

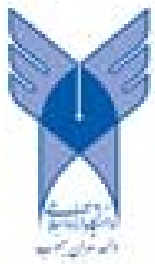
مقاومت برشی خاک



Jozvebama.ir

رضا مهدیسی - دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

- برای مصالحی مانند خاک که از مجموعه ای از دانه های جدا از هم تشکیل شده اند نمی توان از مفاهیم مقاومت فشاری یا مقاومت کششی استفاده نمود (بر خلاف فولاد یا بتن).
- در واقع مقاومت کششی و مقاومت فشاری محصور نشده خاک در اغلب حالات ناچیز هستند.
- بهمین دلیل برای خاک از مفهوم مقاومت برشی استفاده می شود.
- مقاومت برشی مقاومتی است که در یک سطح مفروض خاک از خود در برابر لغزش یا گسیختگی نشان می دهد.
- این مقاومت عمدتاً ناشی از اصطکاک بین دانه ها می باشد که خود تابعی از تنش موثر قائم بین دانه ها می باشد. مقداری نیز ناشی از چسبندگی بین دانه ها می باشد که در اغلب حالات ناچیز است.



$$\begin{bmatrix} \sigma_{xx} - \sigma_m & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_{yy} - \sigma_m & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_{zz} - \sigma_m \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \sigma_{xx} & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_{yy} & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_{zz} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \sigma_{xx} - u & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_{yy} - u & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_{zz} - u \end{bmatrix}$$

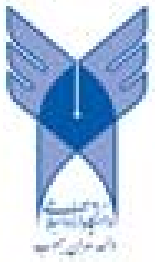
$$\begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} & \varepsilon_{xy} & \varepsilon_{xz} \\ \varepsilon_{yx} & \varepsilon_{yy} & \varepsilon_{yz} \\ \varepsilon_{zx} & \varepsilon_{zy} & \varepsilon_{zz} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \sigma'_{xx} - \sigma'_m & \tau'_{xy} & \tau'_{xz} \\ \tau'_{yx} & \sigma'_{yy} - \sigma'_m & \tau'_{yz} \\ \tau'_{zx} & \tau'_{zy} & \sigma'_{zz} - \sigma'_m \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \sigma'_{xx} & \tau'_{xy} & \tau'_{xz} \\ \tau'_{yx} & \sigma'_{yy} & \tau'_{yz} \\ \tau'_{zx} & \tau'_{zy} & \sigma'_{zz} \end{bmatrix}$$

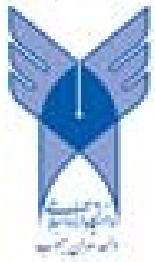
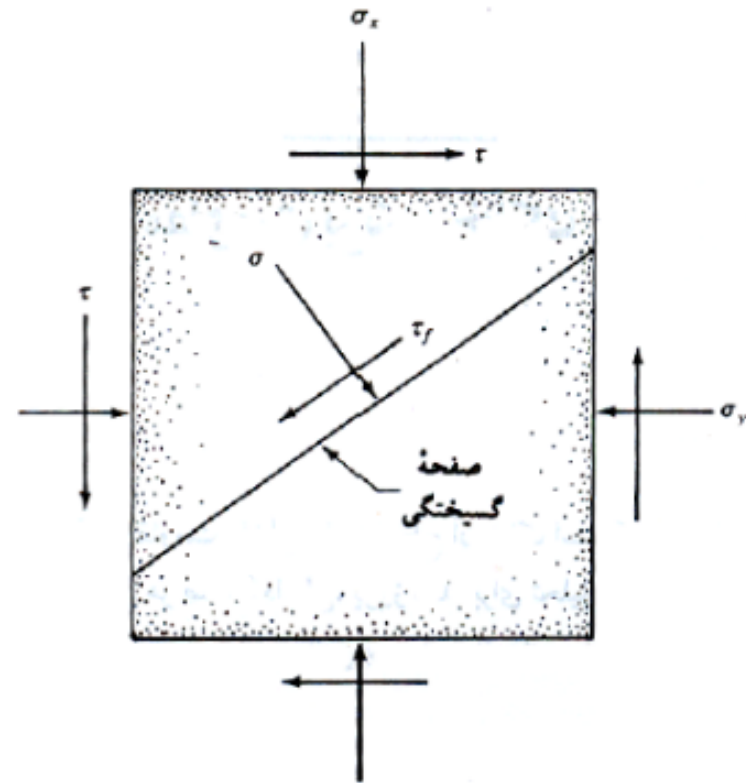
$$\begin{bmatrix} u & 0 & 0 \\ 0 & u & 0 \\ 0 & 0 & u \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \lambda_{xx'} & \lambda_{xy'} & \lambda_{xz'} \\ \lambda_{yx'} & \lambda_{yy'} & \lambda_{yz'} \\ \lambda_{zx'} & \lambda_{zy'} & \lambda_{zz'} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_{xx'} & \lambda_{xy'} & \lambda_{xz'} \\ \lambda_{yx'} & \lambda_{yy'} & \lambda_{yz'} \\ \lambda_{zx'} & \lambda_{zy'} & \lambda_{zz'} \end{bmatrix}^T$$



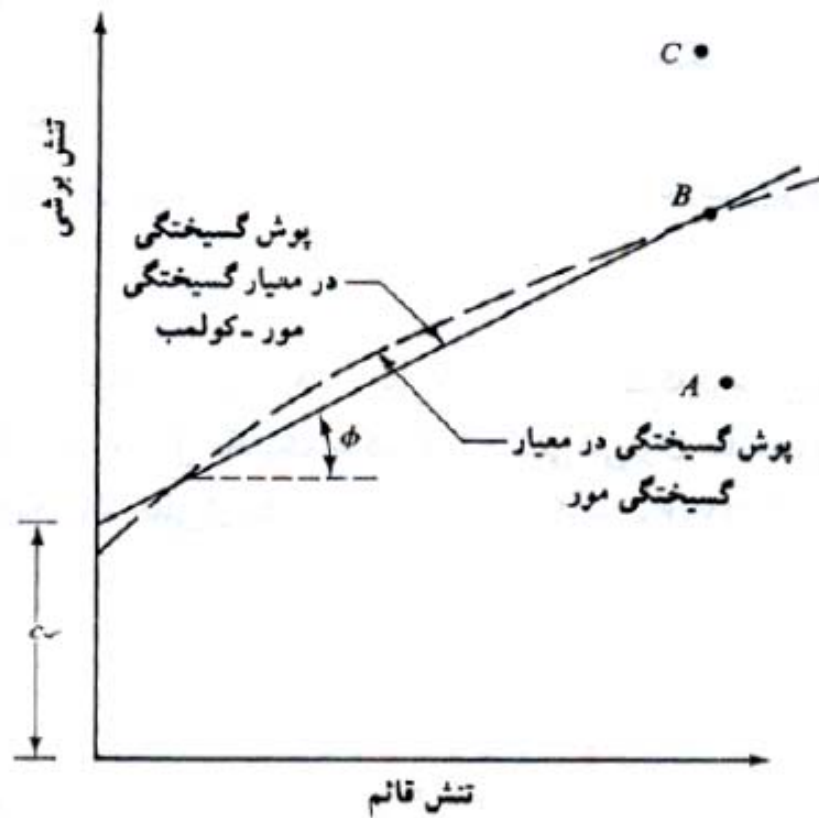
معیار گسیختگی مور - کولمب

$$\tau_f = f(\sigma)$$



Jozvebama.ir

رضا مهدی - دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب



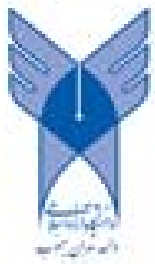
$$\tau_f = c + \sigma \tan \phi$$

c = چسبندگی

τ_f = مقاومت برشی

ϕ = زاویه اصطکاک داخلی

σ = تنش قائم



Jozvebama.ir

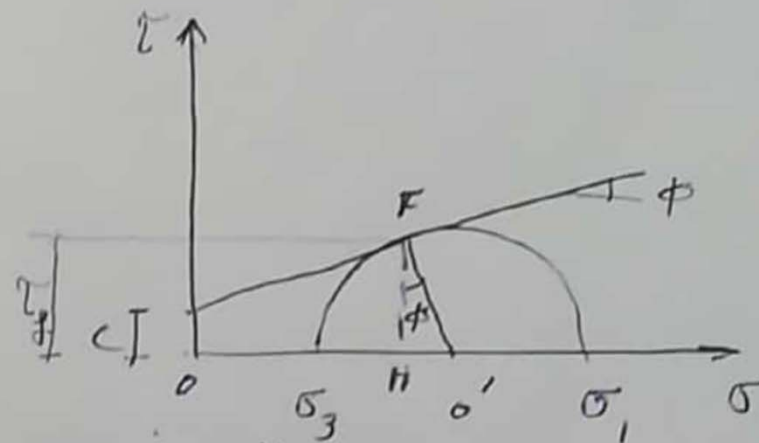
رشته مهندسی - دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

گسیختگی موهر - کولمب در صفحه تنش های اصلی

$$\tau_f = \sigma \tan \phi + c$$

$$\tau_f = F \tan \phi \Rightarrow \phi = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \cos \phi$$

$$\sigma = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} - \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \sin \phi$$



$$\Rightarrow \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \cos^2 \phi = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} \sin \phi - \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \sin^2 \phi + c \cos \phi$$

$$\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} \sin \phi + c \cos \phi$$

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \sigma_1 \sin \phi + \sigma_3 \sin \phi + 2c \cos \phi$$



گسیختگی موهر - کولمب در صفحه تنش های اصلی

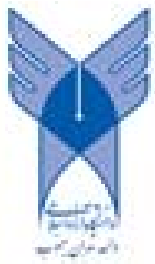
$$\sigma_1 (1 - \sin \phi) = \sigma_3 (1 + \sin \phi) + 2c \cos \phi$$

$$\sigma_1 = \sigma_3 \frac{(1 + \sin \phi)}{1 - \sin \phi} + 2c \frac{\cos \phi}{1 - \sin \phi} \quad \rightarrow \sqrt{1 - \sin^2 \phi}$$

$$\sigma_1 = \sigma_3 k_p + 2c \sqrt{k_p}$$

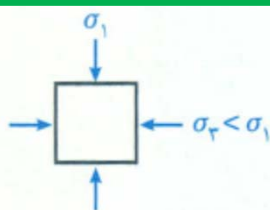
$$\sigma_3 = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} \sigma_1 - 2c \frac{\cos \phi}{1 + \sin \phi} \quad \rightarrow \sqrt{1 - \sin^2 \phi}$$

$$\sigma_3 = k_a \sigma_1 - 2c \sqrt{k_a}$$



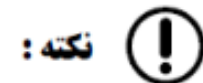
Jozvebama.ir

دفتر مشاوره - دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب



$$\sigma_{\text{کوچکتر}} = \sigma_{\text{بزرگتر}} \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) - 2c \tan \left(45 - \frac{\phi}{2} \right)$$

$$\sigma_r = \sigma_1 \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) - 2c \tan \left(45 - \frac{\phi}{2} \right)$$

