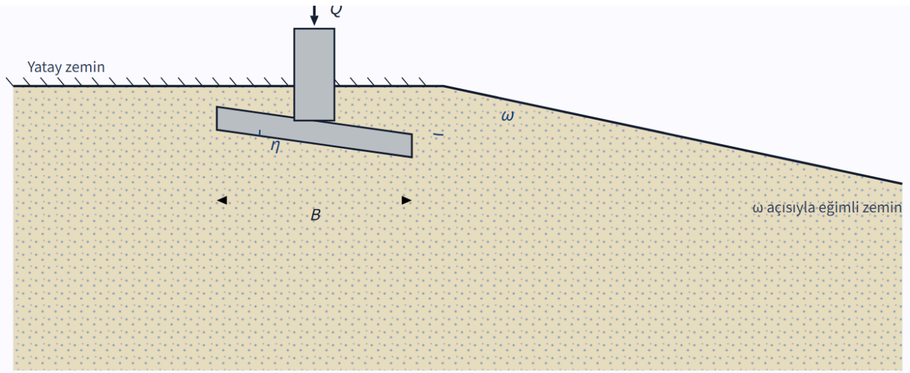
Geoteknik ders sunumu · Temeller

Hansen taşıma gücü denklemi

Ders anlatımı: Hansen'in kendi N_γ katsayısından şekil ve derinlik düzeltmelerine, gerçek yüke bağlı eğim katsayılarından taban ve zemin eğimine; her konuda çözümlü örnek.

Hansen N_γ · Şekil · derinlik · Gerçek yüke bağlı eğim · Taban ve zemin eğimi · Drenajsız toplamsal biçim · Çözümlü örnekler



Giriş

Bu derste neler öğreneceğiz?

- **Hansen denkleminin** üç terimini ve her terimin altı düzeltme katsayısını (şekil, derinlik, eğim, taban eğimi, zemin eğimi) tanımayı
- Hansen'in **kendi N_γ katsayısını** hesaplamayı ve Vesic'inkiyle karşılaştırmayı
- **Şekil** ve **derinlik** katsayılarını, $D_f/B = 1$'deki geçiş dahil, uygulamayı
- **Eğim katsayılarını** gerçek yük h ve v ile hesaplamayı ve kayma sınırlarını denetlemeyi
- **Taban eğimi η** ve **zemin eğimi ω** katsayılarını kullanmayı
- Drenajsız ($\varphi = 0$) **toplamsal biçimi** ve yeraltı suyu durumlarını 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: c = 10 kPa, $\varphi' = 25°$ zeminde 2 m × 2 m kare temel, D_f = 1 m, $\gamma = 18$ kN/m³, yeraltı suyu yok.

Üç terim, her birinin altı düzeltmesi

KURAM

Hansen (1970) taşıma gücü denklemini kendi göçme mekanizmasıyla, Vesic'ten bağımsız türetti. Her terim çarpılan **altı düzeltme** taşır:

$$\begin{aligned} q_u = {} & c\, N_c\, s_c d_c i_c b_c g_c \\ & + q\, N_q\, s_q d_q i_q b_q g_q \\ & + \tfrac{1}{2}\gamma B\, N_\gamma\, s_\gamma d_\gamma i_\gamma b_\gamma g_\gamma \end{aligned}$$

N_c ve N_q bu bölümdeki bütün yöntemlerle aynıdır (Prandtl ve Reissner kapalı formları). **N_γ Hansen'e özgüdür** ve aynı φ′'de Vesic'inkinden küçüktür.

Şekil (s), **derinlik** (d), **eğim** (i), **taban eğimi** (b) ve **zemin eğimi** (g) katsayıları Hansen'in kendi takımıdır; eğik yük, eğik taban ve eğimli zemin aynı denklemde ele alınır.

Düz taban, düz zemin ve düşey yükte **i = b = g = 1** olur: denklem şekil ve derinlik katsayılı genel denkleme iner.

GÖSTERİMLER

c, φ′: kohezyon, içsel sürtünme açısı

q = γ D_f: taban seviyesindeki sürşarj

B, L: kısa ve uzun kenar; B/L şekli belirler

h, v: yük durumunun H/A ve V/A basınçları

η: tabanın yataydan eğimi

ω: temel yanında zemin yüzeyinin eğimi

Hansen'in N_γ'sı Vesic'inkinden küçüktür

KURAM

N_c ve N_q her yöntemde aynıdır:

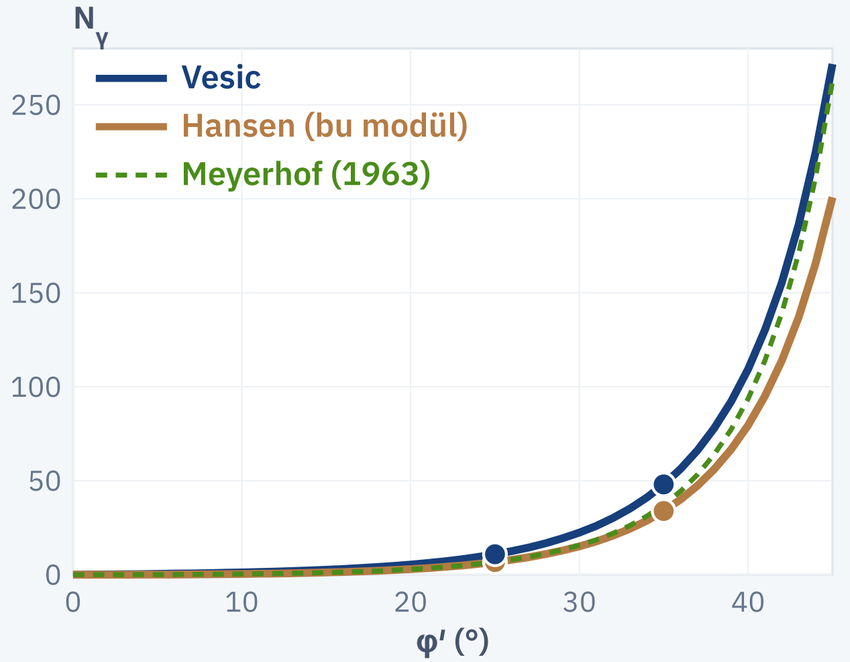
$$N_q = e^{\pi \tan\varphi} \tan^2\left(45^\circ + \tfrac{\varphi}{2}\right) \qquad N_c = (N_q - 1)\cot\varphi$$

N_γ için kapalı ve herkesçe kabul edilen bir ifade yoktur. Hansen göçme yüzeyini biraz farklı idealleştirerek kendi ifadesini bulmuştur:

$$N_\gamma^{\text{Hansen}} = 1{,}5\,(N_q - 1)\tan\varphi \qquad N_\gamma^{\text{Vesic}} = 2\,(N_q + 1)\tan\varphi$$

İkisi de saygın türetmelerdir; hiçbiri mutlak anlamda "daha doğru" değildir. Önemli olan **aynı yöntemin katsayılarını birlikte kullanmaktır**: Hansen N_γ'sı Hansen şekil ve eğim katsayılarıyla.

φ′ büyüdükçe fark oransal olarak küçülür ama kapanmaz; φ′ = 25°'de Hansen, Vesic'in %62'sidir.



