فهرست عناوین

هدف از انجام آزمایش ۱
تعریف مفاهیم و پارامترهای بکار برده شده ۱
تئوری آزمایش ۲
روش‌های غیر از آزمایش برای تعیین پارامتر مورد نیاز ۳
توضیح آزمایش ۴
وسایل مورد نیاز ۴
نحوه‌ی انجام آزمایش ۵
نکات آزمایش ۶
منابع خطا ۷
راهکارهای کاهش خطا : ۸
ارائه آزمایش ۹
داده‌های آزمایش ۹
محاسبات آزمایش ۱۰
نتیجه‌گیری ۱۲
تفسیر نتایج ۱۲
محدوده‌ی پارامتر مورد نظر برای انواع خاک‌ها ۱۲
منابع احتمالی خطا و قضاوت نهایی راجع به پارامتر بدست آمده ۱۲
منابع و مراجع ۱۳

www.testkhak.com

فهرست اشکال

شکل ۱- چگالی سنج هسته ای ۳
شکل ۲- بالون لاستیکی ۳
شکل ۳- وسایل انجام آزمایش دانسیته در محل ۴
شکل ۴- پر شدن گودال از ماسه ۵
شکل ۵ - تمیز کردن ماسه‌های زیخته شده در اطراف نمونه به جهت نبود خطا ۶

فهرست جداول

جدول ۱- داده‌های آزمایش ۹

مقدمه و تئوری آزمایش

هدف از انجام آزمایش

هدف از این آزمایش تعیین وزن مخصوص مرطوب و خشک می باشد. همچنین برای اطلاع از میزان تراکم خاک و تعیین ظرفیت باربری نیز کاربرد دارد. برای خاک هایی که درصد قابل توجهی سنگ و مصالح درشت دانه بزرگ تر از ۳۸ میلیمتر نداشته باشند آزمایش تعیین دانسیته در محل استفاده می شود. البته خاک باید به اندازه کافی چسبندگی یا درهم قفل شدگی داشته باشد تا در حفر یک گودال کوچک دیواره های گودال پایدار بماند. این آزمایش برای تعیین وزن مخصوص خاکریزهای کوبیده شده در سدهای خاکی، راه سازی و ... استفاده می شود و به همراه آزمایش تراکم به عنوان مبنای پذیرش کفایت عملیات تراکم درنظر گرفته می شود. کاربرد این آزمایش در خاک های اشباع محدود بوده و همچنین در خاک های نرم و شکننده توصیه نمی شود.

تعریف مفاهیم و پارامترهای بکار برده شده

- وزن ماسه ای که گودال و قیف را پر کرده است (W)

$$W = W_1 - W_2$$

W_1: وزن ظرف مخروط و ستون ماسه

W_2: وزن ظرف و ماسه باقی‌مانده پس از پر کردن گودال

- وزن ماسه پرکننده‌ی گودال (P_2)

$$P_2 = W - W_3$$

W_3: وزن ماسه‌ای که قیف را پر می‌کند

- حجم گودال یا حجم خاک (V)

$$V = \frac{P_2}{\gamma_{sand}}$$

γ_{sand}: وزن مخصوص ماسه

- محاسبه‌ی وزن مخصوص مرطوب خاک (γ)

$$\gamma = \frac{P_1}{V}$$

P_1: وزن ماسه‌ای که قیف را پر می‌کند

- محاسبه‌ی درصد رطوبت خاک (ω)

$$\omega = \frac{W_4 - W_5}{W_5 - W_6} \times 100$$

W_4: وزن خاک حفاری شده پیش از خشک شدن (با لیوان)

W_5: وزن خاک پس از خشک شدن (با لیوان)

W_6: وزن لیوان

- محاسبه‌ی وزن مخصوص خشک (γ_d)

