۱- دستگاه حد روانی دستی



شکل ۲- تنظیم ارتفاع سقوط

۷-۱-۷ شمارشگر (اختیاری)

دستگاهی برای شمارش خودکار تعداد سقوط‌های جام هنگام فعالیت دستگاه حد روانی.

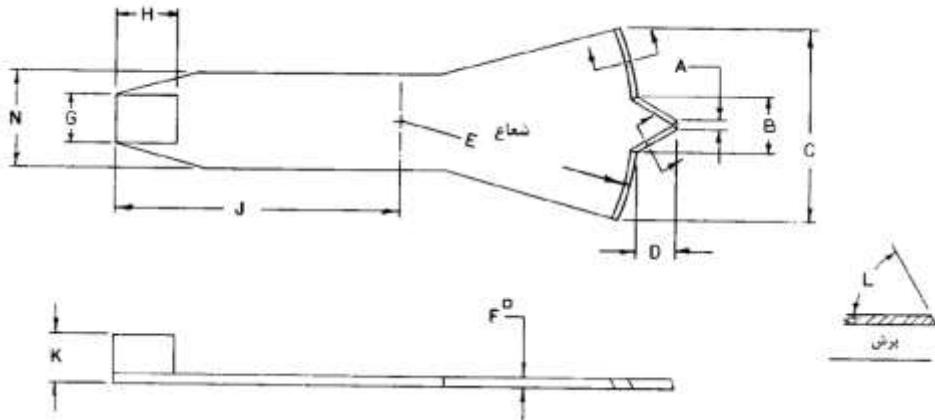
۲-۷ شیارزن مسطح

شیارزن مسطح ابزاری از جنس پلاستیک یا فلز مقاوم در برابر خوردگی با اندازه‌های نشان داده شده در شکل ۳ است. شکل طراحی ابزار، با ثابت نگه داشتن اندازه‌های اصلی آن، می‌تواند متفاوت از شکل ۳ باشد. این ابراز می‌تواند دارای اندازه‌گیر ارتفاع (که با اندازه K نشان داده شده است) برای تنظیم ارتفاع سقوط دستگاه حد روانی باشد؛ هر چند که وجود آن الزامی نیست.

یادآوری ۱- قبل از پذیرش این روش آزمون، شیارزن خمیده به عنوان بخشی از وسایل انجام آزمون حد روانی پذیرفته شده بود. شیارزن خمیده، دقت ابزار مسطح طبق زیربند ۲-۷ را ندارد؛ زیرا این ابزار ضخامت خاک در جام حد روانی را کنترل نمی‌کند. هر چند، داده‌ها نشان می‌دهند هنگامی که شیارزن مسطح به جای شیارزن خمیده به کار می‌رود، مقدار حد روانی به دست آمده معمولاً اندکی افزایش خواهد یافت.

یادآوری ۲- ابعاد نشانه‌گذاری شده در شکل ۱ که به عنوان ابعاد ضروری مشخص شده‌اند برای ساخت ابزار حد روانی لازم است. انتظار نمی‌رود که آزمایشگاه‌ها قابلیت تأیید تمام ابعاد ضروری را داشته باشند آزمایشگاه‌ها باید توانایی بررسی ابعاد مهم را که در معرض فرسایش هستند مطابق زیر بند ۲-۱۰، داشته باشند.

ابعاد بر حسب میلی‌متر



علائم	A**	B**	C**	D**	E**	F**	G	H	J	K**	L**	N	
میلی‌متر	۲±۰/۱	۱۱±۰/۲	۴۰±۰/۵	۸±۰/۱	۵۰±۰/۵	۲±۰/۱	حداقل	۱۰	۱۳	۶۰	۱۰±۰/۰۵	۶۰°±۰/۱	۲۰

** اندازه‌های الزامی

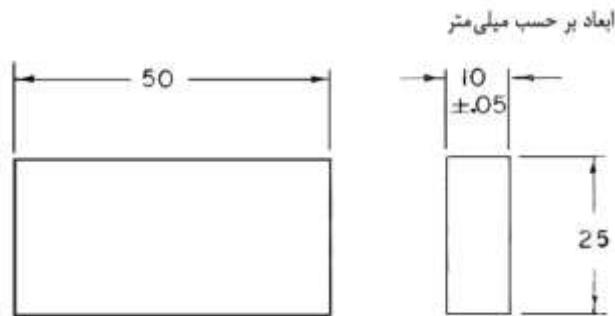
□ حداقل تا فاصله ۱۵ میلی‌متر از نوک شیارزن

یادآوری- اندازه‌های A و D هنگامی که شیارزن نو است باید به ترتیب از ۱/۹ میلی‌متر تا ۲/۰ میلی‌متر و از ۸/۰ میلی‌متر تا ۱/۱ میلی‌متر باشند، تا عمر بهره‌برداری کافی فراهم آید.

شکل ۳ - شیارزن (به همراه اندازه‌گیر اختیاری برای ارتفاع سقوط، K)

۳-۷ ابزار اندازه‌گیر ارتفاع

ابزار فلزی اندازه‌گیر ارتفاع فلزی و به شکل مکعب مستطیل که برای تنظیم ارتفاع سقوط جام به کار می‌رود و دارای ابعاد نشان داده شده، طبق شکل ۴ است. طراحی این ابزار می‌تواند متفاوت باشد؛ به شرط آنکه اندازه‌گیر پس از تماس کامل (بدون آنکه در معرض تکان خوردن باشد) روی کفی دستگاه قرار گیرد و لبه‌ای از آن که در هنگام تنظیم ارتفاع با جام تماس پیدا می‌کند، افقی و دارای پهنای حداقل ۱۰ میلی‌متر و بدون پخی باشد.



شکل ۴- ابزار اندازه‌گیر ارتفاع

۴-۷ ظرف‌های درصد رطوبت

ظرف‌های کوچک مقاوم در برابر خوردگی و دارای درپوش چفت که برای نگهداری آزمونهای درصد رطوبت به کار می‌روند. قوطی‌هایی از جنس آلومینیوم یا فولاد زنگ نزن با ارتفاع ۲,۵ سانتی‌متر و قطر ۵ سانتی‌متر مناسب هستند.

۵-۷ ترازو

ترازو طبق راهنمای ASTM D4753 و از ردۀ GP1 (با توانایی خوانش ۱۰۰ گرم) است.

۶-۷ ظرف همزدن و نگهداری

ظرفی برای همزدن آزمونه خاک (مصالح) و نگهداری مصالح آماده شده. هنگام همزدن و نگهداری، ظرف نباید مصالح را آلووده سازد و باید از افت رطوبت در هنگام نگهداری جلوگیری کند. ظرف چینی، شیشه‌ای یا پلاستیکی با قطر حدود ۱۱,۴ سانتی‌متر و کیسه‌ای پلاستیکی که کاملاً ظرف را بپوشاند، مناسب است.

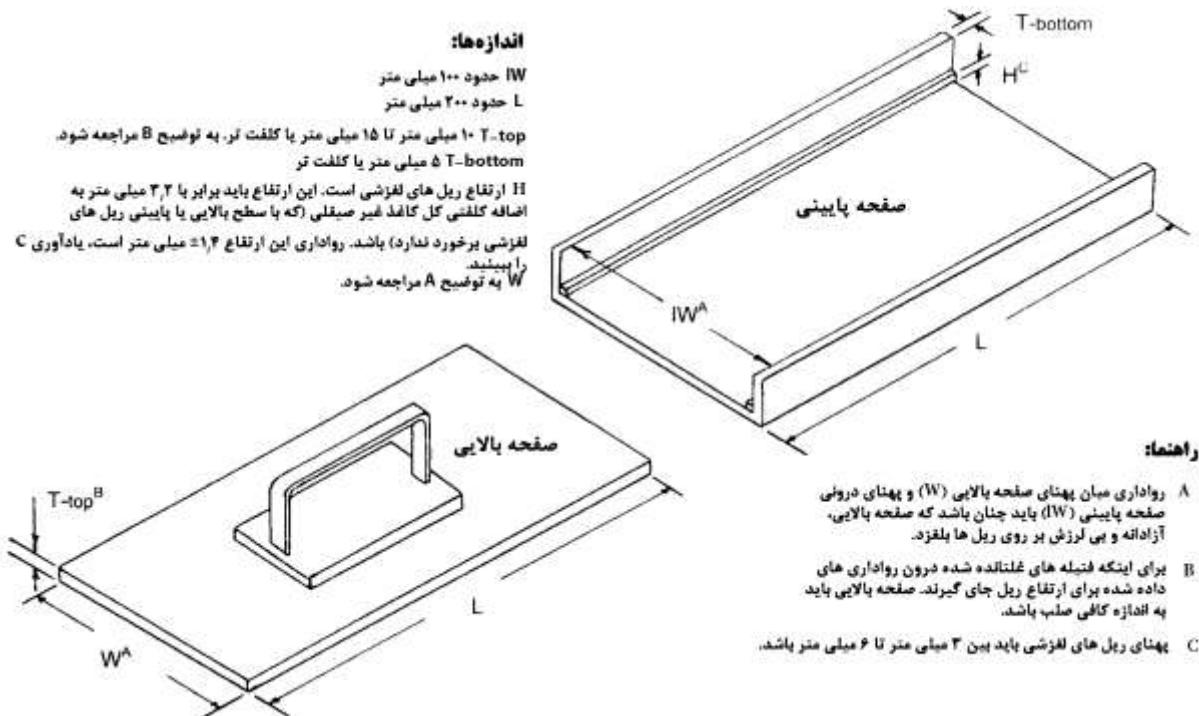
۷-۷ حد خمیری

۱-۷-۷ صفحه شیشه‌ای مسطح غیر صیقلی^۱

صفحة شیشه‌ای مسطح غیر صیقلی با اندازه مناسب برای غلتاندن فتیله‌های حد خمیری.

۲-۷-۷ وسیله غلتاندن آزمونه حد خمیری (اختیاری)

وسیله‌ای ساخته شده از جنس اکریلیک است که ابعاد آن در شکل ۵ نشان داده شده است. کاغذ غیرصیقلی که به صفحه‌های بالایی و پایینی چسبانده می‌شود (طبق زیربند ۱۶-۲-۲) باید از نوعی باشد که هنگام غلتاندن، اجسام خارجی (همچون الیاف، خرد کاغذ و مانند آن) را به خاک اضافه کند.



شکل ۵- ابزار غلتاندن آزمونه حد خمیری

۸-۷ کاردک

کاردکی که پهنهای تیغه آن حدود ۲ سانتی‌متر و طول آن حدود ۱۰ سانتی‌متر تا ۱۳ سانتی‌متر است.

۹-۷ الک(ها)

الک ۴۲۵ میکرومتری (شماره ۴۰) به قطر ۲۰۰ میلی‌متر طبق استاندارد ASTM E11، که لبه آن دست‌کم پنج سانتی‌متر بالای توری باشد. همچنین ممکن است الک ۲۰۰ میلی‌متری (شماره ۱۰) طبق الزامات بیان شده مورد نیاز باشد.

