بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان

آزمایشات مکانیک خاک

علیرضا شهنام نیا
دکترای مهندسی عمران ژئوتکنیک

مقدمه

۱-روشها و تكنيكهاي آزمايشگاهي در مكانيك خاك در مسائل حرفه اي مهندسي عمران بسيار پركاربرد بوده و جايگاه ويژه اي را دارا مي باشد.

۲- قبل از انجام آزمایشات مکانیک خاک لازم است نمونه گیری از خاک به عمل آید .

این نمونه ها باید به گونه ای انتخاب شوند که خصوصیات و پارامترهای نسبتا دقیق طراحی را بتوان از آزمایشات مربوطه نتیجه گرفت.

مقدمه

نمونه برداری در خاک ها:

۱- نمونه دست خورده :

نمونه هایی که هنگام برداشت آنها ساختار اصلی خاک بهم خورده ولی ترکیب کانی شناسی آنها تغییر نکرده باشد.

برای تعیین جنس ذرات خاک

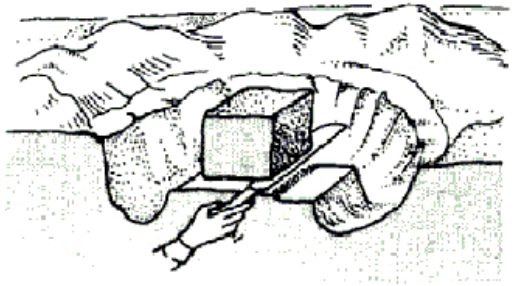
شناسایی اجزای خاک

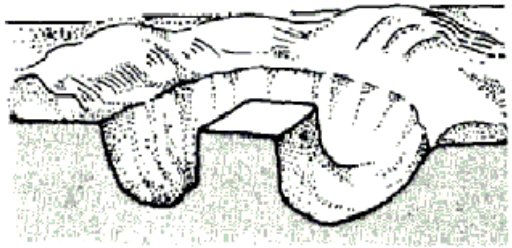
کسب پارامترهای موثر در طبقه بندی عمومی خاک از قبیل اندازه ذرات حدود آتربرگ و خصوصیات تراکمی

۲- نمونه دست نخورده :

صرفا از لایه های رسی و به منظور انجام آزمایشات آزمایشگاهی و تعیین خصوصیات مهندسی خاک تهیه می شود.

- **نمونه گیری دست نخورده از خاک های دانه ای و غیر چسبنده**
- یخ زدن زمین
- اشباع نمودن زمین از صمغ
- نمونه برداری به صورت مغزه ای و یا بلوکی

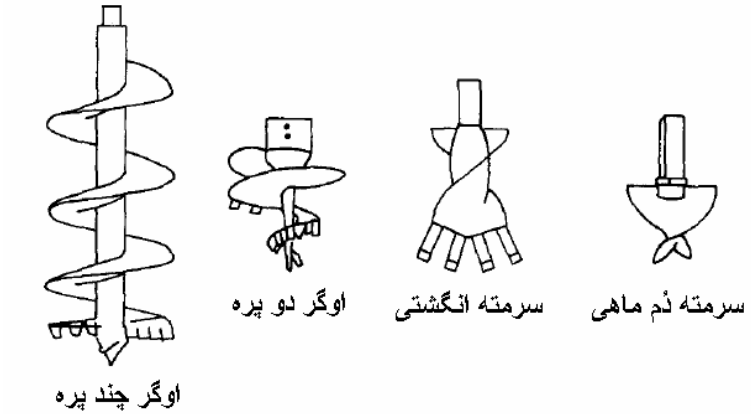




روش تهیه نمونه گیری دست خورده :

نمونه گيري دستي (فله اي)

نمونه گيري با اوگر



DeJong &
Boulanger

DeJong &
Boulanger

آزمایشات مکانیک خاک

۱- *آزمایش تعیین درصد رطوبت خاک*
۲- آزمايش دانه بندي خاك
۳-آزمايش هيدرومتري
۴-آزمايش حد رواني
۵- آزمايش حد خميري
6- آزمايش هم ارز ماسه
7- آزمایش CBR يا تعيين نسبت باربري كاليفرنيا
8- آزمايش تراكم
9- آزمايش تحكيم
10- آزمايش برش مستقيم
۱۱- آزمايش سه محوري

آزمایش تعیین درصد رطوبت خاک
Water Content Determination

این آزمایش برای تعیین درصد رطوبت خاک کار می رود .
درصد رطوبت عبارتند از نسبت آب موجود در یک توده خاک به وزن خشک همان توده خاک .

شرح آزمایش:

۱- وزن ظرف خالی را اندازه می گیریم w1

۲- نمونه خاک مرطوی را در ظرف مورد نظر قرار می دهیم –
وزن ظرف به همراه خاک را اندازه می گیریم w2

۳- نمونه به مدت ۲۴ ساعت در گرمخانه در دمای 110 درجه سانتی گراد قرار می گیرد .

۴- نمونه خشک شده را از گرمخانه خارج کرده و پس از سرد شدن قوطی محتوی نمونه را وزن می کنیم w3

$$\omega = \frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1} \times 100$$

W_1= وزن ظرف خالی

W_2= وزن ظرف وخاک مرطوب

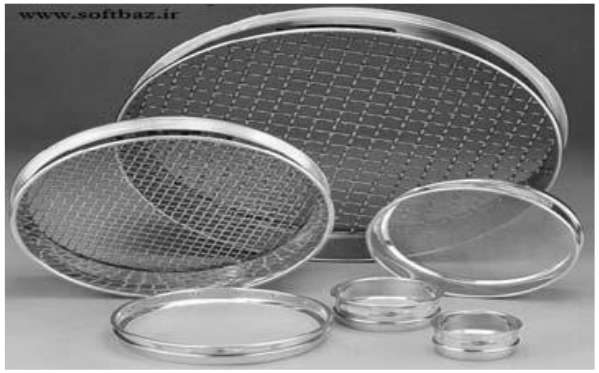
W_3=وزن ظرف وخاک خشک

W_3-W_1= وزن خاک خشک

W_2-W_3= وزن آب

ω = درصد رطوبت خاک

آزمايش دانه بندی خاک با الک
Particle Size Analysis (mechanical Method)



- مقدمه :
- تقريبا تمام سيستم هاي طبقه بندي، خاكها را به سه دسته خاك هاي درشت دانه (فاقدچسبندگي)، ريزدانه (چسبنده) و خاكهاي آلي تقسيم مي كنند .
- دراين رده بندي ها، دانه به معناي يك ذره كاني منفرد يا قطعه اي از چند كاني به هم پيوسته است كه در آب از يكديگر جدا نمي شود.
- خاك هاي درشت دانه به شن و ماسه و خاكهاي ريز دانه به سيلت لاي و رس تقسيم مي شوند.
- براي تعيين توزيع دانه ها در يك نمونه خاك معمولا از روش سرند استفاده مي شود .حد پاييني كاربرد سرند در آزمايش هاي مكانيك خاك تا 74 ميكرون است.
- براي تعيين توزيع دانه هاي ريزتر از حد كاربرد سرند ها از روش رسوبدهي (هيدرومتري) استفاده مي شود.

- دانه بندي به سه روش عمده انجام مي شود:
- الف–الك
- ب–هيدرومتري
- پ–تركيبي از هر دو
- در روش دانه بندي با الك، با استفاده ازمجموعه اي از الك ها و لرزاندن آنها، درصد وزني دانه هاي مختلف خاك به دست مي آيد .اين آزمايش بيش تر براي خاك هايي مورد استفاده است كه بيشتر از90٪ دانه هايشان بزرگ تر از الك شماره200 باشد.
- برای خاک هایی که بیشتر از ۹۰٪ ریزتر از الک ۲۰۰ باشند آزمایش هیدرومتری انجام می گیرد .
- در مورد خاك هاي مخلوط درشت دانه و ريز دانه، براي بخش درشت تر از الك 200 ، آزمايش دانه بندي و براي ريزتر ازآن، آزمايش هيدرومتري انجام مي شود.

انواع الک

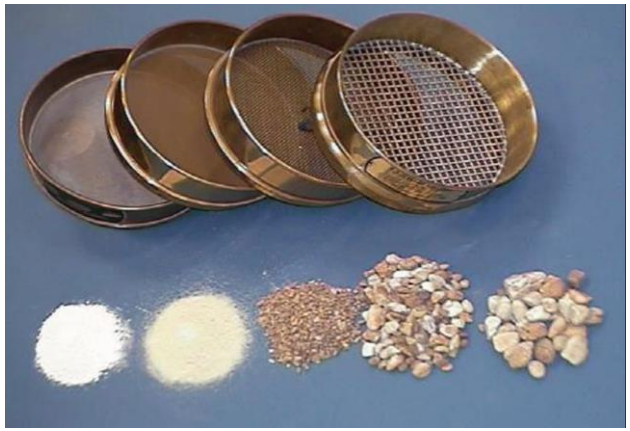
- استاندارد آمریکا: ASTM-E11

نمره الک	4	6	8	10	16	20	30	40	50	60	80	100	140	170	200	270
اندازه شکاف mm	4.75	3.35	2.36	2	1.18	0.85	0.6	0.43	0.3	0.25	0.18	0.15	0.11	0.09	0.08	0.05

- استاندارد انگلیس BS-410

نمره الک	5	6	7	8	10	12	14	16	18	22	25	30
اندازه شکاف mm	3.35	2.81	2.41	2.06	1.68	1.41	1.2	1	0.85	0.7	0.6	0.5

- الک استاندارد



Size (mm)	شماره
-	No. 4 (4.75mm)
3in (75mm)	No. 10 (2.0mm)
2in (50mm)	No. 20 (850µm)
1.5in (37.5mm)	No. 40 (425µm)
1.0in (25mm)	No. 60 (250µm)
3/4in (19mm)	No. 140 (106µm)
3/8in (9.5mm)	No. 200 (75µm)

در صورتی که از سری الک های جدول زیر استفاده شود منحنی دانه بندی با استفاده از نقاطی با فاصله یکنواخت رسم خواهد شد.

Size (mm)	شماره
3.0in (75mm)	-
1.5in (37.5mm)	No. 16 (1.18mm)
3/4in (19mm)	No. 30 (600µm)
3/8in (9.5mm)	No. 50 (300µm)
No. 4 (4.75mm)	No. 100 (150µm)
No. 8 (2.36mm)	NO.۲۰۰ (۷۵µm)

- **انواع آزمايش الك:**
- **روش خشك:**

- در اين روش مقداري از خاك را برداشته، دانه هاي چسبنده و كلوخي شكل را خرد مي كنند و در مجموعه اي از الك ها قرار مي دهند.
- با لرزش اين مجموعه به مدت حدود 12 دقيقه، درصد وزني مقادير باقي مانده روي هر الك را مشخص و منحني دانه بندي براي درصد عبوري از هر الك در مقياس نيمه لگاريتمي رسم مي گردد.
- اين روش براي خاك هاي درشت دانه موثرتر است، چرا كه شكل دانه ها به كره نزديكتر است و دانه ها مجزا از يكديگر مي باشند.
- **روش تر:**
- در اين روش خاك ريزدانه را روي الك 200 مي ريزند، با فشار آب، الك و خاك را تا جايي كه آب خارج شده شفاف و رقيق شود، مي شويند و بعد آنرا خشك مي كنند . سپس دانه هاي مانده روي آن را براي آزمايش الك و بقيه را براي هيدرومتري به كار مي برند.

- **انتخاب مقدارنمونه:**
- قدم اصلي تعيين مقدار خاك لازم براي آزمايش است كه اين مقدار بستگي به قطر درشت ترين دانه خاك دارد .
- اگر اين قطربا D نمايش داده شود و W وزن خاک لازم برای آزمايش باشد، در ان صورت رابطه 200D<W<600D ، كه در ان W به گرم و D به ميلی متر است وزن لازم براي آزمايش را تعيين مي كند.
- Dدر حقيقت قطر سوراخ ريزترين الكي است كه بزرگ ترين ذره از آن عبور مي كند.

D بزرگترین قطر اسمی	۳/۸ in	۳/٤ in	۱ in	۱۱/۲ in	۲ in	۳ in
دانه ها (mm)	۹/٥>	۱۹>	۲٥/٤>	۳۸/۱>	٥۰/۸>	۷٦/۲>
حداقل وزن نمونه لازم (gr)	٥۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰	۳۰۰۰	٤۰۰۰	٥۰۰۰

- در خاك هاي ماسه اي ريز عموماً 115gr و براي خاك هاي سيلتي و رسي تقريبا 65gr به عنوان وزن اوليه براي آزمايش در نظر گرفته می شود.

- **روش انجام آزمایش:**
- در ابتدا الک های مورد نظر را انتخاب می کنیم ، در این آزمایش گروه تعداد ۷ الک با استاندارد آمریکایی و با شماره های ۲۰۰،۱۰۰،۵۰،۳۰،۱۶،۱۰ و ٤ انتخاب کرده است.
- پس از انتخاب الک ها و تميز كردن آنها ، تک تک الک ها را وزن مي كنيم. اين روش براي بدست آوردن وزن خاک مانده بر روي الک، از اينكه بعد از ماندن خاک ، آن را وزن كنيم دقت بيشتري دارد.
- الک ها را به ترتيب شماره از كوچک تا بزرگ بر روي هم مي چينيم ، به طوري كه الک شماره 200 كه چشمه هاي آن از بقيه كوچک تر است در زير قرار گيرد. در زير الک ها سيني مخصوص الک را قرار مي دهيم تا خاک رد شده از تمامي الک ها بر روي آن باقي بماند.
- مقدار يک كيلو از خاک مورد نظر را با ترازو وزن مي كنيم و بر روي الک اول (شماره 4) ميريزيم و بر روي دستگاه تكان دهنده قرار ميدهيم. براي اين منظور به درپوش الک هم نياز داريم كه بر روي الک ها قرار دهيم. مدت 10 دقيقه براي تكان دادن الک ها منظور مي كنيم. سپس الک ها را با خاک روي آن مجددا وزن مي كنيم و در جدولي ثبت مي كنيم.

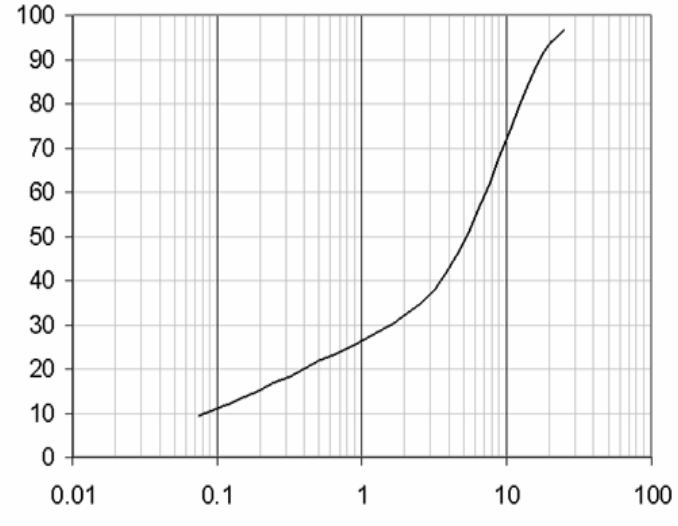
شماره الک	وزن الک	وزن مجموع	وزن خاک	وزن تصحیح شده	درصد مانده	درصد رد شده
4						
10						
16						
30						
50						
100						
200						
زیر الک						
مجموع						

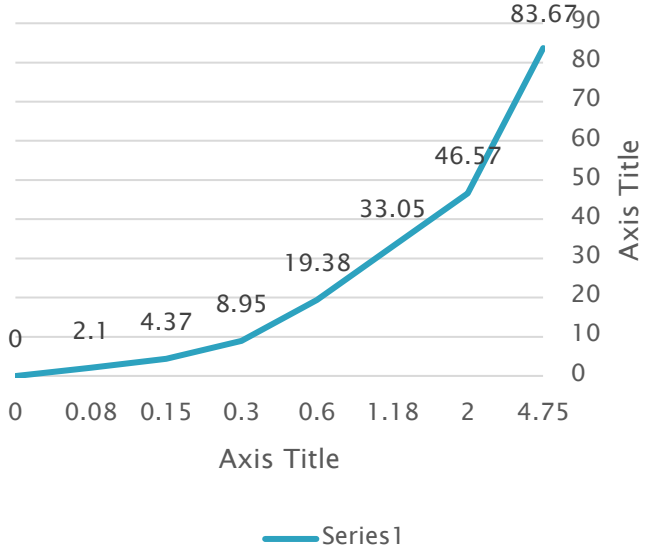
- همانطور که مشاهده مي کنيد ، در جدول ستوني با عنوان وزن تصحيح شده وجود دارد. اعداد اين ستون از تقسيم کردن اختلاف وزن اوليه خاک با مجموع اوزان باقي مانده بر روي الک ها بدست آمده است.
- پس از اتمام آزمايش و محاسبه مقادير باقي مانده روي هر الك، درصد آنها نسبت به وزن کل نمونه W سنجيده مي شود.
- سپس براي هر الك، درصد تجمعي مانده روي آن به دست مي آيد.
- با کم کردن اين مقادير از عدد100 درصد عبوري از هرالك محاسبه مي شود.

شماره الک	وزن الک	وزن مجموع	وزن خاک	وزن تصحیح شده	درصد مانده	درصد رد شده
4	494.8	657.2	162.4	163.3375	16.33	83.67
10	345	715	370	370.9375	37.1	46.57
16	463.5	597.8	134.3	135.2375	13.52	33.05
30	442.8	578.6	135.8	136.7375	13.67	19.38
50	420.8	524.2	103.4	104.3375	10.43	8.95
100	374.4	419.3	44.9	45.8375	4.58	4.37
200	351.9	373.6	21.7	22.6375	2.26	2.1
زیر الک	416.5	436.5	20	20.9375	2.1	0
مجموع			992.5	1000	100	

رسم نمودار:

- در نمودار، محور عمودی به درصد رد شده از الک اختصاص دارد و محور افقی که دارای مقیاس لگاریتمی است اندازه دانه ها را بیان می کند.





اندازه دانه های مربوط به هر درصد کوچک تر را میتوان مستقیما از منحنی دانه بندی به دست آورد، D10,D30,D60مترادف با قطر دانه هایی هستند که به ترتیب ۶۰و ۳۰ و ۱۰ درصد دانه های خاک از آن که کوچکتر می باشند.

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

$$C_c = \frac{D_{30}^{\,2}}{D_{10} \times D_{60}}$$

براي خاك شني خوب دانه بندي شده: $C_U \geq ٤$ و $١ \leq C_C \leq ٣$

براي خاك ماسه اى خوب دانه بندي شده: $C_U \geq ٦$ و $١ \leq C_C \leq ٣$

آزمایش هیدرومتریHydrometer Analysis

- **مقدمه** :توزيع دانه بندي دانه هاي درشت خاك (بزرگتر از اندازه 0.075 برابر با اندازه الک 200) با استفاده از روش دانه بندي با الك تعيين مي شود، ولي براي تعيين درصد اندازه ذرات ريز خاك بايد از روش هيدرومتري استفاده شود.
- دانه بندی خاکهای ریزدانه را می توان با استفاده از روش ته نشینی تعیین کرد. این روش مبتنی برقانون استوکس است که مربوط به سرعت سقوط ذرات کروی شکل معلق در مایعات می باشد. ذرات بزرگتر سرعت سقوط بیشتری دارند و ذرات کوچکتر با سرعت کمتری ته نشین می شوند.

چگالی سنج یا هیدرومتر:

- چگالی سنج معمولاً از شیشه ساخته شده و شامل یک تنه استوانه ای شکل و یک حباب است با جیوه یا گلوله های سرب وزنه شده است.

- هیدرومتر یا چگالی سنج برای اندازه گیری وزن مخصوص (یا چگالی نسبی)مایعات استفاده می شود که آن نسبت چگالی مایع به چگالی آب است.

- عملکرد هیدرومتر بر پایه قانون ارشمیدس است که یک جامد معلق در سیال بوسیله یک نیرو برابر وزن سیال جا به جا شده شناور میماند و هرچه چگالی ماده کمتر باشد چگالی سنج بیشتر فرو می رود.

- چگالي سنج در دو نوع 151H و 152H ميباشد كه بر حسب دو مقياس متفاوت درجه بندي شده اند.چگالي سنج 152 H برحسب گرم در ليتر خاك با گرم در 1000 سانتيمتر مكعب خاك و از -5 تا 60 درجه بندي شده است.

- چگالي سنج 151H برحسب وزن مخصوص ذرات جامد در آب و از 1 تا 1.038 گرم بر سانتيمتر مكعب درجه بندي شده است.
- هر دوي اين چگالي سنجها براي دماي 20 درجه سانتيگراد و وزن مخصوص 1 كاليبره و تنظيم شده اند.

۳

دارای استانداردهای A.S.T.M. D 422 (E100)

هیدرومترهای خاک

این هیدرومترها برای کشش سطحی متوسط، کالیبره شده اند. (55mN/m)

سطح پایینی تقعر خوانده شود.

۳

D 038

		Serie	Range Sp.Gr
Temp.	68/68°F	151H62	0.995 - 1.038
Division	0.001 Sp.Gr		
Accuracy	0.001 Sp.Gr		
Length	280 mm		

D 039

		Serie	Range g/l
Temp.	68°F	152H62	-5 +60
Division	1 g/l		
Accuracy	1 g/l		
Length	280 mm		

ماده جدا ساز:

نام ماده جدا کننده	گرم در لیتر	فرمول شیمیائی
سدیم هگزا متا فسفات	۴۵/۷	$NaPo_3$ or $(NaPo_3)6$
سدیم پلی فسفات	۲۱/۹	$Na_{12}P_{10}o_{31}$
سدیم تری پلی فسفات	۱۸/۸	$Na_5P_3o_{10}$
سدیم تترا فسفات	۳۵/۱	$Na_6P_4o_{13}$

- ساخت محلول هگزا متا فسفات سدیم ۴٪:
- پودر هگزامتافسفات سدیم را به اندازه40 gr توسط ترازو وزن می کنیم و1000 cc آب 40gr پودر هگزامتافسفات راکه وزن کردیم اضافه می کنیم به خوبی مخلوط می کنیم تا محلول4% تولید شود.

