پل سازی

فصل اول (فشار جانبی و دیوارهای حائل)

◉ محاسبهٔ فشار سکون

$$\sigma'_h = K_0 \sigma'_v + u \quad , \quad \sigma'_h = K_0 \sigma'_v$$

- σ'_h: تنش جانبی کل
- $K_0 \sigma'_v$: تنش موثر قائم
- K_0: ضریب فشار سکون
- u: فشار آب حفره‌ای
- σ'_h: تنش جانبی موثر

● محاسبهٔ K_0 به دو صورت امکان پذیر است:

الف - با فرض رفتار الاستیک خاک و استفاده از روابط تئوری الاستیسیته

$$K_0 = \frac{\nu}{1-\nu}$$

(ν: ضریب پواسون خاک)

ب - براساس رفتار واقعی خاک و با استفاده از روابط تجربی

● خاک دانه‌ای با تراکم عادی و معمولی: $K_0 = 1 - \sin\phi'$

● خاک دانه‌ای با تراکم بالا: $K_0 = (1-\sin\phi') + 0.5\left(\frac{\gamma_d}{\gamma_{d\min}} - 1\right)$

● خاک رس عادی تحکیم یافته: $K_0 = 0.95 - \sin\phi' \simeq 1 - \sin\phi'$

● خاک رس بیش تحکیم یافته: $K_0 = K_{0\,NC}\sqrt{OCR}$

● در حالت کلی اگر نوع خاک مشخص نباشد:

$$K_0 = 1 - \sin\phi'$$

◉ محاسبهٔ فشار جانبی محرک و مقاوم

الف- فشار محرک

$$\sigma_a = \sigma_v K_a - 2c\sqrt{K_a} \xrightarrow[\text{حالت تنش موثر}]{\text{خاک اشباع با}} \sigma'_a = \sigma'_v K_a - 2c'\sqrt{K_a}$$

$$K_a = \frac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi} = \tan^2\left(45 - \frac{\phi}{2}\right) \qquad K_a = \frac{1-\sin\phi'}{1+\sin\phi'} = \tan^2\left(45 - \frac{\phi'}{2}\right)$$

توجه کنید که در این حالت:

۱- زاویه صفحات گسیختگی با امتداد افق برابر $\theta_a = 45 + \frac{\phi}{2}$ است.

۲- برای محاسبهٔ فشار کل در حالت محرک بایستی σ'_a را با فشار هیدرواستاتیک آب یعنی u جمع کنیم.

ب- فشار مقاوم

$$\sigma_p = \sigma_v K_p + 2c\sqrt{K_p} \xrightarrow[\text{حالت تنش موثر}]{\text{خاک اشباع با}} \sigma'_p = \sigma'_v K_p + 2c'\sqrt{K_p}$$

$$K_p = \frac{1+\sin\phi}{1-\sin\phi} = \tan^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right) \qquad K_p = \frac{1+\sin\phi'}{1-\sin\phi'} = \tan^2\left(45 + \frac{\phi'}{2}\right)$$

توجه کنید که در این حالت:

۱- زاویه صفحات گسیختگی با امتداد افق برابر $\theta_p = 45 - \frac{\phi}{2}$ است.

۲- برای محاسبهٔ فشار کل در حالت مقاوم بایستی σ'_p را با فشار هیدرواستاتیک آب یعنی u جمع کنیم.

⊙ ضریب اطمینان پایداری دیوارهای حائل

$$\text{لغزش } FS = \frac{F_R}{F_d} = \frac{\text{مجموع نیروهای مقاوم}}{\text{مجموع نیروهای محرک}}$$

$$\text{واژگون } FS = \frac{M_R}{M_d} = \frac{\text{مجموع لنگرهای مقاوم حول پنجه}}{\text{مجموع لنگرهای محرک حول پنجه}}$$

⊙ فرمول‌های تکمیلی

- فرمول ترک کششی

Z_{cr}

- خاک غیر اشباع: $Z_c = \frac{2c}{\gamma_t\sqrt{K_a}} - \frac{q}{\gamma_t}$
- خاک اشباع
  - حالت تنش موثر: $Z_c = \frac{2c'}{\gamma'\sqrt{K_a}} - \frac{q}{\gamma'}$
  - حالت تنش کل
    - ترک پر آب: $\frac{2c_u}{\gamma_{sat}} - \frac{q}{\gamma_{sat}}$
    - ترک آب دار: $\frac{2c_u}{\gamma'} - \frac{q}{\gamma'}$

- فرمول محاسبه نیروی محرک در حالت ترک کششی

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

- فرمول محاسبه ارتفاع مجاز (ایمن گودبرداری)

$$F_a = 0 \rightarrow H_{cr} = 2Z_{cr} \rightarrow H_{all} = 2\left(\frac{Z_{cr}}{FS}\right)$$

- فرمول محاسبهٔ عدد پایداری ترانشه ها

$$N_S = \frac{C}{FS \times \gamma H} \xrightarrow{FS=1} N_S = \frac{C}{\gamma H_{cr}}$$

◉ نکات تکمیلی

۱ـ المان قرارگرفته در خاک، نمونهٔ رسی در آزمایش تحکیم و دیوار زیرزمین، در شرایط سکون بوده و فشار جانبی وارد بر آنها، فشار سکون است.

