بسمه تعالي

مكانيك خاك

سعيد خرقانی ۱۳۸۲-۱۳۸۳

هدف درس: آشنايي با اصول اساسي، نظريه‌ها و پديده هاي فيزيكي حاكم بر رفتارمكانيكي خاكها

مكانيك خاك عبارت است از بررسي خواص و رفتار مهندسي خاك

عدم شناخت كافي از خاك ممكن است ما را مواجه با مـشكلات مختلف در هنگام احداث و يا پس از احداث نمايد.

از مـهمـترين مـسائل و مـشكلات ايـجاد نـشـست هاي ناهمگون و يا بيش از حد مي باشد.

***مراجع درس*: مرجــع اصــلي درس كتاب مـكانـيك خــاك تألـيف آقايان دكتر بهنيا و طباطبايي مي باشــد ديگر مراجع درحين ارائه موضوع هاي مربوطه معرفي خواهند شد.**

نحوه ارائه درس :

۱ـ مشخصات فيزيكي خاكها ، طبقه بندي خاكها،مكانيك محيط هاي پيوسته

۲ـ آب در خاك

۳ـ تئوري ارتجاعي خاك و گسترش تنش در خاك و نظريه تحكيم و نشست خاك

٤ـ پايداري خميري خاكها

۵ـ پايداري شيروانيها، ظرفيت باربري خاكها

نحوه ارزيابي	امتحان ميان ترم و حل مسائل	٤٠%
	امتحان پايان ترم	٦٠%

تعاريف كلي :

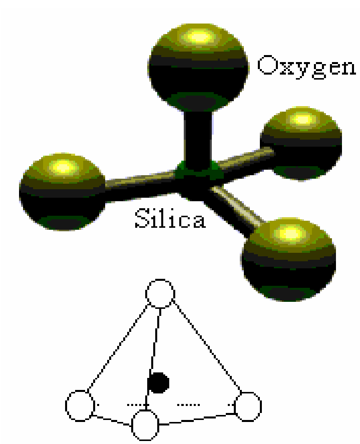
ـ تمام مواد موجود در پوسته زمين را مي توان به دو گروه سنگ و خاك تقسيم كرد.

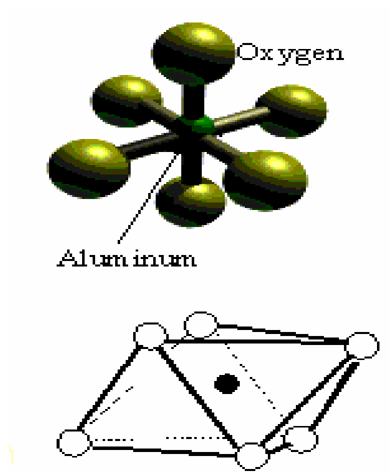
ـ در مهندسي عمران به هر توده متشكل از ذرات كانيهاي ناپيوسته خاك اطلاق مي گردد. اين ذرات از متلاشي شدن سنگها پديد مي آيند و فضاي خالي بين آنها را آب و يا هوا پر مي كنند.

ـ اگر مواد حاصل از متلاشي شدن در محل اصلي خود باقي بمانند، خاك بر جاي مانده يا رسوبي را تشكيل مي دهند و در صورتيكه مواد به محل ديگر تغيير مكان داده شوند و در آنجا ته نشين گردند خاك انتقال يافته را تشكيل مي دهند.

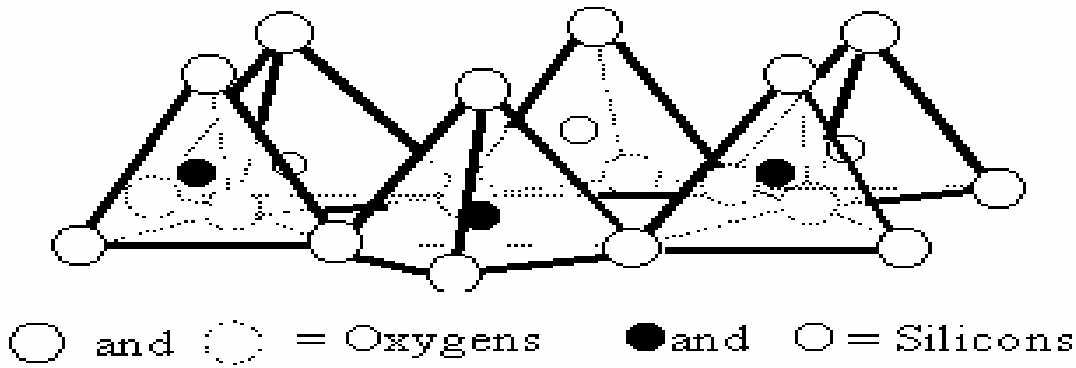
روند تخریبی تشکیل خاک از سنگ ممکن است فیزیکی ویا شیمیایی باشد تغییر فیزیکی به صورت فرسایش حاصل از عمل باد، آب ویخچالها میباشد اندازه دانه ها از قلوه سنگ تا کرد سنگ متغیر است؛ ساختمان خاک می تواند شل، متراکم ویا متراکم باشد.

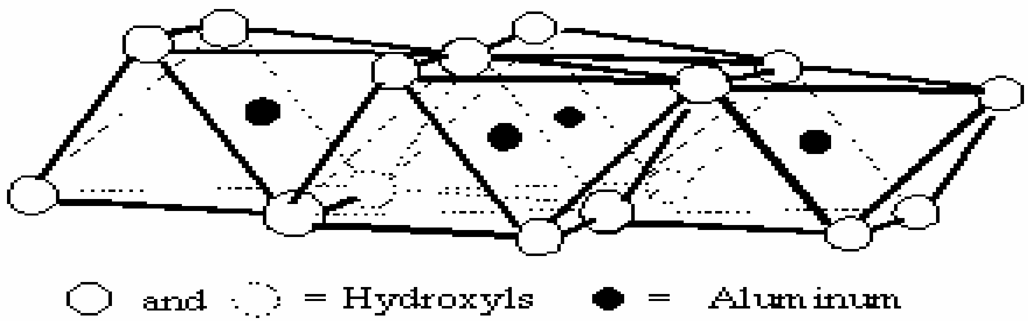
تخریب شیمیایی سنگها موجب پیدایش ذرات ریز بلوری با اندازه کلوییدی که کانی رسی نامیده می شوند است
بنیان بیشتر کانی های رسی از سیلیس چهار وجهی وآلومین هشت وجهی تشکیل شده است





از به هم پیوستن واحدهای بنیانی، ساختمانهای صفحه ای پدید می می آید





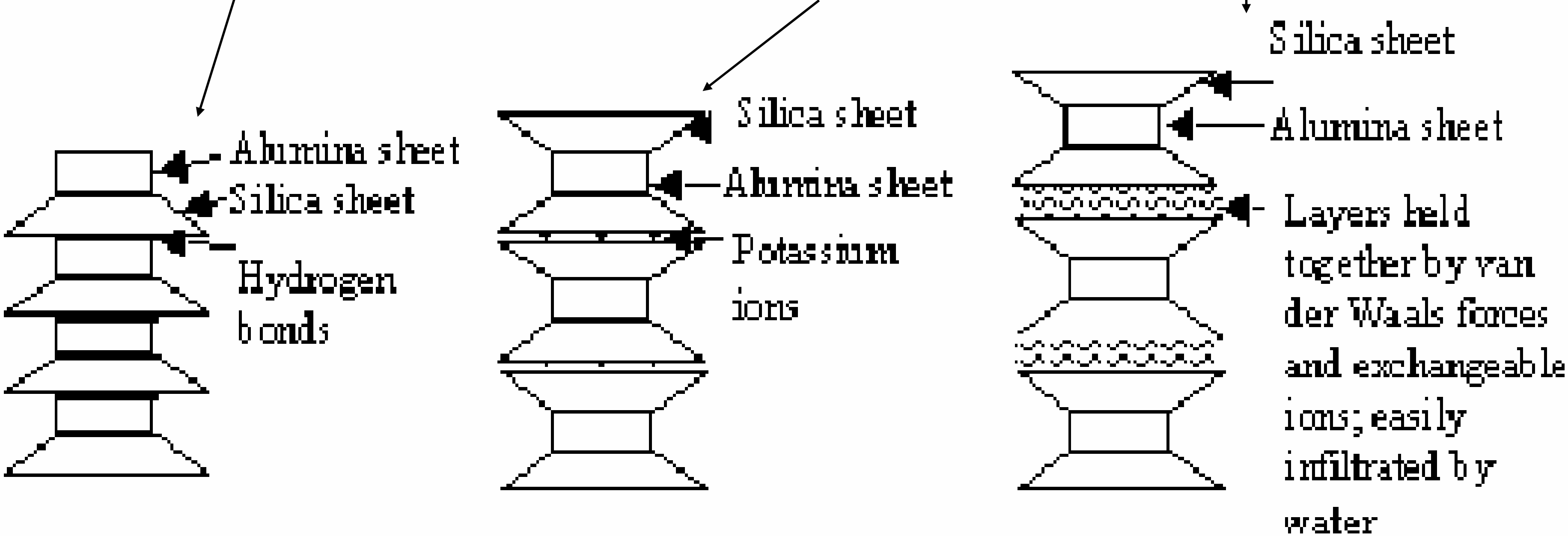
از به هم پیوستن ساختمانهای بنیانی صفحه ای با درجات مختلف پیوند، کانی های مختلف رسی بوجود می آیند

رس ها به سه گروه اصلی کایولینیت ها، ایلیت ها و مونموریونایت ها تقسیم می شوند

مونتموریلونایت
پیوند آب

کایولینیت
پیوند هیدروژن

ایلیت
پیوند پتاسیم



(a) Kaolonite (b) Illite (c) Montmorillonite

رده بندي و طبقه بندي خاكها :

طبـق تعـريف دانه هايي از خـاك كه با چـشـم ديده ميشوند خاكهاي درشت دانه و آنهايي كه زير اين حد قرار دارند ريزدانه نام دارند.

دو سيستم جهت رده بندي خاكها وجود دارد :

1) Unified Soil Classification System

2) American Association of State Highway officials (AASHO)

رده بندي و طبقه بندي خاكها :

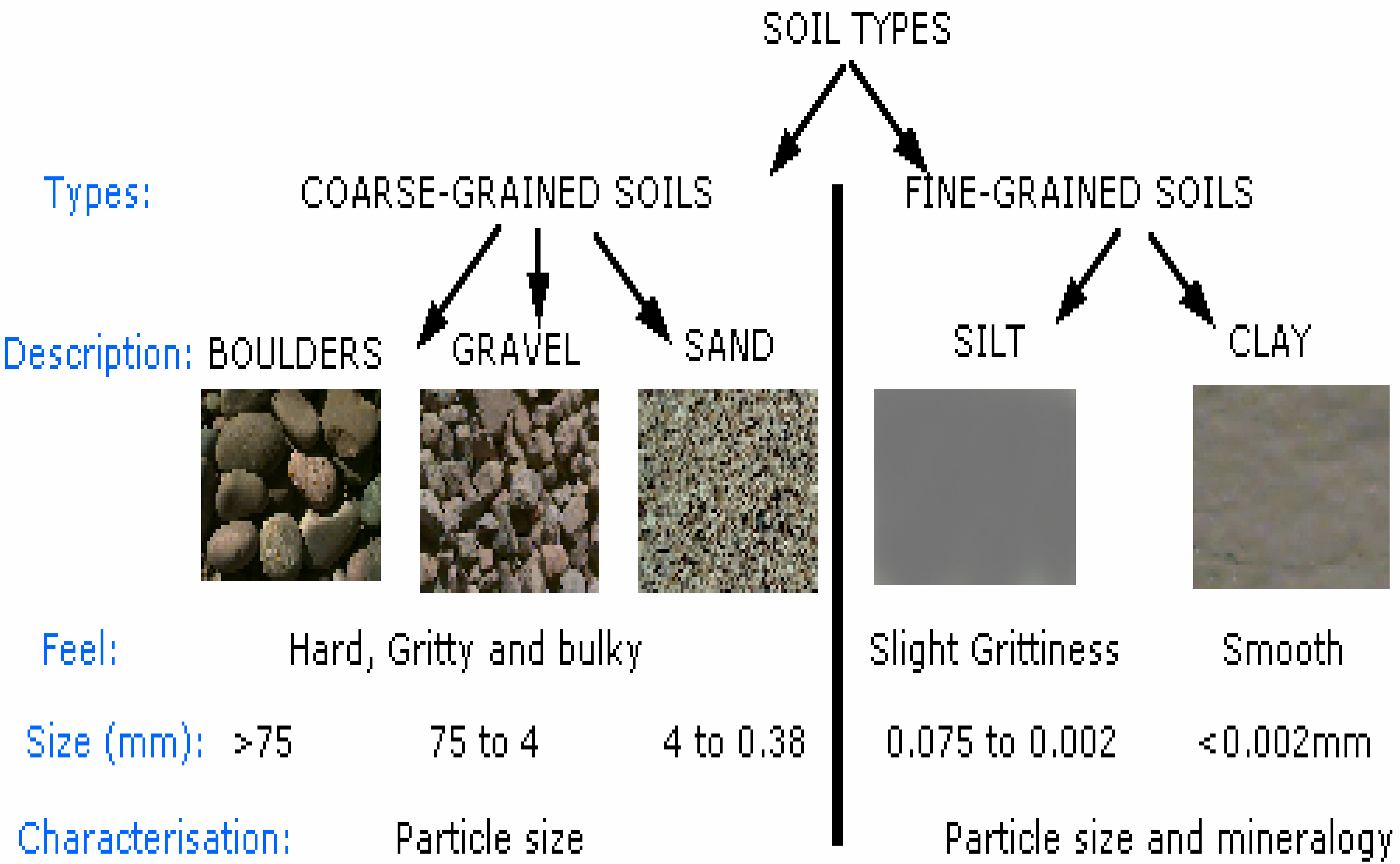
در هر دو سيستم خاك از پنج گروه اصلي تشكيل يافته است.

شن ، ماسه ، سيلت ، رس و مواد آلي

Gravel Sand Silt Clay Organic

اندازه دانه ها :

رس ولاي =< ٠,٠٧٥ ميليمتر
٠,٠٧٥ ميليمتر =< ماسه =< ٤,٧٥ ميليمتر
٤,٧٥ ميليمتر =< شن =< ٧٥ ميليمتر


SOIL TYPES
Types:
COARSE-GRAINED SOILS
FINE-GRAINED SOILS
Description:
BOULDERS
GRAVEL
SAND
SILT
CLAY
Feel:
Hard, Gritty and bulky
Slight Grittiness
Smooth
Size (mm):
>75
75 to 4
4 to 0.38
0.075 to 0.002
<0.002mm
Characterisation:
Particle size
Particle size and mineralogy

دانه بندي :

منظور از دانه بندي يك خاك تعيين درصد وزني دانه هاي با حدود و اندازههاي 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 الك توزين مي گردد و سپس درصد وزني خاك رد شده از الك محاسبه مي گردد.

الك يك اينچي الكي است كه اندازه ضلع چشمه هايش يك اينچ است. الك نمره چهار به مفهوم اين است كه يك اينچ را به چهار قسمت مساوي تقسيم كنيم

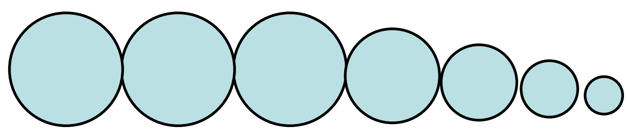
دانه بندي خـاكهاي ريز دانه را مي توان با اسـتفـاده از روش ته نشيني تعيـين كـرد اين روش مبـتني بر قـانون استوكس است كه مربوط به سرعت سقوط ذرات كروي شكل معلق در مايـعات مـي باشد ذرات بـزرگتر سـرعت سقوط بيشتري دارند و ذرات كوچكتر با سرعت كمتري ته نشين مي گردند.

توزيع اندازه دانه هاي يك خـا ك به صورت منحني بر محـورهاي مخـتلف اسـت نيـمه لگـاريتـمي نشان داده مي شـود. عـرض نقاط واقع بر اين منحني درصد وزني دانه هاي كوچكتر از اندازه أي است كه بر روي محور طولها داده شده است.

يك خـاك دانـه‌اي (درشـت دانـه) اگر هيـچ يك از اندازه هاي دانه هاي آن بيش از حد نباشد و هيچ يك از اندازه هاي دانه هاي مـياني را كـسر نداشـته باشـد خاك خوب دانه بندي شـده نامـيده مي شـود در غير اينصورت خاك بد دانه بندي شده ناميده مي شود.

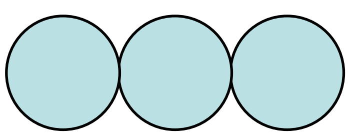
خاك خوب دانه بندي شده

$$1 \le Cc \le 3$$

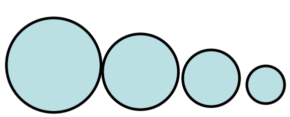


خاك بد دانه بندي شده

خاك يكنواخت



خاك منقطع



رده بندي خاكها به روش Unified

نام خاك با سمبلي كه از دو حرف لاتين تشكيل مي شود بيان مي گردد. پس از جدا كردن دانه هاي به قطر بيش از ۳ اينچ خاكها به سه دسته تقسيم مي گردند.

دانه درشت ← كمتر از ۵۰% دانه هاي از الك نمره ۲۰۰ عبور مي كند

دانه ريز ← ۵۰% يا بيشتر از الك نمره ۲۰۰ عبور مي كند

آلي ← شامل درصد بالايي از لايه هاي مواد آلي

روش Unified

خاكهاي درشت دانه

(با G يا S شروع مي شوند)

شن (G) خاكي است كه از الك ۳ اينچي مي گذرد ولي از الك نمره ٤ رد نمي شود اگر باقي مانده روي الك نمره ٤ بيشتر يا مساوي ٥٠% وزني خاك باشد حرف اول نام خاك G خواهد بود.

ماسه (S) خاكي است كه از الك ٤ مي گذرد ولي از الك نمره ۲۰۰ عبور نمي كند اگر رد شده از الك نمره ۲۰۰ كمتر از ٥٠% وزني خاك باشد حرف اول نام خاك S خواهد بود.

حروف دوم نام خـاك توسط نوع مواد عبور يافته از الك نمره ۲۰۰ تعـيين مي شـود. اگر كمتر از ۵% كل نمونه از الك نمره ۲۰۰ عبور كند خاك به دو نوع :

خوب دانه بندي شده (W : Well Graded)

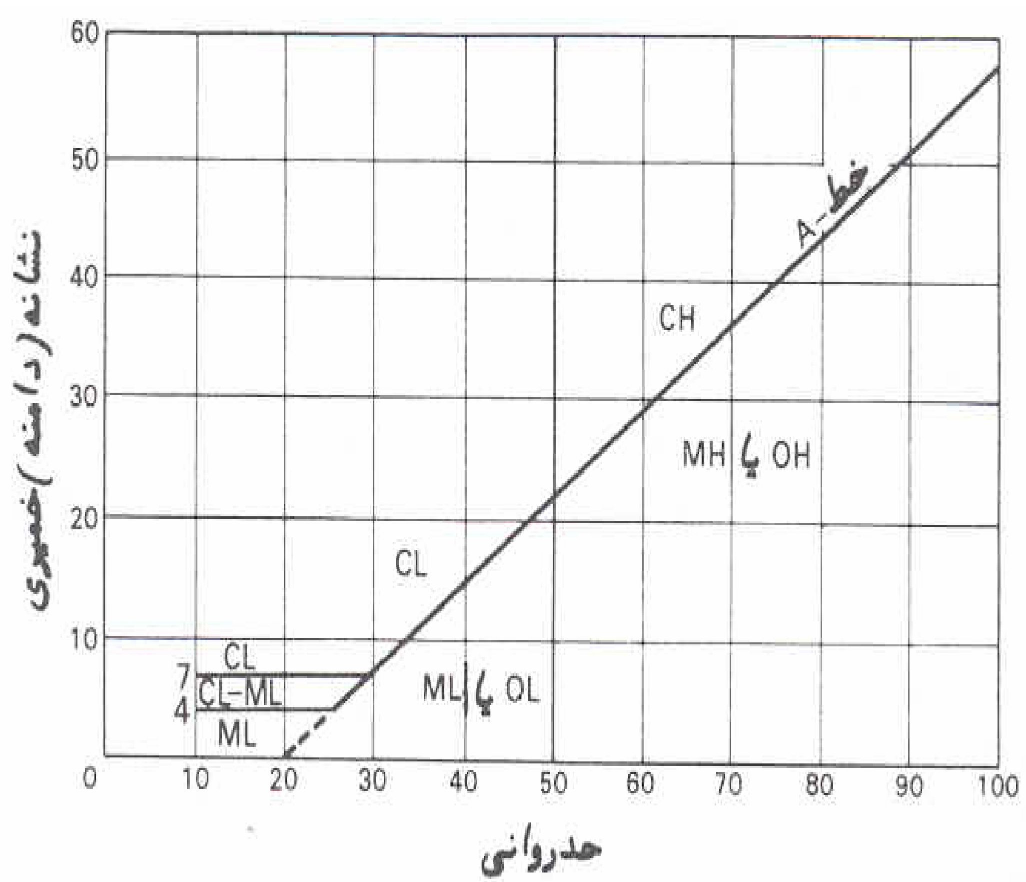
بد دانه بندي شده (P : Poorly Graded)

لذا نام خاك GW يا SP ، GP يا SW خواهد بود.

اگر بيش از ۱۲% از الـك نمـره ۲۰۰ رد شوند حـرف دوم سمبل نوع خاك از سوي دامنه خميري خاك (P 1 = LL – PL) تعيين مي شود.

خاکهای ریزدانه

خاکهایی که بیش از ۵۰% وزنشان از الک ۲۰۰ عبور می کند از روی حالت خمیری وقابلیت تراکم طبقه بندی می گردند. پس از انجام آزمایشهای حدود اتربرگ برروی قسمتی از خاک که از الک ۴۰ عبور کرده است اگر حالت خمیری از خود نشان دهد خاک از نوع رس ودر غیر این صورت سیلتی می باشد



برای این موضوع

از نمودار خاص

روبرو استفاده

می شود

c ریزدانه خمیری

M ریز دانه غیر خمیری

H>۵۰ خاصیت خمیری زیاد L<۵۰ خاصیت خمیری کم

خاکهای ریز دانه : پنجاه درصد یا بیشتر از الک ۲۰۰ عبور کرده است

اگر حد روانی کمتر از ۵۰% باشد خاک
ML CL OL است
اگر حد روانی بیشتر از ۵۰% باشد خاک
MH CH OH است

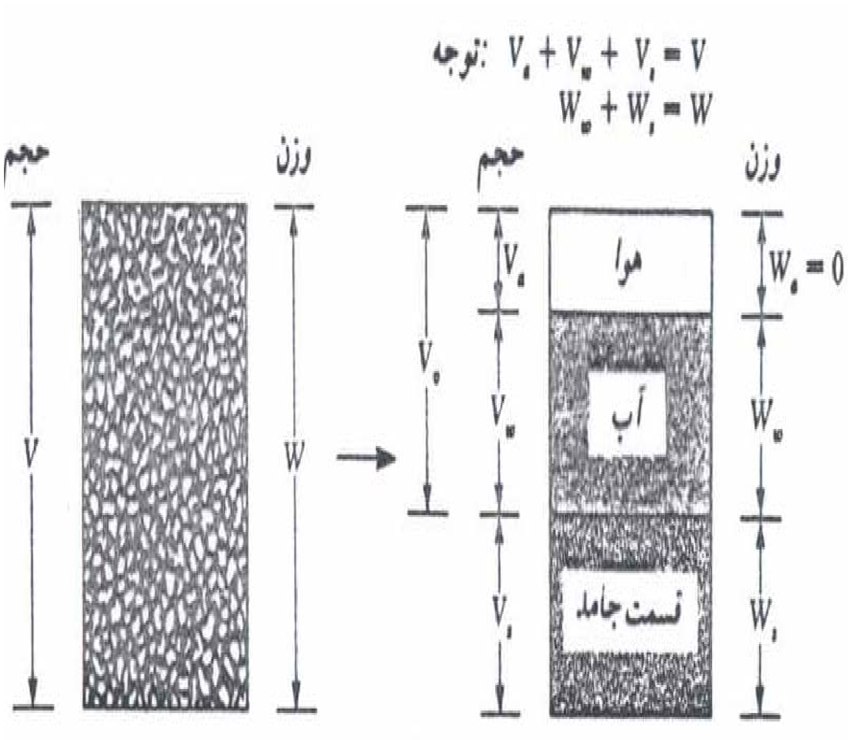
خاکهای کاملاً آلی با Pt مشخص می شوند

مثال: عبور ۲ کیلوگرم خاک از الکهای ۲ و ۱ اینچ و الکهای شماره ۴؛ ۱۰؛ ۴۰ و ۲۰۰ نتایج زیر را داده است:

الک	میلیمتر	مانده(گرم)	ردشده(گرم)	درصدردشده
۲ اینچ	۵۰,۸	۲۰۰	۱۸۰۰	%۹۰
۱ اینچ	۲۵,۴	۵۰۰	۱۳۰۰	%۶۵
شماره۴	۴,۷۵	۲۵۰	۱۰۵۰	%۵۲,۵
شماره۱۰	۲	۳۰۰	۷۵۰	%۳۷,۵
شماره۴۰	۰,۴۲	۱۵۰	۶۰۰	%۳۰
شماره۲۰۰	۰,۰۷۵	۱۰۰	۵۰۰	%۲۵

مطلوبست رسم منحنی دانه بندی وضرایب یکنواختی و خمیدگی

روابط حجمی ووزنی حاکم بر خاکها



- خاکها ممکن است از دو یا سه قسمت تشکیل شده باشند.
- خاک خشک از دانه های جامد وهوا، خاک اشباع از دانه های جامد و آب تشکیل می گردد.
- خاک مرطوب نیمه اشباع سه قسمتی است.

میزان رطوبت با وزن کردن خاک وسپس خشک کردن در گرم کن با حرارت ۱۰۵درجه به مدت ۲۴ساعت وتوزین مجدد بدست می آید.

$$W=100W_w/W_s$$

نشانه خلا و یا درجه تخلخل نسبت حجم فضای خالی به حجم دانه های جامد است و تخلخل خاک و یا درجه پوکی نسبت حجم فضای خالی به حجم کل خاک است.

$$e = V_v/V_s \qquad n = V_v/V$$

$$n = e/(1+e) \qquad e = n/(1-n)$$

جرم مخصوص ظاهری ρ نسبت جرم کل به حجم کل را بیان می کند $\rho = M/V$

جرم مخصوص آب عبارت است از:

$$\rho_w = 1\ t/m^3 = 1\ g/cm^3 = 1000\ kg/m^3$$

Sol non sature

	w	n	e	γ	γ_d
$w =$	--	$\frac{sn}{(1-n)G}$	$-\frac{se}{G}$	$\frac{\gamma_s-\gamma}{\frac{G}{s}\gamma-\gamma_s}$	$)s\gamma_w(\frac{1}{\lambda_d}-\frac{1}{\gamma_d}$
$n =$	$\frac{WG}{WG+s}$	–	$\frac{e}{1+e}$	$\frac{\gamma-\gamma_s}{s\gamma_w-\gamma_s}$	$1-\frac{\gamma_d}{\gamma_s}$
$e =$	$\frac{WG}{S}$	$\frac{n}{1-n}$	–	$\frac{\gamma\ \ -\gamma}{\gamma-s\lambda_w}$	$\frac{\gamma_s}{\gamma_d}-1$
$\gamma =$	$\frac{\gamma_s(1+w)}{\frac{WG}{S}+1}$	$Sn\gamma_w+(1-n)\gamma_s$	$\frac{\gamma_s+se\gamma_w}{1+e}$	--	$\gamma_d(1-\frac{S}{G})+s\gamma_d$
$\gamma_d =$	$\frac{\gamma_s}{\frac{WG}{S}+1}$	$(1-n)\gamma_s$	$\frac{\gamma_s}{1+e}$	$\frac{\gamma-S\gamma_w}{1-\frac{S}{G}}$	–
$S =$	$\frac{W}{\gamma_w(\frac{1}{\gamma_d}-\frac{1}{\gamma_s})}=\frac{W}{\frac{\gamma_w}{\gamma_d}-\frac{1}{G}}=\frac{\gamma-\gamma_d}{\gamma_w(1-\frac{\gamma_d}{\gamma_s})}=\frac{WG}{e}$				

مثال ۱ : رطوبت طبیعی خاکی۴۳% وچگالی مواد جامد۲،۷۰ می باشد در صورتی که خاک رس نرم اشباع باشد مطلوبست محاسبه درجه تخلخل، درجه پوکی ووزن مخصوص اشباع آن.

$$w = 0.43 = \frac{w_w}{w_s} = \frac{w_w}{1}$$

$$ {}_s = \frac{w_s}{v_s} = 2.7 = \frac{1}{v_s} \Longrightarrow v_s = \frac{1}{2.7} = 0.37 c.c$$

$$v_w = 0.43 cc$$

$$e = \frac{v_v}{v_s} \times 100 = \frac{0.43}{0.37} \times 100 = 1/16$$

$$n = \frac{0.43}{0.43 + 0.37} \times 100 = 0.63$$

$$\gamma_{sat} = \frac{1.43}{0.8} = 1/79$$

مثال ۲: نمونه خاکی دارای وزن مرطوب ۱۶۷ گرم و وزن خشک ۱۱۲ گرم می باشدحجم نمونه قبل از خشک شدن ۱۰۲ سانتیمتر مکعب بوده وچگالی خاک Gs=۲،۶۵ است. مطلوبست محاسبه تخلخل و درجه پوکی ودرجه اشباع ووزن مخصوص خشک خاک.

$$w = \frac{w_w}{w_s} \times 100 = \frac{167-112}{112} \times 100 = \%49$$

$$\gamma_d = \frac{w_s}{v} = \frac{112}{102} = 1.09 \frac{g}{cm^3} \cdot \frac{t}{m^3}$$

$$w_s = 1 \Rightarrow \gamma_d = \frac{1}{v} = 1.09 \Rightarrow v = \frac{1}{1.09}$$

$$v_a = \frac{1}{1.09} - \frac{1}{2.65} - 0.49 = 0.05$$

$$e = \frac{v_v}{v_s} = \frac{0.05+0.49}{0.37} \times 100 = 1/45$$

$$n = \frac{e}{1+e} = 0.69$$

$$s_r = \frac{v_w}{v_v} = \frac{0.49}{0.61} = 0.9$$

صحت روابط زیر را تحقیق کنید

1) $s_r . e = G_s . w$

2) $\gamma = \dfrac{G_s + S_r . e}{1 + e} . \gamma_w$

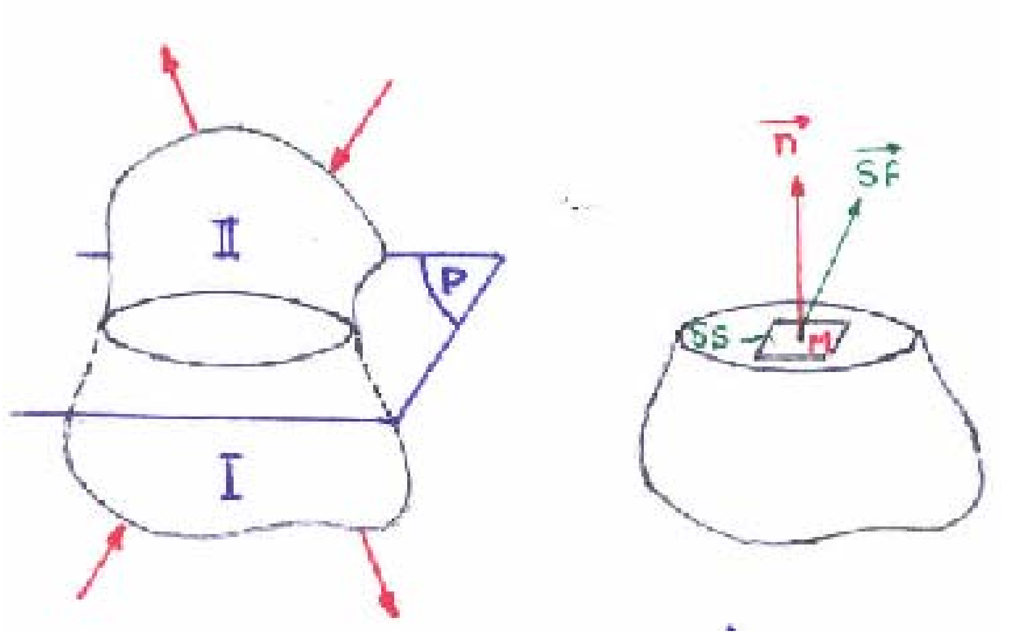
3) $\gamma_d = \dfrac{1}{{}^{w}\!/_{s_r} + {}^{1}\!/_{G_s}} . \gamma_w$

4) $\gamma_d = \dfrac{G_s (1 - A)}{1 + w G_s} . \gamma_w$ $\qquad A = \dfrac{v_a}{v} \times 100$

5) $\gamma_{sat} = \gamma_d + \dfrac{\gamma_s - \gamma_d}{\gamma_s} . \gamma_w$

مکانیک محیطهای پیوسته

- تعریف تنش: تنش برای یک جسم مفهومی مجازی دارد
- در صورتی که بر جامد نامشخص نیروهای خارجی وارد شوند این جامد را به وسیله یک صفحه مجازی قطع می کنیم.

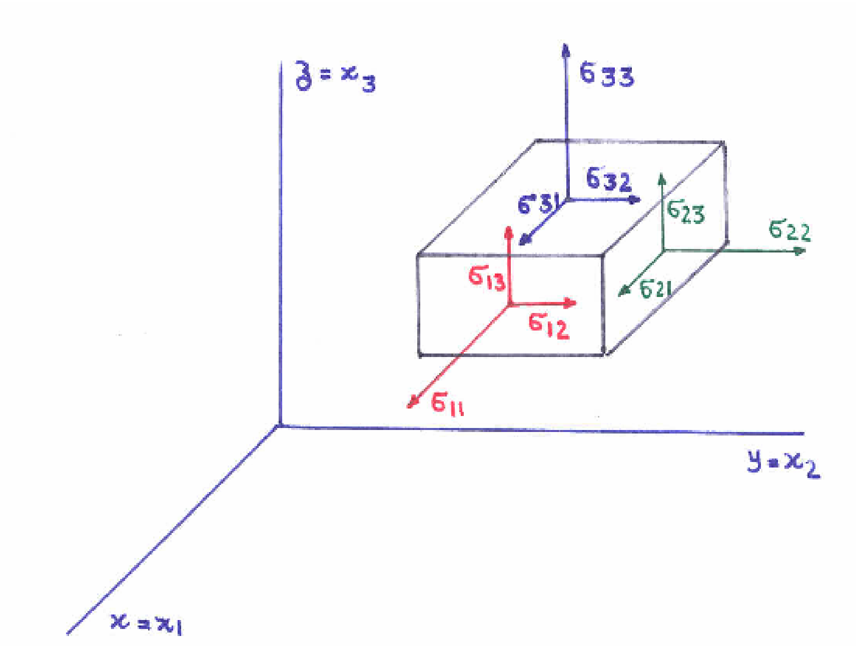


بردار تنش $\vec{\sigma} = \lim_{\Delta s \to 0} \frac{\Delta \vec{F}}{\Delta s}$ ویا $\vec{F} = \frac{\delta \vec{F}}{\delta s}$

$$\vec{F} \begin{cases} \sigma_n & \text{تنش قايم} \\ \sigma_t & \text{تنش مماسی} \end{cases}$$

مفهوم تنش در فضا

نظريه مربوطه نشان مي دهد كه براي تعيين، تنشهاي وارد بر تمامي جزء سطوح مختلف گذرا از نقطه M كافيست كه در نقطه A مكعبي درنظر بگيريم و ببينيم بر كليه سطوح آن چه نيروهايي و بالطبع چه تنشهايي وارد مي شود



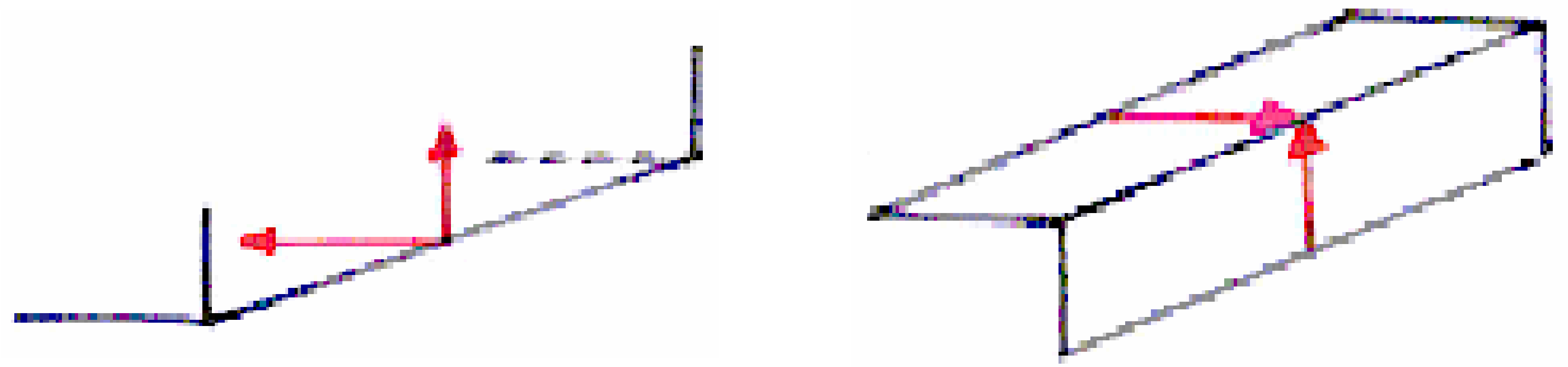
تانسور تنش

تاکنون به تعریف تنش ومفهوم کلی آن وتعریف مؤلفه های تنش برروی یک مکعب در فضا پرداختیم، اکنون به تعریف تانسور تنش به صورت زیر می پردازیم

$$\sigma = \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \sigma_{13} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \sigma_{23} \\ \sigma_{31} & \sigma_{32} & \sigma_{33} \end{bmatrix}$$

تنش برشي در دو صفحه بي نهايت كوچك عمود بر يك يال مشترك برابرند (قضيه كوشي)

اين تنشهاي برشي يا از فصل مشترك دور مي شوند و يا به هم نزديك مي شوند

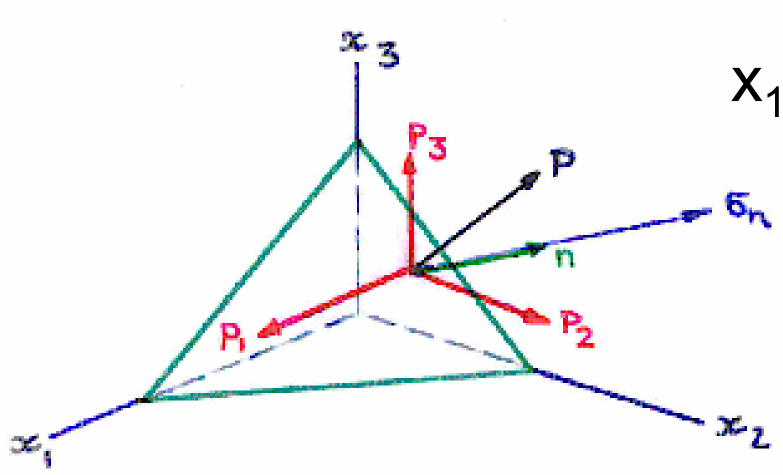


تعريف تنشهاي اصلي و صفحه هاي اصلي

اگر تانسور تنس را به این صورت تعریف نماییم:

$$\sigma_{ij} = \frac{1}{3}\sigma_{kk}\delta_{ij} + S_{ij}$$

سطح sدر مختصات فضایی x_1, x_2, x_3



$$P_i = \sigma_{ij} n_j s$$

$$|\vec{\sigma}| = \frac{\sqrt{P_1^2 + P_2^2 + P_3^2}}{s}$$

$$\sigma_n = \frac{P_i n_i}{s} = \sigma_{ij} n_i n_j$$

$$\sigma_t^2 = \sigma_n^2 + |\vec{\sigma}|^2$$

اگر $(S=1)$ $\leftarrow$

$$(1)\quad \begin{cases} P_1 = \sigma_{1j} n_j = \sigma_{11} n_1 + \sigma_{12} n_2 + \sigma_{13} n_3 \\ P_2 = \sigma_{2j} n_j = \sigma_{21} n_1 + \sigma_{22} n_2 + \sigma_{23} n_3 \\ P_3 = \sigma_{3j} n_j = \sigma_{31} n_1 + \sigma_{32} n_2 + \sigma_{33} n_3 \end{cases}$$

