

بخش ششم

آزمایش دانه‌بندی خاک (Particle Size Analysis)

هدف از این آزمایش دانه‌بندی، جداسازی دانه‌های خاک در اندازه‌های مختلف است که هر بخش به صورت درصدی از کل نمونه بیان می‌شود.

۱. مقدمه

اصطلاحات اصلی که مهندسان راه و ساختمان برای توصیف خاک به کار می‌برند، عبارت است از شن و ماسه (درشت دانه)، لای و رس (ریزدانه). اغلب خاک‌های طبیعی شامل مخلوطی از دو یا بیش‌تر از این اجزای باشند و بسیاری از آنها شامل مقدار کمی مواد آلی نیز می‌باشند.

امروزه با گسترش رشته‌ی مکانیک خاک و کاربرد آن در زمینه‌های مختلف رشته‌ی عمران، انواع مختلفی از دانه‌بندی خاک‌ها برای مقاصد گوناگون مهندسی مثل ساخت جاده و محوطه‌ی فرودگاه، خاکریزی، سدسازی و... مورد نیاز است.

به طور کلی اطلاعات حاصل از این آزمایش برای پیش‌بینی حرکت آب در خاک، میزان نفوذپذیری خاک، حساسیت خاک در مقابل یخ‌زدگی (Freezing) و رفتار خاک در آب و هوای سرد، خالصیت مویینگی، استفاده از عنوان فیلتر (Filter) و زهکشی (Drain)، مفید است. آزمایش‌ها نشان می‌دهند که خالصیت مویینگی و نفوذپذیری به قطر مؤثر ذرات بستگی دارد (قطر مؤثر، D_{10} ؛ یعنی قطری که ۱۰٪ دانه‌ها ریزتر و ۹۰٪ درشت‌تر از آن هستند)، همچنین نفوذپذیری خاک‌های غیرچسبنده به طور متوسط متناسب با مجنوز قطر مؤثر دانه‌هاست.

۱-۱. خاک‌های درشت دانه (Grain Size)

طبقه‌بندی خاک‌های درشت دانه اساساً بر مبنای اندازه و شکل دانه‌هاست و حد فصل‌بندی بین انواع خاک‌های

درشت دانه اختیاری است و مهندسان چندین سیستم مختلف را به کار می‌برند که دو سیستم MIT و ASTM در جدول

(۱) آمده است.

جدول (۱) - مقایسه‌ی استانداردهای MIT و ASTM

طبقه‌بندی MIT (mm)		طبقه‌بندی ASTM (mm)	
بزرگ‌تر از ۲/۰۰	شن	بزرگ‌تر از ۴/۷۵	شن
۰/۰۶ تا ۲/۰۰	ماسه	۴/۷۵ تا ۲/۰۰	ماسه‌ی درشت
۰/۰۶	لای	۲/۰۰ تا ۰/۴۲۵	ماسه‌ی متوسط
۰/۰۰۵	رس	۰/۴۲۵ تا ۰/۰۷۵	ماسه‌ی ریز
		زیر ۰/۰۷۵	ریز دانه‌ها (لای و رس)

اصطلاحات عمومی که برای توصیف شکل دانه‌ها به کار می‌روند، عبارت از کروی، نیم کروی، کمی تیز گوشه یا تیز گوشه توجه شود که شکل دانه‌های درشت موجود در یک خاک تأثیر به‌سزایی بر خواص مهندسی خاک دارد.

دانه‌بندی یک خاک نیز ممکن است به صورت خوب دانه‌بندی شده، نسبتاً خوب دانه‌بندی شده، نسبتاً یکواخت و دارای انقطاع و بد دانه‌بندی شده تعریف شود. خاک خوب دانه‌بندی شده شامل گستره‌ی مناسبی از تمام دانه‌ها از

درشت تا ریز می‌باشد؛ در دانه‌بندی یکواخت همه‌ی دانه‌ها دارای اندازه‌ی مساوی هستند و خاک‌های دارای دانه‌بندی

منقطع شامل مخلوط‌هایی از خاک درشت یکواخت و خاک‌های ریز یکواخت بایک شکاف در منحنی دانه‌بندی بین

این دو اندازه می‌باشند، هر خاکی را که خوب دانه‌بندی نشده باشد می‌توان به عنوان بد دانه‌بندی شده توصیف کرد

(البته به شرطی که عبوری از الک ۲۰۰ آن کم‌تر از ۵٪ باشد و $PI < 4$).

