

فصل سوم :

رفتار تغییر شکلی خاکها

۱- افزایش فشار آب حفره ای در شرایط بارگذاری زهکشی نشده:

در این حالت مقدار باری که خاک و آب تحمل میکنند به تراکم پذیری آنها بستگی دارد.

$$c = -\frac{\Delta V}{V} * \frac{1}{\Delta \sigma'}$$

$$C_w = -\frac{\Delta V}{V} * \frac{1}{\Delta u}$$

- c: تراکم پذیری اسکلت خاک
- C_w: تراکم پذیری آب

V : حجم کل توده خاک

nV : حجم آب حفره ای

n : درصد پوکی

کاهش حجم در حجم خاک $\Delta V = C.V.\Delta\sigma$ 1

کاهش حجم در حجم آب $\Delta V = C_w.nV.\Delta u$ 2

- در حالت زهکشی نشده کاهش حجم توده خاک و آب برابر است، کاهش حجم خاک در واقع کاهش حفرات و تخلخل خاک است که سبب همان کاهش در حجم آب حفره ای میباشد. (اشباع است)

تساوی فرمول ۱ و ۲ $\Rightarrow \Delta\sigma' = \frac{C_w}{C} * n * \Delta u \xrightarrow{\Delta\sigma' = \Delta\sigma - \Delta u} \Delta u = B. \Delta\sigma$

ضریب فشار آب حفره ای $B = \frac{1}{1 + n(\frac{C_w}{C})}$

خاک اشباع باشد $B \sim 1$ خواهد بود، یعنی در لحظه اول تمام فشار اضافی به فشار آب تبدیل میشود، زیرا :

$$\frac{C_w}{C} \sim 10^{-5} \text{ تا } 10^{-3} \quad \rightarrow \quad n\left(\frac{C_w}{C}\right) \sim 0$$

-نکته : B مجانب ۱ میشود و هرگز برابر ۱ نمیشود ولی در خاک اشباع میتوان با تقریب ۱ در نظر گرفت.

برخی فرضها در حالت اشباع بودن خاک :

۱- الاستیک بودن تغییر شکل

۲- همسان بودن خاک

المان خاک اشباع و همسان در شرایط زهکشی نشده تحت سیستم تنش کلی:

$$\Delta\sigma'_1 = \Delta\sigma_1 - \Delta u$$

$$\Delta\sigma'_2 = \Delta\sigma_2 - \Delta u$$

$$\Delta\sigma'_3 = \Delta\sigma_3 - \Delta u$$

فرض:

ε_1 ، ε_2 و ε_3 : کرنشهای المان الاستیک خاک

E: مدول الاستیسیته

طبق رابطه هوک خواهیم داشت:

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{E} [\Delta\sigma'_1 - \nu(\Delta\sigma'_2 + \Delta\sigma'_3)]$$

$$\varepsilon_2 = \frac{1}{E} [\Delta\sigma'_2 - \nu(\Delta\sigma'_1 + \Delta\sigma'_3)]$$

$$\varepsilon_3 = \frac{1}{E} [\Delta\sigma'_3 - \nu(\Delta\sigma'_1 + \Delta\sigma'_2)]$$

$$\text{کرنش حجمی} = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 = -\frac{\Delta V}{V} = \frac{1}{E}(1 - 2\nu)[\Delta\sigma'_1 + \Delta\sigma'_2 + \Delta\sigma'_3]$$



$$-\frac{\Delta V}{V} = \frac{3(1 - 2\nu)}{E} \left[\underbrace{\frac{\Delta\sigma'_1 + \Delta\sigma'_2 + \Delta\sigma'_3}{3}} \right]$$

تنش موثر نرمال میانگین

طبق رابطه ۱



$$C = \frac{3(1 - 2\nu)}{E}$$

$$-\frac{\Delta V}{V} = C \left[\frac{\Delta\sigma'_1 + \Delta\sigma'_2 + \Delta\sigma'_3}{3} \right]$$

۵

$$\Delta\sigma'_1 + \Delta\sigma'_2 + \Delta\sigma'_3 = [\Delta\sigma_1 + \Delta\sigma_2 + \Delta\sigma_3 - 3\Delta u]$$