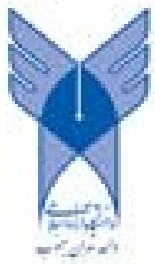


نکته:

در خاک های اشباع به جای استفاده از تنش کل (σ) در رابطه مقاومت برشی از تنش موثر (σ') استفاده می شود زیرا آب مقاومت برشی نداشته و تنها تنشی مورد نظر است که توسط دانه های جامد خاک حمل می شود. رابطه مقاومت برشی در خاک های اشباع به صورت زیر نوشته می شود:

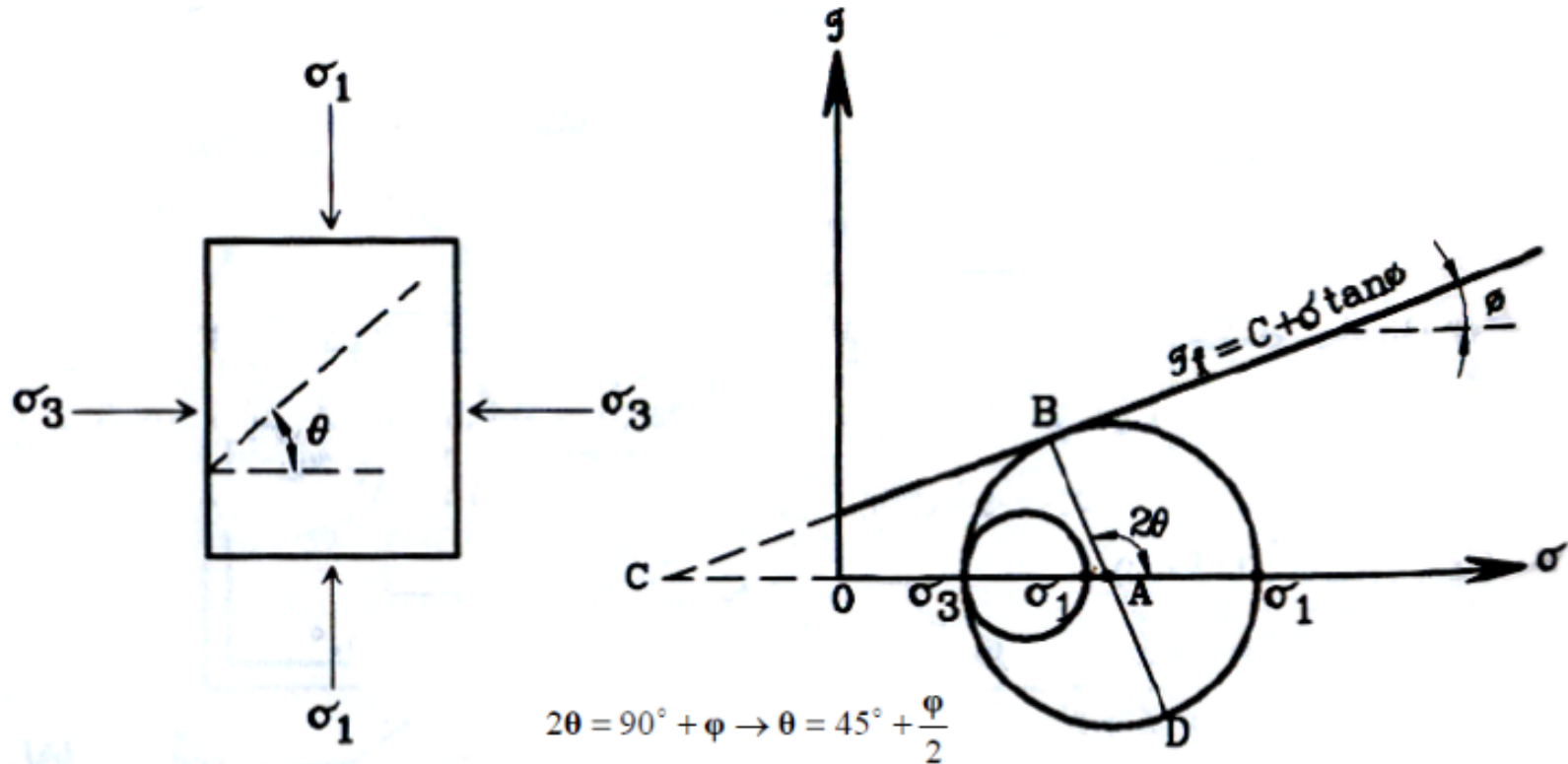
$$\tau_f = c + \sigma' \tan \phi$$

که در این رابطه ϕ و c به ترتیب زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی برای حالت اشباع خاک می باشند و برای تمایز با حالت خشک، آن ها را با ϕ' و c' یا ϕ_e و c_e و یا $\bar{\phi}$ و \bar{c} نمایش می دهند و زاویه اصطکاک داخلی زهکشی شده و چسبندگی زهکشی شده می نامند.



Jozvebama.ir

رشته مهندسی - دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب



$$2\theta = 90^\circ + \phi \rightarrow \theta = 45^\circ + \frac{\phi}{2}$$

$$\begin{cases} \sigma = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} + \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \cos 2\theta \\ \tau_f = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \sin 2\theta \end{cases}$$

تنش روی هر صفحه با زاویه θ :

$$\sigma_1 = \sigma_3 \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) + 2c \tan \left(45 + \frac{\phi}{2} \right)$$

در صفحه گسیختگی:



Jozvebama.ir

رضا عبدلی - دانشکده آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

تمرین:

یک نمونه خاک ماسه ای خشک در آزمایشگاه تحت فشار همه جانبه ای برابر 100kpa قرار می گیرد و افزایش تنش عمودی به میزان 200kpa باعث گسیختگی آن می شود. مطلوب است تعیین زاویه صفحه گسیختگی با امتداد افق و پارامترهای مقاومت برشی نمونه مورد نظر.

از آنجایی که خاک ماسه ای است $c = 0$

$$\sigma_1 = \sigma_3 \tan^2 \theta \rightarrow 300 = 100 \tan^2 \theta \rightarrow \tan \theta = \sqrt{3} \rightarrow \theta = 60^\circ$$

$$\theta = 45 + \frac{\phi}{2} \rightarrow 60 = 45 + \frac{\phi}{2} \rightarrow \phi = 30^\circ$$

در تمرین قبلی مقدار تنش قائم و تنش برشی در صفحه گسیختگی چقدر است؟

$$\sigma = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} + \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \cos 2\theta = \frac{300 + 100}{2} + \frac{300 - 100}{2} \cos 120^\circ = 150 \text{ kPa}$$

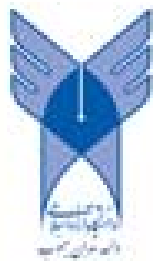
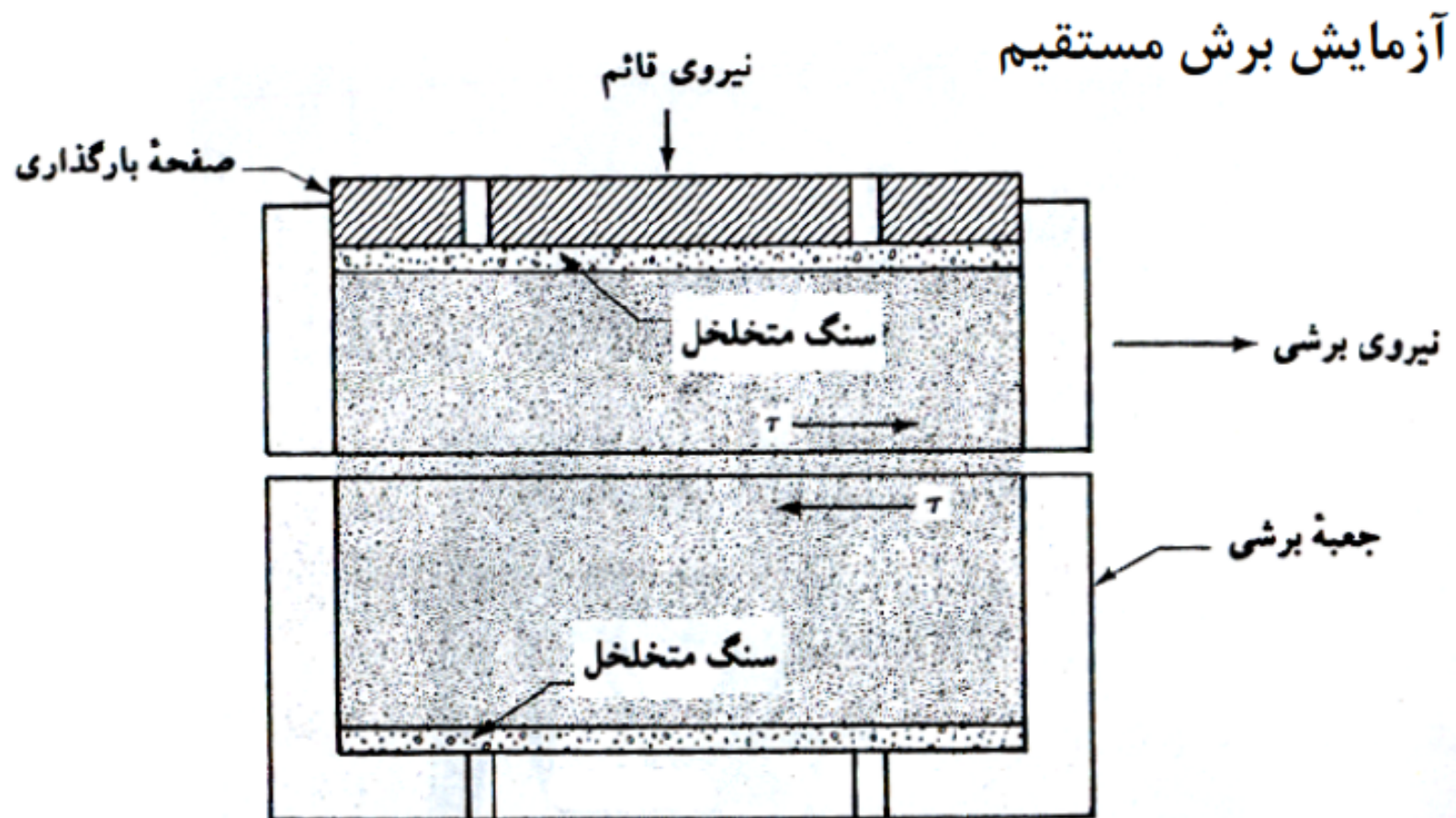
$$\tau_f = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \sin 2\theta = \frac{300 - 100}{2} \sin 120^\circ = 86.6 \text{ kPa}$$



Jozvebama.ir

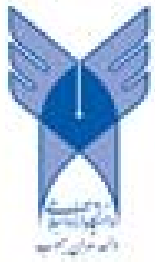
رشته مهندسی - دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

در آزمایشگاه، پارامترهای مقاومت برشی خاک با دو روش آزمایشی تعیین می گردد: آزمایش برش مستقیم و آزمایش سه محوری، در ادامه آزمایشهای فوق تشریح می شوند.