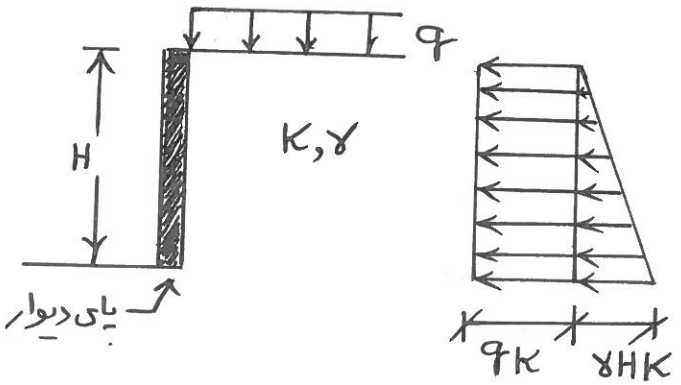
۲ـ مقدار جابجایی لازم برای ایجاد حالت های محرک و مقاوم در پشت یک دیوار حائل با خاک دانه‌ای، طبق نظر ترزاقی برابر است با:

$$\delta_a = \frac{H}{1000} \quad ، \quad \delta_p = \frac{H}{100}$$

۳ـ اگر بخواهیم مزایب فشار جانبی خاک را با هم مقایسه کنیم، معمولاً می توانیم بگوییم:

$$k_a = \frac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi} < K_o = 1-\sin\phi < k_p = \frac{1+\sin\phi}{1-\sin\phi}$$

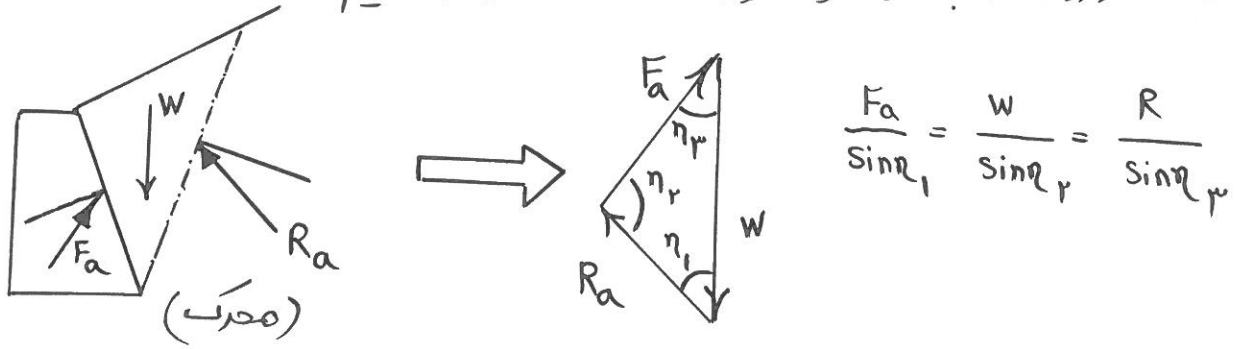
۴ـ در یک خاک دانه‌ای بدون ناشی از فشار جانبی خاک در واحد طول دیوار و نیز لنگر خمشی حول پای دیوار برابر است با:



$$F = \frac{1}{2}\gamma H^2 K + qHK$$

$$M = \frac{1}{6}\gamma H^3 K + \frac{1}{2}qHK$$

۵ـ در روش کولمب از تعادل حدی استفاده می شود و داریم:



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

فصل دوم (پی‌های سطحی)

◉ محاسبهٔ ظرفیت باربری

برای محاسبهٔ ظرفیت باربری نهایی از روش‌های مختلفی استفاده می‌شود که کامل‌ترین آنها روش هانسن است که به شرح زیر، رابطهٔ ظرفیت باربری نهایی را ارائه می‌کند:

$$q_{ult} = \underbrace{(S_c d_c i_c g_c b_c) c N_c}_{\text{ترم چسبندگی}} + \underbrace{(S_q d_q i_q g_q b_q) \bar{q} N_q}_{\text{ترم عمق}} + \underbrace{(S_\gamma d_\gamma i_\gamma g_\gamma b_\gamma) \tfrac{1}{2} B \gamma N_\gamma}_{\text{ترم عرض}}$$

- c چسبندگی خاک است و N_c ضریب ظرفیت باربری اصلی مربوط به ترم چسبندگی است. اگر خاک دانه‌ای باشد، $c=0$ شده و ترم چسبندگی از رابطهٔ ظرفیت باربری حذف می‌گردد.

- $\bar{q}$ تنش موجود در تراز لف پی است ($\bar{q}=\gamma' D_f$) و N_q ضریب ظرفیت باربری اصلی مربوط به ترم عمق است. اگر پی روی سطح خاک واقع شده باشد، $q=0$ شده و ترم عمق از رابطهٔ ظرفیت باربری حذف می‌گردد. در فصل $\bar{q}$ در حالت حاکمیت تنش موثر و تنش کل بترتیب بر اساس γ' و γ_{sat} محاسبه می‌شود.

