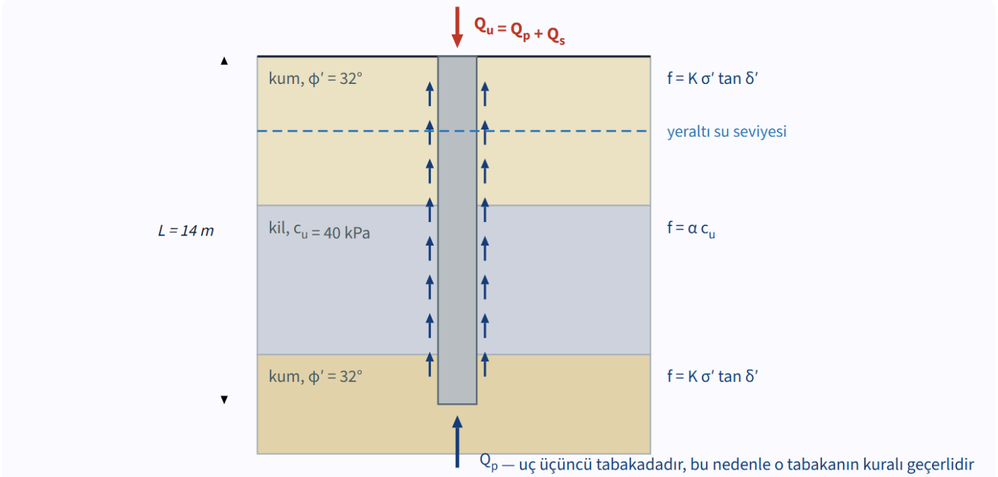
GeoTerva

Geoteknik ders sunumu · Kazıklar

# Tabakalı zeminde kazık taşıma gücü

Ders anlatımı: kum ve kil tabakalarından geçen kazığın kapasitesi. Hangi kural nerede geçerli, efektif gerilme tabakalar boyunca nasıl birikir; her konuda çözümlü örnek.

- Katman katman hesap
- Uç: ucun tabakası
- Kum + kil kuralları
- Fore kazık
- Çözümlü örnekler



Giriş

# Bu derste neler öğreneceğiz?

- Efektif gerilmeyi **tabaka tabaka biriktirmeyi**; kil tabakasının, kendi dayanımı kuma geçmese de, ağırlığıyla altındaki kumu nasıl etkilediğini görmeyi
- **Uç direncinin** yalnızca ucun bulunduğu tabakaya bağlı olduğunu ve o tabakanın kuralıyla hesaplandığını bilmeyi
- **Kum tabakasında** K–δ kuralını (kritik derinlik L′ = 15D tüm kazığa aittir), **kil tabakasında** α, λ ve β kurallarını uygulamayı
- Gövde direncini **tabakalar boyunca toplamayı**; sürtünmenin sınırlarda sıçradığını ve kazık boyunun etkisini yorumlamayı
- **Fore kazıkta** α* penceresini ve $c_{ub}$'nin birkaç tabakadan gelebileceğini kavramayı

DERS AKIŞI

Her konu **üç adımda** işlenir:

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

2 · **Soru**: verilenler ve istenen

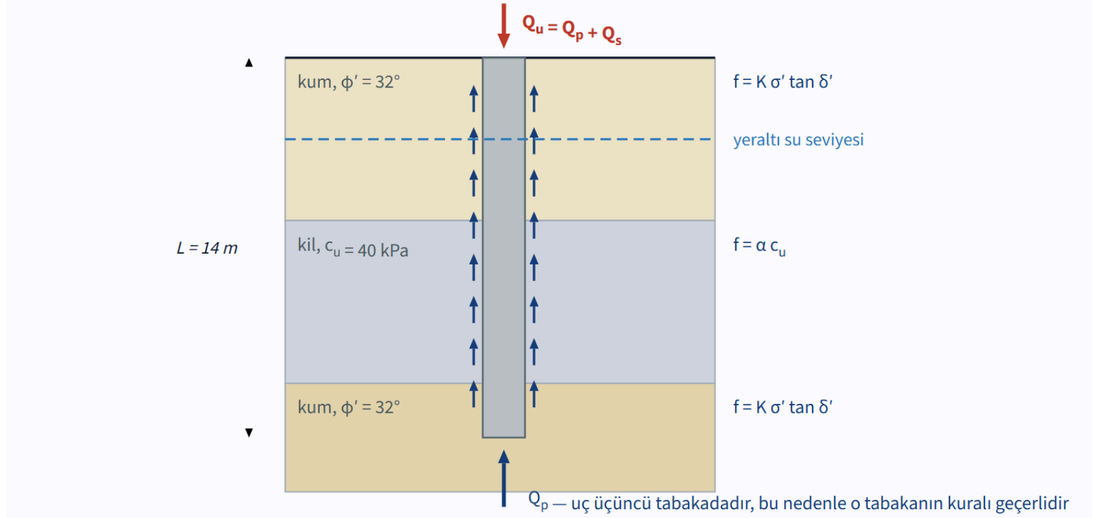
3 · **Çözüm**: adım adım, sayılarla

Örneklerin çoğu aynı kazıkla yapılır: 14 m boyunda, kum–kil–kum profilinden geçen 0,4 m çaplı kazık.

Bu sunum, **kumda** ve **kilde kazık** sunumlarının üzerine kurulur: kuralları orada öğrendik, burada hangisinin nerede geçerli olduğuna bakıyoruz.

# Her tabaka kendi kuralıyla yanıt verir

KURAM




Kazık nadiren tek bir zemine girer. Profil **birkaç tabakadır**; her biri kum ya da kil olarak tanımlanır ve **kendi malzemesinin kuralı** uygulanır. Kapasite yine iki parçadır, ama artık tek formülden okunmaz, **parça parça kurulur**:

$$Q_u = Q_p + Q_s \qquad Q_{all} = \frac{Q_u}{FS}$$

**Yeni bir kuram yok**: kum kuralları kum modülünün, kil kuralları kil modülünün.

Yeni olan **hesap düzeni**: hangi kural gövdenin hangi kesiminde geçerli ve efektif gerilme üstteki tabakalardan nasıl birikir.

Uç direnci **tek bir tabakadan**, gövde direnci **tüm tabakaların toplamından** gelir.

# Gerilme sürekli, sürtünme basamaklı

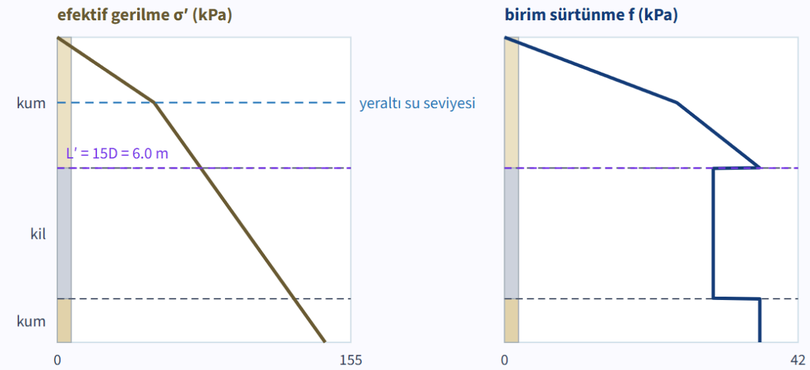
KURAM

Efektif düşey gerilme tabakaları birbirine bağlayan şeydir: **üstteki her tabakanın ağırlığı** birikir; YASS üstünde nemli, altında batık birim hacim ağırlık kullanılır.

$$\sigma'(z) = \sum \gamma_i h_i \qquad (\text{YASS üstü})$$
$$+ \sum (\gamma_{sat,i} - \gamma_w) h_i \qquad (\text{YASS altı})$$

Kil tabakası kuma kendi dayanımını vermez; ama **ağırlığıyla**, altındaki kumun sunduğu direnci değiştirir.

