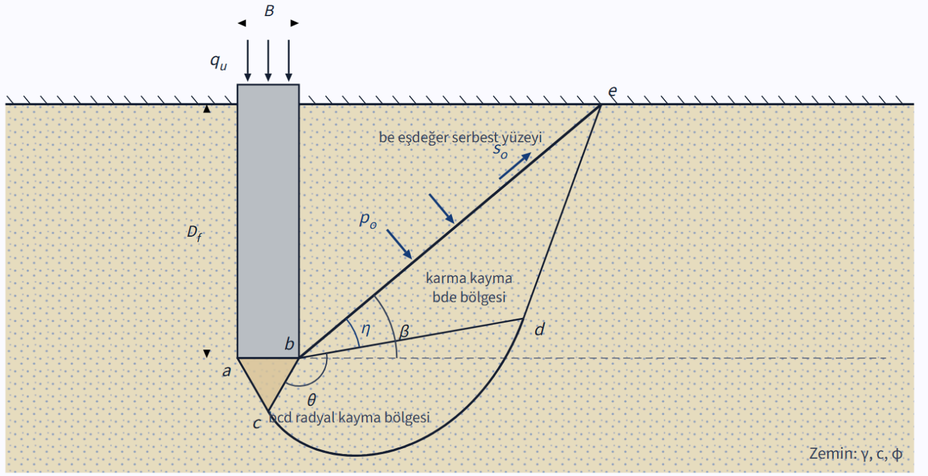
Geoteknik ders sunumu · Temeller

Meyerhof taşıma gücü: genel denklem

Ders anlatımı: Meyerhof'un kayma çizgisi ağından taşıma gücü katsayılarına, şekil, derinlik ve eğim düzeltmelerinden yeraltı suyuna; her konuda çözümlü örnek.

- Kayma çizgisi ağı
- $N_c \cdot N_q \cdot N_\gamma$
- Şekil · derinlik · eğim
- Yeraltı suyu
- Çözümlü örnekler



Giriş

Bu derste neler öğreneceğiz?

- **Genel taşıma gücü denkleminin** üç terimini ve her terimin şekil, derinlik, eğim katsayılarını tanımayı
- Meyerhof'un **kayma çizgisi ağını**, eşdeğer serbest yüzeyi ve N_c, N_q katsayılarının nasıl çıktığını izlemeyi
- Yüzey temeli için **Reissner (N_q), Prandtl (N_c)** ve Vesic (N_γ) katsayılarını hesaplamayı
- **De Beer şekil**, **Hansen derinlik** ve **Meyerhof eğim** katsayılarını uygulamayı
- Drenajsız ($\varphi = 0$) durumu ve **yeraltı suyunun** üç durumunu ele almayı
- Brüt ve net emniyetli basıncı bulup **kontrol** etmeyi

DERS AKIŞI

Her konu **üç adımda** işlenir:

1 · **Kuram**: kural nedir, neden öyle?

2 · **Soru**: verilenler ve istenen

3 · **Çözüm**: adım adım, sayılarla

Örnek temel, modülün açıldığı model: kum içinde 1,2 m × 1,2 m kare temel, D_f = 1 m, yeraltı suyu 0,5 m, yük düşeyle 10° eğik.

Üç terim, her birinin kendi katsayılarıyla

KURAM

Modül **genel taşıma gücü denklemini** hesaplar: Terzaghi denkleminin üç terimi (kohezyon, sürşarj, öz ağırlık) ve her terim için **temelin şekli**, **derinliği** ve **yükün eğimi** katsayısı:

$$q_u = c\,N_c\,F_{cs}F_{cd}F_{ci} + q\,N_q\,F_{qs}F_{qd}F_{qi} + \tfrac{1}{2}\gamma B\,N_\gamma\,F_{\gamma s}F_{\gamma d}F_{\gamma i}$$

N_c, N_q Meyerhof'un (1951) kuramından gelir; bu sayfa onu **adım adım** türetir. N_γ için deneme yöntemi anlatılır, modül Vesic'in kapalı formunu kullanır.

Temel **pürüzlüdür**; altındaki zemin homojen ve çok derindir; dayanım s = c + σ′tanφ. Yük merkezi; eğik yük eğim katsayılarıyla ele alınır.

Terzaghi'den farkı: yalnızca sığ temeller için değil; taban seviyesinin üstündeki zemin mekanizmaya **eşdeğer serbest yüzey** aracılığıyla katılır. Denklemde bu **derinlik katsayıları** olarak görünür: modül D_f/B için bir sınır koymaz.

GÖSTERİMLER

c: kohezyon, φ′: içsel sürtünme açısı

$q = \gamma D_f$: taban seviyesindeki sürşarj

γ: taban altındaki zemin birim ağırlığı

B: temelin kısa kenarı, L: uzun kenarı

$F_{.s}$ şekil, $F_{.d}$ derinlik, $F_{.i}$ eğim

Kama 45° + φ/2, radyal bölge ve karma bölge

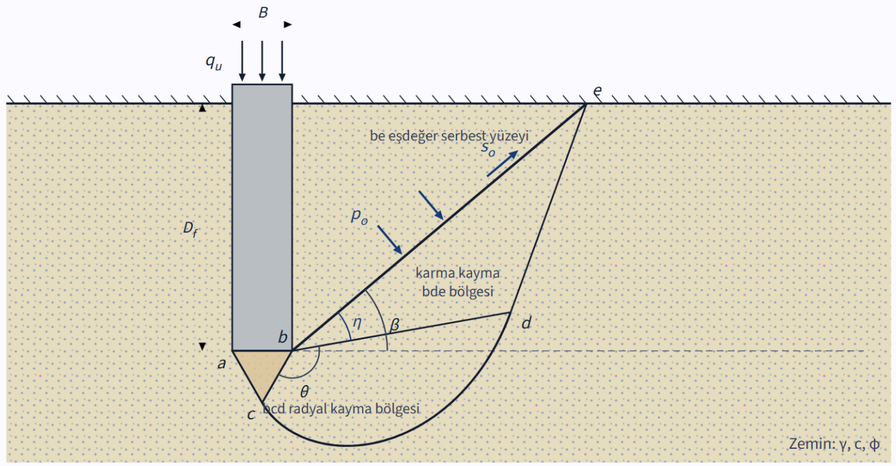
KURAM

Meyerhof (1951) Şekil'deki göçme yüzeyini aldı. Temelin altında deneylerin de gösterdiği **elastik kama abc** vardır; kenarları φ ile değil **45° + φ/2** ile eğimlidir (Terzaghi φ almıştı). Yanında log spiral $r = r_0 e^{\theta \tan\varphi}$ yayıyla sınırlı **radyal bölge bcd**; ötesinde Terzaghi'nin pasif Rankine bölgesi yerine, kaymanın radyal ile düzlemsel arasında olduğu **karma bölge bde** yer alır.

bde bölgesinin üstündeki zemin yok sayılmaz: etkisi, be düzlemindeki **eşdeğer serbest yüzey** gerilmeleri p_o (normal) ve s_o (kayma) ile temsil edilir. Düzlem yataya β ile eğimlidir; bd, onun η altındadır.

