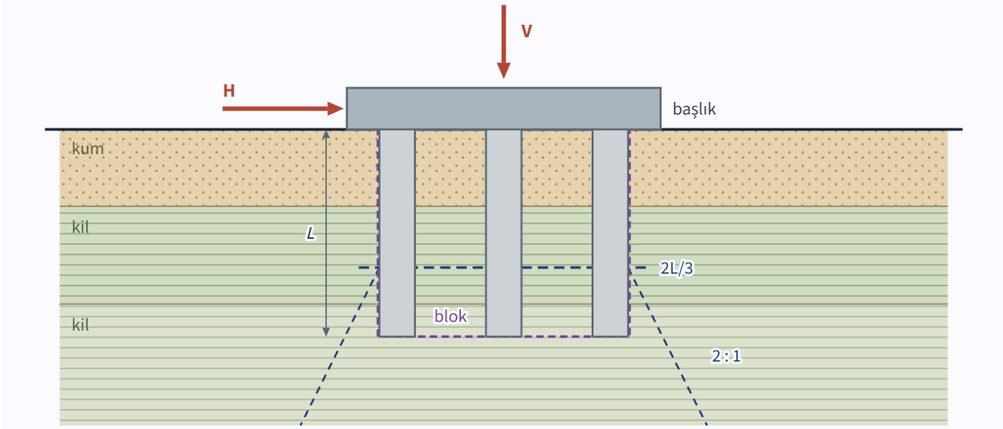
Geoteknik ders sunumu · Kazıklar

Kazık grubu analizi

Ders anlatımı: bir başlık altındaki kazık grubunun her kazığa gelen yükü, kapasitesi, oturması ve yanal yük altındaki davranışı; her konuda çözümlü örnek.

Rijit başlık | Grup verimi · blok | Oturma | Yanal yük: p-çarpanları | Çözümlü örnekler



Giriş

Bu derste neler öğreneceğiz?

- Rijit başlık altında **her kazığa gelen yükü** bulmayı ve çekmeye çalışan kazığı fark etmeyi
- **Tekil kazığın** kapasitesini, grubun kapasitesinin temeli olarak katman katman kurmayı
- **Grup verimini** (Converse–Labarre, Los Angeles, Seiler–Keeney; kumda çakma ve fore kuralları) tabaka tabaka uygulamayı
- Grubun **blok göçmesini** kontrol edip **en küçüğünü** seçmeyi
- Elastik (Vesic) ve **konsolidasyon** oturmasını (2:1 yayılma) hesaplamayı
- **Yanal yük** altında p-çarpanlarını ve sıraların eşit olmayan paylarını yorumlamayı

DERS AKIŞI

Her konu **üç adımda** işlenir:

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

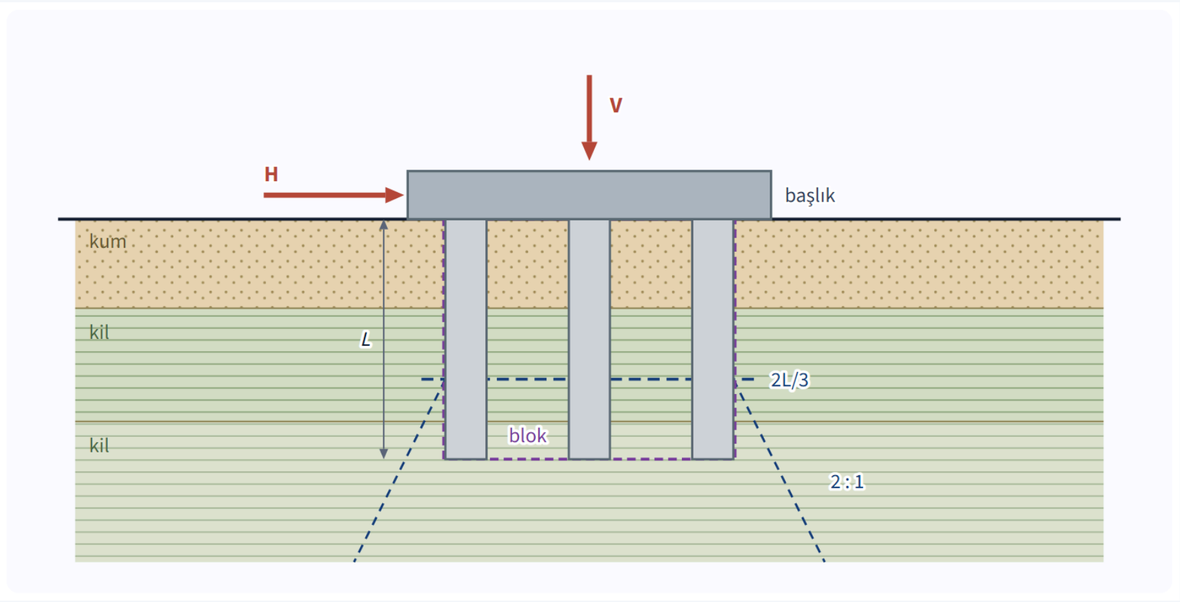
2 · **Soru**: verilenler ve istenen

3 · **Çözüm**: adım adım, sayılarla

Bu sunum, **tabakalı zeminde kazık** sunumunun üzerine kurulur: tekil kazığın katman katman hesabı orada anlatıldı, burada onun grup içindeki yerine bakıyoruz.

Kazıklar bir arada durunca ne değişir?

KURAM



Kazıklar bir **başlık** altında sıra sıra dizilir; yakın durduklarında aradaki ve çevredeki zemin hepsine birden hizmet etmek zorunda kalır. Üç şey değişir ve modül her birini ayrı bir kontrol olarak ele alır:

Kapasite: aradaki zemin her kazığın gövdesinden gerilir; her kazık tek başınayken taşıdığından az taşır (verim $\eta < 1$). Zemin zayıf ve kazıklar yakınsa grup ve arasındaki zemin tek **blok** olarak da çökebilir.

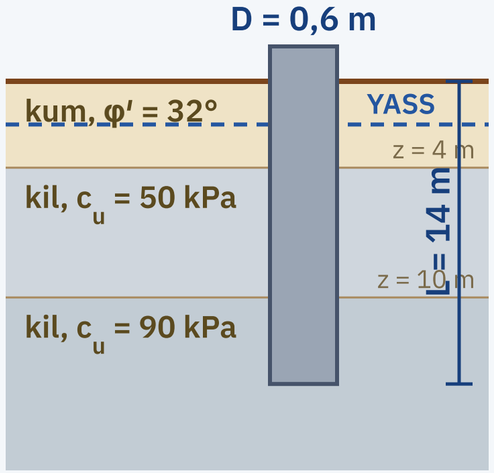
Oturma: grubun yükü tek kazığın değil **tüm grubun alanı** üzerinden yayılır ve uçların çok altındaki kil tabakalarına erişir; grup, tek kazıktan çok daha fazla oturur.

Yanal yük: arka sıralar, önceki kazıkların ittiği ve gerdiği zeminde çalışır; ön sıra daha çok, diğerleri daha az yük alır.

Ders boyunca kullanacağımız grup

Örnek grup (modülün açıldığı model)

Kazıklar	**9 fore kazık (çap D = 0,60 m, boy L = 14 m), 3 sıra × 3 kazık, başlık tabanı zeminde**
Aralık	$s_x = s_y = 1{,}80\ \text{m}\ (3{,}0\,D)$
Zemin	**kum 0–4 m (φ′ = 32°), kil 4–10 m (c_u = 50), kil 10–18 m (c_u = 90 kPa); γ = 18, γ_{sat} = 19 kN/m³**
Yeraltı suyu	**2,0 m derinlikte**
Yükler	$V = 1\,600\ \text{kN},\ H = 900\ \text{kN},\ M_y = 900\ \text{kN}\cdot\text{m}$
Malzeme, güvenlik	$E_p = 30\,000\ \text{MPa},\ E_s = 30\ \text{MPa},\ \nu_s = 0{,}30;\ FS = 3$



Örneklerin çoğu bu grupla yapılır; sonuçlar modülün **Model** sekmesindeki sayılarla aynıdır.

Rijit başlık: kazıklar özdeş yaylardır

KURAM

Başlık rijit, kazıklar özdeş düşey yaylar kabul edilir. Rijit bir başlık bir **düzlem** gibi hareket eder: oturması ve dönmeleri tek bilinmeyendir. Bu yüzden her kazığa gelen yük konumunun **doğrusal** bir fonksiyonudur (cıvata grubu kuralı):

$$P_i = \frac{V}{n} + B\,x_i + C\,y_i$$

$$B = \frac{M_y}{\sum x^2} \qquad C = \frac{M_x}{\sum y^2} \qquad \left(\sum xy = 0\right)$$

$$\sum x^2 = n_y s_x^2 \,\frac{n_x(n_x^2 - 1)}{12}$$

M_y pozitifse **+x** tarafına (yanal yükün ittiği, öndeki taraf) basınç ekler. Momentler **başlık tabanında** alınır: tabandan h yükseklikte H yükü $M_y = H\,h$ verir.

Kazıklar şaşırtmalı (üçgen) dizilmişse Σxy sıfır olmaz; modül toplamları kazık konumlarından alıp iki denklemi birlikte çözer.

En büyük yük öndeki kazıklara, en küçüğü arkadakilere gelir; **moment büyükse** arka kazık çekmeye çalışabilir.

Soru

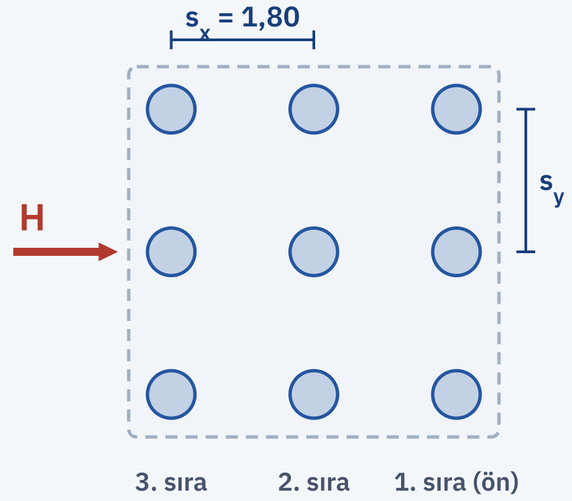
SORU

Verilenler

Grup	**9 fore kazık, 3 sıra × 3 kazık, D = 0,60 m, L = 14 m, s = 1,80 m**
Zemin	**kum 0–4 m (φ′ = 32°) · kil 4–10 m (c_u = 50) · kil 10–18 m (c_u = 90 kPa)**
Yükler	$V = 1\,600\ \mathrm{kN},\ M_y = 900\ \mathrm{kN\cdot m}$ **(başlık tabanında)**
Başlık	**rijit; kazıklar özdeş**

İSTENEN

Her kazığa gelen yükü bulunuz. Sıralar **önden** numaralanır (ön = yanal yükün ittiği taraf, +x).