Soru

SORU

Verilenler

Zemin	$\varphi' = 25^\circ$ **(modülün açıldığı model); karşılaştırma için** $\varphi' = 35^\circ$
Yöntemler	**Hansen:** $N_\gamma = 1{,}5(N_q - 1)\tan\varphi$ **· Vesic:** $N_\gamma = 2(N_q + 1)\tan\varphi$

İSTENEN

N_q, N_c ve iki yönteme göre **N_γ** değerlerini bulunuz; Hansen'in Vesic'ten yüzde kaç küçük olduğunu hesaplayınız.

Çözüm (1/2)

ÇÖZÜM

1 N_q ve N_c ($\varphi' = 25°$, $\tan 25° = 0{,}4663$)

$$N_q = e^{\pi \tan 25^\circ} \tan^2(57{,}5^\circ) = e^{1{,}4649}(2{,}4639) = \mathbf{10{,}66} \qquad N_c = \frac{10{,}66 - 1}{0{,}4663} = \mathbf{20{,}72}$$

2 N_γ: Hansen ve Vesic

$$N_\gamma^{\text{Hansen}} = 1{,}5(10{,}66 - 1)(0{,}4663) = \mathbf{6{,}76}$$
$$N_\gamma^{\text{Vesic}} = 2(10{,}66 + 1)(0{,}4663) = \mathbf{10{,}88}$$

Hansen'in N_γ'sı Vesic'inkinin **%62**'i kadardır: aynı zeminde öz ağırlık terimi yaklaşık **%38 daha küçük** çıkar.

Çözüm (2/2)

ÇÖZÜM

φ′ (°)	N_q	N_c	N_γ Hansen	N_γ Vesic	Hansen / Vesic
10	2,47	8,34	0,39	1,22	%32
15	3,94	10,98	1,18	2,65	%45
20	6,40	14,83	2,95	5,39	%55
25	10,66	20,72	6,76	10,88	%62
30	18,40	30,14	15,07	22,40	%67
32	23,18	35,49	20,79	30,21	%69
35	33,30	46,12	33,92	48,03	%71
40	64,20	75,31	79,54	109,41	%73
45	134,87	133,87	200,81	271,75	%74

φ′ = 35° için de aynı: N_γ = 33,92 (Hansen) ve 48,03 (Vesic), oran %71. Oran φ′ arttıkça %32'ten %74'ye yükselir, hiçbir zaman 1 olmaz: **yöntemleri karıştırmayın**.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

B/L oranına bağlı üç katsayı

KURAM

Şerit olmayan bir temelde göçme üç boyutludur. Hansen'in şekil katsayıları De Beer'inkilere benzer; **N_q/N_c oranını** içerir:

$$s_c = 1 + \frac{B}{L}\frac{N_q}{N_c} \qquad s_q = 1 + \frac{B}{L}\sin\varphi \qquad s_\gamma = 1 - 0{,}4\,\frac{B}{L}$$

Drenajsız yüklemede ($\varphi = 0$) N_q/N_c oranı iyi davranmaz; kohezyon katsayısı kendi basit biçimini alır. Bu katsayı çarpan değil **toplamsal**dır, bu yüzden s'_c yazılır:

$$s'_c = 0{,}2\,\frac{B}{L} \qquad (\varphi = 0)$$

Şerit temel ($B/L \to 0$): $s_c = s_q = s_\gamma = 1$ ve $s'_c = 0$. Kare ve daire temelde $B/L = 1$ alınır.

De Beer'le karşılaştırma: s_c ve s_γ aynı; s_q'de De Beer tan φ, Hansen sin φ kullanır.

φ′ = 25° İÇİN

B/L	s_c	s_q	s_γ
0 (şerit)	1,000	1,000	1,000
0,5	1,257	1,211	0,800
1 (kare)	1,515	1,423	0,600

Soru

SORU

Verilenler

Zemin	$\varphi' = 25°$: $N_c = 20{,}72,\ N_q = 10{,}66,\ \sin 25° = 0{,}4226$ **(Örnek 1)**
Temeller	**(a) kare 2 × 2 m · (b) dikdörtgen 2 × 4 m (B/L = 0,5) · (c) şerit**
Drenajsız	**φ = 0: kare ve 2 × 4 m**

İSTENEN

Her temel için **s_c, s_q, s_γ** (φ = 0'da s'_c) değerlerini bulunuz; kare temelde s_q'yu De Beer'inkiyle karşılaştırınız.

Çözüm

ÇÖZÜM

1 (a) Kare temel (B/L = 1)

$$s_c = 1 + (1)\frac{10{,}66}{20{,}72} = \mathbf{1{,}515} \qquad s_q = 1 + \sin 25^\circ = \mathbf{1{,}423} \qquad s_\gamma = 1 - 0{,}4 = \mathbf{0{,}600}$$

2 (b) Dikdörtgen 2 × 4 m (B/L = 0,5)

$$s_c = 1 + 0{,}5\frac{10{,}66}{20{,}72} = \mathbf{1{,}257} \qquad s_q = 1 + 0{,}5(0{,}4226) = \mathbf{1{,}211} \qquad s_\gamma = 1 - 0{,}2 = \mathbf{0{,}800}$$

3 (c) Şerit ve drenajsız durum (φ = 0)

$$\text{şerit}: \; s_c = s_q = s_\gamma = 1 \qquad \varphi = 0: \; s_c' = 0{,}2\;(\text{kare}),\;\; 0{,}1\;(2\times 4),\;\; 0\;(\text{şerit})$$

Kare temelde q terimi **%42** artar, öz ağırlık terimi %40 azalır. De Beer'in $s_q = 1 + \tan\varphi$ = 1,466, Hansen'in 1,423: fark yaklaşık %3.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Doğrusal biçim ve arktanjant biçimi

KURAM

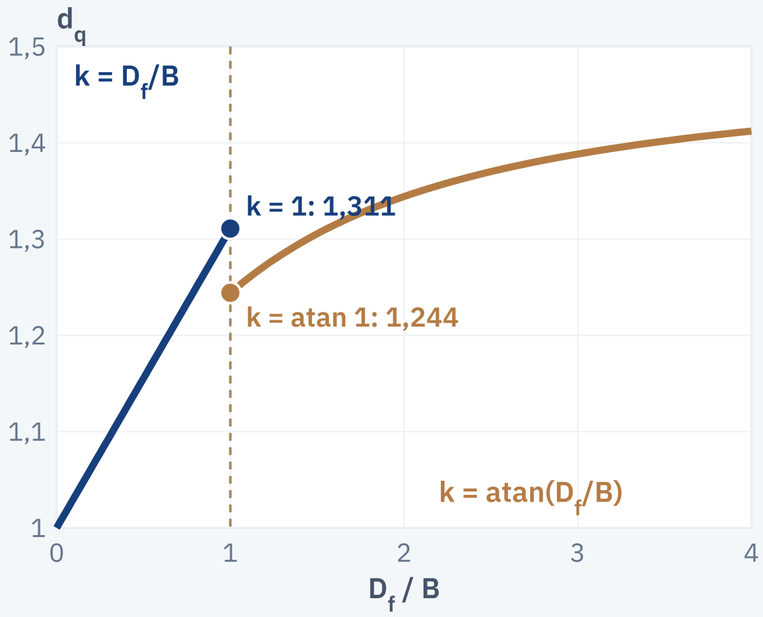
Taban üstündeki zemin taşıma gücüne katkı verir. Hansen'in derinlik katsayıları **k = D_f/B** oranına bağlıdır; D_f/B 1'i aşınca k arktanjantla (radyan) alınır:

$$d_c = 1 + 0{,}4\,k \qquad d_q = 1 + 2\tan\varphi\,(1-\sin\varphi)^2\,k \qquad d_\gamma = 1$$

$$k = \frac{D_f}{B}\ \left(\frac{D_f}{B} \le 1\right) \qquad k = \tan^{-1}\frac{D_f}{B}\ \left(\frac{D_f}{B} > 1\right)$$

φ = 0'da d_q = 1; drenajsız toplamsal biçimde $d'_c = d_c - 1 = 0{,}4\,k$ yazılır.

