به نام خدا

آزمایشگاه مکانیک خاک

دکتر سعید خرقانی

آزمایشـها

- ١- آزمايش دانه بندي
- ٢- آزمايش هيد رومتري
- ٣- آزمايش وزن مخصوص دانه ها
- ٤- آزمايش حد ود اتربرگ
- ٥- آزمايش تراكم (پروكتور)
- ٦- آزمايش نفوذ پذيري خاك
- ٧- آزمايش معادل ماسـه

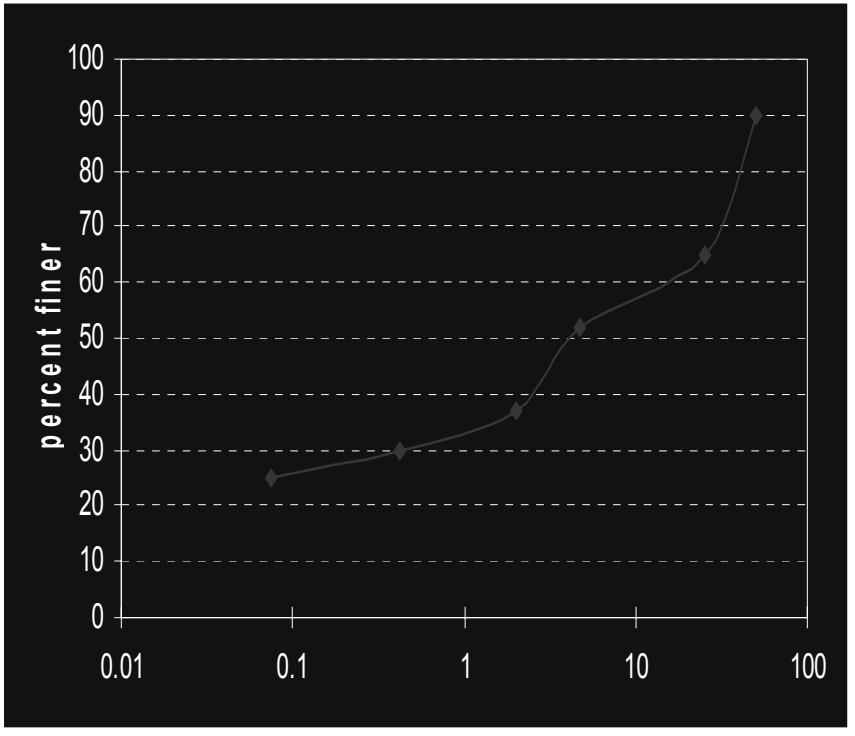
آزمایشها

- ۸- آزمایش تعیین ضریب CBR
- ۹- آزمایش تعیین دانسیته در محل
- ۱۰- آزمایش فشار تك محوري
- ۱۱- آزمایش سه محوري
- ۱۲- آزمایش تحکیم (اديومتري)
- ۱۳- آزمایش برش مستقیم

آزمايش دانه بندي خاك

- منظور از دانه بندي يك خاك تعيين در صد وزني دانه هاي با حدود و اندازه هاي مختلف است كه خاك مورد نظر را تشكيل مي دهند
- دانه بندي خاكهاي درشت دانه با روش الك كردن معين مي شود
- خاك را از تعدادي الك عبور مي دهند و خاك مانده بر روي هر الك توزين مي گردد و سپس در صد وزني خاك رد شده از الك محاسبه مي گردد

آزمايش دانه بندي خاك



- توزيع اندازه هاي يك خاك به صورت منحني نيمه لگاريتمي نشان داده مي شود عرض نقاط واقع بر اين منحني درصد وزني دانه هاي كوچكتر از اندازه أي است كه برروي محور طولها داده شده است

آزمايش دانه بندي خاك

- اندازه موثر دانه ها D_{10} : ۱۰% دانه هاي خاك از آن كوچكتراست.

- ضريب يكنواختي خاك : $C_u=D_{60}/D_{10}$

- ضريب خميد گي يا انحنا :
$C_C=D^2_{30}/D_{60}\times D_{10}$

آزمايش دانه بندي خاك

- نحوه انجام آزمايش دانه بندي به روش خشك:

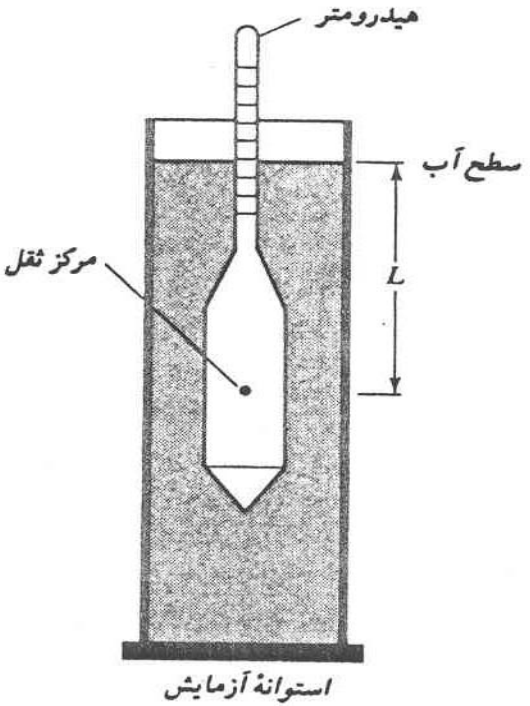
- يك مقدارمشخص از خاك (۷۰۰گرم يا ۱ويا ۲كيلوگرم) كاملا خشك و كلوخه هاي آن پودر شده و از ستوني از الكهاي استاندارد كه در ته آنها زير الك قرار دارد، گذرانده مي شود و سپس مقدار تجمعي درصد عبوري از هر الك تعيين مي شود

آزمايش هيدرومتري

- دانه بندي خاكهاي ريز دانه را مي توان با استفاده از روش ته نشيني تعيين كرد أين روش مبتني بر قانون استوكس است كه مربوط به سرعت سقوط ذرات كروي شكل معلق در مايعات مي باشد. ذرات بزرگتر سرعت سقوط بيشتري دارند و ذرات كوچكتربا سرعت كمتري ته نشين مي شوند.

آزمايش هيدرومتري

- دانه بندي با هيدرومتر:



- در أين آزمايش ٥٠ گرم از خاك خشك و پودر شده مورد استفاده قرار مي گيرد
- قبل از آزمايش مواد پراكننده (١٢٥سي سي محلول ٤ در صد هگزامتافسفات سديم) اضافه مي شود

آزمايش هيدرومتري

- خاك مدت ١٦ ساعت در محلول پراكننده خيس خورده، آب مقطر به محلول اضافه شده كاملاً بهم مي خورد. سپس محلول در استوانه آزمايش ريخته مي شود و آنقدر آب مقطر به محلول رقيق شده اضافه مي شود تا سطح آن به علامت ١٠٠٠ ميلي متر برسد، سپس هيدرومتر در داخل محلول قرار داده مي شود. قرايت هيدرومتر انجام گرديده و با استفاده از قانون استوكس مي توان قطر بزرگترين ذره در حال تعليق را در زمان t بدست آورد.

آزمايش هيدرومتري

- D : قطر ذره خاك
- Gs : چگالي دانه هاي ذرات خاك
- η: ويسكوزيته آب
- γ_w :وزن مخصوص آب
- L : طول موثر(فاصله مركز ثقل هيدرومتر تا سطح آب)
- t : زمان

$$D = \sqrt{\frac{18\eta}{(G_s - 1)\gamma_w}} \sqrt{\frac{L}{t}}$$

آزمایش وزن مخصوص دانه ها

- این آزمایش در وسیله ای به نام پیکنومتر بر اساس قانون ارشمیدس انجام می گردد.
- حجم پیکنومتر بر اساس نوع خاک (شن؛ ماسه؛ لای ورس) تعیین می گردد.
- مقدار معتنابهی خاک خشک مانده روی الک شماره ۴ (شن)؛ مانده روی الک شماره ۲۰۰(ماسه)؛ رد شده از الک ۲۰۰ (لای یا رس) وزن می کنیم(W_s).

آزمایش وزن مخصوص دانه ها

- پیکنومتر را پر آب مقطر نموده درب آن را می بندیم بطوریکه هیچ هوایی در آن باقی نماند (می توان از حرارت شعله برای خروج هوا استفاده نمود) سپس آن را وزن (W_{bw})می نماییم.
- پیکنومتر را تخلیه نموده؛ خاک خشک را داخل آن ریخته به آرامی آب مقطر به آن اضافه می نماییم؛ در حین اضافه نمودن باید هوای داخل خاک بخوبی تخلیه گردد(می توان از حرارت استفاده نمود) تا پیکنومتر کاملاً پر شود؛ سپس درب پیکنومتر گذاشته شده و مجموعا وزن می گردد(W_{bws}).
- وزن آب جابجا شده هم حجم دانه های خشک خاک از رابطه بعد محاسبه می گردد.

آزمایش وزن مخصوص دانه ها

- $W_w=W_s+W_{bw}-W_{bws}$

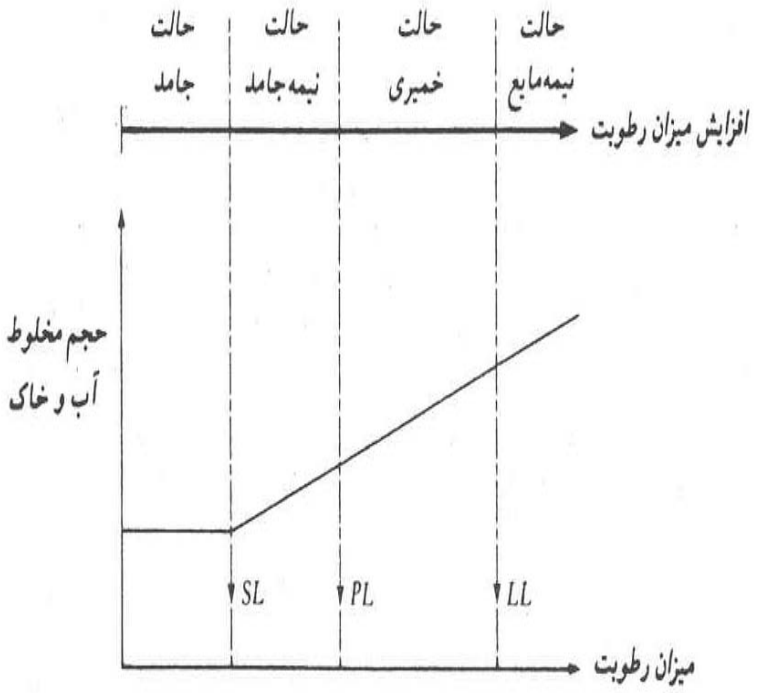
- در صورتیکه وزن بر حسب گرم اندازه گیری شده باشد، حجم جابجا شده آب بر حسب سانتیمتر مکعب محاسبه شده است.
- چگالی دانه های جامد از رابطه زیر محاسبه می گردد:

$$G_s=aW_s/W_w$$

آزمایش حدود اتربرگ

- بسته به میزان رطوبت، خاک می تواند حالات مایع، خمیری یا پلاستیک، نیمه جامد و جامد به خود میگیرد.
- حد روانی وحد خمیری بنا بر میزان رطوبت موجود در خاک، که حدود اتربرگ نامیده می شوند و توسط آزمایشهای استاندارد تعیین می گردند.
- نمونه خاکی که برای انجام این آزمایش بکار می رود بخشی از خاک است که از الک شماره ۴۰ (۰,۴۲۵میلیمتر) گذشته است.
- liquid limit(ll) W_l plastic limit(pl) W_p

