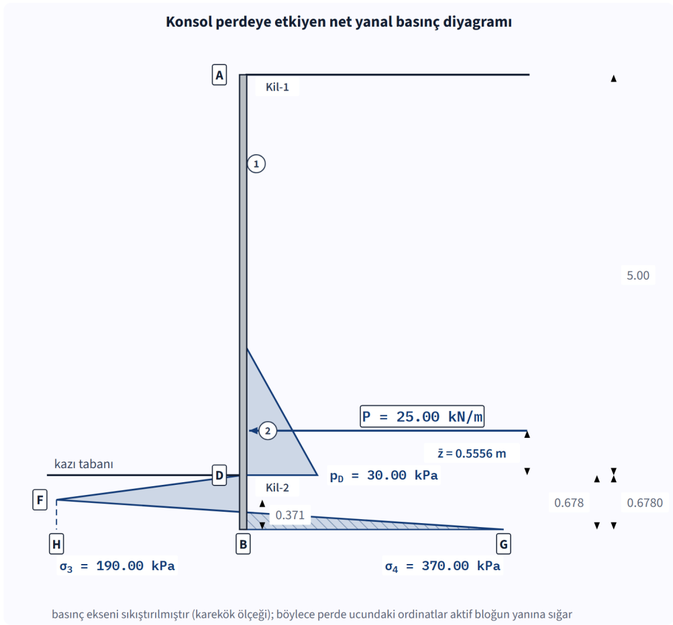
Geoteknik ders sunumu · Palplanş ve destekli kazılar

Kilde konsol palplanş duvar

Ders anlatımı: kilde konsol palplanş duvarın tasarımı (drenajsız net basınç, gömme derinliği, moment, kesit, deprem, taban kabarması); her konuda çözümlü örnek.

- Konsol palplanş
- Drenajsız kil (φ = 0)
- Gömme derinliği · en büyük moment
- Taban kabarması
- Deprem · yerdeğiştirme



Giriş

Bu derste neler öğreneceğiz?

- Kilde konsol palplanşın neden **drenajsız, toplam gerilme (φ = 0)** analiziyle çözüldüğünü; $K_a = K_p = 1$
- Tutulan kilin aktif basıncı **$\sigma_v - 2c_u$, çekme çatlağı z_c** ve kazı tabanı üstündeki bileşke P_1
- Kilde kazı tabanı altında **sabit net basınç $\sigma_6 = 4c_u - (\gamma L_1 + \gamma' L_2)$** ve uçtaki σ_7
- Yatay ve moment dengesinden **D için ikinci derece denklemi**; z' ve M_{max}
- Tasarım derinliği (f, K_p/FS_p, verilen derinlik); **su dolu çatlağın** ve farklı su seviyesinin etkisi
- Palplanş doğrulaması (EN 1993-1-1, AISC 360-22), **deprem**, yerdeğiştirme ve **taban kabarması** kontrolü

DERS AKIŞI

Her konu **üç adımda** işlenir:

1 · **Kuram**: kural nedir, neden öyle?

2 · **Soru**: verilenler ve istenen

3 · **Çözüm**: adım adım, sayılarla

Örnek duvar: kazı tabanı üstünde L = 5 m kil (γ = 18 kN/m³, c_u = 30 kPa), altında daha sert kil (c_u = 70 kPa); su yok, sürşarj yok. Elle çözümde çekme çatlağı kuru; modülün varsayılanında su dolu. Kuvvetler duvarın metresi içindir.

Nasıl çalışır, nasıl döner?

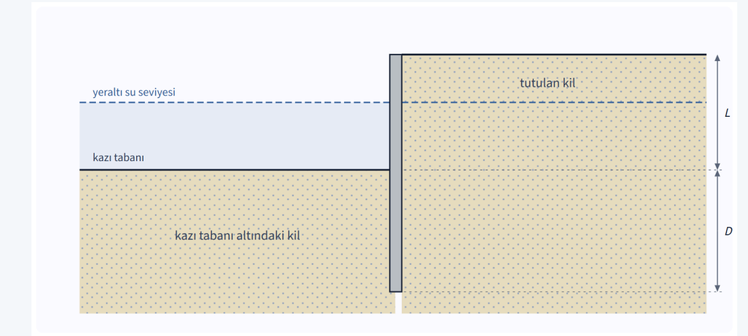
KURAM

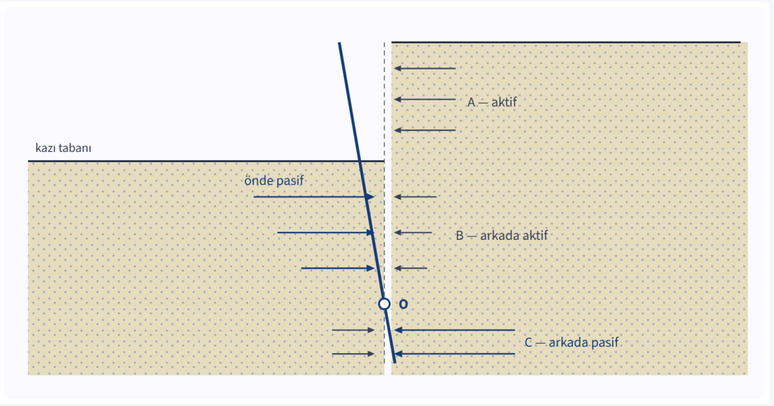
Palplanş duvar, kazı tabanı (L) üstündeki zemini tutar ve **gömme derinliği D** ile ayakta kalır. **Konsol** duvarın başka desteği yoktur; yalnız çakıldığı zeminin pasif direnciyle tutulur, bu yüzden kazı tabanı üstünde yaklaşık 6 m'ye kadar ekonomiktir.

Duvar, O noktası (uca yakın) etrafında rijit döner: **A** (kazı tabanı üstü) aktif; **B** (kazı tabanı–O) arkada aktif, önde pasif; **C** (O altı) arkada pasif, önde aktif.

Kaynak gerçek (eğri) dağılımı **doğrusal bir kurguyla** değiştirir: kazı tabanı altındaki net basınç ve uçtaki dönüş bloğu; yatay ve moment dengesi gömme derinliğini verir.