شرح آزمایش:

- cc125 ازمحلول جداساز ریزدانه 4% را با 50gr خاک عبوری از الک200 را داخل ظرف همزن ریخته و به مدت 5min مخلوط می کنیم لازم به ذکر است که مقداری آب شهری داخل کاسه همزن می ریزیم تا تیغه همزن گیر نکند.

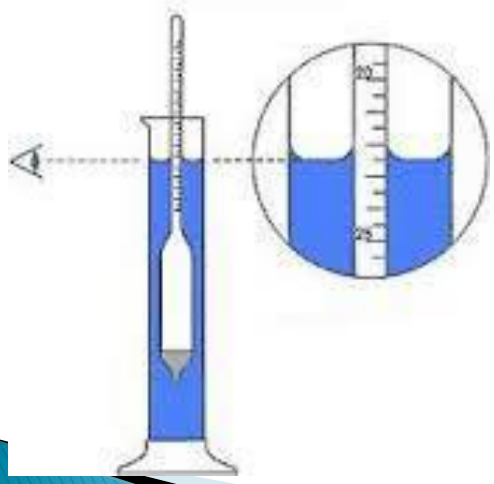
- پس از گذشت 5 دقیقه ظرف همزن را برداشته و محلول داخل آن را داخل یک استوانه مدرج می ریزیم سپس توسط آب شهری حجم محلول داخل بشر را به حجم cc 1000می رسانیم.
- برای خواندن صحیح و درست قرائت ها لازم است یک محلول شاهد بسازیم. برای ساختن آن cc 125محلول هگزامتافسفات را داخل استوانه مدرج ریخته و سپس توسط آب شهری حجم آن را به cc 1000می رسانیم ودرون آن خاک نمی ریزیم.

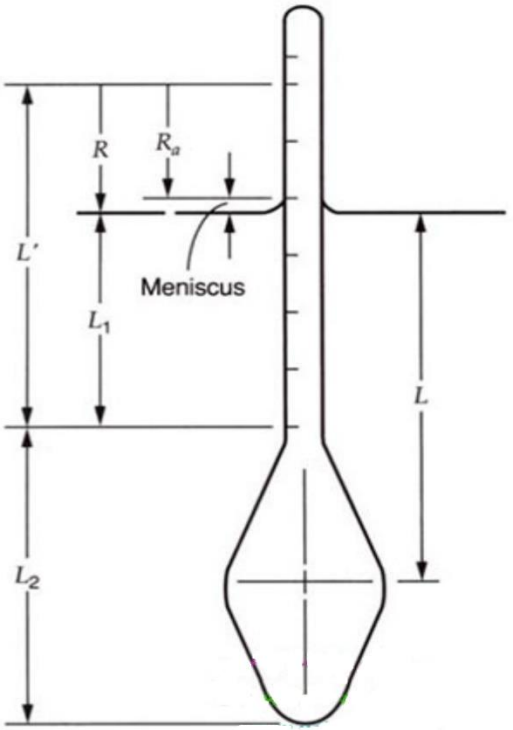
- هردو استوانه را در مدت زمان 60s به اندازه 60 بار تکان داده و مخلوط می کنیم و از 30sبعد از تکان دادن قرائت های خود را توسط هیدرومتر و دماسنج شروع می کنیم.

- حال دماسنج را داخل استوانه محلول شاهد قرارمی دهیم و دما رامی خوانیم.

- قرار دادن هیدرومتر داخل محلول شاهد و داخل محلول اصلی جهت قرائت اعداد قرائت هیدرومتر را در بازه های زمانی ۲، ۳ ،۵، ۳۰، ۶۰، ۲۵۰ و ۱۴۴۰ دقیقه (که از آغاز ته نشینی خاک محاسبه می گردد) انجام می دهیم.
- باید هیدرومتر را ۲۰ تا ۲۵ ثانیه قبل از قرائت، وارد استوانه مدرج حاوی محلول جداکننده و خاک کنیم و پس از هر بار قرائت از محلول خارج کنیم.

- **تصحیح خطاهای ایجاد شده در روند انجام آزمایش هیدرومتری خاک:**
- خطای Composite Correction
- 1- تمام معادلات و روابط این آزمایش بر اساس استفاده از آب مقطر و بدون املاح (با وزن مخصوص ۱ گرم بر سانتی متر مکعب)، تنظیم شده است. با این وجود به دلیل استفاده از محلول جدا کننده در مخلوط آب و خاک، وزن مخصوص آب بیشتر از ۱ بوده و این موضوع باعث ایجاد خطا در محاسبات خواهد شد.
- ۲- هر دو مدل هیدرومتر برای دمای استاندارد ۲۰ درجه سانتی گراد، تنظیم شده اند و هر گونه تغییرات دمای محیط، در مقدار قرائت واقعی هیدرومتر (Actual Hydrometer Reading)تاثیرخواهد گذاشت.
- 3- به دلیل نیروی کشش سطحی، سطح آزاد آب در مجاورت هیدرومتر شکل منحنی با جهت تقعر به سمت بالا قرار میگیرد.





در تراز مشخص شده Rبایستی قرائت هیدرومتر انجام شود اما به دلیل تیره رنگ بودن مخلوط امکان قرائت تراز مشخص شده وجود ندارد و قسمت بالای منحنی مینیسک Raقرائت می شود و سپس با اعمال خطای مینیسک، این قرائت تصحیح می شود.

برای به دست آوردن مقدار خطای مینیسک، هیدرومتر را درون استوانه شاهد قرار داده و اختلاف سطح پایین و بالای منحنی مینیسک آب را بدست می آوریم. این عدد نشان دهنده خطای مینیسک می باشد

مقدار Ccبرای هیدرومتر ۱۵۱ Hبرابر اختلاف عدد قرائت شده از استوانه شاهد با عدد ۱ و برای هیدرومتر ۱۵۲ Hبرابر اختلاف عدد قرائت شده با عدد ۰ می باشد

نحوه محاسبات آزمایش هیدرومتری خاک

۱ - تصحیح قرائت های واقعی هیدرومتر:

R=Ra+Cc

- Rمقدار قرائت انجام شده با اعمال تصحیح Composite Correction
- Raمقدار قرائت انجام شده در استوانه رسوب گذاری
- Ccخطای مینیسک قرائت شده با استفاده از استوانه شاهد

۲- محاسبه درصد خاک باقیمانده در مخلوط در ترازی که هیدرومتر چگالی مخلوط را اندازه گیری می کند:

برای هیدرومتر H۱۵۱داریم:

$$P = [(100\,000/W) \times G/(G - G_1)](R - G_1)$$

همچنین در صورت استفاده از هیدرومتر H۱۵۲ داریم:

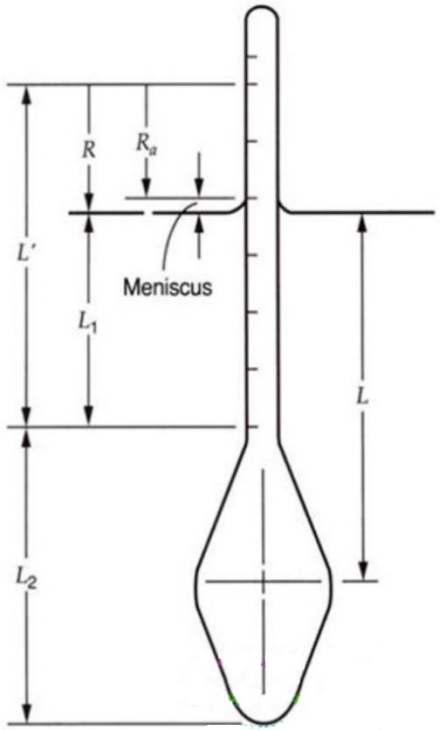
$$P = (Ra/W) \times 100$$

$$P = [(100\,000/W) \times G/(G - G_1)](R - G_1) \qquad P = (Ra/W) \times 100$$

- p درصد خاک باقیمانده در مخلوط در ترازی که هیدرومتر چگالی مخلوط را اندازه گیری می کند.
- Rقرائت انجام شده برای هیدرومتر با اعمالComposite Correction
- αضریب تصحیحی که در رابطه مربوط به هیدرومتر ۱۵۲ Hکاربرد دارد و از طریق جدول محاسبه می شود.
- Gهمان Specific Gravity است که به صورت نسبت وزن مخصوص دانه های جامد خاک به وزن مخصوص آب تعریف می شود.
- G1وزن مخصوص محلولی می باشد که دانه های جامد خاک در آن غوطه ور می باشند. این ضریب با توجه به اینکه از آب مقطر استفاده شده است برابر ۱ است

Specific Gravity	Correction Factor
2.95	0.94
2.90	0.95
2.85	0.96
2.80	0.97
2.75	0.98
2.70	0.99
2.65	1.00
2.60	1.01
2.55	1.02
2.50	1.03
2.45	1.05

- مقدار L را می توان بر اساس مقدار قرائت واقعی هیدرومتر (R_a) طبق جدول به دست آورد.



Hydrometer 151H		Hydrometer 152H			
Actual Hydrometer Reading	Effective Depth, *L*, cm	Actual Hydrometer Reading	Effective Depth, *L*, cm	Actual Hydrometer Reading	Effective Depth, *L*, cm
1.000	16.3	0	16.3	31	11.2
1.001	16.0	1	16.1	32	11.1
1.002	15.8	2	16.0	33	10.9
1.003	15.5	3	15.8	34	10.7
1.004	15.2	4	15.6	35	10.6
1.005	15.0	5	15.5		
1.006	14.7	6	15.3	36	10.4
1.007	14.4	7	15.2	37	10.2
1.008	14.2	8	15.0	38	10.1
1.009	13.9	9	14.8	39	9.9
1.010	13.7	10	14.7	40	9.7
1.011	13.4	11	14.5	41	9.6
1.012	13.1	12	14.3	42	9.4
1.013	12.9	13	14.2	43	9.2
1.014	12.6	14	14.0	44	9.1
1.015	12.3	15	13.8	45	8.9
1.016	12.1	16	13.7	46	8.8
1.017	11.8	17	13.5	47	8.6
1.018	11.5	18	13.3	48	8.4
1.019	11.3	19	13.2	49	8.3
1.020	11.0	20	13.0	50	8.1
1.021	10.7	21	12.9	51	7.9
1.022	10.5	22	12.7	52	7.8
1.023	10.2	23	12.5	53	7.6
1.024	10.0	24	12.4	54	7.4
1.025	9.7	25	12.2	55	7.3
1.026	9.4	26	12.0	56	7.1
1.027	9.2	27	11.9	57	7.0
1.028	8.9	28	11.7	58	6.8
1.029	8.6	29	11.5	59	6.6
1.030	8.4	30	11.4	60	6.5
1.031	8.1				
1.032	7.8				
1.033	7.6				
1.034	7.3				
1.035	7.0				
1.036	6.8				
1.037	6.5				
1.038	6.2				

محاسبه اندازه ذرات خاک(D) با واحد میلی متر

$$D = \sqrt{[30n/980(G - G_1)] \times L/T}$$

$$D = K\sqrt{L/T}$$

ηضریب ویسکوزیته یا روانگرایی سوسپانسیون (محلولی که خاک و محلول جداکننده در آن غوطه ور می شوند)،

L عمق موثر با واحد سانتی متر

T زمان سپری شده از آغاز زمان ته نشین شدن خاک تا زمان قرائت با واحد دقیقه

K ضریبی است که طبق جدول به دست می آید

Temperature,° C	Specific Gravity of Soil Particles								
	2.45	2.50	2.55	2.60	2.65	2.70	2.75	2.80	2.85
16	0.01510	0.01505	0.01481	0.01457	0.01435	0.01414	0.01394	0.01374	0.01356
17	0.01511	0.01486	0.01462	0.01439	0.01417	0.01396	0.01376	0.01356	0.01338
18	0.01492	0.01467	0.01443	0.01421	0.01399	0.01378	0.01359	0.01339	0.01321
19	0.01474	0.01449	0.01425	0.01403	0.01382	0.01361	0.01342	0.1323	0.01305
20	0.01456	0.01431	0.01408	0.01386	0.01365	0.01344	0.01325	0.01307	0.01289
21	0.01438	0.01414	0.01391	0.01369	0.01348	0.01328	0.01309	0.01291	0.01273
22	0.01421	0.01397	0.01374	0.01353	0.01332	0.01312	0.01294	0.01276	0.01258
23	0.01404	0.01381	0.01358	0.01337	0.01317	0.01297	0.01279	0.01261	0.01243
24	0.01388	0.01365	0.01342	0.01321	0.01301	0.01282	0.01264	0.01246	0.01229
25	0.01372	0.01349	0.01327	0.01306	0.01286	0.01267	0.01249	0.01232	0.01215
26	0.01357	0.01334	0.01312	0.01291	0.01272	0.01253	0.01235	0.01218	0.01201
27	0.01342	0.01319	0.01297	0.01277	0.01258	0.01239	0.01221	0.01204	0.01188
28	0.01327	0.01304	0.01283	0.01264	0.01244	0.01255	0.01208	0.01191	0.01175
29	0.01312	0.01290	0.01269	0.01249	0.01230	0.01212	0.01195	0.01178	0.01162
30	0.01298	0.01276	0.01256	0.01236	0.01217	0.01199	0.01182	0.01165	0.01149

زمان (دقیقه)t	دمای آب استوانه شاهد	قرائت استوانه شاهد	CC	دمای مخلوط آب وخاک	قرائت واقعی Ra	قرائت تصحیح شده R	L(m)
2							
5							
15							
30							
60							

زمان (دقیقه)t	L	L/t	K	D(mm)	p
2					
5					
15					
3					
60					

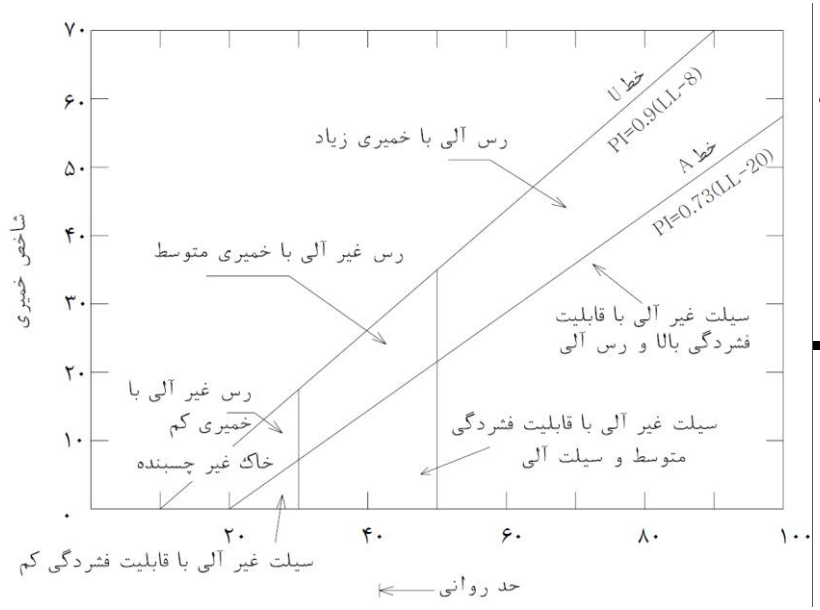
آزمايش حد رواني و حد خميري

- خاك هاي ريزدانه با افزايش مقدار آب جذب شده حالات مختلفي به خود مي گيرند .افزايش آب باعث پوشيده شدن دانه ها با يك لايه آب جذب سطحي مي شود .با افزايش آب، ضخامت لايه آب دور دانه ها اضافه و لغزش دانه ها روي يكديگر راحت تر مي شود .
- بنابر اين رفتار خاك عملاً به ميزان آب داخل مجموعه بستگي دارد.
- خاك ريزدانه بر حسب درصد رطوبتش مي تواند در يكي از حالات جامد، نيمه جامد، خميري و مايع دسته بندي شود.

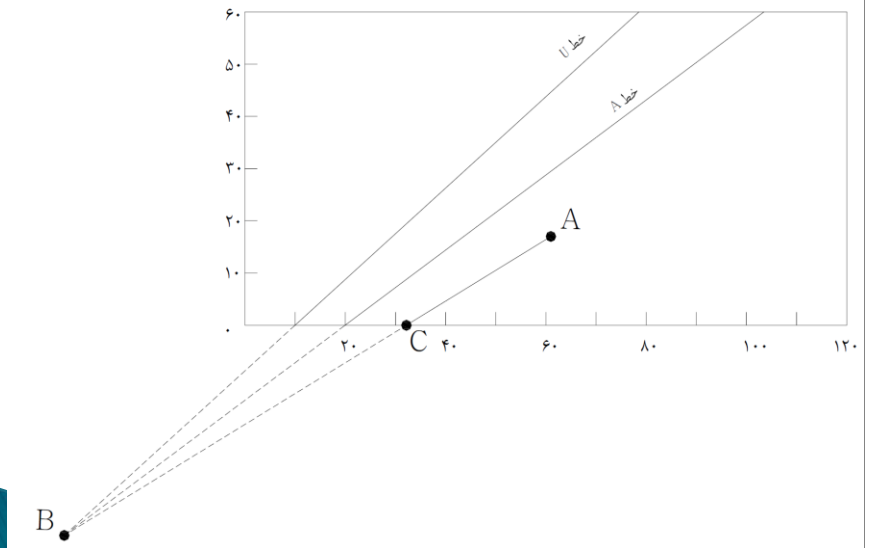
میزان رطوبت خاک	حالت مکانیکی (ورز داده شده)	درجه سختی (ورز داده شده)
PI=LL-PL LL- حد روانی PL- حد خمیری SL- حد انقباض	مایع	خیلی شل
	لزج (شروع حالت خمیری)	شل
	خمیری	متوسط
	شروع حالت نیمه جامد	-
	نیمه جامد	سفت
	شروع حالت جامد	-
	جامد	خیلی سفت
	جامد	سخت

نمودار خميري

- كاساگرانده در مورد رابطه بين شاخص خميري و حد رواني چندين نوع از خاكهاي طبيعي، مطالعاتي انجام داده و بر اساس نتايج اين آزمايش ها، نموداري را به نام نمودار خميري را مطابق شكل پيشنهاد كرده است.



کاربرد خط A وخط U تعيين حد انقباض خاك است . كاساگرانده معتقد است حد انقباض خاك در صورت معلوم بودن شاخص خميري و حد رواني به طور تقريبي تعيين مي شود.

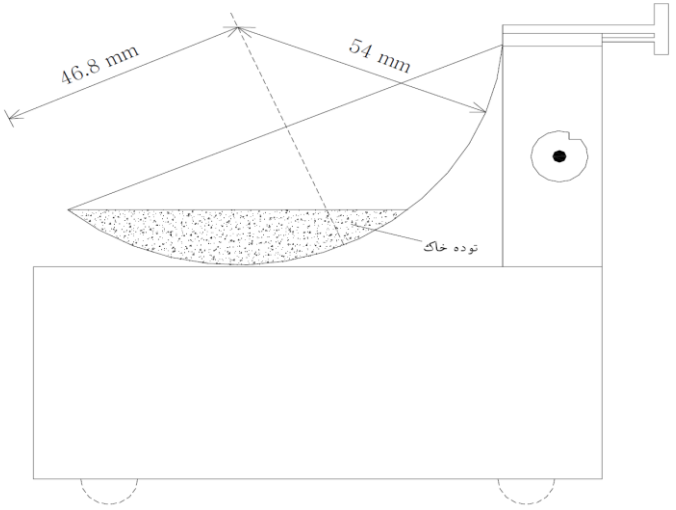


الف) از محل برخورد شاخص خميري و حد رواني خاك، نقطه A مشخص مي شود .

ب) امتداد خط A وخط U همديگر را در نقطه Bقطع مي كنند.

ج)خط ABمحور حد رواني را در نقطه Cبه عنوان حد انقباض SLمحسوب مي شود.

آزمايش تعيين حد رواني



دستگاه كاساگرانده وسيله اي مكانيكي با يك پياله برنجي به قطر داخلي 54 ميلی متر ضخامت 2ميلی متر و وزن 200 گرم است .

اين پياله از پشت بوسيله سنجاقي روي دو پايه اي كه خود بر سكويي از جنس پلاستيك سخت قرار دارد، لولا مي شود.

با گرداندن يك دسته، پياله روي لولا مي چرخد، بالا مي رود .سپس پايين افتاده و در حقيقت ضربه اي به كف آن زده مي شود.

ارتفاع سقوط پياله در حد استاندارد قابل تنظيم است.همراه با اين وسيله ميله اي نيز براي ايجاد شكاف استاندارد در داخل نمونه خاك محتوي پياله تعبيه شده است

ميله شيار دهنده مي تواند شكافي با مقطع ذوزنقه اي كه قاعده كوچك آن در پايين به عرض 2ميلی متر قاعده بزرگ آن در بالا به عرض 11 ميلی مترو ارتفاع آن 8ميلی متراست، ايجاد كند.

روش انجام آزمايش:

نمونه انتخابي از مصالح مورد نظر بايد به اندازه اي باشد كه قسمت عبوري از الك شماره 40 آن حدود150 تا 200 گرم وزن داشته باشد .

الف) وزن ظرف مخصوص تعيين درصد رطوبت تعيين ميگردد W1

ب)نمونه انتخابي از خاك را در ظرف تبخير قرار داده و به آن مقداري آب اضافه و خاك چنان مخلوط مي گردد تا به صورت خمير يكنواخت درآيد.