آزمایش حدود اتربرگ

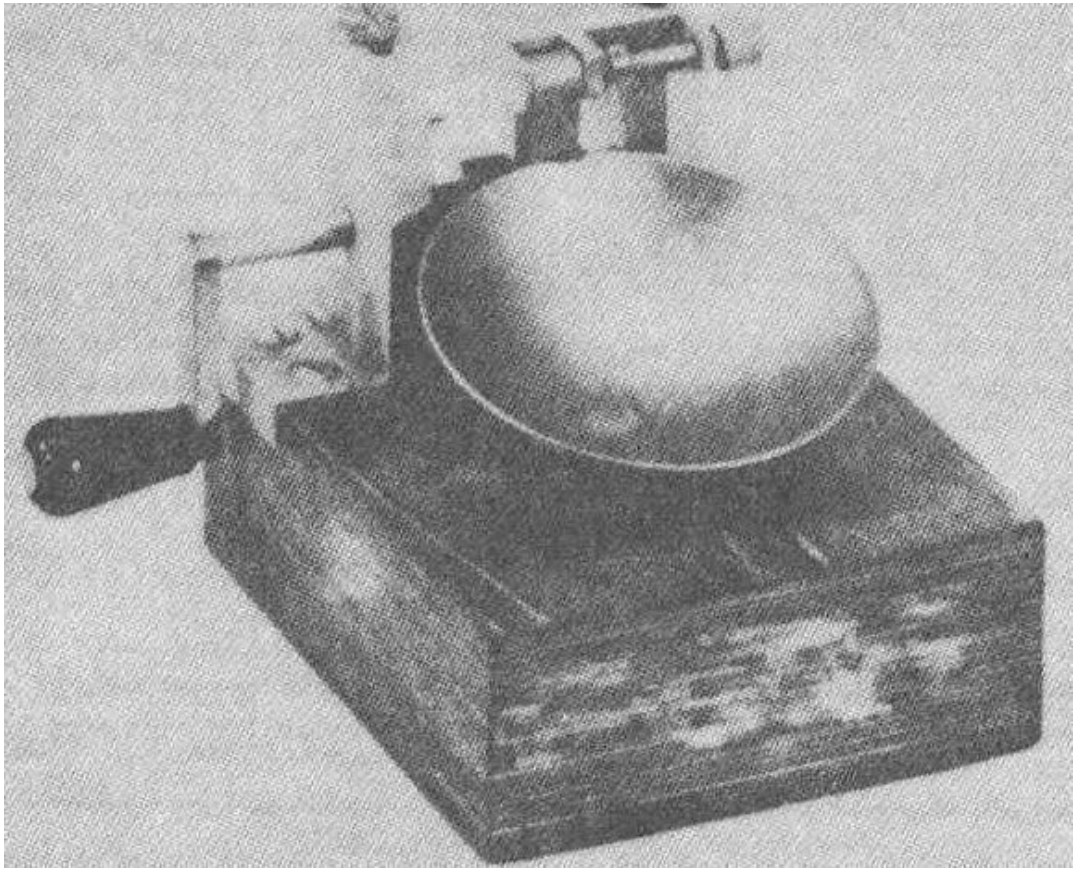


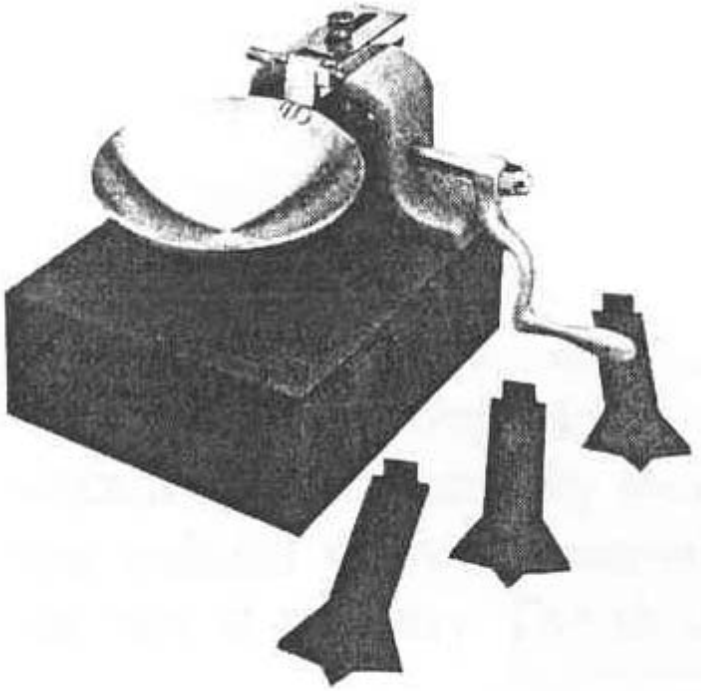
- تغییر حالت خاک از نیمه جامد به جامد در حد انقباض صورت می گیرید، طبق تعریف حد انقباض میزان رطوبتی است که در آن حجم خاک به کمترین مقدار خود ضمن خشک شدن می رسد.
- Shrinkage limit(sl)

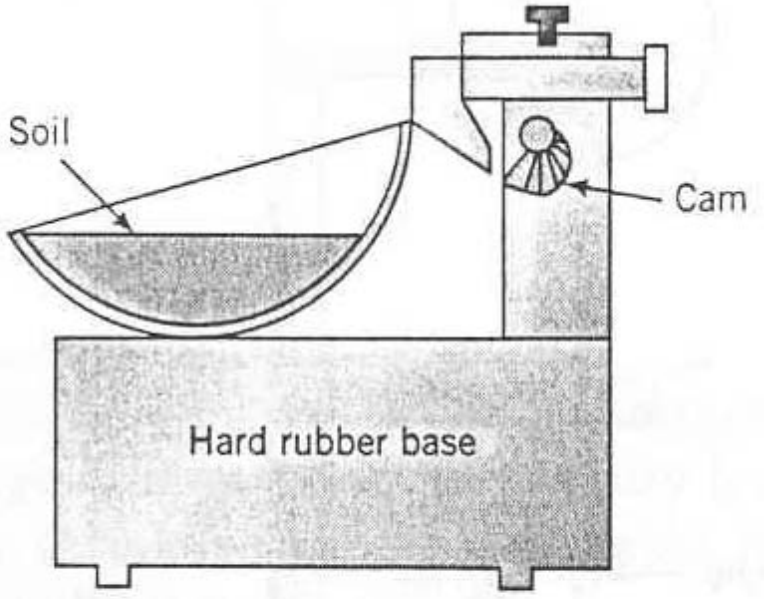
آزمایش حدود اتربرگ

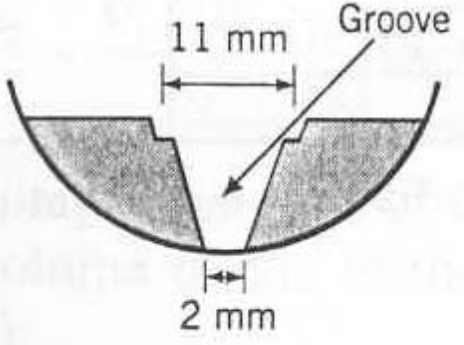
- دامنه خمیری $I_p=W_l-W_p$
- نشانه روانی $I_l=(W-W_p)/I_p$