- B عرض پی، γ وزن مخصوص خاک زیر پی و N_γ ضریب ظرفیت باربری اصلی مربوط به ترم عرض است. اگر خاک صرفاً چسبنده ($\phi = 0$) باشد، $N_\gamma = 0$ شده و ترم عرض از رابطهٔ ظرفیت باربری حذف می‌گردد.

- S، d، i، g و b، به همراه زیرنویسشان، ضرایب فرعی هستند که اولاً اندیس آنها مشخص می‌کند که مربوط به چه ترمی هستند، ثانیاً S ضریب شکل، d ضریب عمق، i ضریب امتداد بار، g ضریب شیب و b ضریب بستر نامیده می‌شوند که در موارد زیر بکار می‌روند: (صفحهٔ بعد را ببینید)

۱- ضریب S_c علاوه بر روش هانسن در روش ترزاقی و روش میرهوف (البته وقتی بار قائم است) نیز بکار می رود و آن زمانی است که پی نواری یا نواری با $\frac{L}{B} > 10$ داشته باشیم، در غیر اینصورت $S_c = 1$ خواهد بود. (برای یک پی نواری که خاک زیر آن مرفاً چسبنده است، در روش هانسن، $S_c = 0$ است.)

۲- ضریب d_c علاوه بر روش هانسن در روش میرهوف نیز بکار می رود و آن زمانی است که پی روی سطح خاک نباشد. اگر پی روی سطح خاک واقع شود، $d_c = 1$ خواهد بود. (برای یک پی که روی سطح یک خاک مرفاً چسبنده قرار دارد، در روش هانسن، $d_c = 0$ است.)

۳- ضریب i_c علاوه بر روش هانسن در روش میرهوف نیز بکار می رود و آن زمانی است که بار وارد بر پی مایل باشد. اگر بار وارد بر پی قائم باشد، $i_c = 1$ خواهد بود. (برای خاک مرفاً چسبنده در حالت بارهای قائم، در روش هانسن $i_c = 0$ است.)

۴- ضریب g_c زمانی بکار می رود که زمین کنار پی شیب دار باشد. اگر زمین کنار پی شیبدار نباشد، $g_c = 1$ خواهد بود. (برای خاک مرفاً چسبنده که زمین کنار پی شیبدار نیست، $g_c = 0$ است.)

۵- ضریب b_c زمانی بکار می رود که زمین زیر پی شیبدار باشد. اگر زمین زیر پی شیبدار نباشد، $b_c = 1$ خواهد بود. (برای خاک مرفاً چسبنده که زمین زیر پی شیبدار نیست، $b_c = 0$ است.)

- N_c، N_q و N_γ (ضرایب ظرفیت باربری اصلی) به زاویه اصطکاک داخلی خاک بستگی دارند و تا زمانی که نوع خاک زیر پی تغییر نکند، تغییر نمی کنند. البته باید توجه داشت که هر یک از این مقادیر از روشی به روش دیگر متفاوت بوده و فرق می کنند.

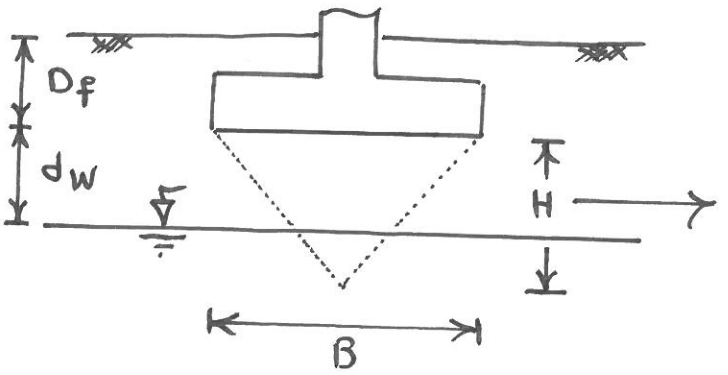
- برای یک خاک مرفاً چسبنده داریم:

$$N_\gamma = 0 \quad ، \quad N_q = 1 \quad ، \quad N_c = \begin{cases} \frac{\pi}{2} + 1 = 5.7 & \text{(ترزاقی)} \\ \pi + 2 = 5.14 & \text{(هانسن و میرهوف)} \end{cases}$$

- هانسن برای محاسبهٔ ظرفیت باربری نمایی در خاکهای صرفاً چسبنده، رابطهٔ زیر را ارائه می‌کند:

$$q_{ult} = (\pi+2)(1+s_c+d_c-i_c-g_c-b_c)c_u+q$$

- اگر در زیر پی سفرهٔ آب زیرزمینی وجود داشته باشد، بصورت زیر تأثیر آن را بر ظرفیت باربری بررسی می‌کنیم:



(ترزاقی) $H = B$

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

$d_w \geq H \rightarrow$ سفرهٔ آب زیرزمینی تأثیری بر ظرفیت باربری ندارد.

$0 < d_w < H \rightarrow$ در رابطهٔ ظرفیت باربری بایستی به جای γ از γ_e استفاده شود که در حالت حاکمیت تنش موثر، مطابق رویرو محاسبه می‌شود.