پ) قسمتي از نمونه خاك آماده شده در جام كاساگرانده قرار گرفته و در حالي كه جام روي پايه ثابت است، با كاردك، سطح خاك داخل جام صاف مي شود .اين عمل به طوري انجام مي شود كه عمق خاك در گودترين نقطه 10 ميلی متر باشد.

ج)خاک اضافي باقي مانده در يك ظرف جداگانه قرار گرفته و روي آن را يك دستمال خيس پوشانده شود تا رطوبت را از دست ندهد.

ت) با استفاده از شياركش، روي خاك داخل جام شياري در امتداد محور تقارن جام به وجود آورده مي شود .براي اين كار، شياركش روي سطح خاك قرار داده شود و روي يك منحني حركت داده مي شود .

در خاك هايي كه با اين حركت نمي توان شيار بوجود آورد، بايد اين كار را چندين بار تكرار كرد.

ث) دسته دستگاه با سرعتي در حدود 2 ضربه در هر ثانيه چرخانده مي شود .با اين كار، جام بالا رفته و فرو مي افتد و به اين وسيله ضربه اي بر جام وارد مي شود. اين كار بايد تا وقتي كه شيار در طولي به اندازه 13 mmبسته شود، تكرار شود.

ج) تعداد ضربات لازم براي بسته شدن شيار يادداشت مي شود .

د) مقداري از خاك داخل جام كه شامل قسمت بسته شده شيار است، براي تعيين درصد رطوبت، داخل ظرف مخصوص تعيين درصد رطوبت، ريخته شده و در پوش آن بسته مي شود .سپس وزن ظرف و خاك مرطوب W2را تعيين مي شود .

ح) جام خالي شده، جام و شياركش تميز و براي مرحله بعد آماده مي گردد.

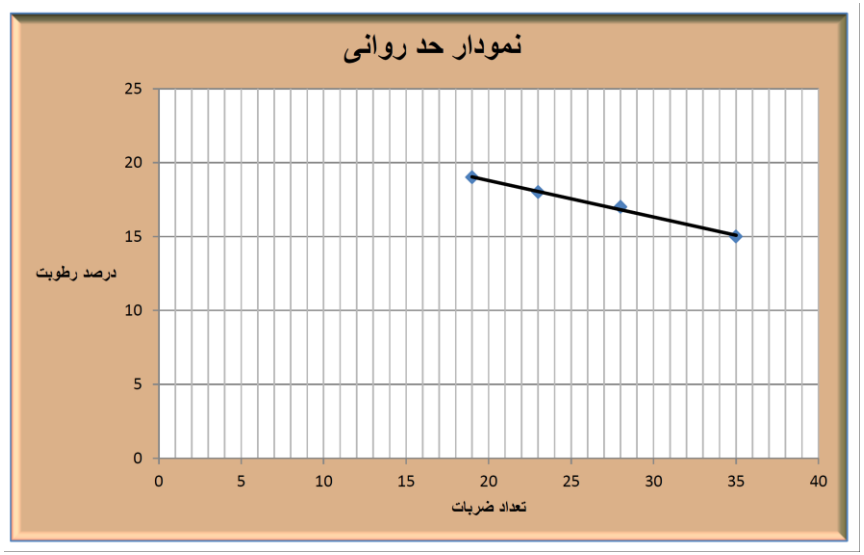
ر) اين عمل بايد براي تعداد ضربات بين 15 تا 25 و 20 تا ۳۰ و 25 تا 35 انجام شود.

ز) درصد رطوبت سه نمونه تعيين مي شود.

- نكته :
- –اگر در اين آزمايش خاك روي سطح پياله بلغزد بايد آزمايش را با درصد رطوبت بيشتر تكرار كرد .
- .اگر بعد از چند بارتكرار با درصد رطوبت بالاتر، نمونه خاك همچنان داخل پياله بلغزد و براي بسته شدن شيار هميشه تعداد ضربات كمتر از25 بدست آيد با اين روش نمي توان حد رواني خاك مورد نظر را تعيين كرد و خاك بدون انجام آزمايش حد خميري بعنوان خاك غير خميري معرفي مي گردد.
- –آزمايش هايي كه بيش از 35 ضربه يا كمتر از 15 ضربه داشته باشند يادداشت نخواهند شد
- .درصد رطوبت در تكرارها بايد به گونه اي باشد كه يك آزمايش با 25 تا 35 ضربه، يك آزمايش با 20 تا 30 ضربه و يك آزمايش با 15 تا 25 ضربه بدست

آيد.

- محاسبات :
- منحني درصد رطوبت- لگاريتم تعداد ضربات رسم گردد . اين منحني تقريبا يك خط راست خواهد بود و منحني جريان ناميده ميشود.



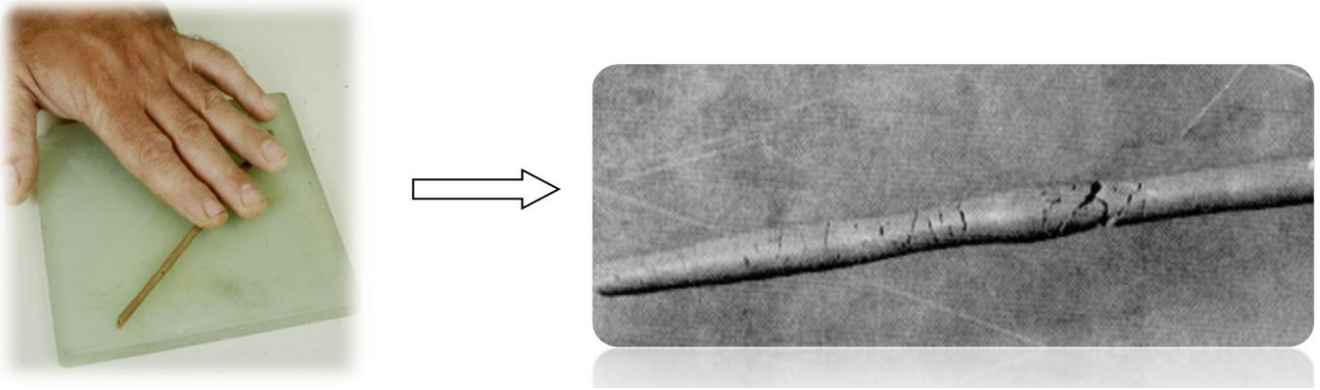
- از اين خط ميزان رطوبت مربوط به 25 ضربه بدست مي آيد .اين درصد رطوبت حد رواني خاك مي باشد.
- حد رواني LLيك خاك را ميتوان از رابطه زير نيز به طور تقريبي به دست آورد.

$$LL = \omega_N \times \left(\frac{N}{25}\right)^{0.121}$$

- ωN برابر با درصد رطوبت مربوط به بسته شدن شيار در طول 12.7 ميلی متر
- اين رابطه براي حالتي كه N بين 20 تا 30باشد، معتبر است

روش آزمايش تعيين حد خميري

- از 20 گرم خاكي كه در آزمايش تعيين حد رواني تهيه شده 1.5 تا 2 گرم برداشته با فشردن بين انگشتان بصورت يك توده بيضي شكل در آورده مي شود .
- اين توده خاكي بين انگشتان يا كف دست و يك صفحه شيشه اي كه بر روي يك سطح صاف وافقي قرار دارد، با فشار كافي غلتانده شده تا قطر فيتيله ايجاد شده در تمام طول آن ثابت باشد.



- وقتي فيتيله به قطر3.2 ميلی متر رسيد وترک خورد رطوبت نمونه را اندازه می گيريم .

آزمايش ارزش ماسه Sand Equivalent

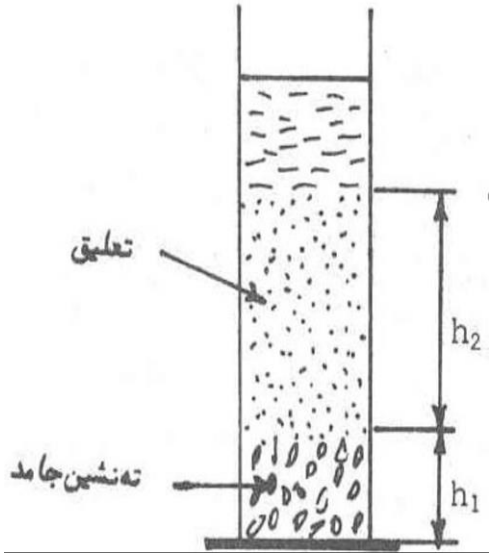
- نسبت ماسه به ريز دانه ها (سيلت و رس) در خاك عاملي مهم در عمليات خاكي و ساختماني محسوب مي شود، زيرا وجود ماسه زياد در مقايسه با ريزدانه در خاك، در زيرسازي راه ها و نيز در احداث سد هاي خاكي، باعث پايين آمدن درصد آب بهينه و رسيدن سريع تر خاك به حداكثر تراكم خود مي شود.
- در آسفالت نيز درصد بالاي ريزدانه موجب مصرف بيش تر نيرو و در نتيجه سست شدن و وارفتن آسفالت زير بارهاي وارد شده ميشود.
- نسبت ماسه به ريزدانه ها در ساخت بتن نيز برمصرف آب، تراكم بتن و نفوذ پذيري و مقاومت در برابر هوازدگي اثر دارد.
- اين آزمايش ويژه خاك هاي با ريزدانه كم است كه با آزمايش حدود اتربرگ، حد رواني و حد خميري آن ها را نمي توان تعيين كرد.(ريزدانه آن ها كم تر از40درصد باشد.)

هدف از اين آزمايش :

- تعيين نسبت ماسه به رس در خاک می باشد.

اصول آزمايش

- مقداري از نمونه مورد نظر را در استوانه مدرجي ريخته و به آن آب ومقدار مواد منعقد كننده اضافه مي شود .



- محلول استوک ترکیبی از گیلیسیرین + فرمالدهید+کلروکلسیم می باشد که با آب رقیق می شود. محلول استوک باعث سریع تر سقوط کردن ذرات می شود.
- پس از مدت معيني ارتفاع درشت دانه ها كه ته نشين شده اند و ارتفاع تمام خاك دراستوانه مدرج اندازه گيري مي شود نسبت اين دو ارتفاع هم ارز ماسه خواهد بود.
- در اين آزمايش، عامل تعيين كننده، ماسه است (نفوذ پذيري زياد، عدم تورم، جذب آب كم، حساسيت كم و ...و) اصولاً براي خاك هايي به كار مي رود كه انديس خميري آن ها كمتر از 4باشد.

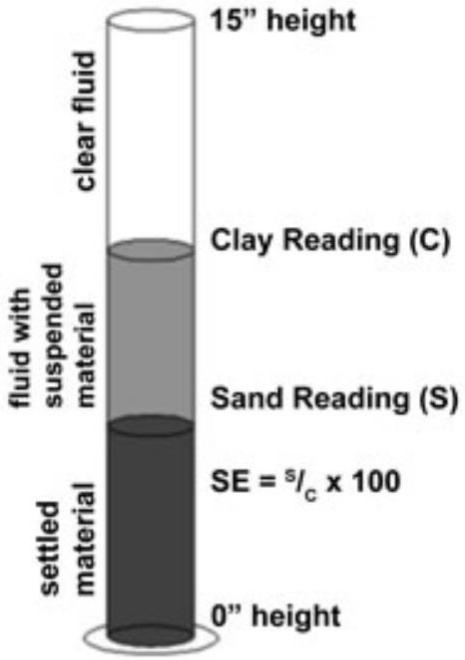
روش انجام آزمایش

- در استوانه آزمايش تا ارتفاع 10 سانتي متر(۴اينچ)محلول شستشو ريخته ومقدار 110 گرم از خاك رد شده از الك شماره 4 نمونه خاك تهيه شده را با قيف در د اخل استوانه بريزيد.
- استوانه را به مدت 10 دقيقه به حال خود به صورت ايستاده قرار دهيد و سپس درپوش آنرا در جاي خود قرار داده وآنرا به حالت افقي بين دو دست بگيريد و به چپ و راست حركت دهيد بطوري كه طول جابجايي استوانه تقريباً 20 سانتي متر باشد.
- در مدت 20 ثانيه نود بار استوانه را به چپ و راست حركت دهيد.
- يا در مدت ۳۵ ثانيه 100 حركت رفت وبرگشت در دستگاه شيكر به محلول وارد شود.

- استوانه را بصورت ایستاده قرار دهید و با لوله شستشو که به مخزن محتوي محلول شستشو وصل شده جدار استوانه را بشویید و آنقدر محلول شستشو به استوانه بریزید تا سطح محلول در داخل استوانه به ارتفاع 38 سانتي متر برسد.
- استوانه آزمایش را به مدت 20 دقیقه به صورت ایستاده بدون هیچ گونه لرزش در جايي قرار دهید.
- پس از مدت 20 دقیقه ارتفاع h_2(ارتفاع کل خاك)و (ارتفاع درشت دانه ها)را از روي استوانه مدرج اندازه بگیرید.

- سنبه فولادي را داخل استوانه فرو برده و کف سنبه را روي دانه ها قرار دهید.ارتفاع h1(ارتفاع درشت دانه ها) را اندازه بگیرید.

- $SE = \frac{h_1}{h_1+h_2} = \frac{\text{عددماسه}}{\text{عددرس}}$



کارهای ساختمانی	مصالح بتن	مصالح بتن آسفالتی	لایه اساس	لایه زیر اساس	لایه زهکش
درصد SE	۷۰<	۵۰<	۳۰<	۲۵<	۴۰<

Specific Gravity of Soil Solids آزمایش تعیین چگالی دانه های جامد خاک

- چگالي ويژه يا توده ويژه يك خاك يا Gs عبارت از نسبت وزن حقيقي حجم مشخصي از ذرات خاك به وزن حقيقي همان حجم آب مقطر در دماي ۴درجه سانتی گراد است .
- وزن مخصوص ويژه خاك اغلب براي ارتباط وزن به حجم خاك به كار مي رود .
- در آزمايش تراكم، استفاده از وزن مخصوص ويژه خاك ضروري است.
- در مسائلي چون نشست و پايداري در مهندسي خاك استفاده مي شوند.
- اين آزمايش براي محاسبه وزن مخصوص خاكهايي از الك شماره ۴ عبور مي كند مناسب است.

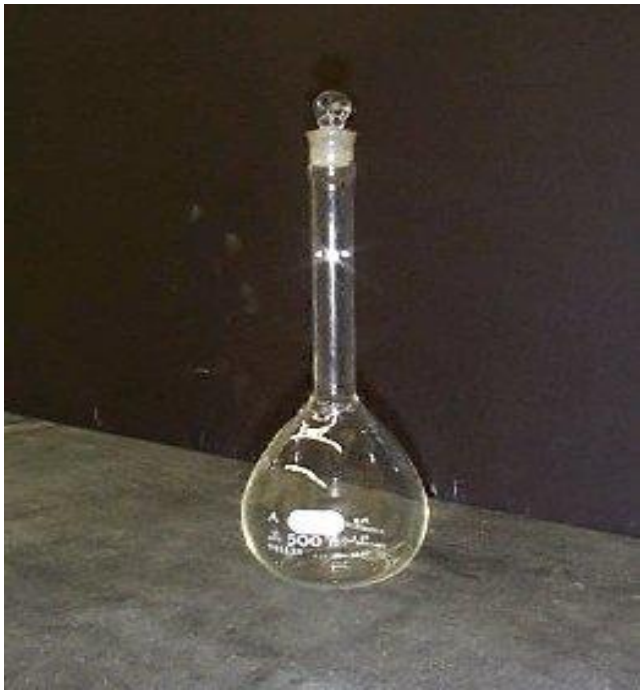
- وزن مخصوص ويژه اكثر كاني هاي خاك در دامنه اي بين 2.4 تا 2.9 تغيير می کند
- معادله مشخصه Gs به صورت زير است

$$Gs = \frac{\gamma_s}{\gamma_\omega}$$

تهيه نمونه براي انجام آزمايش:

- نمونه مورد آزمايش مي تواند از خاك خشك شده درگرمخانه يا خاك مرطوب باشد.در هر صورت اين نمونه بايد نماينده اي از كل خاك باشد؛ به عبارت ديگر نمونه بايد به اندازه كافي بزرگ باشد تا وزن حداقل آن در حالت خشك شده درگرمخانه با حالت هاي زير مطابقت داشته باشد:

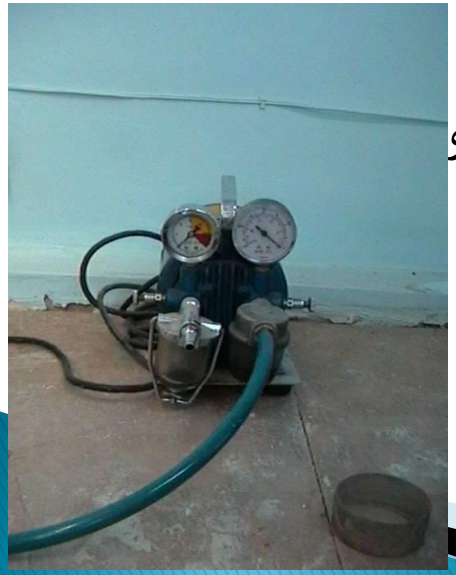
بزرگترين اندازه ذرات (mm)	اندازه الک	حداقل وزن نمونه آزمايشی(gr)
۲	#۱۰	۲۰
٤/۷٥	#٤	۱۰۰



- ب–وزن يك پيكنومتر تميز و خشك و كاليبره شده را اندازه بگيريد و يادداشت كنيد(Wb)

- ج-نمونه را درون پيكنومتر قرارداده و وزن پيكنومتر و نمونه را اندازه بگيريد، آن گاه مقدار وزن پيكنومتررا از اين مقدار كم كنيد تا وزن نمونه خشك شده در گرمخانه به دست آيد.(Ws).

- پ -مقداري آب مقطر كمي بالاتر از سطح نمونه در پيكنومتر ريخته و به مدت 12 ساعت نمونه را رها كنيد تا آب جذب خاك شود.



- ت -با استفاده از روش جوشاندن يا پمپ خلاء هواي محبوس داخل نمو

و آب را خارج كنيد .در روش جوشاندن نمونه در حالي كه به آرامي تكان داده مي شود به مدت 10 داقيقه جوشانده مي شود تا حبابهاي هوا خارج شود

- در روش پمپ خلاء فشار منفي حداكثر 100 ميليمتر جيوه و حداقل به مدت 30دقيقه به نمونه اعمال مي شود.
- براي خاك هاي ماسه اي،احتياجي به حرارت براي خروج حباب هوا نيست و اين كار صرفاً با ارتعاش و به هم زدن ميسر مي شود.
- ث -پيكنومتر را دقيقاً تا زير علامت كاليبره آن از آب مقطر پر كنيد .براي جلوگيري از ايجاد حباب هاي هوا، آب مقطر را به آرامي و به دقت اضافه كنيد .مدتي صبر كنيد تا دماي آب به مقدار ثابتي برسد. پيكنومتر را كاملاً تميز و خشك كرده و وزن آنرا يادداشت كنيد(Wbs)
- پیکنومتر را تا علامت کالیبره پر از آب مقطر کرده و وزن می کنیم .(Ww)

$$G_s = \frac{W_s}{W_s + (W_{bw} - W_{bws})}$$

آزمايش تراكم (پروكتور):

- **مقدمه:**
- در بسياري از سازه هاي خاكي، مثل سدها، ديوارهاي حائل، بزرگ راه ها، فرودگاه ها و ... متراكم كردن خاك، امري ضروري براي بهبود مقاومت خاك است .
- متراكم كردن خاك كه عبارت است از قرار دادن خاك در موقعيت

چگال تر، به چند دليل مطلوب است:

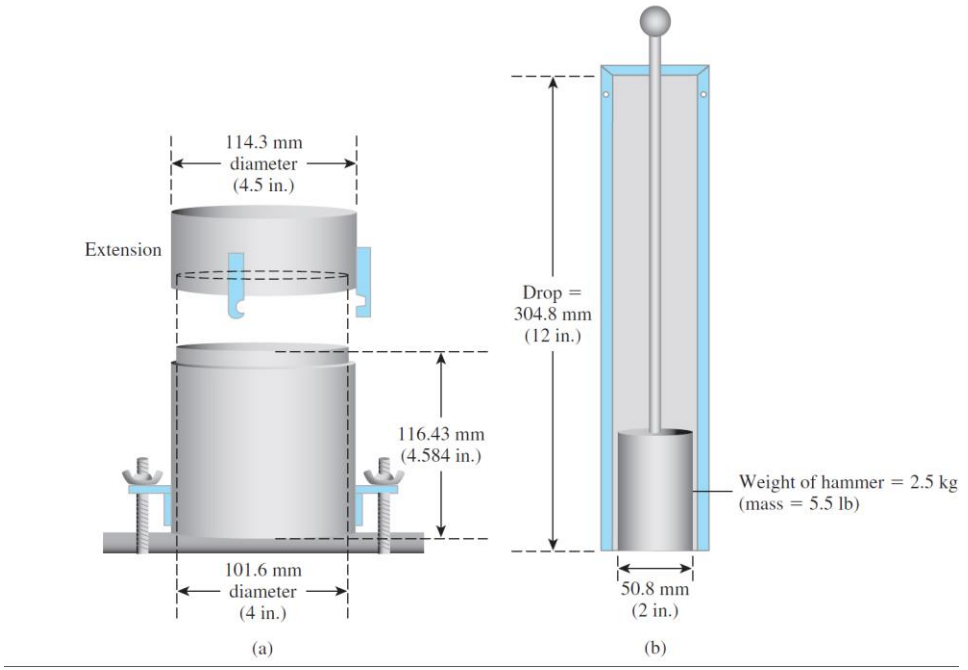
- الف) كاهش نشست ها در آينده
- ب) افزايش مقاومت برشي
- ج) كاهش نفوذپذيري
- د) بهبود خواص مكانيكي خاك
- ه)كاهش قابليت تورم خاك

در كارگاه براي تراكم خاك از غلتك هاي چرخ استوانه اي صاف، غلتك هاي پاچه بزي، غلتك هاي چرخ لاستيكي و غلتك هاي ارتعاشي استفاده مي شود .غلتك هاي ارتعاشي اغلب براي تراكم خاك هاي دانه اي به كار مي روند .تاثير تراكم حاصل از دستگاه هاي فوق، محدود به اعماق 15 تا 30سانتي متر سطحي است.

