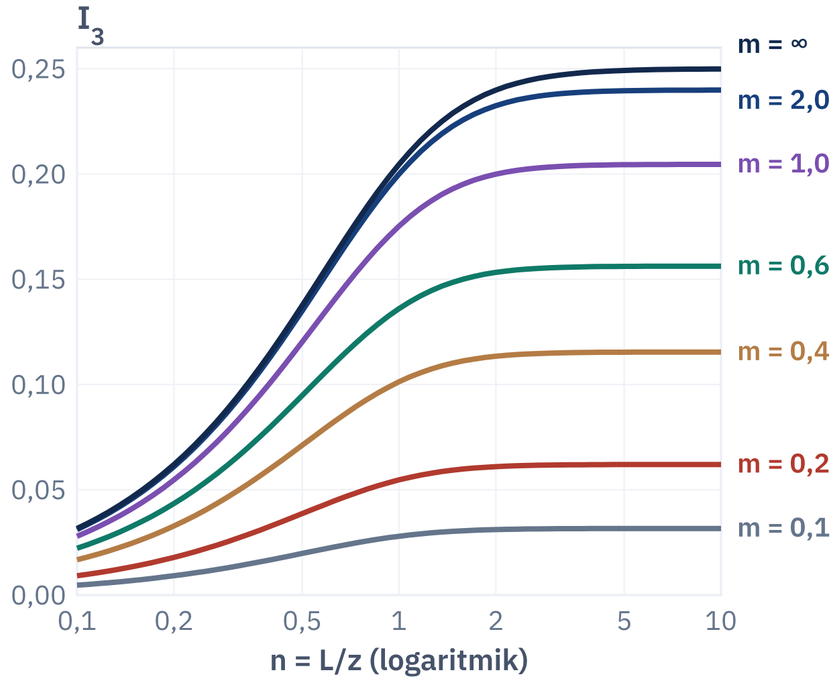
Geoteknik ders sunumu · Zemin kütlesinde gerilmeler

Dikdörtgen yük altındaki gerilme

Ders anlatımı: dikdörtgen yük altında düşey gerilme; köşe çözümü, süperpozisyon ve elle çözülen örnekler.

Köşe altı · I_3 | Dört dikdörtgen | Merkez altı · I_4 | Nokta yükün dışında | Çok dikdörtgen



Giriş

Bu derste neler öğreneceğiz?

- Düzgün yayılı yüklü **dikdörtgen alanın** (temel, radye, döşeme) altında düşey gerilme artışını: **$\Delta\sigma_z$**
- Köşenin altında **kapalı çözümü**: $\Delta\sigma_z = q\, I_3$, I_3 yalnız $m = B/z$ ve $n = L/z$'ye bağlıdır
- **Herhangi bir nokta** için dikdörtgenlerin **toplanması ve çıkarılması**: yük, noktanın üstünde ortak köşesi olan dört dikdörtgene bölünür
- **Merkezin altında** doğrudan I_4; kare için $I_4 = 4\, I_3(1, 1) = 0{,}701$ kontrolü
- Birden çok dikdörtgenin gerilmelerinin **toplandığını**; dikdörtgenin biçiminin (L/B) etkisini

DERS AKIŞI

Her konu **üç adımda** işlenir:

1 · **Kuram**: formül ve gerekçesi

2 · **Soru**: verilenler ve istenen

3 · **Çözüm**: adım adım, sayılarla

Örnek: 3 m × 2 m dikdörtgen, q = 150 kN/m²; A′ noktası kısa kenarın 1 m ötesinde, uzun kenarlardan birinin doğrultusunda; z = 4 m.

Düzgün yayılı yüklü dikdörtgen

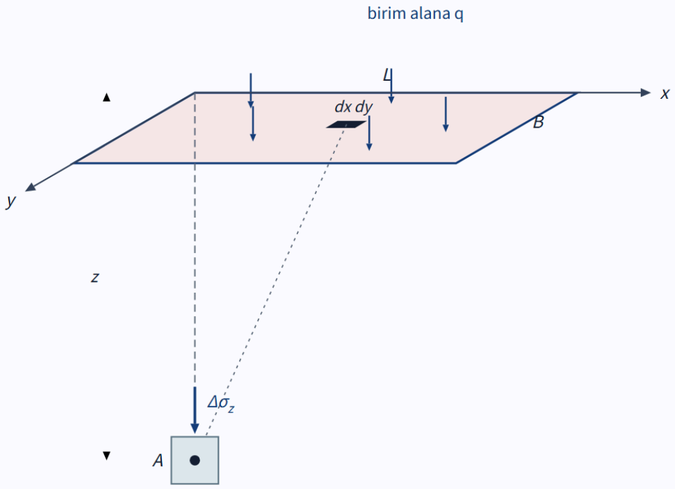
KURAM

Temellerin ve radyelerin çoğu **dikdörtgendir**; Boussinesq çözümü dikdörtgen üzerinde integre edilince **köşenin altındaki** düşey gerilme kapalı biçimde bulunur