Taşıma gücü yine **süperpozisyonla** kurulur: c ve p_o'nun katkısı (N_c, N_q) ile γ'nın katkısı (N_γ):

$$q_u = c\,N_c + p_o\,N_q + \tfrac{1}{2}\gamma B\,N_\gamma$$



Kısmi mobilizasyon m ve Mohr dairesi

KURAM

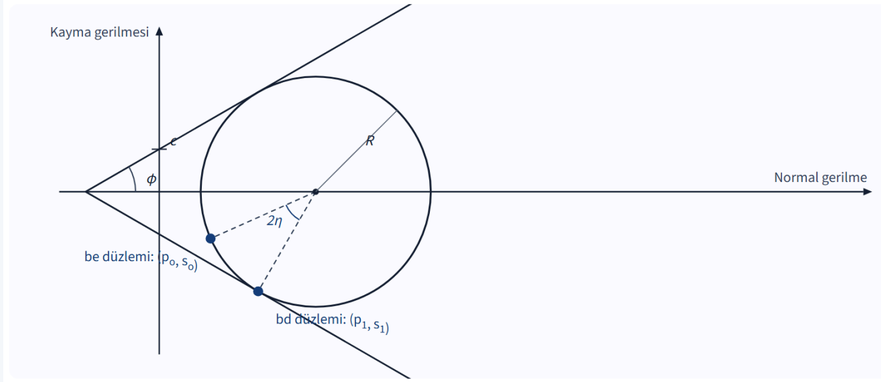
Eşdeğer serbest yüzeyde kayma dayanımı yalnızca **kısmen** harekete geçer: Meyerhof, kayma gerilmesini dayanımın bir kesri olarak yazdı. Doğrusal bde bölgesinde ise zemin plastik dengededir: bd düzleminde dayanımın tamamı harekete geçer:

$$0 \le m \le 1: \quad s_o = m\,(c + p_o \tan\varphi) \qquad s_1 = c + p_1 \tan\varphi$$

$$R = \frac{c + p_1 \tan\varphi}{\cos\varphi} \qquad \cos(2\eta + \varphi) = \frac{m\,(c + p_o \tan\varphi)\cos\varphi}{c + p_1 \tan\varphi}$$

bde bölgesindeki gerilme durumu **tek bir Mohr dairesidir** (yanda): bd noktası zarf üzerinde, be noktası dairede 2η kadar ileridedir. Bu, η açısını m ile bağlar.

İki sınır: **m = 0** ⇒ cos(2η + φ) = 0, **η = 45° − φ/2**; **m = 1** ⇒ cos(2η + φ) = cosφ, **η = 0**.



N_c ve N_q nasıl çıkar?

KURAM

bc yüzünde radyal bölge de göçmededir: $s'_p = c + p'_p \tan\varphi$. Kutup b etrafındaki momentlerden (yalnızca spiral üzerindeki normal gerilmeler ve kohezyon kalır):

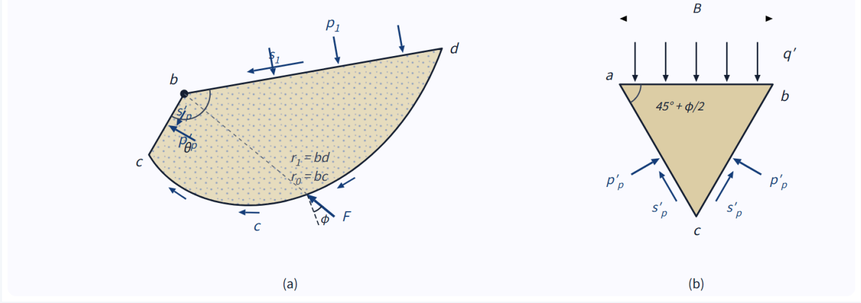
$$p'_p = p_1\, e^{2\theta \tan\varphi} + c \cot\varphi \left(e^{2\theta \tan\varphi} - 1\right)$$
$$s'_p = \left(c + p_1 \tan\varphi\right) e^{2\theta \tan\varphi}$$

Sonra kama abc'nin düşey dengesi (her yüz B/2 / cos(45° + φ/2) uzunluğunda):

$$q' = p'_p + s'_p \cot\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right)$$

Hepsini birleştirmek c ve p_o terimlerini ayırır:

$$q' = c\, N_c + p_o\, N_q$$
$$N_q = \frac{\left(1 + \sin\varphi\right) e^{2\theta \tan\varphi}}{1 - \sin\varphi\, \sin(2\eta + \varphi)} \qquad N_c = \left(N_q - 1\right) \cot\varphi$$



β ve m katsayıları nasıl büyütür?

KURAM

Katsayılar φ'ye, m aracılığıyla η'ya ve eşdeğer serbest yüzeyin eğimi β aracılığıyla spiralin süpürdüğü **θ açısına** bağlıdır (Şekil 1 geometrisi):

$$\theta = 135^\circ + \beta - \eta - \frac{\varphi}{2}$$

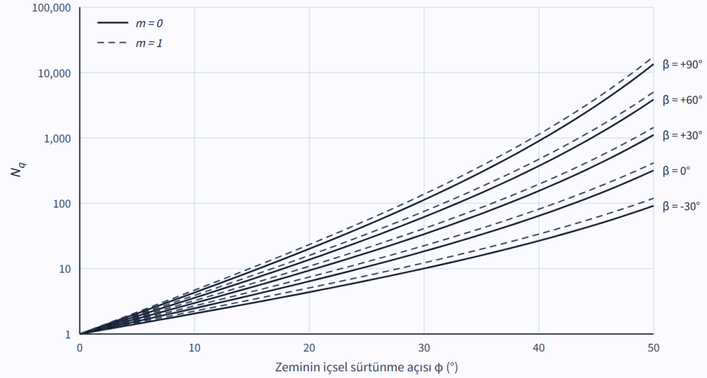
$$m = 0:\ \theta = 90^\circ + \beta \qquad m = 1:\ \theta = 135^\circ + \beta - \tfrac{\varphi}{2}$$

Derin temelin eşdeğer serbest yüzeyi daha dik, β daha büyüktür; katsayılar onunla hızla artar (yanda).

Yüzey temeli (Terzaghi'nin türetmesindeki koşul): β = 0, m = 0 ⇒ θ = π/2 ve sin(2η + φ) = 1:

$$N_q = e^{\pi \tan\varphi} \tan^2\left(45^\circ + \tfrac{\varphi}{2}\right) \qquad N_c = (N_q - 1)\cot\varphi$$

Bunlar **Reissner'in (1924) N_q'su** ve **Prandtl'ın (1921) N_c'sidir**; modül bunları kullanır. $p_o = \gamma D_f = q$ alınınca c ve q terimleri $cN_c + qN_q$ olur; taban üstündeki zemin β ve m yerine **derinlik katsayılarıyla** hesaba girer. φ → 0 iken $N_c \to \pi + 2 = 5{,}14$.



Soru

SORU

Verilenler

Zemin	$\varphi' = 30^\circ,\ c = 0$
Durumlar	**(a) yüzey temeli: β = 0, m = 0 · (b) β = 15°, m = 0 · (c) β = 15°, m = 1**
Formüller	$\theta = 135^\circ + \beta - \eta - \varphi/2,\quad N_q = \frac{(1+\sin\varphi)e^{2\theta\tan\varphi}}{1-\sin\varphi\sin(2\eta+\varphi)}$

İSTENEN

Her durum için **η, θ, N_q** ve N_c değerlerini bulunuz. Yüzey temelinde N_q, Reissner'in kapalı formuyla uyuşuyor mu?