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + \omega}$$

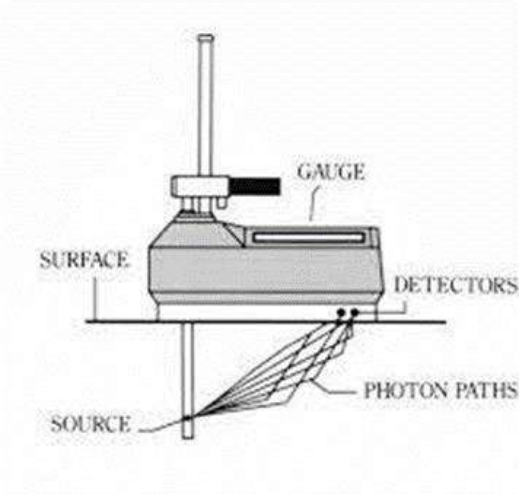
تئوری آزمایش

در ابتدا چگالی ماسه و حجم مخروط مخزن ماسه با استفاده از یک قالب با ابعاد معین محاسبه می‌گردد. برای محاسبه چگالی خاک در محل انجام پروژه یک گودال با ابعاد مناسب حفر می‌شود. خاک حفر شده برای اندازه‌گیری وزن و درصد رطوبت به آزمایشگاه منتقل می‌شود. گودال با ماسه استاندارد به طور کامل پر می‌گردد. با محاسبه اختلاف وزن مخزن ماسه قبل و بعد از پر کردن گودال و دانستن چگالی ماسه می‌توان حجم تقریبی گودال را بدست آورد. با استفاده از وزن و درصد رطوبت خاک نمونه چگالی مرطوب و چگالی خشک خاک نمونه محاسبه می‌گردد و با مقادیر مد نظر مقایسه خواهد شد.

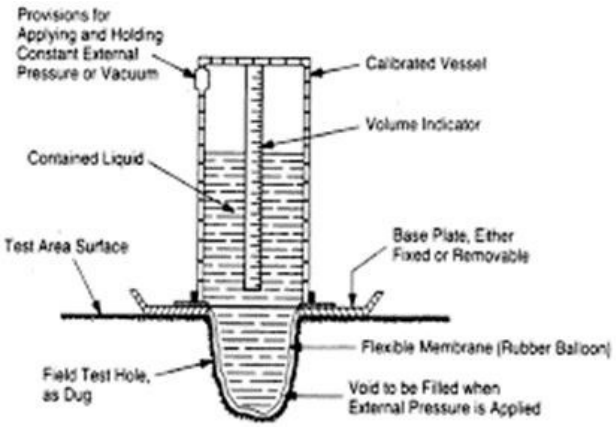
روش‌های غیر از آزمایش برای تعیین پارامتر مورد نیاز

برای محاسبه چگالی خاک در محل پروژه همچنین می‌توان از بالون لاستیکی استفاده کرد. در این روش برای محاسبه حجم گودال حفر شده از آب استفاده می‌شود. برای عدم نفوذ آب به خاک یک بالون لاستیکی در گودال قرار داده شده و با آب پر می‌گردد. سرعت عمل روش بالون لاستیکی از روش مخروط ماسه بیشتر است اما نمی‌توان از آن برای خاک های ریزدانه شل یا با خاصیت خمیری بالا استفاده کرد چرا که فشار آب تراکم خاک را تحت تاثیر قرار داده و نتایج را با خطا مواجه می‌کند. همچنین برای گودال با شکل نامنظم که بالن نمی‌تواند به درستی شکل گودال را به خود بگیرد یا در خاک با دانه های تیزگوشه که امکان دارد موجب پاره شدن بالون گردد نمی‌توان از این روش استفاده کرد.

روش دیگر برای محاسبه درصد رطوبت و چگالی خاک در محل پروژه استفاده از چگالی‌سنج هسته‌ای می‌باشد. دستگاه چگالی‌سنج هسته‌ای می‌تواند از روی سطح و بدون دست‌خوردگی خاک مشخصات خاک را اندازه‌گیری کند. این روش نسبت به روش های ذکرشده قبل علی رغم سریعت بیشتر و دقت بالاتر دارد نیازمند تجهیزات و دانش تخصصی بوده و هزینه بیشتری دارد.