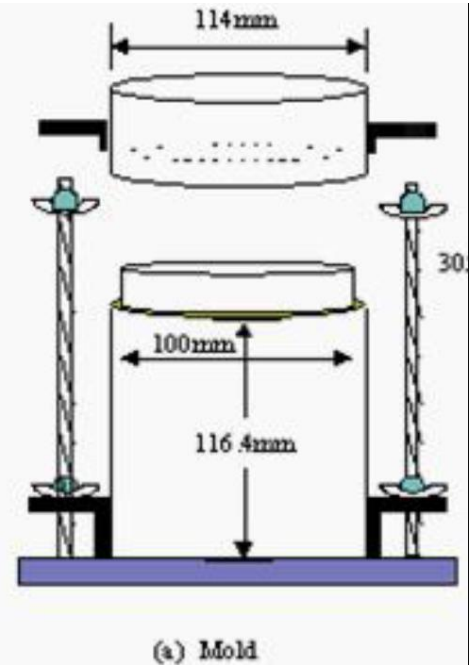
- **هدف:**
- هدف آزمايش تراكم، بدست آوردن درصد رطوبت مناسب براي عمليات اجراي تراكم خاكريزي و مشخص كردن دانسيته مورد انتظار از عمليات كوبش در محل اجرا مي باشد.

- تعیین میزان رطوبتی است که به ازای آن خاک بهترین تراکم را داشته باشد.

- تراکم در قالبي با قطر 4 يا 6 اينچ (101.6یا152.5 میلی متر) و با چكشي به وزن 5.5 پوند(۲۴ نیوتن) که از ارتفاع 12 اینچی (۳۰۵ میلی متر) رها می شود انجام می گیرد.



روش انجام آزمايش:



- 1 –قالب خالي را همراه با ته آن و بدون حلقه ي دور قالب وزن كنيد.
- 2-يك نمونه نماينده ي 2/7 kgاز خاكي كه بايد آزمايش شودهمه ي كلوخه هاي خاك را در يك هاون با چكشي كه سر آن لاستيكي است خرد كنيد و خاك را با الك شماره 4 سرند كنيد.
- 3-با خاكي از الك شماره 4 عبور داده شده با 200 سی سی آب مخلوط كرده ، يك لايه ي 5 سانتی تا ۸سانتی در قالب درست كنيد .

- 4-به ملايمت خاک را فشار دهيد تا سطح آن صاف شود و بعد با 25ضربه ی يکنواخت و پخش شده در تمام سطح با چکش، خاک را متراکم کنيد .ارتفاع سقوط چکش را ۳۰ سانتی متر بگيريد.

- 5-آزمايش را براي لايه هاي دوم و سوم تکرارکنيد.

- 6-حلقه ي دور قالب را برداريد .در برداشتن حلقه ي دور قالب، آن را بچرخانيد تا اتصالي که بين حلقه و خاك ايجاد شده، قبل از آن که آن را از روي قالب برداريد، جدا شود .اين عمل باعث مي شود هنگام برداشتن حلقه ازدور ستون قالب از جابه جايي يا حرکت مقداري از خاك متراکم شده جلوگيري شود.

- عمل صاف کردن روي نمونه ي درون قالب بايد با کشيدن خط کش فلزي روي نمونه صورت گيرد .صاف کردن را از محورمرکزي شروع کنيد و تا لبه هاي قالب کار را ادامه دهيد.

- 7-هنگامي که سطح بالايي نمونه اصلاح شد و تمام خاك هاي شل از اطراف آن پاك گرديد، سيلندر و نمونه را وزن کنيد.

- 8- درصد رطوبت خاک داخل سیلندر را اندازه گیری می کنیم.

$$\omega = \frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1} \times 100$$

9- خاكي را كه از داخل سيلندر خارج كرده ايد، با دست خرد و دوباره با نمونه ي اصلي مخلوط كنيد و مقدار آب آن را تا 3 درصد (200 سی سی) به وسيله ي اسپري افزايش دهيد .

-مراقب باشید که آب را به طور یکسان پخش و خاك را کاملامخلوط کنید.

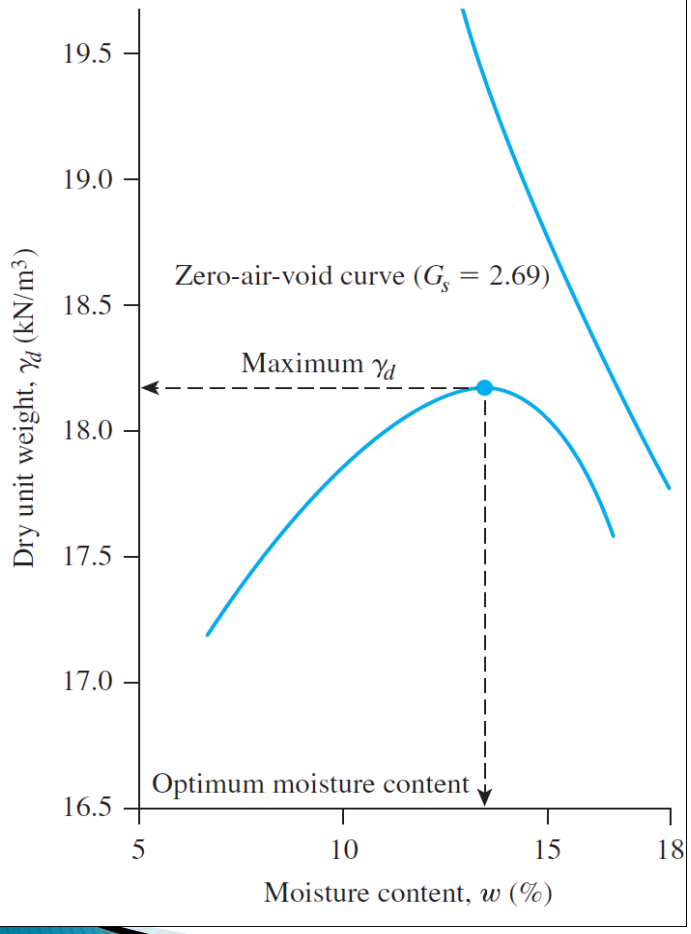
۱۰- مجددا مراحل فوق را تكرار مي كنيم. تا جايي كه وزن استوانه و خاك كه سير صعودي را طي مي كند به يكدفعه وزن كمتري را از مرحله قبل بدست آورد.

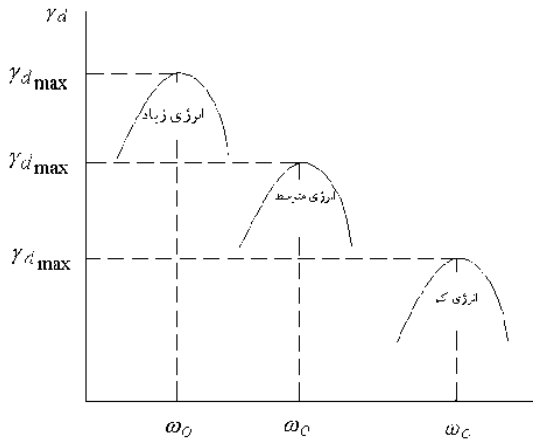
- محاسبات:

- $\gamma_d = \frac{W}{V(1+\omega)}$

- W: وزن خاك متراكم شده مرطوب در استوانه (سیلندر)
- V: حجم قالب
- ω :درصد آب موجود در خاك متراكم شده است

رسم نمودار:

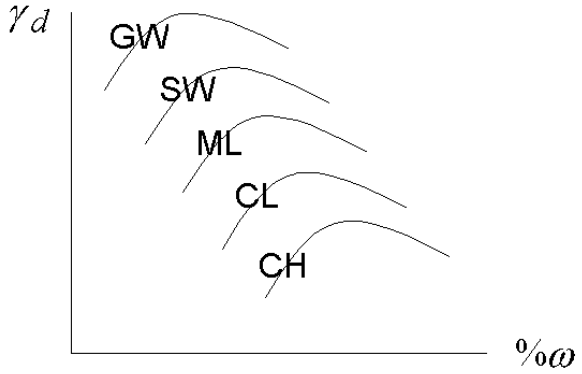




انرژی تراکم:

هر چه انرژی تراکم بیشتر شود با طبع تراکم بیشتر می شود و وزن مخصوص بالاتر می رود

ولی درصد رطوبت بهینه کمتر می شود . با افزایش انرژی تراکم وزن مخصوص افزوده می شود ولی این افزایش تا حد مشخص ادامه دارد وبعد از آن γ_d ثابت می ماند .



نوع خاک :

هرچه خاک درشت تر باشد درصد رطوبت بهینه کمتر و تراکم بهتری صورت می گیرد چون ریز دانه ها سطح جانبی بیشتری دارند پس آب بیشتری نیاز دارند واین اب مانع از تراکم بهتر می شود .

آزمايشCBRيا تعيين نسبت باربري كاليفرنيا

آزمايشCBRرا شخصي به نام پورتر (Porter)در سال1926مطرح كرد و پس از آن در سال1929توسط اداره راه سازي ايالت كاليفرنيا آمريكا گسترش يافت.
آزمايشCBRمتداول ترين روش تعيين مقاومت نسبي خاك ها براي راه سازي است.

با استفاده از نتايج اين آزمايش مي توان ظرفيت باربري خاك بستر و كليه لايه هاي روسازي از قبيل زير اساس و اساس راتعيين و بر اساس آن ضخامت اين لايه ها را بدست آورد.

عدد CBRبه صورت درصد بيان مي شود و به صورت زيرمحاسبه مي شود.

$$CBR = \frac{P_{0.1}}{P} \times 100$$

نیروی استاندارد		فشار استاندارد		نشست استاندارد	
kg	Ib	Kg/cm^2	Ib/in^2	میلیمتر	اینچ
۱۳۶۲	۳۰۰۰	۷۰/۳۰	۱۰۰۰	۲/۵	۰/۱
۲۰۴۰	۴۵۰۰	۱۰۵/۵	۱۵۰۰	۵/۱	۰/۲
۲۵۸۰	۵۷۰۰	۱۳۴	۱۹۰۰	۷/۶	۰/۳
۳۱۳۰	۶۹۰۰	۱۶۲	۲۳۰۰	۱۰/۲	۰/۴
۳۵۴۰	۷۸۰۰	۱۸۳	۲۶۰۰	۱۲/۷	۰/۵

جدول ۱- نشست و فشار استاندارد برای آزمایش

$$CBR = \frac{P_{0.1}}{P} \times 100$$

وسایل آزمایش

- ۱- دستگاه CBR
- ۲- قالب تراکم

۳- چکش

4- جک آهنی

- شرح آزمایش:
- آزمایش به دو روش خشک و اشباع انجام می گیرد که روش زیر، خشک می باشد.
- ۱- برای تهیه نمونه خاک ابتدا مقداری از خاک به میزان ۵,۵ کیلوگرم با حداکثر اندازه دانه هاي 19 ميلييمتر را تهيه كرده
- -در صورتي كه مصالح مورد نظرداراي دانه هاي بزرگتر از 19 ميليمتر باشند براي انجام اين آزمايش بايد دانه بندي مصالح اصلاح شود .اصلاح دانه بندي بصورت حذف دانه هاي بزرگتر از 19 ميليمتر و جايگزين كردن آنها با دانه هاي شني كوچكتر از 19 ميليمتر انجام ميشود به طوري كه درصد ذرات شني بين الك شماره 3 و 4 اينچ در آزمون ثابت بماند.
- در حدود 600 سي سي آب به آن اضافه مي كنيم. خوب خاك را با آب مخلوط مي كنيم تا رطوبتي تقريبا يكنواخت بدست آيد.
- پ –خاك را به رطوبت بهينه به دست آمده از آزمايش هاي تراكم برسانيد و آن را متراكم كنيد.

توضیحات	روش تراکم	
شماره آزمایش	D 698	D 1557
تعداد لایه ها	۳	۵
تعداد ضربه چکش	۵۶	۵۶
وزن چکش(kg)	۲/۵	٤/۵

- ت –قالب محتوي خاك را وزن كنيد و سرباري به وزن بيش از 4.5 كيلوگرم روي آن قرار دهيد.

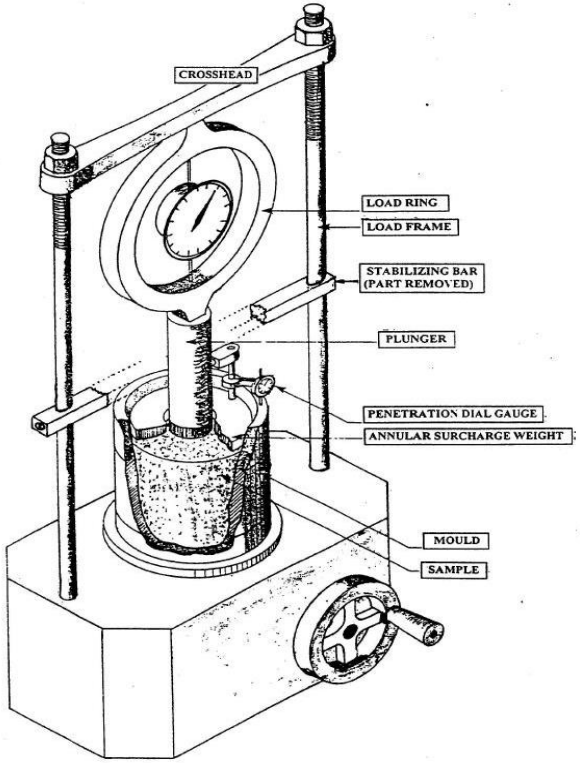
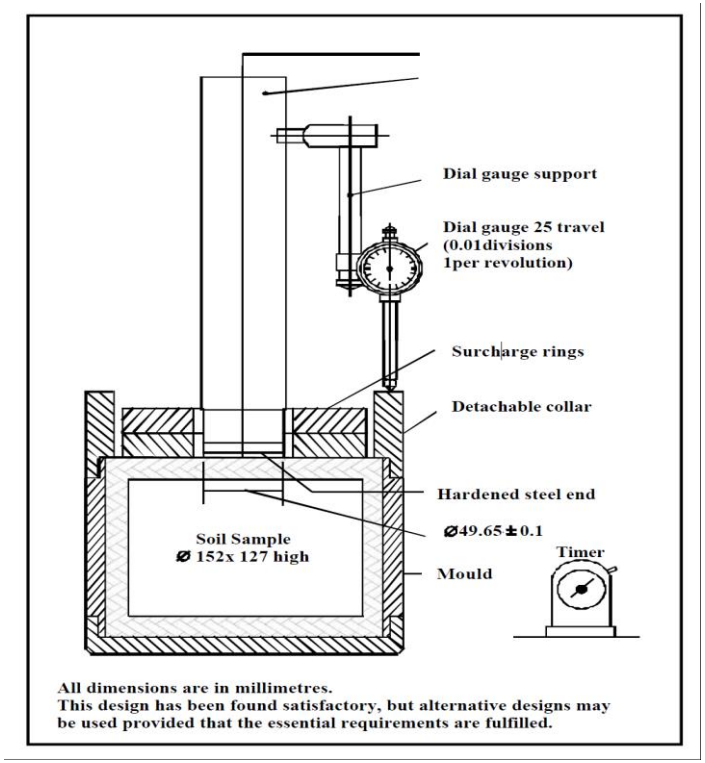
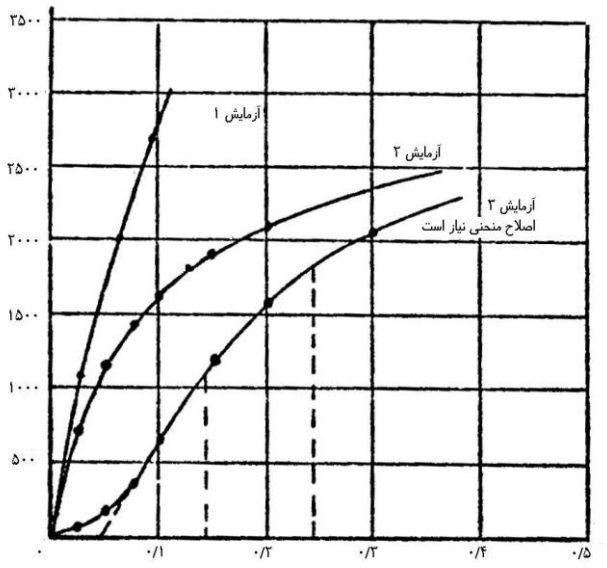


Figure 5.1.1 Pictorial view of the CBR test setup



- ث –مجموعه را روي دستگاه بگذاريد و با چرخاندن دسته، آن را آن قدر بالا بياوريد تا پيستون متصل به رينگ در تماس قرار گيرد و نيروسنج تكان بخورد.
- ج –گيج هاي نفوذسنج و نيروسنج را روي صفر قرار دهيد، آن گاه با سرعت1.27 ميليمتر بر دقيقه نيروسنج را قرائت كنيد.
- چ –اين عمل را تا 15 دقيقه و نفوذپذيري 12.5 ميلی متر ادامه دهيد.
- ح –از زير قسمت فشرده، وسط نمونه و زير آن، نمونه هايي جداگانه برای تعیین درصد رطوبت برداريد.



رسم نمودار:

- الف- تنش نفوذ پيستون را در واحد پوند بر اينچ مربع محاسبه كرده و منحني تنش-نفوذ را رسم كنيد.
- در بعضي مواقع تقعرقسمت ابتدايي منحني تنش-نفوذ به سمت بالا بدست می آيد . كه مي تواند به علت ناهمواري سطح نمونه يا موارد ديگري باشد. در اينگونه شرايط بايد منحني تنش-نفوذ اصلاح شود.
- براي تصحيح منحني بايد قسمت خطي منحني را ادامه داد تا محور افقي را در نقطه اي قطع كند. اين نقطه محل جديد محور مبدأ مختصات است و محاسبات بايد در محورهاي مختصات جديد انجام شود.
- از روي منحني اصلاح شده تنش- نفوذ مقادير تنش را براي نفوذ 0.1و 0.2 اينچ را محاسبه می كنيم . وتقسيم به مقادير تنش استاندارد كرده و عدد CBRرا بدست می آوريم.

$$CBR = \frac{P_{2.5}}{70}$$

$$CBR = \frac{P_{5}}{105}$$

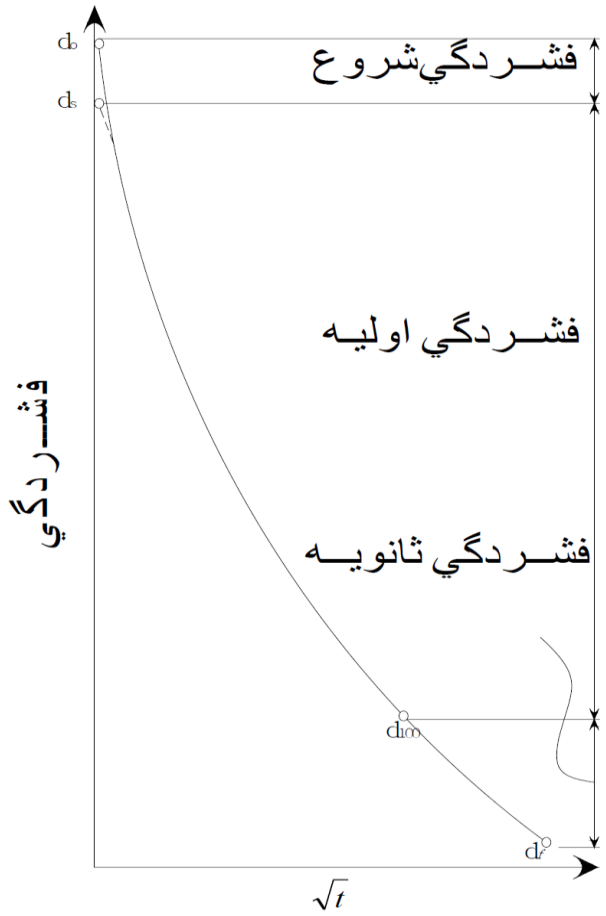
پایداری زمین برای زیر پی خیلی بد است	C.B.R > 25 >
پایداری زمین برای زیر پی بد است	10 > C.B.R > 5
پایداری زمین برای زیر پی متوسط است	20 > C.B.R > 10
پایداری زمین برای زیر پی خوب است	40 > C.B.R > 20
پایداری زمین برای زیر پی عالی است	70 > C.B.R > 40
پایداری زمین برای زیر پی بسیار عالی است	100 > C.B.R > 70

تحكيم consolidation

اين آزمايش روشي است براي محاسبه مقدار و سرعت تحكيم خاك در شرايط يك بعدي تحت اثر بارگذاري تنش كرنش كنترل شده

در اين آزمايش يك آزمونه در شرايطي كه به صورت جانبي محدود شده است تحت اثر بارگذاري محوري قرار ميگيرد.

بار به صورت پله اي به آزمونه اعمال مي شود در هر مرحله از بارگذاري ضمن اندازه گيري تغييرات ارتفاع، به آزمونه امكان تحكيم (خارج شدن آب حفره اي) داده مي شود.



