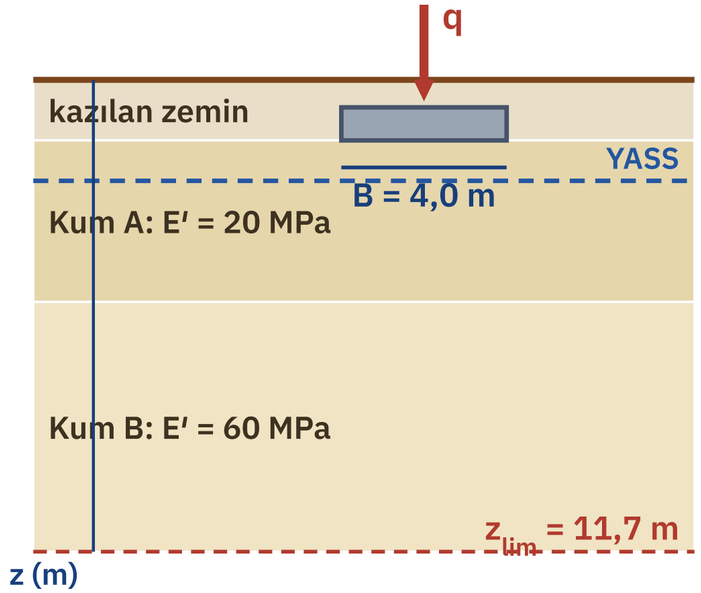
Geoteknik ders sunumu · Oturma

Elastik oturma: granüler zemin

Ders anlatımı: elastisite kuramından Steinbrenner katsayılarına, tabakalı profilden esnek ve rijit temele; kum ve çakıl tabakaları drenajlı (E′, ν′) davranır; her konuda çözümlü örnek.

- Hooke yasası
- Steinbrenner katsayıları
- Tabakalı profil
- Net basınç
- Esnek ve rijit temel
- Çözümlü örnekler



Giriş

Bu derste neler öğreneceğiz?

- **Hooke yasasından** oturma integraline: $\varepsilon_z = [\Delta\sigma_z - \nu(\Delta\sigma_x + \Delta\sigma_y)]/E$ ve $S = \int \varepsilon_z \, dz$
- **Steinbrenner katsayılarını** (F_1, F_2, I_s) hesaplamayı ve dikdörtgen temelin **merkez** ve **köşe** oturmasını bulmayı
- Granüler tabakaları **drenajlı** ele almayı: $E'/p_a = \alpha\, N_{60}$, $\nu' \approx 0{,}25–0{,}35$
- **Tabakalı profili** $I_s(z_{alt}) - I_s(z_{üst})$ farkıyla toplamayı
- **Net basıncı** (kazı etkisi) ve **hesap derinliğini** (etki derinliği) belirlemeyi
- **Esnek** ve **rijit** temel oturmasını ayırt etmeyi (rijit ≈ 0,93 × esnek merkez)

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: 4 m × 6 m esnek dikdörtgen temel, q = 180 kPa, kazı derinliği 1,5 m, YASS 2,5 m; kum tabaka. Oturmalar mm cinsindendir.

Bu modül neyi hesaplar?

KURAM

Bu modül **yalnızca granüler** (kum, çakıl) tabakaları ele alır ve **elastik oturmayı** hesaplar: kum suyunu hemen bıraktığı için oturmasının tamamı elastiktir.

Yük altındaki zeminin **Boussinesq** gerilmelerinden **Hooke yasasıyla** şekil değiştirme bulunur, şekil değiştirmenin integrali oturmadır.

Kil tabakaların ani oturması Elastik Oturma: Kohezyonlu zeminler modülünde, konsolidasyonu Konsolidasyon modülünde, hepsinin toplamı Toplam Oturma modülündedir.

Çözüm **analitiktir**: kapalı etki katsayıları ve tabaka tabaka toplama; sonlu eleman yoktur.

Dışında: Schmertmann yöntemi, SPT/CPT abakları, derinlikle artan modül (Mayne–Poulos), temel rijitliği ve zemin–yapı etkileşimi.

TABAKA TÜRÜ

	Granüler
Davranış	drenajlı
E	E' (örn. αN_{60})
v	0,25 – 0,35

Hooke yasası ve oturma integrali

KURAM

Net basıncı q_{net} taşıyan **tam esnek** bir temelin altında zemin, yarı sonsuz homojen elastik ortamdır (Boussinesq gerilmeleri). Hooke yasası düşey şekil değiştirmeyi, integrali oturmayı verir:

$$S = \int \varepsilon_z \, dz = \int \frac{\Delta\sigma_z - \nu\,(\Delta\sigma_x + \Delta\sigma_y)}{E}\, dz$$

Yanal gerilmeler v'ya bağlıdır; bu yüzden şekil değiştirme ve oturma **hem E hem v** ile değişir.

v büyüdükçe yanal gerilmeler düşey şekil değiştirmeyi **azaltır**: aynı E'de v = 0,5 olan zemin v = 0,3 olandan daha az oturur.

Oturma E ile **ters orantılıdır**: modülü iki katına çıkarmak oturmayı yarıya indirir.