Kilde hızlı yüklenen zemin drenaj olamaz: analiz **drenajsız, toplam gerilmeyle** yapılır ($\varphi = 0$, c_u); Rankine katsayıları ikisi de 1'dir. Uzun süreli drenajlı durum (c', φ') bu modülde kontrol edilmez.





$\sigma_v - 2c_u$, çekme çatlağı z_c, P_1

KURAM

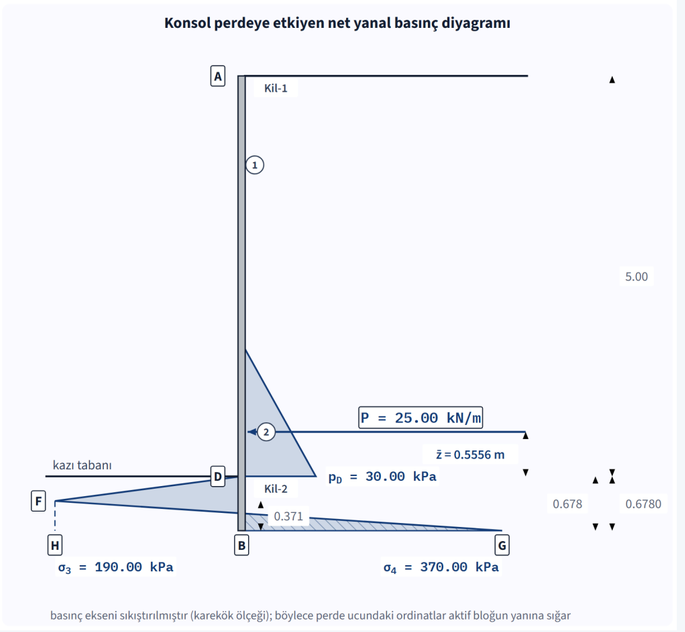
Kazı tabanı üstünde tutulan kil, drenajsız aktif basıncıyla iter: düşey toplam gerilme eksi $2c_u$ ($\varphi = 0$'da $K_a = 1$):

$$\sigma_a(z) = q + \gamma z - 2c_u \qquad z_c = \frac{2c_u - q}{\gamma}$$

$$P_1 = \tfrac{1}{2}\,\sigma_a(L)\,(L - z_c) \qquad \bar{z}_1 = \frac{L - z_c}{3}$$

Yüzeye yakın σ_a negatiftir: kil duvarı çekerdi. Böyle bir **emme sayılmaz**; basınç z_c derinliğine (çekme çatlağı) kadar sıfırdır, altında doğrusal artar. Tek kilde diyagram z_c'den kazı tabanına bir üçgendir; P_1, kazı tabanının $\bar{z}_1$ üstünde etkir.

Çatlak suyla dolu olabilir (modülün varsayılanı): çatlak boyunca hidrostatik su basıncı $\tfrac{1}{2}\gamma_w z_c^2$ P_1'e eklenir; çatlak **kuru** alınırsa (kaynağın denklemleri) eklenmez. Su tablası altında su, çatlağı sabit seviyede doldurur.



Net basınç diyagramı (su dolu çatlaklı açılış duvarı).

Soru

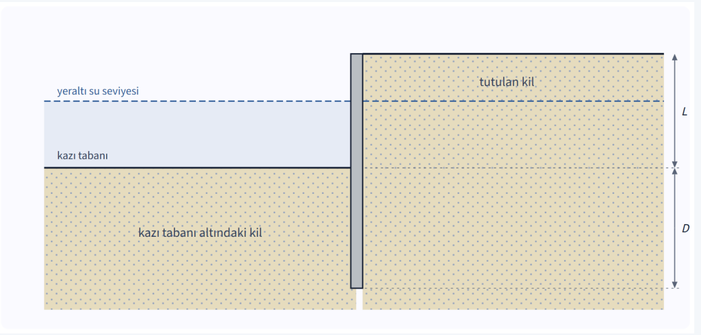
SORU

Verilenler

Zemin	**tutulan kil: $\gamma = 18$ kN/m³, $c_u = 30$ kPa; altında sert kil $c_u = 70$ kPa**
Duvar	**$L = 5$ m; su yok, sürşarj yok; çekme çatlağı kuru (kaynağın denklemleri)**

İSTENEN

z_c, $\sigma_a(L)$, P_1 ve kolu $\bar{z}_1$ (kazı tabanından).



Çözüm

ÇÖZÜM

1 Çekme çatlağı derinliği ve kazı tabanındaki aktif basınç

$$z_c = \frac{2c_u}{\gamma} = \frac{2(30)}{18} = \mathbf{3{,}333}\ \text{m}$$

$$\sigma_a(L) = \gamma L - 2c_u = 18(5) - 60 = \mathbf{30}\ \text{kPa}$$

2 Üçgen diyagramın bileşkesi ve kolu

$$P_1 = \tfrac{1}{2}\,\sigma_a(L)(L - z_c) = \tfrac{1}{2}(30)(1{,}667) = \mathbf{25{,}00}\ \text{kN/m}$$

$$\bar{z}_1 = \frac{L - z_c}{3} = \frac{1{,}667}{3} = \mathbf{0{,}5556}\ \text{m}\ \ (\text{kazı tabanının üstünde})$$

İlk **3,33 m** derinlikte kil aktif basınç vermez (çatlak); kazı tabanında σ_a = 30 kPa'a ulaşır. **P_1 = 25,0 kN/m**, kazı tabanından 0,556 m yukarıda.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Sabit net basınç σ_6 ve uçtaki σ_7

KURAM

Duvar gibi hızlı yüklenen kil drenaj olamaz: φ = 0, katsayılar 1, yüzdeki yanal basınçlar düşey toplam gerilme ∓ $2c_u$:

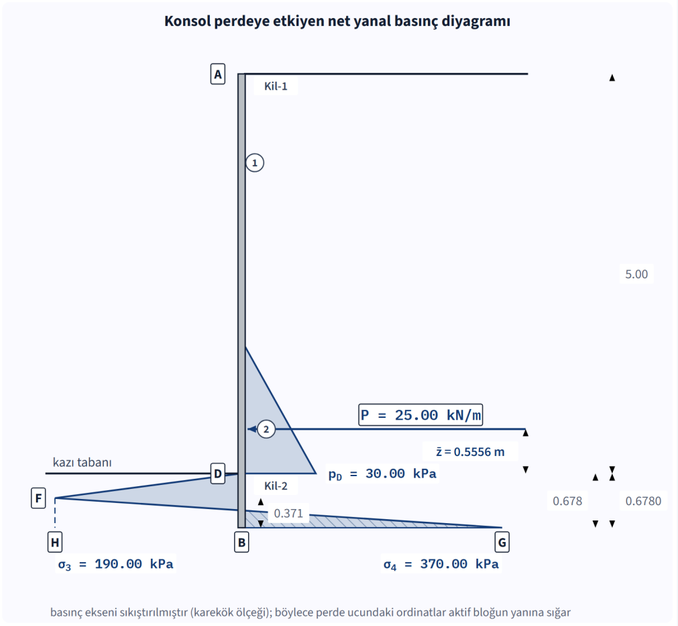
$$\sigma_a = \sigma_v - 2c_u \qquad \sigma_p = \sigma_v + 2c_u$$

Kazı tabanının hemen altında tutulan taraf taşıdığı yükle ($\gamma L_1 + \gamma' L_2$) − $2c_u$ iter; kazı yüzü, henüz yükü yokken, $2c_u$ ile direnir. Aşağıda her iki yüz de aynı yükü kazanır, **fark değişmez**: net basınç sabittir ve tutulan zemine doğrudur. Dönüş bölgesinde taraflar yer değiştirir:

$$\sigma_6 = 4c_u - (\gamma L_1 + \gamma' L_2) \qquad \sigma_7 = 4c_u + (\gamma L_1 + \gamma' L_2)$$

σ_6 pozitif olmalıdır: $4c_u$ kazı tabanındaki yükü aşmayan bir kil duvarı tutamaz, modül hesabı durdurur.

Sıfır noktası E kazı tabanının kendisidir; kazı tabanı altında net basınç sabit σ_6, uçta L_4 yüksekliğindeki blokla σ_7'ye döner.



Soru

SORU

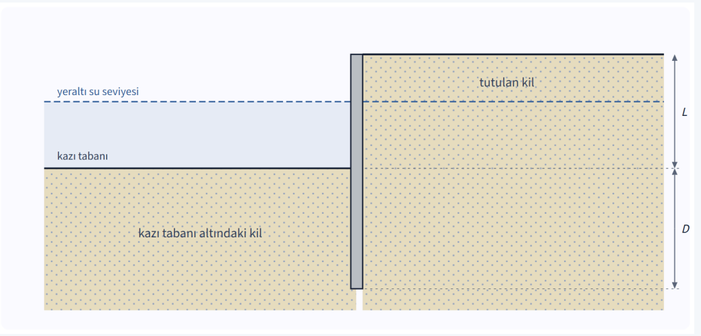
Verilenler

Verilenler

Örnek 1: $\gamma = 18$ **kN/m³,** $L = 5$ **m (su yok):** $\gamma L = 90$ **kPa; gömülü kilde** $c_u = 70$ **kPa**

İSTENEN

Kazı tabanı altında sabit net basınç $\boldsymbol{\sigma_6}$ ve uçtaki $\boldsymbol{\sigma_7}$; σ_6 pozitif mi?



Çözüm

ÇÖZÜM

1 Kazı tabanı altında net basınç (tutulan tarafa doğru)

$$\sigma_6 = 4c_u - (\gamma L_1 + \gamma' L_2) = 4(70) - 90 = \mathbf{190}\ \mathrm{kPa}\ > 0\ \checkmark$$

2 Uçtaki dönüş ordinatı

$$\sigma_7 = 4c_u + (\gamma L_1 + \gamma' L_2) = 4(70) + 90 = \mathbf{370}\ \mathrm{kPa}$$

Net basınç σ_6 = **190 kPa** pozitif: sert kil duvarı tutabilir. Uçta basınç dönüşü σ_7 = 370 kPa. Kazı tabanı altında her derinlikte aynı **190 kPa** net basınç etkir (sabit diyagram).

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

L_4 yatay dengeden, D için ikinci derece denklem

KURAM

Kazı tabanı üstünde bileşke P_1 (kol $\bar{z}_1$); altında σ_6 tüm gömmeye (D) etkir ve uç bloğu (yükseklik L_4) basıncı σ_7'ye döndürür. Yatay denge L_4'ü verir:

$$P_1 - \sigma_6 D + \tfrac{1}{2} L_4(\sigma_6 + \sigma_7) = 0 \;\Rightarrow\; L_4 = \frac{\sigma_6 D - P_1}{4c_u}$$

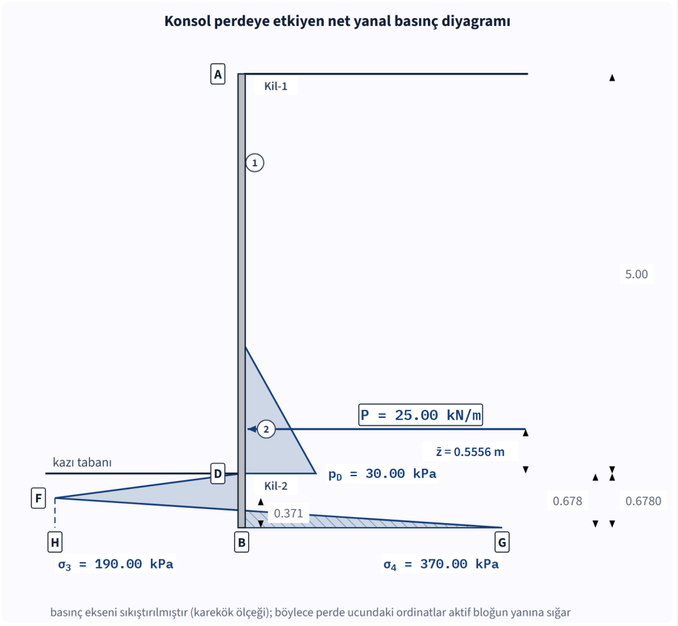
Uca göre moment dengesine L_4 konunca D için bir **ikinci derece** denklem kalır:

$$P_1(D + \bar{z}_1) - \frac{\sigma_6 D^2}{2} + \frac{4c_u}{3} L_4^2 = 0$$

$$\sigma_6(\sigma_6 - 6c_u)D^2 + P_1(12c_u - 2\sigma_6)D + P_1(P_1 + 12c_u\bar{z}_1) = 0$$

$$z' = \frac{P_1}{\sigma_6} \qquad M_{max} = P_1(z' + \bar{z}_1) - \frac{\sigma_6 z'^2}{2}$$

Kesme, sabit net basıncın P_1'i götürdüğü z' derinliğinde (kazı tabanının altında) sıfırdır; moment burada en büyüktür. D_{teorik} bu denklemin pozitif köküdür; pasif direnç tam harekete geçmiştir, pay yoktur.