در صورتیکه بر روي سطح فقط تنش عمودي σ_n را داشته باشيم، مولفه هاي P_1، P_2 ، P_3 در موقعيت تصاوير σ_n بر روي محورهاي مختصات خواهند بود

$$(2)\quad \begin{cases} P_1 = \sigma_n \cdot n_1 \\ P_2 = \sigma_n \cdot n_2 \\ P_3 = \sigma_n \cdot n_3 \end{cases}$$

$$(1)\ \&\ (2) \longrightarrow \begin{bmatrix} \sigma_{11}-\sigma_n & \sigma_{12} & \sigma_{13} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22}-\sigma_n & \sigma_{23} \\ \sigma_{31} & \sigma_{32} & \sigma_{33}-\sigma_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ n_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

یکی از پاسخها $n_1=n_2=n_3=0$ است که بی معناست چون $n_1^2+n_2^2+n_3^2=1$

لذا باید دترمینان ماتریس
ضرایب مساوی صفر باشد

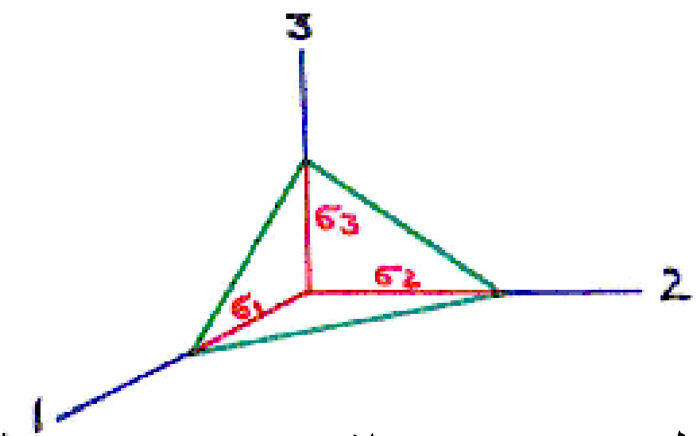
$$\mathrm{Det}\begin{bmatrix} \sigma_{11}-\sigma_n & \sigma_{12} & \sigma_{13} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22}-\sigma_n & \sigma_{23} \\ \sigma_{31} & \sigma_{32} & \sigma_{33}-\sigma_n \end{bmatrix} = 0$$

واین درحقیقت همان معادله مشخصه یک ماتریس است و یا به عبارت دیگر بردار

- $\begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ n_3 \end{bmatrix}$ بردار ویژه تانسور تنش می باشد

$$\sigma_n^{3} - (\sigma_{11}+\sigma_{22}+\sigma_{33})\,\sigma_n^{2} + (\sigma_{11}\sigma_{22}+\sigma_{22}\sigma_{33}+\sigma_{33}\sigma_{11}-\sigma_{12}^{2}-\sigma_{23}^{2}-\sigma_{31}^{2})\,\sigma_n - (\sigma_{11}\sigma_{22}\sigma_{33}+2\sigma_{12}\sigma_{23}\sigma_{13}-\sigma_{11}\sigma_{23}^{2}-\sigma_{22}\sigma_{31}^{2}-\sigma_{33}\sigma_{12}^{2}) = 0$$

حل این معادله برای σ_n مقادیر خاص $\sigma_1,\sigma_2,\sigma_3$ را به ما خواهد داد که تنشهای اصلی ما خواهند بود



به ازاء هر تنش اصلی یک بردار خاص وجوددارد صفحه ای که از دو بردار خاص تشکیل گردد را صفحه اصلی می نامند

و اما در معادله ارائه شده، سه پارامتر ذيل قابل تعريف مي باشند:

1) $J_1 = \sigma_{11} + \sigma_{22} + \sigma_{33} = \text{Trace}[\sigma] = \text{اثر}[\sigma]$

2) $J_2 = \sigma_{11}\sigma_{22} + \sigma_{22}\sigma_{33} + \sigma_{33}\sigma_{11} - \sigma_{12}^2 - \sigma_{23}^2 - \sigma_{31}^2$ مجموع دترمينان کوفاکتورهاي قطر اصلي تانسور تنش

3) $J_3 = \sigma_{11}\sigma_{22}\sigma_{33} + 2\sigma_{12}\sigma_{23}\sigma_{31} - \sigma_{11}\sigma_{23}^2 - \sigma_{22}\sigma_{31}^2 - \sigma_{33}\sigma_{12}^2 = \det[\sigma]$

$$\boxed{\sigma_n^3 - J_1\sigma_n^2 + J_2\sigma_n - J_3 = 0}$$

مقادير **J_1** ، **J_2**، **J_3** مستقل از دستگاه محورهاي مختصات بوده و به تغيير ناپذيرهاي تانسور تنش موسومند

مثال : مطلوبست تعيين تنش‌هاي اصلي وقتي كه داشته باشيم:

$$\sigma = \begin{bmatrix} 112 & 120 & 0 \\ 120 & -100 & 0 \\ 0 & 0 & 80 \end{bmatrix}$$

$$\det \begin{bmatrix} 112-\sigma_n & 120 & 0 \\ 120 & -100-\sigma_n & 0 \\ 0 & 0 & 80-\sigma_n \end{bmatrix} = 0$$

$$(80-\sigma_n)\left[(-100-\sigma_n)(112-\sigma_n)-(120)(120)\right]=0$$

$$(\sigma_n - 80)\left(\sigma_n^2 - 12\sigma_n - 25600\right) = 0$$

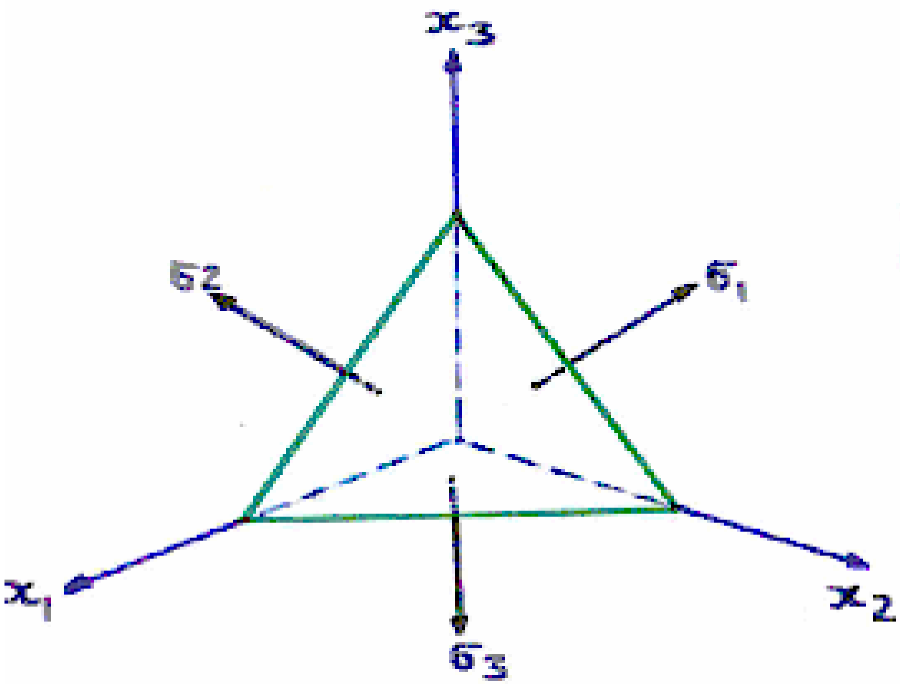
$$\sigma_n = 80 \qquad \sigma_n = \frac{6 \pm \sqrt{25636}}{1} = \begin{cases} 166 \\ -154 \end{cases}$$

$$\sigma_1 = +166_{\frac{kn}{m^2}} \qquad \sigma_2 = 80_{\frac{kn}{m^2}} \qquad \sigma_3 = -154_{\frac{kn}{m^2}}$$

لذا تانسور تنش‌هاي اصلي عبارت است از :

$$\begin{bmatrix} 166 & 0 & 0 \\ 0 & 80 & 0 \\ 0 & 0 & -154 \end{bmatrix}$$

دوایر موهر



$$\sigma_n = \sigma_1 n_1^2 + \sigma_2 n_2^2 + \sigma_3 n_3^2$$

$$\sigma_t^2 = \sigma_1^2 n_1^2 + \sigma_2^2 n_2^2 + \sigma_3^2 n_3^2 - \sigma_n^2$$

$$n_1^2 + n_2^2 + n_3^2 = 1$$

اگر n_1 ، n_2 و n_3 را به عنوان مجهولات در نظر بگیریم، خواهیم داشت

$$\begin{cases} n_1^2 = \dfrac{\sigma_t^2 + (\sigma_n - \sigma_2)(\sigma_n - \sigma_3)}{(\sigma_1 - \sigma_3)(\sigma_1 - \sigma_2)} \geqslant 0 \\[2ex] n_2^2 = \dfrac{\sigma_t^2 + (\sigma_n - \sigma_3)(\sigma_n - \sigma_1)}{(\sigma_2 - \sigma_3)(\sigma_2 - \sigma_1)} \geqslant 0 \\[2ex] n_3^2 = \dfrac{\sigma_t^2 + (\sigma_n - \sigma_1)(\sigma_n - \sigma_2)}{(\sigma_3 - \sigma_1)(\sigma_3 - \sigma_2)} \geqslant 0 \end{cases}$$

در صورتیکه فرض کنیم $\sigma_1 \succ \sigma_2 \succ \sigma_3$ باشد ، خواهیم داشت:

$$\sigma_t^2 + (\sigma_n - \sigma_2)(\sigma_n - \sigma_3) \geqslant 0$$

دایره A

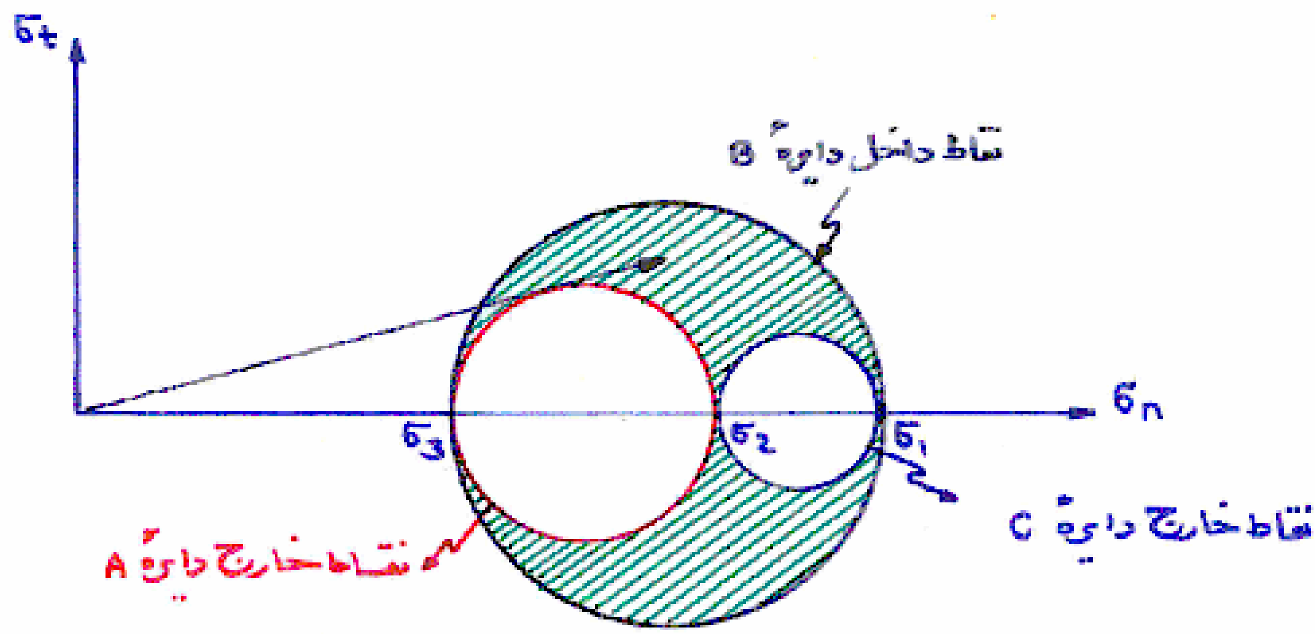
چراكه $\sigma_t^2+\sigma_n^2-(\sigma_2+\sigma_3)\sigma_n+\sigma_2\sigma_3=0$ معادله يك دايره است

دايرهB

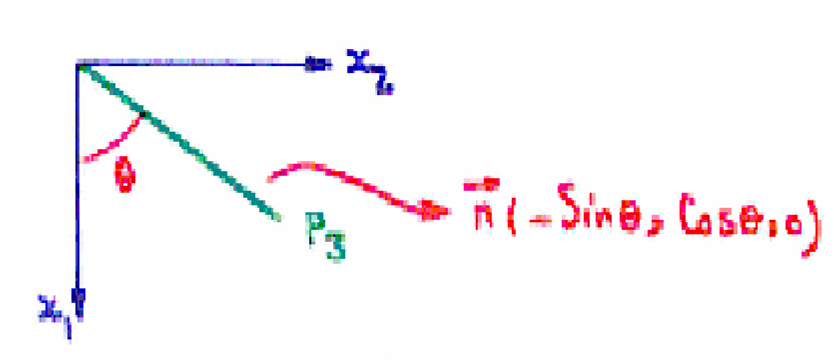
$$\sigma_t^2+(\sigma_n-\sigma_3)(\sigma_n-\sigma_1)\leq 0$$

دايرهC

$$\sigma_t^2+(\sigma_n-\sigma_1)(\sigma_n-\sigma_2)\geq 0$$



حال اگر به بررسي اين تنشها و و ترسيم دواير موهر در صفحه بپردازيم، مي توانيم موضوع را به صورت زير تشريح كنيم:



در صفحه، صفحه أي كه بر روي آن تنشها اصلي مي باشند با خط P_3 معرفي

مي گردد، كه زاويه θ با محور x_1 مي‌سازد. بردار نرمال اين خط

مختصات $\vec{n}(-Sin\ \theta, Cos\ \theta, 0)$ را دارا مي باشد، لذا:

$$\sigma_n = \sigma_1 n_1^2 + \sigma_2 n_2^2 + \sigma_3 n_3^2$$

$$\sigma_n = \sigma_1 \sin^2\theta + \sigma_2 \cos^2\theta + 0$$

$$\sigma_t^2 = \sigma_1^2 n_1^2 + \sigma_2^2 n_2^2 + \sigma_3^2 n_3^2 - \sigma_n^2$$

$$\sigma_t^2 = \sigma_1^2 \sin^2\theta + \sigma_2^2 \cos^2\theta + 0 - (\sigma_1^2 \sin^2\theta + \sigma_2^2 \cos^2\theta)^2 \Rightarrow$$

$$\sigma_t^2 = \sigma_1^2 \sin^2\theta + \sigma_2^2 \cos^2\theta - \sigma_1^2 \sin^4\theta - \sigma_2^2 \cos^4\theta - 2\sigma_1\sigma_2 \sin^2\theta \cos^2\theta \Rightarrow$$

$$\sigma_t^2 = \sigma_1^2 \sin^2\theta (1 - \sin^2\theta) + \sigma_2^2 \cos^2\theta (1 - \cos^2\theta) - 2\sigma_1\sigma_2 \sin^2\theta \cos^2\theta \Rightarrow$$

وبه همین ترتیب:

$$\sigma_n = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} + \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \cos 2\theta$$

ملاحظه مي شود كه $\frac{\sigma_1+\sigma_2}{2}$ مركز دايره ايست به قطر $\sigma_1-\sigma_2$ كه شعاع آن از $\frac{\sigma_1-\sigma_2}{2}$ محاسبه مي گردد و يا ضرب شعاع و $Sin2\theta$ دو نقطه تحت زاويه 2θ روي اين دايره مشخص مي شود كه همان تنشهاي برشي حداكثر و حداقل هستند.

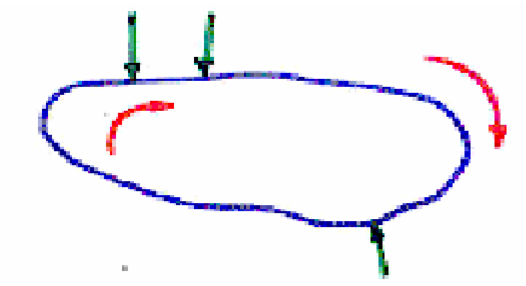
بايد اضافه نمود كه افزودن ميزان تنش ثابتي به مقادير تنشهاي اصلي دايره موهر به اندازه يك $\sigma_\circ$ به سمت راست انتقال مي يابد و در تنش برشي ماكزيمم و مينيمم تغييري حاصل نمي شود. $\sigma_3+\sigma_\circ$ ، $\sigma_2+\sigma_\circ$ ، $\sigma_1+\sigma_\circ$.

زيرا فقط فشار هيدروستاتيكي اضافه شده است.

$$P=\frac{\sigma_{11}+\sigma_{22}+\sigma_{33}}{3}$$

لذا نتيجه مي گيريم كه : فشار هيدروستاتيكي تاثيري روي مقدار حداكثر و حداقل تنش برشي ندارد

معادلات تعادل بر حسب تنشها



براي اينكه جسمي در حال تعادل باشد، بايد

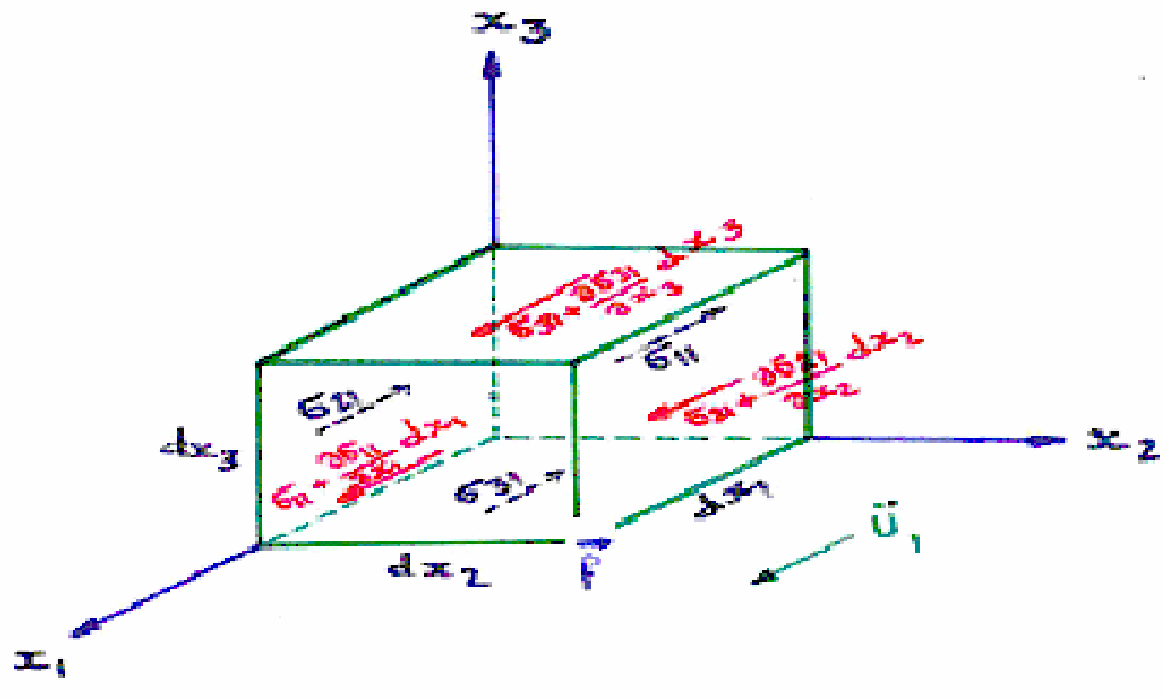
داشته باشيم: $\Sigma F=0 \& \Sigma M=0$

به عبارت ديگر بايد كليه ذرات جسم در حال تعادل باشند، مي توان نوشت:

$$\Sigma \vec{F}=M.\vec{\gamma} \quad \text{يا} \quad \Sigma \vec{F}-M\vec{\gamma}=0$$

(فرمول دالامبر)

فرض می کنیم که جسمی با شتاب $\ddot{u}$ حرکت می کند:



در اینصورت تغییرات تنشها بر سطوح مکعب در جهت ۱ به صورت شکل بالا تصویر می شوند اگر حجم مخصوص مصالح را ρ فرض نماییم ونیروی وارده بر واحد جرم جسم $\vec{F}$ باشد:

نیروی وارده بر واحد جرم جسم $= \vec{F} = (F_1, F_2, F_3)$

معادله تعادل در جهت x_1 به صورت زیر نوشته می شود:

$$\left(\sigma_{11} + \frac{\partial \sigma_{11}}{\partial x_1} dx_1\right) dx_2 dx_3 - \sigma_{11} dx_2 dx_3 + \left(\sigma_{21} + \frac{\partial \sigma_{21}}{\partial x_2} dx_2\right) dx_1 dx_3$$
$$- \sigma_{21} dx_1 dx_3 + \left(\sigma_{31} + \frac{\partial \sigma_{31}}{\partial x_3} dx_3\right) dx_1 dx_2 - \sigma_{31} dx_1 dx_2 +$$
$$\rho\, dx_1 dx_2 dx_3 F_1 = \rho\, dx_1 dx_2 dx_3 \cdot \ddot{u}_1$$

لذا خواهیم داشت:

$$dx_1 dx_2 dx_3 \left(\frac{\partial \sigma_{11}}{\partial x_1} + \frac{\partial \sigma_{21}}{\partial x_2} + \frac{\partial \sigma_{31}}{\partial x_3} + \rho F_1\right) = dx_1 dx_2 dx_3\, \rho\, \ddot{u}_1$$

معادلات تعادل بر حسب تنشها

$$\frac{\partial \sigma_{11}}{\partial x_1} + \frac{\partial \sigma_{21}}{\partial x_2} + \frac{\partial \sigma_{31}}{\partial x_3} + \rho F_1 = \rho \ddot{u}_1$$

$$\frac{\partial \sigma_{21}}{\partial x_1} + \frac{\partial \sigma_{22}}{\partial x_2} + \frac{\partial \sigma_{32}}{\partial x_3} + \rho F_2 = \rho \ddot{u}_2$$

$$\frac{\partial \sigma_{13}}{\partial x_1} + \frac{\partial \sigma_{23}}{\partial x_2} + \frac{\partial \sigma_{33}}{\partial x_3} + \rho F_3 = \rho \ddot{u}_3$$

کاربرد مکانیک محیطهای پیوسته در خاک

تنش در خاک: در صورتی که خاک را اشباع فرض کنیم تنشها بین دانه های جامد و آب حفره ای تقسیم می شود

در مایعات تنشها فقط قائم اند که در خاک آنرا با u فشار حفره ای یا منفذی نشان می دهیم اگر یک جزء سطح افقی خاک را فرض نمائیم رابطه مهم ترزاقی به شرح زیر برقرار است:

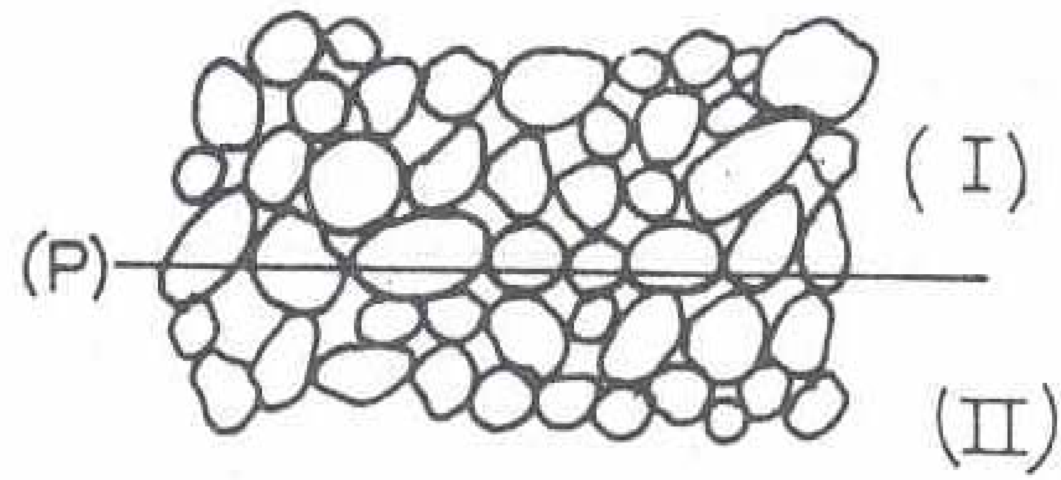
تنش کل قائم = تنش مؤثرقائم + فشار منفذی

$$\sigma_n = \sigma'_n + u$$

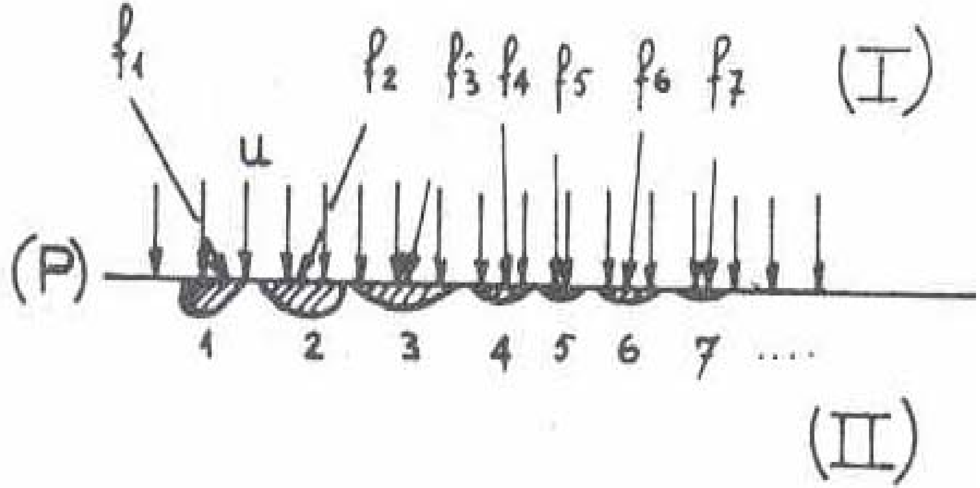
$$\sigma_t = \sigma'_t$$

تنش کل مماسی=تنش مؤثرمماسی

تشریح مفهوم تنش مؤثر

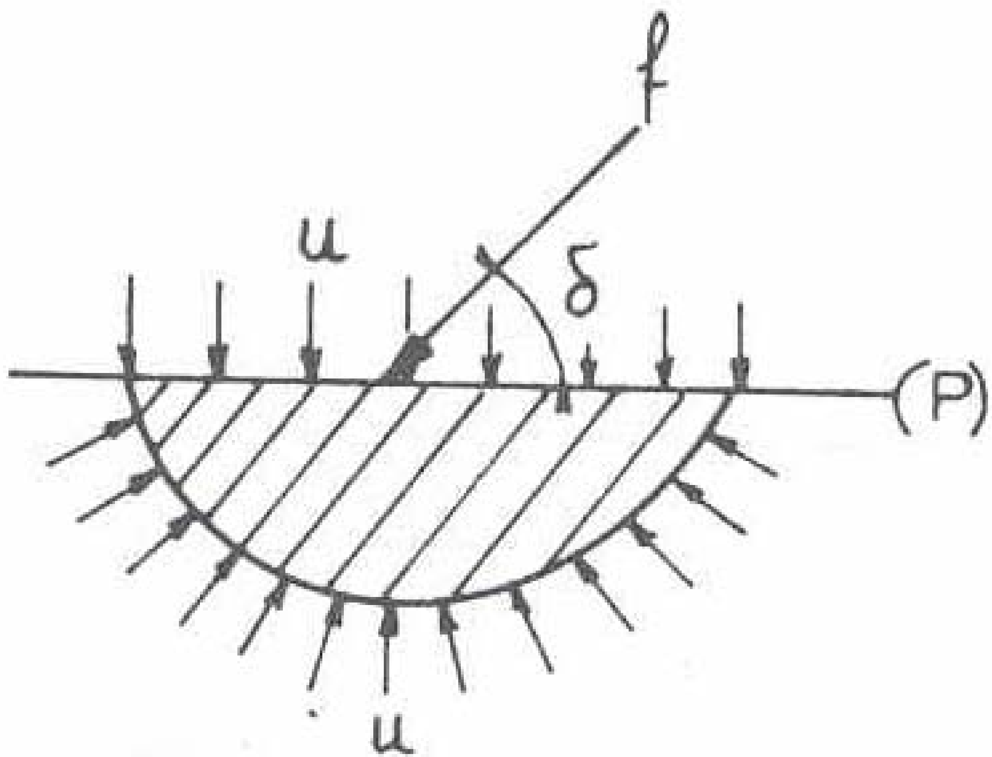


اگر مساحت جزء سطح s باشد



$$\sigma' = \Sigma f_i \sin\delta_i / s$$

$$\tau' = \Sigma f_i \cos\delta_i / s$$

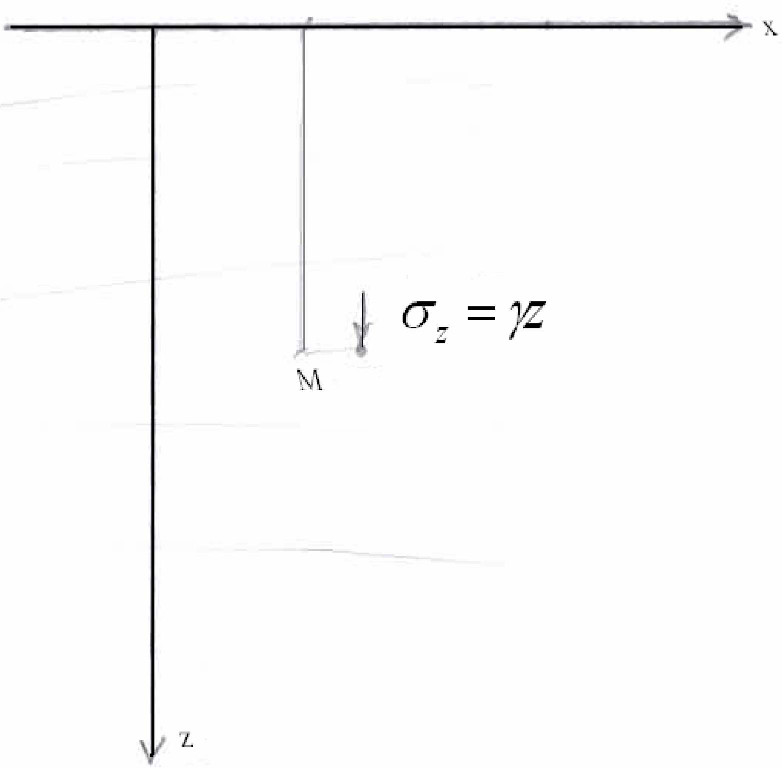


$$\sigma=(\Sigma f_i \sin\delta_i + u\cdot s)/s$$

$$\tau=\Sigma f_i \cos\delta_i/s$$

$$\sigma=\sigma'+u \qquad \tau=\tau'$$

مثال ۱ :در نقطه ای واقع در داخل نیم فضای خاکی تنش ها را تعیین می کنیم:



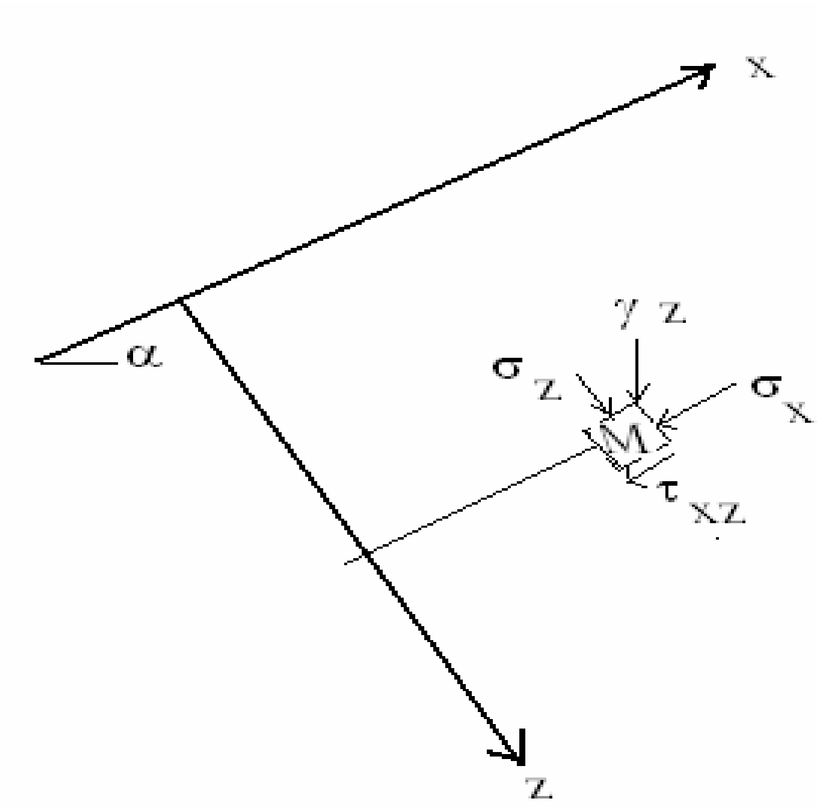
$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} = 0 \Rightarrow \sigma_x = f(z)$$

$$\frac{\partial \sigma_z}{\partial z} = \gamma \Rightarrow \sigma_z = \gamma z + c$$

به علت تقارن $c = 0$

$$\sigma_z = \gamma z$$

مثال ۲: سطح خاک در مثال ۱ شیب دار است



$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} = -\gamma \sin \alpha$$

$$\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} = +\gamma \cos \alpha$$

تغییرات در جهت محور xها صفر فرض می گردد

$$\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial_z} = -\gamma \sin \alpha \rightarrow \tau_{xz} = -\gamma z \sin \alpha + c_1$$

$$\frac{\partial \sigma_z}{\partial_z} = \gamma \cos \alpha \rightarrow \partial_z = \gamma z \cos \alpha + c_2$$

c1,c2 به علت اینکه در سطح خاک باری نداریم صفر فرض می گردد

$$\sigma_z = \gamma z \cos \alpha \qquad \tau_{xz} = -\gamma z \sin \alpha$$

اگر عمق عمودی را به h نمایش دهیم:

$$z = h\cos\alpha$$

$$\begin{cases} \sigma_z = \gamma h \cos^2 \alpha \\ \tau_{xz} = -\gamma h \cos\alpha \sin\alpha \end{cases}$$

<u>آب در خا ك</u>

نفوذ پذيري عبارت است از اجازه دادن يك جامد به نفوذ سيال در آن

. خاكها به طور كلي نفوذپذيرند و آب مي تواند از منافذ به هم پيوسته بين دانه‌هاي جامد جريان پيدا كند در ساخت ساختمان و خصوصا" پلها مواجه با مواضعي مي‌شويم كه آب زيرزميني در نزديكي سطح زمين مي باشد كه با روشهاي مختلف در رفع آن مي كوشيم (بازدن چاه، پمپاژ آب در سطح كار و...)

نفوذپذيري خاك عمدتا" به <u>ابعاد دانه‌ها</u> بستگي دارد
با ويسكوزيته نيز ارتباطي ضعيف دارد

فشار آبي كه در درون منافذ خاك وجود دارد را فشار حفره‌أي مي ناميم

اين فشار در رابطه با فشار جو اندازه گيري مي شود و سطحي كه در آن فشار برابر فشار جو (يعني صفر) است سطح سفره آب زيرزميني ناميده مي شود

خاكي كه زير اين سطح قرار دارد معمولا" اشباع فرض مي شود

آبي كه بالاتر از سطح سفره آب قرار دارد ممكن است در اثر كشش موئينگي فشار منفي داشته باشد

حرکت آب در خاك‌هاي کاملا" اشباع تابع قانون دارسی است

$$Q=k.i.A$$

$$V = Q/A = k.i$$

Q حجم آب جریان یافته(دبی)

A سطح مقطع خاك

i گراديان هيدروليکي

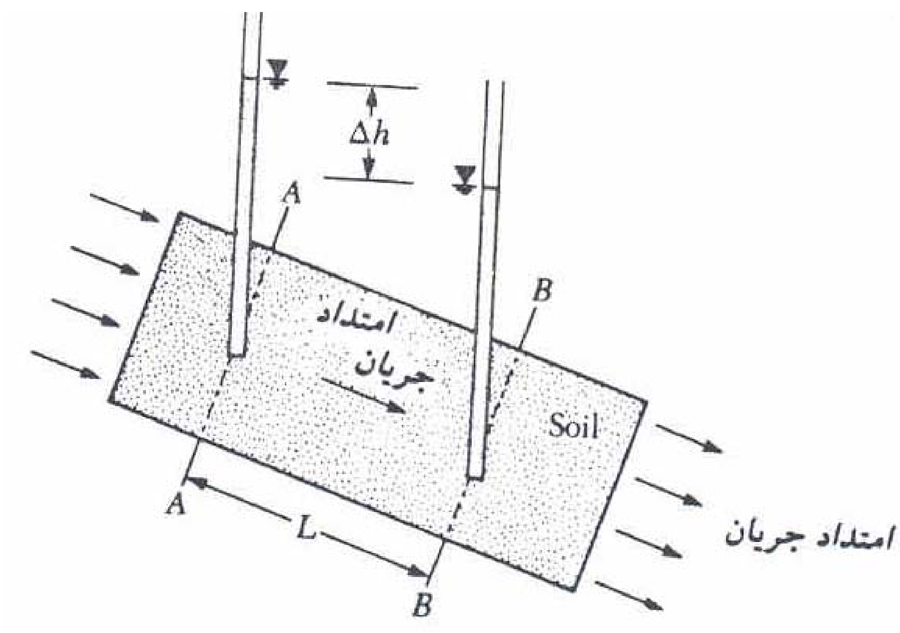
$$i=\Delta h/A$$

v سرعت جريان آب

k ضریب نفوذپزیری

<u>تعریف گرادیان هیدرولیکی :</u>

گراديان هيدروليکي شيبي است که مشخص مي کند که به عنوان مثال در شکل زیر در هر نقطه از خاك در صورت گذاشتن فشار سنج آب در آن ناحیه تا چه سطحي بالا مي آيد



در حالت جريان آب زيرزميني تحت اثر گراديان هيدروليكي قضيه برنولي در مورد آب حفره أي قابل اعمال است:

$$h = v^2/2g + u/\gamma_w + z$$

سرعت جریان آب V **ارتفاع از یک سطح مبنای اختیاری** z **افت بار آبی یا اختلاف فشار کل** h

فشار آب حفره ای u **سرعت جریان آب** v

به علت سرعت کم جریان آب در زیرزمین معمولا" از جمله اول عبارت فوق يعني $v^2/2g$ صرف نظر می گردد

$$\mathbf{h = u/\gamma_w + z}$$

ضريب نفوذپذيري K :

اين ضريب تابع اندازه متوسط حفره‌ها است و اين موضوع بستگي به دانه‌بندي و شكل دانه ها و ساختمان خاك دارد. هر قدر دانه ها كوچكتر باشند حفره‌ها كوچكتر است و ضريب نفوذپذيري كمتر است

ضريب نفوذپذيري معمولا" تابع انديس خلأ خاك است

در خاكهاي لايه‌اي، نفوذپذيري به موازات لايه ها به مراتب بيشتر از نفوذپذيري در حالت جريان عمود بر لايه ها است

چون سرعت جريان آب تابع دما است K ضريب نفوذپذيري نيز به دما بستگي دارد

مثلا" اگر ضريب نفوذپذيري در ۲۰ درجه سانتيگراد ۱۰۰ باشد در ۲۰ درجه ۷۷ و يا در صفر درجه ۵۶ خواهد بود ضريب نفوذپذيري K از فرمول زير تعيين ميگردد:

$$k=k\cdot\gamma_w/\eta$$

كه در آن γ_w وزن مخصوص آب، η ويسكوزيته (گران روي) آب و K (به مترمربع) ضريبي است كه بستگي به ساختمان خاك دارد.

