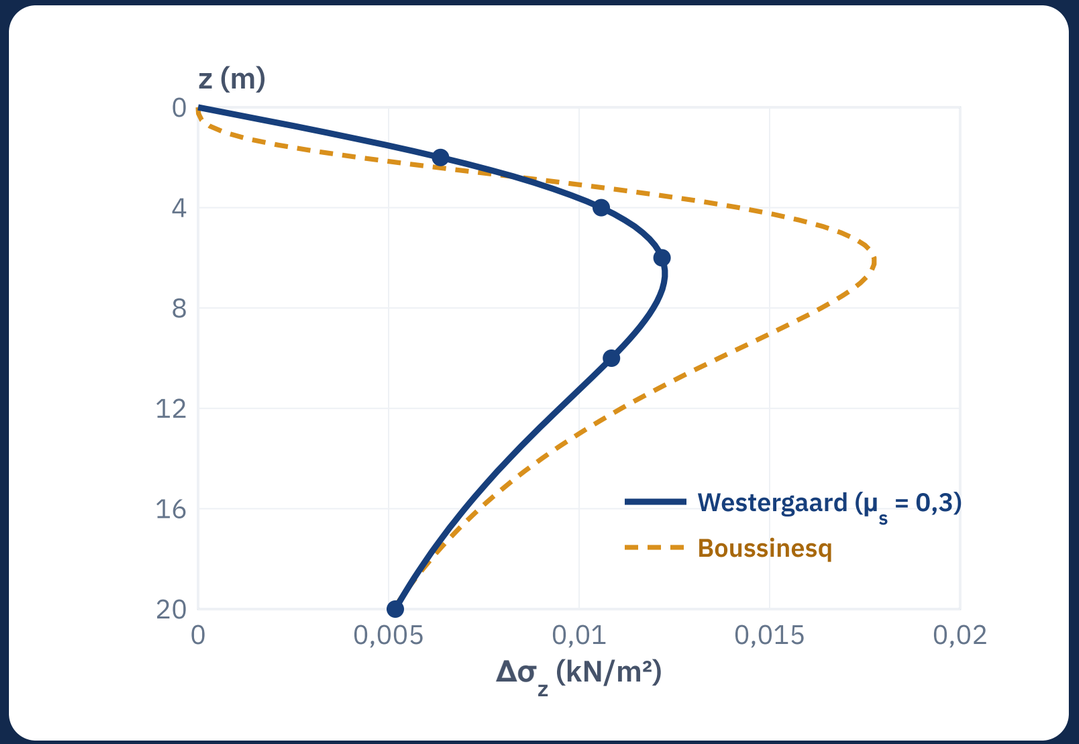
Geoteknik ders sunumu · Zemin kütlesinde gerilmeler

Westergaard: noktasal yük altındaki gerilme

Ders anlatımı: yanal şekil değiştirmesi rijit levhalarla sınırlı tabakalı zeminde noktasal yük altındaki gerilme; bir nokta uçtan uca elle çözülür.

- Westergaard ortamı
- η ve I_5
- μ_s etkisi
- Boussinesq karşılaştırması
- Süperpozisyon



Giriş

Bu derste neler öğreneceğiz?

- **Westergaard ortamını**: yanal şekil değiştirmeye izin vermeyen ince, rijit yatay levhalar içeren elastik zemin idealleştirmesi
- Tekil yük altında düşey gerilme artışını: **η**, **etki değeri I_5** ve **$\Delta\sigma_z = (P/z^2)\, I_5$**
- Westergaard gerilmesinin **Boussinesq** gerilmesinden nerede küçük, nerede büyük olduğunu; Poisson oranı **μ_s**'nin rolünü
- Derinlikle ve yatay uzaklıkla değişimi, en büyük gerilmenin derinliğini
- **Birden çok tekil yükün** süperpozisyonunu

DERS AKIŞI

Her konu **üç adımda** işlenir:

1 · **Kuram**: formül ve gerekçesi

2 · **Soru**: verilenler ve istenen

3 · **Çözüm**: adım adım, sayılarla

Örnek: P = 5 kN, A noktası yükten r = 5 m uzakta ve z = 4 m derinde; levhalar arasındaki zeminde μ_s = 0,3.