Sürtünme ise sürekli değildir: kum–kil sınırında **kuralın kendisi değişir** ve birim sürtünme büyük bir sıçrama yapabilir. Bu sıçrama hesabın hatası değil, tabakalı profilin **imzasıdır**.



Gerilme tabakalar boyunca süreklidir; sürtünme ise kural her sınırda değiştiğinden sınırlarda sıçrama yapar.

# Soru

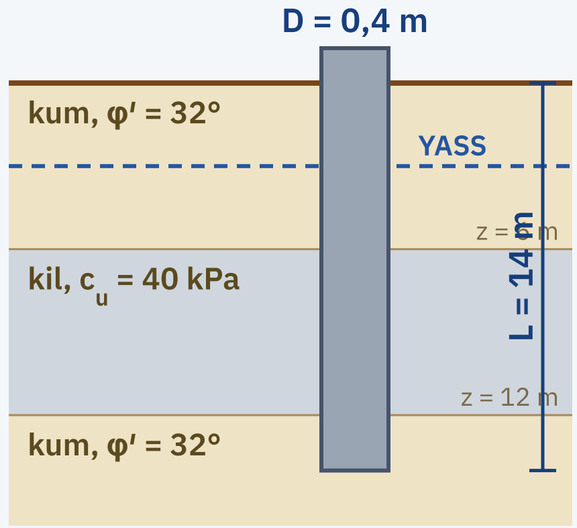
SORU

### Verilenler

| | |
|---|---|
| Kum 1 (0–6 m) | $\varphi' = 32^\circ$ |
| Kil (6–12 m) | $c_u = 40\ \mathrm{kPa}$ |
| Kum 2 (12–16 m) | $\varphi' = 32^\circ$ |
| Birim hacim ağırlık | $\gamma = 17,\ \gamma_{sat} = 18\ \mathrm{kN/m^3}$ **(üç tabaka)** |
| Yeraltı suyu | **3,0 m derinlikte** |
| Kazık | **çakma, D = 0,4 m, L = 14 m** |
| Suyun birim hacim ağırlığı | $\gamma_w = 9{,}81\ \mathrm{kN/m^3}$ |

### İSTENEN

Efektif düşey gerilmeyi **3, 6, 12 ve 14 m** derinliklerinde bulunuz (14 m = kazık ucu).



# Çözüm (1/2)

ÇÖZÜM

**1** YASS'a kadar (3 m): tüm tabaka nemli, γ = 17

$$\sigma'(3) = 17(3) = \mathbf{51{,}0}\ \text{kPa}$$

**2** 6 m (kum–kil sınırı): YASS altında γ′ = $\gamma_{sat} - \gamma_w$ = 18 − 9,81

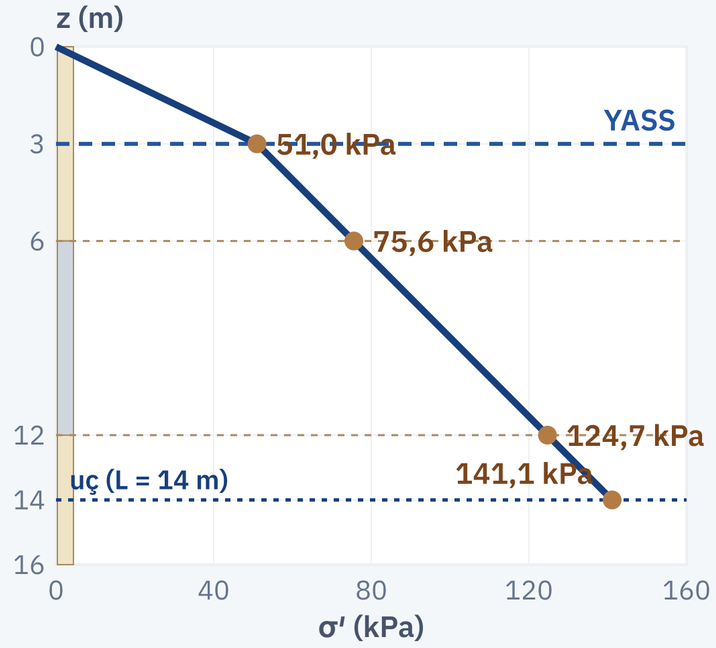
$$\sigma'(6) = 51{,}0 + (18 - 9{,}81)(3) = \mathbf{75{,}6}\ \text{kPa}$$

**3** 12 m (kil–kum sınırı): kilin $\gamma_{sat}$ değeri de 18

$$\sigma'(12) = 75{,}6 + (18 - 9{,}81)(6) = \mathbf{124{,}7}\ \text{kPa}$$

**4** 14 m (kazık ucu)

$$\sigma'(14) = 124{,}7 + (18 - 9{,}81)(2) = \mathbf{141{,}1}\ \text{kPa}$$



# Çözüm (2/2)

ÇÖZÜM

**5** Her kesimde σ′ diyagramının alanı (yamuk); bunlar gövde hesabında ortalama gerilmeyi verecek

$$A_{0-6} = \tfrac{1}{2}(0 + 51{,}0)(3) + \tfrac{1}{2}(51{,}0 + 75{,}6)(3) = 266{,}4$$

$$A_{6-12} = \tfrac{1}{2}(75{,}6 + 124{,}7)(6) = 600{,}8$$

$$A_{12-14} = \tfrac{1}{2}(124{,}7 + 141{,}1)(2) = 265{,}8$$

σ′ **tabakalar boyunca süreklidir**: kum–kil sınırında sıçrama yoktur; eğim yalnızca YASS'ta ve γ′ değiştiğinde değişir. Bu üç alan Örnek 4 ve 5'te ortalama $\bar{\sigma}'$ olarak kullanılacak.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

# Uç, yalnızca kendi tabakasına sorar

KURAM

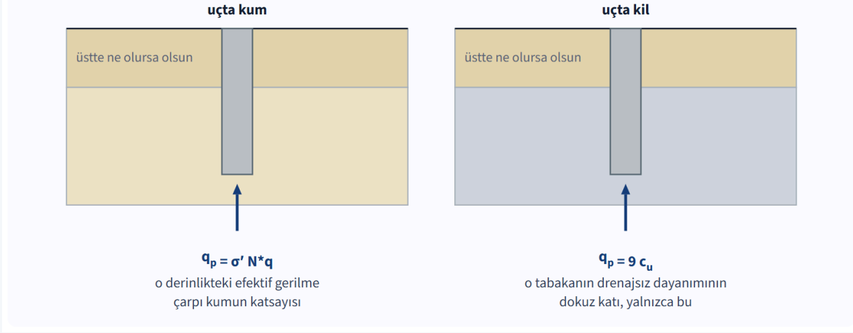
Uç direnci **tek bir tabakaya** aittir: kazık ucunun içinde bulunduğu tabaka. O tabakanın malzemesine göre hesaplanır; üstteki tabakalar yalnızca σ′ aracılığıyla (**kum ucunda**) etki eder, **kil ucunda hiç etki etmez**.

$$\text{kum:}\quad Q_p = A_p\, q'\, N_q^* \le A_p\, q_l,\quad q_l = 0{,}5\, p_a N_q^* \tan\varphi'$$

$$\text{kil:}\quad Q_p = A_p\, c_u\, N_c^*,\quad N_c^* = 9\ (\text{Meyerhof})$$

Ucu **tam bir sınıra** denk gelen kazık, sınırın **altındaki** tabakaya oturmuş sayılır.

Coyle–Castello bir **kum** bağıntısıdır; kil ucunda anlamı yoktur, seçilse de kil kuralı geçerli kalır.




Kum ucunda σ′ ve $N^*_q$ belirleyici; kil ucunda yalnızca o tabakanın $c_u$ değeri.