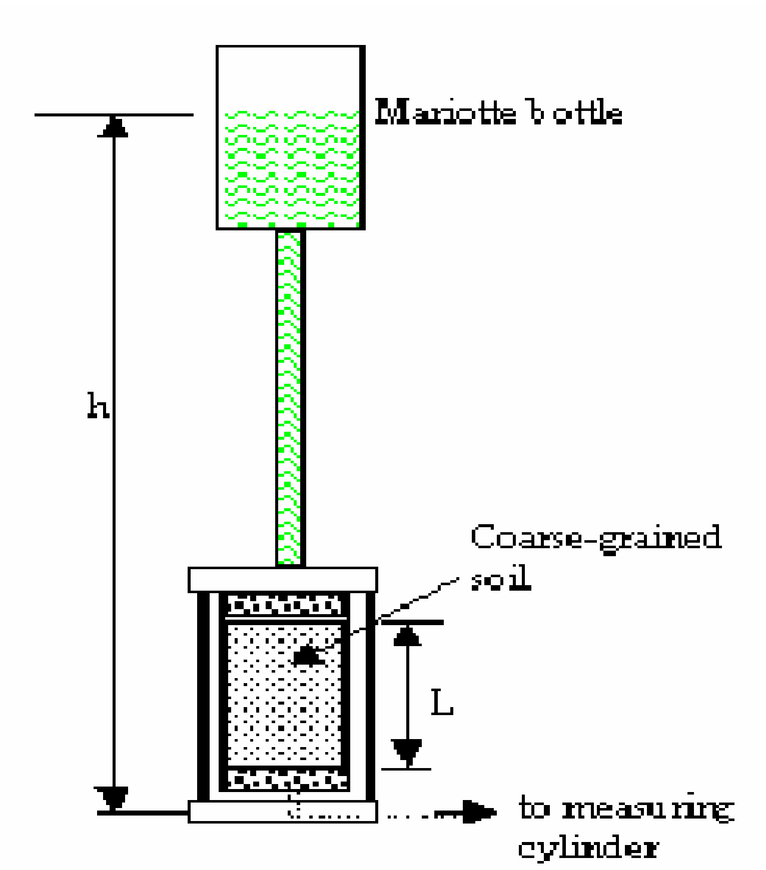
آزمايش نفوذ پذيري خاك

نفوذپذیری خاکهای درشت دانه را می توان با استفاده از یک آزمایش ساده خاک با تراکم مناسب درداخل

استوانه ای 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

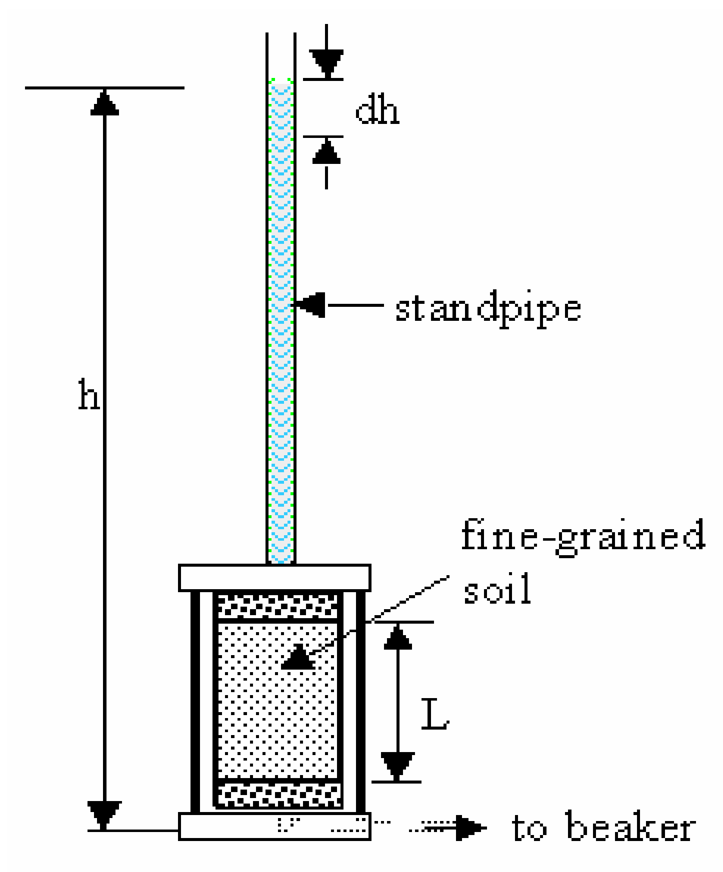


۱- در حالتی که گرادیان هیدرولیکی در طول آزمایش ثابت است.

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

$$k=Ql/hA$$

آزمايش نفوذ پذيري 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

آزمايش نفوذ پذيري خاك

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

$$dQ/dt = -\,a\,dh/dt = k(h/l)A$$

$$-a\,dh/h = (k/l)A\,dt$$

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

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

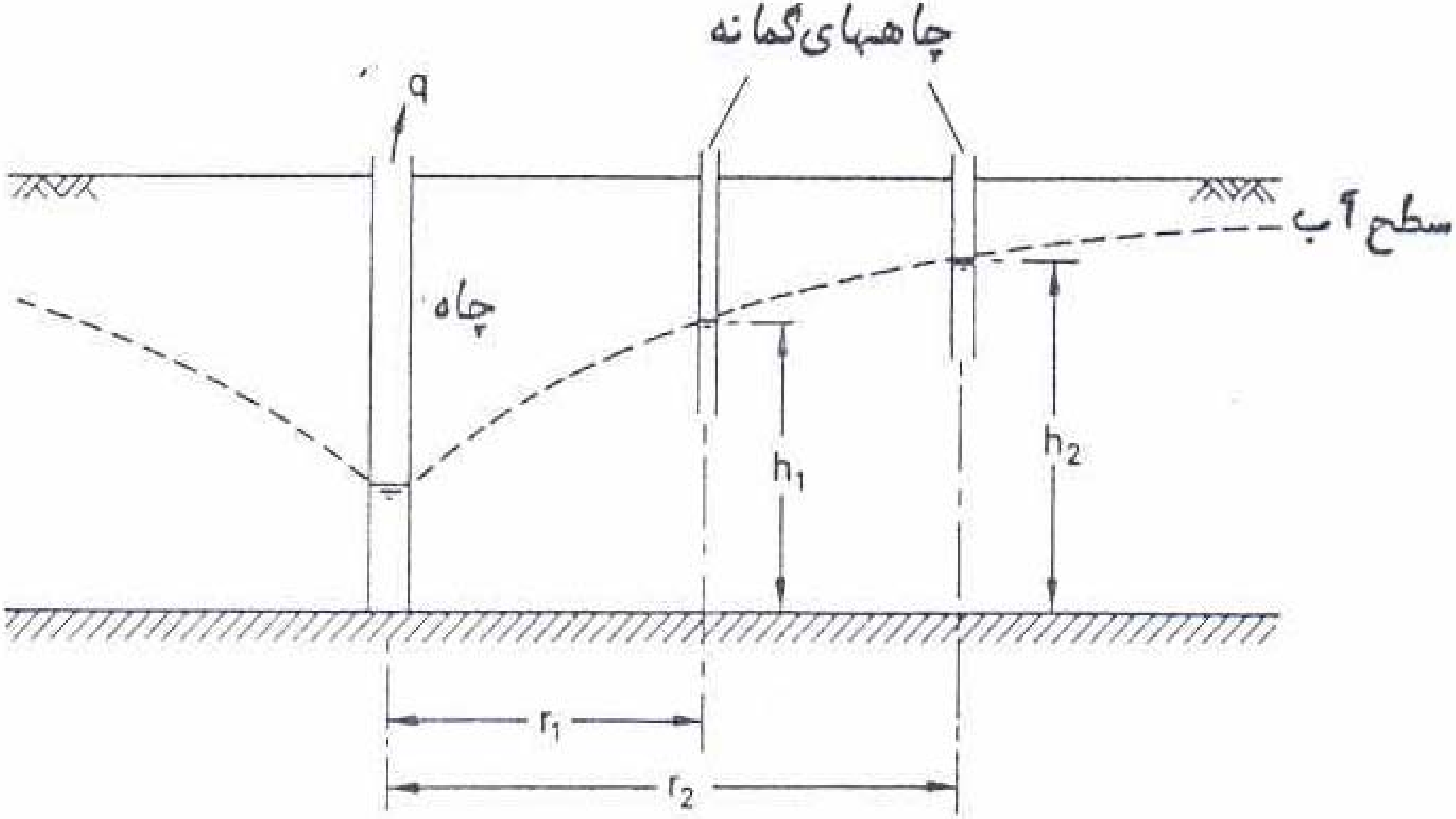
تعيين ضريب نفوذ پذيري در روي زمين

بعضا" نمونه‌هائي كه در آزمايشگاه مورد آزمايش قرار مي گيرند به علت دست خوردگي نتايج نزديك به واقعيت ارائه نمي نمايند لذا معمولا" براي پروژه‌هاي بزرگ نفوذپذيري خاك را در محل تعيين مي نمايند.

يكي از روش هاي در محل، انجام *آزمايش پمپاژ چاه* مي باشد كه در حالت خاكهاي درشت دانه بهتر جواب مي‌دهد.
معمولا" چاهي كه در آن پمپاژ صورت مي گيرد بايد تا كف لايه حفاري گردد تعدادي چاه نظاره در اطراف چاه مركز حفر مي گردد تا در حين پمپاژ در چاه اصلي سطح آب در آنها مورد بررسي قرار گيرد.

در اين شرايط تراوش آب مقدار ثابتي دارد و جهت جريان آب به طرف چاه مركزي است در هر امتداد شعاع حداقل بايد دو چاه نظاره يا لوله فشار سنج (پيزومتر) پيش بيني گردد.

آزمایش پمپاژ چاه



در اين حالت فرض را بر اين مي گيريم كه شيب آبي(گراديان هيدروليكي) در هر فاصله از چاه مركزي و در هر عمقي مقدار ثابتي دارد و برابر گراديان هيدروليكي سطح سفره آب مي باشد

$$i=dh/dr$$

در اين رابطه h ارتفاع سطح سفره آب در فاصله r از چاه اصلي است اين فرضيه كه به فرضيه دوپوئي شهرت دارد به جز در نقاط مجاور چاه مركزي در باقي نقاط دقت لازم را دارد

$$q=k\cdot(dh/dr)\cdot 2\pi rh \qquad k=[2{,}3q\,\mathrm{Log}(R/r)]/\pi(H^2-h^2)$$

q دبي پمپاژ مي باشد

در فرمول اخير R شعاع تاثير چاه است بعد از شعاع تاثير ارتفاع آب ثابت مي ماند كه همان H مي باشد

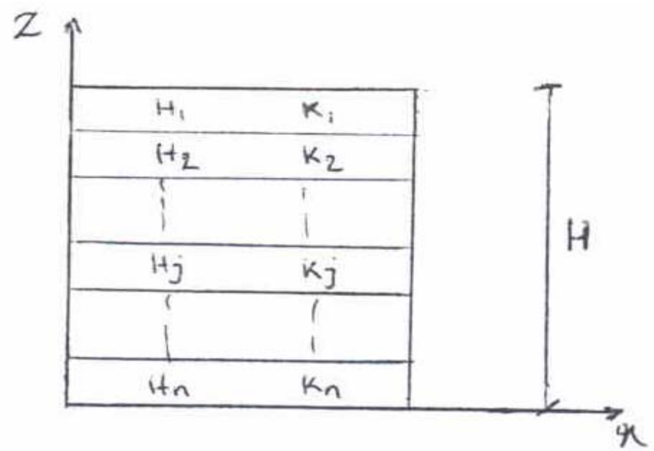
از فرمول فوق مي‌توان براي محاسبه ميزان آبدهي چاه نيز استفاده نمود

در مورد چاههاي آرتزين (تحت فشار) ارتفاع آب H ثابت است چون تنها يك لايه آبده وجود دارد

چاههاي آرتزين (تحت فشار)

هرگاه لايه‌أي بسيار نفوذپذير مايل زير يك لايه كم تراوا و يا نفوذناپذير قرار گرفته باشد ممكن است شرايط آرتزين (لايه تحت فشار) پيش آيد در اين لايه فشار آب تابع سطح آب زيرزمين بالاتر لايه نفوذپذير بالاتر كه در بالاي لايه ناتراوا قرار گرفته است نمي‌باشد

محاسبه K_x و k_z براي خاكهاي داراي لايه هاي مختلف



محاسبه K_x

$$Q=Q_1+Q_2+\ldots+Q_j+\ldots+Q_n$$

در صورت جريان در جهت افقي فرمول فوق را خواهيم داشت
مطابق فرضيه دوپوئي اختلاف فشار در دو سه لايه‌هاي مختلف يكسان فرض مي‌گردد

$$Q=k_xiH=k_1iH_1+k_2iH_2+\ldots+k_niH_n$$

$$K_x=\Sigma k_iH_i/H$$

محاسبه k_z

از معادله تعادل زير استفاده مي كنيم

$$Q=Q_1=Q_2=\ldots=Q_n$$

$$K_z i=k_1 i_1=k_2 i_2=\ldots=k_n i_n$$

اما اختلاف فشار (پيزمتريك) كل برابر مجموع اختلاف فشارها در هر لايه مي باشد

$$iH=i_1H_1+i_2H_2+\ldots+i_nH_n$$

$$iH/k_z i=i_1H_1/k_1i_1+i_2H_2/k_2i_2+\ldots+i_nH_n/k_ni_n$$

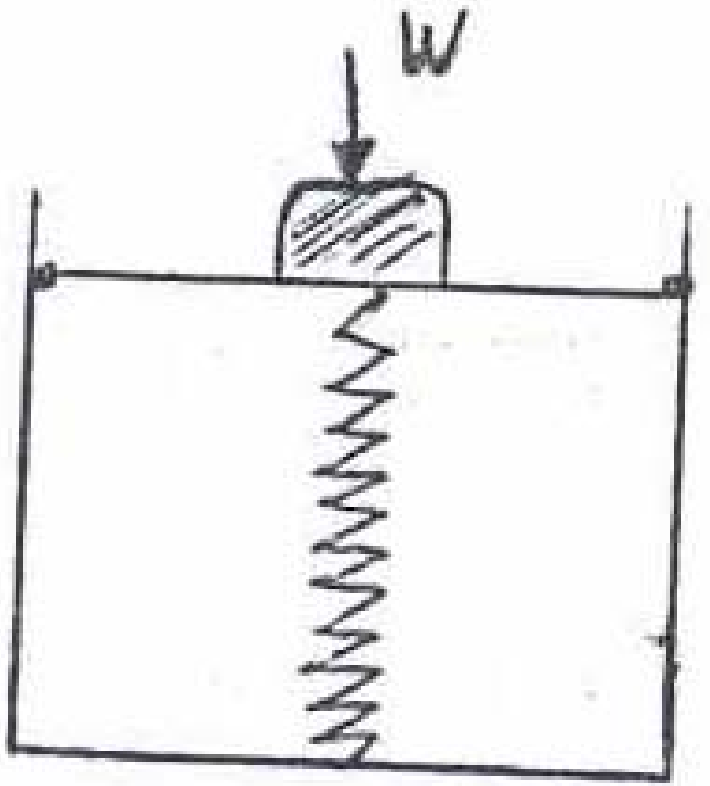
$$K_z=H/\Sigma H_i/k_i$$

ولي بطور كلي چون ما داراي يك لايه با خواص نفوذپذيري بيشتر و يك لايه با نفوذپذيري كمتر مي باشيم

مي توانيم از دو فرمول زير جهت محاسبه ضريب تراوائي افقي و يا قائم استفاده نمائيم

$$K_x = k_i . H_i / H \qquad K_z = k_i . H / H_i$$

اصل تنش مؤثر

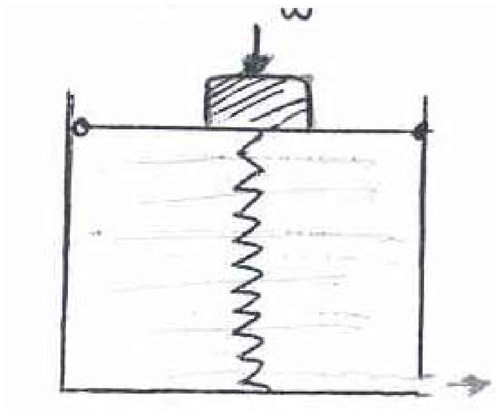


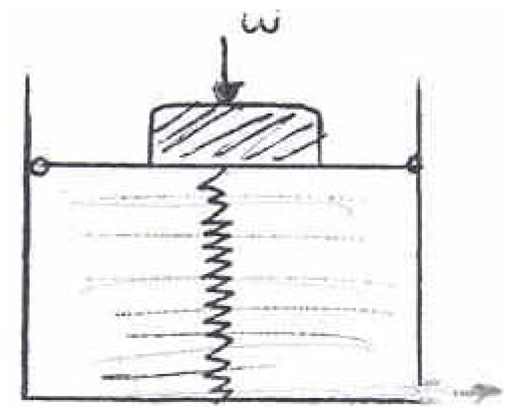
$$\sigma=\sigma'+u$$

نیروی وارده توسط وزنه توسط فنر و آب به طور همزمان پذيرفته مي شود

$$W=f+u$$

اصل تنش مؤثر





آب به تدريج خارج شده و فشار وارده بر آب كم شده و به فنر منتقل مي شود

W=f↑+u↓

تحكيم خاك تحت اثر بار وارده بر اثر يك ساختمان دقيقا"به همين گونه مي باشد

در ابتدا بار وارده در خاك توسط بخش جامد و يا مايع هر دو پذيرفته مي شود و پس از تحكيم بار وارده به اسكلت جامد منتقل شده و آب از لابه لاي دانه‌هاي جامد خارج مي‌گردد

بايد درنظر داشت كه افت آب زيرزميني هميشه عامل افزايش تنش موثر مي باشد

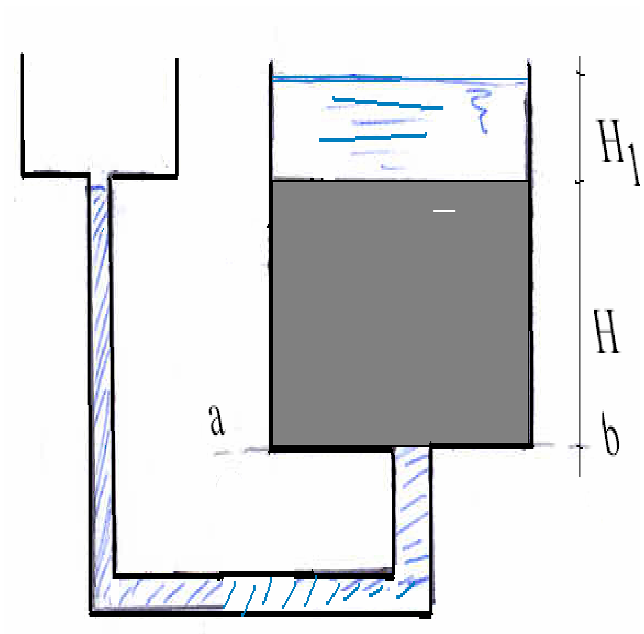
مثال : يك لايه ماسه به ضخامت ٥ متر بر روي يك لايه به ضخامت ٦ متر قرار دارد و سفره آب بر سطح آزاد خاك منطبق است نفوذپذيري رس بسيار كم است. وزن مخصوص ماسه و رس اشباع به ترتيب ١٩ و ٢٠كيلو نيوتن بر متر مكعب است يك لايه خاكريز به ضخامت ٤ متر و به وزن مخصوص ٢٠كيلونيوتن بر متر مكعب به وسعت زيادي بر روي سطح خاك قرار داده شده است. مطلوب است تعيين تنش موثر قائم در مركز لايه رس در حالت زير:

الف – بلافاصله پس از ايجاد خاكريز (در صورتي كه خاكريز بسيار سريع اجرا شده باشد)

ب – مدت مديدي پس از اجرا

مثال:

نمونه خاك به ارتفاع H در نظر داريم كه در زير ارتفاع H1 آب قرار دارد فشار را در سطح ab محاسبه مي كنيم:



فشار كل $\sigma = H_1\gamma_w + H\gamma_{sat}$

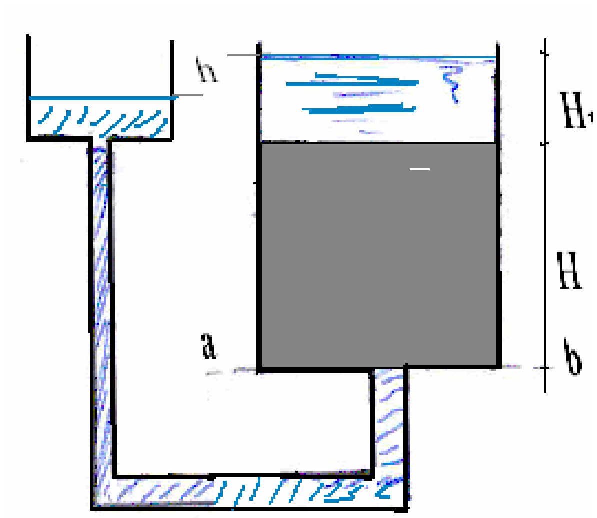
فشار حفره اي $u = (H+H_1)\gamma_w$

$$\sigma' = \sigma - u = H\gamma_{sat} - H\gamma_w = H\gamma'$$

γ' را وزن مخصوص شناوري مي نامند

$$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$$

در مثال فوق آب جريان نداشته است ولي در صورتيكه آب داراي جريان باشد به عبارت ديگر آب در خاك تراوش نمايد معادله زير را خواهيم داشت:



$$U = (H + H_1 - h)\gamma_w$$

$h\gamma_w$ فشار تراوش نام دارد

اگر تراوش در میان نباشد فشار موثر از فرمول $\sigma' = \gamma' z$

و اگر تراوش وجود داشته باشد از فرمول $\sigma' = \gamma' z + iz\gamma_w$

$$\left(i = \frac{h}{H}\right)$$

محاسبه مي گردد

البته بايد در نظر داشت كه جهت تراوش نيز داراي اهميت مي‌باشد

علامت عبارت $iz\gamma_w$
مثبت است اگر ارتفاع h پائين‌تر از ارتفاع H باشد

و در صورتي كه بالاتر باشد علامت اين عبارت منفي خواهد بود
در اين حالت امكان صفر شدن فشار موثر وجود دارد

$$\sigma' = 0 = z\gamma' - iz\gamma_w \Rightarrow i = \frac{\gamma'}{\gamma_w}$$

اين گراديان هيدروليكي را گراديان هيدروليكي بحراني مي‌نامند

زهكشي

توضيح داديم كه در اثر افزايش تنش در سطح خاك عمل تحكيم رخ مي‌دهد و يا به عبارت ديگر آب از خاك خارج مي‌گردد اين عمل يعني خروج آب از خاك را مي توان با روشهاي مختلف براي خاكهاي مختلف انجام داد كه به آن زهكشي اطلاق مي‌گردد

<u>زهكشي</u> به طور كلي به مفهوم آبكشي مي‌باشد و هدف از آن بيرون راندن آب از خاك است كه اين موضوع مي‌تواند يا در اثر افزايش بار وارده بر خاك صورت پذيرد و يا بر اثر افت سطح ايستايي

در خاك‌هاي دانه درشت مانند شن و ماسه تخليه آب با جايگزيني هوا همراه مي‌باشد ولي در خاكهاي ريز دانه اين تخليه با كاهش حجم خاك مترادف بوده به عبارت ديگر خاك نشست مي‌نمايد

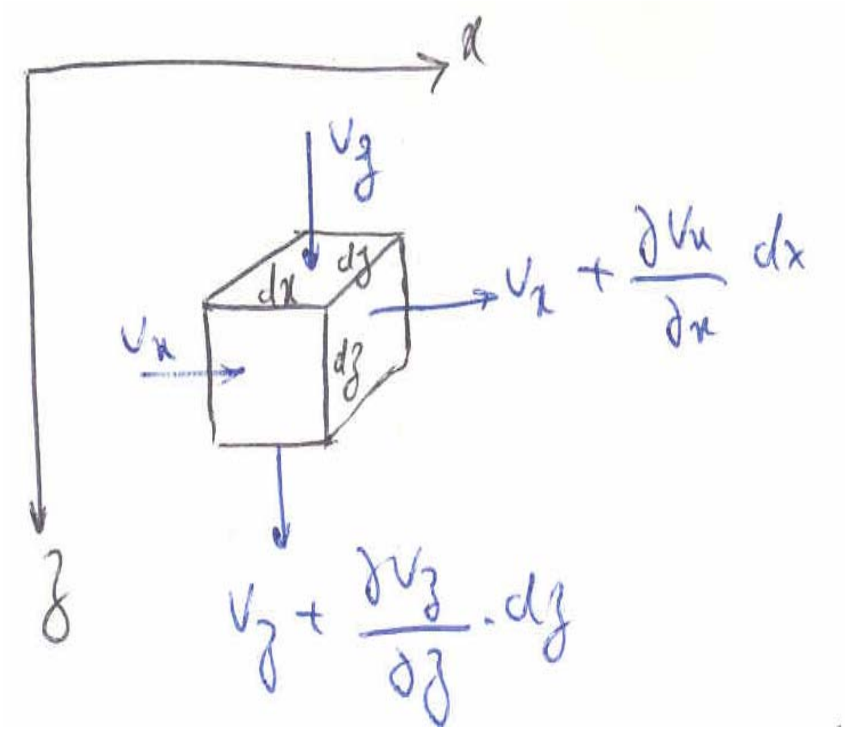
يخبندان در خاك

معمولا" عمل يخ زدن آب در خاك در بخش آب نفوذي كه در اثر خاصيت لوله‌هاي موئين در خاك تشكيل مي‌گردد، صورت مي پذيرد

فواصل و حفره‌هاي موجود فيمابين دانه‌هاي خاك تشكيل لوله‌هايي را مي‌دهدكه آب با توجه به خواص لوله‌هاي موئين از آنها به سمت بالاي سفره آب زيرزميني نفوذ مي‌نمايد همانطور كه در تئوري لوله‌هاي موئين آشنائي داريم ارتفاع نفوذ ارتباط معكوس با شعاع لوله دارد به عبارت ديگر هر چه شعاع لوله موئين كم‌تر باشد ارتفاع نفوذ افزايش خواهد يافت

بررسي جريان آب زيرزمينى
(شناخت شبكه هاي جريان)

جريان‌هاي يك بعدي را بررسي كرديم و ديديم كه در اين گونه جريان‌ها تارهاي مايع خطي و موازي مي باشند ولي در عمل اين گونه نيست و ما شاهد جريانها دو بعدي و سه بعدي مي باشيم. اين مسئله ما را به تعميم دادن قانون دارسي ناچار مي سازد



در صورتي كه ما خاك را از نظر تراوائي هموژن فرض نمائيم (در هر جهت) جزء كوچكي از خاك اشباع شده به ابعاد dxوdyوdz در جهت محورهاي x;y;z مي باشد با فرض اينكه مولفه هاي سرعت جريان آب v_x و v_y وv_z مقدار تغيير اين سرعتها $\partial v_x/\partial x$ و $\partial v_z/\partial z$ باشند و حجم آبي كه در واحد زمان وارد اين جزء مي شوند

(فرض كلي بر اين است كه جريان آب تنها در صفحه xz صورت مي گيرد)

دبي ورودي $=V_x dzdy+v_z dxdy$

دبي خروجي$=(V_x+\dfrac{\partial V_x}{\partial x}dx)dzdy+(V_z+\dfrac{\partial V_z}{\partial z}dz)dxdy$

اما با فرض اشباع بدون خاك و اينكه آب غيرقابل تراكم مي باشد تفاوت بين حجم آب وارده شده (دبي ورودي) و حجم آب خارج شده (دبي خروجي) بايد صفر باشد يعني اينكه :

صفر = دبی ورودی – دبی خروجی

معادله پیوستگی $$\frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{\partial V_z}{\partial z} = 0$$

اگر جزء حجم، تغيير حجم دهد رابطه قبلی به صورت زير در مي آيد:

$$\left(\frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{\partial V_z}{\partial z}\right) dV = \frac{dV}{dt}$$

که در آن dv⁄dt همان ميزان تغيير حجم جزء خاك در واحد زمان است

حال اگر فرض نمائيم که تابعي به صورت (x , z) Øکه با آن تابع پتانسيل مي گوئيم موجود باشد

به صورتيکه :

$$\frac{\partial \phi}{\partial x} = V_x = -k_x \frac{\partial h}{\partial x}$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial z} = V_z = -k_z \frac{\partial h}{\partial z}$$

در صورتيكه در معادله $$\frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{\partial V_z}{\partial z} = 0$$

پيوستگي مقادير Vx , Vz را از معادلات فوق جاي گذاري نمائيم معادله زير كه به معادله لاپلاس مشهور است حاصل مي گردد:

(در صورتيكه $K_x = K_z$ فرض گردد)

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = 0$$

انتگرال‌گيري از رابطه فوق ما را به نتيجه زير مي رساند :

$$\phi(x,z) = -kh(x,z) + c$$

كه C مقدار ثابت انتگرال گيري مي باشد

پس اگر تابع $\phi(x,z)$ مقدرا ثابتي مثلا" برابر $Ø_1$ داشته باشد نتيجه مي‌شود كه Ø معرف منحني است كه در آن مقدار h_1 ثابت است. لذا اگر به تابع مقادير ثابتي مانند $Ø_1$ و$Ø_2$ و ... داده مي شود منحني‌هائي كه در هر يك پتانسيل ثابت است، بدست مي آيد به منحني هائي كه بدين گونه بدست مي آيند منحنی هاي هم پتانسيل گفته مي شوند.

حال اگر تابع دومي به صورت $\varphi(x,z)$ كه تابع جريان نام دارد در نظر بگيريم خواهيم داشت :

$$-\frac{\partial \varphi}{\partial x} = V_z = -k\frac{\partial h}{\partial z}$$

$$\frac{\partial \varphi}{\partial z} = V_x = -k\frac{\partial h}{\partial x}$$

ديفرانسيل کامل تابع $\varphi(x,z)$ به صورت زير نوشته مي شود :

$$d\varphi = \frac{\partial \varphi}{\partial x}dx + \frac{\partial \varphi}{\partial z}dz$$

از روابط قبلي حاصل مي شود :

$$d\varphi = -V_z dx + V_x dz$$

حال اگر تابع φ مقدار ثابت φ_1 را اختيار کند لزوماً $d\varphi=0$ خواهد شد وخواهيم داشت:

$$\left(\frac{dz}{dx} = \frac{V_z}{V_x}\right)$$

لذا مماس در هر نقطه بر منحني $\varphi(x,y)=\varphi_1$ مشخص كننده سرعت جريان در آن نقطه است اين منحني را منحني جريان مي ناميم اگر به تابع $\varphi(x,z)$ مقادير ثابت ديگري مانند φ_1,φ_2 و ... داده شود. گروه منحني ديگري حاصل مي شود كه هر يك از اجزاء تشكيل دهنده آن معرف يك خط جريان مي باشد اين منحني ها را <u>خطوط جريان</u> مي ناميم

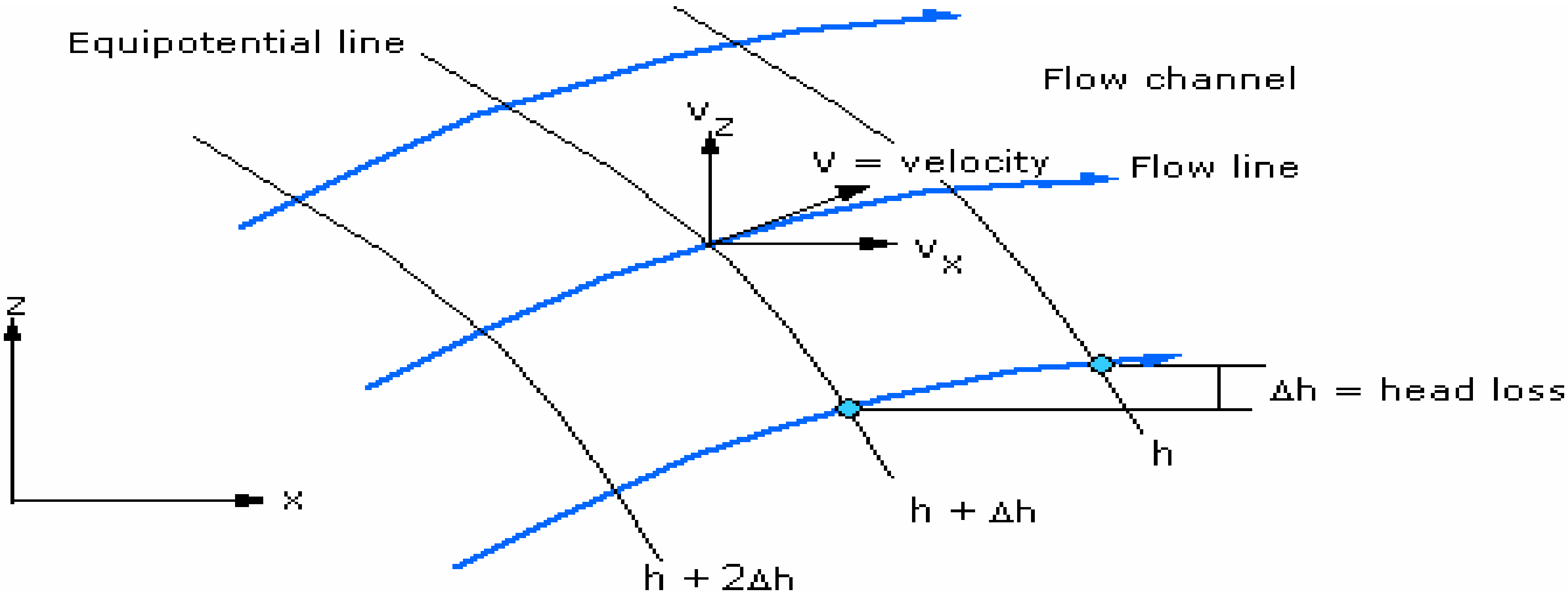
<u>مقدار جريان در محدوده دو خط جريان ثابت است</u>

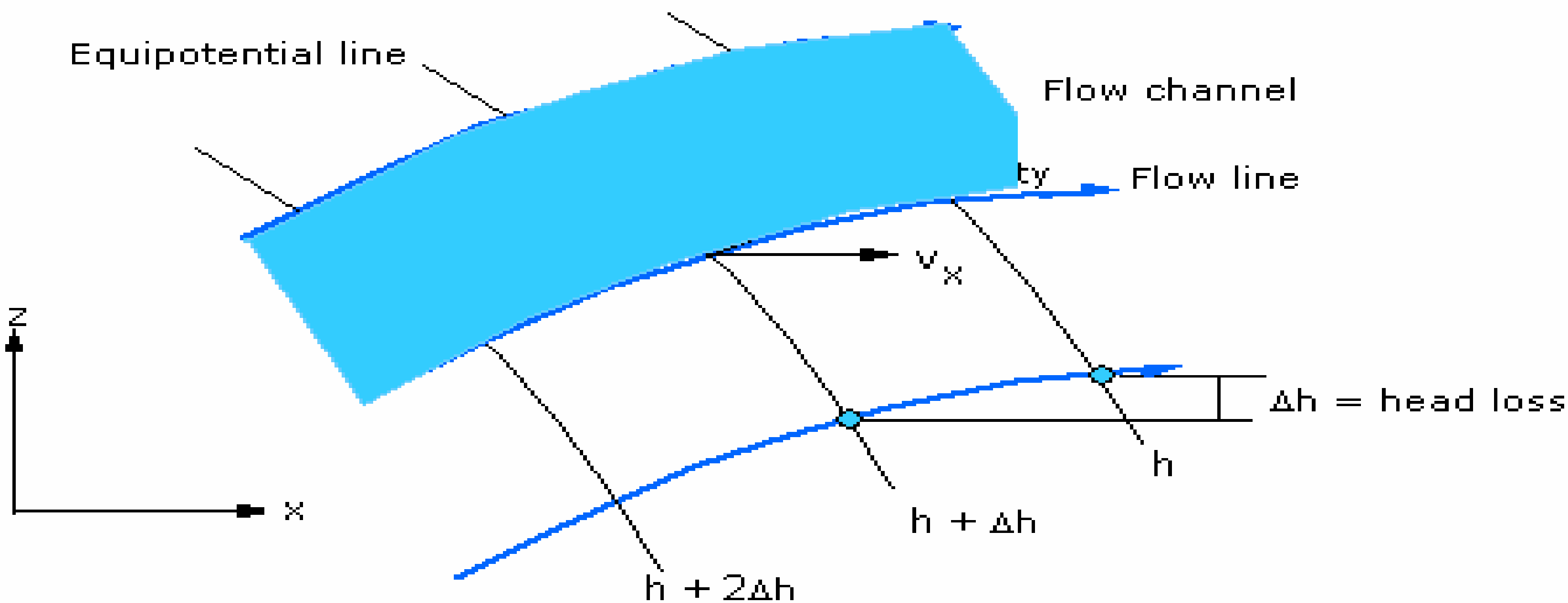
در صورتيكه تابع $\o(x,z)$ نيز مقدار ثابت $\o_1$ را اختيار نمايد لزوما" $d\o=0$ خواهد شد و خواهيم داشت:

$$\left(\frac{dz}{dx}=-\frac{V_x}{V_z}\right)$$

B

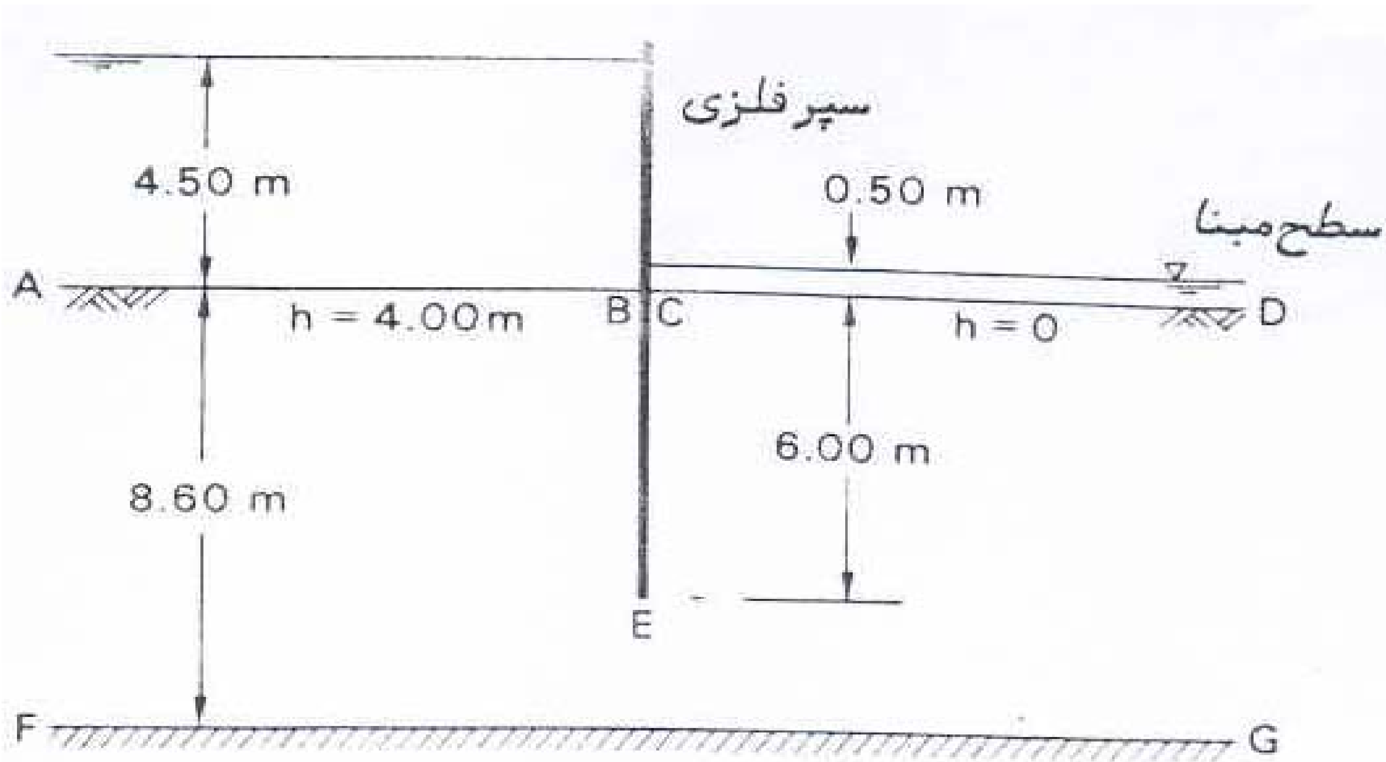
از مقايسه روابط A و B نتيجه مي شود كه خطوط جريان بر خطوط پتانسيل عمودند