Diğer tüm noktalar için dikdörtgenler **toplanır ve çıkarılır**

Düzgün yayılı **q** basıncı taşıyan, **L × B** boyutlarında esnek dikdörtgen; zemin homojen, izotrop ve doğrusal elastik yarı sonsuz ortamdır

$\Delta\sigma_z$, yalnız yükün oluşturduğu gerilme artışıdır



Boussinesq integrali: $\Delta\sigma_z = q\, I_3$

KURAM

Elemanter alan **dq = q dx dy** yükünü taşır; Boussinesq denkleminde P = q dx dy ve r² = x² + y² alınır

$$d\sigma_z = \frac{3q\,dx\,dy\,z^3}{2\pi\left(x^2+y^2+z^2\right)^{5/2}}$$

$$\Delta\sigma_z = \int_0^B \int_0^L \frac{3q\,z^3\,dx\,dy}{2\pi\left(x^2+y^2+z^2\right)^{5/2}} = q\,I_3$$

m = B/z ve **n = L/z**; I_3 yalnız bu iki orana bağlıdır

Etki katsayısı I_3

KURAM

$$I_3 = \frac{1}{4\pi}\left[\frac{2mn\sqrt{m^2+n^2+1}}{m^2+n^2+m^2n^2+1}\cdot\frac{m^2+n^2+2}{m^2+n^2+1} + \tan^{-1}\left(\frac{2mn\sqrt{m^2+n^2+1}}{m^2+n^2-m^2n^2+1}\right)\right]$$

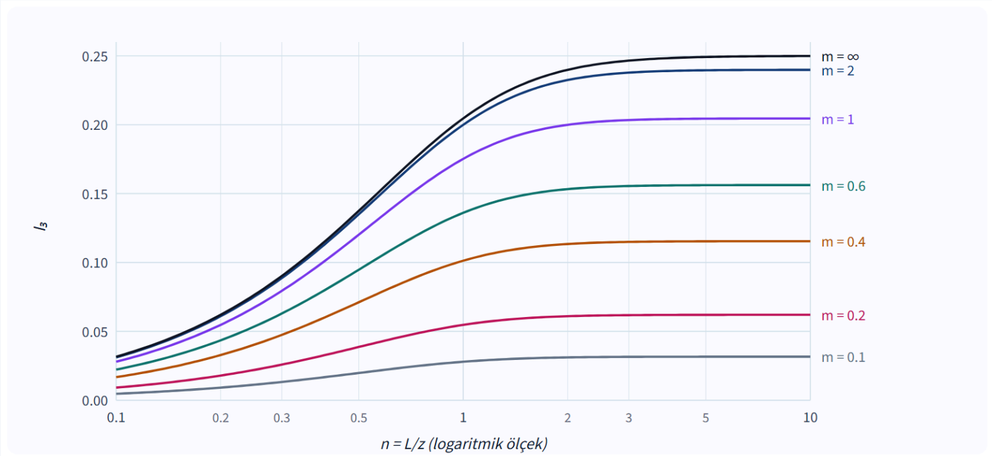
Arktanjant radyan cinsinden **pozitif** bir açı olmalıdır: $m^2 + n^2 + 1 < m^2n^2$ olduğunda negatif çıkar ve **π eklenir**

I_3, m ve n bakımından **simetriktir**; çok büyük bir dikdörtgen için **1/4**'e yaklaşır: bir köşe, sonsuz bir alanın yükünün dörtte birini taşır

I_3 değerleri

KURAM

n \ m	0,1	0,2	0,5	1,0	2,0	3,0
0,10	0,0047	0,0092	0,0198	0,0279	0,0311	0,0315
0,25	0,0113	0,0220	0,0475	0,0674	0,0752	0,0761
0,50	0,0198	0,0387	0,0840	0,1202	0,1350	0,1368
1,00	0,0279	0,0547	0,1202	0,1752	0,1999	0,2034
2,00	0,0311	0,0610	0,1350	0,1999	0,2325	0,2378
5,00	0,0316	0,0620	0,1374	0,2044	0,2395	0,2461



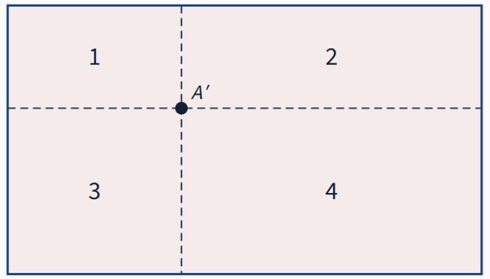
Dört köşe dikdörtgeni

KURAM

$$\Delta\sigma_z = q\left[I_{3(1)} + I_{3(2)} + I_{3(3)} + I_{3(4)}\right]$$

Yüklü alan, A′ noktasının üstünde **ortak köşesi** olan dikdörtgenlere bölünür; köşe gerilmeleri toplanır

