

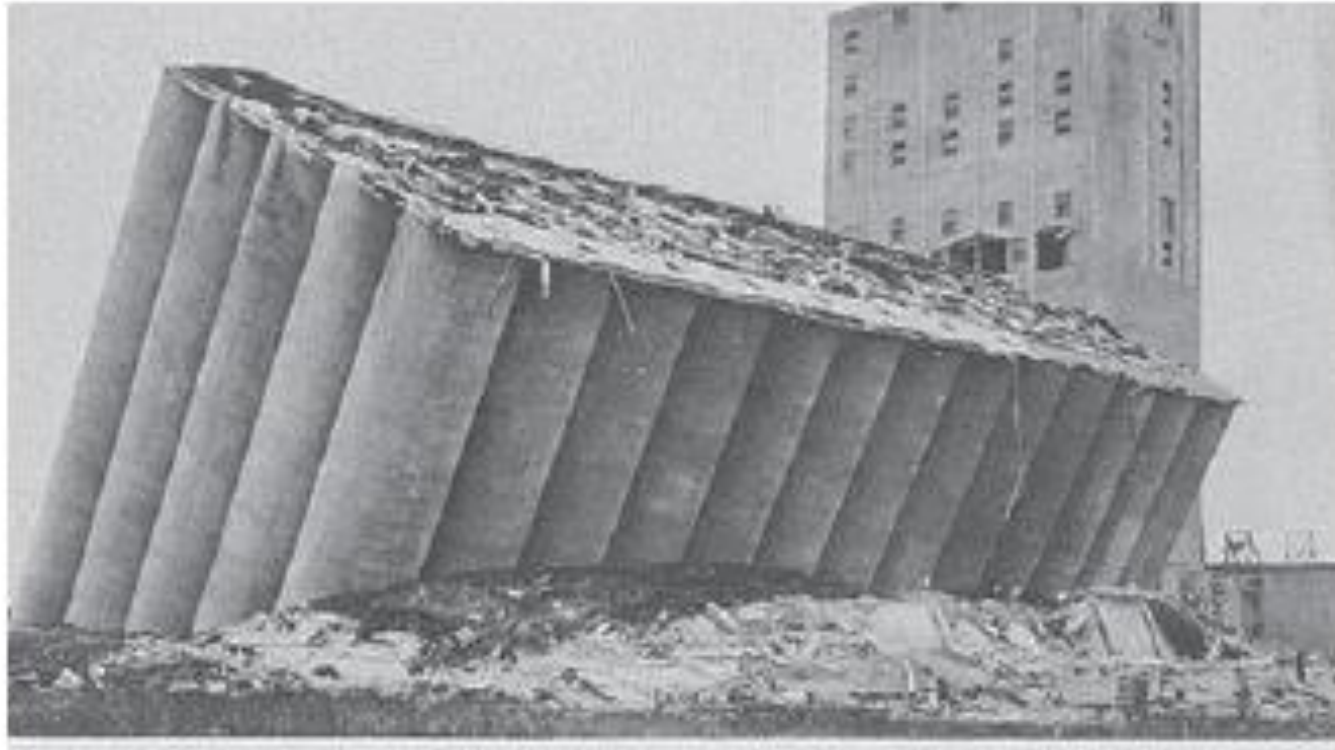


رابطی مقدم

مهندسی پی

ظرفیت باربری پی های سطحی

**Bearing Capacity
of
Shallow Foundations**



نظریه ظرفیت باربری ترزاقی

- ✓ روابط ترزاقی اغلب نتایج **محافظه کارانه ای** به دست میدهد و شاید از همین جهت است که سابقه کاربرد موفقیت آمیزی دارد.
- ✓ کمبود تحلیل ترزاقی عدم توانایی در تعیین ظرفیت باربری شالوده های تحت **بار مایل** و **بارهای برون مرکز** است.
- ✓ با ادامه تحقیقات و ارائه مدلهای دیگر و نیز انجام آزمونهای معتبر بارگذاری روی پی های واقعی و نمونه های آزمایشگاهی به تدریج روابط ارائه شده توسط ترزاقی که تا حدودی محافظه کارانه بودند اصلاح گردید و روابط جدیدی توسط **میرهوف**، **هنسن** و **وسیک** ارائه شدند.

نظریه ظرفیت باربری میرهوف



GEORGE GEOFFREY MEYERHOF

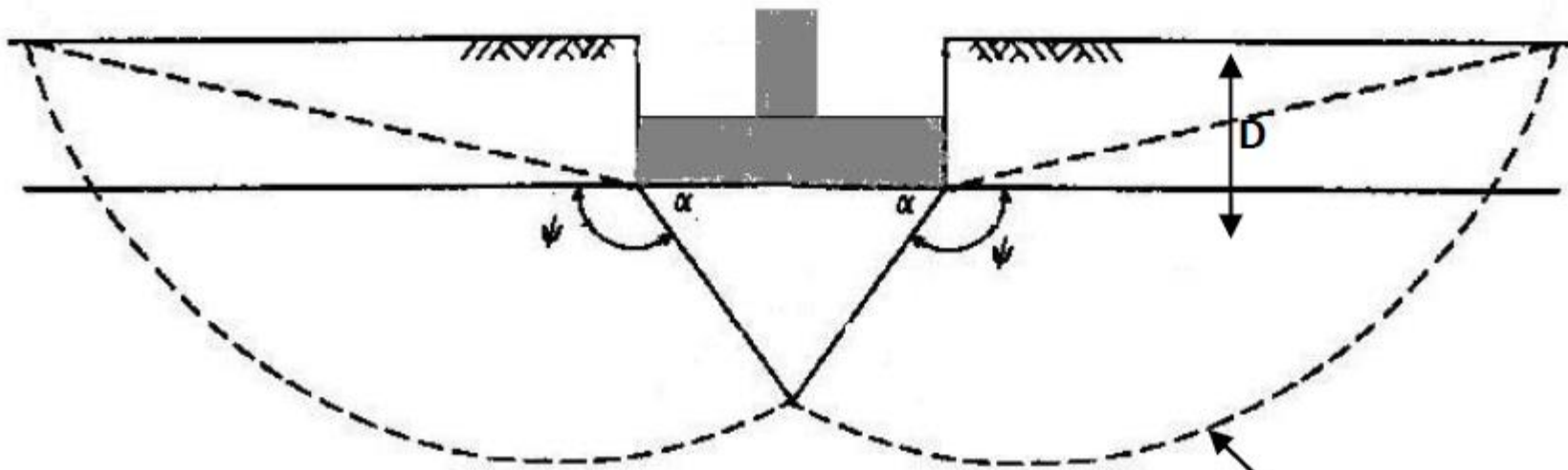
میرهوف (۱۹۶۳) نظریه ای برای تخمین ظرفیت باربری فونداسیون های سطحی زبر و فونداسیون های عمیق پیشنهاد نمود که در آن اثر شکل و مقاومت برشی خاک بالای تراز کف پی با فرض ادامه خط گسیختگی تا سطح زمین در افزایش ظرفیت باربری نهایی در نظر گرفته شده است. این اصلاحات به صورت **ضرایب شکل و عمق** در معادله پایه ظرفیت باربری اعمال گردید. وی همچنین **ضریب تمایل بار** را برای حالتی که بار نسبت به قائم انحراف دارد را در معادله پایه ترزاقی منظور نمود.

در روش میرهوف **زمین شیبدار و یا کجی پی** لحاظ نشده است.

