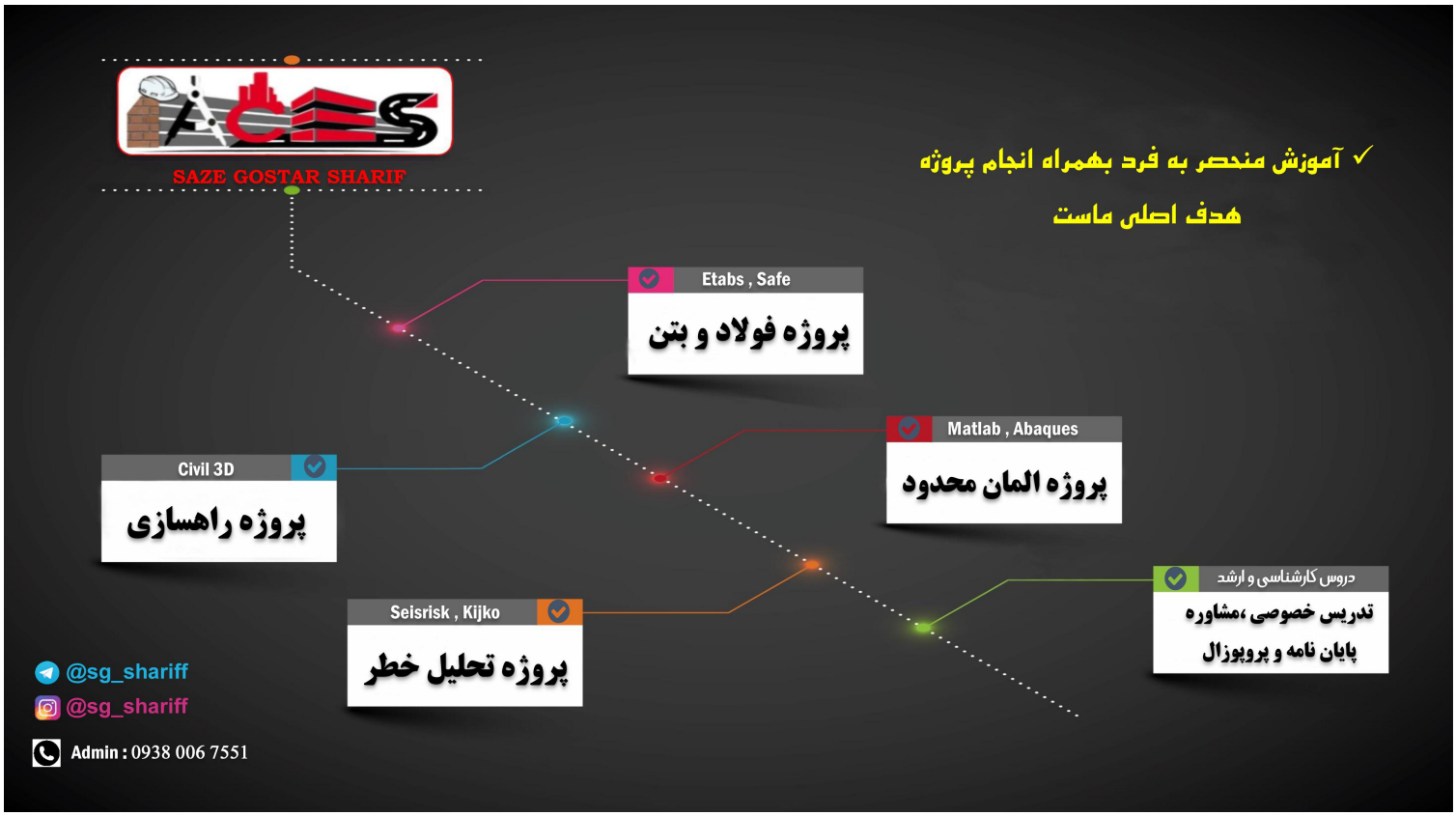
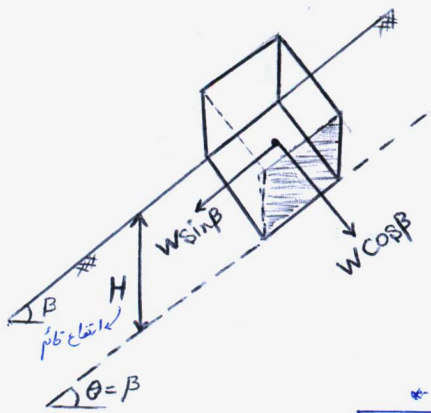
@sg_shariff



خلاصه دستنویس پی سازی

نویسنده : سید صادق محققیان

الف) شیروانی نامحدود:



$$F_s = \frac{\tau_f}{\tau_d} = \frac{\sigma \tan\phi + c}{\tau} = \frac{\gamma H \cos^2\beta \cdot \tan\phi + C}{\gamma H \sin\beta \cdot \cos\beta}$$

(F_s: ضریب اطمینان لغزش، τ_f: مقاومت، τ_d: نیرو محرک)

در خاکهای دانه ای ($C=0$) ضریب اطمینان برابر است با:

$$F_s = \frac{\tan\phi}{\tan\beta}$$ در حالت اشباع $$F_s = \frac{\gamma'}{\gamma_{sat}} \left(\frac{\tan\phi'}{\tan\beta}\right)$$

نکته: در شرایط زهکشی شده (حالت تنش موثر) داریم:

شرایط زهکشی:
$\tau_f = \sigma' \tan\phi' + c'$
$\sigma' = \gamma' H \cos^2\beta$
$\tau_d = \tau = \gamma_{sat} \cdot H \cdot \sin\beta \cdot \cos\beta$

زهکشی شده ← حالت تنش موثر

$$F_s = \frac{\tau_f}{\tau} = \frac{\gamma' H \cos^2\beta \cdot \tan\phi' + c'}{\gamma_{sat} \cdot H \cdot \sin\beta \cdot \cos\beta}$$

* وقتی آب در خاک داریم همیشه از γ_{sat} استفاده می‌شود و ربطی به نوع حالت تنش ندارد.

در شرایط $\phi = 0$ داریم:

در شرایط $\phi = 0$:
$\tau_f = C_u$
$\tau = \gamma_{sat} \cdot H \cdot \sin\beta \cdot \cos\beta$

$$F_s = \frac{\tau_f}{\tau_d} = \frac{C_u}{\tau} = \frac{C_u}{\gamma_{sat} \cdot H \cdot \sin\beta \cdot \cos\beta}$$

نکته: اگر خاک چند لایه باشد، ضریب اطمینان بصورت زیر است:

$$F.S = \frac{(\Sigma \gamma' H) \cos^2\beta \cdot \tan\phi + C}{(\Sigma \gamma H) \cos\beta \cdot \sin\beta}$$

← C و ϕ در سطح لغزش هستند، پس اگر خاک اشباع باشد، بصورت C' و ϕ' خواهد بود.