A′ alanın **dışındaysa** dikdörtgenlerin bir kısmı alanın ötesine uzanır ve **çıkarılır**; modül her noktada işaretli uzaklıklarla dört dikdörtgeni noktadan yükün köşelerine çizer, her I_3 iki kenarının çarpımının işaretini alır



yüklü alanın planı;
A′, dört dikdörtgenin tümünün köşesidir
dikdörtgenler 1–4

Merkezin altında: I_4

KURAM

$$\Delta\sigma_z = q\, I_4, \quad I_4 = \frac{2}{\pi}\left[\frac{m_1 n_1}{\sqrt{1+m_1^2+n_1^2}}\,\frac{1+m_1^2+2n_1^2}{(1+n_1^2)(m_1^2+n_1^2)} + \sin^{-1}\frac{m_1}{\sqrt{m_1^2+n_1^2}\,\sqrt{1+n_1^2}}\right]$$

Merkezin altında dört dikdörtgen **eşittir**; sonuç doğrudan yazılır: **m_1 = L/B**, **n_1 = z/b**, b = B/2 (L ≥ B)

z = b derinliğindeki bir kare için **I_4 = 0,701 = 4 I_3(1, 1)**

Süperpozisyon

KURAM

Her dikdörtgen kendi **q, L, B** ve zemin üzerindeki merkezi (x_c, y_c) ile tanımlanır (modülde en çok sekiz)

İki dikdörtgen bir kenarda **birleşebilir ancak çakışamaz**

Zemin elastik olduğundan her dikdörtgenin gerilmesi kendi **dört köşe dikdörtgeninden** bulunur ve gerilmeler toplanır

$$\Delta\sigma_z = \sum_k q_k \sum \pm I_3 \ (\text{dört köşe})$$

Soru

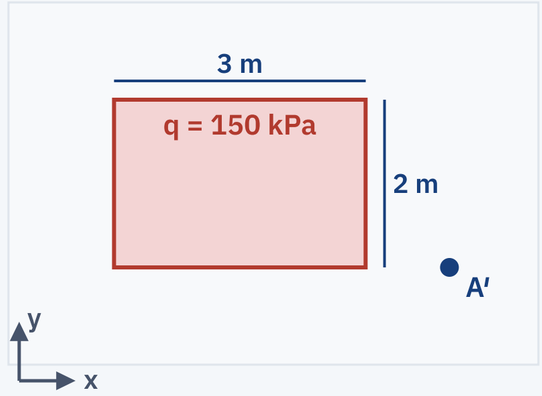
SORU

Verilenler

Dikdörtgen	3×2 m ($L = 3$ m x yönünde, $B = 2$ m y yönünde), $q = 150$ kN/m², merkezi orijinde
Nokta A′	kısa kenarın 1 m ötesinde, uzun kenarlardan birinin doğrultusunda: $x = 2{,}5$ m, $y = -1$ m; $z = 4$ m

İSTENEN

$\Delta\sigma_z$: dört köşe dikdörtgeniyle; iki I_3 değerini ayrıntılı hesapla.



Çözüm (1/3)

ÇÖZÜM

1 A′′dan yükün dört köşesine işaretli uzaklıklar (z = 4 m)

Köşe (x; y)	a = x − $x_{A'}$	b = y − $y_{A'}$	m = |a|/z	n = |b|/z	işaret
(1,5; 1,0)	−1,0	2,0	0,25	0,50	−
(1,5; -1,0)	−1,0	0,0	0,25	0,00	0 (b = 0)
(-1,5; 1,0)	−4,0	2,0	1,00	0,50	+
(-1,5; -1,0)	−4,0	0,0	1,00	0,00	0 (b = 0)

2 İki dikdörtgen kalır: A′ ortak köşe

$$\Delta\sigma_z = q\,[I_3(0{,}5;\ 1) - I_3(0{,}25;\ 0{,}5)] \qquad 4\ \mathrm{m} \times 2\ \mathrm{m} \ - \ 1\ \mathrm{m} \times 2\ \mathrm{m}$$

b = 0 olan iki köşe katkı vermez. **4 m × 2 m** dikdörtgen için m = B/z = 2/4 = 0,5; n = L/z = 4/4 = 1; **1 m × 2 m** dikdörtgen için m = 1/4 = 0,25; n = 2/4 = 0,5. I_3 simetrik olduğundan (1; 0,5) ile (0,5; 1) aynıdır.

