دانشکده کشاورزی

گروه علوم و مهندسی خاک

آزمایشگاه فیزیک و مکانیک خاک

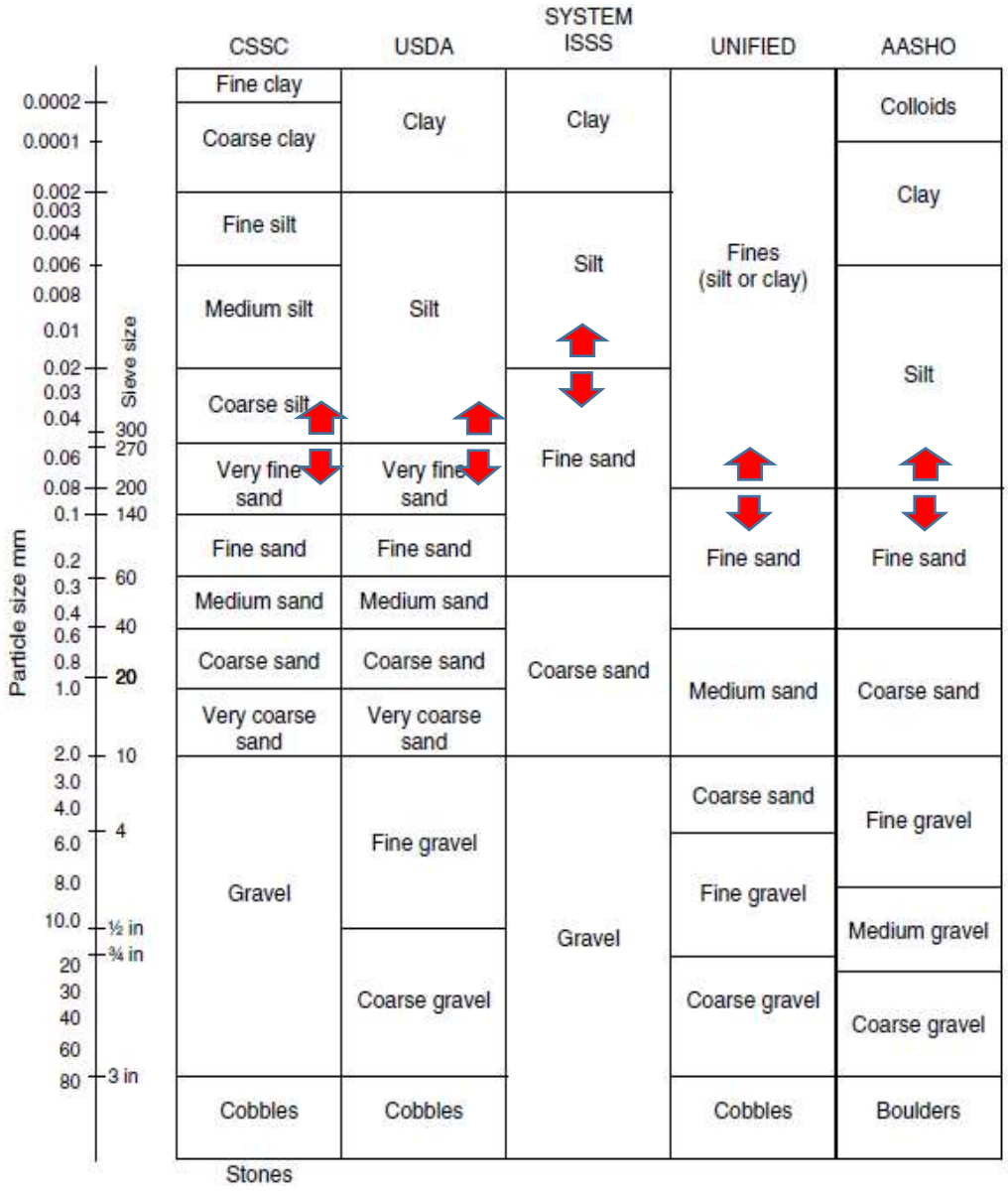
تعیین دانه بندی خاک

تهیه و تنظیم
دکتر حیدر غفاری

آزمایش ۱: عنوان آزمایش: تعیین دانه بندی خاک (تجزیه مکانیکی خاک)

مقدمه:

خاک ا سا سا توده ای متخلخل ا ست که حا صل فر سایش و تخریب سنگ ها می با شد. برای آن که بتوان رفتار خاک ها را در شرایط فیزیکی، شیمیایی و آب و هوایی گوناگون پیش‌بینی کرده و نیز رفتار آن ها را کنترل کرد، بای ستی شناخت کافی از آن ها دا شت. به این منظور، آن ها را برحسب مشخصات فیزیکی و شیمیایی مختلف شان طبقه بندی می کنند. طبقه بندی خاک ها بر اساس اندازه ذرات یکی از کاربردی ترین آزمایشهای خاکشنا سی است. نحوه توزیع اندازه ذرات خاک بر بسیاری از خواص و رفتارهای خاک از جمله حرکت آب و هوا، تراکم‌پذیری، چسبندگی و خصوصیات مکانیکی آن تاثیرگذار است. از همین جهت آزمایش دانه‌بندی بستری است برای بدست آوردن توزیع اندازه دانه ها در نمونه خاک. از جمله مهمترین کاربردهای آزمایش دانه‌بندی ارائه زبانی مشترک جهت توصیف و پیش بینی رفتار خاک هاست. اساس آزمایش دانه بندی در مکانیک خاک، رده بندی انواع خاک ها بر اساس اندازه ذرات ها و نیز رفتار خمیری خاک‌ها می با شد. سیستم های مختلفی جهت تعیین دانه بندی خاک ها وجود دارد (جدول زیر) که مهمترین آنها در مطالعات مهند سی روش یونیفاید UNIFIED یا متحد و روش آشتو AASHO و در مطالعات کشاورزی USDA و ISSS می‌باشند. سیستم طبقه بندی آشتو اغلب توسط مهندسان راه و سیستم طبقه بندی متحد، اغلب توسط مهندسان ژئوتکنیک و سیستم USDA و ISSS توسط مهندسان کشاورزی مورد استفاده قرار می گیرد.