Çözüm (1/2)

ÇÖZÜM

1 (a) Yüzey temeli: m = 0 ⇒ η = 45° − φ/2 = 30°; θ = 135° + 0 − 30° − 15° = 90° (Reissner'in $e^{\pi \tan\varphi}\tan^2(45° + \varphi/2)$ değeriyle aynı)

$$N_q = \frac{1{,}5\, e^{2(\pi/2)(0{,}5774)}}{1 - 0{,}5 \sin 90^\circ} = \frac{1{,}5(6{,}134)}{0{,}5} = \mathbf{18{,}40}$$

2 (b) β = 15°, m = 0: η = 30°; θ = 135° + 15° − 30° − 15° = 105°; sin(2η + φ) = 1

$$N_q = \frac{1{,}5\, e^{2(1{,}8326)(0{,}5774)}}{0{,}5} = \mathbf{24{,}90} \qquad N_c = (24{,}90 - 1)\cot 30^\circ = \mathbf{41{,}39}$$

3 (c) β = 15°, m = 1: η = 0; θ = 135° + 15° − 0 − 15° = 135°; sin(2η + φ) = sin30° = 0,5

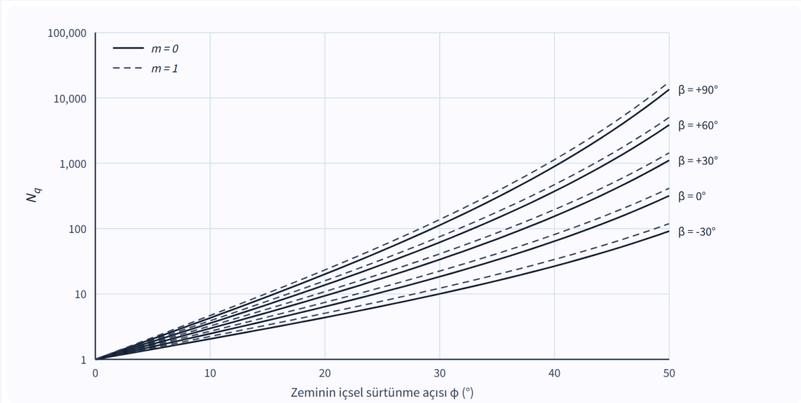
$$N_q = \frac{1{,}5\, e^{2(2{,}3562)(0{,}5774)}}{1 - 0{,}5(0{,}5)} = \frac{1{,}5(15{,}19)}{0{,}75} = \mathbf{30{,}38} \qquad N_c = \mathbf{50{,}89}$$

Çözüm (2/2)

ÇÖZÜM

Durum	η (°)	θ (°)	N_q	N_c
(a) β = 0, m = 0 (Reissner/Prandtl)	30	90	18,40	30,14
(b) β = 15°, m = 0	30	105	24,90	41,39
(c) β = 15°, m = 1	0	135	30,38	50,89

Yüzey temeli kapalı formla **aynı** (18,40). β büyüdükçe ve mobilizasyon arttıkça katsayılar **hızla artar**: (a) → (c) N_q 1,65 kat. Modül bu artışı mekanizmayla değil, **derinlik katsayılarıyla** hesaba katar (sonraki bölümler).



Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

N_γ: deneme yöntemi, Meyerhof 1963 ve Vesic

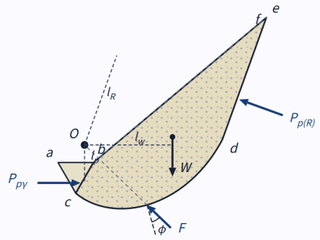
KURAM

Terzaghi'de olduğu gibi N_γ'nın kapalı formu yoktur; **deneme** ile bulunur: φ, β ve m seçilir; θ bulunur; deneme merkezi O'dan log spiral çizilir; bcdf cismi için ağırlık W ve df üzerindeki Rankine pasif kuvvet $P_{p(R)}$; O etrafındaki momentlerden bc üzerindeki pasif kuvvet:

$$P_{p\gamma} = \frac{W\, l_w + P_{p(R)}\, l_R}{l_p}$$

O değiştirilerek en küçük $P_{p\gamma}$ bulunur; kama abc'nin kendi ağırlığıyla birlikte:

$$q'' = \frac{\gamma B}{2}\left[\frac{4P_{p\gamma}\sin(45^\circ+\varphi/2)}{\gamma B^2} - \tfrac{1}{2}\tan\left(45^\circ+\tfrac{\varphi}{2}\right)\right] = \tfrac{1}{2}\gamma B\, N_\gamma$$



$$N_\gamma = (N_q - 1)\tan(1{,}4\varphi) \quad \text{(Meyerhof 1963)}$$

$$N_\gamma = 2(N_q + 1)\tan\varphi \quad \text{(Vesic 1973, } \textbf{burada}\text{)}$$

N_c, N_q, N_γ yalnızca φ'ye bağlıdır

KURAM

İki kaynak N_c ve N_q için **aynıdır**; N_γ için farklıdır: N_γ, kama şeklinin varsayımına en çok bağlı katsayıdır. φ = 30°'de Vesic 22,40, Meyerhof (1963) 15,67. Meyerhof'un N_γ'sıyla öz ağırlık terimi, dolayısıyla sürtünmeli zeminin q_u'su daha düşük olurdu.

$$N_q = e^{\pi \tan\varphi} \tan^2\left(45^\circ + \tfrac{\varphi}{2}\right) \qquad N_c = (N_q - 1)\cot\varphi \qquad N_\gamma = 2(N_q + 1)\tan\varphi$$

KATSAYILAR

φ (°)	N_c	N_q	N_γ	N_γ (M63)
0	5,14	1,00	0,00	0,00
10	8,34	2,47	1,22	0,37
20	14,83	6,40	5,39	2,87
26	22,25	11,85	12,54	8,00
30	30,14	18,40	22,40	15,67
32	35,49	23,18	30,21	22,02
35	46,12	33,30	48,03	37,15
40	75,31	64,20	109,41	93,69

Soru

SORU

Verilenler

Zemin	$\varphi' = 32^\circ$ **(tan 32° = 0,6249)**
Yöntem	**Reissner, Prandtl, Vesic; karşılaştırma için Meyerhof (1963)**

İSTENEN

N_q, N_c, N_γ değerlerini kapalı formlarla bulunuz; Vesic N_γ'sını Meyerhof (1963) ile karşılaştırınız.

Çözüm

ÇÖZÜM

1 Reissner N_q

$$N_q = e^{\pi \tan 32^\circ} \tan^2(61^\circ) = e^{1,9631}(3,2546) = \mathbf{23,18}$$

2 Prandtl N_c

$$N_c = (N_q - 1)\cot\varphi = \frac{23,18 - 1}{0,6249} = \mathbf{35,49}$$

3 Vesic N_γ (modülün kullandığı) ve Meyerhof (1963)

$$N_\gamma = 2(N_q + 1)\tan\varphi = 2(23,18 + 1)(0,6249) = \mathbf{30,21}$$

$$N_\gamma^{M63} = (N_q - 1)\tan(1,4\varphi) = (23,18 - 1)\tan 44,8^\circ = 22,02$$

Vesic'in N_γ'sı Meyerhof'unkinden **%37** büyük (φ′ = 32°). Tablo değerleriyle aynı: N_c = 35,49, N_q = 23,18, N_γ = 30,21.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

De Beer: şerit olmayan temel

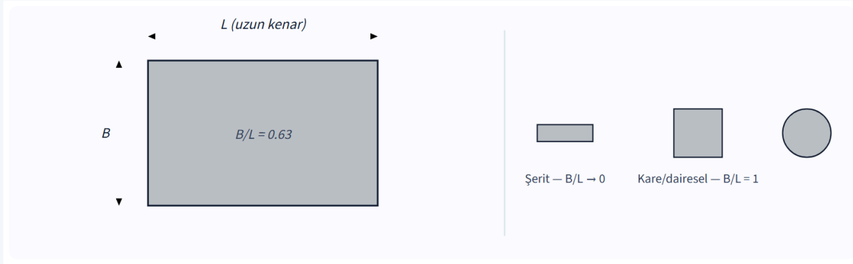
KURAM

Türetme sürekli (şerit) temel içindir (düzlem birim şekil değiştirme). Dikdörtgen temelde göçme üç boyutludur: zemin kamanın uçlarından ve yanlardan da hareket edebilir. **De Beer** (1970) her terimi kısa kenarın uzun kenara oranı B/L ile düzeltir:

$$F_{cs} = 1 + \frac{B}{L}\frac{N_q}{N_c} \qquad F_{qs} = 1 + \frac{B}{L}\tan\varphi \qquad F_{\gamma s} = 1 - 0{,}4\,\frac{B}{L}$$

Şerit temelde (B/L → 0) üç katsayı da 1; denklem düzlem birim şekil değiştirme biçimine döner.