Jozvebama.ir

رضا مهدی - دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب



Jozvebama.ir

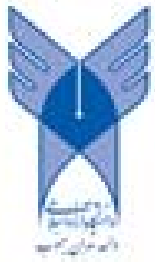
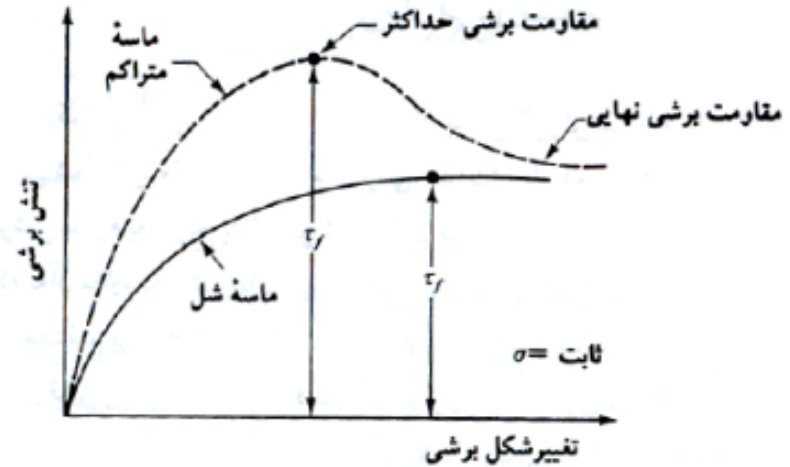
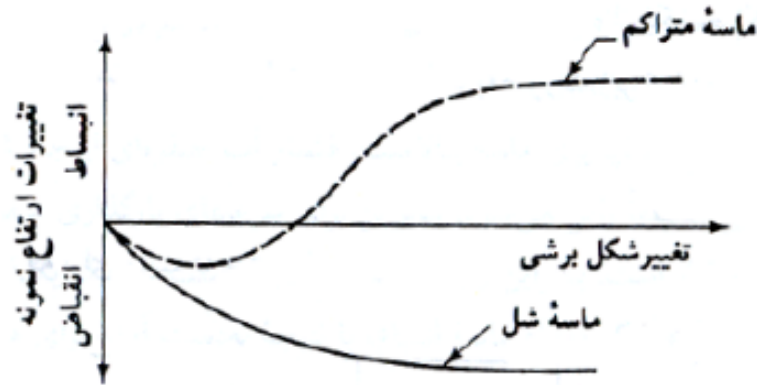
رضا مهدی - دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

برای یک آزمایش معلوم ، تنش قائم را می توان به صورت زیر محاسبه نمود:

$$\sigma = \text{تنش قائم} = \frac{\text{نیروی قائم}}{\text{مساحت مقطع افقی نمونه}} \quad (6-8)$$

و تنش برشی مقاوم نظیر نیز از رابطه زیر قابل تعیین است :

$$\tau = \text{تنش برشی مقاوم} = \frac{\text{نیروی برشی مقاوم}}{\text{مساحت مقطع افقی نمونه}} \quad (7-8)$$



Jozvebama.ir

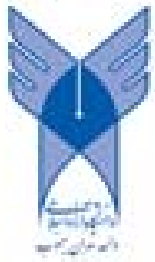
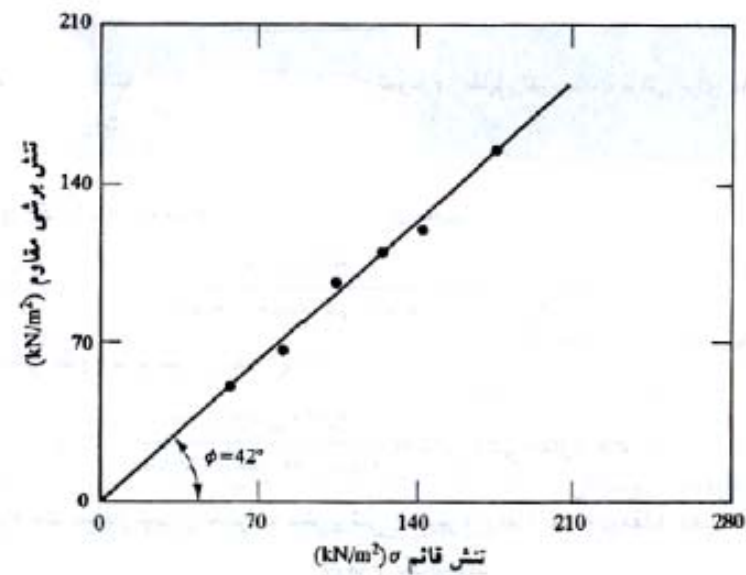
روش‌های نوین - دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

$$\tau_f = \sigma \tan \phi$$

(۸-۸)

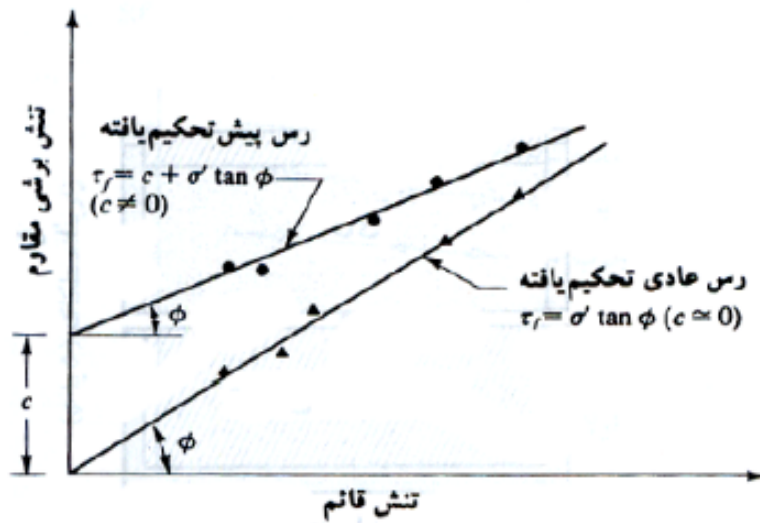
$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{\tau_f}{\sigma} \right)$$

(توجه شود که برای ماسه $c=0$ و $\sigma = \sigma'$ است) بنابراین زاویه اصطکاک داخلی برابر است با:

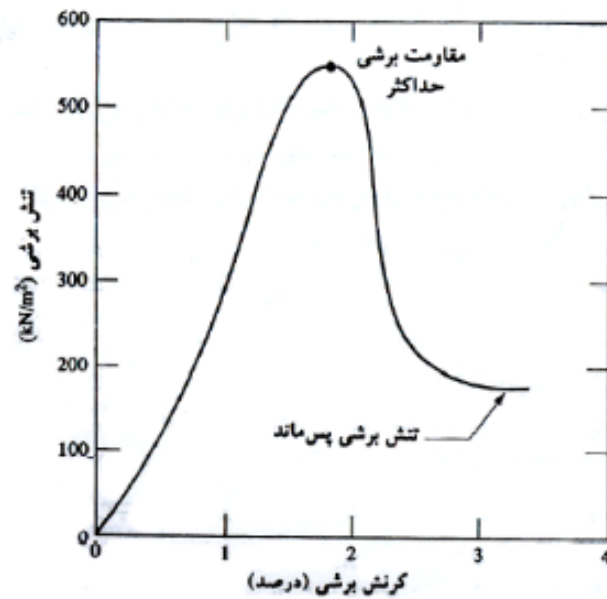


Jozvebama.ir

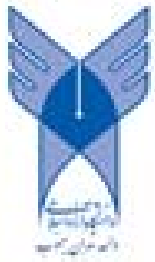
رضا مهدی - دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب



شکل ۸-۱۰ پوش گسیختگی خاک رس حاصل از آزمایش برش مستقیم زهکشی شده



شکل ۸-۹ نتایج آزمایش برش مستقیم زهکشی شده بر روی رس پیش تحکیم یافته




Jozvebama.ir

رضا مهدی - دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

مثال: 

یک آزمایش برش مستقیم بر روی نمونه ای از ماسه خشک با تنش قائم 191.5 kN/m^2 انجام شده است. گسیختگی در تنش برشی 119.7 kN/m^2 رخ داده است. ابعاد نمونه $50/8 \times 50/8$ به ارتفاع $25/4$ میلیمتر می باشد. مطلوب است تعیین زاویه اصطکاک ϕ . همچنین برای تنش قائم 144 kN/m^2 ، نیروی برشی لازم برای ایجاد گسیختگی در نمونه چقدر است.