۱-۲. خاک‌های ریزدانه (Fine Size)

لای معدنی بخش درشت‌تر از قسمت میکروسکوپی یک خاک را تشکیل می‌دهد و دارای خالصیت خمیری کم یا

فقد خالصیت خمیری و چسبندگی است. انواع لای که خالصیت خمیری آنها بسیار کم است و اساساً از دانه‌های خیلی ریز کوارتز تشکیل یافته‌اند، گردسنگ و نوعی که خالصیت خمیری آن از انواع دیگر بیش‌تر است و دارای مقدار قابل ملاحظه‌ای دانه‌های پوسته‌ای شکل می‌باشد، لای پلاستیک نامیده می‌شود.

باید توجه داشت که خاک رس به طور کلی یک مجموعه از کانی‌های بلورین پوسته‌ای شکل میکروسکوپی و زیرمیکروسکوپی می‌باشد و با خواص خمیری، چسبندگی و قدرت جذب یون (که از خواص کلونیدها است) مشخص می‌گردد و فرق بین لای و خاک رس را نمی‌توان بر مبنای اندازه‌ی دانه‌ها قرار داد، چون خواص مکانیکی مهم این دو مصالح، به طور غیرمستقیم به اندازه‌ی دانه بستگی دارد.

۲. تئوری آزمایش

۲-۱. خواص نشانه‌ای خاک‌ها

خواص نشانه‌ای به دو گروه کلی خواص دانه‌های خاک‌ها و خواص مجموعه‌های خاک‌ها تقسیم می‌شود. خواص دانه‌های خاک، خواص تک‌تک دانه‌هایی که خاک از آن تشکیل یافته است، بدون در نظر گرفتن ترتیب قرارگیری این دانه‌ها می‌باشد، اما خواص مجموعه‌های خاک به ساختمان و طرز قرار گرفتن دانه‌ها بستگی دارد و تأثیر بیش‌تری بر رفتار مهندسی خاک دارند.

۲-۲. دانه‌بندی (خاصیت دانه‌ای خاک‌ها)

امروزه اهمیت پی‌بردن به توزیع و اندازه‌ی دانه‌های خاک به قدری است که این آزمایش (دانه‌بندی) در اکثر آزمایشگاه‌ها به عنوان یک آزمایش ضروری انجام می‌شود.

دانه‌بندی به سه روش عمده انجام می‌شود: ۱. الک (Analysis Sieve)، ۲. هیدرومتری (Hydrometer)، ۳.

ترکیبی از هر دو.

در روش دانه‌بندی با الک، با استفاده از مجموعه‌ای از الک‌ها و لرزاندن آنها، درصد وزنی دانه‌های مختلف

خاک را به دست می آورند. این آزمایش بیش تر برای خاک‌هایی است که بیش از ۹۰٪ دانه هایشان بزرگ تر از الک نمره ی ۲۰۰ باشد.

برای خاک‌هایی که بیش از ۹۰٪ ریزتر از الک ۲۰۰ باشند آزمایش هیدرومتری انجام می گیرد، که اساس آن بر پایه ی قانون استوکس و کروی بودن دانه‌ها می باشد.

در مورد خاک‌های مخلوط درشت دانه و ریز دانه، برای بخش درشت تر از الک ۲۰۰، آزمایش دانه بندی و برای ریزتر از آن، آزمایش هیدرومتری انجام می شود.