.در اين شكل d_0 شروع فشردگي است.

d_s نقطه شروع اصلاح شده است كه از امتداد مماس بر منحني به دست آمده است.

d_{100} نقطه 100٪ فشردگي

d_f حد نهايي آن است.

فشردگي از d_0 تا d_{100} تحكيم اوليه خوانده مي شود و از d_{100} تا d_f تحكم ثانويه خواهد بود

با اعمال بارگذاري، تحكيم اوليه شروع مي شود و بعد از اتمام تحكيم، فشردگي ادامه مي يابد .در اين حالت (ادامه فشردگي) هيچ نوع فشار هيدروستاتيكي اضافه يا محو نمي شود .

در واقع اين حالت تحكيم ثانويه است كه به علت شكستگي تدريجي باند هاي بين دانه ها يا زهكشي آب جذب سطحي خود ذرات است.

- نسبت فشردگي اوليه به فشردگي نهايي rنمايانگر ميزان فشردگي كل است.

$$r = \frac{d_s - d_{100}}{d_o - d_f}$$

نتايج آزمايش تحكيم پايه اي براي محاسبه مقدار و سرعت نشست پي هاي سازه ها و خاكريزهايي كه بر روي نهشته هاي ريز دانه ساخته مي شوند خواهد بود.

هدف آزمايش:

بررسی نشست خاکهای رسی اشباع و یافتن ضریب تحکیم C_V و رسم منحنیe-logs

وسايل آزمايش:

دستگاه بارگذاري:

دستگاه تحكيم:

ظرف استوانه اي است كه در داخل آن حلقه فلزي جاي داده مي شود.

حلقه فلزي :

از برنج يا فلز زنگ نزن ديگري ساخته مي شود نمونه را در بر مي گيرد .اين حلقه بايد شرايط زير را داشته باشد:

الف) متناسب با حداقل قطر نمونه باشد .حداقل قطر نمونه 5 سانتی متر است

متناسب با حداقل ضخامت نمونه باشد .حداقل ضخامت نمونه 13 ميلی متر باشد.

سختي و استحكام حلقه در بيشترين فشار هيدرواستاتيك وارد بر نمونه بايد طوري باشد كه افزايش قطر آن از 3٪ تجاوز نكند.

سنگ هاي متخلخل :

در بالا و پايين نمونه قرار مي گيرند و بايد داراي مشخصات زير باشند:

سنگ هاي متخلخل بايد از سيليكون كاربيد، اكسيد آلومينيوم يا فلزي ساخته شوند كه مواد موجود در خاك و رطوبت

خاك روي آن ها تاثير نداشته باشد.

خلل و فرج سنگ ها بايد به حدي باشد كه دانه هاي ريز خاك به داخل آن ها نفوذ نكند.

قطر سنگ متخلخل بالاي نمونه 0.2 تا .05 ميلی مترکمتر از قطر داخلي حلقه فلزي است

ضخامت سنگ هاي متخلخل بايد به اندازه اي باشد كه براثر بارگذاري نشكنند.

وسيله آماده سازي نمونه:

استوانه اي است با لبه تيز كه مي توان به وسيله آن نمونه اوليه را كه قطر آن بيشتر از قطر داخلي حلقه است به راحتي و با كمترين دست خوردگي بريد و به اندازه قطر داخلي حلقه درآورده و سپس به داخل آن منتقل كرد .

سطح داخلي اين استوانه بايد كاملاً صيقلي و با ماده اي با حداقل ضريب اصطكاك پوشانده شود.

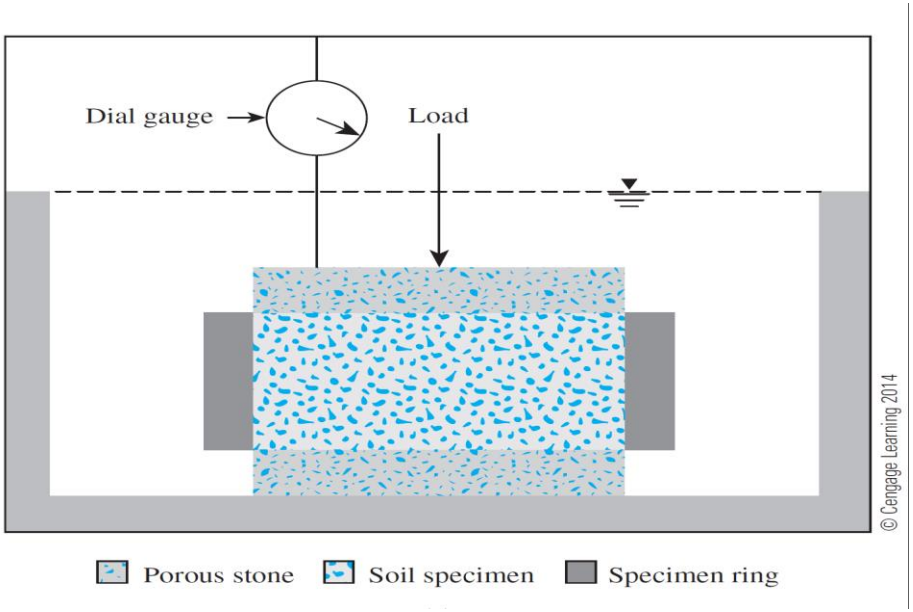
آماده سازی نمونه ها:

نمونه هاي دست نخورده كه از محل تهيه شده اند بايد پس از خارج شدن از نمونه گير به اندازه حلقه دستگاه تحكيم بريده شده و در داخل آن قرار گيرند.

ميزان ۴۰ درصد از الک ۴۰ و ۶۰ درصد از الک ۱۰۰ را با يكديگر مخلوط می كنيم.

روش انجام آزمايش:

آزمونه را درون حلقه قرار دهيد و صفحات متخلخل و صافي ها رادر دو طرف آن قرار دهيد .استوانه تحكيم را در دستگاه اعمال بار قرار داده صفحه سربار را بر رروي سنگ متخلخل بالايي قرار داده و مخزن اطراف آزمونه را از آب پر كنيد و باري به آن اعمال می كنيد.



به محض وارد کردن این بار،تغییر مکان را خوانده و مقدار قرائت d_0اولیه را ثبت نمایید.

نسبت افزايش بار براي آزمايش تحكيم بايد يك باشد به اين ترتيب در هر مرحله از بارگذاري مقدار بار 2 برابر مي شود .به عنوان مثال معمولا مراحل بارگذاري به صورت 12 و 25 50 100 مي باشد.

نسبت كاهش بار براي بار برداري نيز معمولا به صورت نصف كردن بار در هر مرحله از باربرداري انجام مي شود.

قبل از اعمال هر بار اضافي، ارتفاع اوليه آزمونه d_fرا ثبت كنيد.

در مرحله اول وزنه 2 کیلوگرم را در روی اهرم قرار میدهیم(با توجه به ضریب اهرم و مساحت مقطع تنش اعمالی محاسبه میشود)

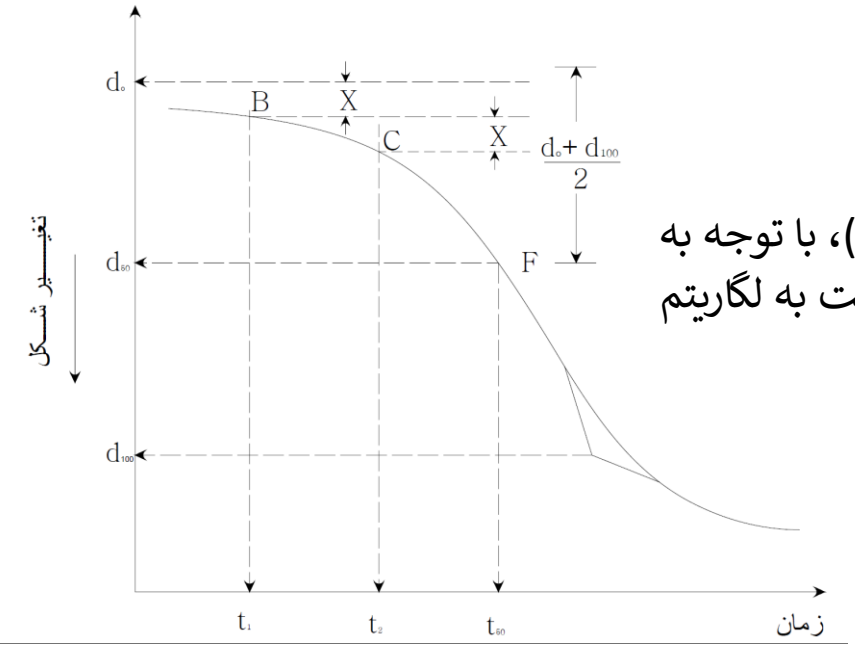
فاصله گام هاي بارگذاري به اندازه 24 ساعت خواهد بود .در طول اين مدت تغيير شكل آزمونه را با قرائت عقربه ميكرومتر در زمانهاي 0.1 و 0.25و0.5و 1و2و4و6و8و15و30و دقیقه1و ۲و ۴ و ۸ و۲۴ ساعت اندازه گیری نمایید.

- محاسبات:

رسم منحنی تغییر شکل – لگاریتم زمان

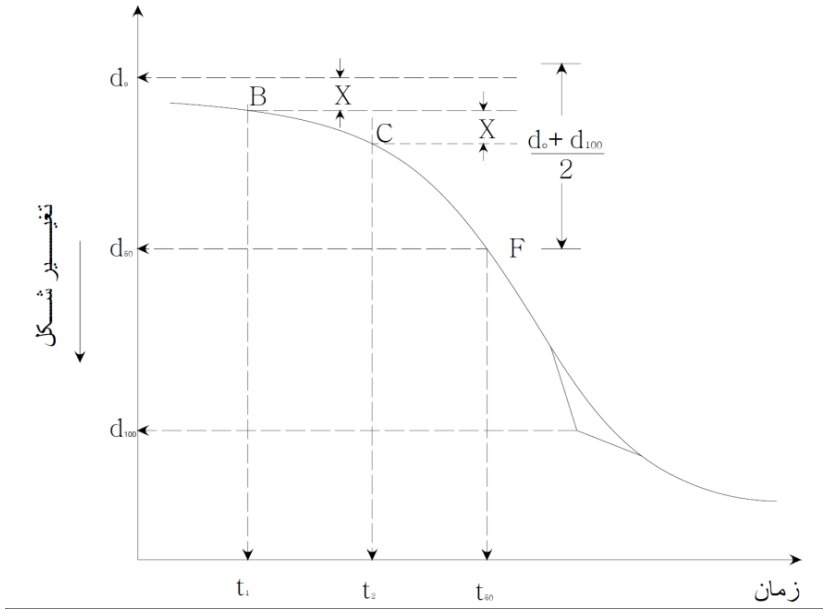
براي محاسبه زمان تحكيم و مقدار تحكيم(نشست خاك ها)، با توجه به اطلاعات به دست آمده از آزمايش ها، منحني نشست نسبت به لگاريتم زمان رسم مي شود.

از روي اين منحني مقدار100٪ تحكيم اوليه نمونه را در هر فشار به دست می آيد. محل برخورد مماس هاي قسمت با شيب زياد و شيب كم در انتهاي آزمايش را انتهاي تحكيم اوليه مي گويند .زمان مربوط به اين نقطه را زمان صددرصد تحكيم يا t_{100}مي نامند.



براي يافتن قرائت گيج در صفر درصد (تحكيم اوليه) يعني زماني كه هنوز تغيير ضخامت نمونه شروع نشده است، از دو زمان انتخابي كه معمولاً در ابتداي قسمت سهمي شكل منحني اند و نسبت آن ها بين 1 به 4 است، استفاده مي شود.به اندازه فاصله بين دو زمان روي محور قرائت گيج از t_1 به طرف بالا جدا كنيد و از آن محور تغيير مكان عمود كنيد .در محل تقاطع اين عمود با محور مي توان رابطه زير را براي تغيير مكان در حالت تحكيم اوليه نوشت

$$\Delta H_V = d_{100} - d_0$$



براي يافتن 50% تحكيم ،ميانگين صفر درصد تحكيمd_0 و100٪ تحكيم d_{100} را محاسبه و روي نمودار محل آن را پيدا كنيد، سپس زمان 50٪ تحكيم را t_{50} را نيز به دست آوريد

$$C_V = \frac{TH_d{}^2}{t_{50}}$$

$$C_V = \frac{0.197H^2}{t_{50}}$$

Hميانگين طولاني ترين راه زهكشي آب در بارگذاري است.

رسم محني نسبت منافذ-فشار:

	0.50 Kg	1.00 Kg	2.00 Kg	4.00 Kg	8.00 Kg	4.00 Kg	1.00 Kg
	0.25 $\frac{Kg}{Cm^2}$	**0.50** $\frac{Kg}{Cm^2}$	**1.00** $\frac{Kg}{Cm^2}$	**2.00** $\frac{Kg}{Cm^2}$	**4.00** $\frac{Kg}{Cm^2}$	**2.00** $\frac{Kg}{Cm^2}$	**0.50** $\frac{Kg}{Cm^2}$
0.25	**0.01**	**0.19**	**0.38**	**0.67**	**0.93**	**1.03**	**0.97**
0.5	**0.01**	**0.22**	**0.40**	**0.70**	**0.94**	**1.02**	**0.97**
1	**0.01**	**0.23**	**0.41**	**0.74**	**0.95**	**1.02**	**0.97**
2	**0.02**	**0.24**	**0.42**	**0.74**	**0.97**	**1.02**	**0.97**
4	**0.03**	**0.25**	**0.44**	**0.76**	**0.98**	**1.02**	**0.97**
8	**0.05**	**0.28**	**0.46**	**0.77**	**1.00**	**1.01**	**0.96**
15	**0.08**	**0.31**	**0.50**	**0.79**	**1.02**	**1.01**	**0.96**
30	**0.11**	**0.36**	**0.59**	**0.81**	**1.04**	**1.00**	**0.96**

بارگذاری و بار برداری $\frac{Kg}{Cm^2}$	**ΔH (mm)** در انتها (30 دقیقه)	**e** در انتها (30 دقیقه)	**Mv**
0	**0**	**0.409**	**–**
0.25	**0.11**	**0.403**	**0.0176**
0.5	**0.36**	**0.389**	**0.0288**
1	**0.59**	**0.376**	**0.0236**
2	**0.81**	**0.363**	**0.0162**
4	**1.04**	**0.350**	**0.0104**
2	**1**	**0.353**	–
0.5	**0.96**	**0.355**	–

سطح مقطع نمونه	H_0 (mm)	γ_w	G_s	e_0	γ_d
$\approx 20 \quad Cm^2$	25	$1.0\frac{gr}{Cm^2}$	2.55	0.409	$1.81\frac{gr}{Cm^2}$

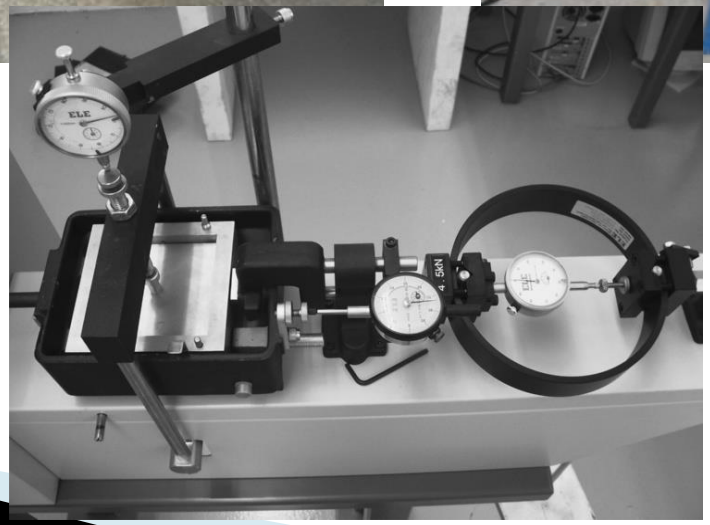
آزمایش برش مستقیم Direct shear

در آزمایش برش مستقیم مقاومت برشی یک آزمونه از خاک مورد نظر بر روی یک صفحه مشخص گسیختگی تعیین می شود .

دستگاه برش مستقیم مرکب از یک قوطی که در جهت افقی به دو قسمت تقسیم شده است قسمت پایین به طور ثابت به پایه دستگاه اتصال یافته وبدون حرکت است و قسمت بالایی آزاد است ومی تواند در هر دو جهت افقی و قائم حرکت کند که مقدار حرکت را می توان به وسیله گیج اندازه گیری نمود .

انواع دستگاه برش مستقیم:

- دستگاه جعبه کوچک 10* 10سانتی متر
- دستگاه جعبه بزرگ 30*30سانتی متر

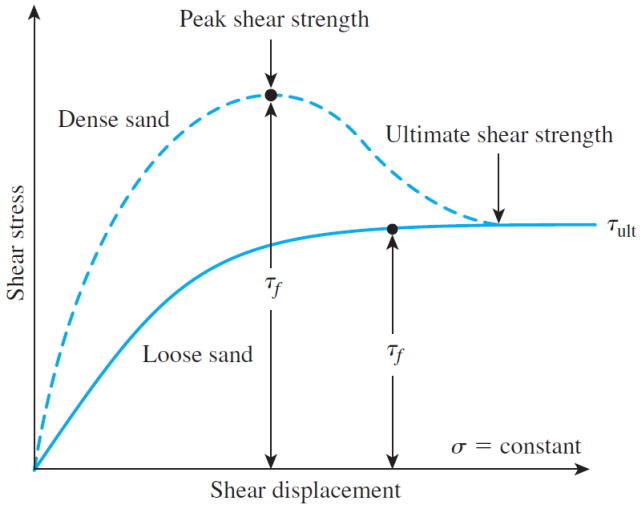


هدف :

- بدست آوردن زاویه اصطکاک داخلی وچسبندگی

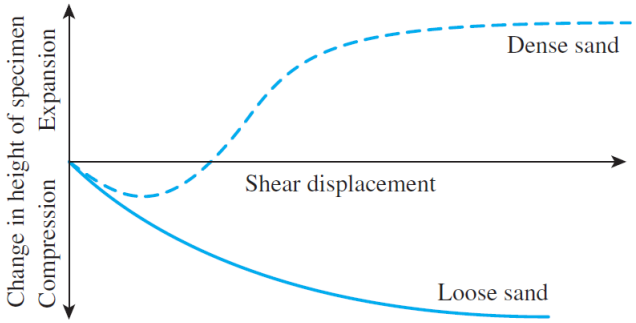
روش اعمال بار

1. **با کنترل تنش : با مساوي بودن نيروي برشي ،تغيير شكل را در مراحل مختلف اندازه مي گيرند**
2. **با کنترل تغيير شكل : تغيير شكلها را اعمال مي كنند ونيروي برشي نظير هركدام را بدست مي آورند.**



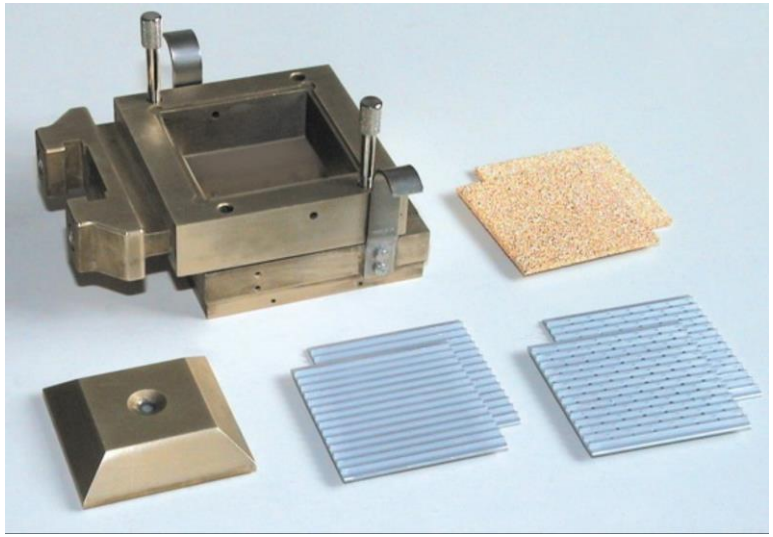
در خاکهای ماسه ای متراکم نمودارتنش برش بر حسب تغییر شکل صعود می کند وهمانطور که در مودار های مربوط دیده می شود پس از رسیدن به مقداری **Max** منحنی ره به نزول می نهد که می توان از اصطلاح نرم شدگی خاک برای این قسمت استفاده کرد.

هر چه ماسه متراکم تر(در اینجا بار قائم بزرگتری وارد شود) باشد شیب نمودار بیشترمی شود چون سختی آن بیشترمی شود پس خاک ماسه ای متراکم تمایل به اتساع دارد.



- وسایل لازم :
  - **دستگاه برش مستقیم**

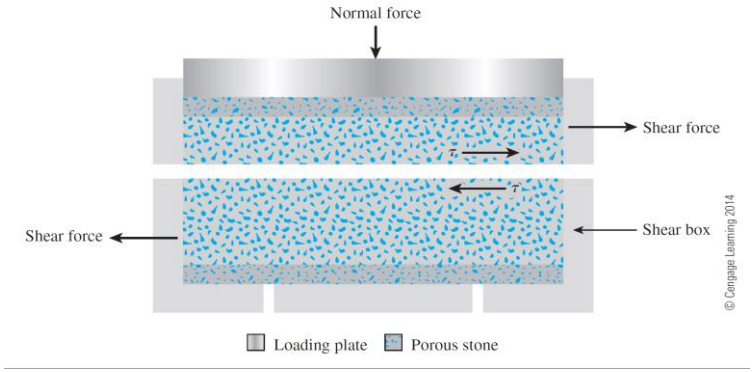
- **جعبه برش مستقیم**



- الک ۴

شرح آزمايش:

- الف –مقداری خاک ماسه برداشته و توسط الک نمره 4الک می کنیم .مقدار خاک باید به اندازه اي باشد كه براي انجام حداقل سه آزمايش با چگالي يكسان كافي باشد.