Çözüm (1/2)

ÇÖZÜM

1 Eşit pay

$$\frac{V}{n} = \frac{1\,600}{9} = \mathbf{177{,}8}\ \mathrm{kN}$$

2 Σx² (simetrik grup, kapalı biçim)

$$\sum x^2 = n_y s_x^2\,\frac{n_x(n_x^2-1)}{12} = 3(1{,}8)^2\,\frac{3(9-1)}{12} = \mathbf{19{,}44}\ \mathrm{m}^2$$

3 Moment katsayısı ($M_x = 0$ olduğundan C = 0)

$$B = \frac{M_y}{\sum x^2} = \frac{900}{19{,}44} = \mathbf{46{,}30}\ \mathrm{kN/m}$$

Çözüm (2/2)

ÇÖZÜM

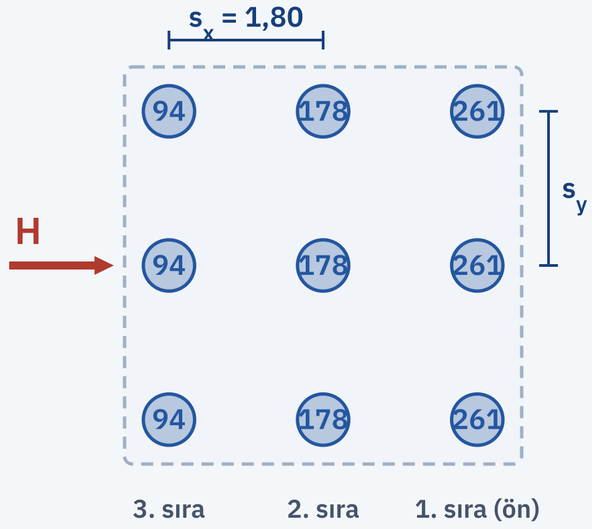
4 Sıra yükleri: P = V/n + B x (x = +1,8; 0; −1,8 m)

$$P_1 = 177{,}8 + 46{,}30(1{,}8) = \mathbf{261{,}1}\ \text{kN (ön)}$$

$$P_2 = \mathbf{177{,}8}\ \text{kN}$$

$$P_3 = 177{,}8 - 46{,}30(1{,}8) = \mathbf{94{,}4}\ \text{kN (arka)}$$

Toplam: 3(261,1 + 177,8 + 94,4) = **1 600 kN** = V. En büyük yük öndeki kazıklarda (261,1 kN), en küçüğü arkadakilerde (94,4 kN); **hiçbir kazık çekmede değil**.



Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Moment büyükse arka kazıklar çekilir

KURAM

Moment düşey yüke göre büyükse momentin ters yanındaki kazıklar **yüksüzlenir** ve çekmeye çalışabilir. Çekmeyi kazık **yalnızca gövdesiyle** karşılar: kil tabakası tam, kum tabakası basınçtaki direncinin **dörtte üçü** ile; taban bir şey vermez.

$$T_u = \sum_i \chi_i \, Q_{s,i} \qquad \chi = 1 \ (\text{kil}),\ \chi = 0{,}75 \ (\text{kum})$$

$$T_g = \min(T_{ind},\, T_{blok}) \quad T_{ind} = n_T \sum_i \eta_i \chi_i Q_{s,i}$$

Çekmedeki **tek kazık**: $T_{max} \le T_u/FS$. Çekmedeki kazıklar **birlikte**: $\Sigma T \le T_g/FS$; blok, kendi ağırlığı ve yan yüzlerdeki kayma ile tutulur.

BASINÇTA KONTROL

$$P_{max} \le \frac{Q_u}{FS}$$

En büyük kazık yükü, **tek kazığın** emniyetli yüküyle karşılaştırılır; grup etkisi burada yoktur. Moment altında en yüklü kazık V/n'den fazla alır ve **grup kendi kapasitesi içindeyken bile** bu kazık payını aşabilir.

Soru

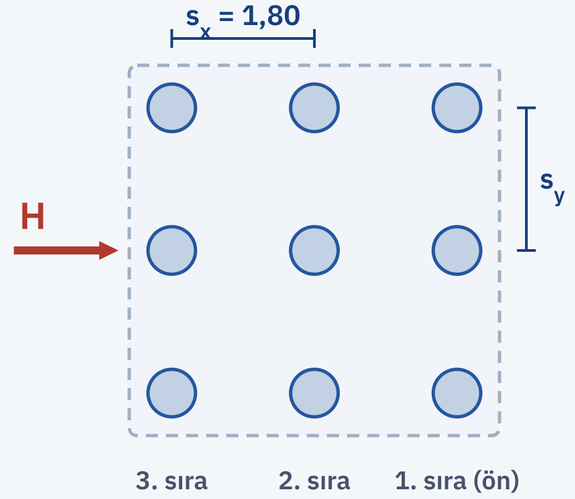
SORU

Verilenler

Grup	**9 fore kazık, 3 sıra × 3 kazık, D = 0,60 m, L = 14 m, s = 1,80 m**
Zemin	**kum 0–4 m (φ′ = 32°) · kil 4–10 m (c_u = 50) · kil 10–18 m (c_u = 90 kPa)**
Yük	$V = 1\,600$ kN**, moment artırıldı:** $M_y = 2\,400$ kN·m
Tekil kazık	**Q_s katkıları (Örnek 3): kum 49,8, kil 311,0, kil 317,2 kN**
Verim	**kum 0,767, kil 0,727 (Örnek 5–6)**

İSTENEN

Yükleri bulunuz; çekmedeki kazığın ve çekmedeki kazıkların **birlikte** kapasitesini FS = 3 ile kontrol ediniz.



Çözüm (1/2)

ÇÖZÜM

1 Yükler ($B = M_y/\Sigma x^2$)

$$B = \frac{2\,400}{19{,}44} = 123{,}46\ \text{kN/m}$$

$$P_{ön} = 177{,}8 + 123{,}46(1{,}8) = \mathbf{400{,}0}\ \text{kN}$$

$$P_{arka} = 177{,}8 - 123{,}46(1{,}8) = \mathbf{-44{,}4}\ \text{kN (çekme)}$$

2 Çekmedeki tek kazığın kapasitesi (kum × 0,75, kil × 1)

$$T_u = 0{,}75(49{,}8) + 311{,}0 + 317{,}2 = \mathbf{665{,}6}\ \text{kN} \quad \Rightarrow \quad \frac{T_u}{FS} = 221{,}9\ \text{kN}$$

Çekmedeki kazık: T_{max} = **44,4 kN** ≤ T_u/FS = 221,9 kN → **yeterli**. Çekmedeki kazık sayısı 3 (arka sıra), toplam çekme ΣT = 133,3 kN; grup kontrolü bir sonraki adımda.

Çözüm (2/2)

ÇÖZÜM

3 Çekmedeki 3 kazığın birlikte kapasitesi: verimli gövde toplamı × 3

$$T_{ind} = 3\left[\eta_s \chi_s Q_{s1} + \eta_c Q_{s2} + \eta_c Q_{s3}\right] = \mathbf{1\,456}\ \text{kN}$$

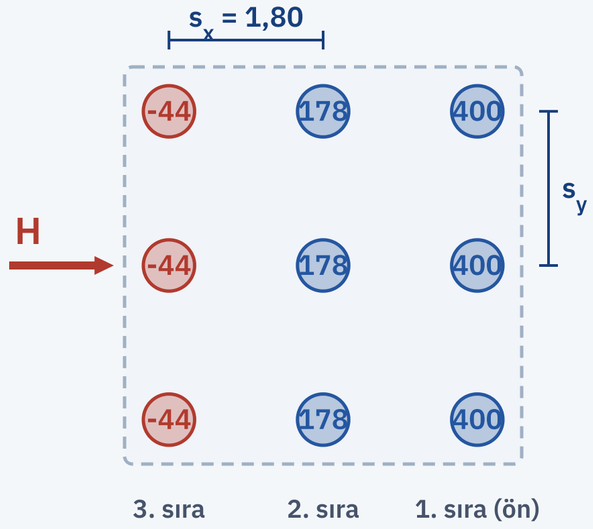
4 Çekme bloğu (3 kazık, L_t = D = 0,6 m, B_t = 4,2 m): yan kayma + blok ağırlığı

$$T_{blok} = \sum \tau_i P_t \Delta L_i + W = 6\,692 + 369 = \mathbf{7\,061}\ \text{kN}$$

5 Kontrol: en küçüğü ve FS

$$T_g = \min(1\,456;\ 7\,061) = 1\,456\ \text{kN}$$

$$\sum T = 133{,}3 \le \frac{T_g}{3} = 485\ \text{kN} \ \Rightarrow\ \text{yeterli}$$



Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Grup kapasitesi tekil kazığın üzerine kurulur

KURAM

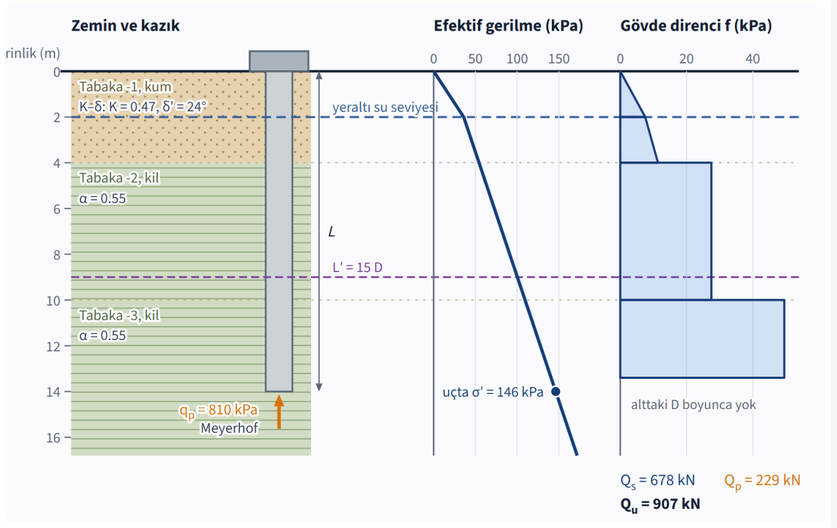
Önce grubun bir kazığının **tek başına** direnci hesaplanır: her tabaka kendi malzemesinin kuralıyla, **girilen bir direnç yok**. Kurallar *tabakalı zeminde kazık* sunumundaki gibidir:

$$Q_u = Q_s + Q_p \qquad Q_s = p\sum_i f_i\,\Delta L_i \qquad Q_p = A_b\,q_p$$

Kum: f = Kσ′tanδ′ (kritik derinlik L′ = 15D). Fore kazıkta **K = K₀ = 1 − sinφ′**, δ′ = 0,75φ′; çakmada K = 1,4K₀.