طبقه بندی سازمان کشاورزی آمریکا USDA

این سیستم طبقه بندی بر پایه حدود اندازه ذرات طبق سیستم USDA بوده و خاک ها را بر اساس ذرات کوچکتر از ۲ میلیمتر به ۱۲ کلاس بافتی تقسیم بندی میکند:

- ذرات شن: بین ۲ تا ۰/۰۵ میلی متر
- ذرات سیلت: بین ۰/۰۵ و ۰/۰۰۲ میلیمتر
- ذرات رس: کوچکتر از ۰/۰۰۲ میلیمتر

سیستم طبقه بندی آشتو

طبق این سیستم، خاکها بر اساس اندازه و خصوصیات خمیری به گروه های اصلی A-1 تا A-7 تقسیم میشوند. خاک های گروه A-1 تا A-3 خاکهایی هستند که درصد عبوری ذرات از الک نمره ۲۰۰ کمتر از ۳۵ درصد است و خاکهایی که درصد ذرات عبوری آنها از الک ۲۰۰ بیشتر از ۳۵ درصد باشد در گروه های A-4 تا A-7 قرار میگیرند.

جدول ۳-۱ طبقه بندی مصالح بستر راه ها طبق طبقه بندی آشتو

طبقه بندی عمومی	مصالح دانه ای (درصد عبوری از الک ۲۰۰ مساوی ۳۵ درصد و یا کمتر)						
طبقه بندی گروهی	A-1		A-3	A-2			
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
آزمایش دانه بندی (درصد عبوری)							
No.10 (الک نمره ۱۰)	50 max						
No.40 (الک نمره ۴۰)	30 max	50 max	51 min				
No.200 (الک نمره ۲۰۰)	15 max	25 max	10 max	35 max	35 max	35 max	35 max
مشخصات قسمت عبوری از الک ۴۰							
حد مایع				40 max	41 min	40 max	41 min
نشانه خمیری	6 max		NP	40 max	40 max	11 min	11 min
نوع مصالح تشکیل دهنده	ماسه و شن با قلوه سنگ		ماسه ریز	ماسه و شن رس دار و یا لای دار			
مناسب بودن به عنوان مصالح بستر	عالی تا خوب						

طبقه بندی عمومی	مصالح دانه ای (درصد عبوری از الک ۲۰۰ مساوی ۳۵ درصد و یا کمتر)			
طبقه بندی گروهی	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5* A-7-6†
آزمایش دانه بندی (درصد عبوری)				
No.10 (الک نمره ۱۰)				
No.40 (الک نمره ۴۰)				
No.200 (الک نمره ۲۰۰)	36 min	36 min	36 min	36 min
مشخصات قسمت عبوری از الک ۴۰				
حد مایع	40 max	42 min	40 max	41 min
نشانه خمیری	10 max	10 max	11 min	11 min
نوع مصالح تشکیل دهنده	خاک های لای دار		خاک های رس دار	
مناسب بودن به عنوان مصالح بستر	متوسط تا بد			

* For A-7-5, PI ≤ LL – 30, † For A-7-6, PI > LL – 30

سیستم طبقه بندی متحد USCS

این سیستم خاک ها را به دو طبقه بزرگ تقسیم می نماید:

خاک‌های درشت دانه با طبیعت شنی و یا ماسه ای: مقدار عبوری از الک نمره 200 کمتر از ۵۰ درصد است. علامت گروه های این طبقه با G و S شروع میشود.

خا های ریزدانه: مقدار عبوری از الک نمره 200 بیشتر از ۵۰ درصد است. علامت گروه های این طبقه با M و C و O شروع میشود.

علائمی که به عنوان حرف دوم در طبقه بندی به کار می روند، عبارتند از:

W = خوب دانه بندی شده

P = بد دانه بندی شده

L = خاصیت خمیری کم (حد مایع کوچکتر از ۵۰)

H = خاصیت خمیری زیاد (حد مایع بزرگتر از ۵۰)

حروف فوق همیشه به عنوان حرف دوم قرار گرفته و صفت حرف اول می باشند.

جدول ۳-۲ سیستم طبقه بندی متحد - علائم گروه برای خاک های شنی

معیار	علامت گروه
عبوری از الک نمره ۲۰۰ کوچکتر از ۵ درصد، C_u بزرگتر یا مساوی ۴ و C_c بین ۱ و ۳	GW
عبوری از الک نمره ۲۰۰ کوچکتر از ۵ درصد، و هیچکدام از دو شرط GW برآورده نمی شود	GP
درصد عبوری از الک نمره ۲۰۰ بزرگتر از ۱۲ است. حدود اتربرگ زیر خط A قرار می گیرد یا نشانه خمیری کمتر از ۴ است	GM
درصد عبوری از الک نمره ۲۰۰ بزرگتر از ۱۲ است. حدود اتربرگ بالای خط A و نشانه خمیری بزرگتر از ۷ است	GC
درصد عبوری از الک نمره ۲۰۰ بزرگتر از ۱۲ است. حدود اتربرگ در ناحیه سایه خورده قرار می گیرد (ناحیه CL-ML)	GC-GM
درصد عبوری از الک نمره ۲۰۰ بین ۵ تا ۱۲ است و معیارهای GW و GM برآورده می شود	GW-GM
درصد عبوری از الک نمره ۲۰۰ بین ۵ تا ۱۲ است و معیارهای GW و GC برآورده می شود	GW-GC
درصد عبوری از الک نمره ۲۰۰ بین ۵ تا ۱۲ است و معیارهای GP و GM برآورده می شود	GP-GM
درصد عبوری از الک نمره ۲۰۰ بین ۵ تا ۱۲ است و معیارهای GP و GC برآورده می شود	GP-GC

جدول ۳-۳ سیستم طبقه بندی متحد - علائم گروه برای خاک های ماسه ای

معیار	علامت گروه
عبوری از الک نمره ۲۰۰ کوچکتر از ۵ درصد، C_u بزرگتر یا مساوی ۶ و C_c بین ۱ و ۳	SW
عبوری از الک نمره ۲۰۰ کوچکتر از ۵ درصد، و هیچکدام از دو شرط GW برآورده نمی شود	SP
درصد عبوری از الک نمره ۲۰۰ بزرگتر از ۱۲ است. حدود اتربرگ زیر خط A قرار می گیرد یا نشانه خمیری کمتر از ۴ است	SM
درصد عبوری از الک نمره ۲۰۰ بزرگتر از ۱۲ است. حدود اتربرگ بالای خط A و نشانه خمیری بزرگتر از ۷ است	SC
درصد عبوری از الک نمره ۲۰۰ بزرگتر از ۱۲ است. حدود اتربرگ در ناحیه سایه خورده قرار می گیرد (ناحیه CL-ML)	SC-SM
درصد عبوری از الک نمره ۲۰۰ بین ۵ تا ۱۲ است و معیارهای SW و SM برآورده می شود	SW-SM
درصد عبوری از الک نمره ۲۰۰ بین ۵ تا ۱۲ است و معیارهای SW و SC برآورده می شود	SW-SC
درصد عبوری از الک نمره ۲۰۰ بین ۵ تا ۱۲ است و معیارهای SP و SM برآورده می شود	SP-SM
درصد عبوری از الک نمره ۲۰۰ بین ۵ تا ۱۲ است و معیارهای SP و SC برآورده می شود	SP-SC