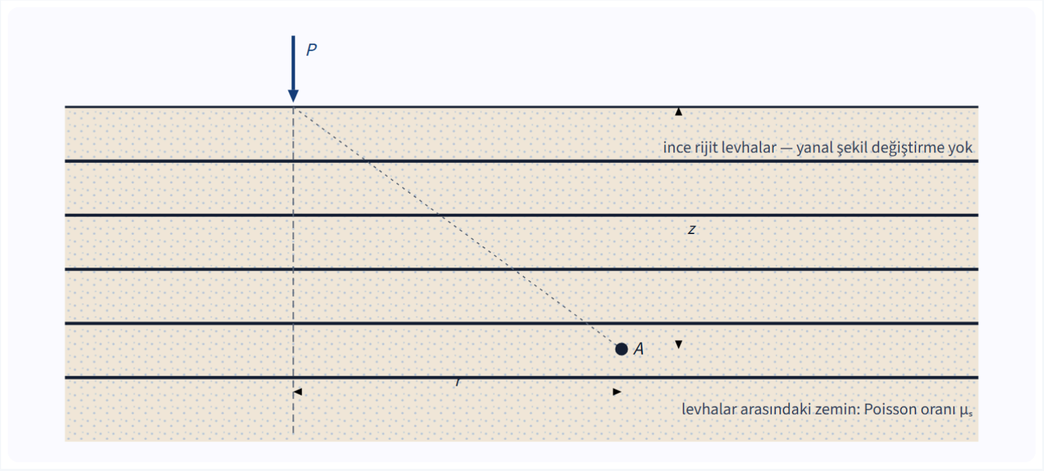
Rijit yatay levhalı zemin

KURAM

Boussinesq esaslı çözümler, **homojen ve izotrop** yarı ortam için tekil yük çözümünün integre edilmesine dayanır. Birçok zemin ise **tabakalıdır**

Örnek: ince kum damarları içeren ve yatay şekil değiştirmesi daha rijit tabakalarca sınırlanan bir kil

Westergaard (1938) bu zemini şöyle idealleştirdi: yanal şekil değiştirmeye izin vermeyen çok sayıda **ince, rijit yatay levha** içeren elastik ortam



Düşey gerilme artışı ve η

KURAM

Yüzeydeki **P** tekil yükünün, yatay uzaklığı **r** ve derinliği **z** olan A noktasında oluşturduğu düşey gerilme artışı; μ_s rijit levhalar arasındaki zeminin Poisson oranıdır, r = √(x² + y²)

Çözüm, Boussinesq I_1'de olduğu gibi bir **etki değeri** ile yeniden yazılır

$$\Delta\sigma_z = \frac{P\,\eta}{2\pi z^2}\left[\frac{1}{\eta^2 + (r/z)^2}\right]^{3/2}$$

$$\eta = \sqrt{\frac{1-2\mu_s}{2-2\mu_s}}$$

$\Delta\sigma_z = (P/z^2)\, I_5$

KURAM

Westergaard çözümü, Boussinesq'teki gibi **$\Delta\sigma_z = (P/z^2)\, I_5$** biçiminde yazılır; I_5 yalnız **$r/(\eta z)$** ve **η**'ya bağlıdır

Karşılaştırma için Boussinesq çözümü: $\Delta\sigma_z = (P/z^2)\, I_1$, I_1 yalnız r/z'ye bağlıdır (düşey gerilme Poisson oranından bağımsızdır)

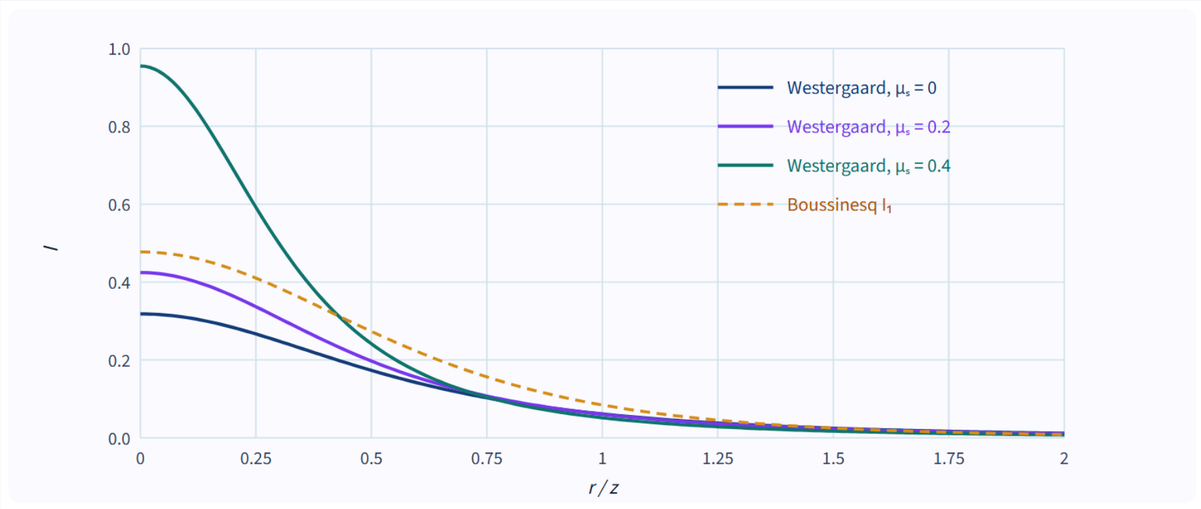
$$\Delta\sigma_z = \left(\frac{P}{z^2}\right) I_5 \qquad I_5 = \frac{1}{2\pi\eta^2}\left[\left(\frac{r}{\eta z}\right)^2 + 1\right]^{-3/2}$$