İki biçim D_f/B = 1'de basamakla buluşur: k = 1 iken d_q = 1,311, hemen ötesinde k = $\tan^{-1}1$ = 0,785 ve d_q = 1,244. Bu yüzden komşu D_f değerlerini karşılaştırmak yerinde olur.



Soru

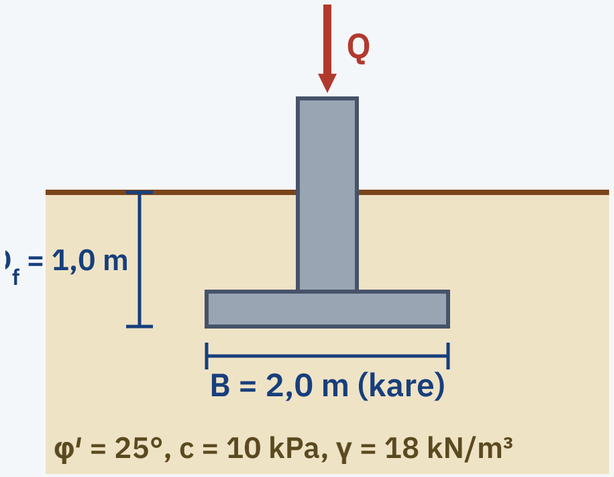
SORU

Verilenler

Zemin	$\varphi' = 25°$: $\tan\varphi = 0{,}4663$, $(1 - \sin 25°)^2 = 0{,}3334$
Temel	**B = 2 m; D_f = 1 m (örnek), karşılaştırma D_f = 2 m ve 3 m**
Drenajsız	**φ = 0: D_f = 1,5 m**

İSTENEN

Her durum için **d_c, d_q** ve d_γ değerlerini bulunuz; D_f 2 m'den 3 m'ye çıkınca ne olduğunu açıklayınız.



Çözüm

ÇÖZÜM

1 D_f = 1 m (D_f/B = 0,5 ≤ 1: k = 0,5)

$$d_q = 1 + 2(0{,}4663)(0{,}3334)(0{,}5) = \mathbf{1{,}155} \qquad d_c = 1 + 0{,}4(0{,}5) = \mathbf{1{,}200} \qquad d_\gamma = 1$$

2 D_f = 2 m (D_f/B = 1: doğrusal, k = 1) ve D_f = 3 m (D_f/B = 1,5: k = $\tan^{-1}$1,5 = 0,9828)

$$D_f = 2: \; d_q = 1 + 2(0{,}4663)(0{,}3334)(1) = \mathbf{1{,}311}, \; d_c = \mathbf{1{,}400}$$

$$D_f = 3: \; d_q = 1 + 2(0{,}4663)(0{,}3334)(0{,}9828) = \mathbf{1{,}306}, \; d_c = \mathbf{1{,}393}$$

3 Drenajsız (φ = 0): D_f/B = 1,5/2 = 0,75

$$d_c = 1 + 0{,}4(0{,}75) = \mathbf{1{,}300} \quad (d'_c = 0{,}3) \qquad d_q = 1$$

D_f = 2 m → 3 m: d_q 1,311 → 1,306 **azalır**, çünkü k = 1'den $\tan^{-1}$1,5 = 0,98'e geçilir (basamak). D_f = 1 → 2 m'de ise 1,155 → 1,311 artar.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Açıyla değil, gerçek yükle

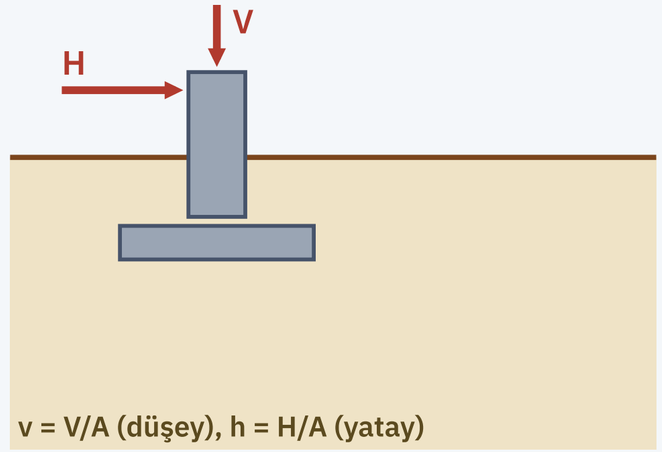
KURAM

Meyerhof'un eğim katsayıları yalnızca yükün düşeyle açısına bakar. Hansen'inkiler **gerçek yatay ve düşey basınca** bakar; h = H/A ve v = V/A, aynı yük durumunun basınçlarıdır (v = q_{uyg}):

$$i_q = \left(1 - \frac{0{,}5\,h}{v + c\cot\varphi}\right)^5 \qquad i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1} \;\; (\geq 0)$$

$$i_\gamma = \left(1 - \frac{0{,}7\,h}{v + c\cot\varphi}\right)^5$$

$$\eta > 0:\; 0{,}7 \to 0{,}7 - \frac{\eta^\circ}{450^\circ}\;(i_\gamma) \qquad \varphi = 0:\; i'_c = 0{,}5\left(1 - \sqrt{1 - \frac{h}{c}}\right),\; i_q = i_\gamma = 1$$



h > 0 ise q_{uyg} girilmelidir: eğim katsayıları ile temelin kontrolü **aynı yükü** kullanır.

h/(v + c cot φ) büyüdükçe üç katsayı da sıfıra gider; yük kaymaya yaklaşan temelin taşıma gücü kalmaz.

Taban kaymadan önce taşıma gücüne ulaşmaz

KURAM

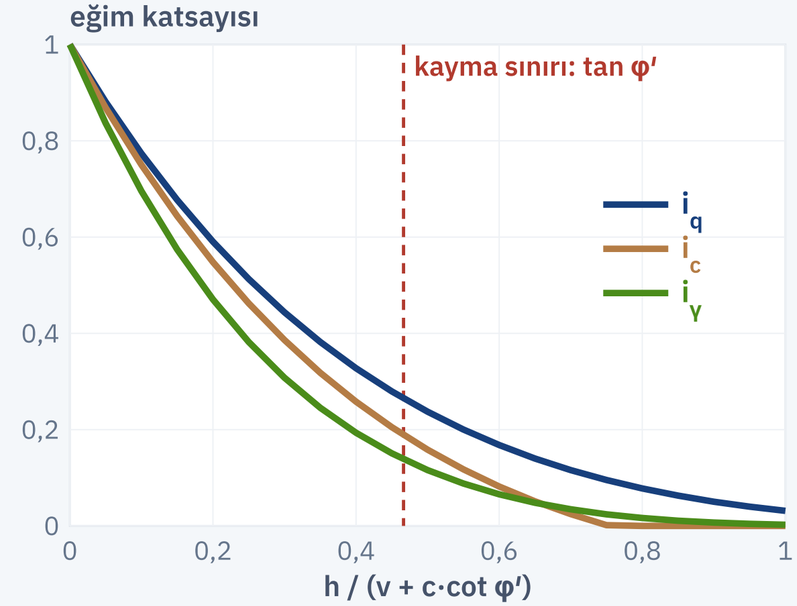
Temel, yatay yük tabanın sürtünme ve yapışma direncini aşınca **kayar**. Üst sınır (taban sürtünmesi φ, yapışma c alınarak):

$$h_{kayma} = v\tan\varphi + c = \tan\varphi\,(v + c\cot\varphi)$$

h > v tan φ + c ise modül uyarır: kayan temel taşıma gücüne ulaşamaz; gerçek taban için kaymayı ayrıca kontrol edin. Grafikte bu sınır **h/(v + c cot φ) = tan φ** çizgisidir.

h ≥ v + c cot φ (φ = 0'da h ≥ c) ise modül durur: eğim katsayıları anlamını yitirir.

i_c, i_q $1/N_q$'nun altına düşünce sıfırda tutulur; kohezyon terimi eksiye geçmez.