جدول ۳-۴ سیستم طبقه بندی متحد - علائم گروه برای خاک های رسی و لای

معیار	علامت گروه
غیر آلی، LL < 50 ، PI > 7 و منطبق یا بالای خط A (به ناحیه CL در شکل ۳-۳ توجه شود)	CL
غیر آلی، LL < 50 ، PI > 4 و زیر خط A (به ناحیه ML در شکل ۳-۳ توجه شود)	ML
آلی، LL (خشک شده) / LL (خشک نشده) < 0.75 و LL < 50 (به ناحیه OL در شکل ۳-۳ توجه شود)	OL
غیر آلی، LL ≥ 50 و PI منطبق و یا بالای خط A (به ناحیه CH در شکل ۳-۳ توجه شود)	CH
غیر آلی، LL ≥ 50 و PI زیر خط A (به ناحیه MH در شکل ۳-۳ توجه شود)	MH
آلی، LL (خشک شده) / LL (خشک نشده) < 0.75 و LL ≥ 50 (به ناحیه OH در شکل ۳-۳ توجه شود)	OH
غیر آلی، در ناحیه هاشور خورده در شکل ۳-۳	CL-ML
تورب، ماک و یا سایر خاک های آلی	Pt

روش جداسازی ذرات

به طور کلی در تمام سیستم های طبقه بندی فوق، جداسازی ذرات بستگی به اندازه ذرات به دو روش زیر امکان پذیر است:

۱. الک کردن (روش مکانیکی) Sieving Analysis
۲. ته نشینی (رسوب سنجی) Sedimentation Analysis

در روش **دانه بندی با الک** که به دو حالت تر و خشک انجام می‌شود با استفاده از مجموعه‌ای از الک‌ها و لرزاندن آنها روی دستگاه لرزاننده، درصد وزنی دانه‌های مختلف خاک به دست می‌آید . این آزمایش بیشتر برای خاک‌هایی مورد استفاده است که بیشتر از ۹۰ ٪ دانه‌هایشان بزرگ‌تر از الک شماره ۲۰۰ باشد.

برای خاک هایی که بیشتر از ۹۰ ٪ ذرات آن ریزتر از الک ۲۰۰ باشند آزمایش ته نشینی انجام می‌گیرد. این آزمایش بر پایه قانون استوکس و فرض کروی بودن دانه ها و عدم برهکنش بین ذرات با یکدیگر است.

روش رسوب سنجی با طریق انجام میشود:

- روش پیپت
- روش هیدرومتر

در مورد خاک‌های مخلوط درشت دانه و ریز دانه، برای بخش درشت تر از الک ۲۰۰، آزمایش دانه بندی با الک و برای ریزتر از آن، آزمایش ته‌نشینی انجام می‌شود.

اندازه استاندارد الک ها

نام الک	چشمه (mm)
inch 3	75
inch 2	50
inch 1.5	37.5
inch 1	25
inch 3.4	19
inch 3.8	9.5
NO.4	4.75
NO.10	2
NO.20	0.85
NO.40	0.425
NO.60	0.25
NO.140	0.106
NO.200	0.075

آزمایش الک کردن (روش آشتو و یونیفاید)

همانطور که گفته شد آزمایش الک را به دو صورت خشک و تر انجام می شود که روش تر مرسوم تر می باشد لذا توضیحات تکمیل تر را در روش تر توضیح می دهیم.

تجهیزات آزمایش

۱) سری الک ها ۲) دستگاه لرزاننده ۳) ترازو ۴) هاون (چکش) پلاستیکی

روش خشک

در این روش مقداری از خاک (۱۰۰۰ گرم) را برداشته، دانه های چسبنده و کلوخی شکل را با چکش پلاستیکی خرد می کنیم. سپس خاک را در اون خشک کرده و سپس مقدار مشخص از آن را با دقت ۰/۱ گرم وزن می کنیم. جرم مورد نیاز از خاک با توجه به اندازه قطر بزرگترین دانه تعیین میشود و از جدول زیر تبعیت میکند. در مرحله بعد خاک را روی مجموعه ای از الک ها می ریزیم. با لرزش این مجموعه به مدت حدود ۱۲ دقیقه بر روی شیکر، درصد وزنی مقادیر باقی مانده روی هر الک را مشخص و منحنی دانه بندی برای درصد عبوری از هر الک در مقیاس نیمه لگاریتمی رسم می گردد. این روش برای خاک های درشت دانه موثرتر است، چرا که شکل دانه ها به کره نزدیکتر است و دانه ها مجزا از یکدیگر می باشند.

جرم نمونه کیلوگرم	حداکثر اندازه اسمی چشمه ها مربعی mm
1	9.5
2	12.5
5	19
10	25
15	37.5
20	50
35	63
60	75
100	90
150	100
300	125

روش تر

- در این روش ابتدا مقدار مشخصی از خاک (۱۰۰۰ گرم) را وزن کرده، کلوخه های آن را با چکش پلاستیکی خرد کرده و سپس در اون تحت دمای ۱۱۰ درجه خشک می کنیم.
- حال باید نمونه خاک در الک شست و شو یعنی الک شماره ۲۰۰ با فشار اب شسته شوند تا زمانی که آب خارج شده از ان شفاف شود. این کار از این جهت انجام می شود که خاک های ریز دانه چسبیده به قسمت درشت دانه جدا شوند. قسمت عبوری از الک شماره ۲۰۰ را میتوان در آزمایش رسوب سنجی استفاده کرد.
- حال خاک باقی مانده روی الک شماره ۲۰۰ را مجددا در آون تحت دمای ۱۰۵خشک میکنیم و وزن می کنیم.سپس خاک حاصله را روی سری الک های های تمیز می ریزیم و در شیکر قرار می دهیم و این کار به مدت ۱۲ دقیقه انجام می دهیم تا تفکیک دانه ها به خوبی انجام شود.

