

سازمان حفاظت محیط زیست ایران

بخش خاک آزمایشگاه مرجع

دستورالعمل تعیین دانه بندی خاک به روش
هیدرومتری

**Determination of Particle Size
Distribution in Mineral Soil**

Method by Sieving and Sedimentation (Hydrometer)

تهیه کننده:

مهدی گندم کار

مسئول آزمایشگاه فیزیکوشیمی خاک

نسخه:

۱۳۹۵ - ۰۰

۱- هدف :

تعیین دانه‌بندی بخش ریزدانه خاک (ذرات کوچکتر از ۲ میلیمتر) با استفاده از ابزار هیدرومتر و تعیین درصد ماسه، سیلت و رس در بخش ریزدانه

۲- دامنه کاربرد :

این دستورالعمل برای طیف وسیعی از خاکهای معدنی، شامل بخش معدنی خاکهای آلی کاربرد داشته و عموماً برای اهداف زیست‌محیطی تدوین گردیده است. بنابراین کاربرد آن در مطالعات ژئوتکنیکی باید با قضاوت فنی خاص صورت گیرد. بدلیل آماده‌سازی با مواد شیمیایی و عملیات مکانیکی اجرا شده بر نمونه، این استاندارد برای مواد آلی، اجزای گیاهان و جانوران و ذرات بسیار ضعیف و شکننده، قابل استفاده نیست.

توجه : این روش مراحل مختلف و طولانی دارد. لذا برخی از آزمایشگاهها روشهای ساده شده مرسوم تعیین بافت خاک را بکار می‌برند که در صورت تایید دستگاه نظارتی قابل استفاده است.

۳- اصطلاحات و تعاریف :

- ۱-۳ : ماسه : ذرات خاک با اندازه بین ۰/۰۶۳ تا ۲ میلیمتر
 ۲-۳ : سیلت : ذرات خاک با اندازه بین ۰/۰۰۲ تا ۰/۰۶۳ میلیمتر
 ۳-۳ : رس : ذرات خاک با اندازه کوچکتر از ۰/۰۰۲ میلیمتر

۴- تجهیزات :

۱-۴ : هیدرومتر : از جنس شیشه، علائم و نشانها با جوهر ثابت، مقطع دایره‌ای و متقارن، بدون زوائد در بدنه، شناوری با حداکثر انحراف ۵ درجه از راستای قائم.
 هیدرومترهای موجود دارای دو نوع مقیاس g/ml و g/lit است که نوع اول چگالی سیال و نوع دوم مستقیماً غلظت ماده اضافه شده به آب را نشان می‌دهد. نوع اول از ۰/۹۹۵ تا ۱/۰۳۰ با دقت g/ml ۰/۰۰۰۵ و نوع دوم از صفر تا ۶۰ با دقت g/l ۱ درجه بندی شده است. در صورت استفاده از هیدرومتر نوع اول لازم است از عدد قرائت شده، ۱/۰۰۰ کسر و سپس حاصل در ۱۰۰۰ ضرب شود. برای مثال اگر عدد ۱/۰۰۲۵ قرائت شد، عدد ۲/۵+ ثبت می‌شود.
 هیدرومتر باید کالیبره باشد به طوری که نوع اول در دمای ۲۰ درجه سانتیگراد چگالی آب، و نوع دوم قرائت صفر را نشان دهد. همچنین وزن آن هر ماه یکبار اندازه‌گیری و ثبت گردد.

۲-۴: دو عدد سیلندر (استوانه مدرج) یک لیتری با قطر حدود ۶۰ و ارتفاع حدود ۳۶۰ میلیمتر دارای لبه

بدون چین خوردگی و درپوش شیشه‌ای یا لاستیکی

۳-۴: شیکر با سرعت ۱۸۰ حرکت در دقیقه (نوع سروته کننده با سرعت ۳۰ دوران در دقیقه مناسبتر

است)

