

مدیر سایت: مهندس احمد رضا جعفری [www.iransaze.com](http://www.iransaze.com) ایران سازه، وبسایت تخصصی مهندسی عمران،  
فرستنده: مهندس بهروز میرزایی [Arjafari2004@gmail.com](mailto:Arjafari2004@gmail.com)



Â¶°wH J°£°H Â²I- xp<sup>1/4</sup>¶A  
q°o¶

¥li ½I«zÄI¶pA nI° xnHq-  
IwnIQ Áj»»»Hj tk¹;¶ ÁI⊗A : jITwH  
ÂÄHpoÃ¶ p»o;M : ¼\z°Hj

Behrooz\_Noble@yahoo.com  
1385-86 Â±Ã~dU ÏIw

## [ فهرست آزمایش های مکانیک خاک ]

### 1 آزمایش درصد رطوبت خاک



### 2 آزمایش دانه بندی خاک



### 3 آزمایش تعیین وزن ظاهری خاک



### 4 آزمایش درصد تراکم خاک



### 5 آزمایش وزن مخصوص حقیقی



### 6 آزمایش حدود اتربرگ



### 7 آزمایش تک محوری



### 8 آزمایش SE



## آزمایش تعیین درصد رطوبت خاک (1)

هدف از آزمایش: تعیین درصد رطوبت طبیعی خاک به منظور تعیین نفوذ پذیری خاک می باشد .

وسایل مورد نیاز : دستگاه حرارتی (Owen) - بیلچه -  
قوطی درصد رطوبت - ترازو

شرح آزمایش: ابتدا به کمک بیلچه مقداری خاک طبیعی را تهیه می کنیم سپس به کمک ترازو وزن خاک را بدست می آوریم نمونه را در داخل دستگاه حرارتی قرار می دهیم و نمونه بین ۱۶ الی ۲۴ داخل دستگاه حرارتی (Owen) قرار می گیرد پس از خشک شدن نمونه وزن آب (رطوبت طبیعی خاک) تعیین می شود

درصد رطوبت از رابطه زیر قابل محاسبه می باشد :

$$\%wet = Ww / Ws$$

وزن خشک / وزن آب = %رطوبت

## آزمایش دانه بندی خاک (۲)

هدف: بدست آوردن قطر دانه های مختلف خاک به منظور بررسی طبقه بندی خاک و همچنین درجه نفوذ پذیری- عامل یخ زدگی مورد بررسی قرار می گیرد .

- ۱ - آزمایش دانه بندی درشت دانه
- ۲- آزمایش دانه بندی ریز دانه (هیدرومتری)

$$No200 = \frac{\text{Large Grain}}{\text{Tiny Grain}}$$

در آیین نامه ASTM مرز ریز دانه و درشت دانه در بتن الک نمره ۴ می باشد

$$\text{Concrete} = \frac{\text{Gravel}}{\text{Sand}}$$

در آیین نامه B.S مرز ریز دانه و درشت دانه در بتن می باشد 5 الک نمره

$$\text{Concrete} = \frac{\text{Gravel}}{\text{Sand}}$$

آزمایش دانه بندی خاک توسط تجزیه مکانیکی و توسط سری الک های  
استاندارد صورت می گیرد

طبق قانون استوک از طریق سقوط دانه ها در محل در آزمایش ته نشینی  
خاک های لای زودتر از رس می باشد زیرا لای ها بزرگتر و جرم آنها  
بیشتر است  
در حالی که رس ها پولکی شکل و جرم شان کمتر است و زودتر ته نشین  
می شوند

$$\text{ضریب یکنواختی} = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$
$$\text{ضریب انحناء} = \frac{D_{30}}{D_{60} \times D_{10}}$$

وسایل آزمایش :

- یک سری الک های استاندارد
- دستگاه لرزاننده
- برس الک
- سرتاس
- ترازو بادقت ۰,۱ گرم

مدیر سایت: مهندس احمد رضا جعفری [www.iransaze.com](http://www.iransaze.com) ایران سازه، وبسایت تخصصی مهندسی عمران،  
فرستنده: مهندس بهروز میرزایی [Arjafari2004@gmail.com](mailto:Arjafari2004@gmail.com)



