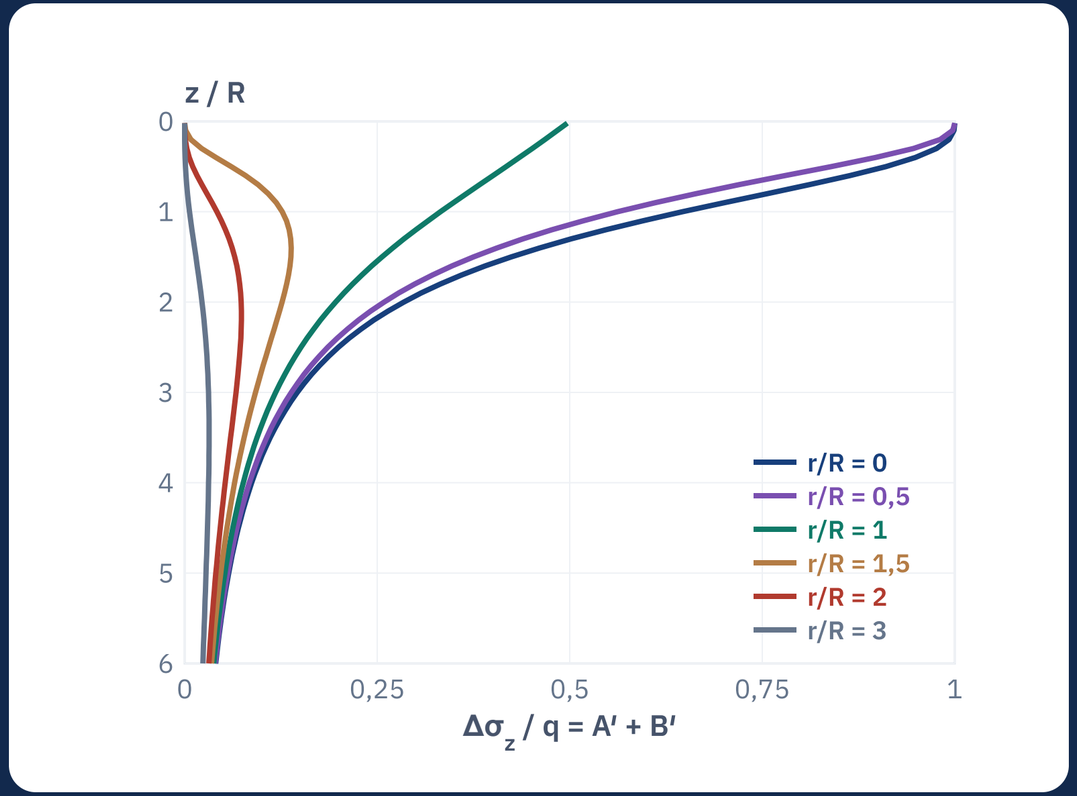
Geoteknik ders sunumu · Zemin kütlesinde gerilmeler

Dairesel yük altındaki gerilme

Ders anlatımı: dairesel yük altında düşey gerilme; eksende kapalı ifade, eksen dışında A′ + B′; elle çözülen örnekler.

Eksen üzerinde | A′ + B′ | Kutupsal integral | Yükün dışında | Çok daire



Giriş

Bu derste neler öğreneceğiz?

- Düzgün yayılı yüklü **dairesel alanın** (tank, silo, dairesel temel) altında düşey gerilme artışını: **$\Delta\sigma_z$**
- **Dairenin ekseni üzerinde** kapalı ifade: $\Delta\sigma_z = q\{1 - 1/[(R/z)^2 + 1]^{3/2}\}$
- Eksen dışında, kenarın altında ve yanında: **$\Delta\sigma_z = q\,(A' + B')$**; $A' + B'$ yalnız z/R ve r/R'ye bağlıdır
- Boussinesq integralinin **A noktasındaki kutupsal koordinatlarda** alınışını: ρ integrali kapalı, φ integrali sayısal
- Yükün dışında gerilmenin **önce artıp sonra azaldığını**; birden çok dairenin gerilmelerinin **toplandığını**

DERS AKIŞI

Her konu **üç adımda** işlenir:

1 · **Kuram**: formül ve gerekçesi

2 · **Soru**: verilenler ve istenen

3 · **Çözüm**: adım adım, sayılarla

Örnek daire: R = 3 m, q = 100 kN/m²; A noktası dairenin ekseninden r = 4,5 m uzakta, z = 3 m derinde (yükün dışında).