۴-۴: الک با اندازه سوراخ ۲ و ۰/۰۶۳ میلیمتر

۵-۴: ترازو با دقت ۰/۰۱ گرم

۶-۴: آون با قابلیت نگهداری دمای ۱۰۵ درجه سانتیگراد

۷-۴: دستگاه اندازه‌گیری هدایت الکتریکی با دقت ۰/۱ dS/m

۸-۴: بشر بلند ۶۵۰ میلی لیتر با درپوش

۹-۴: پی‌پت ۲۵ میلی لیتری

۱۰-۴: قیف بزرگ شیشه‌ای با قابلیت نگهداری الک ۰/۰۶۳ میلیمتری

۱۱-۴: هات پلیت یا چراغ الکلی

۱۲-۴: دماسنج با دقت ۰/۵ درجه سانتیگراد

۱۳-۴: زمان‌سنج با دقت ۱ ثانیه

۱۴-۴: آب‌پاش کوچک (پی‌ست)

همچنین در این آزمایش به یک محیط با دمای ثابت بین ۲۰ تا ۳۰ درجه سانتیگراد نیاز است.

۵- مواد مصرفی :

۱-۵: آب: در تمام مراحل این آزمون باید از آب درجه ۲ یعنی با هدایت الکتریکی حداکثر ۰/۱ dS/m

(۱۰۰ μS/cm) در دمای اتاق استفاده نمود.

۲-۵: آب اکسیژنه ۳۰٪

۳-۵: محلول پراکنده‌سازی: ۳۳ گرم هگزامتافسفات سدیم و ۷ گرم کربنات سدیم بی‌آب را در آب حل

کرده به حجم یک لیتر برسانید. این محلول ناپایدار است و حداکثر به مدت یک ماه در محیط تاریک

نگهداری شود.

۴-۵: عامل ضد کف: می‌توان از اکتان ۲ ال یا از فرارهای مشابه استفاده نمود.

۶- تشریح انجام آزمون

۶-۱: تهیه منحنی کالیبراسیون و اصلاح قرائت هیدرومتر

۶-۱-۱: منحنی کالیبراسیون هیدرومتر:

در این آزمایش باید از سیلندرهای ۱ لیتری کاملاً مشابه استفاده شده و هر هیدرومتر با سیلندر، کالیبره و منحنی مربوطه رسم گردد. بدین منظور اقدامات زیر را انجام دهید و در صورت تعویض یا تعمیر هیدرومتر یا سیلندر، منحنی جدیدی رسم نمایید:

۱- تاریخ، شماره شناسایی و وزن هیدرومتر را ثبت کنید.

۲- سیلندر را تا نشان ۸۰۰ ml پر از آب کرده و هیدرومتر را در آن شناور کنید. اختلاف حجم معادل حجم هیدرومتر است (V_h). آن را بر حسب میلی لیتر یادداشت کنید.

۳- فاصله بین دو خط نشان روی سیلندر مانند ۱۰۰ و ۹۰۰ میلی لیتر، (L بر حسب میلی متر) و حجم بین آن دو (V_L بر حسب میلی لیتر) را یادداشت کنید.

۴- ارتفاع حباب هیدرومتر h ، فاصله بالای حباب تا پایتترین عدد d_n و فاصله سایر اعداد تا پایتترین عدد d_i را با خط کش بر حسب میلی متر اندازه گیری کنید.

۵- مقادیر H_i و Z_i را از روابط زیر برای هر خط نشان اصلی هیدرومتر بدست آورید و در جدولی درج کنید.

$$H_i = d_i + d_n \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$Z_i = H_i + 0.5(h - V_h L / V_L) \quad \text{رابطه (۲)}$$

۶- نمودار Z (عمق مؤثر) را بر حسب قرائت هیدرومتر رسم نموده و شماره شناسایی هیدرومتر و تاریخ را در آن قید کنید. این نمودار صرفاً برای همان هیدرومتر و سیلندر معتبر بوده و در صورت تغییر یا تعمیر سیلندر یا هیدرومتر باید نمودار جدیدی رسم شود.

۶-۱-۲: تعیین خطای قرائت هلال Z_m :

بدلیل کدر بودن سیال داخل سیلندر، در هیدرومتر بجای زیر هلال مایع دور میله هیدرومتر، بالای آن قرائت می‌شود. بنابر این لازم است مقدار خطای قرائت Z_m بدست آید. بدین منظور سیلندر را تا ۸۰۰ میلی لیتر از آب پر کنید. چشم را زیر سطح آب قرار داده آهسته بالا آورید تا بیضی سطح آب به شکل خط دیده شود. محل تقاطع سطح آب و میله هیدرومتر را قرائت کنید. سپس بالای هلال را نیز قرائت کنید. تفاضل این دو عدد برابر Z_m است که قرائت واقعی از جمع آن با قرائت بالای هلال بدست می‌آید.