نظریه ظرفیت باربری میرهوف

فرضیات نظریه میرهوف:

- ۱- سطح تماس خاک با شالوده زیر است
- ۲- منحنی گسیختگی خاک از نوع اسپیرال لگاریتمی است.



$$r = r_0 e^{\theta \tan \alpha}$$

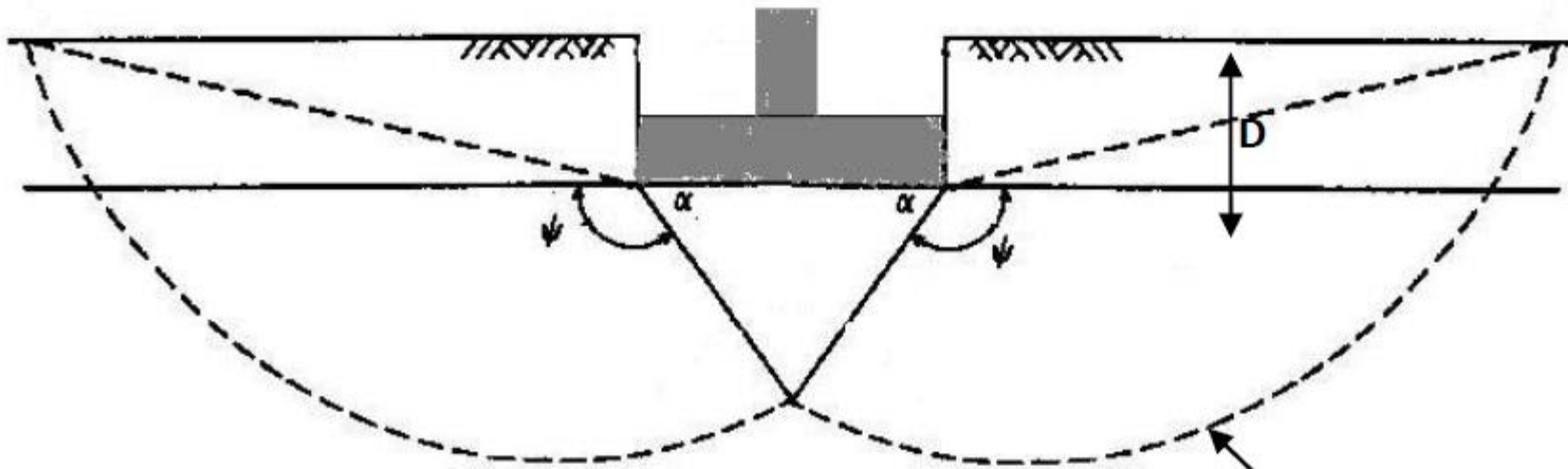
منحنی اسپیرال لگاریتمی

نظریه ظرفیت باربری میرهوف

فرضیات نظریه میرهوف:

۳- از مقاومت برشی خاک بالای سطح زیر شالوده صرفنظر نشده است

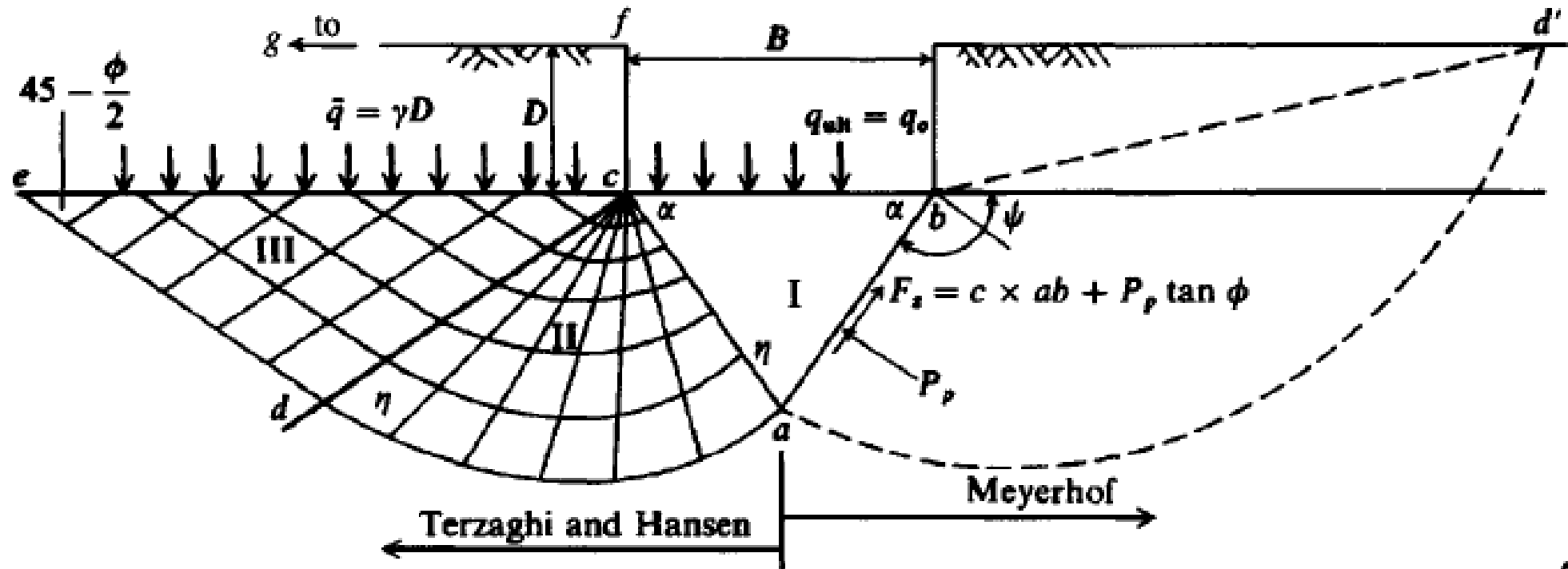
۴- در گوه زیر پی $\alpha = 45 + \frac{\phi}{2}$ است.



$$r = r_0 e^{\theta \tan \alpha}$$

منحنی اسپیرال لگاریتمی

نظریه ظرفیت باربری میرهوف



$$\theta = \angle ace \text{ or } \angle abd'$$

$$\Psi = \angle acd \text{ or } \angle abd'$$

$$\widehat{ad} \text{ or } \widehat{ad'} = \text{log spiral for } \phi > 0$$

$$\eta = 90^\circ - \phi$$

$$\text{For Hansen, Meyerhof: } \alpha = 45 + \frac{\phi}{2}$$

$$\text{Terzaghi: } \alpha = \phi$$

نظریه ظرفیت باربری میرهوف

$$q_{ult} = CN_c S_c d_c i_c + q N_q S_q d_q i_q + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma S_\gamma d_\gamma i_\gamma$$

S_c , S_q , S_γ را ضرایب شکل (Shape Factor) d_c , d_q , d_γ را ضرایب عمق (Depth Factor) i_c , i_q , i_γ را ضرایب میل بار (Inclination Factor) می نامند.

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) \quad N_c = (N_q - 1) \cot \phi \quad N_\gamma = (N_q - 1) \tan(1.4\phi)$$

نظریه ظرفیت باربری میرهوف

$$\text{ضرایب شکل} \left\{ \begin{array}{ll} S_c = 1 + 0.2K_p \frac{B}{L} & \text{Any } \phi \\ S_q = S_\gamma = 1 + 0.1K_p \frac{B}{L} & \phi \geq 10^\circ \\ S_q = S_\gamma = 1 & \phi = 0^\circ \end{array} \right.$$

(در حالت $0 < \phi < 10^\circ$ برای یافتن S_q و S_γ از میانبایی خطی استفاده می شود)

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

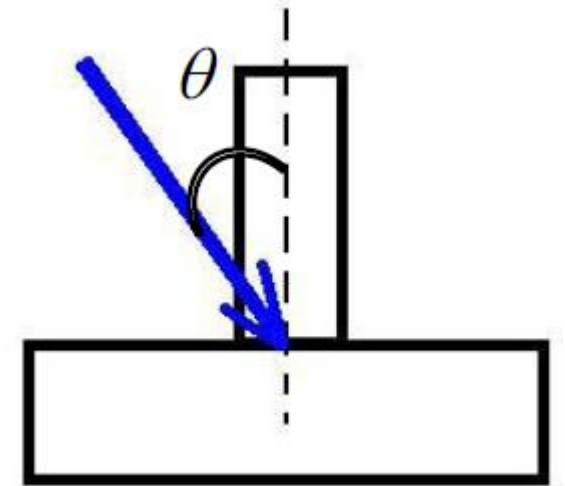
نظریه ظرفیت باربری میرهوف

$$\text{ضرایب عمق} \left\{ \begin{array}{ll} d_c = 1 + 0.2 \sqrt{K_p} \frac{D}{B} & \text{Any } \phi \\ d_q = d_\gamma = 1 + 0.1 \sqrt{K_p} \frac{D}{B} & \phi \geq 10^\circ \\ d_q = d_\gamma = 1 & \phi = 0 \end{array} \right.$$

(در حالت $0 < \phi < 10^\circ$ برای یافتن d_q ، d_γ از میانبایی خطی استفاده میشود)