Düzgün yayılı yüklü daire

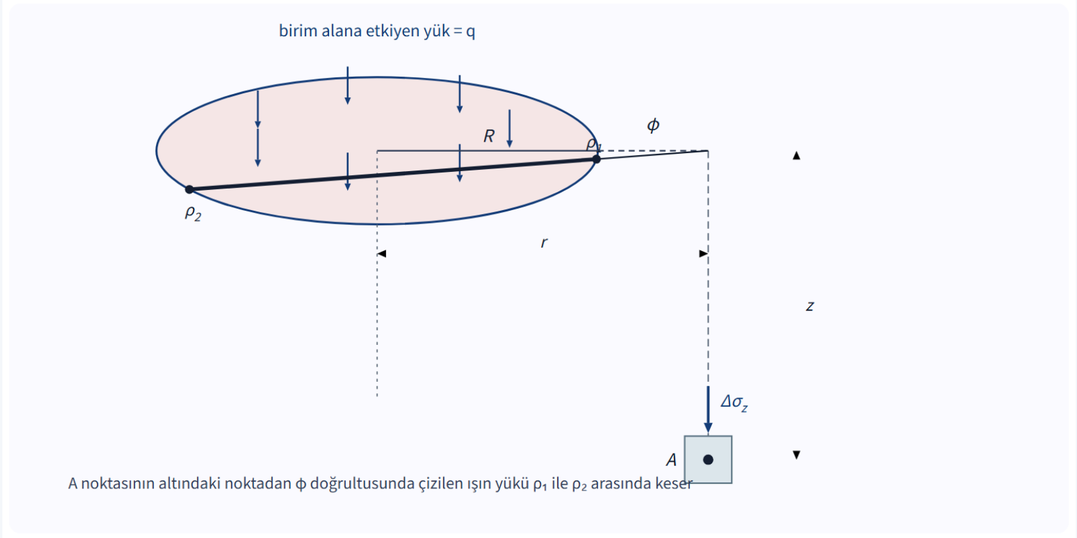
KURAM

Düzgün yayılı **q** basıncı taşıyan, **R** yarıçaplı **esnek dairesel alan** (tank, silo, dairesel temel)

Zemin **homojen, izotrop ve doğrusal elastik** yarı sonsuz ortamdır; $\Delta\sigma_z$ yalnız yükün oluşturduğu artıştır

Problem **eksenel simetriktir**: gerilme yalnız merkezden yatay uzaklığa **r** ve derinliğe **z** bağlıdır, doğrultuya değil

Merkezin altında (r = 0) **kapalı ifade** vardır; eksen dışında, kenarın altında ve yanında Ahlvin ve Ulery (1962) integrali hesaplayıp **A′ ve B′** olarak tablolamıştır



Dairenin merkezinin altında: kapalı çözüm

KURAM

$$\Delta\sigma_z = q\left\{1 - \frac{1}{\left[(R/z)^2 + 1\right]^{3/2}}\right\}$$

Yüzeyde ($z \to 0$) $\Delta\sigma_z = q$; derinlikle **tek yönde azalır** ve çok derinde sıfıra gider

Gerilme yalnız **R/z** oranına bağlıdır: aynı z/R için büyük ve küçük daire aynı $\Delta\sigma_z/q$ değerini verir

ETKİ DERİNLİĞİ

$\Delta\sigma_z/q$	z/R
0,50	1,30
0,20	2,50
0,10	3,71
0,05	5,36

Gerilme, derinlik 3,7R olunca yüzeydeki değerin yalnızca onda birine iner.

$\Delta\sigma_z = q\,(A' + B')$

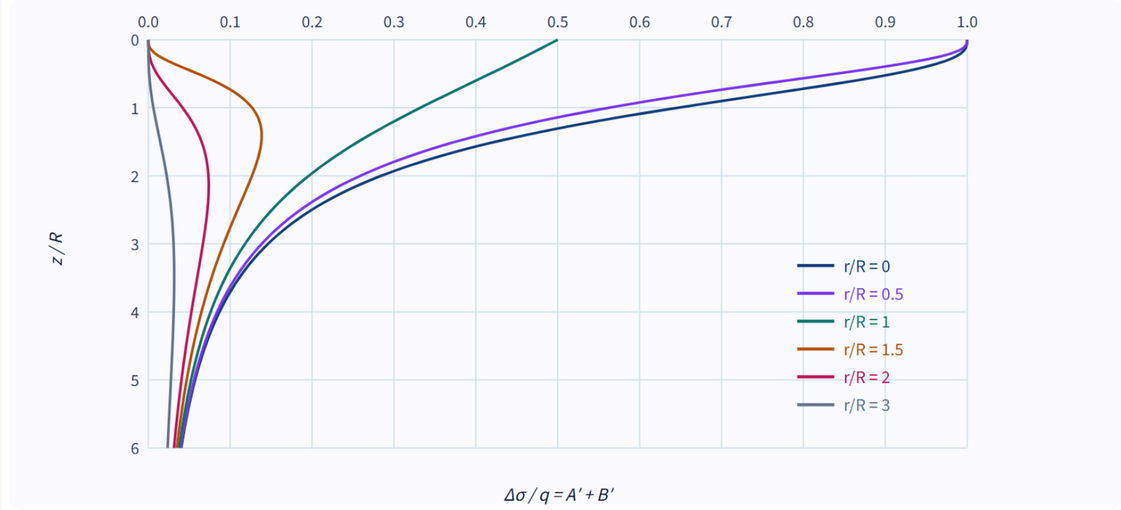
KURAM

$$\Delta\sigma_z = q\,(A' + B')$$

A′ ve B′, **z/R** ve **r/R** oranlarına bağlı iki kısımdır; integralin ayrışmasından doğar, $\Delta\sigma_z$ için yalnız **toplamları** gerekir