۲-۳. آزمایش دانه بندی

تحلیل دانه بندی در واقع کوششی است برای تعیین نسبت‌های مربوط به اندازه‌های مختلف دانه که از یک توده خاک حاصل می شود. باید توجه داشت که به هیچ وجه تعیین اندازه‌های تک دانه‌ها امکان پذیر نیست و باید این اندازه‌های مختلف موجود در خاک را به محدوددهای مختلفی تقسیم کنیم، این کار با به دست آوردن مقدار جرم عبوری از یک الک مشخص صورت می پذیرد (واضح است که مقادیر باقی مانده روی هر الک شلبل یک محدودده از اندازه ی دانه‌هاست که کلاً از سوراخ آن بزرگ تریند).

الک‌ها از سیم‌های بافته شده ای که سوراخ‌های چهارگوشی را ایجاد می کنند ساخته می شوند و در اندازه‌های ۱۰۱۶mm برای سری‌های درشت، تا ۰/۳۸mm برای سری‌های ریز دانه وجود دارند. جدول (۲) لیست الک‌های معمول را نشان می دهد؛ الک شماره ی ۲۰۰ (۰/۰۷۵mm) کوچک ترین اندازه ی معمول این سرای الک‌هاست. جدول (۲) الک‌ها را بر اساس ASTM و U.S National Bureau طرح کرده است، البته طرح‌های قدیمی تری هم وجود دارد

ولی خواننده بهتر است برای ثبت و رسم گراف‌های دانه بندی از الک‌های موجود استفاده کند.

همه ی سیستم‌های طبقه بندی خاک از الک ۲۰۰ به عنوان نقطه ی تقسیم استفاده می کنند، یعنی طبقه بندی‌ها بر

اساس مقدار باقی مانده یا گنرنده از الک ۲۰۰ بنا شده اند و برای دانه‌های کوچکتر از الک ۲۰۰ از روش هیدرومتری

استفاده می شود.

جدول ۲- انواع سری‌های الک بر اساس دو استاندارد U. B. S و تیلور

سری‌های الک						
استاندارد U.B.S			استاندارد تیلور			
سوراخ			فطر سیم	سوراخ		شماره‌ی الک (شبهه)
mm	in	شماره	in	mm	in	
۱۰۱/۶	۴		۰/۲۰۷	۷۶/۲	۳	
۵۰/۸	۲		۰/۱۹۲	۵۰/۸	۲	
۲۵/۴	۱		۰/۱۴۸	۲۶/۶۷	۱/۰۵۰	
۱۹/۱۰	۰/۷۵۰		۰/۱۳۵	۱۸/۸۵	۰/۷۴۲	
۱۲/۷	۰/۵		۰/۱۰۵	۱۳/۳۳	۰/۵۲۵	
۹/۵۲	۰/۳۷۵		۰/۰۹۲	۹/۴۳	۰/۳۷۱	
۶/۳۵	۰/۲۵۰	۳	۰/۰۷۰	۶/۶۸۰	۰/۲۶۳	۳
۴/۷۶	۰/۱۸۷	۴	۰/۰۶۵	۴/۴۹۹	۰/۱۸۵	۴
۳/۳۶	۰/۱۳۲	۶	۰/۰۳۶	۳/۳۲۷	۰/۱۳۱	۶
۲/۳۶۲	۰/۰۹۳۷	۸	۰/۰۳۲	۲/۳۶	۰/۰۹۳	۸
۲	۰/۰۷۸۷	۱۰	۰/۰۳۳	۱/۹۸۱	۰/۰۷۸	۹
۱/۶۸	۰/۰۶۶۱	۱۲	۰/۰۳۵	۱/۶۵۱	۰/۰۶۵	۱۰
۱/۱۹	۰/۰۱۶۹	۱۶	۰/۰۲۵	۱/۱۶۸	۰/۰۴۶	۱۴
۰/۸۴۰	۰/۰۳۳۱	۲۰	۰/۰۱۷۲	۰/۸۳۳	۰/۰۳۲۸	۲۰
۰/۵۹۰	۰/۰۲۳۲	۳۰	۰/۰۱۲۵	۰/۵۸۹	۰/۰۲۳۲	۲۸
۰/۴۲۰	۰/۰۱۶۵	۴۰	۰/۰۱۲۲	۰/۴۱۷	۰/۰۱۰۴	۳۵
۰/۲۹۷	۰/۰۱۱۷	۵۰	۰/۰۰۹۲	۰/۲۹۵	۰/۰۱۱۶	۴۸
۰/۲۵۰	۰/۰۰۹۸	۶۰	۰/۰۰۷۰	۰/۲۴۶	۰/۰۰۹۷	۶۰
۰/۲۱۰	۰/۰۰۸۳	۷۰	۰/۰۰۷۲	۰/۲۰۸	۰/۰۰۸۲	۶۵
۰/۱۴۹	۰/۰۰۵۹	۱۰۰	۰/۰۰۴۲	۰/۱۴۷	۰/۰۰۵۸	۱۰۰
۰/۱۰۵	۰/۰۰۴۱	۱۴۰	۰/۰۰۲۶	۰/۱۰۴	۰/۰۰۴۱	۱۵۰
۰/۰۷۴	۰/۰۰۲۹	۲۰۰	۰/۰۰۲۱	۰/۰۷۴	۰/۰۰۲۹	۲۰۰
۰/۰۵۳	۰/۰۰۲۱	۲۷۰	۰/۰۰۱۶	۰/۰۵۳	۰/۰۰۲۱	۲۷۰
۰/۰۳۷۸	۰/۰۰۱۵	۴۰۰	۰/۰۰۰۱	۰/۰۳۸	۰/۰۰۱۵	۴۰۰