GÖSTERİMLER

q_{net}: net basınç (kazıdan sonra eklenen)

$\Delta\sigma_z$, $\Delta\sigma_x$, $\Delta\sigma_y$: gerilme artışları

E, v: tabakanın elastik sabitleri

ε_z: düşey şekil değiştirme (sıkışma +)

Soru

SORU

Verilenler

Gerilme artışı	$\Delta\sigma_z = 100\ \mathrm{kPa},\ \Delta\sigma_x = \Delta\sigma_y = 40\ \mathrm{kPa}$
Zemin	$E' = 20\ \mathrm{MPa},\ \nu' = 0{,}30$
Dilim	**kalınlık 1,0 m**

İSTENEN

Düşey şekil değiştirmeyi ve dilimin sıkışmasını bulunuz; v = 0 (tek boyutlu) varsayımıyla karşılaştırınız.

Çözüm

ÇÖZÜM

1 Düşey şekil değiştirme

$$\varepsilon_z = \frac{\Delta\sigma_z - \nu(\Delta\sigma_x + \Delta\sigma_y)}{E} = \frac{100 - 0{,}30(40 + 40)}{20\,000} = \frac{76{,}0}{20\,000} = \mathbf{0{,}00380}$$

2 Dilimin sıkışması (H = 1,0 m)

$$\Delta S = \varepsilon_z H = 0{,}00380(1{,}0) = \mathbf{3{,}80}\ \mathrm{mm}$$

3 Karşılaştırma: v = 0

$$\varepsilon_z = \frac{100}{20\,000} = 0{,}00500 \ \Rightarrow\ \Delta S = 5{,}00\ \mathrm{mm}$$

Yanal gerilmeler (v = 0,30) şekil değiştirmeyi **%24** azaltır: 3,80 mm, tek boyutlu 5,00 mm.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Köşe için kapalı çözüm

KURAM

Düzgün yüklü bir dikdörtgenin **köşesi** için integralin kapalı çözümü vardır (Steinbrenner):

$$S = q_{net}\,\alpha\,B'\,\frac{1-\nu^2}{E}\,I_s \qquad I_s = F_1 + \frac{1-2\nu}{1-\nu}\,F_2$$

$$F_1 = \frac{A_0 + A_1}{\pi} \qquad F_2 = \frac{n'}{2\pi}\tan^{-1} A_2$$

m′ = L′/B′ ve n′ = z/B′ (B′ köşe dikdörtgeninin kısa kenarı). **Merkez** dört (B/2 × L/2) dikdörtgenin köşesidir: α = 4, B′ = B/2. **Köşe** bütün dikdörtgenin köşesidir: α = 1, B′ = B. Başka bir nokta, o noktada köşesi olan dört dikdörtgenin işaretli toplamıdır.

> v = 0,5 için (1 − 2v) = 0: **$I_s = F_1$** ve (1 − v²) = 0,75.

GÖSTERİMLER

α: köşe dikdörtgeni sayısı (merkez 4, köşe 1)
B′: köşe dikdörtgeninin kısa kenarı
m′ = L′/B′, n′ = z/B′
z: temel seviyesinden derinlik
I_s: şekil katsayısı

A_0, A_1, A_2 ve şerit sınırı

KURAM

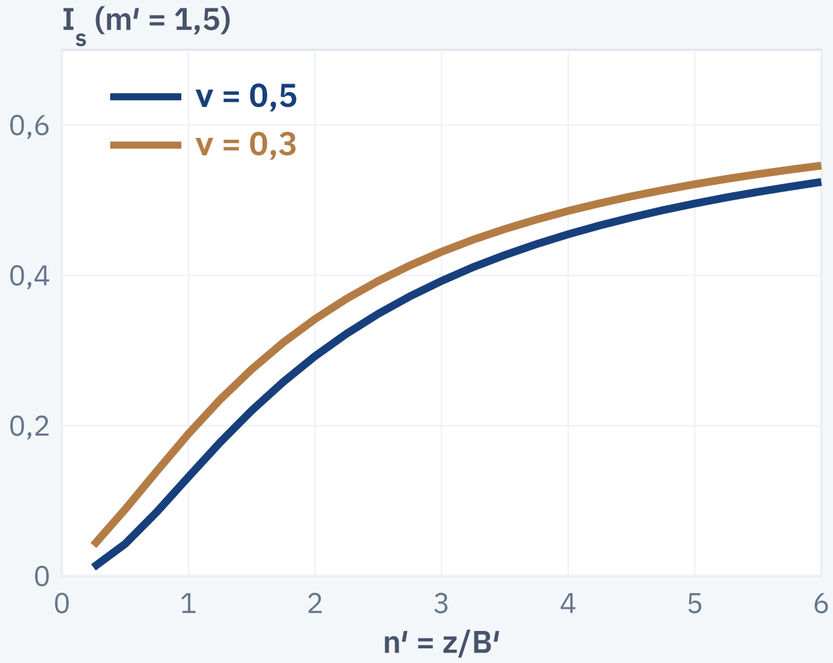
$$A_0 = m' \ln \frac{\left(1+\sqrt{m'^2+1}\right)\sqrt{m'^2+n'^2}}{m'\left(1+\sqrt{m'^2+n'^2+1}\right)}$$

$$A_1 = \ln \frac{\left(m'+\sqrt{m'^2+1}\right)\sqrt{1+n'^2}}{m'+\sqrt{m'^2+n'^2+1}} \qquad A_2 = \frac{m'}{n'\sqrt{m'^2+n'^2+1}}$$

Şerit ($m' \to \infty$): $F_1 = \ln(1+n'^2)/2\pi$ ve $F_2 = (n'/2\pi)\tan^{-1}(1/n')$; kenarında $\alpha = 2$, $B' = B$.