Kil: α, λ ya da β. Fore kazıkta **α* = 0,55** ($c_u/p_a \le 1{,}5$) ve **üst 1,5 m ile alt 1D** boyunca α* = 0.

Uç: ucun bulunduğu tabakanın kuralı: kumda $q'N^*_q \le q_l$, kilde $9c_u$ (fore kazıkta Reese–O'Neill seçilebilir).



Soru

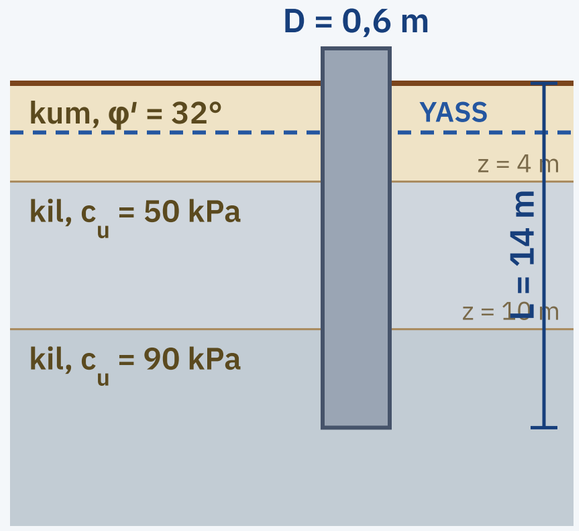
SORU

Verilenler

Grup	**9 fore kazık, 3 sıra × 3 kazık, D = 0,60 m, L = 14 m, s = 1,80 m**
Zemin	**kum 0–4 m (φ′ = 32°) · kil 4–10 m (c_u = 50) · kil 10–18 m (c_u = 90 kPa)**
Kuruluş	**fore kazık: K = K_0 = 0,47, δ′ = 0,75φ′ = 24°, α* = 0,55; uç: Meyerhof**
Yeraltı suyu	**2,0 m**
Birim ağırlık	$\gamma = 18,\ \gamma_{sat} = 19\ \mathrm{kN/m^3}$

İSTENEN

Tek bir kazığın **gövde** direncini katman katman, **uç** direncini ve **Q_u** değerini bulunuz; $P_{max} \le Q_u/FS$ kontrolünü yapınız.



Çözüm (1/3)

ÇÖZÜM

1 Kum (0–4 m): L′ = 15D = 9 m > 4 m, kapak yok; σ′(2) = 18(2) = 36,0 ve σ′(4) = 36,0 + (19 − 9,81)(2) = 54,4 kPa

$$\bar{\sigma}' = \frac{126{,}4}{4} = 31{,}6\ \text{kPa}$$

$$f = K \tan\delta'\, \bar{\sigma}' = 0{,}47(0{,}4452)(31{,}6) = 6{,}61\ \text{kPa}$$

$$Q_{s1} = p\, f\, H = 1{,}885(6{,}61)(4) = \mathbf{49{,}8}\ \text{kN}$$

Çözüm (2/3)

ÇÖZÜM

2 Kil (4–10 m): α* = 0,55 (c_u/p_a = 0,5 ≤ 1,5); pencere 1,5 → L − D = 13,4 m tabakayı tam kapsar

$$f = 0{,}55(50) = 27{,}5\ \text{kPa} \qquad Q_{s2} = 1{,}885(27{,}5)(6) = \mathbf{311{,}0}\ \text{kN}$$

3 Kil (10–14 m): pencere 13,4 m'de biter → alt 1D = 0,6 m atılır, etkin boy 13,4 − 10 = 3,4 m

$$f = 0{,}55(90) = 49{,}5\ \text{kPa} \qquad Q_{s3} = 1{,}885(49{,}5)(3{,}4) = \mathbf{317{,}2}\ \text{kN}$$

Çözüm (3/3)

ÇÖZÜM

4 Gövde toplamı ve uç (ucun tabakası: kil, c_u = 90 kPa, Meyerhof N^*_c = 9)

$$Q_s = 49{,}8 + 311{,}0 + 317{,}2 \approx \mathbf{678{,}1}\ \text{kN}$$

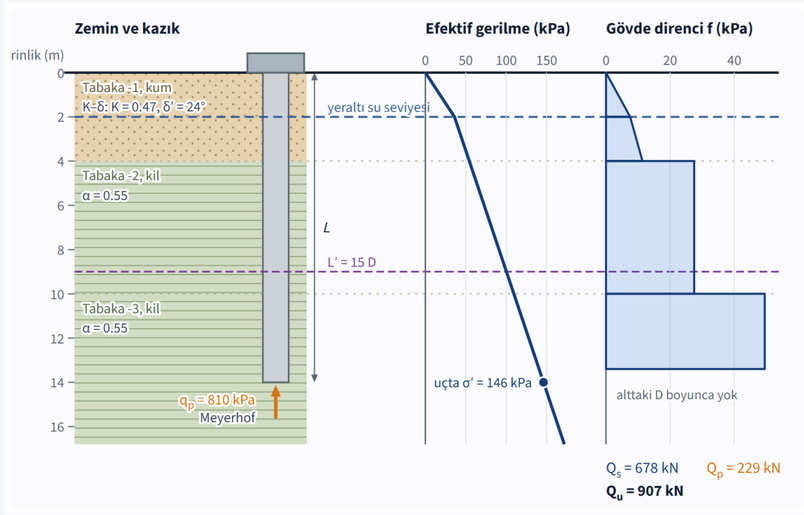
$$q_p = 9(90) = 810\ \text{kPa}$$

$$Q_p = A_b q_p = 0{,}2827(810) = \mathbf{229{,}0}\ \text{kN}$$

5 Tekil kazığın kapasitesi ve kontrol

$$Q_u = 678{,}1 + 229{,}0 = \mathbf{907{,}1}\ \text{kN}$$

$$\frac{Q_u}{FS} = 302{,}4\ \text{kN} \geq P_{max} = 261{,}1\ \text{kN} \ \Rightarrow\ \text{yeterli}$$



Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Yakın kazıklar tek başına olduklarından az taşır

KURAM

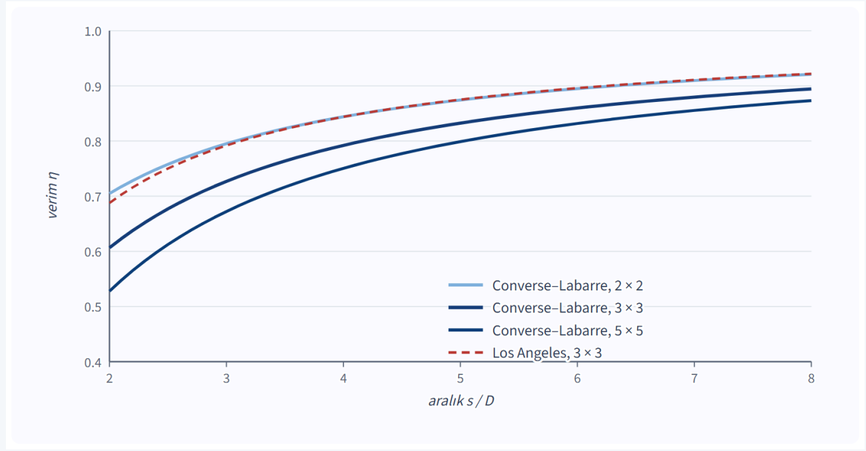
Kazıklar yaklaştıkça her birinin kestiği ve gerdiği zeminler çakışır. **Grup verimi**, grubun kapasitesinin kazıkların tek başına kapasiteleri toplamına oranıdır. Kaynak, $n_1 \times n_2$ kazıklı, D çaplı, d aralıklı grup için üç ampirik denklem verir:

$$\eta = \frac{Q_{g(u)}}{\sum Q_u}$$

$$\eta_{CL} = 1 - \frac{\theta}{90}\,\frac{(n_1-1)n_2 + (n_2-1)n_1}{n_1 n_2}, \quad \theta = \tan^{-1}\frac{D}{d}\ \text{(derece)}$$

Converse–Labarre, **komşu kazık çiftlerini** sayar: arka arkaya $(n_1 - 1)n_2$ çift, yan yana $(n_2 - 1)n_1$ çift; her biri kendi mesafesinin açısı $\theta = \tan^{-1}(D/d)$ ile.

Modül kilde bu denklemi kullanır; kil tabakalarının gövdesini ve ucu kilde olan kazığın tabanını bununla azaltır.



Aralık arttıkça verim 1'e yaklaşır; 3 × 3 grupta yaklaşık 3D'de 0,7 – 0,8.

Diğer iki denklem ve sınırlar

KURAM

Kaynağın diğer iki denklemi de dikdörtgen grup içindir. **Los Angeles** denklemi ve **Seiler–Keeney** denklemi (d **fit** cinsinden):

$$\eta_{LA} = 1 - \frac{D}{\pi d\, n_1 n_2}\left[n_1(n_2-1) + n_2(n_1-1) + \sqrt{2}(n_1-1)(n_2-1)\right]$$

$$\eta_{SK} = \left[1 - \frac{11d}{7(d^2-1)}\,\frac{n_1+n_2-2}{n_1+n_2-1}\right] + \frac{0{,}3}{n_1+n_2}$$

Seiler–Keeney 1 ft'te kutba sahiptir ve 2 ft'in altında anlamsızdır; modül onu **2 ft'ten** itibaren verir.

2,5D'den küçük aralık **işaretlenir**: kaynağın friksiyon kazıkları için verdiği en küçük aralık budur, denklemler daha geniş aralıklar için yazılmıştır.

Üçgen dizilişte Converse–Labarre komşu çiftlerin sayımıyla yazılır; bu, **modülün uzantısıdır** ve aynı aralıktaki ağdan daha düşük verim verir.