$$\text{Boussinesq:} \quad I_1 = \frac{3}{2\pi}\left[\left(\frac{r}{z}\right)^2 + 1\right]^{-5/2}$$

Etki değerinin r/z ile değişimi

KURAM

r/z	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1	1,5	2	3	5
$\mu_s = 0$	0,3183	0,3090	0,2836	0,2483	0,2099	0,1733	0,1411	0,0925	0,0613	0,0247	0,0118	0,0038	0,0009
$\mu_s = 0{,}2$	0,4244	0,4080	0,3646	0,3074	0,2491	0,1972	0,1547	0,0953	0,0604	0,0229	0,0107	0,0034	0,0008
$\mu_s = 0{,}4$	0,9549	0,8750	0,6916	0,4997	0,3480	0,2416	0,1700	0,0897	0,0516	0,0173	0,0076	0,0023	0,0005
Boussinesq I_1	0,4775	0,4657	0,4329	0,3849	0,3295	0,2733	0,2214	0,1386	0,0844	0,0251	0,0085	0,0015	0,0001



Yükün altında Westergaard ve Boussinesq

KURAM

Yükün altında (r = 0) Westergaard gerilmesi, **$\mu_s = 0$** için Boussinesq gerilmesinden **düşüktür**: $I_5 = 1/\pi = 0{,}3183$; Boussinesq için $I_1 = 3/2\pi = 0{,}4775$. Rijit levhalar yükü yanlara yayar

Yükün altında gerilme **μ_s arttıkça büyür**; **$\mu_s = 0{,}5$** değerinde $\eta = 0$ olur ve çözüm **geçerliliğini yitirir**. Modül μ_s'yi 0 ile 0,49 arasında kabul eder

μ_s	0,00	0,10	0,20	0,25	0,30	0,40	0,45	0,49
η	0,7071	0,6667	0,6124	0,5774	0,5345	0,4082	0,3015	0,1400
η^2	0,5000	0,4444	0,3750	0,3333	0,2857	0,1667	0,0909	0,0196
$I_5\ (r = 0) = 1/(2\pi\eta^2)$	0,3183	0,3581	0,4244	0,4775	0,5570	0,9549	1,7507	8,1169

Süperpozisyon

KURAM

Westergaard ortamı **elastik** olduğundan her yükün gerilmesi, A noktasına olan **kendi r uzaklığı** ile bulunur ve gerilmeler **toplanır**

Yükler zemin üzerinde kendi konumlarında bulunur; en fazla sekiz yük girilebilir ve hiçbir ikisi aynı konumda olamaz

Boussinesq karşılaştırma değeri de aynı biçimde toplanır

$$\Delta\sigma_z = \sum_k \frac{P_k}{z^2}\, I_{5,k} \qquad r_k = \sqrt{(x-x_k)^2 + (y-y_k)^2} \qquad I_{5,k} = I_5\left(\frac{r_k}{\eta z}\right)$$

Soru

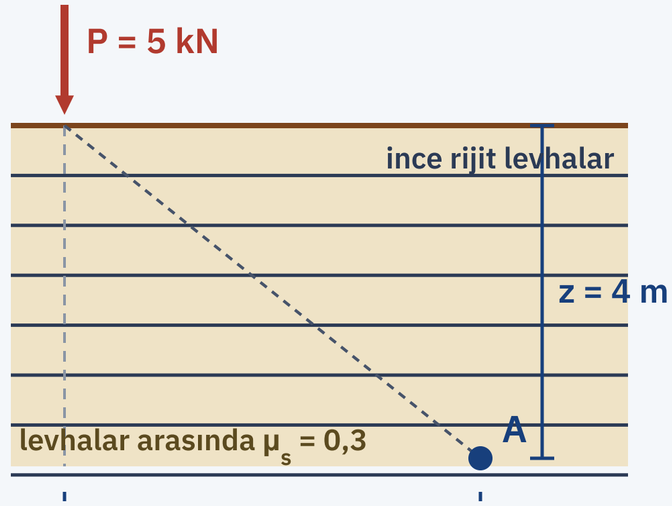
SORU

İSTENEN

η, **r/(ηz)**, etki değeri **I_5**, **$\Delta\sigma_z$** ve Boussinesq gerilmesiyle karşılaştırma.

