



ما مصمم هستیم تا کلیه آموخته هایمان را در اختیار دانشجویان و دانش پژوهان برجسته کشور قرار دهیم و معتقدیم که با این عمل، در سازندگی های آتی که توسط شما توانمندان بوجود خواهد آمد شریک خواهیم بود.

شما نیز با پکارگیری علوم تان، ایران را سرفرازتر کنید

## آزمایشگاه مکانیک خاک

**آزمایش اندازه گیری وزن واحد حجم:** روش سند باطل : در این روش از لوله استوانه ای استفاده میشود که در کف آن یک قیف قرار دارد. در زیر قیف یک دریچه وجود دارد که قطر آن معادل ۰.۵ اینچ است. برای بدست آوردن واحد حجم ماسه از یک استوانه دیگر استفاده میشود ( ماسه در اثر لرزش متراکم میگردد ).

$$w = w_1 - (w_2 + w_3) \quad , \quad \gamma = \frac{w}{v} \quad \Rightarrow \quad v = \frac{w}{\gamma}$$

$W_1$  وزن سند باطل پر از ماسه ،  $W_2$  وزن سند باطل پر از ماسه بعلاوه ماسه باقیمانده و  $W_3$  وزن ماسه سربار است. ابتدا وزن واحد حجم ماسه را بدست می آوریم

وزن خاک سربار برابر است با :  $318.3 \text{ gr} - 4.82 = 313.48 \text{ gr}$  که ۴.۸۲ وزن کاغذ است.

وزن ظرف خالی استوانه برابر با ۶۱۹.۹

مشخصات استوانه : قطر = ۱۰.۱۳۵ شعاع = ۵.۰۶۷ ارتفاع استوانه = ۱۰.۱۲۵

$$V = \pi r^2 h \Rightarrow V = 816.417 = \text{حجم استوانه}$$

وزن استوانه با ماسه = ۱۸۵۳ گرم در نتیجه وزن ماسه برابر با  $w = 1853 - 616.9 = 1236.1$

$$w = \frac{W_w}{W_s} \quad \gamma = \frac{w}{v} \Rightarrow \gamma = 1.514 \text{ gr} / \text{cm}^3$$

پس از اندازه گیری های لازم مشخص شد که  $W_1$  (که همان m استوانه بزرگ است) برابر با ۵.۳۰ کیلوگرم و  $W_2$  برابر ۴.۱۰۵ کیلوگرم است. همچنین جرم خاک حفاری شده برابر با ۷۶۹.۶ گرم و جرم پلاستیک ۳.۶ گرم است (در نتیجه  $769.6 - 3.6 = 766$  گرم). وزن ظرف بدون درب ۲۲.۲۷ گرم وزن ظرف با خاک مرطوب ۱۶۲.۱ گرم است. خاک مورد آزمایش در اتوکلاو قرار داده شد و پس از طی شدن مدت زمانی، خاک خشک بدست آمده وزن گردید (۱۶۲.۱)

وزن خاک بدون ظرف  $162.1 - 22.27 = 139.83$  بدست آمد. وزن خاک مرطوب بدون ظرف نیز

$157.58 - 22.27 = 135.31$  بوده است. مقدار رطوبت خاک  $139.83 - 135.31 = 4.52$  خواهد شد

$$w = \frac{4.52}{135.31} = 0.0334 \quad \text{چیت بدست آوردن وزن واحد حجم خواهیم داشت} \quad w = \frac{W_w}{W_s}$$

تشریح و توضیح آزمایش وزن واحد حجم خشک خاک در حالت طبیعی و یا یک لایه خاک کوبیده شده :

هدف از این آزمایش محاسبه  $\gamma_d$  خاک میباشد. دو روش مخروط ماسه و بالون لاستیکی برای انجام این آزمایش مرسوم است. در هر دو آزمایش باید وزن مرطوب نمونه خاک حفاری شده را بدست آورد و با دانستن حجم گودالی که مورد استفاده قرار گرفته است، میتوان  $\gamma_t$  را بدست آورد. بدین منظور باید وزن خاک مرطوب را بر حجم گودال تقسیم

$$\gamma_d = \frac{\gamma_t}{1 + w} \quad \text{نمود. حال با داشتن درصد رطوبت خاک، وزن واحد خشک خاک حفاری شده بدست می آید}$$

روشهای مخروط ماسه و بالون هر دو حجم گودال راکه مجهول اصلی مادرابطه فوق میباشد. ارائه می دهند. در روش بالون، حجم خاک به طور مستقیم به دست می آید، در این روش آب به یک کیسه لاستیکی تا لحظه ای که گودال پر شود، پمپ می شود و حجم گودال به طور مستقیم از روی یک سیلندر مدرج که مخزن بالون را تشکیل می دهد، قرائت می شود. روش مخروط ماسه یک روش غیر مستقیم برای به دست آوردن حجم گودال است. ماسه مورد استفاده عموماً مصالحی است که از الک ۲۰ گذشته، ولی روی الک ۳۰ باقی می ماند. اغلب وجود یک ماسه پکنواخت و هم اندازه برای جلوگیری از مساله جدایی ضروری است.

وسایل مورد آزمایش:

۱- بطری ماسه با قیف و صفحه زیر آن یا استوانه وزن واحد حجم. این استوانه، استوانه ای است فلزی با ظرفیت ۸ لیتر و قطر دهانه ۱۰۲ م م و ۱۵۲ م م که در انتها دارای یک قسمت قیفی شکل است. حد فاصل استوانه و قیف یک قسمت جداشونده مرکب از شیرخروج ماسه با قطر دهانه ۱۲٫۷ م م میباشد. چنانچه دستگاه وزن واحد حجم پراز ماسه شود، می توان برای اندازه گرفتن چاله هایی به حجم ۰٫۰۰۳ مترمکعب نیز استفاده کرد. به خاطر داشته باشیم که در صورت استفاده نمودن از صفحه زیرین، باید ضخامت صفحه، جزیی از قیف به حساب آید.

۲- وسایل کندن زمین: یک قلم فلزی به طول ۲۵ س م و چکش با وزن ۱ کیلوگرم برای کندن چاله آزمایش.

۳- قوطی فلزی با درپوش محکم

۴- کیسه ماسه

۵- ترازو (با ظرفیت ۱۵ ک گ و به دقت ۱ گرم و ترازویی به ظرفیت ۵۰۰ گرم و دقت ۰٫۱ گرم)

۶- گرم خانه

۷- دستگاه بالن لاستیکی

نوع متداول و مرسوم از دستگاههای مخروط ماسه،  $3785 \text{ Cm}^3$  حجم دارند که شامل یک بطری شیشه ای یا ظرف پلاستیکی با مصالح مناسب برای پر کردن گودالهایی که بیش از  $3800 \text{ Cm}^3$  حجم ندارند، استفاده میشود. محاسبات:

محاسبه وزن واحد حجم ماسه  $\gamma_s = \frac{W_1}{V_1}$  یعنی وزن واحد حجم ماسه برابر است با وزن ماسه داخل قالب پراکتور تقسیم بر حجم داخلی قالب پراکتور.

محاسبه حجم گودال  $V = \frac{W_2 - W_1}{\gamma_s}$  یعنی حجم گودال حفر شده در زمین برابر است با وزن ماسه لازم برای پر کردن گودال، قیف و ضخامت صفحه زیرین منهای وزن ماسه لازم برای پر کردن قیف و ضخامت صفحه زیرین تقسیم بر وزن واحد حجم ماسه.

محاسبه وزن واحد حجم مرطوب خاک  $\gamma_t = \frac{W_4}{V}$  یعنی وزن واحد حجم مرطوب ظاهری برابر است با وزن مرطوب خاکی که از گودال خارج شده است تقسیم بر حجم گودال حفر شده در زمین.

محاسبه درصد رطوبت خاک  $w = \frac{W_w}{W_s} = \frac{W - W_s}{W_s}$  که  $W$  وزن اولیه نمونه و  $W_s$  وزن جامد خاک (وزن بعد از خارج نمودن نمونه از گرمخانه) و  $W_w$  وزن آب نمونه است.

و نهایتاً محاسبه وزن واحد حجم خاک خشک  $\gamma_d = \frac{\gamma_t}{1 + w}$

آزمایش عملی مربوط به روش مخروط ماسه:

محاسبه وزن واحد حجم ماسه:

وزن قالب خالی پراکتور  $W_1' = 7952$  وزن قالب پراز ماسه  $W_1'' = 12390$

وزن ماسه داخل قالب  $W = 12390 - 7952 = 4438$  ابعاد استوانه  $D = 15.23$  س م و  $h = 17.87$