Soru

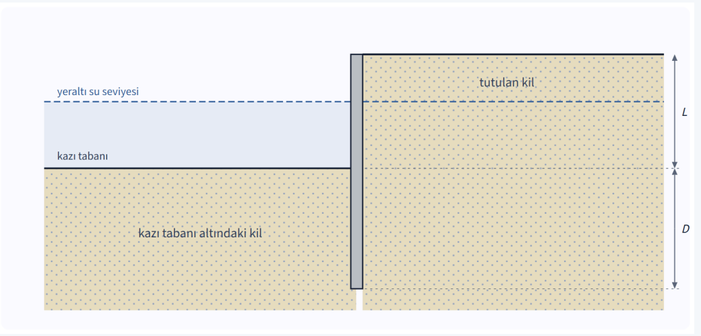
SORU

Verilenler

Verilenler	**Örnek 1–2: $P_1 = 25{,}00$ kN/m, $\bar{z}_1 = 0{,}5556$ m; $\sigma_6 = 190$ kPa, $\sigma_7 = 370$ kPa; $c_u = 70$ kPa**

İSTENEN

Denklemin katsayıları; D_{teorik}; uç bloğunun yüksekliği L_4.



Çözüm

ÇÖZÜM

1 Katsayılar

$$a = \sigma_6(\sigma_6 - 6c_u) = 190(190 - 420) = -43\,700$$

$$b = P_1(12c_u - 2\sigma_6) = 25(840 - 380) = 11\,500$$

$$c = P_1(P_1 + 12c_u\bar{z}_1) = 25(25 + 840(0{,}5556)) = 12\,291{,}7$$

2 Pozitif kök ve uç bloğu

$$-43\,700D^2 + 11\,500D + 12\,291{,}7 = 0 \;\Rightarrow\; D_{teorik} = \mathbf{0{,}678}\ \mathrm{m}$$

$$L_4 = \frac{\sigma_6 D - P_1}{4c_u} = \frac{190(0{,}678) - 25}{280} = \mathbf{0{,}3708}\ \mathrm{m}$$

Teorik gömme derinliği yalnız **D = 0,678 m**: gömülü kil sert (c_u = 70 kPa) ve çatlak kuru olduğundan kazı tabanı altında çok az gömme yeter. Uç bloğu 0,371 m.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Soru

SORU

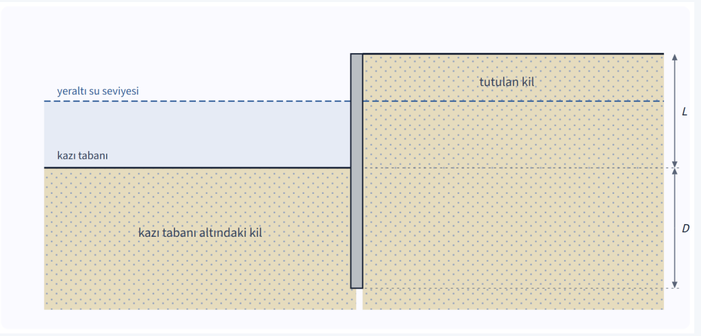
Verilenler

Verilenler

Örnek 1–3: $P_1 = 25{,}00$ **kN/m,** $\bar{z}_1 = 0{,}5556$ **m,** $\sigma_6 = 190$ **kPa**

İSTENEN

Kesmenin sıfır olduğu **z′** ve $\mathbf{M_{max}}$.



Çözüm

ÇÖZÜM

1 Kesmenin sıfır olduğu derinlik (kazı tabanından)

$$z' = \frac{P_1}{\sigma_6} = \frac{25}{190} = \mathbf{0{,}1316}\ \mathrm{m}$$

2 En büyük moment

$$M_{max} = P_1(z' + \bar{z}_1) - \frac{\sigma_6 z'^2}{2} = 25(0{,}1316 + 0{,}5556) - 95(0{,}1316)^2 = \mathbf{15{,}53}\ \mathrm{kN{\cdot}m/m}$$

M_{max} = 15,53 kN·m/m, kazı tabanının yalnız 0,13 m altında. Net basınç sabit olduğundan kesme kuvveti z′ boyunca doğrusal azalır, moment kazı tabanına çok yakın en büyük değerine ulaşır.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Güvenlik payı eklemenin yolları

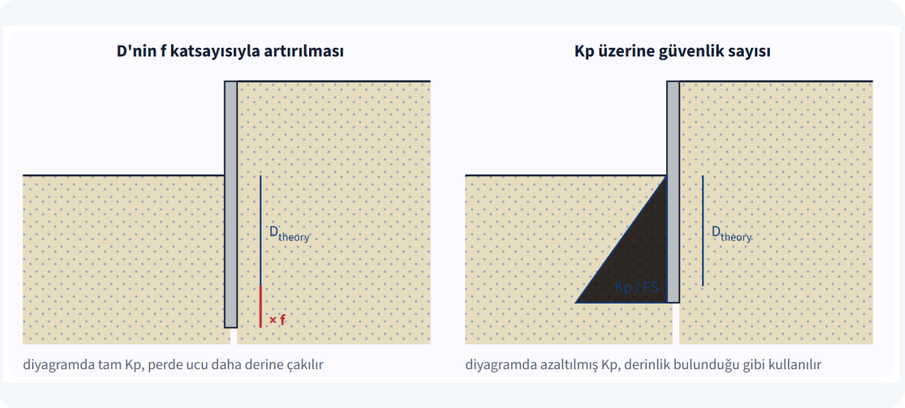
KURAM

Teorik derinlikte pay yoktur. İki yol (şekil):

Derinliği artırmak: $D_{tasarım} = f \cdot D_{teorik}$; kilde f = 1,4–1,6 alınır (modülün varsayılanı 1,5). Basınçlar ve moment teorik duvarınkidir.