نکته: اگر در رابطه محاسبه ضریب اطمینان ($F.S=1$) در نظر بگیریم، در آنصورت شیروانی در آستانه لغزش بوده و ارتفاع متناظر آن، ارتفاع بحرانی نامیده می‌شود.

نکته: اگر یک شیروانی روی بستر سنگی باشد، این بستر سنگی خود سطح لغزش احتمالی خواهد بود. در اینحالت برای محاسبه مقاومت برشی خاک از زاویه اصطکاک خاک و سنگ و چسبندگی خاک و سنگ استفاده می‌شود:

δ = زاویه اصطکاک خاک و سنگ
C_d = چسبندگی خاک و سنگ

$$\tau_f = \sigma \tan\delta + C_d \leqslant \sigma \tan\phi + C$$

نکته مهم:*

1) گود برداری = باربرداری ← ابتدا کاهش Δu داریم و سپس افزایش آن ← ابتدا افزایش تنش موثر و مقاومت خاک داریم و سپس کاهش آن ← $\downarrow F_s = \frac{\tau_f \downarrow}{\tau_d}$

(منفی ← صفر)

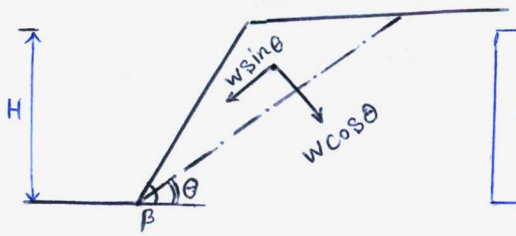
2) خاکریزی = بارگذاری ← ابتدا افزایش Δu داریم و سپس کاهش آن ← ابتدا کاهش تنش موثر و مقاومت خاک داریم و سپس افزایش آن ← $\uparrow F_s = \frac{\tau_f \uparrow}{\tau_d}$

(مثبت ← صفر)

ب) پایداری شیروانی محدود :

در پایداری شیروانی محدود دو نوع سطح لغزش داریم که البته سطح لغزش استوانه ای بیشتر در طبیعت رخ می دهد.

الف) ضریب اطمینان بر اساس سطح لغزش صفحه ای :



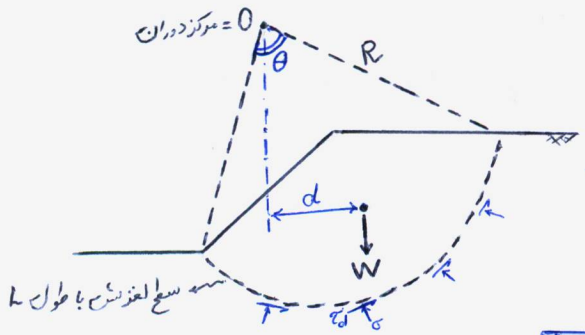
$$F_S = \frac{\tau_f}{\tau_d} = \frac{\sigma \tan\phi + C}{\tau} = \frac{\left(\frac{W\cos\theta}{A}\right)\tan\phi + C}{\left(\frac{W\sin\theta}{A}\right)}$$

(وزن گوه مثلثی)

خاک دانه ای ($C=0$)

$$F.S = \frac{\tan\phi}{\tan\theta} \quad *$$

ب) سطح لغزش استوانه ای :



$$\Sigma M_O = 0 \rightarrow W \times d = (\tau_d \times L \times 1) \times R \Rightarrow \tau_d = \frac{W \times d}{L \times R}$$

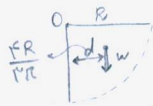
$$F_S = \frac{\tau_f}{\tau_d} \Rightarrow F_S = \frac{\tau_f}{\left(\frac{W \times d}{L \times R}\right)}$$

(اسال احتمالا)

در کلوخ ای خاک صرفا چسبنده ($\phi = 0$)

$$\Rightarrow F.S = \frac{\tau_f . R . L}{W . d} = \frac{\tau_f . R^2 . \theta}{W . d} = \frac{\text{گشتاور مقاوم}}{\text{گشتاور محرک}}$$

($L = R.\theta$)



* تذکر : در تعیین ضریب اطمینان در سطح لغزش استوانه ای در سؤالات کنکور خاک رس اشباع در شرایط $\phi = 0$ مدنظر است یعنی $\tau_f = C_u$ چون

در غیر اینصورت مسئله بصورت تشریحی می شود نه تستی.

نیروی محرک اثر زلزله : $F = ma \Rightarrow \left(F = \frac{W}{g} a_H\right)$ ضریب شتاب افقی زلزله

* سه عامل مهم بر جابجایی دیوار حائل (δ) : ۱- محرک یا مقاوم بودن وضعیت ۲- شکل پذیری خاک ۳- ارتفاع خاک

- مقدار جابجایی لازم جهت گسیختگی در خاکهای شکل پذیر، بیشتر است ← ماسه سفت < ماسه شل < رس سفت < رس نرم : نسبت جابجایی لازم جهت گسیخته شدن خاک

* نکته * جابجایی لازم جهت گسیخته شدن خاک، از دید توزانی :

$\Delta_{\text{مقاوم}} = \frac{H}{100}$ > $\Delta_{\text{محرک}} = \frac{H}{1000}$

- محاسبه فشار سکون :

فشار سکون

$\sigma_h = k_0 \sigma_v + u$, $\sigma'_h = k_0 \sigma'_v$

(σ_h: تنش جانبی کل ، σ_v: تنش موثر قائم ، u: فشار آب حفره ای ، مضریب فشار سکون ، تنش موثر جانبی)

محاسبه k_0 :

- طبق تئوری الاستیسیته $\Rightarrow$ $k_0 = \frac{\nu}{1-\nu}$

- طبق روابط تجربی :
  - رس NC (ماسه شل) خاکهای دانه ای با تراکم معمولی $\Rightarrow$ $k_0 = 1 - \sin\phi'$
  - رس پیش تحکیم یافته (OC) $\Rightarrow$ $k_0 = k_{0NC}\sqrt{OCR} = (1-\sin\phi')\sqrt{OCR}$

(حالت کلی و عمومی هم همین است.)

* $\phi' \uparrow \propto k_0 \downarrow$

* OCR یا (D_R) تراکم $\uparrow \propto k_0 \uparrow$

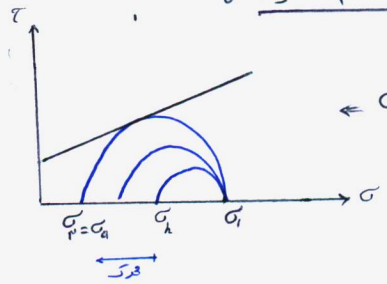
* توجه * k_0 مربوط به دانه های جامدات، به همین دلیل از ϕ' در محاسبه آن استفاده می کنیم.