$1\frac{1}{2}$  و  $1$  و  $\frac{3}{4}$  و  $\frac{3}{8}$   
Pan و No200 و No100 و No 40 و No 30 و No 8 و No 4 و

شرح آزمایش :

مقدار ۱۵۰۰ گرم خاک را انتخاب کرده و داخل سری الک های استاندارد  
می ریزیم

پس از مرتب کردن الک ها مصالح داخل الک ها ریخته می شوند توسط  
دستگاه لرزاننده و با دست به مدت ۳ دقیقه تکان داده می شود سپس وزن  
مانده روی الک (هر الک) محاسبه می شود و پس از تکمیل فرم دانه بندی  
اقدام به ترسیم منحنی می کنیم

## آزمایش وزن مخصوص ظاهری خاک (۳)

هدف: بدست آوردن وزن مخصوص ظاهری خاک مرطوب در محل و بررسی درصد کوبیدگی لایه های خاکریز راه می باشد

وزن مخصوص ظاهری: چنانچه وزن مخصوص یک جسم با احتساب فضای خالی در نظر گرفته شود وزن مخصوص جسم می گویند  
۱- دانسیته در محل یا دانسیته صحرائی  
۲- تراکم

وزن مخصوص = دانسیته

$$\%C = \frac{\gamma_d}{\gamma_d(\max)}$$

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

وزن مخصوص

حداقل درصد تراکم برای راههای اصلی ۸۰ تا ۹۰ درصد  
حداقل تراکم برای فرودگاهها ۱۰۰ تا ۱۲۰ درصد

## وسایل مورد نیاز :

- سند باتل
- ترازو با دقت ۱ گرم و ۰,۱ گرم
- قلم و چکش
- دستگاه حرارتی (Owen)
- قوطی درصد رطوبت
- تشک برای برداشت خاک

## (بطری ماسه Sand Bottle)





## شرح آزمایش:

سینی مخصوص را روی خاک قرار داده با قلم و چکش گودالی حفاری کرده (به عمق تقریبی ۱۰ سانتیمتر)

خاک آن را داخل تشت ریخته وزن می کنیم  $P_1$

ظرف مخروط و ستون ماسه را که قبلاً وزن کل آن مشخص شده است  $W_1$

روی سوراخ می گذاریم و پیچ تخلیه را باز می کنیم تا ماسه داخل گودال بریزد

هر وقت حرکت ماسه متوقف شد آنرا می بندیم

وزن ظرف و ماسه باقیمانده داخل آنرا اندازه می گیریم  $W_2$

وزن ماسه ای که گودال وقیف را پر کرده میشود  $(W_1 - W_2)$

با داشتن وزن ماسه ای که قیف را پر می کند (وزن ماسه)  $(W_3)$

هم حجم گودال بدست بدست آوریم:  $(P_2)$

$$P_2 = W_2 - W_1 - W_3$$

با برداشت یک نمونه از خاک گودال رطوبت آن را اندازه می گیریم  $(\omega)$

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{\gamma_{Sand}} \quad \gamma = \frac{P_1}{V_1} \quad \gamma_d = \frac{\gamma_{wet}}{1 + w}$$

## آزمایش تراکم<sup>(۴)</sup>

هدف: بدست آوردن درصد تراکم لایه های خاکی ریزه راه می می باشد

### تعریف تراکم:

تراکم خاک عبارت است از افزایش دانسیته خاک در اثر کاهش فضای خالی بین دانه ها

در عملیات تراکم حجم آب موجود خاک تغییر نمی کند و فقط حجم هوای خاک کاسته می شود

میزان تراکم یک خاک معمولاً بر اساس اندازه گیری وزن مخصوص خشک  $\gamma_d$  مشخص می شود

وزن مخصوص فوق تابع نوع خاک، میزان رطوبت و نیروی متراکم کننده می باشد

تراکم مناسب زمانی صورت می گیرد که بالاترین وزن مخصوص ظاهری و آب بهینه داشته باشیم

تراکم به ۲ صورت صورت می پذیرد:

- ۱- روش معمولی
- ۲- روش اصلاح شده

۱- توسط قالب کوچک (پراکتور) یا آشوی استاندارد

۲- قالب بزرگ C.B.R

ضریب باربری کالیفرنیا California Bearing Ratio

روش معمولی =  $T - 99$

روش اصلاح شده =  $T - 180$

۱- تراکم معمولی : در تراکم معمولی معمولاً توسط قالب کوچک

(پراکتور) انجام می شود .