$\gamma_e \rightarrow$

(ترزاقی) خطی: $\frac{d_w-0}{\gamma_e-\gamma'} = \frac{H-0}{\gamma-\gamma'}$

$d_w=0$	d_w	$d_w=H$
γ'	γ_e	γ

(هانسن) درجه ۲: $\frac{(H-d_w)^2}{\gamma-\gamma_e} = \frac{(H-0)^2}{\gamma-\gamma'}$

$d_w \leq 0 \rightarrow$ γ' یا γ_{sat} (بسته به حاکمیت تنش موثر یا کل)

$\bar{q} = \Sigma\gamma' D$ یا $\Sigma\gamma D$

- اگر پی دارای خروج از محوریت باشد، برای محاسبهٔ ظرفیت باربری نهایی ابتدا به شرح صفحهٔ بعد، این خروج از محوریت کل را محاسبه کرد:

روش اصلی برای محاسبهٔ خروج از محوریت کل آن است که ابتدا تمام بارها را به مرکز سطح پی منتقل کنیم، سپس اثر لنگرناشی از این انتقال را در نظر گرفته و با جمع کردن آنها با لنگرهای خارجی، لنگر کل را بدست آوریم و در نهایت بصورت زیر خروج از محوریت کل را محاسبه کنیم:

$$e_{x\,کل} = \frac{M_{y\,کل}}{P_{کل}} \quad , \quad e_{y\,کل} = \frac{M_{x\,کل}}{P_{کل}}$$

پس از محاسبهٔ خروج از محوریت کل، یکی از دو روش زیر را بکار می بریم:

الف - روش هانسن (بیشتر در خاکهای دانه ای استفاده می شود.)

هانسن پیشنهاد می کند که در محاسبهٔ ظرفیت باربری از ابعاد موثر به شرح زیر استفاده شود:

$$B' = \min\left\{L - 2e_L \;,\; B - 2e_B\right\} \quad , \quad L' = \max\left\{L - 2e_L \;,\; B - 2e_B\right\}$$

ابعاد موثر بصورت زیر در رابطهٔ ظرفیت باربری حالت داده می شوند:

۱- در ترم عرض به جای B باید از B' استفاده شود.

۲- در ضریب شکل و ضریب انحراف بار باید B' و L' قرار داده شوند ولی در ضریب عمق از همان B استفاده می شود. در ضرایب شیب و بستر نیز ابعاد بی تاثیر هستند.

۳- در محاسبهٔ نیروی نمایی وارد بر پی از ابعاد موثر در جهت مربوط به مساحت استفاده می شود.

ب - روش میرهوف (بیشتر در خاکهای صرفاً چسبنده استفاده می شود.)

در روش میرهوف ابتدا ظرفیت باربری نمایی بدون در نظر گرفتن خروج از محوریت محاسبه می شود. سپس ضرایب کاهش بار را که ناشی از خروج از محوریت هستند، محاسبه می کنیم و در نهایت این ضرایب را در ظرفیت باربری بدست آمده ضرب می کنیم تا ظرفیت باربری نمایی اصلاح شده بدست آید. ضرایب کاهش بار به شرح صفحهٔ بعد محاسبه می شوند:

۱ـ خاک غیرچسبنده

$$R_{ex} = 1 - \sqrt{\frac{e_x}{L}} \quad , \quad R_{ey} = 1 - \sqrt{\frac{e_y}{B}}$$

$$\left(0 < \frac{e_x}{L} , \frac{e_y}{B} < 0.3 \right)$$

۲ـ خاک چسبنده

$$R_{ex} = 1 - 2\left(\frac{e_x}{L}\right) \quad , \quad R_{ey} = 1 - 2\left(\frac{e_y}{B}\right)$$

$$q'_{ult} = R_{ex} \times R_{ey} \times q_{ult}$$

- آزمایش بارگذاری صفحه (PLT) یکی از آزمایش هایی است که به کمک آن می توان ظرفیت باربری دربی های سطحی را تعیین کرد. دراین آزمایش روابط زیر بین تنش ها و نشست ها در خاک های صرفاً چسبنده و خاک های دانه ای برقرار است :

① رابطه بین تنش ها (ظرفیت باربری) :

$$\begin{cases} q_F = q_P & \text{(پی / صفحه) (رس صرفاً چسبنده)} \\ q_F = \left(\frac{B_F}{B_P}\right) q_P & \text{(خاک دانه ای)} \end{cases}$$

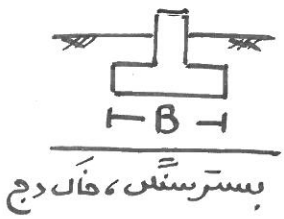
② رابطه بین نشست ها

$$\begin{cases} \delta_F = \delta_p \left(\frac{B_F}{B_p}\right) & \text{(رس صرفاً چسبنده)} \\ \delta_F = \delta_p \left(\frac{2B_F}{B_p + B_F}\right)^2 & \text{(خاک دانه‌ای)} \end{cases}$$

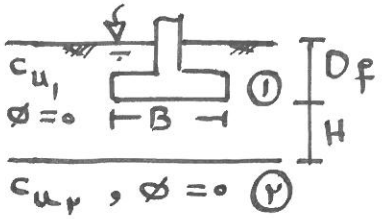
③ رابطه ضرایب عکس العمل بستر

$$\begin{cases} k_f = k_s \left(\frac{B_p}{B_F}\right) & \text{(رس صرفاً چسبنده)} \\ k_f = k_s \left(\frac{B_F + B_p}{2B_F}\right)^2 & \text{(خاک دانه‌ای)} \end{cases}$$