* نکته : دو مورد از حالات متداول سکون : ۱- خاک پشت دیوار زیرزمین ۲- آزمایش تحکیم یک بعدی *

** معمولاً $K_a < K_0 < K_p$

- فشار محرک و مقاوم رانکین :

الف) محرک $\sigma_1 > \sigma_3$ ←

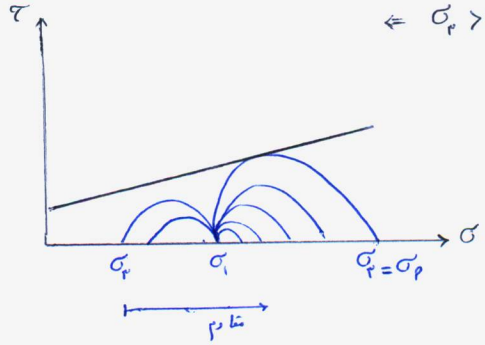


$\sigma_a = \sigma_v \cdot k_a - 2c\sqrt{k_a}$, $k_a = tg^2(45 - \frac{\phi}{2}) = \frac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi}$

(ضریب فشار جانبی محرک ، ϕ : زاویه اصطکاک داخلی)

محرک $\sigma_1 > \sigma_3$ ← زاویه سطح گسیختگی با افق : $\theta_a = \theta = 45 + \frac{\phi}{2}$

ب) فشار مقاوم $\sigma_3 > \sigma_1$ ←



$\sigma_p = \sigma_v k_p + 2c\sqrt{k_p}$, $k_p = tg^2(45 + \frac{\phi}{2}) = \frac{1+\sin\phi}{1-\sin\phi}$

مقاوم $\sigma_3 > \sigma_1$

زاویه سطح گسیختگی با افق : $\theta_p = \theta = 45 - \frac{\phi}{2}$

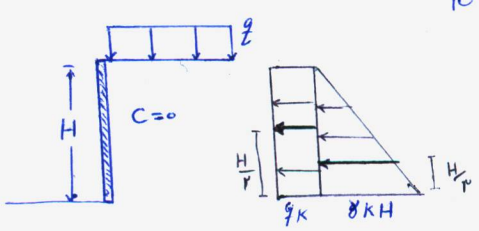
* محاسبه نیروی محرک یا مقاوم جانبی :

$F_{\text{واحد عرض}} = \sigma_{h\,\text{وسط}} \times H_{\text{طول دیوار}}$ ← کاربرد : کل حالات مقاوم ، حالت محرک خاک دانه ای ، ** حالت محرک خاک چسبنده به شرط عدم ایجاد ترک کششی

وجود ترک $\left(F = \frac{1}{2}\gamma K_a (H - Z_{cr})^2\right)$

* حالت پر کاربرد، محاسبه نیروی جانبی در خاک دانه ای :

(بدون آب)



$F = \frac{1}{2}\gamma H^2 k + qKH$ (مستطیل ، مثلث)

(k : حالتشکن K_0 ، K_p ، K_a)

لنگر حول پنجه : $M = (\frac{1}{2}\gamma H^2 K)\frac{H}{3} + (qKH)\frac{H}{2}$

سمت آب به صورت هیدرواستاتیک

تهذیب اطمینان پایداری دیوار حائل :

$$F_S \text{ لغزش} = \frac{F_R}{F_d} = \frac{\text{نیروی مقاوم}}{\text{نیروی محرک}}$$

F_R = نیروی مقاوم افقی در راستای $W \tan\delta$ ، F_d = نیروی محرک اثر داده در راستای $ma_x = \left(\frac{W}{g}\right) a_x$

$$F_S \text{ واژگونی} = \frac{M_R}{M_d} = \frac{\text{لنگر مقاوم}}{\text{لنگر محرک}}$$

M_R = لنگر مقاوم افزوده در راستای $W \times d$ ، M_d = لنگر محرک

* * برای خاک دانه‌ای و بدون سربار ، بازوی نیروها $\frac{H}{3}$ است.

ترک کششی :

Z_{cr} :

- خاک غیر انباع → $Z_{cr} = \frac{2C}{\gamma\sqrt{K_a}} - \frac{q}{\gamma}$ (حداقل سربار جهت از بین رفتن ترک) ، $q \geq \frac{2C}{\sqrt{K_a}}$
- خاک انباع
  - حالتین تنش موثر → $Z_{cr} = \frac{2C'}{\gamma'\sqrt{K_a}} - \frac{q}{\gamma'}$
  - $K_p = K_a = 1$ ، $\phi = 0$ خاک (حالتین تنش کل)
    - ترک بدون آب $= \frac{2C_u}{\gamma_{sat}} - \frac{q}{\gamma_{sat}}$
    - ترک آب دار $= \frac{2C_u}{\gamma'} - \frac{q}{\gamma'}$

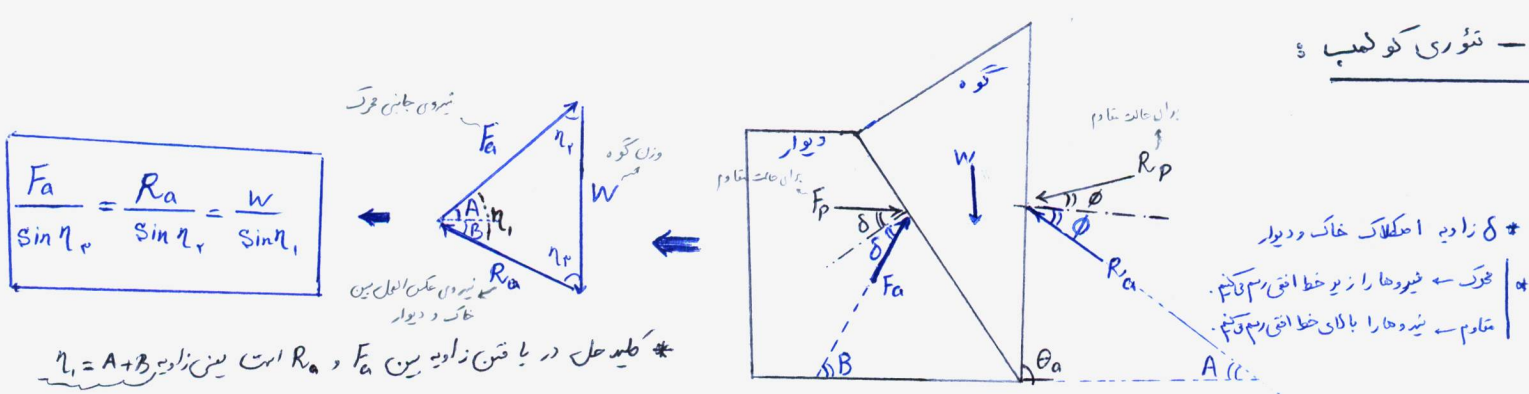
ـ ارتفاع مجاز گودبرداری (ارتفاع امن)

$$H_{cr} = 2Z_{cr} \Rightarrow H_{a\,II} = 2\left(\frac{Z_{cr}}{F.S}\right)$$

$$F_a = \frac{1}{2}\gamma K_a (H - Z_{cr})^2$$

* محاسبه نیروی محرک در حالت وجود ترک کششی :

ـ تئوری کولمب :



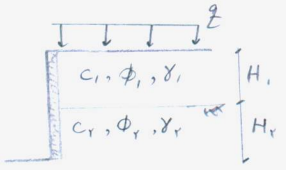
$$\frac{F_a}{\sin\eta_2} = \frac{R_a}{\sin\eta_3} = \frac{W}{\sin\eta_1}$$

* δ زاویه اصطکاک خاک و دیوار
* محرک ← نیروها را زیر خط افق رسم کنیم.
* مقاوم ← نیروها را بالای خط افق رسم کنیم.