# Soru

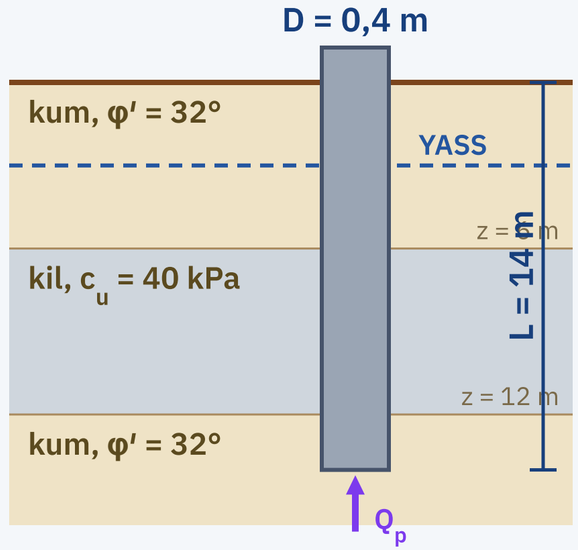
SORU

## Verilenler

| | |
|---|---|
| Kum 1 (0–6 m) | $\varphi' = 32^\circ$ |
| Kil (6–12 m) | $c_u = 40\ \mathrm{kPa}$ |
| Kum 2 (12–16 m) | $\varphi' = 32^\circ$ |
| Birim hacim ağırlık | $\gamma = 17,\ \gamma_{sat} = 18\ \mathrm{kN/m^3}$ **(üç tabaka)** |
| Yeraltı suyu | **3,0 m derinlikte** |
| Kazık | **çakma, daire kesit, D = 0,4 m, L = 14 m** |
| Uç yöntemi | **Meyerhof** |
| Atmosfer basıncı | $p_a = 100\ \mathrm{kPa}$ |
| Uçtaki efektif gerilme | $q' = \sigma'(14) = 141{,}1\ \mathrm{kPa}$ **(Örnek 1)** |

## İSTENEN

Ucun hangi tabakada olduğunu belirleyiniz ve **uç direncini** $Q_p$ bulunuz.



# Çözüm (1/2)

ÇÖZÜM

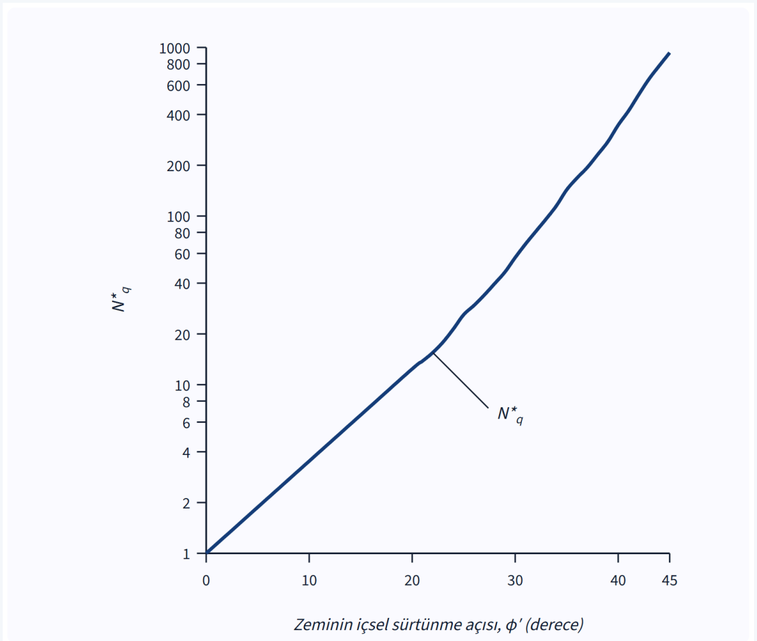
**1** Ucun tabakası: L = 14 m, 12–16 m arasındaki kumda → kum kuralı (üstteki kil ucu ilgilendirmez)

$$\varphi' = 32^\circ \qquad q' = \sigma'(14) = 141{,}1\ \text{kPa}$$

**2** $N^*_q$, Meyerhof abağından $\varphi' = 32°$ için; sonra iki değer yan yana

$$N_q^* = 81$$
$$q' N_q^* = 141{,}1(81) = 11\,428\ \text{kPa}$$
$$q_l = 0{,}5(100)(81)\tan 32^\circ = 2\,531\ \text{kPa}$$

Abaktaki $N^*_q$ değeri (yanda) 81; $q'N^*_q$ = 11 428 kPa, sınır değer $q_l$ = 2 531 kPa'dan çok büyük: **sınır belirleyici**.



# Çözüm (2/2)

ÇÖZÜM

**3** Birim uç direnci: ikisinin küçüğü

$$q_p = \min(q' N_q^*;\ q_l) = \min(11\,428;\ 2\,531) = \mathbf{2\,531}\ \text{kPa}$$

**4** Kazık ucunun alanı ve uç direnci

$$A_p = \frac{\pi (0{,}4)^2}{4} = 0{,}1257\ \text{m}^2 \qquad Q_p = A_p\, q_p = 0{,}1257(2\,531) = \mathbf{318{,}0}\ \text{kN}$$

Uç direnci **318,0 kN**. Kazık ucu kumda olduğu için kum kuralı geçerli; sınır devrede olduğundan σ′ değeri bu örnekte sonucu değiştirmiyor.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

# Soru

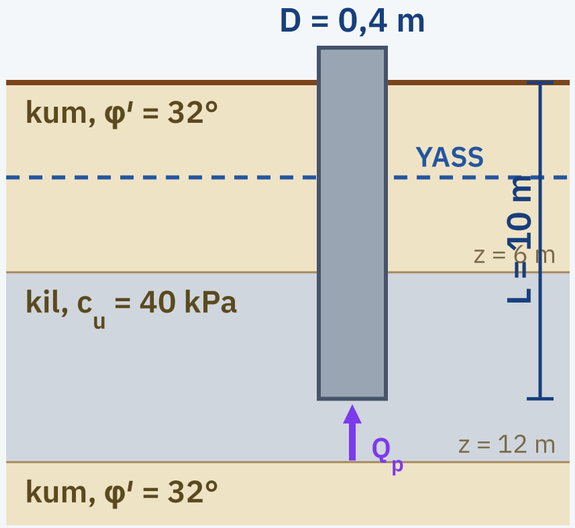
SORU

### Verilenler

| | |
|---|---|
| Kum 1 (0–6 m) | $\varphi' = 32^\circ$ |
| Kil (6–12 m) | $c_u = 40\ \mathrm{kPa}$ |
| Kum 2 (12–16 m) | $\varphi' = 32^\circ$ |
| Birim hacim ağırlık | $\gamma = 17,\ \gamma_{sat} = 18\ \mathrm{kN/m^3}$ **(üç tabaka)** |
| Yeraltı suyu | **3,0 m derinlikte** |
| Kazık | **aynı kazık, ama L = 10 m** |
| Uç yöntemleri | **Meyerhof ve Vesic** |
| Atmosfer basıncı | $p_a = 100\ \mathrm{kPa}$ |

### İSTENEN

Kazık 10 m'ye kısaltılırsa ucun hangi tabakada kaldığını belirleyip **uç direncini** iki yöntemle bulunuz.