اطلاعات به دست آمده از تحلیل الکها به صورت منحنی های دانه بندی ارائه می شوند، این منحنی ها برای مقایسه ی خاکها کلاً مناسب می باشند چون توزیع اندازه ی ذرات را به ما می دهند. همچنین در یک توده ی خاک چون محدوده ی اندازه ی دانه های که می تواند وجود داشته باشد خیلی زیاد است (بین ۰/۰۷۵mm تا ۲mm)، امکان استفاده از محورهای معمولی وجود ندارد و به همین خاطر از مقیاس لگاریتمی استفاده می شود. ضمناً در روش های استاندارد از درصد عبوری (درصد ریزتر) برای رسم منحنی استفاده می کنند.

۲-۴. انواع آزمایش الک

آزمایش الک را به دو صورت می توان انجام داد:

۲-۴-۱. روش خشک

در روش خشک، مقداری از خاک را گرفته، دانه های درشت و کلوخی شکل را خرد می کنند و در مجموعه های از الکها قرار می دهند.

بالرزش این مجموعه به مدت حدود ۱۰ دقیقه، درصد وزنی مقادیر باقی مانده روی هر الک را مشخص کرده، منحنی دانه بندی برای درصد عبوری را روی یک کاغذ نیمه لگاریتم رسم می کنند.

این روش برای خاکهای درشت دانه مؤثرتر است، چرا که شکل دانه ها به کره نزدیکتر و دانه ها به صورت مجزا از یکدیگر هستند.

۲-۴-۲. روش تو

در این روش خاک ریزدانه را روی الک ۲۰۰ ریخته، با فشار آب، الک و خاک را تا جایی که آب خارج شده

شفاف و رقیق شود، می شویند و بعد آن را خشک می کنند. سپس دانه های مانده روی آن را برای آزمایش الک و بقیه

را برای هیدرومتری به کار می برند.

تجربه نشان داده است که عمل شستشو بسیار مؤثر است و منحنی دانه بندی به دست آمده از آن رضایت بخش

می باشد و به خصوص برای پیش بینی رفتار خاکهای غیرچسبند و یافتن مقدار درصد بزرگتر از الک ۲۰۰ این روش

مناسبتر است.