Kare temelde B/L = 1: N_γ terimi %40 azalır ($F_{\gamma S}$ = 0,6), q ve c terimleri artar.



Soru

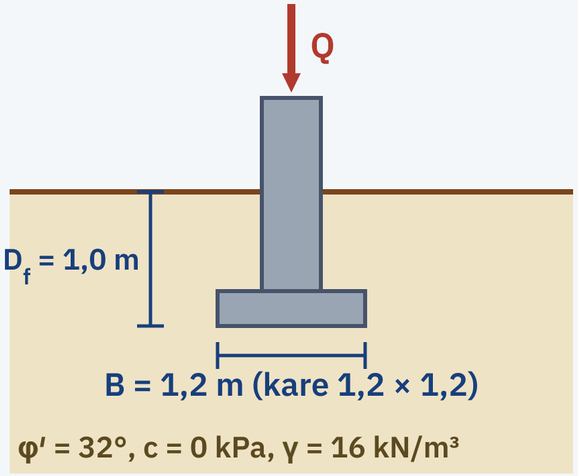
SORU

İSTENEN

Kare temel için F_{cs}, F_{qs}, $F_{\gamma s}$ değerlerini; B/L = 0,5 için de aynı katsayıları bulunuz.

Verilenler

Zemin	$\varphi' = 32°$: $N_c = 35{,}49,\ N_q = 23{,}18$ **(Örnek 2)**
Temel	**kare B = L = 1,2 m; karşılaştırma: B/L = 0,5 ve şerit**



Çözüm

ÇÖZÜM

1 Kare temel (B/L = 1)

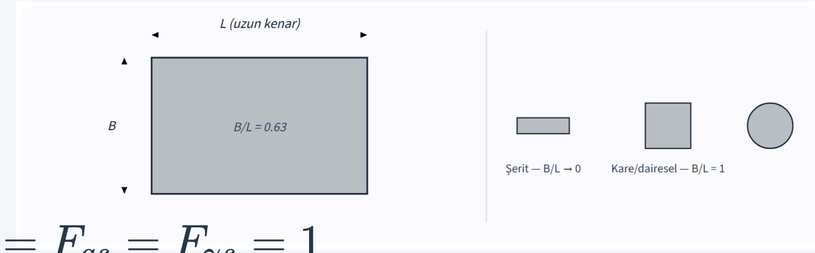
$$F_{cs} = 1 + (1)\frac{23{,}18}{35{,}49} = \mathbf{1{,}653}$$

$$F_{qs} = 1 + (1)\tan 32^\circ = \mathbf{1{,}625}$$

$$F_{\gamma s} = 1 - 0{,}4(1) = \mathbf{0{,}600}$$

2 B/L = 0,5 ve şerit

$B/L = 0{,}5:\ F_{cs} = 1{,}327,\ F_{qs} = 1{,}312,\ F_{\gamma s} = 0{,}800$ şerit : $F_{cs} = F_{qs} = F_{\gamma s} = 1$



Kare temelde q terimi **%62** artar, öz ağırlık terimi %40 azalır. B/L küçüldükçe katsayılar şerit değerine (1) gider.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Hansen: taban üstündeki zeminin katkısı

KURAM

Terzaghi taban üstündeki zemini yalnızca **ölü yük** sayar. Meyerhof kuramında ise eşdeğer serbest yüzey aracılığıyla **direnç de gösterir**; genel denklemde bu, D_f/B ile büyüyen **Hansen (1970) derinlik katsayılarıyla** hesaba katılır:

$$D_f/B \le 1:\ F_{qd} = 1 + 2\tan\varphi(1-\sin\varphi)^2\frac{D_f}{B} \qquad D_f/B > 1:\ F_{qd} = 1 + 2\tan\varphi(1-\sin\varphi)^2\tan^{-1}\frac{D_f}{B}$$

$$F_{cd} = F_{qd} - \frac{1-F_{qd}}{N_c\tan\varphi}\ (\varphi > 0) \qquad F_{cd} = 1 + 0{,}4\,k\ (\varphi = 0) \qquad F_{\gamma d} = 1$$

k = D_f/B (≤ 1) ya da $\tan^{-1}(D_f/B)$ (> 1, radyan). D_f/B = 1'in ötesinde arktanjant katsayıları artırmaya yavaşça devam eder: **Terzaghi'nin tersine bu denklem derinlik sınırı gerektirmez**.

Soru

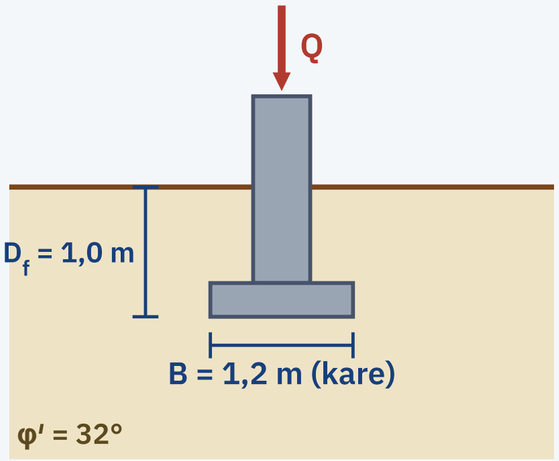
SORU

Verilenler

Zemin	$\varphi' = 32^\circ$: $N_c = 35{,}49$, $\tan\varphi' = 0{,}6249$, $(1 - \sin 32^\circ)^2 = 0{,}2210$
Temel	**B = 1,2 m; D_f = 1,0 m (örnek) ve karşılaştırma D_f = 2,4 m**
Drenajsız	**φ = 0: B = 2 m, D_f = 1,5 m**

İSTENEN

F_{qd}, F_{cd} ve $F_{\gamma d}$ değerlerini her durum için bulunuz.



Çözüm

ÇÖZÜM

1 $D_f/B = 1{,}0/1{,}2 = 0{,}833 \le 1$ (doğrusal form)

$$F_{qd} = 1 + 2(0{,}6249)(0{,}2210)(0{,}833) = \mathbf{1{,}230}$$

$$F_{cd} = F_{qd} - \frac{1 - F_{qd}}{N_c \tan\varphi} = 1{,}230 + \frac{0{,}230}{(35{,}49)(0{,}6249)} = \mathbf{1{,}241}$$

2 $D_f/B = 2{,}4/1{,}2 = 2 > 1$ (arktanjant: $\tan^{-1} 2 = 1{,}1071$ rad)

$$F_{qd} = 1 + 2(0{,}6249)(0{,}2210)(1{,}1071) = \mathbf{1{,}306} \qquad F_{cd} = 1{,}306 + \frac{0{,}306}{22{,}18} = \mathbf{1{,}320}$$

3 Drenajsız ($\varphi = 0$): $F_{qd} = 1$; $D_f/B = 1{,}5/2 = 0{,}75$

$$F_{cd} = 1 + 0{,}4(0{,}75) = \mathbf{1{,}300} \qquad F_{qd} = 1$$

D_f/B 0,83 → 2: F_{qd} 1,230 → 1,306; derinlik katkısı artıyor ama **giderek yavaşlıyor**.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Meyerhof: eğik yük