Motor formülleri doğrudan hesaplar; abaklara ya da yuvarlatılmış tablolara gerek yoktur.

I_s derinlikle artar ve **yavaşça doyar**: derin tabakaların katkısı sınırlıdır (yanda $m' = 1{,}5$).



Soru

SORU

Verilenler

Temel	**B × L = 4 × 6 m, merkezin altında z′ = 4 m derinlik (temel seviyesinden)**
Köşe dikdörtgeni	**B/2 × L/2 = 2 × 3 m ⇒ B′ = 2 m, m′ = 1,5, n′ = z′/B′ = 2,0**
Zemin	$\nu' = 0{,}30$

İSTENEN

A_0, A_1, A_2, F_1, F_2 ve **I_s** değerlerini bulunuz.

Çözüm

ÇÖZÜM

1 A_0, A_1, A_2 (karekökler: $\sqrt{(m'^2+1)} = 1{,}8028$; $\sqrt{(m'^2+n'^2)} = 2{,}5000$; $\sqrt{(m'^2+n'^2+1)} = 2{,}6926$)

$$A_0 = 1{,}5 \ln \frac{(1+1{,}8028)(2{,}5000)}{1{,}5(1+2{,}6926)} = \mathbf{0{,}3527} \qquad A_1 = \ln \frac{(1{,}5+1{,}8028)\sqrt{5}}{1{,}5+2{,}6926} = \mathbf{0{,}5662}$$

$$A_2 = \frac{1{,}5}{2(2{,}6926)} = \mathbf{0{,}2785}$$

2 F_1, F_2 ve I_s

$$F_1 = \frac{0{,}3527+0{,}5662}{\pi} = \mathbf{0{,}2925} \qquad F_2 = \frac{2}{2\pi}\tan^{-1}(0{,}2785) = \mathbf{0{,}0865}$$

$$I_s = F_1 + \frac{1-2(0{,}30)}{1-0{,}30} F_2 = \mathbf{0{,}3419}$$

$I_s = F_1 + 0{,}5714\, F_2 =$ **0,3419**; $\nu' = 0{,}5$ olsaydı $F_1 = 0{,}2925$ kalırdı (%14 daha az).

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Drenajlı modül E′ ve ν′

KURAM

Kum suyunu hemen bıraktığı için drenajlı davranır; oturmasının tamamı elastiktir. Kaynakta (Das) kumun modülü SPT'den, **$E'/p_a = \alpha\, N_{60}$** ile alınır ($p_a \approx 100$ kPa):

$$\frac{E'}{p_a} = \alpha\, N_{60} \qquad \alpha = 5\ (\text{ince taneli kum})\ \ 10\ (\text{temiz NC})\ \ 15\ (\text{temiz AK})$$

Kumun modülü derinlikle **artar**: kalın bir tabakayı artan E′ değerli birkaç tabakaya bölün.

ν′ genellikle 0,25–0,35; ν′ < 0,5 olmalıdır (granüler tabakada ν′ ≥ 0,5 girilemez).

Elastik oturma ν′ ile de değişir: ν′ büyüdükçe azalır.

KUM İÇİN α

α	E′ (N_{60} = 20)
5	10 MPa
10	20 MPa
15	30 MPa

Soru

SORU

Verilenler

Kum	$N_{60} = 20$, $p_a = 100\ \mathrm{kPa}$; $\alpha = 5,\ 10,\ 15$
Poisson oranı	$\nu' = 0{,}25;\ 0{,}30;\ 0{,}35$ **(E′ = 20 MPa)**
Referans	**α = 10, ν′ = 0,30 için tek tabaka oturması S = 29,0 mm (Örnek 6)**

İSTENEN

Her α için **E′**; ν′ = 0,25, 0,30, 0,35 ve 0,5 için oturma.