حجم استوانه  $V_1 = 3255.5 \text{ cm}^3$

$$\gamma_1 = \frac{W_1}{V_1} = \frac{4438}{3255.5} 1.363 \text{ g/cm}^3$$

محاسبہ حجم گودال:

$$W_2' = 6235 \text{ وزن مجدد مخروط پرازماسہ } \quad W_3' = 5997 \text{ پرازماسہ}$$

$$W_3'' = 4363 \text{ وزن مخروط بعد از برگرداندن روی صفحہ زیرین}$$

$$W_2'' = 3182 \text{ وزن مخروط بعد از پر کردن گودال}$$

$$W_3 = W_3' - W_3'' = 1633.5 \text{ وزن ماسہ لازم برای پر کردن قیف و شیار صفحہ زیرین}$$

$$W_2 = W_2' - W_2'' = 1419.5 \text{ وزن ماسہ لازم برای پر کردن گودال}$$

$$V = \frac{W_2}{\gamma_1} = \frac{1419.5}{1.363} = 1041.42 \text{ Cm}^3$$

در نتیجہ

$$W_4'' = 202 \text{ وزن خاک و قوطی درپوش دار } \quad W_4' = 1900 \text{ وزن قوطی خالی}$$

$$W_4 = W_4' - W_4'' = 1900 - 202 = 1698 \text{ وزن خاک مرطوب (وزن کل)}$$

$$\gamma_t = \frac{W_4}{V} = \frac{1698}{1041.42} = 1.63 \text{ g}$$

محاسبہ درصد رطوبت خاک:

$$W_w = W_4' - W_5 = 83 \text{ وزن آب } \quad W_5 = 1817 \text{ وزن خاک خشک با ظرف}$$

$$W_s = W_5 - W_4'' = 1817 - 202 = 1615 \text{ وزن خاک خشک}$$

$$W = \frac{W_w}{W_s} = \frac{83}{1615} = 5.14\%$$

در نتیجہ

$$\gamma_d = \frac{\gamma_t}{1 + w} = \frac{1.63}{1 + 0.0514} = 1.55 \text{ g/Cm}^3$$

### آزمایش اندازه گیری چگالی ذرات جامد خاک:

حدود ۱۰ تا ۲۰ گرم خاک خشک شدہ را در بشر قرار دادہ و مقدار حدود ۱۰۰ سی سی آب روی آن میریزیم . محلول بدست آمدہ را زیر دستگاہ همزن قرار دادہ تا کاملاً ذرات از یکدیگر جدا شوند و ساختمان خاک از بین برود . سپس خاک را در داخل یک فلاسک ( شیشہ آزمایشگاهی ) قرار دادہ و حجم محلول را به ۲/۳ حجم فلاسک رساندہ و آن را زیر دستگاہ تخلیہ هوا ( مکش ) قرار میدہیم تا هوای موجود در محلول کاملاً تخلیہ گردد . لازم بہ توضیح است کہ با جوشاندن نیز میتوان هوای درون مایع را تخلیہ نمود . سپس فلاسک را بہ حجم میرسانیم . برای این منظور باید از آب مقطر ( بدون هوا ) استفادہ نمود . نہایتاً وزن فلاسک با محلول موجود در آنرا بدست آورده و درجہ حرارت آن را اندازہ گیری میکنیم . یک بار ہم فلاسک را فقط با آب بدون هوا وزن نموده و درجہ حرارت آنرا نیز اندازہ گیری میکنیم . نباید اختلاف زیادی بین دو درجہ حرارت اندازہ گیری شدہ وجود داشتہ باشد . نہایتاً با بہرہ گیری از فرمول

$$G_s = \frac{W_s}{W_{f,w} + W_s - W_{f,sw}} * \frac{\gamma_w}{\gamma_0}$$

میتوانیم چگالی ذرات جامد را بدست آوریم .  $G_s$  چگالی ذرات جامد ،  $W_s$  وزن خاک خشک ،  $W_{f,w}$  وزن فلاسک پراز آب و  $W_{f,sw}$  وزن فلاسک پراز آب و خاک است و  $\gamma_w$  وزن مخصوص آب در دمای حاضر و  $\gamma_0$  نیز وزن مخصوص آب در دمای  $\epsilon$  درجہ سانتیگراد میباشد .

نسبت  $\frac{\gamma_w}{\gamma_0}$  را از جدول موجود در کتابهای مکانیک خاک بدست می آوریم و نهایتاً با بدست آمدن تمامی پارامترها از

$$G_s = \frac{W_s}{W_{f.w} + W_s - W_{f.sw}} * \frac{\gamma_w}{\gamma_0}$$

فرمول  $G_s$  جهت بدست آوردن چگالی استفاده میکنیم. تشریح و توضیح آزمایش تعیین چگالی ذرات جامد خاک  $G_s$  و وزن مخصوص ویژه یا توده ویژه یک خاک یا  $G_s$  عبارت است از نسبت وزن حقیقی حجم مشخصی از ذرات خاک به وزن حقیقی همان حجم آب مقطر در دمای  $\epsilon$  درجه سانتیگراد.

وزن مخصوص ویژه خاک اغلب برای ارتباط وزن به حجم خاک مورد استفاده قرار می گیرد. بنابراین با دانستن نسبت تخلخل  $e$ ، درجه اشباع  $S_r$  و وزن مخصوص ویژه  $G_s$  میتوان وزن واحد حجم یک خاک مرطوب و یا خشک را محاسبه نمود. وزن مخصوص ویژه اکثر کانیهای خاک در دامنه بین ۲٫۴ تا ۲٫۹ تغییر می کند. وزن مخصوص ویژه قسمت جامد ماسه هایی با رنگ روشن که غالباً از کوارتز تشکیل شده اند در حدود ۲٫۶۵ تخمین زده میشوند. برای خاکهای رسی و سیلتی این مقدار بین ۲٫۴ تا ۲٫۹ تغییر است. معادله مشخصه  $G_s$  چنین است:

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w}$$

یعنی چگالی مواد جامد خاک تقسیم بر چگالی آب در دمای  $\epsilon$  درجه سانتیگراد. وسایل مورد نیاز:

- ۱- پیکنومتر به حجم ۲۵۰ یا ۵۰۰ سانتی متر مکعب (پیکنومترهایی که در این آزمایش مورد استفاده قرار می گیرند دارای دهانه ای با سطح مقطع ۲ سانتی متر مربع هستند).
  - ۲- آب مقطر
  - ۳- منبع خلاء
  - ۴- منبع گرمازا
  - ۵- ترازو با حساسیت صدم گرم
  - ۶- گرمخانه
  - ۷- خشک کننده (دسیکاتور)
  - ۸- دماسنج
  - ۹- نمونه آزمایشی از ماسه یا رس که در هوا خشک شده است
  - ۱۰- قطره چکان یا پیپت
  - ۱۱- میز لرزنده کوچک
- نحوه آزمایش در فوق بیان شده است و حال تشریح محاسبات محاسبات: مقدار وزن مخصوص خاک  $G_s$  را با دقت ۰٫۰۱ در دمای آب  $T_b$  بصورت زیر محاسبه میکنیم

$$G_s = \frac{W_0}{W_0 + (W_a - W_b)}$$

که  $W_0$  وزن نمونه خشک شده در گرمخانه و  $W_a$  وزن پیکنومتر پر از آب در دمای  $T_a$

$W_b$  وزن پیکنومتر پر از آب و خاک در دمای  $T_b$  و  $T_b$  دمای محتویات درون پیکنومتر است، وقتی وزن  $W_b$  اندازه گرفته میشود. ممکن است مقدار  $G_s$  در آب با دمای ۲۰ درجه سانتیگراد مورد نیاز باشد در این صورت

$$G_s(20^\circ C) = K * G_s(T_b)$$

به طوری که  $K$  عددی است که از تقسیم چگالی آب در دمای  $T_b$  به چگالی آب در دمای ۲۰ درجه سانتیگراد به دست می آید. و حالا جداول مربوط به آزمایش انجام شده

کالیبره کردن پیکنومتر

شماره مرحله	۱
وزن پیکنومتر و آب بر حسب گرم	۶۷۴٫۵۵
دما بر حسب سانتیگراد	۲۲٫۳

انجام آزمایش تئوری

وزن پیکنومتر	۱۷۶٫۳۷	ضریب انبساط حجمی شیشه $\epsilon$	$0.100 * 10^{-4}$
دمای مرحله کالیبره کردن	۲۰	چگالی هوا $\gamma_a$	۰٫۰۰۱۲
حجم پیکنومتر	۵۰۰	$W_2 = W_b + V_b(1 + \Delta T.\epsilon)(\gamma_t - \gamma_a)$	
شماره	۱	۲	۳
دما	۲۵	۲۵	۲۵
چگالی آب در $T$	۰٫۹۹۱۱	۰٫۹۹۱۱	۰٫۹۹۱۱
وزن پیکنومتر + آب	۶۷۴٫۸۷	۶۷۸٫۳۵	۶۸۳٫۶۷

آزمایش تعیین وزن مخصوص ویژه (نمونه آزمایش لای رسی - شنی)

شماره مرحله	۱	۲	۳
وزن پیکنومتر+آب+خاک $W_1$	۷۰۶,۱۱	۷۰۶,۸	۷۰۷,۰۷
دما T	۲۵,۵	۲۵,۵	۲۵,۵
وزن پیکنومتر+آب $W_2$	۶۴۳,۶۷	۶۷۴,۲۸	۶۷۴,۵۷
وزن ظرف + خاک خشک	۴۹۱,۱۲	۴۹۱,۱۲	۴۹۱,۱۲
وزن ظرف	۴۳۸,۹۲	۴۳۸,۹۲	۴۳۸,۹۲
وزن خاک $W_3$	۵۲,۲	۵۲,۲	۵۲,۲
وزن مخصوص آب در T $G_T$	۰,۹۹۷	۰,۹۹۷	۰,۹۹۷
وزن مخصوص خاک	۲,۶۳	۲,۶۴	۲,۶۴

توجه:  $G_s = \frac{G_T W_3}{W_3 + W_2 - W_1}$  در نتیجه  $G_s$  مساوی ۲,۶۴ خواهد بود.

آزمایش دانه بندی خاک:

برای رده بندی خاک نیازاست تادانه بندی روی آن انجام شودو همچنین لازم است تا حدخمیرایی خاک نیز تعیین گردد تا نوع کاربری خاک در آزمایشگاه مشخص گردد. برخی از خاکها، پس از خارج شدن از موقعیت خود در صحرا، ( جهت انجام آزمایش ) حجم آن بهم میخورد. روشهایی برای محاسبه دقیق آزمایش وجود دارد.