Verilenler

Yük	**yüzeyde $P = 5$ kN, $(x_L;\, y_L) = (0;\, 0)$**
A noktası	**$x = 3$ m, $y = 4$ m, $z = 4$ m**
Zemin	**levhalar arasında $\mu_s = 0{,}3$**



Çözüm (1/3)

ÇÖZÜM

1 Westergaard sabiti η

$$\eta = \sqrt{\frac{1-2\mu_s}{2-2\mu_s}} = \sqrt{\frac{1-0{,}6}{2-0{,}6}} = \sqrt{0{,}2857} = \mathbf{0{,}5345}$$

2 Yatay uzaklık ve r/(ηz)

$$r = \sqrt{x^2+y^2} = \sqrt{3^2+4^2} = \mathbf{5{,}00\ \mathrm{m}}$$

$$\frac{r}{\eta z} = \frac{5}{0{,}5345\,(4)} = \mathbf{2{,}3385}$$

η = **0,5345** (η² = 0,2857). A noktası yükten **r = 5 m** uzakta; Boussinesq'te bu uzaklık r/z = 1,25 ile girerdi, Westergaard'da r/(ηz) = **2,3385** girer.

Çözüm (2/3)

ÇÖZÜM

3 Etki değeri I_5

$$I_5 = \frac{1}{2\pi\eta^2}\left[\left(\frac{r}{\eta z}\right)^2 + 1\right]^{-3/2} = \frac{1}{2\pi\,(0{,}2857)}\left[2{,}3385^2 + 1\right]^{-3/2}$$

$$= 0{,}5570 \times [6{,}4687]^{-3/2} = 0{,}5570 \times 0{,}06078 = \mathbf{0{,}03386}$$

4 Düşey gerilme artışı

$$\Delta\sigma_z = \frac{P}{z^2}\,I_5 = \frac{5}{4^2}\,(0{,}03386) = 0{,}3125 \times 0{,}03386 = \mathbf{0{,}01058}\ \mathrm{kN/m^2}$$

Yüzeydeki 5 kN'luk tekil yük, A noktasında Westergaard ortamında **$\Delta\sigma_z$ = 0,01058 kN/m²** artış oluşturur (I_5 = 0,03386).

Çözüm (3/3)

ÇÖZÜM

5 Denklemin ilk biçimiyle kontrol

$$\Delta\sigma_z = \frac{P\eta}{2\pi z^2}\left[\frac{1}{\eta^2+(r/z)^2}\right]^{3/2} = \frac{5\,(0{,}5345)}{2\pi\,(16)}\left[\frac{1}{0{,}2857+1{,}5625}\right]^{3/2} = \mathbf{0{,}01058}$$

6 Boussinesq (karşılaştırma)

$$I_1 = \frac{3}{2\pi}\left[\left(\frac{r}{z}\right)^2+1\right]^{-5/2} = \frac{3}{2\pi}\,[2{,}5625]^{-5/2} = \mathbf{0{,}04542}$$

$$\Delta\sigma_{z,B} = \frac{5}{4^2}\,(0{,}04542) = \mathbf{0{,}01419}\ \mathrm{kN/m^2} \qquad \frac{\Delta\sigma_z}{\Delta\sigma_{z,B}} = 0{,}745$$

İki yazım aynı sonucu verir. Bu noktada Westergaard gerilmesi Boussinesq'inkinin yaklaşık **%74,5**'i kadardır: rijit levhalar yükü yanlara yaydığından orta derinlikte gerilme daha küçüktür.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Soru

SORU

Verilenler

Yük ve nokta	$P = 5$ **kN; A noktası yükten** $r = 5$ **m uzakta;** $\mu_s = 0{,}3$
Derinlikler	$z = 2,\ 4,\ 6 \ldots 20$ **m (modülün profil tablosu)**

İSTENEN

Her derinlikte **r/(ηz)**, $\mathbf{I_5}$, Westergaard ve Boussinesq gerilmeleri; **en büyük gerilmenin derinliği**.