روش مناسب پیشنهاد شده که تا حد زیادی هم قابل قبول است، این است که برای تحلیل دانه بندی خاک‌های ریزدانه با بیش از ۴-۵ درصد عبوری از الک ۲۰۰، ابتدا کلوخ‌ها را شکسته، آنها را تا حد امکان خرد می‌کنیم و روی الک ۲۰۰ شستشو دهیم. این روش به ما اطمینان می‌دهد که ذرات خیلی کوچک گردوغبار که به دانه‌های درشت‌تر چسبیده‌اند و ذرات رس و کلوخ‌های درشت خاک شسته شده، از سوراخ مورد نظر عبور می‌کنند.

وقت شود که شستن روی الک برای خاک‌های شن و ماسه‌ای که عبوری آنها از الک شماره ۱۰ کم‌تر از ۱۰-۱۵ درصد باشد، بی‌فایده است و شستن الک در صورتی که عبور از الک شماره ۱۰۰ بین ۱۰-۵ درصد باشد، لازم نیست.

۳. وسایل آزمایش

مهم‌ترین وسایل مورد نیاز عبارتند از:

۱. مجموعه‌ی الک،

۲. فرچه یا مسواک برای تمیز کردن،

۳. گرمخانه،

۴. دسیکاتور،

۵. آب‌فشان،

۶. هاون.

WWW.PARS-GEO-AZMA.COM
در مورد اندازه‌ی الک‌ها و انتخاب آنها باید توجه داشت که این انتخاب به خاک مورد آزمایش بستگی دارد،

مثلاً الک بالایی بر اساس اندازه‌ی بزرگ‌ترین ذره‌ی خاک تعیین می‌شود و اگر مجموعه‌ی الک‌هایی که استفاده

می‌شود دارای سوراخ‌هایی حدوداً نیم برابر سوراخ الک بالایی خود باشند، به‌خصوص برای خاک‌های درشت‌دانه بسیار

مناسب هستند.

همان‌طور که در جدول (۲) مشاهده شد، الک‌های سری تیلور (Tyler Seris) با شماره‌ی الک مشخص می‌شوند و شماره‌ی الک معرف تعداد سوراخ‌ها در هر اینچ می‌باشد. در لیست الک‌های تیلور در جدول (۲)، اندازه‌ی سوراخ‌های هر الک $\sqrt{2}$ برابر الک زیر آن می‌باشد. یک مجموعه الک عموماً شامل ۶ تا ۷ الک می‌باشد که هر الک با الک قبلی خود در ارتباطی با ضریب دو دارد، مثلاً ۴mm، ۱۲، ۶ یا ۳mm، ۰/۱۵، ۰/۰۷۵. برای سهولت کار و نیز به دلایل عملی بعضی اندازه‌ها حذف می‌شوند، مثلاً شماره‌های ۲۰۰، ۱۰۰، ۵۰، ۳۰ و ۱۰ به جای شماره‌های ۱۶۰، ۸۰، ۴۰ و ۲۰ به کار می‌روند. همچنین در خاک‌های چسبنده ممکن است نسبت دو برابر کردن در منحنی دانه‌بندی چندان مؤثر نباشد.

الک شماره‌ی ۲۰۰ معمولاً برای خاک‌های ریزدانه و الک شماره‌ی ۱۰۰ برای تهیه‌ی ماسه بتن در کف مجموعه الک‌ها قرار داده می‌شود.

۴. روش انجام آزمایش (تجزیه‌ی مکانیکی)

۴-۱. انتخاب نمونه

قدم اصلی تعیین مقدار خاک لازم برای آزمایش است که این مقدار بستگی به قطر درشت‌ترین ذره‌ی خاک دارد. اگر این قطر را با D منمایش دهیم و W وزن خاک لازم برای آزمایش باشد، در آن صورت رابطه‌ی $600D < W < 200D$ ، که در آن W به گرم و D به میلی‌متر می‌باشد. D در حقیقت قطر سوراخ ریزترین الکی است که بزرگ‌ترین ذره از آن عبور می‌کند؛ عموماً برای انتخاب مقدار خاک لازم برای آزمایش از جدول (۳) استفاده می‌شود.