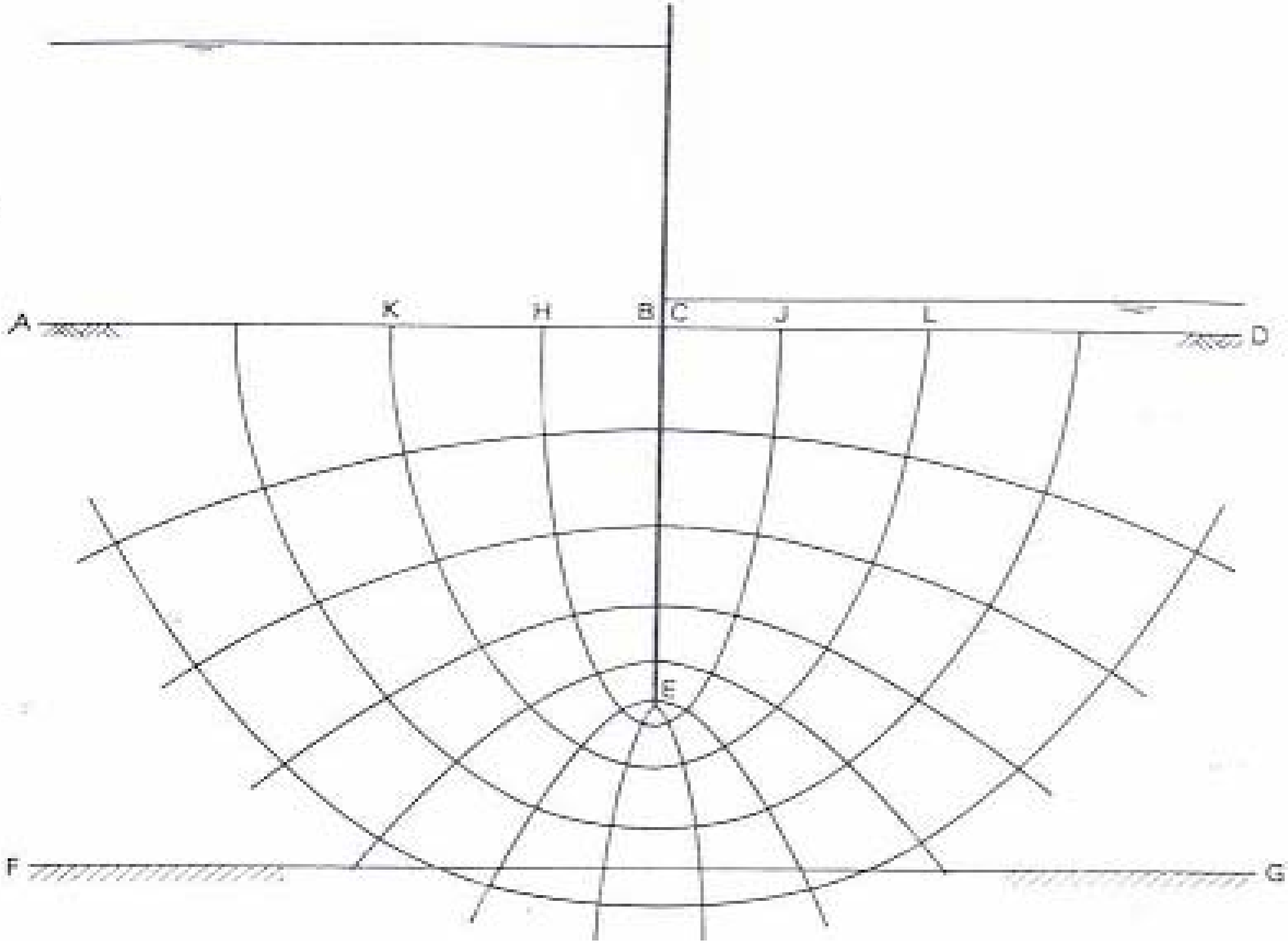

Equipotential line
Flow channel
v_z
V = velocity
Flow line
v_x
z
x
Δh = head loss
h
h + Δh
h + 2Δh


Equipotential line
Flow channel
Flow line
v_x
z
x
Δh = head loss
h
h + Δh
h + 2Δh

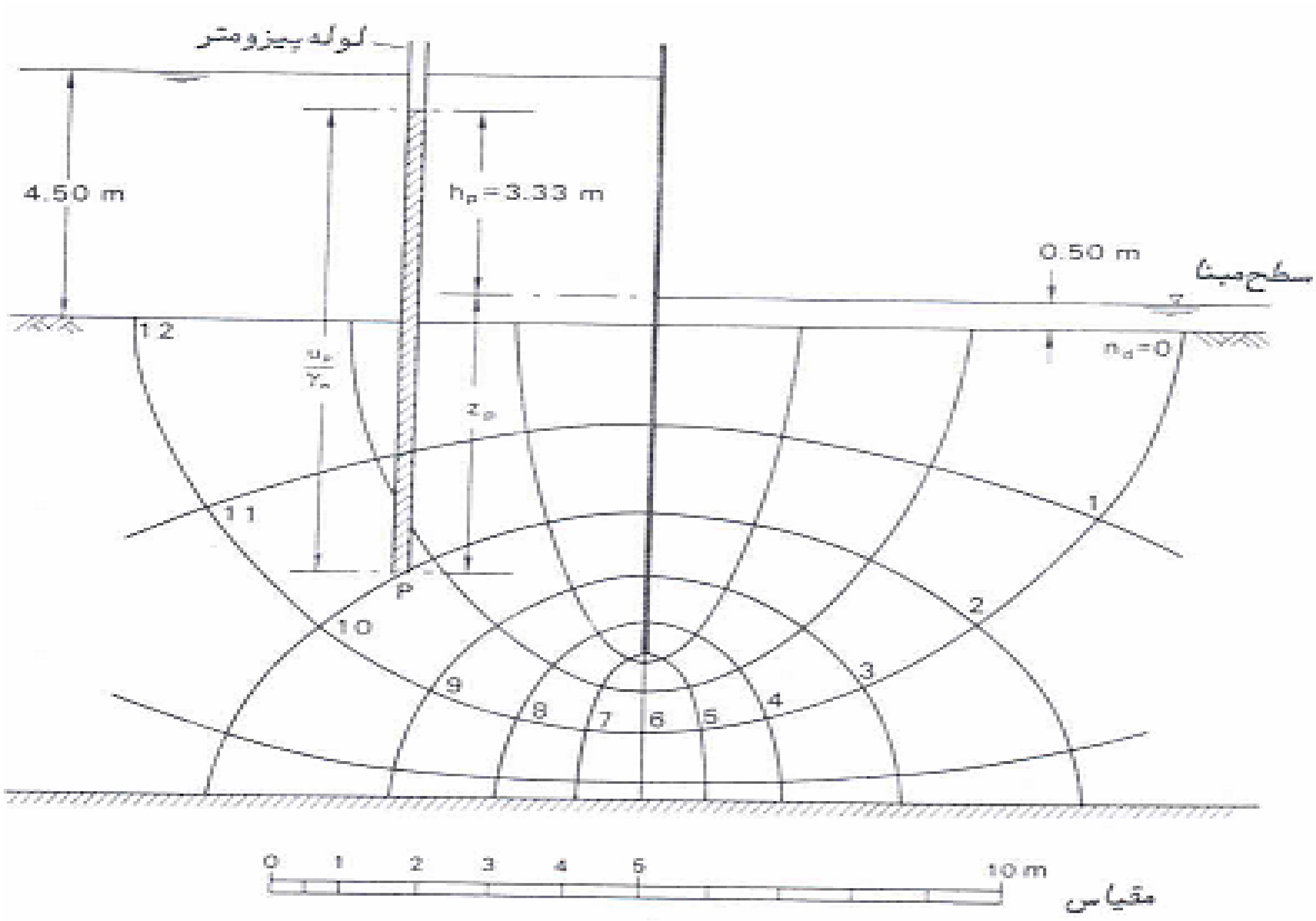
شبکه جریان

براي حل يك مسئله عملی تراوش با توجه به اینکه خطوط جریان و پتانسیل بر یکدیگر عمود مي باشند و با توجه به شرایط حدي به تعیین و ترسیم این خطوط مي پردازیم





A
K
H
B
C
J
L
D
E
F
G



لوله پیزومتر
4.50 m
$h_p = 3.33$ m
0.50 m
سطح مبنا
$n_d = 0$
$\frac{u_p}{\gamma_w}$
z_p
P
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0 1 2 3 4 5 10 m
مقیاس

به عنوان مثال به طوريكه در شكل ملاحظه مي نمائيم خطوط جريان و پتانسيل جهت يك سپر فلزي كه به صورت يك آب بند در خاك كوبيده شده است؛ اختلاف ارتفاع آب در دو طرف سپر h مي باشد

ابتدا مي بايد شرايط حدي را تعيين نمائيم چون كليه نقاط قرار گرفته بر خط AB داراي فشار ثابتي مي باشند اين خط يكي از خطوط پتانسيل مي باشد. CD نيز شرايط خط AB را دارد فلذا خط CD نيز يكي از خطوط پتانسيل است. جهت جريان آب از نقطه B به طرف پائين ودر طول نماي بالا دست سپر BE بايد باشد لذا خط BEC يكي از خطوط جريان مي باشد بر سطح بستر يا لايه ناتراوا نيز جهت جريان بطور طبيعي FG مي‌باشد لذا خط FG يكي ديگر از خطوط جريان است

در اين روش ترسيم شبكه جريان شكل كلي آن با توجه به شرايط حدي (مانند مثال فوق) صورت مي پذيرد.

شرط اساسي كه در ترسيم شبكه جريان بايد رعايت شود آن است كه تمام تقاطع هاي بين خطوط جريان و خطوط پتانسيل تحت زاويه قائمه بايد باشند.

علاوه بر اين اگر شبكه جريان طوري ترسيم شود كه اختلاف دبي $\Delta\varphi$ بين دو خط جريان و اختلاف پتانسيل $\Delta\phi$ بين دو خط پتانسيل مقدار ثابتي داشته باشند مسئله ساده تر مي گردد براي تسهيل بيشتر بهتر است كه رابطه $\Delta\varphi=\Delta\phi$ نيز برقرار باشد به عبارت ديگر حاصل تقاطع خطوط جريان و خطوط هم پتانسيل مربعهاي منحني الاضلاعي در شبكه جريان خواهند بود.

در اين صورت جهت هر مربع منحني الاضلاع رابطه بعد برقرار است:

در صورتيكه براي كل شبكه ثابتهاي زير را فرض بگيريم:

h = اختلاف پتانسيل بين اولين و آخرين خط هم پتانسيل

N_p = تعداد افت‌هاي هم پتانسيل كه هر يك معرف افت ارتفاعي برابر با Δh است.

N_f = تعداد مسيرهاي جريان كه در آن يك جريان Δq مي گذرد

$$\Delta h = \frac{h}{N_p} \qquad q = N_f \Delta q$$

$$q = kh\frac{N_f}{N_p}$$

تعداد لوله های جریان

تعداد اُفتهای هم پتانسیل

این فرمول در شرايطي قابل استفاده مي باشد كه شبكه جريان از مربع هاي منحني الاضلاع تشكيل شود در غير اينصورت فرمول به صورت زير تصحيح مي گردد:

$$q = kh \frac{N_f}{N_p} \frac{a}{b}$$

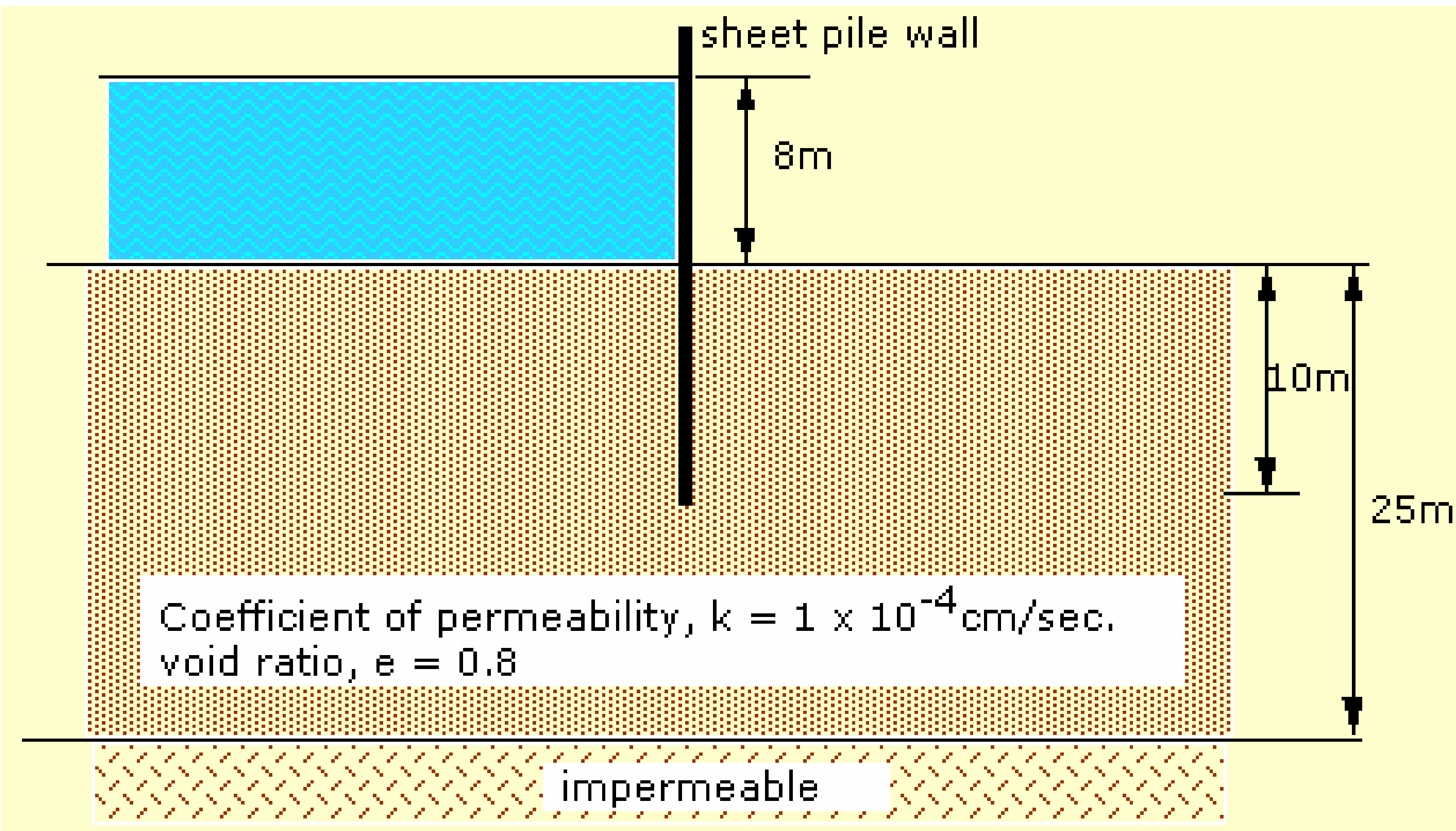
كه در آن نسبت $\frac{a}{b}$ همان نسبت اضلاع مستطيل‌هاي منحني الاضلاع می باشد. البته بايد گفت كه به طور كلي شكل قطعات واقع بين آخرين خط جريان و حد پائين مربع نيست ولي بايد نسبت طول به عرض اين قطعات بايد ثابت بماند

البته بايد گفت كه به طور كلي شكل قطعات واقع بين آخرين خط جريان و حد پائين مربع نيست ولي نسبت طول به عرض اين قطعات بايد ثابت بماند

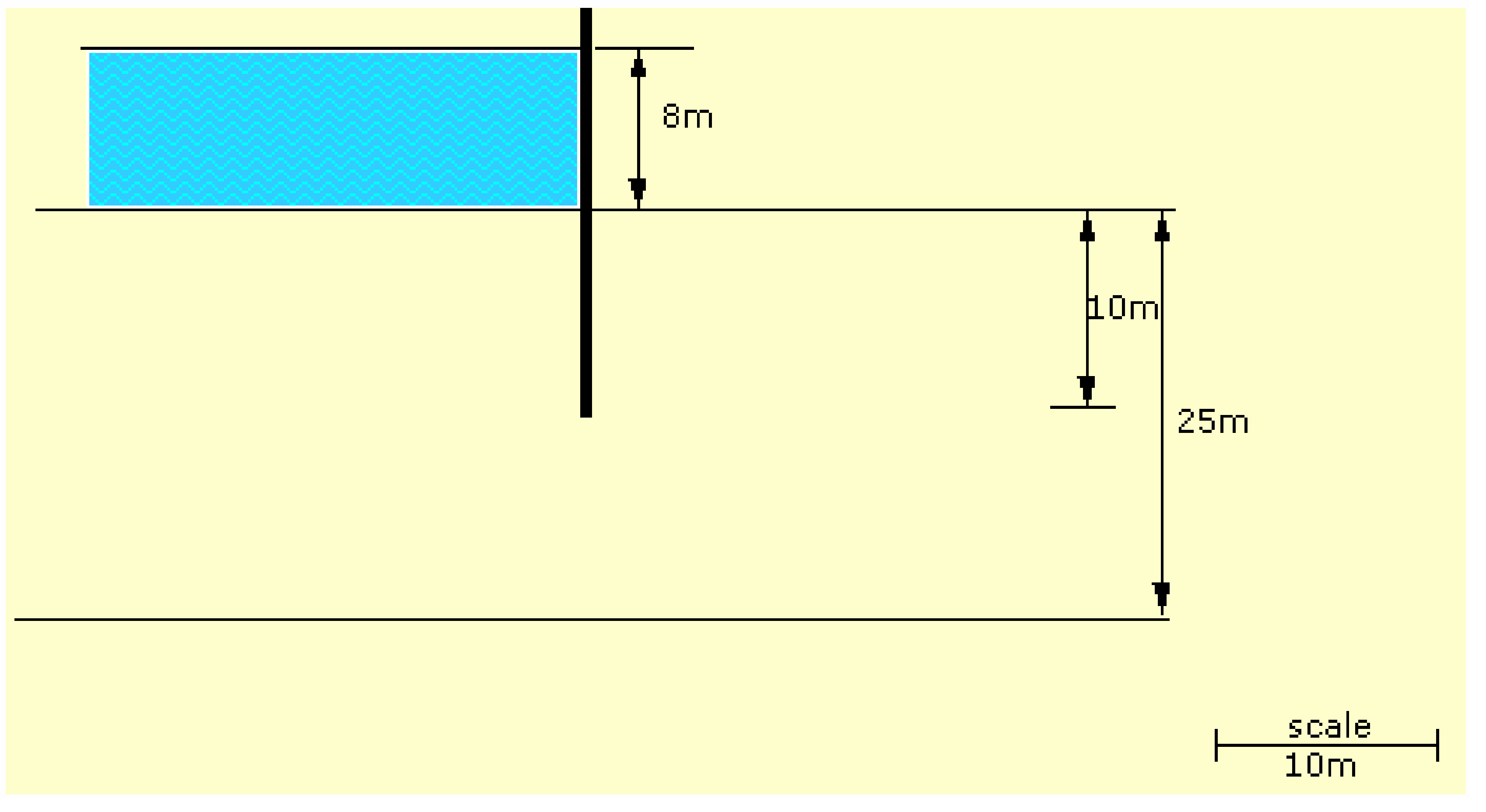
به عنوان مثال درشكل قبلی تعداد افت هاي هم پتانسيل ۹ مي باشد (Np=۹) و تعداد لوله جريان ۵ است (Nf=۵) لذا در صورتي كه h=1000cm باشد خواهيم داشت(k=0,1cm/s)

$$q = 10^{-1}.1000.\frac{5}{9} = \frac{500}{9} = 55.5\, {cm^3}/{\sec}$$

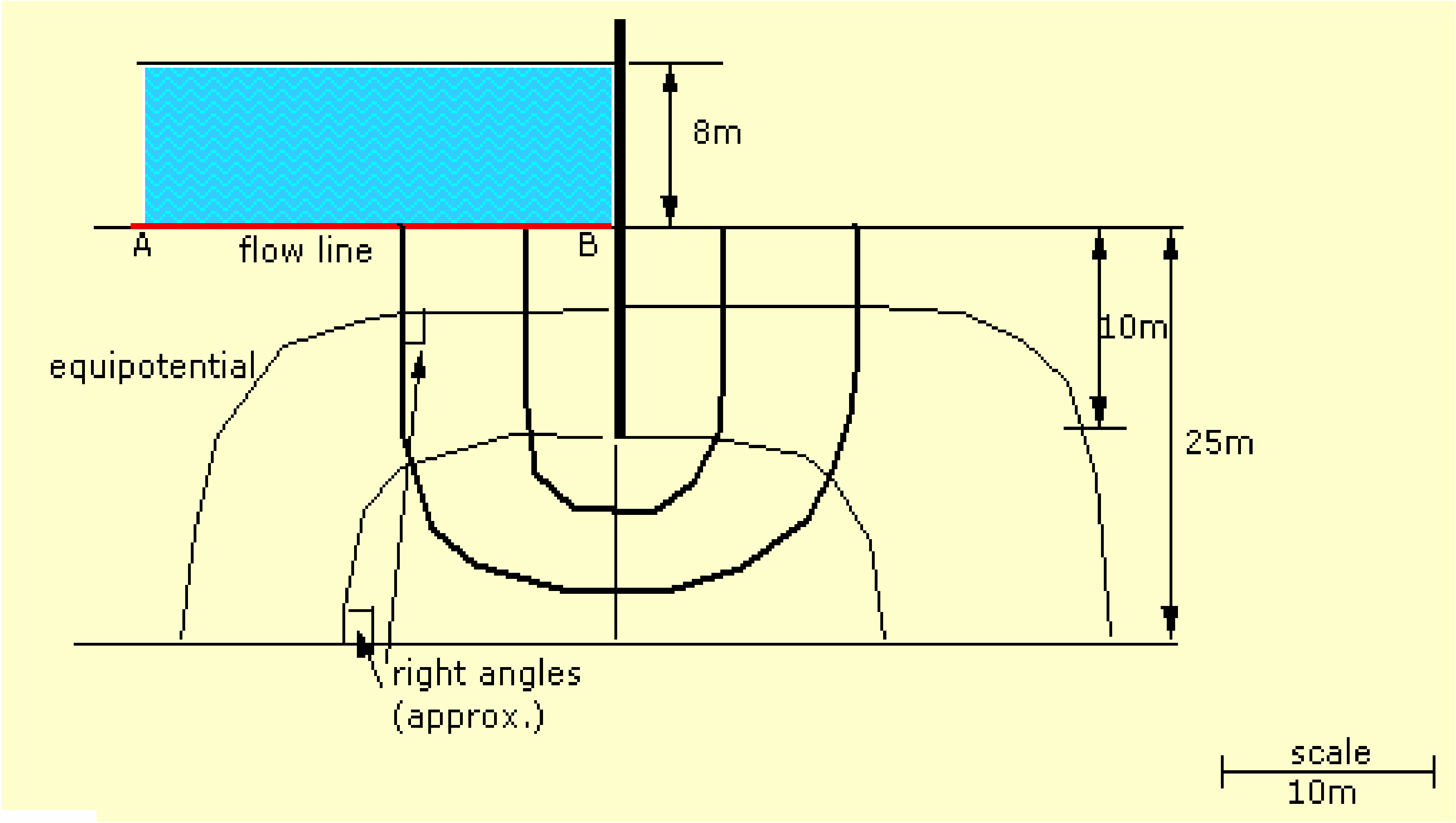
مثالی دیگر درحل یك مسئله عملی تراوش

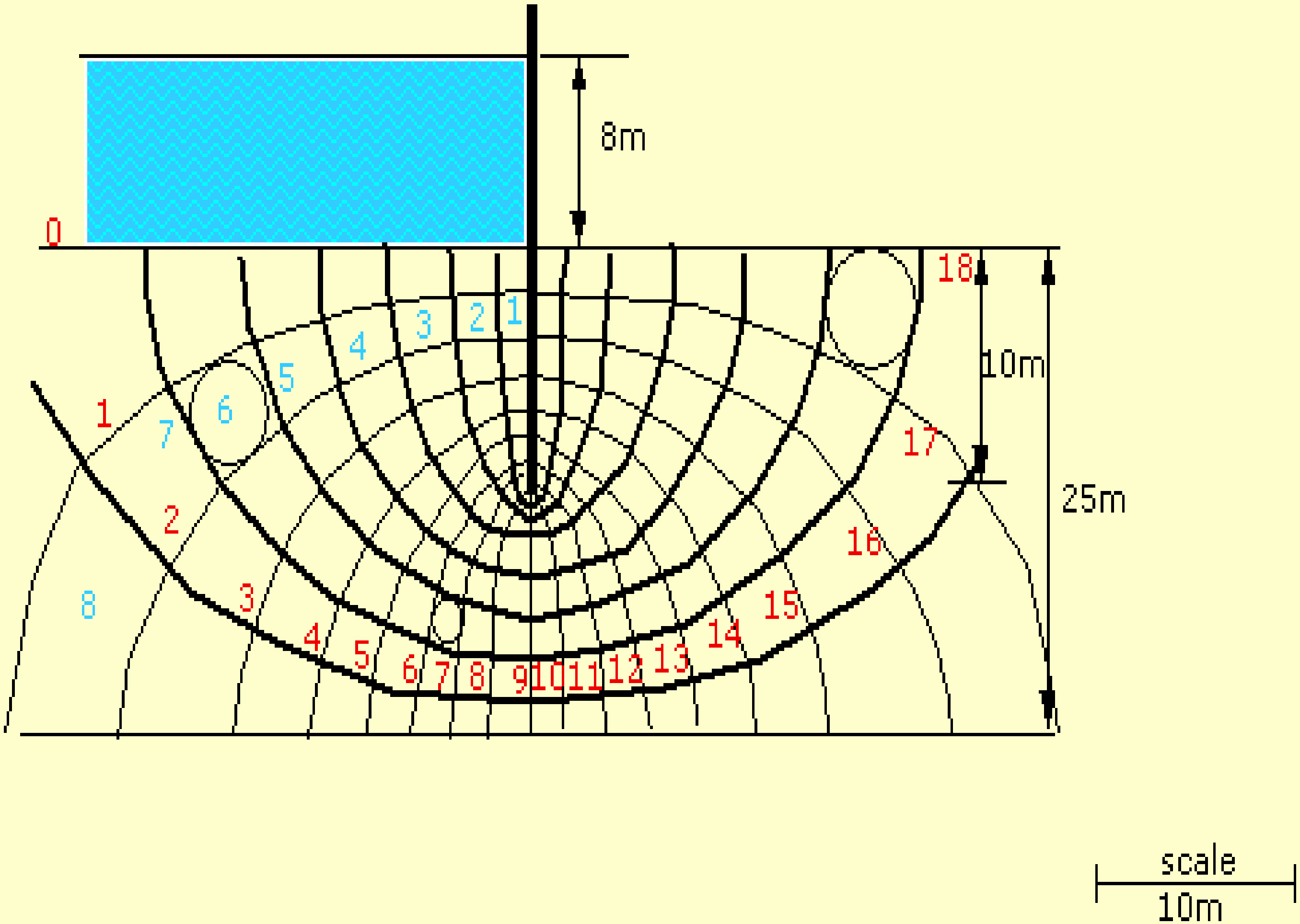


ترسیم در مقیاس معین



ترسیم شبکه جریان



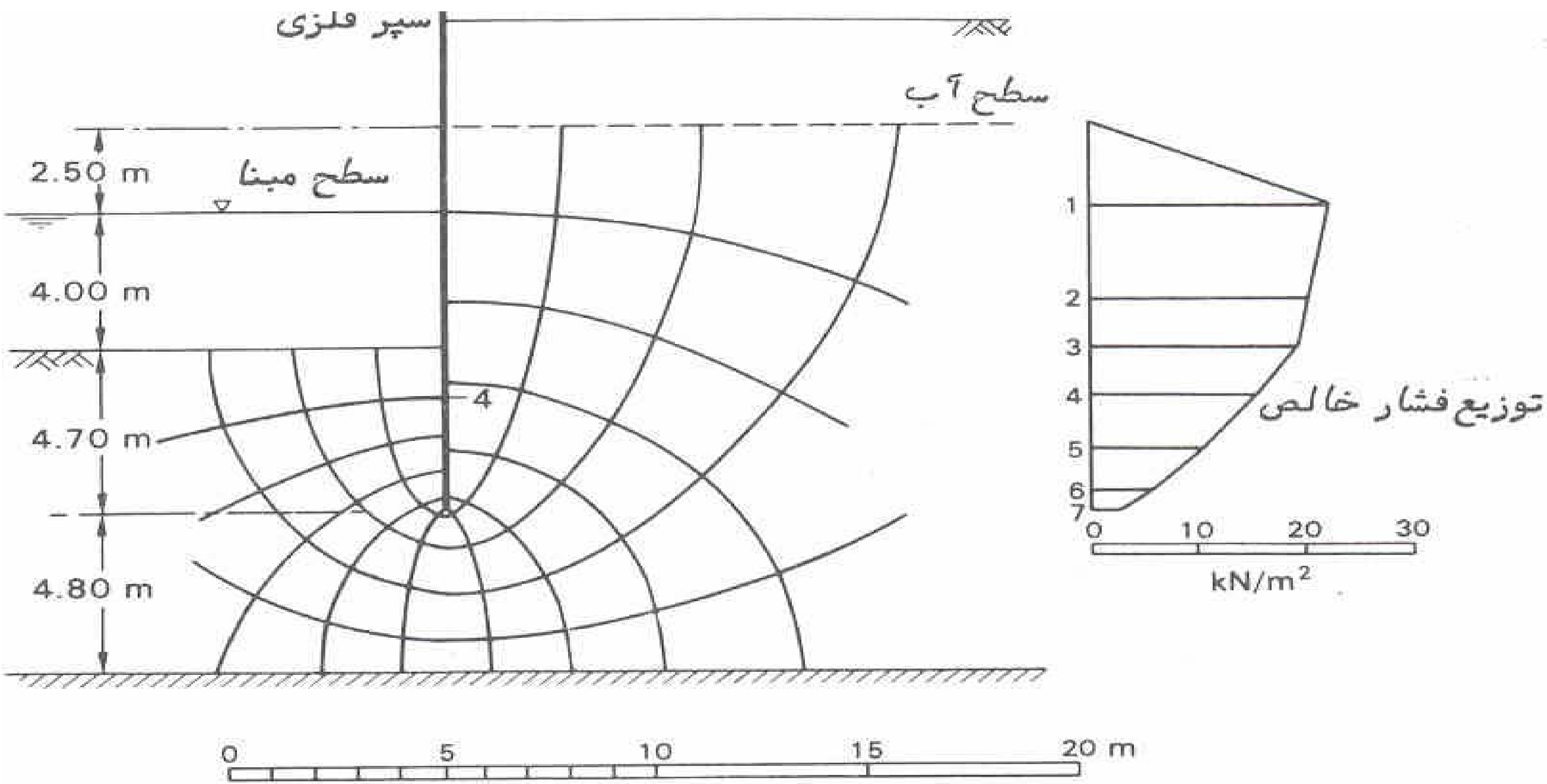


$N_f = 8 \quad N_d = 18$

CALCULATION OF FLOW

The flow through the soil is $q = k\Delta H N_f / N_d = k\Delta h N_f = 1 \times 10^{-4} \times 4/9 \times 18 = 8 \times 10^{-4}$ cm/sec.

مثال: مقطع يك سپر در دهانه خليجي كه تحت تاثير جزر و مد است در شكل زير نشان داده شده است به هنگام جزر عمق آب مقابل ديوار چهارمتر است و آب در پشت ديوار ۲/۵ متر بالاتر از آب جزر است مطلوبست ترسيم منحني تغييرات فشار آب وارد بر ديوار

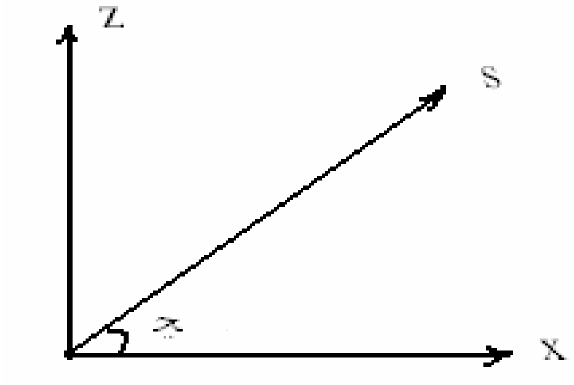


تراز	z (m)	h_b (m)	u_b/γ_w (m)	h_f (m)	u_f/γ_w (m)	$u_b - u_f$ (kN/m^2)
1	0	2·30	2·30	0	0	22·6
2	−2·70	2·10	4·80	0	2·70	20·6
3	−4·00	2·00	6·00	0	4·00	19·6
4	−5·50	1·83	7·33	0·21	5·71	15·9
5	−7·10	1·68	8·78	0·50	7·60	11·6
6	−8·30	1·51	9·81	0·84	9·14	6·6
7	−8·70	1·25	9·95	1·04	9·74	2·1

تراوش در يك خاك غير هموژن ($k_x \neq k_z$)

معمولاً" ضريب تراوائي يا نفوذپذيري مقداري حداقل در جهت قائم (يعني k_z) دارد و همين ضريب در جهت افقي(k_x)معمولاً" حداكثراست. در صورت مقايسه بين اين دو ضريب در يك خاك اگر بخواهيم k_s (يعني ضريب نفوذپذيري در جهت دلخواه s) را بدست آوريم داريم:

$$v_x = k_x i_x = k_x \frac{\partial h}{\partial x} \qquad v_z = k_z i_z = k_z \frac{\partial h}{\partial z}$$



در هر جهتي نظير s كه با امتداد x زاويه α بسازد ميزان ضريب نفوذپذيري با استفاده از رابطه زير تعريف مي شود:

$$v_s = k_s \frac{\partial h}{\partial s} \Rightarrow \frac{\partial h}{\partial s} = \frac{v_s}{k_s}$$

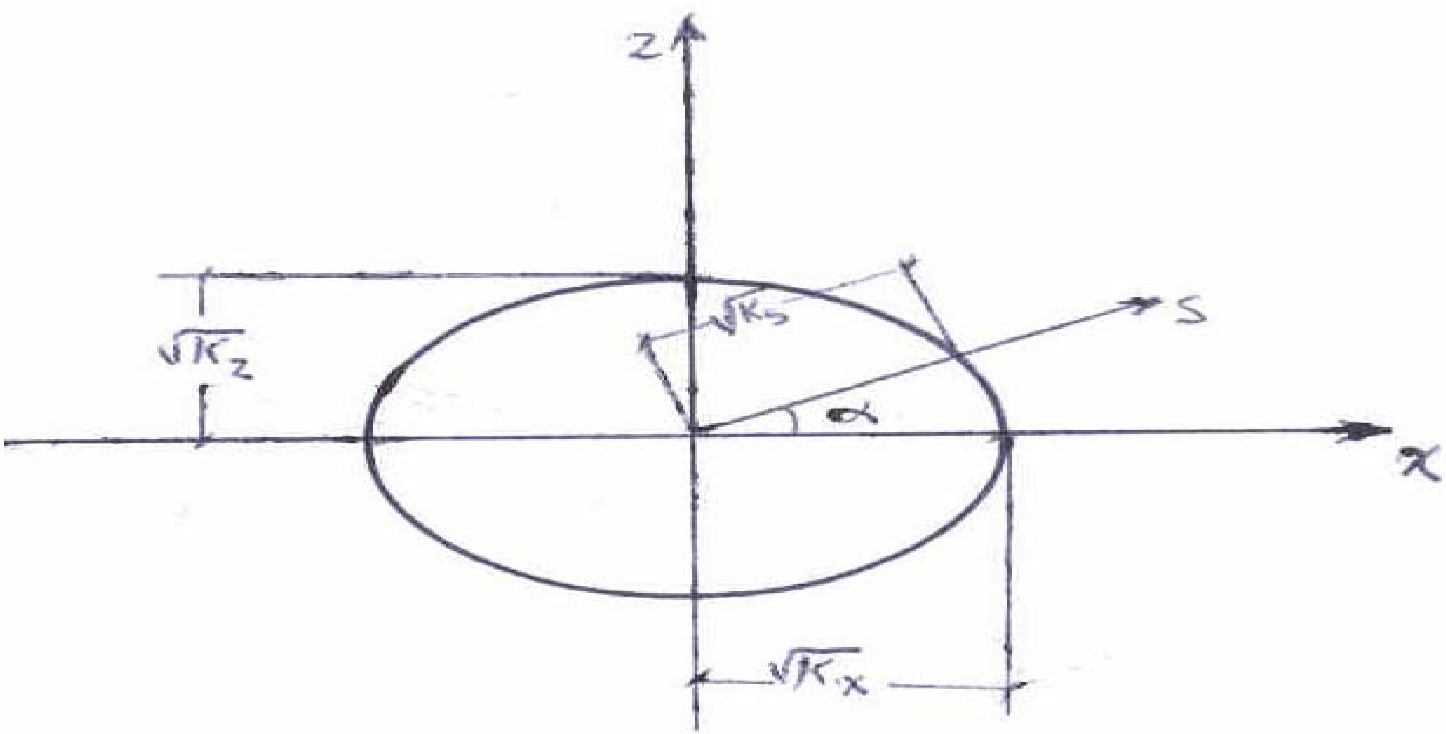
$$\frac{\partial h}{\partial s} = \frac{\partial h}{\partial x} \cdot \frac{\partial x}{\partial s} + \frac{\partial h}{\partial z} \cdot \frac{\partial z}{\partial s}$$

$$\begin{cases} x = S\cos\alpha \\ z = S\sin\alpha \end{cases} \qquad \begin{cases} v_x = v_s\cos\alpha \\ v_z = v_s\sin\alpha \end{cases}$$

$$\Rightarrow \frac{\partial h}{\partial s} = \frac{v_s}{k_s} = \frac{v_x}{k_x}\cos\alpha + \frac{v_z}{k_z}\sin\alpha$$

$$\Rightarrow \frac{1}{k_s} = \frac{\cos^2\alpha}{k_x} + \frac{\sin^2\alpha}{k_z} \Rightarrow \frac{s^2}{k_s} = \frac{x^2}{k_x} + \frac{z^2}{k_z}$$

با مقايسه اين معادله با معادله بيضي $\left(1 = \frac{x^2}{a^2} + \frac{z^2}{b^2}\right)$ ملاحظه مي شود كه معادله فوق معادله يك بيضي است پس از رسم بيضي مربوطه براي هر زاويه يك $\mathbf{k_s}$ متناظر خواهيم داشت.