آزمایش حدود اتربرگ

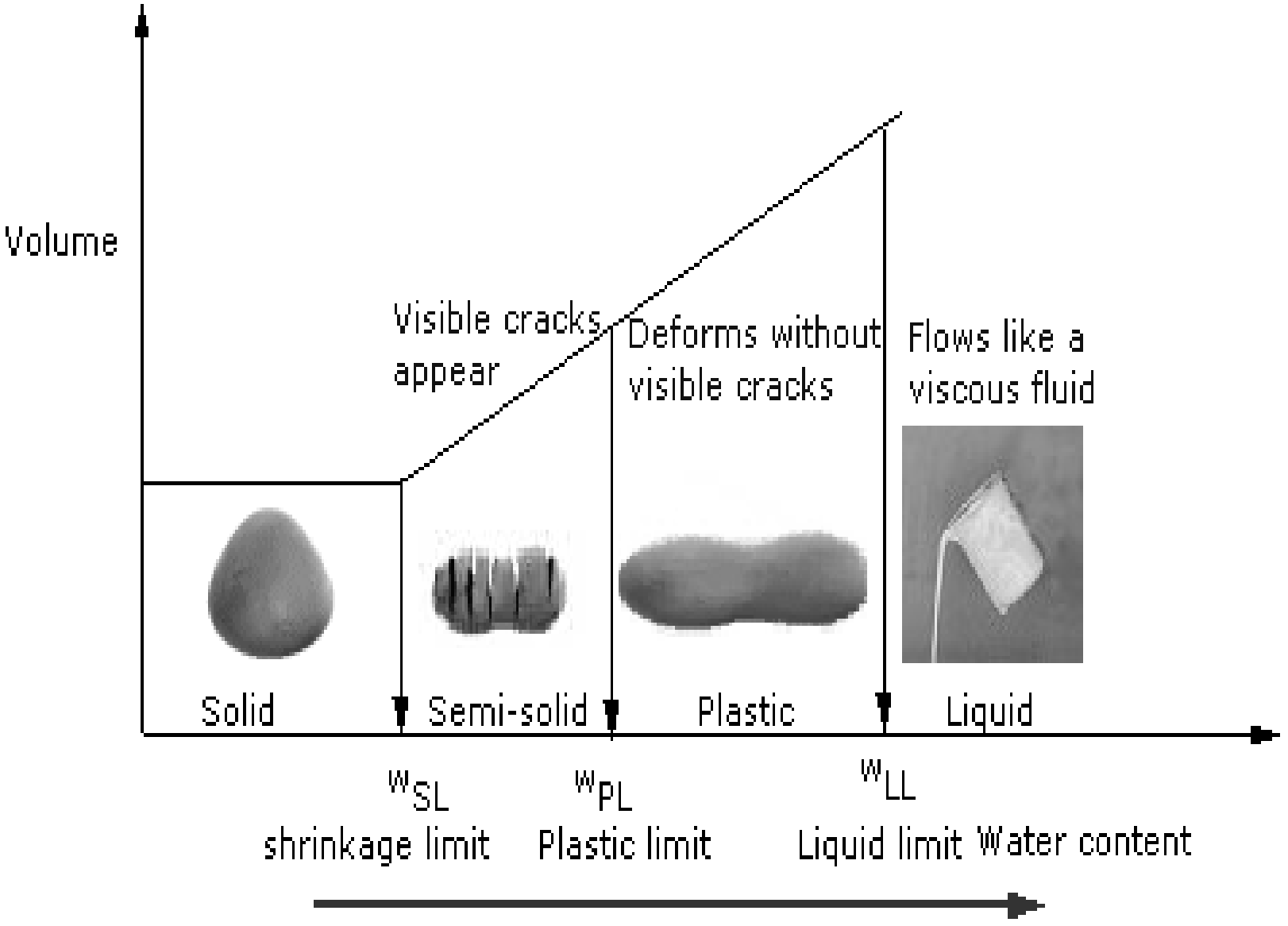




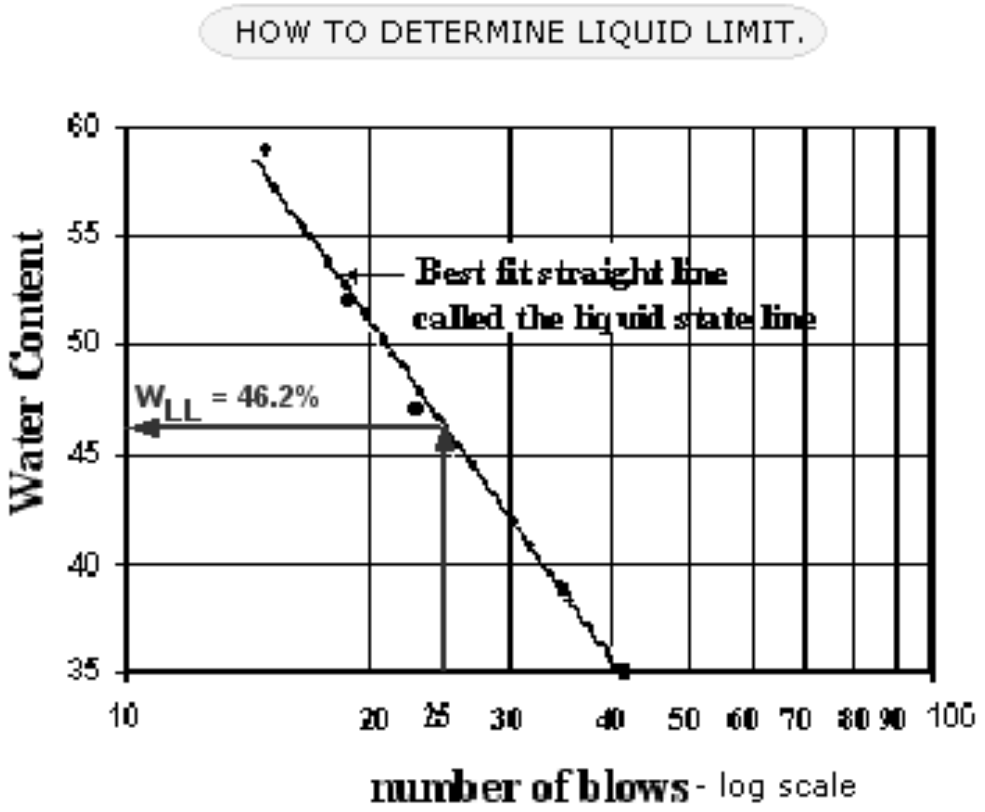




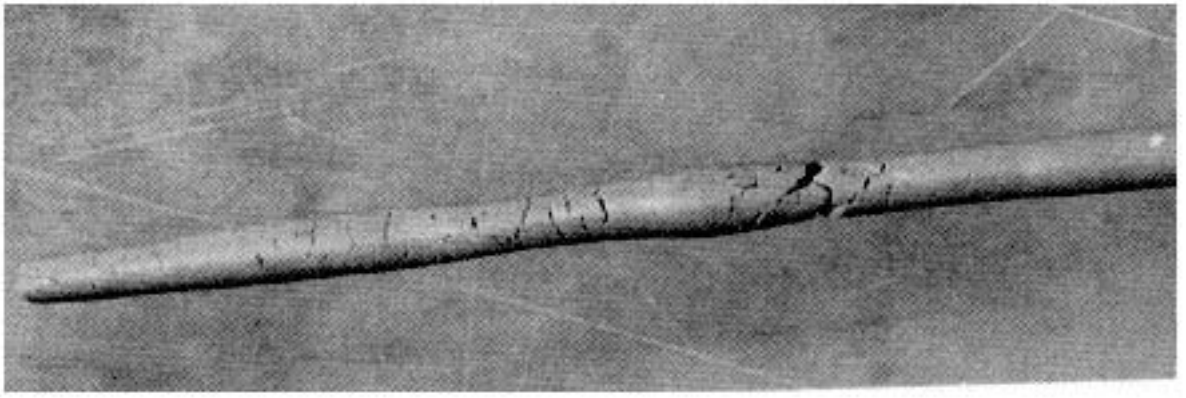
Cup apparatus for the determination of liquid limit


Volume
Visible cracks appear
Deforms without visible cracks
Flows like a viscous fluid
Solid
Semi-solid
Plastic
Liquid
w_{SL}
shrinkage limit
w_{PL}
Plastic limit
w_{LL}
Liquid limit
Water content

آزمایش حدود اتربرگ



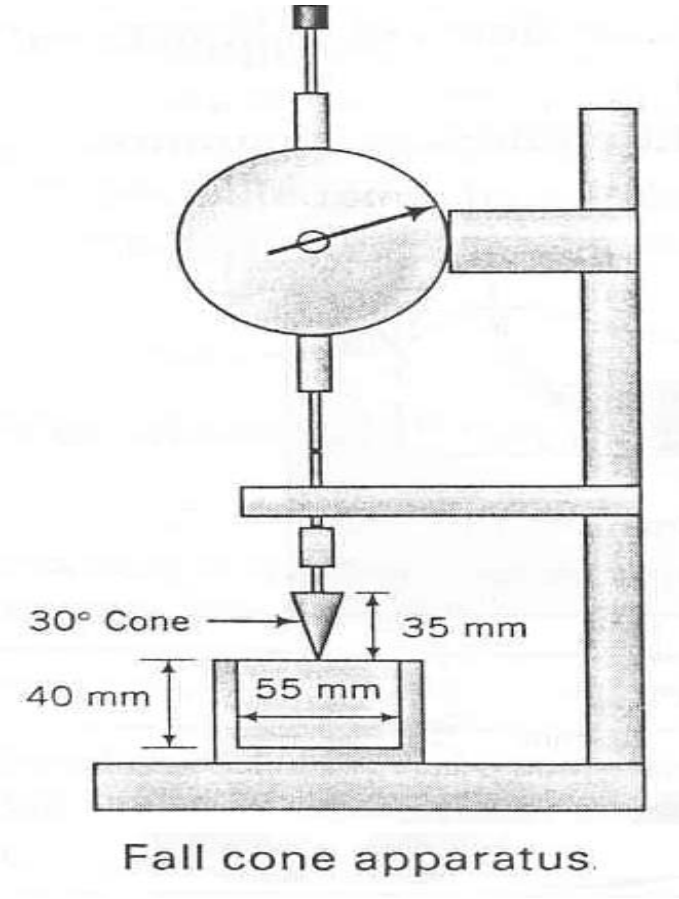
آزمایش حدود اتربرگ



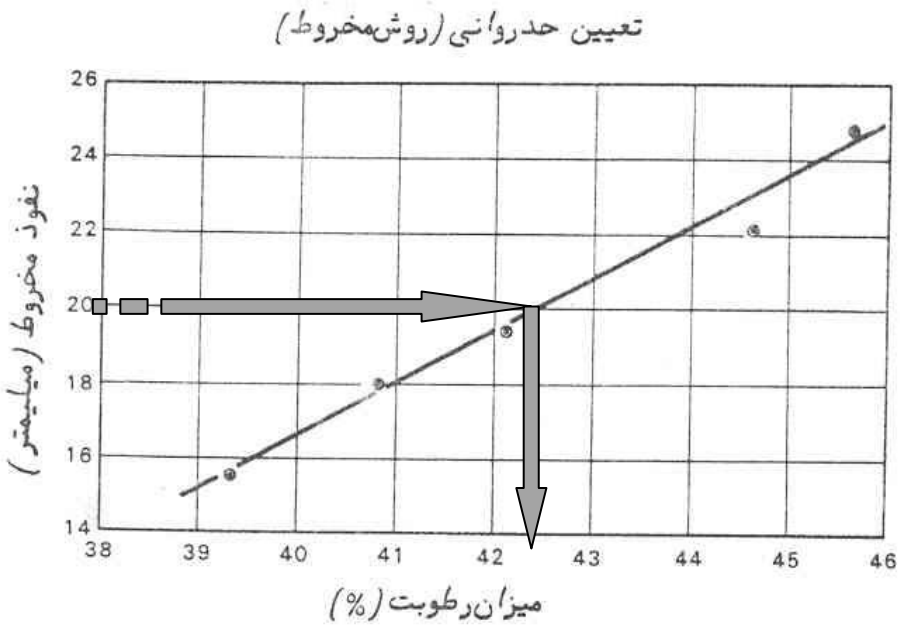
فتیلهَ ۳ میلیمتری در حد پلاستیک

آزمایش حدود اتربرگ

- استفاده از نفوذ مخروط فلزی
- برای تعیین حدود اتربرگ



Fall cone apparatus.



آزمایش 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 γ_d مشخص می شود.
- وزن مخصوص فوق تابع نوع خاک، میزان رطوبت و نیروی متراکم کننده می باشد.

آزمایش تراکم

- آزمایش تراکم پروکتور یا اشوی استاندارد:
- دراین آزمایش در یک قالب استوانه ای که حجم وارتفاع معینی دارد(۹۵۶سانتیمتر مکعب حجم و۱۱۷میلیمتر ارتفاع) نمونه خاک که دانه های درشت آن (بزرگتر از ۵ میلیمتر) جدا شده اندر سه لایه مساوی کوبیده می شود برای کوبیدن خاک از سقوط آزاد چکشی به وزن ۲,۴۹کیلوگرم واز ارتفاع سقوط ثابت ۳۰,۵سانتیمتر استفاده می شود و هر لایه با ۲۵ضربه کوبیده می گردد.
- آزمایش تراکم اصلاح شده:
- قالب همان قالب آزمایش استاندارد می باشد لیکن نمونه در ۵لایه مساوی کوبیده می شود ووزن چکش ۴,۵۴کیلوگرم و ارتفاع سقوط ۴۵,۷سانتیمتر است، در این آزمایش نیز هر لایه با ۲۵ضربه کوبیده می شود.

آزمایش تراکم

- آزمایش تراکم ممکن است در قالب CBR نیز انجام می گردد این قالب استوانه ای به قطر ۱۵,۲سانتیمتر و همین ارتفاع می باشد، در این حالت دانه های درشت تر از ۲۰میلیمتر از نمونه جدا می گردند و هر لایه با ۵۵ضربه در آزمایش پروکتور معمولی و ۵۵ضربه در آزمایش پروکتور اصلاح شده با همان تعداد لایه پیش بینی شده در آزمایش کوبیده می شود.
- پس از اینکه خاک در قالب متراکم گردید وزن مخصوص ظاهری و رطوبت آن را محاسبه می کنیم، این آزمایش با تغییر رطوبت خاک چندین بار تکرار می گردد و سپس منحنی وزن مخصوص خشک بر حسب تغییرات رطوبت ترسیم می گردد.
- برای یک انرژی معین تراکم و یک رطوبت معین که رطوبت بهینه W_{opt}نامیده می شود، وزن مخصوص خشک جداکثر می باشد.