نظریه ظرفیت باربری میرهوف

$$\text{ضرایب میل بار} \left\{ \begin{array}{ll} i_c = i_q = \left(1 - \frac{\theta}{90}\right)^2 & \text{Any } \phi \\ i_\gamma = \left(1 - \frac{\theta}{\phi}\right)^2 & \phi > 0 \\ i_\gamma = 0 & (\theta > 0) \quad \phi = 0 \end{array} \right.$$

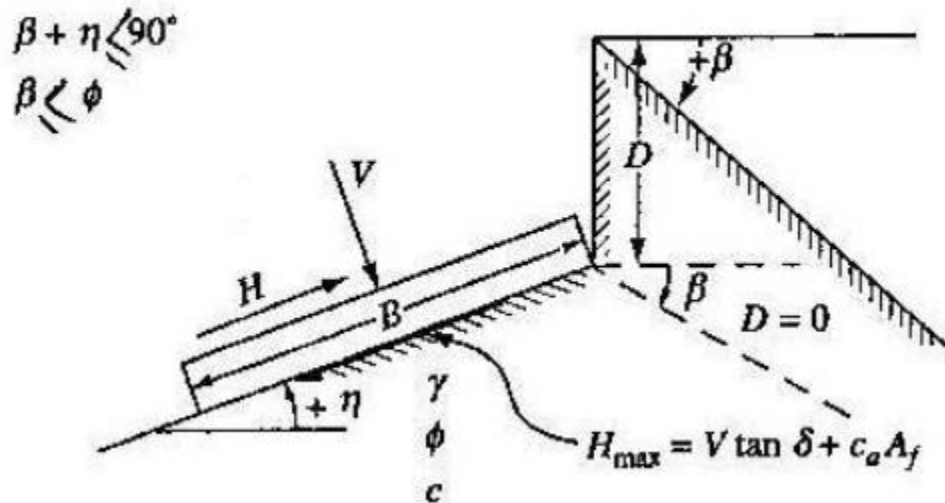


اگر $\theta = 0$ یعنی (V نیروی برشی در پای ستون نداشته باشیم) آنگاه تمام i ها یک خواهند بود.

نظریه ظرفیت باربری هنسن



هنسن (۱۹۷۰) شکل بسط یافته و کلی تری را برای ظرفیت باربری نسبت به معادله میرهوف ارائه داد. بسط بیشتر معادله کلی ظرفیت باربری شامل **کجی پی (η)** برای موقعیت هایی که شالوده نسبت به افق انحراف دارد و **ضرایب شیب زمین (β)** برای در نظر گرفتن شیب احتمالی زمینی است که شالوده را نگه می دارد.



مهندسی پی: ظرفیت باربری پی های سطحی

نظریه ظرفیت باربری **هنسن**



نظریه ظرفیت باربری **هنسن**

فرضیات

- کف پی زبر است و پی با خاک زیر درگیر است.
- از مقاومت برشی خاک بالاتر از تراز کف پی چشم پوشی شده است (همانند ترزاقی).
- برای $D > B$ و حتی برای برآورد ظرفیت باربری شمع ها نیز به کار می رود.
- بار می تواند مایل و برون مرکز باشد.
- زمین می تواند شیبدار باشد.
- کف پی می تواند کج باشد.