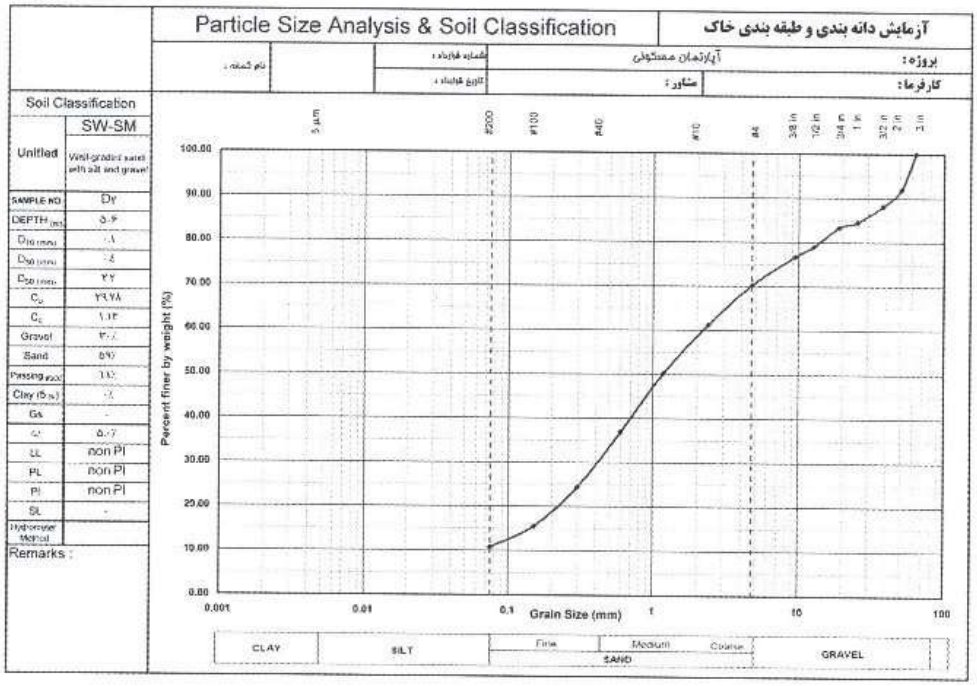
محاسبات آزمایش الک کردن

جرم اولیه خاک وزن شده برابر با ۱۰۰۰ گرم می باشد و وزن مانده بر روی الک ها نیز توزین گشته و جدول زیر به صورت تجمیعی آماده میگردد.

جدول ۴-۴ محاسبه درصد رد شده

شماره الک	مانده در الک	مصالح مانده تجمعی		مصالح گذشته تجمعی		درصد وزنی گذشته p.p%	
3/4.in	0		0	991-0=	991	(991/991)*100=	100
3/8.in	40	0+40=	40	991-40=	951	(951/991)*100=	96
NO4	42	40+42=	82	991-82=	909	(909/991)*100=	92
NO8	62	82+62=	144	991-144=	847	(847/991)*100=	85
NO12	192	144+192=	336	991-336=	655	(655/991)*100	66
NO25	160	336+160=	496	991-496=	495	(495/991)*100=	50
NO40	200	496+200=	696	991-696=	295	(295/991)*100=	30
NO50	145	696+145=	841	991-841=	150	(150/991)*100=	15
NO100	65	841+65=	906	991-906=	85	(85/991)*100	9
NO200	35	906+35=	941	991-941=	50	(50/991)*100=	5
زیر الکPAN(	50	941+50=	991	991-991=	0	(0/991)*100=	0

در نهایت میتوان داده های جدول فوق را بر روی یک جدول نیمه لگاریتمی ترسیم کرد. بدین ترتیب که اندازه ذرات که همان شماره الک ها می باشد بر روی مولفه افقی نمودار و با مقیاس لگاریتمی و درصد رد شده بر روی مولفه قائم و به صورت طبیعی رسم میگردد.



جدول ۴-۴ نمونه‌ای از نمودار نیمه لگاریتمی

بعد از رسم نمودار جهت بررسی نوع خاک میتوان پارامترهای C_U و C_C که به صورت زیر تعیین میگردد. بهره جست.

$$C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}} \qquad C_C = \frac{D_{30} * D_{30}}{D_{60} * D_{10}}$$

واژه‌های D60 و D10 و D30 یعنی قطر الک متناظر با درصدی عبور ۶۰ درصد و ۱۰ درصد و ۳۰ درصد می باشد یا به عبارتی:

واژه : D60 یعنی اندازه ای که ۶۰ درصد وزنی خاک از آن کوچکتر می باشد.

واژه : D30 یعنی اندازه ای که ۳۰ درصد وزنی خاک از آن کوچکتر می باشد.

واژه :D10 یعنی اندازه ای که ۱۰ درصد وزنی خاک از آن کوچکتر می باشد.

واژه Cu برای شن خوب دانه بندی شده بزرگتر مساوی ۴ و در ماسه خوب دانه بندی شده بزرگتر مساوی ۶

واژه Cc برای شن و ماسه خوب دانه بندی شده بزرگتر مساوی ۱ و کوچکتر مساوی ۳ و برای خاکهای یکنواخت اندازه این دو پارامتر برابر با ۱ می باشد.

روش رسوب سنجی (روش USDA)

این روش برای ذرات رس و سیلت (کوچکتر از ۰/۰۵ میلیمتر) کاربرد دارد.

۱- روش پیپت:

اساس این روش قانون استوکس است. در این روش سرعت ته نشینی ذرات بر اساس معادله استوکس محاسبه میشود و در یک زمان مشخص بسته به قطر ذرات از عمق معین نمونه برداری انجام میشود.

قانون استوک

شرح کامل قانون ا ستوکس به ما می گوید که سرعت یک ذره در حال ته نشینی در داخل یک سیال به طور مستقیم در ارتباط با نیروی ثقل (g)، تفاوت بین چگالی ذرات و چگالی آب (d_1-d_2) و توان دوم شعاع ذره می با شد. سرعت ته نشینی ذرات به طور عکس در ارتباط با گرانروی یا ضخامت سیال و یا همان ویسکوزیته مایع (η) می باشد. معادله اصلی قانون استوکز را می توان به صورت زیر نوشت.

$$V = \frac{2}{9} \frac{r^2 g (\rho s - p)}{\eta} = \frac{D^2 g (\rho s - p)}{18 \eta}$$

V= سرعت سقوط ذرات بر حسب سانتی متر

r= شعاع و D قطر ذرات بر حسب سانتی متر

P_s = وزن مخصوص ذرات بر حسب گرم بر سانتی متر مکعب (۲٫۶۵ گرم بر سانتیمتر مکعب)