Soru

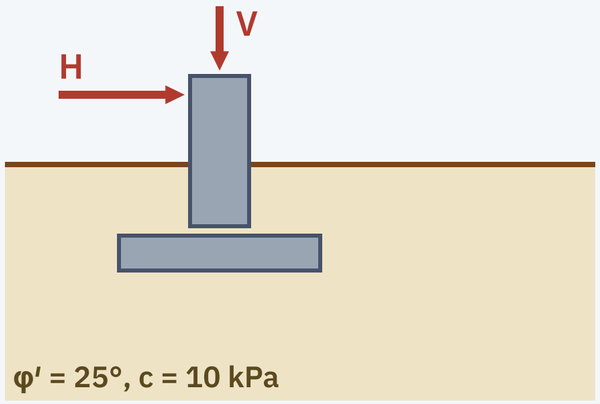
SORU

Verilenler

Temel, zemin	**modül modeli:** $c = 10\ \mathrm{kPa},\ \varphi' = 25^\circ,\ N_q = 10{,}66$
Yük durumu	$v = q_{uyg} = 150\ \mathrm{kPa},\ h = 30\ \mathrm{kPa}$ **(ek: 60, 90, 120)**
Taban	**düz (η = 0)**

İSTENEN

i_c, i_q, i_γ katsayılarını bulunuz ve kayma sınırını denetleyiniz.



Çözüm (1/2)

ÇÖZÜM

1 Oran: v + c cot φ = 150 + 10 (2,1445) = 171,45 kPa

$$x = \frac{h}{v + c\cot\varphi} = \frac{30}{171{,}45} = \mathbf{0{,}1750}$$

2 Katsayılar

$$i_q = (1 - 0{,}5 \cdot 0{,}175)^5 = \mathbf{0{,}633} \qquad i_\gamma = (1 - 0{,}7 \cdot 0{,}175)^5 = \mathbf{0{,}520}$$

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1} = 0{,}633 - \frac{0{,}367}{9{,}66} = \mathbf{0{,}595}$$

3 Kayma sınırı

$$v\tan\varphi + c = 150(0{,}4663) + 10 = \mathbf{79{,}9}\ \text{kPa} \geq h = 30 \ \Rightarrow\ \text{kayma yok}$$

$$v + c\cot\varphi = 171{,}4\ \text{kPa} > h$$

Çözüm (2/2)

ÇÖZÜM

h (kPa)	h/(v + c cot φ)	i_c	i_q	i_γ	kayma kontrolü
0	0,000	1,000	1,000	1,000	geçer
30	0,175	0,595	0,633	0,520	geçer
60	0,350	0,318	0,382	0,245	geçer
90	0,525	0,137	0,218	0,101	**uyarı: h > 79,9**
120	0,700	0,025	0,116	0,035	**uyarı: h > 79,9**

h = 30 kPa (v'nin %20'si) q terimini **%37**, c terimini **%41**, öz ağırlık terimini **%48** düşürür. Taban 10° eğikse $i_\gamma = (1 - (0{,}7 - 10/450)\cdot 0{,}175)^5 = 0{,}532$ olur. Sınırı aşan h = 90 ve 120 kPa'da temel kayar: katsayılar hâlâ hesaplanır ama kayma ayrıca kontrol edilmelidir.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Düz olmayan taban ve eğimli zemin

KURAM

Gerçek temeller her zaman düz tabanlı ve düz zeminde değildir: taban bilerek eğik yapılabilir ya da temel bir şevin başında olabilir. Hansen'in katsayıları ikisini de kapsar (η ve ω derece; üstel ifadelerde radyan):

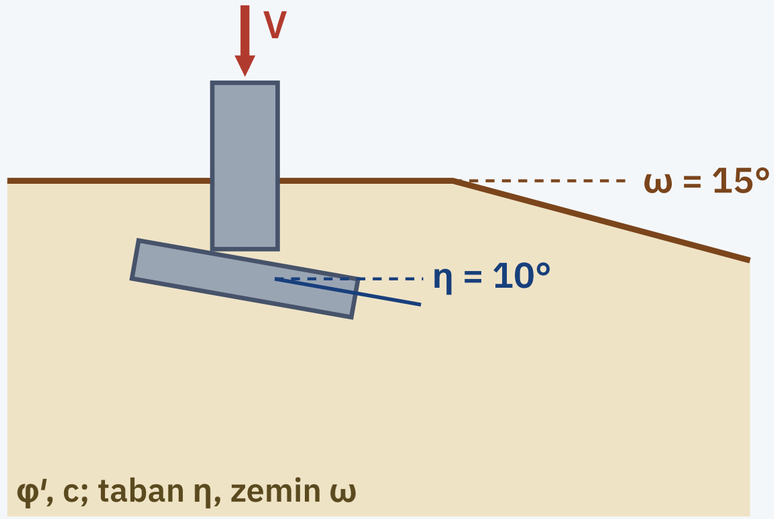
$$b_c = 1 - \frac{\eta^\circ}{147^\circ} \qquad b_q = e^{-2\eta \tan\varphi} \qquad b_\gamma = e^{-2{,}7\,\eta \tan\varphi}$$

$$g_c = 1 - \frac{\omega^\circ}{147^\circ} \qquad g_q = g_\gamma = (1 - 0{,}5 \tan\omega)^5$$

b_γ üssü (2,7) b_q'nunkinden (2) büyüktür: eğik taban öz ağırlık terimine sürşarj terimine göre daha çok zarar verir.

η ve ω en çok 45° girilir; ω > φ ise şev kendi başına dengede değildir ve modül durur.

(1 − tan ω)², Hansen'in değil **Vesic'in** biçimidir ve biraz büyüktür: ω = 5°'de 0,833; Hansen'in 0,800. Ona bu denklemde karıştırılmamalıdır.



Soru

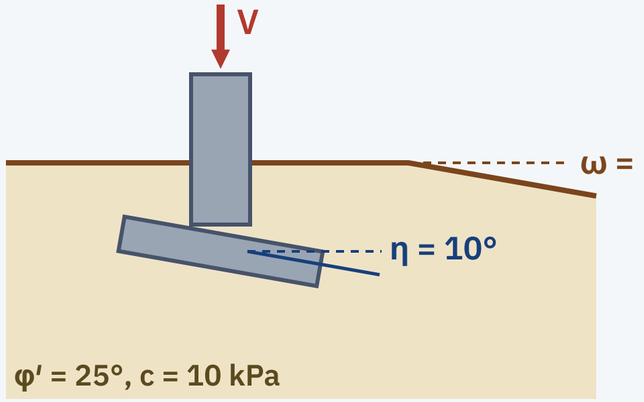
SORU

Verilenler

Zemin	$\varphi' = 25^\circ,\ \tan\varphi = 0{,}4663$
Taban eğimi	**η = 10°**
Zemin eğimi	**ω = 10° ve ω = 15°**

İSTENEN

b_c, b_q, b_γ ve **g_c, g_q, g_γ** değerlerini bulunuz; g_q'yu Vesic'in $(1 - \tan\omega)^2$ biçimiyle karşılaştırınız.