نظریه ظرفیت باربری هنسن

$$H_{\max} = V \tan \delta + C_a A_f$$

اولین گام در رابطه هنسن کنترل امکان لغزش پی می باشد

$$C_a = (0.6 \text{ to } 1) C$$

چسبندگی بین خاک و پی

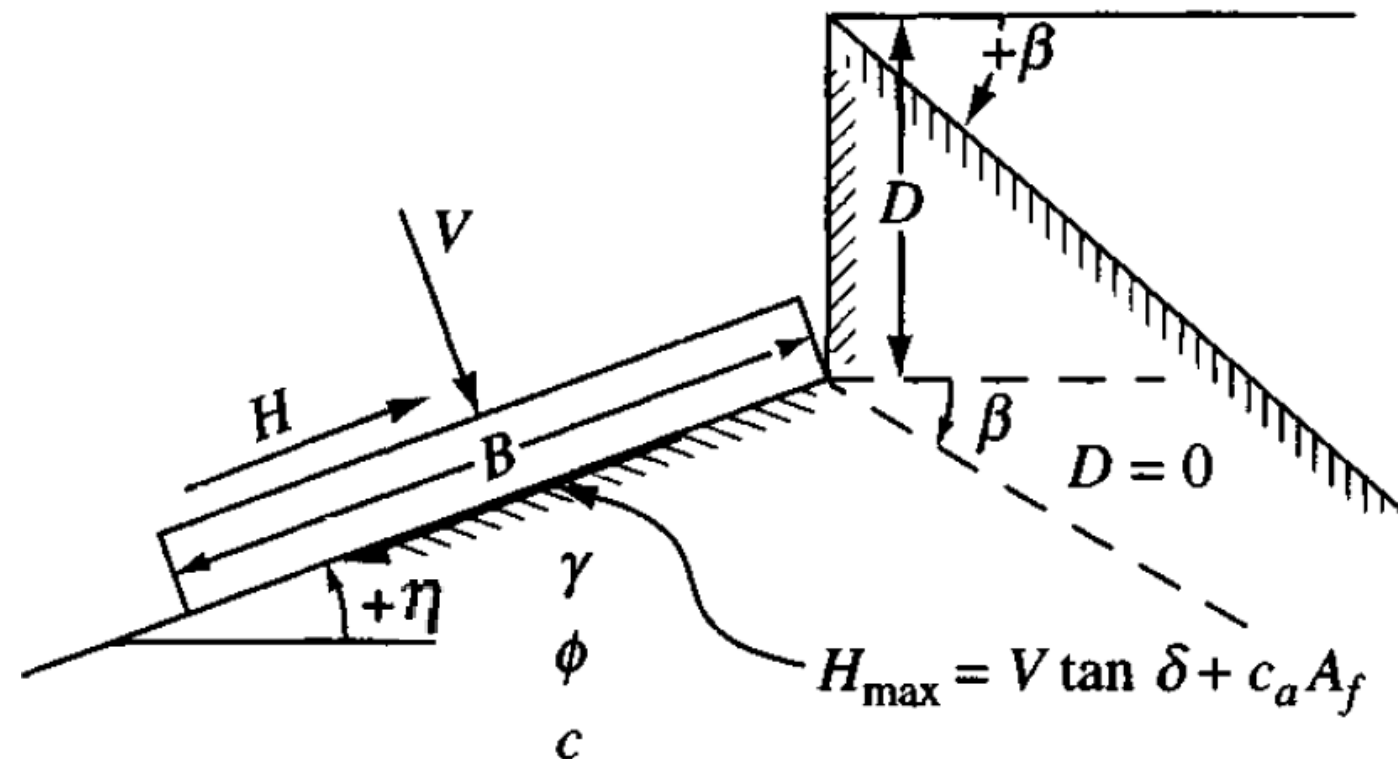
$$0.5\phi \leq \delta \leq \phi$$

ضریب اصطکاک بین پی و خاک

$$A_f = B' L'$$

مساحت موثر پی

V نیروی قائم عمود بر پی



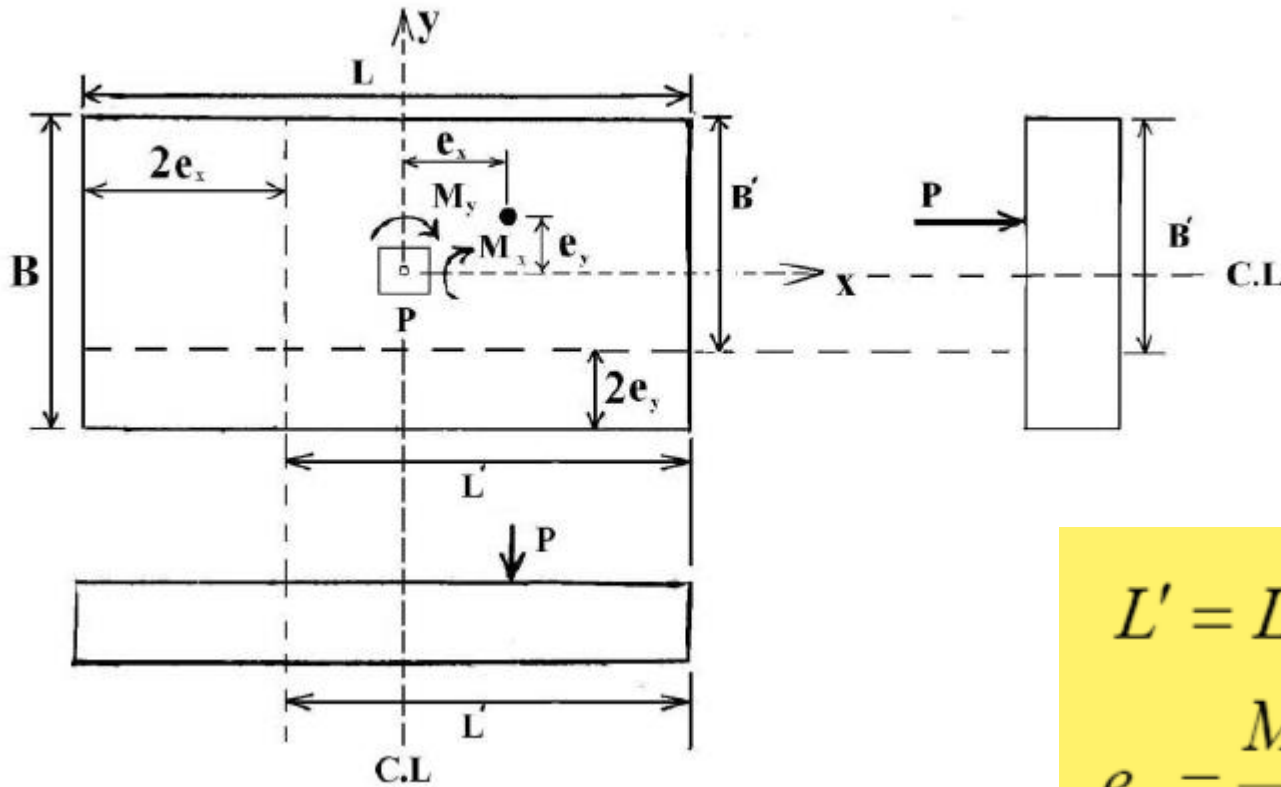
نظریه ظرفیت باربری هنسن

در روش هنسن،

هر گاه شالوده تحت بارهای خارج از مرکز باشد

ابعاد موثر شالوده (L' و B') به صورت زیر

تعریف می شوند



$$L' = L - 2e_x$$

$$B' = B - 2e_y$$

$$e_x = \frac{M_y}{P}$$

$$e_y = \frac{M_x}{P}$$

که در آنها

در جمله سوم ظرفیت باربری

$$B' = \min(B - 2e_B, L - 2e_L)$$

نظریه ظرفیت باربری **هنسن**

$$\text{برای خاکهای با } \phi > 0 \quad q_{ult} = cN_c S_c d_c i_c g_c b_c + qN_q S_q d_q i_q g_q b_q + \frac{1}{2} \gamma B' N_\gamma S_\gamma d_\gamma i_\gamma g_\gamma b_\gamma$$

$$\text{برای خاکهای با } \phi = 0 \quad q_{ult} = 5.14 c_u (1 + S'_c + d'_c - i'_c - b'_c - g'_c) + \bar{q}$$

S : ضریب شکل (shape factor) d : ضریب عمق (depth factor)

i : ضریب میل بار (inclination factor) g : ضریب شیب خاکریز طرفین شالوده (ground factor)

b : ضریب پاشنه (برای لحاظ شیب کف پی) (base factor)

نظریه ظرفیت باربری **هنسن**

ضرایب ظرفیت باربری: N_c, N_q مشابه روابط مایرهوف

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) \quad N_c = (N_q - 1) \cot \phi$$

$$N_\gamma = 1.5(N_q - 1) \tan \phi$$

نظریه ظرفیت باربری هنس

$$\left\{ \begin{array}{l} S'_c = 0.2 \frac{B'}{L'} \quad (\phi = 0) \\ S_c = 1 + \frac{N_q}{N_c} \frac{B'}{L'} \\ S_c = 1 \quad (\text{for Strip footing}) \\ S_q = 1 + \frac{B'}{L'} \sin \phi \\ S_\gamma = 1 - 0.4 \frac{B'}{L'} \geq 0.6 \end{array} \right. \quad \text{ضرایب شکل}$$

B' و L' عرض و طول موثر

در محاسبه ضرایب شکل و ضرایب عمق از B' و L' استفاده می شود.

نظریه ظرفیت باربری هسن

$$\left\{ \begin{array}{l} d'_c = 0.4k \quad (\phi = 0) \\ d_c = 1 + 0.4k \\ d_q = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 k \\ d_r = 1 \end{array} \right. \quad \text{for all } \phi$$

ضرایب عمق

$$\left\{ \begin{array}{l} k = \frac{D}{B} \quad \frac{D}{B} \leq 1 \\ k = \tan^{-1} \left(\frac{D}{B} \right) \quad \frac{D}{B} > 1 \end{array} \right.$$