شکل ۱- چگالی سنج هسته ای



شکل ۲- بالون لاستیکی

توضیح آزمایش

وسایل مورد نیاز

۱- یک بطری با حجمی بیشتر از گودال حفاری شده که امکان اتصال به قیف مخصوص را داشته باشد. در این آزمایش از ظرفی شیشه‌ای استفاده شده است.

۲- یک قیف دو طرفه که از طرف قیف کوچکتر به بطری ماسه متصل می‌شود. قیف کوچکتر از طریق روزنه‌ای به قطر تقریبا ۱۳ میلی‌متر که به وسیله‌ی یک شیر کنترل می‌شود به قیف بزرگتر مخروط ماسه متصل می‌شود. برای به دست آوردن ماسه با توزیع یکنواخت دانسیته، زاویه‌ی دیواره‌ی مخروط ماسه با کف آن حدود ۶۰ درجه در نظر گرفته می‌شود.

۳- صفحه نشیمن مخروط ماسه و صفحه‌ای فلزی با قطری حدود ۷۵ میلی‌متر بزرگتر از قطر مخروط ماسه که در وسط آن سوراخی به اندازه‌ی مخروط ماسه قرار دارد.

۴- وسایل کندن زمین مانند بیلچه یا قاشق، قلم و چکش برای خاک‌های مستحکم‌تر و ظروفی جهت وزن گیری نمونه‌ی خاک

۵- ترازو با ظرفیت ۲۰ کیلوگرم و دقت ۵ گرم

۶- ماسه‌ی مورد استفاده باید خشک، تمیز، یکنواخت از نظر نوع دانه‌ها و دانه‌بندی و سیمانته نشده باشد. دانه‌بندی ماسه باید ضریب یکنواختی کوچکتر از ۲ داشته باشد. بزرگترین اندازه دانه‌ها باید از ۲ میلی‌متر کمتر باشد، همچنین کمتر از ۳ درصد وزنی ماسه از الک ۲۵۰ میکرومتر الک شماره ۶۰ عبور کند. استفاده از ماسه با دانه‌بندی یکنواخت موجب جلوگیری جدایی دانه‌ها درهنگام ریختن ماسه و درنتیجه رسیدن به دانسیته‌ی یکنواخت می‌شود.

۷- گرمخانه

۸- لیوان نمونه‌گیری برای قرار دادن در گرمخانه

۹- ظروف اندازه‌گیری وزن بوسیله‌ی ترازو

۱۰- قلمو جهت تمیز کردن اطراف ظرف نمونه

شکل ۳- وسایل انجام آزمایش دانسیته در محل

نحوه‌ی انجام آزمایش

۱. در ابتدا محل مناسبی برای انجام آزمایش انتخاب می‌شود.

۲. وسیله‌ی مورد نظر از لحاظ عملکرد درست بررسی می‌گردد.

۳. در ابتدای کار باید وزن مخصوص ماسه اوتاوا را تعیین کرد. برای این کار از آب استفاده می‌شود بدین صورت که ظرف مخصوصی پر از آب می‌شود و وزن ظرف و آب به دست می‌آید. وزن ظرف اندازه‌گیری می‌شود. تفاضل این دو عدد برابر وزن آب داخل ظرف است و به این ترتیب حجم ظرف به دست می‌آید. سپس همان ظرف از ماسه اوتاوا پر شده و وزن می‌شود. بدین طریق می‌توان وزن ماسه داخل ظرف را به دست آورد. از تقسیم کردن وزن به دست آمده برای ماسه به حجم ظرف وزن مخصوص ماسه اوتاوا به دست می‌آید.