Çözüm (2/3)

ÇÖZÜM

Ara değer	$I_3(0{,}5;\ 1)$	$I_3(0{,}25;\ 0{,}5)$
$m\ ;\ n$	0,50 ; 1,00	0,25 ; 0,50
$m^2\ ;\ n^2$	0,2500 ; 1,0000	0,0625 ; 0,2500
$S_1 = m^2 + n^2 + 1$	2,2500	1,3125
$\sqrt{S_1}$	1,5000	1,1456
$2mn\sqrt{S_1}$	1,5000	0,2864
$S_2 = m^2 + n^2 + m^2n^2 + 1$	2,5000	1,3281
$(m^2 + n^2 + 2)/S_1$	1,4444	1,7619
1. terim $= 2mn\sqrt{S_1}\ /\ S_2 \cdot (m^2 + n^2 + 2)/S_1$	0,8667	0,3800
$D = m^2 + n^2 + 1 - m^2n^2$	2,0000	1,2969
$2mn\sqrt{S_1}\ /\ D$	0,7500	0,2208
$\tan^{-1}(\ \ldots\ )$ (rad)	0,6435	0,2174
I_3 = (1. terim + $\tan^{-1}$)/(4π)	**0,12018**	**0,04753**

$I_3(0{,}5;\ 1) = 0{,}12018$ ve **$I_3(0{,}25;\ 0{,}5) = 0{,}04753$**. Her iki açıda D > 0 olduğundan arktanjant pozitiftir; π eklemek gerekmez.

Çözüm (3/3)

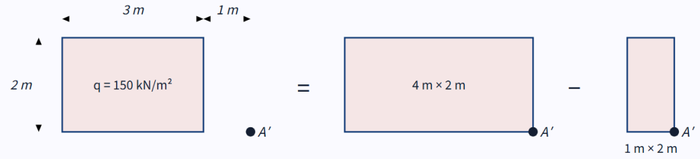
ÇÖZÜM

3 Fark ve gerilme

$$\Delta\sigma_z = 150\,(0{,}12018 - 0{,}04753) = 150\,(0{,}07264)$$

$$\Delta\sigma_z = 18{,}03 - 7{,}13 = \mathbf{10{,}90}\ \mathrm{kPa}$$

A′ noktasında **$\Delta\sigma_z$ = 10,90 kPa** ($\Delta\sigma_z$/q = 0,07264). Modül bu örnekle açılır; dikdörtgen ile nokta aynı uzaklıkta birlikte kaydırılırsa (merkez 4; 3 m, nokta 6,5; 2 m) gerilme değişmez: 10,90 kPa.



Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Soru

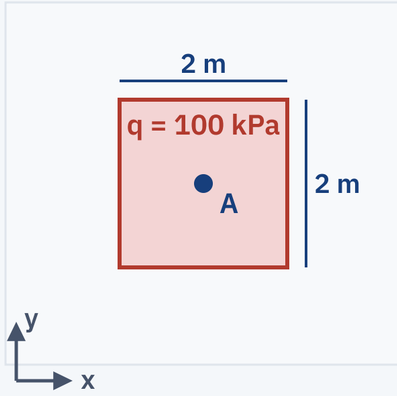
SORU

Verilenler

(a) Kare	2×2 **m,** $q = 100$ **kN/m²; merkezin altında** $z = 1$ **m (**$n_1 = z/b = 1$**)**
(b) Dikdörtgen	3×2 **m,** $q = 150$ **kN/m²; merkezin altında** $z = 4$ **m (**$m_1 = L/B = 1{,}5$**;** $n_1 = 4$**)**

İSTENEN

(a) $\mathbf{I_4 = 4\, I_3(1, 1)}$ kontrolü; (b) $\mathbf{I_4}$ ve $\mathbf{\Delta\sigma_z}$; dört köşe toplamıyla karşılaştırma.



Çözüm (1/2)

ÇÖZÜM

1 Dört eşit dikdörtgen (her biri 1 m × 1 m, z = 1 m): $I_3(1,\,1)$; $S_1 = 3$, $\sqrt{S_1} = 1{,}7321$, $2mn\sqrt{S_1} = 3{,}4641$, $S_2 = 4$

$$1.\ \text{terim} = \frac{3{,}4641}{4} \cdot \frac{4}{3} = 1{,}1547 \qquad \tan^{-1}\frac{3{,}4641}{3-1} = \tan^{-1}(1{,}7321) = 1{,}0472$$

$$I_3 = \frac{1{,}1547 + 1{,}0472}{4\pi} = \mathbf{0{,}17522}$$

2 Merkez formülü ile kontrol ($m_1 = 1$; $n_1 = 1$)

$$4\,I_3 = 4\,(0{,}17522) = 0{,}70089$$

$$I_4 = \frac{2}{\pi}\left[\frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{4}{4} + \sin^{-1}\frac{1}{2}\right] = \frac{2}{\pi}\,(0{,}5774 + 0{,}5236) = \mathbf{0{,}70089}$$

Kare için **$I_4 = 4\, I_3(1,\,1) = 0{,}70089 \approx 0{,}701$**. Bu örnekte merkezin altındaki gerilme yük basıncının %70,1'ine eşittir (z = b).

