آزمایش دانه بندی مطابق استاندارد ASTM D422 -63

منظور از دانه بندی عبارت است از جداسازی دانه های خاک در اندازه های مختلف از لحاظ قطری که هر قسمت به صورت درصد وزنی از ذرات به کل نمونه خاک بیان می‌شود. دو نوع دانه بندی خاک وجود دارد:

۱. سیستم الک (Sieve Analysis) برای خاک‌های درشت دانه تر از ۰.۰۷۵ میلی‌متر
۲. روش هیدرومتری (Hydrometer Method) برای خاک‌های ریز دانه

دانه های بزرگ‌تر از ۳ inch با **سَرَند (الک)** در عملیات صحرایی دانه بندی می‌شوند و اندازه های کوچک‌تر از ۰.۰۷۴ mm به روش **هیدرومتری** دانه بندی می‌شوند که در ادامه به تشریح دو روش پرداخته خواهد شد.

۱. سیستم الک (Sieve Analysis):

به منظور طبقه بندی خاک برای اهداف مهندسی، باید توزیع اندازه دانه ها در یک توده خاک مشخص را دانست. آنالیز به روش سیستم الک روشی است که برای تعیین توزیع دانه بندی خاک استفاده می شود. الک ها از سیم های بافته شده با دهانه های مربعی ساخته می شوند به طوری که اندازه قطر دانه از روی شماره الک تشخیص داده می‌شوند؛ لازم به ذکر است که انواع اندازه های الک در آزمایشگاه از ۳ inch شروع و به ۰.۰۷۴ mm ختم می‌شوند که در جدول زیر برخی از آن‌ها آورده شده است.

محدودیت آزمایش: روش سیستم الک برای خاک‌هایی که **عمدتاً دانه ای** هستند با مقدار کم یا بدون ریز دانه قابل استفاده است؛ همچنین تجزیه و تحلیل الک اطلاعاتی در مورد شکل ذرات ارائه نمی‌دهد.

برخی از قطر های الک در آزمایشگاه :

شماره الک	۳ in	۲ in	۱.۵ in	۳/۴ in	۳/۸ in	#۴	#۱۰	#۲۰	#۳۰	#۴۰	#۶۰	#۱۰۰	#۱۴۰	#۲۰۰
قطر (mm)	۷۶.۴	۵۰	۳۸.۱	۱۹.۱	۹.۵۲	۴.۷۶	۲	۰.۸۵	۰.۶	۰.۴۲۵	۰.۲۵	۰.۱۵	۰.۱۰۶	۰.۰۷۴

تذکر: الک نمره‌ی #۴ یعنی دارای ۴ سوراخ در یک اینچ و یا ۱۶ سوراخ در یک اینچ مربع است.

وسایل آزمایش:

- ✓ میزان خاک مناسب
- ✓ الک، سینی و درپوش (الک اعداد ۴، ۱۰، ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۱۴۰ و ۲۰۰ معمولاً برای اکثر کارهای دانه بندی با الک استاندارد استفاده می شود.)
- ✓ ترازو با دقت ۰.۱ گرم
- ✓ اون یا دسیکاتور
- ✓ چکش لاستیکی
- ✓ هاون (برای خرد کردن کلوخه‌ها)

- ✓ شیکر مکانیکی الک

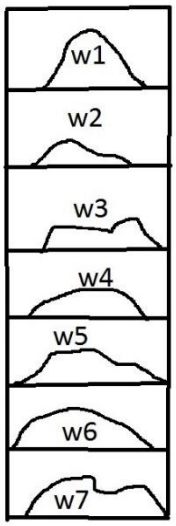
شرح آزمایش :

این آزمایش به دو صورت انجام می‌شود که در ادامه به توضیح هر کدام پرداخته خواهد شد:

۱) روش خشک:

ابتدا مقداری خاک از محل مورد نظر برمیداریم به نحوی که نمونه بیانگر خاک محل مورد بررسی باشد؛ سپس خاک را با اون یا دیسکاتور خشک کرده و مقداری خاک خشک شده معمولاً ۲ کیلوگرم در نظر می‌گیریم . اگر نیاز به خرد کردن خاک است آن را با هاون خرد میکنیم، سپس الک ها را به ترتیب از بزرگ به کوچک روی هم قرار میدهیم و زیر همه ی آنها سینی قرار میدهیم،

به مدت ۲۰ دقیقه با shaker نمونه و الک ها را می‌لرزانیم . در آخر وزن خاک مانده روی هر الک را میسنجیم .