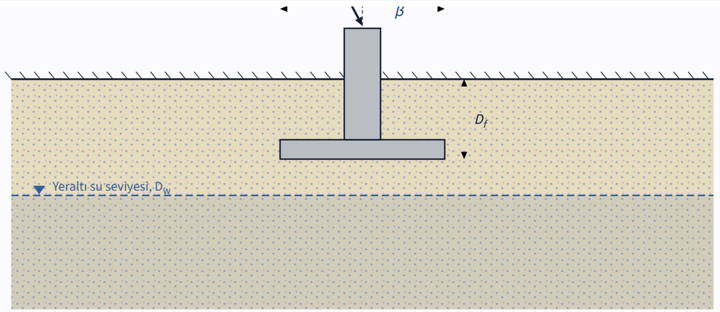
KURAM

Düşeyle β açısı yapan bir yük, düşey yükten daha az düşey direnç harekete geçirir: yükün bir kısmı temeli yana iter. Denklem yalnızca yükün **düşey bileşeni** için taşıma gücünü verir. **Meyerhof** (1963) eğim katsayıları her terimi azaltır:

$$F_{ci} = F_{qi} = \left(1 - \frac{\beta^\circ}{90^\circ}\right)^2 \qquad F_{\gamma i} = \left(1 - \frac{\beta}{\varphi}\right)^2 \ (\beta < \varphi) \ ; \ F_{\gamma i} = 0 \ (\beta \geq \varphi)$$

β = 0'da üçü de 1. $F_{\gamma i}$ β = φ'de sıfıra ulaşır ve orada **kalır**: modül $(1 - \beta/\varphi)^2$'nin yeniden büyümesine izin vermez. β, $(1 - \beta/90°)^2$'nin yeniden büyümeye başlayacağı noktanın altında, **89°'ye kadar** kabul edilir.

Eğik yük, taşıma gücünü özellikle öz ağırlık terimi üzerinden düşürür.



Denklem, eğik yükün yalnızca DÜŞEY bileşeni için nihai taşıma gücünü verir.

Soru

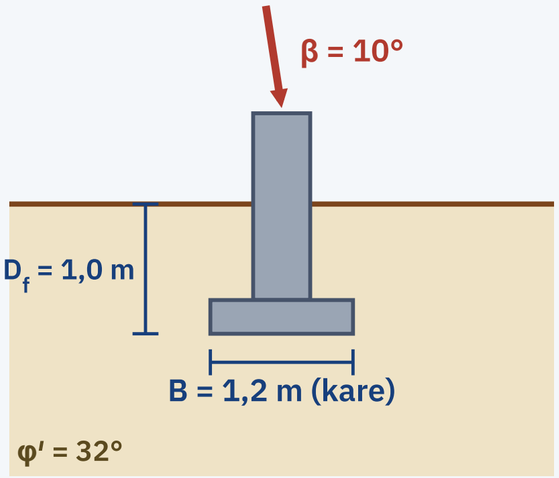
SORU

Verilenler

Temel	**kare, B = L = 1,2 m, taban derinliği D_f = 1,0 m**
Zemin	**kum:** $\varphi' = 32^\circ,\ c = 0$
Birim ağırlık	$\gamma = 16\ \mathrm{kN/m^3}$ **(üstte),** $\gamma_{sat} = 19{,}5\ \mathrm{kN/m^3}$ **(YASS altında)**
Yük	**düşeyle β = 10° (ek: 20°, 30°, 32°)**

İSTENEN

F_{ci}, F_{qi}, $F_{\gamma i}$ değerlerini β = 10° için bulunuz; β büyürse ne olur?



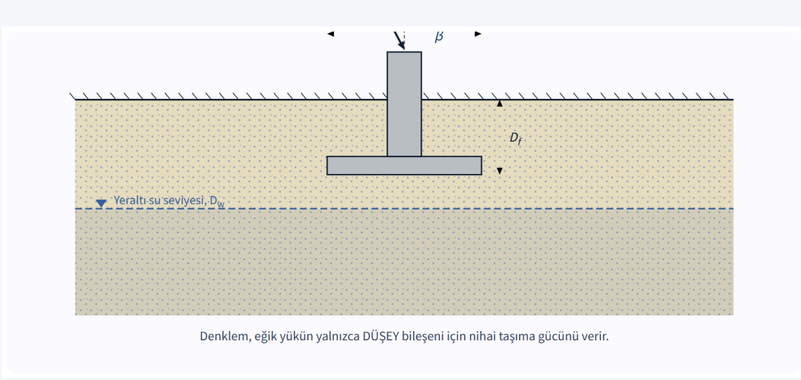
Çözüm

ÇÖZÜM

1 β = 10°, φ′ = 32° (β < φ)

$$F_{ci} = F_{qi} = \left(1 - \frac{10}{90}\right)^2 = \mathbf{0{,}790}\ ; \quad F_{\gamma i} = \left(1 - \frac{10}{32}\right)^2 = \mathbf{0{,}473}$$

β (°)	$F_{ci} = F_{qi}$	$F_{\gamma i}$
0	1,000	1,000
10	0,790	0,473
20	0,605	0,141
30	0,444	0,004



Denklem, eğik yükün yalnızca DÜŞEY bileşeni için nihai taşıma gücünü verir.

10° yük q ve c terimlerini **%21**, öz ağırlık terimini **%53** düşürüyor; β = φ′ = 32°'de öz ağırlık terimi tamamen kaybolur.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Genel denklem ve drenajsız durum

KURAM

§5–10'daki katsayılarla genel denklem tamamlanır. Düşey yük altında, taban seviyesindeki **şerit temelde** bütün düzeltme katsayıları 1'dir ve denklem Terzaghi'nin biçimini alır: yalnızca Terzaghi'nin katsayıları yerine Reissner N_q, Prandtl N_c ve Vesic N_γ bulunur.

Drenajsız yükleme ($\varphi = 0$, $c = c_u$): $N_c = 5{,}14$, $N_q = 1$, $N_\gamma = 0$:

$$q_u = 5{,}14\, c_u\, F_{cs} F_{cd} F_{ci} + q\, F_{qs} F_{qd} F_{qi}$$

Yeraltı suyu denkleme Terzaghi'deki gibi girer (§12): q ve üçüncü terimin birim ağırlığı aracılığıyla, **katsayılar yoluyla asla**.

Soru

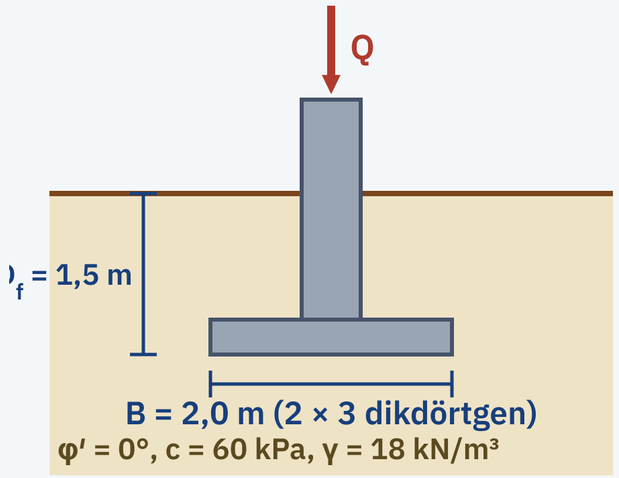
SORU

Verilenler

Temel	**dikdörtgen 2 m × 3 m, D_f = 1,5 m, merkezi düşey yük**
Zemin	**kil, $\varphi = 0,\ c_u = 60\ \mathrm{kPa},\ \gamma = 18\ \mathrm{kN/m^3}$; yeraltı suyu yok**
Güvenlik	**FS = 3**

İSTENEN

q_u, brüt q_{all} ve net taşıma gücünü bulunuz.