Çözüm

ÇÖZÜM

1 $E' = \alpha\, N_{60}\, p_a$ (N_{60} = 20; p_a = 100 kPa)

$$E' = \alpha\, N_{60}\, p_a: \quad 5(20)(0{,}1) = \mathbf{10}\ \text{MPa},\ \ 10(20)(0{,}1) = \mathbf{20},\ \ 15(20)(0{,}1) = \mathbf{30}\ \text{MPa}$$

ν′	0,25	0,30	0,35	0,50
S (mm)	30,1	29,0	27,7	22,8
$S / S_{\nu'=0{,}30}$	1,038	1,000	0,955	0,786

E′ 10 → 30 MPa değişince oturma 58 → 19 mm (ters orantı). ν′ 0,25 → 0,35 oturmayı yalnızca %8 değiştirir; ν′ = 0,5 olsaydı %21 daha az olurdu.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Kazı önce yükü kaldırır

KURAM

Kazı, taban seviyesindeki **etkin örtü gerilmesini** kaldırır (YASS değişmez). Tek bir modül hem boşaltma hem yeniden yükleme için kullanıldığında kazının elastik kabarması yeniden yüklemede geri alınır; ani oturmayı **net basınç** belirler:

$$q_{net} = q_{gross} - \sigma'_{v0}(D_{exc})$$

$\sigma'_{v0}(D_{exc})$: kazı tabanındaki başlangıç etkin gerilmesi (YASS üstünde γ, altında $\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$).

$q_{net} \leq 0$ ise oturma oluşmaz (negatif değer elastik kabarmadır).

Kazı yoksa $q_{net} = q_{gross}$ (basınç zemin yüzeyine uygulanır).

NEDEN NET?

Kazı sırasında kaldırılan zemin ağırlığı kadar yük, temel yapılınca **geri verilir**. Zeminin oturması yalnızca bu yükün **üstüne eklenen** basınçtan doğar.

Soru

SORU

Verilenler

Yük	$q_{gross} = 180\ \mathrm{kPa}$; **kazı derinliği** $D_{exc} = 1{,}5\ \mathrm{m}$
Zemin	$\gamma = 18{,}5\ \mathrm{kN/m^3},\ \gamma_{sat} = 19{,}5\ \mathrm{kN/m^3}$
YASS	**(a) 2,5 m (kazı tabanının altında) · (b) 1,0 m (kazı tabanının üstünde)**

İSTENEN

Her durumda $\sigma'_{v0}(D_{exc})$ ve q_{net} değerlerini bulunuz.

Çözüm

ÇÖZÜM

1 (a) YASS 2,5 m > 1,5 m: kazı tabanında su yok

$$\sigma'_{v0} = \gamma D_{exc} = 18{,}5(1{,}5) = 27{,}75\ \text{kPa} \ \Rightarrow\ q_{net} = 180 - 27{,}75 = \mathbf{152{,}25}\ \text{kPa}$$

2 (b) YASS 1,0 m: kazı tabanı suyun 0,5 m altında (γ′ = 19,5 − 9,81 = 9,69 kN/m³)

$$\sigma'_{v0} = 18{,}5(1{,}0) + 9{,}69(0{,}5) = 23{,}345\ \text{kPa} \ \Rightarrow\ q_{net} = 180 - 23{,}345 = \mathbf{156{,}66}\ \text{kPa}$$

Su kazı tabanının üstündeyse kaldırılan etkin gerilme azalır ve net basınç 152,2 → 156,7 kPa **artar**: yüksek YASS ani oturmayı büyütür.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Etki derinliği: Δσ = p · q

KURAM

Yük altındaki gerilme artışı derinlikle azalır ama sıfır olmaz; toplamın bir alt sınırı gerekir: **hesap derinliği z_{lim}**. Modül iki kural sunar:

Etki derinliği: merkezin altında Boussinesq artışı uygulanan basıncın **p** kadarına inince (yaygın p = %10): I(z′) = p ve $z_{lim} = D_f + z'$.

Profilin tabanı: hesap son tabakada biter (kaya ya da sıkı çakıl gibi sert bir taban; Steinbrenner'in sert tabanlı tabakası).

Profil z_{lim}'in üstünde biterse son tabaka z_{lim}'e kadar aynı özelliklerle devam eder.

$$I = \frac{\Delta\sigma_z}{q} = 4\,I_{corner}(m,n) \qquad m = \frac{B}{2z'},\ n = \frac{L}{2z'}$$

z′/B (p = %10 | %20)

L/B	p = %10	p = %20
1,0	2,09 B	1,40 B
1,5	2,55 B	1,70 B
2,0	2,92 B	1,94 B
5,0	4,33 B	2,68 B
şerit	6,34 B	3,13 B

Soru

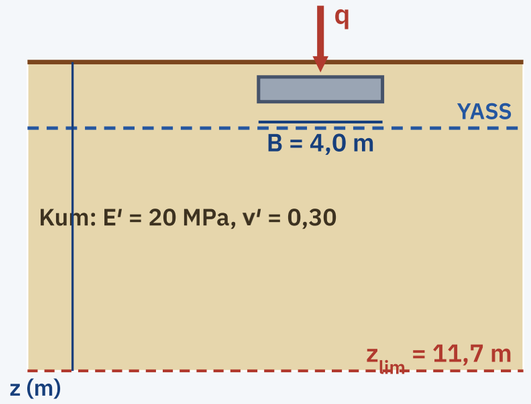
SORU

Verilenler

Temel	**B × L = 4 × 6 m (L/B = 1,5), kazı tabanında; D_f = 1,5 m**
Kural	**etki derinliği, p = %10 (I = 0,10)**
Formül	$I = 4\,I_{corner}(m,n),\ m = B/2z',\ n = L/2z'$

İSTENEN

z′ ve **z_{lim}**; z′ = 4 m ve 10,19 m için I değeri.