Çözüm (1/2)

ÇÖZÜM

1 Taban eğimi η = 10° (0,1745 rad)

$$b_c = 1 - \frac{10}{147} = \mathbf{0{,}932} \quad b_q = e^{-2(0{,}1745)(0{,}4663)} = \mathbf{0{,}850} \quad b_\gamma = e^{-2{,}7(0{,}1745)(0{,}4663)} = \mathbf{0{,}803}$$

2 Zemin eğimi ω = 10° (tan 10° = 0,1763)

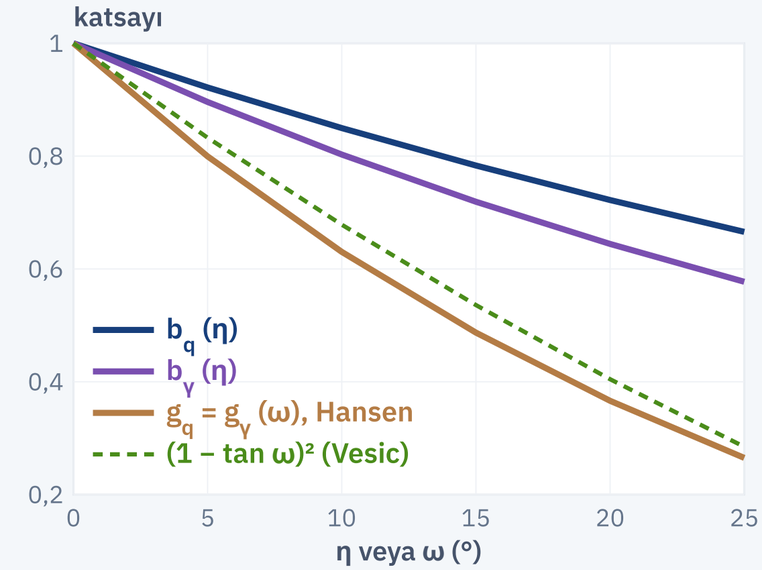
$$g_c = 1 - \frac{10}{147} = \mathbf{0{,}932} \quad g_q = g_\gamma = (1 - 0{,}5 \cdot 0{,}1763)^5 = (0{,}9118)^5 = \mathbf{0{,}630}$$

Çözüm (2/2)

ÇÖZÜM

ω (°)	g_c	$g_q = g_\gamma$ Hansen	g_q Vesic $(1 - \tan \omega)^2$
10	0,932	0,630	0,678
15	0,898	0,487	0,536

Hansen'in g_q'su Vesic'inkinden küçüktür (ω = 10°: 0,630 ve 0,678): daha **tutucudur**. η = 10° taban eğimi öz ağırlık terimini %20, sürşarj terimini %15 düşürür.



Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Altı katsayıyı birleştirmek

KURAM

Altı katsayı göz korkutsa da **sıradan durumda hepsi 1'dir**; tam denklem ancak bir varsayım bozulunca devreye girer. 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} aynı yük durumunun tabandaki **düşey brüt basıncıdır** (V/A). Temel şu koşullarda geçer:

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

Emniyetli düşey yük $Q_{all} = q_{all,g} \cdot A$. $h > 0$ iken q_{uyg} girilmezse modül yalnızca kapasiteleri değil, eğim katsayılarını da hesaplayamaz.

KATSAYI NE ZAMAN 1?

Katsayı	1 olduğu durum
s	şerit temel (B/L = 0)
d	$D_f = 0$ (taban yüzeyde)
i	h = 0 (düşey yük)
b	η = 0 (düz taban)
g	ω = 0 (düz zemin)

Katsayılar değişmez; q ve γ değişir

KURAM

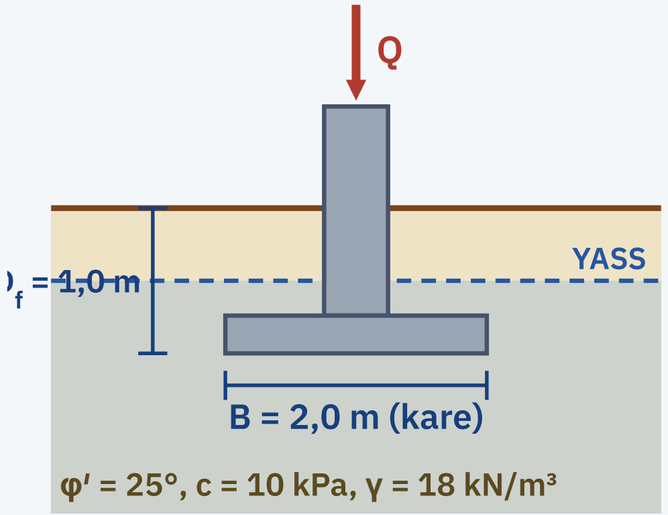
Hansen modülü yeraltı suyunu diğer bearing modülleriyle **aynı üç durumla** ele alır. YASS altında etkin birim ağırlık γ′ = γ_{sat} − γ_w (γ_w = 9,81). D_w yeraltı suyunun yüzeyden derinliği:

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

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

$D_w = D_f$ durumunda q = γ D_f ve üçüncü terimde γ′ kullanılır.

Tabanın bir B altından daha derinde su **etkisizdir**. Su yalnızca **q ve γ** aracılığıyla girer; s, d, i, b, g aynı kalır.



Soru

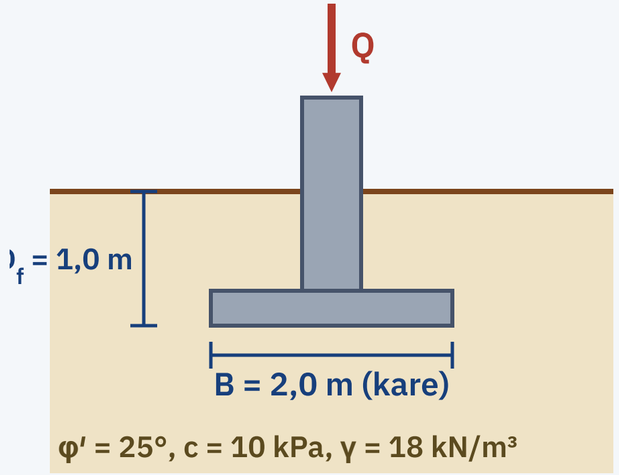
SORU

Verilenler

Temel	**kare, B = L = 2,0 m, taban derinliği D_f = 1,0 m**
Zemin	$c = 10\ \mathrm{kPa},\ \varphi' = 25^\circ$
Birim ağırlık	$\gamma = 18\ \mathrm{kN/m^3}$**; yeraltı suyu yok**
Yük	**düşey, merkezi**
Güvenlik	**FS = 3**

İSTENEN

q_u, brüt ve net q_{all} ile emniyetli yük Q_{all}; her terimin payını bulunuz.