روش انجام آزمایش: یک ظرف خالی را وزن کرده (۳۴,۵) گرم و مقداری خاک خشک در آن ریخته و وزن میکنیم (۵۳۴,۵) مقدار خاک انتخابی بستگی به درشت دانگی خاک دارد. هرچه خاک درشت دانه تر باشد مقدارخاک مورد آزمایش باید بیشتر باشد. خاک مورد آزمایش را با چکش چوبی ویا پلاستیکی میکوبیم تاچسبندگی بین ذرات ازبین برود. روش تهیه خاک خشک برای انجام این آزمایش:

ابتدا خاک مورد نظر را در دستگاه مخصوص خشک کن ( اتوکلاو ) قرارداده و پس از خشک شدن ۵۰۰ گرم از آن را جدا میکنیم. خاک جداشده را با آب و برروی الک ۲۰۰ آشوبی مینمائیم تا کلیه ذرات کوچکتر از قطر ۰,۰۷۵ م م از آن عبورکنند. مجددا خاک را خشک نموده و وزن آن را بدست می آوریم. تفاوت بوجود آمده در وزن، مربوط به خاکهای رده شده از الک ۲۰۰ میباشد که بعدا درمحاسبات بکارمیرود. ( الک ۲۰۰ یعنی درهراینچ مربع ۲۰۰ سوراخ وجوددارد) درصدوزنی را محاسبه نموده و مقدار آن ( مقدار عبوری ) نباید از ۱,۰۰٪ بیشتر باشد. درصورت بیشتر شدن باید آزمایش هیدرومتر صورت گیرد.

شماره الکهای انتخاب شده بترتیب ۴، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ است که ابتدا الکها را با برس مویی تمیز کرده و سپس به ترتیب شماره، روی هم قرارداده میشود. درزیر الک ۲۰۰ هم یک ظرف قرارمیگیردا تا خاک عبورکرده از الک ۲۰۰ در آن قرارگیرد. و وزن خاک خشک نیز gr۵۰۰ میباشد تمام الک هارا روی دستگاه shaker قرار میدهیم. این دستگاه قادراست تا لرزشی شدید در الکها ایجاد نماید و ذرات را با توجه به قطر آنها و قرار گرفتن برروی الکها، جدا میکند. این دستگاه ۱۰ دقیقه فعالیت نموده و جداسازی ذرات را انجام داد و ادامه عملیات آزمایش به شرح زیرانجام شد.

شماره الک	۴	۱۰	۲۰	۳۰	۵۰	۱۰۰	۲۰۰	زیر ۲۰۰	جمع
اندازه الک	۴,۷۵	۲	۰,۸۵	۰,۶	۰,۳	۰,۱۵	۰,۰۷۵	>۰,۰۷۵	
خاک روی الک	۷۲,۲۹	۱۱۶,۴۲	۱۲۹,۵۲	۱۹,۴۳	۳۵,۲۶	۹۹,۴	۱۹,۸۸	۷,۲۶	۴۹۹,۴۶
درصد	۱۴,۴۷	۲۳,۳۱	۲۵,۹۳	۳,۸۹	۷,۰۶	۱۹,۹	۳,۹۸	۱,۴۵	۹۹,۹۹٪
درصدعبوری	۸۵,۵۳	۶۲,۲۲	۳۶,۲۹	۳۲,۴	۲۵,۳۴	۵,۴۴	۱,۴۶	-۰,۰۱	۱,۰۰٪

جمع کل ۴۹۹,۴۶ و درصد بدست آمده ۹۹,۹٪ خواهد بود. هر مقدار خاکی که در الک باقی بماند را وزن کرده و مقدار آن را ثبت میکنیم. اگر خطا از ۲٪ بیشتر بود باید آزمایش تکرار گردد برای مثال ۵۰۰گرم خاک مورد آزمایش مجاز است تا ۱۰ گرم خطا داشته باشد. بعد از آنکه وزن خاک مانده روی الکها بدست آمد، وزن خاک رده شده از الک را نیز بدست آورده و وزن هر خاک رد شده از الک را بر وزن کل خاک

آزمایش تقسیم و حاصل را در ۱۰۰ ضرب میکنیم تا درصدوزنی برای هرآلک بدست آید. با توجه به داشتن قطر ذرات ، میتوانیم منحنی مربوطه را رسم نماییم .

توضیح و تشریح آزمایش دانه بندی خاک: دلیل انجام این آزمایش ، پیش بینی حرکت آب در خاک ، میزان نفوذپذیری خاک ، حساسیت خاک در مقابل یخ زدگی و رفتار خاک در آب و هوای سرد ، خاصیت موئینگی و استفاده از فیلتر و زهکش میباشد . آزمایشات نشان میدهند که خاصیت موئینگی و نفوذپذیری به قطر موثر ذرات بستگی دارد همچنین نفوذپذیری خاکهای غیرچسبنده به طور متوسط متناسب با مجذور قطر موثر دانه ها است .

دانه بندی به سه روش الک ، هیدرومتری و ترکیبی از الک و هیدرومتری انجام میشود . تحلیل دانه بندی در واقع کوششی است برای تعیین نسبتهای مزبور به اندازه های مختلف دانه که از یک توده خاک حاصل میشود . باید توجه داشت که به هیچ وجه تعیین اندازه های تک دانه ها امکان پذیر نیست و باید این اندازه های مختلف موجود در خاک را به محدوده های مختلفی تقسیم نمود. این کار با به دست آوردن مقدار جرم عبوری از یک الک مشخص صورت می پذیرد . همه سیستم های طبقه بندی خاک از الک ۲۰۰ بعنوان نقطه تقسیم سیستم استفاده میکنند . یعنی طبقه بندی ها بر اساس مقدار باقیمانده یا گذرنده از الک ۲۰۰ بنا شده اند و برای دانه های کوچکتر از الک ۲۰۰ از روش هیدرومتری استفاده میکنند . اطلاعات به دست آمده از تحلیل الک هابه صورت منحنی های دانه بندی ارائه می شوند. این منحنی ها برای مقایسه خاکها کاملاً مناسب می باشند چون توزیع اندازه ذرات را به ما می دهند. همچنین در یک توده خاک چون محدوده اندازه دانه هایی که می تواند وجود داشته باشد خیلی زیاد است ( بین ۰.۰۷۵ تا ۲ م م ) ، 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 برای رسم منحنی استفاده می کنند .

توزیع اندازه دانه های یک خاک به صورت منحنی بر محورهای مختصات نیمه لگاریتمی نشان داده میشوند . عرض نقاط واقع بر این منحنی درصدوزنی دانه های کوچکتر از اندازه ای است که بر روی محور طولها داده شده است . هر قدر شیب منحنی دانه بندی کمتر باشد ، حدود تغییرات اندازه خاک بیشتر است و هر قدر شیب منحنی بیشتر باشد دانه های خاک یکنواخت تر هستند . یک خاک دانه ای ( درشت دانه ) اگر هیچ یک از اندازه های دانه های آن بیش از حد نباشد و هیچ یک از اندازه های دانه های میانی را هم کم نداشته باشد ، خاک (( خوب دانه بندی شده )) نامیده میشود و بطور کلی دانه بندی یک خاک خوب دانه بندی شده به صورت یک منحنی مقعر است .

اندازه دانه های مربوط به هر درصد کوچکتر را می توان مستقیماً از منحنی دانه بندی به دست آورد مانند

$$D_{10}, D_{30}, D_{60}$$

شیب و شکل منحنی را می توان با استفاده از ضریب یکنواختی  $C_u$  و ضریب خمیدگی  $C_c$  بدست آورد

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad \text{و} \quad C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60} * D_{10}}$$

ضریب خمیدگی خاکهای خوب دانه بندی شده بین ۱ تا ۳ متغیر است

برای خاک شنی خوب دانه بندی شده  $1 \leq C_c \leq 3$  ،  $C_u \geq 4$

و برای خاک ماسه ای خوب دانه بندی شده  $1 \leq C_c \leq 3$  ،  $C_u \geq 6$

**آزمایش دانه بندی به وسیله هیدرومتر:**

اگر خاکی که از الک ۲۰۰ ، جهت آزمایش دانه بندی میگذرد بیشتر از ۱۰٪ باشد ، بر روی آن خاک باید آزمایش هیدرومتر انجام داد . روش آزمایش بشرح زیر است:

ابتدا ۵۰ گرم خاک خشک تهیه نموده و ۱۲۵ سی سی کالبون ۴٪ به آن اضافه میکنیم . کالبون ۴٪ خاصیت دیسپرس کننده دارد . سپس مقداری آب مقطر به نمونه تهیه شده اضافه میکنیم . حجم کل نمونه حدوداً ۳۰۰ سی سی باشد . نمونه تهیه شده را در دستگاه همزن قرار داده تا آب و خاک کاملاً با یکدیگر مخلوط شوند ( حدوداً ۱۰ دقیقه ) . سپس نمونه را به داخل یک سیلندر ۱۰۰ سی سی انتقال داده و با آب مقطر ، سیلندر را به حجم میرسانیم . دهانه سیلندر را گرفته و چندین بار آن را بهم میزنیم تا هیچ ذره ای در ته سیلندر باقی نمانده باشد . از زمانی که سیلندر را در محل محکم و بدون لرزش قرار میدهیم ، زمان را در نظر داشته و هیدرومتر را وارد مخلوط تهیه شده میکنیم . سرعت قراردادن هیدرو متر در داخل سیلندر ، باید معادل ۱۰ ثانیه زمان باشد . دقیقاً از آغاز قرار دادن سیلندر بر روی میز کار ، بعد از زمانهای قید شده (

نسبت به شروع آزمایش) باید هیدرومتر را قرائت نمائیم. ۲ و ۴ و ۸ و ۱۵ و ۳۰ دقیقه و ۱ و ۲ و ۴ و ۸ و ۱۶ و ۳۲ و ۶۴ و نهایتاً ۹۶ ساعت، تعداد دفعاتی هستند که باید هیدرومتر قرائت شود. با توجه به حساسیت قرائت در ابتدای دقایق اولیه تا یک ساعت، حتماً باید قرائتها سر وقت اعلام شده صورت گیرد تا دقت آزمایش به قوت خود باقی بماند.  $R_a$  همان

قرائتهای صورت گرفته است.  $D = K \sqrt{\frac{L}{t}}$  با این فرمول میتوانیم قطر بزرگترین ذره در هر قرائت را بدست آوریم.