Çözüm (1/2)

ÇÖZÜM

z (m)	r/(ηz)	I_5	$\Delta\sigma_z$ Westergaard	$\Delta\sigma_z$ Boussinesq	Oran W/B
2	4,677	0,0051	**0,00636**	0,00422	1,509
4	2,339	0,0339	**0,01058**	0,01419	0,745
6	1,559	0,0877	**0,01218**	0,01774	0,686
8	1,169	0,1529	**0,01195**	0,01636	0,731
10	0,935	0,2170	**0,01085**	0,01367	0,794
12	0,780	0,2733	**0,00949**	0,01111	0,854
14	0,668	0,3202	**0,00817**	0,00902	0,905
16	0,585	0,3584	**0,00700**	0,00739	0,948
18	0,520	0,3892	**0,00601**	0,00612	0,982
20	0,468	0,4140	**0,00518**	0,00513	1,009

z = 2 m'de Westergaard gerilmesi daha büyüktür (0,00636 ve 0,00422); **orta derinliklerde daha küçüktür** (z = 6 m: 0,01218 ve 0,01774); **z = 20 m**'de iki çözüm birbirine yaklaşır (0,00518 ve 0,00513).

Çözüm (2/2)

ÇÖZÜM

1 z = 10 m için elle

$$\frac{r}{\eta z} = \frac{5}{0{,}5345\,(10)} = 0{,}9354$$

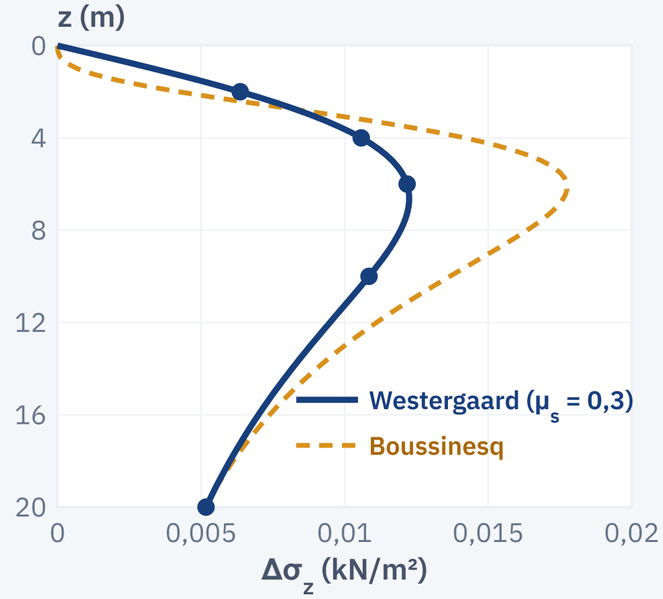
$$I_5 = 0{,}5570\,[1{,}8750]^{-3/2} = 0{,}2170$$

$$\Delta\sigma_z = \frac{5}{10^2}\,(0{,}2170) = \mathbf{0{,}01085}\ \mathrm{kN/m^2}$$

2 En büyük gerilmenin derinliği ($d\Delta\sigma_z/dz = 0$)

$$\Delta\sigma_z = \frac{P\eta}{2\pi}\,z\,(r^2 + \eta^2 z^2)^{-3/2}$$

$$z^* = \frac{r}{\sqrt{2}\,\eta} = \frac{5}{1{,}4142\,(0{,}5345)} = \mathbf{6{,}61}\ \mathrm{m}$$



En büyük gerilme: Westergaard **z = 6,61 m**'de (0,01225), Boussinesq (z* = r√1,5) **z = 6,12 m**'de (0,01775 kN/m²).

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Soru

SORU

Verilenler

Yük ve nokta	$P = 5$ **kN,** $r = 5$ **m,** $z = 4$ **m (Örnek 1'deki nokta)**
Değişen	$\mu_s = 0;\ 0{,}1;\ 0{,}2;\ 0{,}3;\ 0{,}4;\ 0{,}45;\ 0{,}49$

İSTENEN

Her μ_s için **η**, **r/(ηz)**, $\mathbf{I_5}$, $\mathbf{\Delta\sigma_z}$ ve Boussinesq'e oran.

Çözüm (1/3)

ÇÖZÜM

μ_s	η	$r/(\eta z)$	I_5	$\Delta\sigma_z$ (kN/m²)	$\Delta\sigma_z$ / Boussinesq
0,00	0,7071	1,768	0,03799	**0,01187**	0,836
0,10	0,6667	1,875	0,03732	**0,01166**	0,822
0,20	0,6124	2,041	0,03614	**0,01129**	0,796
0,30	0,5345	2,339	0,03386	**0,01058**	0,745
0,40	0,4082	3,062	0,02858	**0,00893**	0,629
0,45	0,3015	4,146	0,02257	**0,00705**	0,497
0,49	0,1400	8,927	0,01120	**0,00350**	0,247

Bu noktada (r/z = 1,25) **μ_s büyüdükçe Westergaard gerilmesi küçülür**: μ_s = 0'da 0,01187, μ_s = 0,49'da 0,00350 kN/m². Yük ekseninde ise tersi olur (Örnek 4): etkinin yönü noktanın konumuna bağlıdır.