Eksende (r = 0) toplam kapalı ifadeye iner; **kenarın altında** (r/R = 1) yüzeyde 0,5'ten başlar

Yükün yanında değer sıfırdan başlar, önce artar, sonra azalır



Noktaya göre kutupsal integral

KURAM

Tablolar arasında enterpolasyon yapılmaz: Boussinesq çözümü A noktasının altındaki noktayı merkez alan **ρ, φ** kutupsal koordinatlarında doğrudan daire üzerinde integre edilir

Her φ doğrultusunda ışın yüklü daireyi **ρ_1** ile **ρ_2** arasında keser (A yükün altındaysa $\rho_1 = 0$); yük elemanı q ρ dρ dφ'dir

$$d\sigma_z = \frac{3q}{2\pi}\,\frac{z^3\,\rho}{(\rho^2+z^2)^{5/2}}\,d\rho\,d\varphi$$

$$\int_{\rho_1}^{\rho_2}\frac{3z^3\rho\,d\rho}{(\rho^2+z^2)^{5/2}} = \frac{z^3}{(\rho_1^2+z^2)^{3/2}} - \frac{z^3}{(\rho_2^2+z^2)^{3/2}}$$

A′ + B′ ve sayısal toplam

KURAM

$$A' + B' = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \left[\frac{z^3}{(\rho_1^2 + z^2)^{3/2}} - \frac{z^3}{(\rho_2^2 + z^2)^{3/2}} \right] d\varphi$$

$$\rho_{1,2} = -r \cos\varphi \mp \sqrt{R^2 - r^2 \sin^2\varphi}$$

Kalan φ integralinin integrandı süreklidir ve **2880 doğrultu** üzerinden sayısal toplanır; r = 0'da $\rho_1 = 0$, $\rho_2 = R$ olur ve ifade **kapalı çözüme** döner

A′ + B′ DEĞERLERİ

z/R	r/R	A′ + B′
1,0	1,0	0,33224
1,0	1,5	0,12664
2,0	0,4	0,26781
2,0	2,0	0,07334
0,5	0,8	0,64625
4,0	1,5	0,06487

Süperpozisyon

KURAM

Her daire kendi **q, R** ve zemin yüzeyindeki merkezi (x_L, y_L) ile tanımlanır (modülde en çok sekiz daire)

İki daire birbirine **değebilir ancak örtüşemez**: merkezler arası uzaklık en az $R_1 + R_2$

Zemin elastik olduğundan her dairenin gerilmesi, A noktasının **o dairenin merkezine olan kendi r uzaklığıyla** bulunur ve gerilmeler toplanır

$$\Delta\sigma_z = \sum_k q_k \left(A' + B'\right)_k \qquad r_k = \sqrt{(x - x_{L,k})^2 + (y - y_{L,k})^2}$$

Soru

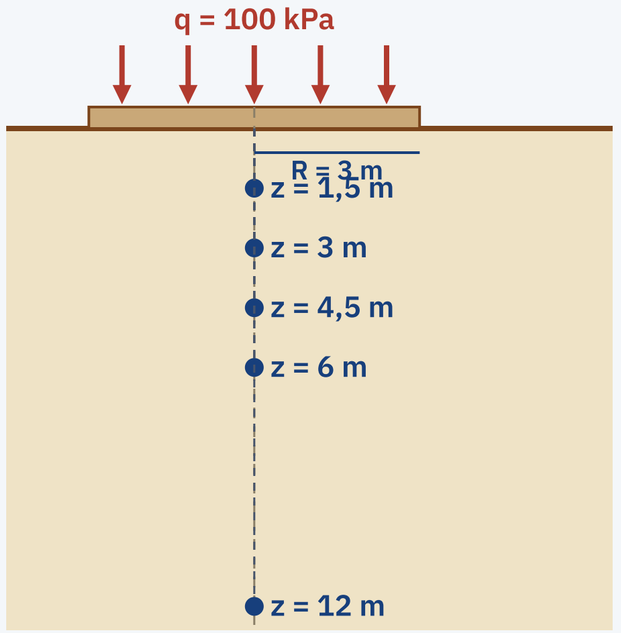
SORU

İSTENEN

Kapalı ifadeyle **$\Delta\sigma_z$** (önce z = 1,5 m ayrıntılı), **A′ + B′**; $\Delta\sigma_z$ = 0,10 q olduğu derinlik.

Verilenler

Daire	**esnek, $R = 3$ m, $q = 100$ kN/m²**
Noktalar	**dairenin ekseni üzerinde ($r = 0$): $z = 1{,}5;\ 3;\ 4{,}5;\ 6;\ 12$ m**



Çözüm (1/3)

ÇÖZÜM

1 Oranlar

$$R/z = 3/1{,}5 = 2 \qquad (R/z)^2 + 1 = 4 + 1 = \mathbf{5}$$

2 Üs ve ters değer

$$5^{3/2} = 11{,}1803 \qquad 1/11{,}1803 = 0{,}08944$$

3 Düşey gerilme

$$\Delta\sigma_z = q\,(1 - 0{,}08944) = 100\,(0{,}91056) = \mathbf{91{,}06}\ \mathrm{kPa}$$

z = 1,5 m derinde **A′ + B′ = 0,91056** ve **$\Delta\sigma_z$ = 91,06 kPa**: yüzeydeki yükün %91,1'i iner.