۶-۲: حدود ۶۰ گرم خاک ماسه‌ای یا ۲۰ گرم خاک رسی، که مطابق دستورالعمل آماده‌سازی نمونه، هواخشک شده و از الک ۲ میلیمتر رد شده را توزین نمایید (کلا ۵۰ گرم خاک قابل پیشنهاد است m_0).
 ۶-۳: در نمونه جداگانه‌ای از آن خاک، درصد رطوبت و درصد مواد آلی خاک هواخشک را مطابق دستورالعمل‌های مربوطه تعیین و سپس میزان رطوبت و مواد آلی در نمونه انتخاب شده (m_0) تعیین و وزن خالص خاک خشک را بدست آورید:

$$m_t = m_0 \text{ (وزن نمونه اولیه) - میزان رطوبت - میزان مواد آلی} \quad \text{رابطه (۳)}$$

۶-۴: حذف مواد آلی:

خاک را در بشر ۶۵۰ میلی لیتری ریخته و حدود ۳۰ میلی لیتر آب و ۳۰ میلی لیتر آب اکسیژنه اضافه کنید. یک شیشه ساعتی روی ظرف را بگذارید. واکنشهای شدیدی رخ می‌دهد. در صورت لزوم مقدار بیشتری آب اکسیژنه اضافه کرده بمدت یک شب رها کنید. روز بعد بشر را روی هات پلیت قرار داده تا نزدیک دمای جوش گرم کنید تا حبابهای باقیمانده کاملاً خارج شوند. اگر نیاز به آب اکسیژنه بیشتری باشد، لازم است مخلوط خنک شود. پس از ته‌نشینی یا سانتریفوژ آب زلال رویی و آثار مواد آلی را با سیفون کردن یا روش دیگر خارج کنید. در صورت لزوم این عملیات را ۲ یا ۳ بار دیگر تکرار کنید.

۶-۵: حذف نمکهای محلول:

نمکهای محلول بر پراکنده‌سازی تاثیر منفی دارند. اگر در ادامه نیاز به تغییر ظرف است، کلیه ذرات داخل و چسبیده به بدنه بشر را کاملاً با یک جت کوچک آب شسته و به کمک یک قیف به ظرف دیگر منتقل کنید. به میزان کافی آب اضافه کنید تا نسبت حجمی آب به خاک بین ۴ به ۱ و ۶ به ۱ شود. ظرف را به شدت هم زده سپس به مدت یک ساعت روی شیکر با سرعت مناسب قرار دهید. سپس هدایت الکتریکی سیال زلال شده رویی را اندازه‌گیری کنید. اگر بیش از ۰.۴ dS/m (معادل ۴۰۰ $\mu\text{S/cm}$) باشد آب زلال شده رویی را سیفون کرده و مجدداً آب اضافه نموده عملیات را تکرار کنید تا هدایت الکتریکی کمتر از حد فوق شود. حداکثر چهار بار این عملیات را تکرار کنید.

۶-۶: پراکنده سازی:

نمونه را به حجم ۱۵۰ تا ۲۰۰ میلی لیتر رسانده و ۲۵ میلی لیتر از محلول پراکنده سازی به آن اضافه کنید. به مدت ۱۸ ساعت (در طول شب) نمونه را بر روی شیکر عادی با سرعت ۱۸۰ حرکت در دقیقه و یا شیکر

سر و ته کننده با سرعت ۳۰ دوران در دقیقه قرار دهید. در صورت عدم وجود شیکر می‌توان از همزن برقی استفاده نمود. در این صورت آن را بر روی حداقل سرعتی که موجب اختلاط مناسب نمونه است تنظیم کنید. زیرا سرعت بالا و یا تیغه‌های تیز موجب خرد شدن ذرات می‌شود.