۱۰-۷ آب‌فشن

برای افزودن مقادیر کنترل شده آب به خاک و شستن ذرات ریز از ذرات درشت.

۱۱-۷ گرمخانه

گرمخانه مطابق با الزامات استاندارد ASTM D2216 .

۱۲-۷ ظرف شست و شو

ظرف‌گرد، با کف مسطح و عمق دست کم ۷/۶ سانتی‌متر، که کف آن اندکی بزرگ‌تر از الک به قطر ۲۰/۳ سانتی‌متر است.

۸ مواد و شناساگرها

۱-۸ خلوص آب

در این روش آزمون هر جا از آب مقطر نام برده می‌شود، هم آب مقطر و هم آب فاقد املاح^۱ را می‌توان به کار برد.

۱-۱-۸ خلوص در برخی موارد، کاتیون‌های نمک‌های موجود در آب شهری با کاتیون‌های طبیعی موجود در خاک جابه‌جا می‌شوند، اگر از آب شهری برای خیساندن و شست و شو استفاده شود، نتایج آزمون تا حد قابل ملاحظه‌ای تغییر خواهد کرد. در صورتی که مشخص شود چنین کاتیون‌هایی در آب شهری وجود دارد، بهتر است از آب مقطر یا فاقد املاح استفاده شود.

یادآوری - به عنوان قاعدة کلی، بهتر است از آبی که میزان ذرات جامد معلق آن بیش از ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر است برای خیساندن یا شست و شو استفاده نشود.

۹ نمونه‌برداری و آزمونه

۱-۹ نمونه‌ها را می‌توان از هر محلی که نیازهای آزمون را برآورده می‌سازد، اخذ کرد. هر چند بهتر است از استانداردهای ملی ایران شماره ۱۱۴۶، ۱۱۲۶۷ و ASTM D420 به عنوان راهنمای برای انتخاب و نگهداری نمونه‌هایی به دست آمده از روش‌های مختلف نمونه‌برداری استفاده شود. نمونه‌هایی که از آنها، آزمونه‌هایی به روش آماده‌سازی تر (طبق زیربند ۱-۱۱) فراهم می‌شوند، باید تا قبل از آماده‌سازی در همان درصد رطوبت هنگام نمونه‌برداری نگه داشته شوند.

۱-۱-۹ هرگاه هنگام نمونه‌برداری، لایه‌بندی طبیعی نمونه حفظ شده باشد، لایه‌های مختلف باید جدا از هم نگهداری شده و آزمون‌ها روی لایه مورد نظر باید با کمترین اختلاط ممکن با لایه‌های دیگر انجام شود. هنگامی که مخلوطی از مصالح در فرآیند ساخت به کار می‌رود، نسبت اجزای مختلف نمونه‌ای که به دست می‌آید باید نشان دهندهٔ ترکیب واقعی مصالح ساخت، باشد.

۲-۱-۹ چنانچه داده‌های به دست آمده از این روش‌های آزمون برای همبسته کردن با داده‌های سایر آزمون‌های آزمایشگاهی یا میدانی مورد نظر باشند، در صورت امکان از همان مصالح به کار رفته در آن آزمون‌ها استفاده کنید.

۲-۹ آزمونه

بخش معرف کل نمونه که شامل دست کم ۱۵۰ گرم مصالح عبوری از الک ۴۲۵ میکرومتر (شماره ۴۰) است را انتخاب کنید. نمونه‌ها یا مصالح غیر چسبنده^۱ را می‌توان با روش‌های چهار بخش کردن یا با دستگاه بخش کننده، کاهش داد. مصالح چسبنده را در یک ظرف، با کاردک یا بیلچه، کاملاً مخلوط کنید و با یک یا چند بار حرکت کاردک، بخش معرف نمونه را از میان جرم مخلوط شده بردارید.

۱۰ واسنجی و سایل

۱-۱۰ بررسی ساییدگی

۱-۱-۱۰ دستگاه حد روانی

تمیز بودن و خوب کار کردن دستگاه حد روانی و موارد معین زیر را بررسی کنید.

۱-۱-۱-۱۰ ساییدگی کفی

قطر محلی که روی کفی بر اثر برخورد جام دچار سایش شده، نباید بیش از ۱۰ میلی‌متر باشد. چنانچه ساییدگی بیش از این مقدار باشد، می‌توان برای برداشتن محل ساییده شده، کفی را تراش داد به شرط آنکه تراش دادن کفی، موجب نازک شدن آن به میزان بیشتر از مقدار مشخص شده در زیربند ۱-۷ نشود و حدود اندازه‌ای مشخص شده در شکل ۱ حفظ شوند.

۲-۱-۱-۱۰ ساییدگی جام

هنگامی که شیارزن، شیاری به عمق ۱۰ میلی‌متر در جام ایجاد کرده باشد یا ضخامت لبه جام به نیمی از مقدار اولیه کاهش یافته باشد، جام را تعویض کنید. بررسی کنید که جام به طور محکم به قلاب جام متصل باشد.

۳-۱-۱-۱۰ ساییدگی قلاب جام

از سفت نبودن محور قلاب جام مطمئن شوید. محور قلاب جام نباید به حدی ساییده شده باشد که پایین‌ترین نقطه لبه جام بتواند بیش از سه میلی‌متر حرکت جانبی داشته باشد.

۴-۱-۱-۱۰ ساییدگی بادامک

بادامک نباید تا اندازه‌ای ساییده شده باشد که جام، قبل از آنکه قلاب (دبالة بادامک) تماس خود را با بادامک از دست بدهد، سقوط کند.

۵-۱-۱-۱۰ پایه لاستیکی

پایه باید از لغزیدن یا سر خوردن کفی بر روی سطح کار جلوگیری کند. پایه لاستیکی سخت، ترک‌دار یا شکننده را تعویض کنید.

۲-۱-۱۰ شیارزن‌ها

شیارزن‌ها را به طور مستمر و منظم از نظر سایش بازبینی کنید. سرعت سایش به جنس شیارزن و نوع خاک‌های مورد آزمون بستگی دارد. خاک با مقدار زیادی از ماسه ریزدانه، می‌تواند موجب سایش سریع شیارزن شود. از این رو هنگامی که این مصالح مورد آزمون قرار می‌گیرد، ابزارها باید بیشتر بازبینی شوند.

۱-۲-۱ اندازه‌های اصلی شیارزن که برای سایش مورد بررسی قرار می‌گیرد اندازه طول و عرض (اندازه A و D) نشان داده شده در شکل ۳ نوک شیارزن است.

یادآوری - عرض نوک شیارزن‌ها را می‌توان به آسانی با ذره‌بین درجه‌بندی شده بر حسب میلی‌متر، بررسی کرد. این نوع ذره‌بین‌ها را می‌توان از بیشتر شرکت‌های تأمین‌کننده ابزار آزمایشگاهی تهیه کرد. اندازه طول نوک شیارزن‌ها (D) را می‌توان با کولیس ورنیه^۱ بررسی کرد.

۲-۱۰ تنظیم ارتفاع سقوط

ارتفاع سقوط جام را به گونه‌ای تنظیم کنید که محلی از جام که با کفی برخورد می‌کند، تا ارتفاع ($۰,۲ \pm ۰,۱$) میلی‌متر از کفی بالا باید. شکل ۲، محل صحیح اندازه‌گیر را نسبت به جام هنگام تنظیم ارتفاع سقوط، نشان می‌دهد.

یادآوری - روش ساده برای تنظیم ارتفاع سقوط به این شرح است: یک تکه نوار چسب را در زیر جام روی کفی قرار دهید. لبۀ دور از آویز نوار چسب باید محلی از جام که با کفی برخورد می‌کند را به دو نیم تقسیم کند. برای جام‌های جدید (کار نکرده)، قرار دادن یک تکه کاغذ کاربن روی کفی و چندین بار سقوط جام، موجب نشانه‌گذاری محل برخورد می‌شود. جام را به دستگاه متصل کنید و دسته را تا جایی که جام به بیشترین ارتفاع خود برسد، بچرخانید. اندازه‌گیر ارتفاع را از سمت جلو به زیر جام بلغزانید و ببینید که با جام یا نوار چسب برخورد می‌کند یا خیر (طبق شکل ۲). چنانچه اندازه‌گیر هم‌زمان با جام و نوار برخورد کند، ارتفاع سقوط آماده بازبینی است. اگر چنین نبود، جام را تا جایی که برخورد هم‌زمان ایجاد شود تغییر دهید. برای کنترل تنظیم، دسته را با سرعت دو دور در ثانیه بچرخانید و در همان حال، اندازه‌گیر را در موقعیت رویه روی جام و نوار نگه دارید. اگر بدون بلند شدن جام از روی اندازه‌گیر، صدای زنگ ضعیف یا صدای تقویق به گوش رسید، تنظیم درست انجام شده است. چنانچه صدای زنگ شنیده نشود یا جام از روی اندازه‌گیر بلند شود، تنظیم ارتفاع سقوط را دوباره انجام دهید. اگر هنگام این بازبینی، جام روی اندازه‌گیر تکان بخورد،

محور دنباله بادامک به شدت ساییده شده و بخش‌های ساییده شده باید جایگزین شوند. همیشه چسب را پس از پایان عمل تنظیم بردارید.

۱۱ روش‌های آماده‌سازی آزمونه

۱-۱۱ آماده‌سازی آزمونه به روش اول (روش آماده‌سازی تر)

آزمونه را مطابق زیربندهای زیر برای انجام آزمون آماده کنید مگر اینکه آماده‌سازی آزمونه به روش دوم (روش آماده سازی خشک) طبق زیربند ۱۱-۲ معین شده باشد.

۱-۱-۱۱ آزمونه‌هایی که تمام مصالح آن از الک ۴۲۵ میکرومتری (شماره ۴۰) عبور می‌کند

۱-۱-۱-۱۱ با روش‌های چشمی و دستی مشخص کنید که میزان مصالح مانده روی الک ۴۲۵ میکرومتری (شماره ۴۰) در آزمونه به دست آمده از زیربند ۲-۸ ناچیز بوده یا مصالحی روی این الک نمانده است. در این حالت، ۱۵۰ گرم تا ۲۰۰ گرم از مصالح را بر روی صفحه شیشه‌ای یا درون ظرف اختلاط ریخته، با کاردن به طور کامل با آب مقطر یا آب فاقد املاح مخلوط کنید تا آزمونه آماده شود. در صورت تمایل، مصالح را در ظرف اختلاط / نگهداری با مقدار کمی آب خیس کنید تا قبل از مخلوط کردن نرم شوند. چنانچه روش الف برای تعیین حد روانی (روش چند نقطه‌ای) به کار برده می‌شود، درصد رطوبت مصالح را به گونه‌ای تنظیم کنید که حدود ۲۵ ضربه تا ۳۵ ضربه دستگاه حد روانی (به طور معمول ضربه خوانده می‌شود) برای بسته شدن شیار نیاز باشد. در تعیین حد روانی به روش ب (روش تک نقطه‌ای)، بهتر است تعداد ضربه‌ها بین ۲۰ ضربه تا ۳۰ ضربه باشد.