۴. دستگاه استوانه دانسیته روی سطح محکم و صافی قرار می‌گیرد. شیر خروج ماسه بسته و مقداری ماسه در ظرف ریخته می‌شود. سپس شیر ظرف باز شده تا مخروط زیر دستگاه از ماسه پر شود. شیر را بسته و باقی‌مانده ماسه داخل دستگاه وزن می‌شود تا پس از کسر آن از وزن ماسه اولیه وزن ماسه زیر مخروط به دست آید. یا می‌توان ماسه را مستقیماً به دقت وزن کرد.

۵. سطح محلی که آزمایش می‌شود باید صاف باشد. استوانه دانسیته روی سطح صاف قرار داده می‌شود. حدود اطراف کف استوانه دانسیته روی زمین مشخص می‌شود.

۶. گودال آزمایش در وسط محدوده‌ای که روی زمین مشخص شده حفر می‌شود. در حین حفر گودال باید دقت شود که دیواره گودال خراب نشود و خاک کنده شده کاملا در ظرفی جمع آوری و هیچگونه مصالحی دور ریخته نشود.

۷. استوانه دانسیته که مقدار معینی ماسه در آن ریخته شده روی گودال درست در محل مورد نظر قرار داده می‌شود، بطوریکه سوراخ شیر در مرکز گودال قرار گیرد. شیر خروج ماسه باز می‌شود تا گودال پر از ماسه شود. وقتی جریان ماسه به داخل گودال متوقف شد، شیر بسته می‌شود.

شکل ۴- پر شدن گودال از ماسه

۸. ماسه باقی مانده در دستگاه وزن می‌گردد. خاک کنده شده از گودال نیز وزن می‌شود. خاک کنده شده از گودال به خوبی مخلوط شده و مقداری جهت تعیین درصد رطوبت برداشته و پس از اندازه وزن در آون قرار می‌گیرد. پس از آن که نمونه خاک در آون خشک شد (بعد از ۲۴ ساعت) نمونه وزن شده و از اعداد به دست آمده درصد رطوبت خاک محاسبه می‌شود. در نهایت با داشتن وزن خاک تر و بدست آمدن حجم ماسه داخل گودال با استفاده از چگالی ماسه، که برابر با حجم خاک خروجی است چگالی تر خاک بدست می‌آید.

نکات آزمایش

- ❖ استفاده از ماسه با دانه بندی یکنواخت منجر به جلوگیری از جدایی ذرات شده و درنهایت دانسیته را یکنواخت می کند.
- ❖ در صورتی که سطح کاملا صاف نباشد(حفره در سطح) ابتدا حجمی که بین صفحه قیف و زمین قرار دارد اندازه گیری می‌شود.
- ❖ حجم گودال حفر شده وابسته به حداکثر اندازه ی دانه ها می‌باشدکه بر طبق جدول می توان میزان آن را تشخیص داد.
- ❖ در هنگام حفر گودال دقت لازم برای جلوگیری از دست خوردگی یا تغییر شکل لحاظ شود.
- ❖ دیواره های گودال حفر شده نباید گوشه دار یا حاوی مصالح سست شده باشد.
- ❖ هنگام ریختن ماسه هیچ گونه ضربه یا ارتعاشی به ظرف وارد نشود.

شکل ۵ - تمیز کردن ماسه‌های زیخته شده در اطراف نمونه به جهت نبود خطا

منابع خطا

در این آزمایش دو نوع خطا وجود دارد:

خطای سیستماتیک عبارت است از خطایی که به طور ذاتی در سیستم می‌باشد. در یک سیستم تا زمانی که خطای سیستماتیک شناسایی نگردد، تکرار در اندازه‌گیری منجربه حذف خطا نخواهد شد. خطای سیستماتیک در واریانس داده‌ها تاثیری نمی‌گذارد ولی ممکن است از جواب درست فاصله داشته باشد. از خطای سیستماتیک می‌توان به وسیله کالیبراسیون وسایل اندازه‌گیری جلوگیری نمود.