Soru

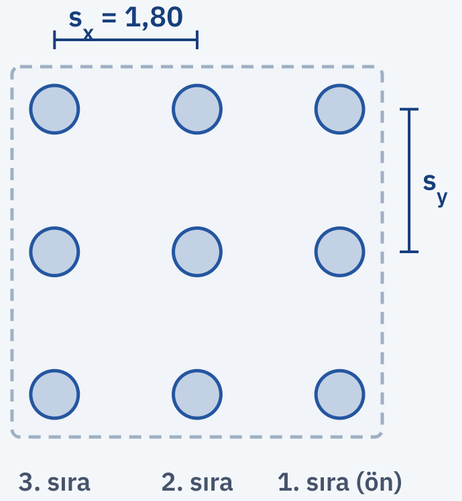
SORU

İSTENEN

Grup verimini **Converse–Labarre**, **Los Angeles** ve **Seiler–Keeney** denklemleriyle bulunuz.

Verilenler

Grup	**3 × 3 kazık, D = 0,60 m, aralık d = 1,80 m (her iki yönde)**
Seiler–Keeney	**d feet cinsinden: 1,80 m = 5,906 ft**



Çözüm

ÇÖZÜM

1 Converse–Labarre: θ = tan⁻¹(D/d); komşu çiftler: (2)(3) + (2)(3) = 12

$$\theta = \tan^{-1}\frac{0{,}6}{1{,}8} = 18{,}43^\circ \;;\quad \eta_{CL} = 1 - \frac{18{,}43}{90}\cdot\frac{12}{9} = \mathbf{0{,}727}$$

2 Los Angeles

$$\eta_{LA} = 1 - \frac{0{,}6}{\pi(1{,}8)(9)}\left[3(2) + 3(2) + \sqrt{2}(2)(2)\right] = \mathbf{0{,}792}$$

3 Seiler–Keeney (d = 5,906 ft)

$$\eta_{SK} = \left[1 - \frac{11(5{,}906)}{7(5{,}906^2 - 1)}\cdot\frac{4}{5}\right] + \frac{0{,}3}{6} = \mathbf{0{,}831}$$

Üç denklem 0,727 – 0,831 aralığında. Modül kilde **Converse–Labarre** (0,727) kullanır.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Kumda verim: denklem değil, kural

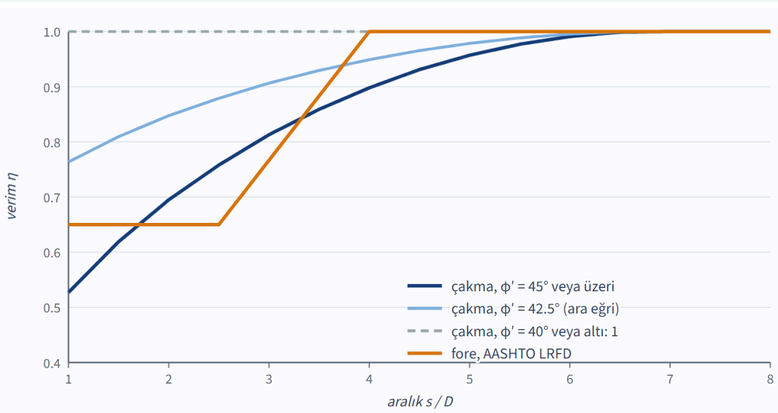
KURAM

Çakma kazık gevşek ya da orta sıkı kumu **sıkıştırır**; bu kumda grup, kazıkların toplamı kadar (deneylerde daha da fazla) taşır. Yalnızca sıkı kumda (φ′ > 40° civarı) yakın aralık kapasiteyi düşürür. Çakma kazık için modül kaynağın abağını alır ve verimi **hiçbir zaman 1'in üstüne çıkarmaz**:

- φ′ ≤ 40°: **η = 1**
- 40° < φ′ < 45°: 1 ile 45° eğrisi arasında **doğrusal karışım**
- φ′ ≥ 45°: 45° eğrisi (s/D = 7'de 1,0; s/D = 1'de 0,53)

Fore kazık zemini sıkıştırmaz, hatta gevşetebilir. AASHTO LRFD, gruptaki her fore kazığın direncini s/D = 2,5'te **0,65** ile, 4'te **1,0** ile çarpar:

$$\eta = 0{,}65 + 0{,}35\,\frac{s/D - 2{,}5}{1{,}5} \qquad 2{,}5 \le s/D \le 4$$



Kum katmanının verimi, o katmanın gövdesine ve tabanı kumda olan kazığın uç direncine uygulanır. Aralık: **iki kazık arasındaki en küçük mesafe**.

Soru

SORU

Verilenler

Aralık	**s = 1,80 m, D = 0,60 m: s/D = 3,0**
Fore kazık	**kumda AASHTO kuralı**
Çakma kazık	**kum, $\varphi' = 42^\circ$ (s/D = 3'te 45° eğrisi: $\eta_{45} = 0{,}813$)**

İSTENEN

Kum katmanının verimini **fore** kazık için ve φ′ = 42° kumda **çakma** kazık için bulunuz; φ′ = 35° için ne olur?

Çözüm

ÇÖZÜM

1 Fore kazık (AASHTO): s/D = 3,0

$$\eta = 0{,}65 + 0{,}35\,\frac{3{,}0 - 2{,}5}{1{,}5} = \mathbf{0{,}767}$$

2 Çakma kazık, φ′ = 42°: ağırlık w = (φ′ − 40)/5 ve 45° eğrisi

$$w = \frac{42 - 40}{5} = 0{,}4 \qquad \eta = 1 - w(1 - \eta_{45}) = 1 - 0{,}4(1 - 0{,}813) = \mathbf{0{,}925}$$

3 Çakma kazık, φ′ = 35°

$$\varphi' \le 40^\circ \;\Rightarrow\; \eta = \mathbf{1{,}000}$$

Aynı aralıkta **fore** kazık kumda 0,767, **çakma** kazık ise (gevşek–orta kumda) 1,00 değerini alır: çakma sıkıştırır, delme sıkıştırmaz.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Her tabakanın verimi, o zeminin verimidir

KURAM

Kazığın gövdesi tabaka sınırlarında kesilir ve her parça kendi yöntemiyle hesaplanır. Zemine ait bir grup etkisi de **parça parça** uygulanmalıdır: bir tabakanın verimi o zeminin verimi, **taban** ise oturduğu zeminin verimini alır:

$$Q_{ind} = n \left(\sum_{i} \eta_i \, Q_{s,i} + \eta_b \, Q_p \right)$$

$$\eta_{grup} = \frac{Q_{ind}}{\sum Q_u}$$

Kil tabakaları ve ucu kilde olan kazığın tabanı: Converse–Labarre.

Kum tabakası: çakmada abak, foredeki AASHTO kuralı.

Grubun verimi bir **girdi değil**, tabakaların katkılarıyla **ağırlıklı ortalamadır**: yükünün çoğunu kumdan alan kazık o kumun grup etkisini, kilde asılan kazık kilin grup etkisini gösterir.

Soru

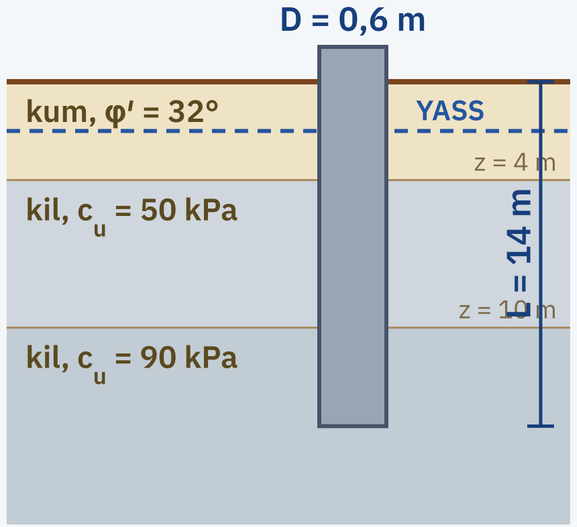
SORU

Verilenler

Tekil kazık (Örnek 3)	**Q_{s1} = 49,8 (kum), Q_{s2} = 311,0, Q_{s3} = 317,2 (kil), Q_p = 229,0 kN**
Verimler	**kum (fore, s/D = 3): 0,767; kil: 0,727; taban (kil): 0,727**
Grup	**9 kazık**

İSTENEN

Q_{ind} ve **grup verimi** $\eta = Q_{ind}/\Sigma Q_u$ nedir?



Çözüm

ÇÖZÜM

1 Her parçanın verimli katkısı (η Q): kum gövde, kil gövde 1, kil gövde 2, taban

$$0{,}767(49{,}8) = 38{,}2\ ; \quad 0{,}727(311{,}0) = 226{,}1$$
$$0{,}727(317{,}2) = 230{,}6\ ; \quad 0{,}727(229{,}0) = 166{,}5$$

2 Bir kazığın verimli kapasitesi ve grup

$$\sum \eta Q = 38{,}2 + 226{,}1 + 230{,}6 + 166{,}5 = \mathbf{661{,}4}\ \mathrm{kN}$$
$$Q_{ind} = 9(661{,}4) \approx \mathbf{5\,952}\ \mathrm{kN}$$

3 Grup verimi

$$\eta = \frac{Q_{ind}}{n\,Q_u} = \frac{5\,952}{9(907{,}1)} = \mathbf{0{,}729}$$

Grup, kazıkların tek başına toplamının **%73**'ini taşıyor (kum η = 0,767, kil η = 0,727).

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Grup, derin bir temel gibi çökebilir

KURAM

Kazıklar yakınsa grup ve aradaki zemin **birlikte** aşağı gidebilir: $L_g \times B_g$ boyutlu, L derinlikli bir derin temel. Kapasitesi dört yüzdeki **kayma** artı tabanın altındaki **taşıma**dır:

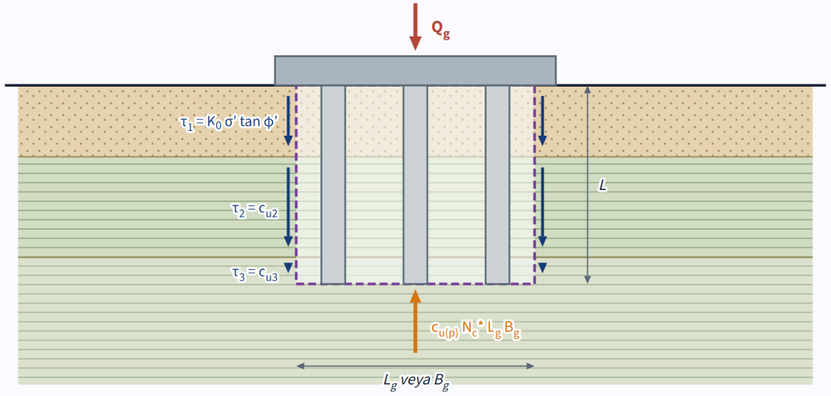
$$Q_{blok} = \sum_i \tau_i \, P_b \, \Delta L_i + q_b \, L_g B_g \qquad P_b = 2(L_g + B_g)$$

Kil yan yüzü: $\tau = c_u$ (zemin zemine kayar, α ile azaltılmaz).