۲-۱-۱-۱۱ اگر هنگام مخلوط کردن، درصد کمی از مصالح بر روی الک ۴۲۵ میکرومتری (شماره ۴۰) باقی بماند، این ذرات را (در صورت امکان) با دست بردارید. چنانچه برداشتن مصالح درشت‌تر با دست امکان‌پذیر نباشد، درصدهای کمی (کمتر از حدود ۱۵٪) از مصالح درشت (با قوامی که در بالا اشاره شد) را با الک ۴۲۵ میکرومتری (شماره ۴۰) جدا کنید. هنگام انجام این کار، از قطعه ورق لاستیکی، چوب‌پنبه لاستیکی یا وسیله مناسب دیگر استفاده کنید؛ به گونه‌ای که در صورت استفاده از روش شست و شو طبق زیربند ۱-۱-۱۱ این ابزار موجب تغییر شکل الک یا خرد شدن مصالح مانده روی الک، نشود. اگر هنگام مخلوط کردن، با درصد زیادی از مصالح درشت روبه‌رو شدید یا برداشتن مصالح درشت‌تر با روش‌های بیان شده امکان‌پذیر نباشد، نمونه را مطابق زیربند ۲-۱-۱۱، شست و شو دهید. اگر هنگام همزدن، ذرات درشت به شکل بهم چسبیده (سفت شده)، پوسته‌ای یا سایر ذرات شکننده باشند، این ذرات را برای عبور از الک ۴۲۵ میکرومتری (شماره ۴۰) خرد نکنید؛ بلکه به روش شست و شو یا دستی آنها را بردارید.

۳-۱-۱-۱۱ مصالح آماده شده را در ظرف اختلاط / نگهداری ریخته، قوام آن را بررسی کنید (در صورت لزوم میزان رطوبت را تصحیح کنید)؛ برای جلوگیری از افت رطوبت آن را بپوشانید و برای عمل‌آوری، آن را دست کم به مدت ۱۶ ساعت (یک شب) در این وضعیت نگه دارید. پس از این زمان و بلافاصله قبل از شروع آزمون، خاک را دوباره به طور کامل هم بزنید.

یادآوری- زمان لازم برای مخلوط شدن خاک به طور مناسب، بسته به حالت خمیری و مقدار رطوبت اولیه آن‌ها تفاوت بسیاری خواهد داشت. زمان لازم برای مخلوط کردن اولیه رس‌های چاق^۱ و سفت ممکن است بیش از ۳۰ دقیقه باشد.

۲-۱-۱۱ آزمونهایی که مصالح آن دارای ذرات مانده روی الک ۴۲۵ میکرومتری (شماره ۴۰) است

۱-۲-۱-۱ آزمونه (به زیر بند ۲-۹ مراجعه شود) را درون تشت^۲ یا ظرفی قرار داده و مقدار کافی آب به آن اضافه کنید به گونه‌ای که مصالح را بپوشاند. اجازه دهید مصالح خیس بخورند تا تمام کلوخه‌ها نرم شده و ریزدانه‌ها به سطوح ذرات درشت چسبیده نباشند (زیر بند ۱-۱-۸ را ببینید).

۲-۲-۱-۱ هنگامی که مصالح دارای درصد زیادی ذرات مانده روی الک ۴۲۵ میکرومتری (شماره ۴۰) باشد، عملیات شست و شو که در شرح زیر ارایه شده است را روی مقادیر کمی از مصالح انجام دهید، به گونه‌ای که هر بار بیش از ۵۰ کیلوگرم از مصالح شست و شو نشوند. الک ۴۲۵ میکرومتری (شماره ۴۰) را درون تشت تمیز قرار دهید. مخلوط خاک و آب را بدون هدر رفتن مصالح، روی الک بریزید. اگر شن یا ذرات درشت ماسه باقی ماند، هر تعداد از آنها را که می‌توانید با مقدار کمی از آب درون آب‌فشار بشویید و کنار بگذارید. در روش جایگزین می‌توانید مخلوط آب و خاک را به طور متوالی روی الک ۲۰۰ میلی‌متری (شماره ۱۰) که بر روی الک ۴۲۵ میکرومتر (شماره ۴۰) قرار دارد، بریزید.

۳-۲-۱-۱۱ پس از شست و شو و برداشتن هر مقدار از مصالح درشت تا حد امکان، به اندازه کافی آب درون تشت بریزید تا تراز آب تقریباً ۱۳ میلی‌متر بالاتر از سطح الک ۴۲۵ میکرومتری (شماره ۴۰) قرار گیرد. دوغاب را با انگشتان هم زده و در همان حال، الک درون تشت را بالا و پایین برده، مخلوط^۳ به دست آمده را چنان به چرخش درآورید که مصالح ریز از ذرات درشت‌تر شسته شوند. کلوخه‌های ریزدانه‌ای که از هم باز نشده‌اند را با نوک انگشت و به آرامی بر روی الک حرکت دهید تا شکسته شوند. با بیرون آوردن الک تا بالاتر از سطح آب و شست و شوی مصالح مانده با مقدار کمی آب تمیز، به فرآیند شست و شو پایان دهید. مصالح مانده روی الک ۴۲۵ میکرومتری (شماره ۴۰) را دور بریزید.

۴-۲-۱-۱۱ درصد رطوبت مصالح عبوری از الک ۴۲۵ میکرومتری (شماره ۴۰) را تا مقداری که به حد روانی نزدیک شود، کاهش دهید. کاهش درصد رطوبت را می‌توان با یکی از روش‌های زیر یا ترکیبی از آنها انجام داد:
 (۱) قراردادن در معرض جریان هوای اتاق (۲) قرار دادن در معرض جریان هوای گرم از منبعی مانند سشوار برقی (۳) سرریز کردن آب تمیز از سطح مخلوط، (۴) صاف کردن در یک قیف بوخر^۴ یا صاف کردن با استفاده از شمع‌های صاف‌کننده (۵) زهکشی در یک آبکش یا ظرفی از جنس گچ ساختمانی (گچ پاریس) که با کاغذ صافی دارای قابلیت نگه‌داری مقادیر زیاد آب و مقاوم^۵، روکش شده است. اگر ظرفی از جنس گچ ساختمانی استفاده شود، مراقب باشید که ظرف به اندازه‌ای اشیاع نشود که قابلیت جذب آب را به سطح خود از دست بدهد. در میان دفعاتی که ظرف مورد استفاده قرار می‌گیرد، آن را به طور کامل خشک کنید. هنگام تبخیر و خنک کردن،

1-Fat Clay

2-Pan

3- Suspension

4-Buchner Funnel

5-High Wet-Strength Filter Paper

مصالح را هم بزنید تا از خشک شدن بیش از اندازه خاک‌های لبه و برجستگی‌های رویه مخلوط مصالح جلوگیری شود. برای مصالح حاوی نمک‌های محلول، از روش کاهش آب (روش ۱ یا ۲) که باعث حذف کردن (زدودن) نمک‌های محلول از آزمونه نمی‌شود، استفاده کنید.

۵-۲-۱-۱۱ در صورت امکان مصالح مانده روی کاغذ صافی را بردارید. مصالح برداشته شده یا مصالح بالا را بر روی صفحه شبشهای یا در ظرف اختلاط، با استفاده از کاردک، به طور کامل مخلوط کنید. در صورت لزوم، با افروختن مقدار کمی آب مقطر یا آب فاقد املاح در فواصل متوالی، یا خشک شدن مخلوط در دمای اتاق هنگام همزدن آن بر روی صفحه شبشهای، در صد رطوبت مخلوط را تنظیم کنید. اگر روش «الف» (روش چند نقطه‌ای) را به کار می‌برید، بهتر است در صد رطوبت مصالح به اندازه‌ای باشد که برای بسته شدن شیار، حدود ۲۵ ضربه تا ۳۵ ضربه مورد نیاز باشد. برای روش «ب» (روش تک نقطه‌ای)، تعداد ضربه‌ها باید بین حدود ۲۰ ضربه تا ۳۰ ضربه باشد. چنانچه ضرورت داشته باشد، مصالح مخلوط شده را در ظرف نگهداری بریزید و برای جلوگیری از افت رطوبت، آن را بپوشانید؛ اجازه دهید مصالح حداقل ۱۶ ساعت در این وضعیت بماند (عمل‌آوری شود). پس از این مدت و بلافضله قبل از شروع آزمون، دوباره آزمونه را به طور کامل به هم بزنید.

۲-۱۱ آماده‌سازی آزمونه به روش دوم (روش آماده‌سازی خشک)

۱-۲-۱۱ آزمونه به دست آمده طبق زیربند ۲-۹ را در دمای محل آزمون یا درون گرمخانه‌ای که دمای آن بیش از ۶۰ درجه سلسیوس نیست، خشک کنید تا کلوخه‌های خاک به سهولت خرد شوند. (زیربند ۶، مداخلات را ببینید). چنانچه مصالح به طور کامل خشک نشوند، جدا شدن دانه‌ها آسان‌تر خواهد بود؛ هرچند که هنگام خردشدن، مصالح باید ظاهر خشک داشته باشند.

۲-۲-۱۱ مصالح را در هاوی که دارای کوبه‌ای با سر لاستیکی است یا به روشی دیگر که موجب شکستن تمام ذرات آن نشوند، خرد کنید. اگر هنگام خرد کردن، با ذرات درشت به هم چسبیده (سفت شده)، پوسته‌ای یا شکننده روبه‌رو شدید، این ذرات را برای عبور از الک ۴۲۵ میکرومتری (شماره ۴۰) خرد نکنید، بلکه آنها را با دست یا روش مناسب دیگر مانند روش شست و شو بردارید. در صورت استفاده از روش شست و شو، طبق زیربندهای ۱-۱-۱۱ تا ۱-۱-۲-۱ عمل کنید.

۳-۲-۱۱ مصالح را به وسیله الک ۴۲۵ میکرومتری (شماره ۴۰) جدا کنید. برای اطمینان از جدا شدن کامل بخش ریزتر، الک را با دست تکان دهید. مصالح مانده روی الک ۴۲۵ میکرومتری (شماره ۴۰) را به دستگاه خردکن برگردانید و عملیات خرد کردن و الک کردن را تکرار کنید. این فرآیند را تا هنگامی ادامه دهید که بیشتر مصالح ریزدانه و مصالح مانده روی الک ۴۲۵ میکرومتری (شماره ۴۰) از ذرات مجزا تشکیل شده باشند.