در این آزمایش خطای سیستماتیک عبارت است از:

- کالیبره نبودن دستگاه‌های اندازه‌گیری مانند ترازو
- استاندارد نبودن مخروط ماسه
- وجود نشتی یا خرابی در شیر مجرای باز و بسته شدن ماسه
- کافی نبودن یا نامنظم بودن شکل گودال حفر شده

خطای تصادفی عبارت است از خطایی که از ناشی از اشتباهات شخصی،خرابی دستگاه یا اختلال در روند اندازه گیری می باشد. این دسته از خطاها غیر قابل پیش‌بینی بوده و در همه اندازه گیری ها وجود دارند بنابراین نمی توان از بروز آن جلوگیری نمود .

در این آزمایش خطاهای تصادفی عبارت است از :

- قرائت نادرست عدد نمایش داده شده در دستگاه‌های اندازه‌گیری مانند ترازو
- محاسبات نادرست
- اشتباه در ثبت داده‌ها
- هرگونه آسیب جزئی به وسایل که میتواند منجر به تغییر در روند آزمایش گردد .
- از دست دادن مقداری از وزن خاک هنگام جابجایی
- ایجاد ضربه و ارتعاش
- عدم دانه بندی درست خاک

راهکارهای کاهش خطا :

- برای کاهش خطای سیستماتیک قبل از انجام آزمایش از صحت عملکرد وسایل آزمایش و کالیبره بودن آن ها اطمینان حاصل گردد.
  - از استاندارد بودن ترازوی اندازه‌گیری اطمینان حاصل گردد.
  - از استاندارد بودن مخروط ماسه اطمینان حاصل گردد.
  - از مدت زمان قرار گیری نمونه در گرمخانه و صحت اجرای روند آزمایش اطمینان حاصل گردد.
- برای کاهش خطای تصادفی افزایش دقت و تکرار آزمایش می‌تواند منجر به شناسایی منابع خطا شده و تا حد مطلوبی آن ها را کاهش دهد.
  - از هرگونه آسیب به وسایل آزمایش که منجر به خارج شدن آن ها از درجه استاندارد می‌شود جلوگیری گردد.
  - ثبت مشاهدات اعداد ثبت شده دقت کافی داشته باشد.
  - محاسبات و ثبت داده‌ها تکرار شوند و داده‌ها قبل از ثبت در جدول با آزمایش تطابق داده شود.

ارائه آزمایش

داده‌های آزمایش

جدول ۱ - داده‌های آزمایش

پارامتر	مقدار	واحد
نوع ماسه	SP	
وزن استوانه داخلی	۶۶۰۰	g
حجم استوانه	۲۱۲۲	cm^3
وزن استوانه پر از ماسه	۹۷۹۰	g
چگالی ماسه	۱.۵۰۳	g/cm^3
وزن مخروط و ماسه (۱)	۵۱۷۰	g
وزن مخروط و ماسه (۲)	۳۲۶۰	g
وزن ماسه داخل قیف	۱۹۱۰	g
وزن مخروط و ماسه (۳)	۷۴۳۰	g
وزن مخروط و ماسه (۴)	۴۸۹۰	g
وزن ظرف	۳۰۰	g
وزن ظرف و خاک مرطوب	۱۰۳۰	g
وزن لیوان	۹.۱	g
وزن لیوان و خاک مرطوب	۵۲.۶	g
وزن لیوان و خاک خشک	۴۳.۳	g

محاسبات آزمایش

❖ در ابتدا مقدار چگالی ماسه موجود در استوانه محاسبه می‌شود.

$$\rho_{sand} = \frac{M_{sand}}{V} = \frac{\text{وزن استوانه خالی} - \text{وزن استوانه پر از ماسه}}{\text{حجم استوانه}} = \frac{9790 - 6600}{2122} = 1.503\ \frac{g}{cm^3}$$