Çözüm

ÇÖZÜM

1 z′ = 4 m: m = 2/4 = 0,5; n = 3/4 = 0,75

$$I = 4\,I_{corner}(0{,}5;\ 0{,}75) = 4(0{,}1071) = \mathbf{0{,}4283}$$

2 Koşul I = 0,10: ikiye bölme ile

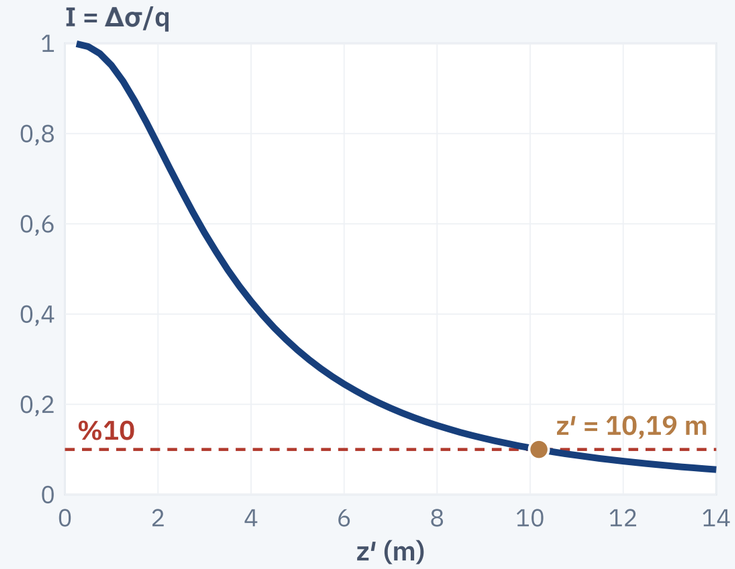
$$z' = \mathbf{10{,}19\ m} \quad (= 2{,}55\,B)$$

$$z_{lim} = D_f + z' = 1{,}5 + 10{,}19 = \mathbf{11{,}69\ m}$$

3 Kontrol: z′ = 10,19 m ⇒ m = 2/z′, n = 3/z′

$$m = 0{,}1963,\ n = 0{,}2945$$

$$I = 4(0{,}0250) = \mathbf{0{,}1000}$$



10,19 m (2,55 B) derinliğe kadar toplanır; sonrası %10'dan az basıncın bölgesidir. Kare temelde 2,09 B, şeritte 6,34 B: **geniş temel daha derine** etki eder.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Tabaka katkısı: I_s farkı

KURAM

$z_{üst}$ ile z_{alt} (temel seviyesinden) arasındaki bir tabaka, yarı sonsuz ortam çözümünün **iki derinlik arasındaki farkını** katar; kendi E ve v'sıyla:

$$\Delta S = q_{net}\,\alpha\,B'\,\frac{1-\nu^2}{E}\,\left[I_s(z_{alt}) - I_s(z_{üst})\right]$$

Bu, Hooke şekil değiştirmesinin tabaka üzerindeki integralidir (homojen yarı uzay gerilmeleriyle): bu kabul için **kesindir**; sonuç dilim kalınlığı Δz'ye bağlı değildir (dilimler yalnızca tablolara ve renk alanlarına hizmet eder).

Tek tabakalı formüldeki **ağırlıklı ortalama modülün** yerini alır.

Rijitliği derinlikle artan bir tabaka birkaç tabakaya bölünmelidir.

TOPLAM

Profilin oturması, tabakaların katkılarının z_{lim}'e kadar **toplamıdır**: $S = \Sigma\,\Delta S_i$. Her tabakanın yalnızca temel seviyesi ile z_{lim} arasındaki kısmı sayılır.

Soru

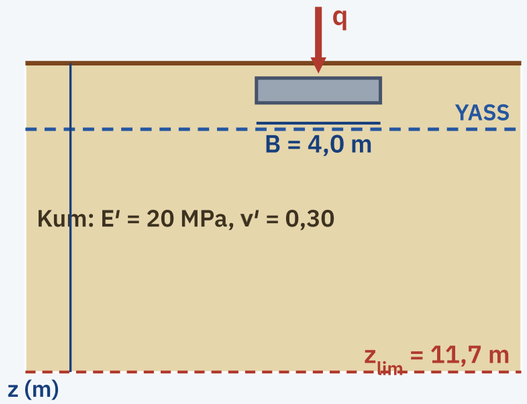
SORU

Verilenler

Temel	**dikdörtgen, B × L = 4 × 6 m, taban derinliği D_f = 1,5 m (kazı tabanı)**
Yük	$q_{gross} = 180\ \mathrm{kPa}$ **(esnek temel, düzgün basınç)**
Zemin	**tek tabaka kum:** $E' = 20\ \mathrm{MPa},\ \nu' = 0{,}30,\ \gamma = 18{,}5\ \mathrm{kN/m^3}$**; YASS 2,5 m**
Hesap derinliği	**etki derinliği, p = %10 (Örnek 5): z′ = 10,19 m, z_{lim} = 11,69 m; tabaka bu derinliğe kadar devam eder**

İSTENEN

Esnek temelin **merkez** oturması **S**.