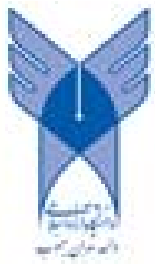
حل مسئله: 

$c = 0 \rightarrow$ ماسه خشک

$$\begin{cases} \sigma = 191.5 \text{ kN/m}^2 \\ \tau_f = 119.7 \text{ kN/m}^2 \end{cases} \rightarrow \phi = \arctan\left(\frac{\tau_f}{\sigma}\right) = \arctan\left(\frac{119.7}{191.5}\right) = 32^\circ$$


$$\tau_f = \sigma \tan \phi = 144 \tan 32^\circ = 89.98 \text{ kN/m}^2$$

$$T_f = \tau_f \times A = 89.98 \times 10^3 \times 50.8^2 \times 10^{-6} = 232.2 \text{ N}$$

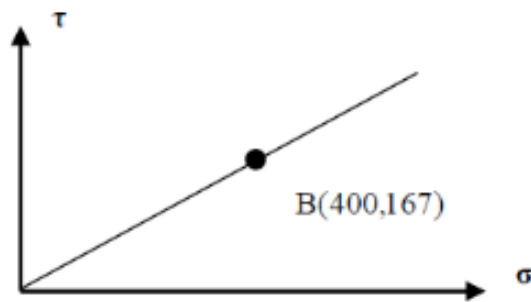


Jozvebama.ir

روش‌های نوین - دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

مثال: 

تنش قائم و برشی در یک صفحه داخل خاک، با نقطه B که بر روی پوش گسیختگی قرار دارد، نشان داده می شود. مقدار σ_3 برابر ۲۷۵ است. مقدار σ_1 (تنش اصلی بزرگتر) کدام است؟



حل مسئله:

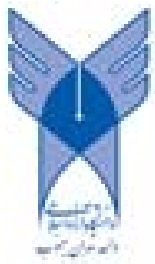


چون خط $\tau_f = c + \sigma \tan \phi$ از مبدا مختصات می گذرد لذا $c = 0$ است. پس:

$$\tau_f = \sigma \tan \phi \rightarrow 167 = 400 \tan \phi \rightarrow \phi = 22.7^\circ$$

$$\sigma_1 = \sigma_3 \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) + 2c \tan \left(45 + \frac{\phi}{2} \right)$$

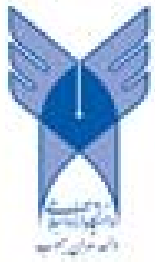
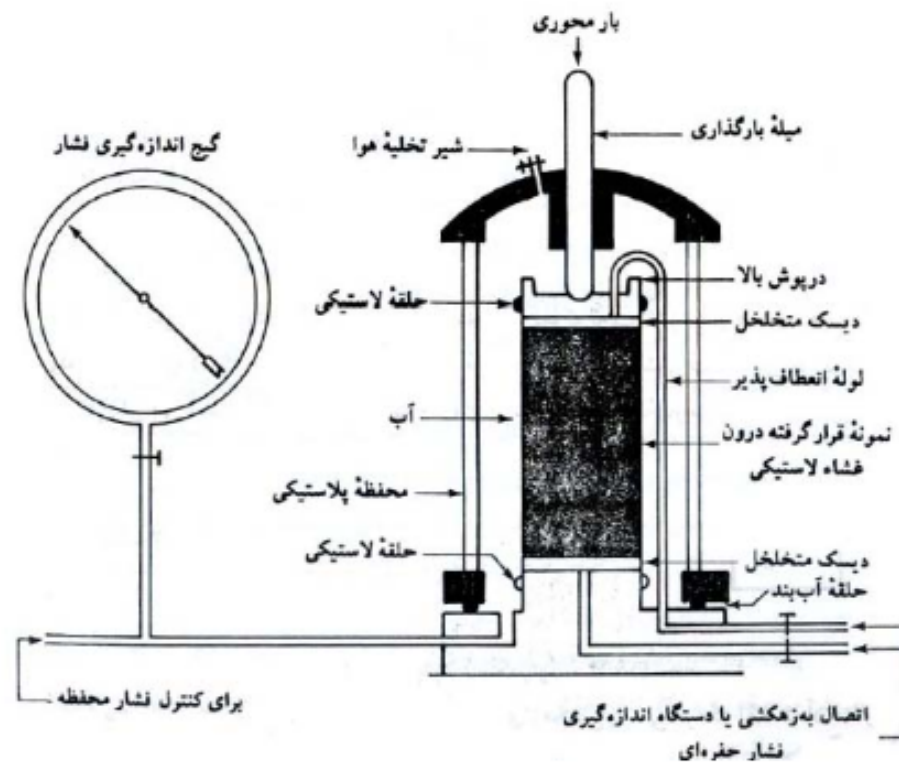
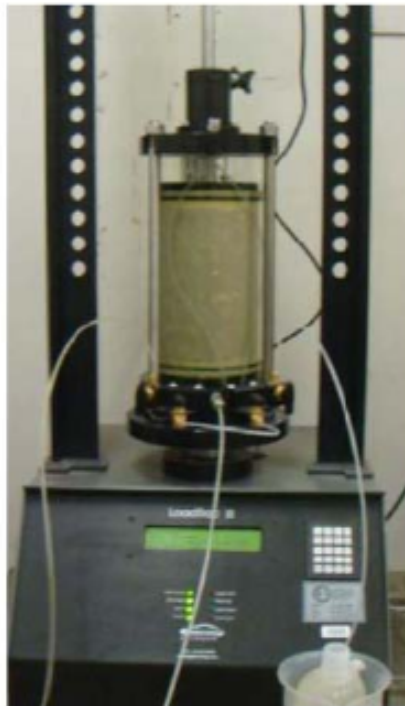
$$\sigma_1 = 275 \tan^2 \left(45 + \frac{22.7}{2} \right) + 0 = 620.6$$



Jozvebama.ir

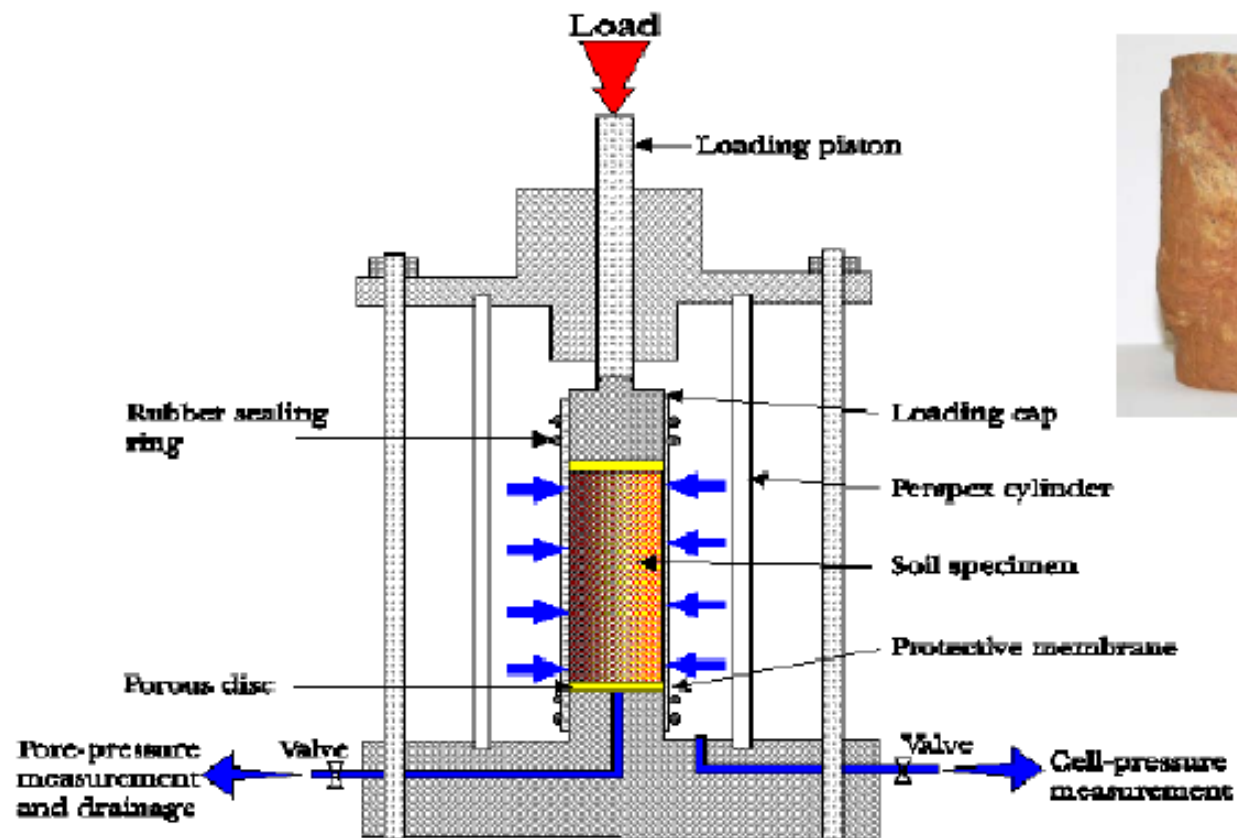
رشته مهندسی - دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

آزمایش برش سه محوری



Jozvebama.ir

رضا عبدلی - دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب



Triaxial apparatus



Jozvebama.ir

رضا مهدی - دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

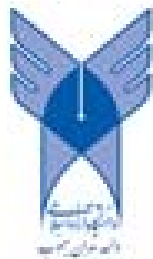
شیرهایی برای اندازه گیری زه آب ورودی یا خروجی از نمونه و یا اندازه گیری فشار آب حفره ای (بر حسب آزمایش) تعبیه شده است. معمولاً سه نوع آزمایش سه محوری استاندارد انجام می شود.

۱- آزمایش تحکیم یافته زهکشی شده یا آزمایش زهکشی شده (آزمایش CD)

۲- آزمایش تحکیم یافته زهکشی نشده (آزمایش CU)

۳- آزمایش تحکیم نیافته زهکشی نشده یا آزمایش زهکشی نشده یا آزمایش سریع (آزمایش UU)

در ادامه، نحوه انجام و مفاهیم عمومی هر یک از آزمایش های مذکور در فوق ارائه می شود.