آزمایش تراکم

- در محل با تعیین وزن مخصوص خشک خاک در محل پس از تراکم می توان به درصد تراکم پی برد:

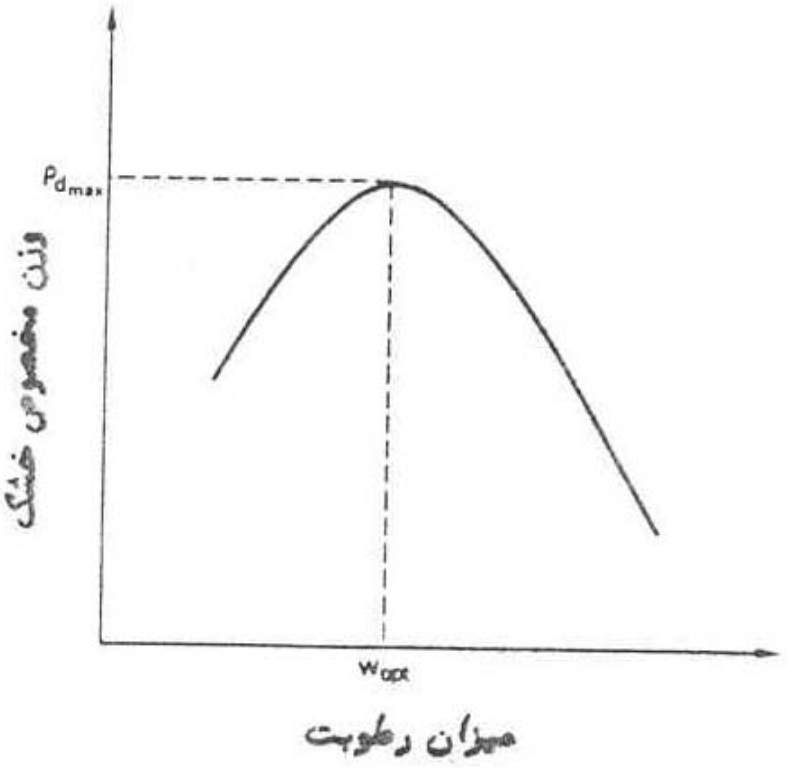
- درصدتراکم عبارت است از:

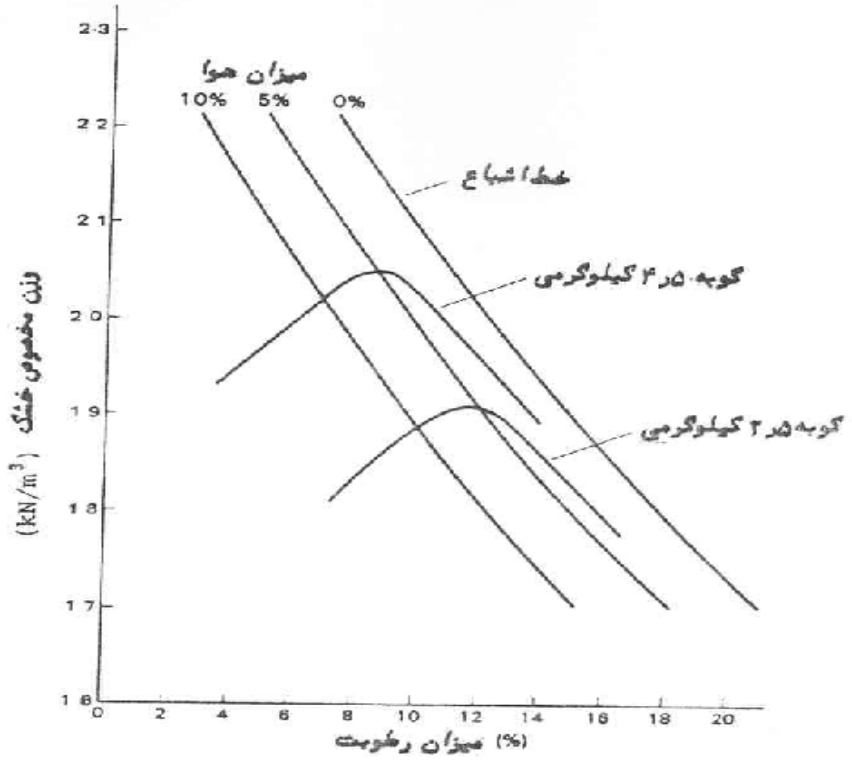
- وزن مخصوص خشک خاک درمحل تقسیم بر وزن مخصوص خشک حداکثر آزمایشگاه

آزمایش تراکم

	نوع	وزن کوبه kg	ارتفاع سقوط cm	تعداد ضربه برلایه	تعداد لایه	انرژی تراکم kJ/dm^3
آزمایش پروکتور	معمولی	۲ر۴۹۰	۳۰ر۵	۲۵ قالب پروکتور	۳	۰ر۵۹
				۵۵ قالب C.B.R.	۳	۰ر۵۳
	اصلاح‌شده	۴ر۵۴۰	۴۵ر۷	۲۵ قالب پروکتور	۵	۲ر۷۱
				۵۵ قالب C.B.R.	۵	۲ر۴۱

آزمایش تراکم

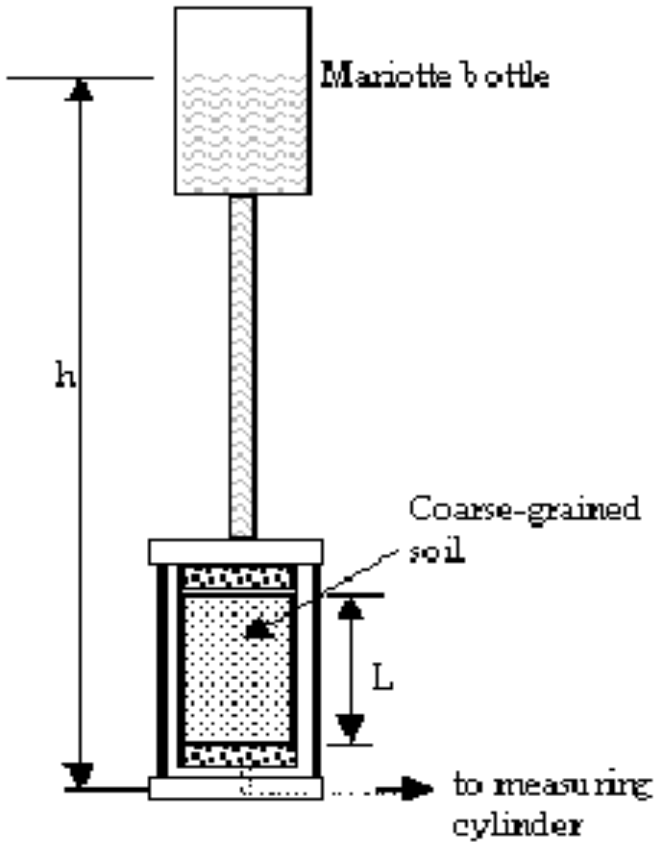




آزمایش نفوذ پذیري خاك

- نفوذپذیری خاکهای درشت دانه را می توان با استفاده از یک آزمایش ساده خاک با تراکم مناسب در داخل استوانه های به سطح مقطع A قرار داده می شود که در زیر آن یک استوانه تراوا قرار دارد
- این خاک تحت فشار یکنواختی قرار می گیرد و حجم آب رد شده از خاک اندازه گیری می شود این آزمایش در دو حالت انجام می شود

آزمايش نفوذ پذيري خاك



- ۱- در حالتی که گرادیان
- هیدرولیکی در طول
- آزمایش ثابت است.

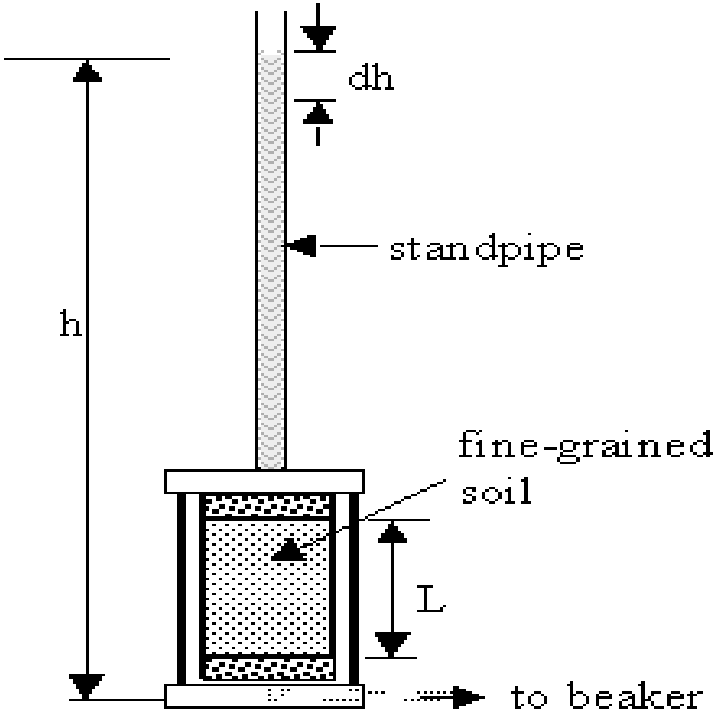
$$v/t=Q=k.i.A=k.(h/l).A$$

$$k=Ql/hA$$

Temperature correction

$$k_{20^\circ C} = k_{T^\circ C}\frac{\mu_{T^\circ C}}{\mu_{20^\circ C}} = k_{T^\circ C}R_T$$

آزمایش نفوذ پذیري خاك



۲- در حالتی که گرادیان هیدرولیکی در طول آزمایش متغیر می باشد.