۴-۲-۱۱ مصالح مانده روی الک ۴۲۵ میکرومتری (شماره ۴۰) را پس از پایان عملیات خرد کردن در ظرفی بریزید و در مقدار کمی آب خیس کنید. این مخلوط را هم بزنید و آن را روی الک ۴۲۵ میکرومتری (شماره ۴۰) بریزید و آب و سایر ذرات ریز معلق را در ظرف شست و شو قرار دهید. این مخلوط را به خاک خشک عبوری از الک ۴۲۵ میکرومتری (شماره ۴۰) اضافه کنید. مصالح مانده روی الک ۴۲۵ میکرومتری (شماره ۴۰) را دور بریزید.

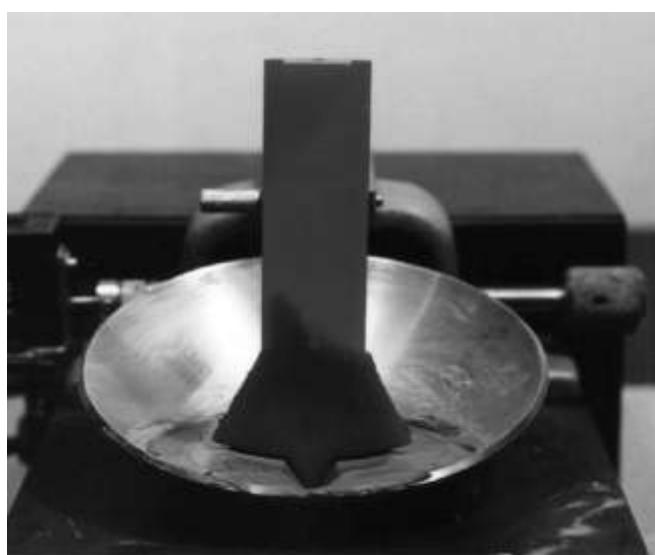
ادامه کار را طبق زیربندهای ۱۱-۱-۲-۳ و ۱۱-۲-۴-۳ انجام دهید. ۵-۲-۱۱

تعیین حد روانی به روش الف - حد روانی (روش چند نقطه‌ای)

۱۲ روش اجرای آزمون در تعیین حد روانی به روش الف (روش چند نقطه‌ای)

۱-۱۲ آزمونه (خاک) را بار دیگر به طور کامل در ظرف اختلاط هم بزنید و در صورت ضرورت، درصد رطوبت آن را به گونه‌ای تنظیم کنید که قوام آن به اندازه‌ای برسد که حدود ۲۵ ضربه تا ۳۵ ضربه جام دستگاه حد روانی برای بسته شدن شیار لازم باشد. با استفاده از کاردک، بخشی (بخش‌هایی) از خاک آماده شده را در جام دستگاه حد روانی، در حالتی که جام روی کفی قرار دارد، بریزید؛ سپس آن را با فشار درون جام پخش کنید؛ چنان‌که عمق آن در عمیق‌ترین نقطه حدود ۱۰ میلی‌متر شود و سطحی تقریباً افقی تشکیل دهد. توجه داشته باشید که حباب‌های هوا از خاک درون جام خارج شوند، اما این کار تا حد امکان با کمترین حرکت انجام شود. خاک استفاده نشده را در ظرف اختلاط/ نگهداری کنید. ظرف را با حولة نمدار (یا با وسیله دیگری) بپوشانید تا رطوبت خاک حفظ شود.

۲-۱۲ شیارزن را در حالتی که لبۀ شیب دار آن به سمت جلو است، در راستای خطی که بالاترین نقطه روی لبۀ جام را به پایین‌ترین نقطه متصل می‌کند، روی خاک بکشید تا شیاری در آن ایجاد شود. در هنگام ایجاد شیار، شیارزن را در برابر سطح جام نگه دارید و آن را در راستای کمان (لبه جام) بکشید. هنگام حرکت شیارزن، همواره آن را عمود بر سطح جام نگه دارید (همانطور که در شکل ۶ نشان داده شده است). در خاک‌هایی که نمی‌توان با یک حرکت و بدون گسیختگی خاک، شیار را در آنها ایجاد کرد، شیار را با چندین حرکت شیارزن به تدریج ایجاد کنید. به عنوان جایگزین، با استفاده از کاردک، شیار را با ابعادی کمتر از ابعاد الزام شده، برش داده و با شیارزن، آن را به ابعاد نهایی برسانید. دقت کنید تا از لغزش خاک نسبت به سطح جام جلوگیری شود.



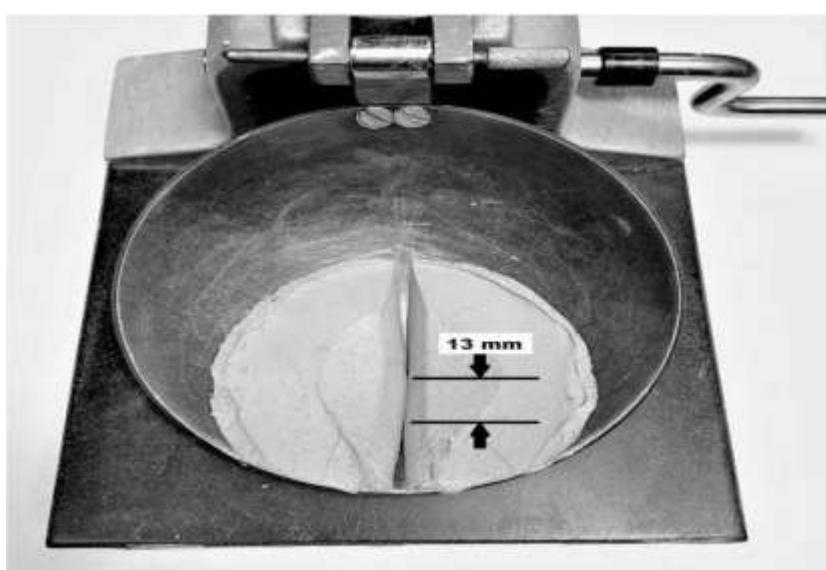
شکل ۶- مثالی از قراردادن شیارزن در دستگاه حد روانی

- ۳-۱۲ برسی کنید که خرده‌های خاک بر روی کفی یا در زیر جام وجود نداشته باشد.
- ۴-۱۲ دسته را با نرخ سقوط ۱,۹ تا ۲,۱ سقوط در ثانیه، تا زمانی که دو بخش خاک در پایین شیار در طول ۱۳ میلی‌متر به هم برسند، بچرخانید (به شکل ۷ و ۸ مراجعه شود). کفی دستگاه در حالیکه دسته می‌چرخد نباید با دست نگه داشته شود.

یادآوری- توصیه می‌شود برای بررسی بسته شدن شیار به اندازه ۱۳ میلی‌متر، از خطکش اندازه‌گیری استفاده شود.



شکل ۷- نمونه‌ای از خاک شیارخورده در دستگاه حد روانی



شکل ۸- نمونه‌ای از خاک در دستگاه حد روانی، پس از بسته شدن شیار

۵-۱۲ بروزی کنید که وجود حباب هوا موجب بسته شدن زودهنگام شیار نشده باشد. برای این کار دقیقت شود دو وجه شیار با شکل تقریباً یکسان به سوی هم روان شده‌اند. اگر حباب هوا موجب بسته شدن زودرس شیار شده باشد، پس از افزودن مقدار کمی خاک (برای جبران کاهش مقدار خاک در اثر شیارزنی)، دوباره خاک را در جام هم بزنید و زیربندهای ۱-۱۲ تا ۴-۱۲ را تکرار کنید. اگر خاک بر سطح جام می‌لغزد، زیربندهای ۱-۱۲ تا ۴-۱۲ را با درصد رطوبت بالاتر تکرار کنید. اگر پس از چندین بار تکرار با درصدهای رطوبت بیشتر متوالی، لغزش خاک در جام ادامه یافت یا تعداد ضربه‌های لازم برای بستن شیار همیشه کمتر از ۲۵ ضربه بود، یادداشت کنید که حد روانی را نمی‌توان تعیین کرد و بدون انجام آزمون حد خمیری، خاک را غیرخمیری گزارش کنید.

۶-۱۲ تعداد ضربه‌های مورد نیاز برای بسته شدن شیار (N) را یادداشت کنید.

۷-۱۲ درصد رطوبت آزمونه را به دست آورید برای این کار، برشی از خاک، تقریباً به پهنه‌ی کاردک که از یک لبه تا لبه دیگر خاک (کیک خاکی) با زاویه قائم نسبت به محور شیار امتداد یافته است، را چنان بردارید که بخش بهم رسیده شیار را در بر داشته باشد. آن را در ظرفی با جرم معین قرار دهید و روی آن را بپوشانید.

۸-۱۲ خاک مانده در جام را به ظرف بازگردانید. جام و شیارزن را شسته و خشک کنید و برای آزمون بعدی، جام را دوباره به بدنه متصل کنید.

۹-۱۲ در حالی که برای افزایش درصد رطوبت خاک و کاهش تعداد ضربه‌هایی که برای بستن شیار نیاز است به آن آب مقطر افزوده می‌شود، تمام آزمونه را دوباره در ظرف هم بزنید. زیربندهای ۱-۱۱ تا ۶-۱۱ را دست‌کم تا انجام دو آزمون دیگر که پی‌درپی با تعداد ضربه‌های کمتری شیار بسته می‌شود، تکرار کنید. برای هر یک از حالت‌هایی که نیازمند ۲۵ ضربه تا ۳۵ ضربه، ۲۰ ضربه تا ۳۰ ضربه و ۱۵ ضربه تا ۲۵ ضربه برای بسته شدن شیار هستند، باید یک آزمون انجام شود.

۱۰-۱۲ برای هر آزمون، درصد رطوبت آزمونه (W_n) را طبق استاندارد ASTM D2216 تعیین کنید.

۱۱-۱۲ توصیه می‌شود جرم‌های اولیه (ظرف به همراه خاک مرطوب) بلافصله پس از پایان آزمون تعیین شود. اگر انجام آزمون برای بیش از حدود ۱۵ دقیقه متوقف شود، جرم آزمونهای درصد رطوبت (که پیش از این به دست آمده‌اند) را در زمان توقف تعیین کنید.

۱۳ محاسبه حد روانی به روش الف (روش چند نقطه‌ای)

۱-۱۳ رابطه میان درصد رطوبت (W_n) و تعداد ضربه‌های متناظر با آن (N) را روی یک نمودار نیمه‌لگاریتمی که در آن درصد رطوبت روی محور قائم و در مقیاس حسابی، و تعداد ضربه‌ها روی محور افقی و در مقیاس لگاریتمی است، ترسیم کنید. بهترین خط راست عبوری از سه یا تعداد بیشتری نقطه ترسیم شده را بکشید.