Çözüm (2/3)

ÇÖZÜM

1 $\mu_s = 0$

$$\eta^2 = \frac{1}{2} = 0{,}5000\,, \quad \eta = 0{,}7071\,, \quad \frac{r}{\eta z} = \frac{5}{0{,}7071(4)} = 1{,}7678$$

$$I_5 = \frac{1}{\pi}\left[4{,}1250\right]^{-3/2} = 0{,}3183 \times 0{,}11936 = 0{,}03799$$

$$\Delta\sigma_z = \frac{5}{16}\,(0{,}03799) = \mathbf{0{,}01187}$$

Poisson oranı sıfır olduğunda η = 1/√2 = 0,7071 olur; bu noktada **$\Delta\sigma_z$ = 0,01187 kN/m²** bulunur (Boussinesq'in %83,6'i).

Çözüm (3/3)

ÇÖZÜM

2 μ_s = 0,4

$$\eta^2 = \frac{1-0{,}8}{2-0{,}8} = 0{,}1667\,, \quad \eta = 0{,}4082\,, \quad \frac{r}{\eta z} = \frac{5}{0{,}4082(4)} = 3{,}0619$$

$$I_5 = 0{,}9549\,[10{,}3750]^{-3/2} = 0{,}9549 \times 0{,}02992 = 0{,}02858$$

$$\Delta\sigma_z = \frac{5}{16}\,(0{,}02858) = \mathbf{0{,}00893}$$

Levhalar arasındaki zeminin Poisson oranı arttıkça η küçülür; r/(ηz) büyür ve bu noktada I_5 azalır: **0,01187 → 0,00893 kN/m²** (μ_s = 0 → 0,4).

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Soru

SORU

Verilenler

Yük	$P = 5$ **kN,** $\mu_s = 0{,}3$
Derinlik	$z = 4$ **m; yatay uzaklık** $r = 0,\ 1,\ 2 \ldots 10$ **m**
Soru	**yük ekseninde Westergaard ve Boussinesq gerilmeleri nasıl karşılaşır;** μ_s **kaç olursa iki çözüm eşit olur?**

İSTENEN

Yük altındaki **$\Delta\sigma_z$** (r = 0), μ_s = 0 için aynı değer ve **yatay profil tablosu**.

Çözüm (1/3)

ÇÖZÜM

1 $\mu_s = 0{,}3$ için r = 0

$$I_5(0) = \frac{1}{2\pi\eta^2} = \frac{1}{2\pi\,(0{,}2857)} = 0{,}5570 \qquad \Delta\sigma_z = \frac{5}{16}\,(0{,}5570) = \mathbf{0{,}1741}$$

$$\text{Boussinesq: } I_1(0) = \frac{3}{2\pi} = 0{,}4775 \;\Rightarrow\; \Delta\sigma_{z,B} = \frac{5}{16}\,(0{,}4775) = \mathbf{0{,}1492}$$

2 $\mu_s = 0$ için r = 0

$$I_5(0) = \frac{1}{\pi} = 0{,}3183 \;\Rightarrow\; \Delta\sigma_z = \frac{5}{16}\,(0{,}3183) = \mathbf{0{,}0995} \qquad \frac{\Delta\sigma_z}{\Delta\sigma_{z,B}} = \frac{1/\pi}{3/2\pi} = \frac{2}{3}$$

μ_s = 0: Westergaard, Boussinesq'in **2/3'üdür** (0,0995 ve 0,1492); **μ_s = 0,3**: ondan büyüktür (0,1741); iki çözüm **μ_s = 0,25**'te eşit olur.

Çözüm (2/3)

ÇÖZÜM

3 Eksende iki çözümün eşit olduğu μ_s

$$\frac{1}{2\pi\eta^2} = \frac{3}{2\pi} \Rightarrow \eta^2 = \frac{1}{3} = \frac{1-2\mu_s}{2-2\mu_s} \Rightarrow \mu_s = \mathbf{0{,}25}$$

4 Eksende oran: Westergaard / Boussinesq = $(1/2\pi\eta^2) / (3/2\pi) = 1/(3\eta^2)$

μ_s	0,00	0,10	0,20	0,25	0,30	0,40	0,45	0,49
η^2	0,5000	0,4444	0,3750	0,3333	0,2857	0,1667	0,0909	0,0196
$\Delta\sigma_z$ Westergaard / Boussinesq	0,667	0,750	0,889	1,000	1,167	2,000	3,667	17,000

Yük ekseninde oran μ_s ile hızla büyür: μ_s = 0'da 2/3, μ_s = 0,25'te 1, μ_s = 0,45'te 3,67; μ_s = 0,5'e yaklaşırken $\eta \to 0$ ve oran sınırsız artar.