الک‌های خالی را وزن کرده و از ریز به درشت بر روی هم قرار می‌دهیم زیر آن سینی می‌گذاریم. سپس مقداری نمونه(معمولا ۲ کیلو) را در اون به مدت ۲۴ ساعت خشک در دمای ۱۱۰ درجه سانتیگراد خشک می‌کنیم و آن را در درشت‌ترین الک می‌ریزیم. درپوش را روی بزرگ‌ترین الک قرار می‌دهیم. سپس آن‌ها را در لرزاننده(Shaker) به مدت ۲۰ دقیقه الک می‌کنیم. سپس وزن مانده بر روی الک را محاسبه می‌کنیم. با کمک روابط زیر درصد مانده تجمعی و درصد عبوری تجمعی را تعیین می‌شود تا بتوان در نهایت نمودار دانه بندی آن را ترسیم کرد.

$$\text{درصد مانده تجمعی الک } i = \frac{\text{مجموع وزن خاک مانده بر روی الک } i \text{ و الک های درشت‌تر از آن}}{\text{وزن کل نمونه}}$$

$$\text{درصد عبوری تجمعی الک } i = 100 - \text{درصد مانده تجمعی الک } i$$

۲) روش تر:

اگر میزان دانه های ریزدانه خاک همچون دانه‌های رسی زیاد باشد به کمک روش خشک، خاک خوب الک نمی‌شود لذا برای کاهش میزان خطا از روش تر کمک گرفته می‌شود.

این روش مشابه مراحلی است که در روش خشک بیان شد با این تفاوت که در ابتدا به میزان وزن مشخص، خاک را از محل مدنظر برداشته و خشک می‌کنیم؛ بعد از اندازه گیری وزن خاک خشک شده، آن را بر روی الک ۲۰۰ ریخته و خاک را با آب می‌شوییم. این فرآیند را تا زمانی ادامه می‌دهیم که آب عبوری از الک ۲۰۰ زلال شود. در نهایت خاک باقی مانده بر روی الک ۲۰۰ را در اون گذاشته تا خشک شود تا بعد از خشک شدن خاک، مشابه روش خشک فرآیند Shake کردن خاک انجام شود.

لازم به ذکر هست میزان اختلاف وزن خاک خشک شده قبل و بعد شسته شدن، میزان خاک عبوری از الک ۲۰۰ خواهد بود.

سایر محاسبات:

۱. قطر موثر ($D_{۱۰}$): قطری است که ۱۰٪ دانه‌های موجود در یک نمونه از آن کوچک‌تر هستند.

۲. $D_{۶۰}$: قطری است که ۶۰٪ دانه‌های موجود در یک نمونه از آن کوچک‌تر هستند.

۳. $D_{۹۵}$: قطری است که ۹۵٪ دانه‌های موجود در یک نمونه از آن کوچک‌تر هستند.

تذکر: $D_{۱۰}$، $D_{۶۰}$ و $D_{۹۵}$ هر سه به کمک معادله منحنی دانه بندی به دست می آیند.