Jozvebama.ir

رشته مهندسی - دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

◀ آزمایش تحکیم یافته زهکشی شده CD

در این آزمایش ابتدا با فشرده کردن سیال داخل محفظه، نمونه تحت تأثیر فشار همه جانبه محفظه ای σ_3 قرار می گیرد (شکل ۸-۱۸-الف). با اعمال فشار محدود کننده، فشار آب حفره ای نمونه به اندازه u_e افزایش می یابد. این افزایش فشار آب حفره ای را می توان به وسیله پارامتر بدون بعد زیر نمایش داد:

$$B = \frac{u_e}{\sigma_3} \quad (8-10)$$

که در آن:

$$B = \text{پارامتر فشار آب حفره ای اسکمپتون (اسکمپتون - ۱۹۵۴)}$$

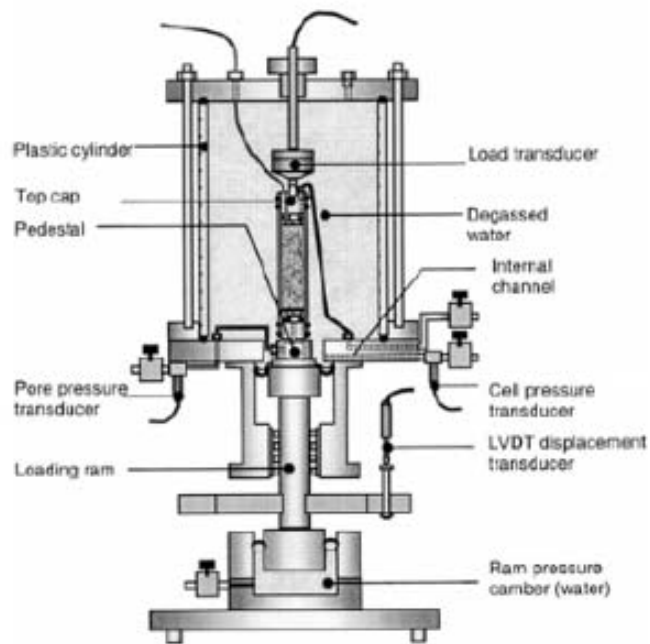
برای خاکهای اشباع $B=1$ است. حال شیرهای زهکشی باز می شود که به علت آن فشار آب حفره ای زایل شده و تحکیم رخ می دهد. با گذشت زمان u_e مساوی صفر می شود. در خاک اشباع، تغییر حجم به وجود آمده در نمونه در حین تحکیم (ΔV_C) با استفاده از حجم آب زهکشی شده قابل اندازه گیری است (شکل ۸-۱۹-الف).

سپس تنش انحرافی $\Delta\sigma_h$ با سرعت خیلی کمی بر روی نمونه اعمال می شود (شکل ۸-۱۸-ب). شیر زهکشی باز نگه داشته می شود و سرعت کم اعمال تنش انحرافی، اجازه زایل شدن هرگونه فشار آب حفره ای اضافه می دهد ($\Delta u_h = 0$).

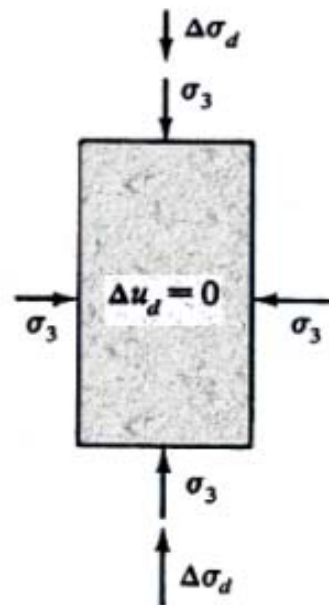


Jozvebama.ir

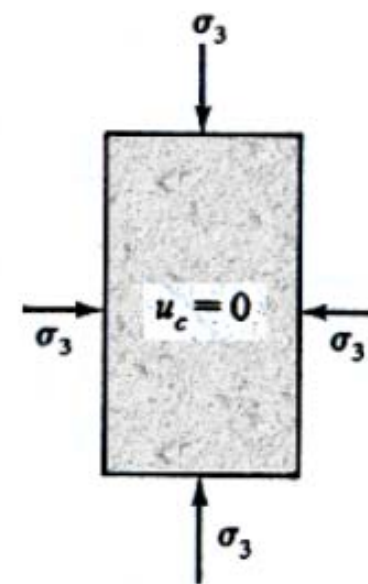
روش‌های نوین - دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب



(ب)

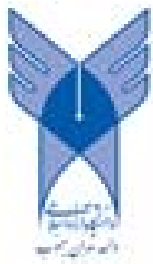


(ب)



(الف)

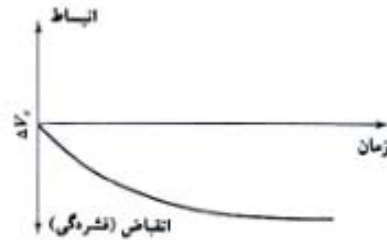
شکل ۸-۱۸ آزمایش سه محوری تحکیم یافته زهکشی شده (الف) نمونه تحت تأثیر فشار محفظه ای محدود کننده (ب) اعمال تنش انحرافی (پ) اجزاء تشکیل دهنده سلول فشار محفظه ای



Jozvebama.ir

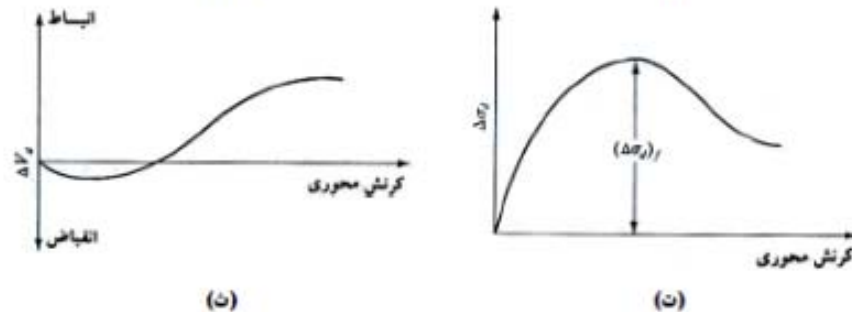
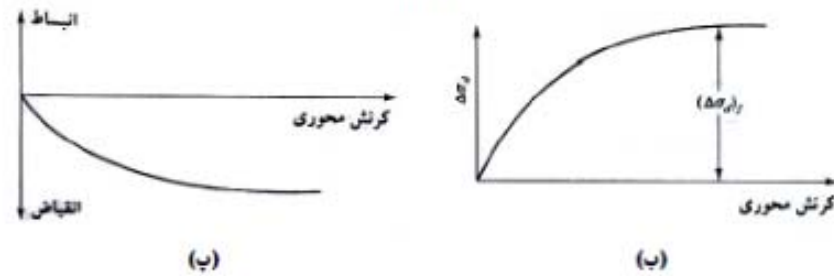
رشته مهندسی - دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

مربوط به فاز اول (تحکیم)



(الف)

مربوط به فاز دوم (روش)

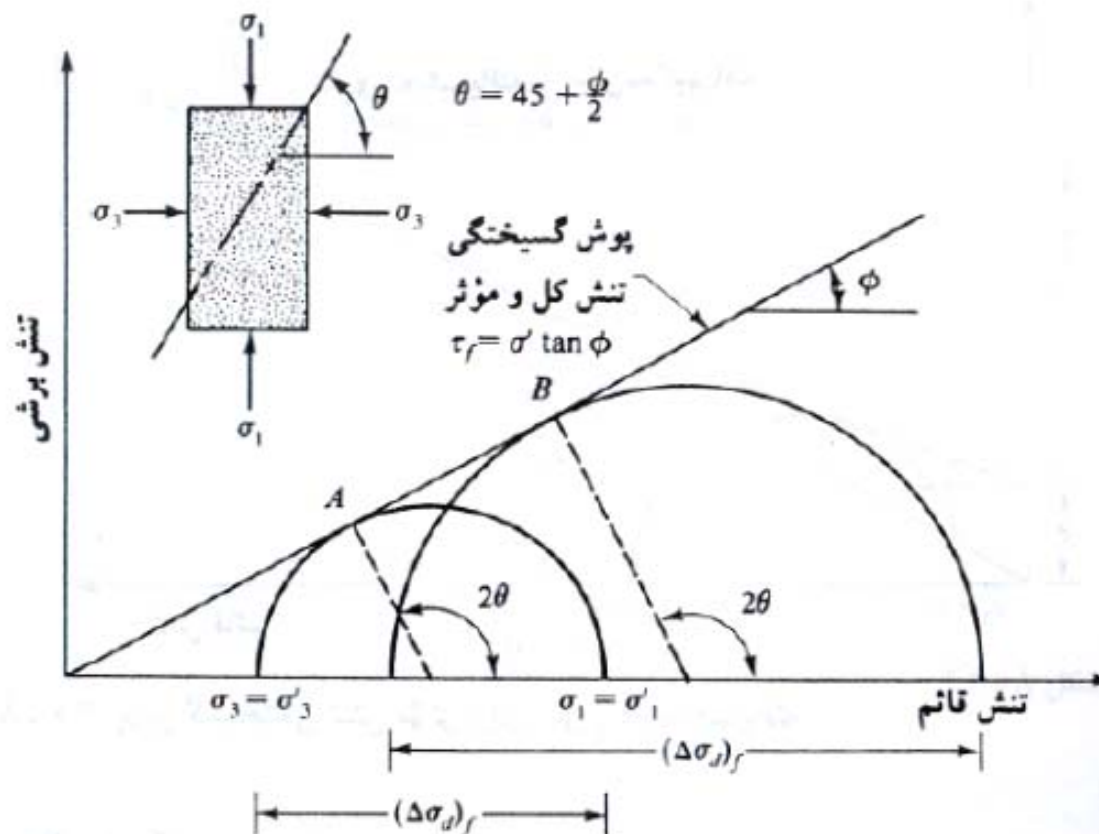


شکل A-11 آزمایش سه محوری تحکیم یالته زهکشی شده (الف) تغییر حجم نمونه به علت فشار مختلفه ای محدود کننده (ب) نمودار تغییرات تنش انحرافی در مقابل کرنش در امتداد قائم برای ماسه نل و رس عادی تحکیم یافته (پ) تغییر حجم در اتناقی اعمال تنش انحرافی در ماسه نل و رس عادی تحکیم یافته (ت) نمودار تغییرات تنش انحرافی در مقابل کرنش در امتداد قائم برای ماسه متراکم و رس پیش تحکیم (ن) تغییر حجم در اتناقی اعمال تنش انحرافی در ماسه متراکم و رس پیش تحکیم یافته.