$K$  ضریب ثابت و  $t$  زمان برحسب دقیقه است. جهت بدست آوردن  $L$  میبایست ابتدا  $R_H$  را بدست آوریم.  $R_H = R_a + C_m$ .  $C_m$  تصحیح مربوط به هلال آب است. وقتی هیدرومتر در آب قرار میگیرد، آب با توجه به قوانین

سیالات، در محل برخورد با هیدرومتر، کمی بالا میرود و یک هلال ایجاد میکند. اندازه این هلال قابل قرائت میباشد. پس از بدست آوردن  $R_H$ ، مقدار  $L$  را از جدول موجود بدست آورده و در فرمول  $D$  جاگذاری میکنیم. عدد  $L$ ، مقدار

طولی است که هیدرومتر نسبت به مرکز جرم خود در آب فرو رفته است. (هیدرومتر مورد استفاده قرار گرفته در این آزمایش، هیدرومتر 151 H استاندارد آمریکا میباشد. حال درصد وزن ذرات را بدست می آوریم.)

$$\%W_D = \frac{100 G_s}{W_s (G_s - 1)} * R_c$$

( $W_s$  وزن خاک خشک میباشد)

جهت بدست آوردن  $R_c$  که قرائت تصحیح شده هیدرومتر میباشد باید از فرمول زیر استفاده نمائیم

$R_c = R_a + C_t - C_d$ .  $C_d$  مربوط به تصحیح کالبن ۰.۴٪ میباشد. مقدار  $C_t$  از سیلندر شاهد و حاوی کالبن بدست می آید. (با افزایش کالبن دراصل ما چگالی نمونه مورد آزمایش را افزایش داده ایم و  $C_t$  نیز مربوط به تصحیح درجه

حرارت است.) نتایج آزمایش انجام شده بشرح زیر میباشد:

زمان	۲	۴	۸	۱۵	۳۰	۶۰
قرائت م م	۱۲	۱۱.۱	۹	۸.۳	۸	۷.۸

و با توجه به قرائتها و جداول موجود:

$$C_d = 3 \quad C_t = 1.65 \quad C_m = .5$$

و رقم قرائت شده از سیلندر شاهد، ۱۲ بوده است.

با توجه به داشته های موجود، جدول مربوط به آزمایش انجام شده را تکمیل میکنیم.

مثالی دیگر از آنالیز هیدرومتری:

مشخصات خاک مورد آزمایش: رس سیلتی قهوه ای رنگ

نوع هیدرومتر	152 H
$G_s$	۲.۷
$a$	۰.۹۹
نوع ماده پراکنده ساز	NaPO <sub>3</sub> مقدار ۰.۴٪ در ۱۲۵ cc
$W_s$	۵۰
تصحیح صفر	+۳
تصحیح هلالی	۱

مقدار  $C_T$  را از جدول ضرایب تصحیح دما در دمای ۲۲ درجه را پیدا میکنیم

$$R_c = 49 - 3 + 0.4 = 46.4 \quad a = 0.99$$

$$\% = \frac{46.4(0.99)(100)}{50} = 91.9\%$$

درصد ریز دانه از رابطه  $\frac{R_c a}{W_s} * 100$  بدست می آید در نتیجه

قرائت هیدرومتر را فقط برای کشش سطحی تصحیح می کنیم:  $۴۹ + ۱ = ۵۰$

در جدول (مقادیر  $L$  عمق موثر) مورد استفاده در رابطه استوکس) برای  $R=50$  داریم  $L=8.1$

$$V = \frac{L}{t} = \frac{8.1}{1} = 8.1$$

از جدول (مقادیر  $K$  مورد استفاده در رابطه  $K = f(T, G_s, \eta)$  برای چگالی های مختلف مواد جامد خاک در دماهای

مختلف) با استفاده از  $T$  و  $G_s$  خواهیم داشت  $K=0.0131$

$$D = K \sqrt{\frac{L}{T}} = 0.0131 \sqrt{\frac{8.1}{1}} = 0.037 \text{ mm}$$

همچنین برای قرائت خوانده شده از هیدرومتر در دقیقه سوم (۴۳) خواهیم داشت

$$\frac{40.4(0.99)(100)}{50} = 80\% \text{ و } R_c = 43 - 3 + 0.4 = 40.4$$

تصحیح قرائت هیدرومتر فقط برای کشش سطحی صورت میگیرد  $43+1=44$

در جدول (مقادیر L) عمق موثر) مورد استفاده در رابطه استوکس) برای  $R=44$  داریم  $L=9.1$

$$V = \frac{L}{t} = \frac{9.1}{1} = 9.1$$

از جدول (مقادیر K) مورد استفاده در رابطه  $K = f(T, G_s, \eta)$  برای چگالی های مختلف مواد جامدخاک دردماهای

(مختلف) با استفاده از T و  $G_s=0.0131$  خواهیم داشت

$$D = K \sqrt{\frac{L}{T}} = 0.0131 \sqrt{\frac{9.1}{1}} = 0.023 \text{ mm}$$

D	K	L/t	L	قرائت تصحیح شده هیدرومتر فقط برای کشش سطحی R	درصد ریزدانه	قرائت تصحیح شده هیدرومتر $R_c$	قرائت هیدرومتر $R_d$	دما	زمان مورد نظر	زمان قرائت	تاریخ
۰.۰۳۷	۰.۱۳۱	۸.۱	۸.۱	۵۰	۹۱.۹	۴۶.۴	۴۹	۲۲	۱	۱۵.۳۰	۲/۱۳
۰.۰۲۷	۰.۱۳۱	۴.۲	۸.۴	۴۸	۸۷.۹	۴۴.۴	۴۷	۲۲	۲	۱۵.۳۰	۲/۱۳
۰.۰۲۳	۰.۱۳۱	۳.۰۳	۹.۱	۴۴	۸۰	۴۰.۴	۴۳	۲۲	۳	۱۵.۳۰	۲/۱۳
۰.۰۲	۰.۱۳۱	۲.۳	۹.۲	۴۳	۷۸	۳۹.۴	۴۲	۲۲	۴	۱۵.۳۰	۲/۱۳
۰.۰۱۵	۰.۱۳۱	۱.۲۶	۱۰	۳۸	۶۸.۱	۳۴.۴	۳۷	۲۲	۸	۱۵.۳۰	۲/۱۳
۰.۰۱۱	۰.۱۳۱	۰.۶۹	۱۱.۱	۳۲	۵۶.۲	۲۸.۴	۳۱	۲۲	۱۶	۱۵.۳۰	۲/۱۳
۰.۰۲۸	۰.۱۳۱	۰.۳۹۷	۱۱.۹	۲۷	۴۶.۳	۲۳.۴	۲۶	۲۲	۳۰	۱۵.۳۰	۲/۱۳
۰.۰۵۹	۰.۱۳۱	۰.۲۰۳	۱۲.۲	۲۵	۴۲.۴	۲۱.۴	۲۴	۲۲	۶۰	۱۶.۳۰	۲/۱۳
۰.۰۴۲	۰.۱۳۱	۰.۱۰۲	۱۲.۷	۲۲	۳۶.۴	۱۸.۴	۲۱	۲۲	۱۲۵	۱۷.۳۵	۲/۱۳
۰.۰۲۶	۰.۱۲۹	۰.۰۴	۱۳.۲	۱۹	۳۱.۱	۱۵.۷	۱۸	۲۳	۳۳۰	۲۱.۰۰	۲/۱۳
۰.۰۱۵	۰.۱۲۹	۰.۰۱۴	۱۳.۵	۱۷	۲۷.۱	۱۳.۷	۱۶	۲۳	۹۹۰	۸.۰۰	۲/۱۳
۰.۰۱۳	۰.۱۲۷	۰.۰۹۸	۱۳.۸	۱۵	۲۳.۸	۱۲	۱۴	۲۴	۱۴۱۰	۱۵.۰۰	۲/۱۴
۰.۰۰۹	۰.۱۲۷	۰.۰۵۱	۱۴.۵	۱۱	۱۵.۸	۸	۱۰	۲۴	۲۸۵۰	۱۵.۰۰	۲/۱۵

### آزمایش تعیین پارامترهای مقاومت برشی خاک :

در همه مسائل مربوط به پایداری خاک از قبیل طراحی پی ها ، دیوارهای حائل و خاکریزها ، داشتن اطلاعات کافی راجع به مقاومت خاک ضروری است . اندازه گیری و تعیین مقاومت خاکها بویژه برای خاکهای چسبنده که مباحث پایداری خاک اهمیت و کاربرد زیادی دارد، جزء مباحث پیچیده مطرح در مکانیک خاک میباشد . مقاومت برشی خاک از عمده ترین عوامل در تعیین رفتار خاکها میباشد . مقاومت برشی خاک ، مقاومت داخلی در واحد سطح آن است ، یعنی مقاومتی که خاک می تواند برای تاب آوردن در برابر گسیختگی و لغزش در امتداد هر صفحه دلخواه در داخل خود بسپنج کند .