۶-۷: الک تر:

الک با اندازه ۰/۰۶۳ میلیمتر را روی یک قیف بزرگ قرار داده و انتهای قیف را در سیلندر یک لیتری وارد کنید. محتویات ظرف پس از پراکنده‌سازی روی قیف ریخته و با فشار یک جت کوچک آب (مانند پی‌ست) آنرا کاملاً بشوید تا آب خروجی کاملاً شفاف شود. ذرات مانده روی الک را با حداقل آب به یک ظرف تبخیر منتقل کنید و در آن با دمای ۱۰۵ درجه سانتیگراد خشک کنید. بهتر است این ذرات را مجدداً روی الک ۰/۰۶۳ میلیمتر ریخته و ذرات عبوری را به سیلندر منتقل کنید. ذرات مانده روی الک را توزین (m_{sand}) و درصد ذرات بین ۰/۰۶۳ و ۲ میلیمتر را محاسبه کنید (درصد ماسه).

$$\text{رابطه (۴)} \quad 100 * m_{sand} / m_t = \text{درصد ماسه}$$

۶-۸: ته نشینی و قرائت هیدرومتر:

محتوی سیلندر را به حجم یک لیتر رسانده و درپوش آن را بگذارید. در یک سیلندر مشابه دیگر مقدار ۲۵ میلی‌لیتر محلول پراکنده ساز ریخته و با آب به حجم یک لیتر برسانید. هر دو سیلندر را به خوبی تکان داده و در محیط با دمای ثابت قرار دهید. حداقل یک ساعت (یا تا زمان رسیدن به دمای ثابت) صبر کنید. برای تسریع در این امر بهتر است از آب با دمای محیط استفاده نمایید. سیلندرهای را برداشته بخوبی تکان دهید. سیلندر حاوی خاک باید با سرعت ۳۰ دوران (سر و ته شدن) در دقیقه بمدت ۲ دقیقه با دستگاه شیکر تکان داده شود. اگر این کار با دست انجام می‌شود، لازم است همه ذرات معلق شده و مخلوط همگنی ایجاد شود. سیلندرهای را بلافاصله در جای خود قرار داده و زمان سنج را روشن کنید. به آرامی درپوشها را برداشته و هیدرومتر را در مرکز سیلندر وارد و کمی پایینتر از نقطه شناوری رها کنید. اگر کف وجود دارد آن را با چند قطره عامل ضد کف از بین ببرید (در سیلندر شاهد نیز اقدام مشابه انجام دهید). بالای هلال هیدرومتر را پس از ثابت شدن آن قرائت کنید. هیدرومتر را از سیلندر خارج کرده با آب بشوید و سپس به همین روش سیلندر دوم را قرائت کنید. قرائت هیدرومتر در زمانهای ۰/۵، ۱، ۲، ۴، ۸ و ۳۰ دقیقه و ۲ و ۸ و ۲۴ ساعت انجام گیرد. لااقل ۳ نقطه برای قرائت لازم است. قرائت باید تا زمانی ادامه یابد که میزان رس (ذرات زیر ۰/۰۰۲ میلیمتر قابل تعیین باشد که در صورتی که مقدار مناسبی نمونه انتخاب شده باشد، معمولاً در ۲۴ ساعت اولیه، میزان رس قابل تعیین خواهد بود. هیدرومتر را ۱۵ ثانیه قبل

از قرائت وارد سیلندر کرده از تلاطم سیال جلوگیری کنید. دما را در ۱۵ دقیقه اول یکبار و سپس بعد از هر قرائت اندازه بگیرید. جدول زیر را پر کنید.

جدول ۱: فرم اطلاعات آزمایش دانه‌بندی با هیدرومتر

نسبت ذرات ریزتر از d_p	قرائت اصلاح شده	قطر ذره	عمق مؤثر متناظر d'	اصلاح قرائت هلال	قرائت بالای هلال	دما	زمان طی شده	تاریخ
P	$d_m = d - d_0'$	d_p (mm)	z (mm)	$d = d' + z_m$	d'	T (°C)	t (sec)	

۷- محاسبات:

در جدول فوق t زمان بر حسب ثانیه و d' و d_0' قرائت بالای هیدرومتر در سیلندر اول و دوم است (به تبدیل لازم در قرائت هیدرومتر با مقیاس g/ml که در بخش ۴-۱ ذکر شد توجه کنید). Z_m اصلاح قرائت هلال است که در بخش ۶-۱-۲ بدست آمد. Z عمق مؤثر بوده و از نمودار رسم شده در بخش ۶-۱-۱ و متناظر با قرائت اولیه d' بدست می‌آید.

نکته: به نظر می‌رسد در صورتی که از محلول ضد کف استفاده نشود یا از اثر آن صرف نظر گردد، لزومی به سیلندر دوم و تعیین d_0' نبوده و اثر آن در Z_m تعیین شده، ملحوظ است.