Pasif basınca güvenlik katsayısı: diyagram baştan σ_p/FS_p ($\sigma_p = \sigma_v + 2c_u$) ile kurulur; çıkan derinlik olduğu gibi kullanılır, **moment büyür**.

Verilen derinlik: gerekli derinlikle doğrulanır ($D_{verilen} \geq D_{tasarım,gerekli}$); $\sigma_p/FS_{p,mob}$ ile diyagram verilen derinlikte tam dengededir. İç kuvvetler iki durum için çalışılır, palplanş **büyük momente** göre seçilir; verilen derinliğin momenti gerekli derinliğinkinden büyük olabilir.



Soru

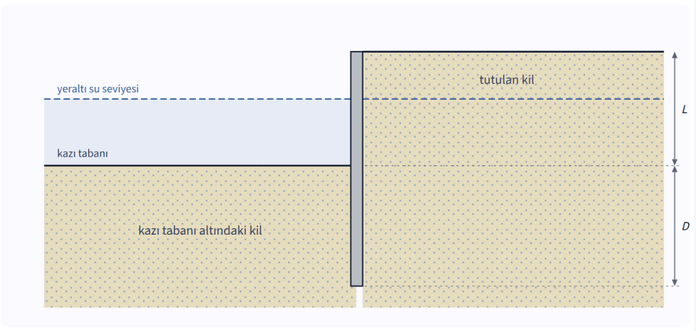
SORU

Verilenler

Duvar	**su dolu çekme çatlaklı açılış duvarı (modülün varsayılanı): $L = 5$ m, $c_u = 30/70$ kPa; çatlak kuruysa D = 0,678 m (Örnek 3)**
Yollar	**$f = 1{,}5$; $FS_p = 1{,}5$; verilen $D = 5{,}0$ m; palplanş S275, $W_{el} = 1\,400$ cm³/m ($\gamma_F = 1{,}35$)**

İSTENEN

Her yolun **$D_{tasarım}$**, toplam boyu, **M_{max}** ve palplanş kullanım oranı **η**.



Çözüm

ÇÖZÜM

1 $D_{tasarım} = f \cdot D_{teorik}$ (moment aynı); K_p yolunda diyagram yeniden kurulur

Yol	$D_{tasarım}$ (m)	L + D (m)	M_{max} (kN·m/m)	η (EN 1993)	Not
Çatlak kuru, f = 1,5 (Örnek 3)	1,017	6,02	15,53	0,054	D_{teorik} = 0,678 m
Su dolu çatlak, f = 1,5	3,433	8,43	181,91	0,638	D_{teorik} = 2,288 m
Su dolu, FS_p = 1,5	2,775	7,77	187,51	0,657	derinlik ve moment artar
Su dolu, verilen D = 5,0 m	5,000	10,00	209,71	0,735	$FS_{p,mob}$ = 5,19

Su dolu çatlak çok daha büyük bir yük getirir: P_1 25,0 → 79,5 kN/m, D_{teorik} 0,68 → 2,29 m, M_{max} 15,5 → 181,9 kN·m/m (Örnek 6). Verilen D = 5,0 m, tasarım derinliğinden (3,43 m) uzundur ve pasif direncin yalnız 1/5,2'ini harekete geçirir; ama gerekli derinlik durumunun momentinden (181,9) **büyük moment** (209,7 kN·m/m) verir: palplanş büyük olana göre seçilir.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Çekme çatlağındaki su ve farklı su seviyeleri

KURAM

Su dolu çatlak (modülün varsayılanı): çatlak boyunca hidrostatik basınç $P_w = ½\gamma_w z_c^2$ aktif basınca eklenir (kolu çatlağın alt üçte birinde); toplam $P_1 = P_w + ½\sigma_a(L)(L - z_c)$. Çatlak **kuru** seçilirse kaynağın denklemleri.

İki yüzde aynı su seviyesi: kazı tabanı üstünde hidrostatik basınçlar götürülür; su tablası altında kilin batık birim ağırlığı γ′ kullanılır, su tablası yoksa her yerde doğal γ.

Farklı seviyeler (kaynağın ötesinde): kazı tabanı üstünde net su basıncı aktif basınca eklenir (sızma yok). Kil toplam gerilmede çözüldüğünden ($\gamma L_1 + \gamma' L_2$) yerine iki yüzün toplam düşey gerilmeleri farkı $\Delta q = q_r - q_e$ gelir; kil içindeki su seviyeleri drenajsız analize girmez.

$$u_{net}(z) = \gamma_w(z - D_w) - \gamma_w(z - D_{w,exc}) \quad (\text{her terim} \geq 0)$$

$$\sigma_6 = 4c_u - \Delta q \qquad \Delta q = q_r - q_e$$

$$P_1 = \tfrac{1}{2}\gamma_w z_c^2 + \tfrac{1}{2}\sigma_a(L)(L - z_c)$$

Soru

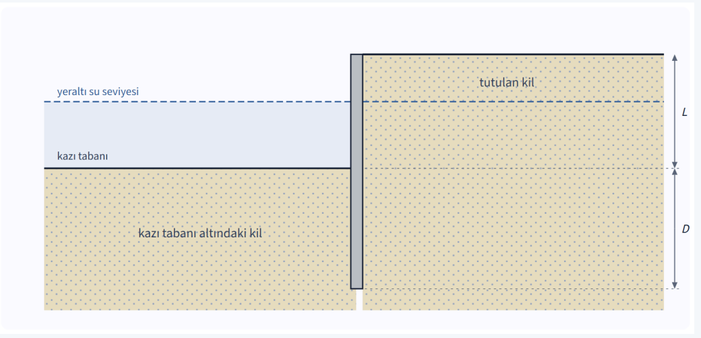
SORU

Verilenler

Duvar	**Örnek 1–5'teki duvar ($L = 5$ m, $\gamma = 18$, $c_u = 30/70$ kPa)**
Durumlar	**(a) çatlak kuru; (b) çatlak suyla dolu (varsayılan); (c) arkada su 2 m'de, kazı tarafında 6 m'de (net su basıncı)**

İSTENEN

(b) için $\mathbf{P_1}$ ve $\bar{\mathbf{z}}_\mathbf{1}$ (elle); üç durumun $\mathbf{D_{teorik}}$ ve $\mathbf{M_{max}}$ değerleri.