۴. ضریب یکنواختی: این ضریب نشان دهنده یکنواخت بودن یا نبودن دانه‌ها را در یک نمونه نشان می‌دهد و همواره بزرگ‌تر مساوی یک است؛ هر چه قدر به یک نزدیک‌تر باشد دانه‌ها هم اندازه هستند و به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

۵. ضریب دانه بندی یا خمیدگی: به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$C_c = \frac{{D_{30}}^2}{D_{10} \times D_{60}}$$

۶. کیفیت دانه بندی)

- ✓ خوب دانه بندی(well graded): یعنی همه اندازه‌ها در خاک وجود داشته باشد و هیچ یک از اندازه‌ها بیش از حد در آن نباشد.
- ✓ بد دانه بندی(poorly graded): یعنی برخی از اندازه‌ها بیش از حد در خاک وجود داشته باشد و یا بعضی از قطرها اصلا وجود نداشته باشد.
- ✓ طریقه فهمیدن کیفیت دانه بندی:
  - ➢ روش منحنی استاندارد فولر: منحنی فولر منحنی‌ای است که همه‌ی قطرها در نمونه وجود داشته باشد و از رابطه زیر تبعیت می‌کند؛ حال اگر منحنی دانه بندی با منحنی فولر تقریباً به‌صورت کیفی یکی باشند، خاک خوب دانه بندی شده است در غیر این صورت خاک بد دانه‌بندی شده است.

$$P.P_i\% = \sqrt{\frac{D_i}{D_{95}}} \times 100$$

در این رابطه $P.P_i$ درصد عبوری قطر مورد نظر D_i و $D_{۹۵}$ قطریست که ۹۵٪ دانه‌ها از آن ریزترند.

  - ➢ از طریق ضرایب یکنواختی و خمیدگی: خاکی که دو شرط زیر را با هم دارا باشد جزء دسته خاک‌های خوب دانه بندی محسوب می‌شود، در غیر این صورت خاک از نوع بددانه بندی شده است.

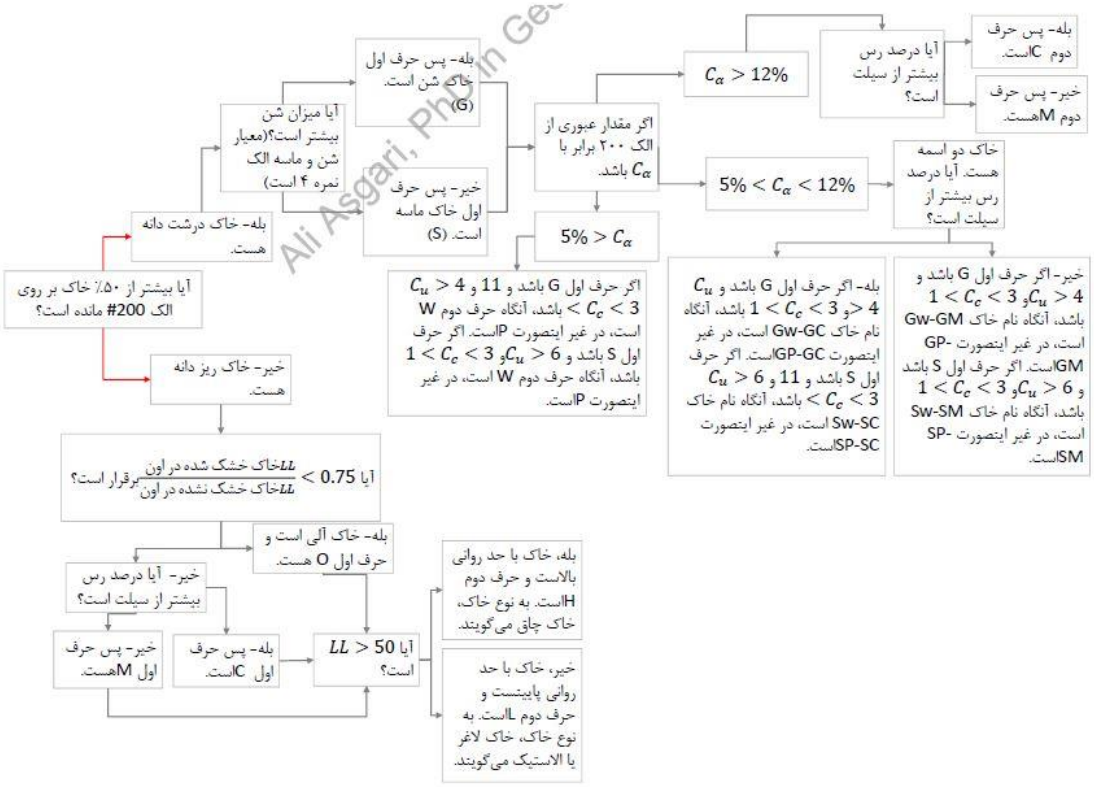
شن $C_u \geq 4$ or ماسه $C_u \geq 6$ و $1 < C_c < 3$