در چنين حالتي كه $k_x \neq k_z$ مي باشد معادله لاپلاسين به صورت زير نوشته مي شود:

$$k_x \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + k_z \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0$$

ويا:

$$\frac{\partial^2 h}{\left(\frac{k_z}{k_x}\right)\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0$$

و در صورت جايگزيني

$$x' = \sqrt{\frac{k_z}{k_x}}.x$$

معادله پيوستگي به صورت زير در مي آيد:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x'^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0$$

كه معادله پيوستگي يك خاك غير هموژن در صفحه z و x´ مي باشد، در نتيجه رابطه فوق مشخص مي نمايد كه جريان در يك محيط غير هموژن تبديل به جريان در يك محيط فرضي مي گردد كه معادله لاپلاس براي آن صادق است

مقدار ضريب نفوذپذيري براي مقطع تبديل يافته را ضريب همساني هم ارز مي نامند و براي محاسبه آن خواهيم داشت:

$$v_x = k_x i_x = k i_{x'}$$

$$k_x \frac{\partial h}{\partial x} = k \frac{\partial h}{\partial x'}$$

$$\partial x' = \sqrt{\frac{k_z}{k_x}} \partial x$$

$$k_x = \frac{k}{\sqrt{\frac{k_z}{k_x}}}$$

$$\boxed{k = \sqrt{k_x k_z}}$$

قوانين رفتاري خاكها

مفهوم تنش موثر موجب جداشدن دو رفتار گوناگون در خاكهاي اشباع مي‌گردد:

اول رفتار آب بين حفره‌أي مي‌باشد و ديگري رفتار اسكلت جامد خاك

رفتارآب با توجه به اينكه كاملا" شناخته شده است زياد پيچيده نمي‌باشد دو امكان براي آب در يك خاك اشباع وجود دارد يكي خروج از خاك مي‌باشد كه در اين صورت عمل تحكيم رخ مي‌دهد و ديگري عدم خروج و در اين صورت چون آب غيرقابل تراكم فرض مي‌گرددو دانه‌هاي جامد نيز غيرقابل تراكم‌اند حجم خاك تغيير نخواهد كرد

براي آب هميشه امكان خروج از خاك وجود دارد

ليكن در خاكهاي ريزدانه كوچك بودن حفره‌هاي بين دانه‌هاي جامد و نيز وجود جذب آب سطحي موجب طولاني شدن خروج اب مي‌گردد

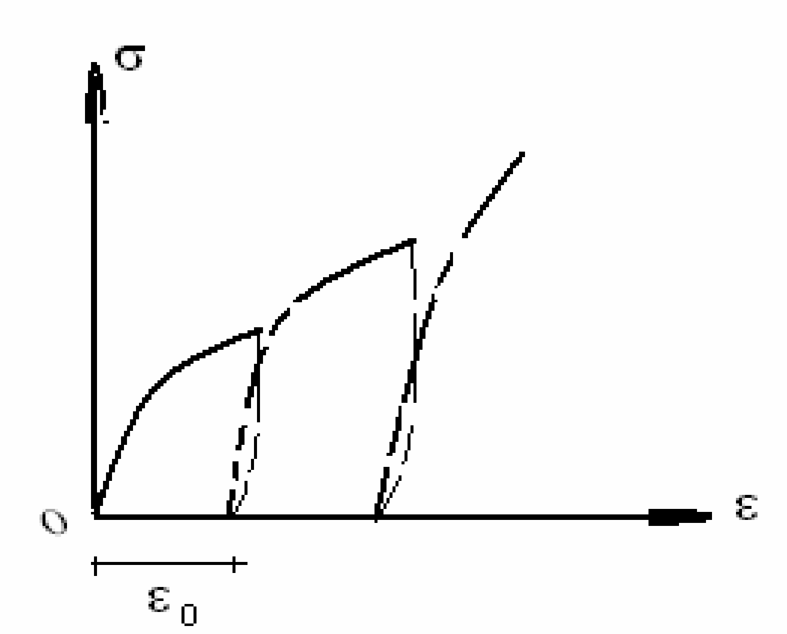
اين زمان براي رس‌ها ممكن است گاهي به چند سال نيز برسد

لذا خاك‌هاي ريزدانه در كوتاه مدت و دراز مدت دو رفتار مختلف از خود نشان مي‌دهند

رفتار بخش جامد خاك

تاكنون رفتار خاك توسط مدلهاي رياضي به صورت كامل بيان نگرديده است ولي در ساده‌ترين روش مي‌توان براي محاسبه تنش‌ها از تئوري ارتجاعي استفاده نمود

البته همانطور كه شايدآشنا باشيد خاك‌ها هيچگاه رفتار ارتجاعي از خود نشان نمي‌دهند (مگر در تغيير شكلهاي بسيار بسيار كوچك) اين موضوع را مي توان از ترسيم منحني‌هاي تنش كرنش خاك ملاحظه نمود



همانطوركه ملاحظه ميشودرفتار يك خاك با غير ارتجاعي بودن تغيير شكلها تشخيص داده مي شود به عبارت ديگر در هرباربرداري مواجه با قسمتي از تغيير شكل غيرقابل بازگشت مي‌شويم

يكي از نشانه‌هاي رفتار غير ارتجاعي خاك مسئله تغيير حجم خاك در حين بارگذاري مي‌باشد لذا يكي از روشهاي ارائه رفتار خاك توسط مدلهاي رياضي بيان رفتار خطي حجمي خاك مي‌باشد البته اين مسئله نيز با توجه به اينكه خاكهاي دانه‌أي متراكم (با دانسيته بالا) در هنگام بارگذاري منبسط مي‌گردند و خاكهاي دانه‌أي غير متراكم (با دانسيته پائين) منقبض مي‌شوند، به سادگي امكان پذير نمي‌باشد

بايد ذكر نمود كه رفتار ارتجاعي در محيطي ممكن مي‌باشد كه آن محيط ايزوتروپ (همسان) و هموژن (همگن) باشد

خاكي را ايزوتروپ مي‌توان فرض نمود كه در هر نقطه خصوصياتي يكسان در جهات مختلف داشته باشند

ولي با توجه به لايه لايه بودن خاكها، آنها چنين خصوصيتي نمي توانند داشته باشند خاكها هموژن نمي باشند چون لايه‌هاي پائين‌تر معمولا" به علت تحمل وزن خاكهاي روئي تحكيم يافته‌ترند

آزمايشهاي آزمايشگاهي

در صورتيکه خاك را عليرغم توضيحات فوق ايزوتروپ و هموژن فرض نمائيم مي‌توان ضرايب ارتجاعي آن يعني (E مدول يانگ) و (υ ضريب پواسون) را به كمك آزمايش تعيين نمود و با اين دو ضريب به تعيين روابط تنش كرنش پرداخت چهار آزمايش آزمايشگاهي كه معمولا" بيشتر مورد استفاده قرار مي‌گيرند عبارتند از:

آزمايش تحكيم سه محوري

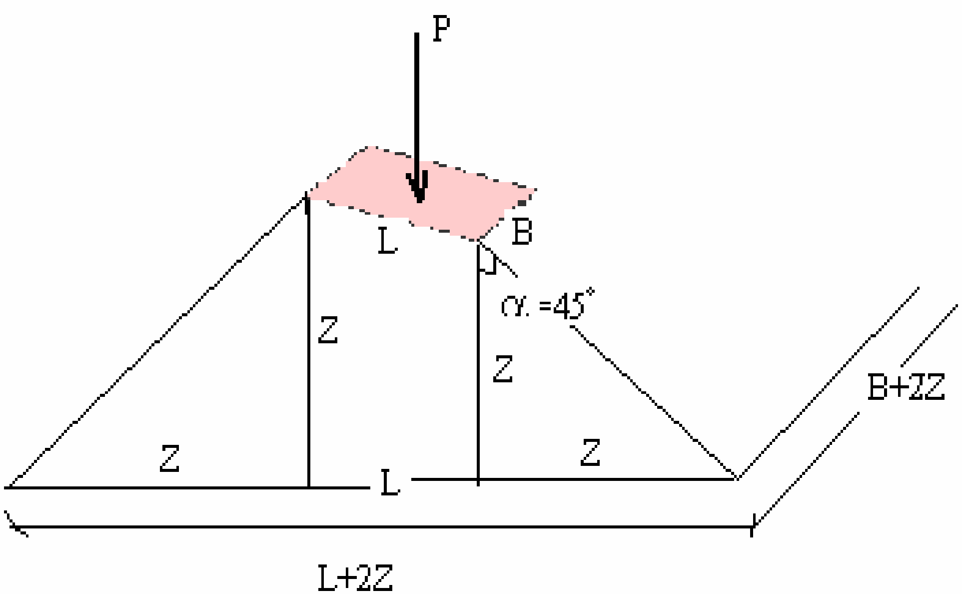
آزمايش تحكيم تك محوري (ادئومتر)

آزمايش فشار سه محوري با تنش جانبي ثابت (triaxial)

آزمايش برشي مستقيم با جعبه كاساگراند

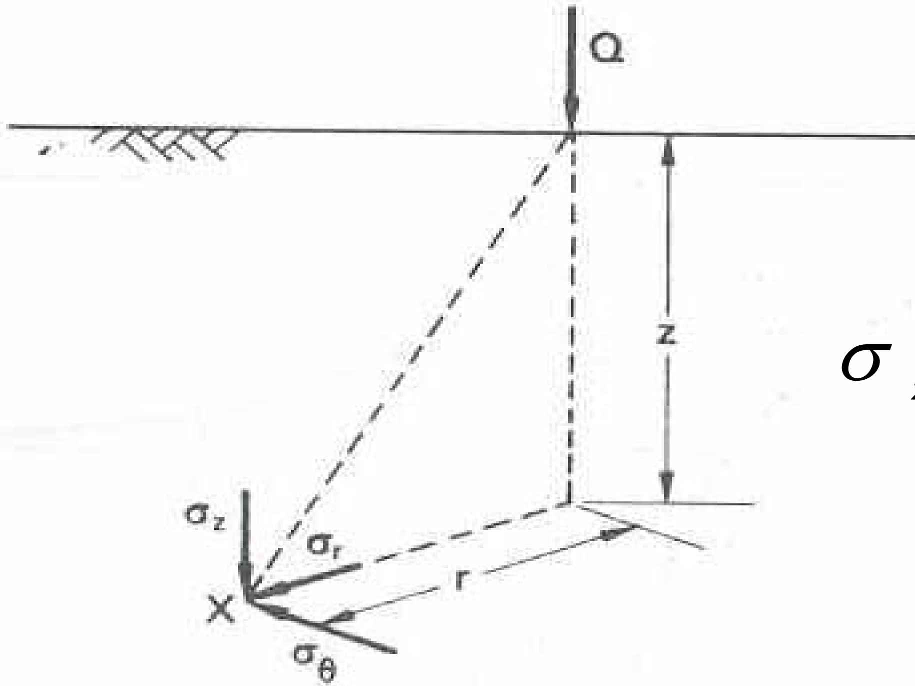
تنش‌ها و کرنش‌ها در خاك

با استفاده از تئوري ارتجاعي و كاربرد آن در خاك به بررسي مقادير تنش و كرنش در خاك می پردازيم ذيلا" روابطي كه براي تعيين تنش‌ها در زير پي‌ها مي باشد مورد بررسي قرار مي‌گيرند:



معمولاً گسترش تنش در خاک را به صورت مثلثی در نظر می گیریم و برای محاسبهٔ تنش اعمال شده بر خاک می توان از مدل روبرو استفاده نمود:
(البته گاهی زاویهٔ α را ۳۰ درجه در نظرمی گیریم)

در صورتیکه بار نقطه‌أي P را در نظر بگیریم که بر سطح زمین وارد مي‌شود در نقطه‌أي دلخواه مانند M تنش‌ها در سه جهت مختلف توسط روابط زیر محاسبه مي‌گردند



$$\sigma_z = \frac{3P}{2\pi z^2}\left[\frac{1}{1+\left(\frac{r}{z}\right)^2}\right]^{5/2}$$

$$\sigma_r = \frac{p}{2\pi}\left(\frac{3r^2 z}{\left(r^2+z^2\right)^{\frac{5}{2}}} + \frac{2\nu-1}{r^2+z^2+z\left(r^2+z^2\right)^{\frac{1}{2}}}\right)$$

$$\sigma_\theta = \frac{p}{2\pi}(2\nu - 1)\left(\frac{z}{\left(r^2 + z^2\right)^{\frac{3}{2}}} - \frac{1}{r^2 + z^2 + z\left(r^2 + z^2\right)^{\frac{1}{2}}}\right)$$

$$\tau_{rz} = \frac{3p}{2\pi}\left(\frac{rz^2}{\left(r^2 + z^2\right)^{\frac{5}{2}}}\right)$$

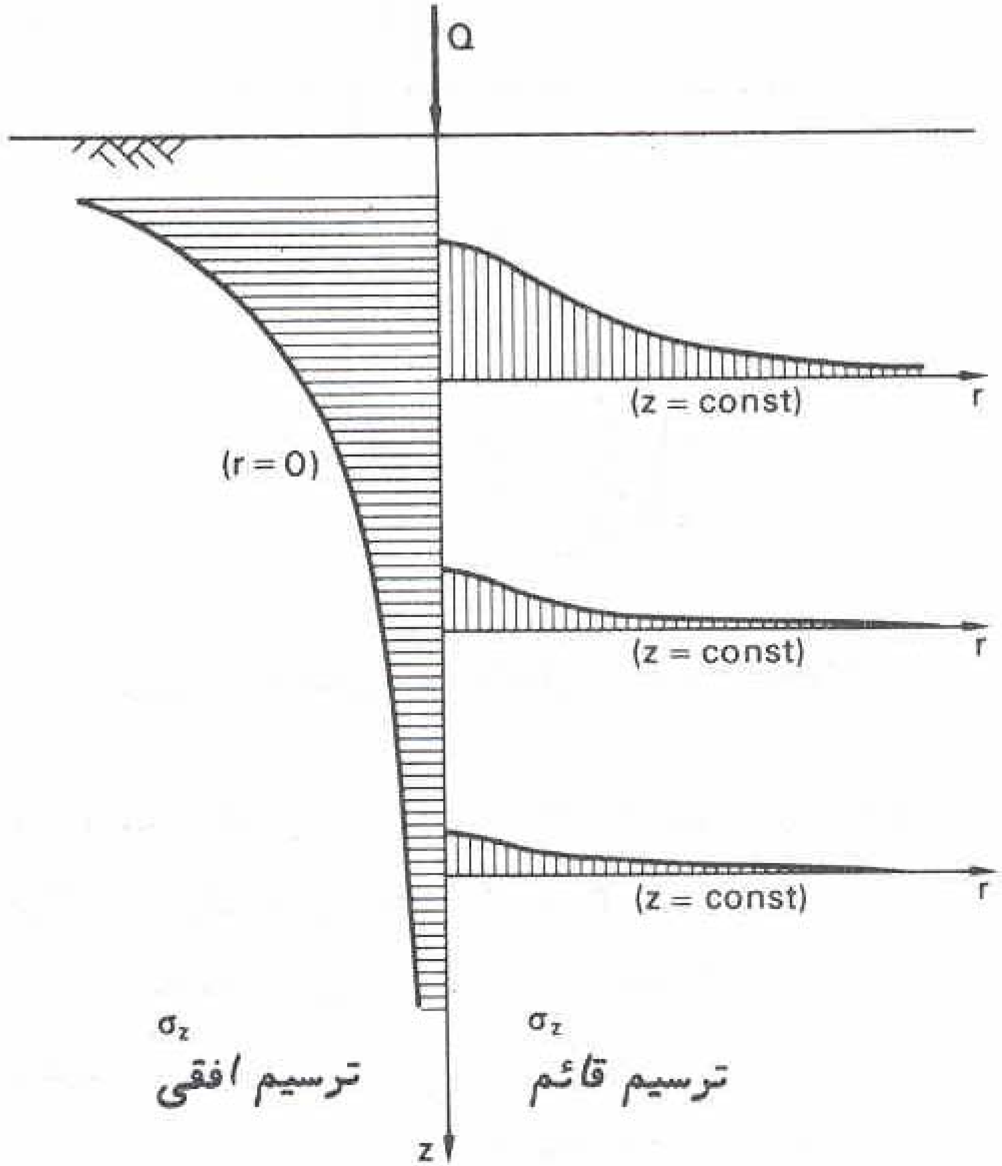
ضريب پواسون (υ) براي انواع خاكها متغير مي‌باشد مثلا" براي ماسه‌ها اين ضريب ۰/۳۳ و براي رس تا ۰/۴۵ در نظر گرفته مي‌شود (البته بطور تقريبي) مقادير دقيق‌تر در رابطه با انواع خاكها تغيير مي‌نمايد

بايد ذكر نمود ضريب پواسون براي خاكهاي اشباع زهكشي نشده برابر ۰/۵ مي‌باشد اگر ضريب عامل را به صورت زير تعريف نمائيم:

$$I_P = \frac{3}{2\pi}\left(\frac{1}{1+\left(r/z\right)^2}\right)^{\frac{5}{2}}$$

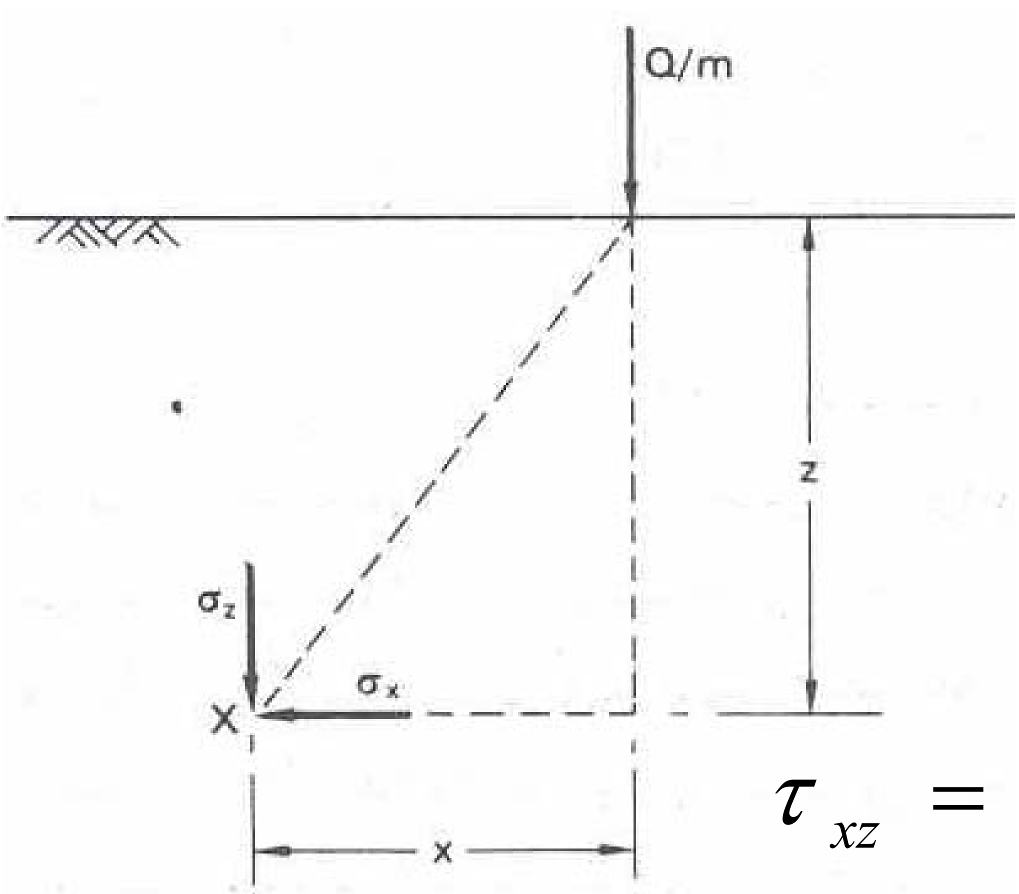
فرمول σ_z كه مهمترين تنش مي‌باشد و همين تنش است كه تاثيرات عمده‌أي بر خاك چه از لحاظ تحكيم و چه از لحاظ گسيختگي دارد، به صورت زير ساده مي‌گردد:

$$\sigma_z = \frac{P}{z^2} I_P$$



معمولا” مقادير I_p(ضريب عامل) در جداول بر حسب r/z داده مي‌شود فرمول فوق فرمول يك هذلولي است تنش ما به صورت روبرو مي‌باشد

بار خطي : در حالتي كه بار خطي P به اندازه P/m (P در واحد طول) بر سطح خاك وارد شود (مثل بار ديوار) فرمولهاي فوق به صورت زير در مي‌آيند:



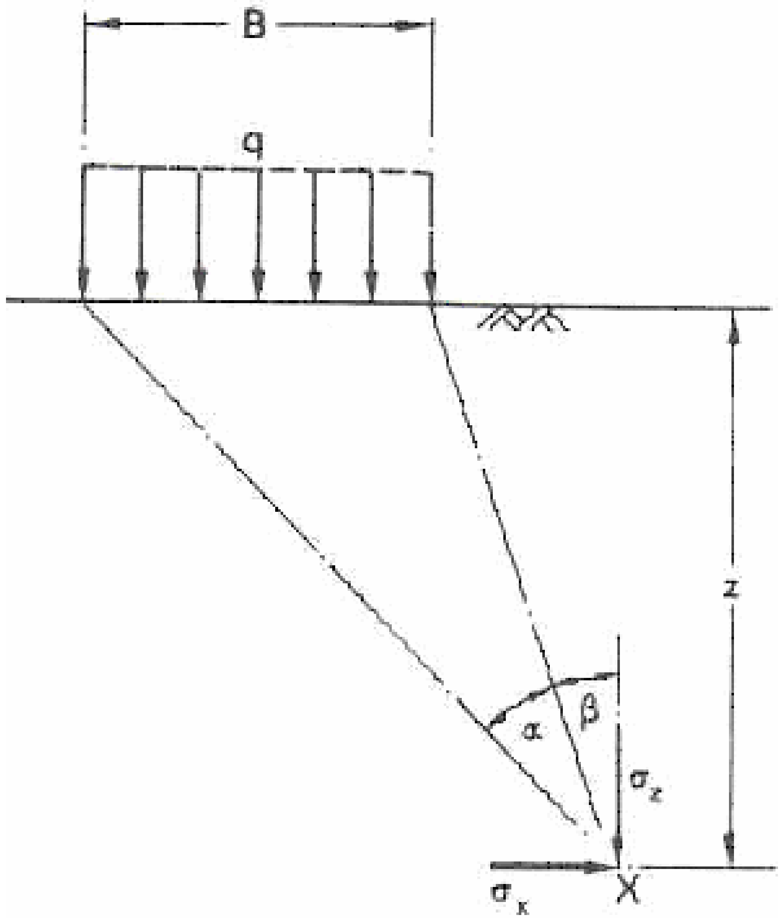
$$\sigma_z = \frac{2P}{\pi}\left(\frac{z^3}{\left(x^2+z^2\right)^2}\right)$$

$$\sigma_x = \frac{2P}{\pi}\left(\frac{x^2 z}{\left(x^2+z^2\right)^2}\right)$$

$$\tau_{xz} = \frac{2P}{\pi}\left(\frac{xz^2}{\left(x^2+z^2\right)^2}\right)$$

بار يكنواخت نواري :

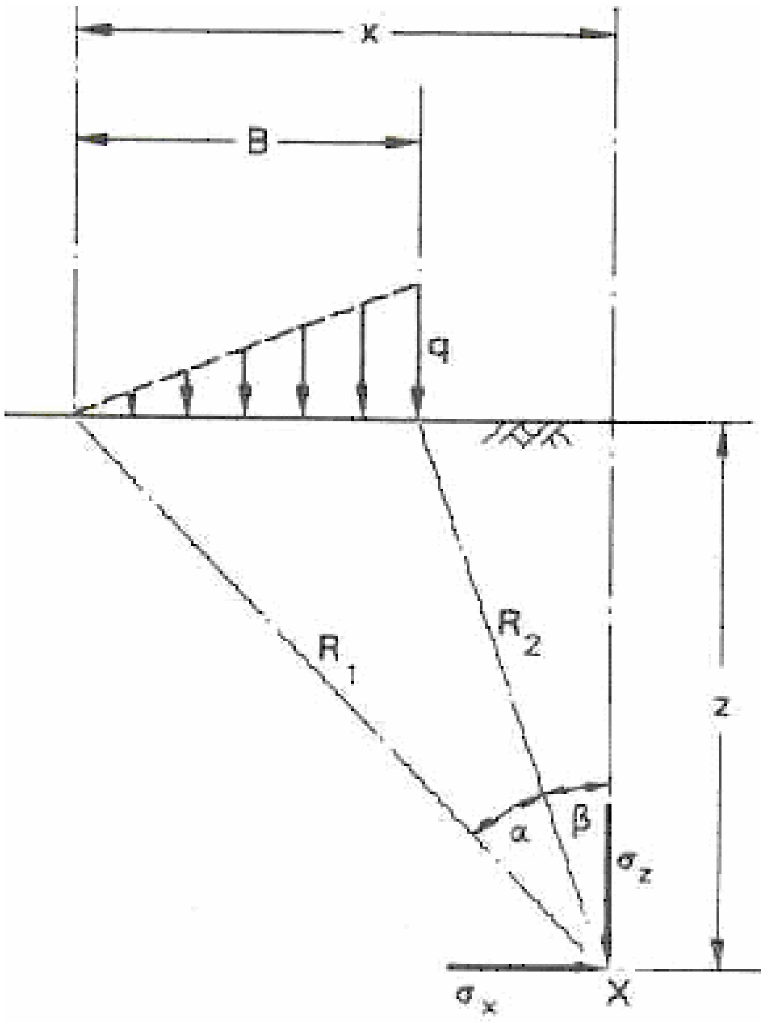
در صورتيكه بار نواري يكنواخت **P** وارد بر يك نوار به عرض با توجه به زواياي تعريف شده **α** و **β** براي نقطه دلخواه **m** به صورت زير تعريف شوند:



$$\sigma_z = \frac{p}{\pi}(\alpha + \sin\alpha\cos(\alpha + 2\beta))$$

$$\sigma_x = \frac{p}{\pi}(\alpha - \sin\alpha\cos(\alpha + 2\beta))$$

$$\tau_{xz} = \frac{p}{\pi}(\sin\alpha\sin(\alpha + 2\beta))$$



در صورتیکه بار یکنواخت به صورت مثلثي وارد گردد معادلات فوق به صورت زير تغيير مي يابند:

$$\sigma_z = \frac{p}{\pi}\left(\frac{x}{B}\alpha - \frac{1}{2}\sin 2\beta\right)$$

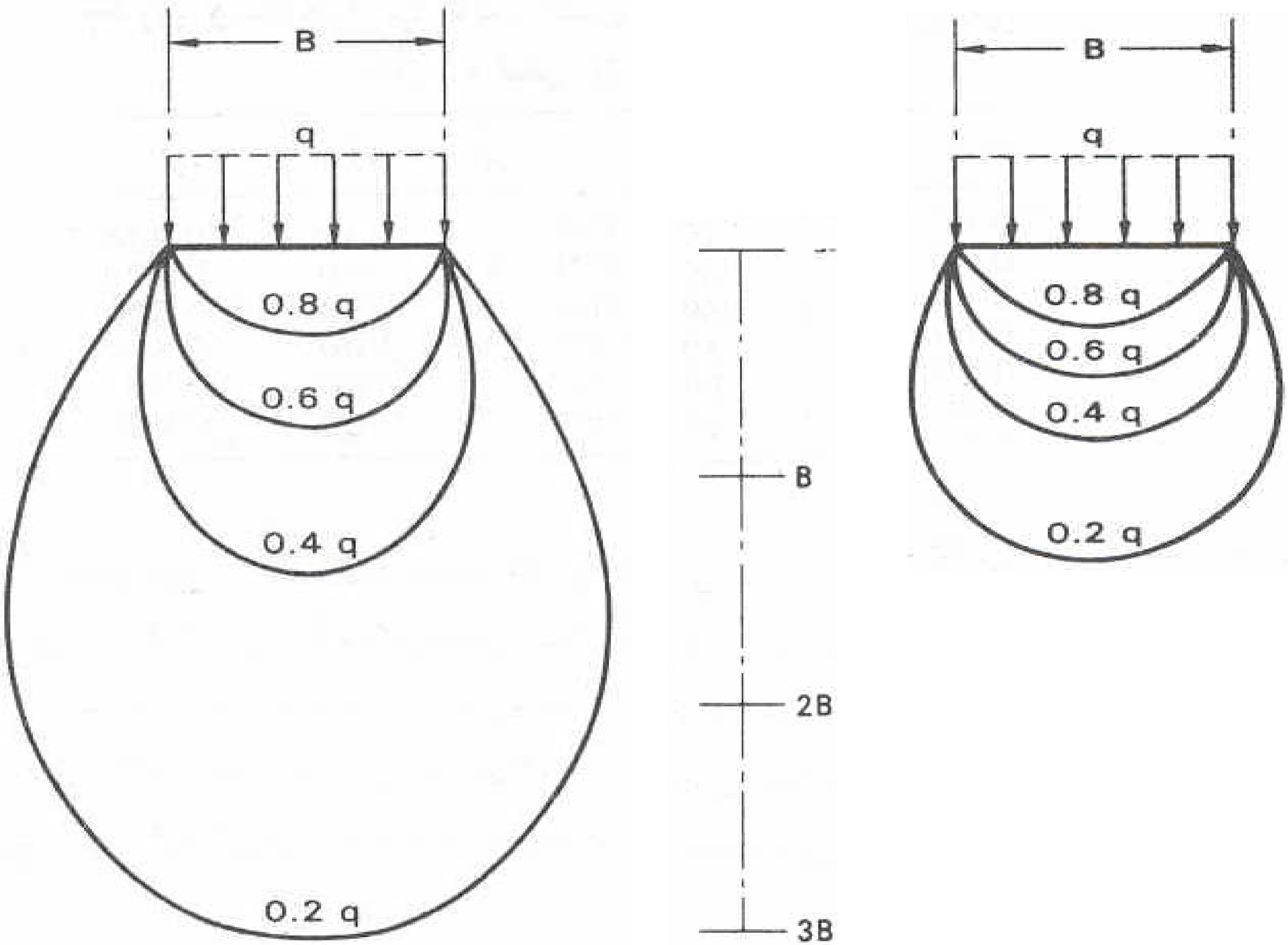
$$\sigma_x = \frac{p}{\pi}\left(\frac{x}{B}\alpha - \frac{z}{B}\ln\frac{R_1^2}{R_2^2} + \frac{1}{2}\sin 2\beta\right)$$

$$\tau_{xz} = \frac{p}{2\pi}\left(1 + \cos 2\beta - 2\frac{z}{B}\alpha\right)$$

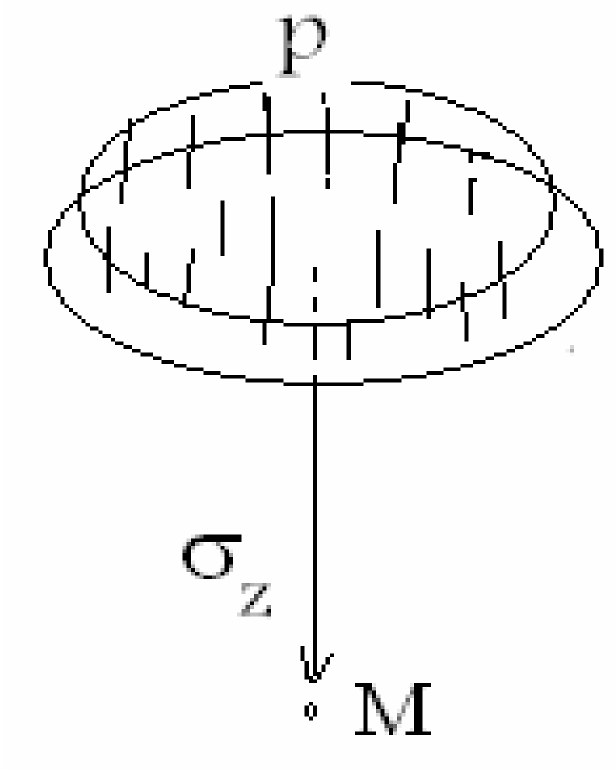
در این حالت همانطور که از ضرایب متوجه مي‌شويم تنش‌در اعماق خاك به صورت حبابهاي تنش تعريف مي‌شوند

روي این حبابها تنش‌ها یکسان مي‌باشند چون فواصل نقاط واقع بر این حبابها مقادير ثابتي را براي تنش‌ها بدست مي‌دهند (این حبابها براي دو نوع بار نواري و مربعي براي عرض معين B ترسيم مي‌شوند)

ملاحظه مي‌كنيم كه تنش‌هاي مهم براي نوع نواري تا عمق 3B و براي نوع مربعي تا عمق 1,5B اثر مي‌گذارد


B
q
0.8 q
0.6 q
0.4 q
0.2 q
B
2B
3B
B
q
0.8 q
0.6 q
0.4 q
0.2 q

بار يكنواخت دايره‌أي :

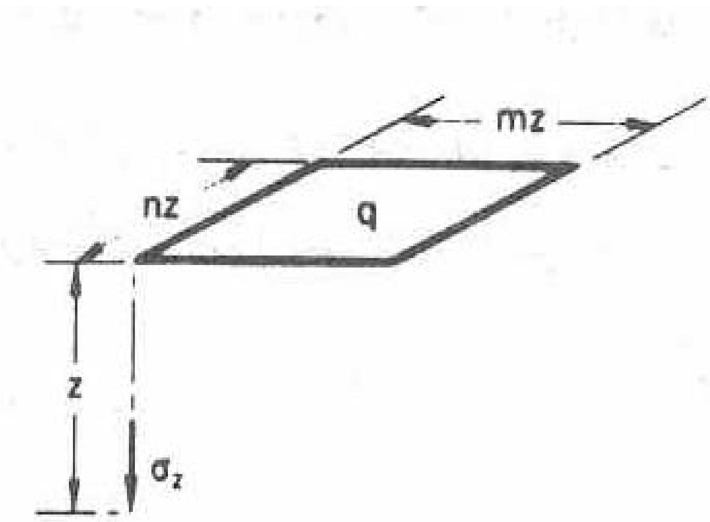


مقدار تنش عمودي در عمق z در مركز يك سطح دايره‌أي به شعاع R تحت اثر فشار يكنواخت P برابر است با :

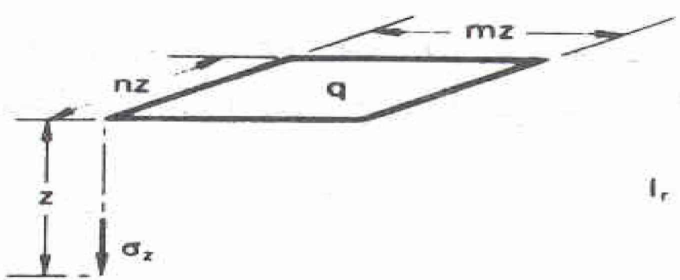
$$\sigma_z = P\left(1-\left(\frac{1}{1+\left(R/z\right)^2}\right)^{\frac{3}{2}}\right)$$

اگر $\left(1-\left(\frac{1}{1+\left(\frac{R}{z}\right)^2}\right)^{\frac{3}{2}}\right)$ **را شعاع تاثير بناميم فرمول $\sigma_z=PI_c$ بدست مي‌آيد كه مقادير I_c معمولا" در جداول داده شده اند**

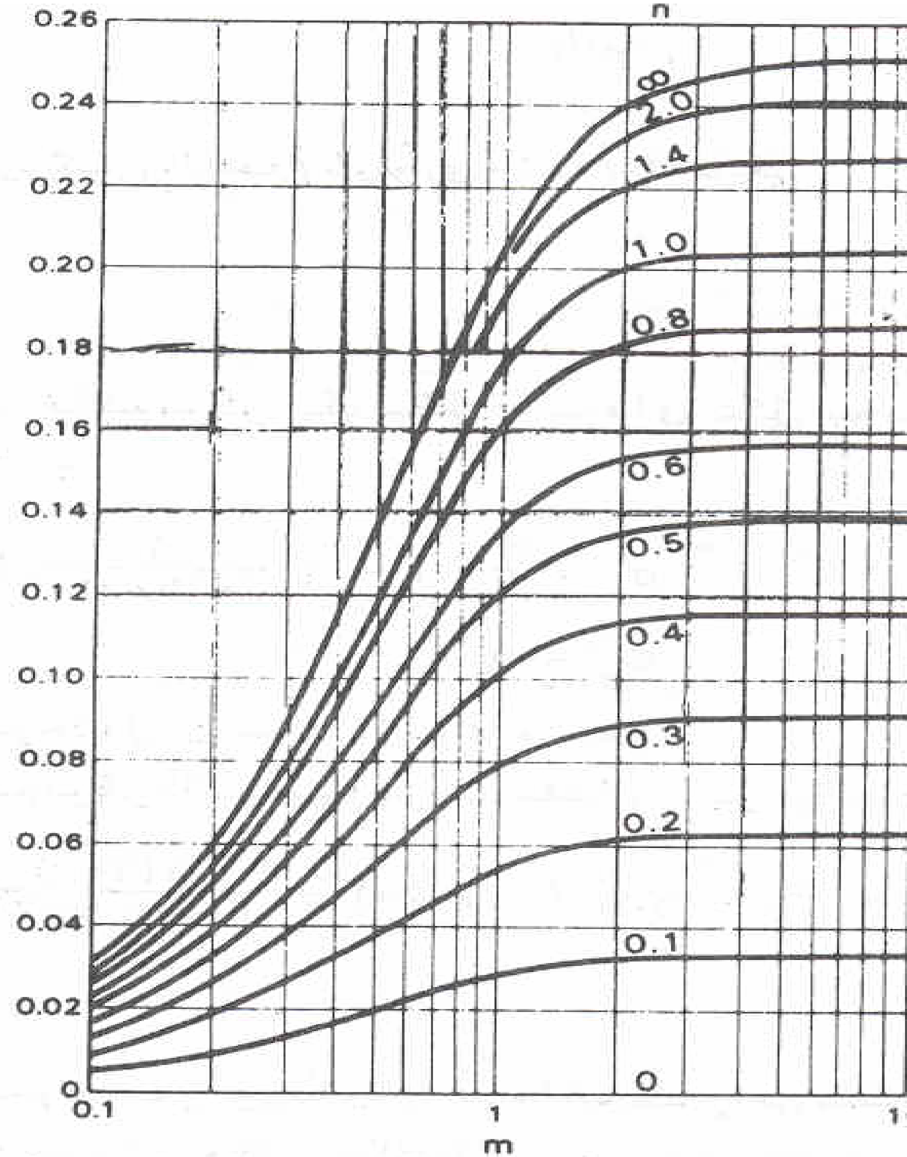
بار یکنواخت مستطیلی :



در عمق z در امتداد قائم يك گوشه مستطيل به ابعاد mz و nz تحت اثر بار يكنواخت P به صورت ساده $\sigma_z = PI_r$ نوشته مي شود كه ضريب I_r بر حسب m و n در نمودارهايي كه معمولا" داده مي‌شوند محاسبه می گردد از همين روش مي توان براي محاسبه تنش تحت يك بار نواري نيز استفاده نمود در اين حالت طول مستطيل بي‌نهايت فرض مي گردد.