خاک مرطوب در سه لایه و در هر لایه توسط چکش کوچک ۲۵ بار کوبیده

می شود

۲- روش اصلاح شده : توسط قالب بزرگ انجام می شود

برای رسیدن به تراکم های بالا باید تعداد لایه ها افزوده شود (نزدیک هم

شوند) - انرژی را افزایش می دهیم

در این روش از قالب بزرگ (C.B.R) استفاده می کنیم

و به جای ۳ لایه ۵ لایه استفاده می شود

وسایل مورد استفاده :

- قالب کوچک (پراکتور) - ترازو با دقت ۱ گرم و ۰,۱ گرم

- مزور مدرج ۱۰۰ cc - آبفشان

- بلیچه - دستکش

- خط کش (تیغه برش خاک)

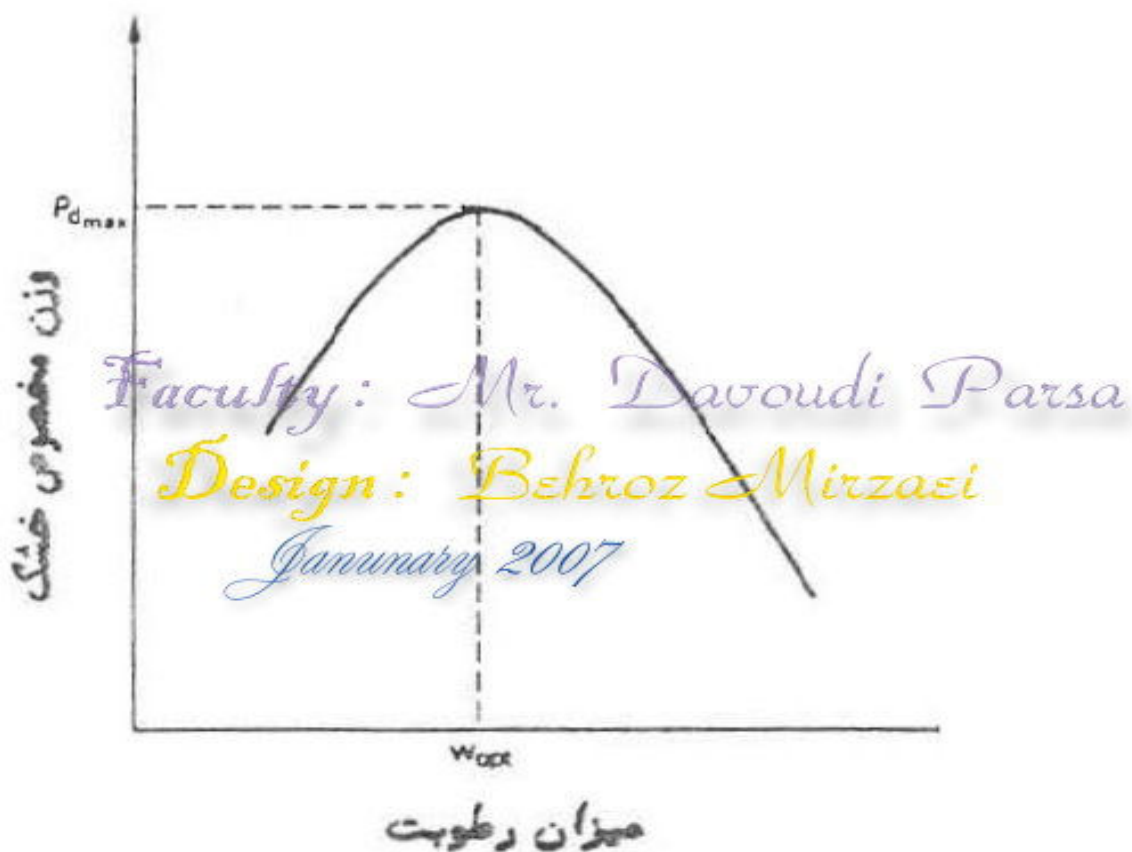
- دستگاه حرارتی (Owen)