مدت زمانی که ارتفاع سطح آب در لوله فوقانی به سطح مقطع a از ارتفاع h_1 به h_2 می رسد t_1 باشد

آزمایش نفوذ پذیری خاک

- در هر لحظه t ارتفاع سطح آب در لوله برابر h وسرعت تغییرات آن -dh/dt می باشدو در لحظه t خواهیم داشت:

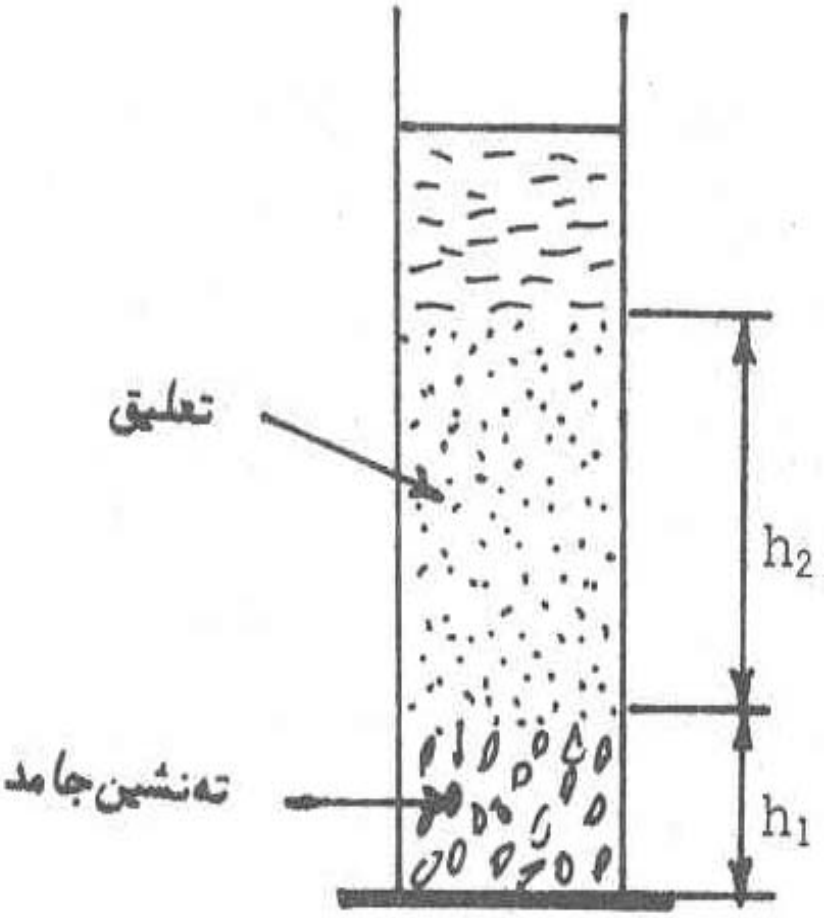
- $dQ/dt = - adh/dt = k(h/l)A$
- $-adh/h = (k/l)Adt$

- درصورتیکه انتگرال تساوی فوق را برای مقادیر معین h_1 و h_2 در مدت معین t محاسبه نماییم:

- $-a\int dh/h = (kA/l)\int dt \rightarrow k = (al/At)\ln(h_1/h_2)$

آزمایش معادل ماسه

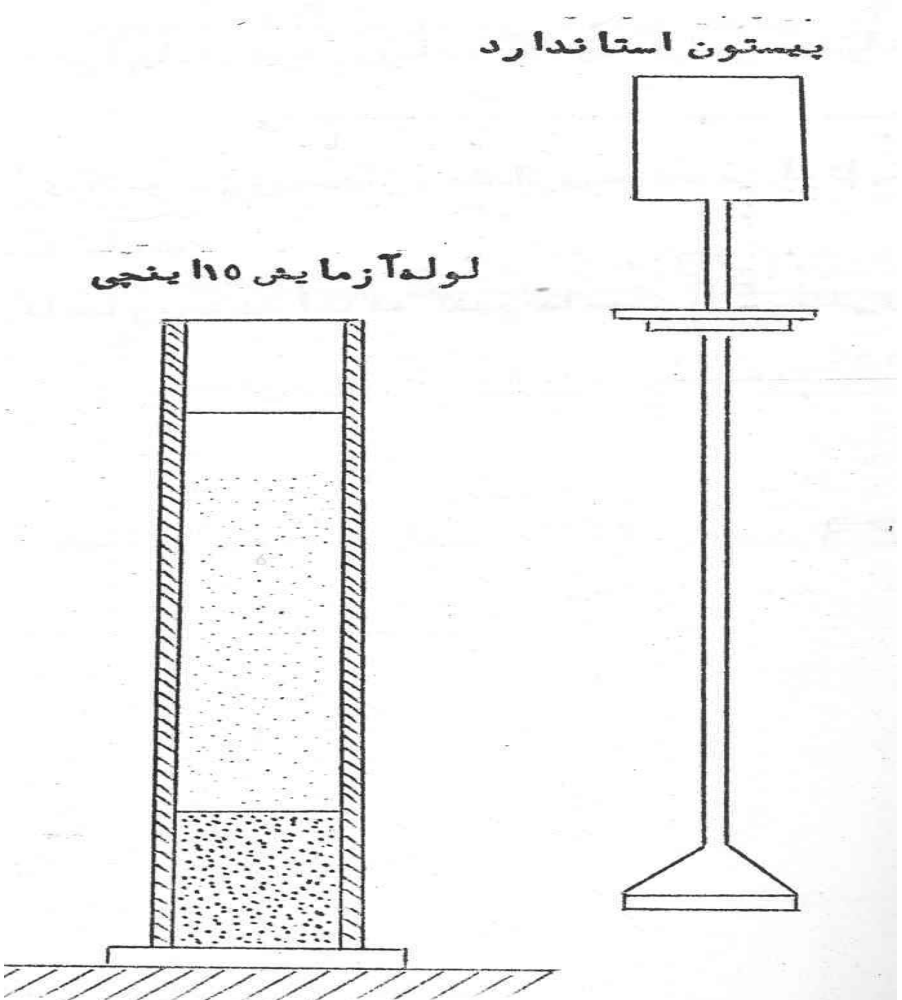
- توسط این آزمایش می توان نسبت ریزدانه و درشت دانه را در یک خاک معین نمود
- آزمایش برروی دانه های کوچکتر از ۵ میلیمتر انجام می شود
- آزمایش در ظرفی استوانه ای (شیشه ای) انجام می شود



آزمایش معادل ماسه

- ظرف استوانه ای حاوی محلول مشخصی که دانه ها را از هم جدا می کند است؛ پس از خیس خوردن نمونه استوانه به شدت در مدت معینی تکان خورده و سپس مجال کافی برای سکون به نمونه داده می شود
- پس از سکون محلول در استوانه به سه قسمت تقسیم می گردد
- ته نشین جامد حاوی دانه های بزرگتر در کف استوانه(h_1)
- قسمتی که در آن مواد بصورت معلق موجودند (h_2)
- عدد معادل(هم ارز)ماسه عبارت است از:
$ES=h_1/(h_1+h_2)$

آزمایش معادل ماسه



ارتفاع h_1 و h_2
ابتدا با چشم و سپس با پیستون استاندارد آهنی خوانده می شود

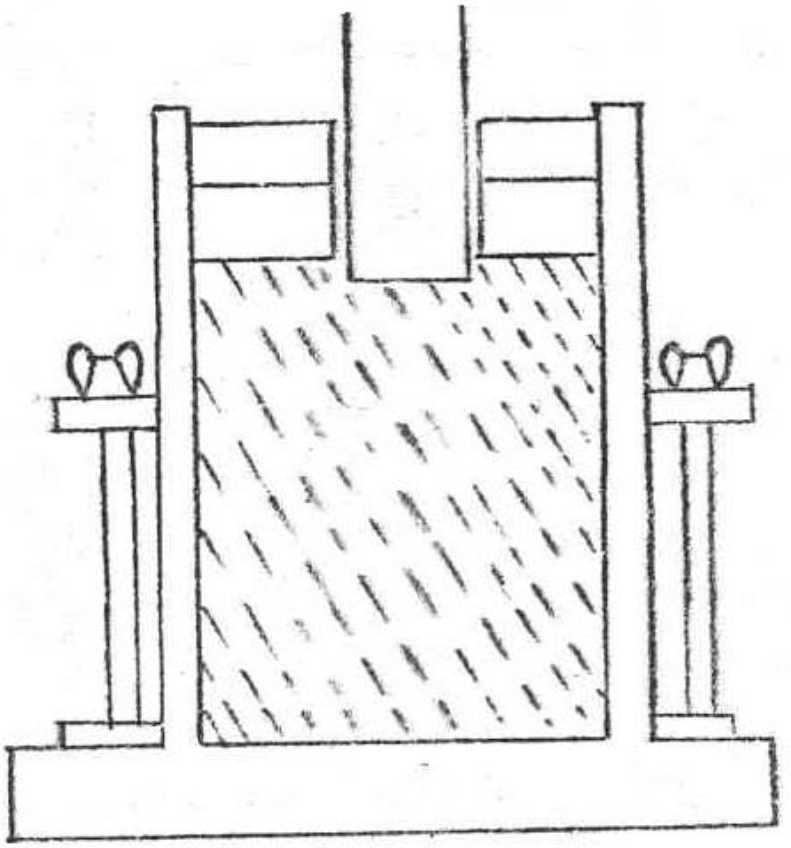
آزمایش معادل ماسه

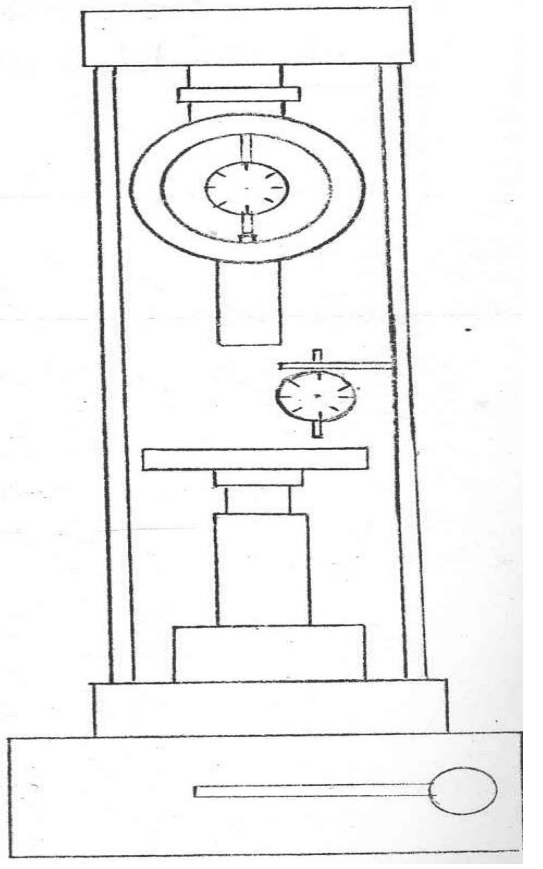
- رس ES=0
- خاک خمیری ES=20
- خاک غیر خمیری ES=40
- ماسه رس دار ES=80
- ماسه خالص و تمیز ES=100

آزمايش تعيين CBR (California Bearing Ratio)

- تعيين مقاومت نسبي خاك در برابر نفوذ يك سنبه فلزي استاندارد
- رابطه بين مقدار نفوذ يك سنبه استوانه‌أي استاندارد با مقطع ۱۹۳۵ ميليمتر مربع (سه اينچ مربع) و بار وارد بر آن هنگامي كه روي نمونه خاك قرار مي گيرد تعيين شود
- سرعت نسبي نفوذ سنبه به داخل خاك، مقداري معين و برابر يك ميليمتر در دقيقه مي باشد

آزمایش تعیین CBR (California Bearing Ratio)





آزمايش تعيين CBR (California Bearing Ratio)

- براي هر مقدار از نفوذ سنبه به داخل خاك، نسبت مقدار بار به بار استاندارد براي همان مقدار نفوذ سنبه در نمونه استاندارد شده بنام نسبت باربري كاليفرنيا يا عدد CBR نامیده مي‌شود

- معمولا" مقدار بار براي نفوذ ۲/۵ ميليمتر قرائت مي شود تا به عنوان معيار سنجش قرار گيرد ولي چنانچه در فاصله نفوذ۲,۵ ميليمتر تا ۵ ميليمتر مقادير بزرگتري از آنچه كه براي نفوذ۲,۵ ميليمتر بدست آمد نتيجه شود

آزمایش تعیین CBR (California Bearing Ratio)