Çözüm (2/2)

ÇÖZÜM

1 I_4: $m_1 = L/B = 1{,}5$; $n_1 = z/b = 4$ ($b = 1$ m); $m_1^2 + n_1^2 = 18{,}25$

$$\frac{m_1 n_1}{\sqrt{1 + m_1^2 + n_1^2}} = \frac{6}{4{,}3875} = 1{,}3675 \qquad \frac{1 + m_1^2 + 2n_1^2}{(1 + n_1^2)(m_1^2 + n_1^2)} = \frac{35{,}25}{310{,}25} = 0{,}1136$$

$$\sin^{-1} \frac{1{,}5}{\sqrt{18{,}25}\sqrt{17}} = 0{,}0853 \qquad I_4 = \frac{2}{\pi}\,(0{,}1554 + 0{,}0853) = \mathbf{0{,}15320}$$

2 $\Delta\sigma_z$ ve dört köşe toplamı ile kontrol

$$\Delta\sigma_z = 150\,(0{,}15320) = \mathbf{22{,}98}\ \text{kPa} \qquad 4\,I_3(0{,}25;\ 0{,}375) = 4\,(0{,}03830) = 0{,}15320$$

Merkezin altında **$\Delta\sigma_z$ = 22,98 kPa** ($\Delta\sigma_z/q = 0{,}15320$). Aynı sonucu dört eşit köşe dikdörtgeni (her biri 1,5 m × 1 m) de verir: 4 I_3(0,25; 0,375).

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Soru

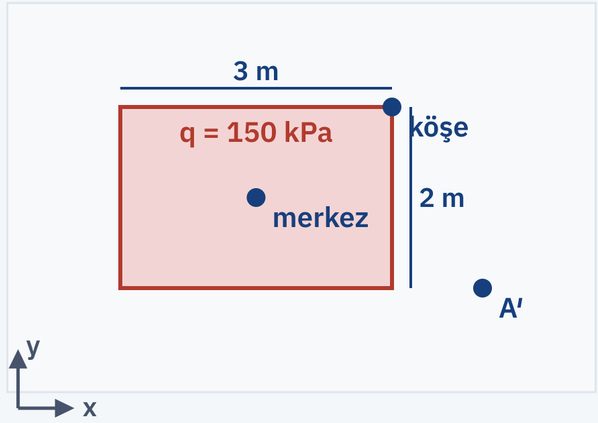
SORU

İSTENEN

Üç noktada **$\Delta\sigma_z$** ve $\Delta\sigma_z/q$; derinlikle değişimin yorumu.

Verilenler

Dikdörtgen	3×2 **m,** $q = 150$ **kN/m²**
Noktalar	**merkez** $(0; 0)$**, köşe** $(1{,}5;\ 1)$ **ve A′** $(2{,}5;\ -1)$
Derinlikler	$z = 1; 2; 4; 6; 8; 12$ **m**



Çözüm (1/2)

ÇÖZÜM

z (m)	Merkez $\Delta\sigma_z$	Köşe $\Delta\sigma_z$	A′ $\Delta\sigma_z$	Merkez /q	Köşe /q	A′ /q
1	116,19	35,67	5,88	0,7746	0,2378	0,0392
2	64,24	29,05	11,96	0,4283	0,1936	0,0798
4	22,98	16,06	10,90	0,1532	0,1071	0,0726
6	11,10	9,19	7,41	0,0740	0,0612	0,0494
8	6,44	5,74	5,03	0,0429	0,0383	0,0335
12	2,93	2,78	2,60	0,0195	0,0185	0,0174

Merkez ve **köşe** altında gerilme derinlikle tek yönde azalır (z = 4 m'de 22,98 ve 16,06 kPa); köşe / merkez oranı z = 4 m'de 0,70, z = 12 m'de 0,95. **A′** (yükün dışı) z = 1 m'de 5,88 kPa iken z ≈ 2,50 m'de en büyük değerine (12,64 kPa) çıkar, sonra azalır.

Çözüm (2/2)

