به نام آنکه جان را فکرت آموخت

دانشگاه مازندران
دانشکده فنی و مهندسی- گروه عمران-گرایش مکانیک خاک وپی

موضوع درس:

مکانیک خاک(Soil Mechanics)

مدرس: علی عسگری (Ali Asgari)

نیمسال اول تحصیلی ۹۶-۹۵

پایداری شیروانی های خاکی

مقدمه

اگر سطح زمین با راستای افق زاویه ای غیر از صفر بسازد، به این سطح شیبدار، شیروانی خاکی می گویند.

برخی از عوامل گسیختگی

۱- فرسایش ۲- بارندگی ۳ - زمین لرزه ۴- جنبه های زمین شناسی

۵- بارگذاری خارجی ۶- عملیات اجرایی ۷- تخلیه سریع آب

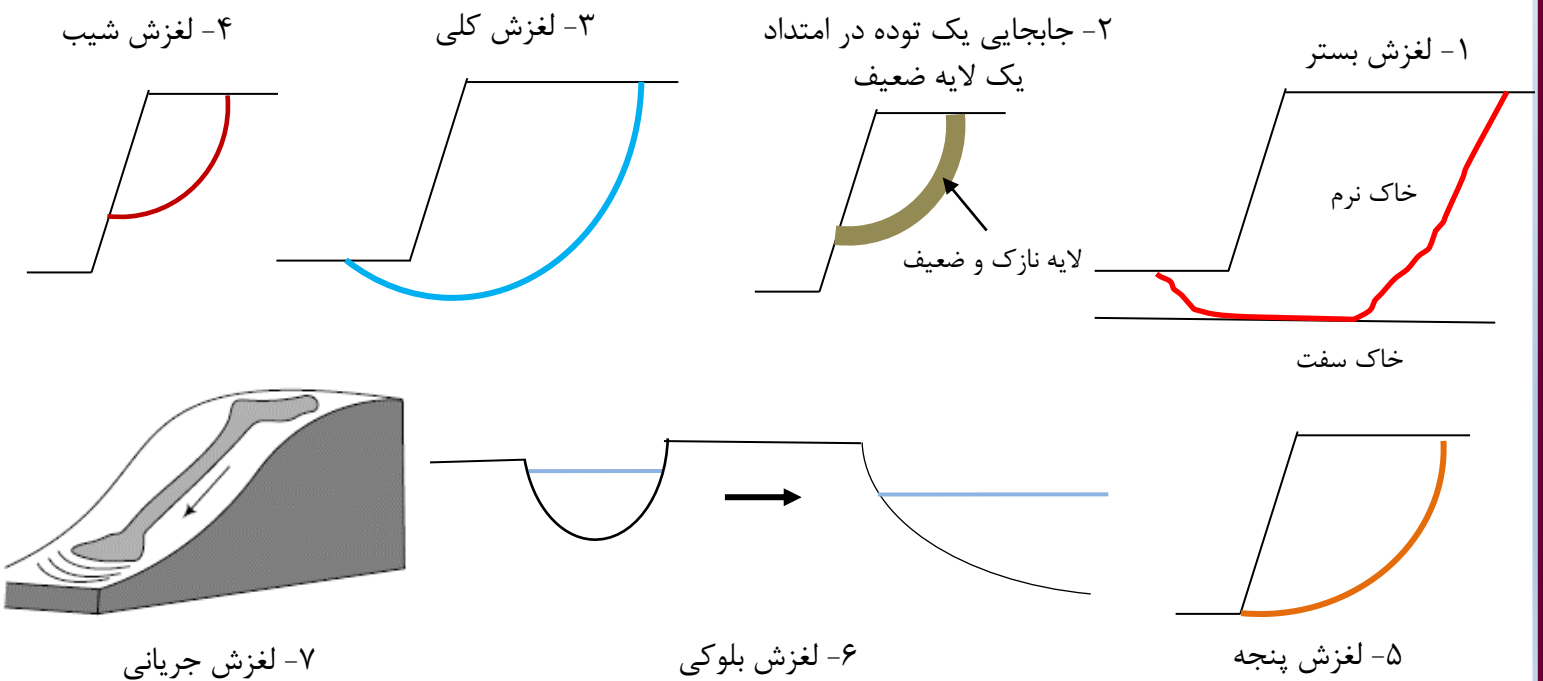
کلیات، ترکیب...
تراکم خاک
تنش موثر و نشت
تنش در توده خاک
نشست خاک
مقاومت برشی خاک
پایداری شیروانی
فشار جانبی خاک

پایداری شیروانی های خاکی

انواع حالت های گسیختگی شیروانی ها

۱- لغزش بستر ۲- جابجایی یک توده در امتداد یک لایه ضعیف ۳ – لغزش کلی ۴- لغزش شیب

۵- لغزش پنجه ۶- لغزش بلوکی ۷- لغزش جریانی



کلیات، ترکیب...
تراکم خاک
تنش موثر و نشت
تنش در توده خاک
نشست خاک
مقاومت برشی خاک
پایداری شیروانی
فشار جانبی خاک

پایداری شیروانی های خاکی

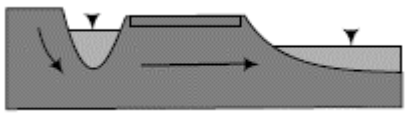
حالت های دیگر گسیختگی شیروانی ها

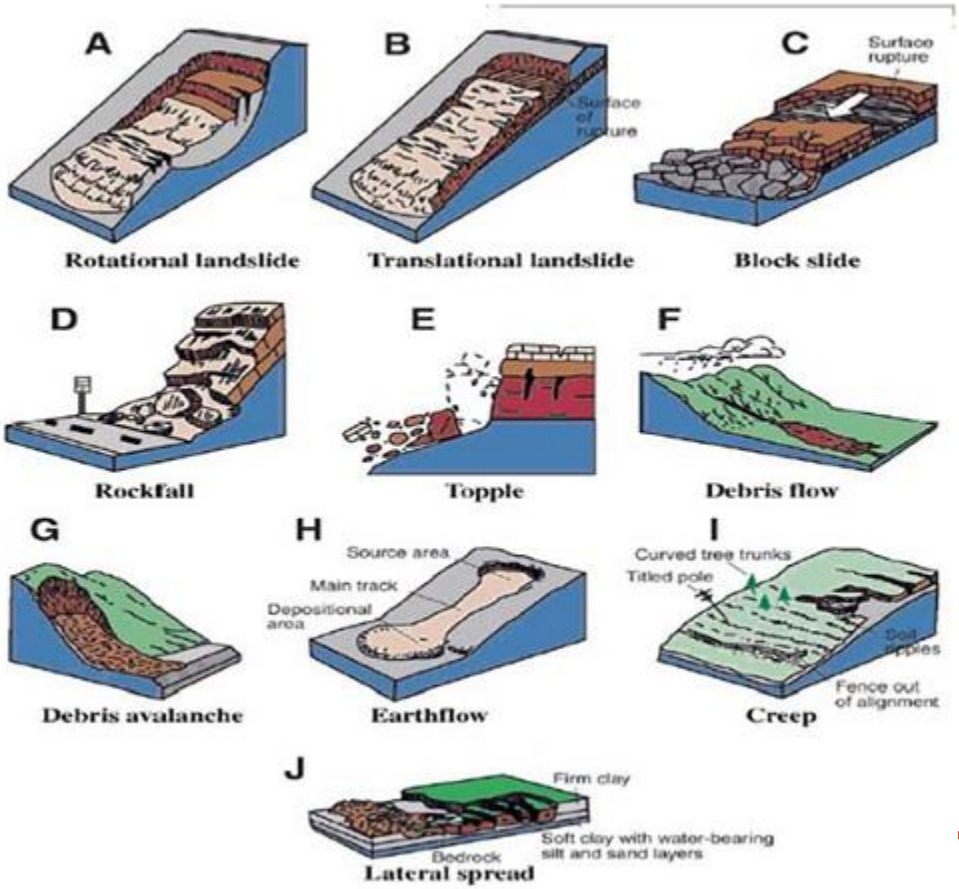
۱- لغزش دورانی(rotational landslide)

۲- لغزش انتقالی(translational landslide)

۳ – لغزش واژگونی(topple)

۴- لغزش سقوطی(rock fall)





کلیات، ترکیب...

تراکم خاک

تنش موثر و نشت

تنش در توده خاک

نشست خاک

مقاومت برشی خاک

پایداری شیروانی

فشار جانبی خاک

پایداری شیروانی های خاکی

تحلیل دو بعدی پایداری شیروانی ها

الف- شیب های نامحدود ب- شیب های محدود

برای تحلیل پایداری شیب ها، معمولا ابتدا ضریب اطمینان را تعیین می کنند. اگر ضریب اطمینان بزرگتر یا برابر با ۱.۵ باشد شیب خاکی در مقابل لغزش پایدار است.

انواع روابط ضریب اطمینان:

$$F.S = \frac{\sum F_R}{\sum F_d} = \frac{\text{مجموع نیروهای مقاوم}}{\text{مجموع نیروهای محرک}} \geq 1.5$$

$$F.S = \frac{\sum \tau_R}{\sum \tau_d} = \frac{\text{مجموع تنش های مقاوم}}{\text{مجموع تنش های محرک}} \geq 1.5$$

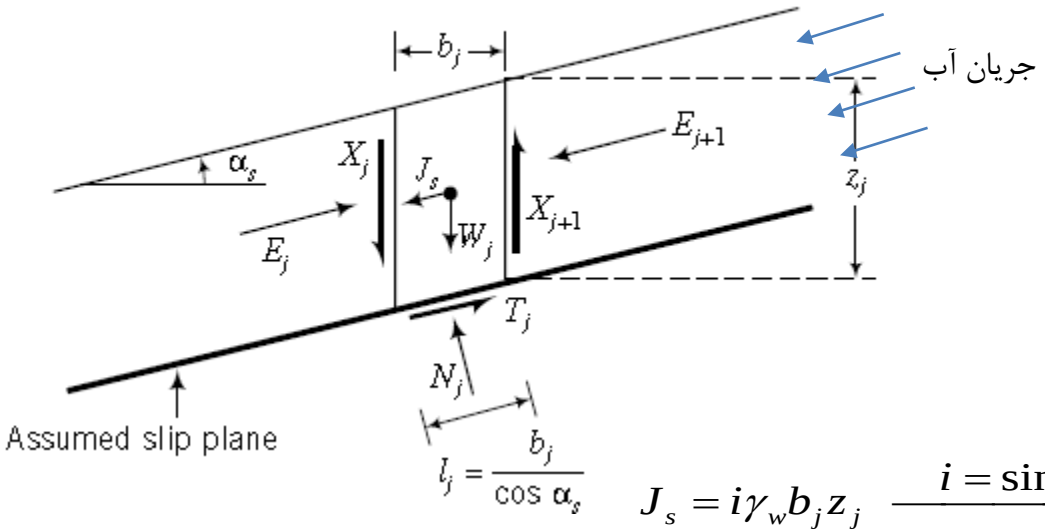
$$F.S = \frac{\sum M_R}{\sum M_o} = \frac{\text{مجموع لنگرهای مقاوم}}{\text{مجموع لنگرهای محرک}} \geq 1.5$$

کلیات، ترکیب...
تراکم خاک
تنش موثر و نشت
تنش در توده خاک
نشست خاک
مقاومت برشی خاک
پایداری شیروانی
فشار جانبی خاک

پایداری شیروانی های خاکی

الف) تحلیل دو بعدی شیب نامحدود

در این شیب فرض می شود که صفحه لغزش برابر با زاویه شیب است.



J_s :تنش ناشی از تراوش

T_j :تنش مقاوم

N_j :نیروی عمود بر سطح

W_j : وزن خاک

i : شیب آبی یا گرادیان هیدرولیکی

$$J_s = i\gamma_w b_j z_j \xrightarrow{i=\sin\alpha_s} J_s = \gamma_w b_j z_j \sin\alpha_s$$

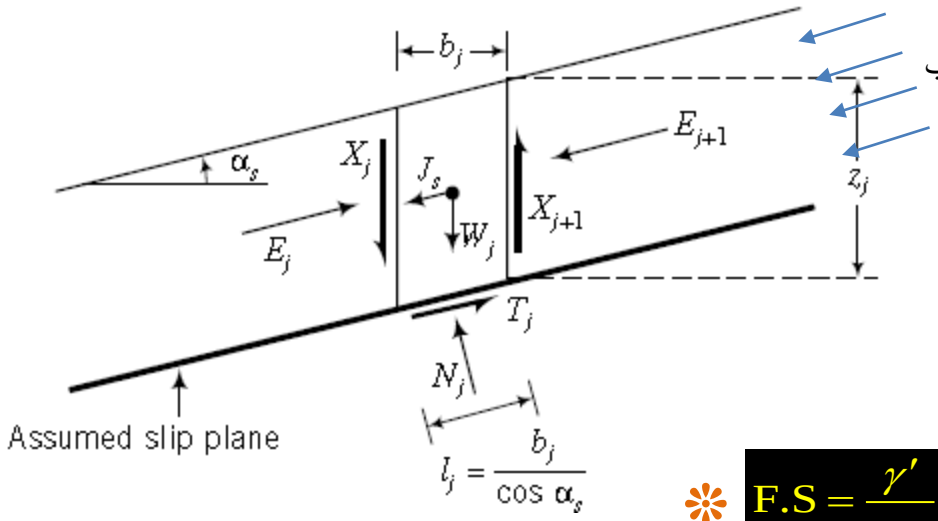
$$F_d = J_s + W_j' \sin\alpha_s = \gamma_w b_j z_j \sin\alpha_s + \gamma' b_j z_j \sin\alpha_s = \gamma_{sat} b_j z_j \sin\alpha_s$$

$$F_R = N_j \tan\varphi' + c' l_j = W_j' \cos\alpha_s \tan\varphi' + c' b_j / \cos\alpha_s = \gamma' b_j z_j \cos\alpha_s \tan\varphi' + c' b_j / \cos\alpha_s$$

$$\text{F.S} = \frac{F_R}{F_d} = \frac{\gamma' b_j z_j \cos\alpha_s \tan\varphi' + c' b_j / \cos\alpha_s}{\gamma_{sat} b_j z_j \sin\alpha_s} = \frac{\gamma'}{\gamma_{sat}} \frac{\tan\varphi'}{\tan\alpha_s} + \frac{c'}{\gamma_{sat} z_j \cos\alpha_s \sin\alpha_s}$$

پایداری شیروانی های خاکی

الف) تحلیل دو بعدی شیب نامحدود



γ_{sat}:وزن مخصوص اشباع خاک

c' :چسبندگی خاک

φ' :زاویه اصطکاک داخلی خاک

γ' : وزن مخصوص موثر خاک

α_s : شیب زمین

$$F.S = \frac{\gamma'}{\gamma_{sat}} \frac{\tan \varphi'}{\tan \alpha_s} + \frac{c'}{\gamma_{sat} z_j \cos \alpha_s \sin \alpha_s}$$

$$\text{if} \quad c' = 0 \quad \Rightarrow \quad F.S = \frac{\gamma'}{\gamma_{sat}} \frac{\tan \varphi'}{\tan \alpha_s}$$

در حالت تعادل حدی F.S=1، $\tan \alpha_s = \tan \varphi' (\gamma'/\gamma_{sat})$ می باشد و از طرفی γ'/γ_{sat} برای اکثر خاک ها برابر با ۰.۵ است، بنابراین می توان نوشت:

$$\tan \alpha_s = 0.5 \tan \varphi'$$

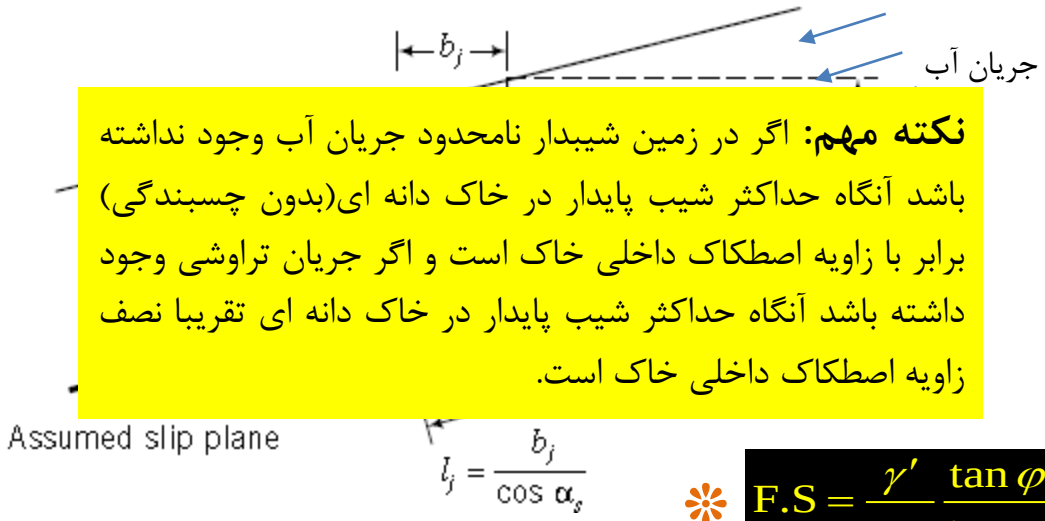
در حالت تعادل حدی F.S=1، اگر ضریب چسبندگی برابر با صفر باشد و در خاک هیچ جریانی هم تراوش نکند آنگاه:

$$\text{if} \quad c' = 0 \quad \Rightarrow \quad F.S = \frac{\tan \varphi'}{\tan \alpha_s} = 1, \qquad \tan \alpha_s = \tan \varphi'$$

کلیات، ترکیب...
تراکم خاک
تنش موثر و نشت
تنش در توده خاک
نشست خاک
مقاومت برشی خاک
پایداری شیروانی
فشار جانبی خاک

پایداری شیروانی های خاکی

الف) تحلیل دو بعدی شیب نامحدود



γ_{sat}:وزن مخصوص اشباع خاک

c' :چسبندگی خاک

φ' :زاویه اصطکاک داخلی خاک

γ' : وزن مخصوص موثر خاک

α_s : شیب زمین

نکته مهم: اگر در زمین شیبدار نامحدود جریان آب وجود نداشته باشد آنگاه حداکثر شیب پایدار در خاک دانه ای(بدون چسبندگی) برابر با زاویه اصطکاک داخلی خاک است و اگر جریان تراوشی وجود داشته باشد آنگاه حداکثر شیب پایدار در خاک دانه ای تقریبا نصف زاویه اصطکاک داخلی خاک است.

$$F.S = \frac{\gamma'}{\gamma_{sat}} \frac{\tan \varphi'}{\tan \alpha_s} + \frac{c'}{\gamma_{sat} z_j \cos \alpha_s \sin \alpha_s}$$

$$\text{if} \quad c' = 0 \quad \Rightarrow \quad F.S = \frac{\gamma'}{\gamma_{sat}} \frac{\tan \varphi'}{\tan \alpha_s}$$

در حالت تعادل حدی F.S=1، $\tan \alpha_s = \tan \varphi' (\gamma'/\gamma_{sat})$ می باشد و از طرفی γ'/γ_{sat} برای اکثر خاک ها برابر با ۰.۵ است، بنابراین می توان نوشت:

$$\tan \alpha_s = 0.5 \tan \varphi'$$

در حالت تعادل حدی F.S=1، اگر ضریب چسبندگی برابر با صفر باشد و در خاک هیچ جریانی هم تراوش نکند آنگاه:

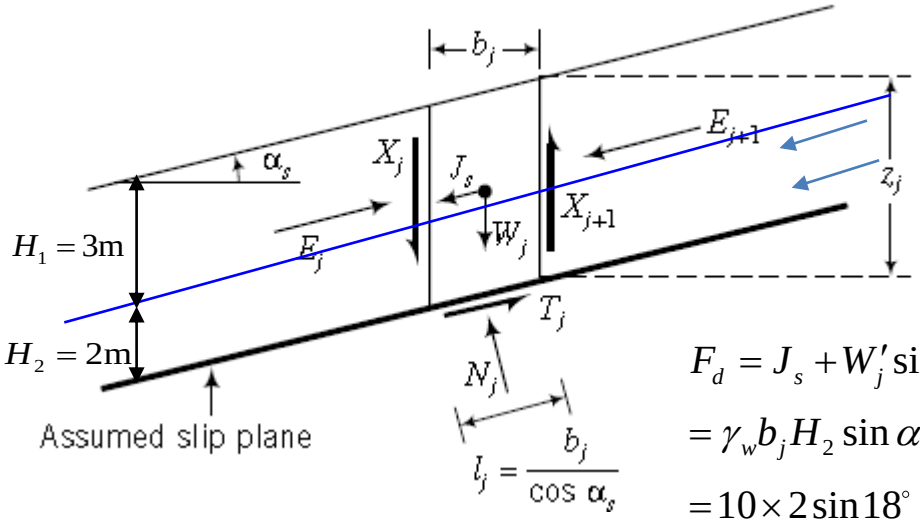
$$\text{if} \quad c' = 0 \quad \Rightarrow \quad F.S = \frac{\tan \varphi'}{\tan \alpha_s} = 1, \qquad \tan \alpha_s = \tan \varphi'$$

پایداری شیروانی های خاکی

الف) تحلیل دو بعدی شیب نامحدود

$\gamma = 18\,\mathrm{kN/m^3}$, $\gamma_{sat} = 20\,\mathrm{kN/m^3}$,
$c' = 12\,\mathrm{kN/m^2}$, $\alpha_s = 18^\circ$, $\varphi' = 22^\circ$

مثال: ضریب اطمینان را برای شیب زیر محاسبه کنید؟



جریان آب

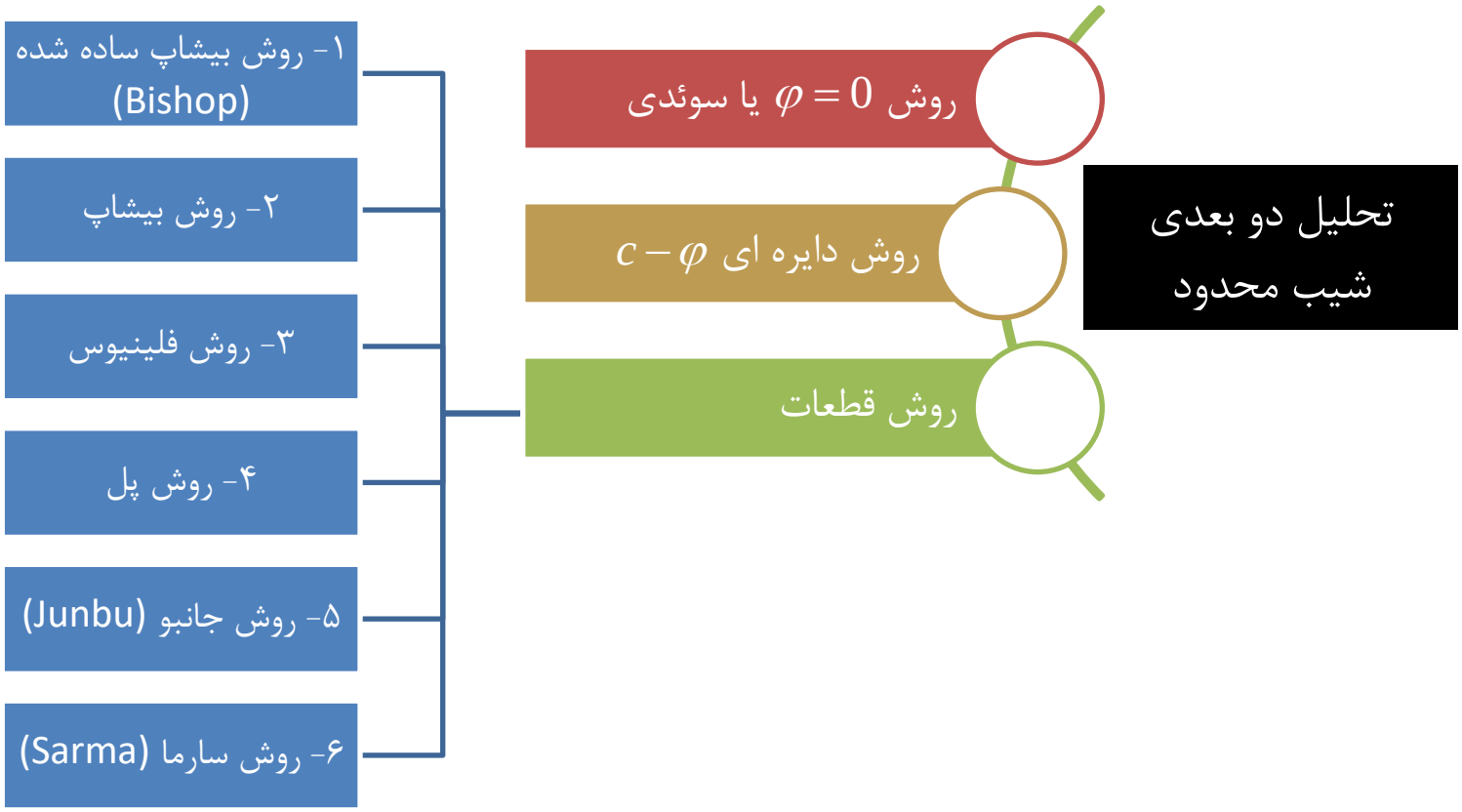
$$F_d = J_s + W_j' \sin\alpha_s$$
$$= \gamma_w b_j H_2 \sin\alpha_s + \left\{\gamma H_1 + \left(\gamma_{sat} - \gamma_w\right) H_2\right\} b_j \sin\alpha_s$$
$$= 10\times 2\sin 18^\circ + \left\{18\times 3 + \left(20-10\right)\times 2\right\}\sin 18^\circ = 29.05$$

$$F_R = \left\{\gamma H_1 + \left(\gamma_{sat} - \gamma_w\right) H_2\right\} b_j \cos\alpha_s \tan\varphi' + c' b_j / \cos\alpha_s$$
$$= \left\{18\times 3 + \left(20-10\right)\times 2\right\}\cos 18^\circ \tan 22^\circ + 12/\cos 18^\circ = 41.05$$

$$\mathrm{F.S} = \frac{F_R}{F_d} = \frac{41.05}{29.05} = 1.41 < 1.5 \times$$

کلیات، ترکیب...
تراکم خاک
تنش موثر و نشت
تنش در توده خاک
نشست خاک
مقاومت برشی خاک
پایداری شیروانی
فشار جانبی خاک

پایداری شیروانی های خاکی



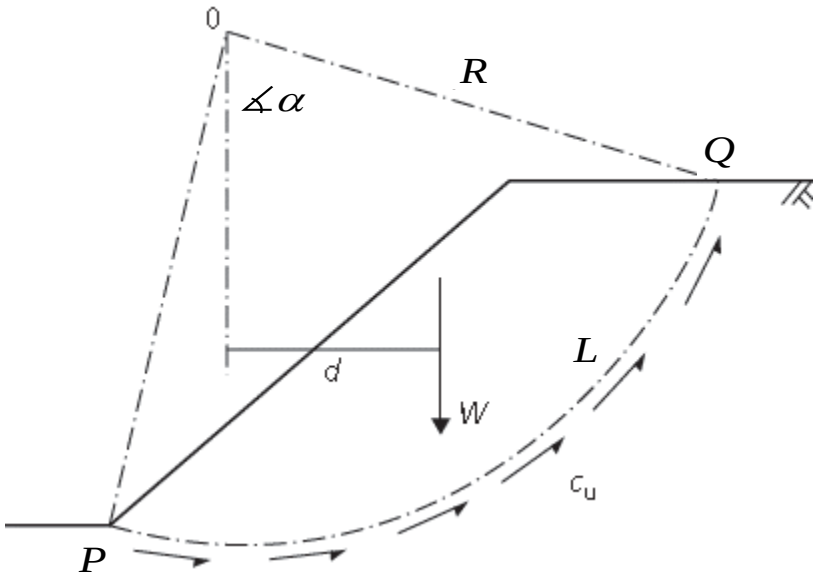
پایداری شیروانی های خاکی

روش $\varphi = 0$ یا سوئدی

برای تحلیل پایداری کوتاه مدت شیروانی هاست.

چون زاویه اصطکاک در این نوع روش صفر است پس مقاومت برشی زهکشی نشده برابر است با: $S_u = c_u$

$$\text{F.S} = \frac{\sum M_R}{\sum M_o} = \frac{\text{مجموع لنگرهای مقاوم}}{\text{مجموع لنگرهای محرک}} \geq 1.5$$



$$\text{F.S} = \frac{cL}{Wd} = \frac{cR^2\alpha}{\gamma Ad} \geq 1.5$$

L, R : شعاع و طول کمان گسیختگی

c :چسبندگی خاک در حالت زهکشی نشده

A : سطح مقطع محدود شده با صفحه گسیختگی

γ : وزن مخصوص خاک

α : زاویه POQ

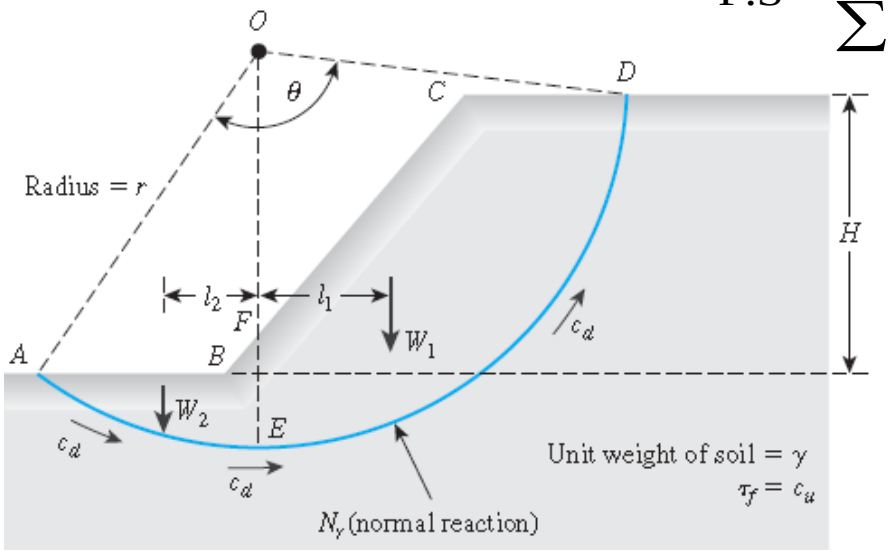
کلیات، ترکیب...
تراکم خاک
تنش موثر و نشت
تنش در توده خاک
نشست خاک
مقاومت برشی خاک
پایداری شیروانی
فشار جانبی خاک

پایداری شیروانی های خاکی

روش $\varphi = 0$ یا سوئدی

برای تحلیل پایداری کوتاه مدت شیروانی هاست.

$$F.S = \frac{\sum M_R}{\sum M_d} = \frac{\text{مجموع لنگرهای مقاوم}}{\text{مجموع لنگرهای محرک}} \geq 1.5$$



$$M_d = W_1 l_1 - W_2 l_2$$

$$M_R = c_d \, AEDr = c_d r^2 \theta$$

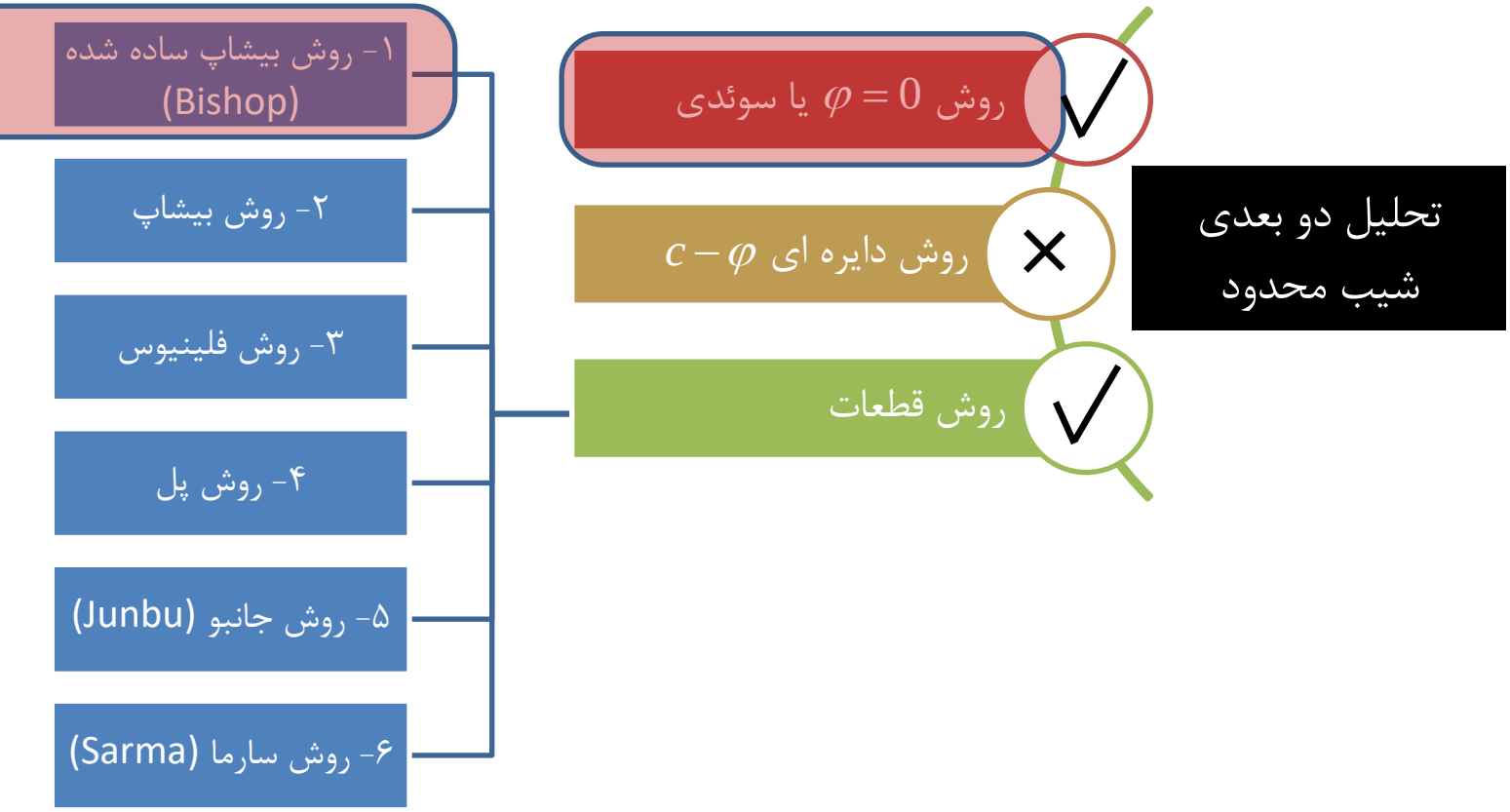
$$F.S = \frac{c_d r^2 \theta}{W_1 l_1 - W_2 l_2} \geq 1.5$$

$$W_1 = (\text{Area of } FCDEF) \times \gamma$$

$$W_2 = (\text{Area of } ABFEA) \times \gamma$$

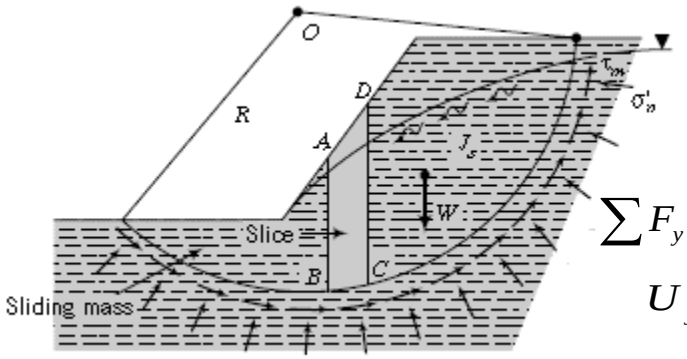
کلیات، ترکیب...
تراکم خاک
تنش موثر و نشت
تنش در توده خاک
نشست خاک
مقاومت برشی خاک
پایداری شیروانی
فشار جانبی خاک

پایداری شیروانی های خاکی



کلیات، ترکیب...
تراکم خاک
تنش موثر و نشت
تنش در توده خاک
نشست خاک
مقاومت برشی خاک
پایداری شیروانی
فشار جانبی خاک

پایداری شیروانی های خاکی

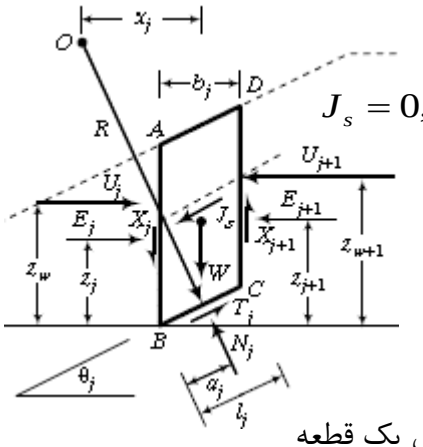


روش قطعات بیشاپ و بیشاپ ساده شده

$$\sum F_y = 0, \quad N_j \cos\theta_j + T_j \sin\theta_j - W_j - X_j + X_{j+1} = 0, \quad (1)$$

$$U_j = u_j l_j, \quad (2) \qquad N_j = N'_j + u_j l_j, \quad (3)$$

$$r_u = u_j b_j / W_j, \quad (4)$$



$J_s = 0,$

(3) + (4) → (1)

$$N'_j \cos\theta_j = W_j (1 - r_u) - T_j \sin\theta_j + X_j - X_{j+1} \quad (5)$$

$$T_j = \frac{N'_j \tan\varphi'_j + c'_j l_j}{\text{F.S}} \quad (6)$$

(6) → (5)

$$N'_j \cos\theta_j = W_j (1 - r_u) - \frac{N'_j \tan\varphi'_j + c'_j l_j}{\text{F.S}} \sin\theta_j + X_j - X_{j+1} \quad (7)$$

برای یک قطعه :

$$N'_j = \left\{ W_j (1 - r_u) + (X_j - X_{j+1}) - \frac{c'_j l_j \sin\theta_j}{\text{F.S}} \right\} \frac{1}{\cos\theta_j + \frac{\tan\varphi'_j \sin\theta_j}{\text{F.S}}} m_j \quad (8)$$

$$\text{F.S} = \frac{\sum F_R}{\sum F_d} = \frac{\text{مجموع نیروهای مقاوم}}{\text{مجموع نیروهای محرک}} = \frac{\sum_{j=1}^{n} N_j \tan\varphi'_j + c'_j l_j}{\sum_{j=1}^{n} W_j \sin\theta_j}$$

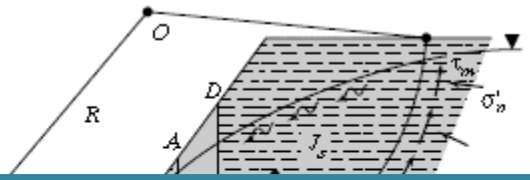
n : تعداد قطعه (9)

کلیات، ترکیب...
تراکم خاک
تنش موثر و نشت
تنش در توده خاک
نشست خاک
مقاومت برشی خاک
پایداری شیروانی
فشار جانبی خاک

پایداری شیروانی های خاکی

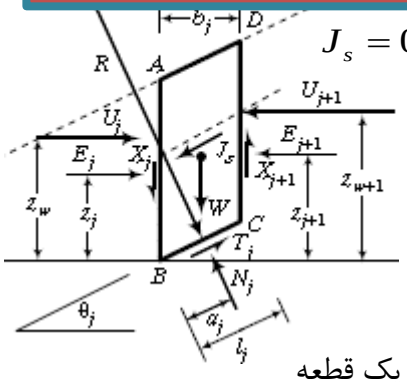
روش قطعات بیشاپ و بیشاپ ساده شده

8 → 9



$$F.S = \frac{\sum_{j=1}^{n}\left\{W_j(1-r_u)+(X_j-X_{j+1})-\frac{c'_j l_j \sin\theta_j}{F.S}\right\}\frac{1}{\cos\theta_j+\frac{\tan\varphi'_j\sin\theta_j}{F.S}}\tan\varphi'_j + c'_j l_j}{\sum_{j=1}^{n} W_j \sin\theta_j}$$

4 → 1 $N_j\cos\theta_j = W_j(1-r_u) - l_j\sin\theta_j + X_j - X_{j+1}$ 5



$J_s = 0,$

$$T_j = \frac{N'_j \tan\varphi'_j + c'_j l_j}{F.S}$$ 6

6 → 5 $$N'_j\cos\theta_j = W_j(1-r_u) - \frac{N'_j\tan\varphi'_j + c'_j l_j}{F.S}\sin\theta_j + X_j - X_{j+1}$$ 7

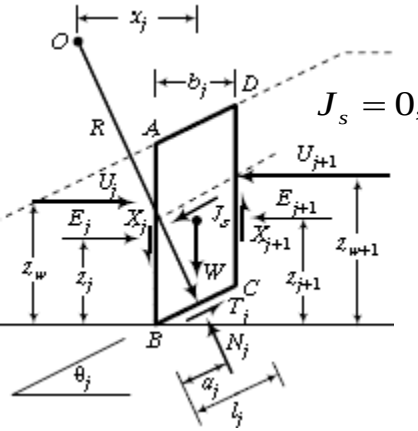
برای یک قطعه : $$N'_j = \left\{W_j(1-r_u)+(X_j-X_{j+1})-\frac{c'_j l_j\sin\theta_j}{F.S}\right\}\underbrace{\frac{1}{\cos\theta_j+\frac{\tan\varphi'_j\sin\theta_j}{F.S}}}_{m_j}$$ 8

$$F.S = \frac{\sum F_R}{\sum F_d} = \frac{\text{مجموع نیروهای مقاوم}}{\text{مجموع نیروهای محرک}} = \frac{\sum_{j=1}^{n} N'_j\tan\varphi'_j + c'_j l_j}{\sum_{j=1}^{n} W_j\sin\theta_j}$$

n : تعداد قطعه 9

کلیات، ترکیب...
تراکم خاک
تنش موثر و نشت
تنش در توده خاک
نشست خاک
مقاومت برشی خاک
پایداری شیروانی
فشار جانبی خاک

پایداری شیروانی های خاکی



$J_s = 0,$

روش قطعات بیشاپ و بیشاپ ساده شده

$$F.S = \frac{\sum_{j=1}^{n}\left\{W_j(1-r_u)+(X_j - X_{j+1}) - \frac{c'_j l_j \sin\theta_j}{F.S}\right\} m_j \tan\varphi'_j + c'_j l_j}{\sum_{j=1}^{n} W_j \sin\theta_j}$$

$$m_j = \frac{1}{\cos\theta_j + \frac{\tan\varphi'_j \sin\theta_j}{F.S}}$$

در روش بیشاپ ساده شده کافی است که $X_j - X_{j+1} = 0$ قرار دهیم که اختلاف آن نسبت به روش بیشاپ حدودا ۱۰ درصد است.

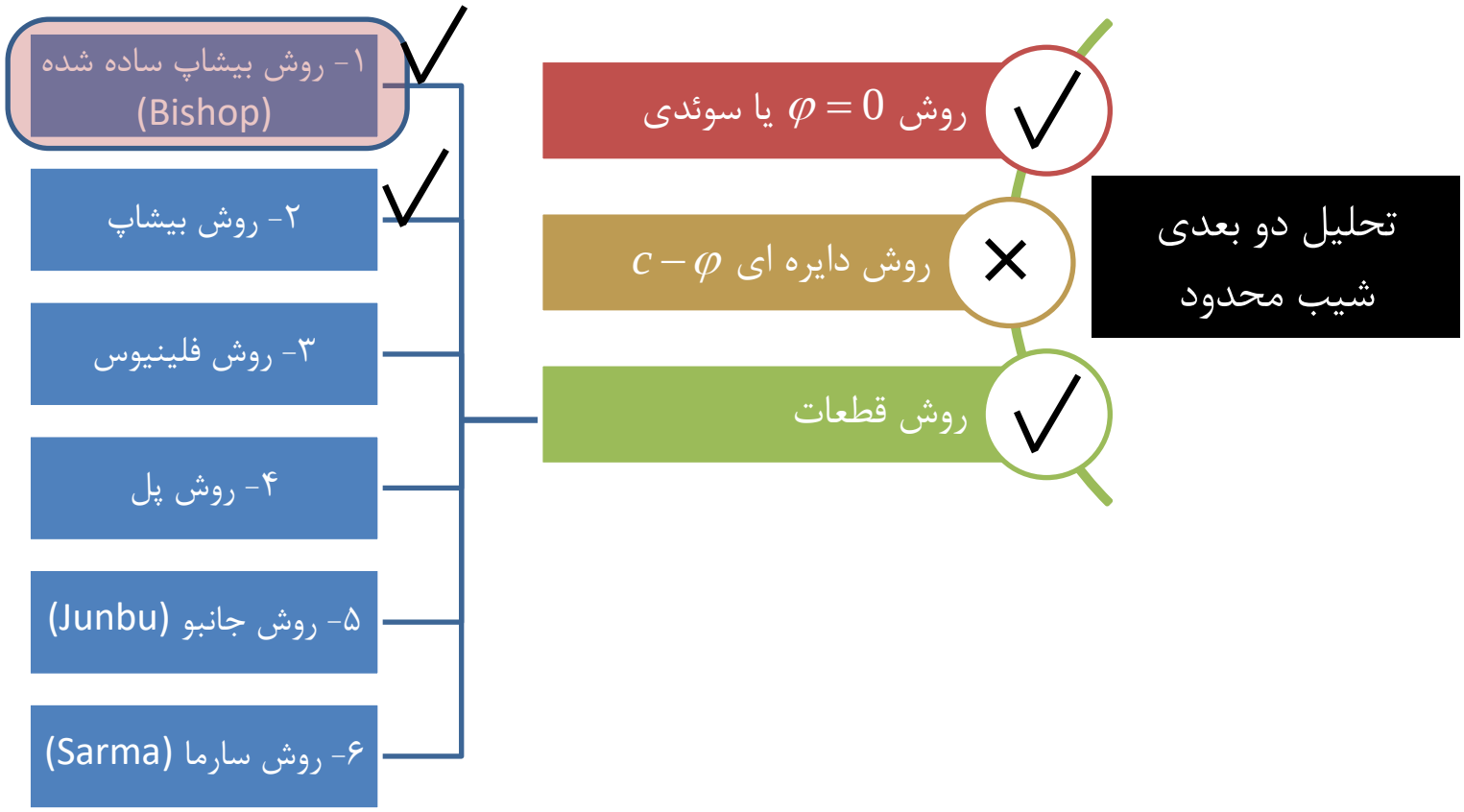
$$F.S = \frac{\sum_{j=1}^{n} W_j m_j \tan\varphi'_j}{\sum_{j=1}^{n} W_j \sin\theta_j}$$

در روش بیشاپ ساده شده اگر خاک غیرچسبنده $c' = 0$ باشد و فشار آب حفره ای نیز صفر $r_u = 0$ باشد آنگاه از رابطه دو گل داریم:

$$F.S = \frac{\sum_{j=1}^{n} c'_j l_j}{\sum_{j=1}^{n} W_j \sin\theta_j}$$

در روش بیشاپ ساده شده اگر زاویه اصطکاک خاک φ' صفر باشد و فشار آب حفره ای نیز صفر $r_u = 0$ باشد آنگاه از رابطه دو گل داریم:

پایداری شیروانی های خاکی

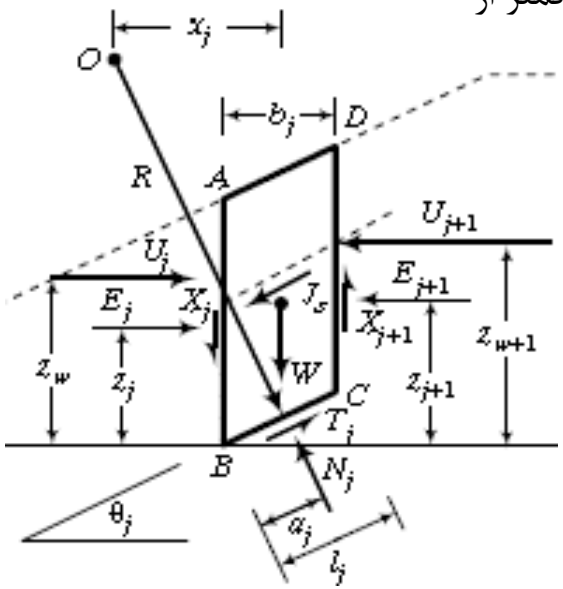


کلیات، ترکیب...
تراکم خاک
تنش موثر و نشت
تنش در توده خاک
نشست خاک
مقاومت برشی خاک
پایداری شیروانی
فشار جانبی خاک

پایداری شیروانی های خاکی

۳- روش فلینیوس

در این روش فرض می شود که سطح گسیختگی به شکل دایره است. ضریب اطمینان به دست آمده از این روش حدودا ۵ تا ۲۰ درصد کمتر از مقدار واقعی است.



$$J_s = 0$$

$$\text{F.S} = \frac{\sum_{j=1}^{n} \{W_j \cos\theta_j - u_j l_j\} \tan\varphi'_j + c'_j l_j}{\sum_{j=1}^{n} W_j \sin\theta_j}$$

کلیات، ترکیب...
تراکم خاک
تنش موثر و نشت
تنش در توده خاک
نشست خاک
مقاومت برشی خاک
پایداری شیروانی
فشار جانبی خاک

Thanks For Your Attention