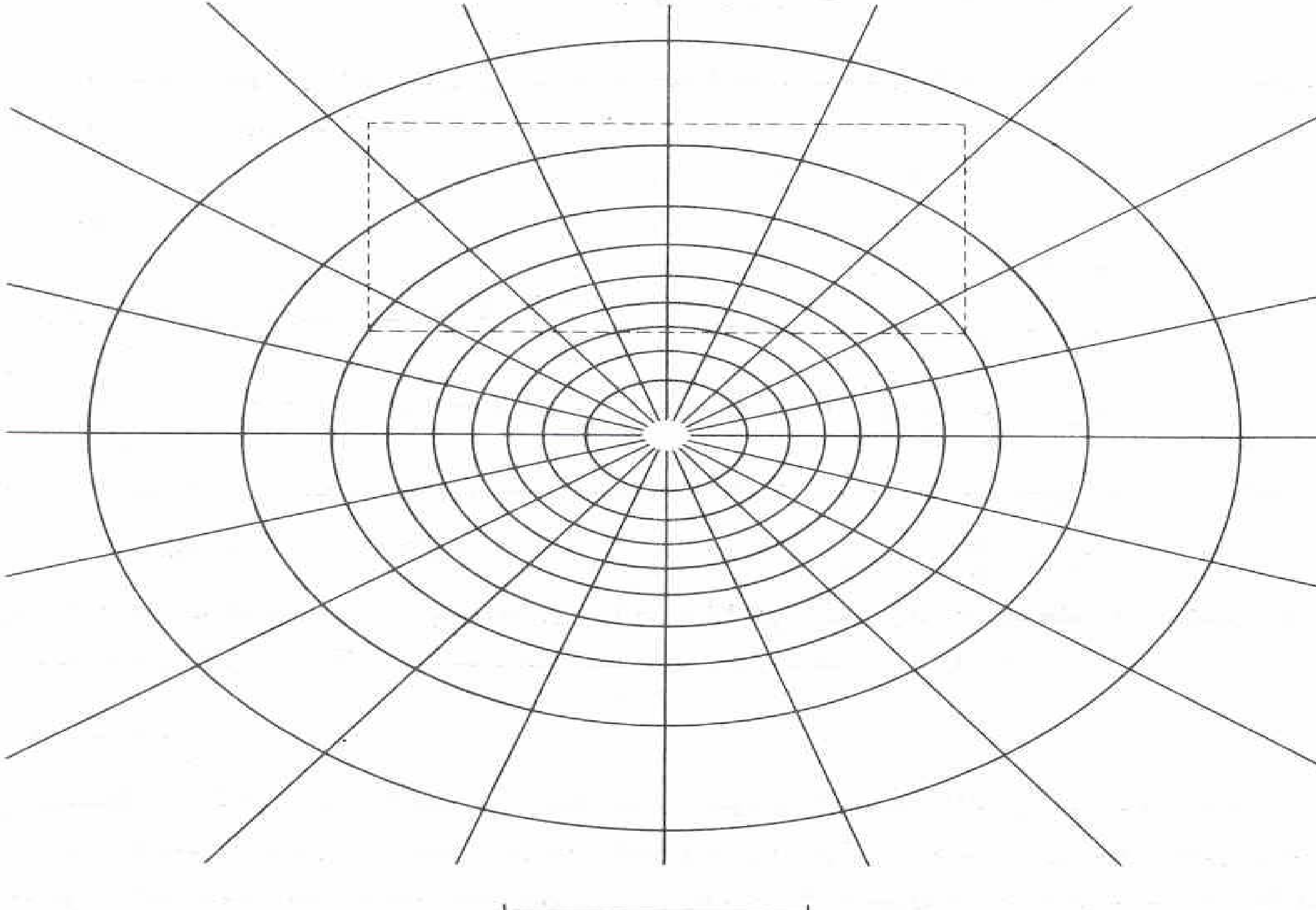
mz
nz
q
z
σ_z



n
∞
2.0
1.4
1.0
0.8
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
I_r
m
0.26
0.24
0.22
0.20
0.18
0.16
0.14
0.12
0.10
0.08
0.06
0.04
0.02
0
0.1
1
10

نيومارك بر اساس روابط بوسينسك نمودار تاثيري را ترسيم نمود كه با استفاده از آن مي توان تنش عمودي را در هر نقطه واقع زير يك سطح بارگذاري به شكل نامشخص تحت بار P بدست آورد. شكل سطح بارگذاري شده بر روي نمودار با مقياسي كه در آن طول خط مقياس نمودار برابر عمقی كه در آن عمق ميخواهيم تنش را محاسبه نمائيم می باشد، ترسيم ميگردد و با شمارش سطوح تاثير (مقدار تاثير ۰,۰۰۵ فرض ميگردد (براي هر سطح تاثير)) Nاز فرمول زير تنش عمودي محاسبه ميگردد

$$\sigma_z = 0.005 N.P$$

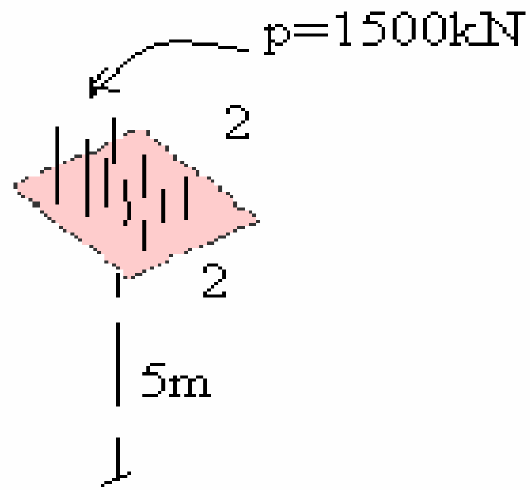


خط مقیاس

مقدار تاثیر به واحد فشار = ۰٫۰۰۵

مثال ۱:

بار گسترده ۱۵۰۰ کیلونیوتنی بر سطحی ۲×۲ وارد شده است در عمق ۵ متری مرکز بار تنش قایم چیست



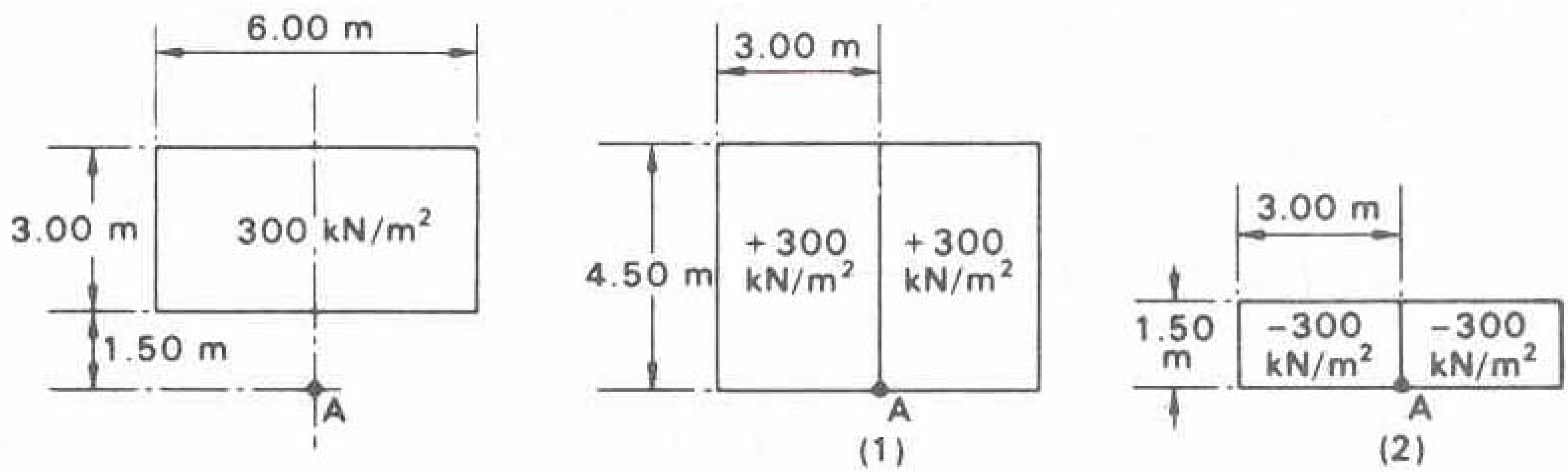
براي اينكه بتوانيم از نمودار‌استفاده كنيم بايد سطح موردنظر را به چهار قسمت تقسيم كنيم

$$P = 1500 / 2^2 = 375 \frac{KN}{m^2}$$

m=n=0.2 **Ir=0.018**

$$\sigma_z = 4pI_r = 4 \times 375 \times 0.018 = 27 kN/m^2$$

مثال ۲: پي مستطيل شكل به ابعاد۳×۶ متر موجود است پي تحت فشار يكنواخت برابر با ۳۰۰ كيلو نيوتن بر متر مربع قرار دارد مطلوبست تعيين تنش عمودي در ژرفای۳ متري در قائم نقطه A واقع بر محور پي و به فاصله۱,۵ متر از طول پي :



حالت مسئله را تبديل به مجموع دو حالت معادل مقابل مي گردانيم و به حل مسئله مي پردازيم :

در حالت ۱ :

$m=1=3/3$

$\Rightarrow$ $I_r=0.193$

$n=1.5=4.5/3$

در حالت ۲ :

$m=1=3/3$

$\Rightarrow$ $I_r=0.120$

$n=0.5=1.5/3$

$$\sigma_z=(2\times300\times0.193)-(2\times300\times0.12)=44\ kN/m^2$$

در صورتيكه بخواهيم از روش نيومارك مسئله را حل نمائيم كافيست با خط مقياس كه معادل ۳ متر (عمق موردنظر جهت محاسبه تنش) در نظر گرفته مي شود به ترسيم مستطيل پي بپردازيم مستطيل را طوري قرار مي دهيم كه نقطه A در مركز نمودار قرار گيرد در چنين شرايطي N (تعداد سطوح تاثير كه در داخل مستطيل قرار مي گيرد) به طور تقريبي برابر ۳۰ مي شود لذا :

$$\sigma_z = 0.005 \times 30 \times 300 = 45 \frac{KN}{m^2}$$

ضريب سختي وسترگارد

جهت محاسبه توزيع تنش‌ها و نشست‌ها زير يك سطح بارگذاري شده وسترگارد فرض كرد كه در هر نقطه سطح بارگذاري شده تنش عمودي σ با نشست مشاهده شده تناسب مستقيم دارد يعني:

$$\sigma = K_s . s$$

k_s ضريب سختي و يا واكنش ناميده مي شود و بر حسب kPa/cm تعيين مي گردد (k_s بعد وزن مخصوص دارد و يا به عبارتي مي تواند واحد N/cm^3 داشته باشد)

لذا در اين فرضيه وسترگارد خاك را عملا" با مايعي به وزن مخصوص k_s جايگيزين مي‌نمايد. دانسيته اين مايع بين ۵۰۰ تا ۳۰۰۰۰ برابر آب است

فرضيه وسترگارد در صورتي درست مي بود كه مي توانستيم خاك را توسط تعدادي فنر مستقل از يكديگر مدل نمائيم در صورتيكه معمولا" تنش‌ها به سطح بارگذاري و به بارهاي وارد بر ديگر نقاط نيز بستگي دارد

با استفاده از رابطه بوسينسك براي تعيين نشست S يك صفحه بي نهايت صلب به شعاع R مستقر بر يك محيط كشسان به ضرايب E وν عبارت است از:

$$S = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{1-\nu^2}{E} \sigma R$$

(فشار عمودي ثابت بر صفحه وارد مي گردد)

مي‌توان با تنش عمودي σ زير صفحه به محاسبه k_s ضريب سختي پرداخت

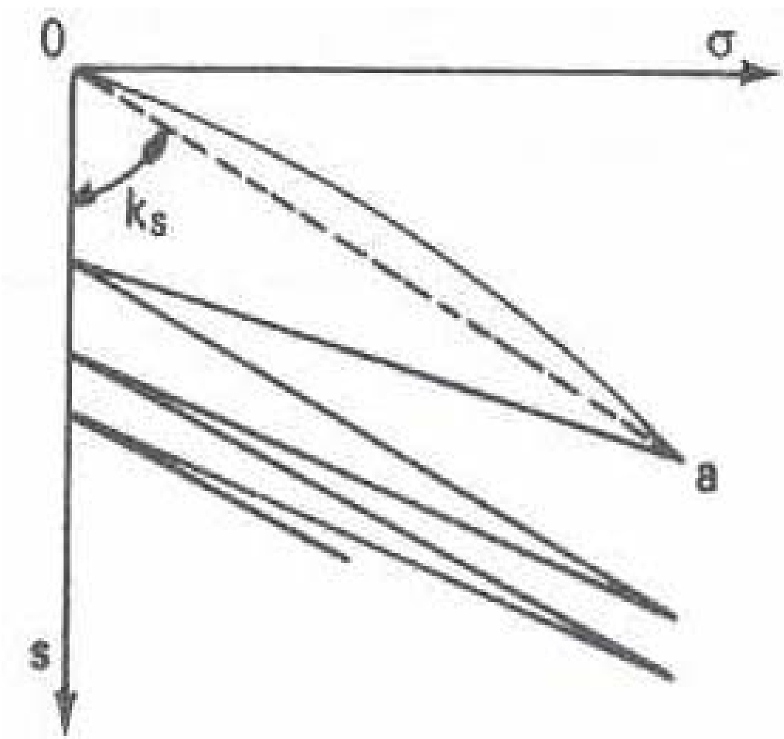
$$K_s = \frac{\sigma}{S} = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{E}{1-\nu^2} \cdot \frac{1}{R}$$

اين رابطه دقيقا" نشان مي دهد كه k_s تابع R مي‌باشد و بستگي كامل به مشخصات خاك ندارد ولي با توجه به سادگي روش معمولا" روش وسترگارد در محاسبات مورد استفاده قرار مي‌گيرد

<u>آزمايش بارگذاري صفحه‌أي (تعيين ضريب سختي Ks خاك)</u>

اندازه‌گيري ضريب سختي در محل توسط صفحات فلزي مدور به قطر45 يا 75 سانتي‌متر معمولا" صورت مي گيرد
صفحات فلزي به اندازه كافي قطور مي باشند تا مشابه صفحات صلب فرضي عمل نمايند اعمال بار توسط يك جك هيدروليك صورت مي پذيرد
پس از اندازه‌گيري فشارهاي وارده و نشست‌هاي ناشي از آن به محاسبه ضريب سختي مي‌پردازيم

خستگی



در حالات تكرار بارگذاري (مانند دالهاي بتني در فرودگاهها، بزرگ‌راهها و ...) رفتار خاك در اثر تكرار تفاوت مي كند.

ولي مي توان ملاحظه نمود پس از تكرار مكرر بارگذاري شاخه‌هاي منحني به صورت خطي درمي‌ايند لذا تعريف ضريب سختي براي دوره **n** ام بارگذاري ممكن است.

اين ضريب شيب خط n ام بارگذاري است نسبت به محور نشست‌ها لذا مي توان E را در بارگذاري n ام از رابطه زير بدست آورد

$$E = \frac{E_{\circ}}{1 + a \log n}$$

كه در آن E_0 و a از آزمايش صفحه به دست مي‌آيد و n هم تعداد بارگذاري مفروض مي باشد كه در آن مي‌خواهيم E را محاسبه نمائيم

محاسبه نشست با استفاده از فرضيه ارتجاعی خاك

از رابطه روبرو مي توان نشست S_i

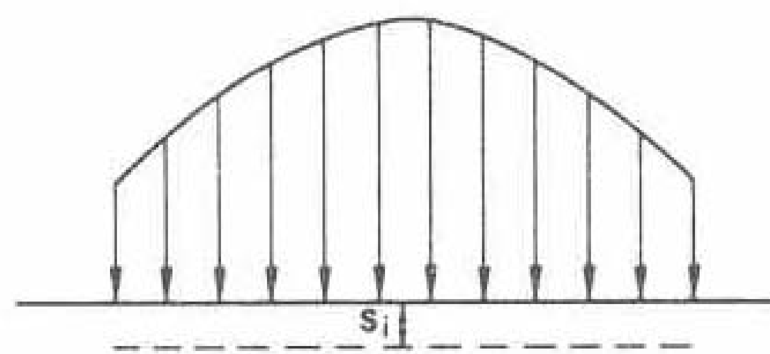
$$s_i = \frac{qB}{E}\left(1-\upsilon^2\right).I_s$$

تحت يك سطح بارگذاري شده (با فشار يكنواخت q) بر يك توده نيمه بينهايت هموژن و ايزوتروپ بدست آورد

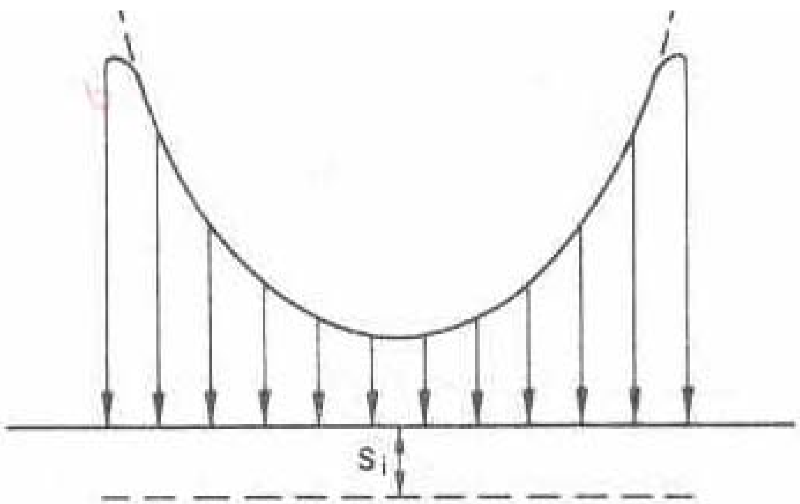
در اين رابطه I_s ضريبي است كه به شكل بارگذاري بستگي دارد در يك سطح مستطيل شكل B عرض مستطيل و در يك سطح دايره أي B همان قطر دايره است

بايد ذکر گردد که مقدار E معمولا" با فشار محدود کننده تغيير مي کندو در نتيجه با افزايش عمق افزايش مي يابد

همانطور که مي دانيم معمولا" سطوح بارگذاري سخت و غيرقابل انعطاف مي باشند لذا نشست در زير سطح بارگذاري شده يکنواخت مي باشد و در نتيجه فشار تماس بين سطح بارگذاري و خاك ثابت نبوده در حالت رس و ماسه به دو صورت زير خواهد بود (براي يك پي مدور):



ماسه

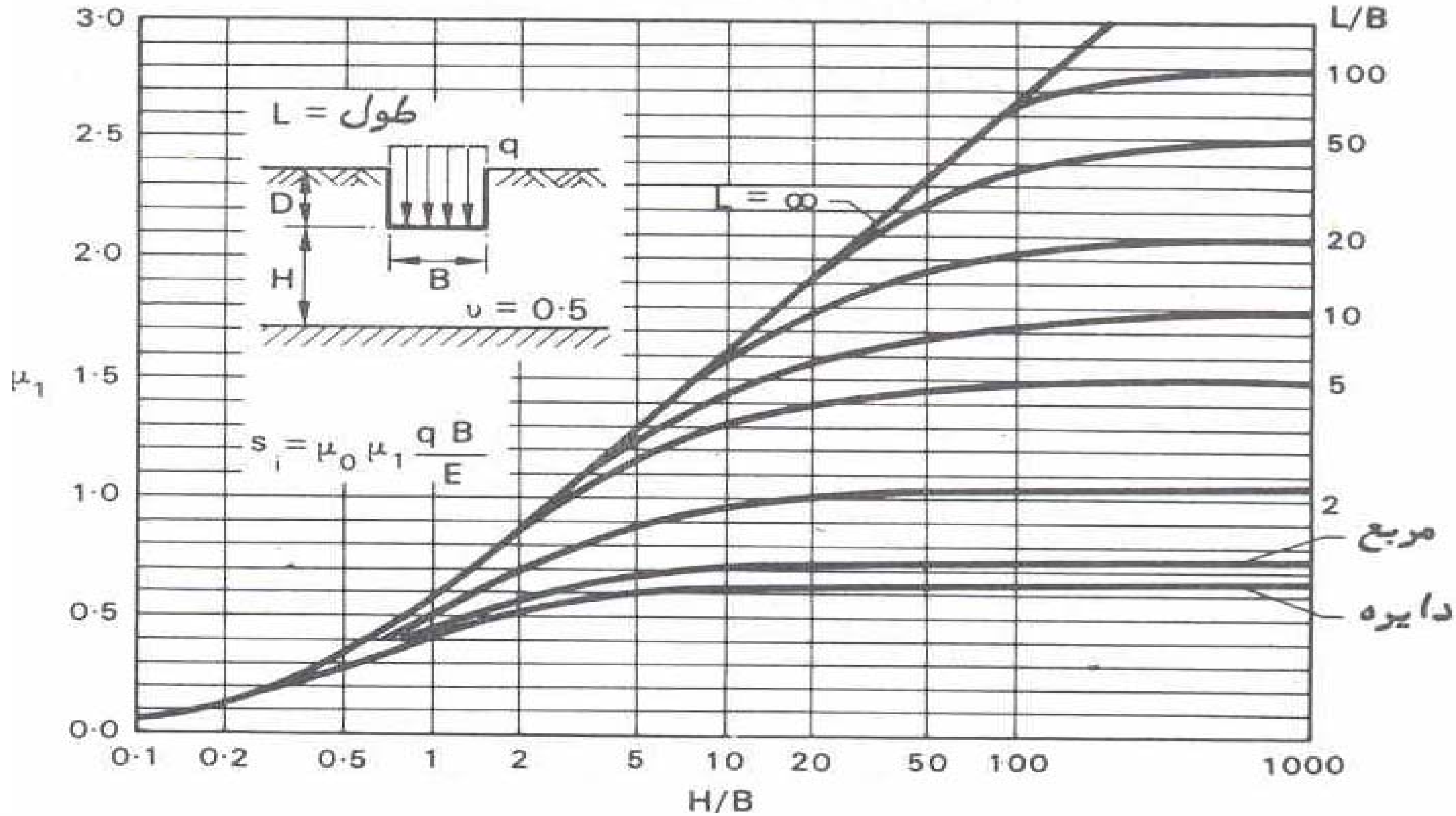


رس

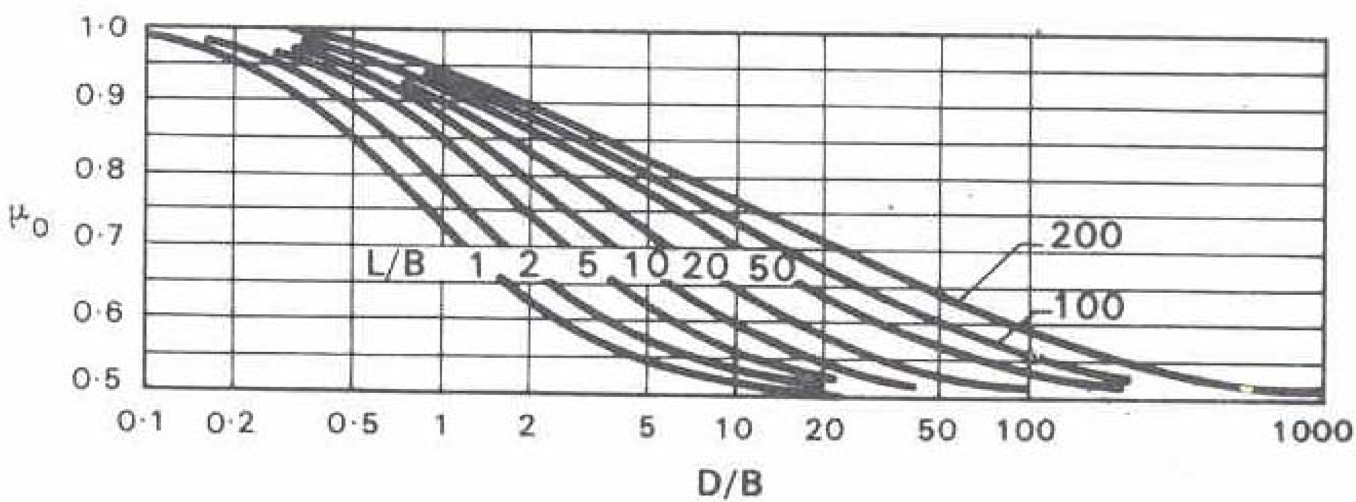
چون در محل غالبا" خاك ضخامت محدودي دارد و بر روي يك لايه پائين سخت مستقر است در مواردي كه خاك اشباع مي‌باشد و بتوان ضريب پواسون υ را معادل ۰,۵ فرض نمود مي توان در سطوح بارگذاري مختلف نواري، مستطيل و دايره‌أي با استفاده از شكل بعد و معادله زيربه محاسبه نشست پرداخت :

$$Si = \mu_{\circ} . \mu_1 \frac{qB}{E}$$

اين رابطه معمولا" بيشتر جهت محاسبه نشست آني پي واقع بر روي يك رس اشباع قابل استفاده مي باشد در اين حالت ضريب پواسون بوده و مقدار را مي توان از يك آزمايش سه محوري زهكشي نشده محاسبه نمود



L/B
100
50
20
10
5
2
مربع
دایره
L = ∞
L = طول
q
D
H
B
υ = 0·5
$s_i = \mu_0 \mu_1 \frac{qB}{E}$
μ_1
H/B



μ_0
L/B 1 2 5 10 20 50
200
100
D/B

تحكيم خاكها(Consolidation)

تحكيم همان كاهش حجم يك خاك اشباع با نفوذپذيري كم در اثر زهكشي مي‌باشد معمولا" عمل تحكيم تا محو فشار آب منفذي اضافي كه در اثر افزايش تنش كل بوجود آمده ادامه مي‌يابد

به عنوان مثال اگر بنائي را بر روي يك لايه رس اشباع بسازيم معمولا" مواجه با نشست خواهيم بود (تحكيم) و در صورتي كه در ابتداي بناي همان ساختمان در اين رس خاكبرداري كنيم مواجه با تورم (عكس عمل تحكيم) كف گود خواهيم بود

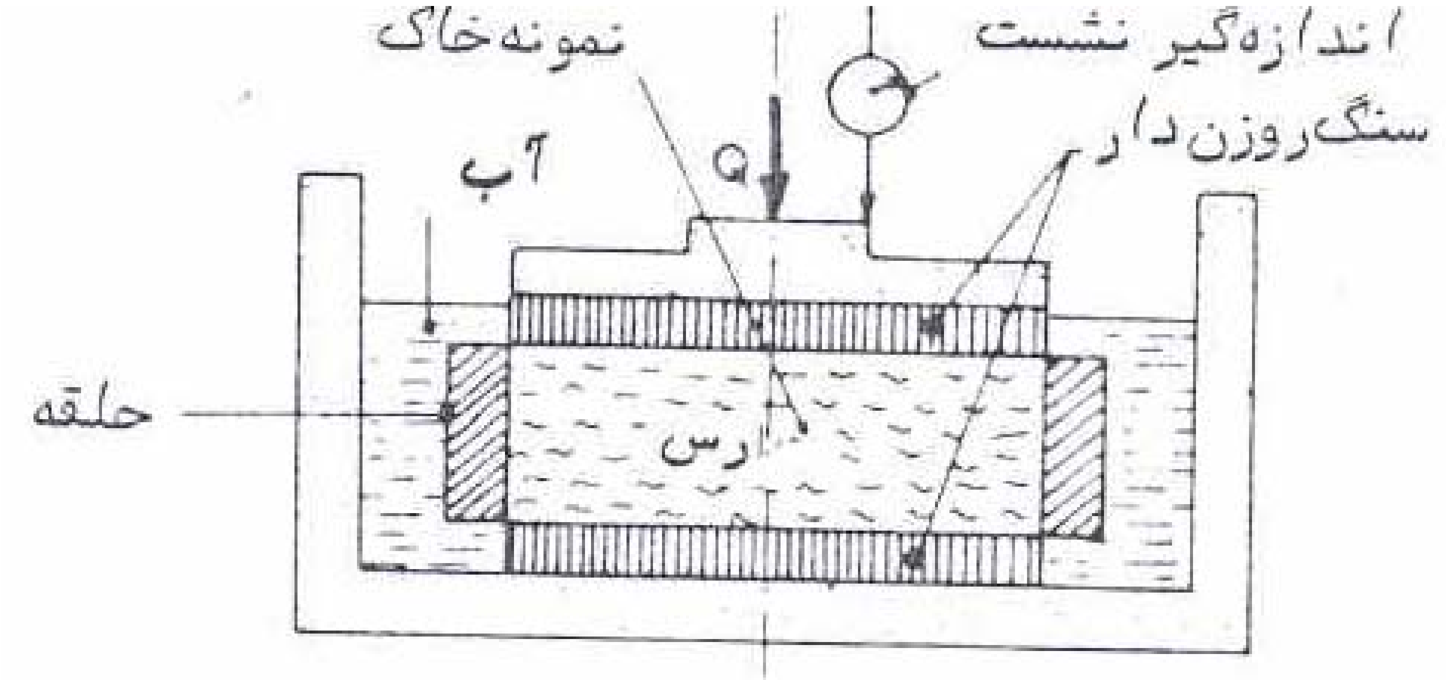
معمولاً" نشست بر دو نوع است:

۱-نشست آنی: که در اثر تغییر شکل جانبي خاك در شرايط زهكشي نشده پيش مي‌آيد و معمولاً" يا قابل صرف نظر كردن است و يا با استفاده از نظريه ارتجاعي قابل محاسبه است

۲- نشست ناشي از تحكيم : در اينجا ما به بررسي اين نوع نشست، محاسبه مقدار و سرعت آن مي‌پردازيم. به همين منظور ابتدائا" به شرح آزمايش تحكيم مي‌پردازيم

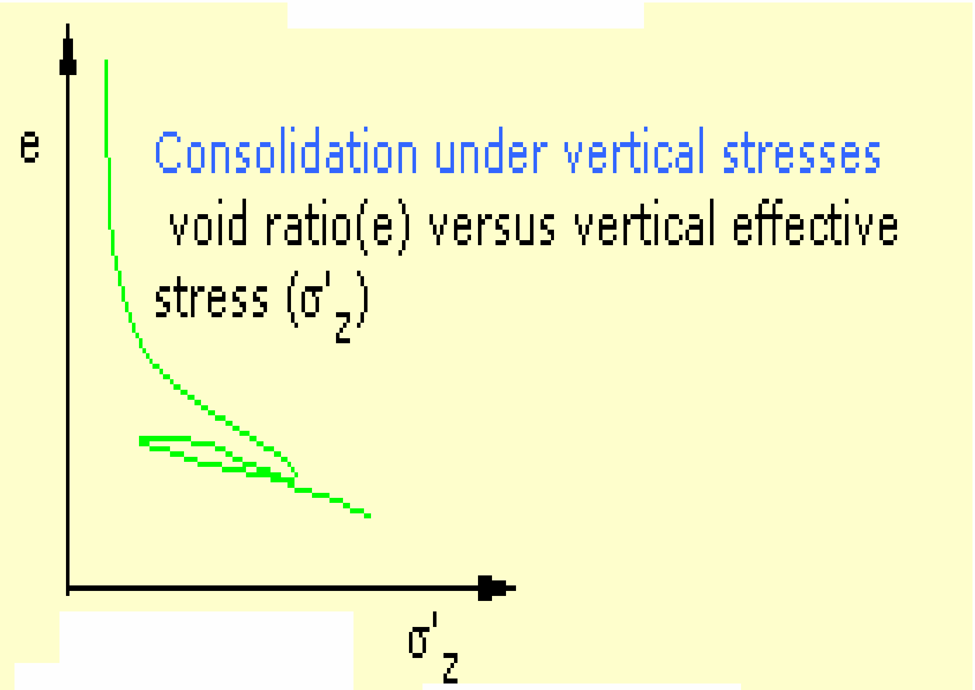
آزمايش ادئومتر يا تحكيم

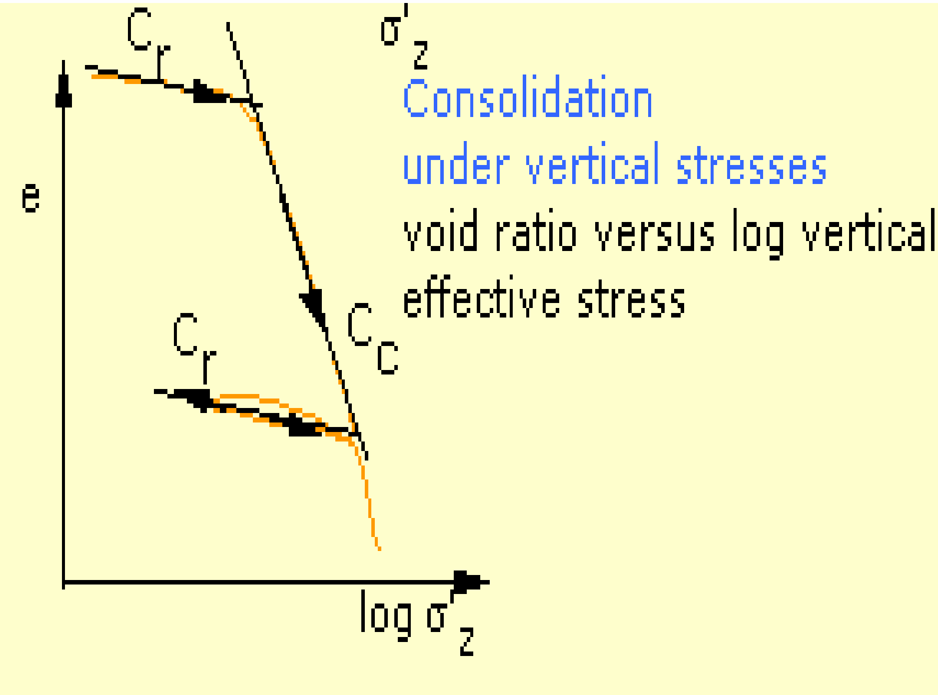
در اين آزمايش نمونه استوانه‌أي كه در بيـن دو سنگ متخلخل قرار گرفته است و در داخل يك استوانه فلزي تغيير شكل‌ناپذير قرار دارد و به طور قائم بر آن بار وارد مي‌شود. نحوه انجام آزمايش بدين‌گونه است كه فشارهاي مختلفي بر نمونه وارد مي‌شود و تحت هر فشار وارده نمونه از ۲۴ تا ۴۸ ساعت تحت فشار باقي مي‌ماند و ارتفاع جديد نمونه در پايان اين مدت قرائت مي‌شود



منحني تغييرات ارتفاع نمونه و يا انديس خلاء e بر حسب تنش موثر (تنش وارده بر نمونه در انتهاي مدت بارگذاري) ترسيم مي گردد.

معمولاً" تغييرات تنش مي تواند در مقياس طبيعي و يا لگاريتمي ترسيم گردد ميزان انبساط نمونه نيز پس از اتمام بارگذاري يا باربرداري (در كاهش فشارهاي پي درپي) مشخص گرديده و در منحني فوق ترسيم مي گردد





نحوه انجام محاسبات به شرح زیر است:

اندیس خلاء در پایان آزمایش : e_1

ارتفاع نمونه در شروع آزمایش : $H_\circ$

میزان تغییر ارتفاع در حین آزمایش :

$$\Delta H = H_\circ - H_1$$

اندیس خلاء در شروع آزمایش :

$$e_\circ = e_1 + \Delta e$$

$$\frac{\Delta \mathrm{H}}{\mathrm{H}_\circ} = \frac{\Delta e}{1+e_\circ} \Rightarrow \frac{\Delta e}{\Delta \mathrm{H}} = \frac{1+e_\circ}{\mathrm{H}_\circ}$$

تراکم‌پذيري خاك را با يكي از ضرايب زير تعيين مي‌نمائيم:

۱- ضريب تغيير حجم (m_v): بر حسب ميزان تغيير حجم بازاي افزايش تنش موثر واحد با ديمانسيون $(kPa)^{-1}$ هر گاه براي افزايش تنش موثر از σ'_0 به σ'_1 و انديس خلاء از e_0 به e_1 كاهش يابد

$$\sigma'_\circ \nearrow \sigma'_1 \qquad e_\circ \searrow e_1$$

$$m_v = \frac{1}{1+e_0}\left(\frac{e_\circ - e_1}{\sigma_1' - \sigma_0'}\right) = \frac{1}{H_0}\left(\frac{H_0 - H_1}{\sigma_1' - \sigma_0'}\right)$$

۲- ضریب تراکم(c_c) : همان شیب بخش خطي منحني تراکم در صفحه $e - Log\,\sigma'$ ميباشد که بدون بعد است و عبارت است از:

$$C_c = \frac{e_\circ - e_1}{Log\,\dfrac{\sigma'_1}{\sigma'_\circ}} = -\frac{\Delta e}{\Delta Log\,\sigma'}$$

که مي توان این رابطه رابه صورت زیر نوشت :

$$e_1 = e_\circ - C_c \log\frac{\sigma'_1}{\sigma'_\circ} = e_\circ - C_c \log\left(1 + \frac{\Delta\sigma'}{\sigma'_\circ}\right)$$

$$\Delta\sigma' = E_{oed}\left(-\varepsilon_a\right) \qquad \Delta\sigma' = E_{oed}\left(-\frac{\Delta h}{h}\right)$$

$$E_{oed} = E'$$ ضریب یانگ ادئومتریک

$$E' = \frac{1+e_\circ}{C_c}\frac{\Delta\sigma'}{\log\left(1+\frac{\Delta\sigma'}{\sigma'_\circ}\right)}$$

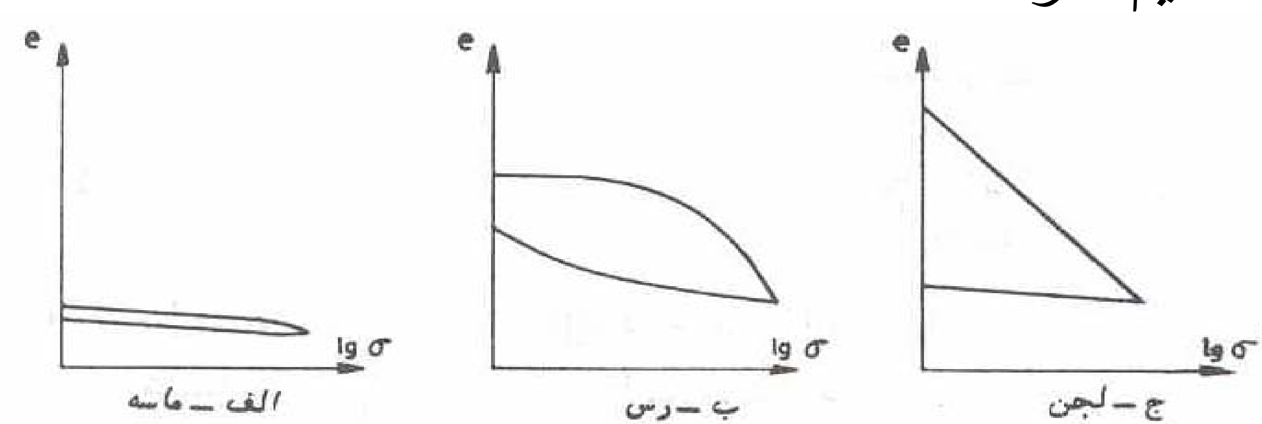
اگر $\Delta\sigma'$ ویا به عبارت دیگر تغییر فشار موثر در مقابل σ'_0 کوچک باشد خواهیم داشت

$$\log\left(1+\frac{\Delta\sigma'}{\sigma'_\circ}\right)=\frac{1}{2/3}\frac{\Delta\sigma'}{\sigma'_\circ}$$

بنابراین :

$$E' = 2/3\sigma'_\circ \frac{1+e_\circ}{C_c}$$

معمولاً" منحنيهاي ترسيم شده براي خاكهاي متفاوت را مي توان به سه دسته زير تقسيم نمود



براي داشتن يك شناخت نسبت به مقادير ضريب يانگ ادوئومتريك براي خاكهاي مختلف بد نيست مقادير زير را مشاهده نمائيم:

براي ماسه	10	تا	300	MPa
براي رس سخت	1.5	تا	10	MPa
براي ري سست	0.1	تا	1	MPa
فولاد			2×10^5	MPa
بتن			2×10^4	MPa

با استفاده از روشهاي ارتباطي (Correlation) و يا غير مستقيم (بدون انجام آزمايش تحكيم) مي توان به محاسبه ضريب تراكم پرداخت

فرمول اسکمپتون

$$C'_c = 0.007(w_l - 10)$$

$$C_c = 0.009(w_l - 10)$$

C'_cضريب تراكم خاكهاي دست خورده مي باشد (remold) و
C_cضريب تراكم خاكهاي دست نخورده است (Ondisturb)

حدود ضرايب تراكم براي خاكهاي مختلف به شرح زير است :

براي ماسه : $0.01 \prec C_c \prec 0.1$

رس سخت (كائولينيت): $0.10 \prec C_c \prec 0.25$

رس متوسط (ايليت): $0.25 \prec C_c \prec 0.80$

رس سست (مونت موريلونايت):

$$0.80 \prec C_c \prec 2.5$$

رس پيش تحكيم يافته

معمولا"در طبيعت دو نوع رس وجود دارد:

۱ ـ رس‌هاي تحكيم عادي يافته : اين نوع رس‌ها، رس‌هائي مي باشند كه در وضعيت عادی خود همان تنشی را متحمل شوند كه محاسبه مي گردد.