کاربرد مقاومت برشی خاک در سدسازی ، حفاری ها ، بررسی پدیده های مخرب در توده های ژئوتکنیکی و مباحث پایداری میباشد . یکی از مدل های رفتاری الاستیک که جهت تعیین واکنش محیط در برابر بار ، مورد استفاده فراوان دارد ، مدل موهر - کولمب است . برای به دست آوردن مقاومت برشی در خاکها ، سه شیوه متداول وجود دارد که عبارتند از آزمایش برش مستقیم ، آزمایش سه محوری و آزمایش برش پیچشی . در آزمایش برش مستقیم با حرکت دادن نیمه بالایی یک جعبه محتوای خاک نسبت به نیمه پایینی آن ، خاک داخل جعبه را تحت تنش برشی قرار می دهیم تا تحت این تنش برشی ، گسیخته شود . وقتی که نیروی برشی به اندازه کافی بزرگ باشد ، قسمت بالایی جعبه نسبت به قسمت زیرین آن جابجا شده و باعث بریده شدن نمونه خاک در امتداد سطح جداکننده بالا و پایین جعبه می شود .

در آزمایش برش پیچشی ، نمونه استوانه ای را تحت یک گشتاور پیچشی قرار می دهیم . آزمایش سه محوری شامل یک نمونه استوانه ای است که تحت یک بار محوری قرار می گیرد تا مرحله ای که نمونه گسیخته شود . در این آزمایش معمولاً نمونه را در یک پوشش لاستیکی قرارداده ، توسط یک سیال ، فشار جانبی یکنواختی از همه طرف بر آن اعمال می شود . مهمترین مزیت آزمایش برش پیچشی نسبت به دوروش دیگر آن است که سطح مقطع نمونه خاک ، در حین انجام آزمایش تقریباً ثابت می ماند و از معایب آزمایش برش پیچشی ، غیر یکنواختی تنشها و کرنشها در یک صفحه از خاک است و همچنین اندازه گیری دقیق سطح موثر صفحه شکست ، کار دشواری است . منشاء مقاومت برشی در خاکهای غیر چسبنده ، اصطکاک بین دانه ها و درگیر شدن دانه ها با هم و قفل و بست آنها است .

اگر مقطعی که نیروی برشی بر آن وارد میشود دارای مساحت  $A$  باشد آنگاه میتوان نوشت که تنش برشی برابر است با نیروی برشی تقسیم بر  $A$  و همچنین تنش قائم برابر است با نیروی قائم تقسیم بر  $A$  .  
 $\tau = \sigma \tan \alpha$  . مقاومت برشی  $S$  نیز مقدار تنش لازم برای ایجاد لغزش روی سطح خاک بوده و برابر است با  $S = \sigma \tan \phi$  که در اینجا همان زاویه  $\alpha$  در لحظه گسیختگی می باشد . مقاومت برشی خاک را میتوان با مقاومت برشی  $S$  یا ضریب اصطکاک  $\tan \phi$  و یا زاویه اصطکاک داخلی  $\phi$  مشخص کرد .

رابطه اساسی بین تنش قائم و تنش برشی در صفحه گسیختگی بدین گونه است  $\tau_f = f \sigma$  . در اکثر مسائل مکانیک خاک ، بطور تقریبی تنش برشی در صفحه گسیختگی را تابعی خطی از تنش قائم در نظر می گیریم این رابطه بدینگونه است :  
 $\tau_f = c + \sigma \tan \phi$  که در این رابطه  $c$  چسبندگی و  $\phi$  زاویه اصطکاک داخلی میباشد . تنش موثر ( $\sigma'$ ) توسط دانه های خاک تحمل میشود بنابراین برای استفاده در مکانیک خاک رابطه کولمب به این صورت بیان میشود  
 $\tau_f = c + (\sigma + u) \tan \phi = c + \sigma' \tan \phi$  .

مشخصات برشی خاک به نحوه آزمایش و شرایطی که در آن شرایط این مشخصات ایجاد می شود، نیز بستگی دارد . به سه روش زیر میتوان این آزمایش را انجام داد :

- ❖ آزمایش تحکیم نیافته زهکشی نشده : در این آزمایش اعمال بار برشی  $P_H$  قبل از آنکه نمونه تحت بار قائم  $P_V$  تحکیم یابد شروع میشود . به این ترتیب بارهای افقی بسرعت وارد شده و نمونه فرصت زهکشی پیدا نمی کند .
- ❖ آزمایش تحکیم یافته زهکشی نشده : در این حالت ابتدا نمونه به آرامی تحت بار گذاری قائم قرار میگیرد و تحکیم میشود و سپس بار برشی  $P_H$  با سرعت به آن وارد میشود .
- ❖ آزمایش تحکیم یافته زهکشی شده : در این آزمایش بار گذاری قائم و برشی هر دو به آرامی اعمال می شوند و در این حالت هیچ فشار آب حفره ای در نمونه ایجاد نمی شود .

روش اعمال بار : در آزمایش برش مستقیم برای اعمال بار میتوان یکی از دوروش زیر را بکاربرد :

✓ آزمایش کنترل تنش : که در آن نیروی برشی توسط وزنه ثابت وارد میشود و سپس مقدار کرنش اندازه گیری میگردد.

✓ آزمایش کنترل کرنش : که در این روش نرخ تغییر شکل یا کرنش ثابت است و مقدار نیروی برشی اندازه گیری میشود. در اینجا نیروی برشی به وسیله موتور سنکرون وارد میشود و مقدار نیرو به وسیله دینام اندازه گرفته میشود. روش کنترل کرنش دارای مزیت بیشتری است زیرا سرعت تغییر شکل ایجاد شده در نمونه خاک ثابت است.

وسایل مورد آزمایش: جعبه برش سنگهای متخلخل دستگاه بارگذاری جهت اعمال نیروی قائم اطاق رطوبت دستگاه بارگذاری جهت اعمال نیروی برشی حلقه نیرو سنج وسیله اندازه گیری جابجایی یا کرنش سنج وسیله بریدن نمونه گرمخانه، کرنومتر و وسایل تراکم برای تهیه نمونه دست نخورده. روش انجام آزمایش

۱- خاکهای غیرچسبنده: یک ظرف پر از ماسه خشک را وزن میکنیم. جعبه برش را بادقت سوار کرده و در یک وضعیت مناسب، ثابت میکنیم و مساحت سطح مقطع نمونه را بدست می آوریم. نمونه را داخل جعبه برش قرار داده به طوری که ۵ م م روی جعبه خالی باشد. صفحه اعمال بار را تراز میکنیم. ظرف محتوی نمونه را وزن کرده تا جرم نمونه خشک آن تعیین شود. ضخامت مشخصی از خاک را بعنوان مرجع در نظر گرفته، روی محیط جعبه برش با علامتهایی آن را مشخص میکنیم. بارقائم مناسبی بر نمونه اعمال کرده و عقربه اندازه گیری تغییر شکلهای قائم را بر روی نمونه نصب میکنیم. ( توجه: وزن صفحه بارگذاری و نیمه بالایی جعبه برش را هم به عنوان بخشی از  $P_v$  در نظر میگیریم). دو قسمت جعبه برش را با باز کردن پیچ های نیمه بالایی جعبه از هم جدا میکنیم. صفحه بارگذاری را با محکم کردن سه پیچ کناری که به همین منظور در اطراف نیمه بالایی جعبه تعبیه شده اند، سر جای خود قرار داده و سپس پیچ های نیمه بالایی جعبه برش را بر میگردانیم. کرنش سنج عقربه ای را برای اندازه گیری تغییر شکلهای برشی (افقی) نصب میکنیم. بارگذاری افقی را شروع نموده مقدار نیروی نشان داده شده در نیرو سنج عقربه ای و عقربه اندازه گیری تغییر شکلهای برشی و در صورت نیاز تغییر شکلهای قائم را در هر مرحله قرائت میکنیم. اگر آزمایش از نوع کنترل کرنش است قرائتها را برای کرنشهای ۵ و ۱۰ و از آن به بعد هر ۱۰ تا ۲۰ واحد انجام میدهیم. سرعت تغییرات کرنش افقی را بین ۰.۵ تا ۲ م م در دقیقه در نظر میگیریم. بهتر است سرعت تغییر کرنش طوری باشد تا شکست نمونه بین ۳ تا ۵ دقیقه طول بکشد. قرائتها را تا جایی ادامه میدهیم که بار برشی به حداکثر مقدار خود برسد بعد از این مرحله از مقدار بار برشی کاسته شده و لازم است تا بعد از قرائت بار برشی حداکثر، دو قرائت دیگر انجام دهیم. کل مراحل آزمایش را برای ۲ نمونه دیگر انجام میدهیم. (جرم نمونه ها باید با هم برابر باشند). پیشنهاد میشود بار قائم را برای هر مرحله دو برابر نمایید. اگر در هنگام آزمایش، وقتی بار قائم بزرگتری وارد کرده اید، بار برشی کمتری نسبت به قبل قرائت شد، آزمایش باید تکرار شود.