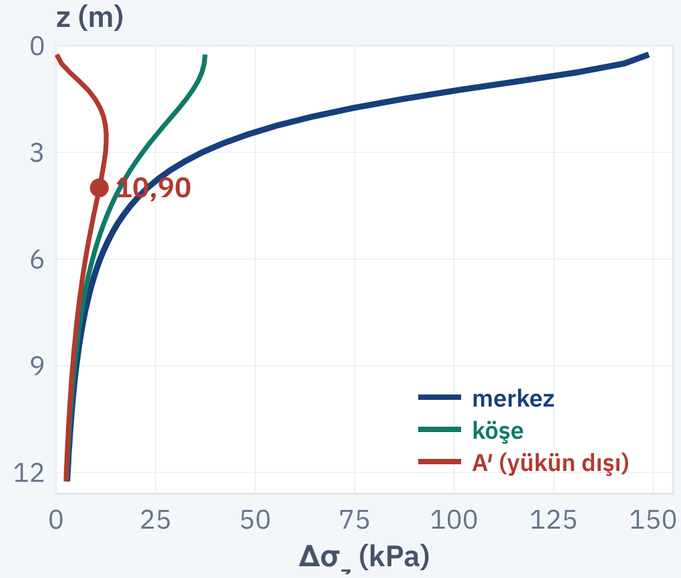
ÇÖZÜM

1 z = 4 m satırı: üç nokta

$$\text{merkez: } 150\,(0{,}15320) = 22{,}98\ \text{kPa}$$

$$\text{köşe: } 150\,I_3(0{,}5;\ 0{,}75) = 16{,}06\ \text{kPa} \qquad \text{A}' : \ 10{,}90\ \text{kPa}$$

Yüzeye yakın merkezin altı ≈ q değerine, köşenin altı ≈ q/4'e yaklaşır; derinlikte üç eğri birbirine yaklaşır: z = 12 m'de 2,93, 2,78 ve 2,60 kPa.



Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Soru

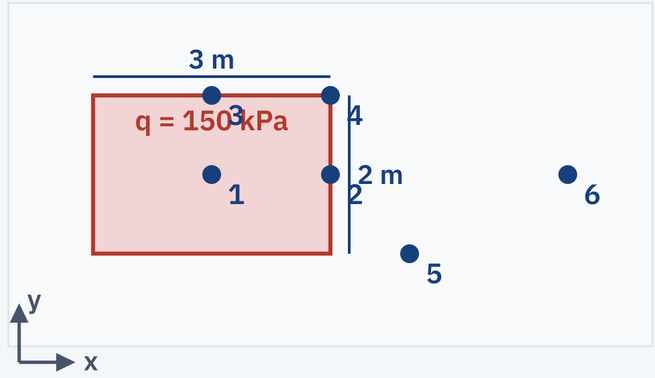
SORU

İSTENEN

Her noktada işaretli I_3 terimleri, toplam ve $\Delta\sigma_z$.

Verilenler

Dikdörtgen	3×2 **m,** $q = 150$ **kN/m²,** $z = 4$ **m**
Noktalar	**(1) merkez; (2) kısa kenarın ortası; (3) uzun kenarın ortası; (4) köşe; (5) A′; (6)** $(4{,}5;\ 0)$



Çözüm (1/2)

ÇÖZÜM

Nokta	(x; y)	Terim 1	Terim 2	Terim 3	Terim 4	$\Sigma \pm I_3$	$\Delta\sigma_z$ (kPa)
1	(0,0; 0)	0,0383	0,0383	0,0383	0,0383	0,1532	**22,98**
2	(1,5; 0)	0	0	0,0603	0,0603	0,1205	**18,08**
3	(0,0; 1)	0	0,0675	0	0,0675	0,1351	**20,26**
4	(1,5; 1)	0	0	0	0,1071	0,1071	**16,06**
5	(2,5; -1)	−0,0475	0	0,1202	0	0,0726	**10,90**
6	(4,5; 0)	−0,0603	−0,0603	0,0733	0,0733	0,0261	**3,91**

İçerideki noktada (1) dört terim de **+**; kenar noktalarında (2, 3) iki terim sıfırdır; köşede (4) tek terim kalır; dışarıda (5, 6) bazı terimler **−** olur. Sıralama: 22,98 > 18,08 > 20,26 > 16,06 > 10,90 > 3,91 kPa.

Çözüm (2/2)

ÇÖZÜM

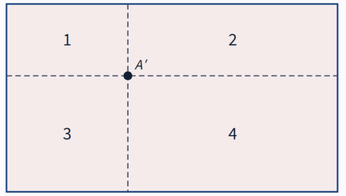
1 Köşe (4): yalnız bir dikdörtgen (3 m × 2 m)

$$\Delta\sigma_z = q\, I_3(m = 0{,}5;\ n = 0{,}75) = 150\,(0{,}10707) = \mathbf{16{,}06}\ \text{kPa}$$

2 Uzak nokta (6): (4,5; 0), yükün 3 m ötesinde

$$\Delta\sigma_z = q \cdot 2\,[\,I_3(1{,}5;\ 0{,}25) - I_3(0{,}75;\ 0{,}25)\,]$$
$$= 150 \cdot 2\,(0{,}07329 - 0{,}06026) = \mathbf{3{,}91}\ \text{kPa}$$

Köşe / merkez gerilme oranı 0,699; yükten 3 m uzakta (6) 3,91 kPa kalır: yük dışında da gerilme sıfır değildir.



yüklü alanın planı;
A′, dört dikdörtgenin tümünün köşesidir
dikdörtgenler 1–4

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Soru

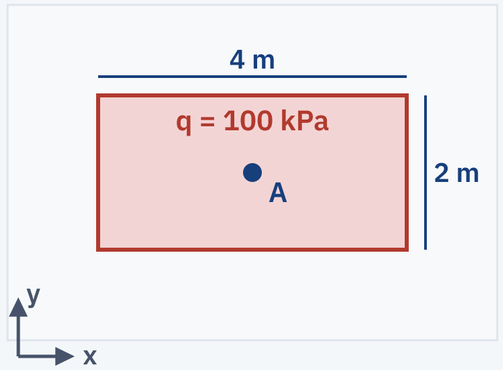
SORU

İSTENEN

Merkezin altında $\Delta\sigma_z/q = I_4$; şeritle karşılaştırma.