Çözüm

ÇÖZÜM

1 (b) Çatlaktaki su basıncı eklenir (çatlak derinliği z_c = 3,333 m)

$$P_w = \tfrac{1}{2}\gamma_w z_c^2 = \tfrac{1}{2}(9{,}81)(3{,}333)^2 = 54{,}50\ \text{kN/m} \quad (\text{kol } 5 - \tfrac{2}{3}z_c = 2{,}778\ \text{m})$$

$$P_1 = 54{,}50 + 25{,}00 = \mathbf{79{,}50}\ \text{kN/m} \qquad \bar{z}_1 = \frac{54{,}50(2{,}778) + 25{,}00(0{,}5556)}{79{,}50} = \mathbf{2{,}0790}\ \text{m}$$

2 Üç durumun özeti (aynı denklemler; D ve M için ikinci derece denklem çözülür)

Durum	P_1 (kN/m)	$\bar{z}_1$ (m)	σ_6 (kPa)	D_{teorik} (m)	M_{max} (kN·m/m)
(a) Çatlak kuru	25,00	0,556	190	0,678	15,53
(b) Çatlak su dolu	79,50	2,079	190	2,288	181,91
(c) Farklı su seviyesi	115,70	1,754	187	2,765	238,79

Su dolu çatlak P_1'i 25,0'ten **79,5 kN/m**'ye çıkarır: gömme 0,68 → **2,29 m**, moment 15,5 → **181,9 kN·m/m**. Farklı su seviyesi (net su basıncı) P_1 = 115,7 kN/m, D = 2,77 m, M = 238,8 kN·m/m verir. Çekme çatlağındaki suyu atlamak güvensiz tarafa düşer.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

EN 1993-1-1 ve AISC 360-22

KURAM

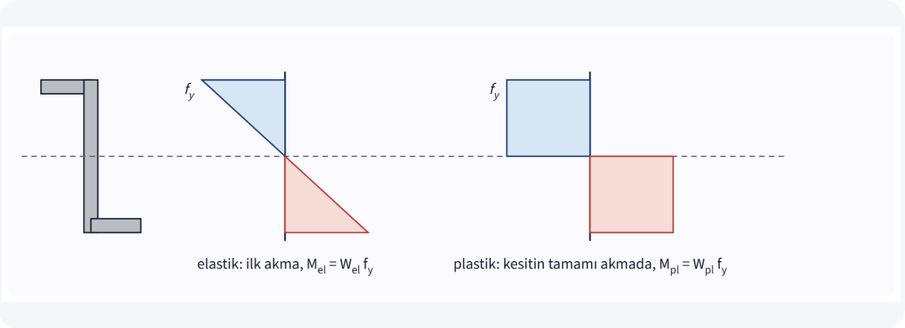
Klasik yol: S = M_{max}/σ_{izin}. Modül sınır durum doğrulaması yapar: net basınç diyagramının momenti karakteristik bir etkidir; kısmi katsayı onu tasarım değerine çıkarır:

$$M_{Ed} = \gamma_F M_{max} \quad W_{req} = \frac{M_{Ed}\gamma_{M0}}{f_y} \quad M_{c,Rd} = \frac{W f_y}{\gamma_{M0}} \quad \eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

Tabloda **W_{el}** (ilk akma, sınıf 3'e kadar) ve **W_{pl}** (tam plastik, sınıf 1–2) vardır. Gömme derinliğinin payı çelik koduyla ayrıca çarpılmaz.

$$\text{LRFD: } M_u = \gamma_H M_{max} \leq \phi_b M_n,\ \phi_b = 0{,}90 \qquad \text{ASD: } M_a = M_{max} \leq \frac{M_n}{\Omega_b},\ \Omega_b = 1{,}67$$

$M_n = F_yZ$ (kompakt) ya da ilk akmada F_yS; zemin basıncı yanal toprak basıncı H sayılır: LRFD'de γ_H = 1,6, ASD'de 1,0.



Soru

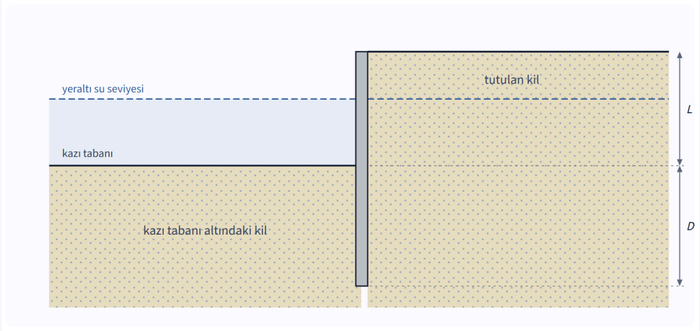
SORU

Verilenler

Kesit	**S275 ($f_y = 275$ MPa); $W_{el} = 1\,400$ cm³/m**
Moment	**Su dolu çatlaklı duvar: $M_{max} = 181{,}91$ kN·m/m; EN: $\gamma_F = 1{,}35$, $\gamma_{M0} = 1{,}00$; AISC: $\gamma_H = 1{,}6$, $\Omega_b = 1{,}67$ ($M_n = F_y S$)**

İSTENEN

EN 1993-1-1 için **M_{Ed}**, **W_{req}**, $M_{c,Rd}$, **η**; AISC LRFD ve ASD için η.



Çözüm (1/2)

ÇÖZÜM

1 EN 1993-1-1

$$M_{Ed} = 1{,}35(181{,}91) = \mathbf{245{,}58}\ \mathrm{kN\cdot m/m}$$

$$W_{req} = \frac{M_{Ed}\gamma_{M0}}{f_y} = \frac{245{,}58(1{,}00)}{275\,000} = \mathbf{893{,}0}\ \mathrm{cm^3/m}$$

$$M_{c,Rd} = 1\,400 \cdot 10^{-6}(275\,000) = 385{,}00\ \mathrm{kN\cdot m/m} \qquad \eta = \frac{245{,}58}{385{,}00} = \mathbf{0{,}638}\ \leq 1\ \checkmark$$

Seçilen palplanş yeterlidir: η = **0,638**; gereken W = 893 cm³/m < 1 400 cm³/m.