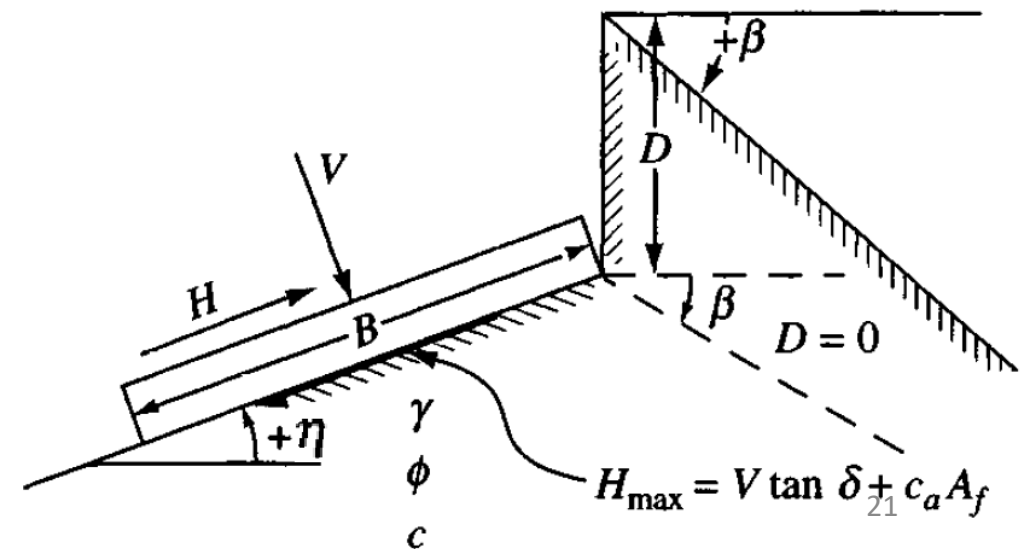
k in radians

نظریه ظرفیت باربری هسن

V نیروی قائم وارد بر پی
 H : مولفه افقی بار در راستای عرض
 یا طول پی

ضرایب میل بار

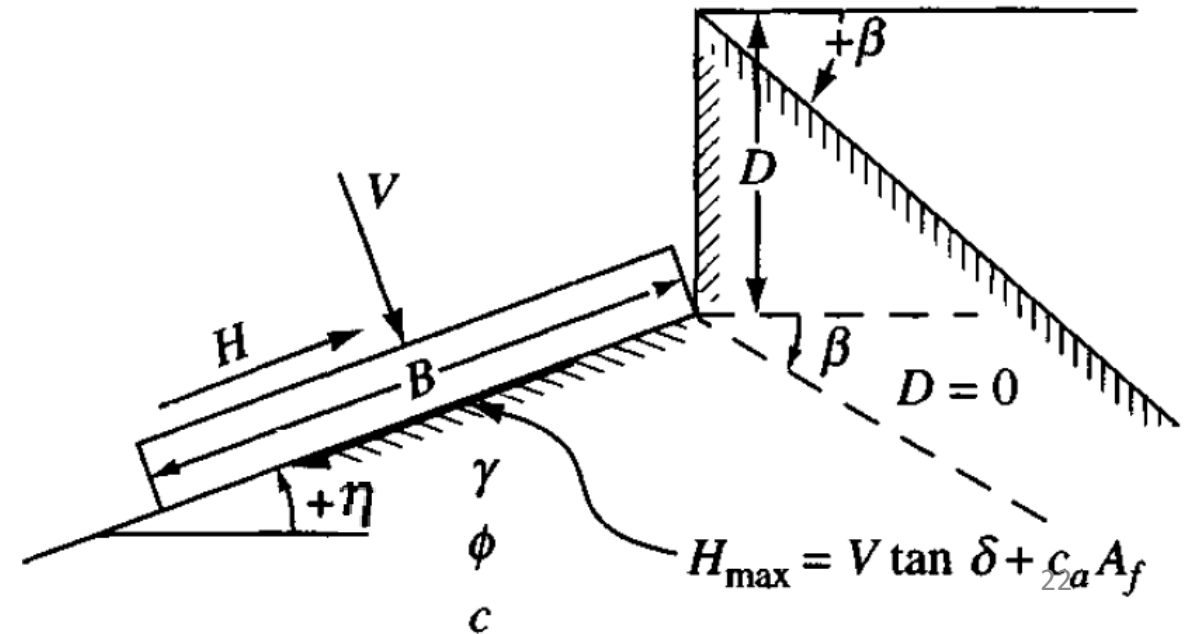
$$\left\{ \begin{array}{l} i'_c = 0.5 - 0.5 \sqrt{1 - \frac{H_i}{A_f C_a}} \quad (\phi = 0) \\ i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1} \quad (\phi > 0) \\ i_q = \left[1 - \frac{0.5 H_i}{V + A_f C_a \cot \phi} \right]^5 \\ i_\gamma = \left[1 - \frac{(0.7 - \frac{\eta^\circ}{450^\circ}) H_i}{V + A_f C_a \cot \phi} \right]^5 \end{array} \right.$$



نظریه ظرفیت باربری هنسِن

ضرایب زمین
(پی بر روی شیب)

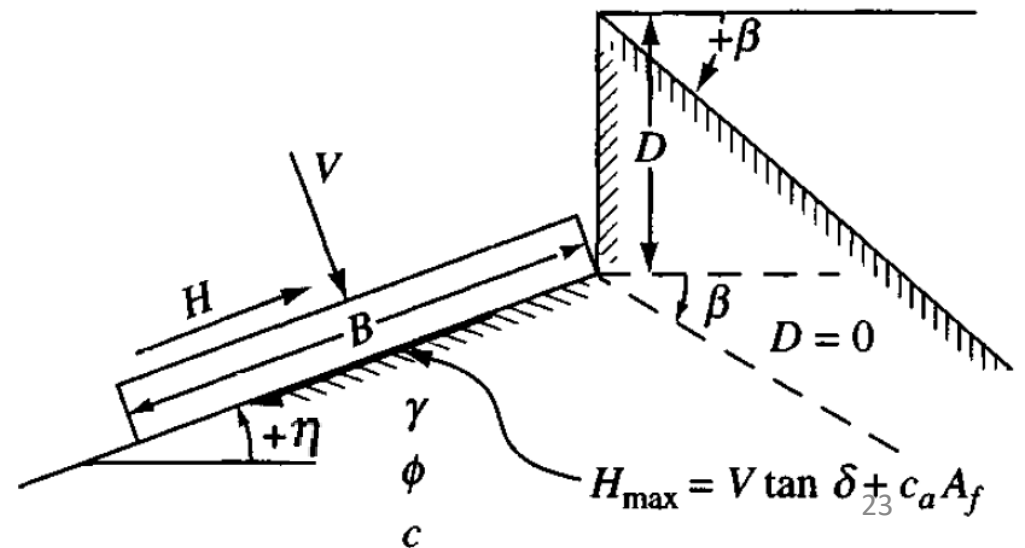
$$\left\{ \begin{array}{ll} g'_c = \frac{\beta^\circ}{147^\circ} & (\phi = 0) \\ g_q = g_\gamma = (1 - 0.5 \tan \beta)^\delta & \end{array} \right. \quad g_c = 1 - \frac{\beta^\circ}{147^\circ} \quad (\phi > 0)$$



نظریه ظرفیت باربری هنسِن

ضرایب شیب پاشنه
(پی کج شده)

$$\left\{ \begin{array}{ll} b'_c = \frac{\eta^\circ}{147^\circ} & (\phi = 0) \\ b_q = \exp(-2\eta \tan \phi) & \\ b_\gamma = \exp(-2.7\eta \tan \phi) & \end{array} \right. \quad \begin{array}{ll} b_c = 1 - \frac{\eta^\circ}{147^\circ} & (\phi > 0) \\ & \eta = \text{radian} \end{array}$$

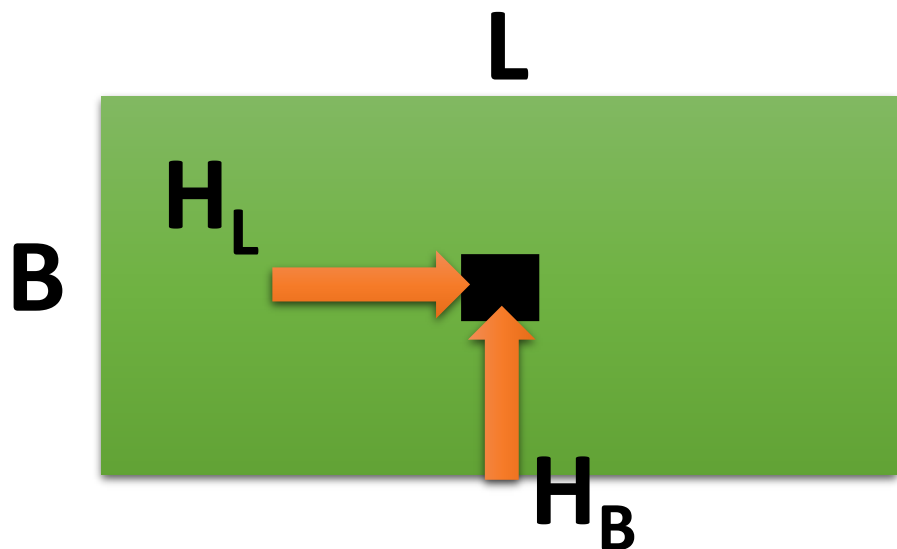


نظریه ظرفیت باربری **هنسن**

در صورت وجود نیروی برشی در هر دو جهت در پای ستون (هر دو H_B, H_L) به روش زیر عمل می کنیم:

الف) محاسبه i_c, i_q, i_γ با استفاده از فرمولهای ارائه شده قبلی به صورت جداگانه برای H_B, H_L

$$i_{c,B}, i_{c,L}, i_{q,B}, i_{q,L}, i_{\gamma,B}, i_{\gamma,L}$$



نظریه ظرفیت باربری **هنسن**

در صورت وجود نیروی برشی در هر دو جهت در پای ستون (H_B, H_L) به روش زیر عمل می کنیم:

ب) با استفاده از ضرایب تمایل بار بدست آمده ضرایب شکل به صورت زیر اصلاح می شوند.

$$\text{for } H_B = \begin{cases} S'_{c,B} = 0.2 \frac{B}{L} i_{c,B} & \text{for } \phi = 0 \\ S_{c,B} = 1 + \frac{N_q}{N_c} \frac{B'}{L'} i_{c,B} & \text{for } \phi > 0 \\ S_{q,B} = 1 + \sin \phi \frac{B'}{L'} i_{q,B} \\ S_{\gamma,B} = 1 - 0.4 \frac{B'}{L'} \frac{i_{\gamma,B}}{i_{\gamma,L}} \end{cases}$$

$$\text{for } H_L = \begin{cases} S'_{c,L} = 0.2 \frac{L}{B} i_{c,L} & \text{for } \phi = 0 \\ S_{c,L} = 1 + \frac{N_q}{N_c} \frac{L'}{B'} i_{c,L} & \text{for } \phi > 0 \\ S_{q,L} = 1 + \sin \phi \frac{L'}{B'} i_{q,L} \\ S_{\gamma,L} = 1 - 0.4 \frac{L'}{B'} \frac{i_{\gamma,L}}{i_{\gamma,B}} \end{cases}$$