۷. یادآوری از مکانیک خاک در خصوص طریقه نام گذاری خاک: برای نام گذاری خاک به دو روش یونیفاید و آشو به شرح زیر است:

الف) روش یونیفاید: این سیستم خاک را به سه گروه اصلی درشت دانه، ریزدانه و آلی تقسیم می‌کند. در این سیستم هر خاک معمولا به صورت دوحرفی نمایش داده می‌شود که حرف اول آن جزء گروه اصلی و حرف دوم آن به عنوان گروه فرعی است.

نوع خاک(گروه اصلی)	علامت	گروه فرعی	علامت
شن (Gravel)	G	خوب دانه بندی(well-graded)	W
ماسه (Sand)	S	بد دانه بندی(poorly-graded)	P
لای یا سیلت (Silt)	M	حد روانی کم(Low Liquid Limit)	L
رس (Clay)	C	حد روانی زیاد(High Liquid Limit)	H
آلی (Organic Soil)	O		

Ali Asgari, Ph.in Geotechnical Engineering



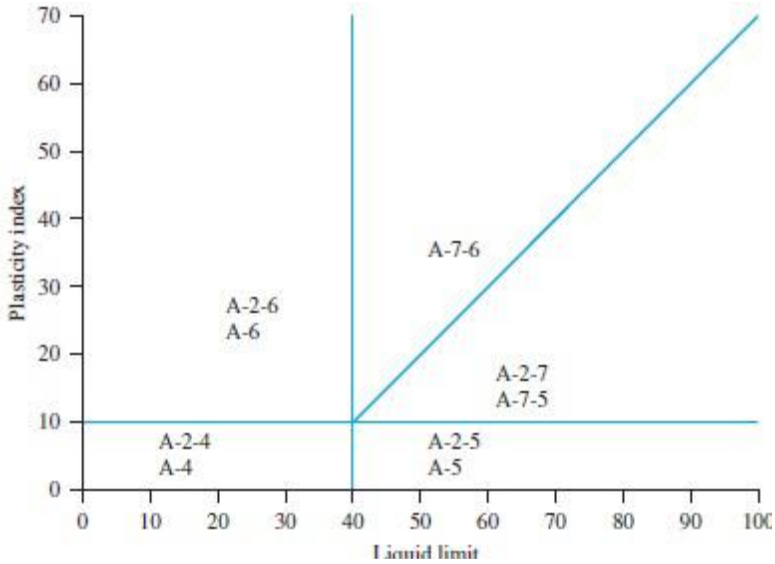
ب)روش آشوAASHTO (American Association State Highway & Transportation Officials):

این سیستم خاک را به هشت گروه اصلی A-1 تا A-8 به طریق زیر تقسیم می‌کند:

General classification	Granular materials (35% or less of total sample passing No. 200)						
	A-1			A-2			
Group classification	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Sieve analysis (percentage passing)							
No. 10	50 max.						
No. 40	30 max.	50 max.	51 min.				
No. 200	15 max.	25 max.	10 max.	35 max.	35 max.	35 max.	35 max.
Characteristics of fraction passing No. 40							
Liquid limit				40 max.	41 min.	40 max.	41 min.
Plasticity index	6 max.		NP	10 max.	10 max.	11 min.	11 min.
Usual types of significant constituent materials	Stone fragments, gravel, and sand		Fine sand	Silty or clayey gravel and sand			
General subgrade rating	Excellent to good						