Çözüm

ÇÖZÜM

1 Sürşarj ve katsayılar (φ = 0: $N_c = 5{,}14$, $N_q = 1$, $N_\gamma = 0$)

$$q = \gamma D_f = 18(1{,}5) = 27\ \text{kPa} \qquad F_{cs} = 1 + \frac{2}{3}\cdot\frac{1}{5{,}14} = 1{,}130 \qquad F_{cd} = 1 + 0{,}4\frac{1{,}5}{2} = 1{,}300$$

2 Taşıma gücü ($F_{ci} = F_{qi} = 1$; $F_{qs} = F_{qd} = 1$)

$$q_u = 5{,}14(60)(1{,}130)(1{,}300) + 27(1) = 452{,}9 + 27 = \mathbf{479{,}9}\ \text{kPa}$$

3 Brüt ve net emniyetli basınç

$$q_{all,g} = \frac{479{,}9}{3} = \mathbf{160{,}0}\ \text{kPa} \qquad q_{all,n} = \frac{q_u - q}{3} = \frac{452{,}9}{3} = 151{,}0\ \text{kPa}$$

Drenajsız kilde taşıma gücü neredeyse tamamen **kohezyon terimindendir** (453 / 480 kPa): şekil (1,13) ve derinlik (1,30) katsayıları onu yaklaşık %47 artırıyor; φ = 0'da $N_\gamma = 0$ olduğundan öz ağırlık terimi yok.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Katsayılar değişmez; q ve γ değişir

KURAM

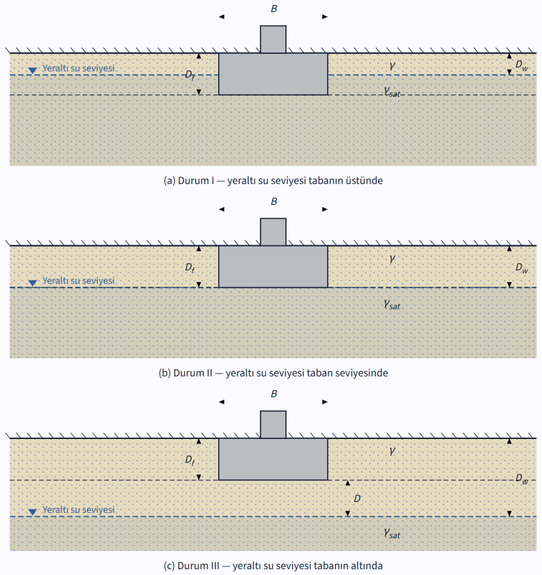
YASS altında etkin birim ağırlık γ′ = γ_{sat} − γ_W (γ_W = 9,81) etkir. Modül üç durumu ayırır; D_W yeraltı suyunun yüzeyden derinliği:

$$\text{I } (D_w \le D_f):\ q = \gamma D_w + \gamma'(D_f - D_w),\ \ \gamma \to \gamma' \text{ (üçüncü terim)}$$

$$\text{III } (D_f < D_w \le D_f + B):\ q = \gamma D_f,\ \ \bar{\gamma} = \frac{1}{B}\left[\gamma D + \gamma'(B - D)\right],\ D = D_w - D_f$$

Durum II ($D_W = D_f$) I'in özel hali: q = γ D_f, üçüncü terimde γ′.

Tabanın bir B altından daha derinde su **etkisizdir**.



Soru

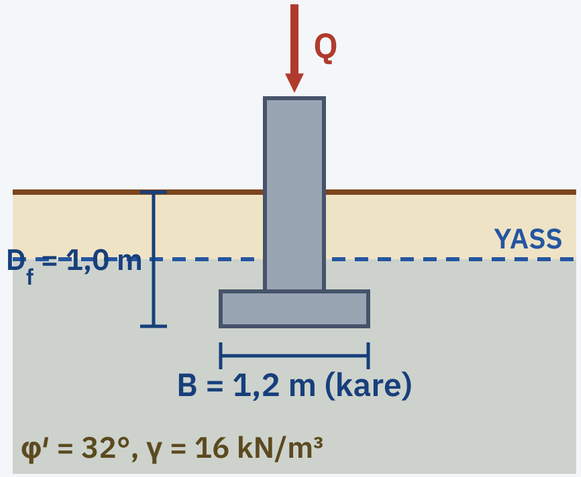
SORU

Verilenler

Temel	**kare, B = L = 1,2 m, taban derinliği D_f = 1,0 m**
Zemin	**kum:** $\varphi' = 32^\circ,\ c = 0$
Birim ağırlık	$\gamma = 16\ \mathrm{kN/m^3}$ **(üstte),** $\gamma_{sat} = 19{,}5\ \mathrm{kN/m^3}$ **(YASS altında)**
Yük	**düşey, merkezi; ε yok**

İSTENEN

YASS D_W = 0,5; 1,0; 1,5 ve 2,6 m için **q**, üçüncü terimdeki birim ağırlık ve $\mathbf{q_u}$ değerlerini bulunuz. (F_{qs} = 1,625; F_{qd} = 1,230; $F_{\gamma s}$ = 0,6; N_q = 23,18; N_γ = 30,21; eğim yok)



Çözüm (1/2)

ÇÖZÜM

1 Durum I ($D_w = 0{,}5 < D_f$) ve $D_w = D_f$

$$D_w = 0{,}5: \;\; q = 16(0{,}5) + 9{,}69(0{,}5) = 12{,}845\ \text{kPa},\;\; \gamma' = 9{,}69$$

$$D_w = 1{,}0: \;\; q = 16(1{,}0) = 16{,}0\ \text{kPa},\;\; \gamma' = 9{,}69$$

2 Durum III ($D_w = 1{,}5 \Rightarrow D = 0{,}5\ \text{m} \le B$) ve su etkisiz ($D_w = 2{,}6 \Rightarrow D = 1{,}6 > B$)

$$\bar{\gamma} = \frac{1}{1{,}2}\left[16(0{,}5) + 9{,}69(0{,}7)\right] = 12{,}319\ \text{kN/m}^3\ ; \;\; q = 16\ \text{kPa}$$

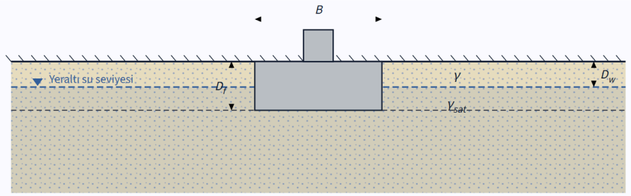
$$D_w = 2{,}6: \;\; q = 16,\;\; \gamma = 16$$

Çözüm (2/2)

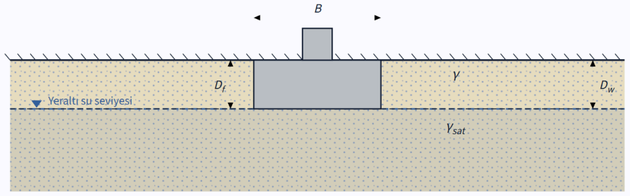
ÇÖZÜM

D_w (m)	Durum	q (kPa)	γ üçüncü terim	q_u (kPa)
0,5	I	12,84	9,69	**520,0**
1,0	I	16,00	9,69	**635,5**
1,5	III	16,00	12,32	**649,0**
2,6	etkisiz	16,00	16,00	**667,9**

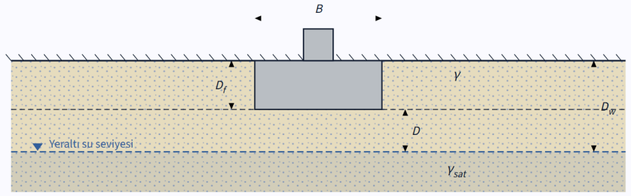
Yeraltı suyu taşıma gücünü iki yoldan düşürür: sürşarj q azalır ve öz ağırlık terimi γ′ ile hesaplanır. Su 0,5 m'de iken q_u = 520, su derinde iken 668 kPa (%22 fark). Katsayılar hiç değişmez: **su yalnızca q ve γ aracılığıyla girer**.