* کلید حل در یافتن زاویه بین F_a و R_a است بین زاویه $\eta_1 = A + B$

---

* نکته : در محاسبه ترک کششی ، اگر چند لایه خاک داشته باشیم ، اولاً ترک کششی در هر لایه باید جداگانه محاسبه شود ، ثانیاً لایه بالایی ، حکم سربار برای لایه پایین خودش دارد.



$$Z_{cr_1} = \frac{2C_1}{\gamma_1\sqrt{K_{a_1}}} - \frac{q}{\gamma_1} \leq H_1$$

$$Z_{cr_2} = \frac{2C_2}{\gamma_2\sqrt{K_{a_2}}} - \frac{q + \gamma_1 H_1}{\gamma_2} \leq H_2$$

* نکته : همانگونه که گفتیم ، آزمایش تحکیم یک بعدی ، حالتی از تنش و تنش است ⇐

* $\sigma_h = \sigma'_v K_o + U$ ، $\Delta\sigma'$ ، ΔU

- اضافه تنش موثر در آزمایش تحکیم
- اضافه تنش آب حفره‌ای در آزمایش تحکیم

- $t = 0 \rightsquigarrow \sigma_h = q$
- $0 < t < \infty \rightsquigarrow \sigma_h = K_o \Delta\sigma'_t + \Delta U_t$
- $t = \infty \rightsquigarrow \sigma_h = K_o q$

* فرمول محاسبه عدد پایداری تراکنش :

$$N_s = \frac{C}{\gamma H_{cr}}$$

$H_{cr} = 2Z_{cr}$

اگر سربار داشتیم ⇐ $N = \frac{C}{F.S(\gamma H + q)}$

فصل دوم : پی های سطحی

$q_{ult} = \frac{P_{ult}}{B.L}$ ← بار نهایی / تنش نهایی یا ظرفیت باربری

$\rightarrow q_{all} = min\left\{\frac{q_{ult}}{F.S}, q_s\right\}$

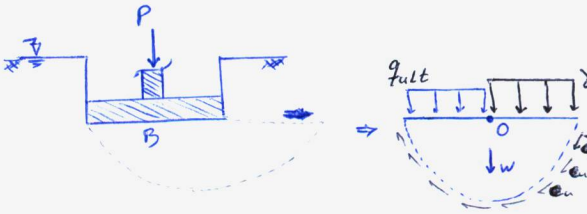
q_s ← تنش متناظر با نشست مجاز

از طریق خود ارتش نشست
از طریق تست الاستیک
از طریق آزمایش بارگذاری صفحه
$\rightarrow \delta_{all} = q_s . B \frac{(1-\mu^2)}{E} I_p$

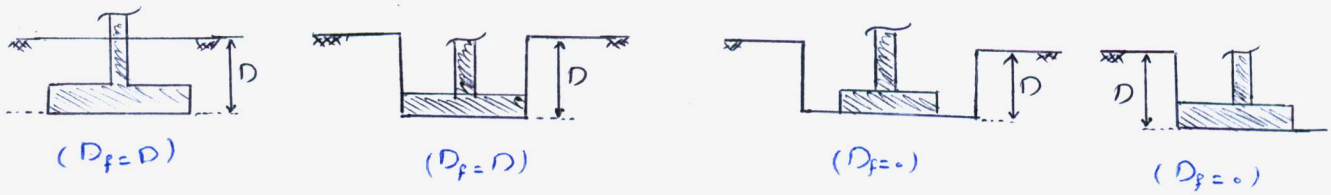
محاسبه ظرفیت باربری :

الف) ساده ترین فرض سطح گسیختگی ، بصورت نیم دایره ای حول یک گوشه پی :

← برای رسم صرفا جسپنده



نکته : عمق پی (D_f) بر اساس خاک پایدار در تراز کف پی مشخص می شود :



رابطه ظرفیت باربری :

$\rightarrow$ هانسن ، میرهوف ، ترزاقی

استخوان بندی		ضرایب فرمی	
$C.N_c$	(ترم چسبندگی)	d	عمق
$\bar{q}.N_q$	(ترم عمق)	i	ضریب استقامت بار
$0.5B\gamma N_\gamma$	(ترم عرض)	S	ضریب شکل
		b	ضریب بستر
		g	ضریب شیب

+

✓ اگر خاک دانه ای باشد ، $C=0$ و در نتیجه ترم چسبندگی حذف خواهد شد. $\Leftarrow C.N_c = 0$

✓ $\bar{q}$ تنش موجود در تراز کف پی است ($\bar{q} = \gamma D_f$) پس اگر پی روی سطح خاک باشد ، $\bar{q}=0$ و در نتیجه ترم عمق حذف خواهد شد. $\Leftarrow \bar{q}N_q = 0$

(برحسب حالت تنش کل یا موثر γ یا γ')

✓ اگر خاک صرفاً چسبنده باشد ، $N_\gamma = 0$ و در نتیجه ترم عرض حذف خواهد شد. $\Leftarrow \phi = 0 \Rightarrow N_\gamma = 0 \Rightarrow 0.5B\gamma N_\gamma = 0$

- ضریب فرعی شکل (S) برای پی نواری برابر یک است. $\Rightarrow$ پی نواری $S=1$
- ضریب عمق (d) : اگر پی روی سطح خاک باشد ، ($d=1$) وگرنه باید لحاظ شود.
- ضریب امتداد بار (i) : اگر بار وارد بر پی ، عمود بر پی باشد ($i=1$) در غیر اینصورت باید لحاظ شود
- ضریب شیب (g) : اگر زمین کنار پی شیب دار باشد ، این ضریب اعمال می شود ، در غیر اینصورت ($g=1$)
- ضریب بستر (b) : اگر خاک زیر پی شیبدار باشد ، این ضریب اعمال می شود ، در غیر اینصورت ($b=1$)

* بطور کلی ، هرکدام از ضرائب فرعی را که تاثیر گذار نبود ، برابر 1 می گیریم ، اما در خاک صرفاً چسبنده برابر صفر در نظر می گیریم .