۲-۱۳ درصد رطوبت متناظر با محل برخورد این خط با خط قائم مربوط به ۲۵ ضربه را به عنوان حد روانی خاک، LL، در نظر بگیرید و آن را به نزدیک‌ترین عدد صحیح گرد کنید. برای برآشش یک خط راست به داده‌ها و تعیین حد روانی، می‌توان روش‌های محاسباتی را جایگزین روش نموداری کرد.

روش ب - حد روانی (روش تک نقطه‌ای)

۱۴ روشنگری آزمون در تعیین حد روانی به روش ب (روش تک نقطه‌ای)

- ۱-۱۴ مراحل بیان شده در زیربندهای ۱-۱۲ تا ۵-۱۲ را انجام دهید؛ با این تفاوت که تعداد ضربه‌های لازم برای بستن شیار باید بین ۲۰ ضربه تا ۳۰ ضربه باشد. اگر به کمتر از ۲۰ ضربه یا بیشتر از ۳۰ ضربه برای بستن شیار نیاز باشد، خاک مانده در جام را به ظرف بازگردانید، درصد رطوبت خاک را تصحیح و آزمون را تکرار کنید.
- ۲-۱۴ بلاfaciale پس از برداشتن یک آزمونه درصد رطوبت طبق زیربند ۵-۱۲، برای جبران کاهش میزان خاک در اثر شیارزنی و برداشتن آزمونه درصد رطوبت، با افزودن مقدار کمی خاک در جام، آن را شکل دهید.
- ۱-۲-۱۴ به عنوان یک روش جایگزین برای شکل دادن خاک در جام برنجی پس از برداشتن آزمونه درصد رطوبت، خاک مانده در جام را می‌توان از درون آن خارج کرده و آن را با خاک درون ظرف اختلاط دوباره مخلوط کرده و آزمونه جدید را طبق زیربند ۱-۱۲ در جام قرار داد.
- ۳-۱۴ زیربندهای ۲-۱۲ تا ۵-۱۲ را تکرار کنید.
- ۴-۱۴ اگر دومین بسته شدن شیار نیازمند تعداد ضربه یکسانی باشد یا بیش از دو ضربه با مقدار اولیه تفاوت نداشته باشد، آزمونه درصد رطوبت دیگری تهیه کنید. اگر اختلاف بین تعداد ضربه‌های لازم برای اولین بسته شدن شیار با دومین بسته شدن بیش از دو ضربه باشد، تمام آزمونه را دوباره هم زده و مراحل زیربند ۱-۱۴ را از ابتدا اجرا کنید تا زمانی که تعداد ضربه‌های بسته شدن شیار برای دو مرحله متواتی، یکسان به دست آمده یا اختلاف آنها بیش از دو ضربه نباشد.

یادآوری- خشک کردن بیش از اندازه یا هم زدن ناکافی باعث تفاوت در تعداد ضربه‌ها خواهد شد.

۵-۱۴ درصد رطوبت دو آزمونه را طبق زیربند ۱۰-۱۲ تا ۱-۱۰ تعیین کنید.

۱۵ محاسبه حد روانی به روش ب (روش تک نقطه‌ای)

- ۱-۱۵ برای هر آزمونه درصد رطوبت، حد روانی، LL_n ، را با یکی از معادله‌های زیر تعیین کنید:

$$LL_n = W_n \cdot \left(\frac{N_n}{25}\right)^{0.121} \quad (1)$$

یا

$$LL_n = K \cdot W_n \quad (2)$$

که در آن‌ها:

LL_n حد روانی تک نقطه‌ای برای آزمون مورد نظر، n ، بر حسب درصد؛

N_n تعداد ضربه‌هایی که موجب بسته شدن شیار می‌شود؛

W_n میزان رطوبت برای آزمون مورد نظر بر حسب درصد؛
 k ضریب به دست آمده از جدول ۱.

- ۱-۱-۱۵ حد روانی (LL) میانگین مقادیر مربوط به دو آزمون انجام شده است که به نزدیکترین عدد صحیح (بدون علامت درصد) گرد شده است.
- ۲-۱۵ اگر تفاوت میان حد روانی‌های مربوط به دو آزمون بیش از ۱٪ باشد، آزمون را طبق زیربندهای ۱-۱۴ تا ۱-۱۵ تکرار کنید.

جدول ۱- ضریب‌های به دست آوردن حد روانی از روی درصد رطوبت و تعداد ضربه‌هایی که منجر به بستن شیار می‌شود

N (تعداد ضربه‌ها)	K (ضریب حد روانی)
۲۰	۰,۹۷۳
۲۱	۰,۹۷۹
۲۲	۰,۹۸۵
۲۳	۰,۹۹۰
۲۴	۰,۹۹۵
۲۵	۱,۰۰۰
۲۶	۱,۰۰۵
۲۷	۱,۰۰۹
۲۸	۱,۰۱۴
۲۹	۱,۰۱۸
۳۰	۱,۰۲۲

روش حد خمیری

۱۶ آماده‌سازی آزمونه حد خمیری

- ۱-۱۶ مقدار ۲۰ گرم یا بیشتر از خاک آماده‌شده برای آزمون حد روانی را بردارید. برداشت را می‌توان پس از دومین اختلاط قبل از آزمون، یا از روی خاکی که در پایان آزمون حد روانی به جای مانده است، انجام داد.
- ۲-۱۶ درصد رطوبت خاک را با پخش کردن یا مخلوط کردن پیوسته آن بر روی صفحهٔ شیشه‌ای یا درون ظرف اختلاط/ نگهداری کاهش دهید. این کار را تا رساندن خاک به قوامی که بتوان آن را بدون چسبیدن به دست‌ها غلتاند، ادامه دهید. فرآیند خشک کردن را می‌توان با قراردادن خاک در برابر جريان هوای پنکه یا با جذب آب آن با استفاده از کاغذ، به شرط آنکه بافت کاغذ وارد خاک نشود، تسريع کرد. دستمال کاغذی با سطح سخت یا

کاغذ صافی مقاوم برای این کار مناسب است. برای مصالح دارای نمک‌های محلول، از روش جذب آب استفاده نکنید بلکه از روش کاهش آب که باعث حذف کردن (زدودن) نمک‌های محلول از آزمونه نمی‌شود، استفاده کنید.

۱۷ روش اجرای آزمون برای حد خمیری^۱

- ۱-۱۷ آزمونه حد خمیری به مقدار ۱/۵ گرم تا ۲/۰ گرم بردارید و آن را به صورت توده بیضی، شکل دهید.
- ۲-۱۷ توده خاک را به یکی از روش‌های زیر بغلتانید: روش اول غلتاندن در تعیین حد خمیری (روش دستی) یا روش دوم غلتاندن در تعیین حد خمیری (دستگاه غلتاندن).

۱-۲-۱۷ روش اول غلتاندن در تعیین حد خمیری (دستی)

توده خاک را میان کف دست یا انگشتان، و صفحهٔ شیشه‌ای غیر صیقلی بغلتانید. دقیقاً فشاری را وارد کنید که خاک در اثر غلتیدن به صورت فتیله‌ای با قطر یکسان در سرتاسر طول خود درآید (به یادآوری ۱ مراجعه شود). فتیلهٔ خاک در هر حرکت باید تغییر شکل بیشتری پیدا کند، به گونه‌ای که قطر آن در مدت زمان حداکثر دو دقیقه، به ۳/۲ میلی‌متر برسد (به یادآوری ۲ مراجعه شود). مقدار فشار لازم با دست یا انگشت، بسته به خاک مورد آزمون بسیار متغیر خواهد بود، به گونه‌ای که فشار مورد نیاز معمولاً با افزایش خاصیت خمیری^۲ خاک افزایش می‌یابد. خاک‌های شکننده‌ای که خاصیت خمیری اندکی دارند، در زیر لبّه بیرونی کف دست یا در پایین شست بهتر غلتانده می‌شوند.

یادآوری ۱- نرخ معمول غلتاندن در بیشتر خاک‌ها باید بین ۸۰ تا ۹۰ حرکت در دقیقه باشد که در آن، هر حرکت به صورت یک رفت و برگشت کامل دست به سمت نقطه آغاز است. در خاک‌های بسیار شکننده ممکن است لازم باشد که این نرخ کاهش یابد.

یادآوری ۲- برای مقایسه رسیدن فتیله به قطر مناسب، می‌توان از میله یا لوله‌ای به قطر ۳/۲ میلی‌متر به عنوان شاهد استفاده کرد.

۲-۲-۱۷ روش دوم غلتاندن در تعیین حد خمیری (دستگاه غلتاندن)

به صفحه‌های بالایی و پایینی دستگاه غلتاندن حد خمیری، کاغذ صاف غیرصیقلی بچسبانید. توده خاک را روی نقطهٔ میانی صفحهٔ پایینی، میان ریلهای لغزندۀ قرار دهید. صفحهٔ بالایی را در تماس با توده‌های (ها) خاک قرار دهید. نیروی اندکی به سمت پایین همزمان با حرکت رفت و برگشت، به صفحهٔ بالایی اعمال کنید، بطوری که در کمتر از دو دقیقه صفحهٔ بالایی با ریلهای لغزشی تماس پیدا کند (یادآوری ۱ زیربند ۱-۲-۱۷ و یادآوری همین زیربند مراجعه شود). هنگام فرآیند غلتاندن، دو سر فتیله‌ها) خاک نباید با ریلهای لغزشی تماس پیدا کند؛ در صورت تماس با ریلهای لغزشی، توده کوچک‌تری از خاک را بغلتانید (حتی اگر مقدار آن کمتر از مقدار بیان شده در زیربند ۱-۱۷ باشد).

یادآوری- در بیشتر موارد می‌توان دو توده (فتیله) خاک را همزمان در دستگاه غلتاندن حد خمیری غلتاند.

۳-۱۷ هنگامی که قطر فتیله خاک به $\frac{3}{2}$ میلی‌متر رسید، آن را چند بخش کنید. سپس این بخش‌ها را به هم فشرده، میان شست و انگشت نشانه ورز داده، به صورت بیضی در آورده، دوباره بغلتانید.

۴-۱۷ عمل غلتاندن را تا به دست آمدن فتیله‌ای به قطر $\frac{3}{2}$ میلی‌متر ادامه دهید؛ دوباره آن را چند بخش کنید، با هم جمع کنید، ورز دهید و بغلتانید؛ تا جایی که فتیله زیر فشار لازم برای غلتاندن، خرد شود و دیگر نتوان خاک را با غلتاندن به صورت فتیله‌ای به قطر $\frac{3}{2}$ میلی‌متر درآورد (همانطور که در شکل ۹ و یادآوری زیربند ۴-۱۷ نشان داده شده است).

۱-۴-۱۷ اگر فتیله خاک به صورت چندین فتیله با طول کمتر درآید، اهمیتی ندارد؛ هر یک از این فتیله‌های کوتاه‌تر را تا جایی که به قطر $\frac{3}{2}$ میلی‌متر برسد بغلتانید. تنها شرط ادامه آزمون این است که این فتیله‌ها را بتوان به شکل توده‌ای بیضی شکل در آورد و دوباره غلتاند.