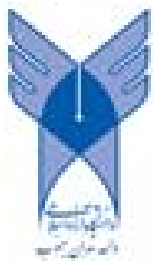


Jozvebama.ir

رشته مهندسی - دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

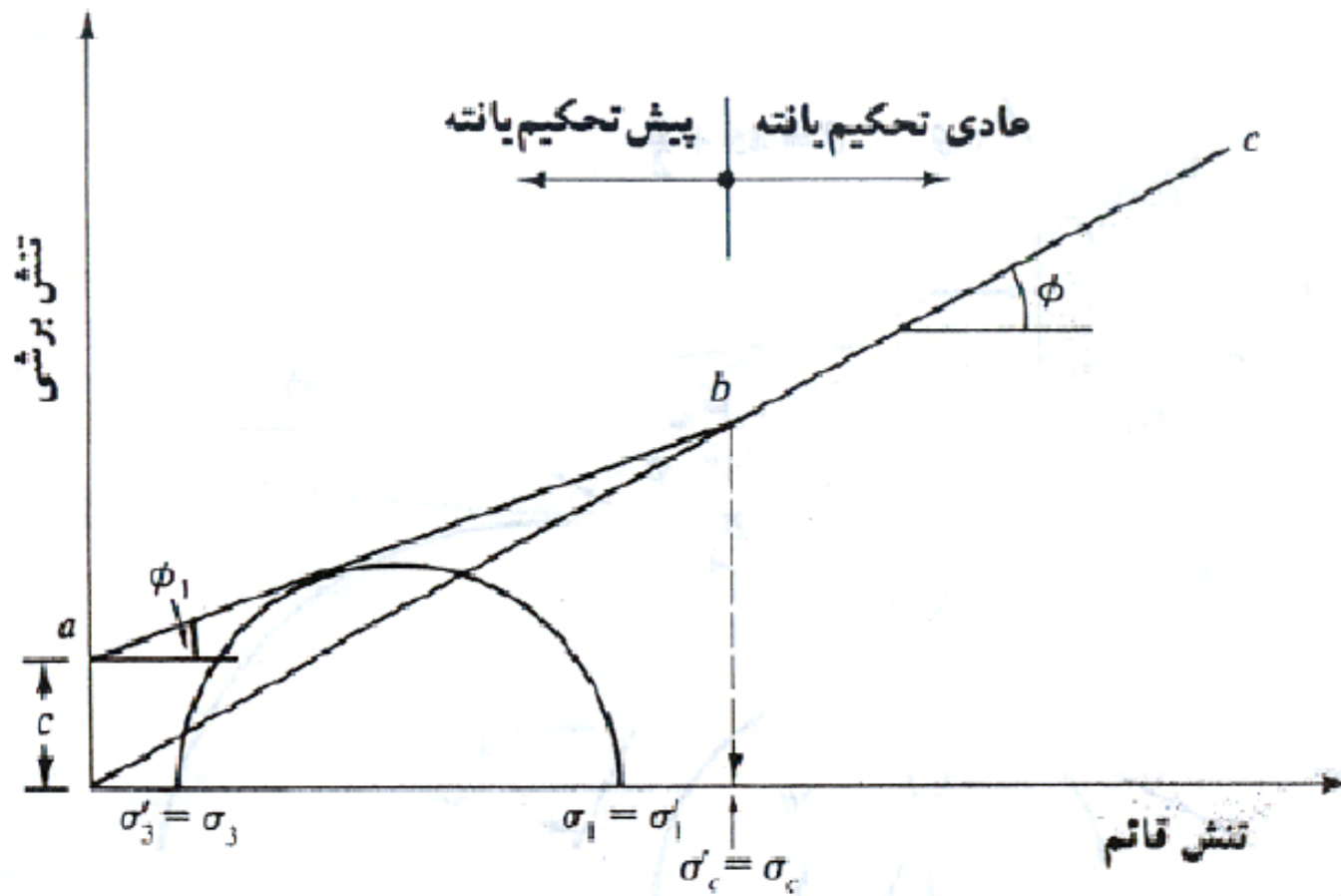


شکل ۸-۲۰ پوش گسیختگی تنش مؤثر حاصل از آزمایش زهکشی شده در ماسه و رس عادی تحکیم یافته

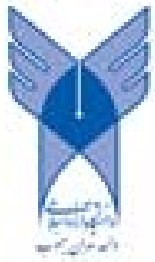


Jozvebama.ir

رضا مهدی - دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب




شکل ۸-۲۱ پوش گسیختگی تنش موثر برای رس پیش تحکیم یافته



Jozvebama.ir

رضا مهدی - دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

مثال: 

بر روی رس عادی تحکیم یافته آزمایش سه محوری تحکیم یافته زهکشی شده انجام شده که نتایج آن به شرح زیر است:

$$\sigma_3 = 276 \text{ kN/m}^2$$

$$(\Delta\sigma_d) = 276 \text{ kN/m}^2$$

مطلوب است تعیین:

الف- زاویه اصطکاک ϕ

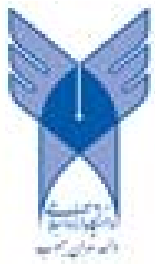
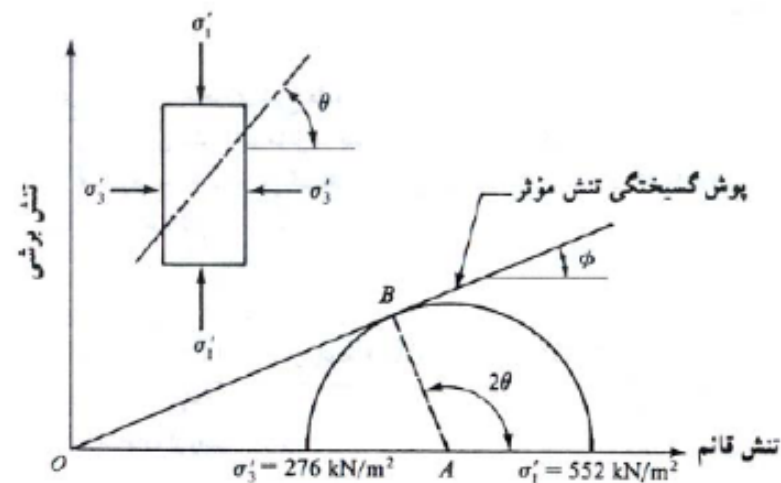
ب- زاویه θ که صفحه گسیختگی با صفحه تنش اصلی حداکثر می سازد.

پ- تنش قائم σ' و تنش برشی τ_f بر روی صفحه گسیختگی

حل:

برای خاک رس عادی تحکیم یافته معادله پوش گسیختگی برای تنش موثر به صورت زیر است:

$$\tau_f = \sigma' \tan \phi$$



Jozvebama.ir

رشته مهندسی - دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

برای آزمایش سه محوری، تنش اصلی حداکثر و حداقل موثر به صورت زیر به دست می آید:

$$\sigma' = \sigma_1 = \sigma_3 + (\Delta\sigma_{\theta})_F = 276 + 276 = 552 \text{ kN/m}^2$$

9

$$\sigma'_3 = \sigma_3 = 276 \text{ kN/m}^2$$

با اطلاعات فوق می توان یک دایره رسم کرد (شکل ۸-۲۲)

قسمت (الف): دایره مور و پول گسیختگی برای تنش موثر، در شکل ۸-۲۸ نشان داده شده که از آن داریم:

$$\sin \varphi = \frac{AB}{OA} = \frac{\left(\frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{2}\right)}{\left(\frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2}\right)} = \frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{\sigma'_1 + \sigma'_3} = \frac{552 - 276}{552 + 276} = 0.333 \rightarrow \varphi = \sin^{-1}(0.333) = 19.45^\circ$$

قسمت (ب):

$$\theta = 45 + \frac{\varphi}{2} = 45^\circ + \frac{19.45^\circ}{2} = 54.73^\circ$$

قسمت پ: با توجه به روابط ۸-۶ و ۹-۶ می توان نوشت:

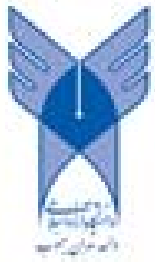
$$\sigma' = \text{روی صفحه گسیختگی} = \frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2} + \frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{2} \cos 2\theta$$

$$\tau_f = \frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{2} \sin 2\theta$$

با قراردادن $\theta = 54.73^\circ$ ، $\sigma'_3 = 276 \text{ kN/m}^2$ ، $\sigma'_1 = 552 \text{ kN/m}^2$ به دست می آید:

$$\sigma' = \frac{552 + 276}{2} + \frac{552 - 276}{2} \cos(2 \times 54.73) = 368.03 \text{ kN/m}^2$$

$$\tau_f = \frac{552 - 276}{2} \sin(2 \times 54.73) = 130.12 \text{ kN/m}^2$$



Jozvebama.ir

رشته مهندسی - دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

مثال:

برای آزمایش سه محوری شرح داده شده در مثال قبل مطلوب است:

الف: تعیین تنش قائم موثر در صفحه تنش برشی حداکثر

ب: توضیح دهید که چرا گسیختگی برشی در صفحه ای با امتداد $\theta = 54.73^\circ$ رخ می دهد نه در صفحه تنش برشی حداکثر

قسمت (الف): تنش برشی حداکثر در صفحه ای با امتداد $\theta = 45^\circ$ رخ می دهد.

با توجه به دایره مور داریم:

$$\sigma' = \frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2} \pm \frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{2} \cos 2\theta$$

با قرار دادن $\theta = 45^\circ$ در رابطه قبل:

$$\sigma' = \frac{552 + 276}{2} + \frac{552 - 276}{2} \cos 90 = 414 \text{ kN/m}^2$$

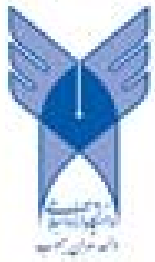
قسمت (ب): تنش برشی که می تواند باعث گسیختگی در صفحه ای با $\theta = 45^\circ$ شود، برابر است با:

$$\tau_f = \sigma' \tan \phi = 414 \tan(19.45) = 146.2 \text{ kN/m}^2$$

لیکن تنش برشی ایجاد شده در آن صفحه بابر است با:


$$\tau = \frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{2} \sin 2\theta = \frac{552 - 276}{2} \sin 90 = 138 \text{ kN/m}^2$$

از آنجایی که $\tau = 138 \text{ kN/m}^2 < 146.2 \text{ kN/m}^2 = \tau_f$ ، نمونه در امتداد صفحه تنش برشی حداکثر گسیخته نمی شود.