ρ= وزن مخصوص محلول بر حسب گرم بر سانتی متر مکعب (۱ گرم بر سانتیمتر مکعب)

g = شتاب ثقل زمین بر حسب سانتی متر بر مجذور ثانیه (۹۸۱ cm/S2)

η = ضریب چسبندگی محلول بر حسب دین در ثانیه بر سانتی متر (0.01 dyn.s/cm)

با فرض ثابت بودن مقادیر پارامترهای فوق در دمای ۲۰ درجه سانتیگراد، فرم خلاصه شده معادله استوکس به صورت زیر است:

$$V(\frac{cm}{s}) = 8992.5 \times D^2(\text{cm})$$

به عنوان مثال سرعت ته نشینی کوچکترین ذره سیلت (مرز پایینی ذرات سیلت برابر ۰/۰۰۲ میلی متر) برابر است با:

$$V\left(\frac{cm}{s}\right) = 8992.5 \times (0.0002)^2 = 0.0003597\ cm/s$$

بنابراین اگر عمق برداشت نمونه را ۷ سانتیمتر در نظر بگیریم، زمان برداشت نمونه از عمق ۷ سانتیمتری با پیپت برابر است با:

$$t = \frac{7}{0.0003597} = 19460\ s = 5.4\ hour$$

هنگام کاربرد قانون استوکز می بایست **فرضیات** زیر را در نظر گرفت، که عبارتند از:

۱- ذرات باید کروی، سخت و جامد فرض شوند

۲- اندازه ذرات نسبت به اندازه مولکول های مایع بایستی بزرگ باشد تا بتوان محیط را یک محیط همگن تلقی کرد. به عبارت دیگر، ذرات نباید از خود حرکت براونی نشان دهند.

۳- سقوط ذرات بایستی آزاد با شد. اگر غلظت ذرات در حدود ۳ تا ۵ در صد با شد درنتیجه قطر ا ستوانه محتوی مایع اقلا بایستی ده برابر قطر بزرگترین ذره خاک باشد تا امکان سقوط آزاد فراهم گردد.

۴ ذرات خاک بایستی وزن مخصوص یکسانی داشته باشند.

۵ ظرف محتوی مایع و ذرات معلق در آن، باید در حال سکون باشد. و جریان مایع غیر متلاطم باشد (ذرات بزرگتر از ۰,۴ میلی متر موجب تلاطم در محیط گردیده و قانون استوکز را غیر قابل استفاده می سازد)

پیش تیمارها (حذف مواد سیمانی کننده خاک)

حذف کربنات ها

کربناتها توسط اسید کلریدریک حذف میشوند. روش کار به شکل زیر است:

مقدار ۱۰ گرم از خاک هواخشک رد شده از الک ۲ میلیمتر را در یک بشر ۳۰۰ میلی لیتری (با دقت ۰/۰۰۱ گرم) وزن کنید. اگر به نظر می رسد نمونه شنی است، یک نمونه بزرگتر (مثلاً ۳۰ گرم) وزن کنید.

۵۰ میلی لیتر آب اضافه کنید، مخلوط کنید و محلول ۱ مولار HCl را به آرامی به آن اضافه کنید تا pH بین ۳,۵ تا ۴,۰ تنظیم شود و به مدت ۱۰ دقیقه به حال خود رها کنید. در خاکهای دارای کربنات زیاد می توان از HCl قوی تر استفاده کرد. خاکهایی که برای تنظیم pH به مقدار زیادی HCl نیاز دارند ، با استفاده از سیستم فیلتر شمعی چندین بار با آب شسته می شوند تا اسید اضافی حذف شود.

حذف مواد آلی

مواد آلی توسط آب اکسیژنه (پراکسید هیدروژن) حذف میشوند.

مقدار ۱۰ میلی لیتر پراکسید هیدروژن (H2O2 ۳۰٪ یا ۵۰٪) را به بشر حاوی نمونه خاک اضافه کرده و اجازه دهید تا بماند. در صورت مشاهده واکنش شدید، افزودن H2O2 در حالت سرد را تا زمانی که دیگر کف ایجاد نشود ، تکرار کنید.

هنگامی که کف‌کردن فروکش کرد، محتویات بشر را تا ۹۰ درجه سانتیگراد گرم کنید. افزودن H2O2 را ادامه داده و حرارت را تا زمان حذف بیشتر مواد آلی ادامه دهید.

گهگاه کناره های ظرف واکنش را بشویید. پس از افزودن نهایی H2O2 به مدت ۴۵ دقیقه نمونه را گرم کنید تا H2O2 اضافی از خاک خارج شود.

توجه: ممکن است لازم باشد که نمونه های حاوی مقادیر زیاد از مواد آلی (< ۵٪) را به لیوان های بزرگ (به عنوان مثال ۱۰۰۰ میلی لیتر) منتقل کنید. در صورت ایجاد کف زیاد ، ظرف را با آب سرد یا با افزودن متیل الکل خنک کنید تا از هدررفت نمونه جلوگیری شود.

حذف نمکهای محلول

نمکهای محلول از طریق شستشو از خاک خارج میشوند.

ظرف حاوی خاک را در یک قفسه قرار دهید و پراکسید و آب باقی مانده از مرحله حذف مواد آلی را توسط فیلتر شمعی خارج کنید.

نمونه خاک را در لوله سانتریفیوژ ریخته و مقدار ۱۵۰ میلی لیتر آب مقطر به آن اضافه کنید. چند دقیقه آن را به هم بزنید و سپس سانتیرفیوژ کنید تا محلول رویی صاف شود. محلول صاف رویی را تخلیه کنید و مجددا آب مقطر اضافه کنید. این کار را چندین بار تکرار کنید تا املاح به طور کامل خارج شوند. برای آگاهی از وضعیت شوری میتوان EC محلول صاف رویی را بررسی کرد.

حذف اکسیدهای آهن (اختیاری)

برای حذف اکسیدهای آهن از بافر سیترات-بیکربنات استفاده میشود.

۱۵۰ میلی لیتر بافر سیترات – بی کربنات به نمونه های موجود در بشر اضافه کنید. ۳ گرم هیدروسولفیت سدیم (Na2S2O4) را به تدریج هم بزنید و اضافه کنید، زیرا ممکن است برخی نمونه ها کف کنند.

ظرف حاوی خاک را در حمام آب ۸۰ درجه سانتیگراد قرار دهید و به طور متناوب به مدت ۲۰ دقیقه هم بزنید.