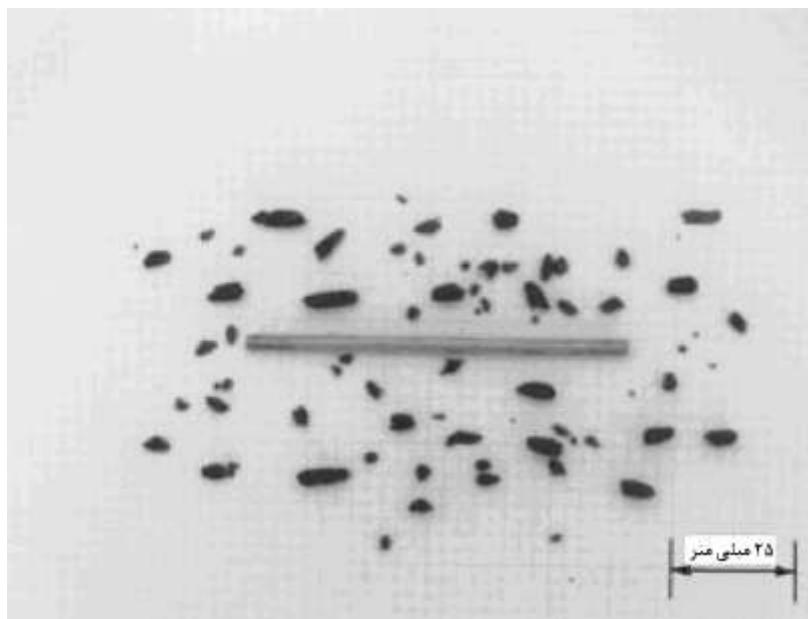
۲-۴-۱۷ آزمایش‌گر هیچ‌گاه نباید بکوشد که گسیختگی را دقیقاً در قطر $\frac{3}{2}$ میلی‌متر ایجاد کند، یعنی اینکه نباید بگذارد فتیله به قطر $\frac{3}{2}$ میلی‌متر برسد، سپس نرخ غلتاندن یا فشار دست یا هر دو را کاهش دهد و تا هنگامی که فتیله چند تکه شود، بدون تغییرشکل بیشتر فتیله، غلتاندن را ادامه دهد.

۳-۴-۱۷ اگر چه برای خاک‌های خمیری لاگر می‌توان با نزدیک ساختن قطر اولیه توده بیضی شکل به قطر پایانی $\frac{3}{2}$ میلی‌متر، میزان کل تغییر شکل را کاهش داد.

۴-۴-۱۷ خرد شدن فتیله هنگامی که قطری بزرگتر از $\frac{3}{2}$ میلی‌متر دارد، نقطه پایانی قابل قبول است؛ به شرط آنکه خاک در اثر غلتاندن قبلاً به صورت فتیله‌ای به قطر $\frac{3}{2}$ میلی‌متر درآمده باشد.

یادآوری - خرد شدن فتیله در انواع مختلف خاک، نمودهای مختلفی خواهد داشت. برخی از خاک‌ها به تعداد زیادی از توده‌های کوچک ذرات تقسیم می‌شوند، در خاک‌های دیگر ممکن است یک رویه لوله‌ای شکل ایجاد شود که شکافته شدن آن از هر دو سر فتیله آغاز می‌شود، شکافته شدن به سمت میانه فتیله پیش می‌رود و در پایان، فتیله به صورت تعداد زیادی از خرددهای ورقه‌ای در می‌آید. خاک‌های رسی چاق، به ویژه در نزدیکی حد خمیری، به فشار بیشتری برای تغییرشکل فتیله نیاز دارند. در این خاک‌ها فتیله به مجموعه‌ای از بخش‌های استوانه‌ای^۱ شکل به طول $\frac{3}{2}$ میلی‌متر تا $\frac{9}{5}$ میلی‌متر شکسته می‌شود. (نمونه‌های بیشتر از خاک‌ها را در هنگام رسیدن به حد خمیری، در پیوست ب بینید).

۵-۱۷ خرددهای فتیله خاک را جمع کرده، در ظرفی با جرم مشخص قرار دهید. بلافصله ظرف را بپوشانید.



شکل ۹- وضعیت نمونه‌ای از رس لاغر در هنگام رسیدن به حد خمیری

- ۶-۱۷ بخش دیگری از خاک به جرم ۱/۵ گرم تا ۲/۰ گرم را از آزمونه حد خمیری بردارید. آن را به صورت توده بیضی، شکل دهید و عملیات شرح داده شده در زیربندهای ۱-۱۷ و ۵-۱۷ را تا جایی که حداقل شش گرم خاک در ظرف جمع شود، تکرار کنید.
- ۷-۱۷ زیربندهای ۱-۱۷ تا ۶-۱۷ را تکرار کنید تا ظرف دیگری با حداقل شش گرم خاک به دست آید.
- ۸-۱۷ درصد رطوبت خاک موجود در ظرفها را طبق استاندارد ASTM D2216 تعیین کنید (به زیربند ۱۲-۱۰ مراجعه شود).

۱۸ محاسبه حد خمیری

- ۱-۱۸ میانگین نتایج دو آزمون تعیین درصد رطوبت (مربوط به آزمون حد خمیری) را محاسبه و تا نزدیکترین عدد صحیح گرد کنید. این مقدار، حد خمیری (PL) است.
- ۲-۱۸ اگر اختلاف میان دو درصد رطوبت، بزرگ‌تر از دامنه قابل پذیرش برای دو نتیجه آزمون انجام شده توسط یک آزمایش‌گر، یعنی $1/4$ درصد، باشد، آزمون را دوباره انجام دهید. در جدول ۲، دامنه قابل پذیرش برای دو نتیجه آزمون انجام شده توسط یک آزمایش‌گر، ارایه شده است.

نشانه خمیری

۱۹ محاسبه نشانه خمیری

۱-۱۹ نشانه خمیری را به صورت زیر محاسبه کنید:

$$PI = LL - PL \quad (3)$$

که در آن:

LL حد روانی (عدد صحیح):

PL حد خمیری (عدد صحیح).

۲-۱۹ هر دو مقدار LL و PL عدهای صحیح هستند. اگر هر یک از حد روانی یا حد خمیری را نتوان تعیین کرد یا حد خمیری برابر یا بزرگ‌تر از حد روانی باشد، خاک را غیرخمیری (NP)، گزارش کنید.

۲۰ بیان نتایج آزمون: فرم‌ها یا برگه‌های آزمون

۱-۲۰ اصطلاحات و تعاریف مورد استفاده برای مشخص کردن اینکه داده‌های زیر چگونه بر روی برگه‌های آزمون یادداشت شده‌اند در بند ۸-۱ ارایه شده است:

۲-۲۰ اطلاعات زیر را گزارش کنید:

۱-۲-۲۰ اطلاعات شناسایی نمونه/آزمونه، مانند نام پروژه، شماره گمانه، عمق حفاری برحسب متر.

۲-۲-۲۰ توصیف نمونه مانند حداکثر اندازه دانه‌بندی، تخمین درصد نمونه مانده روی الک ۴۲۵ میکرومتر (شماره ۴۰)، درصد رطوبت هنگام دریافت نمونه.

۳-۲-۲۰ جزئیات مربوط به آماده‌سازی آزمونه مانند روش خشک یا تر (خشک شده در هوا یا در گرمخانه)، روش برداشتن ذرات بزرگ‌تر از الک ۴۲۵ میکرومتری (الک شماره ۴۰).

۴-۲-۲۰ استفاده از هر روش خاص برای انتخاب آزمونه، مانند برداشت عدسی‌های ماسه‌ای^۱ از نمونه دست‌نخورده.

۵-۲-۲۰ تجهیزات مورد استفاده مانند غلتاندن به روش دستی (روش اول غلتاندن در تعیین حد خمیری) یا دستگاه برای تعیین حد خمیری (روش دوم غلتاندن در تعیین حد خمیری)، دستگاه حد روانی یا روش دستی، دستگاه شیارزن پلاستیکی یا فلزی.

1- Sand lenses

- ۶-۲-۲۰ حد روانی، حد خمیری و نشانه خمیری تا نزدیک‌ترین عدد صحیح، بدون در نظر گرفتن نشانه درصد. اگر آزمون حد روانی یا حد خمیری را نتوان انجام داد یا اگر حد خمیری برابر یا بزرگ‌تر از حد روانی باشد، خاک را غیرخمیری (NP) گزارش کنید.
- ۷-۲-۲۰ گزارش روش انجام آزمون حد روانی، در صورت تفاوت با روش چند نقطه‌ای.

۲۱ دقت و اریبی

۱-۲۱ دقت

معیار داوری برای پذیرش نتایج به دست آمده از این روش‌های آزمون برای دامنه‌ای از انواع خاک، در جدول‌های ۲ و ۳ ارایه شده است. برای انجام این آزمون‌ها، روش الف برای تعیین حد روانی (روش چند نقطه‌ای) و روش اول برای آمده‌سازی آزمونه (آمده‌سازی تر) (به استثنای هنگامی که خاک در هوا خشک شده است) به کار رفته است.

۱-۱-۲۱ این برآوردهای دقت بر اساس نتایج به دست آمده از برنامه بین آزمایشگاهی که از سوی بخش «خاک‌های مرجع و برنامه آزمون ASTM» انجام شده، ارایه شده است. در این برنامه، برخی از آزمایشگاه‌ها برای هر نوع خاک، سه آزمون تکراری انجام دادند (آزمایشگاه‌های سه آزمونی)، در حالی که آزمایشگاه‌های دیگر برای هر نوع خاک یک آزمون انجام دادند (آزمایشگاه‌های تک آزمونی). شرحی از خاک‌های آزمون شده، در زیربند ۱-۱-۲۰، ارایه شده است. دقت برآورد شده، با نوع خاک و روش‌های (به کار رفته تغییر می‌کند. اعمال این برآوردها برای سایر خاک‌ها و روش‌های به کار رفته (روش الف یا ب یا روش آمده‌سازی تر و خشک) نیازمند داوری است.