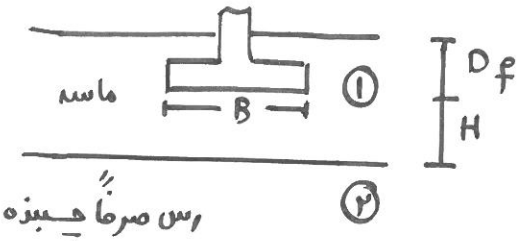
◉ ظرفیت باربری در خاک های لایه بندی شده



- $\frac{H}{B} \geq 1 \rightarrow$ از اثر لایه سخت بر ظرفیت باربری صرف نظر می شود
- $\frac{H}{B} < 1 \rightarrow$ لایه سخت هر چه بیشتر به کف پی نزدیک شود، باعث افزایش بیشتر ظرفیت باربری لایه نازک بالایی می شود.



- $\frac{H}{B} \geq 1 \rightarrow$ لایه پایینی تأثیری بر ظرفیت باربری لایه بالایی ندارد
- $\frac{H}{B} < 1 \rightarrow$
  - $\frac{c_{u2}}{c_{u1}} < 1 \rightarrow$ ظرفیت باربری لایه بالایی کم می شود.
  - $\frac{c_{u2}}{c_{u1}} = 1 \rightarrow$ انگار یک لایه داریم.
  - $\frac{c_{u2}}{c_{u1}} > 1 \rightarrow$ ظرفیت باربری لایه بالایی زیاد می شود.



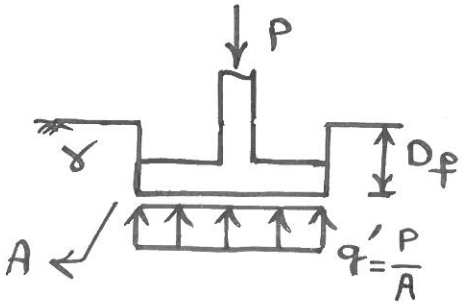
ظرفیت باربری برمبنای لایه دوم $\frac{H}{B} \leqslant 1{,}5 \rightarrow$
یعنی رس تعیین می‌شود و به علت
حضور ماسه و اثر آن، کمی بیشتر از ظرفیت باربری محاسبه
شده بر مبنای لایه رسی است.

ظرفیت باربری برمبنای لایه اول یعنی $\frac{H}{B} \geqslant 3{,}5 \rightarrow$
ماسه محاسبه می‌شود و از اثر لایه
رسی صرف‌نظر می‌گردد

بین دو حالت بالا اینترپوله می‌کنیم. $\rightarrow 1{,}5 < \frac{H}{B} < 3{,}5$

◉ نشست و تنش در زیر پی

● در حالت کلی فشار و نشست در زیر پی غیریکنواخت است ولی اگر بخواهیم فشار و نشست زیر پی را یکنواخت فرض کنیم، در آنصورت نباید هیچگونه خروج از محوریتی در پی داشته باشیم. در این حالت فشار زیر پی را می‌توان بصورت زیر محاسبه کرد:



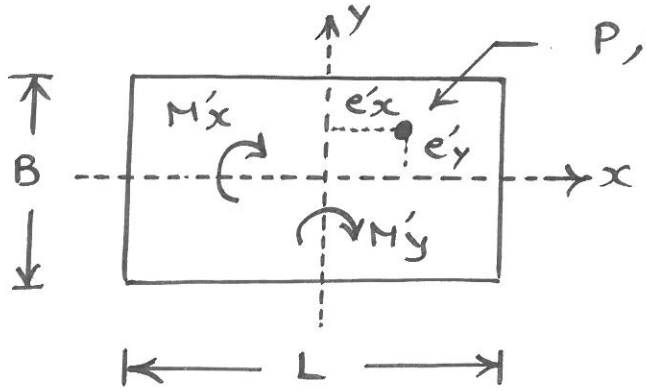
$$q = K_f \delta_e \rightarrow \delta_e = qB\left(\frac{1-\mu^2}{E}\right) I_p$$

q ↓ $\frac{P}{A} - \gamma D_f$

K_f ← ضریب عمق المان بستر پی

لازم به ذکر است که مقدار نشست پی نباید از مقدار نشست مجاز تجاوز کند. حداکثر مقدار نشست مجاز در پی‌های گسترده 5cm و در پی‌های دیگر برابر 2.5cm است.