نظریه ظرفیت باربری هنس

در صورت وجود نیروی برشی در هر دو جهت در پای ستون (هر دو H_B, H_L) به روش زیر عمل می کنیم:

$$q_{ult,B} = cN_c S_{c,B} d_{c,B} i_{c,B} + qN_q S_{q,B} d_{q,B} i_{q,B} + \frac{1}{2} \gamma B' N_\gamma S_{\gamma,B} d_{\gamma,B} i_{\gamma,B}$$

$$q_{ult,L} = cN_c S_{c,L} d_{c,L} i_{c,L} + qN_q S_{q,L} d_{q,L} i_{q,L} + \frac{1}{2} \gamma L' N_\gamma S_{\gamma,L} d_{\gamma,L} i_{\gamma,L}$$

$$q_{ult} = \text{Min}(q_{ult,B}, q_{ult,L})$$

نظریه ظرفیت باربری **هنسن**

تذکر: در صورتیکه $H_L=0$ باشد (برش فقط در راستای عرضی پی)، نیازی به محاسبه $q_{ult,L}$ نیست و کافی است **ضرایب شکل اصلاح شده** بر مبنای ضرایب تمایل $i_{i,B}$ محاسبه و ظرفیت باربری به صورت معمول محاسبه شود.

$$\text{ضرایب شکل} \left\{ \begin{array}{l} S'_c = 0.2 \frac{B'}{L'} \quad (\phi = 0) \\ S_c = 1 + \frac{N_q}{N_c} \frac{B'}{L'} \\ S_c = 1 \quad (\text{for Strip footing}) \\ S_q = 1 + \frac{B'}{L'} \sin \phi \\ S_\gamma = 1 - 0.4 \frac{B'}{L'} \geq 0.6 \end{array} \right.$$

اصلاح شود به

$$\text{for } H_B = \left\{ \begin{array}{l} S'_{c,B} = 0.2 \frac{B}{L} i_{c,B} \quad \text{for } \phi = 0 \\ S_{c,B} = 1 + \frac{N_q}{N_c} \frac{B'}{L'} i_{c,B} \quad \text{for } \phi > 0 \\ S_{q,B} = 1 + \sin \phi \frac{B'}{L'} i_{q,B} \\ S_{\gamma,B} = 1 - 0.4 \frac{B'}{L'} \frac{i_{\gamma,B}}{i_{\gamma,L}} \end{array} \right.$$

ضرایب شکل
اصلاح شده

نظریه ظرفیت باربری وسیک

روش وسیک (۱۹۷۳) همانند روش هنسن همراه با برخی تغییرات در محاسبه ضرایب می باشد.

$$\text{برای خاکهای با } \phi > 0 \quad q_{ult} = cN_c S_c d_c i_c g_c b_c + qN_q S_q d_q i_q g_q b_q + \frac{1}{2} \gamma B' N_\gamma S_\gamma d_\gamma i_\gamma g_\gamma b_\gamma$$

$$\text{برای خاکهای با } \phi = 0 \quad q_{ult} = 5.14 c_u (1 + S'_c + d'_c - i'_c - b'_c - g'_c) + \bar{q}$$

نظریه ظرفیت باربری **وسیک**

روش وسیک (۱۹۷۳) همانند روش هسن همراه با برخی تغییرات در محاسبه ضرایب می باشد.

N_c, N_q مشابه معادله ظرفیت باربری هسن و مایرهوف بوده اما N_γ متفاوت می باشد.

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) \quad N_c = (N_q - 1) \cot \phi \quad N_\gamma = 2(N_q + 1) \tan \phi$$

نظریه ظرفیت باربری وسیک

ضرایب شکل

$$S_c = 1 + \frac{N_q}{N_c} \cdot \frac{B}{L} \quad (S_c = 1 \text{ برای پی های نواری}) \quad S_q = 1 + \frac{B}{L} \tan \phi \quad S_\gamma = 1 - 0.4 \frac{B}{L} \geq 0.6$$

روش وسیک ساده تر از هنس می باشد چرا که در محاسبه ضرایب شکل، از ضرایب تمایل بار استفاده نمی شود.

در محاسبه ضرایب شکل و ضرایب عمق از B و L استفاده می شود نه B' و L'

ضرایب عمق همان ضرایب هنس می باشد

نظریه ظرفیت باربری و سیک

ضرایب میل بار

$$i'_c = 1 - \frac{mH_i}{A_f \cdot C_a \cdot N_c} \quad (\phi = 0)$$

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1} \quad (\phi > 0)$$

$$i_q = \left[1 - \frac{H_i}{V + A_f C_a \cot \phi} \right]^m$$

$$i_\gamma = \left[1 - \frac{H_i}{V + A_f C_a \cot \phi} \right]^{m+1}$$

نظریه ظرفیت باربری وسیک

$$m = m_B = \frac{2 + \frac{B}{L}}{1 + \frac{B}{L}}$$

اگر نیروی برشی موازی امتداد B در پی باشد

$$m = m_L = \frac{2 + \frac{L}{B}}{1 + \frac{L}{B}}$$

اگر نیروی برشی موازی امتداد L در پی باشد

$$m = \sqrt{m_B^2 + m_L^2}$$

اگر نیروی برشی هم در امتداد B و هم در امتداد L باشد

نظریه ظرفیت باربری وسیک

ضرایب زمین (اثر شیب فاکتور طرفین)

$$g'_c = \frac{\beta}{5.14} \quad (\beta = \text{radian}) \quad (\phi = 0) \quad g_c = i_q - \frac{1 - i_q}{5.14 \tan \phi} \quad (\phi > 0) \quad g_q = g_\gamma = (1 - \tan \beta)^2$$

ضرایب شیب پاشنه

$$b'_c = g'_c \quad (\phi = 0) \quad b_c = 1 - \frac{2\beta}{5.14 \tan \phi} \quad (\phi > 0) \quad b_q = b_\gamma = (1 - \eta \tan \phi)^2$$

انتخاب معادله مناسب برای محاسبه ظرفیت باربری

روش محاسبه ظرفیت باربری	شرایط کاربرد
ترزاقی	<ul style="list-style-type: none">❖ پی های با بارگذاری قائم مرکزی واقع بر زمین افقی و $D/B \leq 1$❖ برای خاک های چسبنده در موارد $D/B \leq 1$ برای برآورد سریع q_u❖ برای شالوده های حامل بار مایل، لنگر یا نیروهای افقی و یا پی های کج واقع بر روی زمین شیبدار <u>نباید</u> از این روش استفاده کرد.
هنسن، میرهوف، وسیک	در هر موقعیتی می توان از آن ها استفاده کرد.
هنسن، وسیک	در موارد که پی کج است و هنگامی که شالوده بر یک شیب قرار می گیرد و یا در موارد $D/B > 1$ می توان از این دو روش استفاده کرد.

انتخاب معادله مناسب برای محاسبه ظرفیت باربری

۷-۴-۳-۱ استفاده از روابط نظری ظرفیت باربری

پس از تعیین مشخصات خاک برای تعیین ظرفیت باربری، از روابط موجود در مراجع متداول معتبر استفاده شود. نکات ذیل در خصوص به کارگیری روابط نظری در تعیین ظرفیت باربری توصیه می شود:

۷-۴-۳-۱-۱ رابطه و ضرایب ظرفیت باربری از روش "هنسن"

۷-۴-۳-۱-۲ ضرایب شیب بار از پیشنهادات "مایرهوف" یا "وسیک"

۷-۴-۳-۱-۳ استفاده از طول و عرض موثر (L', B') در رابطه ظرفیت باربری در صورت وجود لنگر

خمشی

۷-۴-۳-۱-۴ ضرایب عمق از پیشنهاد "هنسن" یا "وسیک"

۷-۴-۳-۱-۵ ضرایب شیب کف پی و ضرایب شیب سطح زمین از پیشنهادات "هنسن"

۷-۴-۳-۱-۶ ضرایب شکل از پیشنهادات "دبیر"

۷-۴-۳-۱-۷ لحاظ نمودن اثر آب زیرزمینی در محاسبه ظرفیت باربری

توصیه مبحث ۷

انتخاب معادله مناسب برای محاسبه ظرفیت باربری

ضرایب شکل دِ بیر (De Beer 1970)



DeBeer, E.E. (1970). "Experimental determination of the shape factors and the bearing capacity factors of sand", *Geotechnique*, Vol. 20, pp. 387-411

$$\begin{cases} S_c = 1 + \frac{N_q}{N_c} \frac{B}{L} \\ S_q = 1 + \frac{B}{L} \tan \phi \\ S_\gamma = 1 - 0.4 \frac{B}{L} \end{cases}$$

نسبت $\frac{B}{L}$ برای شالوده های نواری صفر و برای دایره ای یک می باشد.