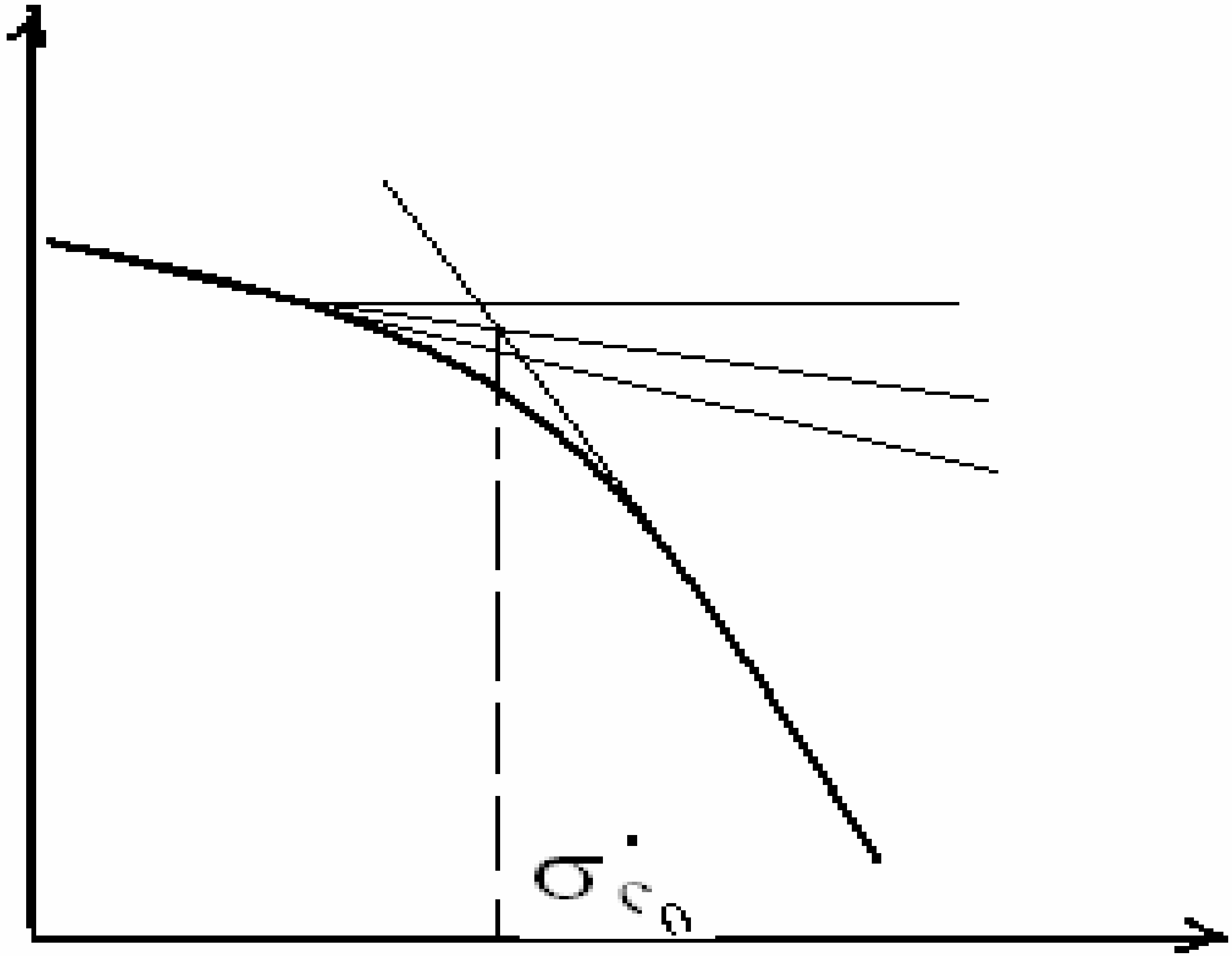
۲ ـرس‌هاي پيش تحكيم يافته: رس‌هايي مي‌باشند كه فشاري را اكنون متحمل مي‌شوند كه كمتر از فشار قبلي مي‌باشد كه متحمل شده‌اند.

به عبارت ديگر نمونه رسی که از يك عمق مورد محاسبه خاك خارج شده است را در نظر مي‌گيريم در صورتي که پس از محاسبه با توجه به عمق خاك و سپس مقايسه آن با فشار پيش تحکيمي که از آزمايش ادئومتريك حاصل مي‌شود مي‌توانيم به وضعيت رس پي ببريم

نحوه محاسبه فشار پیش تحکیمي :

اين روش توسط کاساگراند ارائه شده و اکنون از آن جهت محاسبه فشار پيش تحکيمي رس‌ها استفاده مي شود، در اين روش ابتدا منحني $e - \log \sigma'$. ترسيم مي گردد سپس بخش خطي منحني بطور کامل ترسيم مي گردد.

آنگاه از نقطه بيشترين انحناء منحني (D) خطي مماس بر منحني و خطي افقي ترسيم مي گردد نقطه تقاطع خط اولي که ترسيم نموديم (خط امتداد مستقيم منحني) و نيمساز زاويه بين دو خط دوم ترسيمي (خط مماس و خط افقي) ميزان فشار پيش تحکيمي را بر روي محور افقي به طور تقريبي به ما مي دهد. از تقسيم نمودن اين فشار بر فشاري که خاك کاملا" تحت‌تاثير آن قراردارد و به راحتي با توجه به عمق نمونه قابل محاسبــه مي باشد نسبت تحکيم يافتگي خاك مشخص مي گردد


σ'c0

Over Consolidation Ratio (OCR)

$$OCR = \frac{\sigma'_{c\circ}}{\sigma'_{c}} = \frac{\text{فشار پیش تحکیمی}}{\text{فشاری که فعلاً خاک تحت تاثیر آن قرار دارد}}$$

$$OCR = 1$$ **خاك تحكيم عادي يافته**

$$OCR \succ 1$$ **خاك پيش تحكيم يافته**

محاسبه نشست

در صورتيكه براي يك لايه رس به ضخامت H در اثر افزايش تنش از σ'_0 به σ'_1 وانديس خلاء از e_0 به e_1 تنزل يابد كاهش حجم رس از رابطه زير محاسبه خواهد گرديد:

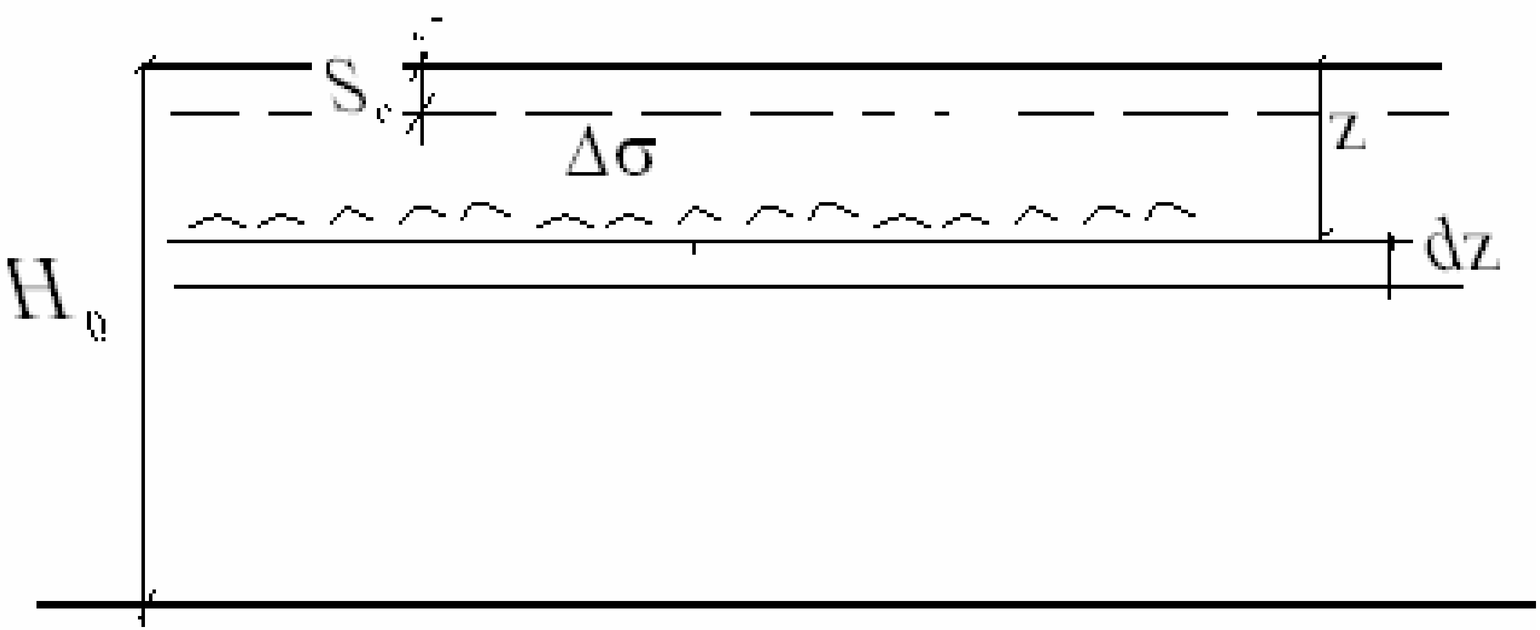
$$\frac{\Delta v}{v_\circ} = \frac{e_\circ - e_1}{1 + e_\circ}$$

چون معمولا" تغيير شكل جانبي نزيدك به صفر مي باشد لذا كاهش حجم بر حجم كل معادل كاهش ضخامت برضخامت اوليه لايه خواهد بود

$$\frac{\Delta v}{v_\circ} = \frac{\Delta H}{H_\otimes}$$

در صورتیکه نشست لایه‌أي به ضخامت dz را در نظر بگیریم:

$$ds_c = \frac{e_\circ - e_1}{1+e_\circ}.dz$$



$$ds_c = \frac{e_\circ - e_1}{\sigma_1^{'} - \sigma_0^{'}} \frac{\sigma_1^{'} - \sigma_0^{'}}{1+e_0}.dz$$

$$ds_c = m_v.\Delta\sigma^{'}.dz$$

اگر نشست كل S_c باشد براي ضخامت H لايه خواهيم داشت

$$S_c = \int_\circ^H m_v.\Delta\sigma'.dz \Rightarrow S_c = \frac{e_\circ - e_1}{1+e_\circ}.H$$

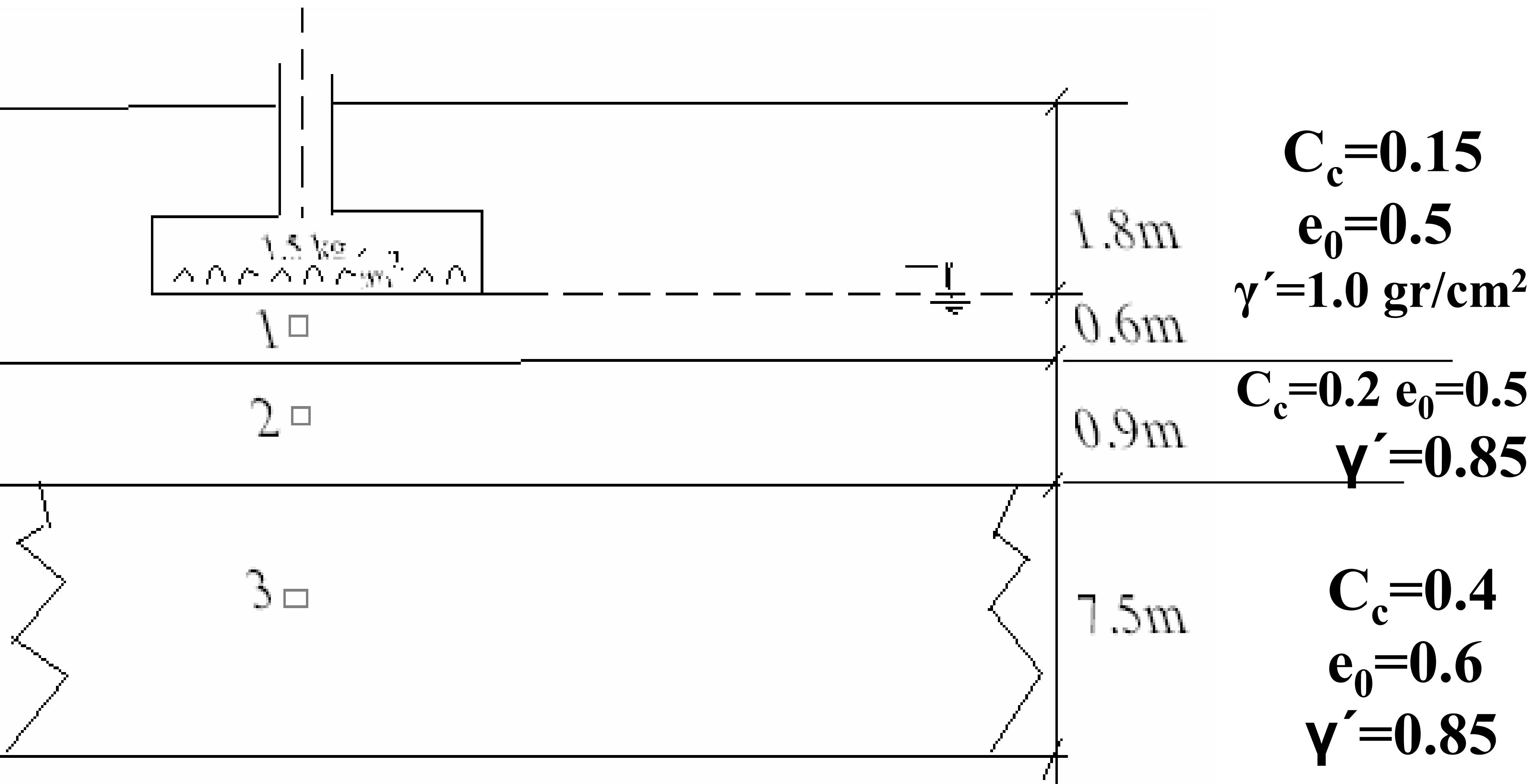
و يا براي يك رس تحكيم عادي يافته :

$$e_\circ - e_1 = \Delta e = C_c \log\left(\sigma_1' / \sigma_\circ'\right)$$

$$S_c = \frac{C_c \log\left(\sigma'_1 / \sigma'_\circ\right)}{1+e_\circ}.H$$

معمولاً” وقتي كه ضخامت لايه زياد مي باشد لايه را به لايه هاي كوچكتر تقسيم و در مركز هر لايه نشست محاسبه مي گردد سپس مجموع اين نشست‌ها به عنوان نشست كل منظور مي گردد

مثال: در صورتیکه شرایط لایه‌هاي خاك در زير فونداسیون شکل زير به صورتي باشد که در شکل مشخص گرديده است و ابعاد فونداسیون 4×4 متر باشد و فشار وارده بر کف فونداسیون $1.5\ kg/cm^2$ میزان نشست را محاسبه نمائید:



فشار در مرکز لایه اول زیر فونداسیون:

$$p_{\circ} = 180\ cm \times 2\ \frac{gr}{cm^{3}} + 30 \times 1\ \frac{gr}{cm^{3}} = 0.39\ \frac{kg}{cm^{2}}$$

فشار در مرکز لایه دوم زیرفونداسیون:

$$p'_{\circ} = 180 \times 2 + 30 \times 1 + 45cm \times 0.85 = 0.458\ \frac{kg}{cm^{2}}$$

فشار در مرکز لایه سوم زیر فونداسیون:

$$p''_{0} = 180 \times 2 + 30 \times 1 + 45 \times 0.85 + 0.45 \times 0.85 = 0.815\ {kg}/{cm^{2}}$$

$$\Delta P = 4 \times 6 \times I_r = 4 \times 1.5 \times 0.25 = 1.5 \frac{kg}{cm^2}$$

$$m = n = \frac{2}{0.3} = 6.7$$

$$\Delta P' = 4 \times 1.5 \times 0.23 = 1.38 \frac{kg}{cm^2}$$

$$m = n = \frac{2}{0.6 + \frac{0.9}{2}} = 1.9$$

$$\Delta P'' = 4 \times 1.5 \times 0.06 = 0.36 \frac{kg}{cm^2}$$

$$m = n = \frac{2}{0.6 + 0.9 + \frac{7.5}{2}} = 3.8$$

$$\begin{cases} S_1 = 0.15\left[\log \dfrac{0.39+1.5}{0.39}\right]\times \dfrac{60}{1.5} = 4.11cm \\ S_2 = 0.2\left[\log \dfrac{0.458+1.38}{0.458}\right]\times \dfrac{90}{1.5} = 7.24cm \\ S_3 = 0.4\left[\log \dfrac{0.815+0.36}{0.815}\right]\times \dfrac{750}{1.6} = 29.8cm \end{cases}$$

$$S = S_1 + S_2 + S_3 \Rightarrow$$

$$S = 4.11 + 7.24 + 29.8 = 41.15cm$$

نظریه ترازقی

ترازقي با فرض اینکه خاك همگن و اشباع است و بخش جامد و مایع آن تراکم ناپذیر و اینکه تراکم خاك و جریان آب یك بعدي است (عمودي است) تغيير شكلها مقادير كوچكي دارند و قانون‌دارسی به جریان آب حاكم است و مقادير نفوذپذيري و ضريب تغيير حجم در ضمن تحكيم ثابت مي‌مانند.

به محاسبه فرمول زیرموفق مي شود كه در آن C_v ضريب تحكيم نام دارد و واحد آن متر مربع در سال است وm_v وk مقادير ثابتي دارند

$$C_v = \frac{K}{m_v . \gamma_w}$$

درجه تحکیم :

براي يك جزء خاك در عمق z درجه تحكيم به صورت زير تعريف مي شود:

$$U_z = \frac{e_\circ - e}{e_\circ - e_1}$$

u_z = درجه تحكيم در يك زمان معين در عمق z $(0<u_z<1)$است.

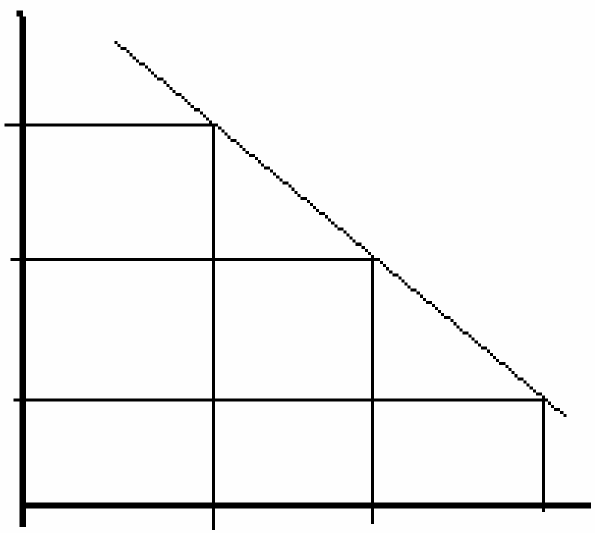
e_0 = انديس خلاء ابتدائي خاك (پيش از شروع تحكيم)

e_1= انديس خلاءپس از تحكيم

e= انديس خلاء در زمان مورد نظر

در صورتي كه منحني $e—\sigma'$ خطي فرض گردد رابطه قبلی بر حسب تنش به شرح زير است:

$$u_z = \frac{\sigma' - \sigma'_\circ}{\sigma'_1 - \sigma'_\circ}$$



اگر u_0 فشار آب منفذي قبل از افزايش تنش كلي و u_i ميزان افزايش u_0 بلافاصله پس از بارگذاري و u مقدار فشار آب منفذي در يك زمان معين باشد داريم :

$$\sigma'_1 = \sigma'_\circ + u_i = \sigma' + u$$

$$\sigma_1' = \sigma_\circ' + u_i = \sigma' + u$$

بنابراین :

$$u_z = \frac{\sigma_1' - u - (\sigma_1' - u_i)}{\sigma_\circ' + u_i - \sigma_\circ'} = \frac{u_i - u}{u_i} = 1 - \frac{u}{u_i}$$

__رابطه تحكيم :__

معمولا" فرض مي گردد كه تنش اضافي كل به صورت آني وارد شده و لذا كلا" توسط فشار منفذي متحمل مي گردد:

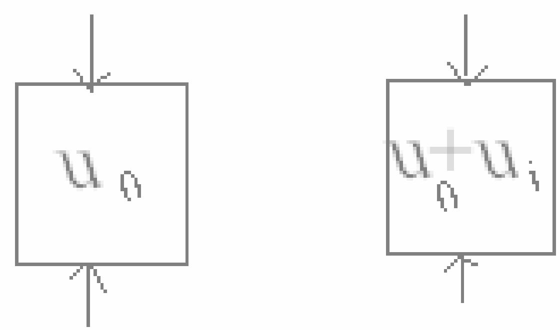
به عبارت ديگر $u_i=\Delta\sigma_1$

مي باشد در اين حالت

در صورتي كه فشار آب

منفذي اوليه $u_0=0$ فرض

گردد خواهيم داشت :



در لحظه t=0 براي

$$u = u_i \longleftarrow \circ \prec z \prec 2d$$

در صورتي كه سطوح فوقاني و تحتاني رس زهكشي فرض شوند در اين صورت سطوح فشار منفذي صفر مي‌باشد :

$$u = \circ \longleftarrow z = \circ \quad \text{و} \quad z = 2d$$

فشار آب منفذي در عمق z در زمان t برابر است با :

$$u = \sum_{m=0}^{m=\infty} \frac{2u_i}{M}\left(\sin \frac{Mz}{d}\right)\exp\left(-m^2 T_v\right)$$

که در آن d طول طولانـي‌ترين مسير زهکشي (خروج آب) مي باشد

u_i : مقدار فشا ر منفذي که تابعي از z بوده و در تمام نقاط لايه رس ثابت است $M = \frac{1}{2}\pi(2m+1)$ **مي‌باشد**

$$T_v = \frac{c_v t}{d^2}$$ **T_v ضريب زمان نام دارد و بی بعد است**

در صورتي که رابطه فوق را در رابطه $u_z = 1 - \frac{u}{u_i}$ **جايگزين کنيم**

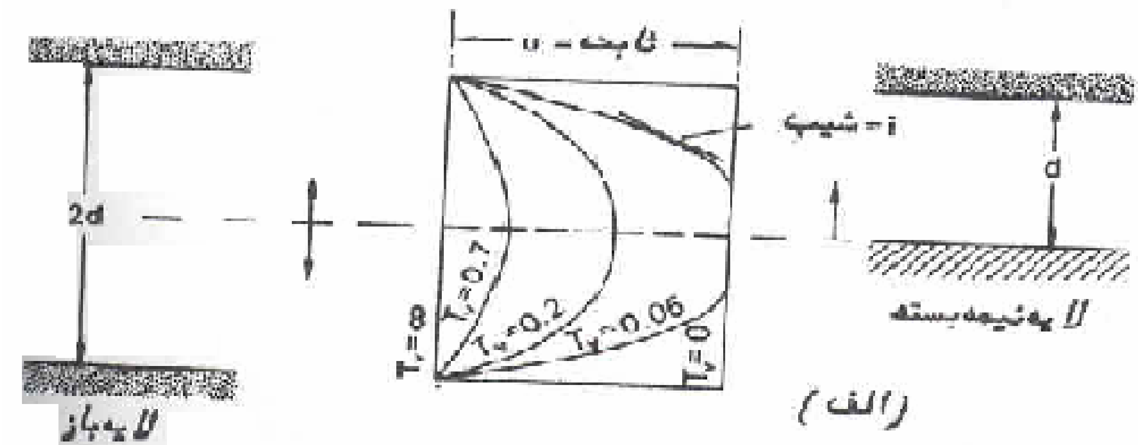
كنيم درجه تحكيم در عمق z و در لحظه t محاسبه مي‌گردد:

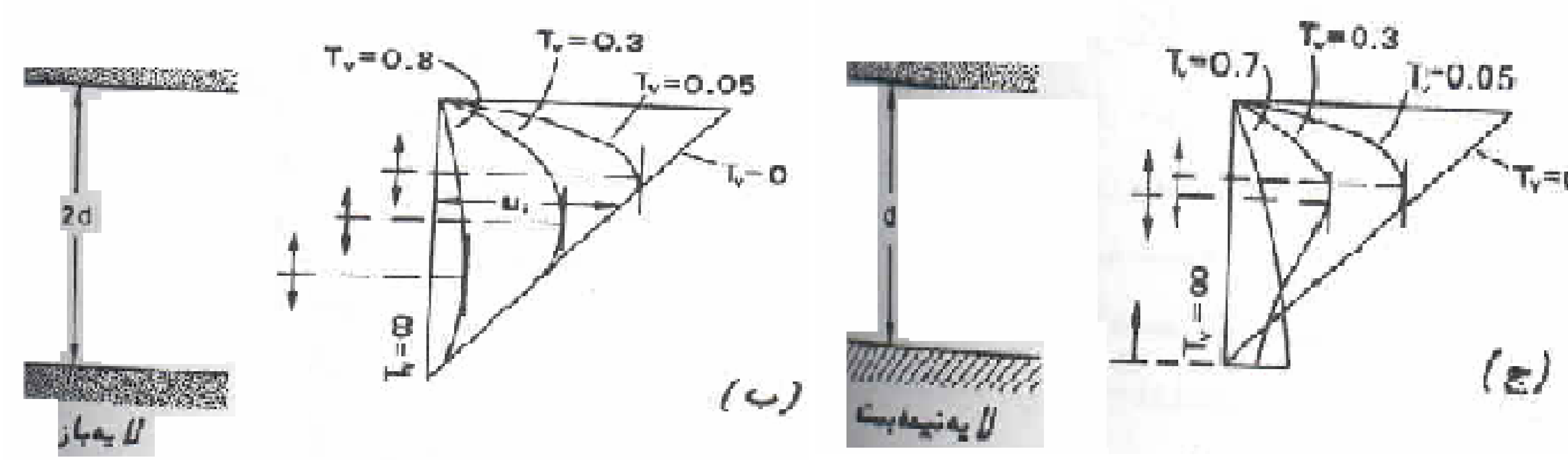
$$U_z = 1 - \sum_{m=0}^{m=\infty} \frac{2}{m}\left(\sin\frac{Mz}{d}\right)\exp\left(-M^2 T_v\right)$$

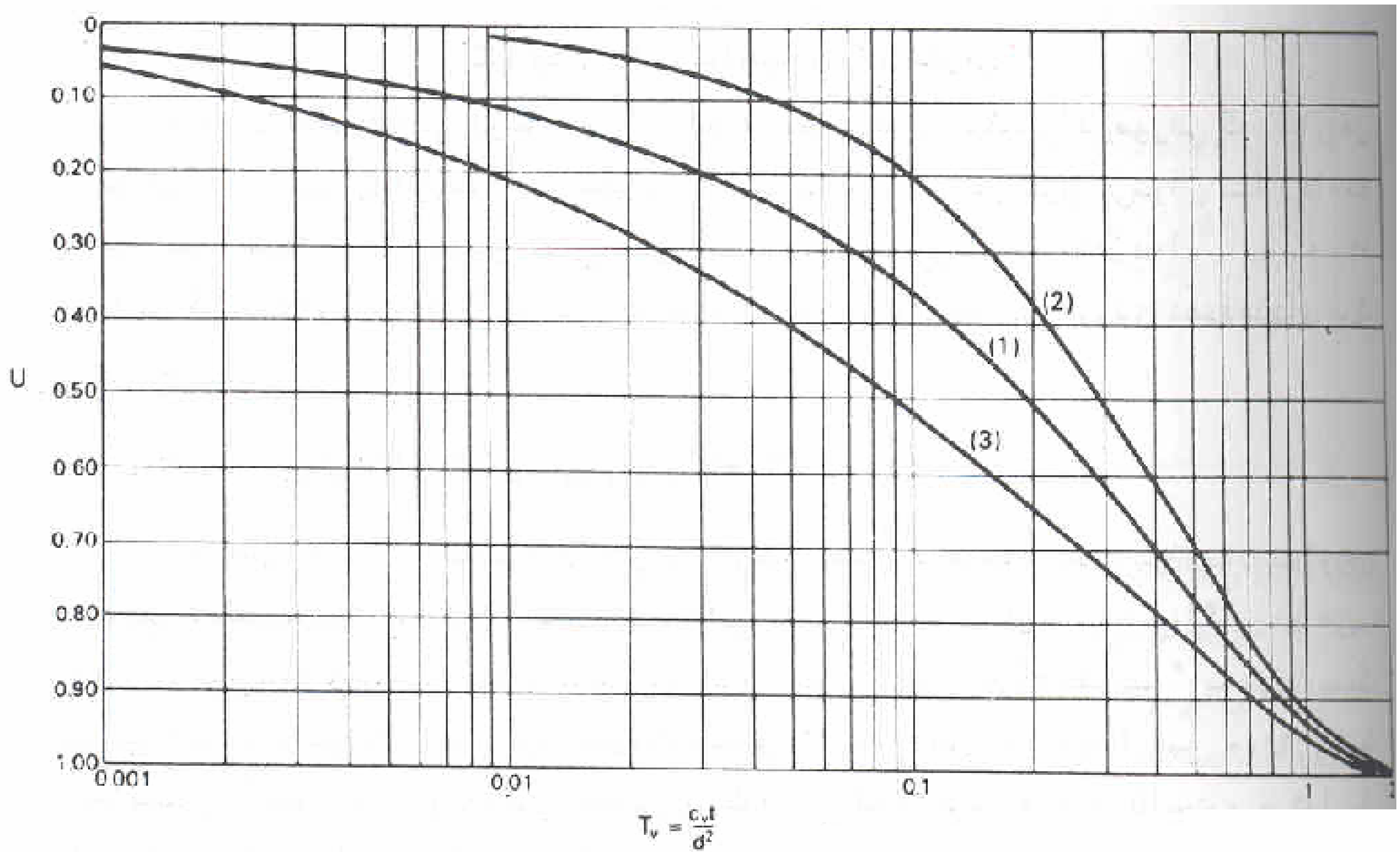
منحني‌هائي كه تغييرات u را بر حسب z براي مقادير مختلف t نشان مي دهند نحوه پيشرفت تحكيم را نشان مي دهد

لايه‌أي كه هر دو سطح فوقاني و تحتاني آن زهكشي است به لايه باز و لايه أي كه تنها يك سطح زهكشي دارد

لايه نيم بسته مي باشد.







0
0.10
0.20
0.30
0.40
0.50
0.60
0.70
0.80
0.90
1.00
U
0.001
0.01
0.1
1
(1)
(2)
(3)
$T_v = \frac{c_v t}{d^2}$

مقدار متوسط درجه تحكيم در لحظه t براي يك مقدار متوسط u_i برابر است با (در صورتي كه U_i در طول لايه مقدار ثابتي باشد) :

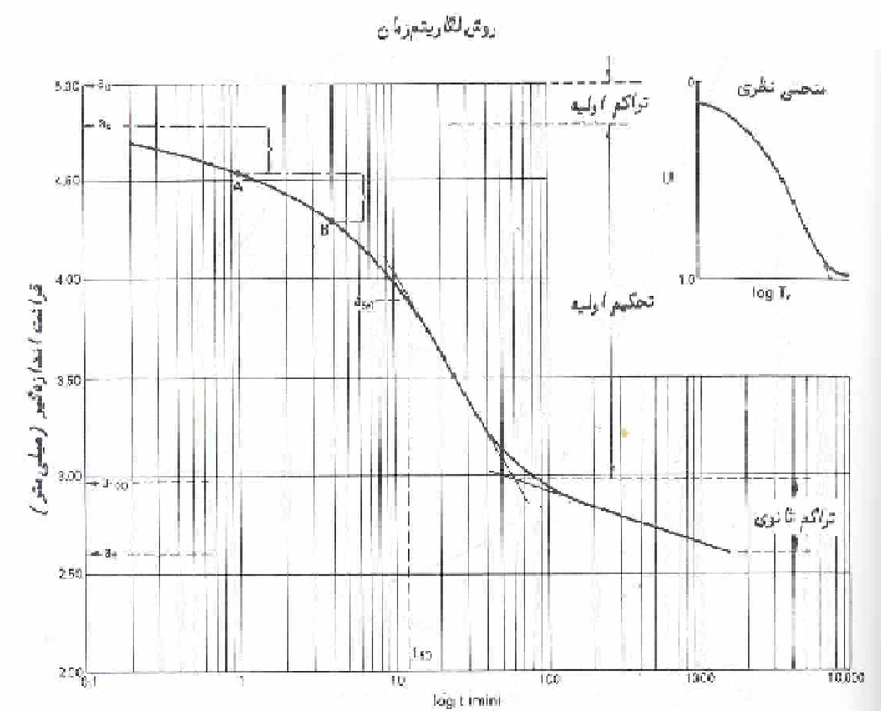
$$U = 1 - \frac{\frac{1}{2d}\int_{\circ}^{2d} u\,dz}{u_i}$$

(در صورتي كه u_i در طول لايه مقدار ثابتي نباشد)

$$U = 1 - \frac{\frac{1}{2d}\int_{\circ}^{2d} u\,dz}{\int_{\circ}^{2d} u_i\,dz}$$

تعیین ضریب تحکیم خاك (C_v) از طریق آزمایش تحکیم :

دو روش معمولا" براي تعيين C_v خاك از طريق آزمايش تحكيم وجود دارد روش اول كه به روش لگاريتم زمان مشهور است و توسط كاساگراند شده عبارت است از :



روش اول:ترسیم منحنی تغییر شکل قایم نمونه بر حسب لگاریتم زمان بر حسب دقیقه

این منحنی معمولاٌ دارای سه قسمت است بخش اولیه که معمولاٌ شبیه یک سهمی است؛ سپس یک بخش خطی و بخش افقی نهایی

براي تعيين نقطه مربوط به $U=0$ با فرض اينكه بخش اول منحني سهمي است و با تعيين دو نقطه روي منحني كه نسبت زمانهاي آن يك به 4 باشد (ويا يك به سه) و تعيين فاصله قائم بين آن دو نقطه (نقاط **A** و **B** بر روي منحني) و تعيين نقطه a_0 كه با فاصله قائم فوق, بالاي نقطه **A** قرار دارد.

نقطه a_{100} مربوط به $u=\%100$ از محل تلاقي امتداد هر قسمت خطي منحني بدست مي آيد

.

نقطه مربوط به $U = \%50$ در وسط فاصله قائم بين نقاط $a_{\circ}$ و a_{100} قرار دارد مقدار T_v مربوط به $U = \%50$ 0.196 محاسبه گرديده است ولذا ضريب تحكيم عبارت خواهد شد از:

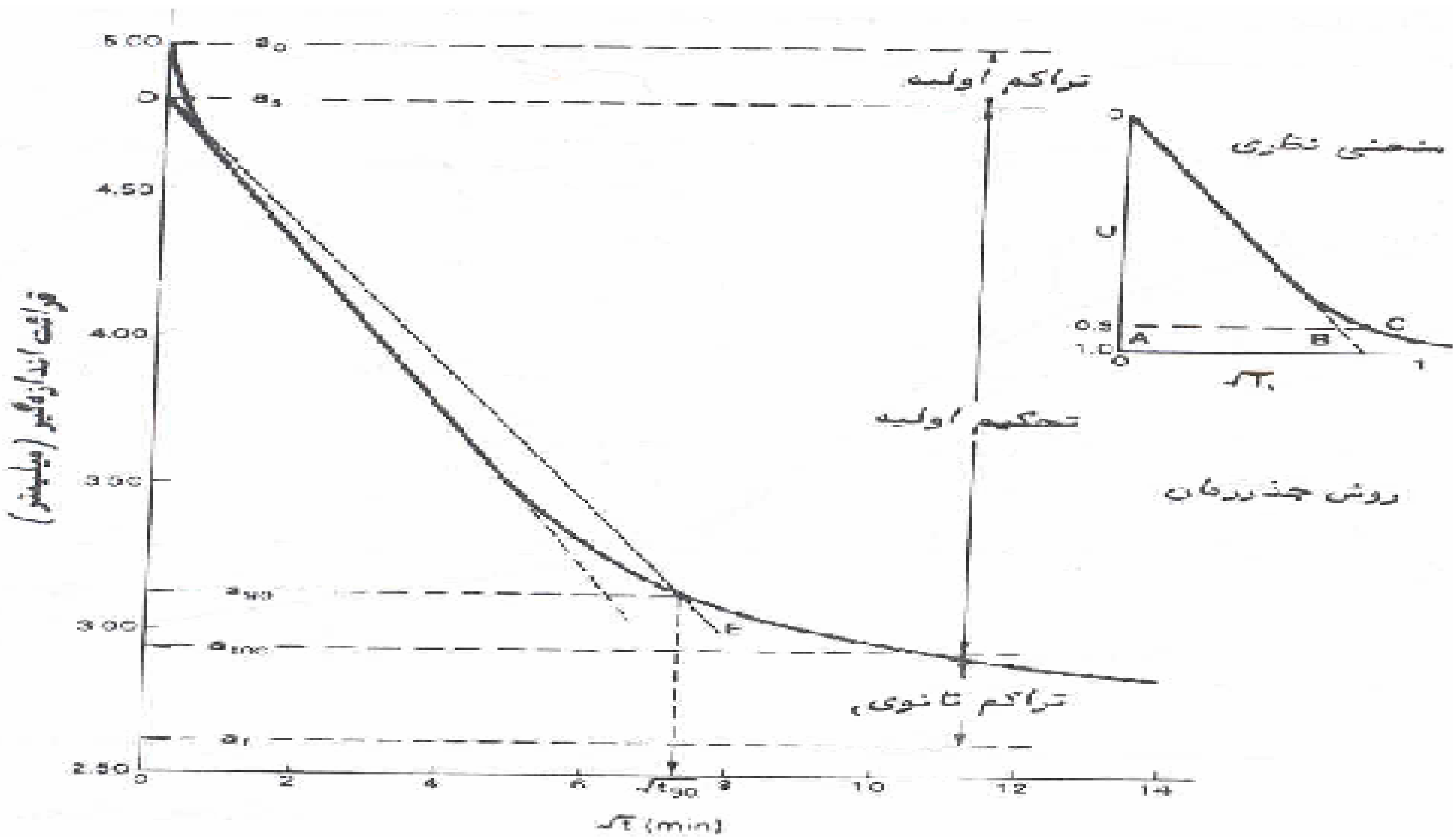
$$C_v = \frac{0.196 \; d^2}{t_{50}}$$

مقدار d نصف ضخامت نمونه مي باشد

روش دوم ، روش جذر زمان یا روش تایلور:

در این روش منحني تغییر شكل قائم نمونه بر حسب جذر

دوم زمان $\sqrt{t}$ بر حسب دقیقه ترسیم مي گردد



در اين روش منحني شامل يك قسمت كوچك منحني است كه به تحكيم مربوط نمي شود و سپس يك قسمت خطي را شامل مي گردد و در انتها به يك بخش منحني ديگر ختم مي گرددنقطه D كه مربوط به $U=0$ است با امتداد بخش خطي منحني حاصل مي گردد و بعد خط مستقيم DE كه 1.15 برابر طول مربوط بر روي بخش راست منحني است رسم مي شود نقطه تلاقي E با منحني تجربي نقطه a_{90} را كه مربوط به $U=\%90$ است مشخص مي نمايد مقدار Tv مربوط به $U=\%90$ برابر 0.848 است و لذا :

$$C_v = \frac{0.848\,d^2}{t_{90}}$$

تحکیم ثانوی

فرضیات تحکیم اولیه بر این است که تحکیم و تراکم خاک با به صفر رسیدن فشار منفذی اضافی خاک به پایان می رسد ولی تجربه نشان می دهد که فشردگی با به صفر رسیدن فشار منفذی اضافی متوقف نمی گردد. علت فشردگی فانوی به سبب جابجایی تدریجی ذرات رس و رسیدن به حالت متعادلتر مولکولهاست. معمولاً رسهای پلاستیک(مونتموریلونایت) بخش تحکیم ثانوی زیادی دارند.