Çözüm (1/2)

ÇÖZÜM

1 Net basınç (Örnek 4a) ve katsayı k = $q_{net}(1 - \nu^2)/E$

$$q_{net} = 152{,}25\ \text{kPa} \qquad k = \frac{q_{net}(1-\nu^2)}{E} = \frac{152{,}25(0{,}91)}{20\,000} = 0{,}006927\ (\text{boyutsuz})$$

2 Merkez: α = 4, B′ = B/2 = 2 m, m′ = 1,5; z′ = 10,19 m ⇒ n′ = z′/B′ = 5,094

$$A_0 = 0{,}6569,\ A_1 = 0{,}9097,\ A_2 = 0{,}0545$$

$$F_1 = 0{,}4986,\ F_2 = 0{,}0441 \ \Rightarrow\ I_s = \mathbf{0{,}5239}$$

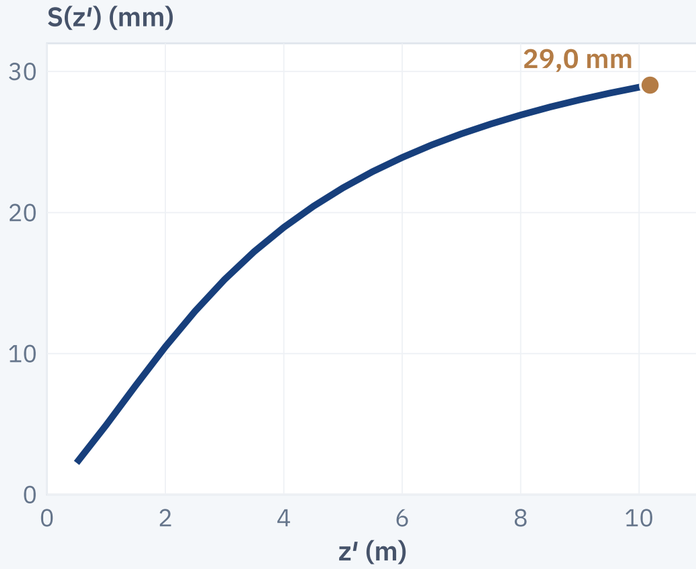
Çözüm (2/2)

ÇÖZÜM

3 Oturma: $S = k \cdot \alpha\, B' \cdot I_s$

$$S = 0{,}006927\,(4)(2)(0{,}5239) = 0{,}006927(4{,}1909)$$
$$= 0{,}02903\ \text{m} = \mathbf{29{,}0\ mm}$$

Merkez oturması **29,0 mm**. Grafikte S(z′): oturmanın büyük kısmı üst 2B (8 m) içinde oluşur; derin tabakaların katkısı küçüktür.



Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Soru

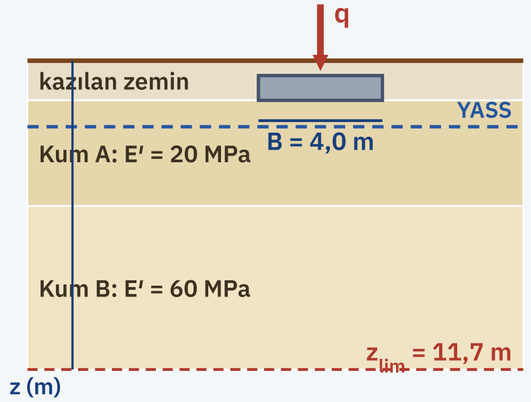
SORU

Verilenler

Temel, yük	**B × L = 4 × 6 m, q_{gross} = 180 kPa, D_f = 1,5 m ⇒ q_{net} = 152,25 kPa**
A tabakası	**temel seviyesinden 4 m kalınlık:** $E' = 20\ \mathrm{MPa}$
B tabakası	**altında, z_{lim}'e kadar:** $E' = 60\ \mathrm{MPa}$
Hesap derinliği	**z'_{lim} = 10,19 m**

İSTENEN

Her tabakanın **merkez** oturmasını ve toplamı bulunuz; tek tabakayla karşılaştırınız.



Çözüm (1/2)

ÇÖZÜM

1 Tabaka katsayıları k = $q_{net}(1 - \nu^2)/E$ ve α B′ I_s (merkez; Örnek 2 ve 6)

$$k_A = \frac{152{,}25(0{,}91)}{20\,000} = 0{,}006927 \qquad k_B = \frac{152{,}25(0{,}91)}{60\,000} = 0{,}002309$$

$$8\,I_s(z' = 4) = 8(0{,}3419) = 2{,}7351 \qquad 8\,I_s(z'_{lim}) = 4{,}1909$$

Profil iki tabakaya bölününce her tabaka **kendi modülüyle**, I_s'nin kendi aralığındaki artışıyla toplanır.