Kum yan yüzü (modülün kaynaktan uzantısı): $\tau = K_0 \bar{\sigma}' \tan\varphi'$, $K_0 = 1 - \sin\varphi'$.

Kil tabanı: $q_b = c_u N^*_c$; N^*_c abaktan, L/B_g ve L_g/B_g'ye göre. **Kum tabanı**: nQ_p.

$$Q_{g(u)} = \min(Q_{ind},\, Q_{blok}) \qquad Q_{all} = \frac{Q_{g(u)}}{FS}$$



Soru

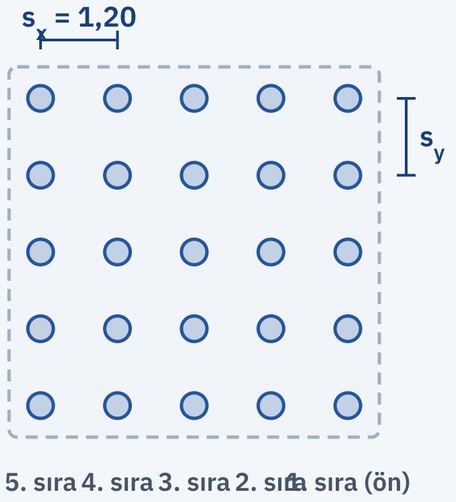
SORU

Verilenler

Grup	9 fore kazık, 3 sıra × 3 kazık, D = 0,60 m, L = 14 m, s = 1,80 m
Zemin	kum 0–4 m ($\varphi' = 32°$) · kil 4–10 m ($c_u = 50$) · kil 10–18 m ($c_u = 90$ kPa)
Blok	$L_g = B_g = (3 - 1)(1{,}8) + 0{,}6$
Yan yüzler	kum: $\tau = K_0 \bar{\sigma}' \tan\varphi'$ ($\bar{\sigma}' = 31{,}6$ kPa); kil: $\tau = c_u$
Taban	kil, $c_u = 90$ kPa; N^*_c abaktan ($L_g/B_g = 1$)
Bireysel	$Q_{ind} = 5\,952$ kN (Örnek 6); V = 1 600 kN, FS = 3

İSTENEN

Q_{blok} değerini, grubun kapasitesini ve emniyetli yükünü bulunuz.



Çözüm (1/2)

ÇÖZÜM

1 Blok boyutları ve çevresi

$$L_g = B_g = 4{,}2\ \text{m} \qquad P_b = 2(L_g + B_g) = \mathbf{16{,}8}\ \text{m}$$

2 Yan yüzlerde kayma (τ P_b ΔL)

$$\text{kum}: \tau = K_0 \bar{\sigma}' \tan\varphi' = 0{,}470(31{,}6)(0{,}6249) = 9{,}28 \ \Rightarrow\ 624\ \text{kN}$$

$$\text{kil 1}: \tau = 50 \ \Rightarrow\ 50(16{,}8)(6) = 5\,040\ \text{kN}$$

$$\text{kil 2}: \tau = 90 \ \Rightarrow\ 90(16{,}8)(4) = 6\,048\ \text{kN}$$

Çözüm (2/2)

ÇÖZÜM

3 Taban: $L/B_g = 14/4{,}2 = 3{,}33$ ve $L_g/B_g = 1$ için abaktan N^*_c

$$q_b L_g B_g = c_u N_c^* \, L_g B_g = 90(8{,}90)(17{,}64) = \mathbf{14\,126}\ \text{kN}$$

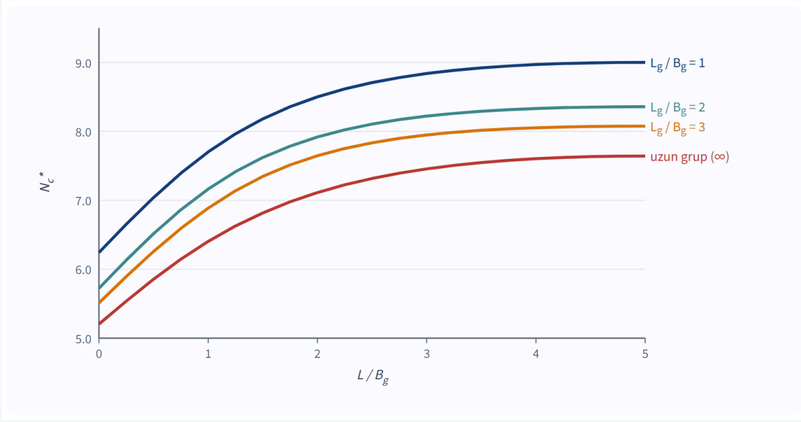
4 Blok kapasitesi, grubun kapasitesi ve emniyetli yük

$$Q_{blok} = 11\,712 + 14\,126 = 25\,838\ \text{kN}$$

$$Q_{g(u)} = \min(5\,952;\ 25\,838) = \mathbf{5\,952}\ \text{kN}$$

$$Q_{all} = \frac{5\,952}{3} = 1\,984\ \text{kN} \geq V = 1\,600\ \text{kN}$$

Blok kapasitesi bireysel toplamın **4 katından fazla**: bu grupta **bireysel kazıklar belirleyici** (bireysel). Blok, yakın aralıklı ve çok kazıklı gruplarda devreye girer; yanda abak.



Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Soru

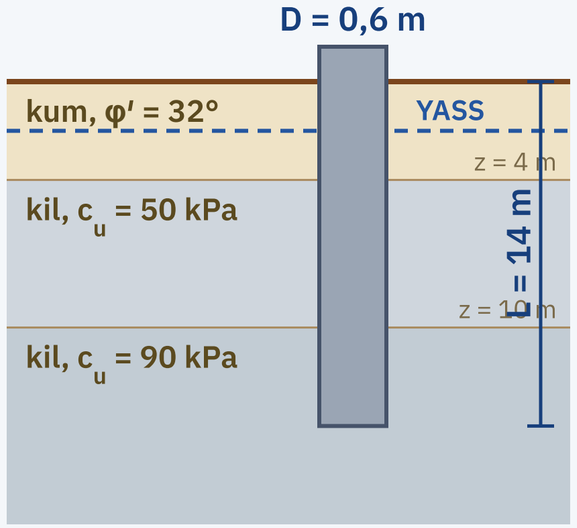
SORU

Verilenler

Grup	**5 × 5 çakma kazık, D = 0,40 m, s = 1,20 m (3D), L = 12 m**
Zemin	**tek kum, φ′ = 32°, γ = 18, γ_{sat} = 19 kN/m³, yeraltı suyu 3 m**
Tekil kazık	**Q_s = 285,7, Q_p = 318,0 kN (çakma, K–δ ve Meyerhof)**
Verim	**çakma kazık, φ′ < 40° kumda: η = 1**

İSTENEN

Q_{ind} ve Q_{blok} değerlerini karşılaştırıp grubun kapasitesini bulunuz.



Çözüm (1/2)

ÇÖZÜM

1 Bireysel kazıklar (η = 1)

$$Q_{ind} = n\,Q_u = 25(603{,}7) = \mathbf{15\,094}\ \text{kN}$$

2 Blok: $L_g = B_g = 4(1{,}2) + 0{,}4 = 5{,}2$ m; $\sigma'(3) = 54{,}0$, $\sigma'(12) = 136{,}7$ kPa

$$P_b = 2(5{,}2 + 5{,}2) = 20{,}8\ \text{m} \qquad \bar{\sigma}' = \frac{939{,}2}{12} = 78{,}3\ \text{kPa}$$

$$\tau = K_0 \bar{\sigma}' \tan\varphi' = 0{,}470(78{,}3)(0{,}6249) = 22{,}99\ \text{kPa}$$

$$\text{yan kayma} = 22{,}99(20{,}8)(12) = \mathbf{5\,738}\ \text{kN}$$

Çözüm (2/2)

ÇÖZÜM

3 Blok tabanı kumda: taban, kazıkların uç dirençlerinin toplamıdır

$$\text{taban} = nQ_p = 25(318{,}0) = \mathbf{7\,950}\ \text{kN} \qquad Q_{blok} = 5\,738 + 7\,950 = \mathbf{13\,689}\ \text{kN}$$

4 Grubun kapasitesi ve verimi

$$Q_{blok} = 13\,689 \ < \ Q_{ind} = 15\,094$$

$$Q_{g(u)} = \mathbf{13\,689}\ \text{kN} \qquad \eta_{grup} = \frac{13\,689}{15\,094} = \mathbf{0{,}907}$$

Burada **blok belirleyici**: büyük bir grupta kazıkların gövde toplamı, grubun dış çevresinin kayma kapasitesinden fazladır. Kazıklar tek tek η = 1,00 görünse de grubun kapasitesi, bireysel toplamın **%91**'i.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Vesic: üç parça, sonra grup

KURAM

Tek kazık, kendi boyunun kısalmasıyla, taban altındaki zemin ve gövdeden yüklenen zeminin sıkışmasıyla oturur. Vesic (1969) bu üç parçayı çalışma yükü Q_w için toplar (Q_{ws} gövdenin, Q_{wp} tabanın payı):

$$s_e = s_{e1} + s_{e2} + s_{e3}$$

$$s_{e1} = \frac{(Q_{wp} + \xi Q_{ws})L}{A_p E_p} \qquad s_{e2} = \frac{q_{wp} D}{E_s}(1 - \mu_s^2) I_{wp}$$

$$s_{e3} = \frac{Q_{ws}}{pL}\frac{D}{E_s}(1 - \mu_s^2) I_{ws} \qquad I_{ws} = 2 + 0{,}35\sqrt{L/D}$$

$$S_{g(e)} = \sqrt{\frac{B_g}{D}}\, s_e$$

Çalışma yükü $Q_w = V/n$; modül onu gövde ve taban arasında **Q_s : Q_p** oranında böler.

Grup, aynı kazık yükü altında tek kazıktan **$\sqrt{(B_g/D)}$** kat fazla oturur (kumdaki kazıklar için Vesic'in ampirik bağıntısı).

ξ: gövde direncinin dağılımı, 0,5 (düzgün) ile 0,67 (derinlikle artan) arası; I_{wp} = 0,85.