Çözüm (2/3)

ÇÖZÜM

z (m)	z/R	$(R/z)^2 + 1$	$[\ldots]^{3/2}$	$1 - 1/[\ldots]^{3/2}$	$\Delta\sigma_z$ (kPa)
1,5	0,50	5,000	11,1803	0,91056	**91,06**
3,0	1,00	2,000	2,8284	0,64645	**64,64**
4,5	1,50	1,444	1,7360	0,42397	**42,40**
6,0	2,00	1,250	1,3975	0,28446	**28,45**
12,0	4,00	1,062	1,0952	0,08692	**8,69**

Eksende gerilme tek yönde azalır: **91,1 → 8,7 kPa** (z = 1,5 m → 12 m). z = 1,5 m satırı elle çözülen hesaptır; her satır aynı ifadeyle bulunur. z = 3 m'de gerilme yüzeydeki yükün yaklaşık %65'ü, z = 12 m'de %9'idir.

Çözüm (3/3)

ÇÖZÜM

4 $\Delta\sigma_z$ = 0,10 q olduğu derinlik

$$\left[(R/z)^2+1\right]^{3/2} = 1/0{,}90 \;\Rightarrow\; (R/z)^2 = 1{,}0728 - 1 = 0{,}0728$$

$$z/R = 1/\sqrt{0{,}0728} = \mathbf{3{,}707} \;\Rightarrow\; z = 3\,(3{,}707) = \mathbf{11{,}12}\ \mathrm{m}$$

$\Delta\sigma_z$ = 0,10 q olduğu derinlik **11,12 m** (z/R = 3,707): bu derinlikte eksendeki gerilme yüzeydeki yükün onda birine inmiştir. Yarı değer (0,50 q) z/R = 1,305'te, yani 3,91 m'dedir.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Soru

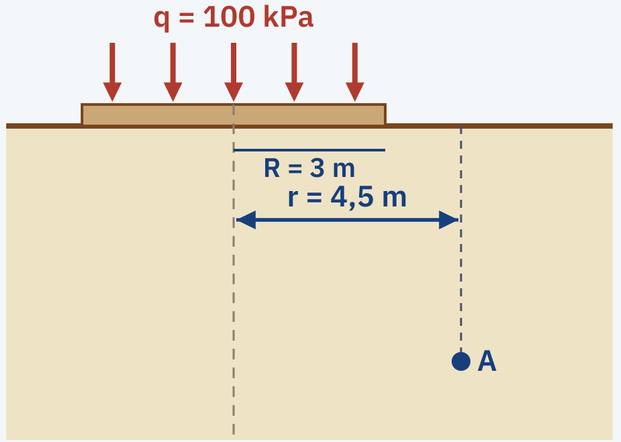
SORU

Verilenler

Daire	**esnek, $R = 3$ m, $q = 100$ kN/m²**
Nokta A	**merkezden $r = 4{,}5$ m ($r/R = 1{,}5$; yükün dışında), $z = 3$ m ($z/R = 1$)**
Yöntem	**kutupsal integral: önce elle, $N = 36$ doğrultu; sonra modülün 2880 doğrultusu**

İSTENEN

A′ + B′ ve **$\Delta\sigma_z$**; doğrultu sayısının sonuca etkisi.



Çözüm (1/3)

ÇÖZÜM

1 Işının daireyi kestiği uzaklıklar

$$\rho_{1,2} = -r\cos\varphi \mp \sqrt{R^2 - r^2\sin^2\varphi} = -4{,}5\cos\varphi \mp \sqrt{9 - 20{,}25\sin^2\varphi}$$

2 Hangi doğrultularda ışın daireye çarpar?

$$R^2 - r^2\sin^2\varphi \geq 0 \;\Rightarrow\; |\sin\varphi| \leq R/r = 0{,}6667 \;\text{ ve }\; \rho > 0 \;\Rightarrow\; \cos\varphi < 0$$

A daire dışında olduğu için yalnız daireye bakan doğrultular katkı verir: **138,19° < φ < 221,81°**.

Işın daireye ancak **138,19° < φ < 221,81°** aralığında çarpar. **N = 36** doğrultu alınırsa φ_i = 5°, 15°, 25°, … olur; bunlardan yalnız **8**'i bu aralıktadır: 145°, 155°, 165°, 175° ve simetrikleri 185°, 195°, 205°, 215°.