# Çözüm

ÇÖZÜM

**1** Ucun tabakası: L = 10 m, 6–12 m arasındaki kilde → kil kuralı (kum ve σ′ artık hesaba girmez)

$$c_u = 40\ \text{kPa} \qquad A_p = 0{,}1257\ \text{m}^2$$

**2** Meyerhof: $N^*_c = 9$

$$q_p = 9\,c_u = 9(40) = 360\ \text{kPa} \qquad Q_p = 0{,}1257(360) = \mathbf{45{,}2}\ \text{kN}$$

**3** Vesic: $I_{rr} = I_r = 347(c_u/p_a) - 33$

$$I_{rr} = 347(0{,}4) - 33 = 105{,}8$$

$$N_c^* = \tfrac{4}{3}(\ln 105{,}8 + 1) + \tfrac{\pi}{2} + 1 = 10{,}12$$

$$q_p = 40(10{,}12) = 405\ \text{kPa} \;\Rightarrow\; Q_p = 0{,}1257(405) = \mathbf{50{,}9}\ \text{kN}$$

Ucu kumda olan kazıkta $Q_p$ = **318 kN** idi; kilde kalınca **45 – 51 kN**: yaklaşık yedide biri. Aynı kazığı 2 m uzatıp ucu kuma sokmak uç direncini birden artırır.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

# K–δ: kritik derinlik tüm kazığa aittir

KURAM

Kum tabakasında gövde, yatay efektif gerilmeye karşı sürtünerek direnç gösterir. Her kum tabakası **kendi** K ve δ′ değerini taşır:

$$f = K_i\,\sigma'\tan\delta_i' \;\; (z \le L') \qquad f = f_{z=L'} \;\; (z > L'),\;\; L' = 15D$$

L′ **tüm kazığa** aittir, tabakaya değil: L′ altında σ′ değeri L′'deki değerinde tutulur.

Derinde bir kum tabakası, sınırı nerede olursa olsun, **tabaka boyunca sabit** birim sürtünme verir.

Seçenek: **Coyle–Castello**. Tabakanın kendi K'sı (abaktan), δ′ = 0,8φ′ ve tabakanın ortalama σ′ değeri; kritik derinlik yok, ortalama onun işini görür.

**COYLE–CASTELLO (TABAKA BAŞINA)**

$$f_i = K_i\,\bar{\sigma}_i'\tan(0{,}8\varphi_i')$$

$$Q_s = p\sum f_i\,\Delta L_i$$

K–δ yönteminde δ′ çoğu kez 0,75φ′ – 0,8φ′ aralığında alınır; bu sunumda **δ′ = 0,8φ′ = 25,6°** ve **K = 1,0** kullanılacak.

# Soru

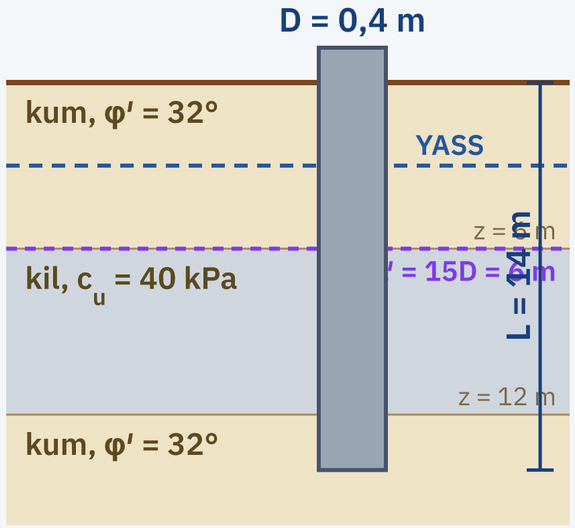
SORU

## Verilenler

| | |
|---|---|
| Kum 1 (0–6 m) | $\varphi' = 32^\circ$ |
| Kil (6–12 m) | $c_u = 40\ \mathrm{kPa}$ |
| Kum 2 (12–16 m) | $\varphi' = 32^\circ$ |
| Birim hacim ağırlık | $\gamma = 17,\ \gamma_{sat} = 18\ \mathrm{kN/m^3}$ **(üç tabaka)** |
| Yeraltı suyu | **3,0 m derinlikte** |
| Kazık | **çakma, D = 0,4 m, L = 14 m** |
| Çevre | $p = \pi D = 1{,}257\ \mathrm{m}$ |
| Kum tabakalarında | $K = 1{,}0,\ \delta' = 0{,}8\varphi' = 25{,}6^\circ$ **(modülde bu değerleri yazın; modül K = 0,66 ve δ′ = 24° ile açılır)** |

## İSTENEN

**Kum tabakalarının** (0–6 m ve 12–14 m) gövde direncini K–δ yöntemiyle bulunuz. Kritik derinlik L′ = 15D.



# Çözüm (1/2)

ÇÖZÜM

**1** Kritik derinlik (tüm kazık için tek)

$$L' = \min(15D;\ L) = \min(15(0{,}4);\ 14) = \mathbf{6}\ \text{m} \qquad \sigma'(L') = 75{,}6\ \text{kPa}\ (\text{Örnek 1})$$

**2** Kum 1 (0–6 m): tabaka tamamen L′ içinde, kapak yok; ortalama σ′ = alan / kalınlık

$$\bar{\sigma}'_1 = \frac{266{,}4}{6} = 44{,}4\ \text{kPa}$$

**3** Birim sürtünme ve direnç

$$f_1 = K \tan\delta'\, \bar{\sigma}'_1 = 1{,}0(0{,}4791)(44{,}4) = 21{,}3\ \text{kPa}$$

$$Q_{s1} = p\, f_1 H = 1{,}2566(21{,}3)(6) = \mathbf{160{,}4}\ \text{kN}$$

# Çözüm (2/2)

ÇÖZÜM

**4** Kum 2 (12–14 m): tamamı L′ altında → σ′ değeri L′'deki değerinde tutulur

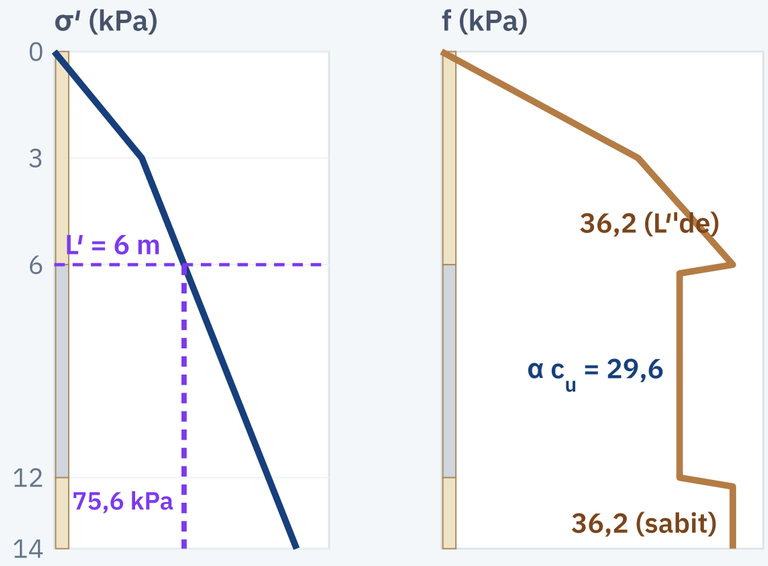
$$\sigma' = \sigma'(L') = 75{,}6\ \text{kPa}$$

$$f_3 = 1{,}0(0{,}4791)(75{,}6) = \mathbf{36{,}2}\ \text{kPa}$$

**5** Direnç (kalınlık 14 − 12 = 2 m)

$$Q_{s3} = p\, f_3 H = 1{,}2566(36{,}2)(2) = \mathbf{91{,}0}\ \text{kN}$$

Kritik derinlik olmasaydı bu kesimde σ′ = 132,9 kPa, f = 63,7 kPa ve $Q_{s3}$ = 160 kN çıkardı. **L′ kapağı** kumun derindeki kesiminden **69 kN** eksiltiyor.




Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

# Kilde de her tabaka kendi yöntemini seçer

KURAM

Kil tabakasında gövde **adezyonla** ya da **efektif gerilmeyle** direnç gösterir; kil modülünün üç yolu da tabaka başına kullanılabilir:

$$\alpha:\ f = \alpha_i c_{u,i} \qquad \lambda:\ f_i = \lambda\,(\bar{\sigma}'_i + 2c_{u,i}),\ \lambda = \lambda(L)$$

$$\beta:\ \beta_i = (1-\sin\varphi'_{R,i})\tan\varphi'_{R,i}\sqrt{OCR_i},\quad f_i = \beta_i\bar{\sigma}'_i$$

**α**: tabaka içinde derinliğe **bağlı değildir**; sürtünme tabaka boyunca sabit (düz).

**λ ve β** efektif gerilmeyi geri getirir; üstteki tabakalara bağlı olarak **basamak** yapar.

**DÜRÜST BİR NOT**

Vijayvergiya ve Focht λ'yı **tüm gömülü boy için tek bir ortalama** olarak yazdı. Tabakalı profilde her kil tabakasına ayrı uygulamak (L boyundaki λ, o tabakanın ortalama σ′ ve $c_u$ değeri) yöntemin **bu programa özgü bir uzantısıdır**; modül bunu her yerde belirtir.

$\varphi'_R$ ve OCR **girilir**, zeminden bağıntıyla okunmaz (30° ve 1 ile açılır).

# Soru

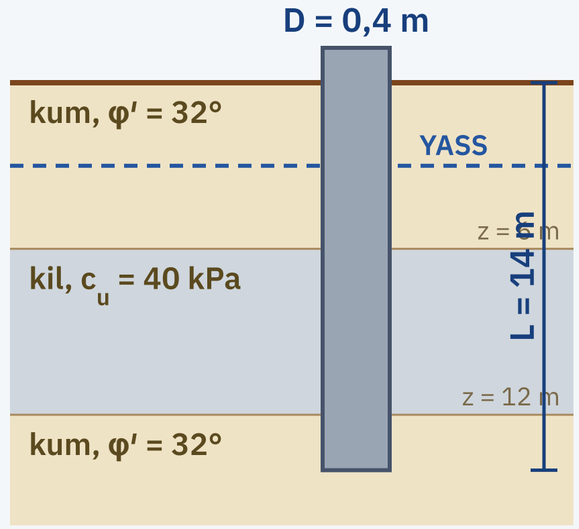
SORU

### Verilenler

| | |
|---|---|
| Kum 1 (0–6 m) | $\varphi' = 32^\circ$ |
| Kil (6–12 m) | $c_u = 40\ \mathrm{kPa}$ |
| Kum 2 (12–16 m) | $\varphi' = 32^\circ$ |
| Birim hacim ağırlık | $\gamma = 17,\ \gamma_{sat} = 18\ \mathrm{kN/m^3}$ **(üç tabaka)** |
| Yeraltı suyu | **3,0 m derinlikte** |
| Kazık | **çakma, D = 0,4 m, L = 14 m, p = 1,257 m** |
| Kilin ort. σ′ | $\bar{\sigma}'_2 = A_{6-12}/6 = 100{,}1\ \mathrm{kPa}$ **(Örnek 1)** |
| β için | $\varphi'_R = 30^\circ,\ OCR = 1$ |
| α için | $p_a = 100\ \mathrm{kPa}$**, α tablodan** |

### İSTENEN

Kil tabakasının (6–12 m) gövde direncini **α, λ ve β** yöntemleriyle bulunuz.



# Çözüm (1/2)

ÇÖZÜM

**1** α yöntemi: $c_u/p_a$ = 0,4 için tablodan α

$$\alpha = 0{,}74 \quad f = \alpha c_u = 0{,}74(40) = 29{,}6\ \text{kPa} \quad Q_s = 1{,}2566(29{,}6)(6) = \mathbf{223{,}2}\ \text{kN}$$

**2** λ yöntemi: λ, **kazık boyuna** (L = 14 m) tablodan ($\lambda_{10}$ = 0,245; $\lambda_{15}$ = 0,200)

$$\lambda = 0{,}209$$

$$f = \lambda(\bar{\sigma}'_2 + 2c_u) = 0{,}209(100{,}1 + 2(40)) = 37{,}6\ \text{kPa}$$

$$Q_s = 1{,}2566(37{,}6)(6) = \mathbf{283{,}9}\ \text{kN}$$

# Çözüm (2/2)

ÇÖZÜM

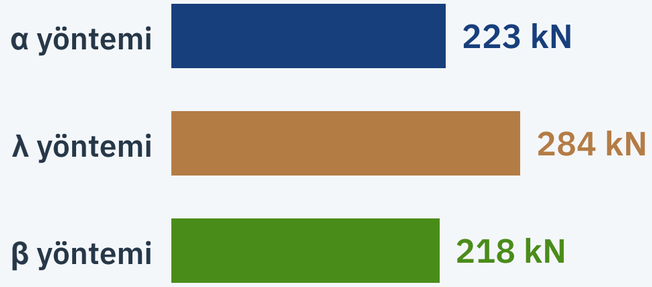
**3** β yöntemi: $\varphi'_R = 30°$, OCR = 1

$$\beta = (1 - \sin 30^\circ)\tan 30^\circ = 0{,}289$$

$$f = \beta \bar{\sigma}'_2 = 0{,}289(100{,}1) = 28{,}9\ \text{kPa}$$

$$Q_s = 1{,}2566(28{,}9)(6) = \mathbf{218{,}0}\ \text{kN}$$

Üç yöntem aynı kil tabakası için **223**, **284** ve **218 kN** veriyor: α ile β birbirine yakın, λ yaklaşık %27 daha yüksek. Fark yöntemlerin dayandığı varsayımlardan; λ'nın tabaka başına kullanımı ayrıca bir uzantı.




Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

# Tek bir integral: kazık boyunca

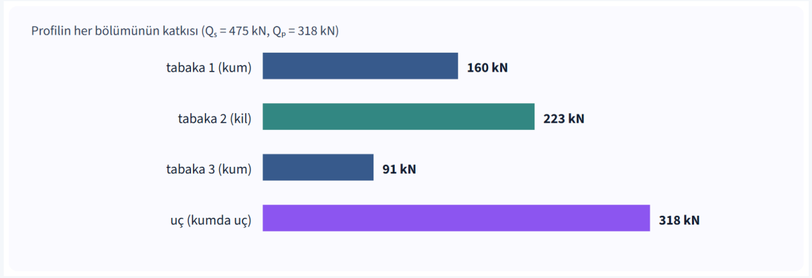
KURAM

Gövde direnci, sürtünmenin kazık boyunca integralinin çevre ile çarpımıdır. Hesap sayısal yapılır; sınır **her yerde** olabilir, tabakanın ortasında biten kazık da özel bir durum gerektirmez:

$$Q_s = p \int_0^L f(z)\, dz \;\approx\; p \sum f_i \, \Delta z_i$$

Böyle bakınca tabakalaşma bir sorun olmaktan çıkıp **tasarım sorusuna** döner: profilin **hangi kesimi** kazığı taşıyor?

Kazık bir sonraki sınırın ötesine uzatılsa ya da kısaltılsa kapasite nasıl değişir?




Örnek kazığın her kesiminin katkısı ($Q_s$ = 475 kN, $Q_p$ = 318 kN).

# Soru

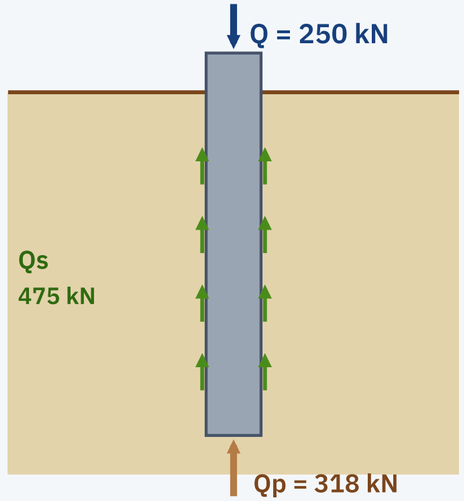
SORU

### Verilenler

| | |
|---|---|
| Uç direnci | $Q_p$ = 318,0 kN (Örnek 2) |
| Kum 1 (0–6 m) | $Q_{s1}$ = 160,4 kN (Örnek 4) |
| Kil (6–12 m) | $Q_{s2}$ = 223,2 kN (α yöntemi, Örnek 5) |
| Kum 2 (12–14 m) | $Q_{s3}$ = 91,0 kN (Örnek 4) |
| Güvenlik katsayısı | FS = 3 |
| Kazığa gelen çalışma yükü | Q = 250 kN |

### İSTENEN

Kazığın **nihai** ve **emniyetli** taşıma gücünü bulunuz; çalışma yükü yeterli mi?