* توجه :
  - ترزاقی فقط ضریب شکل (S) را در نظر می گیرد. ← ترزاقی ← S
  - میرهوف ، ضرایب عمق ، امتداد بار و ضریب شکل را در نظر می گیرد. ← میرهوف ← $S-i-d$
  - هانسن ، تمامی ضرایب فرعی را در نظر می گیرد. ← هانسن ← تمامی ضرایب

نکته :
$(N_c = (N_q - 1)\cot\phi)$

* روش میرهوف :
  - برای حالت مربوط به بارهای قائم و مایل ، روابط جداگانه ای ارائه می کند.
  - ضریب شکل و امتداد بار را باهم بکار می برد. ← یعنی وقتی که بار قائم است ($i=1$) ، ضریب شکل (S) را در نظر می گیرد.

* رابطه ظرفیت باربری ترزاقی :

	S_c	S_q	S_γ
نواری	1	1	1
مربعی	1,3	1	0,8
دایره‌ای	1,3	1	0,6
مستطیلی	$1+0.3\frac{B}{L}$	1	$1-0.2\frac{B}{L}$

ترزاقی فقط ضریب شکل را در نظر می‌گیرد ⟹ $q = C.N_c.S_c + \bar{q}N_q + 0.5B\gamma N_\gamma.S_\gamma$

* نکته : همیشه و بطور کل برای خاک صرفاً چسبنده ($\phi = 0$) داریم : (هر سه روش)

($\phi = 0$) صرفاً چسبنده
- $N_\gamma = 0$
- $N_q = 1$
- N_c : $\frac{3}{2}\pi + 1 = 5,7$ (ترزاقی)، $\pi + 2 = 5,14$ (میرهوف، هانسن)

* نکته : برای حالت خاص و پرکاربرد قرارگیری پی نواری روی سطح خاک دانه‌ای ، یا صرفاً چسبنده ، در هر سه روش داریم :

خاک دانه‌ای ⟶ $q_{ult} = 0.5B\gamma N_\gamma$

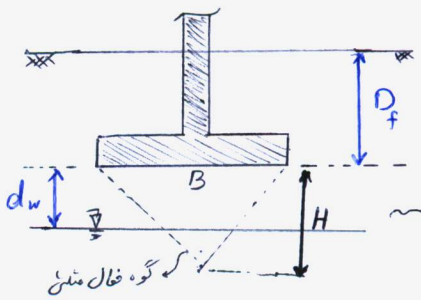
خاک صرفاً چسبنده ⟶ $q_{ult} = C_u.N_c$
- ترزاقی : $N_c = 5,7$
- میرهوف و هانسن : $N_c = 5,14$
- سطح لغزش نیم‌دایره : $N_c = 2\pi$
- سطح لغزش ربع دایره : $N_c = \pi$

⇒ در خاک‌های صرفاً چسبنده، ظرفیت باربری به ابعاد پی بستگی ندارد.

* اگر خاک زیر پی تغییر نکند، چون ϕ ثابت می‌ماند، بنابراین، ضرایب اصلی N_c ، N_q ، N_γ هم ثابت مانده و تغییر نمی‌کنند.

* ابعاد پی یعنی B و L در تعیین ضرایب اصلی N_c ، N_q ، N_γ نقش ندارند ولی در عوض در ضرایب فرعی شکل S بصورت $(\frac{B}{L})$ و در ضریب فرعی عمق (d) به صورت $(\frac{D}{B})$ و در ضریب فرعی امتداد بار (i) بصورت (BL) ظاهر می‌شوند و در دو ضریب فرعی دیگر $(g$ و $b)$ هم بی‌تاثیرند.

— اگر سفره آب زیرزمینی بر ظرفیت باربری :



ترزاقی : $H = B$

هانسن : $H = 0.5B\,tg(45 + \frac{\phi}{2})$

⟹

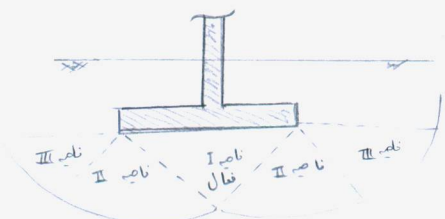
- $d_w \geq H$ ⟶ سفره آب زیرزمینی اثری بر ظرفیت باربری ندارد.
- $d_w \leq 0$ ⟶ در تمام عرض: γ یا γ_{sat} ؛ در تمام عمق: $\bar{q} = \Sigma\gamma' D$ یا $\Sigma\gamma D$ ← بسته به حاکمیت تنش کل یا تنش موثر
- $0 < d_w < H$ ⟶ در تمام عرض بجای γ از γ_e استفاده و محاسبه می‌کنیم.

$d_w = 0$	d_w	$d_w = H$
γ'	γ_e	γ

γ_e : اینترپولاسیون

$\frac{d_w - 0}{\gamma_e - \gamma'} = \frac{H - 0}{\gamma - \gamma'}$ ⟹ ترزاقی γ_e

وسط‌یابی : $\gamma_e = \frac{\gamma + \gamma'}{2}$



زاویه گسیختگی با افق

- ناحیه I = فعال (فرض) ⟶ $\sigma_1 > \sigma_2$ ⟹ $\theta = 45 + \frac{\phi}{2}$
- ناحیه II = انتقالی
- ناحیه III = مقاوم ⟶ $\sigma_3 > \sigma_1$ ⟹ $\theta = 45 - \frac{\phi}{2}$

زاویه گسیختگی با افق

هرچه عمق پی کمتر ⟶ هر سه ناحیه تشکیل می‌شود ⟶ گسیختگی کلی

اگر ناحیه III تشکیل نشود ⟶ گسیختگی برشی موضعی

فقط ناحیه I تشکیل شود ⟶ گسیختگی پانچ

تأثیر خروج از محوریت بر ظرفیت باربری پی:

$$e_x = \frac{\sum M_y}{\sum P} \qquad e_y = \frac{\sum M_x}{\sum P}$$

۱) ابتدا خروج از محوریت کل را با انتقال بارها به مرکز سطح پی حاسبه می‌کنیم:

الف) روش هانسن (برای خاک‌های دانه‌ای)

۲) محاسبه B', L' $\Leftarrow$ $B', L' = \min, \text{Max}\{B - 2e_B, L - 2e_L\}$ (کوچکتر B همیشه ضلع)

(در دو ضریب با دو هم که اصلا B نداریم)

۳) در ترم عرض ($0.5 B \gamma N_\gamma$) بجای B از B' استفاده می‌کنیم.

۴) در ضرایب شکل (S) و ضریب امتداد بار (i) بایستی از B' و L' استفاده کنیم. ولی در ضریب عمق (d) از همان B استفاده می‌کنیم.