ظرف خاک را از حمام خارج کرده، در قفسه نگهدارنده قرار دهید و سوسپانسیون خاک را از طریق سیستم فیلتر شمعی صاف کنید. اگر نمونه به رنگ قهوه ای باقی ماند، مراحل قبل را به طور کامل تکرار کنید. اگر نمونه ها کاملاً خاکستری (گلی) هستند، به مرحله بعد بروید.

نمونه خاک را پنج بار با آب مقطر بشویید و از طریق سیستم فیلتر شمع صاف کنید تا مواد شیمیایی افزوده شده کاملا خارج شوند.

نمونه خاک را در آون تحت دمای ۱۰۵ درجه سانتیگراد خشک کرده و وزن آن را یادداشت کنید. توجه کنید در محاسبات نهایی وزن آون‌خشک خاک مورد استفاده قرار میگیرد.

جداسازی ذرات از یکدیگر

مقدار ۱۰ میلی لیتر عامل پراکندگی متافسفات سدیم را به ظرف حاوی نمونه خاک آون خشک اضافه کنید. مقداری آب مقطر اضافه کنید تا حجم آن تا ۲۰۰ میلی لیتر برسد.

درپوش ظرف را محکم ببندید و توسط شیکر رفت و برگشتی (۵۰–۶۰ دور در دقیقه) به مدت یک ۱۲ ساعت تکان دهید.

تفکیک ذرات شن

سوسپانسیون ها را از یک الک ۳۰۰ مش (۴۷ میکرو متر) عبور دهید. مواد (ذرات شن) باقیمانده روی الک با آب مقطر بشویید.

سوسپانسیون عبور کرده از الک را جمع آوری کنید و درون یک سیلندر ۱۰۰۰ میلی لیتری بریزید و آن را به حجم یک لیتر برسانید.

مواد باقیمانده روی الک ۳۰۰ مش را به یک ظرف فلزی ۱۰۰ میلی لیتری منتقل کرده و در دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد خشک کنید. وزن کل مواد را به عنوان درصد ذرات شن (بین ۲ تا ۰/۰۵ میلی متر) یادداشت کنید. برای تجزیه بیشتر ذرات شن مرحله بعد را دنبال کنید:

شن خشک شده را به مجموعه ای از الک ها شامل ۱,۰ میلی متر (۱۸ مش) ، ۰,۵ میلی متر (۳۰ مش) ، ۰,۲۵ میلی متر (۶۰ مش) ، ۰,۱۰۵ میلی متر (۱۴۰ مش) ، ۰,۰۴۷ میلی متر (۳۰۰ مش) و سینی جمع آوری که از بالا به پایین مرتب شده اند منتقل کنید. شن را روی الک بالایی بریزید، درپوش را در جای خود قرار دهید و الک ها را توسط دستگاه لرزاننده تکان دهید. زمان تکان دادن بستگی به نوع لرزشگیر و حجم شن در نمونه دارد (معمولاً ۵ تا ۱۰ دقیقه کافی است). ذرات شن باقیمانده روی هر الک را را وزن کرده و وزن را یادداشت کنید.

۲- تعیین مقدار رس (۰-۲ میلی متر)

قبل از قرار دادن سیلندر در یک سکوی ته نشینی بدون ارتعاش مجهز به قفسه پیپت (شکل زیر)، مواد را در سیلندرهای رسوب به مدت ۴ دقیقه با همزن برقی (۸ دقیقه اگر سوسپانسیون بیش از ۱۶ ساعت ایستاده باشد) هم بزنید.

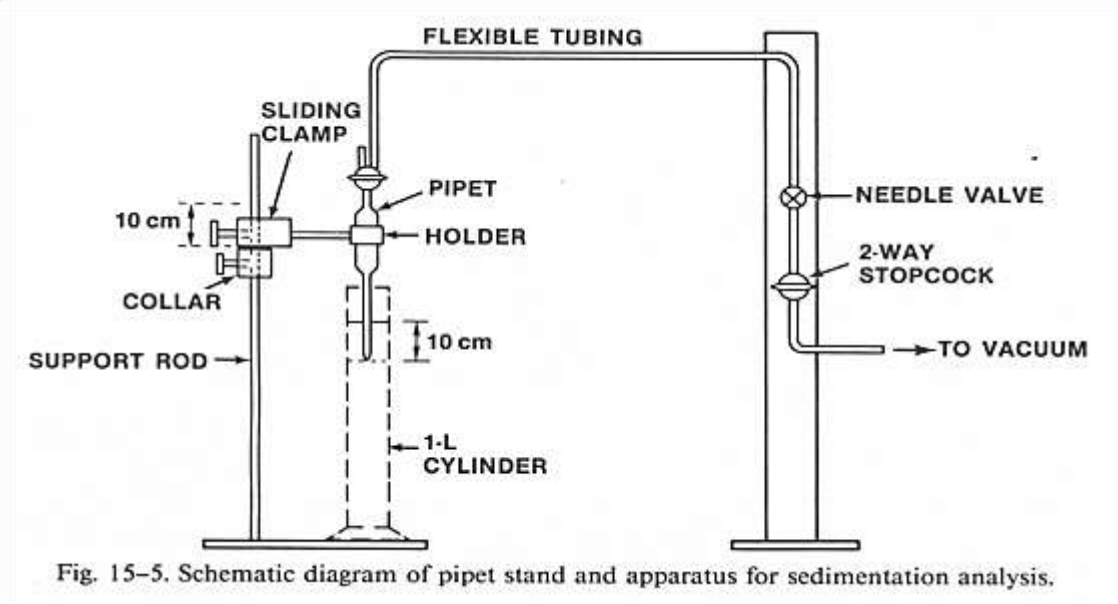


Fig. 15–5. Schematic diagram of pipet stand and apparatus for sedimentation analysis.

قبل از شروع آزمایش سوسپانسیون داخل را به مدت ۳۰ ثانیه با همزن دستی با حرکت بالا و پایین هم بزنید. بلافاصله پس از اتمام همزن، زمان را با زمان سنج بگیرید.

با توجه به دمای سوسپانسیون زمان و عمق نمونه برداری را تعیین کنید (معمولاً ۴,۵ تا ۶,۵ ساعت) و نمونه برداری کنید زمان پر شدن پیپت را تا حدود ۱۲ ثانیه تنظیم کنید. پیپت را پر کرده و داخل یک بطری ۹۰ میلی لیتری با دهانه پهن (یا یک لیوان ۱۰۰ میلی لیتری) خالی کنید و پیپت را یک بار داخل ظرف بشویید.