Soru

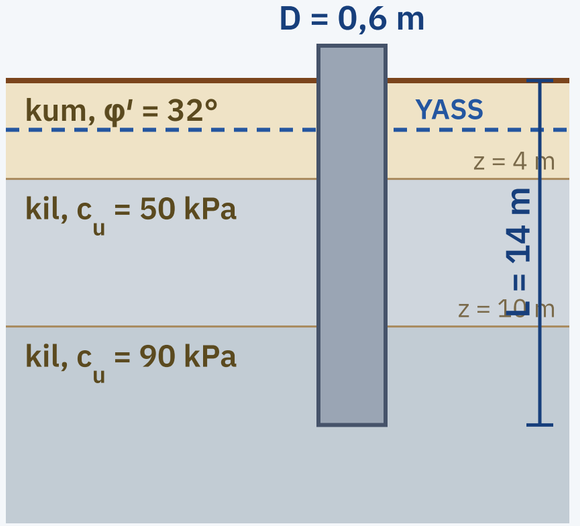
SORU

Verilenler

Grup	**9 fore kazık, 3 sıra × 3 kazık, D = 0,60 m, L = 14 m, s = 1,80 m**
Zemin	**kum 0–4 m (φ′ = 32°) · kil 4–10 m (c_u = 50) · kil 10–18 m (c_u = 90 kPa)**
Çalışma yükü	**$Q_w = V/n$ = 177,8 kN; $Q_s : Q_p$ = 678,1 : 229,0 (Örnek 3)**
Malzeme	$E_p = 30\,000$ MPa, $E_s = 30$ MPa, $\nu_s = 0{,}30$, $\xi = 0{,}6$, $I_{wp} = 0{,}85$

İSTENEN

Tek kazığın elastik oturmasını üç parçada, **grubun** elastik oturmasını bulunuz.



Çözüm (1/2)

ÇÖZÜM

1 Çalışma yükünün bölünmesi

$$Q_{ws} = Q_w \frac{Q_s}{Q_u} = 177{,}8 \frac{678{,}1}{907{,}1} = 132{,}9\ \text{kN} \qquad Q_{wp} = 177{,}8 - 132{,}9 = 44{,}9\ \text{kN}$$

2 Kazığın kısalması

$$s_{e1} = \frac{(44{,}9 + 0{,}6(132{,}9))(14)}{(0{,}2827)(30\,000\,000)} = 0{,}21\ \text{mm}$$

3 Taban

$$q_{wp} = \frac{Q_{wp}}{A_b} = 158{,}7\ \text{kPa} \quad s_{e2} = \frac{158{,}7(0{,}6)}{30\,000}(1 - 0{,}3^2)(0{,}85) = 2{,}46\ \text{mm}$$

Çözüm (2/2)

ÇÖZÜM

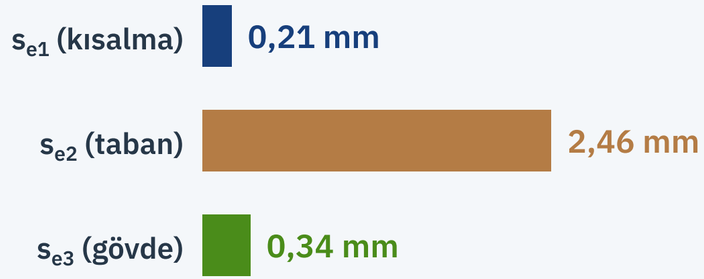
4 Gövde: $I_{ws} = 2 + 0{,}35\sqrt{(14/0{,}6)} = 3{,}69$

$$s_{e3} = \frac{132{,}9}{(1{,}885)(14)} \cdot \frac{0{,}6}{30\,000}(0{,}91)(3{,}69) = 0{,}34 \text{ mm}$$

5 Tek kazık ve grup

$$s_e = 0{,}21 + 2{,}46 + 0{,}34 \approx 3{,}00 \text{ mm}$$

$$S_{g(e)} = \sqrt{\frac{B_g}{D}}\, s_e = \sqrt{\frac{4{,}2}{0{,}6}}(3{,}00) = \mathbf{7{,}9} \text{ mm}$$



Oturmanın **%82**'i taban parçasından (s_{e2}); toplam elastik oturma **7,9 mm**. Kil tabakalarının asıl oturması bir sonraki adımda: konsolidasyon.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Kil tabakalarının yavaş ve büyük oturması

KURAM

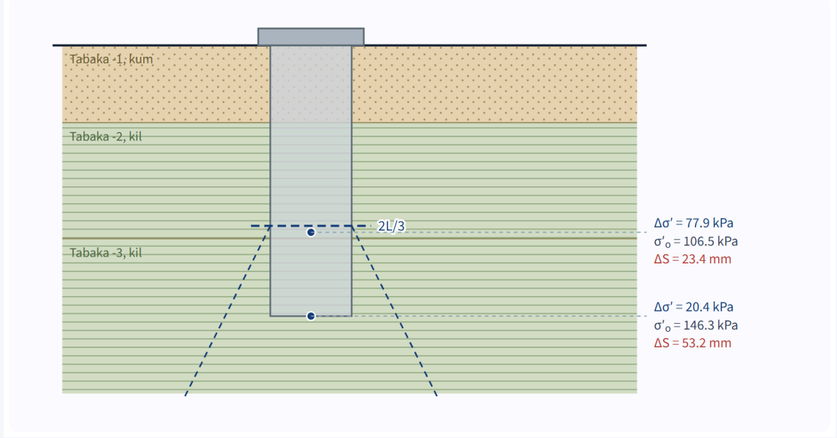
Başlığın altındaki killer yavaşça ve çoğunlukla **konsolidasyonla** oturur. Kaynak, grubun yükünü başlık seviyesinden **2L/3 aşağıdaki** eşdeğer bir temele uygular (kazıklar yükün bir kısmını üstteki zemine aktarmıştır) ve altında **2 düşey : 1 yatay** yayar. Bir kil tabakasının ortasında, 2L/3 seviyesinin z altında, eklenen gerilme:

$$\Delta\sigma_i' = \frac{Q_g}{(B_g + z_i)(L_g + z_i)}$$

$$\Delta S_i = \frac{C_c H_i}{1 + e_0} \log \frac{\sigma_o' + \Delta\sigma_i'}{\sigma_o'} \quad \text{(NC)}$$

Aşırı konsolide kilde C_s (verilmezse $C_c/5$) ön konsolidasyon gerilmesine kadar, ötesinde C_c kullanılır.

Kil tabakasının 2L/3 **altındaki** kısmı hesaba girer; σ'_o bu kısmın ortasında, tabaka ve su düzeyine göre alınır. $S_c = \Sigma\Delta S_i$.



Soru

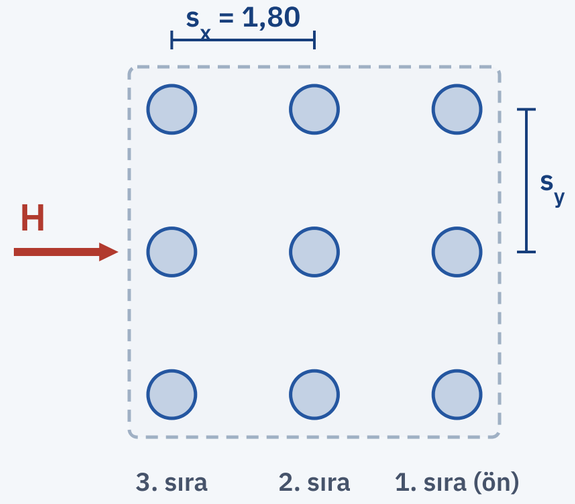
SORU

Verilenler

Grup	**9 fore kazık, 3 sıra × 3 kazık, D = 0,60 m, L = 14 m, s = 1,80 m**
Zemin	**kum 0–4 m (φ′ = 32°) · kil 4–10 m (c_u = 50) · kil 10–18 m (c_u = 90 kPa)**
Yük	$Q_g = V = 1\,600$ kN; **blok** $L_g = B_g = 4{,}2$ m
Kil 1 (4–10 m)	$e_0 = 0{,}90,\ C_c = 0{,}28$ **(NC)**
Kil 2 (10–18 m)	$e_0 = 0{,}70,\ C_c = 0{,}20$ **(NC)**

İSTENEN

2L/3 seviyesini bulup **her kil tabakasının** (2L/3 altındaki kısmının) oturmasını ve toplam konsolidasyon oturmasını hesaplayınız.



Çözüm (1/2)

ÇÖZÜM

1 2L/3 seviyesi (başlık tabanından)

$$z_0 = \frac{2L}{3} = \frac{2(14)}{3} = \mathbf{9{,}33}\ \text{m} \ \Rightarrow\ \text{kil 1'in 9,33–10 m kısmı ve kil 2'nin tamamı hesaba girer}$$

2 Kil 1 (4–10 m): 9,33–10 m, H = 0,67 m; orta nokta 9,67 m, z = 0,33 m

$$\Delta\sigma' = \frac{1\,600}{(4{,}2+0{,}33)(4{,}2+0{,}33)} = 77{,}9\ \text{kPa} \qquad \sigma'_o = 106{,}5\ \text{kPa}$$

$$\Delta S = \frac{0{,}28(0{,}67)}{1+0{,}90}\log\frac{106{,}5+77{,}9}{106{,}5} = \mathbf{23{,}4}\ \text{mm}$$

Çözüm (2/2)

ÇÖZÜM

3 Kil 2 (10–18 m): 10,00–18 m, H = 8,00 m; orta nokta 14,00 m, z = 4,67 m

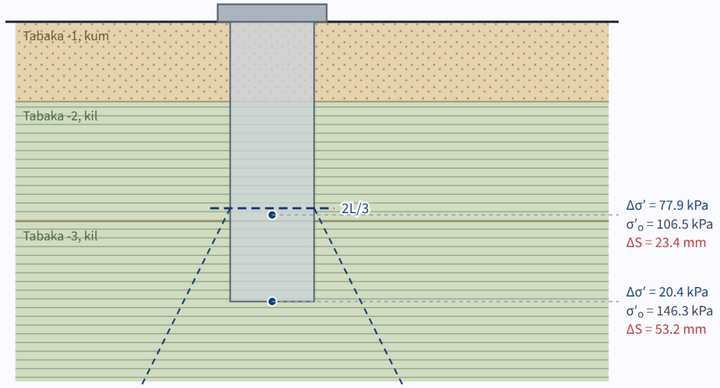
$$\Delta\sigma' = \frac{1\,600}{(4{,}2+4{,}67)(4{,}2+4{,}67)} = 20{,}4\ \text{kPa} \qquad \sigma'_o = 146{,}3\ \text{kPa}$$

$$\Delta S = \frac{0{,}20(8{,}00)}{1+0{,}70}\log\frac{146{,}3+20{,}4}{146{,}3} = \mathbf{53{,}2}\ \text{mm}$$