Çözüm (1/2)

ÇÖZÜM

1 Taşıma gücü katsayıları (φ′ = 25°)

$$N_c = \mathbf{20{,}72}, \quad N_q = \mathbf{10{,}66}, \quad N_\gamma = 1{,}5(10{,}66 - 1)(0{,}4663) = \mathbf{6{,}758}$$

2 Düzeltme katsayıları (B/L = 1; D_f/B = 0,5; h = η = ω = 0)

$$s_c = 1{,}515, \; s_q = 1{,}423, \; s_\gamma = 0{,}6 \qquad d_c = 1{,}200, \; d_q = 1{,}155, \; d_\gamma = 1 \qquad i = b = g = 1$$

Çözüm (2/2)

ÇÖZÜM

3 Taşıma gücü ($q = \gamma D_f = 18$ kPa)

$$q_u = 10(20{,}72)(1{,}515)(1{,}200) + 18(10{,}66)(1{,}423)(1{,}155)$$
$$+ \tfrac{1}{2}(18)(2)(6{,}758)(0{,}6) = 376{,}6 + 315{,}5 + 73{,}0 = \mathbf{765{,}05}\ \text{kPa}$$

4 Emniyetli basınç ve yük ($A = 2^2 = 4$ m²)

$$q_{all,g} = \frac{765{,}05}{3} = \mathbf{255{,}02}\ \text{kPa} \qquad q_{all,n} = \frac{765{,}05 - 18}{3} = 249{,}02\ \text{kPa}$$

$$Q_{all} = 255{,}02(4) = \mathbf{1\,020}\ \text{kN}$$

Taşıma gücünün **%49**'i kohezyondan, **%41**'i sürşarjdan, yalnızca **%10**'u öz ağırlıktan gelir: küçük N_γ ve $s_\gamma = 0{,}6$ öz ağırlık terimini zayıflatır.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Soru

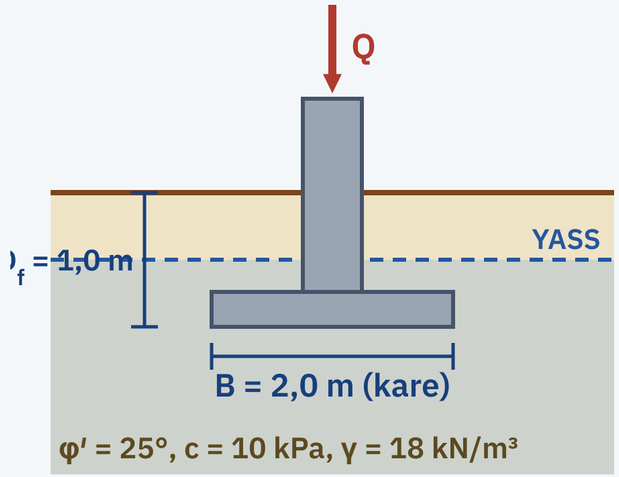
SORU

Verilenler

Temel	**kare, B = L = 2,0 m, D_f = 1,0 m**
Zemin	$c = 10\ \mathrm{kPa},\ \varphi' = 25^\circ$
Birim ağırlık	$\gamma = 18$ **(üstte),** $\gamma_{sat} = 19\ \mathrm{kN/m^3}$ **(YASS altında)**
Yeraltı suyu	**D_W = 0,5; 1,0; 2,0 ve 4,0 m**

İSTENEN

Her durum için **q**, üçüncü terimdeki birim ağırlık ve q_u değerlerini bulunuz. (Katsayılar Örnek 6'daki gibi.)



Çözüm (1/2)

ÇÖZÜM

1 Durum I ($D_W \le D_f$): $\gamma' = 19 - 9{,}81 = 9{,}19$ kN/m³

$$D_w = 0{,}5: \; q = 18(0{,}5) + 9{,}19(0{,}5) = \mathbf{13{,}595}\ \mathrm{kPa}$$

$$D_w = 1{,}0: \; q = 18(1{,}0) = \mathbf{18{,}0}\ \mathrm{kPa}$$

2 Durum III ($D_W = 2{,}0 \Rightarrow D = 1{,}0 \le B$) ve su etkisiz ($D_W = 4{,}0 \Rightarrow D = 3{,}0 > B$)

$$D_w = 2{,}0: \; \bar{\gamma} = \frac{1}{2}\left[18(1) + 9{,}19(1)\right] = \mathbf{13{,}595}\ \mathrm{kN/m^3},\ q = 18\ \mathrm{kPa}$$

$$D_w = 4{,}0: \; q = 18\ \mathrm{kPa},\ \gamma = 18\ \mathrm{kN/m^3}$$

Çözüm (2/2)

ÇÖZÜM

D_w (m)	Durum	q (kPa)	γ üçüncü terim	q_u (kPa)
0,5	I	13,59	9,19	**652,1**
1,0	I	18,00	9,19	**729,3**
2,0	III	18,00	13,59	**747,2**
4,0	etkisiz	18,00	18,00	**765,1**

Su 0,5 m'deyken q_u = 652, derindeyken 765 kPa (%15 fark). Farkın kaynağı **yalnızca q ve γ**: kohezyon terimi (376,6 kPa) hiç değişmez.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Soru

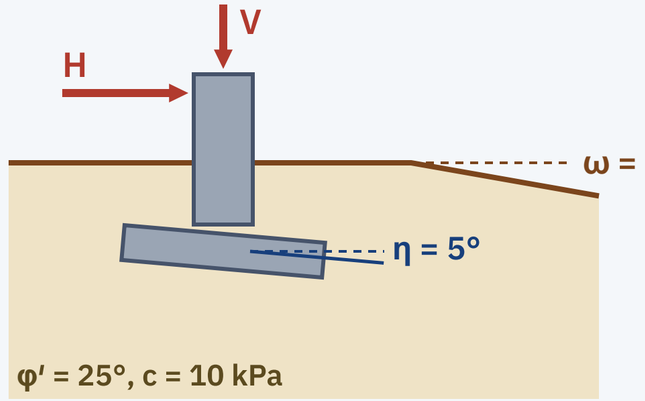
SORU

Verilenler

Temel	**kare, B = L = 2,0 m, taban derinliği D_f = 1,0 m**
Zemin	$c = 10\ \mathrm{kPa},\ \varphi' = 25^\circ$
Birim ağırlık	$\gamma = 18\ \mathrm{kN/m^3}$**; yeraltı suyu yok**
Yük durumu	$v = q_{uyg} = 150\ \mathrm{kPa},\ h = 30\ \mathrm{kPa}$
Taban, zemin	**η = 5°, ω = 10°**
Güvenlik	**FS = 3**

İSTENEN

q_u ve **q_{all}** değerlerini bulunuz; temelin q_{uyg} = 150 kPa için geçip geçmediğini kontrol ediniz; kaymayı denetleyiniz.