- سپس خاک رس مرطوب را برداشته و در سه لایه داخل ظرف مخصوص دستگاه برش مستقیم ریخته و در هر لایه خاک را توسط میله کوب مخصوص مستطیلی متراکم می کنیم.
- نمونه داخل جعبه برش بايد به طوري باشد كه حدود 5میلی متر روی جعبه خالی باشد و صفحه اعمال بار را تراز كنيد تا در يك سطح افقي قرار گيرد.
- بار قائم مناسبي(وزنه دو كيلو گرمی) بر نمونه اعمال كنيد و عقربه اندازه گيري تغيير شكل هاي قائم را روي نمونه نصب كنيد.
- توجه كنيد كه وزن خود صفحه بارگذاري و نيمه بالايي جعبه برش را هم به عنوان بخشي ازPvدر نظر بگيريد .
- **دو قسمت جعبه ی برش را با باز کردن پیچ های نیمه ی بالایی جعبه از هم جدا کنید**

- **کرنش سنج عقربه ای را برای اندازه گیری تغییر شکل های برشی(افقی)نصب کنید.**
- **بارگذاری افقی را شروع کنید و مقدار نیروی نشان داده شده روی نیرو سنج عقربه ای و عقربه ی اندازه گیری تغییر شکل های برشی را در هر مرحله قرائت می کنیم.**
- **اگر آزمایش از نوع کنترل کرنش است، قرائت ها را برای کرنش های5 و 10 و ازآن به بعد هر 10 یا 20 واحد انجام دهید.**

- به دستگاه اجازه مي دهيم تا جايي كه كار كند كه يكي از شرايط زير به وجود آيد :

1- ماكزيمم گيج ايجاد شده و عقربه برگردد.

2- دو عدد متوالي يكسان باشند.

3- 20% طول نمونه تغيير شكل داشته باشيم.

- برای هر آزمایش، بارهای قائم متفاوتی اعمال کنید .پیشنهاد می شود بار قائم را در هر مرحله دو برابر کنید،یعنی از بارهای ٤و ٨و ١٦ کیلو گرمی استفاده کنید.

نکته :

- اگر دریافتید که وقتی بار قائم بزرگ تری وارد کرده اید، بار برشی کمتری نسبت به قبل قرائت شده، باید آزمایش را تکرار کنید .زیرا به احتمال زیاد اشتباهی رخ داده است.

محاسبات :

$$\sigma_n = \frac{P_V}{A}$$

A تنش قائم اسمی

P_V بار قائم(شامل بار قائم اعمال شد ه وزن صفحه بارگذاری)

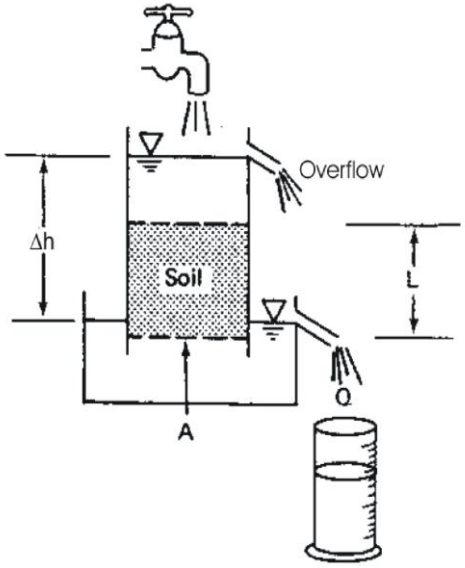
منحنی تغییر شکل افقی δ_h در مقابل نیروی برش افقی P_h را برای بدست آوردن نیروی برشی نهایی رسم کرده ، تنش برشی حداکثر را محاسبه کنید .

$$S_{max} = \frac{P_{h(max)}}{A}$$

مقادیر تنش برشی ماکزیمم در مقابل تنش قائم را روی نمودار مشخص کنید .

مقیاس هر دو محور یکسان باشد . حال از روی نمودار میزان چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی (شیب خط) را محاسبه می نماییم .

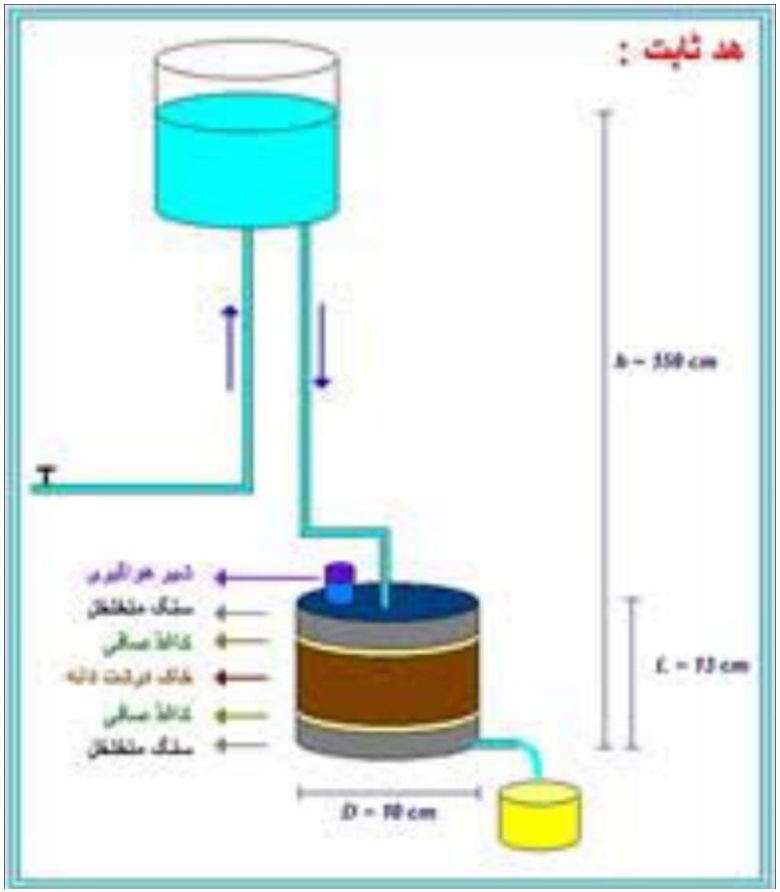
آزمایش نفوذپذیری permeability test



نفوذ پذیری **permeability** امکان جریان آب از درون خاک اشباع است .
نفوذ پذیری زیاد بیانگر این است که آب با سرعت از درون حفرات خاک جریان می یابد .

پارامتری که میزان نفوذ پذیری خاک را بیان می کند ضریب نفوذپذیری **coefficient of permeability** یا ضریب هدایت هیدرولیکی **hydraulic conductivity** نامیده می شود .

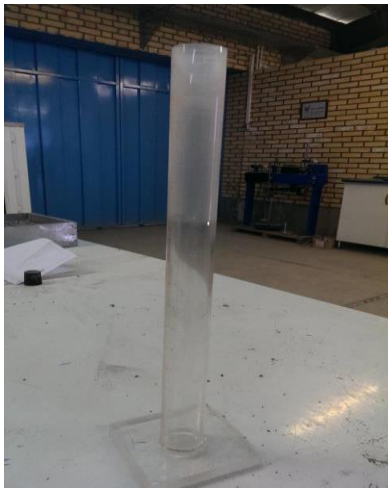
ضریب نفوذ پذیری در آزمایشگاه با آزمایش هد ثابت **constant head** یا هد افتان **falling head** اندازه گیری می شود .



هدف

ارائه یک روش آزمایشگاهی برای تعیین ضریب نفوذ پذیری خاکهای دانه ای می باشد.

- **وسایل اصلی لازم :**
- **دستگاه تعیین نفوذ پذیری با هد ثابت و محفظه نفوذ پذیری**



استوانه مدرج

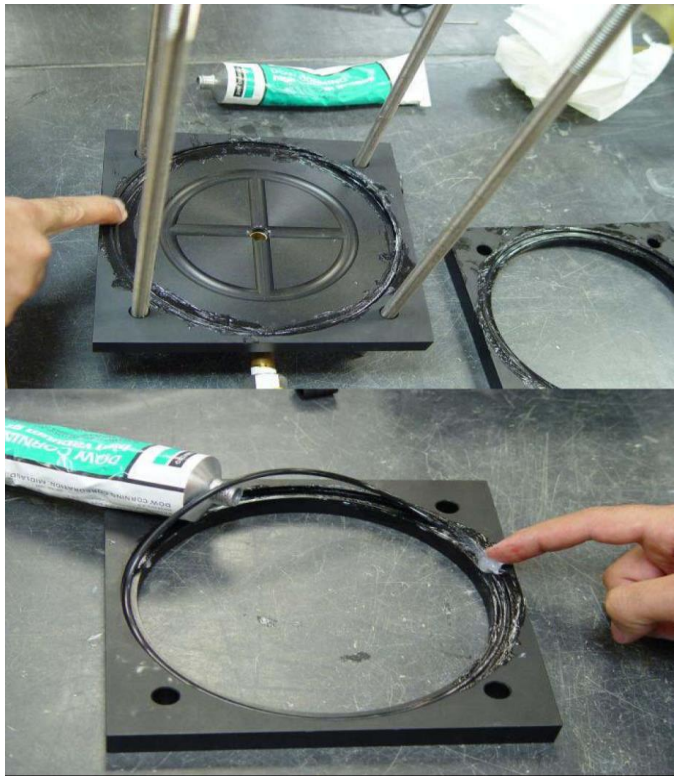
الک4

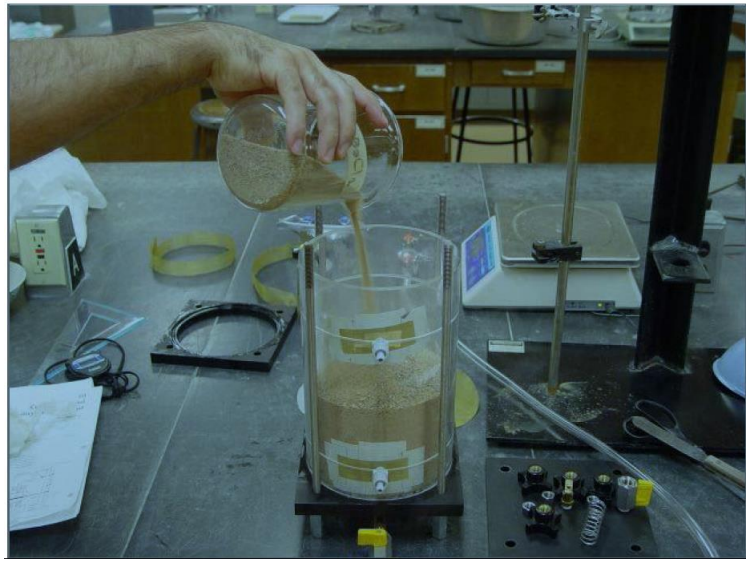
شرح انجام آزمایش

در صورتی که محفظه آماده نیست مراحل ذیل را انجام می دهیم :

شیرهای داخل دستگاه را با پارچه متخلخل مسدود می کنیم

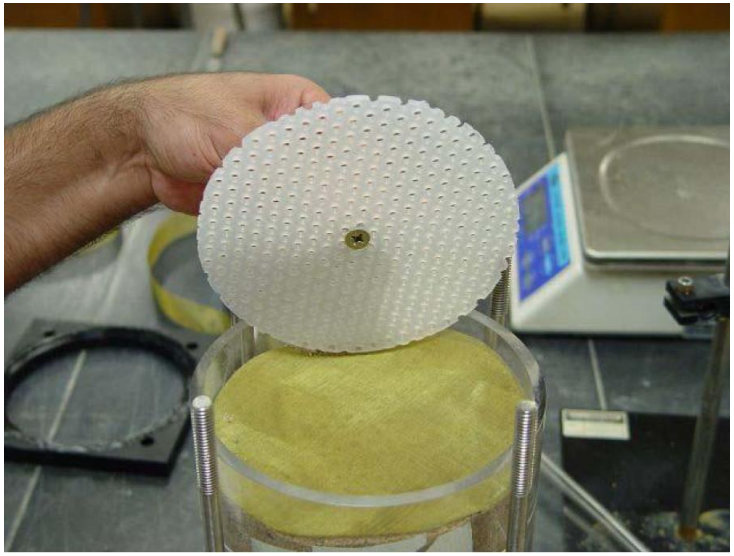
به رینگها گریس مالیده تا از نفوذ آب به بیرون (نشتی) جلوگیری بعمل آید .



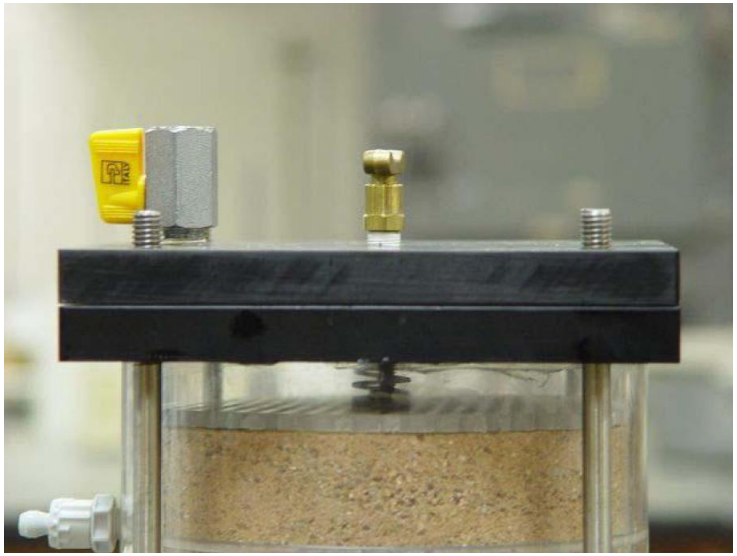


متعلقات دستگاه را نصب وماسه الک شده با سرند ٤ را در سه مرحله داخل استوانه ریخته

پارچه و فیلتر متخلخل را نصب کرده

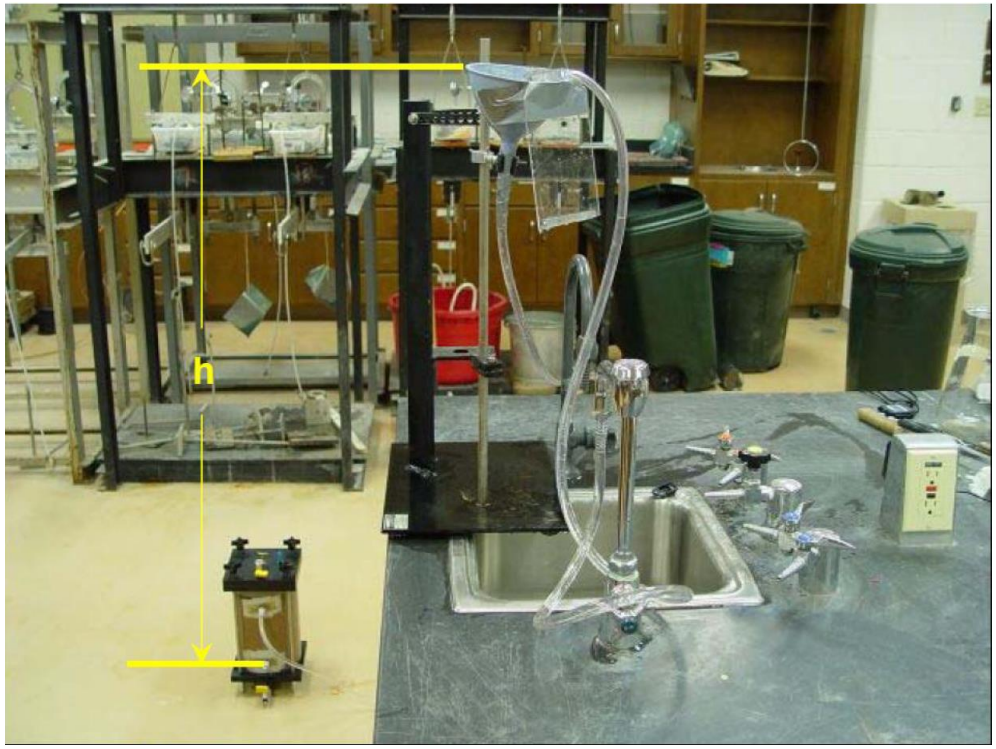


ماسه باید به اندازه ای ریخته شود که وقتی فنر تحت بار نیست ، سر آن در بالای پایه قرار گیرد . سپس صفحه بالایی را به صورتی که فنر فشرده شده می بندیم



- سیستم را به آب متصل می کنیم و با بازکردن آب نمونه را اشباع کنید و آنقدر صبر کنید تا آب خروجی زلال شود .

قیف را در ارتفاع ثابت قرار داده وجریان آب را برقرار کرده تا حبابهای هوا خارج شود و سطح قیف تا خروجی پایین را اندازه گرفته Δh

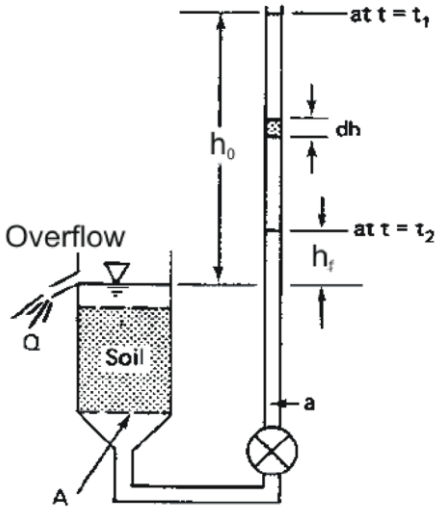


- از شیر پایینی در مدت زمان مشخص که ثبت می کنیم (مثلا 60 ثانیه) آب را در استوانه مدرج ریخته وحجم آب را اندازه گیری می کنیم .
- محاسبات :

$$K = \frac{QL}{\Delta hA}$$

- Q: حجم آب جمع آوری شده به زمان جمع آوری شده
- L : طول نمونه در دستگاه نفوذ پذیری (طول بین دو خروجی)
- Δh: اختلاف هد کل
- A: سطح مقطع نمونه

- **آزمایش فوق در سه مرحله انجام می گردد. ومیانگین سه عدد نفوذ پذیری به عنوان عدد نفوذ پذیری نهایی انتخاب می گردد.**



- آزمایش نفوذ پذیری با هد افتان

این آزمایش برای تعیین ضریب نفوذ پذیری خاک های ریز دانه انجام می گیرد .

در آزمایش نفوذپذیری با هد افتان، تراز آب در یک لوله با قطر کوچک پایین می آید (از مقدار اولیه h_0 تا مقدار نهایی h_f). مدت زمانی که آب از ارتفاع h_0 به ارتفاع h_f می رسد اندازه گیری می شود. با استفاده از معادله زیر ضریب نفوذپذیری محاسبه می شود:

$$k = 2.3\frac{aL}{At}\log\frac{h_0}{h_f} \qquad (2.8)$$

k = ضریب نفوذپذیری، cm/s

a = سطح مقطع داخلی لوله، cm^2

L = طول نمونه، cm.

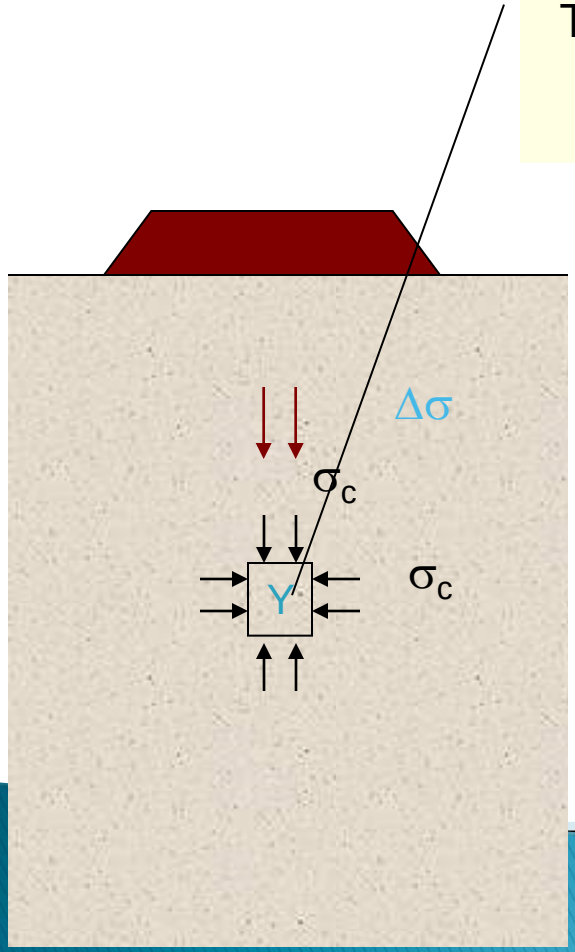
h_0 = ارتفاع اولیه آب مقطر در لوله، cm

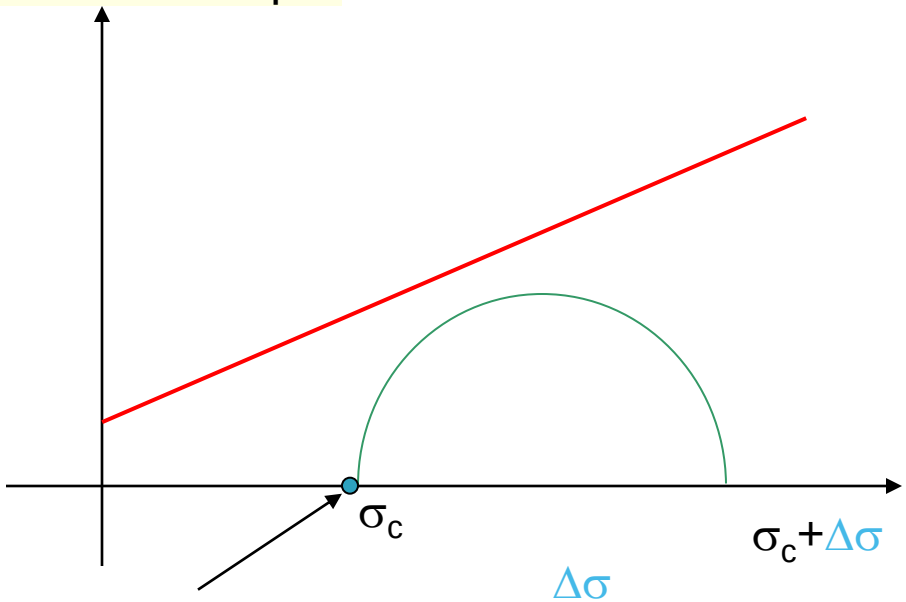
h_f = ارتفاع نهایی آب مقطر در لوله، cm

t = زمانی که طول می کشد که ارتفاع آب از h_0 به h_f برسد.