Çözüm (2/2)

ÇÖZÜM

1 AISC 360-22: $M_n = F_y S = 275\,000\,(1\,400 \cdot 10^{-6}) = 385{,}0$ kN·m/m

$$\text{LRFD: } M_u = 1{,}6(181{,}91) = 291{,}06\ \text{kN·m/m} \le \phi_b M_n = 0{,}90(385{,}0) = 346{,}5 \quad \eta = \mathbf{0{,}840}$$

$$\text{ASD: } M_a = 181{,}91\ \text{kN·m/m} \le \frac{M_n}{\Omega_b} = \frac{385{,}0}{1{,}67} = 230{,}5 \quad \eta = \mathbf{0{,}789}$$

AISC ile de yeterli: LRFD η = **0,840**, ASD η = **0,789**; EN 1993-1-1'de 0,638. Kodların güvenlik felsefeleri farklı olduğundan oranlar farklıdır.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Yarı-statik drenajsız kama

KURAM

Deprem, zemin kamalarına sabit atalet kuvvetleri ($k_h W$ yatay, $k_v W$ düşey) ekleyerek statik limit denge kurgusunu korur. Kilde Mononobe–Okabe uygulanamaz ($\varphi = 0$); modül **45° kritik düzlemli drenajsız bir kama** alır (GeoTerva varsayımı):

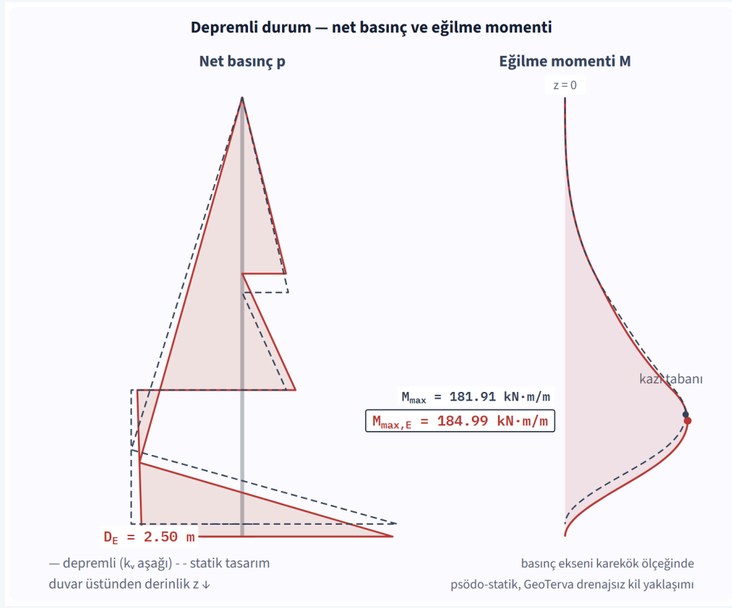
$$\tan\theta = \frac{k_h}{1 \mp k_v} \qquad K^c_{AE} = 1 + \tan\theta \qquad K^c_{PE} = 1 - \tan\theta$$

$$\text{basınç:}\ \ (1 \mp k_v)\,(1 \pm \tan\theta)\,\sigma_v \ \mp\ 2c_u = \left[(1 \mp k_v) \pm k_h\right]\sigma_v \ \mp\ 2c_u$$

Kilin boşluk suyu her zaman zeminle birlikte hareket eder (kısıtlı); serbest su ancak çok geçirgen zeminde olur. **k_v'nin iki yönü** de kontrol edilir.

Kontrol: net basınç diyagramı statik gibi kurulur; iki denge denklemi **D_E** verir. Deprem kazaya bağlı durumdur, pasife katsayı konmaz: duvar **$D_E \le D_{tasarım}$** ise dayanır. Konsolda sismik basınçlar statikler gibi efektif gerilmeyle orantılı dağıtılır.

Sismik birleşimde etkiler 1,0 ile alınır: $M_{Ed,E} = M_{max,E}$.



Soru

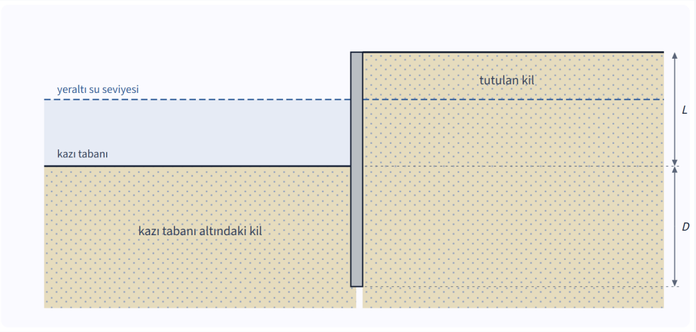
SORU

Verilenler

Duvar	**Örnek 6(b): su dolu çatlaklı duvar,** $D_{tasarım} = 3{,}43$ **m,** $M_{max} = 181{,}91$ **kN·m/m;** $W_{el} = 1\,400$ **cm³/m**
Deprem	$k_h = 0{,}15$**,** $k_v = \pm 0{,}075$ **(iki yön)**

İSTENEN

Sismik katsayılar; $\mathbf{D_E}$ (iki k_V yönü), $\mathbf{M_{max,E}}$; statik duvar bu depreme dayanır mı?



Çözüm

ÇÖZÜM

1 Sismik katsayılar (statik: aktif = pasif = 1) ve iki yön için sonuç

k_v	f_v	tan θ	aktif: $f_v + k_h$	pasif: $f_v - k_h$	D_E (m)	$M_{max,E}$ (kN·m/m)
+0,075	0,925	0,1622	1,075	0,775	2,391	181,39
−0,075	1,075	0,1395	1,225	0,925	**2,503**	184,99

2 Kontrol ve kesit

$$D_E = 2{,}50\ \text{m} \ \le\ D_{tasarım} = 3{,}43\ \text{m}\ \checkmark$$

$$M_{Ed,E} = M_{max,E} = 184{,}99\ \text{kN·m/m} \qquad \eta_E = \frac{184{,}99}{385{,}00} = \mathbf{0{,}481} \le 1\ \checkmark$$

Statik tasarım bu depreme **dayanır**: sismik diyagram yalnız **2,50 m** gömme ister (tasarım 3,43 m); moment 185,0 kN·m/m (statik 181,9) neredeyse aynıdır ve palplanş yeterlidir. Kilde net basınç sabit olduğundan deprem diyagramı çok az değiştirir.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Yatak katsayısı yöntemi