# Çözüm

ÇÖZÜM

**1** Gövde direnci: kesimlerin toplamı

$$Q_s = 160{,}4 + 223{,}2 + 91{,}0 \approx \mathbf{474{,}5}\ \text{kN}$$

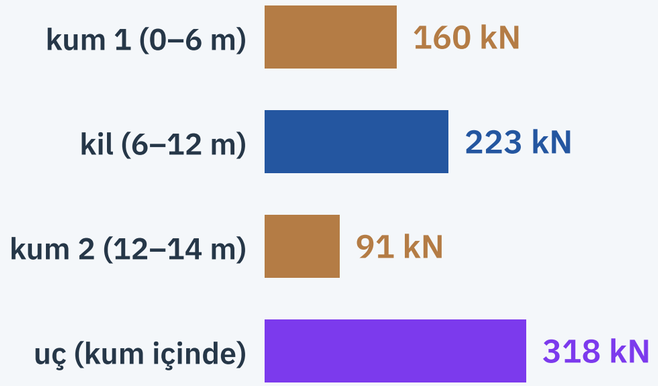
**2** Nihai taşıma gücü

$$Q_u = Q_p + Q_s = 318{,}0 + 474{,}5 = \mathbf{792{,}6}\ \text{kN}$$

**3** Emniyetli taşıma gücü ve kontrol

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{FS} = \frac{792{,}6}{3} = \mathbf{264{,}2}\ \text{kN}$$

$$Q = 250 \le 264{,}2 \ \Rightarrow\ \text{yeterli}$$




Kullanım oranı 0,95. Kil tabakası boyun yalnızca %43'ünü oluşturur, ama gövdenin %47'ini veriyor: kritik derinlikten sonra kum σ′ kazancını durdurur, kil ise her derinlikte aynı α $c_u$ değerini verir.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

# Soru

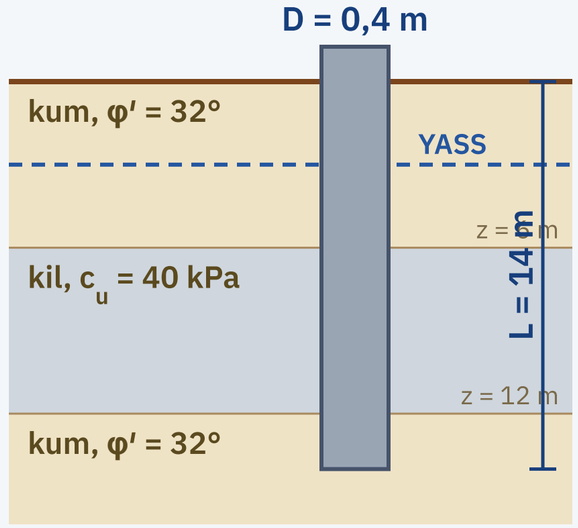
SORU

### Verilenler

| | |
|---|---|
| Kum 1 (0–6 m) | $\varphi' = 32^\circ$ |
| Kil (6–12 m) | $c_u = 40\ \mathrm{kPa}$ |
| Kum 2 (12–16 m) | $\varphi' = 32^\circ$ |
| Birim hacim ağırlık | $\gamma = 17,\ \gamma_{sat} = 18\ \mathrm{kN/m^3}$ **(üç tabaka)** |
| Yeraltı suyu | **3,0 m derinlikte** |
| Yöntemler | **çakma, D = 0,4 m; Meyerhof, α, K–δ** |
| Boylar | **L = 10, 12, 14 ve 16 m** |
| Bilinenler | **L = 14 m için Örnek 2–6** |

### İSTENEN

Kazık boyu **10, 12 ve 16 m** olursa $Q_u$ nasıl değişir? Değişimin **nedenini** açıklayınız.



# Çözüm (1/2)

ÇÖZÜM

**1** L = 10 m: ucu kilde (Örnek 3); kil kesimi yalnızca 6–10 m

$$Q_p = 45{,}2\ ; \quad Q_s = 160{,}4 + 148{,}8 = 309{,}2\ ; \quad Q_u = \mathbf{354{,}4}\ \mathrm{kN}$$

**2** L = 12 m: ucu tam sınırda → **alttaki kuma oturur**; kum 2 henüz gövdeye girmez

$$Q_p = 318{,}0\ ; \quad Q_s = 160{,}4 + 223{,}2 = 383{,}5\ ; \quad Q_u = \mathbf{701{,}6}\ \mathrm{kN}$$

**3** L = 16 m: kum 2 dört metre kalınlıkla gövdeye katılır (σ′ kapaklı: f sabit)

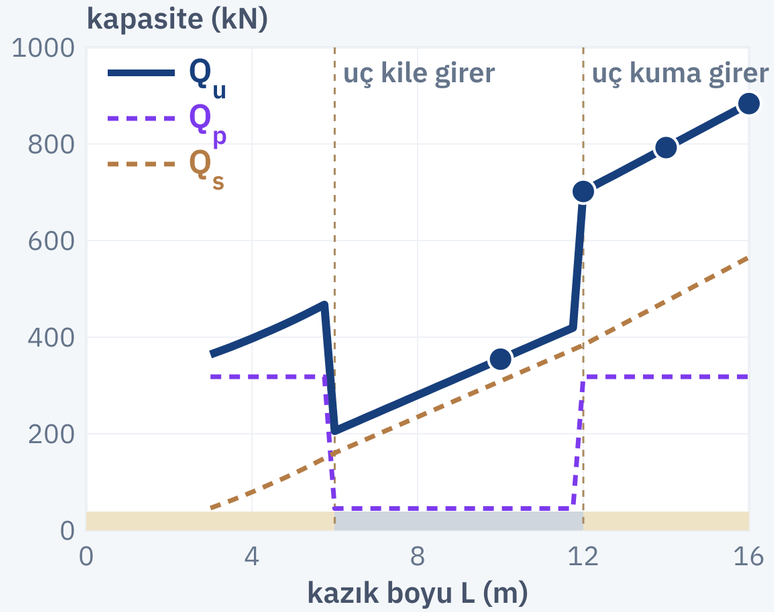
$$Q_p = 318{,}0\ ; \quad Q_s = 160{,}4 + 223{,}2 + 182{,}0 = 565{,}5\ ; \quad Q_u = \mathbf{883{,}6}\ \mathrm{kN}$$

# Çözüm (2/2)

ÇÖZÜM

| L (m) | Uç tabakası | $Q_p$ (kN) | $Q_s$ (kN) | $Q_u$ (kN) | $Q_{all}$ (kN) |
|---|---|---|---|---|---|
| 10 | kil | 45 | 309 | **354** | 118 |
| 12 | kum | 318 | 384 | **702** | 234 |
| 14 | kum | 318 | 475 | **793** | 264 |
| 16 | kum | 318 | 566 | **884** | 295 |

10 m → 12 m: kapasite **347 kN** artar (%98): bunun 273 kN'i **ucun kuma girmesinden**. 12 m'den sonra her metre yalnızca ≈ 45 kN getirir. Tabakalı profilde kazık boyunu belirleyen, **ucun hangi tabakada biteceğidir**.




Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

# Fore kazığın kuralları karışık profilde de geçerli

KURAM

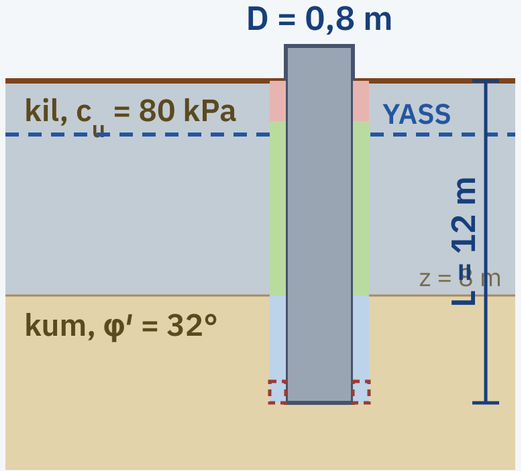
Delik açılır, beton dökülür: zemin yerinden edilmez, kil delik duvarında yumuşar, taban altında kırıntı birikebilir. Karışık profilde prosedürün her yarısı **ait olduğu yerde** uygulanır:

**Kil tabakaları** (α): $\alpha^* = 0{,}55$ ($c_u/p_a \le 1{,}5$); **üst 1,5 m ve alt 1D** boyunca $\alpha^* = 0$. Pencere **yalnızca α'ya** aittir, λ ve β'ya taşınmaz.

**Kum tabakaları** kendi K–δ ya da Coyle–Castello kuralını korur; K, delmede zemin yerinden edilmediğinden $\mathbf{K_0 = 1 - \sin\varphi'}$ civarındadır.

**Taban** kilde ise Reese–O'Neill: $q_p = \min[6c_{ub}(1 + 0{,}2L/D_b), 9c_{ub}, 40p_a]$. $c_{ub}$, tabanın altındaki **$2D_b$** boyunca ortalama $c_u$; bölge birden çok tabakaya uzanıyorsa kalınlıkla ağırlıklı.

Bu bölge **tamamen kil** olmalıdır: kuma uzanıyorsa modül durur ve Meyerhof ya da Vesic seçilmesini ister.




Kırmızı: α* = 0 (üst 1,5 m). Yeşil: α* = 0,55. Mavi: kumda K–δ. Kesik kırmızı: alt 1D, kumda pencere yok.

# Soru

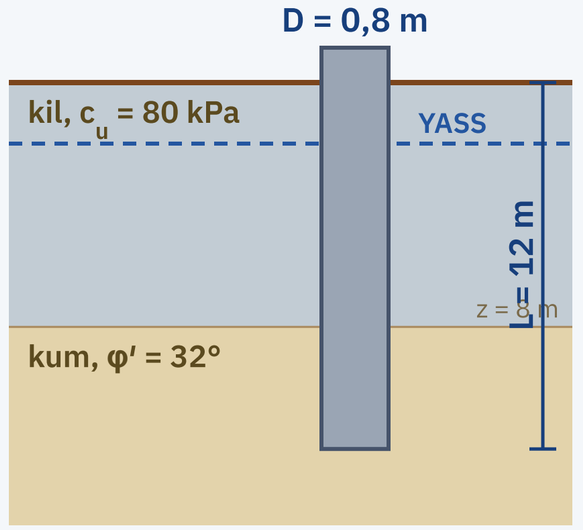
SORU

### Verilenler

| | |
|---|---|
| Kazık | **fore (delme) kazık, daire kesit, D = 0,8 m, L = 12 m** |
| Kil (0–8 m) | $c_u = 80\ \text{kPa},\ \gamma = \gamma_{sat} = 18\ \text{kN/m}^3$ |
| Kum (8–20 m) | $\varphi' = 32^\circ,\ \gamma = 18,\ \gamma_{sat} = 19\ \text{kN/m}^3$ |
| Yeraltı suyu | **2,0 m derinlikte** |
| Kum için | $K = K_0 = 0{,}47,\ \delta' = 0{,}75\varphi' = 24^\circ$ |
| Uç | **Meyerhof; FS = 3** |

### İSTENEN

Fore kazığın **uç direncini**, **gövde direncini** ve **emniyetli taşıma gücünü** bulunuz.



# Çözüm (1/3)

ÇÖZÜM

**1** Kil tabakası: α* ve pencere (üst 1,5 m ve alt 1D = 0,8 m atılır: 1,5 → 12 − 0,8 = 11,2 m)

$$\alpha^* = 0{,}55 \;(c_u/p_a = 0{,}8 \le 1{,}5) \qquad L_{eff} = 8 - 1{,}5 = \mathbf{6{,}5}\ \mathrm{m}$$

**2** Birim sürtünme ve direnç

$$f = \alpha^* c_u = 0{,}55(80) = 44{,}0\ \mathrm{kPa} \qquad Q_{s1} = \pi(0{,}8)(44{,}0)(6{,}5) = \mathbf{718{,}8}\ \mathrm{kN}$$

# Çözüm (2/3)

ÇÖZÜM

**3** Kum tabakası (8–12 m): kendi K–δ kuralı; L′ = min(15D; L) = min(12; 12) = 12 m, yani tabakada kapak yok

$$\sigma'(8) = 85{,}1\ ;\ \sigma'(12) = 121{,}9\ \text{kPa} \qquad \bar{\sigma}' = \frac{414{,}1}{4} = 103{,}5\ \text{kPa}$$

**4** Birim sürtünme ve direnç

$$f = K \tan\delta'\, \bar{\sigma}' = 0{,}47 \tan 24^\circ (103{,}5) = 21{,}7\ \text{kPa}$$

$$Q_{s2} = \pi(0{,}8)(21{,}7)(4) = \mathbf{217{,}8}\ \text{kN}$$

α pencerenin **alt 1D** kesimi (11,2 – 12 m) kum tabakasına düşüyor; pencere α'ya ait olduğundan kum bu 0,8 m boyunca da sürtünmesini sürdürüyor.

# Çözüm (3/3)

ÇÖZÜM

**5** Uç kum içinde → kum kuralı (Meyerhof); delme için ek indirim yok, girilen φ′ kullanılır

$$q' = \sigma'(12) = 121{,}9\ \text{kPa} \qquad N_q^* = 81$$

$$q' N_q^* = 9\,874 > q_l = 2\,531\ \text{kPa} \ \Rightarrow\ q_p = 2\,531\ \text{kPa}$$

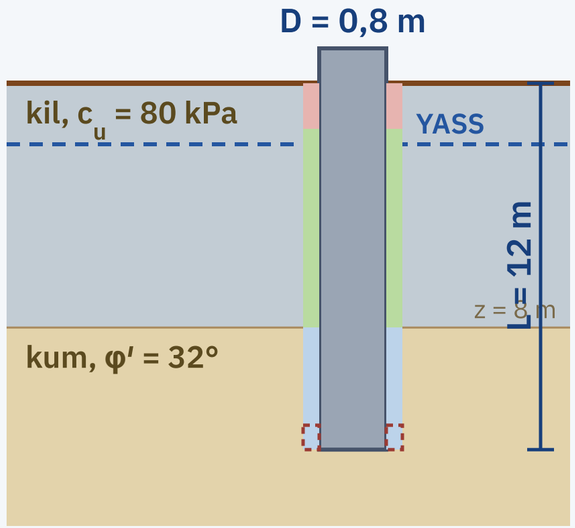
$$Q_p = A_p q_p = 0{,}5027(2\,531) = \mathbf{1\,272}\ \text{kN}$$