Mohr Circles & Failure Envelope

The soil element does not fail if the Mohr circle is contained within the envelope

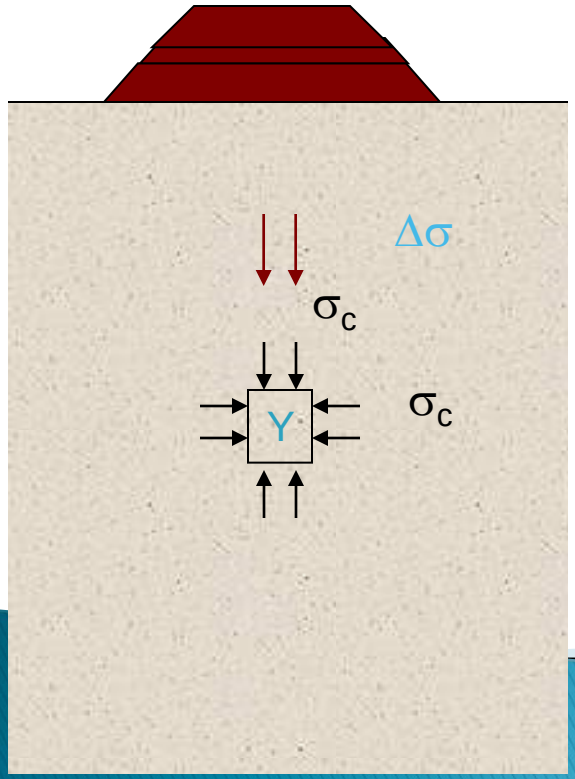


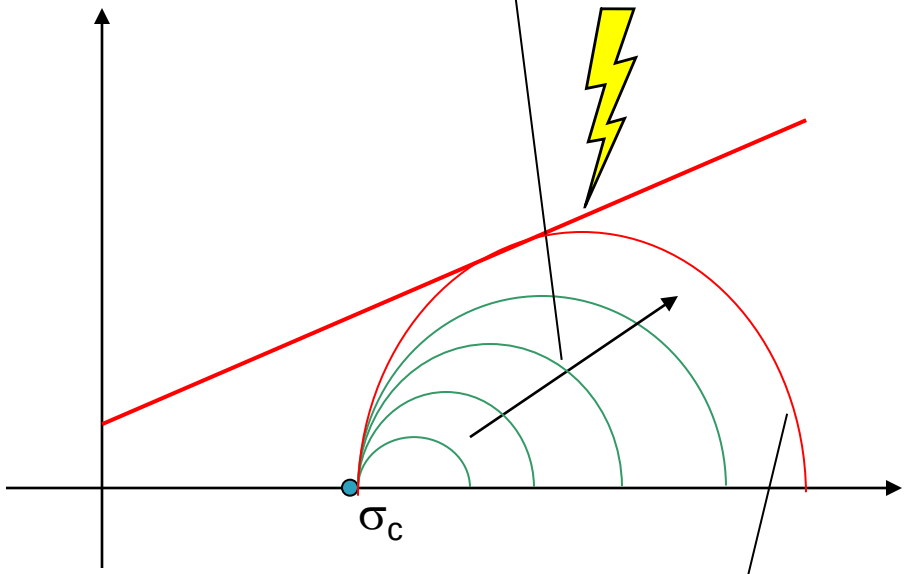


Initially, Mohr circle is a point

Mohr Circles & Failure Envelope

As loading progresses, Mohr circle becomes larger…

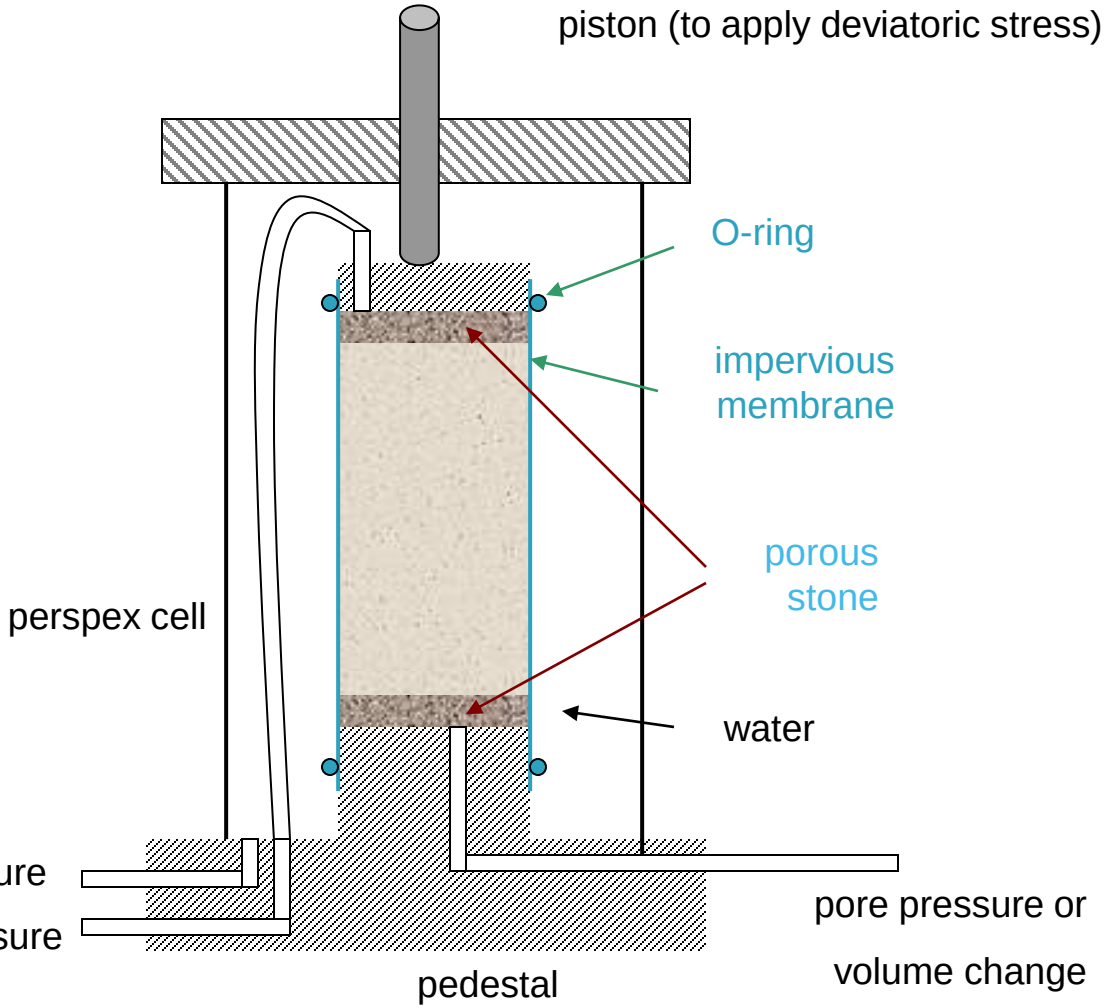




.. and finally failure occurs when Mohr circle touches the envelope

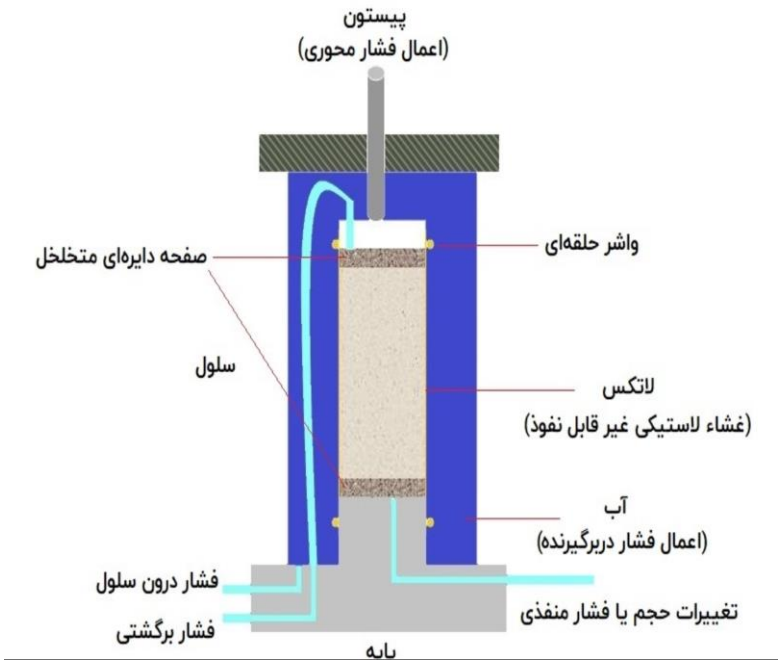
Triaxial Test Apparatus

soil sample at failure



آزمایش برش سه محوری(Triaxial Shear Test)

آزمايش سه محوري خاک يکي از بهترين روشها براي اندازه گيري خواص مکانيکي از جمله تعيين پارامترهاي مقاومت برشي خاک مي باشد ، آزمايش سه محوري نسبت به آزمايش هاي ديگر روش پيچيده تر و قابل اعتمادتري براي تعيين مقاومت برشي خاک ها مي باشد.



روند کلی آزمایش سه محوری خاک به این روال است که نمونه خاک متراکم شده) معمولا ارتفاع آن دو برابر قطر آن است) درون محفظه ای قرار گرفته

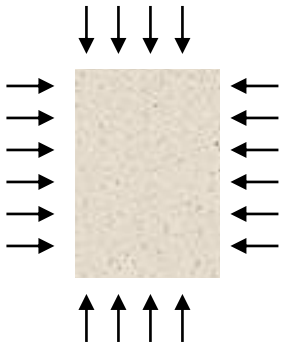
سپس تحت تاثیر یک فشار همه جانبه قرار می گیرد که دراین حالت اگر قصد تحکیم نمونه را داشته باشیم شیرهای خروج آب باز نگداشته می شود تا نمونه تحکیم شود و فشار منفذی به صفر برسد .

در این آزمایش ، فشار همه جانبه نماینده ی فشار جانبی خاک در محل واقعی است و معمولا معادل مقدار تقریبی $K0\gamma Z$ انتخاب می شود که

$K0$ ضریب فشار خاک در حالت سکون

γ وزن مخصوص المان خاک

Z عمق المان در این آزمایش



پس از این مرحله با اعمال بار عمودی نمونه به گسیختگی می رسد دراین حالت اختلاف بار قائم و بار همه جانبه که به تنش انحرافی معروف است باعث گسیختگی نمونه می شود

- به طور كلي آزمايش ها به دو صورت انجام مي گيرد :

الف-كنترل تنش(با اضافه كردن وزنه هايي با گام مساوي تا لحظه ي گسيختگي نمونه)

ب -كنترل كرنش(اعمال تغيير شكل محوري با سرعت ثابت به وسيله ي يك پرس هيدروليك تا لحظه ي گسيختگي نمونه).

انواع آزمايش سه محوری

CDيا s : [آزمايش تحكيم يافته ي زهكشي شده] بر روی خاک های دانه (ماسه ها) و براي بررسي رفتار دراز مدت خاك هاي چسبنده

در اين آزمايش در مرحله ي اعمال تنش همه جانبه و تنش محوري اضافي، شيرهاي زهكشي باز هستند . محوري اضافي بايد با سرعت بسيار كم اعمال شود تا فشار آب منفذي در طول شكست به وجود نيايد يا آن قدر كوچك باشد كه در پارامترهاي خاك تاثير نگذارد.

CUيا R : [آزمايش تحكيم يافته زهكشی شده] در شرايط اشباع همراه با اندازه گيري فشار منفذي براي بررسي رفتار خاك هاي ريز دانه در شرايط زهكشي نشده

در اين آزمايش بعد از اين كه نمونه تحت فشار محفظه σ_3 تحكيم شد، بار محوري در شرايط زهكشي نشده اعمال مي شود وقتي تحكيم پايان يافت، شير زهكشي بسته مي شود و تنش محوري اضافي اعمال مي شود تا نمونه گسيخته شود.

UUيا Q : [آزمايش تحكيم نيافته زهكشی نشده] در شرايط اشباع براي بررسي رفتار خاكريز حين ساخت استفاده مي شود

اين آزمايش در شرايطي انجام مي شود كه شير زهكشي در تمام مراحل بسته است و آزمايش بلافاصله بعد از نصب سلول فشار آغاز مي شود .اين آزمايش براي خاك هاي غير چسبنده با درجه ي اشباع 100 درصد قابل استفاده نيست.

- وسایل لازم
  - دستگاه سه محوری

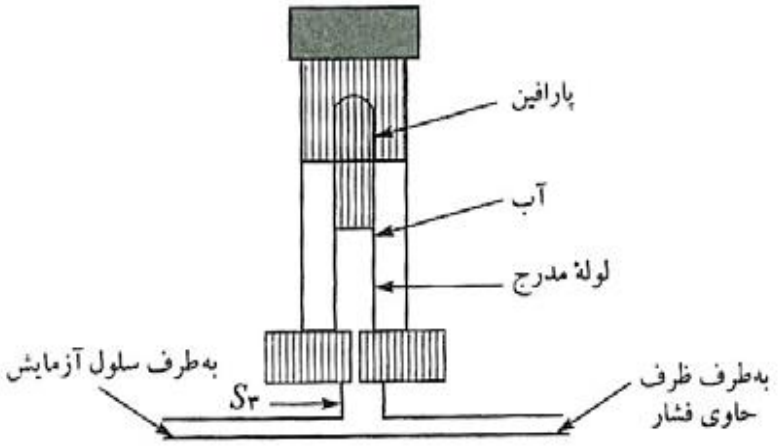
پ- نمونه ي اصلاح كن.
ت- اره ي سيمي.
ث- منبع ايجاد خلاء.
ج- قالب استوانه اي براي قرار دادن غشاي لاستيكي روي نمونه ي خاك.
خ- غشاي لاستيكي.

ژ- يك يا دو حلقه ي لاستيكي(كش) در بالاي نمونه در شيار مخصوص كلاهك فوقاني و درپايين نمونه در شيار مخصوص پايه براي جلوگيري از نفوذ آب به درون نمونه.

.

س- دستگاه كمپرسور مربوط به فشار هيدرواستاتيك جانبي

ز- بورت براي اندازه گيري تغيير حجم.



اندازه گيري تغيير حجم آب درون نمونه به وسيله ي بورت صورت مي گيرد، بدين طريق كه با تغيير حجم نمونه ي خاك، مقداري از آب از شير S_3به بورت وارد يا از آن خارج مي شود. اين وارد و خارج شدن، سطح پارافين در لوله ي وسطي را تغيير مي دهد كه بدين ترتيب حجم ΔV معلوم خواهد شد.

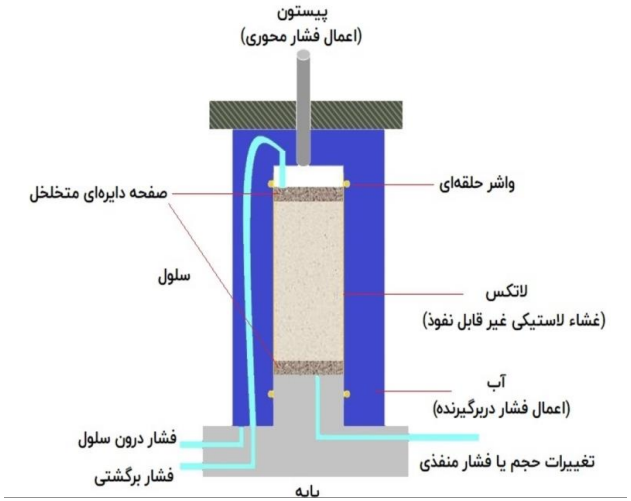
- **شرايط و خصوصيات نمونه**
- هرچه شرايط نمونه بيشتر شبيه شرايط خاك در محل باشد، آزمايش نتايج دقيق تري به دست خواهد آمد.
- تهيه ي نمونه ي دست نخورده از خاك هاي دانه اي بسيار مشكل است و اغلب نمونه اي دست نخورده با همان چگالي نسبي در محل تهيه مي شود.

- در خاك هاي چسبنده ي ريزدانه نمونه بايد عينا دست نخورده باشد يا حداقل دست نخوردگي را داشته باشد.
- ابعاد نمونه ۷۱٫۱میلی متر (قطر) و 165 میلی متر (ارتفاع) ویا 35.5 میلی متر (قطر) 89 میلی متر (ارتفاع) باشد . (حداقل قطر 33 میلی متر) حداکثر اندازه دانه ها 1.6 قطر

- نسبت طول به قطر نمونه بايد بين 2 و 3 باشد، زيرا اگر ارتفاع نمونه كمتر از2D باشد اجازه ي تغيير شكل به نمونه نمي دهد و اصطكاك بين سطح نمونه و استوانه باعث برش نمونه مي گردد.
- اگر $L > 3D$باشد نمونه كمانش خواهد كرد وگسيختگي به جاي مكانيكي، هندسي خواهد بود.
- $L \cong 2.5D$

اشباع نمونه

به دست آوردن پارامترهاي برشي خاك به وسيله ي آزمايش سه محوري هم در حالت اشباع كامل و هم در شرايط نيمه اشباع خاك امكان پذير است و آزمايش سه محوري روي خاك هاي غير اشباع فقط براي اندازه گيري تنش هاي كل است.



استفاده از پس فشار (Back Pressure)

در حالي كه شير زهكشي مرتبط با بالاي نمونه باز است تا هواخارج شود، آب را با فشار مشخصي از انتهاي نمونه وارد مي كنيم.

استفاده از پمپ خلاء

براي خارج كردن هواي داخل نمونه به وسيله ي مكش البته هم زمان مي توان از پس فشار هم استفاده كرد.

استفاده از گازCO_2

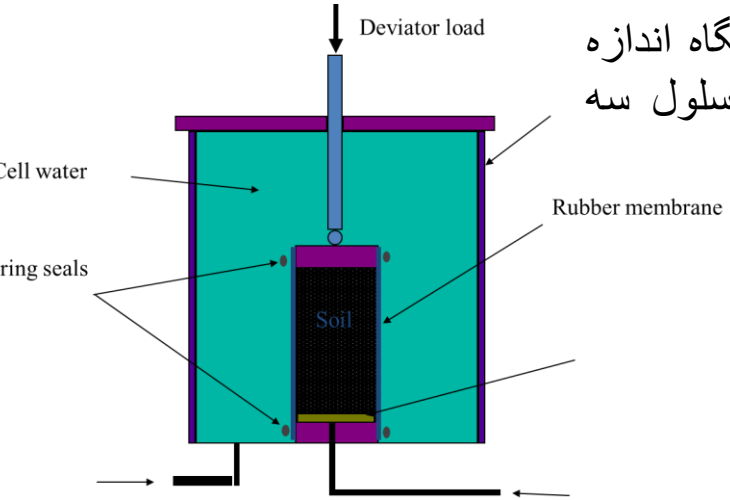
پيش از استفاده از دو روش بالا، از گاز CO_2استفاده مي شود. در اين حالت گاز جايگزين هواي حفره اي مي شود و در مراحل بعد آب به راحتي جايگزينCO_2 مي گردد. پس از مراحل فوق در شرايطي كه شير زهكشي بالاي نمونه بسته است، پس فشار از پايين نمونه وارد مي شود. اين امر موجب مي شود تا هواي محبوس داخل نمونه در آب حل شود و به اشباع شدن نمونه كمك كند.

روش انجام آزمايش

الف- براي كشيدن غشا بر روي آزمونه، غشاء را داخل قالب استوانه اي قرار دهيد و طرفين آن را روي بالا و پايين قالب بكشيد. به وسيله ي مكش درپشت غشاء لاستيكي اين غشاء به سطح داخلي استوانه مي چسبد.

آزمونه را در داخل سلول سه محوري قرار دهيد. پيستون بارگذاري محوري را روي سرپوش آزمونه قرار دهيد. با چندين بار آزمايش مطمئن شويد كه پيستون بارگذاري كاملا و بدون خروج از مركز بر روي سرپوش آزمونه قرار مي گيرد.

محفظه سلول سه محوري را در جاي خود قرار دهيد. دقت كنيد كه وسيله اعمال بار قائم، وسيله اندازه گيري بار قائم و محفظه سه محوري در طول آزمايش نيروي جانبي به پيستون وارد نكند.