Verilenler

Dikdörtgen	$B = 2$ **m** ($b = 1$ **m**), $L/B = 1; 2; 5; 10$ **ve** $L \to \infty$ **(şerit)**
Noktalar	**merkezin altında,** $n_1 = z/b = 0{,}5; 1; 2; 4$



Çözüm (1/2)

ÇÖZÜM

$n_1 = z/b$	L/B = 1	L/B = 2	L/B = 5	L/B = 10	şerit (L/B → ∞)
0,5	0,9299	0,9565	0,9594	0,9595	**0,9595**
1,0	0,7009	0,7998	0,8176	0,8183	**0,8183**
2,0	0,3361	0,4807	0,5451	0,5495	**0,5498**
4,0	0,1081	0,1901	0,2848	0,3034	**0,3058**

Yüzeye yakın (n_1 = 0,5) biçim pek önemli değildir (0,930 – 0,959); derinlikte **kısa** dikdörtgenin gerilmesi çok daha çabuk söner: n_1 = 4'te kare 0,108, şerit 0,306.

Çözüm (2/2)

ÇÖZÜM

1 I_4 formülü (m_1 = 2; n_1 = 1)

$$m_1^2 + n_1^2 = 5 \qquad \frac{m_1 n_1}{\sqrt{1+5}} = \frac{2}{2{,}4495} = 0{,}8165 \qquad \frac{1+4+2}{(1+1)(5)} = 0{,}70$$

$$\sin^{-1}\frac{2}{\sqrt{5}\sqrt{2}} = 0{,}6847 \qquad I_4 = \frac{2}{\pi}\,(0{,}5715 + 0{,}6847) = \mathbf{0{,}79976}$$

2 Dört eşit köşe dikdörtgeniyle (her biri 2 m × 1 m, z = 1 m)

$$4\,I_3(1;\,2) = 4\,(0{,}19994) = \mathbf{0{,}79976}$$

L/B = 2 dikdörtgenin merkezinde, z = b derinliğinde **$\Delta\sigma_z/q$ = 0,7998** (kare: 0,7009; şerit: 0,8183). L/B = 10 için (n_1 = 1) değer 0,81826, şerit 0,81831: dikdörtgen uzadıkça şeride yaklaşır.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Soru

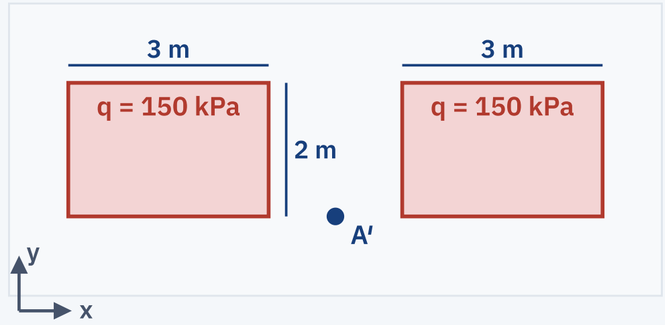
SORU

Verilenler

Dikdörtgen 1	3×2 **m,** $q = 150$ **kN/m², merkez** $x = 0$
Dikdörtgen 2	3×2 **m,** $q = 150$ **kN/m², merkez** $x = 5$ **m (**$y = 0$**)**
Nokta	**A′:** $x = 2{,}5$ **m,** $y = -1$ **m;** $z = 4$ **m (ayrıca** 1**;** 2**;** 6**;** 8**;** 12 **m)**

İSTENEN

Her dikdörtgenin ve toplam $\Delta\sigma_z$; derinlik profili.