- اگر بارگذاری وارد بر پی بگونه‌ای باشد که خروج از محوریت کل داشته باشیم، در آنصورت فشار زیر پی غیریکنواخت شده و نشست نیز غیریکنواخت می‌گردد. شکل زیر این موضوع را در یک پی مستطیلی به ابعاد B و L نشان می‌دهد:



حال طبق آنچه قبلاً دیده شد، می‌توان خروج از محوریت کل را بصورت زیر حساب کرد:

$$e_{y\,کل} = \frac{M_{x\,کل}}{P_{کل}} \qquad و \qquad e_{x\,کل} = \frac{M_{y\,کل}}{P_{کل}}$$

اگر فرض کنیم خروج از محوریت تنها در یک امتداد (مثلاً x یا همان ضلع L) است، در آنصورت حالت‌های زیر را خواهیم داشت:

الف - $e_L \leq \frac{L}{6}$ باشد ← در این شرایط در هیچ نقطه‌ای از زیر پی فشار منفی نمی‌شود و می‌توان با استفاده از روابط مقاومت مصالح مقادیر q_{max} و q_{min} را بدست آورد:

$$q_{max,min} = \frac{P_{کل}}{BL}\left[1 \pm \frac{6e_L}{L}\right]$$

در این حالت اگر $e_L = \frac{L}{6}$ شود، $q_{min} = 0$ و $q_{max} = \frac{2P}{BL}$ است و پی در آستانهٔ بلند شدن از کف زمین است.

ب - $e_L > \frac{L}{6}$ باشد ← دراین حالت فشار زیر پی منفی شده و پی به کشش می‌افتد و چون خاک نمی‌تواند کشش تحمل کند، کف پی از زمین بلند می‌شود.

دراین حالت هرگیر نمی‌توان برای یا مقدار q_{max} از روابط مقاومت مصالح استفاده کرد و باید از روابط تعادل را بکار گرفت که نتیجهٔ آن مقدار q_{max} را به شرح زیر ارائه می‌کند:

$$q_{max} = \frac{4P}{3B(L-2e_L)}$$

لازم به ذکر است که دراین حالت $q_{min}=0$ است.

- اگر خروج از محوریت پی در هر دو امتداد باشد، با شرط $q_{min} \geq 0$ می‌توانیم از روابط مقاومت مصالح استفاده کرده و q_{max} و q_{min} را بیابیم:

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

$$q_{min} \geq 0 \rightarrow \frac{6e_L}{L}+\frac{6e_B}{B} \leq 1$$

- برای هر شکل دیگری نیز می‌توان مشابه با حالت مستطیل q_{max} و q_{min} را یافت، فقط باید مساحت و ممان اینرسی آن مقطع در روابط مکان داده شوند. (حالت $q_{min} \geq 0$)

◉ طراحی پی‌های سطحی

۱- طراحی ابعاد پی ← روش تنش مجاز (بارهای بدون ضریب)

$q_{max} \leqslant q_{all}$ ➕

الف- رابطه تعادل نیروها را امتداد قائم برای پی‌های مرکب دوستونی و پی‌های نواری

ب- رابطه تعادل لنگرها که برای پی‌های مرکب دوستونی نوشته می‌شود به این ترتیب که برای مستطیلی و ذوزنقه حول امتدادی از ستون‌ها و برای با سکوئی حول امتداد برآیند تنش‌ها در زیر پی نوشته می‌شود.

$\rightarrow \min\left\{\frac{q_{ult}}{FS}, q_s\right\}$ ⟵ در عمل بر اساس $\frac{q_{ult}}{FS}$ محاسبه می‌شود و در انتها، نشست کنترل می‌گردد.

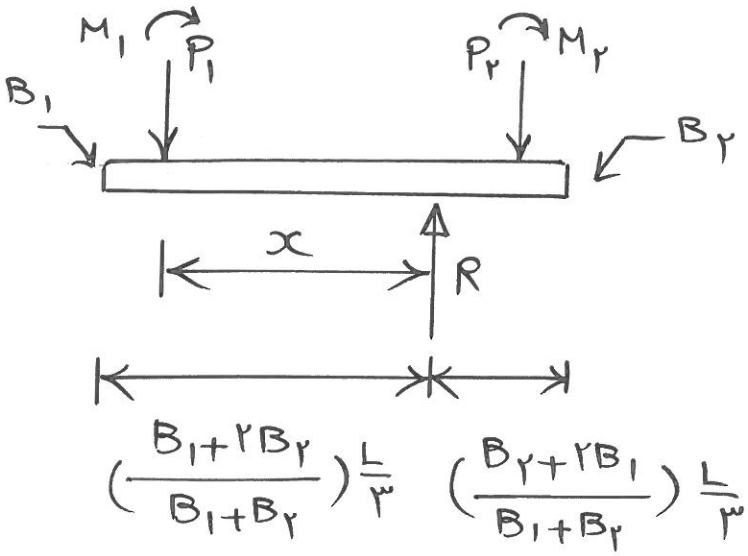
$$q = \frac{P}{A} \quad (\text{بدون خروج از محوریت}) \equiv \text{پی‌های تکی و مرکب دوستونی و در صورت امکان نواری}$$

$$q_{max} = \begin{cases} \frac{P}{BL}\left(1 + \frac{6e_L}{L}\right) & \left(e_L \leqslant \frac{L}{6}\right) \\ \frac{4P}{3B(L-2e_L)} & \left(e_L > \frac{L}{6}\right) \end{cases} \equiv \text{پی‌های نواری}$$

- چند تذکر مهم:

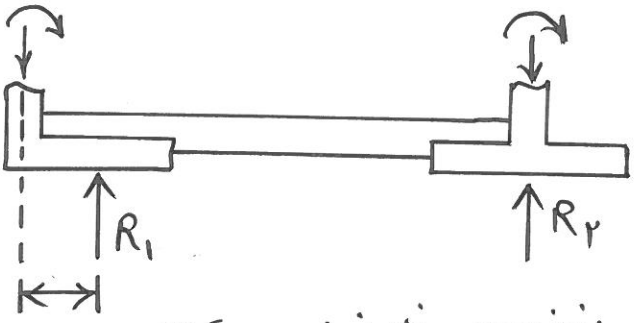
a- مهمترین قانون در طراحی پی‌های سطحی این است که باید سعی شود، حتی الامکان خروج از محوریت نداشته باشیم و فشار زیر پی یکنواخت باشد.

b - در پی های نوارنقه ای فاصلهٔ برآیند تنش های تماس پی از ستون ها و دو طرف پی برابر است با:



(طول پی برابر L است)

c - در پی های با کنسول یا منتی فاصلهٔ x که در شکل زیر نشان داده ایم، بسیار مهم است.



۲ - طراحی سازه ای پی ← روش مقاومت نهایی (بارهای ضریب دار)

الف - تعیین ضخامت: برای تعیین ضخامت پی از مقطع بحرانی برش استفاده می شود که بصورت برش معمولی و پانچ مطرح هستند. مقطع بحرانی برش معمولی به فاصله d از مقطع بحرانی خمش و مقطع بحرانی برش پانچ به فاصلهٔ $\frac{d}{2}$ از دور تا دور ستون های بتنی و به فاصله $\frac{d}{2}$ از دور تا دور صفحهٔ زیر ستون قرار دارد.

ب - تعیین میلگردها: برای تعیین میلگردهای پی از مقطع بحرانی خمش استفاده می شود که در ستون های بتن آرمه در بر ستون و در ستون های فلزی در وسط فاصله بین لبهٔ ستون و صفحهٔ زیر ستون قرار دارد.

فصل سوم (شمع ها)

⊙ ظرفیت باربری شمع های منفرد

$Q_u = Q_S + Q_P$ ← مقاومت انتهایی

Q_u ↓ بارهای وارد — Q_S ↓ مقاومت جانبی

$Q_S = \int_0^L f_S(z)\, p(z)\, dz$

$\xrightarrow{P \text{ ثابت}} Q_S = P \int_0^L f_S(z)\, dz$

P ← محیط شمع

$\int_0^L f_S(z)\, dz$ ← سطح زیر نمودار $f_S - z$

$f_S = K \sigma'_v \tan\delta$ ← خاک دانه‌ای

K ← ضریب فشار جانبی

δ ← زاویه اصطکاک شمع و خاک

خاک رس ←

- کوتاه مدت ← منزیب دهم چسبی ← $f_S = \alpha c_u$
- دراز مدت ← $f_S = K \sigma'_v \tan\phi'_R$

K ← معمولاً K_0

ϕ'_R ← زاویه اصطکاک داخلی مؤثر خاک دست خورده

$Q_P = (c N_c^* + q' N_q^*) A_P$

- خاک دانه‌ای ($c=0$) $\longrightarrow Q_P = q' N_q^* A_P$
- خاک مرغاً چسبنده ($\phi=0$) $\longrightarrow Q_P = 9 A_P c_u$

⊙ نکات مهم

۱- ضریب فشار جانبی K بین K_0 و K_p می‌باشد. در شمع‌های درجا، مقدار K تقریبا برابر K_0 است درحالیکه در شمع های کوبیشی این ضریب به K_p نزدیکتر می‌باشد.

۲- بهترین روش برای محاسبهٔ Q_S آن است که مقدار f_S در وسط لایه را یافته و سپس بصورت زیر Q_S را بدست آوریم:

$$Q_S = \sum (\bar{f}_S P L)$$

- $\bar{f}_S$: تنش اصطکاک در وسط لایه
- P: محیط شمع
- L: طول شمع در لایهٔ مورد نظر

۳- مقاومت کششی در شمع‌ها را می‌توان بصورت زیر محاسبه کرد:

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

۴- اگر تحت شرایطی خاک نشست کرده و نسبت به خاک اطراف پایین برود، در آنصورت جهت نیروی اصطکاک جانبی به سمت پایین بوده و از ظرفیت باربری نشاری شمع می‌کاهد. به این پدیده اصطکاک منفی گفته می‌شود و مقدار آن بصورت زیر قابل محاسبه است:

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

$$\downarrow$$

$$K \tan\delta \times \sigma'_v$$

$$\downarrow \text{ معمولاً}$$

$$K_o \simeq 1 - \sin\phi'$$

◉ ظرفیت باربری و راندمان گروه شمع

$$E_g \text{ یا } \eta = \frac{Q_{ug}}{\Sigma Q_u}$$

Q_{ug} ← ظرفیت باربری گروه

E_g یا η ← راندمان گروه شمع

ΣQ_u ← مجموع ظرفیت باربری شمع های تکی

ضریب کاهش در گروه شمع با توجه به فاصله محور تا محور شمع ها (S)، قطر شمع (D) و نوع خاک، بصورت زیر تعیین می شود :