Çözüm (2/3)

ÇÖZÜM

3 Bir ışının katkısı ve ortalama

$$F(\rho) = \frac{z^3}{(\rho^2 + z^2)^{3/2}} = \frac{27}{(\rho^2 + 9)^{3/2}} \qquad g(\varphi) = F(\rho_1) - F(\rho_2)$$

$$A' + B' = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} g(\varphi_i) \qquad \varphi_i = \left(i - \tfrac{1}{2}\right) \frac{360^\circ}{N}$$

φ (°)	cos φ	$R^2 - r^2 \sin^2\varphi$	ρ_1	ρ_2	$F(\rho_1)$	$F(\rho_2)$	$g = F(\rho_1) - F(\rho_2)$
145	−0,8192	2,3380	2,1571	5,2152	0,5352	0,1240	**0,4112**
155	−0,9063	5,3832	1,7582	6,3986	0,6422	0,0765	**0,5657**
165	−0,9659	7,6435	1,5820	7,1114	0,6921	0,0587	**0,6334**
175	−0,9962	8,8462	1,5086	7,4571	0,7131	0,0520	**0,6611**

185°, 195°, 205°, 215° ışınları, 175°, 165°, 155°, 145°'nin simetrikleridir: aynı g değerlerini verir. g(145°) = 0,4112 ve g(175°) = 0,6611.

Çözüm (3/3)

ÇÖZÜM

4 Toplam (N = 36)

$$\sum g = 2\,(0{,}4112 + 0{,}5657 + 0{,}6334 + 0{,}6611) = 4{,}5427$$

$$A' + B' \approx \frac{4{,}5427}{36} = 0{,}12619 \quad \Rightarrow \quad \Delta\sigma_z \approx 100\,(0{,}12619) = \mathbf{12{,}62}\ \mathrm{kPa}$$

5 Doğrultu sayısı arttıkça sonuç yakınsar

N	6	12	24	36	72	180	720	2880
$\Delta\sigma_z$ (kPa)	16,856	10,556	13,200	12,619	12,541	12,688	12,667	12,664

Modül **2880 doğrultu** kullanır: **A′ + B′ = 0,12664**, **Δσ$_z$ = 12,664 kPa**. Aynı nokta için tablolanan değer 0,12663; 36 doğrultudaki elle sonuç (12,62) bundan yalnızca %0,4 farklıdır.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Soru

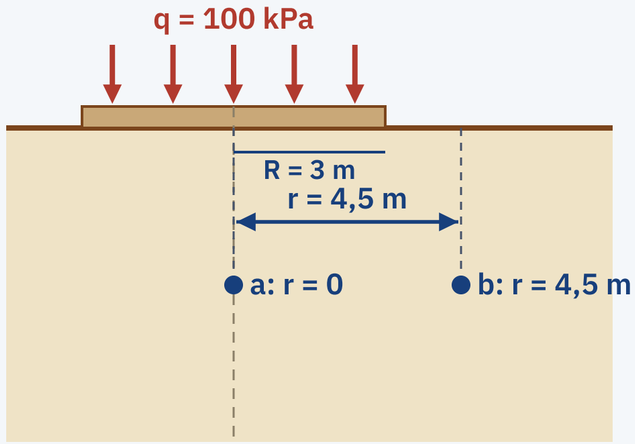
SORU

İSTENEN

Her iki hatta **$\Delta\sigma_z$**; (b) hattında **en büyük gerilme** ve derinliği.

Verilenler

Daire	**esnek,** $R = 3$ **m,** $q = 100$ **kN/m²**
Noktalar	**(a) eksen,** $r = 0$**; (b)** $r = 4{,}5$ **m** $(r/R = 1{,}5)$
Derinlikler	$z = 1{,}5;\ 3;\ 4{,}5;\ 6;\ 12$ **m**



Çözüm (1/3)

ÇÖZÜM

z (m)	z/R	(a) A′ + B′	(a) $\Delta\sigma_z$ (kPa)	(b) A′ + B′	(b) $\Delta\sigma_z$ (kPa)
1,5	0,50	0,91056	91,06	0,06044	**6,04**
3,0	1,00	0,64645	64,64	0,12664	**12,66**
4,5	1,50	0,42397	42,40	0,13793	**13,79**
6,0	2,00	0,28446	28,45	0,12646	**12,65**
12,0	4,00	0,08692	8,69	0,06487	**6,49**

Eksen: 91,1 → 8,7 kPa, tek yönde azalır. **Yükün dışında (r = 4,5 m):** 6,04 → 13,79 → 6,49 kPa; önce **artar**, sonra azalır: yük derinlikle yanlara doğru yayılır.

Her satır 2880 doğrultulu A′ + B′ değeridir; (b) sütunundaki z = 3 m satırı Örnek 2'nin sonucudur.

Çözüm (2/3)

ÇÖZÜM

1 r/R = 1,5 hattında A′ + B′, derinliğe göre

z/R	z (m)	A′ + B′	$\Delta\sigma_z$ (kPa)
1,00	3,00	0,12664	**12,66**
1,20	3,60	0,13569	**13,57**
1,41	4,23	0,13833	**13,83**
1,60	4,80	0,13670	**13,67**
1,80	5,40	0,13238	**13,24**
2,00	6,00	0,12646	**12,65**

r/R = 1,5 hattında **en büyük gerilme z ≈ 4,23 m** (z/R = 1,41) derinliğinde, **13,83 kPa**: yükün dışında gerilme derinlikte en büyük değerine ulaşıp sonra azalır.