- بزرگترین مقدار بدست آمده به عنوان عدد CBR در نظر گرفته مي‌شود
- تراکم نمونه در قالب CBR و با چکش ۲,۵ Kg در سه لایه ویا چکش ۴,۵ Kg و ۵ لایه با ٦٢ ضرب چکش
- در مواردي ممکنست ضرورت داشته باشد که نمونه را پس از جذب آب مورد آزمایش قرار دهیم
- . پليت کف را تعويض کرده پليت سوراخ دار نصب مي کنيم و آن گاه قالب ومحتوا را در ظرف آب قرار مي دهيم به طوري که سطح آب از سر قالب پائين تر باشد (آب از پائين نمونه را پر مي کند)

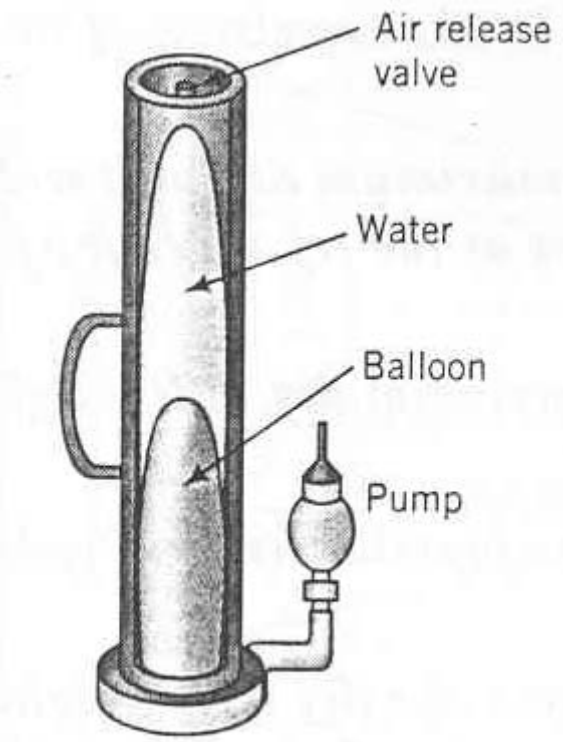
آزمايش تعيين CBR (California Bearing Ratio)

- وزنه هاي سر بار نيز بر روي قالب قرار مي گيرند (بر روي خاك) بعد از خيس شدن كامل نمونه و باد كردن آزمايش مشابه حالت قبل انجام مي گردد

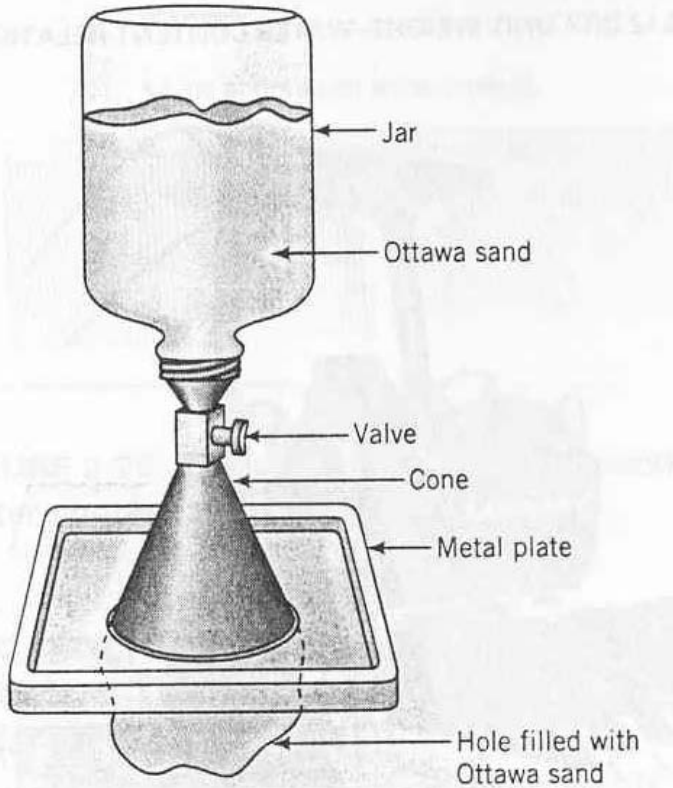
آزمایش تعیین دانسیته در محل

- منظور از این آزمایش تعیین وزن مخصوص تر و خشک (γ_d،γ) می باشد
- برای اطلاع از میزان تراکم خاک و تعیین ظرفیت باربری کاربرد دارد
- آزمایش با حفر گودالی در خاک مورد نظر آغاز می شود، وزن خاک داخل گودال را بدست می آوریم
- سپس با کمک ماسه، آب و یا مادۀ دیگری حجم گودال را بدست می آوریم

آزمایش تعیین دانسیته در محل



Balloon test device



A sand cone apparatus

آزمایش تعیین دانسیته در محل

- روش انجام آزمایش:
- سینی مخصوص را روی خاک قرار داده با قلم و چکش گودالی (به عمق تقریبی ۱۰ سانتیمتر) حفاری کرده خاک آن را داخل تشت ریخته وزن می کنیم(P_1)
- ظرف مخروط وستون 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)

آزمایش تعیین دانسیته در محل

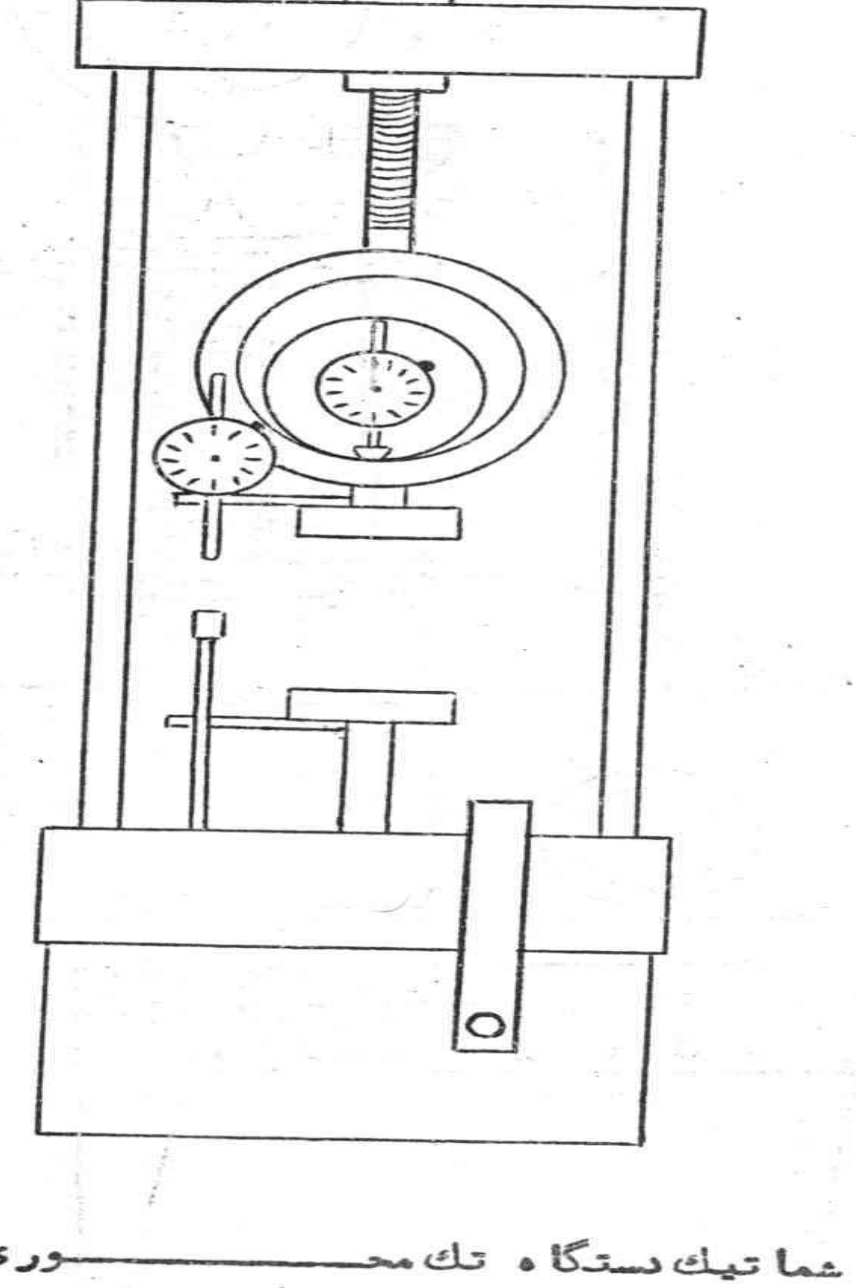
- وزن ماسه ای که گودال وقیف را پر کرده (W_1-W_2) میشودکه با داشتن وزن ماسه ای که قیف را پر می کند (W_3) وزن ماسه هم حجم گودال (p_2) بدست می آید
- $p_2=W_2-W_1-W_3$
- با برداشت یک نمونه از خاک گودال رطوبت آنرا اندازه می گیریم(w)

$$V = \frac{P_2}{\gamma_{sand}} \qquad \gamma = \frac{P_1}{V} \qquad \gamma_d = \frac{\gamma}{1+w}$$

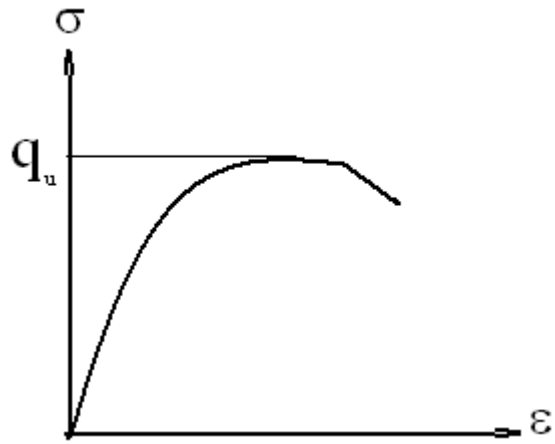
آزمايش فشار تك محوري

- اين آزمايش مشابه آزمايش سه محوری است با اين تفاوت كه در سلول انجام نمی گردد لذا $\sigma_3=Cte=0$
- در اين آزمايش سرعت اعمال فشار با دست و كرونومتر كنترل می شود (تقريباً يک دور در دقيقه)
- آزمايش تا شكست كامل نمونه ادامه می يابد وسپس منحنی تنش-كرنش ترسيم می گردد
- نتيجه اين آزمايش محاسبه چسبندگی زهكشی نشده خاک است