Çözüm (3/3)

ÇÖZÜM

r (m)	r/z	r/(ηz)	I_5	$\Delta\sigma_z$ Westergaard	$\Delta\sigma_z$ Boussinesq	Oran W/B
0	0,00	0,000	0,5570	**0,17408**	0,14921	1,167
1	0,25	0,468	0,4140	**0,12938**	0,12822	1,009
2	0,50	0,935	0,2170	**0,06780**	0,08541	0,794
3	0,75	1,403	0,1089	**0,03403**	0,04889	0,696
4	1,00	1,871	0,0584	**0,01824**	0,02638	0,691
5	1,25	2,339	0,0339	**0,01058**	0,01419	0,745
6	1,50	2,806	0,0211	**0,00658**	0,00784	0,840
8	2,00	3,742	0,0096	**0,00300**	0,00267	1,123
10	2,50	4,677	0,0051	**0,00159**	0,00105	1,509

Westergaard gerilmesi eksende Boussinesq'in üstündedir; **r/z ≈ 0,26**'den sonra Boussinesq'in altına iner (r = 2 m: 0,06780 ve 0,08541) ve **r/z ≈ 1,81**'den (r ≈ 7,2 m) sonra yeniden onun üstüne çıkar (r = 10 m: 0,00159 ve 0,00105): uzakta Westergaard gerilmesi daha yavaş azalır.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Soru

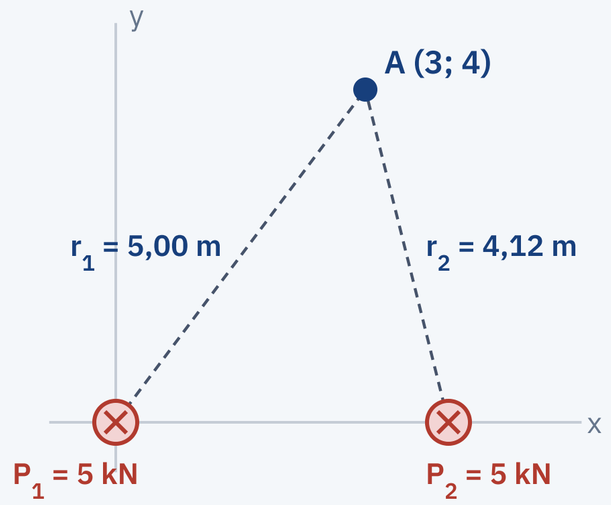
SORU

İSTENEN

Her yükün **r**, $\mathbf{I_5}$, $\mathbf{\Delta\sigma_z}$ değeri; toplam gerilme ve Boussinesq toplamı.

Verilenler

Yükler	$P_1 = 5$ **kN,** $(0;\ 0)$ **ve** $P_2 = 5$ **kN,** $(4;\ 0)$
A noktası	$x = 3$ **m,** $y = 4$ **m,** $z = 4$ **m**
Zemin	$\mu_s = 0{,}3$



Çözüm (1/2)

ÇÖZÜM

1 P_1 (0; 0)

$$r_1 = \sqrt{3^2 + 4^2} = 5{,}000 \text{ m}$$

$$\frac{r_1}{\eta z} = \frac{5{,}000}{0{,}5345(4)} = 2{,}3385\,, \quad I_5 = 0{,}03386$$

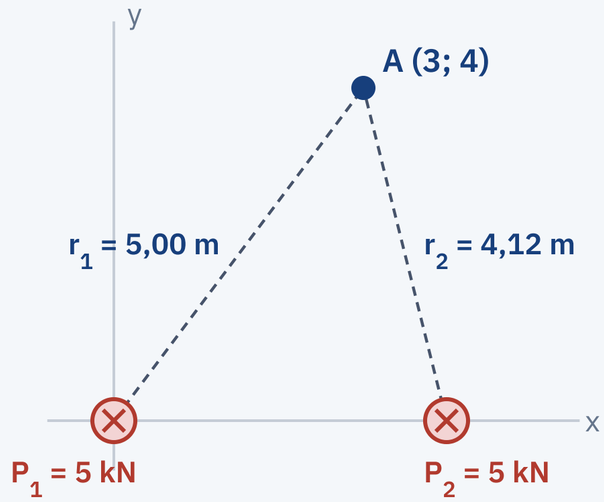
$$\Delta\sigma_{z(1)} = \frac{5}{16}\,(0{,}03386) = \mathbf{0{,}01058}\ \text{kN/m}^2$$