Çözüm (2/2)

ÇÖZÜM

2 Tabaka oturmaları ve toplam

$$\Delta S_A = k_A (8I_s)_4 = 0{,}006927(2{,}7351) = 18{,}9\ \text{mm}$$

$$\Delta S_B = k_B \left[(8I_s)_{lim} - (8I_s)_4\right] = 0{,}002309(4{,}1909 - 2{,}7351) = 3{,}4\ \text{mm}$$

$$S = \Delta S_A + \Delta S_B = \mathbf{22{,}3\ mm}$$

Toplam merkez oturması **22,3 mm** (motor: 22,3 mm). Tek tabaka (E = 20 MPa) 29,0 mm veriyordu: alt tabaka **daha rijit** olduğu için oturma **%23** azaldı; A tabakası toplamın %85'ini taşıyor.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Merkez, köşe ve rijit oturma

KURAM

Formüller **tam esnek** bir temelin oturmasını verir: **merkezde en büyük**, köşede en küçük; farkları esnek temelin **diferansiyel oturmasıdır**. Rijit bir temel **düzgün** oturur: esnek merkezin yaklaşık 0,93 katı:

$$S_{rijit} \approx 0{,}93\, S_{merkez} \qquad S_{diff} = S_{merkez} - S_{köşe}$$

Merkez: α = 4, B′ = B/2. Köşe: α = 1, B′ = B (tüm dikdörtgenin köşesi).

Gömülme: Fox derinlik katsayısı I_f (D_f/B, B/L ve ν'ya bağlı) gömülü temelin oturmasını azaltır. Modül I_f = 1 alır: düzeltme yok, **güvenli tarafta**.

NOT

Gerçek temel esnek ile rijit arasındadır. Modül iki uç değeri verir; ara rijitlik ve zemin–yapı etkileşimi kapsam dışıdır.

Soru

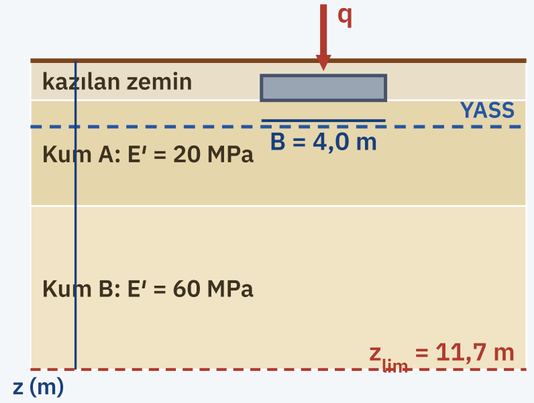
SORU

Verilenler

Profil	**Örnek 7: A tabakası (4 m) ve B tabakası; z'_{lim} = 10,19 m**
Temel	**esnek, 4 × 6 m**
Köşe	**α = 1, B′ = B = 4 m ⇒ m′ = L/B = 1,5; n′ = z′/4**

İSTENEN

Köşe oturması, **rijit** temel oturması ve esnek temelin **diferansiyel** oturması.



Çözüm

ÇÖZÜM

1 Köşe için $4 \cdot I_s$ değerleri ($n' = z'/4$)

$$z' = 4\ (n' = 1):\ 4\,I_s = 0{,}7565$$

$$z'_{lim} = 10{,}19\ (n' = 2{,}547):\ 4\,I_s = 1{,}5865$$

2 Köşe oturması

$$S_{köşe} = k_A(0{,}7565) + k_B(1{,}5865 - 0{,}7565) = 5{,}2 + 1{,}9 = \mathbf{7{,}2\ mm}$$

3 Rijit ve diferansiyel

$$S_{rijit} = 0{,}93(22{,}3) = \mathbf{20{,}7\ mm} \qquad S_{diff} = 22{,}3 - 7{,}2 = \mathbf{15{,}2\ mm}$$

Merkez 22,3, köşe 7,2, rijit 20,7 mm; esnek temelin diferansiyel oturması **15,2 mm**. Köşe, merkezin yalnızca %32'i kadar oturur.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Soru

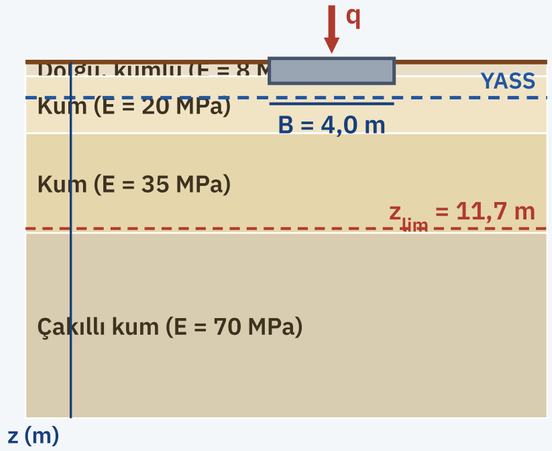
SORU

Verilenler

Temel	**B × L = 4 × 6 m, q_{gross} = 180 kPa, kazı derinliği 1,5 m, YASS 2,5 m**
Profil	**Dolgu, kumlu 0–1 m: E′ = 8 MPa; Kum 1–5 m: E′ = 20 MPa; Kum 5–12 m: E′ = 35 MPa; Çakıllı kum 12–25 m: E′ = 70 MPa**
Hesap derinliği	**etki derinliği, p = %10**

İSTENEN

Tabaka tabaka **merkez** ve **köşe** oturması; esnek merkez, köşe, rijit ve diferansiyel oturma.