آزمايش فشار تك محوري



شماتيك دستگاه تك محـــــــــــــــوري

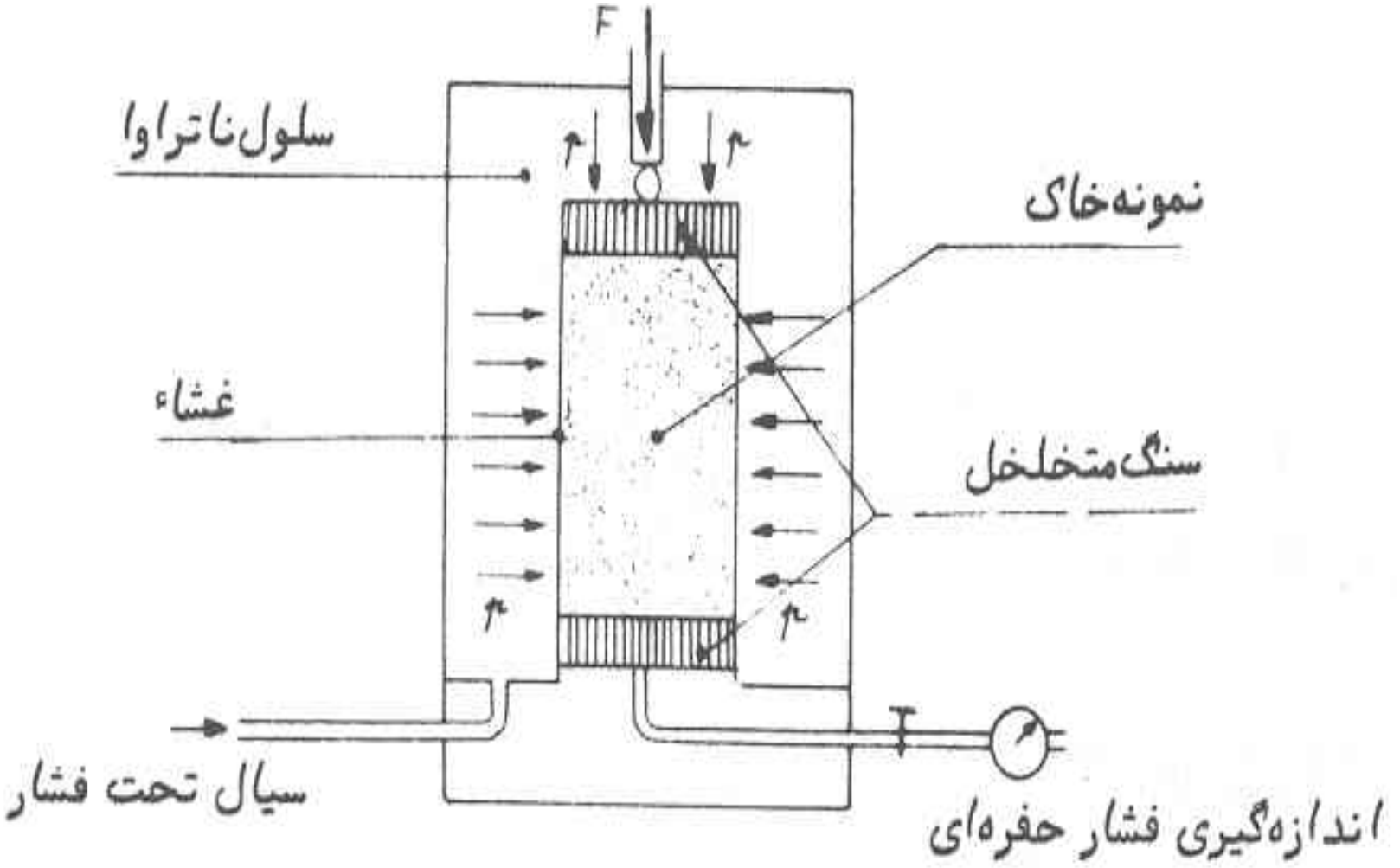


$$c_u = \frac{q_u}{2} = \frac{\sigma_{a\ \max}}{2}$$

آزمایش سه محوری

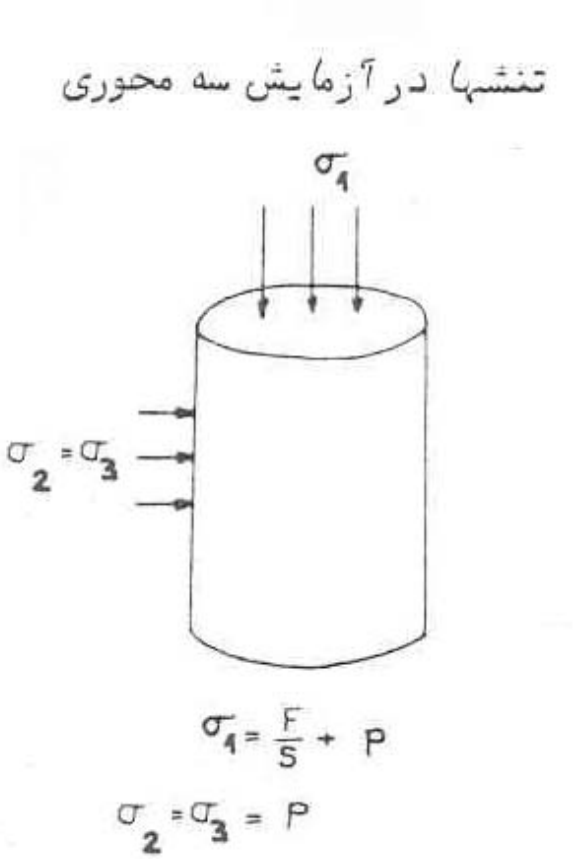
- آزمایش سه محوری بر یک نمونه استوانه ای خاک انجام می گردد
- این نمونه معمولاً ۳,۶؛ ۵؛ ۷؛ یا ۱۰ و یا حداکثر ۱۵ سانتیمتر قطر دارد و ارتفاع آن دو برابر قطر آن می باشد
- نمونه در پوشش پلاستیکی قرار گرفته و مجموعه در سلولی قرار می گیرد که حاوی آب می باشد
- در دوانتهای نمونه دو سنگ متخلخل قرار می گیردکه به یک وسیله اندازه گیری فشار حفره ای و تغییرات حجمی متصل است

آزمایش سه محوری



آزمایش سه محوری

- بارگذاری بر نمونه از دو قسمت فشار جانبی P که به وسیله سیال تحت فشار انجام می شود
- و یک نیروی محوری F که به وسیله پیستون وارد می شود
- در آزمایش معمولی بعداز اعمال فشار P نیروی محوری F را می افزاییم تا نمونه گسیخته گردد



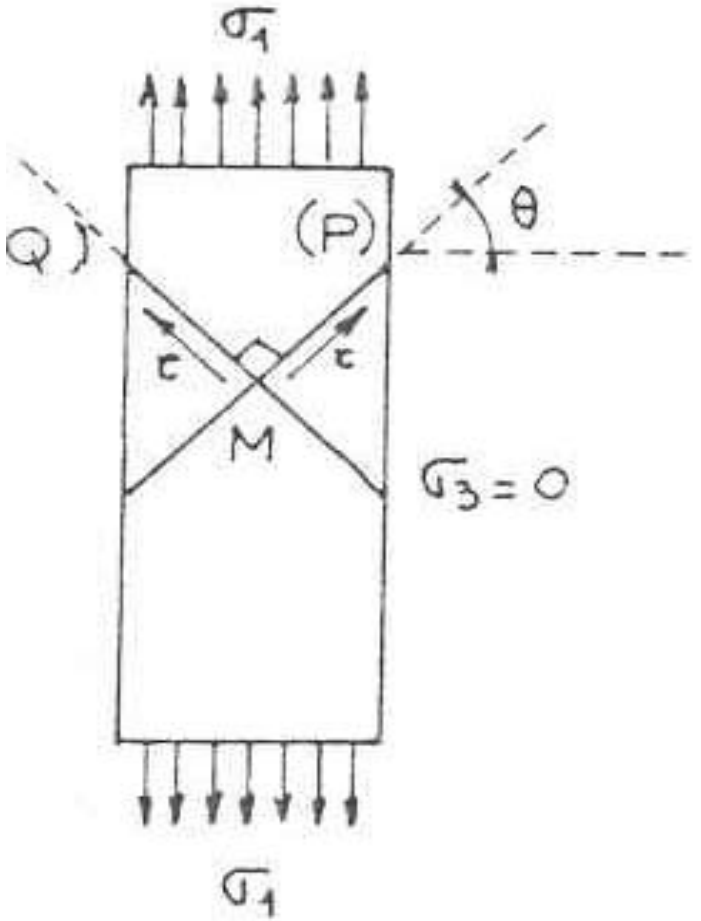
آزمایش سه محوری

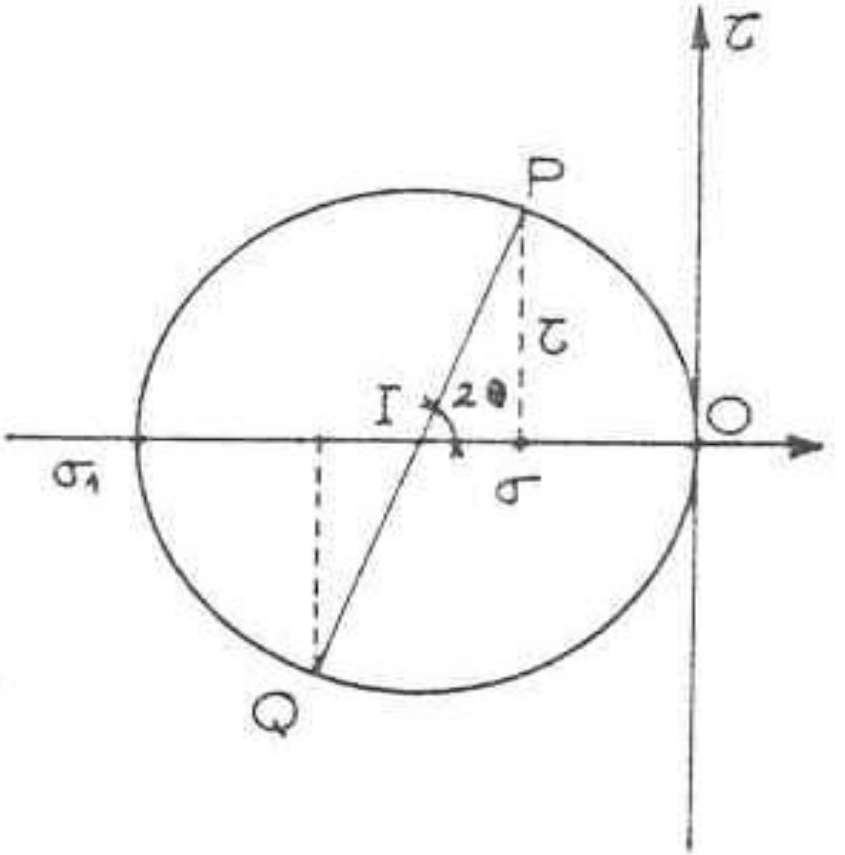
- دراین آزمایش تنشهای وارده بر نمونه همان تنشهای اصلی می باشند
- σ_1 که همان تنش محوری σ_a می باشد
- وتنش جانبی که همان $\sigma_2=\sigma_3$ می باشد

. این آزمایش در حالت‌هاي مختلف مانند زهکشي شده و زهکشي نشده و تحکیم اولیه یافته و یا نیافته قابل انجام مي‌باشد. ضریب یانگ در این آزمایش از معادله ساده زیرقابل محاسبه مي‌شود (در ابتداي آزمایش)