Çözüm (1/3)

ÇÖZÜM

1 Eğim katsayıları (v + c cot φ = 171,45 kPa; taban eğik: 0,7 → 0,7 − 5/450 = 0,6889)

$$x = \frac{30}{171{,}45} = 0{,}175 \qquad i_q = (1 - 0{,}5x)^5 = \mathbf{0{,}633} \qquad i_c = \mathbf{0{,}595}$$

$$i_\gamma = (1 - 0{,}6889x)^5 = \mathbf{0{,}526}$$

2 Taban ve zemin eğimi katsayıları (η = 5°, ω = 10°)

$$b_c = 0{,}966,\ b_q = 0{,}922,\ b_\gamma = 0{,}896$$

$$g_c = 0{,}932,\ g_q = g_\gamma = (1 - 0{,}5\tan 10^\circ)^5 = 0{,}630$$

Çözüm (2/3)

ÇÖZÜM

3 Üç terim (şekil ve derinlik katsayıları Örnek 6'daki gibi)

$$c\text{ terimi} = 10(20{,}72)(1{,}515)(1{,}20)(0{,}595)(0{,}966)(0{,}932) = 201{,}6$$

$$q\text{ terimi} = 18(10{,}66)(1{,}423)(1{,}155)(0{,}633)(0{,}922)(0{,}630) = 116{,}0$$

$$\gamma\text{ terimi} = \tfrac{1}{2}(18)(2)(6{,}758)(0{,}6)(1)(0{,}526)(0{,}896)(0{,}630) = 21{,}7$$

4 Taşıma gücü ve emniyetli basınç

$$q_u = 201{,}6 + 116{,}0 + 21{,}7 = \mathbf{339{,}3}\ \text{kPa} \qquad q_{all,g} = \frac{339{,}3}{3} = \mathbf{113{,}1}\ \text{kPa}$$

Çözüm (3/3)

ÇÖZÜM

5 Kontrol (q_{uyg} = 150 kPa)

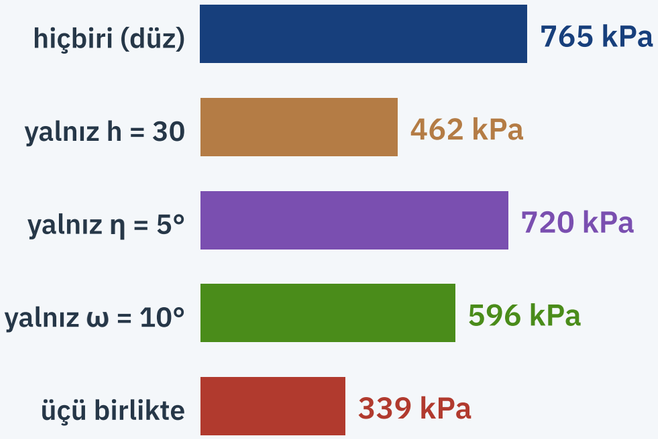
$$q_{uyg} = 150 > q_{all,g} = 113{,}1 \;\Rightarrow\; \textbf{geçmez}$$

$$FS_{\text{gerçek}} = \frac{339{,}3}{150} = \mathbf{2{,}26} < 3$$

6 Kayma sınırı

$$h = 30 \le v\tan\varphi + c = 79{,}9\ \text{kPa} \;\Rightarrow\; \text{kayma uyarısı yok}$$

Düz modelde 765 kPa olan q_u bu yük durumunda **339 kPa**'a (%56) iner. Tek tek: yatay yük **−%40**, zemin eğimi −%22, taban eğimi −%6. Temel geçmez (FS = 2,26 < 3); çare: B ya da D_f'yi artırmak, h'yi azaltmak, tabanı düzleştirmek.



Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

φ = 0: kohezyon terimi toplamsal yazılır

KURAM

φ = 0'da çarpımsal kohezyon terimi kullanılmaz. Hansen onu **toplamsal** yazar: düzeltmeler 1'e eklenir ya da çıkarılır; böylece h, η ve ω sıfırken kohezyon terimi sıfırlanmaz. N_c = 5,14, N_q = 1, N_γ = 0:

$$q_u = c\,N_c\,(1 + s'_c + d'_c - i'_c - b'_c - g'_c) + q\,g_q$$

$$s'_c = 0{,}2\frac{B}{L} \quad d'_c = 0{,}4k \quad i'_c = 0{,}5\left(1 - \sqrt{1 - \frac{h}{c}}\right) \quad b'_c = \frac{\eta^\circ}{147^\circ} \quad g'_c = \frac{\omega^\circ}{147^\circ}$$

Sürşarj terimi q g_q'ye iner: düz zeminde yalnızca q. Öz ağırlık terimi yoktur (N_γ = 0).

h < c olmalıdır; h ≥ c ise taban kayar ve modül durur. Parantez de pozitif kalmalıdır (h, η ve ω birlikte çok büyükse kohezyon terimi eksiye geçerdi).

ÖRNEK: c = 40 kPa, 2 m kare, D_f = 1 m

Katsayı	Değer
s'_c = 0,2(B/L)	0,2
d'_c = 0,4 k (k = 0,5)	0,2
i'_c, b'_c, g'_c	0
parantez	1,4

q_u = 40 × 5,14 × 1,4 + 18 = **305,84 kPa**

Soru

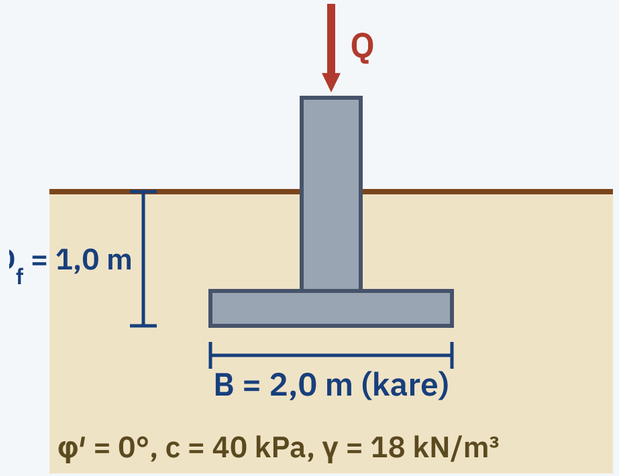
SORU

Verilenler

Temel	**kare B = L = 2 m, D_f = 1 m**
Zemin	**kil:** $\varphi = 0,\ c_u = 40\ \mathrm{kPa},\ \gamma = 18\ \mathrm{kN/m^3}$**; yeraltı suyu yok**
Durumlar	**(a) düşey yük · (b)** $v = 100,\ h = 10\ \mathrm{kPa}$ **·** **(c)** $h = 10$ **ve** $\eta = \omega = 10^\circ$

İSTENEN

Her durum için $\mathbf{q_u}$ değerini bulunuz.



Çözüm (1/2)

ÇÖZÜM

1 (a) Düşey yük: parantez $1 + s'_c + d'_c = 1 + 0{,}2 + 0{,}2$

$$q_u = 40(5{,}14)(1{,}4) + 18 = 287{,}84 + 18 = \mathbf{305{,}84}\ \text{kPa}$$

2 (b) h = 10 kPa (h/c = 0,25 < 1)

$$i'_c = 0{,}5\left(1 - \sqrt{0{,}75}\right) = 0{,}0670 \;\Rightarrow\; q_u = 40(5{,}14)(1{,}4 - 0{,}0670) + 18 = \mathbf{292{,}07}\ \text{kPa}$$

Çözüm (2/2)

ÇÖZÜM

3 (c) h = 10 kPa, η = ω = 10°: $b'_c = g'_c = 10/147 = 0{,}068$; $g_q = (1 - 0{,}5 \tan 10°)^5$

$$1{,}4 - 0{,}067 - 0{,}068 - 0{,}068 = 1{,}197$$

$$q_u = 40(5{,}14)(1{,}197) + 18(0{,}630) = 246{,}1 + 11{,}3 = \mathbf{257{,}4}\ \text{kPa}$$