۲-۱-۲۱ داده‌های جدول ۲ بر اساس آزمون‌های سه‌تایی، که توسط هر یک از آزمایشگاه‌های سه آزمونی بر روی هر نوع خاک انجام شده، می‌باشد. انحراف استاندارد یک آزمایش‌گر و چند آزمایشگاهی که در ستون ۴ جدول ۲، نشان داده شده، طبق استاندارد ASTM E691 است که برای هر آزمایشگاه انجام‌دهنده آزمون، انجام حداقل سه آزمون تکراری را توصیه می‌کند. نتایج دو آزمون صحیح انجام شده توسط یک آزمایش‌گر یکسان، بر روی مصالح یکسان، با استفاده از وسایل یکسان و در کوتاه‌ترین دوره زمانی ممکن، نباید بیش از حددهای d2s یک آزمایش‌گر، نشان داده شده در ستون ۵ جدول ۲، با یکدیگر اختلاف داشته باشند. برای تعریف d2s، به پی‌نوشت پ جدول ۲ مراجعه کنید. نتایج دو آزمون صحیح انجام شده که در آزمایشگاه‌های مختلف، با آزمایش‌گرهای مختلف و وسایل مختلف در روزهای مختلفی انجام شده‌اند، نباید بیش از حددهای d2s چند آزمایشگاهی، نشان داده شده در ستون ۵ جدول ۲ با یکدیگر اختلاف داشته باشند.

۳-۱-۲۱ در بخش «خاک‌های مرجع و برنامه آزمون ASTM»، بسیاری از آزمایشگاه‌ها، یک آزمون را روی هر نوع خاک انجام دادند. این کار امری متداول در صنعت طراحی و ساختمان است. در جدول ۳، داده‌های مربوط به هر نوع خاک بر اساس اولین نتایج آزمون از آزمایشگاه‌های سه‌آزمونی و نتایج آزمون تکی از آزمایشگاه‌های دیگر ارائه شده است. نتایج دو آزمون که در آزمایشگاه‌های مختلف، با آزمایش‌گرهای مختلف و

وسایل مختلف، و در روزهای مختلف به طور صحیح انجام شده‌اند، نباید بیش از گستره قابل قبول نشان داده شده در ستون ۵ جدول ۳ با یکدیگر اختلاف داشته باشند.

۴-۱-۲۱ نتایج جدول ۲ و جدول ۳ ناهمسان هستند؛ زیرا از مجموعه داده‌های مختلف به دست آمده‌اند. در جدول ۲، تفسیر دقیقی از داده‌های آزمون سه‌گانه که مطابق استاندارد ASTM E691 از آزمایشگاه‌های دارای صلاحیت به دست آمده‌اند، ارایه شده است. جدول ۳ از داده‌های آزمون که از آیین‌کار متدالو به دست آمده‌اند، فراهم شده است.

۵-۱-۲۱ انواع خاک

خاک‌های استفاده شده در برنامه، بر اساس نتایج آزمون چندآزمایشگاهی مطابق استاندارد ASTM D2487 در زیر شرح داده می‌شوند. علاوه بر این، نام‌های محلی آنها نیز ارایه شده است.

CH رس چاق، ۹۹٪ ریزدانه، LL=۶۰، PI=۳۹، قهقهه‌ای تیره، خاک خشک و خردشده در هوا است.
نام محلی: رس ویکسبورگ باکشات.^۱

CL رس لاغر، ۸۹٪ ریزدانه، LL=۳۳، PI=۱۳، خاکستری، خاک خشک و خردشده در هوا است.
نام محلی: رس آنапولیس.^۲

ML لای، ۹۹٪ ریزدانه، LL=۲۷، PI=۴، قهقهه‌ای روشن، خاک خشک و خردشده در هوا است.
نام محلی: لای ویکسبورگ.^۳

۲-۲۱ اریبی

مقادیر مرجع پذیرفته شده‌ای برای این روش‌های آزمون وجود ندارد از این رو، اریبی این روش آزمون را نمی‌توان تعیین کرد.

1-Vicksburg Buckshot Clay

2 -Annapolis Clay

3 -Vicksburg Silt

جدول ۲- خلاصه نتایج آزمون‌های سه‌تایی، به دست آمده از آزمایشگاه‌های سه‌آزمونی (حدود آتربرگ)

دامنه قابل پذیرش برای دو نتیجه ^۲ (درصد)		انحراف استاندارد ^۲ (درصد)		مقدار میانگین الف (درصد)		تعداد آزمایشگاه‌های سه‌آزمونی		نوع خاک				
نوع آزمون												
PI	PL	LL	PI	PL	LL	PI	PL	LL	PI	PL	LL	
نتایج یک آزمایش‌گر (تکرارپذیری در آزمایشگاه)												
۲	۱	۲	۰,۸	۰,۵	۰,۷	۳۹,۲	۲۰,۶	۵۹,۸	۱۳	۱۳	۱۳	CH
۱	۱	۱	۰,۵	۰,۴	۰,۳	۱۳,۶	۱۹,۹	۳۳,۴	۱۳	۱۳	۱۴	CL
۲	۱	۲	۰,۶	۰,۳	۰,۵	۴,۱	۲۳,۴	۲۷,۴	۱۱	۱۱	۱۲	ML
نتایج چندآزمایشگاهی (تجدید پذیری بین آزمایشگاه‌ها)												
۷	۶	۴	۲,۵	۲,۰	۱,۳	۳۹,۲	۲۰,۶	۵۹,۸	۱۳	۱۳	۱۳	CH
۵	۳	۳	۱,۷	۱,۲	۱,۰	۱۳,۶	۱۹,۹	۳۳,۴	۱۳	۱۳	۱۴	CL
۵	۳	۴	۱,۹	۰,۹	۱,۳	۴,۱	۲۳,۴	۲۷,۴	۱۱	۱۱	۱۲	ML
الف- تعداد رقم‌های معنادار و مکان‌های دهگانی نشان‌داده شده، نماینگر داده‌های ورودی هستند. طبق آیین کار ASTM D6026 ، تعداد مکان‌های دهگانی انحراف استاندارد و دامنه قابل قبول نتیجه‌ها نمی‌تواند بیش از داده‌های ورودی باشد.												
ب- انحراف استاندارد طبق آیین کار ASTM E691 محاسبه می‌شود و حد ۱۸ خوانده می‌شود.												
پ- دامنه قابل قبول دو نتیجه، حد d2s است و طبق آیین کار $(15 \times \sqrt{2}) / 1.960 = 2.04$ محاسبه می‌شود. اختلاف نتایج دو آزمون که به طور صحیح انجام شده‌اند، نباید از این حد بیشتر شود. تعداد رقم‌های معنادار/ مکان‌های دهگانی ارایه شده، با تعداد رقم‌های مشخص شده در این روش آزمون یا آیین کار ASTM E6026 برابر است. علاوه بر آن، در مقدار ارایه شده، تعداد مکان‌های دهگان می‌تواند مانند انحراف استاندارد باشد، هرچند که تعداد رقم‌های معنادار در آن می‌تواند از انحراف استاندارد بیشتر باشد.												
ت- برای خاک ML، دو آزمایشگاه از ۱۴ آزمایشگاه سه‌آزمونی، خاک را غیرخمیری گزارش کرده‌اند.												

جدول ۳- خلاصه نتیجه تک آزمونی، به دست آمده از هر آزمایشگاه (حدود آتربرگ) الف

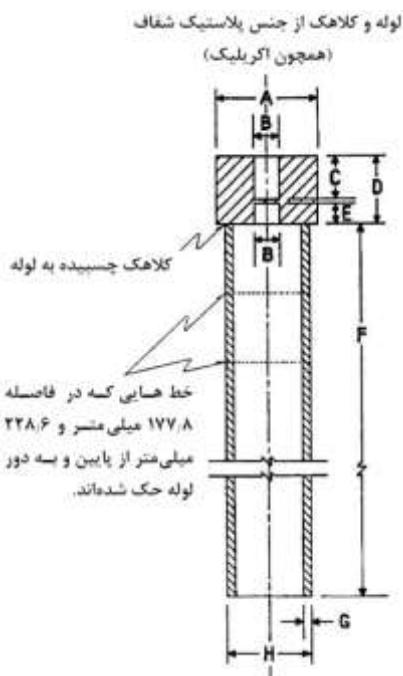
دامنه پذیرفتگی برای دو نتیجه (درصد)		انحراف استاندارد (درصد)		مقدار میانگین (درصد)		تعداد آزمایشگاه‌ها	نوع خاک					
نوع آزمون												
PI	PL	LL	PI	PL	LL	PI	PL	LL	PI	PL	LL	
۹	۷	۶	۳,۱	۲,۷	۲,۱	۳۹,۵	۲۰,۴	۵۹,۹	۲۴	۲۴	۲۴	CH
۴	۴	۲	۱,۶	۱,۳	۰,۸	۱۳,۴	۱۹,۹	۳۳,۳	۲۴	۲۴	۲۴	CL
۵	۳	۴	۱,۸	۱,۲	۱,۳	۳۹,۹	۲۳,۲	۲۷,۱	۱۸	۱۸	۱۸	ML
الف- برای پی‌نوشت‌های هر ستون، جدول ۳ را ببینید.												
ب- برای خاک ML، شش آزمایشگاه از میان ۲۴ آزمایشگاه، خاک را غیرخمیری گزارش کرده‌اند.												

پیوست الف

(الزامی)

دستگاه تعیین برجهندگی

الف-۱ دستگاهی که برای اندازه‌گیری برجهندگی کفی دستگاه حد خمیری به کار می‌رود، در شکل الف-۱ نشان داده شده است. این دستگاه دارای یک لوله شفاف از جنس پلاستیک اکرولیکی به همراه کلاهک، یک گوی فولادی به قطر ۷/۹۴ میلی‌متر، و یک آهنربای میله‌ای کوچک است. استوانه^۱ دستگاه می‌تواند به کلاهک چسبیده باشد یا مانند شکل الف-۱ به آن پیچ شده باشد. آهنربای میله‌ای کوچک در تورفتگی کلاهک جای داده می‌شود و گوی فولادی در اثر آهنربای میله‌ای، درون تورفتگی پایین کلاهک ثابت می‌شود. سپس استوانه به طور عمودی چرخانده شده، روی سطح بالایی کفی، که آزمون روی آن انجام می‌شود، قرار می‌گیرد. در همان هنگام که لوله به سادگی با یک دست در برابر کفی دستگاه نگه داشته شده است، با بیرون‌کشیدن آهنربا از کلاهک، گوی را رها کنید. از روی خطوط حک شده که در بیرون استوانه جای دارد، بالاترین نقطه‌ای که زیر گوی به آن می‌رسد را تعیین کنید. خطوط حک شده در فاصله ۷/۷ اینچ و ۹/۰ اینچ از زیر دستگاه تعیین برجهندگی، به ترتیب عدد برجهندگی٪ ۷۷ و٪ ۹۰ را نشان می‌دهد. این کار را حداقل سه بار و با قرار دادن دستگاه در مکان‌های متفاوت بر روی کفی تکرار کنید. آزمون باید در دمای اتاق انجام شود.



جدول اندازه‌ها

اندازه	شرح	میلی‌متر
A	قطر کلاهک	۳۸,۱۰
B	قطر حفره	۹,۵۲
C	عمق حفره	۱۵,۸۸
D	ارتفاع کلاهک	۲۵,۴۰
E	عمق حفره	۷,۹۴
F	طول لوله	۲۵۴,۰۰
G	ضخامت جداره	۳,۱۸
H	قطر بیرونی لوله	۳۱,۷۵

شکل الف-۱- دستگاه تعیین برجهندگی

پیوست ب

(آگاهی‌دهنده)

نمونه برگه داده‌های آزمون

ب-۱ نمونه برگه داده‌های آزمون طبق شکل ب-۱ می‌باشد.