** اگر بخواهیم بار نهایی را محاسبه کنیم، از ابعاد موثر استفاده می‌کنیم: $P_{ult} = q_{ult} \times B' L'$

ب) روش میرهوف (برای خاک‌های صرفاً چسبنده)

۲) در این روش ابتدا بدون توجه به خروج از محوریت، ظرفیت باربری نهایی q_{ult} را محاسبه کرده، و سپس در ضرایب کاهنده ضرب می‌کنیم:

$$q'_{ult} = q_{ult} \times R_{eL} \times R_{eB}$$

ظرفیت باربری نهایی

ضرایب کاهنده:

خاک دانه‌ای: $R_{eL} = 1 - \sqrt{\frac{e_L}{L}}$, $R_{eB} = 1 - \sqrt{\frac{e_B}{B}}$

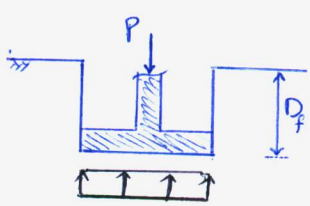
خاک چسبنده (رسی): $R_{eL} = 1 - 2\left(\frac{e_L}{L}\right)$, $R_{eB} = 1 - 2\left(\frac{e_B}{B}\right)$

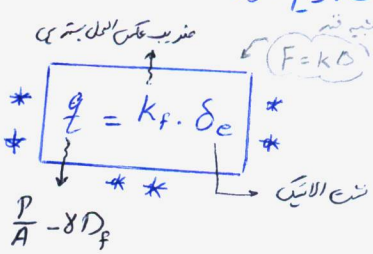
* نکته: ظرفیت باربری، به بارگذاری ربطی ندارد، بلکه زمانی که خروج از محوریت داشته باشیم.

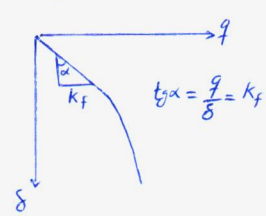
---

* توزیع فشار ونشست زیر پی:

اگر فشار زیر پی را با فرض عدم خروج از محوریت، بصورت یکنواخت بگیریم، این فشار بصورت زیر قابل قبول است:







- محاسبه نشست الاستیک: (مبنای پی روی سطح خاک)

$$\delta_e = q \cdot B\left(\frac{1-\mu^2}{E}\right) I_p$$

I_p: وابسته به $\frac{L}{B}$

* اگر خاک زیر پی یک‌نواخت باشد، عبارت $\frac{1-\mu^2}{E}$ برای پی‌های مشابه بوده و اگر $\left(\frac{L}{B}\right)$ دو پی یکسان باشند:

$$\frac{\delta_{e_2}}{\delta_{e_1}} = \frac{q_2}{q_1} \times \frac{B_2}{B_1}$$

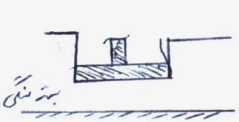
* نکته * اگر در رابطه نشست الاستیک، مقدار نشست مجاز را قرار دهیم، آنگاه q در این فرمول‌ها q_s خواهد شد که اگر از $\frac{q_{ult}}{F_s}$ کمتر باشد، این q_s برابر q_{all} می‌شود.

$$q_{all} = \min\left\{q_s, \frac{q_{ult}}{F_s}\right\}$$

$$\delta_{all} = q_s \cdot B \cdot \left(\frac{1-\mu^2}{E}\right) I_p$$

*توجه: حداکثر مقدار نشست مجاز در پی گسترده 5^{cm} و در پی‌های دیگر 2.5^{cm} است.

* رابطه ارائه شده در بالا برای نشست الاستیک مربوط به حالتی است که پی روی سطح خاک بوده و خاک زیر آن به یک مانع صلب مثل بستر سنگی نرسیده باشد، در غیر اینصورت، نشست الاستیک کمتر می‌شود.



$$\delta_e \text{ (دارای عمق + بستر سنگی)} \Rightarrow \text{ضریب کمتر عمق} \times I_D \times I_F < \delta_e \text{ (بدون عمق + بستر سنگی)}$$

خروج از هوریتا و فشار زیری:

الف) خروج از هوریت کم: $(e \leq \frac{L}{6})$ ← پی کاملاً تحت فشار بوده و هیچ نقطه‌ای فشار منفی نخواهد داشت.

فشار زیری

$$q_{max,min} = \frac{P}{BL}\left[1 \pm \frac{6e}{L}\right]$$

مقاومت مصالح

برای اینکه پی به کشش نیافتد → $e \leq \frac{L}{6}$

نکته: اگر $e = \frac{L}{6}$ شود آنگاه $q_{min} = 0$ و $q_{max} = \frac{2P}{BL}$ پی در آستانه کشش و بلند شدن از زمین است.

ب) خروج از هوریت زیاد $(e > \frac{L}{6})$ ← فشار زیر پی منفی شده و پی به کشش می‌افتد و چون خاک کشش تحمل نمی‌کند، پی از زمین بلند می‌شود.

$$q_{max} = \frac{4P}{3B(L-2e)} \quad , \quad q_{min} = 0$$

استاتیک

فشار زیری

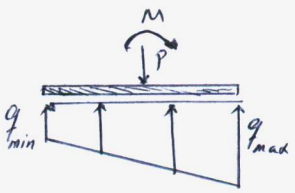
**نکته: اگر در هر دو راستا خروج از هوریت داشته باشیم:

$$q_{max} = \frac{P}{BL}\left(1 + \frac{6e_L}{L} + \frac{6e_B}{B}\right)$$

$$q_{min} = \frac{P}{BL}\left(1 - \frac{6e_L}{L} - \frac{6e_B}{B}\right) \xrightarrow[\text{کشش}]{\text{شرط عدم}} q_{min} \geq 0 \Rightarrow \frac{6e_L}{L} + \frac{6e_B}{B} \leq 1$$

*نکته مهم: اگر فشار زیری یکنواخت نباشد، نشست هم یکنواخت نخواهد بود:

کنکور ۹۶*

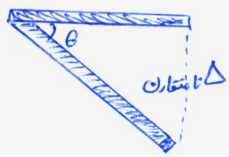


$$\delta_{max} = q_{max} \cdot B\left(\frac{1-\mu^2}{E}\right) I_p = \frac{q_{max}}{K_f}$$

$$\delta_{min} = q_{min} \cdot B\left(\frac{1-\mu^2}{E}\right) I_p = \frac{q_{min}}{K_f}$$

$$\Rightarrow \Delta_{\text{نامتقارن}} = \delta_{max} - \delta_{min}$$

$$\theta_{\text{جوشش}} = \frac{\Delta_{\text{نامتقارن}}}{L_{\text{طول پی}}}$$



آزمایش بارگذاری صفحه (PLT)

کاربرد آزمایش PLT:
- تعیین ظرفیت باربری نهایی پی
- تعیین ظرفیت باربری مجاز پی بر مبنای ملاحظات نشست در شرایط خاص
- تعیین ضریب عکس العمل بستر پی (k_f)
- مدول الاستیسیته خاک را می‌توان بطور مستقیم از این آزمایش بدست آورد.