Çözüm (1/2)

ÇÖZÜM

1 Net basınç (kazı tabanı 1,5 m)

$$\sigma'_{v0}(1{,}5) = 27{,}25\ \text{kPa} \quad \Rightarrow \quad q_{net} = 180 - 27{,}25 = \mathbf{152{,}75}\ \text{kPa}$$

2 Hesap derinliği ve tabakalar

$$z_{lim} = 1{,}5 + 10{,}19 = \mathbf{11{,}69}\ \text{m} \qquad \text{kazı tabanının üstündeki tabaka çıkarılır}$$

Kazı tabanı (1,5 m) Kum tabakasının içindedir: tabakaların yalnızca 1,5 m'nin altındaki kısmı sayılır. z_{lim} = 11,69 m, Kum tabakasının içinde kaldığından o tabaka kesilir.

Çözüm (2/2)

ÇÖZÜM

Tabaka	z (m)	H (m)	E (MPa)	k (×10⁻³)	ΔS merkez (mm)	ΔS köşe (mm)
Kum (SM, gevşek–orta sıkı)	1,50 – 5,00	3,50	20	6,950	17,3	4,6
Kum (SM, orta sıkı)	5,00 – 11,69	6,69	35	3,972	6,8	3,7
Toplam					**24,1**	**8,3**

Merkez **24,1 mm**, köşe 8,3 mm, rijit 22,4 mm, diferansiyel 15,8 mm. Modül aynı değerleri verir.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Sonuçları okurken akılda tutulacaklar

KURAM

Varsayımlar:

- Temel seviyesi = kazı tabanı; tam esnek temelde düzgün basınç.
- Her tabakada **homojen yarı uzayın** gerilmeleri (o tabakanın v'sıyla).
- Her tabaka granülerdir ve **drenajlı** oturur (E′, v′).
- Gömülme düzeltmesi yok; rijit temel ≈ 0,93 × esnek merkez.
- İşaret: oturma **pozitif**; başlıktaki seçici, oturmanın yukarı pozitif olduğu gösterime geçer.

Kapsam dışı: kil tabakalar; Schmertmann, SPT/CPT abakları, derinlikle artan modül, temel rijitliği ve zemin–yapı etkileşimi, sonlu elemanlar.

RENK ALANLARI

Kesit görünümleri gerilme artışını, modülü, şekil değiştirmeyi ve S(z) oturmasını renk bantlarıyla gösterir; temel seviyesindeki merkez değeri sonuçtaki oturmadır.

Özet

Akılda kalacak noktalar

Hooke: $\varepsilon_z = [\Delta\sigma_z - \nu(\Delta\sigma_x + \Delta\sigma_y)]/E$; $\mathbf{S = \int \varepsilon_z\, dz}$; E ile ters orantılı

Steinbrenner: $S = q_{net}\, \alpha\, B'\, (1 - \nu^2)/E \cdot I_s$; $I_s = F_1 + (1 - 2\nu)/(1 - \nu)\, F_2$; merkez $\alpha = 4$, $B' = B/2$; köşe $\alpha = 1$, $B' = B$

Kum: $E'/p_a = \alpha\, N_{60}$ ($\alpha = 5, 10, 15$), $\nu' \approx 0{,}25$–$0{,}35$; ν' arttıkça oturma azalır

Tabakalı: $\Delta S = q_{net}\, \alpha\, B'\, (1 - \nu^2)/E \cdot [I_s(z_{alt}) - I_s(z_{üst})]$; dilim kalınlığına bağlı değil

Net basınç $q_{net} = q_{gross} - \sigma'_{v0}(D_{exc})$; **hesap derinliği** $I(z') = p$ (kare 2,09 B, L = 1,5 B için 2,55 B, şerit 6,34 B)

Esnek: merkez > köşe (diferansiyel oturma); **rijit** ≈ 0,93 × merkez; gömülme düzeltmesi yok ($I_f = 1$)

Kaynaklar

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

Steinbrenner, W. (1934). Tafeln zur Setzungsberechnung. Die Strasse, 1, 121–124.

Fox, E.N. (1948). The mean elastic settlement of a uniformly loaded area at a depth below the ground surface. Proc. 2nd ICSMFE, Rotterdam, 1, 129–132.

Bowles, J.E. (1996). Foundation Analysis and Design, 5th ed. McGraw-Hill.

Duncan, J.M. & Buchignani, A.L. (1976). An engineering manual for settlement studies. University of California, Berkeley.

Kulhawy, F.H. & Mayne, P.W. (1990). Manual on Estimating Soil Properties for Foundation Design. EPRI EL-6800.

NOT

Sayısal örneklerin tümü modülün kendi hesap motoruyla üretilmiştir, modül aynı değerleri verir.

GeoTerva

Çevrim içi geoteknik hesaplar

Teoriden uygulamaya

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

Modülü açın →

Teori sayfası →

Telefonla açın
Örnek modüller kayıt gerektirmez.