(a) Durum I — yeraltı su seviyesi tabanın üstünde



(b) Durum II — yeraltı su seviyesi taban seviyesinde



(c) Durum III — yeraltı su seviyesi tabanın altında

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Soru

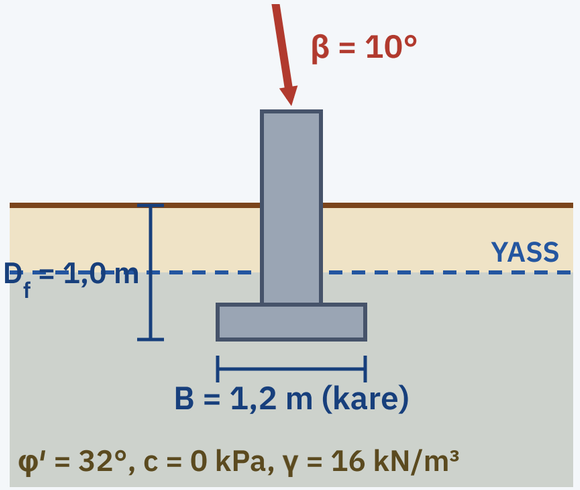
SORU

Verilenler

Temel	**kare, B = L = 1,2 m, taban derinliği D_f = 1,0 m**
Zemin	**kum:** $\varphi' = 32^\circ,\ c = 0$
Birim ağırlık	$\gamma = 16\ \mathrm{kN/m^3}$ **(üstte),** $\gamma_{sat} = 19{,}5\ \mathrm{kN/m^3}$ **(YASS altında)**
Yeraltı suyu	**D_w = 0,5 m (durum I)**
Yük	**düşeyle β = 10° eğik**
Güvenlik	**FS = 3**

İSTENEN

q_u, brüt **q_{all}**, emniyetli düşey yük ve **emniyetli bileşke** yükü; sonra c = 5 kPa için q_u.



Çözüm (1/2)

ÇÖZÜM

1 Katsayılar (φ′ = 32°; B/L = 1; D_f/B = 0,833; β = 10° < φ′)

$$N_c = 35{,}49,\ N_q = 23{,}18,\ N_\gamma = 30{,}21$$

$$F_{qs} = 1{,}625,\ F_{\gamma s} = 0{,}600,\ F_{qd} = 1{,}230,\ F_{qi} = 0{,}790,\ F_{\gamma i} = 0{,}473$$

2 Durum I: q = 16(0,5) + (19,5 – 9,81)(0,5); γ′ = 9,69 kN/m³ (üçüncü terimde)

$$q = \mathbf{12{,}845}\ \mathrm{kPa} \qquad \gamma' = \mathbf{9{,}69}\ \mathrm{kN/m^3}$$

Çözüm (2/2)

ÇÖZÜM

3 Taşıma gücü (c = 0: kohezyon terimi yok)

$$q_u = (12{,}845)(23{,}18)(1{,}625)(1{,}230)(0{,}790) + \tfrac{1}{2}(9{,}69)(1{,}2)(30{,}21)(0{,}600)(1)(0{,}473)$$
$$= 470{,}17 + 49{,}82 = \mathbf{519{,}99}\ \text{kPa}$$

4 Emniyetli basınç ve yükler (A = 1,2² = 1,44 m²)

$$q_{all,g} = \frac{519{,}99}{3} = 173{,}33\ \text{kPa}$$

$$Q_{all} = 173{,}33(1{,}44) = \mathbf{249{,}59}\ \text{kN} \qquad \frac{Q_{all}}{\cos 10^\circ} = \mathbf{253{,}44}\ \text{kN}$$

5 c = 5 kPa: kohezyon terimi (F_{cd} = 1,241, F_{cs} = 1,653, F_{ci} = 0,790)

$$c\,N_c F_{cs} F_{cd} F_{ci} = 5(35{,}49)(1{,}653)(1{,}241)(0{,}790) = 287{,}51 \Rightarrow q_u = \mathbf{807{,}50}\ \text{kPa}$$

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Brüt ve net, düşey ve bileşke

KURAM

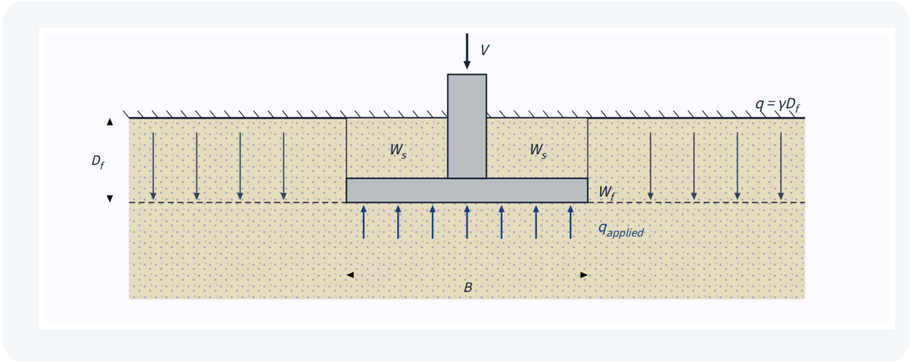
q_u göçme anındaki düşey basınçtır. Modül **brüt** ve **net** basıncı ayrı tutar:

$$q_{u,net} = q_u - q \qquad q_{all,g} = \frac{q_u}{FS} \qquad q_{all,n} = \frac{q_{u,net}}{FS}$$

Uygulanan basınç q_{uyg}, servis yükleri altında tabandaki **düşey brüt basınçtır**, V/A; eğik yükte bileşkenin değil düşey bileşenin alanına bölünmesiyle. Temel şu koşullarda geçer:

$$q_{uyg} \le q_{all,g} \qquad FS_{gerçek} = \frac{q_u}{q_{uyg}} \qquad q_{uyg} - q \le q_{all,n}$$

Emniyetli düşey yük $Q_{all} = q_{all,g}\,A$; β eğimindeki emniyetli bileşke $Q_{all}/\cos\beta$. q_{uyg} girilmezse modül yalnızca kapasiteleri verir.



Soru

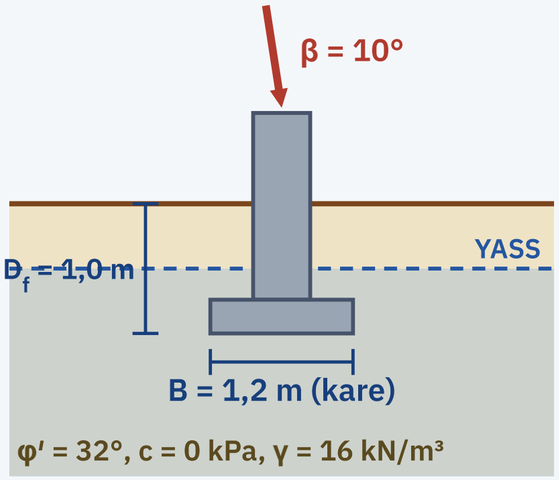
SORU

Verilenler

Temel	**kare, B = L = 1,2 m, taban derinliği D_f = 1,0 m**
Zemin	**kum:** $\varphi' = 32^\circ,\ c = 0$
Birim ağırlık	$\gamma = 16\ \mathrm{kN/m^3}$ **(üstte),** $\gamma_{sat} = 19{,}5\ \mathrm{kN/m^3}$ **(YASS altında)**
Yeraltı suyu, eğim	**D_w = 0,5 m, β = 10° (Örnek 8)**
Uygulanan	**q_{uyg} = 150 kPa (düşey, brüt)**
Sonuç (Örnek 8)	**q_u = 519,99 kPa, q = 12,845 kPa, FS = 3**

İSTENEN

Üç koşulu (brüt, $FS_{gerçek}$, net) kontrol ediniz.