General classification	Silt-clay materials (more than 35% of total sample passing No. 200)			
Group classification	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5[a] A-7-6[b]
Sieve analysis (percentage passing)				
No. 10				
No. 40				
No. 200	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.
Characteristics of fraction passing No. 40				
Liquid limit	40 max.	41 min.	40 max.	41 min.
Plasticity index	10 max.	10 max.	11 min.	11 min.
Usual types of significant constituent materials	Silty soils		Clayey soils	
General subgrade rating	Fair to poor			

[a]For A-7-5, $PI \leq LL - 30$
[b]For A-7-6, $PI > LL - 30$



نکات :

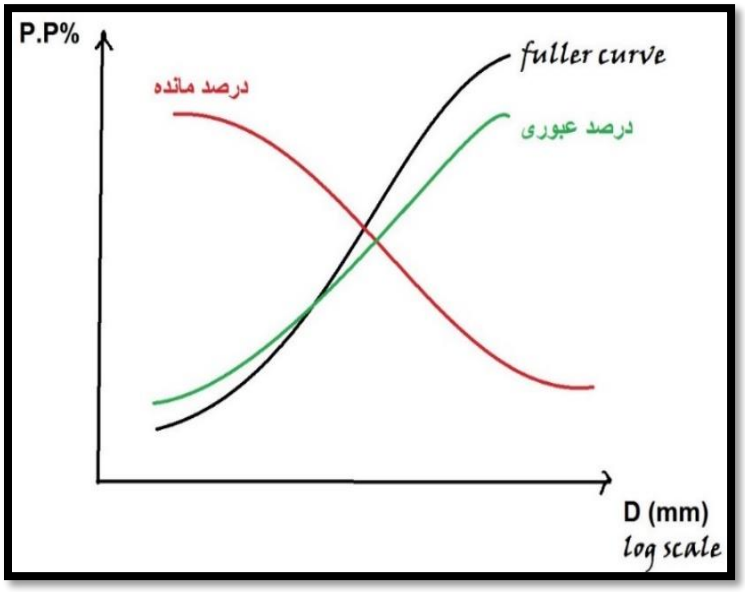
- هر چه تعداد بیشتری از الک در آزمایش دانه بندی استفاده شود، نتیجه دقیق‌تر خواهد شد.
- اگر بخواهیم این فرآیند را در مدت زمان کمتری از ۲۰ دقیقه انجام دهیم ، باید پس از مدت زمان مورد نظر ۲ الک را به دلخواه وزن کنیم ، مجدداً به مدت ۲ دقیقه می‌لرزانیم و دوباره وزن میکنیم . اگر وزن ثابت مانده بود ، میتوانیم فرآیند را خاتمه دهیم .
- مدت زمان بیشتر از ۲۰ دقیقه ، موجب سایش دانه ها میشود و دانه بندی را نامطلوب میکند.
- توصیه بر آن است که هنگام شست و شو خاک در روش تر، با آب با فشار زیاد شسته نشود بلکه به کمک تشت آب این کار صورت گیرد چراکه ممکن است بر اثر فشار آب ذرات درشت تر از نمره الک عبور کنند.

جدول نمونه گزارش کار دانه بندی با الک:

شماره الک	قطر الک (mm)	وزن هر الک (gr)	وزن خاک همراه الک (gr)	وزن خاک روی هر الک (gr)	درصد مانده روی الک ها	درصد عبوری	F.C	۱۰۰-F.C
۱/۲ in	۱۲.۷	۳۹۶.۸	۴۳۶.۶	۳۹.۸	۱.۹۹	۹۸.۰۱	-	-
D_{95}	۱۲.۱۴۲۷۶۹۳۶	بدون الک	بدون الک	بدون الک	۵	۹۵	۱۰۰	۰
۳/۸ in	۹.۵۲	۴۳۱.۲	۸۱۷.۷	۳۸۶.۵	۲۱.۳۱۵	۷۸.۶۸۵	۸۸.۵۴۴۰۹۴۵۴	۱۱.۴۵۵۹
#۴	۴.۷۶	۳۸۰	۸۱۶.۶	۴۳۶.۶	۴۳.۱۴۵	۵۶.۸۵۵	۶۲.۶۱۰۱۲۹۶۸	۳۷.۳۸۹۹
#۸	۲.۳۶	۳۰۵.۶	۵۵۴.۵	۲۴۸.۹	۵۵.۵۹	۴۴.۴۱	۴۴.۰۸۵۶۳۷۸۲	۵۵.۹۱۴۴
#۱۰	۲	۳۳۷.۵	۳۶۹.۲	۳۱.۷	۵۷.۱۷۵	۴۲.۸۲۵	۴۰.۵۸۴۱۱۹۱۹	۵۹.۴۱۵۹
#۱۴	۱.۴	۳۳۳	۴۷۹.۶	۱۴۶.۶	۶۴.۵۰۵	۳۵.۴۹۵	۳۳.۹۵۵۱۱۰۲۴	۶۶.۰۴۴۹
#۳۰	۰.۶	۲۷۶.۷	۵۷۱.۷	۲۹۵	۷۹.۲۵۵	۲۰.۷۴۵	۲۲.۲۲۸۸۳۷۵۶	۷۷.۷۷۱۲
#۴۰	۰.۴۲۵	۳۱۵.۸	۴۱۵.۵	۹۹.۷	۸۴.۲۴	۱۵.۷۶	۱۸.۷۰۸۳۵۴۵۶	۸۱.۲۹۱۶
#۶۰	۰.۲۵	۳۰۴.۷	۴۶۹.۷	۱۶۵	۹۲.۴۹	۷.۵۱	۱۴.۳۴۸۶۵۲۹۴	۸۵.۶۵۱۳
#۱۰۰	۰.۱۵	۲۶۱.۳	۳۶۵.۴	۱۰۴.۱	۹۷.۶۹۵	۲.۳۰۵	۱۱.۱۱۴۴۱۸۷۸	۸۸.۸۸۵۶
#۲۰۰	۰.۰۷۴	۲۸۱.۸	۳۱۲.۷	۳۰.۹	۹۹.۲۴	۰.۷۶	۷.۸۰۶۵۱۱۱۹۵	۹۲.۱۹۳۵
سینی	۰	۲۳۱.۷	۲۴۶.۹	۱۵.۲	۱۰۰	۰	۰	۱۰۰
کل	-	۳۸۵۶.۱	-	۲۰۰۰	-	-	-	-

نام خاک (آشو)	نام خاک (یونیفاید)	PL	PI	C_c	C_u	D_{95}	D_{60}	D_{30}	D_{10}
D-۲-۷	SP	۴۱	۱۱	۰.۶۷۵۳۴۲۴۵۵	۱۷.۹۲۸۶۹۰۸۴	۱۲.۱۴۲۷۶۹۳۶	۵.۲۶۰۶۹۸۷۴۸	۱.۰۲۱۰۱۲۷۶	۰.۲۹۳۴۲۳۴۷۴

نمونه نمودار دانه بندی و مقایسه آن با نمودار فولر:



جدول پیشنهادی گزارش کار دانه بندی با الک:

شماره الک	قطر الک (mm)	وزن هر الک (gr)	وزن خاک همراه الک (gr)	وزن خاک روی هر الک (gr)	درصد مانده روی الک ها	درصد عبوری	F.C	۱۰۰-F.C
سینی								
کل								

نام خاک (آشو)	نام خاک (یونیفاید)	PL	PI	C_c	C_u	$D_{۹۵}$	$D_{۶۰}$	$D_{۳۰}$	$D_{۱۰}$