ب-۲ مثال‌های بیشتر از مصالح حد خمیری

شکل‌های ب-۲ تا ب-۹ انواع مختلف خاک‌ها را در هنگام رسیدن به حد خمیری نشان می‌دهند. این مثال‌ها خاک‌ها را در گستره خمیرشدن نشان می‌دهد. این موارد تنها مثال هستند. خرد شدن فتیله ممکن است همیشه به یک روش نمود نداشته باشد. برای مثال، توجه داشته باشید که شکل‌های ب-۲ تا ب-۹، مصالح یکسان را نشان می‌دهند در حالی که دقیقاً مشابه نیستند. خاک شکل ب-۲ بین کف دست و صفحهٔ شیشه‌ای غلتانده می‌شود. خاک شکل ب-۲ بین انگشتان دست و صفحهٔ شیشه‌ای غلتانده می‌شود.

نام آزمایشگاه:	نمایندگی برای ایران
نام بروزه:	نام بروزه
نوع خاک:	نوع خاک
توضیح چشمی آغازین:	توضیح چشمی آغازین: CH, قهوه‌ای، روسی، پخته، خمیری
شماره نمونه:	شماره نمونه: N/A
نام آزمایشگاه:	نام آزمایشگاه: N/A
نام بروزه:	نام بروزه: CH
نوع خاک:	نوع خاک: خاک
توضیح چشمی آغازین:	توضیح چشمی آغازین: CH
آماده‌سازی آزمون:	آماده‌سازی آزمون:
مشخصه بر روی الک نمایه:	مشخصه بر روی الک نمایه: X
بروز خشک شده بر روی الک نمایه:	بروز خشک شده بر روی الک نمایه: X
به کار بردن فشار مکانیکی برای کارخانه / الک نمایه:	به کار بردن فشار مکانیکی برای کارخانه / الک نمایه: X
به قدر زدن روی صفحه شنلایی و برداشتن ذرات ماسه‌ای بازگشت از مولستن:	به قدر زدن روی صفحه شنلایی و برداشتن ذرات ماسه‌ای بازگشت از مولستن: X
آب به کار رفته برای همزنی:	آب به کار رفته برای همزنی: X
خشک زدن:	خشک زدن: X
آرد خوبی (خشک شده در گرم خانه):	آرد خوبی (خشک شده در گرم خانه): X
شماره ظرف:	شماره ظرف:
جرم خاک مرطوب و ظرف به گرم (M1):	جرم خاک مرطوب و ظرف به گرم (M1): ۰.۶
جرم خاک خشک و ظرف به گرم (M2):	جرم خاک خشک و ظرف به گرم (M2): ۰.۹
جرم ظرف به گرم (M3):	جرم ظرف به گرم (M3): ۰.۵
درصد رطوبت (W):	درصد رطوبت (W): ۰.۴
این اشاره مانند تقریباً نیاز نموده خط پر است.	این اشاره مانند تقریباً نیاز نموده خط پر است.
حد خمیری:	حد خمیری:
شماره ظرف:	شماره ظرف:
جرم خاک مرطوب و ظرف به گرم (M1):	جرم خاک مرطوب و ظرف به گرم (M1): ۲۲.۷۲
جرم خاک خشک و ظرف به گرم (M2):	جرم خاک خشک و ظرف به گرم (M2): ۲۲.۷۳
جرم ظرف به گرم (M3):	جرم ظرف به گرم (M3): ۱۵.۴۲
درصد رطوبت (W):	درصد رطوبت (W): ۰.۰۷
حد روغنی:	حد روغنی:
شماره ظرف:	شماره ظرف:
جرم خاک مرطوب و ظرف به گرم (M1):	جرم خاک مرطوب و ظرف به گرم (M1): ۲۷.۷۶
جرم خاک خشک و ظرف به گرم (M2):	جرم خاک خشک و ظرف به گرم (M2): ۲۸.۴۶
جرم ظرف به گرم (M3):	جرم ظرف به گرم (M3): ۱۸.۷۵
درصد رطوبت (W):	درصد رطوبت (W): ۰.۰۷
شماره خوبیها:	شماره خوبیها:
حد روغنی به روش تکنیکهای:	حد روغنی به روش تکنیکهای: ASTM
خط جریانی:	خط جریانی:
نحوه آزمون:	نحوه آزمون:
مشخصه:	مشخصه:
نام روسی:	نام روسی:
نام مکانی:	نام مکانی:
نام ایرانی:	نام ایرانی:
آماده‌سازی:	آماده‌سازی:
آزمون:	آزمون:
تحلیل رگرسیون خطی:	تحلیل رگرسیون خطی:
N=۲۵ در:	N=۲۵ در:
ضریب همبستگی:	ضریب همبستگی:
نامه توصیه شده برای شمارش رطوبت در روش آرد (حد تقطیعی):	نامه توصیه شده برای شمارش رطوبت در روش آرد (حد تقطیعی):
۰.۱۵ تا ۰.۲۵٪	۰.۱۵ تا ۰.۲۵٪
نامه توصیه شده برای شمارش رطوبت در روش آرد (حد تقطیعی):	نامه توصیه شده برای شمارش رطوبت در روش آرد (حد تقطیعی):
۰.۱۰٪	۰.۱۰٪
۰.۱۰٪ = (M1 - M2) / (M2 - M3) × 100	۰.۱۰٪ = (M1 - M2) / (M2 - M3) × 100
M1 = LL - PL	M1 = LL - PL
LL = (w0 - PL) / (1.1 - PL)	LL = (w0 - PL) / (1.1 - PL)
کارکشان:	کارکشان:
نام روسی:	نام روسی:
نام مکانی:	نام مکانی:
نام ایرانی:	نام ایرانی:
آماده‌سازی:	آماده‌سازی:
آزمون:	آزمون:

شکل ب-۱- نمونه برگه داده‌های آزمون



شکل ب-۲- نمونه‌ای از خاک در هنگام رسیدن به حد خمیری



شکل ب-۳- نمونه‌ای از خاک در هنگام رسیدن به حد خمیری



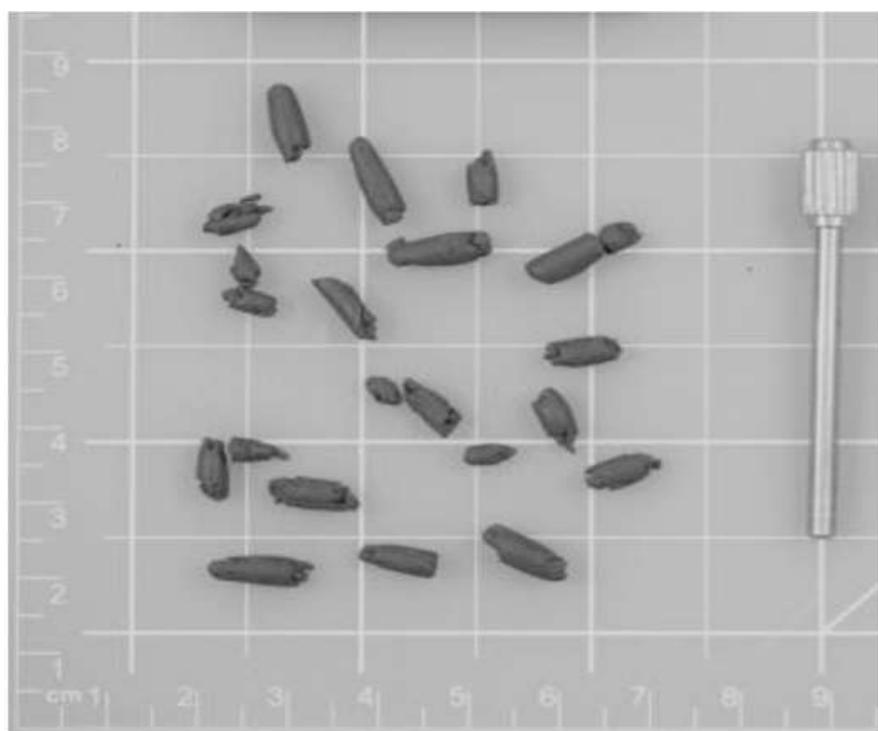
شکل ب-۴- نمونه‌ای از خاک در هنگام رسیدن به حد خمیری



شکل ب-۵- نمونه‌ای از خاک در هنگام رسیدن به حد خمیری



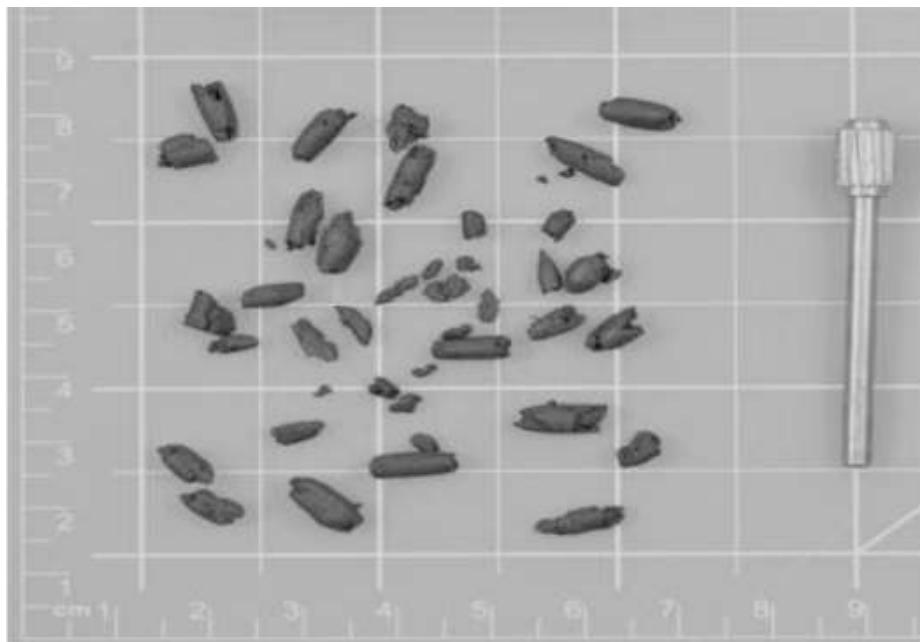
شکل ب-۶- نمونه‌ای از خاک در هنگام رسیدن به حد خمیری



شکل ب-۷- نمونه‌ای از خاک در هنگام رسیدن به حد خمیری



شکل ب-۸- نمونه‌ای از خاک در هنگام رسیدن به حد خمیری



شکل ب-۹- نمونه‌ای از خاک در هنگام رسیدن به حد خمیری