- قوطی - سینی

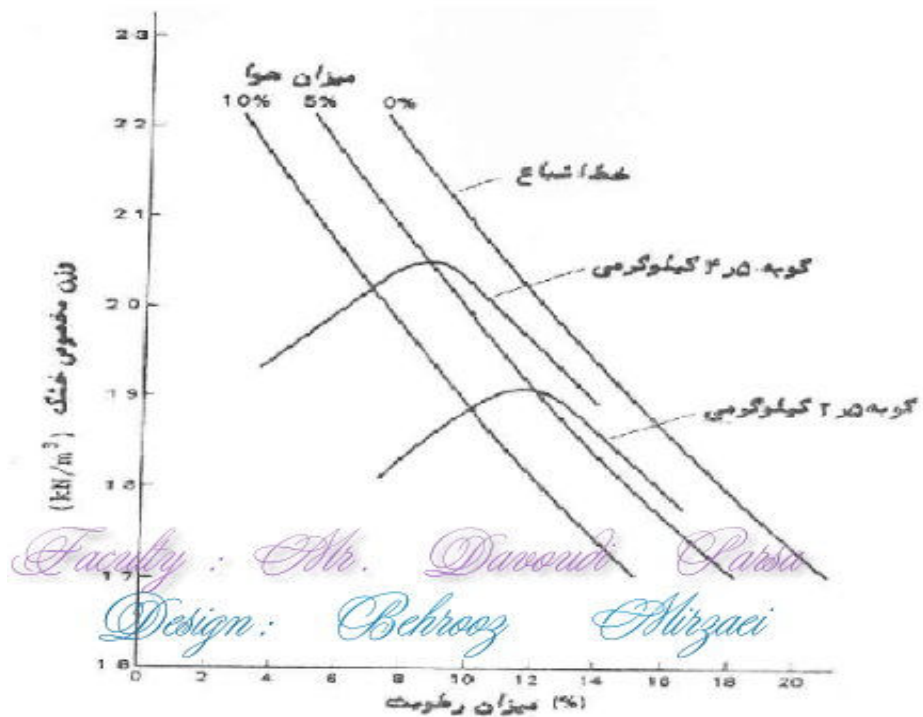
### شرح آزمایش :

مقدار ۵ کیلوگرم خاک کاملاً خشک رد شده از الک نمره ۴ را انتخاب می کنیم و وزن می نماییم و داخل سینی پخش می کنیم سپس ۲۰ درصد آب اضافه می نماییم.

آزمایش را در ۵ مرحله انجام می دهیم با درصد آب ۲۰٪ و ۴۰٪ و ۶۰٪ و ۸۰٪ و ۱۰۰٪ (تا به وزن مخصوص ماکزیمم برسیم)



## تعریف آب بهینه یا Optimum: مقدار آبی که به یک توده خاک بزنیم تا بیشترین وزن مخصوص بدست آید



## آزمایش وزن مخصوص حقیقی خاک (۵)

هدف: بدست آوردن وزن مخصوص حقیقی دانه های جامد خاک می باشد  
که معمولاً بین ۲,۵ الی ۲,۷ می باشد ( $\text{gr/cm}^3$ )  
به این آزمایش پیکنومتری نیز گفته می شود  
وسایل آزمایش:

- پیکنومتر
- مزور مدرج 100cc
- آبفشان
- قیف شیشه ای پایه بلند
- پیپت
- دماسنج
- الک نمره ۴۰
- ترازو با دقت ۰,۱ گرم

شرح آزمایش:

ابتدا پیکنومتر با آب خالی و خشک را وزن می کنیم  
وزن پیکنومتر با آب مقطر تا درجه مشخص تعیین می گردد  
وزن مخصوص آب را با استفاده از دماسنج تعیین می کنیم  
وزن آب پیکنومتر تعیین می شود و همچنین در این راستا حجم پیکنومتر را  
تعیین می کنیم. وزن خالص نمونه خاک خشک در این آزمایش ۲۵ گرم می  
باشد. و خاک مورد نظر رد شده از الک نمره ۴۰ می باشد.  
آب داخل پیکنومتر ریخته و سپس ۲۵ گرم خاک خشک را توسط  
قیف خشک به داخل پیکنومتر می ریزیم سپس پیکنومتر را تکان ۱۵۰۰cc  
داده تا هوای آن خارج شود سپس تا علامت مشخص آب اضافه می نمایم  
در واقع در این رابطه وزن پیکنومتر با آب و خاک تا علامت مشخصه تعیین

می نماییم و سپس حجم اشغال شده  
توسط آب تعیین میگردد در نهایت وزن مخصوص حقیقی جامد خاک  
(GS) (دانسیتة دانه های جامد خاک) تعیین میگردد

## آزمایش حدود اتربرگ (۴)

هدف : بدست آوردن حد روانی - حد خمیری - حد انقباض  
بسته به میزان رطوبت، خاک می تواند حالات مایع، خمیری یا پلاستیک،  
نیمه جامد و جامد به خود بگیرد

وسایل آزمایش :

- دستگاه کاسگرانده (شیار زن مخصوص)

- ترازو با دقت ۰,۱ گرم

- کارتک

- تشتک

- اون (دستگاه حرارتی)

- آبفشان

- قوطی

حد روانی و حد خمیری بنا بر میزان رطوبت موجود در خاک، که حدود  
اتربرگ نامیده می شوند که توسط آزمایشهای استاندارد تعیین می گردند

نمونه خاکی که برای انجام این آزمایش بکار میرود بخشی از خاک است که  
از الک شماره 40 ( ۰,۴۲۵ میلیمتر ) گذشته است

plastic limit(pl)

Wp liquid limit(II) Wl

تغییر حالت خاک از نیمه جامد به جامد در حد انقباض صورت می گیرد

مدیر سایت: مهندس احمد رضا جعفری [www.iransaze.com](http://www.iransaze.com) ایران سازه، وبسایت تخصصی مهندسی عمران،  
فرستنده: مهندس بهروز میرزایی [Arjafari2004@gmail.com](mailto:Arjafari2004@gmail.com)

طبق تعریف حد انقباض میزان رطوبتی است که در آن حجم خاک به کمترین مقدار خود ضمن خشک شدن می رسد (Shrinkage limit (sl)

حد روانی :

طبق نظر کاساگراند اگر چنانچه گلوله ای کوچک خمیری از گل تهیه شود و در داخل جام کاساگراند قرار گیرد و سپس سطح جام توسط کاردک مخصوص جام صاف گردد و چنانچه شیار زن شیار در کف جام ایجاد گردد.

اگر چنانچه در ۲۵ ضربه در ارتفاع ۱۰ میلیمتر سقوط جام ضربه زده شود و اگر در ۲۵ ضربه به ۱۳ میلیمتر شکاف به هم برسد را حد روانی گویند.

حد خمیری :