ظرفیت باربری: نکات

انتخاب معادله مناسب برای محاسبه ظرفیت باربری

پیشنهاد می گردد که در موارد عملی حداقل دو روش به کار گرفته شود چنانچه دو روش نتایج یکسانی ارائه ندهند از روش سوم استفاده کنید (روش ها را کامپیوتری کنید تا این کار سریعاً انجام گیرد).

با متوسط حسابی نتایج سه روش می توان q_{ult} را تعیین نمود.

مقایسه مقادیر اندازه گیری شده از آزمایشات با روابط تئوری

TABLE 4-6

Comparison of computed theoretical bearing capacities and Milović's and Muh's experimental values*

Bearing-capacity method	Test							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	$D = 0.0 \text{ m}$	0.5	0.5	0.5	0.4	0.5	0.0	0.3
	$B = 0.5 \text{ m}$	0.5	0.5	1.0	0.71	0.71	0.71	0.71
	$L = 2.0 \text{ m}$	2.0	2.0	1.0	0.71	0.71	0.71	0.71
	$\gamma = 15.69 \text{ kN/m}^3$	16.38	17.06	17.06	17.65	17.65	17.06	17.06
	$\phi = 37^\circ(38.5^\circ)$	35.5(36.25)	38.5(40.75)	38.5	22	25	20	20
	$c = 6.37 \text{ kPa}$	3.92	7.8	7.8	12.75	14.7	9.8	9.8
Milović (tests)				$q_{\text{ult}}, \text{ kg/cm}^2 = 4.1$		5.5	2.2	2.6
Muhs (tests)	$q_{\text{ult}} = 10.8 \text{ kg/cm}^2$	12.2	24.2	33.0				
Terzaghi	$q_{\text{ult}} = 9.4^*$	9.2	22.9	19.7	4.3*	6.5*	2.5	2.9*
Meyerhof	8.2*	10.3	26.4	28.4	4.8	7.6	2.3	3.0
Hansen	7.2	9.8	23.7*	23.4	5.0	8.0	2.2*	3.1
Vesic	8.1	10.4*	25.1	24.7	5.1	8.2	2.3	3.2
Balla	14.0	15.3	35.8	33.0*	6.0	9.2	2.6	3.8

ملاحظات به کارگیری معادلات ظرفیت باربری

در استفاده از ϕ در روابط: چون گوه گسیختگی در زیر پی های مربعی و دایره ای بیشتر حالت سه بعدی دارد تا دو بعدی (کرنش مسطح plain strain) لذا تنها در $\frac{L}{B} > 2$ می توان از ϕ_{ps} (حالت دو بعدی کرنش مسطح) به جای ϕ_{tri} (حالت سه بعدی) استفاده نمود:

$$\text{If } \frac{L}{B} \leq 2 \Rightarrow \phi = \phi_{tri} \text{ and if } \frac{L}{B} > 2 \Rightarrow \phi = \phi_{ps} = 1.5\phi_{tri} - 17^\circ \quad ((\text{if } \phi_{tr} \leq 34^\circ \Rightarrow \phi_{ps} = \phi_{tri}))$$

نکات ظرفیت باربری پی ها

$$q_u = cN_c + qN_q + \frac{1}{2}\gamma BN_\gamma$$

- ۱- در خاک چسبنده جمله اول یعنی **جمله چسبندگی** مقدار غالب است.
- ۲- در خاک غیرچسبنده (دانه ای)، جمله دوم یعنی **سربار** (qN_q) مقدار غالب است یعنی با افزایش یک مقدار جزیی عمق پی (D) مقدار q_u به طور قابل ملاحظه ای افزایش می یابد.
- ۳- جمله سوم ($0.5\gamma BN_\gamma$) باعث مقداری افزایش در ظرفیت باربری هر دو خاک چسبنده و غیرچسبنده می شود. در صورتیکه $B < 3-4 \text{ m}$ باشد می توان از این جمله با اندکی خطا صرف نظر کرد.
- ۴- هیچگاه شالوده بر سطح توده خاک دانه ای بنا نمی شود.
- ۵- بسیار غیرمحمتمل است که شالوده بر روی خاکی با تراکم کمتر از ۵۰ درصد بنا شود.

پارامترهای مناسب خاک در تعیین ظرفیت باربری

عموماً توان باربری را می توان با تحلیل تنش های کلی و تحلیل تنش های موثر به دست آورد. روش تنش های کلی عموماً برای خاک های ریزدانه در حالت زهکش نشده کاربرد داشته و از ϕ_u و c_u در رابطه پایه توان باربری استفاده می شود. برای حالت زهکشی شده (خاک های درشت دانه) و برای خاک های ریزدانه در درازمدت از پارامترهای ϕ' و c' که همان پارامترهای مقاومت برشی زهکشی شده هستند در روابط استفاده می شود.

برای خاک های رسی در حالت زهکش نشده، $\phi_u = 0$ بوده و پارامتر مقاومت برشی زهکشی نشده c_u یا S_u از آزمایش تک محوری، برش پره ای، پنترومتر جیبی و یا سه محوری UU به دست می آید.

ضرایب اطمینان در آیین نامه های ساختمانی

عدم قطعیت ها در تعیین ظرفیت باربری:

$$q_a = \frac{q_u}{SF}$$

- ۱- پیچیدگی رفتار خاک
- ۲- عدم کنترل بر تغییرات محیطی بعد از اجرای ساختمان
- ۳- شناخت ناکافی از شرایط زیرسطحی
- ۴- عدم توانایی در تعیین دقیق پارامترهای خاک
- ۵- عدم توانایی گسترش یک مدل ریاضی خوب جهت مدلسازی پی

این عدم اطمینان ها و تقریب های حاصل باید برای هر محلی ارزیابی شده و ضریب ایمنی مناسبی مشخص شود به نحوی که **بیش از حد محافظه کارانه نباشد.**

ضرایب اطمینان در آیین نامه های ساختمانی

ضریب اطمینان انتخاب شده می بایست موارد زیر را منظور نماید:

- ۱- مقدار آسیب ها در صورت بروز گسیختگی
- ۲- هزینه نسبی افزایش یا کاهش SF
- ۳- تغییر نسبی در احتمال گسیختگی با تغییر SF
- ۴- قابلیت اعتماد از اطلاعات خاک
- ۵- تغییرات در خواص خاک در اثر عملیات ساختمانی و سایر عوامل
- ۶- دقت روش های مورد استفاده در طراحی و تحلیل

ضرایب اطمینان در آیین نامه های ساختمانی

به طور معمول از ضرایب اطمینان کلی در حدود زیر استفاده می شود:

TABLE 4-9

Values of stability numbers (or safety factors) usually used

Failure mode	Foundation type	SF
Shear	Earthworks Dams, fills, etc.	1.2–1.6
Shear	Retaining structure Walls	1.5–2.0
Shear	Sheetpiling cofferdams Temporary braced excavations	1.2–1.6 1.2–1.5
Shear	Footings Spread Mat Uplift	2–3 1.7–2.5 1.7–2.5
Seepage	Uplift, heaving Piping	1.5–2.5 3–5

ضرایب اطمینان در آیین نامه های ساختمانی

مبحث ۷

۷-۴-۵ روش های طراحی پی سطحی

این مقررات دو روش طراحی شامل روش تنش مجاز و روش حالات حدی را برای طراحی پیشنهاد می کند. طراح می تواند هر یک از این روش ها را انتخاب کند.

ضرایب اطمینان در آیین نامه های ساختمانی

مبحث : روش تنش مجاز (در شرایط استاتیکی)

۵-۱-۵-۴-۷ ضریب اطمینان با توجه به نوع گسیختگی باید به صورت مناسب تعریف و مقدار آن نباید از مقادیر جدول ۴-۴-۷ کمتر باشد.