۶

با جایگذاری ۵ و ۶:

$$-\frac{\Delta V}{V} = \frac{C}{3} [\Delta\sigma_1 + \Delta\sigma_2 + \Delta\sigma_3 - 3\Delta u]$$

همچنین در حالت زهکشی نشده خواهیم داشت:

$$n.V.C_w.\Delta u = \frac{C}{3} V[\Delta\sigma_1 + \Delta\sigma_2 + \Delta\sigma_3 - 3\Delta u]$$



$$\Delta u = \frac{1}{1 + n\frac{C_w}{C}} \cdot \frac{1}{3} [\Delta\sigma_1 + \Delta\sigma_2 + \Delta\sigma_3]$$



$$\Delta u = B \cdot \frac{1}{3} [\Delta\sigma_1 + \Delta\sigma_2 + \Delta\sigma_3]$$

- تذکر:

رابطه فوق برای شرایط کاملاً الاستیک میباشد.

اگر شرایط الاستوپلاستیک، از فرمول هنکل استفاده میشود.

نکته:

الاستیک به معنی صفر شدن تغییر شکلها پس از بار بردار نیست، خواه رفتار **خطی** باشد خواه **غیر خطی**.

در یک ذره خاک تحت فشار به علت ترکهای بسیار ریز مقداری تغییر شکل ایجاد میشود که تا حد زیادی الاستیک است.

در مجموعه ای ذرات خاک تحت فشار علاوه بر تغییر شکل فوق به علت فرو رفتن ذرات در حفرات کاهش تخلخل ایجاد میشود که معمولاً تغییر شکل پلاستیک است.



رفتار خاک الاستوپلاستیک

حالت خاص برای تعیین فشار آب حفره ای (آزمایش ۳ محوری) :

$$\Delta\sigma_3 = \Delta\sigma_2 \Rightarrow \Delta u = B \cdot \frac{1}{3} [\Delta\sigma_1 + 2\Delta\sigma_3]$$

یا

$$\Delta u = B \left[\Delta\sigma_3 + \frac{1}{3} (\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3) \right]$$

۱- فشار همه جانبه

۲- تغییر برش

- فرمول فوق مبین وابستگی فشار آب حفره ای به :

فرمول کلی تر اسکمپتون :

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

A و B : ضرایب فشار آب حفره ای اسکمپتون

- در شرایط سه محوری و فقط در خاکهای الاستیک $A = \frac{1}{3}$ ←

A - تابع:

۱- جنس خاک

۲- سطح تنش

۳- تاریخچه تنش در خاک

۴- مسیر تنش

B مستقل از تغییر شکل الاستیک یا پلاستیک میباشد زیرا ← خاک اشباع وزهکشی نشده و اجازه تغییر شکل ندارد

- پارامتر B با افزایش پیش تحکیمی و در ماسه ها با افزایش دانسیته، تا حدی کاهش می یابد.

$$OCR = \frac{\text{فشار پیش تحکیم}}{\text{فشار موجود}}$$

A

$\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{(\sigma_1 - \sigma_3)f}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	1
N_c	0.75	0.87	0.92
OCR=4	0.27	0.18	-0.03
OCR=8	0.18	0.08	-0.25

آقایان لی و بلاک :

با کاهش اندکی در درجه اشباع ← کاهش شدید و ناگهانی پارامتر B

آقایان لی و بلاک :

با کاهش اندکی در درجه اشباع ← کاهش شدید و ناگهانی پارامتر B

Sr	Stiff	Very stiff
100%	0.98	0.91
99%	0.69	0.2

بارگذاری در شرایط کرنش مسطح (plain strain) :

تنش مسطح: یک بعد نسبت به دو بعد دیگر خیلی **کوچکتر** باشد.

کرنش مسطح: یک بعد نسبت به دو بعد دیگر خیلی **بزرگتر** باشد.

مثال برای کرنش مسطح:

-سد خاکی در یک دره پهن (طول زیاد)

-تونل

نکته: اگر پروفیل خاک بالای تونل دارای تغییرات یا سطح مقطع تغییر کند، از شرایط کرنش مسطح خارج میشود.

خصوصیات بارگذاری کرنش مسطح:
-کرنش در یک جهت صفر است.