**6** Toplam ve emniyetli taşıma gücü

$$Q_s = 718{,}8 + 217{,}8 = \mathbf{936{,}6}\ \text{kN}$$

$$Q_u = 1\,272 + 937 = 2\,209\ \text{kN}$$

$$Q_{all} = \frac{2\,209}{3} = \mathbf{736}\ \text{kN}$$




Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

# Soru

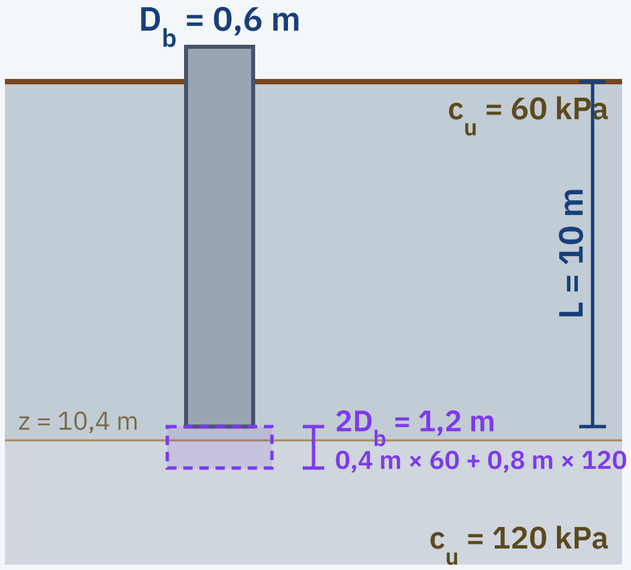
SORU

### Verilenler

| | |
|---|---|
| Kazık | **fore kazık, $D_b = D = 0{,}6$ m, $L = 10$ m** |
| Kil 1 (0–10,4 m) | $c_u = 60$ kPa |
| Kil 2 (10,4–20 m) | $c_u = 120$ kPa |
| Taban | **Reese–O'Neill; $p_a = 100$ kPa** |

### İSTENEN

Taban altındaki **$2D_b$** bölgesinde **$c_{ub}$**'yi, **$q_p$** ve **$Q_p$** değerlerini bulunuz.



# Çözüm

ÇÖZÜM

**1** Bölge 10 → 10 + 2D$_b$ = 11,2 m; sınır 10,4 m'de: kalınlıkla ağırlıklı ortalama

$$c_{ub} = \frac{60(0{,}4) + 120(0{,}8)}{1{,}2} = \mathbf{100}\ \mathrm{kPa}$$

**2** Üç değerin en küçüğü

$$6c_{ub}\left(1 + 0{,}2\frac{L}{D_b}\right) = 2\,600\ ;\quad 9c_{ub} = 900\ ;\quad 40p_a = 4\,000\ \Rightarrow\ q_p = \mathbf{900}\ \mathrm{kPa}$$

**3** Taban alanı ve uç direnci

$$A_b = \frac{\pi(0{,}6)^2}{4} = 0{,}2827\ \mathrm{m}^2 \qquad Q_p = 0{,}2827(900) = \mathbf{254{,}5}\ \mathrm{kN}$$

Yalnızca uçtaki c$_u$ = 60 kPa alınsaydı Q$_p$ = 152,7 kN çıkardı: alttaki sert kil **%67** daha fazla verir.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

# Tek güvenlik katsayısı, ama belirsizlik büyük

KURAM

Nihai kapasite iki bileşenin toplamıdır; emniyetli kapasite bu toplamın **tamamı üzerine tek bir güvenlik katsayısı** uygulanarak bulunur:

$$Q_{all} = \frac{Q_p + Q_s}{FS}$$

Tek kazık için olağan **FS = 2,5 – 4**.

Üst uç: profil **az sondajla** biliniyorsa. Tabakalı profil tam da bu durumdur: sondajlar arasında **sınırlar en belirsiz yerdir**, ve yukarıdaki örnek sınırın tek bir metresinin kapasiteyi ne kadar oynattığını gösterdi.

### İKİ KONU AYRI HESAP İSTER

Tabakalı profilde, kapasite hesabından ayrı olarak:

- Yumuşak bir tabakanın oturup kazığa **negatif çevre sürtünmesi** olarak asılması
- Ucun altındaki sıkışabilir tabakanın belirlediği **oturma**

# Tabakaya ve kuruluma göre kurallar

KURAM

| Tabaka | Gövde ($Q_s$) | Uç ($Q_p$): ucun tabakası |
|---|---|---|
| **Kum** | K–δ (L′ = 15D, tüm kazığa tek) ya da Coyle–Castello (K σ⃗ tan0,8φ′) | $q'N^*_q \le q_l$ (Meyerhof), Vesic, Coyle–Castello |
| **Kil** | α · λ (tabaka başına: uzantı) · β | $9c_u$ (Meyerhof) · $N^*_c(I_{rr})$ (Vesic) |
| **Fore, kil** | α* = 0,55; üst 1,5 m ve alt 1D = 0 | Reese–O'Neill: $c_{ub} = 2D_b$ ortalaması |
| **Fore, kum** | $K \approx K_0 = 1 - \sin\varphi'$; pencere uygulanmaz | $q'N^*_q$ (girilen φ′) |

Her satır, ilgili tabaka için ayrı bir seçimdir; **aynı kazıkta** hem kum hem kil kuralı kullanılır.

Özet

# Akılda kalacak noktalar

Efektif gerilme **tabakalar boyunca birikir** ve süreklidir; birim sürtünme ise **sınırlarda sıçrar**

**Uç**, yalnızca ucun bulunduğu tabakanın kuralıyla hesaplanır; sınıra denk gelen uç **alttaki** tabakaya oturur

**Kum**: f = Kσ′tanδ′ ve **L′ = 15D tüm kazığa aittir** · **Kil**: α, λ (tabaka başına bir uzantı), β

**Gövde** tabakaların toplamıdır: $Q_s = p\Sigma f_i \Delta z_i$; boyu belirleyen ucun hangi tabakada biteceğidir

**Fore kazık**: α* penceresi yalnızca kil/α için; taban kildeyse $c_{ub}$ $2D_b$ boyunca (birkaç tabaka olabilir)

$Q_{all} = (Q_p + Q_s)/FS$, FS = 2,5 – 4; büyük işte **yükleme deneyi**

# Kaynaklar

Meyerhof, G.G. (1976). Bearing capacity and settlement of pile foundations. Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, 102(GT3), 197–228.

Vesic, A.S. (1977). Design of Pile Foundations. NCHRP Synthesis of Highway Practice 42, Transportation Research Board.

Terzaghi, K., Peck, R.B. and Mesri, G. (1996). Soil Mechanics in Engineering Practice, 3rd ed. Wiley — Tablo 2 içindeki α değerleri.

Coyle, H.M. and Castello, R.R. (1981). New design correlations for piles in sand. Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, 107(GT7), 965–986.

Vijayvergiya, V.N. and Focht, J.A. (1972). A new way to predict capacity of piles in clay. Offshore Technology Conference Paper 1718, Houston.

O’Neill, M.W. and Reese, L.C. (1999). Drilled Shafts: Construction Procedures and Design Methods. FHWA-IF-99-025 — fore kazık için α değeri.

Reese, L.C. and O’Neill, M.W. (1989). Drilled Shafts: Construction Procedures and Design Methods. FHWA — kildeki fore kazığın taban ifadesi.

Burland, J.B. (1973). Shaft friction of piles in clay — a simple fundamental approach. Ground Engineering, 6(3), 30–42.

Mansur, C.I. and Hunter, A.H. (1970). Pile tests, Arkansas River project. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, 96(SM5), 1545–1582.

Das, B.M. (2016). Principles of Foundation Engineering, 8th ed. Cengage Learning; bu yöntemleri bu sayfanın izlediği biçimde bir araya getirmektedir.

**NOT**

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

GeoTerva

Çevrim içi geoteknik hesaplar

# Teoriden uygulamaya

Bu sunumdaki örnek kazığı GeoTerva'da adım adım hesaplayın: sayılar aynıdır.

Modülü açın →

Teori sayfası →

**Telefonla açın**
Örnek modüller kayıt gerektirmez.

Derslerinizde kullanmak isterseniz: info@geoterva.com