4 Toplam konsolidasyon oturması ve elastik parça ile birleşimi

$$S_c = 23{,}4 + 53{,}2 = \mathbf{76{,}7}\ \text{mm}$$

$$S = S_{g(e)} + S_c = 7{,}9 + 76{,}7 = \mathbf{84{,}6}\ \text{mm}$$



Oturmanın **%91**'i konsolidasyondan, ve onun da %69'i 10–18 m killerinden: grup oturmasını uçların **çok altındaki** kalın kil belirliyor; tek kazığın oturması bunu göstermez.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

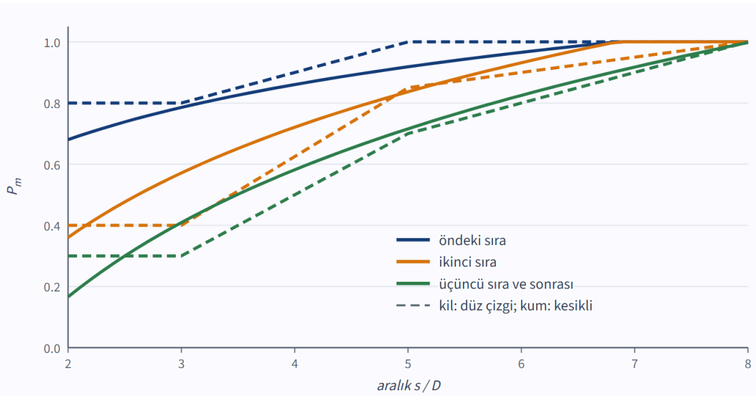
Arka sıralar öndekilerin gölgesindedir

KURAM

Yanal yükte bir kazık zemini iter ve zemin kazık boyunca tepki verir (yanal modüldeki p–y eğrisi). Kazıklar yük doğrultusunda **arka arkaya** durunca, her biri önündeki kazığın gerdiği ve ittiği zeminde çalışır. Deneyler (Brown ve ark. 1988; McVay ve ark. 1995; Rollins ve ark. 2006) gruptaki p–y eğrisinin şeklini koruduğunu, ama bir **p-çarpanı P_m** ile küçüldüğünü gösterir; çarpan sıraya ve aralığa bağlıdır:

$$p_{grup}(y) = P_m \; p_{tek}(y)$$

$$\text{kil (Rollins):} \quad \begin{aligned} P_{m1} &= 0{,}26 \ln \tfrac{s}{D} + 0{,}5 \\ P_{m2} &= 0{,}52 \ln \tfrac{s}{D} \\ P_{m3} &= 0{,}60 \ln \tfrac{s}{D} - 0{,}25 \end{aligned}$$



Kum: AASHTO LRFD çarpanları (3D ve 5D'de: 0,8·0,4·0,3 ve 1,0·0,85·0,7; arası doğrusal).

Katmanlı zeminde **her tabakanın** p–y eğrisi, o tabakanın zemin türüne ait çarpanla ölçeklenir. Yük **tersinirse** her sıra, grubun sıra çarpanlarının ortalamasını alır.

Soru

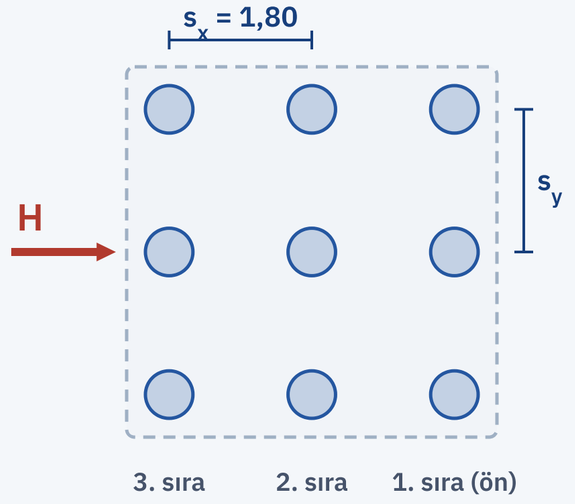
SORU

İSTENEN

Kil tabakası için üç sıranın **p-çarpanlarını** bulunuz; yük **tersinirse** kil ve kum için sıraların ortalama çarpanı nedir?

Verilenler

Aralık (yük doğrultusunda)	**s_x = 1,80 m, D = 0,60 m: s/D = 3**
Kil	**Rollins ve ark. (2006) denklemleri**
Kum	**AASHTO LRFD: 3D'de P_m = 0,8 · 0,4 · 0,3**



Çözüm

ÇÖZÜM

1 Kil: ln(s/D) = ln 3 = 1,099

$$P_{m1} = 0{,}26(1{,}099) + 0{,}5 = \mathbf{0{,}786}$$

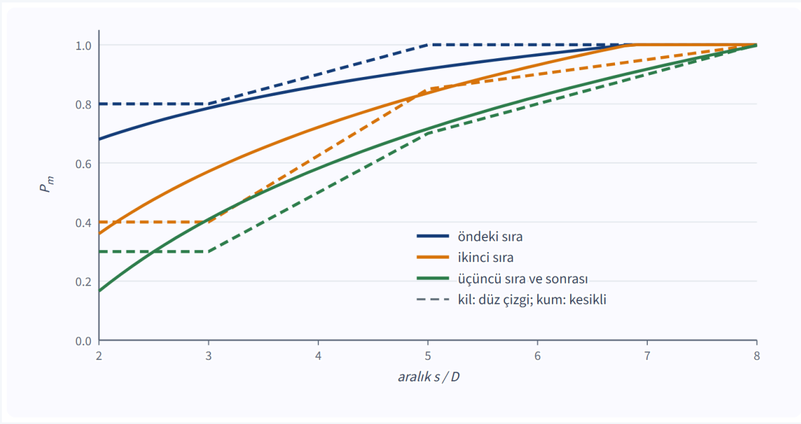
$$P_{m2} = 0{,}52(1{,}099) = \mathbf{0{,}571}$$

$$P_{m3} = 0{,}60(1{,}099) - 0{,}25 = \mathbf{0{,}409}$$

2 Tersinir yük: sıraların ortalaması

$$\bar{P}_{m,kil} = \frac{0{,}786 + 0{,}571 + 0{,}409}{3} = \mathbf{0{,}589}$$

$$\bar{P}_{m,kum} = \frac{0{,}8 + 0{,}4 + 0{,}3}{3} = \mathbf{0{,}500}$$



Ön sıra eğrinin yaklaşık %79'ini, üçüncü ve sonraki sıralar yalnızca %41'ını koruyor (kilde); kumda %80 ve %30. Aralık açıldıkça çarpanlar 1'e yaklaşır (5D'de kum 1,0 · 0,85 · 0,7).

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Başlık tek bir yerdeğiştirme yapar

KURAM

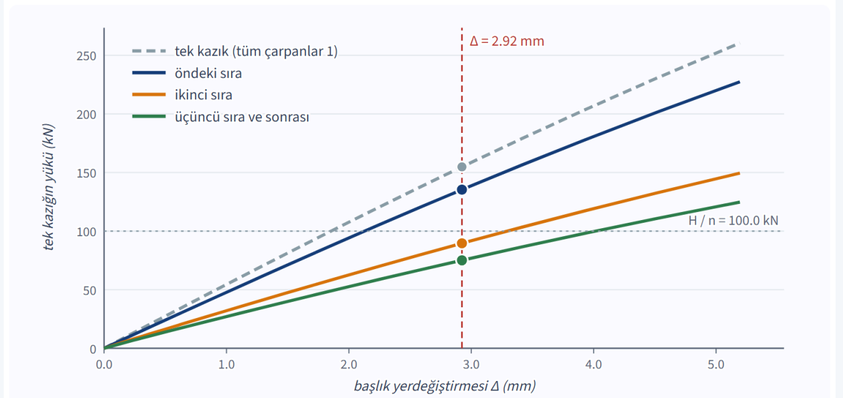
Başlık rijit ve dönmesi tutulu: **her kazık başı aynı Δ** kadar yerdeğiştirir; ama p–y eğrileri farklı ölçeklendiğinden sıralar farklı yük taşır. Modül, sıraların yüklerinin toplamının başlıktaki yüke eşit olduğu Δ'yı bulur:

$$\sum_{k=1}^{n_x} n_y \, H_k(\Delta) = H$$

k. sıradaki kazık, **yanal kazık modülünün** tek kazığıdır (sonlu elemanlar + Newton); eğrileri o sıranın çarpanlarıyla ölçeklenir.

Yerdeğiştirme **kontrollüdür**: kazık başı Δ'da tutulup tepkisi okunur; böylece yumuşayan (tekrarlı kil) eğrinin tepe noktası da izlenebilir.

Grubun taşıyabileceği en büyük yük, sıra toplamının **ilk tepesidir**; istenen yük bundan büyükse modül bunu söyler.



Soru

SORU

Verilenler

Çözüm (modül)	**Δ = 2,92 mm; kazık başına yük: 1. sıra 135,3, 2. sıra 89,6, 3. sıra 75,1 kN**
Tek kazık	**Δ'da 154,8 kN taşır; 100 kN altında 1,85 mm yerdeğiştirir**
Yük	**H = 900 kN, n = 9: eşit pay H/n = 100 kN**

İSTENEN

Dengeyi kontrol ediniz; başlık yerdeğiştirmesinin tek kazığınkine oranını ve **yanal yük altındaki grup verimini** bulunuz.