مقدار قطر ذره d_p بر حسب میلیمتر که در زمان t (sec) از عمق مؤثر Z (mm) عبور کرده است با توجه به قانون استوکس و فرض چگالی $2/65 g/cm^3$ و $1/100$ برای ذرات خاک و آب و فرض شتاب جاذبه $9/81 m/s^2$ و با تبدیل واحدهای لازم، از رابطه زیر بدست می‌آید که در آن η عبارت است از لزجت آب با واحد $g/mm.s$ است که به دما بستگی داشته و از جدول ۲ بدست می‌آید.

$$d_p \text{ (mm)} = \sqrt{[1.1124 (\eta \cdot z / t)]} \quad \text{رابطه (۵)}$$

نسبت ذرات ریزتر از قطر d_p به ترتیب زیر محاسبه می‌شود.

ابتدا قرائت اصلاح شده هیدرومتر d_m را بدست آورید:

$$d_m \text{ (mm)} = d' + z_m - d_0' \quad \text{رابطه (۶)}$$

که در آن Z_m خطای قرائت هلال و d_0' قرائت بالای هلال در سیلندر دوم (حاوی محلول پراکنده سازی) است. این مقدار با توجه به اینکه قرائت بر حسب g/lit بوده و حجم بکار رفته یک لیتر است، بیانگر جرم ذرات بر حسب گرم خواهد بود. بنابراین نسبت ذرات ریزتر از قطر d_p (متناظر با زمان t) از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$P (\%) = d_m / m_t (*100) \quad \text{رابطه (۷)}$$

در این رابطه m_t جرم خاک مصرف شده در این آزمون، پس از کسر رطوبت و مواد آلی است که از رابطه (۳) بدست آمده است.

جدول ۲: لزجت آب η در دماهای مختلف

T (°C)	η (g/mm.s)
۲۰	۰/۰۰۱۰۰۲
۲۱	۰/۰۰۰۹۷۸
۲۲	۰/۰۰۰۹۵۵
۲۳	۰/۰۰۰۹۳۳
۲۴	۰/۰۰۰۹۱۱
۲۵	۰/۰۰۰۸۹۱
۲۶	۰/۰۰۰۸۷۱
۲۷	۰/۰۰۰۸۵۲
۲۸	۰/۰۰۰۸۳۳
۲۹	۰/۰۰۰۸۱۵
۳۰	۰/۰۰۰۷۹۸

نموداری از نسبت (درصد) ذرات کوچکتر از d_p بر حسب d_p رسم کرده و از آنجا درصد ریزتر از ۰/۰۰۲ میلیمتر (ابعاد رس) را بدست آورید (%clay). درصد سیلت (ذرات بین ۰/۰۰۲ تا ۰/۰۶۳ میلیمتر) از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\% \text{silt} = 100 - \% \text{sand} - \% \text{clay} \quad \text{رابطه (۸)}$$

توجه: درصدهای بدست آمده در این آزمون (P) مربوط به بخش رد شده از الک ۲ میلیمتر می‌باشد. در صورتی که هدف، انتقال آن به منحنی دانه‌بندی کل خاک باشد (دستورالعمل تعیین دانه‌بندی خاک به روش الک)، لازم است این نتایج در نسبت وزن ریزتر از ۲ میلیمتر به وزن کل نمونه ضرب شود.

۸- گزارش:

در گزارش مشخصات کلی نمونه و تاریخ آزمون قید گردد. در صورتی که بخشهایی از این دستورالعمل اجرا نشده است (حذف مواد آلی، حذف نمکها، الک تر و ...) عنوان گردد. نتایج بدست آمده از هیدرومتری و در صورت لزوم نمودار مربوطه ارائه گردد. نام اپراتور و نام و آدرس آزمایشگاه قید شود.

۹- مراجع و مستندات مرتبط:

1- ISO 11277 : 1998(E) - Soil quality : Determination of particle size distribution in mineral soil material, Method by sieving and sedimentation
- ANNEX B : Determination of particle size distribution in mineral soils by a hydrometer method following destruction of organic matter

2-Western States Laboratory Plant, Soil and Water Analysis Manual, 2nd Edition, 2003, PARTICLE SIZE ANALYSIS (Hydrometer Method) S-14.10