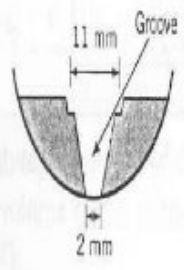
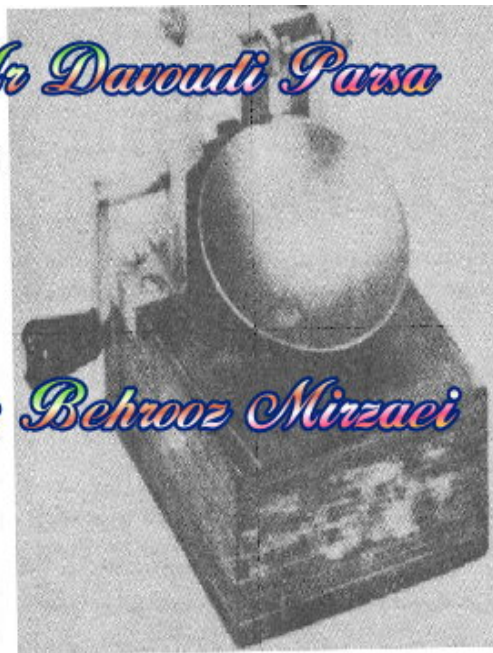
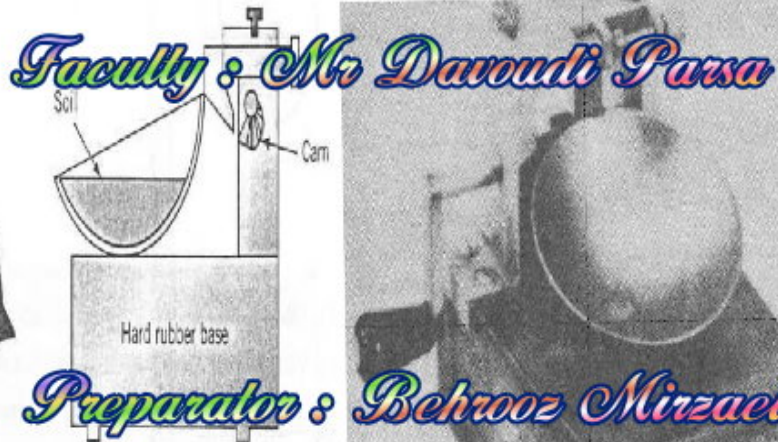
اگر چنانچه گلوله ای کوچکی از گل تهیه شده و بر روی سطح غیر قابل نفوذ مثل شیشه یا قیر های ملامینی فیتیله ای به قطر ۳ سانتیمتر ایجاد کرده و اگر چنانچه ۳ سانتیمتر شروع به حرکت ترک خوردن کند را حد خمیری گویند.

حد انقباض :

زمانی خواهد بود اگر چنانچه نمونه ای از گل داخل اون حرارتی قرار گیرد پس از ۲۴ ساعت خشک شدن دیگر هیچ گونه تغییر حجمی در نمونه ایجاد نشود را حد انقباض گویند



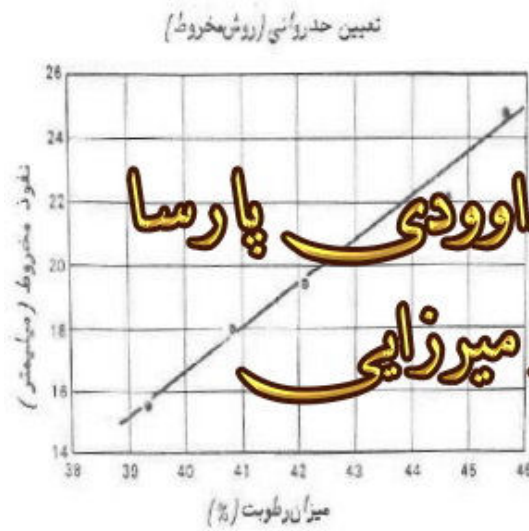
مدیر سایت: مهندس احمد رضا جعفری [www.iransaze.com](http://www.iransaze.com) ایران سازه، وبسایت تخصصی مهندسی عمران،  
 فرستنده: مهندس بهروز میرزایی [Arjafari2004@gmail.com](mailto:Arjafari2004@gmail.com)



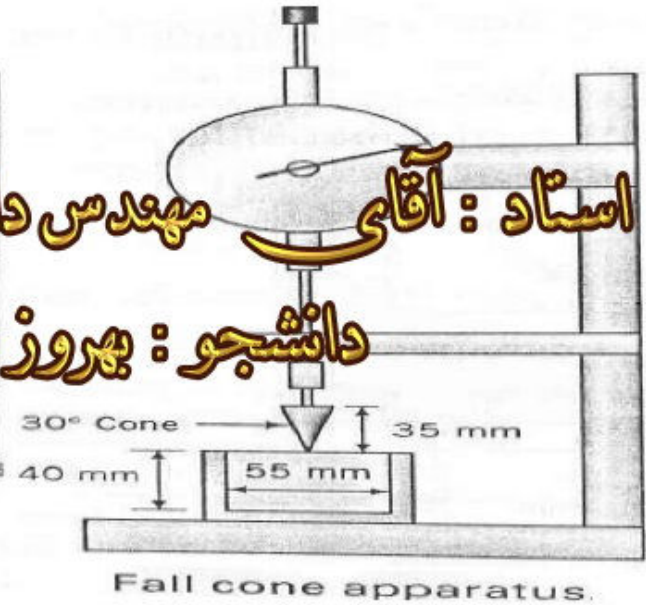
Cup apparatus for the determination of liquid limit