Çözüm

ÇÖZÜM

1 Brüt emniyetli basınç

$$q_{uyg} = 150\ \text{kPa} \le q_{all,g} = 173{,}33\ \text{kPa} \ \Rightarrow\ \text{geçer}$$

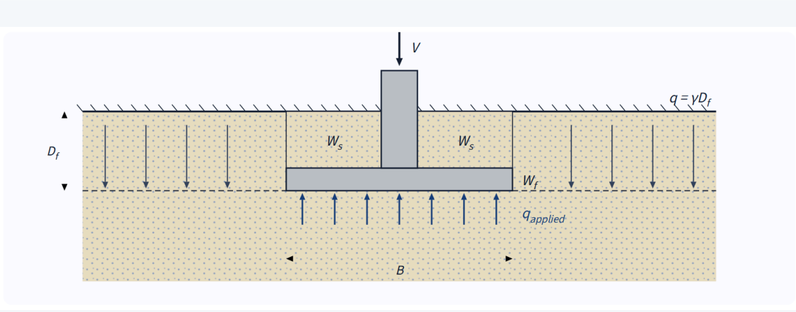
2 Gerçek güvenlik katsayısı

$$FS_{gerçek} = \frac{q_u}{q_{uyg}} = \frac{519{,}99}{150} = \mathbf{3{,}47} \ge 3$$

3 Net

$$q_{uyg} - q = 150 - 12{,}845 = 137{,}2\ \text{kPa}$$

$$q_{all,n} = \frac{519{,}99 - 12{,}845}{3} = 169{,}0\ \text{kPa} \ \Rightarrow\ \text{geçer}$$



Temel her üç koşulda da geçer. Düşey yük V = 150 × 1,44 = 216 kN; bileşke 216/cos10° = 219,3 kN ≤ emniyetli bileşke 253,4 kN.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Soru

SORU

Verilenler

Temel	**kare, B = L = 1,2 m, taban derinliği D_f = 1,0 m**
Zemin	**kum: $\varphi' = 32^\circ,\ c = 0$**
Birim ağırlık	$\gamma = 16\ \mathrm{kN/m^3}$ **(üstte),** $\gamma_{sat} = 19{,}5\ \mathrm{kN/m^3}$ **(YASS altında)**
Yeraltı suyu, eğim	**D_w = 0,5 m, β = 10°**
Karşılaştırma	**Vesic N_γ = 30,21 ve Meyerhof (1963) N_γ = 22,02**

İSTENEN

Örnek 8'deki q_u ve brüt q_{all} Meyerhof'un N_γ'sıyla ne olurdu?

Çözüm

ÇÖZÜM

1 Yalnızca üçüncü terim değişir

$$\tfrac{1}{2}(9{,}69)(1{,}2)(22{,}02)(0{,}600)(0{,}473) = \mathbf{36{,}31}\ \text{kPa} \quad (\text{Vesic: } 49{,}82)$$

2 q_u ve q_{all}

$$q_u = 470{,}17 + 36{,}31 = \mathbf{506{,}48}\ \text{kPa} \qquad q_{all,g} = 168{,}83\ \text{kPa}$$

Bu temelde fark yalnızca **%2,6** (520 → 506 kPa): öz ağırlık terimi q_u'nun yaklaşık %10'u. **Geniş temelde** ve düşük sürşarjda öz ağırlık terimi baskın olur ve N_γ seçimi sonucu belirgin değiştirir.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Özet

Akılda kalacak noktalar

Genel denklem: $q_u = cN_cF_c. + qN_qF_q. + ½\gamma BN_\gamma F_\gamma.$; şekil (s), derinlik (d), eğim (i) katsayılarıyla

Meyerhof kuramı: kama 45° + φ/2, radyal bölge, karma bölge; taban üstü eşdeğer serbest yüzeyle (p_o, s_o, m, η, β) temsil edilir

Yüzey temeli: $N_q = e^{\pi \tan\varphi}\tan^2(45° + \varphi/2)$ (Reissner), $N_c = (N_q - 1)\cot\varphi$ (Prandtl); $N_\gamma = 2(N_q + 1)\tan\varphi$ (Vesic)

De Beer şekil, **Hansen** derinlik, **Meyerhof** eğim katsayıları; φ = 0'da $N_c = 5{,}14$, $N_q = 1$, $N_\gamma = 0$

Yeraltı suyu yalnızca q ve γ'yı değiştirir (3 durum), katsayıları değil

Kontrol: $q_{uyg} \le q_{all,g}$, $FS_{gerçek}$ ve net; eğik yükte emniyetli bileşke $Q_{all}/\cos\beta$

Kaynaklar

Meyerhof, G.G. (1951). The ultimate bearing capacity of foundations. Géotechnique, 2(4), 301–332.

Meyerhof, G.G. (1963). Some recent research on the bearing capacity of foundations. Canadian Geotechnical Journal, 1(1), 16–26.

Das, B.M. (2017). Shallow Foundations: Bearing Capacity and Settlement, 3rd ed. CRC Press — Bölüm 2.4–2.5; bu sayfa, oradaki çıkarımın sırasını izlemektedir; sayfa metninde “kaynak” olarak anılmaktadır.

Das, B.M. (2016). Principles of Foundation Engineering, 8th ed. Cengage — genel taşıma gücü denklemi ve katsayıları; sayfa metninde “ikinci kaynak” olarak anılmaktadır.

Reissner, H. (1924). Zum Erddruckproblem. Proc. 1st Int. Congress of Applied Mechanics, Delft, 295–311.

Prandtl, L. (1921). Über die Eindringungsfestigkeit (Härte) plastischer Baustoffe und die Festigkeit von Schneiden. ZAMM, 1(1), 15–20.

Vesic, A.S. (1973). Analysis of ultimate loads of shallow foundations. JSMFD, ASCE, 99(SM1), 45–73.

De Beer, E.E. (1970). Experimental determination of the shape factors and the bearing capacity factors of sand. Géotechnique, 20(4), 387–411.

Hansen, J.B. (1970). A revised and extended formula for bearing capacity. Danish Geotechnical Institute Bulletin 28.

Şekiller doğrudan mekanizmanın kendisinden çizilmiştir; Nq grafiği bu sayfadaki denklemlerden hesaplanmıştır.

NOT

Bu sunumdaki şekiller GeoTerva Teori sayfasından alınmıştır; sayısal örneklerin tümü modülün kendi hesap kitaplığıyla üretilmiştir, modül aynı değerleri verir.

GeoTerva

Çevrim içi geoteknik hesaplar

Teoriden uygulamaya

Bu sunumdaki örnek temeli GeoTerva'da adım adım hesaplayın: modül bu modelle açılır.

Modülü açın →

Teori sayfası →

Telefonla açın
Örnek modüller kayıt gerektirmez.

Derslerinizde kullanmak isterseniz: info@geoterva.com