❖ مقدار جرم ماسه‌ی مورد نیاز برای پرد کردن گودال و قیف به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$M_5 = M_3 - M_4 = 7430 - 4890 = 2540\ gr$$

M_5 : جرم ماسه‌ی لازم برای پر کردن گودال و قیف

M_3 : جرم استوانه پر از ماسه

M_4 : جرم استوانه بعد از پر کردن گودال

❖ با استفاده از جرم ماسه‌ی موجود در قیف، حجم قیف بدست آورده می‌شود.

$$V_{\text{قیف}} = \frac{\text{جرم ماسه موجود در قیف}}{\text{چگالی ماسه}} = \frac{1910}{1.503} = 1270.8\ cm^3$$

❖ با استفاده از جرم ماسه‌ی موجود در قیف، حجم گودال بدست آورده می‌شود.

$$V_{\text{گودال}} = \frac{\text{جرم ماسه موجود در گودال}}{\text{چگالی ماسه}} = \frac{2540 - 1910}{1.503} = 419.16\ cm^3$$

❖ درصد رطوبت ماسه از رابطه‌ی زیر بدست آورده می‌شود.

$$\omega = \frac{M_w}{M_s} = \frac{\text{وزن لیوان و خاک خشک} - \text{وزن لیوان و خاک مرطوب}}{\text{وزن لیوان خالی} - \text{وزن لیوان و خاک خشک}} = \frac{52.6 - 43.3}{43.3 - 9.1} = 0.2719 = 27.19\%$$

❖ در ادامه بوسیله‌ی درصد رطوبت بدست آمده مقدار جرم خشک خاک بدست می‌آید.

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + \omega}$$

$$\rightarrow M_d = \frac{M}{1 + \omega} = \frac{\text{وزن ظرف و خاک مرطوب} - \text{وزن ظرف}}{1 + 0.2719} = \frac{1030 - 300}{1.2719} = 573.94\ gr$$

❖ در نهایت چگالی خشک و چگالی مرطوب خاک محاسبه می‌شود.

$$\gamma = \frac{M}{V} = \frac{\text{وزن ظرف و خاک مرطوب} - \text{وزن ظرف}}{\text{حجم ماسه}} = \frac{1030 - 300}{419.16} = 1.74\ \frac{gr}{cm^3}$$

$$\gamma_d = \frac{M_d}{V} = \frac{573.94}{419.16} = 1.37\ \frac{gr}{cm^3}$$

نتیجه‌گیری

چگالی ماسه استاندارد مورد استفاده $1.503\ \frac{g}{cm^3}$ و حجم قیف برابر $1270.8\ cm^3$ محاسبه گردید. چگالی مرطوب و خشک نمونه خاک به ترتیب برابر $1.74\ \frac{gr}{cm^3}$ و $1.37\ \frac{gr}{cm^3}$ و درصد رطوبت نمونه ٪۲۷.۱۹ محاسبه شد.

تفسیر نتایج

محدوده‌ی پارامتر مورد نظر برای انواع خاک‌ها

چگالی ماسه معمولی $1.52\ \frac{gr}{cm^3}$ تا $1.68\ \frac{gr}{cm^3}$ می‌باشد.[1] با توجه به اینکه ماسه استاندارد ریزتر و نرم‌تر از ماسه معمولی می‌باشد تا بتواند گودال حفر شده را به خوبی پر کند چگالی محاسبه شده برای ماسه استاندارد قابل قبول است.

چگالی رس مرطوب و خشک به ترتیب $1.83\ \frac{gr}{cm^3}$ و $1.2\ \frac{gr}{cm^3}$ و برای ماسه به ترتیب $1.92\ \frac{gr}{cm^3}$ و $1.52\ \frac{gr}{cm^3}$ می‌باشد.[2&3&4] بنابراین می‌توان نتیجه گرفت خاک نمونه رس ماسه‌دار یا ماسه رس‌دار به همراه کمی لای بوده است که به خاطر هوازدگی سطح چگالی آن تا حدی کاهش یافته است. درصد رطوبت نمونه خاک با توجه به نمونه‌گیری در فصل پاییز و بارش باران مقدار قابل قبولی دارد.