Jozvebama.ir

رشته مهندسی - دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

مثال: 

دو نمونه از یک خاک رس در دستگاه سه محوری تحت فشار محفظه ای 600 kN/m^2 پیش تحکیم یافته اند. با انجام آزمایش سه محوری تحکیم یافته زهکشی شده بر روی آنها، نتایج زیر بدست آمد:

نمونه ۱: $\sigma_3 = 100 \text{ kN/m}^2$
 $(\Delta\sigma_d)_f = 410.6 \text{ kN/m}^2$

نمونه ۲: $\sigma_3 = 50 \text{ kN/m}^2$
 $(\Delta\sigma_d)_f = 384.37 \text{ kN/m}^2$

مطلوب است تعیین پارامترهای مقاومت برشی برای خاک رس مورد آزمایش.
حل:

برای نمونه ۱، تنشهای اصلی در لحظه گسیختگی برابرند با:

$$\sigma'_3 = \sigma_3 = 100 \text{ kN/m}^2$$

و

$$\sigma'_1 = \sigma_1 = \sigma_3 + (\Delta\sigma_d)_f = 100 + 410.6 = 510.6 \text{ kN/m}^2$$

به طور مشابه، تنشهای اصلی در لحظه گسیختگی برای نمونه ۲ برابرند با:

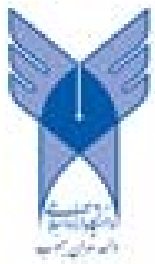
$$\sigma'_3 = \sigma_3 = 50 \text{ kN/m}^2$$

و

$$\sigma'_1 = \sigma_1 = \sigma_3 + (\Delta\sigma_d)_f = 50 + 384.376 = 434.37 \text{ kN/m}^2$$

هر دو نمونه پیش تحکیم یافته اند. بنابراین می توان نوشت:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 \tan^2 \left(45 + \frac{\phi_1}{2} \right) + 2c \tan \left(45 + \frac{\phi_1}{2} \right)$$



برای نمونه ۱ می توان نوشت:

$$510.6 = 100 \tan^2 \left(45 + \frac{\varphi_1}{2} \right) + 2c \tan \left(45 + \frac{\varphi_1}{2} \right)$$

و برای نمونه ۲:

$$434.37 = 50 \tan^2 \left(45 + \frac{\varphi_1}{2} \right) + 2c \tan \left(45 + \frac{\varphi_1}{2} \right)$$

با کم کردن دو رابطه فوق از یکدیگر، رابطه زیر به دست می آید:

$$76.23 = 50 \tan^2 \left(45 + \frac{\varphi_1}{2} \right) \rightarrow 45 + \frac{\varphi_1}{2} = \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{76.23}{50}} \right] = 51^\circ \rightarrow \varphi_1 = 12^\circ$$

با قرار دان $\varphi_1 = 12^\circ$ در رابطه A-۱۴-الف خواهیم داشت:

$$510.6 = 100 \tan^2 [45 + (12/2)] + 2c \tan [45 + (12/2)]$$

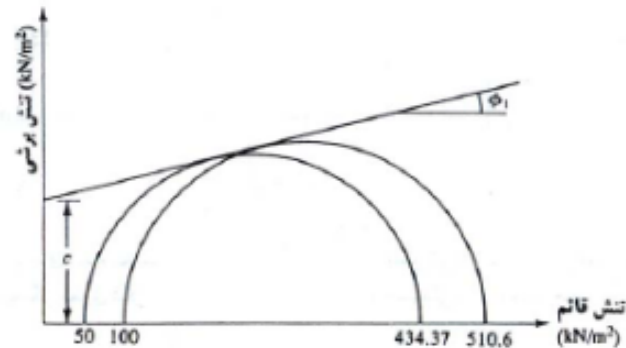
و

$$510.6 = 152.5 + 2.47c$$

یا

$$c = 145 \text{ kN/m}^2$$

به جای انجام محاسبات می توان به طریقه ترسیمی عمل کرده و پس از رسم دایره مور و پوش گسیختگی مطابق شکل زیر، مقادیر زاویه اصطکاک و چسبندگی را از روی آن خواند.



Jozvebama.ir

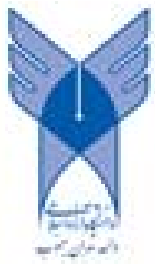
رشته مهندسی - دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

◀ آزمایش تحکیم یافته زهکشی نشده (CU)

آزمایش تحکیم یافته زهکشی نشده معمولترین نوع آزمایش سه محوری است. در این آزمایش نمونه خاک اشباع ابتدا توسط فشار محفظه ای همه جانبه σ_3 تحکیم می یابد (شیر زهکشی باز است). بعد از زایل شدن کامل اضافه فشار حفره ای ایجاد شده توسط فشار محفظه ای (یعنی $u_e = B\sigma_3 = 0$)، تنش انحرافی قائم $\Delta\sigma_h$ افزایش داده می شود تا جایی که باعث گسیختگی شود. در حین این مرحله از آزمایش، شیر زهکشی بسته است. از آنجایی که زهکشی اجازه داده نشده، فشار آب حفره ای، Δu_h افزایش خواهد یافت. در حین آزمایش، مقادیر $\Delta\sigma_h$ و Δu_h به طور همزمان قرائت می شوند. افزایش فشار حفره ای Δu_h ، در شکل بدون بعد، به صورت زیر نشان داده می شود:

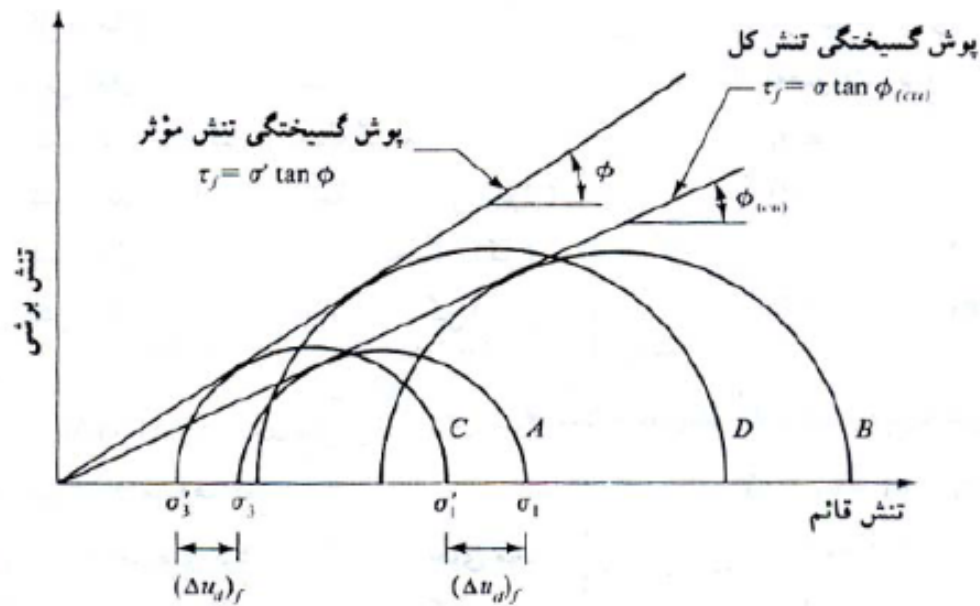
$$A = \frac{\Delta u_d}{\Delta \sigma_d} \quad (11-8)$$

که در آن A پارامتر فشار حفره ای اسکمپتون (۱۹۵۴) می باشد.

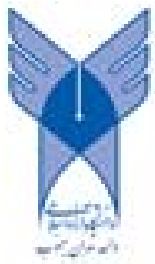


Jozvebama.ir

روش‌های نوین - دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب




شکل ۸-۲۴ پوش گسیختگی تنش مؤثر و تنش کل به دست آمده از آزمایش تحکیم سه محوری تحکیم یافته زهکشی نشده برای ماسه و رس عادی تحکیم یافته



Jozvebama.ir

رضا محمدی - دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

مثال: 

نمونه ای از ماسه اشباع تحت فشار محفظه ای 60kN/m^2 تحکیم یافت. پس از آن بدون اجازه زهکشی، تنش محوری افزایش داده شد. وقتی که تنش محوری به 50kN/m^2 رسید، نمونه گسیخته شد. فشار آب حفره ای در لحظه گسیختگی 41.35kN/m^2 بود. مطلوب است:

(الف) زاویه اصطکاک تحکیم یافته زهکشی نشده $\phi_{(cu)}$

(ب) زاویه اصطکاک زهکشی شده ϕ

حل:

قسمت الف: در لحظه گسیختگی داریم:

$$\sigma_3 = 60\text{kN/m}^2$$

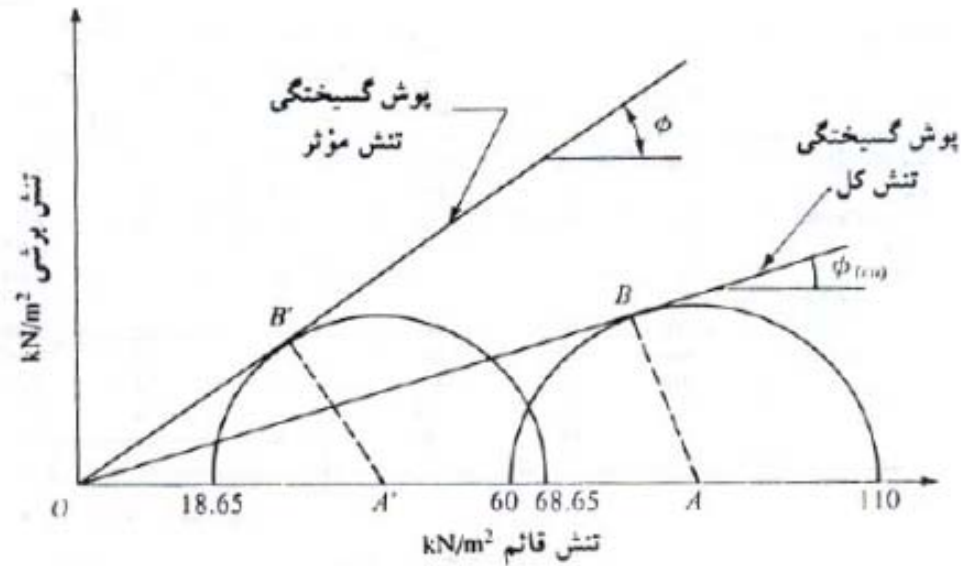
$$\sigma_1 = \sigma_3 + (\Delta\sigma_d)_f = 60 + 50 = 110\text{kN/m}^2$$

با استفاده از شکل زیر داریم:



Jozvebama.ir

روستا مهدی - دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

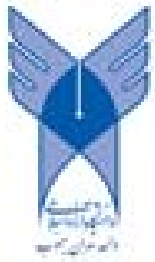


$$\sin \varphi_{(cu)} = \frac{AB}{OA} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_1 + \sigma_3} = \frac{110 - 60}{110 + 60} = \frac{50}{170} = 0.294 \rightarrow \varphi_{(cu)} = 17.1^\circ$$

$$\sigma'_3 = \sigma_3 - (\Delta u_d)_f = 60 - 41.35 = 18.65 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma'_1 = \sigma_1 - (\Delta u_d)_f = 110 - 41.35 = 68.65 \text{ kN/m}^2$$

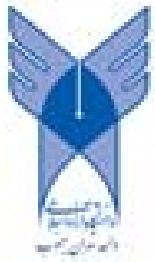
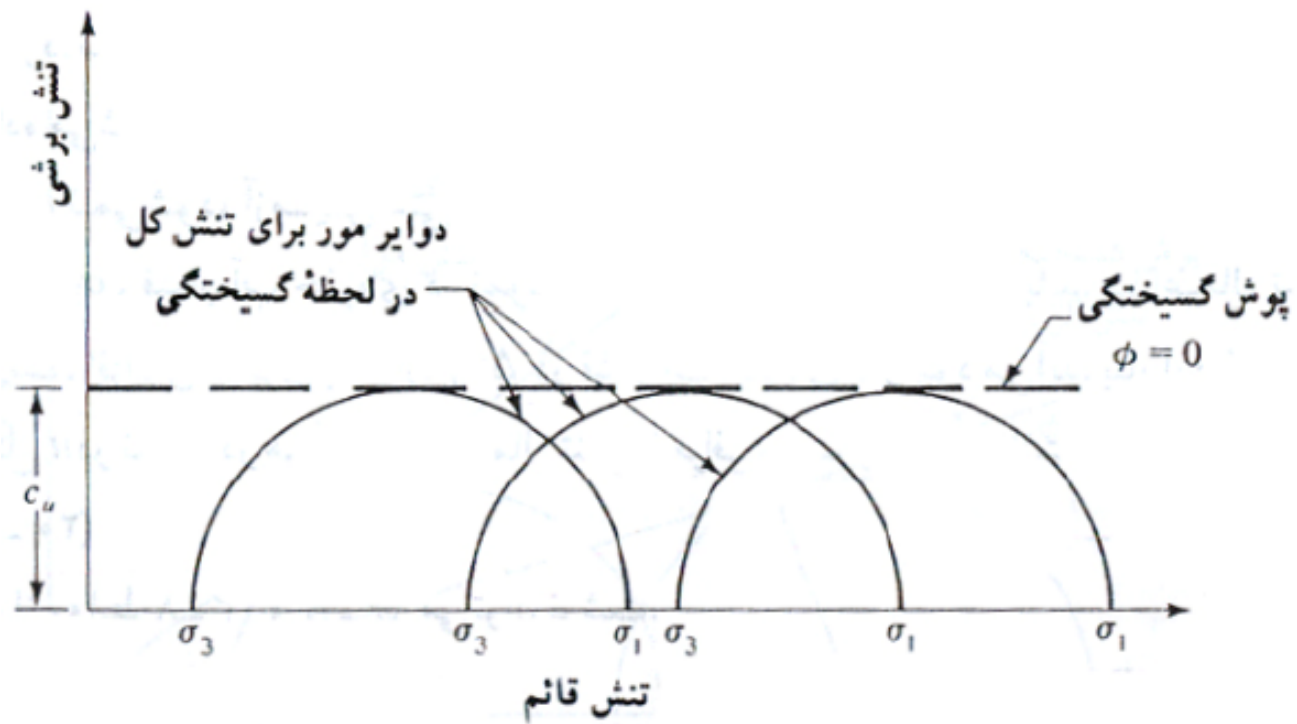
$$\sin \varphi = \frac{A'B'}{OA'} = \frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{\sigma'_1 + \sigma'_3} = \frac{68.65 - 18.65}{68.65 + 18.65} = \frac{50}{87.3} = 0.5727 \rightarrow \varphi = 34.94^\circ$$



Jozvebama.ir

دفتر مشاوره ای - دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

◀ آزمایش تحکیم نیافته زهکشی نشده (UU)



Jozvebama.ir

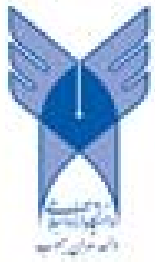
روستا مهدی - دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

۵-۸ | آزمایش فشاری محدود نشده برای رس اشباع

آزمایش فشاری محدود نشده یک نوع خاص آزمایش UU می باشد که معمولاً برای نمونه های رسی مورد استفاده قرار میگیرد. در این آزمایش، فشار محدود کننده σ_3 مساوی صفر است. بار محوری به سرعت به نمونه اعمال می شود تا گسیخته گردد. در لحظه گسیختگی، تنش اصلی حداقل کل مساوی صفر و تنش اصلی حداکثر کل مساوی σ_1 است که دایره مور نظیر آن مطابق شکل ۸-۲۸ می باشد. با توجه به این دایره مور می توان نوشت:

$$\tau_f = \frac{\sigma_1}{2} = \frac{q_u}{2} = c_u \quad (۸-۲۷)$$

q_u در رابطه فوق، مقاومت فشاری محدود نشده نامیده می شود. در جدول ۸-۲ سفتی تقریبی رسها بر پایه مقاومت فشاری محدود نشده آنها، ارائه و در شکل ۸-۲۹ نیز تصویری از دستگاه آزمایش فشاری محدود نشده نشان داده شده.

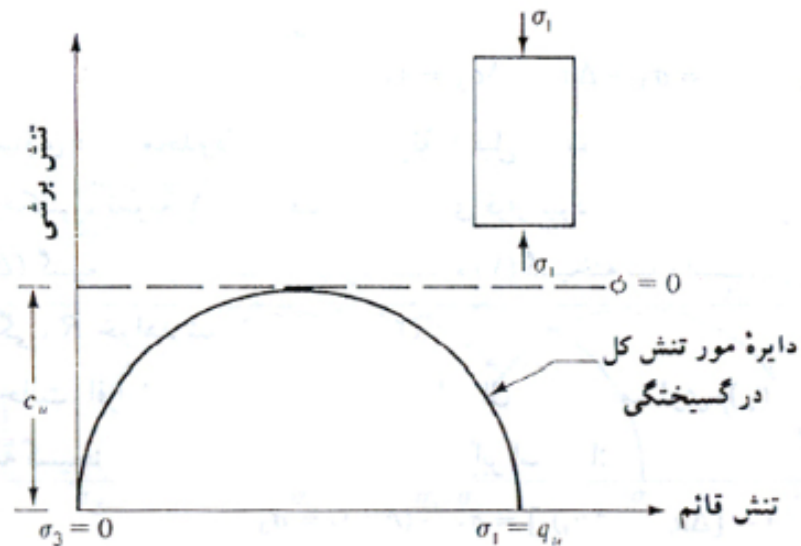


Jozvebama.ir

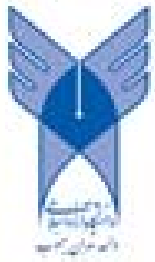
رشته مهندسی - دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

جدول ۸-۲ ارتباط بین سختی و مقاومت
فشاری محدود نشده

سختی	q_u kN/m ²	c_u kN/m ²
خیلی نرم	0-24	0-12
نرم	24-48	12-24
متوسط	48-96	24-48
سفت	96-192	48-96
خیلی سفت	192-383	96-190
سخت	>383	>190



شکل ۸-۲۸ آزمایش فشاری محدود نشده



Jozvebama.ir

رضا مهدی - دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب



(ب)



(الف)

شکل ۸-۲۹ (الف) دستگاه آزمایش فشاری محدود نشده (ب) نمونه پس از گسیختگی



Jozvebama.ir

رضا مهدی - دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

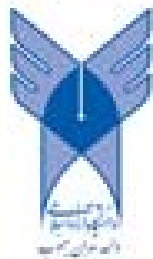
انواع آزمایشات سه محوری از نظر بارگذاری

- سه محوری فشاری

تنش شعاعی ثابت و تنش محوری افزایش می یابد. (حالت کلاسیک)
تنش محوری ثابت و تنش شعاعی کاهش می یابد.
تنش شعاعی کاهش و تنش محوری افزایش می یابد. (معمولا فشار متوسط ثابت است)

- سه محوری کششی

تنش شعاعی ثابت و تنش محوری کاهش می یابد.
تنش محوری ثابت و تنش شعاعی افزایش می یابد.
تنش شعاعی افزایش و تنش محوری کاهش می یابد. (معمولا فشار متوسط ثابت است)

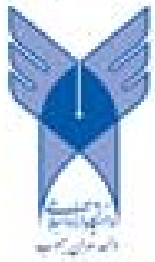
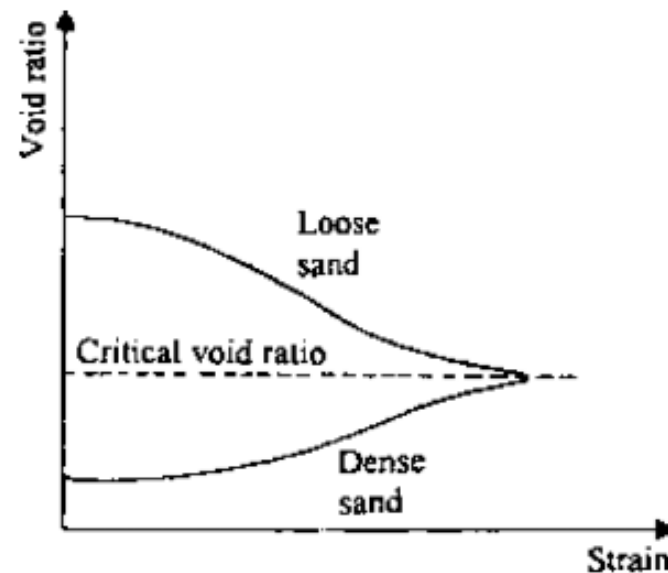


Jozvebama.ir

رشته مهندسی - دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

تخلخل بحرانی Critical void ratio

تخلخلی که به ازای آن دیگر تغییر حجمی در نمونه تحت برش دیده نمی شود تخلخل بحرانی نامیده می شود. یعنی نمونه های شل از یک خاک و نمونه های متراکم از همان خاک در انتهای آزمایش به یک تخلخل بحرانی می رسند. تخلخل بحرانی تابع تنش همه جانبه است. روانگرایی خاکهای ماسه ای سست را حین زلزله می توان با این مفهوم توضیح داد.



Jozvebama.ir

رضا مهدی - دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب