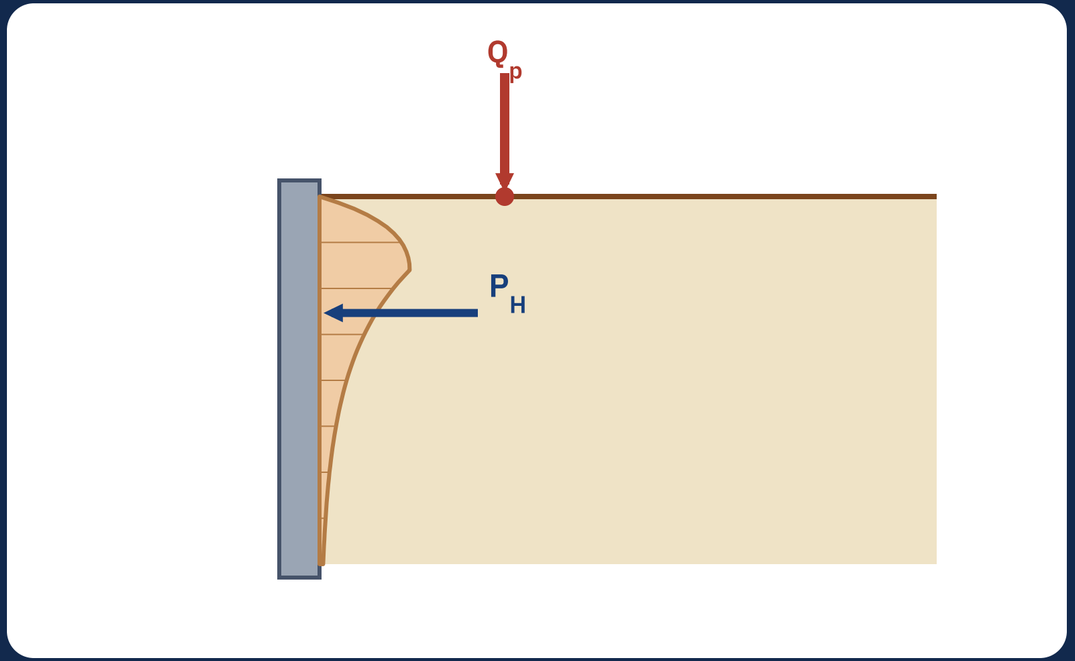
Geoteknik ders sunumu · Sürşarj yükleri

# Noktasal sürşarj yükü

Ders anlatımı: yüzeydeki tekil yükün duvarda oluşturduğu yanal basınç; iki yöntem, bileşke, planda dağılış ve birden çok yük, çözümlü örnekler.

- $m = x/H \cdot n = z/H$
- $\sigma_H = (3Q_p/\pi)\, x^2 z/R^5$
- Terzaghi–NAVFAC abağı
- $P_H$ ve L
- Planda dağılış



# Bu derste neler öğreneceğiz?

- Tekil yükün geometrisini: **x**, **y**, **z**, **R** ve boyutsuz **m = x/H**, **n = z/H**
- **Elastik (rijit duvar)** çözümü: Boussinesq gerilmesinin iki katı, en büyük basınç **z = x/2**'de; $x_{min}$ **= 0,30 m**
- **Terzaghi–NAVFAC abağı**: Durum 1 (m ≤ 0,4) ve Durum 2 (m > 0,4)
- Bileşke $P_H = (Q_p/H)\cdot I_0$ ve yükseklik $L = H\cdot I_1/I_0$; $I_0$, $I_1$ kapalı ifadeleri
- **Planda** duvar boyunca dağılış ($\cos^2(1{,}1\theta)$) ve **aynı doğru üzerinde en fazla üç yük**

**DERS AKIŞI**

Her konu **üç adımda** işlenir:

1 · **Kuram**: formül ve gerekçesi

2 · **Soru**: verilenler ve istenen

3 · **Çözüm**: adım adım, sayılarla

Örnek duvar: H = 15 m, tekil yük $Q_p$ = 38 kN duvardan x = 5 m uzakta. $P_H$ yükün kesitinde duvarın birim uzunluğu başına kuvvettir (kN/m).

# Duvara etkiyen tekil yük

KURAM

Yüzeydeki **$Q_p$** tekil yükü zeminde üç boyutlu bir gerilme alanı oluşturur; yük düşey bir duvarın etki bölgesindeyse gerilme artışının bir kısmı duvara **yatay basınç** olarak yansır

Modül yükün duvara dik doğrusu boyunca basıncın derinlikle değişimini, **bileşkesini** ve **etki çizgisini**, ayrıca planda duvar boyunca dağılışını verir

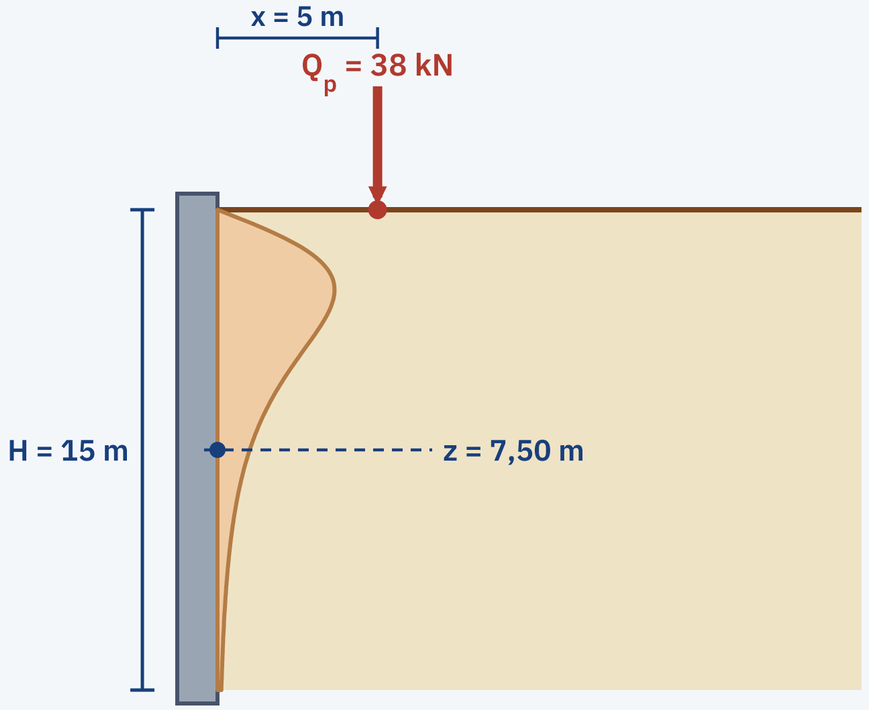
$$m = \frac{x}{H}, \qquad n = \frac{z}{H}$$

**H** — duvar yüksekliği; **x** — duvardan yüke yatay uzaklık; **z** — yüzeyden itibaren derinlik

**y** — yükün duvara dik doğrusundan duvar boyunca uzaklık; **$R = \sqrt{(x^2 + y^2 + z^2)}$**

**$\sigma_H$** — eksen doğrusunda yanal basınç; **$\sigma'_H$** — planda; **$P_H$** — bileşke; **L** — tabandan etki çizgisine uzaklık

**θ** — abakta plan açısı; **$x_{min}$** — elastik yöntemde en küçük hesap uzaklığı (0,30 m)



# Elastik çözüm ve Terzaghi–NAVFAC abağı

KURAM

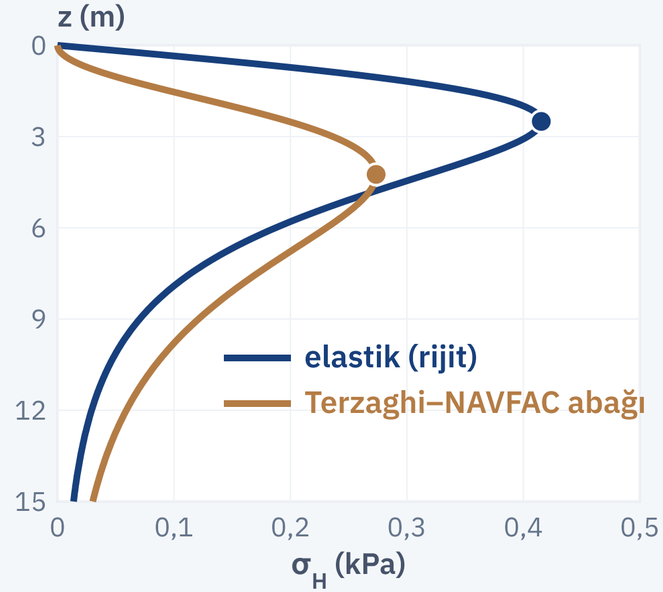
İkisi de **yerdeğiştirmeyen duvarı** tanımlar; en çok **duvara yakın bir yükte** birbirinden ayrılırlar

**Elastik**: Boussinesq gerilmesinin **iki katı**: duvarın karşı tarafındaki ayna görüntü yük yüzdeki yanal hareketi sıfırlar (Mindlin 1936); Poisson oranı 0,5

**Abak** (Terzaghi 1954): uzaklık etkisi **m = 0,4**'te durur; 0,4H içindeki yük, 0,4H uzaklığındaymış gibi çizilir

0,4H içindeki yükte elastik çözüm duvarın üst kısmına yakın **artan basınç** yoğunlaştırır, abak tek diyagram korur; daha uzakta aynı mertebeyi verirler

**Profil (H = 15 m, x = 5 m, $Q_p$ = 38 kN)**



# Rijit duvar: basınç, zirve ve kapalı biçimli bileşke

KURAM

Yükün kendi dik doğrusunda (y = 0): **$\sigma_H = (3Q_p/\pi)\, x^2 z/R^5$**; zirve **$z = x/2$**'de, **$\sigma_{H,max} = 0{,}2733\, Q_p/x^2$**

Yük duvara yaklaştıkça çözüm **tekil** olur: $P_H \approx Q_p/(\pi x)$ gibi artar; bu yüzden **$x < x_{min} = 0{,}30$ m** yük 0,30 m'de hesaplanır

Yaklaşık **0,4H** kritik uzaklığı içinde elastik denklemler güvenilir olmaktan çıkar: mühendislik yargısı gerekir, abak karşılaştırma sağlar

$$\sigma_H = \frac{3}{\pi}\,\frac{Q_p}{H^2}\,\frac{m^2\, n}{\left(m^2+n^2\right)^{5/2}}$$

$$I_0 = \frac{1}{\pi}\left[\frac{1}{m} - \frac{m^2}{\left(1+m^2\right)^{3/2}}\right] \qquad I_1 = I_0 - \frac{1}{\pi\left(1+m^2\right)^{3/2}}$$

# Terzaghi–NAVFAC: Durum 1 ve Durum 2

KURAM

Her derinlikte **n = z/H** hesaplanır, denklem **m**'ye göre seçilir

Durum 1 denklemi m içermez: Durum 2'nin m = 0,4 için değeridir (1,77 × 0,16 = 0,2832, **0,28** olarak yazılmıştır); 0,4H içindeki yük, nerede durursa dursun **aynı diyagram, $P_H$ ve L** değerini verir

Yuvarlama nedeniyle m = 0,4 sınırında $P_H$ küçük bir basamak yapar (≈ %1,1); L sürekli kalır

$$\sigma_H = 0{,}28\,\frac{Q_p}{H^2}\,\frac{n^2}{\left(0{,}16 + n^2\right)^3} \qquad m \le 0{,}4\ (\text{Durum 1})$$

$$\sigma_H = 1{,}77\,\frac{Q_p}{H^2}\,\frac{m^2\,n^2}{\left(m^2 + n^2\right)^3} \qquad m > 0{,}4\ (\text{Durum 2})$$

# $P_H$, L ve $I_0$, $I_1$

KURAM

**$P_H$** basınç diyagramının alanıdır; **L** ağırlık merkezinin duvar tabanından yüksekliğidir: bileşke yüzeyden **H – L** derinliğinde etkir

$P_H$ yükün kendi kesitinde (y = 0) bir kuvvettir; basınç duvar boyunca azaldığından **duvar uzunluğu ile çarpılmaz**

$\sigma_H = (Q_p/H^2)\cdot f(n)$ yazılınca iki saf sayı kalır; elastikte kapalı, abakta sayısal (veya kapalı) integral. Abak sabitleri bu integralin tek bir m değerinde okunmuşudur: **m = 0,4** için $P_H$ = 0,787 $Q_p$/H, L = 0,587 H; **m = 0,6** için 0,457 $Q_p$/H ve 0,476 H

$$P_H = \frac{Q_p}{H} I_0 \qquad L = H \frac{I_1}{I_0}$$

$$I_0 = \int_0^1 f(n)\, dn \qquad I_1 = \int_0^1 f(n)\,(1-n)\, dn$$

# Duvar boyunca basınç ve birden çok yük

KURAM

**Elastik**: $\sigma_H$ formülü duvarın her noktasında geçerlidir ($R^2 = x^2 + y^2 + z^2$); sabit derinlikte basınç duvar boyunca $\mathbf{(R_0/R)^5}$ ile azalır, zirve $z = \sqrt{(x^2 + y^2)}/2$'de

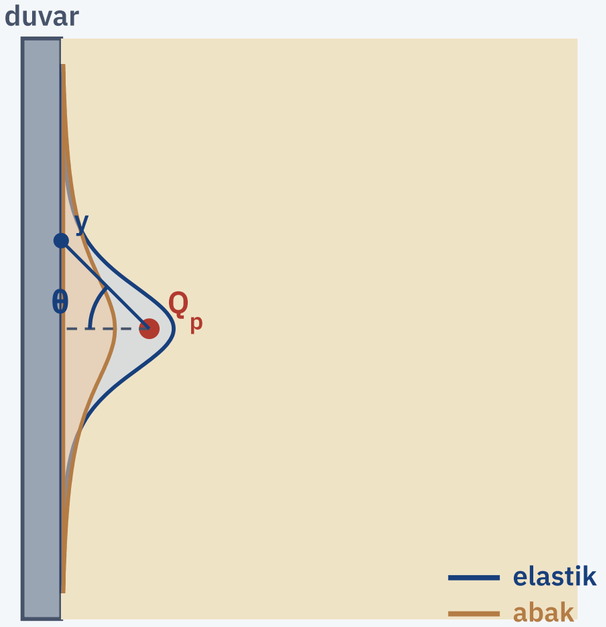
**Abak**: eksen doğrusu basıncı plan açısıyla azaltılır; 1,1θ açısı 90°'ye ulaşınca (**θ ≈ 81,8°**) azaltma sıfırda tutulur

**Birden çok yük** (en çok 3): her birinin kendi $x_i$ ve $Q_{p,i}$ değeri vardır; basınçlar gerilme artışı olduğundan **toplanır**; bileşke tabana göre momentlerin dengelendiği noktada etkir

$$\sigma'_H = \sigma_H \cos^2(1{,}1\,\theta) \qquad \theta = \tan^{-1}\frac{y}{x}\ \text{(abak)}$$

$$\sigma_H = \sum_i \sigma_{H,i} \qquad P_H = \sum_i \frac{Q_{p,i}}{H} I_{0,i} \qquad L = \frac{\sum_i P_{H,i}\, L_i}{P_H}$$

**Plan: z = 2,5 m derinliğinde**



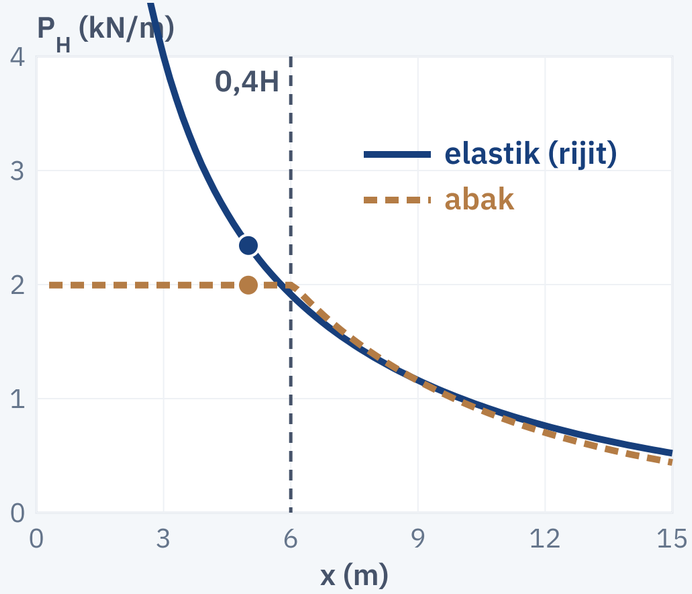
# Bileşke ve konumu, yük uzaklığıyla

KURAM

| x (m) | m | $P_H$ elastik | L elastik | $P_H$ abak | L abak | Durum |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,30 | 0,020 | 40,32 | 14,70 | 1,99 | 8,81 | Durum 1 |
| 1,00 | 0,067 | 12,09 | 14,01 | 1,99 | 8,81 | Durum 1 |
| 2,00 | 0,133 | 6,03 | 13,05 | 1,99 | 8,81 | Durum 1 |
| 3,00 | 0,200 | 4,00 | 12,15 | 1,99 | 8,81 | Durum 1 |
| 4,00 | 0,267 | 2,97 | 11,33 | 1,99 | 8,81 | Durum 1 |
| 5,00 | 0,333 | 2,34 | 10,59 | 1,99 | 8,81 | Durum 1 |
| 6,00 | 0,400 | 1,91 | 9,94 | 1,99 | 8,81 | Durum 1 |
| 8,00 | 0,533 | 1,35 | 8,87 | 1,38 | 7,61 | Durum 2 |
| 10,00 | 0,667 | 1,00 | 8,05 | 0,9755 | 6,74 | Durum 2 |
| 15,00 | 1,000 | 0,5213 | 6,80 | 0,4402 | 5,45 | Durum 2 |

**m ≤ 0,4** (x ≤ 6 m): abak aynı $P_H$ ve L'yi verir; elastik $P_H$ yük yaklaştıkça hızla artar

**m > 0,4**: elastik bileşke bir miktar daha yukarıda etkir (L daha büyük)



# Soru

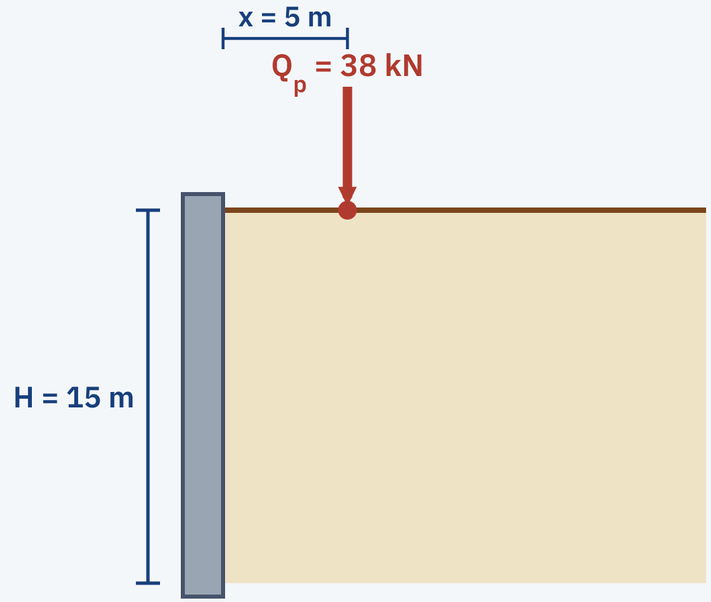
SORU

**İSTENEN**

**m**, en büyük basınç $\sigma_{H,max}$ (z = x/2), $I_0$, $I_1$, $P_H$, **L** ve bileşkenin yüzeyden derinliği.

**Verilenler**

| | |
|---|---|
| Duvar | $H = 15{,}00$ **m** |
| Yük | $Q_p = 38{,}0$ **kN, duvardan** $x = 5{,}00$ **m** |
| Yöntem | **elastik (rijit duvar);** $x \geq x_{min}$ |



# Çözüm (1/3)

ÇÖZÜM

**1** Uzaklık oranı

$$m = \frac{x}{H} = \frac{5}{15} = \frac{1}{3} = \mathbf{0{,}333} \quad (x \geq x_{min} = 0{,}30\ \text{m})$$

**2** Zirve derinliği

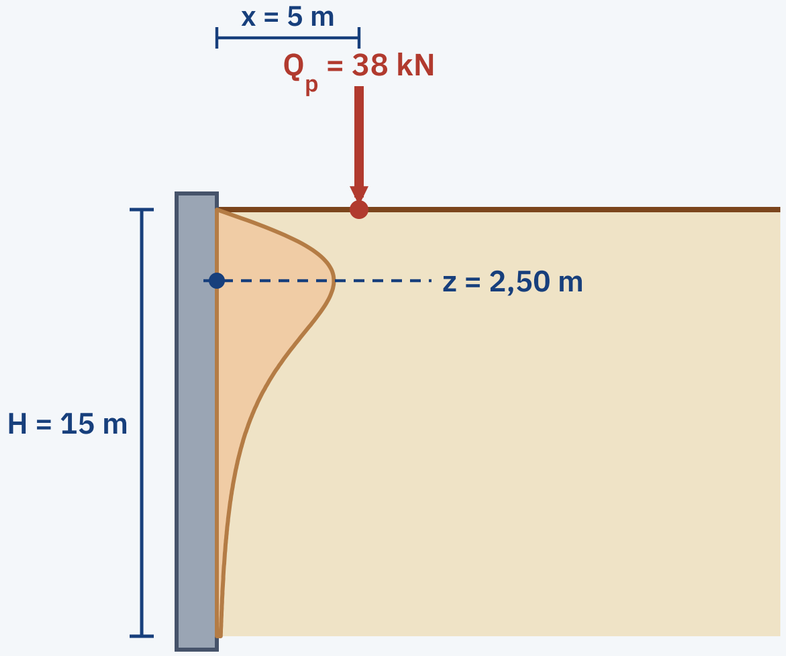
$$z = \frac{x}{2} = \mathbf{2{,}50}\ \text{m}$$

$$R = \sqrt{x^2 + z^2} = \sqrt{25{,}00 + 6{,}25} = \mathbf{5{,}5902}\ \text{m}$$

**3** Zirvedeki basınç

$$\sigma_{H,max} = \frac{3 \times 38}{\pi} \cdot \frac{5{,}00^2 \times 2{,}50}{5{,}5902^5}$$

$$\sigma_{H,max} = 36{,}287 \times 0{,}011449 = \mathbf{0{,}4154}\ \text{kPa}$$




Elastik zirve **0,4154 kPa**, z = 2,50 m derinliğinde: 0,2733 $Q_p/x^2$ = 0,4154 kPa ile aynıdır.

# Çözüm (2/3)

ÇÖZÜM

4 Alanın boyutsuz değeri $I_0$

$$I_0 = \frac{1}{\pi}\left[\frac{1}{m} - \frac{m^2}{(1+m^2)^{3/2}}\right] = \frac{1}{\pi}\left[3 - \frac{1/9}{(10/9)^{3/2}}\right] = \frac{1}{\pi}[3 - 0{,}09487] = \mathbf{0{,}92473}$$

5 Momentin boyutsuz değeri $I_1$

$$I_1 = I_0 - \frac{1}{\pi(1+m^2)^{3/2}} = 0{,}92473 - \frac{1}{\pi(10/9)^{3/2}} = 0{,}92473 - 0{,}27178 = \mathbf{0{,}65295}$$

$I_0$ = **0,92473**, $I_1$ = **0,65295**: yalnız m'ye bağlı iki sayı; yük ve yükseklik bunların dışında kalır.

# Çözüm (3/3)

ÇÖZÜM

**6** Bileşke

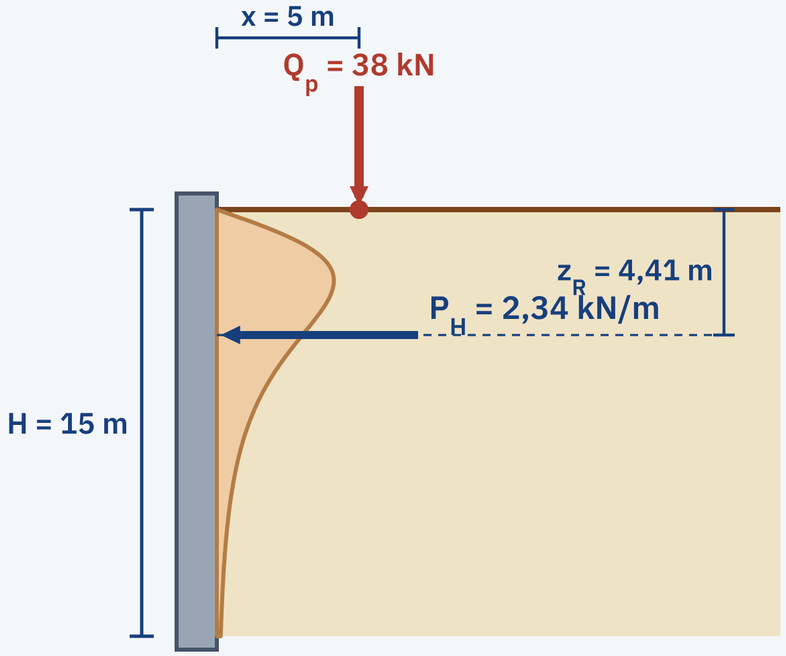
$$P_H = \frac{Q_p}{H}\, I_0 = \frac{38}{15} \times 0{,}92473 = \mathbf{2{,}34}\ \mathrm{kN/m}$$

**7** Etki çizgisi (tabandan)

$$L = H\,\frac{I_1}{I_0} = 15 \times \frac{0{,}65295}{0{,}92473} = \mathbf{10{,}59}\ \mathrm{m}$$

**8** Yüzeyden derinlik

$$H - L = 15{,}00 - 10{,}59 = \mathbf{4{,}41}\ \mathrm{m}$$




**$P_H$ = 2,34 kN/m**, yüzeyin **4,41 m** altında (tabandan 10,59 m). Kuvvet yükün kesitindedir: duvar uzunluğuyla çarpılmaz.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

# Soru

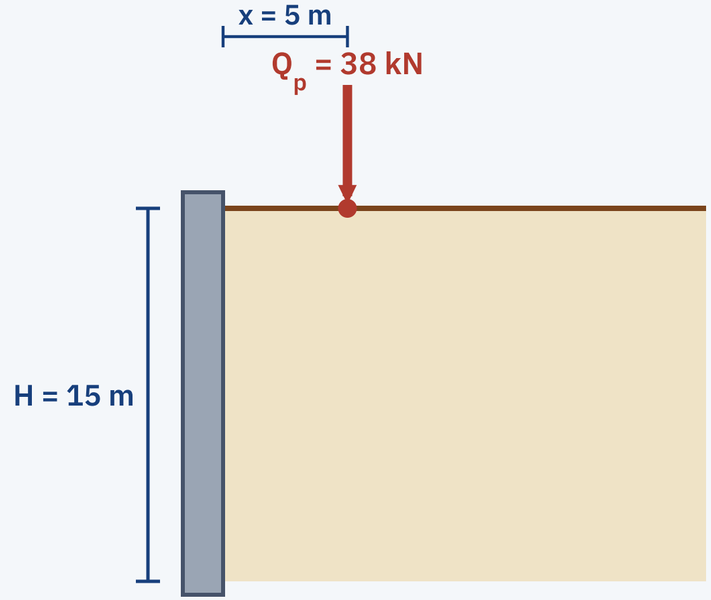
SORU

## Verilenler

| | |
|---|---|
| Duvar ve yük | $H = 15{,}00$ **m,** $Q_p = 38{,}0$ **kN,** $x = 5{,}00$ **m** |
| Yöntem | **Terzaghi–NAVFAC abağı;** $z = 2{,}50$ **m'deki basınç** |

## İSTENEN

Durum seçimi, $\sigma_H$ (z = 2,5 m), $I_0$, $I_1$, $P_H$ ve **L**.



# Çözüm (1/3)

ÇÖZÜM

**1** Durum seçimi

$$m = \frac{1}{3} = 0{,}333 \le 0{,}4 \;\Rightarrow\; \text{Durum 1: diyagram } m = 0{,}4\text{'te sabit}$$

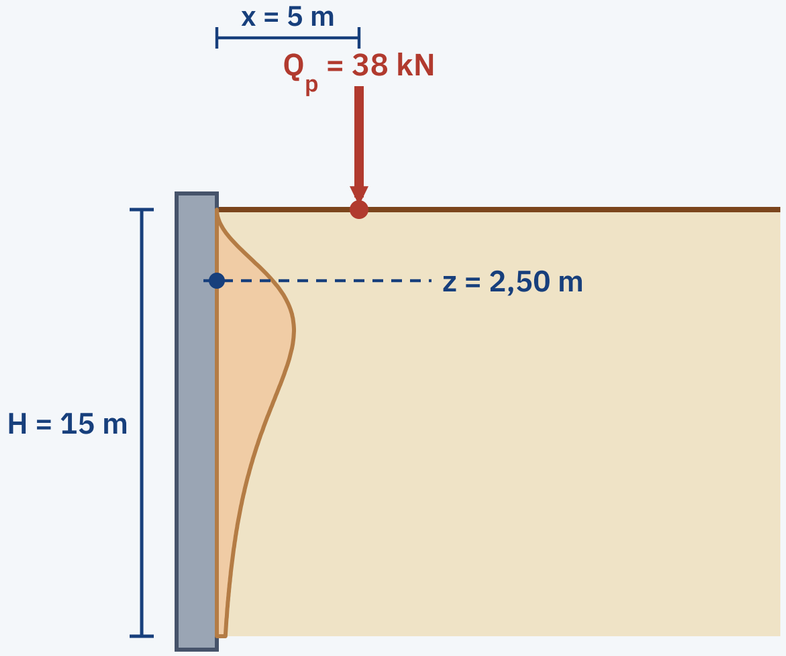
**2** Derinlik oranı

$$n = \frac{z}{H} = \frac{2{,}50}{15} = \mathbf{0{,}1667}$$

**3** Basınç

$$\sigma_H = 0{,}28\,\frac{38}{15^2}\cdot\frac{n^2}{(0{,}16+n^2)^3} = 0{,}04729 \times \frac{0{,}02778}{0{,}006621}$$

$$\sigma_H = 0{,}04729 \times 4{,}1953 = \mathbf{0{,}1984}\ \text{kPa}$$




z = 2,5 m'de abak basıncı **0,1984 kPa**; aynı derinlikte elastik çözüm 0,4154 kPa verir (zirve).

# Çözüm (2/3)

ÇÖZÜM

**4** İntegral (kapalı ifade, a = 0,16)

$$I_0 = \int_0^1 0{,}28\,\frac{n^2}{(a+n^2)^3}\,dn = 0{,}28\left[\frac{1}{8a(1+a)} - \frac{1}{4(1+a)^2} + \frac{\tan^{-1}(1/\sqrt{a})}{8a^{3/2}}\right]$$

**5** Sayılar

$$\frac{1}{8(0{,}16)(1{,}16)} = 0{,}6735 \qquad \frac{1}{4(1{,}16)^2} = 0{,}1858 \qquad \frac{\tan^{-1}2{,}5}{8(0{,}16)^{3/2}} = 2{,}3248$$

$$I_0 = 0{,}28\,[0{,}6735 - 0{,}1858 + 2{,}3248] = 0{,}28 \times 2{,}8125 = \mathbf{0{,}7875}$$

$I_0$ = **0,7875**: abağın m = 0,4 için verdiği 0,787 $Q_p/H$ sabitiyle aynıdır. Modül bu integrali sayısal olarak (Simpson) hesaplar.

# Çözüm (3/3)

ÇÖZÜM

**6** $I_1 = I_0 - \int n\,f\,dn$ (kapalı ifade, a = 0,16)

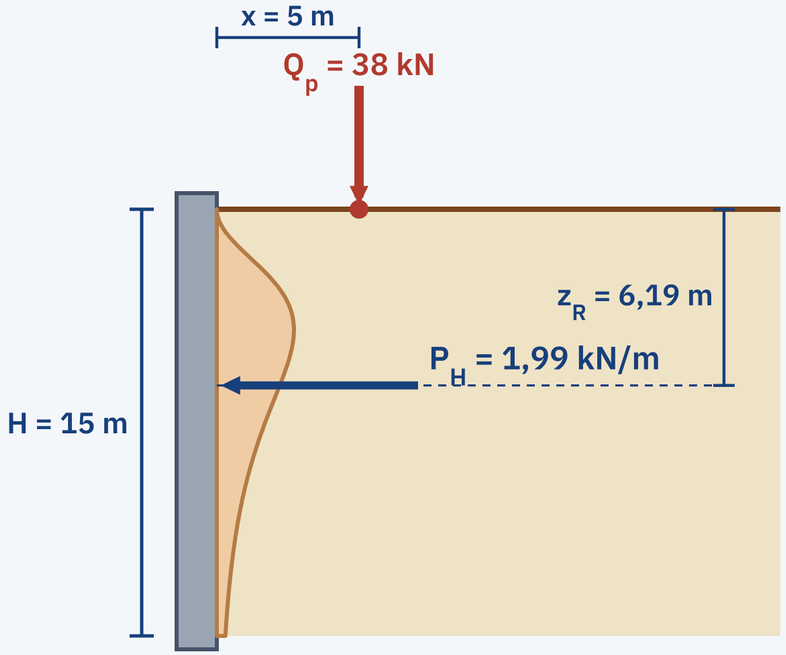
$$\int_0^1 nf\,dn = 0{,}28 \cdot \tfrac{1}{2}\left[\frac{1}{2a} - \frac{1}{1+a} + \frac{a}{2(1+a)^2}\right]$$

$$= 0{,}28 \times 1{,}1612 = 0{,}3251 \;\Rightarrow\; I_1 = 0{,}7875 - 0{,}3251 = \mathbf{0{,}4624}$$

**7** Bileşke ve etki çizgisi

$$P_H = \frac{38}{15} \times 0{,}7875 = \mathbf{1{,}99}\ \mathrm{kN/m}$$

$$L = 15 \times \frac{0{,}4624}{0{,}7875} = \mathbf{8{,}81}\ \mathrm{m}$$




Abak: **$P_H$ = 1,99 kN/m**, L = **8,81 m** (yüzeyden 6,19 m).
Elastik çözüme göre bileşke %15 daha küçük, etki çizgisi 1,78 m daha aşağıdadır.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

# Soru

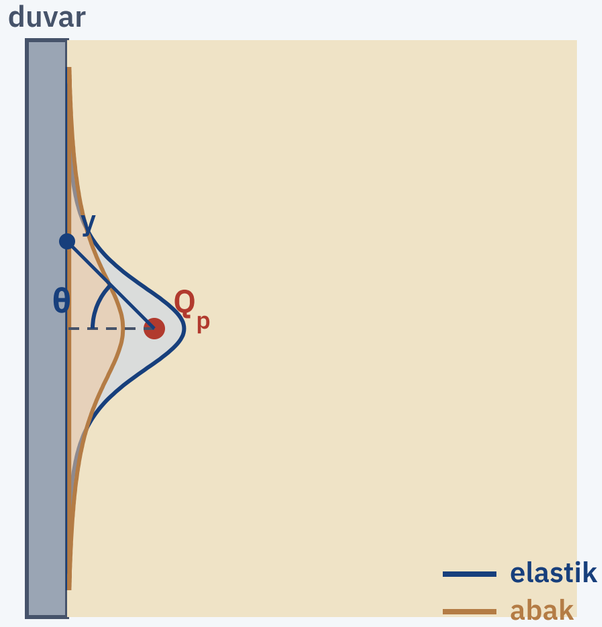
SORU

## Verilenler

| | |
|---|---|
| Duvar ve yük | $H = 15{,}00$ **m,** $Q_p = 38{,}0$ **kN,** $x = 5{,}00$ **m** |
| Derinlik | $z = 2{,}50$ **m** |
| Konum | **yükün dik doğrusundan** $y = 5{,}00$ **m uzakta** ($\theta = 45°$) |

## İSTENEN

Her iki yöntemde **σ′H** (y = 5 m); y = 0 – 15 m için dağılış.



# Çözüm (1/2)

ÇÖZÜM

**1** Elastik: $(R_0/R)^5$ ile azalma

$$R_0^2 = x^2 + z^2 = 31{,}25 \qquad R^2 = x^2 + y^2 + z^2 = 56{,}25$$

$$\sigma'_H = \sigma_H \left(\frac{R_0}{R}\right)^5 = 0{,}4154 \times \left(\frac{31{,}25}{56{,}25}\right)^{5/2} = 0{,}4154 \times 0{,}2300 = \mathbf{0{,}0956}\ \text{kPa}$$

**2** Abak: $\cos^2(1{,}1\theta)$ ile azalma

$$\theta = \tan^{-1}\frac{y}{x} = \tan^{-1}\frac{5}{5} = 45^\circ$$

$$\sigma'_H = \sigma_H \cos^2(1{,}1\theta) = 0{,}1984 \times \cos^2(49{,}5^\circ) = 0{,}1984 \times 0{,}4218 = \mathbf{0{,}0837}\ \text{kPa}$$

y = 5 m'de elastik basınç eksen değerinin 0,23'ü (0,0956 kPa), abak 0,42'si (0,0837 kPa) kadardır: abak duvar boyunca daha yavaş azalır, ama daha küçük bir başlangıç değerinden.

# Çözüm (2/2)

ÇÖZÜM

| y (m) | θ (°) | $\sigma'_H$ elastik (kPa) | oran | $\sigma'_H$ abak (kPa) | oran | elastik zirve z (m) | zirve basıncı (kPa) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,0 | 0,0 | 0,4154 | 1,00 | 0,1984 | 1,00 | 2,50 | 0,4154 |
| 2,5 | 26,6 | 0,2634 | 0,63 | 0,1511 | 0,76 | 2,80 | 0,2659 |
| 5,0 | 45,0 | 0,0956 | 0,23 | 0,0837 | 0,42 | 3,54 | 0,1039 |
| 7,5 | 56,3 | 0,0317 | 0,08 | 0,0439 | 0,22 | 4,51 | 0,0393 |
| 10,0 | 63,4 | 0,0115 | 0,03 | 0,0237 | 0,12 | 5,59 | 0,0166 |
| 15,0 | 71,6 | 0,0022 | 0,01 | 0,0076 | 0,04 | 7,91 | 0,0042 |

Basınç yükün dik doğrusunda en büyüktür ve duvar boyunca hızla söner; elastik çözümde zirve derinliği y arttıkça $\sqrt{(x^2 + y^2)}/2$'ye iner. Abakta azaltma $\theta \approx 81{,}8°$'den sonra sıfırda tutulur.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

# Soru

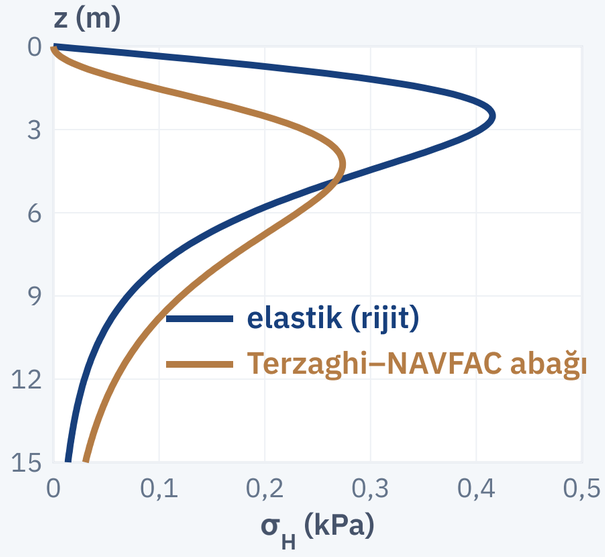
SORU

**İSTENEN**

İki yöntem için $\sigma_H$ profili; abağın **zirvesi** (Durum 1) elle.

**Verilenler**

| | |
|---|---|
| Duvar ve yük | $H = 15{,}00$ **m,** $Q_p = 38{,}0$ **kN,** $x = 5{,}00$ **m** |
| Derinlikler | $z = 0$ **–** $15$ **m, her** $1{,}5$ **m** |



# Çözüm (1/2)

ÇÖZÜM

| z (m) | n = z/H | $\sigma_H$ elastik (kPa) | $\sigma_H$ abak (kPa) |
|---|---|---|---|
| 0,00 | 0,00 | 0,0000 | 0,0000 |
| 1,50 | 0,10 | 0,3511 | 0,0963 |
| 3,00 | 0,20 | 0,4038 | 0,2364 |
| 4,50 | 0,30 | 0,2964 | 0,2724 |
| 6,00 | 0,40 | 0,1873 | 0,2309 |
| 7,50 | 0,50 | 0,1143 | 0,1715 |
| 9,00 | 0,60 | 0,0706 | 0,1211 |
| 10,50 | 0,70 | 0,0448 | 0,0844 |
| 12,00 | 0,80 | 0,0293 | 0,0591 |
| 13,50 | 0,90 | 0,0198 | 0,0420 |
| 15,00 | 1,00 | 0,0138 | 0,0303 |

Elastik basınç yüzeye yakın bir derinlikte (2,5 m) 0,4154 kPa ile zirve yapar ve hızla söner; abak daha düzgün bir profil verir, zirvesi daha derinde ve daha küçüktür.

# Çözüm (2/2)

ÇÖZÜM

**1** Türev sıfır: d/dn [n²/(0,16 + n²)³] = 0

$$2n(0{,}16 + n^2) - 6n^3 = 0 \;\Rightarrow\; n^2 = \frac{0{,}16}{3} = 0{,}0533$$

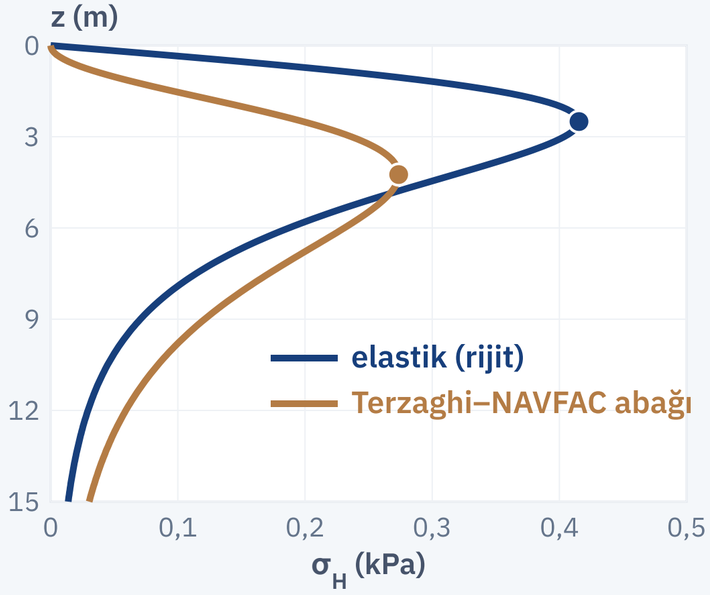
$$n = \mathbf{0{,}2828} \;\Rightarrow\; z = nH = \mathbf{4{,}243}\ \mathrm{m}$$

**2** Zirve basıncı (n² = 0,08)

$$\sigma_{H,max} = 0{,}28\,\frac{38}{15^2}\cdot\frac{0{,}08}{(0{,}16 + 0{,}08)^3}$$

$$\sigma_{H,max} = 0{,}04729 \times 5{,}787 = \mathbf{0{,}2737}\ \mathrm{kPa}$$

Abak zirvesi **0,2737 kPa** (z = 4,24 m); elastik zirve **0,4154 kPa** (z = 2,50 m): abak zirveyi aşağı taşır ve üçte ikisine indirir.




Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

# Soru

SORU

**Verilenler**

| | |
|---|---|
| Duvar ve yük | $H = 15{,}00$ **m,** $Q_p = 38{,}0$ **kN** |
| Uzaklıklar | $x = 0{,}3;\ 1;\ 2;\ 3;\ 4;\ 5;\ 6;\ 8;\ 10;\ 15$ **m** |
| Ek | $x < 0{,}30$ **m ve abağın** $0{,}4H = 6$ **m sınırı** |

**İSTENEN**

İki yöntem için $P_H$ ve **L**; **x = 10 m** için elle kontrol; $x_{min}$ ve sınır.

# Çözüm (1/3)

ÇÖZÜM

| x (m) | m | $P_H$ elastik (kN/m) | L elastik (m) | $P_H$ abak (kN/m) | L abak (m) | Durum |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,30 | 0,020 | 40,32 | 14,70 | 1,99 | 8,81 | Durum 1 |
| 1,00 | 0,067 | 12,09 | 14,01 | 1,99 | 8,81 | Durum 1 |
| 2,00 | 0,133 | 6,03 | 13,05 | 1,99 | 8,81 | Durum 1 |
| 3,00 | 0,200 | 4,00 | 12,15 | 1,99 | 8,81 | Durum 1 |
| 4,00 | 0,267 | 2,97 | 11,33 | 1,99 | 8,81 | Durum 1 |
| **5,00** | **0,333** | **2,34** | **10,59** | **1,99** | **8,81** | **Durum 1** |
| 6,00 | 0,400 | 1,91 | 9,94 | 1,99 | 8,81 | Durum 1 |
| 8,00 | 0,533 | 1,35 | 8,87 | 1,38 | 7,61 | Durum 2 |
| 10,00 | 0,667 | 1,00 | 8,05 | 0,9755 | 6,74 | Durum 2 |
| 15,00 | 1,000 | 0,5213 | 6,80 | 0,4402 | 5,45 | Durum 2 |

**x ≤ 6 m**: abak 1,99 kN/m ve L = 8,81 m verir, uzaklık etkisizdir; elastik $P_H$ yük yaklaştıkça hızla artar (x = 0,3 m için 40,32 kN/m). **x > 6 m**: iki yöntem birbirine yaklaşır, elastik bileşke daha yukarıda etkir.

# Çözüm (2/3)

ÇÖZÜM

**1** m = 10/15 = 0,667 > 0,4: abak Durum 2. Elastik: $I_0$, $I_1$, $P_H$, L

$$I_0 = \frac{1}{\pi}\left[\frac{1}{m} - \frac{m^2}{(1+m^2)^{3/2}}\right] = 0{,}3960 \qquad I_1 = I_0 - \frac{1}{\pi(1+m^2)^{3/2}} = 0{,}2126$$

$$P_H = \frac{38}{15} \times 0{,}3960 = \mathbf{1{,}00}\ \mathrm{kN/m} \qquad L = 15 \times \frac{0{,}2126}{0{,}3960} = \mathbf{8{,}05}\ \mathrm{m}$$

**2** Abak (Durum 2): Örnek 2 ile aynı kapalı ifadeler, a = m² ve katsayı 1,77 m²

$$I_0 = \int_0^1 f\, dn = 0{,}3851 \qquad I_1 = \int_0^1 f\,(1-n)\, dn = 0{,}1730$$

$$P_H = \frac{38}{15} \times 0{,}3851 = \mathbf{0{,}9755}\ \mathrm{kN/m} \qquad L = 15 \times \frac{0{,}1730}{0{,}3851} = \mathbf{6{,}74}\ \mathrm{m}$$

x = 10 m: elastik **1,00 kN/m**, L = 8,05 m; abak **0,9755 kN/m**, L = 6,74 m (tablodaki satır).

# Çözüm (3/3)

ÇÖZÜM

| x (m) | hesap x (m) | $P_H$ elastik (kN/m) | L (m) | $\sigma_{H,max}$ elastik (kPa) | $P_H$ abak (kN/m) |
|---|---|---|---|---|---|
| 0,05 | **0,30** | 40,32 | 14,70 | 115,4 | 1,995 |
| 0,10 | **0,30** | 40,32 | 14,70 | 115,4 | 1,995 |
| 0,20 | **0,30** | 40,32 | 14,70 | 115,4 | 1,995 |
| 0,30 | 0,30 | 40,32 | 14,70 | 115,4 | 1,995 |
| 0,50 | 0,50 | 24,19 | 14,50 | 41,5 | 1,995 |

**x < 0,30 m** yük 0,30 m'de hesaplanır; zirve bu uzaklıkta bile 115,4 kPa'dır.

| x (m) | m | Durum | $P_H$ abak (kN/m) | L abak (m) |
|---|---|---|---|---|
| 5,99 | 0,3993 | Durum 1 | 1,9950 | 8,8069 |
| 6,00 | 0,4000 | Durum 1 | 1,9950 | 8,8069 |
| 6,000001 | 0,400000 | Durum 2 | 2,0178 | 8,8069 |
| 6,01 | 0,4007 | Durum 2 | 2,0137 | 8,8000 |

Abak, **m = 0,4** sınırını geçerken $P_H$ değerini %1,14 artırır; L sürekli kalır.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

# Soru

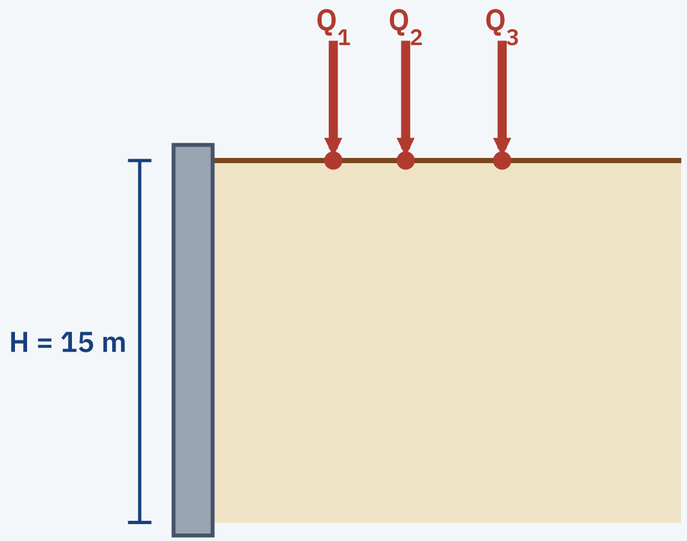
SORU

**İSTENEN**

Her yükün $P_{H,i}$ ve $L_i$ değeri; toplam $P_H$, $L$ ve toplam basıncın zirvesi.

**Verilenler**

| | |
|---|---|
| Duvar | $H = 15{,}00$ m |
| Yükler | $Q_1 = 38$ kN ($x_1 = 5$ m), $Q_2 = 60$ kN ($x_2 = 8$ m), $Q_3 = 25$ kN ($x_3 = 12$ m); hepsi duvara dik tek doğru üzerinde |
| Yöntem | elastik (rijit duvar); karşılaştırma için abak |



# Çözüm (1/3)

ÇÖZÜM

| Yük | x (m) | $Q_p$ (kN) | m | $I_0$ | $I_1$ | $P_{H,i}$ (kN/m) | $L_i$ (m) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $Q_1$ | 5 | 38 | 0,3333 | 0,92473 | 0,65295 | 2,3427 | 10,592 |
| $Q_2$ | 8 | 60 | 0,5333 | 0,53463 | 0,31597 | 2,1385 | 8,865 |
| $Q_3$ | 12 | 25 | 0,8000 | 0,30089 | 0,14933 | 0,5015 | 7,444 |

**1** Her yük kendi m değerinde (elastik)

$$P_{H,i} = \frac{Q_{p,i}}{H}\, I_{0,i} \qquad L_i = H\,\frac{I_{1,i}}{I_{0,i}} \qquad \text{ör. } P_{H,2} = \frac{60}{15} \times 0{,}53463 = \mathbf{2{,}1385}\ \mathrm{kN/m}$$

Her yük kendi $x_i$ uzaklığındadır; hepsi duvarın aynı kesitinin karşısındadır, bu yüzden bileşkeler toplanabilir.

# Çözüm (2/3)

ÇÖZÜM

**2** Toplam bileşke (elastik)

$$P_H = \sum P_{H,i} = 2{,}3427 + 2{,}1385 + 0{,}5015 = \mathbf{4{,}9827}\ \mathrm{kN/m}$$

**3** Etki çizgisi: tabana göre momentlerin dengesi

$$L = \frac{\sum P_{H,i} L_i}{P_H} = \frac{2{,}343(10{,}592) + 2{,}139(8{,}865) + 0{,}501(7{,}444)}{4{,}983} = \mathbf{9{,}534}\ \mathrm{m}$$

| Yöntem | $P_{H,1}$ | $P_{H,2}$ | $P_{H,3}$ | $P_H$ toplam (kN/m) | L toplam (m) | yüzeyden (m) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Elastik | 2,3427 | 2,1385 | 0,5015 | **4,9827** | **9,534** | 5,466 |
| Abak | 1,9950 | 2,1774 | 0,4624 | **4,6347** | **7,975** | 7,025 |

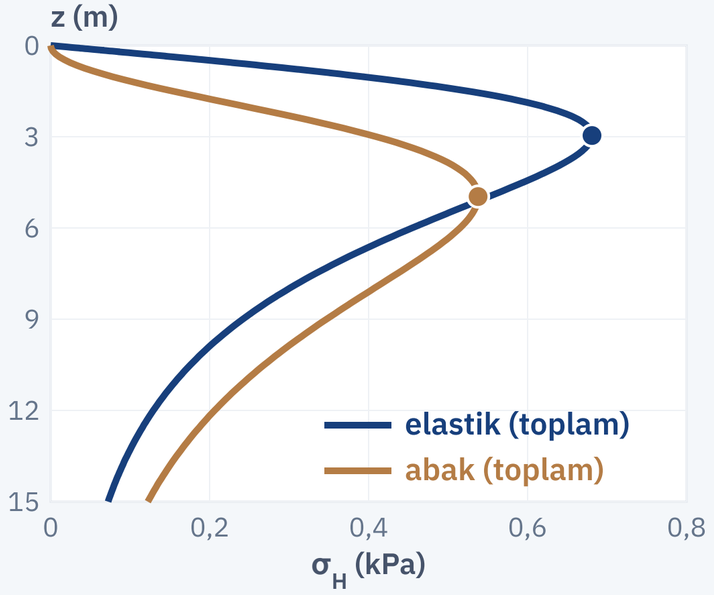
Üç yükün toplam bileşkesi elastik **4,98 kN/m**, abakta **4,63 kN/m**; etki çizgisi tabandan 9,53 m ve 7,97 m yukarıdadır.

# Çözüm (3/3)

ÇÖZÜM

| z (m) | $\sigma_{H,1}$ (kPa) | $\sigma_{H,2}$ (kPa) | $\sigma_{H,3}$ (kPa) | toplam $\sigma_H$ (kPa) |
|---|---|---|---|---|
| 0,0 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | **0,0000** |
| 1,5 | 0,3511 | 0,1540 | 0,0199 | **0,5250** |
| 3,0 | 0,4038 | 0,2416 | 0,0356 | **0,6810** |
| 4,5 | 0,2964 | 0,2533 | 0,0447 | **0,5944** |
| 6,0 | 0,1873 | 0,2200 | 0,0475 | **0,4548** |
| 9,0 | 0,0706 | 0,1304 | 0,0407 | **0,2417** |
| 12,0 | 0,0293 | 0,0705 | 0,0293 | **0,1291** |
| 15,0 | 0,0138 | 0,0387 | 0,0197 | **0,0722** |

Basınçlar toplanır (gerilme artışı): elastik toplam zirve **0,6811 kPa**, z = 2,96 m; abakta 0,5377 kPa, z = 4,97 m. Zirve, en büyük yükün ($Q_2$) payının öne çıktığı derinlikte oluşur.




Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Özet

# Akılda kalacak noktalar

**m = x/H**, **n = z/H**; elastik (rijit duvar): **$\sigma_H = (3Q_p/\pi)\, x^2z/R^5$**, zirve z = x/2, $\sigma_{H,max} = 0{,}2733\ Q_p/x^2$; **$x_{min}$ = 0,30 m**

**Abak**: Durum 1 ($m \le 0{,}4$): $\sigma_H = 0{,}28\ (Q_p/H^2)\ n^2/(0{,}16 + n^2)^3$; Durum 2: $1{,}77\ (Q_p/H^2)\ m^2n^2/(m^2 + n^2)^3$; 0,4H içinde uzaklık etkisiz

**Örnek (H = 15 m, x = 5 m, $Q_p$ = 38 kN)**: elastik zirve 0,4154 kPa (z = 2,5 m), $I_0$ = 0,9247, $I_1$ = 0,6530, **$P_H$ = 2,34 kN/m**, L = 10,59 m; abak $P_H$ = 1,99 kN/m, L = 8,81 m

**Planda**: elastik $(R_0/R)^5$, abak $\cos^2(1{,}1\theta)$ ($\theta \approx 81{,}8°$'e kadar); **birden çok yük** (en çok 3): basınçlar ve $P_{H,i}$ toplanır, L moment dengesinden

**Karşılaştırma**: $m \le 0{,}4$'te abak sabit; elastik $P_H$ yük yaklaştıkça artar; $P_H$ yükün kesitindedir, duvar uzunluğuyla çarpılmaz

# Kaynaklar

Das, B.M. (2016). Principles of Foundation Engineering, 8th ed. Cengage Learning; bu sayfa bu kaynağı izlemektedir.

Terzaghi, K. (1954). Anchored bulkheads. Transactions of the ASCE, 119, 1243–1280.

NAVFAC DM-7.02 (1986). Foundations and Earth Structures. Naval Facilities Engineering Command.

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

Mindlin, R.D. (1936). Discussion: Pressure distribution on retaining walls. Proc. 1st Int. Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Harvard, Vol. III, 155–156.

Spangler, M.G. and Mickle, J.L. (1956). Lateral pressures on retaining walls due to backfill surface loads. Highway Research Board Bulletin 141.

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

Frazee, G. (2021). New formulations of Boussinesq solution for vertical and lateral stresses in soil. ASCE Practice Periodical on Structural Design and Construction, 26(2).

USS Steel Sheet Piling Design Manual (1984); California Department of Transportation, Trenching and Shoring Manual — abak yöntemi.

**NOT**

Sayısal örneklerin tümü modülün kendi hesap motoruyla üretilmiştir; modül aynı değerleri verir. Modülün açılış duvarı H = 15 m, x = 5 m ve $Q_p$ = 38 kN'dur (elastik yöntem).

GeoTerva

Çevrim içi geoteknik hesaplar

# Teoriden uygulamaya

Kendi duvarınızı, tekil yüklerinizi (en çok üç) ve yöntemi GeoTerva'da girin; modül basınç profilini, planda dağılışı, bileşkeyi ve etki çizgisini, adım adım çözümü ve raporu birlikte verir.

Modülü açın →

Teori sayfası →

**Telefonla açın**
Örnek modüller kayıt gerektirmez.