آزمایش محدود انقباض

مدیر سایت: مهندس احمد رضا جعفری [www.iransaze.com](http://www.iransaze.com) ایران سازه، وبسایت تخصصی مهندسی عمران،  
فرستنده: مهندس بهروز میرزایی [Arjafari2004@gmail.com](mailto:Arjafari2004@gmail.com)



استاد: آقای مهندس داوودی پارسا  
دانشجو: بهروز میرزایی



فیتیکه ۳ میلیمتری در حد پلاستیک

## آزمایش تک محوری (۷)

هدف از آزمایش:

بدست آوردن مقاومت برشی خاک های کاملاً چسبنده می باشد  
از محاسن این آزمایش سادگی و ارزان بودن آن است .  
همچنین سریع بودن آزمایش می باشد ولی از معایب این آزمایش عدم  
بررسی فشار جانبی خاک و همچنین عدم نفوذ پذیری خاک می باشد

وسایل مورد نیاز:

- یک دستگاه تک محوری
- قالب دستگاه
- کولیس
- الک نمره ۴۰
- ترازو با دقت ۰,۱ گرم
- کارتک
- دستکش
- قوطی
- اون حرارتی

قرائت نیرو سنج  $\times$  ضریب حلقه = مقدار نیرو

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

مدیر سایت: مهندس احمد رضا جعفری [www.iransaze.com](http://www.iransaze.com) ایران سازه، وبسایت تخصصی مهندسی عمران،  
فرستنده: مهندس بهروز میرزایی [Arjafari2004@gmail.com](mailto:Arjafari2004@gmail.com)

## استاد: آقای مهندس داوودی پارسا



دانشجو: بهروز میرزایی

## آزمایش SE (ارزش ماسه ای) (8)

هدف از آزمایش :

بدست آوردن قطر ناخالصی های موجود در ماسه می باشد حداقل  
مقدار  $SE \leq 85$  درصد در نظر گرفته می شود

وسایل آزمایش:

- دستگاه لرزاننده (Shaker)

- ترازو با دقت ۰,۱ گرم

- محلول استوک ( کلرکلسیم و گلیسیرین – فرمانین)

- مجموعه وسایل SE با وزن

- دماسنج

به ازای هر 200cc آب مقطر ۱۰۰cc محلول به آن اضافه می کنیم  
شرح آزمایش:

$\frac{2}{3}$  ارتفاع سیلندر استوانه ای که معادل 200cc می باشد را محلول استوک

ریخته سپس ۱۱۰ گرم مصالح رد شده از الک نمره ۴ (ماسه) داخل

سیلندر قرار داده و با چوب پنبه آنرا مسدود می کنیم سپس سیلندر را داخل

دستگاه لرزاننده قرار می دهیم و ۹۰ بار تکانه می دهیم سپس ابتدا چوب پنبه  
را

شسته و بعد میله مخصوص به محلول استوک را داخل ماسه قرار می دهیم

و جریان مایع در کف سیلندر باعث میشود تمام ناخالصی ها محبوس بین

مصالح به سمت بالا هدایت شود بدین طریق می توان :

۲۰ دقیقه ارتفاع مصالح ته نشین ماسه ای و ارتفاع مصالح معلق

راتعین کرد و طبق رابطه زیر ارزش ماسه ای آن را بدست آورد

$$SE = \frac{\text{Sediment Material}}{\text{Total Height Material}} \times 100 \geq 5\%$$

همچنین می توان از رابطه  $SE = \frac{H_2}{H_1} \times 100$  استفاده کرد