۲- خاکهای چسبنده: سه یا ۴ نمونه هم اندازه، هم وزن و با چگالی تقریباً یکسان آماده کنید. اندازه ها طوری باشند تا به راحتی در جعبه برش قرار گیرند. پیچهای نیمه بالایی جعبه برش را شل کرده، دو قسمت جعبه را روی هم سوار کنید. در صورتی که آزمایش را برای خاک خشک انجام نمی دهید ابتدا مطمئن شوید که سنگهای متخلخل کاملاً اشباع شده اند. ابعاد جعبه برش را برای به دست آوردن مساحت A اندازه گیری میکنیم. نمونه را داخل جعبه برش قرار داده به طوری که ۵ م م روی جعبه خالی باشد. صفحه بارگذاری را روی آن قرار داده، بار قائم  $P_v$  را اعمال کنید و عقربه اندازه گیری تغییر شکلهای قائم را هم نصب کنید. صفحه بارگذاری را با محکم کردن پیچهای کناری که به همین منظور در اطراف نیمه بالایی جعبه تعبیه شده اند، سر جای خود قرار داده و سپس پیچ ها را ببندید. ( توجه: وزن صفحه بارگذاری و نیمه بالایی جعبه برش را هم به عنوان بخشی از  $P_v$  در نظر میگیریم). عقربه اندازه گیری تغییر شکلهای برشی را نصب کرده، صفر عقربه های اندازه گیری تغییر شکلهای قائم و افقی را تنظیم کنید. بارگذاری افقی را شروع نموده مقدار نیروی نشان داده شده در نیرو سنج عقربه ای و عقربه اندازه گیری تغییر شکلهای برشی و در صورت نیاز تغییر شکلهای قائم را در هر مرحله قرائت میکنیم. اگر آزمایش از نوع کنترل کرنش است قرائتها را برای کرنشهای ۵ و ۱۰ و از آن به بعد هر ۱۰ تا ۲۰ واحد انجام میدهیم. سرعت تغییرات کرنش افقی را بین ۰.۵ تا ۲ م م در دقیقه در نظر میگیریم و گسیختگی باید بین ۵ تا ۱۰ دقیقه صورت گیرد. برای مشخص شدن اینکه پس از چه مدت خاک کاملاً تحکیم یافته است، منحنی قرائتهای تغییر شکل قائم در مقابل لگاریتم زمان باید رسم شود. اگر  $P_v$  خیلی بزرگ باشد، باید بارگذاری با گامهای بزرگتری انجام شود. بار شکست، مقدار بار حداکثری است که در هر آزمایش به دست می آید.

روند محاسبات : محاسبات زیر برای هر دو خاک چسبنده و غیرچسبنده کاربرد دارد .

تنش قائم اسمی  $\sigma_n = \frac{P_v}{A}$  که  $A$  مساحت سطح مقطع افقی جعبه برش و  $P_v$  بار قائم ( که شامل بار قائم اعمال شده + وزن صفحه بار گذاری و نیمه بالایی جعبه برش است )

منحنی تغییر شکلهای افقی  $\delta_h$  در مقابل نیروی برش افقی  $P_h$  را به منظور به دست آوردن بهترین مقدار برای نیروی

برشی نهایی  $P_{h(max)}$  را رسم کرده با توجه به آن تنش برشی حد اکثر  $S_{max}$  را محاسبه کنید  $S_{max} = \frac{P_{h(max)}}{A}$

مقادیر تنش برشی ماکزیمم  $S$  در مقابل تنش قائم  $\sigma_n$  را برای همه آزمایشها روی نمودار مشخص کرده . بهترین خط را بر روی این نقاط برازش دهید . حال از روی خط ترسیم شده میزان چسبندگی نمونه که روی محور قائم مشخص می شود و همچنین شیب خط که معرف زاویه اصطکاک داخلی  $\phi$  میباشد، بدست آورید .

با توجه به نمودار نیروی افقی  $P_h$  در مقابل تغییر شکلهای افقی  $\delta_h$  و با همان مقیاس  $\sigma_n$  ، در صورت داشتن اطلاعات مربوط به تغییر شکلهای قائم ، نمودار تغییر شکلهای قائم  $\delta_v$  در مقابل تغییر شکلهای برشی  $\delta_h$  را رسم کنید. این منحنی تغییرات حجم نمونه رادرازی تغییر شکلهای برشی ، نشان می دهد.

آزمایش انجام شده : آزمایش برای بارهای قائم ۵ ، ۱۰ و ۲۰ ک گ انجام میشود اما در این آزمایش فقط اطلاعات مربوط به  $P_v = 5 \text{ Kg}$  آورده شده است .

نوع خاک ماسه با زبری متوسط

وزن اولیه خاک + ظرف ۱۳۷۶٫۷ گ      وزن نهایی خاک + ظرف ۱۲۳۶ گ      وزن خاک استفاده شده ۱۴۰٫۷ گ  
طول و عرض جعبه ۵٫۰۸×۵٫۰۸      عمق ۲٫۴۲      مساحت ۲۵٫۸۱      حجم ۸۸٫۲۶

وزن واحد حجم م  $\gamma_d = \frac{140.7}{88.26} = 1.594 \text{ g/cm}^3$       بـ ا ر قـ ا تـ م

$\sigma_n = \frac{49 \cdot 10}{25.81} = 19 \text{ KPa}$  ،  $P_v = 5 \text{ Kg} = 49 \text{ n}$       سرعت بارگذاری ۰٫۵ م م در دقیقه      ضریب ثابت

حلقه نیرو سنج ۱،۳۷۹

تنش برش $S$ Kpa	نیروی برشی افقی $N$	بارقائت شده	مساحت اصلاح شده $A$	تغییر شکل افقی $\delta_h$ م م	قرائت شده $\delta_h$ م م	تغییر شکل قائم $\delta_v$	قرائت شده $\delta_v$ م م
	۰	۰	۸۸٫۲۶	۰	۰	۰	۰
۷٫۵	۱۹٫۳۱	۱۴	۸۸٫۲۶	۰٫۱	۱۰	۰٫۰۰۵	+۰٫۵
۱۰٫۲	۲۶٫۲	۱۹	۸۸٫۲۶	۰٫۲	۲۰	۰٫۰۲۵	+۲٫۵
۱۲٫۸	۳۳٫۱	۲۴	۸۸٫۲۶	۰٫۴	۴۰	۰٫۰۳۰	+۳٫۰
		۲۵	۸۸٫۲۶		۶۰		+۲٫۰
		۲۶	۸۸٫۲۶		۷۵		+۲٫۰
		۲۹	۸۸٫۲۶		۱۰۰		+۱٫۵
		۳۰	۸۸٫۲۶		۱۵۰		+۱٫۵
		۳۱	۸۸٫۲۶		۱۷۵		+۱٫۵
		۳۱	۸۸٫۲۶		۲۰۰		+۱٫۵
		۲۹٫۵	۸۸٫۲۶		۲۵۰		+۱٫۵
		۲۶	۸۸٫۲۶		۳۰۰		+۱٫۵

$$\frac{19.31}{25.81} = 7.5 \text{ KPa}$$

### آزمایش تعیین ضریب نفوذپذیری خاک k

برای تعیین ضریب نفوذپذیری دو روش وجود دارد که از هر کدام از این روشها در خاکهایی با بافتهای متفاوت استفاده میشود. در خاکهای سبک و ماسه ای که ضریب نفوذپذیری آنها بزرگتر از  $10^{-4}$  میباشد با استفاده از روش بارنابت و در خاکهای سنگین که ضریب نفوذپذیری آنها بین  $10^{-7}$  -  $10^{-4}$  میباشد از روش بارمتغیر استفاده میشود.

روش بار متغیر: مقداری خاک دست نخورده که می خواهیم K آن را بدست آوریم را درون یک سیلندر که قطر طول آن معلوم است ریخته و سپس خاک درون سیلندر را به حالت اشباع درمی آوریم بطوری که هیچ هوایی درون آن وجود نداشته باشد. آنگاه توسط لوله ای که در ارتفاع بالاتری از سیلندر قرار دارد و سطح مقطع آن a میباشد، آب را توسط لوله ای به سیلندر هدایت نموده و آب پس از عبور از طول نمونه خاک، از طریق لوله ای دیگر که در زیر سیلندر قرار دارد از آن خارج میگردد. پس از آنکه مطمئن شدیم هیچکدام از اتصالات و لوله های مسیر جریان نشتی ندارد و هیچ هوایی هم درون آنها نیست، آزمایش را آغاز میکنیم.