<u>مقاومت برشی</u>

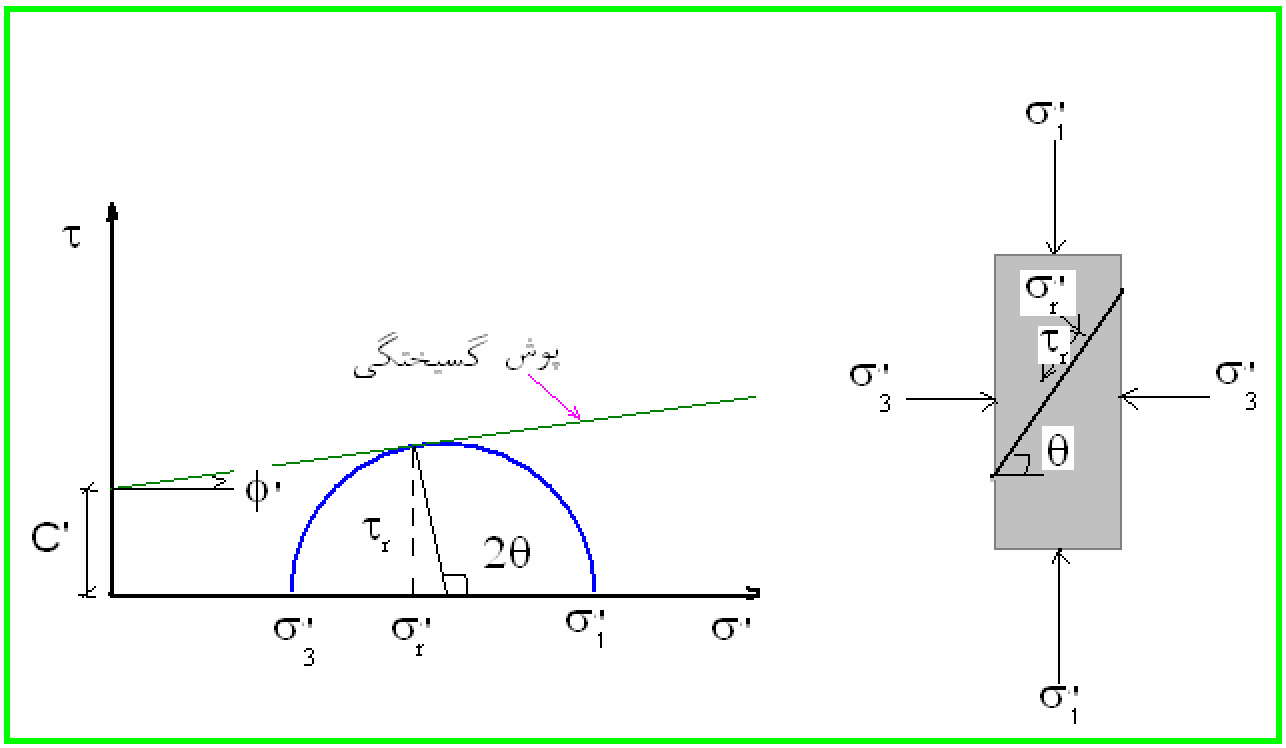
تاكنون مباحثي كه مورد بررسي قرار گرفتند در ارتباط با تغيير شكلهاي كوچك خاك بودند ولي در صورتي كه بخواهيم تغير شكلهاي بزرگ خاك و يا به عبارت ديگر گسيختگي را در خاك مورد بررسي قرار دهيم احتياج به شناخت خواص خميري و نظريه گسيختگي آن داريم. بايد بگوئيم هر گاه در نقطه‌ي در خاك تنش‌هاي برشي وارده از مقاومت برشي خاك فزروني بگيرد خاك در آن نقطه گسيخته مي گردد

اين مسئله براي اولين بار توسط كولمب در سال ۱۷۷۳ مورد توجه و بررسي قرار گرفت او مقاومت برشي را در يك نقطه واقع در خاك بر حسب تنش قائم به صورت زير بيان نمود:

$$\tau = C + \sigma tg\phi$$

که در اين رابطه C (چسبندگي خاك) و $\emptyset$ (زاويه اصطكاك داخلي خاك) مشخصات مكانيك خاك مي‌باشند معمولا" رابطه فوق بر حسب تنش موثر بيان مي گردد چون مقاومت برشي در خاك توسط دانه‌هاي جامد آن تامين مي شود:

$$\tau = C' + \sigma' tg\phi'$$



همانطور كه در شكل ملاحظه مي شود رابطه فوق بيانگر مماس بر دايره موهر معرف حالت تنش‌ها مي‌باشد اين خط مماس به پوش گسيختگي موسوم است

مختصات نقطه تماس اين پوش و دايره موهر يعني τ_r و σ'_r توسط روابط زير قابل محاسبه‌اند:

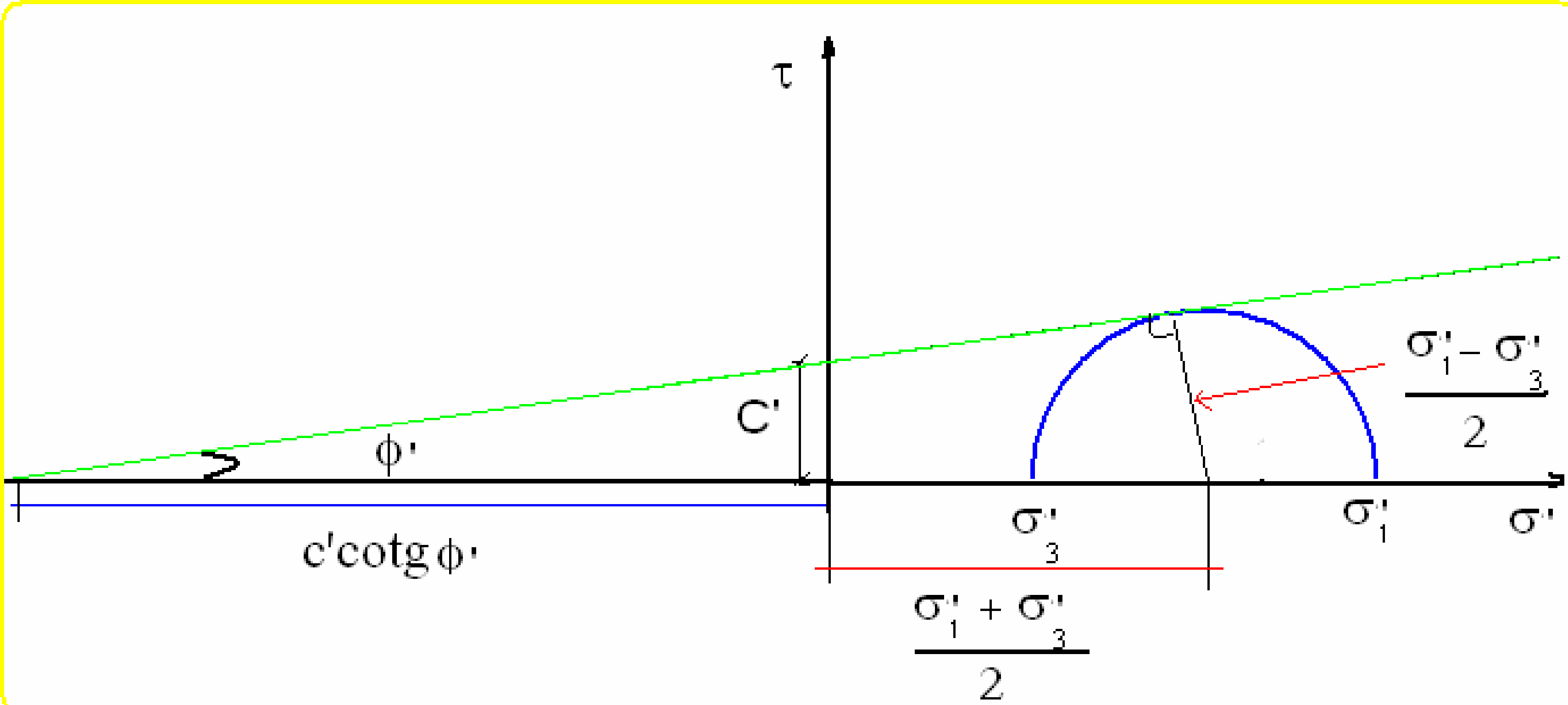
$$\tau_r = \frac{1}{2}(\sigma'_1 - \sigma'_3)\sin 2\theta$$

$$\sigma'_r = \frac{1}{2}(\sigma'_1 + \sigma'_3) + \frac{1}{2}(\sigma'_1 - \sigma'_3)\cos 2\theta$$

زاويه θ كه همان زاويه‌أي است كه سطح گسيخته شده با امتداد تنش اصلي بزرگتر (در اينجا σ'_1) مي سازد قابل محاسبه از رابطه زير نيز مي باشد:

$$\theta = \frac{\pi}{4} + \frac{\phi'}{2}$$

در صورت ترسيم شكل فوق به صورت شكل بعدی مي توان به محاسبه رابطه بين مشخصات مكانيكي خاك و تنش‌هاي اصلي در حالت گسيختگي پرداخت

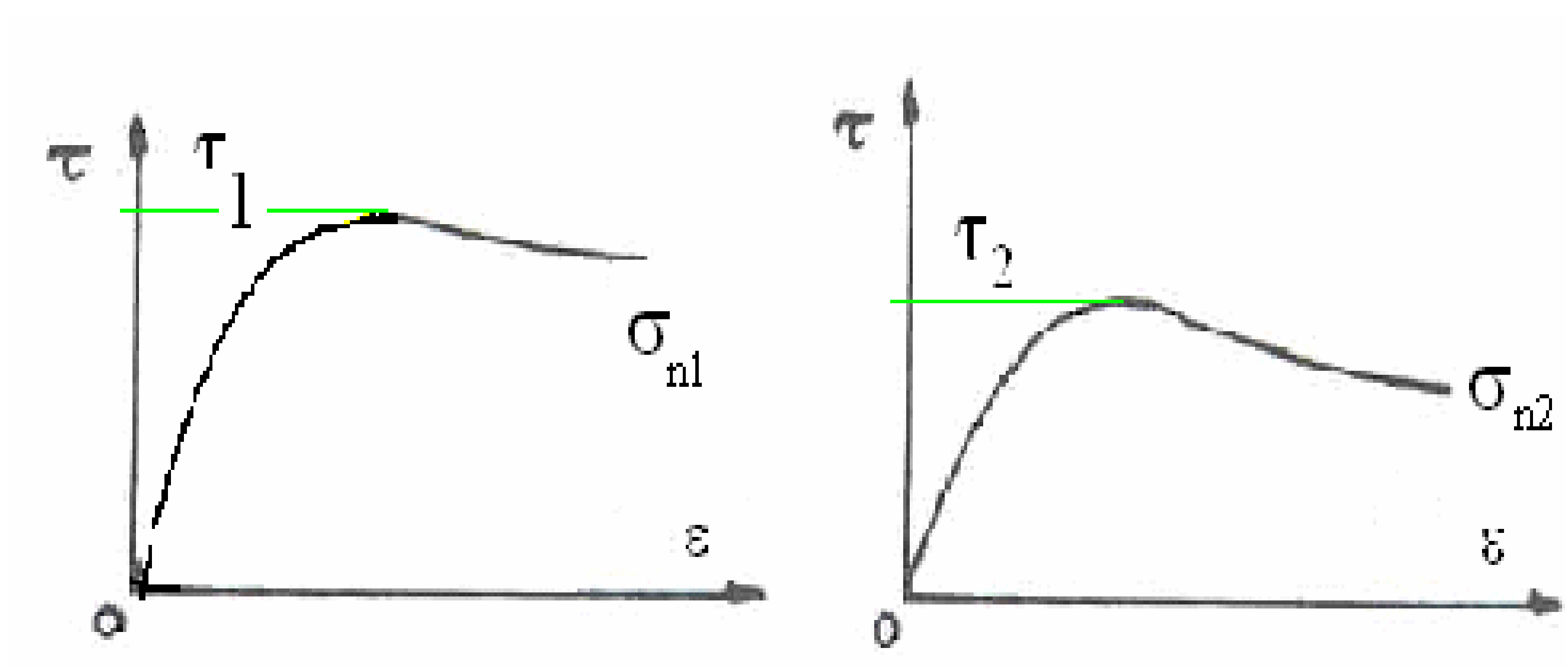


$$\sin\phi' = \frac{\dfrac{\sigma_1' - \sigma_3'}{2}}{C'\cot g\phi' + \dfrac{\sigma_1' + \sigma_3'}{2}}$$

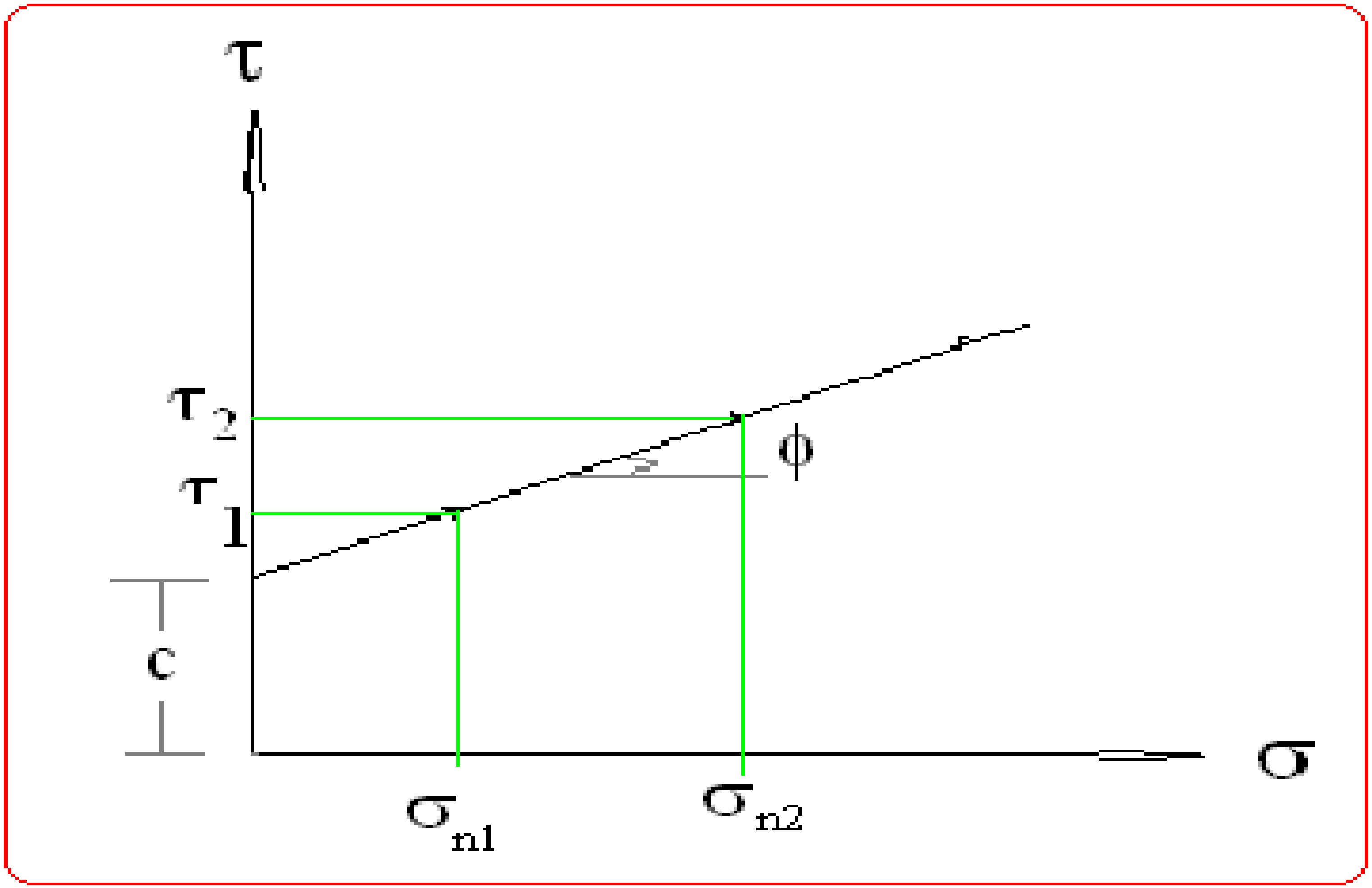
این رابطه به رابطه موهر کولمب مشهور است:

$$\boxed{\sigma_1' - \sigma_3' = 2C'\cos\phi' + \left(\sigma_1' + \sigma_3'\right)\sin\phi'}$$

همانطور که قبلا" نیز اشاره گردیده مشخصات مکانیکي خاك را مي توان بانجام آزمایشهاي مختلفي بدست آورد لذا در آزمایش برش مستقیم تحت اثر نیروهاي قائم مختلف که موجب بوجود آمدن تنش‌هاي متفاوت σ_n مي‌گردد نمونه به حالت گسیختگي در مي‌آید و در این مرحله تنش برشي حداکثر τ محاسبه مي گردد هر آزمایش با ترسیم منحني زیر ختم مي گردد.



وسپس نتايج سه آزمايش در صفحه σ_n و τ ترسيم گرديده و خصوصيات مكانيكي خاك محاسبه مي گردند



در آزمايش برش مستقيم چون تعيين فشار آب منفذي در حين آزمايش ممكن نمي باشد و شرايط زهكشي در حين آزمايش بخوبي قابل كنترل نمي باشد نتايج تنها در تنش كل قائم ارائه مي شوند

آزمايش سه محوری

در آزمايش سه محوري كه متداول ترين نوع آزمايش است و براي هر نوع خاكي مناسب است. طي آزمايش شرايط زهكشي قابل كنترل بوده و فشار منفذي اندازه گيري مي گردد و نتايج بر حسب تنش موثر قابل بيان مي‌باشند

با توجه به شرايط زهكشي سه نوع آزمايش سه محوري معمول است كه بكار برده مي شوند كه عبارتند از :

<u>آزمايش تحكيم يافته–زهكشي نشده</u>(u-u)   در اين روش نمونه تحت فشار همه جانبه أي قرار گرفته و بلافاصله بدون هيچ مرحله زهكشي فشار قائم اعمال مي گردد در نتيجه اين آزمايش مي توانيم به محاسبه $Ø_u$ و C_u بپردازيم كه به خواص مكانيكي زهكشي نشده خاك موسومند.

اين خصوصيات جهت طراحي كارگاه و همينطور كنترل پي در حين احداث بكار مي روند

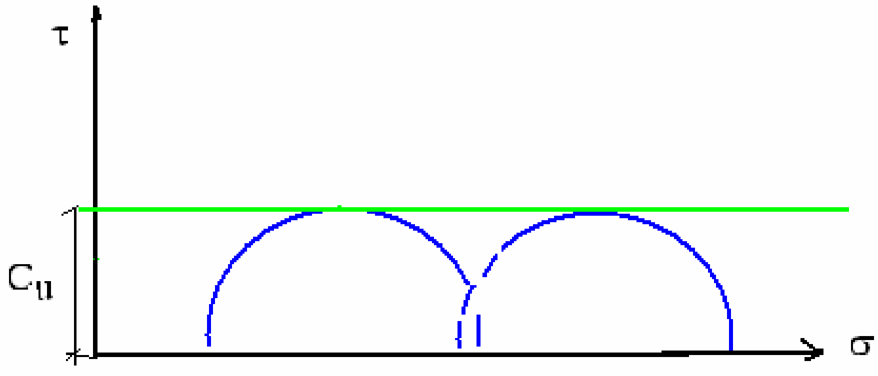
آزمایش تحکیم یافته – زهکشی نشده (cu)

در این روش نمونه تحت اثر فشار همه جانبه اولیه أي قرار گرفته و تحت اثر آن تحکیم مي یابد و پس از اتمام این عمل تحکیم مسیر زهکشي نمونه مسدود گردیده و فشار قائم اعمال مي گردد و فشار آب منفذي در حین آزمایش اندازه‌گیري مي شود. این آزمایش به تحصیل خواص مکانیکي خاك در این شرایط یعني C_{cu} ویا C'_{cu} و $Ø_{cu}$ ویا $Ø'_{cu}$ موفق مي شویم

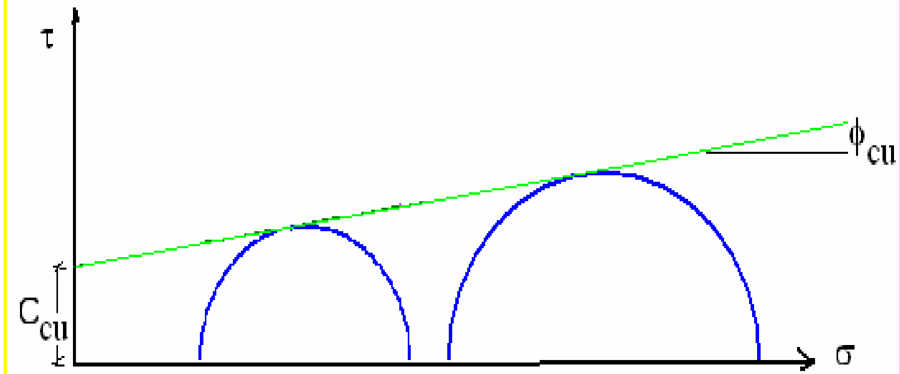
آزمايش تحكيم يافته – زهكشي شده (CD)

در اين روش نمونه روش فوق تحكيم اوليه يافته و در حين آزمايش نيز (يعني پس از اعمال فشار قائم) اجازه زهكشي به نمونه داده مي شود نتاج حاصل از اين آزمايش C' و $\emptyset'$ مي باشند

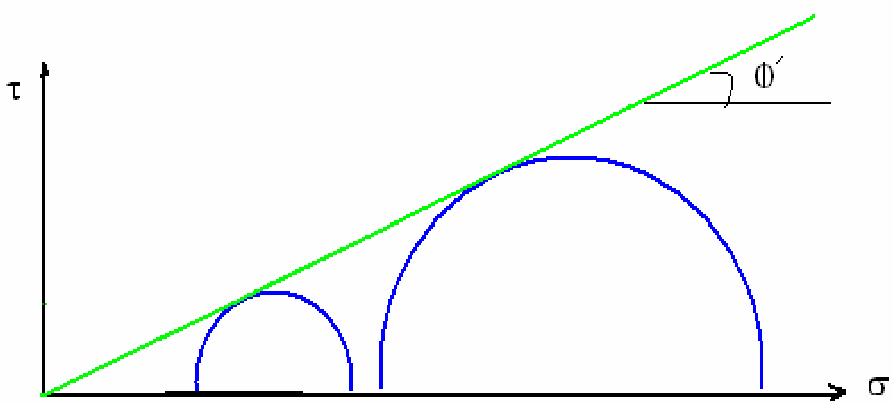
نتايج دو آزمايش فوق در كنترل طراحي در ميان مدت و بلند مدت مورد استفاده قرار مي گيرند. همانطور كه قبلا" نيز توضيح داده بوديم نتايج آزمايش سه محوري تحت اثر چند فشار همه جانبه مختلف در صفحه σ_1 و σ_3 و... ترسيم دواير موهر منجر مي گردد كه در شرايط آزمايش فوق به اشكال بعد منجر مي گردد



آزمایش uu



آزمایش cu



آزمایش CD

کنترل اشباع بودن نمونه در آزمایش سه محوري :

يكي از مسائلي كه در آزمايش سه محوري مطرح مي باشد اشباع نمودن نمونه مي باشد كه قبل از شروع آزمايش و در حين آن بايد كنترل گردد لازم به ذكر است اصولا" كليه آزمايشات خاك بر روي نمونه‌هاي اشباع صورت مي گيرند و خواص مكانيكي خاك براي خاك اشباع تعريف شده اند.

رابطه أي بين تغييرات تنش منفذي در يك آزمايش سه محوري بر اساس تغييرات تنش‌هاي اصلي تعريف مي‌شود اين رابطه توسط اسكمپتون در سال ١٩٥٤ به صورت زير محاسبه گرديده است :

$$\Delta u = B\left[\Delta\sigma_3 + A\left(\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3\right)\right]$$

ضرایب A و B در فرمول فوق به ضرایب فشار منفذي موسومند.

ضریب B معمولاً" براي كنترل اشباع بودن نمونه در ابتداي آزمايش مورد استفاده قرار مي گيرد (در اين شرايط ضريب A بي تاثير است به علت صفر بودن σ_1-σ_3)

خاك اشباع مي باشد

$$B \cong 1 \Rightarrow \qquad\qquad B = \frac{\Delta u}{\Delta \sigma_3}$$

ضرایب A و B وضعيت اشباع بودن نمونه را در حين آزمايش مشخص مي نمايند

در حين آزمايش $\sigma = \Delta \sigma_3$ **مي باشد**

$$A = \frac{\Delta u}{B(\Delta\sigma_1)}$$

لذا ضريب A به صورت روبرو قابل محاسبه مي باشد ضريب B معمولا در اين حالت ۱ فرض مي گردد لذا معمولا" مقدار

$$A = \frac{\Delta u}{\Delta\sigma_1}$$

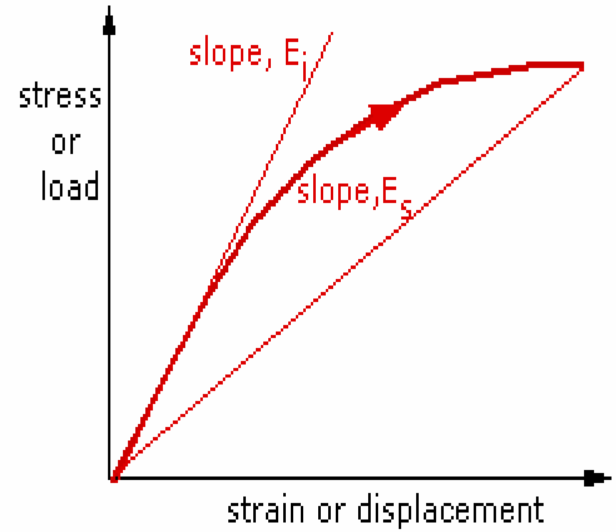
A تا زماني كه تغيير شكل جانبي وجود ندارد مساوي ۱ مي باشد ولي پس از ظهور تغيير شكلهاي جانبي مقدار A مي تواند مقادير مختلفي را بپذيرد.

نظريه خميري خاكها:

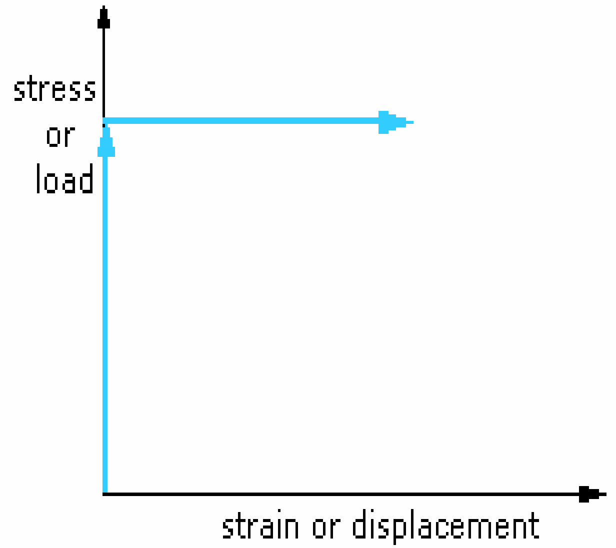
همانطور كه قبلا" نيز اشاره شد اصولا" وجود خصوصيت ارتجاعي براي خاك مورد شك و ترديده بوده است ليكن اكنون با كمك وسائل دقيق اندازه گيري تغيير شكلها اثبات شده است كه خصوصيت ارتجاعي براي خاك در تغير شكلهاي بسيار كوچك (كوچكتراز 10^{-5}) ملاحظه مي گردد.

سپس خصوصيت خاك يك جسم ارتجاعي و پلاستيك مي باشد.

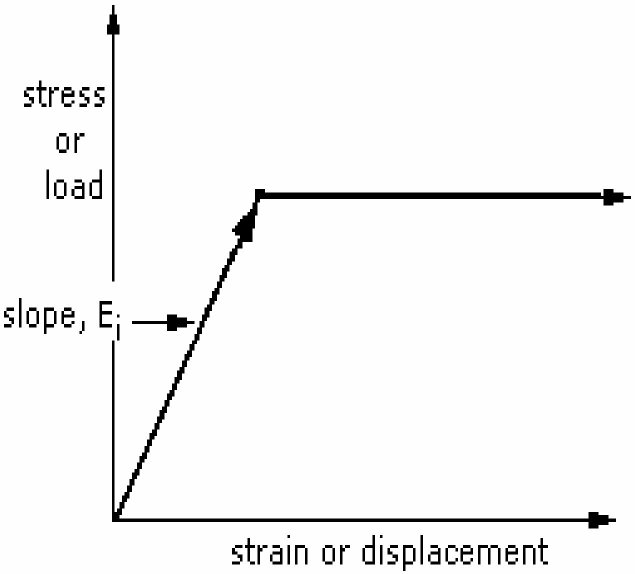
بد نيست خصوصيات اجسام مختلف را مورد بررسي قرار دهيم تا با خصوصيت ارتجاعي پلاستيك بيشتر آشنا شويم.



جسم نیمه ارتجاعی پلاستیک



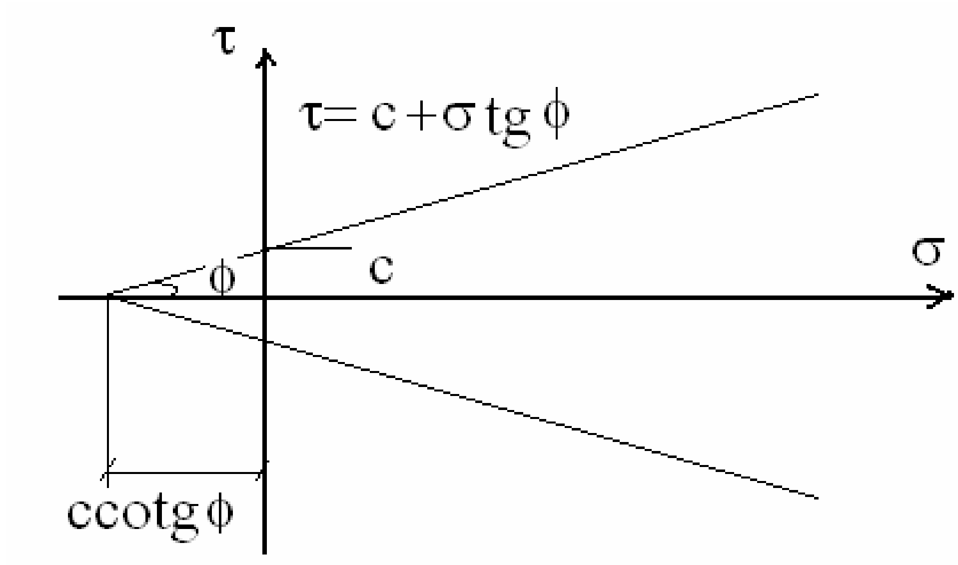
جسم صلب پلاستیک



جسم ارتجاعی پلاستیک

خاك از نوع اجسام نیمه ارتجاعي پلاستيك محسوب مي گردد

لذاتعيين قانوني كه بتواند محدوده عمل الاستيك (ارتجاعي) خاك را مشخص نمايد حائز اهميت مي باشد بسيار با توجه به اينكه مي توان تنش‌ها را در خاك با تغييرات حجمي خاك تناسب داشت به بيان اين قانون‌ها پرداخته‌اند. يكي از اين قوانين، قانون كولمب مي باشد كه همانطور كه قبلا" اشاره گرديد به صورت $\tau = c + \sigma tg\phi$ تعريف مي گردد و اين قانون در صفحه σ-τ مشخصه دو نيم خط مي باشد



این دو نیم خط در واقع فضاي عمل ارتجاعي خاك را مشخص مي نمايند در واقع تا زماني كه تنشها در يك نقطه خاك در داخل این دو نیم خط واقع گردند خاك در محدوده عمل ارتجاعي مي باشد و بر روي این خطوط خاك پلاستيك مي باشد.

براي خاكهاي دانه أي (ماسه ها) این دو نیم خط مركز شروع مي شوند به دليل اينكه چسبندگي در اينگونه خاكها وجود ندارد و لذا قانون كولمب به صورت ساده زير در مي آيد.

$$\tau = \pm \sigma tg\,\phi$$

مقدار $C \cot g \phi$ که فاصله نقطه تقاطع دونیم خط تا مرکز مختصات بر روي محور افقي (σ) مي باشد مقاومت کششي مصالح چسبنده را معين مي سازد. همانطور که قبلا" اشاره گرديد قانون کولمب بر اساس تنش‌ها اصلي به صورت زير نوشته مي شود:

$$\sigma'_1 - \sigma'_3 = 2C' \cos\phi' + \left(\sigma'_1 + \sigma'_3\right)\sin\phi'$$

و مي توان لذا آنرا به صورت فرمول بعدی نيز نوشت:

$$\sigma_1' - \sigma_3' \frac{1+\sin\phi'}{1-\sin\phi'} - C' \frac{2\cos\phi'}{1-\sin\phi'} = 0$$

و با به کار بردن زاویه Ø/2 خواهیم داشت:

$$\sigma_1' - \sigma_3' tg^2\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\phi'}{2}\right) - 2C' tg\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\phi'}{2}\right) = 0$$

$$\frac{1-\sin\phi'}{1+\sin\phi'} = tg^2\left(\frac{\pi}{4}-\frac{\phi'}{2}\right)$$

مي باشد که این مقدار را k_a یا ضریب رانش محرك(active) خاک نیز می نامند

$$\text{و همينطور} \quad K_p = \frac{1+\sin\phi'}{1-\sin\phi'} = tg^2\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\phi}{2}\right) \quad \text{ضريب رانش}$$

مقاوم (Passive) خاك مي باشد

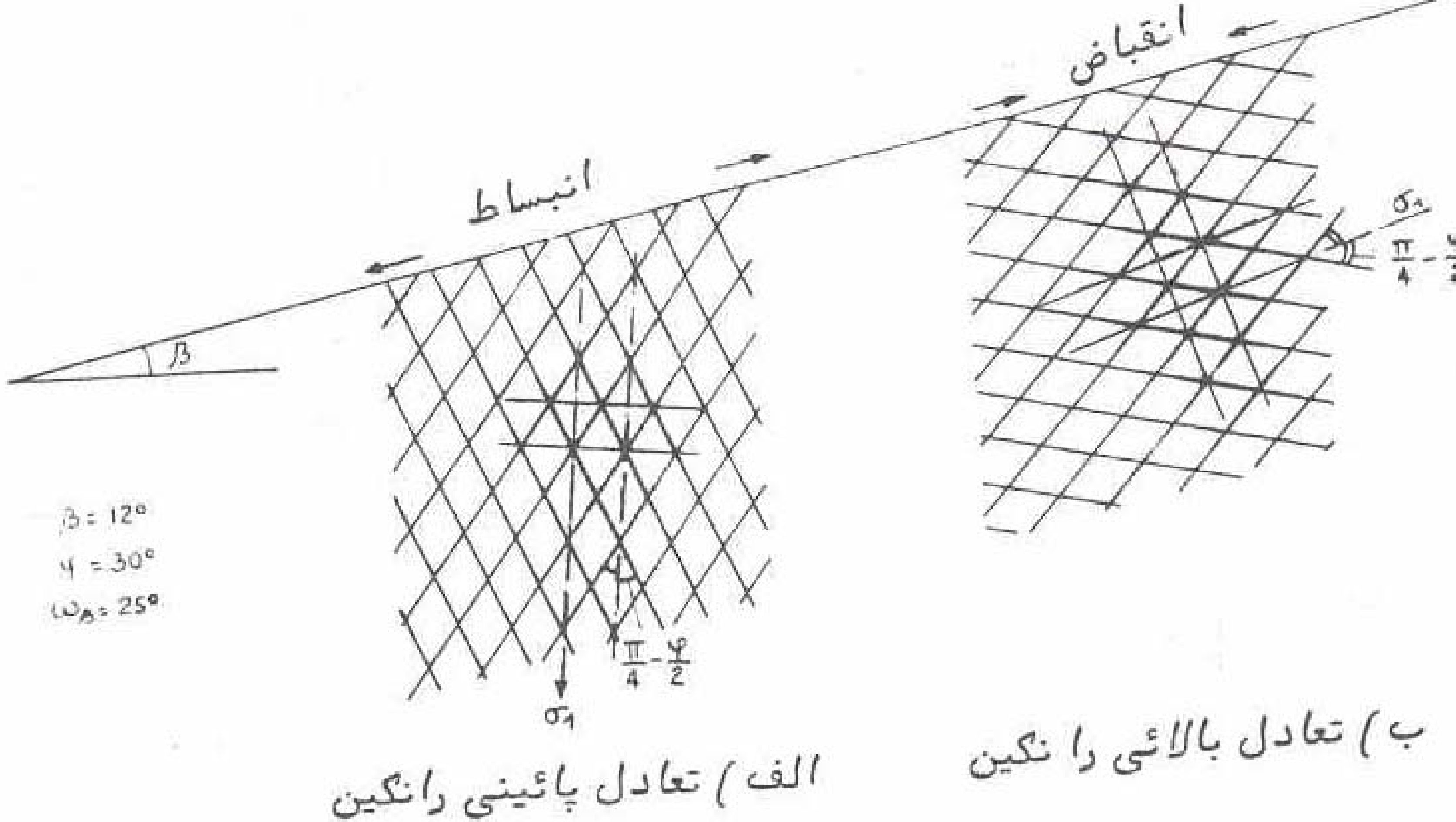
اين موضوع به روشهاي تعادل رانكين مشهور است به بيان مثال در اين ارتباط مي پردازيم تا موضوع روشن تر گردد اگر ديوار حائلي را در نظر بگيريم كه در دو حالت شكل بعد مورد بررسي قرار گيرد

در صورتي كه خاك دانه أي باشد (c´=0) لذا روابط بيان شده فوق ارتباط مستقيم بين تنش هاي افقي و قائم را در دو حالت فوق ارائه مي دهد يعني اينكه در حالت رانش محرك(active):

$$K_a = \frac{\sigma'_H}{\sigma'_V} = tg^2\left(\frac{\pi}{4}-\frac{\phi}{2}\right)$$

و در حالت رانش مقاوم(Passive):

$$K_p = \frac{\sigma'_V}{\sigma'_H} = tg^2\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\phi}{2}\right)$$



دیوار به سمت خاک فشار می آورد؛حالت رانش مقاوم

(Passive)

دیوار حول پاشنه می چرخد؛حالت رانش محرک

(Active)

در حالتي كه خاك تحت حركتي قرار نداشته باشد مطابق محاسبات مي توان ضريبي را براي محاسبه رابطه بين تنشهاي قائم و افقي به طور تجربي بدست آورد كه به ضريب خاك در حالت قرضه k_0 مشهور است

$$K_{\circ} = 1 - \sin \phi'$$

استفاده از اين ضرايب به ما كمك مي كند تا به محاسبه تنشهاي افقي با استفاده از تنشهاي قائم كه معمولا" به سادگي قابل محاسبه اند بپردازيم و به كنترل و طراحي سازه موفق شويم