مثلا: $\varepsilon_2=0$

$$\Delta\sigma'_2 = \nu(\Delta\sigma'_1 + \Delta\sigma'_3)$$



$$-\frac{\Delta V}{V} = \frac{(1 + \nu)(1 - 2\nu)}{E} [\Delta\sigma_1 + \Delta\sigma'_3 - 2\Delta u]$$

۱

$$n \cdot V \cdot C_w \cdot \Delta u = -\frac{\Delta V}{V}$$

۲

از او ۲: $\Delta u = B[\Delta\sigma_3 + \frac{1}{2}(\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3)]$

۳

$$B = \frac{1}{1 + n\left(\frac{C_W}{C_P}\right)}$$

$$C_P = \frac{2(1 - 2\nu)(1 + \mu)}{E}$$

- مقایسه رابطه ۳ و اسکمپتون ← در شرایط کرنش مسطح $A = \frac{1}{2}$

- بررسی شرایط آزمایش ۳ محوری و شرایط بارگذاری کرنش مسطح میتوان فهمید : پارامتر **A** وابسته به اثر مسیر تنش میباشد.

- رابطه کلی هنکل در زمان مستقل بودن $\Delta\sigma_1$ و $\Delta\sigma_2$ و $\Delta\sigma_3$:

$$\Delta u = \frac{\Delta\sigma_1 + \Delta\sigma_2 + \Delta\sigma_3}{3} + \alpha \sqrt{(\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_2)^2 + (\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3)^2 + (\Delta\sigma_2 - \Delta\sigma_3)^2}$$

۲- رفتار تغییر شکل پذیری خاکها در حالت زهکشی شده :

- برای بررسی رفتار تغییرشکلی خاکها در شرایط زهکشی شده از **آزمایش تحکیم** استفاده میشود، که در آن تغییر شکل **یک بعدی** و تغییر شکل **جانبی محدود** است (وجود ندارد).

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_3 = 0 \quad \sigma_2 = \sigma_3$$

$$\varepsilon_2 = \frac{1}{E} [\Delta\sigma_2 - \nu(\Delta\sigma_1 + \Delta\sigma_3)]$$

$$\varepsilon_3 = \frac{1}{E} [\Delta\sigma_3 - \nu(\Delta\sigma_1 + \Delta\sigma_2)]$$




$$\frac{\Delta\sigma'_3}{\Delta\sigma'_1} = \frac{\nu}{1 - \nu} = K_0$$

K_0 : ضریب فشار جانبی در حالت سکون خاک الاستیک

- برای مصالح تراکم ناپذیر مثل آب $\vartheta = 0.5$ \leftarrow $K_0 = 1$ \leftarrow

$$\tan \alpha = K_0 = \frac{\vartheta}{1 - \vartheta}$$

- با توجه به شکل فوق در مصالح الاستیک تغییرات تنش جانبی به تنش قائم همواره یکسان است (نمودار خطی).

- خاک الاستوپلاستیک  $K_0 = f(\phi')$ (و تاریخچه تنش)

$$K_p = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi}$$

- با توجه به شکل فوق هنگام باربرداری σ_v خیلی بیشتر از σ_h کاهش می یابد.

- σ_h و σ_v الزاما خطی نیست و به تاریخچه تنش و مسیر تنش مرتبط است.

مصالح	K_0
خاک رس	۰.۷
ماسه سست	۰.۴۶
ماسه متراکم	۰.۳۷
شکر	۰.۵

روابط تجربی برای تعیین مقدار K_0 :

$$K_0 = 1 - \sin \phi \quad \text{خاک عادی تحکیم یافته}$$

$$K_{0-OC} = K_{0-NC} * (OCR)^h \quad \text{خاک پیش تحکیم یافته}$$

$$h = 0.4 - 0.5$$

$$K_0 = 0.95 - \sin \phi' \quad \text{خاک رس}$$

نکات:

- مقدار h گاهها به ۰.۶ هم میرسد.

- K_0 به رسوب گذاری نیز حساس است.

$$K_0 = f(OCR \text{ و } \phi' \text{ و } PI)$$





- اندازه گیری تغییر حجم در دستگاه ادنومتر:

$$-\frac{\Delta V}{V} = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 = \frac{C}{3} [\Delta\sigma'_1 + \Delta\sigma'_2 + \Delta\sigma'_3]$$

$$C = \frac{3(1 - 2\nu)}{E}$$

پایان