① رابطه بین تنش‌ها:

$$q_f = q_p \quad \text{رس صددرصد اشباع}$$

$$q_f = \left(\frac{B_f}{B_p}\right) \cdot q_p \quad \text{خاک دانه‌ای}$$

② رابطه بین نشست‌ها:

$$\delta_f = \delta_p \left(\frac{B_f}{B_p}\right) \quad \text{رس صددرصد اشباع}$$

$$\delta_f = \delta_p \cdot \left(\frac{2B_f}{B_f + B_p}\right)^2 \quad \text{خاک دانه‌ای}$$

③ رابطه بین ضرایب عکس العمل بستر (پی دایره و مربعی)

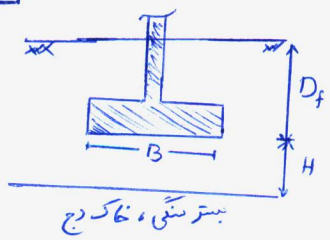
ضریب عکس العمل بستر خاک زیر صفحه

$$k_f = k_s \cdot \left(\frac{B_p}{B_f}\right) \quad \text{رس صددرصد اشباع}$$

$$k_f = k_s \left(\frac{B_f + B_p}{2B_f}\right)^2 \quad \text{خاک دانه‌ای}$$

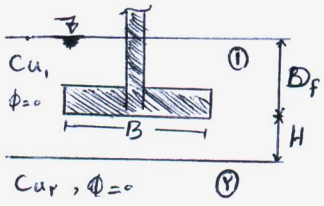
همیشه $k_s > k_f$

ظرفیت باربری خاک‌های لایه بندی شده

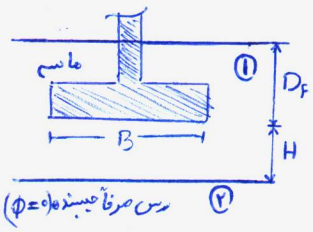


بستر سنگی، خاک درج

- $H \geq B$ ← از اثر لایه سخت بر ظرفیت باربری صرف‌نظر می‌شود.
- $H < B$ ← لایه سخت، هرچه بیشتر به کف پی نزدیک شود، باعث افزایش بیشتر ظرفیت باربری لایه نازک بالایی می‌شود.



- $H \geq B$ ← لایه پایینی تاثیری بر ظرفیت باربری لایه بالایی ندارد.
- $H < B$ ←
  - $Cu_1 > Cu_2$ ← ظرفیت باربری لایه بالایی کم می‌شود
  - $Cu_1 = Cu_2$ ← انگار یک لایه داریم.
  - $Cu_2 > Cu_1$ ← ظرفیت باربری لایه بالایی زیاد می‌شود.



- $H \geq 3.5B$ ← ظرفیت باربری برمبنای لایه اول یعنی ماسه محاسبه می‌شود و از اثر لایه رسی صرف‌نظر می‌شود
- $H \leq 1.5B$ ← ظرفیت باربری برمبنای لایه دوم یعنی رس تعیین می‌شود و بعلت حضور ماسه و اثر آن، کمی بیشتر از ظرفیت باربری محاسبه شده برمبنای لایه رسی است.
- $1.5B < H < 3.5B$ ← بین دو حالت بالا انترپولوژ می‌کنیم.

طراحی پی های سطحی:

روشهای طراحی:
- روش مقاومت نهایی یا بارهای ضریب دار ← بارها ضریب دار شده ولی مقاومت نهایی خاک که متناظر با حالت گسیختگی فرض می‌شود، تغییر نمی‌کند و ثابت است.
- روش تنش مجاز یا بارهای بدون ضریب ← بارهای سرویس استفاده می‌شود (بدون ضریب) اما مقاومت نهایی با تقسیم بر ضریب اطمینان کاهش یافته و به مقاومت مجاز تبدیل می‌شود.

* توجه: طراحی ابعاد پی براساس بارهای سرویس صورت می‌گیرد، یعنی طبق روش مجاز. پس وقتی ابعادی را می‌خواهیم، اصلاً کاری به ضرایب نداریم.

* مهمترین قانون در طراحی پی های سطحی این است که حتی الامکان باید سعی شود خروج از خروجیت نداشته باشیم و فشار زیر پی یکنواخت باشد.

طراحی ابعاد پی: (روش تنش مجاز)

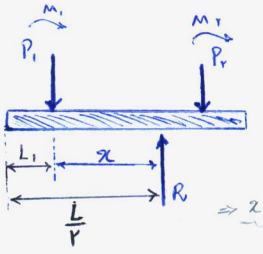
$$q_{max} \leq q_{all}$$

$$q_{all} \rightarrow \min\left\{\frac{q_{ult}}{F.S}, q_s\right\}$$

$$q = \frac{P}{A} \quad \text{(بدون خروج از خروجیت)} \rightarrow \text{پی های تکی، مرکب دوستونی و در صورت امکان، پی نواری}$$

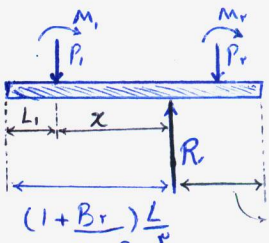
$$q_{max} = \begin{cases} \frac{P}{BL}\left(1+\frac{6e_L}{L}\right) & \left(e < \frac{L}{6}\right) \\ \frac{4P}{3B(L-2e_L)} & \left(e_L > \frac{L}{6}\right) \end{cases} \Rightarrow \text{پی های نواری}$$

* در پی های مستطیلی و ذوزنقه‌ای، حول امتداد یکی از ستونها، و برای پی باسکولی، حول امتداد برایند تنش ها در زیر پی، لنگر می‌گیریم *



$\Rightarrow x + L_1 = \frac{L}{2}$

(پی مستطیلی)



(پی ذوزنقه‌ای)

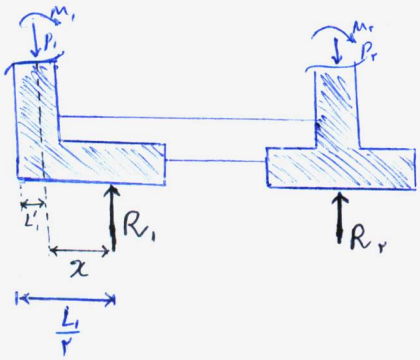
* تابیر حل *

$$x + L_1 = \left(1+\frac{B_2}{B_1+B_2}\right)\frac{L}{3} \Rightarrow B_1 + B_2 = \checkmark$$