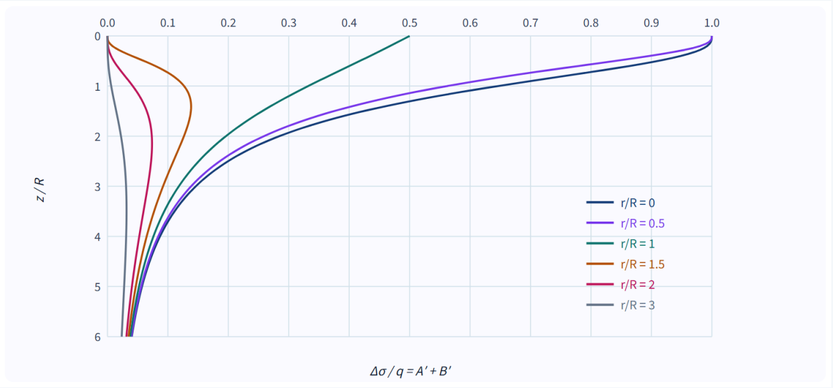
Çözüm (3/3)

ÇÖZÜM

2 Dışarıya doğru en büyük değer

r/R	en büyük A′ + B′	derinlik z/R
1,5	0,1383	1,41
2,0	0,0737	2,15
3,0	0,0317	3,48

Nokta daireden uzaklaştıkça en büyük gerilme **daha derinde ve daha küçüktür**: r/R = 1,5 için z/R = 1,41, r/R = 3 için z/R = 3,48.



Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Soru

SORU

Verilenler

Tablo	$A' + B'$ **değerleri:** $z/R = 0{,}25$ **…** 6**;** $r/R = 0$ **…** 3
Başka daire	$R = 5$ **m,** $q = 120$ **kN/m²; nokta** $r = 7{,}5$ **m,** $z = 5$ **m**

İSTENEN

A′ + B′ tablosu; ikinci dairede **Δσ$_z$** (tablodan) ve doğrudan hesapla.

Çözüm (1/2)

ÇÖZÜM

z/R \ r/R	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0
0,25	0,9857	0,9658	0,4596	0,0142	0,0016	0,0001
0,50	0,9106	0,8396	0,4175	0,0604	0,0105	0,0010
1,00	0,6464	0,5622	0,3322	0,1266	0,0418	0,0062
1,50	0,4240	0,3750	0,2562	0,1379	0,0650	0,0146
2,00	0,2845	0,2589	0,1960	0,1265	0,0733	0,0225
3,00	0,1462	0,1384	0,1181	0,0919	0,0666	0,0309
4,00	0,0869	0,0840	0,0761	0,0649	0,0526	0,0311
6,00	0,0403	0,0396	0,0377	0,0349	0,0314	0,0236

r/R = 0 sütunu kapalı çözümdür; **r/R = 1**'de değer yüzeye yaklaşırken 0,5'e gider (z/R = 0,25'te 0,4596); **r/R ≥ 1,5** sütunlarında değer önce artar sonra azalır. Tablodaki her sayı bir 2880-doğrultulu integraldir.

Çözüm (2/2)

ÇÖZÜM

1 Oranlar

$$\frac{z}{R} = \frac{5}{5} = 1{,}0 \qquad \frac{r}{R} = \frac{7{,}5}{5} = 1{,}5$$

2 Tablodan katsayı ve gerilme

$$A' + B'\,(z/R = 1;\ r/R = 1{,}5) = 0{,}12664$$

$$\Delta\sigma_z = q\,(A' + B') = 120\,(0{,}12664) = \mathbf{15{,}20}\ \mathrm{kPa}$$

$\Delta\sigma_z/q$ yalnız **z/R** ve **r/R**'ye bağlıdır: R = 5 m dairede aynı oranlar, Örnek 2'deki R = 3 m dairenin katsayısını (**0,12664**) verir; gerilme yalnız q ile ölçeklenir (15,20 kPa).

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Soru

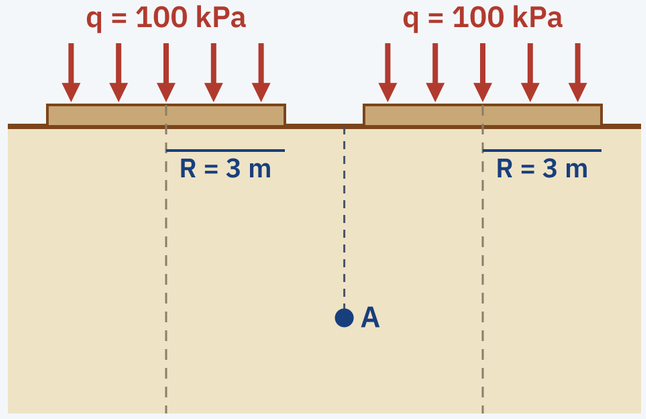
SORU

Verilenler

Daire 1	$R = 3$ m, $q = 100$ kN/m², merkez $x = 0$
Daire 2	$R = 3$ m, $q = 100$ kN/m², merkez $x = 8$ m
Nokta A	$x = 4{,}5$ m, $y = 0$; $z = 3$ m (ayrıca $1{,}5$; $4{,}5$; 6; 12 m)

İSTENEN

İki dairenin ayrı ayrı ve birlikte $\Delta\sigma_z$; derinlik profili.