منابع احتمالی خطا و قضاوت نهایی راجع به پارامتر بدست آمده

آزمایش تعیین چگالی با مخروط ماسه برای خاک هایی با حداکثر اندازه ذرات ۱.۵ اینچ قابل استفاده است. چراکه اندازه حفرات خاک درشت دانه‌تر بزرگ تر از اندازه ذرات ماسه استاندارد است و ماسه حجم حفرات خاک را نیز پر کرده و در محاسبه حجم حفرات و چگالی خطای زیادی رخ می‌دهد. خاک مد نظر باید به اندازه کافی چسبندگی داشته باشد تا با حفر گودال دست خورده یا تغییر شکل زیادی ندهد. بنابراین آزمایش مخروط ماسه برای خاک عالی، خاک اشباع یا با چسبندگی بالا که تغییر شکل می‌دهند و یا خاک دانه‌ای بدون چسبندگی که امکان حفر گودال در آن وجود ندارد مناسب نیست.

حجم گودال حفر شده برای آزمایش طبق حداکثر اندازه دانه های خاک مشخص می‌شود. حجم گودال باید به مقداری باشد که نمونه بتواند نماینده خاک مد نظر باشد. در این آزمایش حجم گودال حفر شده برابر $419\ cm^3$ می‌باشد که از مقدار قابل قبول کمتر می‌باشد. قطر تقریبی گودال حدود ۱۳ سانتی متر و عمق آن حدود ۳.۲ سانتی متر می‌باشد.

نمونه خاک طبق چگالی مرطوب و خشک محاسبه شده ترکیبی از ماسه و رس بوده و درصد رطوبت آن مطابق انتظار به علت بارش فصلی ٪۲۷ و از مقدار معمول کمی بیشتر است.

منابع و مراجع

1. “Bulk Density of Sand”. Civil Today.

https://civiltoday.com/civil-engineering-materials/sand/299-bulk-density-of-sand

2. Yu, Charley & Cheng, Jing-Jy & Jones, L. & Wang, Y. & Faillace, Ernesto & Loureiro, Celso & Chia, Y.. (2022). Data collection handbook to support modeling the impacts of radioactive material in soil. 10.2172/10162250.
3. “Density of Clay, wet excavated”. Aqua-Clac. https://www.aqua-calc.com/page/density-table/substance/clay-coma-and-blank-wet-blank-excavated
4. “Density of Dry Sand, Loose Sand, Packed Sand & M sand”. Dream Civil. https://dreamcivil.com/density-of-sand/

شماره گروه: ۵ ..... ۲ ..... شنبه ..... تاریخ: ۹۰۲۱

برگه ثبت داده‌های آزمایش مخروط ماسه (دانسیته در محل)

۷٫۴۳
۹٫۷۹۰

پارامتر	مقدار	واحد
نوع ماسه	SP	
وزن استوانه خالی	6600	g
حجم استوانه	2122	cm^3
وزن استوانه پر از ماسه	۹۷۹۰	g
چگالی ماسه	۱٫۵۰۳	g/cm^3

وزن مخروط و ماسه (۱)	۵۱۷۰	g
وزن مخروط و ماسه (۲)	۳۲۶۰	g
وزن ماسه داخل قیف	۱۹۱۰	g

وزن مخروط و ماسه (۳)	۲۴۳۰	g
وزن مخروط و ماسه (۴)	۴۸۹۰	g
وزن ظرف	۳۰۰	g
وزن ظرف و خاک مرطوب	۱۰۳۰	g
وزن لیوان	۹٫۱	g
وزن لیوان و خاک مرطوب	۵۲٫۶	g
وزن لیوان و خاک خشک	۴۳٫۳	g