Durum	parantez	c N_c(...)	q g_q	q_u (kPa)
(a) düşey	1,400	287,8	18,0	**305,8**
(b) h = 10	1,333	274,1	18,0	**292,1**
(c) h, η, ω	1,197	246,1	11,3	**257,4**

Yalnız h = 10 kPa taşıma gücünü %5, h ile birlikte taban ve zemin eğimi %16 düşürür. Toplamsal biçim sayesinde düz, düşey durumda kohezyon terimi sıfırlanmaz: 305,84 kPa.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Soru

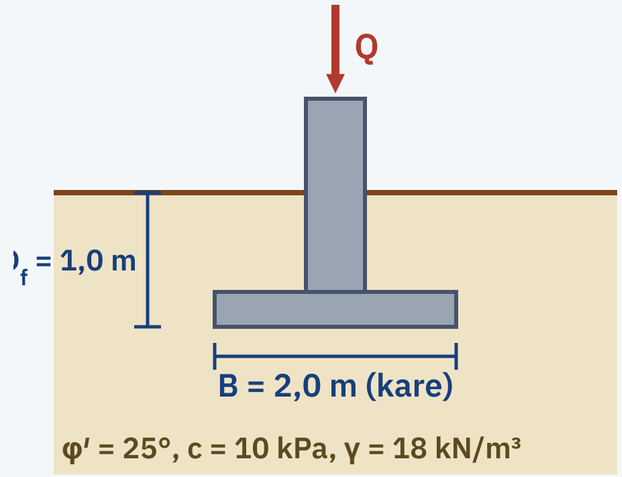
SORU

Verilenler

Temel	**kare, B = L = 2,0 m, taban derinliği D_f = 1,0 m**
Zemin	$c = 10\ \mathrm{kPa},\ \varphi' = 25^\circ$
Birim ağırlık	$\gamma = 18\ \mathrm{kN/m^3}$**; yeraltı suyu yok**
Karşılaştırma	**Vesic denklemi: De Beer şekil, Vesic N_γ, $d_c = d_q - (1 - d_q)/(N_c \tan \varphi)$**
Yük durumu (ek)	**Örnek 8: q_{uyg} = 150, h = 30 kPa, η = 5°, ω = 10°**

İSTENEN

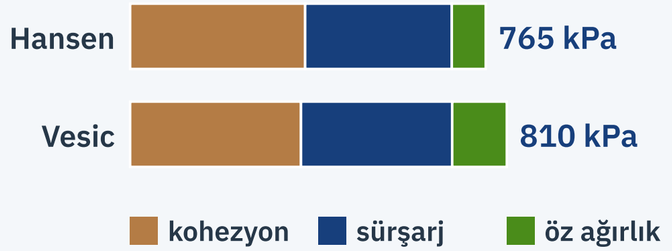
İki denklemin q_u değerlerini terim terim karşılaştırınız; sonra Örnek 8'in yük durumunda da.



Çözüm (1/2)

ÇÖZÜM

	Hansen	Vesic
N_γ	6,76	10,88
s_q	1,423	1,466
d_c	1,200	1,172
c terimi	376,6	367,7
q terimi	315,5	325,2
γ terimi	73,0	117,5
q_u (kPa)	**765,1**	**810,3**



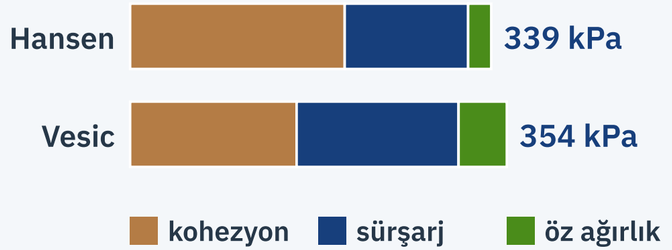
Hansen **%5,6 daha küçük** (765 ve 810 kPa). Fark neredeyse tümüyle öz ağırlık terimindedir (73 ve 117 kPa): N_γ küçük.

Çözüm (2/2)

ÇÖZÜM

Katsayı	Hansen	Vesic
i_c, i_q, i_γ	0,595 · 0,633 · 0,526	0,723 · 0,749 · 0,618
b_c, b_q, b_γ	0,966 · 0,922 · 0,896	0,912 · 0,920 · 0,920
g_c, g_q, g_γ	0,932 · 0,630 · 0,630	0,645 · 0,678 · 0,678
q_u (kPa)	**339,3**	**354,0**

Aynı yük durumunda fark %4,3: Vesic'in eğim üssü m = 1,5 (kare) ve b = $(1 - \eta \tan\varphi)^2$, g = $(1 - \tan\omega)^2$ biçimleri, Hansen'inkilerden biraz **az ceza** verir. İki denklemi karıştırmayın; her yöntemin katsayısı kendi N_γ'sıyla tutarlıdır.



Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Özet

Akılda kalacak noktalar

Hansen denklemi: $q_u = cN_c(s\ d\ i\ b\ g) + qN_q(s\ d\ i\ b\ g) + ½\gamma BN_\gamma(s\ d\ i\ b\ g)$; sıradan durumda i = b = g = 1

$N_\gamma = 1{,}5(N_q - 1)\tan\varphi$: Vesic'inkinden küçük ($\varphi' = 25°$: 6,76 ve 10,88); yöntemin katsayıları birlikte kullanılır

Şekil: $s_c = 1 + (B/L)(N_q/N_c)$, $s_q = 1 + (B/L)\sin\varphi$, $s_\gamma = 1 - 0{,}4\ B/L$ · **Derinlik**: $k = D_f/B$ ya da $\tan^{-1}(D_f/B)$; $D_f/B = 1$'de basamak

Eğim: gerçek h ve v ile; $i_q = (1 - 0{,}5h/(v + c\cot\varphi))^5$, $i_\gamma = (1 - 0{,}7h/(\ldots))^5$; $h > v\tan\varphi + c$ kayma uyarısı, $h \geq v + c\cot\varphi$ durma

Taban eğimi $b_q = e^{-2\eta\tan\varphi}$, $b_\gamma = e^{-2{,}7\eta\tan\varphi}$; **zemin eğimi** $g_q = g_\gamma = (1 - 0{,}5\tan\omega)^5$ (Vesic'in $(1 - \tan\omega)^2$'si farklıdır)

Drenajsız ($\varphi = 0$): $cN_c(1 + s' + d' - i' - b' - g') + qg_q$; $N_c = 5{,}14$, $N_\gamma = 0$; $h < c$

Yeraltı suyu yalnızca q ve γ'yı değiştirir; **kontrol**: $q_{uyg} \leq q_{all,g}$, $FS_{gerçek}$ ve net

Kaynaklar

Hansen’in eksiksiz taşıma gücü denklemi — kendi Nγ değeri, şekil katsayıları, yük eğimi katsayıları ile taban eğimi ve zemin eğimi katsayıları — standart geoteknik kaynaklarda tutarlı biçimde aktarıldığı şekliyle Hansen, J.B., A Revised and Extended Formula for Bearing Capacity, Danish Geotechnical Institute Bulletin 28, 1970 çalışmasına dayanmaktadır. Bu bölümün tamamında kullanılan derinlik katsayıları, Das, B.M., Principles of Geotechnical Engineering, 9th ed., Cengage Learning, 2018 (Bölüm 16) kaynağında verildiği şekliyle Hansen’e aittir.

NOT

Bu sunumdaki şekillerin bir kısmı 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.