Çözüm (1/2)

ÇÖZÜM

1 Örtüşme kontrolü (daireler örtüşmez; aralarında 2 m) ve uzaklıklar

$$d = 8\ \text{m} \ \geq R_1 + R_2 = 6\ \text{m}$$

$$r_1 = 4{,}5\ \text{m}\ (r_1/R = 1{,}5) \qquad r_2 = 8 - 4{,}5 = 3{,}5\ \text{m}\ (r_2/R = 1{,}1667)$$

2 Her dairenin etki katsayısı ve gerilmesi (z/R = 1)

$$A' + B'_{(1)} = 0{,}12664 \ \Rightarrow\ \Delta\sigma_{z(1)} = 100\,(0{,}12664) = 12{,}664\ \text{kPa}$$

$$A' + B'_{(2)} = 0{,}25049 \ \Rightarrow\ \Delta\sigma_{z(2)} = 100\,(0{,}25049) = 25{,}049\ \text{kPa}$$

3 Süperpozisyon

$$\Delta\sigma_z = \Delta\sigma_{z(1)} + \Delta\sigma_{z(2)} = 12{,}664 + 25{,}049 = \mathbf{37{,}714}\ \text{kPa}$$

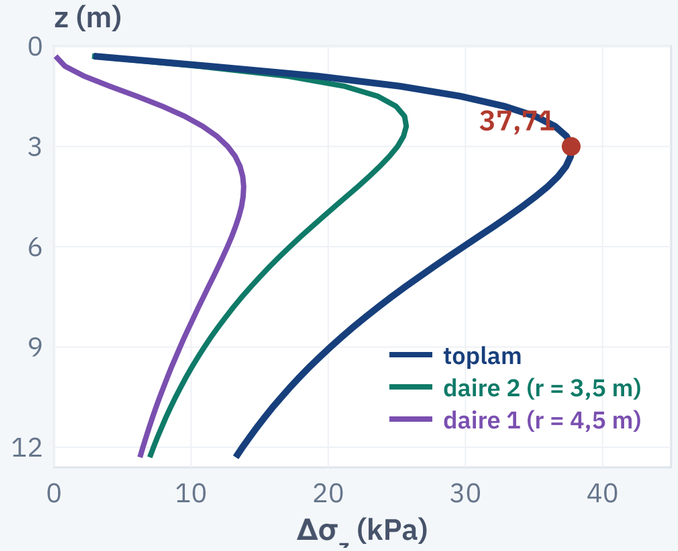
A, ikinci daireye daha yakındır (3,5 m ve 4,5 m): **daire 2 toplamın %66'ini** verir. Toplam $\Delta\sigma_z$ = **37,71 kPa**; tek dairenin değeri 12,66 kPa idi.

Çözüm (2/2)

ÇÖZÜM

z (m)	z/R	$r_1/R = 1,5$	$r_2/R = 1,167$	$\Delta\sigma_{z(1)}$	$\Delta\sigma_{z(2)}$	Toplam
1,5	0,50	0,06044	0,23608	6,04	23,61	**29,65**
3,0	1,00	0,12664	0,25049	12,66	25,05	**37,71**
4,5	1,50	0,13793	0,21324	13,79	21,32	**35,12**
6,0	2,00	0,12646	0,17204	12,65	17,20	**29,85**
12,0	4,00	0,06487	0,07258	6,49	7,26	**13,75**

Toplam gerilme z = 3 m'de **37,71 kPa**; daire 2'nin katkısı derinlikle azalırken daire 1'inki 4,5 m'ye kadar artar. Sonuç, her dairenin kendi r uzaklığıyla bulunan değerlerin toplamıdır.



Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Soru

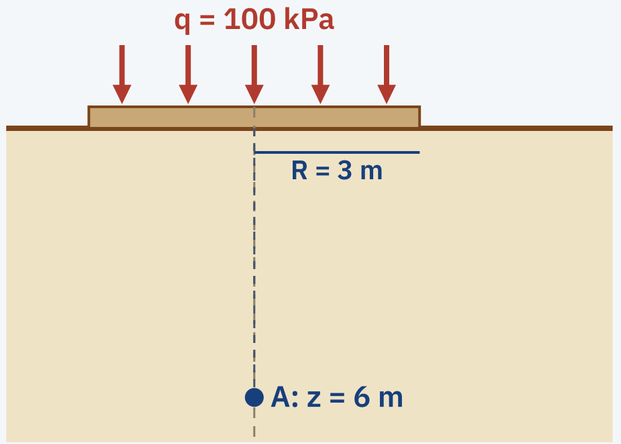
SORU

Verilenler

Daire	$R = 3$ m, $q = 100$ kN/m²; toplam yük $Q = q\pi R^2 = 2827{,}4$ kN
Tekil yük	aynı Q dairenin merkezinde: $\Delta\sigma_z = Q\, I_1/z^2$, $I_1 = \frac{3}{2\pi}\left[(r/z)^2 + 1\right]^{-5/2}$
Noktalar	eksende ($r = 0$) ve $r = 2R$'de; $z/R = 1;\ 2;\ 3;\ 5;\ 10$

İSTENEN

İki çözümün oranı; tekil yük yaklaşımı hangi derinlikten sonra kabul edilebilir?