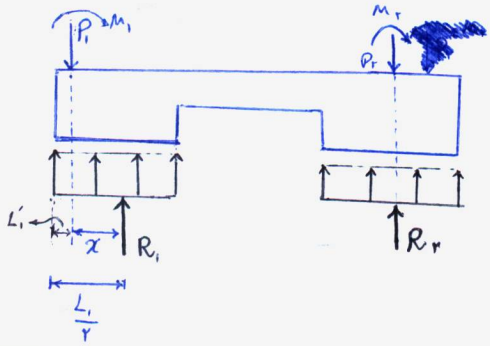
جایگزاری

$$q \leq q_{all} \Rightarrow \frac{P_1+P_2}{(B_1+B_2)\frac{L}{2}} = q_{all} \Rightarrow B_1 + B_2 =$$

* در طراحی پی‌های باشکولی، کلید حل، یافتن مقدار x است، که داریم:



$\Rightarrow$

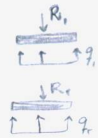


* * *

① x = نصف بعد پی منهای نصف بعد ستون $\Rightarrow x = \frac{L_1}{2} - L'_1$

② نوشتن تعادل حول R_1 $\Rightarrow$ محاسبه R_2 و سپس محاسبه R_1

③ هر پی را به صورت تیر پی منفرد در نظر گرفته و B_1, L_1 را محاسبه کنید



$\Rightarrow q_1 = \frac{R_1}{B_1 L_1} \leq q_{all}$

$\Rightarrow q_2 = \frac{R_2}{B_2 L_2} \leq q_{all}$

* ابعاد عمود بر صفحه را یکسان در نظر گرفته‌ایم.

* توجه: ممان اینرسی تیر کلاف، باید بزرگتر یا مساوی بیشترین ممان اینرسی پی‌های کناری این باشد.

کلاف $I \geq \max\{I_1, I_2\}$

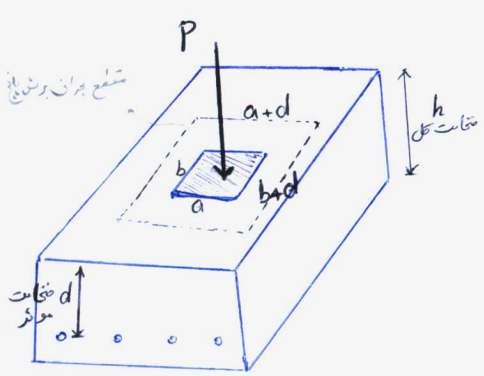
$I_1 = \frac{1}{12} B_1 t_1^3$ ، $I_2 = \frac{1}{12} B_2 t_2^3$ ، $I = \frac{1}{12} b_t h_t^3$

* در پی‌های منفرد، دوستونی، مستطیلی، ذوزنقه‌ای و باشکولی، فشار زیر پی یکنواخت است ولی در پی‌های نواری ممکن است فشار زیر پی یکنواخت نباشد که در این صورت همواره باید از q_{max} استفاده کنیم.

* در پی باشکولی همانگونه که دانستید، با هم خروج از قدرت نداریم چون کلاف آن را از بین می‌برد و فشرده می‌کند.

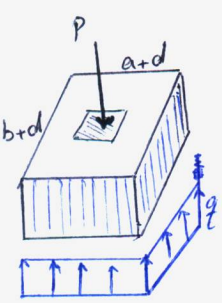
مقاطع بحرانی خمش و برش

- مقطع بحرانی خمش
  - ستون بتن آرمه ← از بر ستون
  - ستون فلزی ← وسط بین ستون و لچ زیر ستون
- مقطع بحرانی برش
  - برش معمولی (یکطرفه) ← به فاصله d از مقطع بحرانی خمش
  - برش پانچ (دوطرفه) ← به فاصله $\frac{d}{2}$ دور تا دور ستون بتن آرمه و یا $\frac{d}{2}$ دور تا دور صفحه زیر ستون



نیروی برش پانچ (V_p) و تنش پانچ (τ_p)

$\Rightarrow$



$V_p = P - (qA)$

$\tau_p = \frac{3}{2}\left(\frac{V}{A}\right)$ ← مساحت پانچ

* برای محاسبه نیروی برش پانچ و تنش پانچ، باید فشار زیر پی ($q.A$) را از نیروی ستون (P) کم کنیم.

توجه: $KPa \xrightarrow{\times 10^{-1}} t/m^2$

- ظرفیت باربری شمع های منفرد

$$Q_u = Q_s + Q_p$$

Q_u: بارنهایی — Q_s: مقاومت جانبی — Q_p: مقاومت انتهایی

$$Q_s = \int_0^L f_s(z).P(z).dz \xrightarrow{P \text{ ثابت}} Q_s = P.\int_0^L f_s(z).dz$$

P: محیط شمع — $f_s - z$: سطح زیر نمودار

خاک دانه‌ای: $f_s = k.\sigma'_v.tg\,\delta$

k: ضریب فشار جانبی — δ: زاویه اصطکاک شمع و خاک

خاک رس:

- کوتاه مدت: $f_s = \alpha.Cu$
- بلند مدت: $f_s = k.\sigma'_v.tg\,\phi'_R$

k_o: معمولاً — ϕ'_R: زاویه اصطکاک مؤثر دانه‌ای خاک دست خورده

$$Q_p = (cN_c^* + \bar{q}N_q^*).A_p$$

- خاک دانه‌ای $C=0$: $\rightarrow Q_p = \bar{q}N_q^*.A_p$
- خاک صرفاً چسبنده ($\phi=0$): $N_c^*=9$, $N_q^*=0$ $\rightarrow Q_p = 9A_p.Cu$

* نکته: ضریب فشار جانبی k در شمع‌های درجا مقداری برابر k_o و در شمع های کوبشی نیز تقریباً برابر k_p می باشد.

* نکته: بهترین روش یافتن مقدار Q_s به صورت زیر است:

$$Q_s = \Sigma(\bar{f}_s.P.L)$$

$\bar{f}_s$: تنش اصطکاکی در وسط لایه — P: محیط شمع — L: طول شمع در لایه مورد نظر

- مقاومت کششی در شمع بصورت مقابل است:

$$Q_{tu} = Q_s + W \quad (W' \text{ یا})$$

Q_s: مقاومت کششی نهایی — W: وزن شمع — W': اگر قسمتی از شمع زیر سفره آب زیرزمینی باشد، از وزن خود کاسته می‌شود.

* نکته: اگر تحت شرایطی (بارگذاری، افت تراز آب، ...) خاک نشست کرده و نسبت به خاک اطراف شمع پایین برود، در آن صورت جهت نیروی اصطکاک جانبی به سمت پایین بوده (همجهت بارگذاری) و از ظرفیت باربری شمع می‌کاهد. این پدیده را اصطکاک منفی می‌گویند و بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$Q_n = \int_0^{L_n} f_n(z).P(z).dz$$

$f_n = k.tg\,\delta.\sigma'_v$

معمولاً $k = 1-\sin\phi = K_o$

$L_n > \frac{L}{2}$ — f_n: در ناحیه زیر لایه خاک نشست کرده — f_s

در ناحیه اجرای خاک زیر لایه پدیده اصطکاک منفی ایجاد شده است.