نمونه سوسپانسیون را در آون الکتریکی با دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد به مدت حداقل ۲۴ ساعت خشک کنید. نمونه آون-خشک را در دسیکاتور حاوی پنتوکسید فسفر (P_2O_3) یا دریریت (سولفات کلسیم) ، به عنوان خشک کننده ، سرد کنید. وزن کنید و وزن را ثبت کنید.

TABLE 55.2 Settling Depths for Specific Times and Temperatures for Particle Size = 2 μm

	Time (h)			
	4.5	5	5.5	6.5
Temperature (°C)	Depth (cm)			
20	5.79	6.44	7.08	8.37
20.3	5.81	6.48	7.13	8.43
20.5	5.86	6.52	7.17	8.47
20.7	5.89	6.55	7.2	8.51
21	5.93	6.59	7.25	8.57
21.3	5.97	6.64	7.3	8.63
21.5	6.01	6.68	7.33	8.68
21.7	6.04	6.72	7.39	8.73
22	6.09	6.75	7.43	8.78
22.3	6.13	6.8	7.49	8.85
22.5	6.15	6.83	7.51	8.88
22.7	6.18	6.86	7.55	8.92
23	6.22	6.91	7.6	8.98
23.3	6.27	6.96	7.66	9.05
23.5	6.29	6.98	7.68	9.08
23.7	6.33	7.04	7.74	9.15
24	6.37	7.08	7.78	9.2
24.3	6.4	7.12	7.83	9.25
24.5	6.43	7.15	7.86	9.29
24.7	6.45	7.18	7.89	9.33
25	6.51	7.24	7.96	9.41
25.3	6.56	7.28	8.01	9.47
25.5	6.58	7.31	8.04	9.5
25.7	6.61	7.35	8.08	9.55
26	6.66	7.4	8.14	9.62
26.3	6.69	7.44	8.18	9.67
26.5	6.72	7.47	8.22	9.72
26.7	6.76	7.51	8.26	9.76
27	6.81	7.56	8.32	9.83
27.3	6.85	7.61	8.37	9.89
27.5	6.87	7.64	8.4	9.93
27.7	6.91	7.68	8.44	9.98
28	6.97	7.74	8.51	10.06
28.3	7.01	7.79	8.57	10.13
28.5	7.04	7.82	8.61	10.17
28.7	7.07	7.86	8.65	10.22
29	7.12	7.91	8.7	10.28
29.3	7.16	7.95	8.75	10.34
29.5	7.19	7.99	8.79	10.39
29.7	7.22	8.02	8.82	10.43
30	7.27	8.08	8.88	10.5

محاسبات

بخش (های) شن از فرمول زیر:

$$\%\text{بخش شن} = \frac{W_n\ (g)}{W_0\ (g)} \times 100$$

که در آن W_n وزن شن باقیمانده روی هر الک و W0 وزن اولیه نمونه خاک آون-خشک

بخش رس: از فرمول زیر

$$\%\ \text{بخش رس} = \frac{(A-B)}{W_0\ \times V} \times 1000\ \times 100$$

که در آن A وزن خاک آون خشک استخراج شده با پیپت در نمونه خاک و B ضریب اصلاح عامل پراکندگی در نمونه شاهد و V حجم پیپت به میلی لیتر است. برای تهیه نمونه شاهد ۱۰ میلی لیتر عامل پراکندگی داخل ۱ لیتر آب مقطر ریخته و از آن یک نمونه با همان پیپت برداشته و داخل آون خشک میکنیم. وزن رسوبات به جا مانده پس از خشک شدن همان B است.

بخش سیلت: از فرمول زیر

$$\%\text{بخش سیلت} = 100 - (\%\ \text{رس} + \%\ \text{شن})$$

۲- روش هیدرومتر

هیدرومتر وسیله ای ایست برای سنجش چگالی یا غلظت در محیطهای آبی است. در این آزمایش از این وسیله برای اندازه گیری غلظت ذرات شن، سیلت و رس در سوسپانسیون خاک استفاده می شود. اساس کار هیدرومتر بر قانون استوک $V=K * D^2$ استوار است. که V سرعت سقوط آزاد یک ذره به قطر D در سوسپانسیون و K ضریب استوک می باشد. از روی قطر ذره و مقدار K، سرعت سقوط ذره محاسبه می شود. با داشتن سرعت سقوط ذره و عمق موثر هیدرومتر در داخل سوسپانسیون، زمان قرائت غلظت در سوسپانسیون تعیین میشود. این زمان برای ته نشینی کلیه ذرات در اندازه شن (۲ تا ۰/۰۵ میلیمتر) در عمق ۱۰ سانتیمتری حدود ۴۰ ثانیه و برای ذرات سیلت حدود ۶ تا ۸ ساعت است.

مواد مورد نیاز آزمایش

بشر- 50gr خاک عبور کرده از الک ۲۰۰ – همزن برقی و دستی – هیدرومتر – دماسنج – مزون – کالگون (متا فسفات سدیم)

روش انجام آزمایش:

الف) حذف مواد سیمانی کننده: مانند روش پیپت عمل میشود.

ب) پراکنده سازی خاک و تهیه سوسپانسیون Soil Dispersion

۱- ۵۰ گرم (برای خاکهای درشت بافت ۶۰ گرم و برای خاکهای ریزبافت ۲۰ گرم) از خاک آون خشک به درون یک ارلن 250 بریزید و ۱۰۰ میلی لیتر محلول هگزار متافسفات سدیم (HMP) با غلظت ۵٪ (۵۰ گرم در لیتر) به آن اضافه کنید و آن را به مدت حدود ۱۲ ساعت به حال خود رها کنید.

۲- انتقال کامل محتویات ارلن به لیوان همزن برقی، یا بهم زدن دستی خاک به مدت ۵ دقیقه

۳- انتقال کامل محتویات لیوان به درون استوانه یک لیتری و رساندن حجم آن به ۱۰۰۰ میلی لیتر از طریق افزودن آب مقطر و قرار دادن آن در محیط آزمایشگاه (ترجیحا دمای ۲۰ درجه سانتیگراد)

۴- تهیه نمونه شاهد: ریختن ۱۰۰ میلی لیتر HPM به درون یک استوانه یک لیتری خالی و به حجم رساندن آن با آب مقطر

ج) اندازه گیری غلظت ذرات

۱- به هم زدن کامل سو سپانسیون خاک با همزن د ستی مخ صوص قبل از شروع آزمایش: بهم زدن باید در تمام طول ا ستوانه صورت بگیرد و بقدر کافی باید سریع باشد تا سوسپانسیون خوب بهم بخورد و در عین حال احتیاط شود که سوسپانسیون از دهانه استوانه بیرون نریزد. روش دوم بهم زدن سو سپانسیون این ا ست که دهانه ا ستوان با درپوش پلا ستیکی محکم بسته شود و عمل به همزدن از طریق تکان رفت و برگشتی استوانه با دو دست انجام گیرد.