Çözüm

ÇÖZÜM

1 Denge: $\Sigma n_\gamma H_k = H$

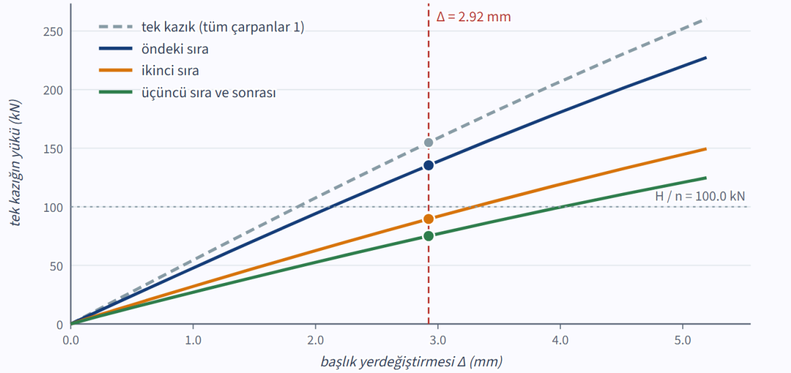
$$3(135{,}3 + 89{,}6 + 75{,}1) = \mathbf{900}\ \mathrm{kN} = H\ \checkmark$$

2 Başlık deplasmanının tek kazığınkine oranı

$$\frac{\Delta}{y_{tek}} = \frac{2{,}92}{1{,}85} = \mathbf{1{,}58}$$

3 Yanal yük altında grup verimi: ortalama kazık yükü / aynı Δ'da tek kazığın yükü

$$\eta_{yanal} = \frac{H/n}{H_{tek}(\Delta)} = \frac{100{,}0}{154{,}8} = \mathbf{0{,}65}$$



Ön sıra eşit payın **1,35 katını**, üçüncü sıra 0,75 katını taşıyor; başlık tek kazığa göre **1,58 kat** fazla yerdeğiştiriyor. En büyük eğilme momenti kazık başında: 207 kN·m.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Hangi sayı hangi kontrole gider?

KURAM

Kazık yükleri: $P_{max} \le Q_u/FS$ (tek kazık, grup etkisi yok); çekmedeki kazık $T_{max} \le T_u/FS$, çekmedekiler birlikte $\Sigma T \le T_g/FS$

Grup kapasitesi: $V \le Q_{all} = Q_{g(u)}/FS$; hangisinin (bireysel ya da blok) belirleyici olduğu

Oturma: elastik + konsolidasyon, girilen izin verilen değerle karşılaştırılır

Yanal: başlık yerdeğiştirmesi, ön sıra yükü, en büyük eğilme momenti ve yanal verim; izin verilen yerdeğiştirmeyle karşılaştırılır

Kazık başına yük ve eğilme momenti, kazık kesitinin **yapısal tasarımının** yükleridir

ÖRNEK GRUP: KONTROLLER

Kontrol	Sonuç
$P_{max} \le Q_u/FS$	261 ≤ 302 kN ✓
$V \le Q_{all}$	1 600 ≤ 1 984 kN ✓
Oturma	84,6 mm
Δ (yanal)	2,92 mm

Soru

SORU

Verilenler

Grup	**9 fore kazık, 3 sıra × 3 kazık, D = 0,60 m, L = 14 m, s = 1,80 m**
Zemin	**kum 0–4 m (φ′ = 32°) · kil 4–10 m (c_u = 50) · kil 10–18 m (c_u = 90 kPa)**
Değişen	**kazık aralığı s = 2,5D · 3D · 4D · 5D · 6D (her iki yönde)**
Yükler	**V = 1 600, H = 900 kN, M_y = 900 kN·m**

İSTENEN

Aralık büyüdükçe grubun kapasitesi, verimi ve başlık yerdeğiştirmesi nasıl değişir?

Çözüm (1/2)

ÇÖZÜM

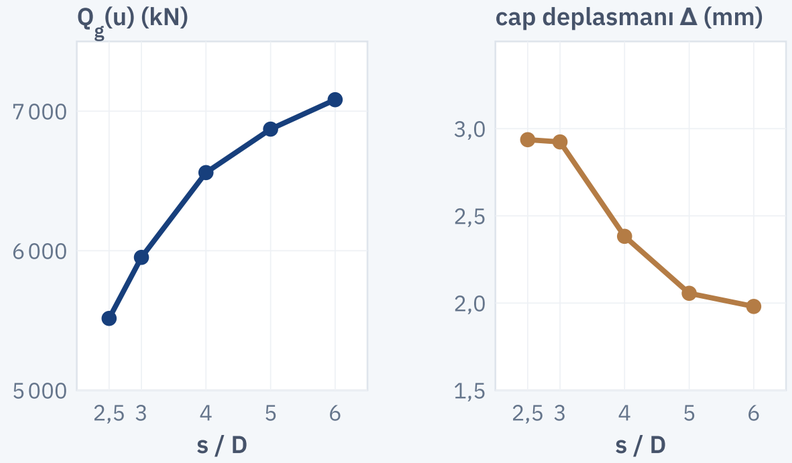
s / D	s (m)	η kum	η kil	$Q_{g(u)}$ (kN)	η grup	Δ (mm)
2,5	1,50	0,65	0,677	5 515	**0,676**	2,94
3,0	1,80	0,77	0,727	5 952	**0,729**	2,92
4,0	2,40	1,00	0,792	6 560	**0,803**	2,38
5,0	3,00	1,00	0,832	6 871	**0,842**	2,06
6,0	3,60	1,00	0,860	7 083	**0,868**	1,98

s = 2,5D → 6D: kapasite **5 515 → 7 083 kN**, grup verimi 0,68 → 0,87, başlık yerdeğiştirmesi **2,94 → 1,98 mm**. Aralık açıldıkça hem verim hem p-çarpanları 1'e yaklaşır; 2,5D, kaynağın verdiği en küçük aralıktır.

Çözüm (2/2)

ÇÖZÜM

Yorum. Aralığı 2,5D'den 6D'ye çıkarmak kapasiteyi %28 artırır ve başlık yerdeğiştirmesini %33 azaltır; ama başlık büyür, kazıklar uzağa dağılır. Pratikte 3D – 3,5D ile 5D arası bir uzlaşmadır. Grafikte soldaki $Q_{g(u)}$, sağdaki Δ.



Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Sayıların arkasındaki kabuller

KURAM

Grup: dikdörtgen ağ ya da üçgen dizilişte, tek kesit ve boyda, rijit başlık altında düşey kazıklar. Başlık yük aktarır ama dayanım eklemez (pasif basınç, altındaki sürtünme ve taşıma güvenli tarafta bırakılır).

Tekil kazık: tabakalı zemin kuralları, hiçbir direnç girilmez.

Verim: ampirik denklemler kilde çakma kazıklardan; kumda tek aralık (en küçük mesafe). Üçgen dizilişte Converse–Labarre bir **uzantıdır**.

Blok: kilde kaynağın temeli; kumdaki kayma ve kum tabanı **modülün uzantısı**.

Yükler: V başlığın ağırlığını içerir; yanal yük ve momentler başlık tabanında. Çekmede yalnızca gövde, kum ¾.

Oturma: bir seçenektir; elastik kısım tek E_s ve v_s ile, konsolidasyon 2:1 yayılmayla, her tabakanın ortasında.

Yanal: p-çarpanları belirli zeminlerde ve aralıklarda yapılmış deneylerden; 3D'nin altı işaretlenir.

Özet

Akılda kalacak noktalar

Rijit başlık: **P = V/n + Bx + Cy**; en büyük yük öndeki, en küçüğü arkadaki kazıkta; moment büyükse arka kazık **çekmeye** çalışır

Tekil kazık tabaka tabaka hesaplanır; grup kapasitesi onun üzerine kurulur

Verim tabaka tabaka uygulanır: kilde Converse–Labarre, kumda çakmada abak ($\eta \leq 1$) ve foredeki AASHTO kuralı

Kapasite = **min(bireysel, blok)**; blok yakın aralıklı ve çok kazıklı gruplarda devreye girer

Oturma: elastik (Vesic, $\sqrt{(B_g/D)}$ ile) + konsolidasyon (2L/3'ten 2:1 yayılma); grup oturmasını kalın kil belirler

Yanal: p-çarpanları ön sıradan arkaya düşer; başlık tek Δ yapar, sıralar eşit olmayan yük taşır

Kaynaklar

Das, B.M. (2016). Principles of Foundation Engineering, 8th ed. Cengage Learning, Boston.

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, Washington.

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.

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.

Terzaghi, K., Peck, R.B. and Mesri, G. (1996). Soil Mechanics in Engineering Practice, 3rd ed. John Wiley & Sons, New York.

Vijayvergiya, V.N. and Focht, J.A. (1972). A new way to predict capacity of piles in clay. Proceedings of the 4th Offshore Technology Conference, Houston, Paper OTC 1718.

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

O’Neill, M.W. and Reese, L.C. (1999). Drilled Shafts: Construction Procedures and Design Methods. FHWA-IF-99-025, Federal Highway Administration, Washington.

Reese, L.C. and O’Neill, M.W. (1989). Drilled Shafts: Construction Procedures and Design Methods. FHWA-HI-88-042, Federal Highway Administration, Washington; kildeki fore kazığın ucu.

Terzaghi, K. and Peck, R.B. (1967). Soil Mechanics in Engineering Practice, 2nd ed. John Wiley & Sons, New York.

Kishida, H. and Meyerhof, G.G. (1965). Bearing capacity of pile groups under eccentric loads in sand. Proceedings of the 6th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Montreal, 2, 270–274.

Vesic, A.S. (1969). Experiments with instrumented pile groups in sand. Performance of Deep Foundations, ASTM STP 444, 177–222.

Jaky, J. (1944). The coefficient of earth pressure at rest. Journal of the Society of Hungarian Architects and Engineers, 7, 355–358.

American Association of State Highway and Transportation Officials (2012). AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, 6th ed.: kazık gruplarının p-çarpanları ve kohezyonsuz zeminde fore kazık gruplarının direnci.

Washington State Department of Transportation (2010). Bridge Design Memorandum No. 07-2010, Bearing resistance of shaft groups.

Brown, D.A., Morrison, C. and Reese, L.C. (1988). Lateral load behavior of pile group in sand. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 114(11), 1261–1276.

McVay, M., Casper, R. and Shang, T.-I. (1995). Lateral response of three-row groups in loose to dense sands at 3D and 5D pile spacing. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 121(5), 436–441.

Rollins, K.M., Olsen, R.J., Egbert, J.J., Jensen, D.H., Olsen, K.G. and Garrett, B.H. (2006). Pile spacing effects on lateral pile group behavior: analysis. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 132(10), 1272–1283.

Matlock, H. (1970). Correlations for design of laterally loaded piles in soft clay. Proceedings of the 2nd Offshore Technology Conference, Houston, Paper OTC 1204, 577–594.

Reese, L.C., Cox, W.R. and Koop, F.D. (1974). Analysis of laterally loaded piles in sand. Proceedings of the 6th Offshore Technology Conference, Houston, Paper OTC 2080, 473–485.

American Petroleum Institute (2000). Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms — Working Stress Design, API RP 2A-WSD, 21st ed.

GeoTerva

Çevrim içi geoteknik hesaplar

Teoriden uygulamaya

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

Modülü açın →

Teori sayfası →

Telefonla açın
Örnek modüller kayıt gerektirmez.