2 P_2 (4; 0)

$$r_2 = \sqrt{(3-4)^2 + 4^2} = 4{,}123 \text{ m}$$

$$\frac{r_2}{\eta z} = \frac{4{,}123}{0{,}5345(4)} = 1{,}9284\,, \quad I_5 = 0{,}05434$$

$$\Delta\sigma_{z(2)} = \frac{5}{16}\,(0{,}05434) = \mathbf{0{,}01698}\ \text{kN/m}^2$$



Yük 2 daha yakın: **0,01698**; yük 1: **0,01058 kN/m²**.

Çözüm (2/2)

ÇÖZÜM

1 Gerilmeler toplanır

$$\Delta\sigma_z = \Delta\sigma_{z(1)} + \Delta\sigma_{z(2)} = 0{,}01058 + 0{,}01698 = \mathbf{0{,}02756}\ \mathrm{kN/m^2}$$

$$\Delta\sigma_{z,B} = 0{,}01419 + 0{,}02442 = 0{,}03862\ \mathrm{kN/m^2}$$

2 Aynı nokta altında derinlik profili (iki yükün toplamı)

z (m)	2	4	6	8	10	12	16	20
$\Delta\sigma_z$ Westergaard	0,0174	0,0276	0,0301	0,0282	0,0247	0,0210	0,0150	0,0108
$\Delta\sigma_z$ Boussinesq	0,0137	0,0386	0,0430	0,0371	0,0298	0,0237	0,0153	0,0105

A noktasında (z = 4 m) iki yük birlikte **$\Delta\sigma_z$ = 0,02756 kN/m²** oluşturur; Boussinesq toplamı 0,03862 kN/m². Toplam, her yükün tek başına bulunan değerlerinin toplamıdır; tek yükün değeri (Örnek 1) bu toplamın bir parçasıdır.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Özet

Akılda kalacak noktalar

Westergaard ortamı: ince rijit yatay levhalar yanal şekil değiştirmeyi önler; $\Delta\sigma_z = (P/z^2)\, I_5$, $I_5 = [1/(2\pi\eta^2)]\,[(r/\eta z)^2 + 1]^{-3/2}$, $\eta = \sqrt{[(1 - 2\mu_s)/(2 - 2\mu_s)]}$

Örnek ($P = 5$ kN, $r = 5$ m, $z = 4$ m, $\mu_s = 0{,}3$): η 0,5345; $r/(\eta z)$ 2,339; I_5 0,03386 → $\Delta\sigma_z = 0{,}01058$ kN/m²; Boussinesq 0,01419

Yük ekseninde $I_5 = 1/(2\pi\eta^2)$: $\mu_s = 0$ için $1/\pi = 0{,}3183$ (Boussinesq $3/2\pi = 0{,}4775$); gerilme μ_s ile artar, $\mu_s = 0{,}5$'te çözüm geçerliliğini yitirir

Derinlik: orta derinliklerde Westergaard gerilmesi daha küçüktür, çok derinde iki çözüm yaklaşır; en büyük gerilme $z = r/(\sqrt{2}\,\eta) = 6{,}61$ m'de (Boussinesq: $r\sqrt{1{,}5} = 6{,}12$ m)

Süperpozisyon: her yük kendi r uzaklığıyla ele alınır, gerilmeler toplanır (örnekte iki yük: 0,02756 kN/m²)

Kaynaklar

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

Westergaard, H.M. (1938). A problem of elasticity suggested by a problem in soil mechanics: soft material reinforced by numerous strong horizontal sheets. In Contributions to the Mechanics of Solids, Stephen Timoshenko 60th Anniversary Volume. Macmillan, New York, 268–277.

NOT

Sayısal örneklerin tümü modülün kendi hesap motoruyla üretilmiştir; modül aynı değerleri verir. Modülün açılış örneği P = 5 kN, r = 5 m, μ_s = 0,3 ve z = 4 m'dir.

GeoTerva

Çevrim içi geoteknik hesaplar

Teoriden uygulamaya

Kendi tekil yüklerinizi, A noktasını ve μ_s değerini GeoTerva'da girin; modül η'yı, I_5 etki değerini, her yükün katkısını, Boussinesq ile karşılaştırmayı, derinlik profilini, adım adım çözümü ve raporu birlikte verir.

Modülü açın → **Teori sayfası →**

Telefonla açın
Örnek modüller kayıt gerektirmez.

Derslerinizde kullanmak isterseniz: info@geoterva.com