۲- ثبت زمان بلافاصله پس از بهم زدن و وارد کردن آرام هیدرومتر به داخل استوانه

۳- خواندن غلظت سوسپانسیون از طریق اعداد روی شاخه هیدرومتر در محل تماس سطح آزاد سوسپانسیون با شاخه در زمان ۴۰ ثانیه و درج آنها در جدول مشاهدات (R40)

۴- خارج ساختن آرام هیدرومتر از سوسپانسیون و شستن و خشک کردن حباب هیدرومتر

۵- وارد کردن آرام هیدرومتر به درون سوسپانسیون پس از گذشت ۶ ساعت از شروع آزمایش و خواندن غلظت ذرات (R6)

۶- اندازه گیری و ثبت دما توسط دماسنج در هر یک از زمانهای خواندن غلظت (Ts40 , Ts6)

۷- اندازه گیری غلظت در نمونه شاهد (R_0)

محاسبات:

$$(\text{سیلت} + \text{رس})\,\% = \frac{R_{40}^*}{W_0} \times 100$$

$$R_{40}^* = R_{40} - R_0 + [(Ts40 - 20) * 0.336]$$

$$\text{رس}\,\% = \frac{R_2^*}{W_0} \times 100$$

$$R_2^* = R_2 - R_0 + [(Ts6 - 20) * 0.336]$$

$$\text{شن}\,\% = 100 - (\text{سیلت} + \text{رس})\,\%$$

$$\text{سیلت}\,\% = (\text{سیلت} + \text{رس})\,\% - \text{رس}\,\%$$

تصحیح حرارتی: چون هیدرومتر روی ۲۰ درجه سانتیگراد استاندارد شده و نیز با توجه به اینکه با افزایش دما ویسکوزیته مایع کاهش یافته و هیدرومتر بیشتر در مایع فرو می رود در نتیجه غلظت ذرات معلق را کمتر از مقدار واقعی به ما نشان می دهد. لذا اگر در زمان قرائت عدد هیدرومتر، دمای سو سپانسیون از ۲۰ درجه سانتیگراد بیشتر بود به ازای هر درجه 0.36 به عدد هیدرومتر اضافه و اگر دما از ۲۰ درجه سانتیگراد کمتر بود به ازای هر درجه 0.336 از عدد هیدرومتر کم می کنیم.

تصحیح شاهد: برای حذف خاصیت چسبندگی رسها از نمک کالگن (هگزا متا فسفات سدیم) استفاده می شود که این کالگن خود دارای غلظت مشخصی در سوسپانسیون است، پس سبب کمتر فرو رفتن هیدرومتر در مایع شده و عدد هیدرومتر بیشتر از مقدار واقعی نشان داده می شود. در این حالت باید غلظت کالگن را محاسبه نموده و از عدد هیدرومتر کسر نماییم.

ساختار هیدرومتر

هیدرومتر H۱۵۱

هیدرومتر یا چگالی سنج H۱۵۱ بر حسب وزن مخصوص ذرات معلق در آب می باشد و درجه بندی آن از۰,۹۹۵ تا ۱,۰۳۸ گرم بر سانتی متر مکعب می باشد. این درجه بندی بر پایه آب مقطر۲۰ درجه سانتی گراد، و وزن مخصوص ۱ گرم بر سانتی متر مکعب می باشد. و قرائت آن تا چهار رقم اعشار بوده و چون بر حسب سانتی متر مکعب است جهت قرائت حقیقی باید مقدار قرائت شده را از ۱ کسر کرد و سپس در عدد ۱۰۰۰ ضرب گردد تا عدد حاصل به عنوان قرائت حقیقی چگالی سنج تلقی شود. برای مثال قرائت ۱,۰۲۲۴ به صورت ۲۲,۴ قرائت میگردد.

هیدرومتر H۱۵۲

هیدرومتر یا چگالی سنچ H۱۵۲ بر پایه مواد معلق بر حسب گرم در لیتر یا گرم در ۱۰۰۰ سانتی متر مکعب خاک می باشد و درجه بندی چگالی فوق از ۵- تا ۶۰ گرم خاک در لیتر می باشد این چگالی سنج بر پایه آب مقطر و دارای دمای ۲۰ درجه سانتیگراد (به شرطی قابل استفاده است که بیش از ۶۰ گرم خاک در محلول وجود نداشته و وزن مخصوص ۲,۶۵باشد)

هیدرومتر معمولا از جنس شیشه ساخته شده و شامل دو قسمت ساقه و حباب است، مطابق مشخصات ASTM-E100 ابعاد هر دو هیدرومتر یکسان بوده و تنها تفاوت در نحوه درجه بندی آنها است. مشخصات دو نوع هیدرومتر استاندارد در جدول زیر آمده است توجه شود قطر ساقه هیدرومتر ممکن است برای تطبیق دادن با طول درجه بندی مورد نظر تغییر داده شود. به عبارتی قطر ساقه بسته به نوع هیدرومتر مختلف بوده و متناسب با مقیاس میباشد. در هر صورت ساقه هیدرومتر در طول قطری یکسان دارد.

جدول ۵-۱ مشخصات هیدرومترهای استاندارد

مشخصات هیدرومتر مطابق با استاندارد ASTM-E ۱۰۰		
نوع هیدرومتر	152H	151H
محدوده مقیاس واقعی	.-5-60g/L	/995-1/038sp.gr
درجه حرارت استاندارد	20	20
تقسیم‌بندی‌ها	1g/L	0/001sp.gr
خطوط میانی در	5g/L	0/005sp.gr
خطوط اصلی شماره دار در	10g/L	0/010sp.gr
حداکثر خطای مقیاس در هر نقطه	1g/L	0/001sp.gr
حداکثر خطای مقیاس اسمی	0-50g/L	1/000-1/031sp.gr
طول محدوه مقیاس اسمی (mm)	82-84	82-84
حداکثر قطر حباب (mm)	30/5-32	30/5-32
فاصله انتهای حباب تا نقطه حداکثر قطر (mm)	67-61	67-61
طول حباب (mm)	136-142	136-142
فاصله انتهای حباب تا ۱/۰۰۰sp.gr یا 0g/L	245±1	245±1
طول کل (mm)	278-280	278-280

موفق باشید