ابتدا ارتفاع آب درون لوله بالای سیلندر را اندازه گیری میکنیم ( $h_0$ )

پس از گذشت  $t$ ، دوباره ارتفاع آب را اندازه گیری نموده و ثبت میکنیم ( $h_1$ )

محاسبه را جهت بدست آوردن K آغاز میکنیم:

$$A = 78.54 \text{ Cm}^2, \quad L = 12 \text{ Cm}, \quad D = 10 \text{ Cm}, \quad d = 2.3 \text{ Cm}, \quad a = 4.15 \text{ Cm}^2$$

که a مساحت مقطع دوم d قطر لوله ای که آب در آن ریخته شده است

D قطر نمونه خاک L طول نمونه خاک و A مساحت مقطع سیلندر است.

$$t_0 = 16.20' \quad t_1 = 17.20' \quad h_0 = 1.85 \quad h_1 = 1.70$$

$$K = \frac{aL}{tA} \ln \frac{h_0}{h_1} \Rightarrow K = \frac{4.15 * 12}{78.54 * 3600} \ln \frac{1.85}{1.7} \Rightarrow K = 0.0536 \text{ Cm / hr}$$

روش بار ثابت: مقداری خاک دست نخورده را درون سیلندر قرار داده و نمونه خاک را کاملاً اشباع میکنیم. سپس به نمونه خاک آب اضافه میکنیم تا جایی که آب از نمونه گذشته و از آنسوی سیلندر خارج گردد. زمان آغاز آزمایش، زمانی است که دبی ورودی تقریباً با دبی خروجی برابر گردد. سپس ظرفی را که حجم آن معلوم است را زیر لوله خروجی قرار میدهیم و زمان را اندازه گیری میکنیم تا ظرف مورد نظر پر شود (ظرفیت ظرف مورد آزمایش برابر ۵۰ میلی لیتر است). با بهره گیری از فرمول زیر مقدار K را بدست می آوریم.

$$K = \frac{VL}{At \Delta h}$$

ابعاد نمونه: قطر ۷٫۶۲ س م مساحت: ۴۵٫۶ س م مربع عمق ۲۰٫۳ س م

$$Q = 769 \text{ Cm}^3 \quad t = 180 \text{ s} \quad h = 87 \text{ Cm}$$

$$K = \frac{VL}{At \Delta h} = \frac{769 * 20.3}{45.6 * 87 * 180} \Rightarrow K = 0.022 \text{ cm / s}$$

**آزمایش تراکم:** وقتی آب به خاک خشک اضافه میشود ذرات خاک یک لایه نازک از آب را جذب سطحی میکند. در اثر افزودن آب این لایه های نازک ضخیم تر شده، اجازه میدهند تا ذرات خاک راحت تر روی یکدیگر بغلتند. تاثیر این عمل، تنها به ذرات ریز خاک محدود میشود. در عمل متراکم کردن، آب اضافه شده جایگزین هوایی میشوند که در خلل و فرج خاک وجود دارد ولی بعد از رسیدن به درصد بالایی از اشباع، آب فضاهایی را که میتواند توسط ذرات خاک پر شوند اشغال نموده و مقدار هوای محبوس شده در خاک اساساً ثابت می ماند. همچنین لازم است ذکر گردد که اگر میزان آب از حد معینی بیشتر شود، آب انرژی وارد شده را بدون تغییر شکل جذب کرده و مانع از آن میگردد که انرژی به دانه های خاک وارد شده، آنها را جابجا میکند. بنابراین یک مقدار بهینه آب برای خاک مورد نظر و عمل تراکمی که بیشینه وزن مخصوص خاک را می دهد، وجود دارد. هدف از انجام آزمایش تراکم در آزمایشگاه پیدا کردن این مقدار بهینه است

میزان تراکم مصالح درشت دانه را براساس مقدار چگالی نسبی مشخص میکنند. این رابطه بدین صورت است:

$$D_r = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} * 100$$

محاسبات:

که  $\gamma_d = \frac{W}{V(1+w)}$  حجم قالب است و درحالت حفره های هوای صفر، نمونه بارطوبت موجود، درحالت اشباع برابر

$$\gamma_d = \frac{\gamma_w}{\left[ \frac{w}{s_r} + \frac{1}{G_s} \right]}$$

برای رسم منحنی چگالی خشک - درصد رطوبت، برروی محور افقی درصد آب و برروی محور قائم چگالی خشک را درنظر میگیریم. منحنی را میتوان با داشتن مقدار تجربی به دست آمده از آزمایش رسم نمود. برای رسم منحنی اشباع نیز کافی است در رابطه اخیر مقدار  $S_r$  را برابر ۱۰۰ در نظر بگیریم. آنگاه نقاط بدست آمده از روی همان محورهای مختصات قبلی را رسم میکنیم.

جهت محاسبه تراکم نسبی از فرمول  $R\% = \frac{\gamma_d}{\gamma_{d(\max)}} * 100$  استفاده میکنیم.

برای خاکهای دانه ای میتوان نوشت:  $R\% = \frac{R_0}{1 - D_r(1 - R_0)} * 100$  (  $D_r$  چگالی نسبی تراکم است )

$$R_0 = \frac{\gamma_{d(\max)}}{\gamma_{d(\min)}}$$

نمونه یک آزمایش انجام شده در دیگر آزمایشگاهها:

حجم قالب:  $\frac{1}{30} ft^3$  وزن چکش:  $5.5 lb$  تعداد ضربه در لایه: ۲۵ تعداد لایه: ۳

چگالی  $G_s = 2.68$  ( واحدهای جدول زیر برحسب سیستم انگلیسی است )

شماره	وزن قالب	وزن قالب + وزن خاک	وزن خاک مرطوب	وزن مخصوص مرطوب	درصد رطوبت	وزن مخصوص خشک
۱	۱۰.۳۴۸	۱۴.۱۸۵	۳.۸۷۳	۱۱۵.۱۱	۸.۷۴	۱۰۵.۸۶
۲	۱۰.۳۴۸	۱۴.۴۰۷	۴.۰۵۹	۱۳۱.۷۷	۱۰.۲۷	۱۱۰.۴۳
۳	۱۰.۳۴۸	۱۴.۵۲۶	۴.۱۷۸	۱۳۵.۳۴	۱۰.۹۳	۱۱۲.۹۹
۴	۱۰.۳۴۸	۱۴.۶۳۹	۴.۲۸۱	۱۳۸.۴۳	۱۲.۵۲	۱۱۴.۱۴
۵	۱۰.۳۴۸	۱۴.۵۰۹	۲.۱۶۱	۱۳۴.۸۳	۱۵.۰۳	۱۰۸.۵۲
۶	۱۰.۳۴۸	۱۴.۴۶۶	۴.۱۱۸	۱۳۳.۵۴	۱۸.۷	۱۰۳.۹۹

درصد رطوبت با استفاده از جدول زیر بدست می آید.

شماره آزمایش	۱	۲	۳	۴	۵	۶
شماره ظرف	۲۰۲	۲۱۲	۲۲۲	۲۴۲	۲۰۶	۵۰۴
وزن ظرف	۵۴	۵۳.۲۵	۵۳.۲۵	۵۴	۵۴.۷۵	۴۰.۸
وزن ظرف+وزن خاک مرطوب	۲۵۳	۳۵۴.۰۱	۴۳۹	۴۹۰	۴۲۲.۸۳	۲۴۳
وزن ظرف+وزن خاک خشک	۲۳۷	۳۲۶	۴۰۱.۰۱	۴۴۱.۵	۳۷۴.۷۲	۲۱۱.۱
درصد رطوبت	۸.۷۴	۱۰.۲۷	۱۰.۹۳	۱۲.۵۲	۱۵.۰۳	۱۸.۷۹

چگونگی انجام آزمایش: مقداری خاک را ازالک ۴ گذرانده و ظرف را وزن میکنیم. سپس به مقدار ۳.۵ کیلوگرم نمونه خاک را به ظرف اضافه میکنیم. حدود ۱۸۰ CC آب وارد نمونه خاک کرده و مخلوط میکنیم به نحوی که رطوبت به تمام خاک برسد. تقریباً نصف خاک آماده شده را در قالب ریخته و با چکشی که وزن آن ۲۵.۵ نیوتن است و تا ۳۰ Cm بالای نمونه برده و ۲۵ ضربه به خاک میزنیم. مجدداً به درون قالب خاک اضافه میکنیم تا  $\frac{2}{3}$  قالب پر شود و با چکش ۱۵ ضربه

وارد میکنیم. مقداری دیگر از خاک را وارد قالب کرده و ۱۰ ضربه میزنیم.

گام اول: مقداری از نمونه خاک را در اتوکلاو قرار داده و وزن خاک خشک را بدست می آوریم. حدود ۲٪ رطوبت خاک را افزایش داده و وزن را بدست می آوریم. این عمل را ۵ بار انجام میدهیم.

وزن قالب ۳۳۳۰ گرم      قطر قالب ۱۰.۱ سانتیمتر  
ارتفاع قالب ۱۱.۶۳۵      حجم قالب ۹۳۲.۲ سانتیمترمربع

پس از انجام مراحل گفته شده، قالب را زیر دستگاه پرس قرار داده و خاک را از درون قالب خارج کرده و قسمتی از بالای نمونه و همچنین قسمتی از پایین نمونه خاک را برداشته و وزن نموده و در آن قرار میدهیم.

وزن ظرف + نمونه خاک مرطوب ۲۶۲.۴۴ گرم      وزن ظرف + نمونه خاک خشک ۲۴۷.۸۹ گرم  
میزان رطوبت ۱۴.۵۵

گام دوم: حجم خاک قالب را تا  $\frac{2}{3}$  قالب افزایش داده و مجدداً عملیات را مطابق توضیحات ادامه میدهیم.

وزن خاک متراکم شده ۱۸۵۲ گرم      وزن ظرف نمونه گیری شده ۸۳.۱۳ گرم  
وزن ظرف + نمونه خاک مرطوب ۱۶۸.۷۶ گرم      وزن ظرف + نمونه خاک خشک ۱۴۹.۶۴ گرم  
میزان رطوبت ۱۹.۱۲

گام سوم: همانند توضیحات ادامه میدهیم و در نتیجه

وزن نمونه خاک متراکم شده ۲.۰۱=۳.۳۳-۵.۳۴ کیلوگرم      وزن ظرف نمونه گیری ۶۶.۸ گرم  
وزن ظرف + نمونه خاک مرطوب ۲۹۳.۷۴ گرم      وزن ظرف + نمونه خاک خشک ۲۶۵.۴۵ گرم  
وزن خاک خشک ۱۹۸.۶۵      میزان رطوبت ۲۸.۲۹

گام چهارم: همانند توضیحات ادامه میدهیم و در نتیجه

وزن نمونه خاک متراکم شده ۱.۹۱=۳.۳۳-۵.۲۴ کیلوگرم      وزن ظرف نمونه گیری ۸۲.۴۶ گرم  
وزن ظرف + نمونه خاک مرطوب ۲۵۴.۱۵ گرم      وزن ظرف + نمونه خاک خشک ۲۲۷.۷۷ گرم  
وزن خاک خشک ۱۴۵.۳۱      میزان رطوبت ۲۶.۳۸

حالت نتایج بدست آمده را در جدول قرار داده و نمودار مربوطه را برای بدست آوردن رطوبت اپتیمم ترسیم میکنیم.