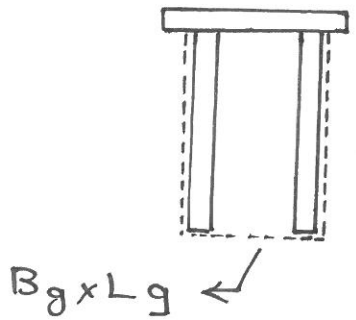
۱ـ ضریب کاهش در خاک های چسبنده ⇦

$\frac{S}{D} < ۳$ → $E_g = \frac{Q_{ug}}{\Sigma Q_u} \leqslant ۱$

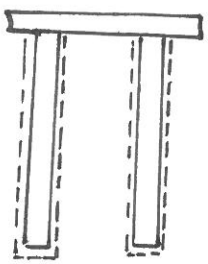
$Q_{ug} = \min \{ Q_{ug_1} , Q_{ug_2} \}$

Q_{ug_1} ↓ براساس گسیختگی بلوکی

Q_{ug_2} ↓ براساس گسیختگی شمع تکی



$B_g \times L_g$



$Q_{ug_2} = \Sigma Q_u$

$\frac{S}{D} > ۳$ →

S/D	۳	.....	۸	≥۸
E_g	۰/۷	.....	۱	۱

$\leqslant ۱$

انتربولهٔ خطی

۲ـ ضریب کارایی در کانال های رانده ای

گروه شمع بزرگ $(n \geq 12)$ ←

S/D	۲	.....	۶	۶۶
Eg	۲	.....	۱	۱

≥ 1

انتریوله دفن

گروه شمع کوچک $(n < 12)$ ←

S/D	۲	.....	۴	۴۶
Eg	۱/۵	.....	۱	۱

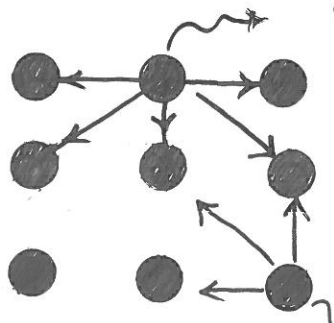
≥ 1

انتریوله دفن

- در تعیین ضریب کارایی گروه شمع می‌توان از قاعده فلد که البته چندان هم دقیق نیست، استفاده کرد.

طبق قاعده فلد، در تعیین ضریب کارایی گروه شمع فرض می‌شود که از ظرفیت باربری هر شمع قرار گرفته در گروه (Q_u) به اندازه $\frac{1}{16} Q_u$ به ازای هر شمع مجاورش کاسته می‌شود.

به عنوان مثال:



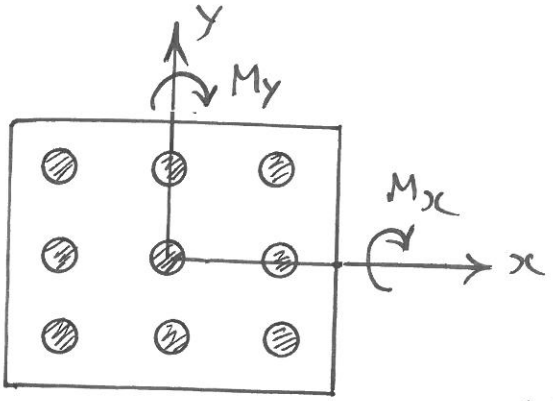
$Q_u - 5 \times \frac{1}{16} Q_u = \frac{11}{16} Q_u$

$Q_u - 3 \times \frac{1}{16} Q_u = \frac{13}{16} Q_u$

شمع مرکزی ← $Q_u - \frac{8}{16} Q_u = \frac{8}{16} Q_u$

◉ نکات تکمیلی

۱- نیروی وارد بر هر شمع در یک گروه شمع مشابه (با فلاهک صلب و اتصال مفصلی) که مطابق شکل تحت بار محوری P در مرکز گروه و لنگرهای M_x و M_y قرار گرفته است، از رابطهٔ زیر قابل محاسبه است:



$$P_i = \frac{P}{n} \pm \frac{M_y x_i}{\Sigma x_i^2} \pm \frac{M_x y_i}{\Sigma y_i^2}$$

لازم به ذکر است که در بسیاری از مواقع می توان با کمک روابط تعادل استاتیکی و بدون نیاز به فرمول بالا، نیروی شمع های گروه شمع را یافت.

۲- اگر گروه شمع روی خاک قرار بگیرد که در پیرامون آن رس نرم اشباع داشته باشیم، در آنصورت در اثر بار وارده از طرف گروه شمع به خاک رسی، نشست تکمیلی رخ می دهد. در این حالت فرض می شود که یک پی فرضی به ابعاد $L_g \times B_g$ به فاصله $\frac{L}{3}$ از نوک شمع قرار گرفته و بار P را که به گروه شمع اعمال می شود، حول آن به خاک منتقل می کند.

لازم به ذکر است که در خاک همگن L برابر طول شمع و در خاک لایه بندی شده L طول شمع در لایه قوی تر است.

۳- نشست الاستیک گروه شمع را می توان از رابطهٔ زیر محاسبه کرد:

$$S_g = \sqrt{\frac{B_g}{D}}\, S$$

- B_g: عرض گروه شمع
- S: نشست الاستیک شمع تکی تحت همان باری که شمع در گروه شمع تحمل می کند.
- D: قطر هر شمع (یا عرض)