در خاک‌های ریزدانه، برای خاک‌های ملسه‌ای ریز عموماً ۱۱۵ گرم و برای خاک‌های سیلتی و رسی تقریباً ۶۵ گرم در نظر گرفته می‌شود.

جدول (۳) - مقادیر حداقل وزن لازم بر حسب بزرگ‌ترین قطر اسمی دانه‌ها

۳"	۲"	$\frac{1}{2}$ "	۱"	$\frac{3}{4}$ "	$\frac{3}{8}$ "	D بزرگ‌ترین قطر اسمی
۷۶۲ >	۵۰ / ۸ >	۳۸ / ۱ >	۲۵ / ۴ >	۱۹ >	۹ / ۵ >	دانه‌ها (میلی‌متر)
۵۰۰۰	۴۰۰۰	۳۰۰۰	۲۰۰۰	۱۰۰۰	۵۰۰	حداقل وزن نمونه‌ی لازم (گرم)

۴-۲. روش ASTM برای انجام این آزمایش

پس از انتخاب نمونه‌ی آزمایش آن را در درجه‌ی حرارت اطاق خشک کرده، روی الک ۲۰۰ (۰/۰۷۵ میلی‌متر) سرنده می‌کنیم. در حین سرنده نمودن، به نمونه آب می‌افزاییم و آن را شستوشو می‌دهیم تا کلیه‌ی ذرات کوچک‌تر از ۷۵ میکرومتر از آن جدا گردد. این عمل تا موقعی که آب رنده از الک کلاً صاف و شفاف شود، ادامه می‌یابد. سپس هر دو قسمت (قسمت مانده و رنده از الک ۲۰۰) را در داخل گرمخانه قرار می‌دهیم تا کلاً خشک گردد (دمای $50 \pm 110^{\circ}\text{C}$).

نکته‌ی مهم

در صورتی که خاک مورد آزمایش شامل ذرات درشت‌دانه باشد، دو یا چند الک بزرگ‌تر از ۲۰۰ را نیز در نظر می‌گیرند تا وزن نمونه بر روی این الک‌ها تقسیم گشته، عملیات تفکیک به راحتی صورت گیرد. پس از آن که نمونه‌ها خشک شدند، آن قسمت را که درشت‌تر از ۰/۰۷۵ میلی‌متر است در دو مرحله الک می‌نماییم؛ ابتدا نمونه را با الک شماره‌ی ۱۰ به دو قسمت تقسیم کرده، از قسمتی که روی الک شماره‌ی ۱۰ می‌ماند مانند جدول (۳)، و از قسمتی که از الک ۱۰ عبور می‌کند، ۱۱۵ یا ۱۶۵ گرم نمونه برمی‌داریم. آن قسمت از نمونه را که قطر ذرات آن بیشتر از $\frac{1}{4}$ است با دست الک می‌نماییم و بقیه‌ی نمونه را روی یک سری الک قرار داده، در جدول مربوطه مقادیر بقیه مانده روی هر الک را یادداشت می‌کنیم. سپس مقدار رنده از الک $\frac{1}{4}$ را بر روی یک سری الک دیگر که کوچک‌ترین آنها الک ۲۰۰ است قرار داده، مجموعه را روی ماشین لرزشی می‌گذاریم. لرزش این ماشین باید تا وقتی که هیچ ذره‌ای از الک

شماره‌ی ۲۰۰ عبور ننماید، ادامه پیدا کند. این قسمت در کم‌تر از نیم ساعت باید انجام شود.

مقدار لرزش بستگی به شکل و اندازه‌ی ذرات دارد و هر چه تعداد دانه‌ها بیشتر شود، زمان بیشتری نیاز است،

مثلاً برای کوارتز گوشه‌دار اگر مقدار اولیه‌ی خاک از ۲۵۰ گرم به ۲۵ گرم تقلیل یابد، این زمان حدود ۲۵٪ کم‌تر

می‌شود.



WWW.PARS-GEO-AZMA.COM