Çözüm (1/2)

ÇÖZÜM

1 Dikdörtgen 2: A''ya göre işaretli köşeler (merkezler arası 5 m ≥ $(L_1 + L_2)/2$ = 3 m: çakışma yok)

Köşe (x; y)	a	b	m	n	işaret
(6,5; 1,0)	4,0	2,0	1,00	0,50	+
(6,5; -1,0)	4,0	0,0	1,00	0,00	0 (b = 0)
(3,5; 1,0)	1,0	2,0	0,25	0,50	–
(3,5; -1,0)	1,0	0,0	0,25	0,00	0 (b = 0)

2 Süperpozisyon

$$\Delta\sigma_{z(2)} = 150\,[I_3(1;\,0{,}5) - I_3(0{,}25;\,0{,}5)] = 10{,}896\ \text{kPa}$$

$$\Delta\sigma_z = \Delta\sigma_{z(1)} + \Delta\sigma_{z(2)} = 10{,}896 + 10{,}896 = \mathbf{21{,}793}\ \text{kPa}$$

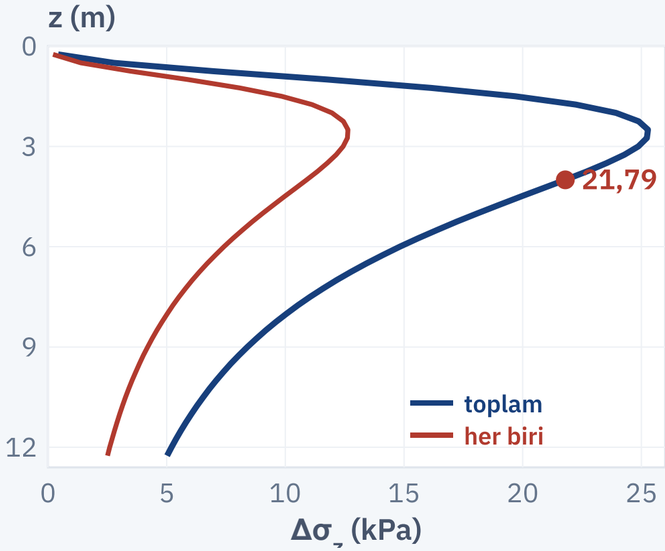
A′, iki dikdörtgenin tam ortasındadır (x = 2,5 m; her birine 1 m uzak): dikdörtgen 2, dikdörtgen 1'in **ayna görüntüsüdür** ve aynı gerilmeyi verir. Toplam **$\Delta\sigma_z$ = 21,79 kPa**.

Çözüm (2/2)

ÇÖZÜM

z (m)	Dikdörtgen 1	Dikdörtgen 2	Toplam
1	5,877	5,877	**11,754**
2	11,965	11,965	**23,930**
4	10,896	10,896	**21,793**
6	7,413	7,413	**14,826**
8	5,028	5,028	**10,056**
12	2,603	2,603	**5,205**

Toplam gerilme z = 4 m'de **21,79 kPa**; iki dikdörtgen simetrik olduğundan her derinlikte toplam = 2 × tek dikdörtgen. En büyük toplam değer z ≈ 2,50 m'de 25,28 kPa'dır.



Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Özet

Akılda kalacak noktalar

Köşe: $\Delta\sigma_z = q\, I_3(m, n)$, $m = B/z$, $n = L/z$; büyük alan için $I_3 \rightarrow 1/4$. **Herhangi nokta:** işaretli dört köşe dikdörtgeni, $\Delta\sigma_z = q\, \Sigma \pm I_3$

Örnek (A′; z = 4 m): 4 m × 2 m − 1 m × 2 m: $I_3(0{,}5; 1) = 0{,}12018$; $I_3(0{,}25; 0{,}5) = 0{,}04753$; **$\Delta\sigma_z$ = 150 (0,07264) = 10,90 kPa**

Merkez: $\Delta\sigma_z = q\, I_4$; kare, z = b: $I_4 = 4\, I_3(1, 1) = 0{,}701$; 3 × 2 m dikdörtgen, z = 4 m: **22,98 kPa**

Konum (z = 4 m): merkez 22,98, kenar ortaları 20,26 ve 18,08, köşe 16,06, A′ 10,90, uzak nokta 3,91 kPa; dışarıda da gerilme sıfır değildir

Biçim: z = 4b'de kare 0,108 q, 10:1 dikdörtgen 0,303 q, şerit 0,306 q. **İki dikdörtgen:** gerilmeler toplanır (10,90 + 10,90 = 21,79 kPa)

Kaynaklar

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

Boussinesq, J. (1883). Application des Potentiels à l'Étude de l'Équilibre et du Mouvement des Solides Élastiques. Gauthier-Villars, Paris.

NOT

Sayısal örneklerin tümü modülün kendi hesap motoruyla üretilmiştir; modül aynı değerleri verir. Modül, 3 m × 2 m dikdörtgen ($q = 150$ kN/m²) ve A′ noktası ($x = 2{,}5$ m; $y = -1$ m; $z = 4$ m) ile açılır.

GeoTerva

Çevrim içi geoteknik hesaplar

Teoriden uygulamaya

Dikdörtgenlerinizi (q, L, B, merkez), A noktasını ve derinliği GeoTerva'da girin; modül dört köşe terimini, $\Delta\sigma_z$ değerini, eş gerilme eğrilerini, derinlik profilini, adım adım çözümü ve raporu birlikte verir.

Modülü açın → | **Teori sayfası →**

Telefonla açın
Örnek modüller kayıt gerektirmez.