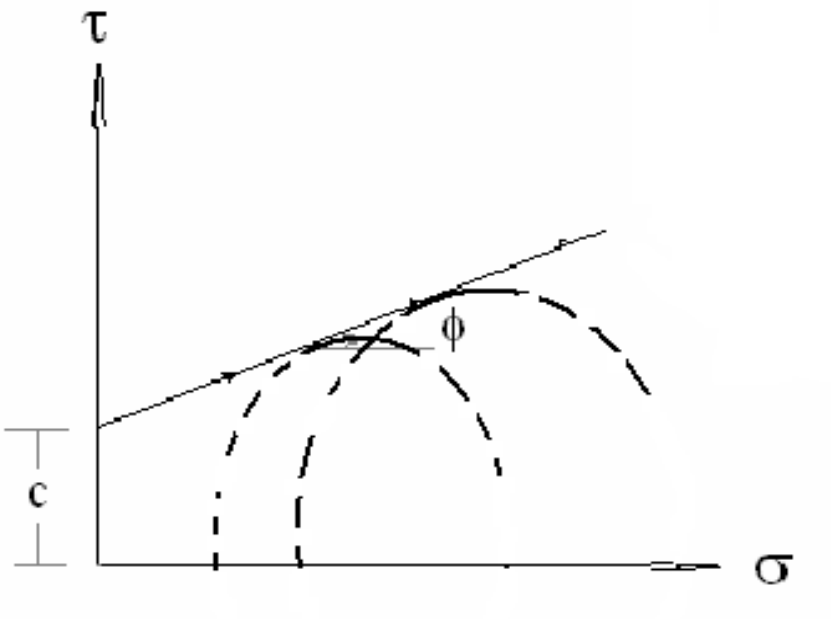
$$E = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\varepsilon_1}$$

آزمایش سه محوری





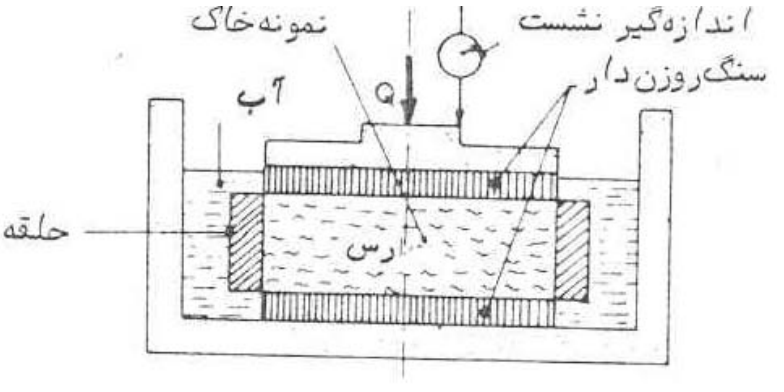
آزمایش سه محوری



با حداقل دو آزمایش سه محوري با σ۳ های متفاوت و ترسیم دوایر موهرمرتبط می توان C و ø)خواص مکانیکی خاک) را محاسبه نمود

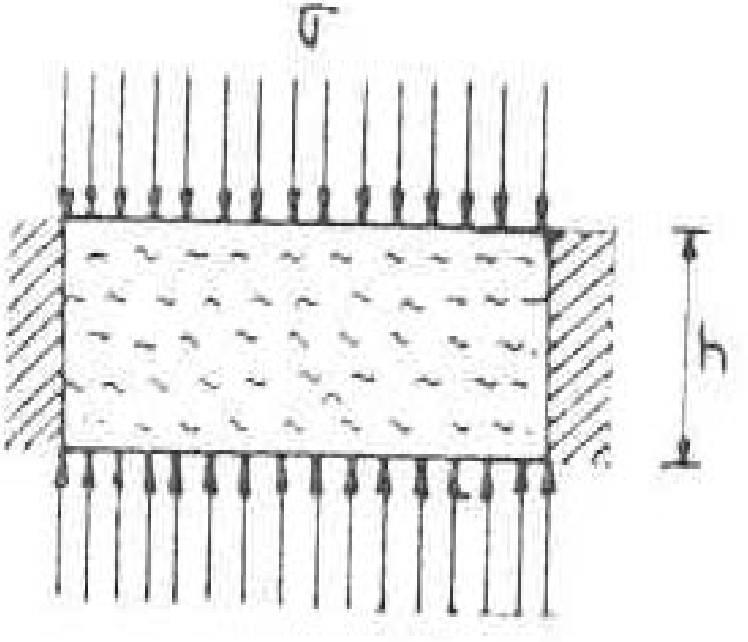
آزمایش تحکیم تک محوری(ادئومتر)

- در اين ازمايش نمونه استوانه‌اي خاك (به قطر تقريبي ۷ سانتيمتر) تحت اثر فشار محوري قرار مي‌گيرند حلقه فلزي كه در دور نمونه قرار مي‌گيرد مانع از ايجاد تغيير شكلهاي جانبي مي گردد



آزمایش تحکیم تک محوری(ادئومتر)

درآزمایش ادئومتر نمونه استوانه‌أي كه در بين دو سنگ متخلخل قرار گرفته است و در داخل يك استوانه فلزي تغيير شكل ناپذير قرار دارد و به طور قائم بر آن بار وارد مي شود



آزمایش تحکیم تک محوری(ادئومتر)

- در این حالت تنش از معادله روبرو محاسبه مي گردد

$$\sigma_a = \frac{q}{s}$$

$$\varepsilon_r = 0$$

کرنش‌ها نیز از روابط مقابل محاسبه مي‌گردند

$$\varepsilon_a = \frac{\Delta h}{n}$$

آزمایش تحکیم تکمحوری(ادئومتر)

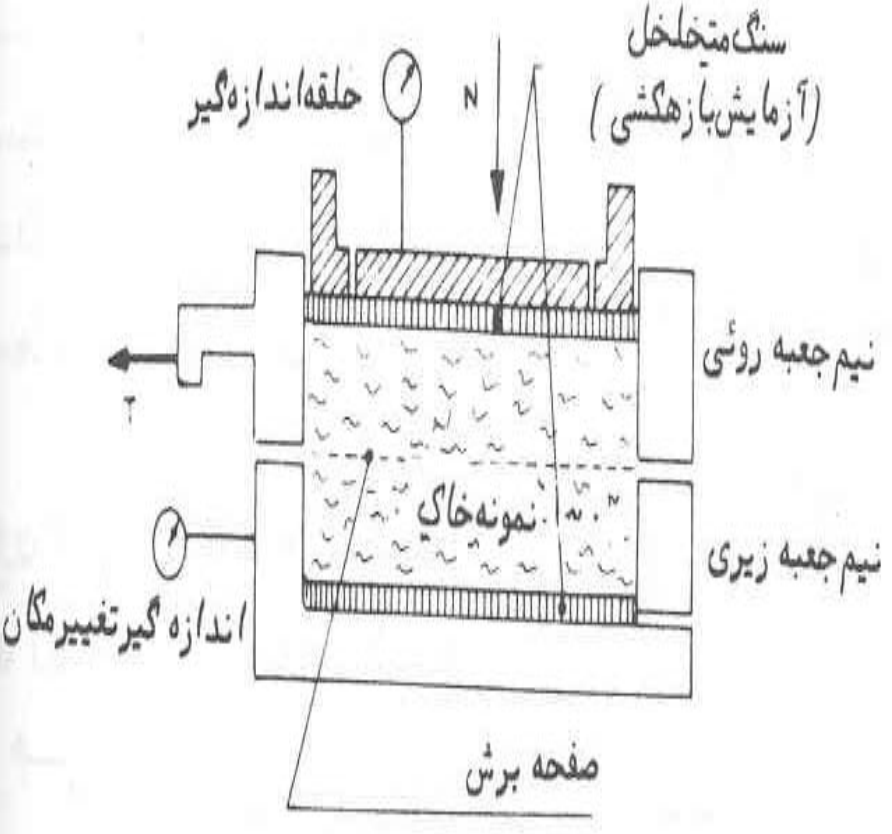
$$\sigma_a = E'\varepsilon_a$$

- از رابطه مقابل در ادئومتر مي توان به محاسبه ضريب ادئومتري (E´) پرداخت

$$E = \frac{3}{4}E'$$

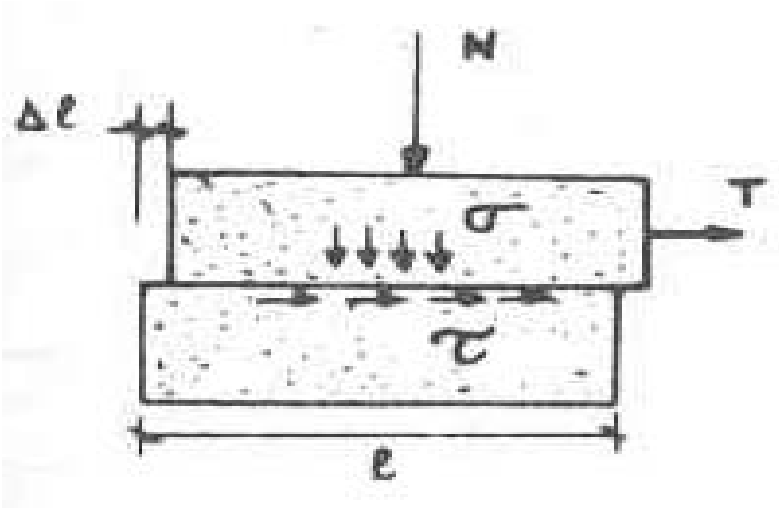
- که از آن مي‌توان ضريب يانگ را با استفاده از رابطه روبرو محاسبه نمود

آزمایش برش مستقیم



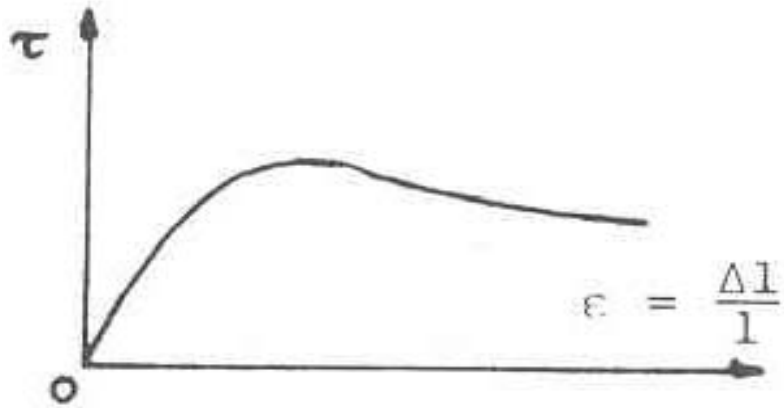
آزمایش در جعبه کاساگراند قدیمي‌ترین آزمایش مکانیك خاك است که اولین بار توسط کاساگراند در آلمان انجام گرفته است. این دستگاه از دو نیم جعبه در مقطع دایره و یا مربع که امکان لغزیدن بر روي یکدیگر را دارند تشکیل شده است نمونه در داخل جعبه قرار گرفته و تحت فشار قائمي قرار مي‌گیرد

آزمايش برش مستقيم



سپس نيم جعبه فوقاني تحت اثر نيروي برشي T حركت مي‌كند اين حركت افقي معمولا" با سرعت ثابت صورت مي‌گيرد

در اين آزمايش تنش‌ها از روابط زير محاسبه مي‌گردند



$$\sigma = \frac{N}{S} \qquad \tau = \frac{T}{S}$$

تغيير شكل نسبي $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$ مي باشد

آزمايش برش مستقيم

- با استفاده از از سه ازمايش برش ستقيم ليكن با استفاده از سه فشار قائم مختلف مي‌توان به محاسبه خواص مكانيكي پرداخت (چسبندگي C و زاويه اصطكاك داخلي دانه‌ها ø)