جدول ۴-۴-۷ حداقل ضرایب اطمینان به روش تنش مجاز در شرایط استاتیکی (پی منفرد-نواری)

تراوش		برشی				نوع گسیختگی
فشار رو به بالا	رگاب	پایداری کلی	واژگونی	ظرفیت باربری	لغزش	
۱/۵	۴	۱/۵	۲	۳	۱/۵	ضریب اطمینان

ضرایب اطمینان در آیین نامه های ساختمانی

مبحث : روش تنش مجاز (در شرایط لرزه ای)

جدول ۷-۴-۷ حداقل ضرایب اطمینان به روش تنش مجاز در شرایط لرزه ای

نوع گسیختگی	لغزش	ظرفیت باربری	واژگونی	پایداری کلی
ضریب اطمینان	۱/۲	۲	۱/۵	۱/۲

ضرایب اطمینان در آیین نامه های ساختمانی

مبحث ۷ : روش حالت حدی (در شرایط استاتیکی)

جدول ۷-۴-۶ ضرایب کاهش مقاومت

ضرایب مقاومت	کنترل ها
۰/۶۶	پایداری کلی
۰/۴۵	ظرفیت باربری
۰/۵	واژگونی
۰/۸	لغزش
۰/۴۵	فشار مقاوم خاک

ضرایب اطمینان در آیین نامه های ساختمانی

مبحث ۷ : روش حالت حدی (در شرایط لرزه ای)

جدول ۷-۴-۸ ضرایب بار و مقاومت در شرایط لرزه ای برای روش ضرایب بار و مقاومت

ضریب	نوع گسیختگی	
۰/۷۵	پایداری کلی	ضرایب کاهش مقاومت
۰/۶	فشار مقاوم	
۰/۶	ظرفیت باربری	
۰/۶۵	واژگونی	
۰/۹	لغزش	
طبق مباحث ششم، نهم و دهم مقررات ملی ساختمان		ضرایب بار

نکات ظرفیت باربری پی ها

۶- برخی طراحان استفاده از ظرفیت باربری نهایی خالص (net) را به صورت زیر پیشنهاد می کنند:

$$q_u (net) = q_u - q$$

$$q = \gamma D_f$$

در عمل این توصیه فقط برای خاکهای چسبنده به کار گرفته می شود زیرا رابطه ظرفیت باربری به جمله اول ساده می کند. در این حالت، برای شالوده نواری تحت بار قائم:

$$q_u = 5.7 S_u$$

Terzaghi

$$q_u = 5.14 S_u$$

Hansen and Vesic

اعمال ضریب اطمینان

روش اول : جهت محاسبه ظرفیت باربری مجاز شالوده های سطحی، ظرفیت باربری نهایی محاسبه شده از روابط بر

$$q_{all} = \frac{q_u}{F.S}$$

ضریب اطمینان F.S تقسیم می شود:

برخی از مهندسين ترجیح می دهند ضریب اطمینان را به صورت زیر اعمال نمایند.

$$q_{net} = \frac{q_u - q}{F.S}$$

q_{net} = تنش خالص مجاز روی خاک q_u = ظرفیت باربری نهایی q = تنش ناشی از وزن خاکریز و بتن پی

اعمال ضریب اطمینان

روش دوم : روش دیگر نیز به این گونه است که ضریب اطمینان را بر پارامتر های مقاومت برشی خاک (c, ϕ) اعمال می کنند. به این روش ضریب اطمینان در مقابل گسیختگی برشی $F.S_{Shear}$ می گویند.

گام (۱) (c, ϕ) با اعمال ضریب اطمینان در مقابل گسیختگی برشی

$$c_d = \frac{c}{F.S_{Shear}} , \quad \phi_d = \tan^{-1} \left(\frac{\tan \phi}{F.S_{Shear}} \right)$$

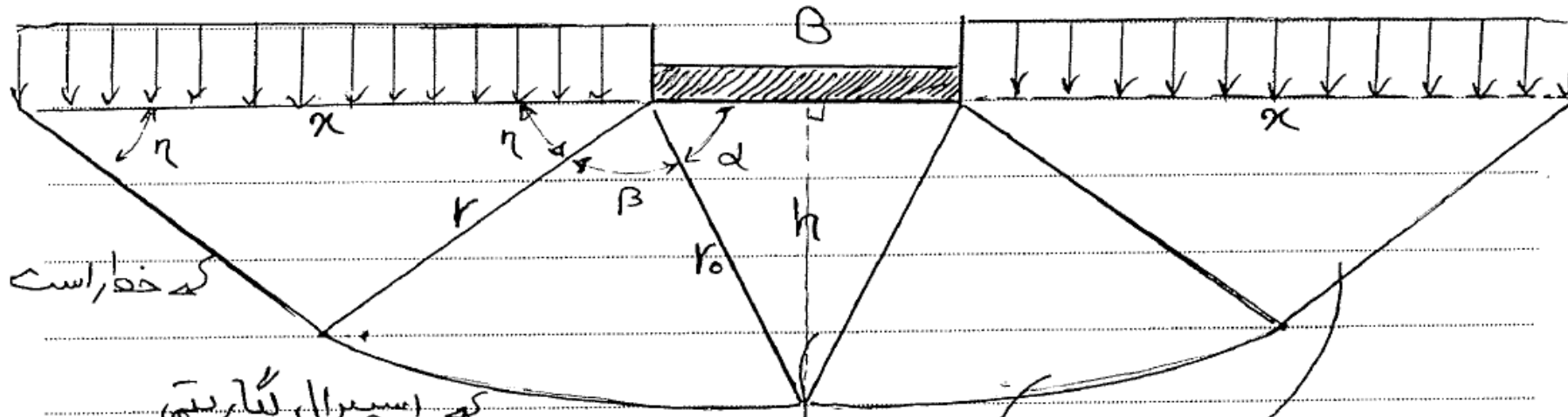
ضریب اطمینان $F.S_{Shear} = 1.4 - 1.6$ ظرفیت باربری نهایی را در حدود ۳-۴ خواهد نمود.

گام (۲) در روابط ظرفیت باربری از (c_d, ϕ_d) استفاده می شود.

$$q_{net} = q_u - q$$

گام (۳) در صورت نیاز به محاسبه q_{net} از رابطه روبرو استفاده می گردد

مشخصات سطوح گسیختگی زیر پی



که اسپیرال گارتی
این یخس به پی می چسبند و تنها در جهت
ح منتقل می گردد. (تقابل گسیختگی)

این دو یخس پس زده می شوند و به گسیختگی
(تقابل خیری) یا (Passive) می رسند.
هانسن و ویسیج

★ - مایر هوف α را میان $45 + \frac{\phi}{2}$ می داند. زاویه گسیختگی Passive از افق:

$$\alpha = 45 - \frac{\phi}{2} \quad (\text{همیشه})$$

مشخصات سطوح گسیختگی زیر پی

$\beta = 90^\circ$ (روست های مایل هوف ، هانسن و وسیج)

$\beta = 135^\circ - \frac{\varphi}{2}$ (روست ترزاق)

h : ارتفاع گسیختگی

$$h = 0.5B \operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \quad (\text{مایل هوف ، هانسن و وسیج})$$

$$h \approx B$$

(ترزاق)

$$h = 0.5B \operatorname{tg} \alpha$$

(کلی)

$$\cos \alpha = \frac{\frac{B}{2}}{r_0} \rightarrow r_0 = \frac{B}{2 \cos \alpha}$$

$B \cdot \operatorname{tg} \varphi$

$B \cdot \operatorname{tg} \varphi$

$$r = r_0 e \rightarrow r = \frac{B}{2 \cos \alpha} e$$

مشخصات سطوح گسیختگی زیر پی

$$x = 2r \cos \eta \rightarrow x = \frac{B}{\cos \alpha} e^{\beta \cdot \tan \varphi} \times \cos \eta$$

β, α, η

جهت روئ های مایر هوف، هانسن و وسیج :

$$x = \frac{B}{\cos(45 + \frac{\varphi}{2})} e^{\frac{\pi}{2} \tan \varphi} \times \cos(45 - \frac{\varphi}{2})$$

$$x = B e^{\frac{\pi}{2} \tan \varphi} \times \tan(45 + \frac{\varphi}{2})$$