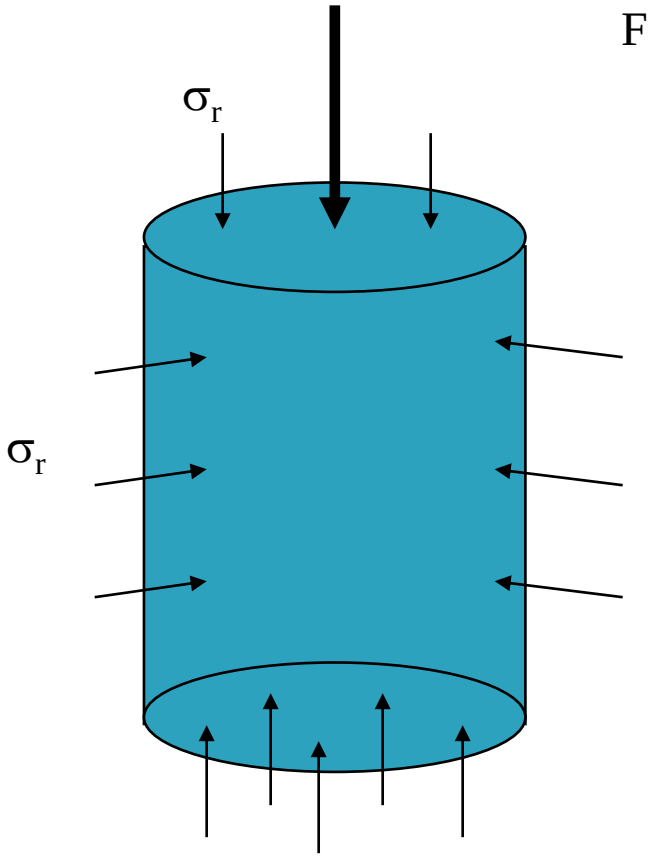
سپس سلول سه محوري را با مايع (نظير آب يا روغن) پر كرده، دستگاه اندازه گيري فشار را تنظيم كنيد. فشار مورد نظر همه جانبه را به مايع سلول سه محوري اعمال كنيد.

در اين حالت شير زهكشی باز باشد .

بارگذازي را به صورت كرنش محوري با نرخ ثابت به آزمونه اعمال كنيد. ومانند خواندن دو گيج آزمايش CBRقرائت كنيد.

بعد از اتمام آزمايش آزمونه را از دستگاه خارج كرده و درصد رطوبت آن را اندازه گيري كنيد.

حدا قل دو بار آزمايش را تكرار ونمودار تنش كرنش را رسم می كنيم .

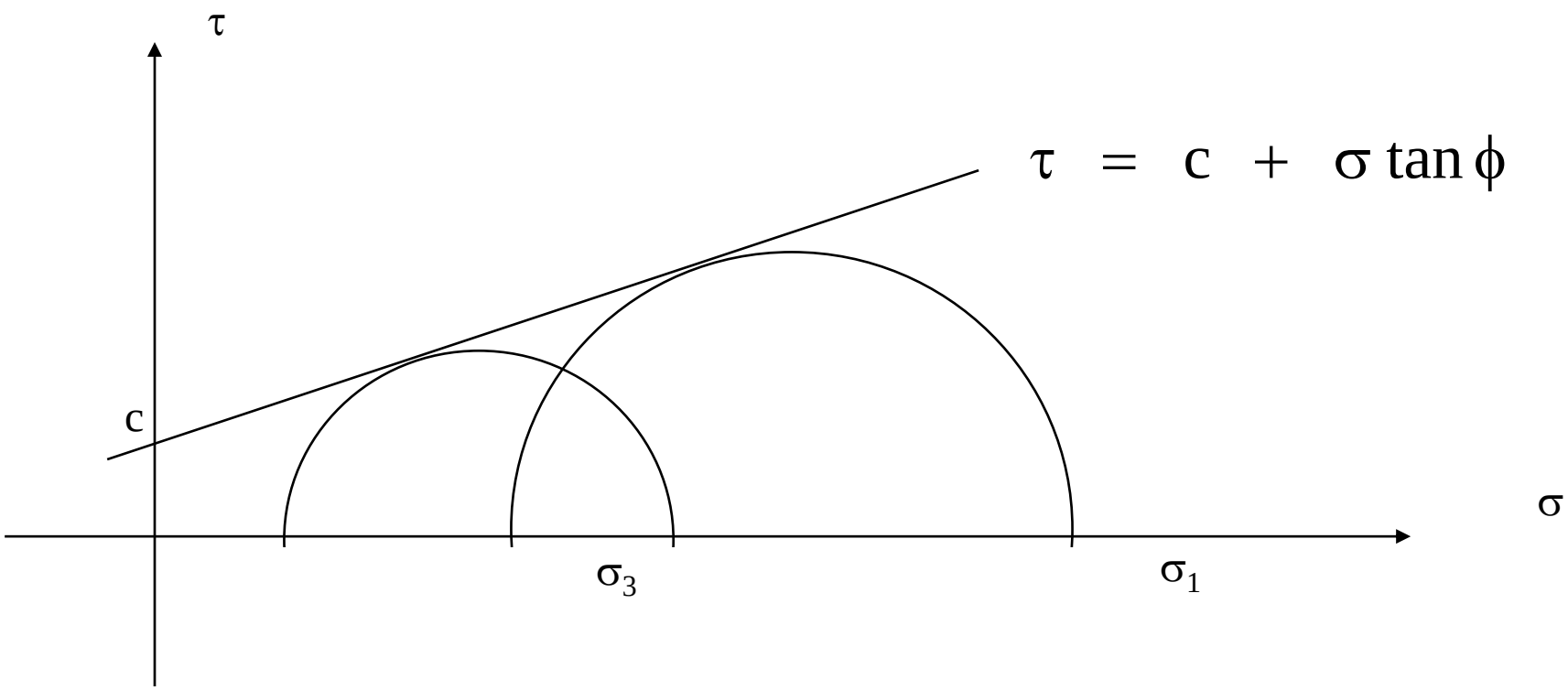


F = Deviator load

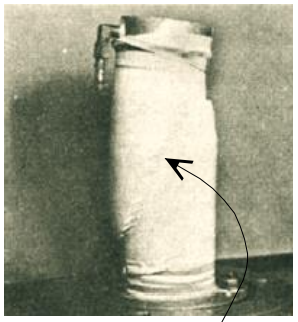
σ_r = Radial stress (cell pressure)

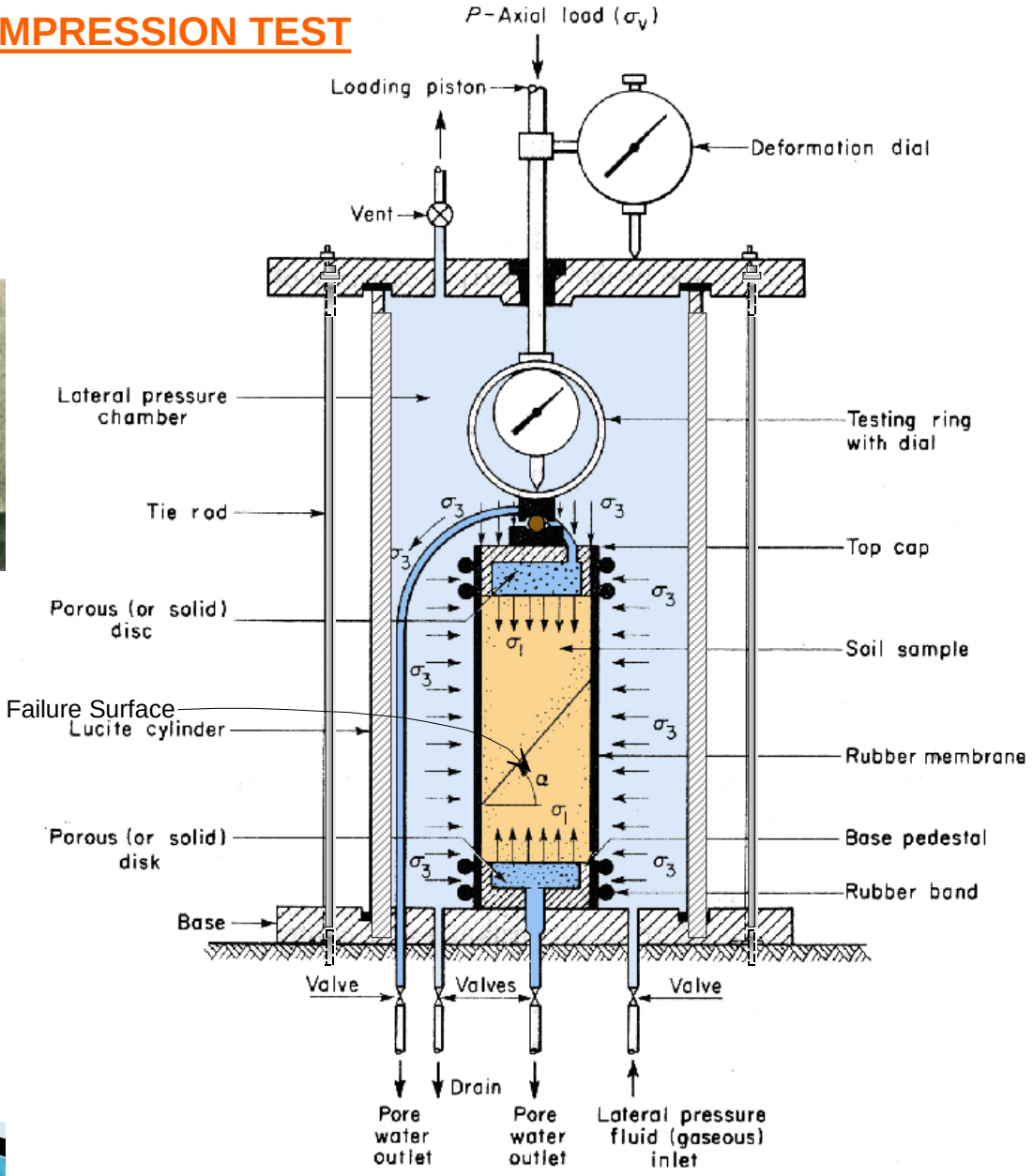
σ_a = Axial stress

From equilibrium we have, $\sigma_a = \sigma_r + \frac{F}{A}$


τ
τ = c + σ tan ϕ
c
σ
σ3
σ1

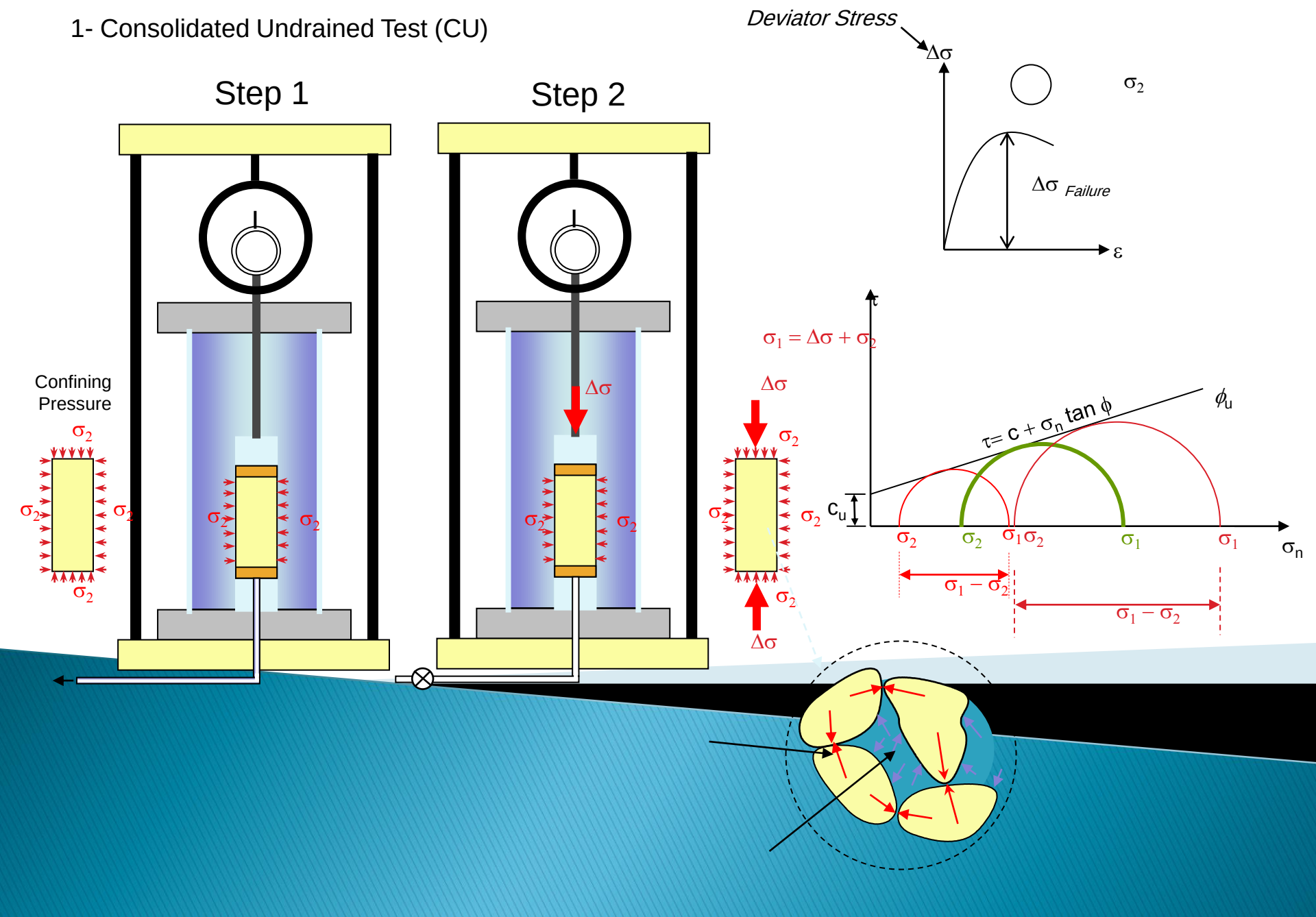
TRIAXIAL COMPRESSION TEST





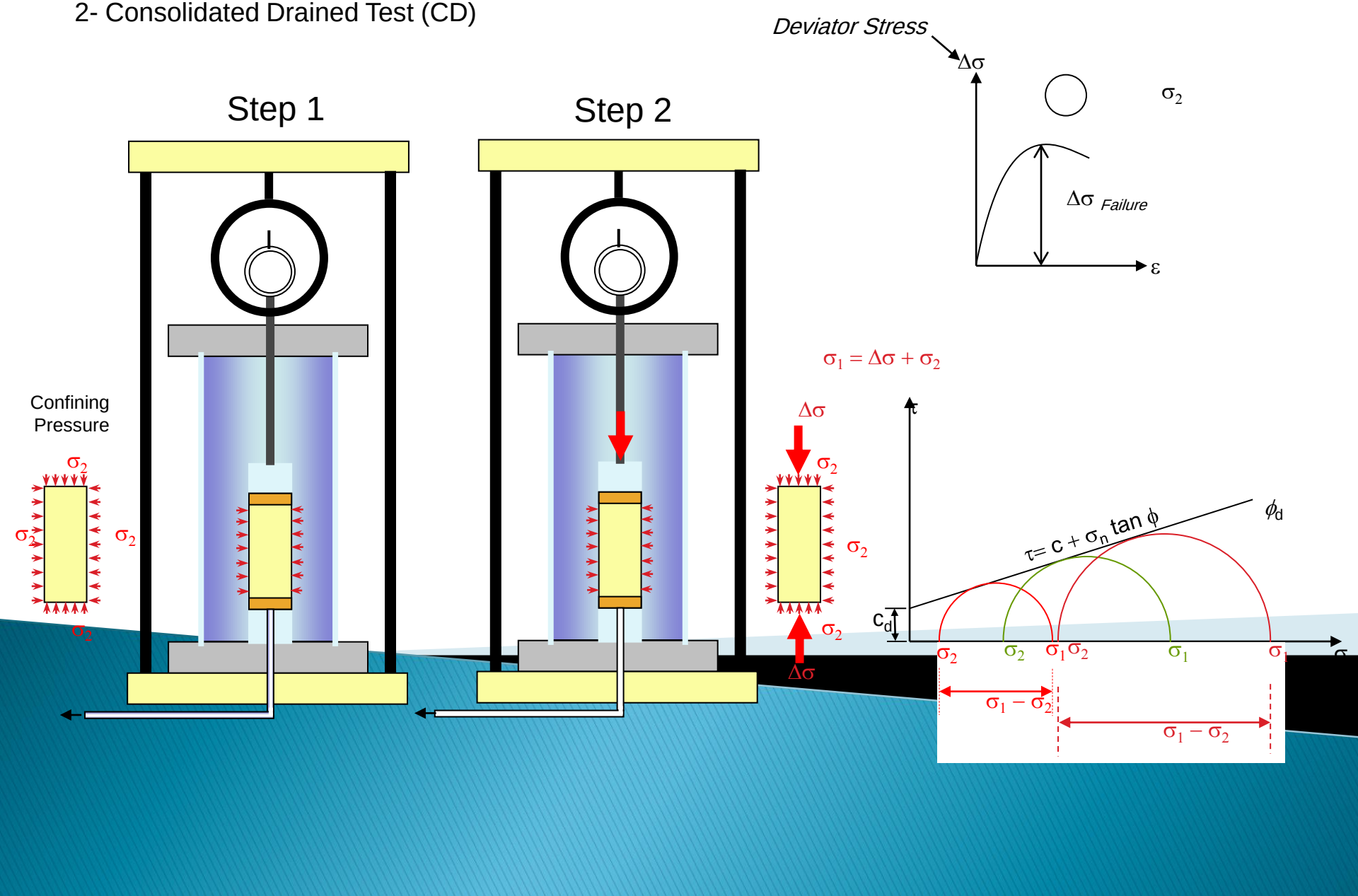
Triaxial Compression Test

1- Consolidated Undrained Test (CU)



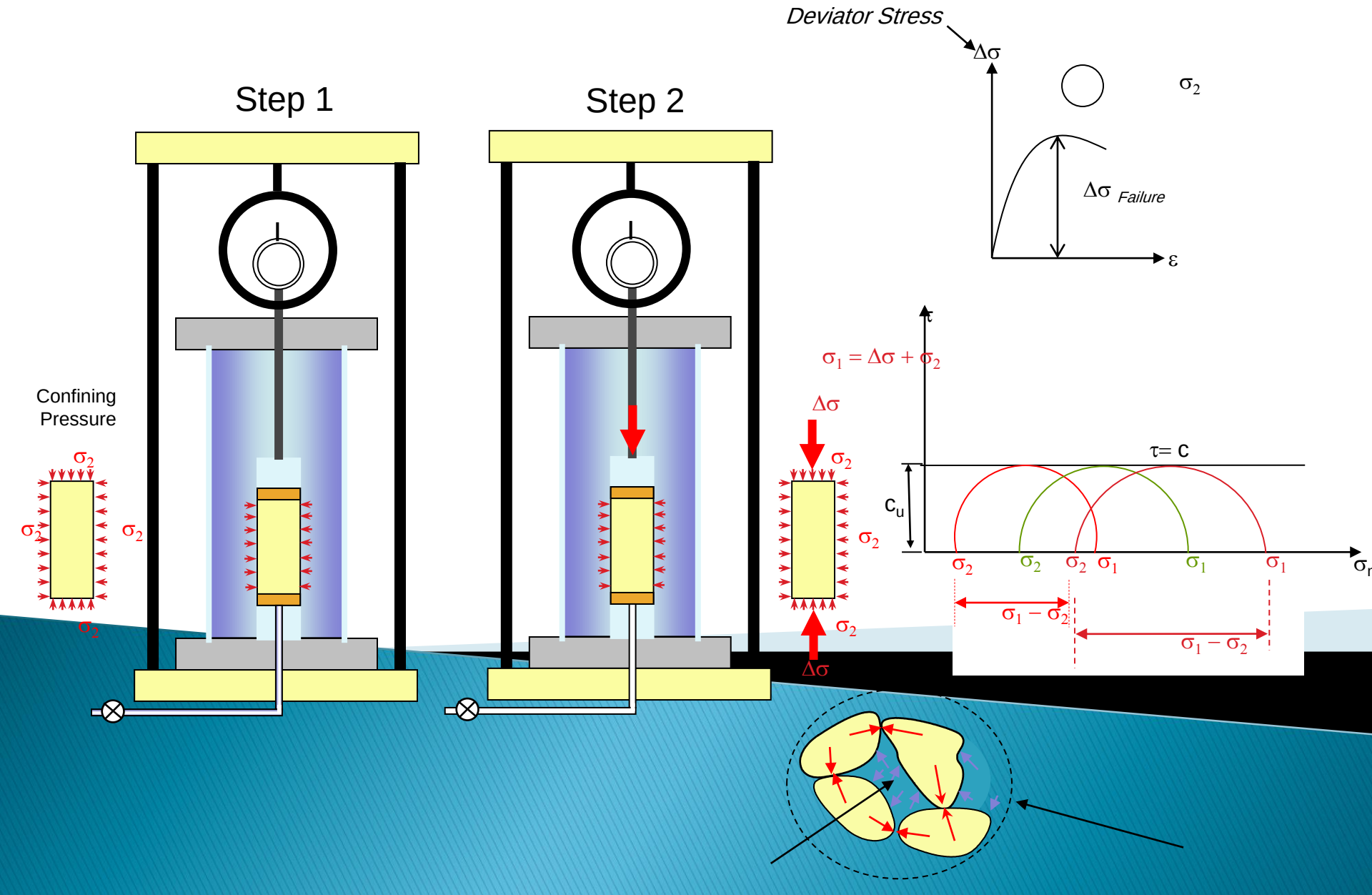
Triaxial Compression Test

2- Consolidated Drained Test (CD)



Triaxial Compression Test

3- Unconsolidated Undrained Test (UU)



با سپاس از توجه شما