Çözüm (1/2)

ÇÖZÜM

1 Toplam yük

$$Q = q\pi R^2 = 100\,\pi\,(3)^2 = \mathbf{2\,827{,}4}\ \mathrm{kN}$$

2 Tekil yük (Boussinesq), eksende r = 0

$$\Delta\sigma_z = \frac{Q}{z^2}\,\frac{3}{2\pi} = \frac{2\,827{,}4}{36}\,(0{,}4775) = \mathbf{37{,}50}\ \mathrm{kPa}$$

3 Daire (kapalı ifade, z = 6 m)

$$\Delta\sigma_z = 100\left(1 - \frac{1}{(0{,}25+1)^{3/2}}\right) = \mathbf{28{,}45}\ \mathrm{kPa}$$

z = 2R derinlikte tekil yük yaklaşımı gerilmeyi **1,318 kat** (%31,8) büyük verir: 37,5 kPa yerine 28,4 kPa.

Çözüm (2/2)

ÇÖZÜM

r/R	z/R	Daire $\Delta\sigma_z$ (kPa)	Tekil yük $\Delta\sigma_z$ (kPa)	Tekil / daire
0	1	64,645	150,000	**2,320**
0	2	28,446	37,500	**1,318**
0	3	14,619	16,667	**1,140**
0	5	5,713	6,000	**1,050**
0	10	1,481	1,500	**1,013**
2	1	4,181	2,683	**0,642**
2	2	7,334	6,629	**0,904**
2	3	6,663	6,647	**0,997**
2	5	4,048	4,140	**1,023**
2	10	1,346	1,360	**1,010**

Eksende z/R = 1'de tekil yük gerilmeyi **2,32 kat** abartır; z = 5R'de fark %5,0, z = 10R'de %1,3 kalır. r = 2R'de yaklaşım yüzeye yakın **eksik** (0,64), z ≥ 3R'de ise fark %3'ü aşmaz.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Özet

Akılda kalacak noktalar

Eksende: $\Delta\sigma_z = q\{1 - 1/[(R/z)^2 + 1]^{3/2}\}$; z = 1,5 m için 91,06 kPa (A′ + B′ = 0,91056); $\Delta\sigma_z$ = 0,10 q olduğu derinlik **3,71R** (11,12 m)

Genel nokta: $\Delta\sigma_z = q\,(A' + B')$; A′ + B′ yalnız z/R ve r/R'ye bağlıdır. **Örnek (r = 4,5 m; z = 3 m):** A′ + B′ = 0,12664, **$\Delta\sigma_z$ = 12,664 kPa**

Hesap: Boussinesq integrali A noktasındaki kutupsal koordinatlarda; ρ kapalı, φ sayısal (2880 doğrultu). Elle 36 doğrultuyla 12,62 kPa

Yükün dışında (r/R = 1,5) gerilme önce artar: en büyük değer z ≈ 4,23 m'de 13,83 kPa; kenarın altında yüzeyde 0,5 q

İki daire: gerilmeler her dairenin kendi r uzaklığıyla bulunup toplanır: 12,66 + 25,05 = 37,71 kPa. **Tekil yük** yaklaşımı yük yakınında hatalıdır (z = 2R'de ×1,32), z ≥ 5R'de uyar

Kaynaklar

Das, B.M. (2018). Principles of Geotechnical Engineering, 9th ed. Cengage Learning.

Ahlvin, R.G. and Ulery, H.H. (1962). Tabulated values for determining the complete pattern of stresses, strains, and deflections beneath a uniform circular load on a homogeneous half space. Highway Research Bulletin 342, 1–13.

NOT

Sayısal örneklerin tümü modülün kendi hesap motoruyla üretilmiştir; modül aynı değerleri verir. Modül, R = 3 m, q = 100 kN/m² dairesi ve A noktası (r = 4,5 m; z = 3 m) ile açılır.

GeoTerva

Çevrim içi geoteknik hesaplar

Teoriden uygulamaya

Dairelerinizi (q, R, merkez), A noktasını ve derinliği GeoTerva'da girin; modül A′ + B′′'yü, $\Delta\sigma_z$ değerini, eş gerilme eğrilerini, derinlik profilini, adım adım çözümü ve raporu birlikte verir.

Modülü açın →

Teori sayfası →

Telefonla açın
Örnek modüller kayıt gerektirmez.