### آزمایش تعیین حدود آتربرگ: ( حد خمیرایی )

تعیین حد روانی: خاکی خاصیت خمیرایی دارد که در صورت دریافت رطوبت و وارد شدن نیرو به آن، تغییر شکل بدهد و در صورت حذف نیرو به حالت اول خود برگشته و ترک نخورد. خاصیت چسبندگی مخصوص خاکهای رس است البته

دیگر خاکهای چسبندگی دارند.

به خاک رس، آب می افزاییم تا روان شود. با گرفتن مقداری رطوبت از آن، غلظت زیاد میشود. مرز بین حالت روانی و خمیرایی را حد روانی میگویند. در ادامه آزمایش، مقدار بیشتری رطوبت توسط خاک از دست میرود تا به حالت نیمه

جامد میرسد. مرز بین خمیری و نیمه جامد را حد خمیری میگویند. ( حجم خاک با از دست رفتن رطوبت کاهش می یابد ) . با ادامه آزمایش و از دست رفتن باقی رطوبت موجود در خاک به حد انقباض میرسیم. حد انقباض حدی است که با

از دست دادن رطوبت، حجم خاک دیگر تغییر نکند.

از دستگاه کازاگرانده برای بدست آوردن حد خمیری استفاده میکنیم. این دستگاه دارای یک کاسه است که توسط یک پیم به بدنه دستگاه وصل میگردد. یک هندل کوچک در کنار دستگاه قرار دارد که با چرخاندن آن یک جسم همانند میل

بادامک به کاسه برخورد کرده، کاسه را بالا برده و در فاصله مشخص ( یک سانت از کف دستگاه ) کاسه رها شده و به کف دستگاه برخورد میکند. هدف از انجام این کار، وارد کردن ضربه به کاسه و در نتیجه به نمونه قرار داده شده در کاسه است

. مقدار فاصله یک سانتی متر از کف دستگاه نیز با یک پیچ امکان پذیر است. بر روی کاردک مخصوص دستگاه ذکر شده یک

جسم مکعبی به ضخامت یک سانتی متر وصل شده است که آن را زیر کاسه قرار داده و با پیچ تنظیم کننده و چرخاننده همزمان همدل، آن را تنظیم میکنیم.

نمونه خاک تهیه شده و مرطوب را در کاسه قرار داده و خوب آن را با کاردک میفشاریم تا هوای بین نمونه خارج شود. سطح خاک را صاف کرده و بکمک کاردک، یک شیار تا انتهای ظرف و در جهت قطر کاسه بوجود می آوریم و شروع به چرخاندن همدل برای زدن ضربه میکنیم. تعداد ضربات ۲ عدد در هر ثانیه است و این تعداد نباید از ۱۵ ضربه کمتر و یا از ۴۰ ضربه بیشتر باشد. این کار را تا زمانی ادامه میدهیم که مقدار ۱۲.۷ م از نمونه خاک موجود در کاسه، در محل ایجاد شکاف، بیکدیگر برسند و سپس تعداد ضربات را یادداشت نموده و نمونه خاک را جهت ادامه آزمایش وارد دستگاه اتوکلاو میکنیم. این عمل را ۴ بار تکرار نموده و نهایتاً ۴ تعداد ضربه، ۴ وزن خاک مرطوب و ۴ وزن خاک خشک خواهیم داشت. با توجه به تعداد ضربات و تعیین درصد رطوبت میتوان بر روی کاغذ نیمه لگاریتمی اقدام به رسم منحنی نمود. پس از رسم منحنی، از روی محور افقی، تعداد ۲۵ ضربه را انتخاب نموده و به سمت منحنی امتداد داده و پس از برخورد با منحنی بسمت درصد رطوبت در محور ۷ ها خطی عمود میکنیم و در نتیجه مقدار % رطوبت بدست می آید. درصد رطوبت بدست آمده نشان دهنده آن است که رطوبت خاک در حد روانی میباشد و یا خیر.

آزمایش انجام شده جهت تعیین حد روانی:

شماره ظرف	۲۷	۲۸	۳۱	۳۴
وزن خاک مرطوب + ظرف	۴۸.۶۱	۵۵.۵۳	۵۱.۷۱	۵۰.۵۱
وزن خاک خشک + ظرف	۴۱.۱۹	۴۶.۰۵	۴۲.۹۸	۴۱.۵۴
وزن ظرف	۱۷.۳۳	۱۷.۴۱	۱۷.۴۵	۱۷.۳۶
وزن خاک خشک	۲۳.۸۶	۲۸.۶۴	۲۵.۵۳	۲۴.۱۸
وزن آب	۷.۴۲	۹.۴۸	۸.۷۳	۸.۹۷
درصد رطوبت	۳۱.۱	۳۳.۱	۳۴.۲	۳۷.۱
تعداد ضربات	۳۴	۲۷	۲۲	۱۷

با رسم نمودار اعداد ضربات بر حسب درصد رطوبت، درصد رطوبت متناظر با ۲۵ ضربه که همان حد روانی است برابر با ۳۳.۴٪ می شود.

تعیین حد خمیری از خاکی که با بیشتر از ۴۰ ضربه، مقدار ۱۲.۷ م م نمونه خاک به یکدیگر نرسیده باشد، یک نمونه برداشته و آن را فیتیله میکنیم. اگر تا قبل از رسیدن قطر فیتیله به ۳ م م، نمونه ترک بخورد، رطوبت کمتر از حد خمیری است. اگر در قطر ۳ م م ترک مویی پیدا کند، رطوبت در حد خمیری و اگر در قطر کمتر از ۳ م م ترک نخورد، رطوبت بیشتر از حد خمیری است. نهایتاً نمونه فیتیله شده را برای ادامه آزمایش، وزن نموده و سپس وارد دستگاه اتوکلاو میکنیم.

تعیین حد انقباض از خاکی که با کمتر از ۱۵ ضربه، مقدار ۱۲.۷ م م نمونه خاک به یکدیگر رسیده باشد، یک نمونه برداشته و به آن آب اضافه نموده تا نمونه مورد آزمایش براق گردد. (افزودن آب تا حدی که وقتی کاردک را وارد نمونه کرده و از آن خارج نموده ایم، مقداری از نمونه از کاردک چکه کند).

یک فنجانک تهیه کرده و آن را وزن نموده و حجم آن را توسط جیوه بدست می آوریم  $V = \frac{W}{\gamma}$ . نمونه خاک تهیه شده مرطوب را وارد فنجانک کرده و با کاردک سطح خاک را با لبه فنجانک یکی میکنیم و نهایتاً آن را وزن میکنیم. سپس فنجانک را تا چند ساعت در هوای آزاد آزمایشگاه قرار داده تا مقداری از رطوبت آن گرفته شود و سپس آن را در دستگاه اتوکلاو قرار میدهیم. وزن آب موجود در نمونه ها از طریق محاسبه بدست می آید (وزن آب برابر است با وزن خاک مرطوب منهای وزن خاک خشک).

عیار رطوبت از فرمول  $w = \frac{W_w}{W_s}$  یعنی نسبت وزن آب به وزن خاک خشک.

خاکی که از اتوکلاو خارج میشود بعلت تبخیر، تغییر حجم داده و حجم آن کاهش می یابد. حجم خاک خشک شده در فنجانک را بکمک جیوه بدست می آوریم. با قرار داده جیوه در یک بشر کوچک شیشه ای و وارد کردن خاک خشک شده

در فنجانک به داخل جیوه و فشردن خاک جهت وارد شدن کامل خاک به درون جیوه ، مقداری جیوه از بشر خارج میشود که حجم جیوه خارج شده با حجم خاک خشک شده برابر میباشد .

$$w_s = w_0 - \frac{\Delta V * \gamma_w}{W_s} \quad \Delta V = V_0 - V_1$$

و رطوبت در حد انقباض از فرمول بدست می آید .

آزمایش حد انقباض :

وزن ظرف + خاک مرطوب ۳۷.۸۳ گرم    وزن ظرف + خاک خشک ۳۱.۹۲ گرم

وزن ظرف ۱۰.۴۳ گرم    وزن خاک خشک ۲۱.۴۹ گرم    وزن آب ۵.۹۱ گرم

$$w = \frac{5.91 * 100}{21.49} = 27.50$$

درصد رطوبت

محاسبه حجم  $V_0$

وزن ظرف ۲۱.۲۲ گرم    وزن ظرف + جیوه ( بعد از غوطه وری نمونه ) ۴۵۹.۶۲ گرم

وزن ظرف + جیوه ۶۱۶.۷۳    وزن جیوه جابجاشده : ۱۵۷.۱۱ گرم

$$V_0 = \frac{157.11}{13.53} = 11.61 \text{ Cm}^3$$

محاسبه  $V$

وزن ظرف انقباض ۱۰.۴۲ گرم    وزن جیوه داخل ظرف انقباض ۲۰۲.۲۳ گرم

وزن ظرف انقباض + جیوه ۲۱۲.۶۵ گرم

$$V = \frac{202.23}{13.53} = 14.95 \text{ Cm}^3$$

در صورتی که تمایل دارید تا مقالات و یا مطالب علمی شما در این سایت قرار گیرد با مدیریت سایت

تماس بگیرید .

موفق باشید

فرزین نجفی پور