KURAM

Limit denge gömme derinliğini ve momenti verir ama duvarın **ne kadar yer değiştirdiğini** vermez. Çalışma durumundaki yerdeğiştirme için duvar elastik kiriş (EI), her yüzde zemin bağımsız yaylar (Winkler):

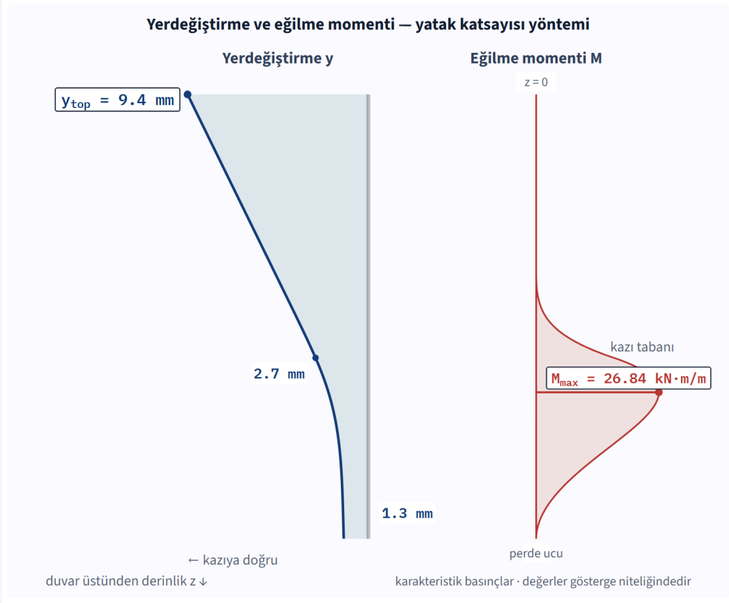
$$EI\frac{d^4y}{dz^4} = p_R(z) - p_E(z) + u_{net}(z)$$

$$p_R = K_0\sigma_{v,r} - k_h y \;\; (\sigma_a \le p_R \le \sigma_p) \qquad p_E = K_0\sigma_{v,e} + k_h y \;\; (\ldots) \qquad K_0 = 1 - \sin\varphi'$$

Yaylar sükunet basıncından başlar, yerdeğiştirmeyle orantılı değişir, aktif ve pasif sınırı geçmez. k_h zemin özelliğinden çok **model parametresidir**. Kilde φ = 0 olduğundan K_0 = 1.

Duvar tasarım boyundadır (L + $D_{tasarım}$), iki ucu serbest; basınçlar karakteristik, güvenlik katsayısı yok. Kazı tek aşamada, duvar önceden yerinde.

Çözüm sonlu elemanlarla, yaylar elastik/aktif/pasif duruma gelene kadar yinelenerek yapılır; sonuç **limitsiz bir tahmin** olarak verilir.



Soru

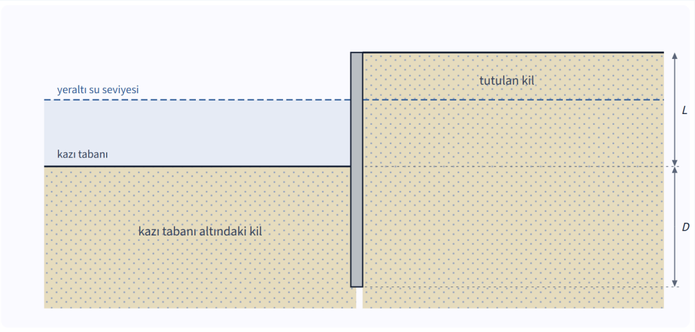
SORU

Verilenler

Duvar	**Örnek 6(b): tasarım boyu $L + D = 8{,}43$ m**
Palplanş	$I = 21\,000$ **cm⁴/m,** $E = 210\,000$ **MPa (**$EI = 44\,100$ **kN·m²/m)**
Zemin	$k_h = 15$ **MN/m³ (üst kil),** 30 **MN/m³ (alt kil)**

İSTENEN

Duvar tepesinde, kazı tabanında ve uçta **yerdeğiştirme**; modelin en büyük momenti limit denge momentine eşit mi?



Çözüm

ÇÖZÜM

1 Model

$$EI = 210\,000\,000(21\,000 \cdot 10^{-8}) = 44\,100\ \mathrm{kN{\cdot}m^2/m} \qquad K_0 = 1 - \sin 0^\circ = 1$$

$$EI\,y^{IV} = p_R - p_E \ \ (\text{sonlu eleman, yaylar elastik/aktif/pasif})$$

2 Sonuç (kazıya doğru)

$$y_{üst} = \mathbf{9{,}4\ mm} \qquad y_{kazı\ tabanı} = \mathbf{2{,}7\ mm} \qquad y_{uç} = 1{,}3\ \mathrm{mm}$$

$$M_{max}^{model} = 26{,}84\ \mathrm{kN{\cdot}m/m}\ \ (z = 5{,}65\ \mathrm{m}) \qquad M_{max}^{limit\ denge} = 181{,}91$$

Duvar tepesi kazıya doğru **9,4 mm**, kazı tabanı 2,7 mm, uç 1,3 mm kayar. Çalışma durumundaki modelin momenti (26,8 kN·m/m) limit denge momentinden (181,9) **çok küçüktür**: yaylar pasif sınırın yalnız %48'ini kullanır; limit denge duvarın göçme anını anlatır ve **tasarım momenti** odur.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Kazı tabanının göçmesi

KURAM

Yanal denge ne kadar kısa gömme verirse versin kazı tabanı hakkında bir şey söylemez. Kilde taban **yukarı kabarabilir**: kazı altındaki kil, yanındaki zeminin ağırlığıyla içeri sıkışır (ters taşıma gücü göçmesi). Kazılar için olağan kontrol, göçme yüzeyindeki kayma direncini bu ağırlıkla karşılaştırır:

$$FS = \frac{5{,}14\, c_u \left(1 + 0{,}2\dfrac{B''}{L_{exc}}\right) + \dfrac{c_{side} H}{B'}}{\sigma_v(H) + q} \qquad B' = \min\left(T, \frac{B}{\sqrt{2}}\right),\ B'' = \sqrt{2}\, B'$$

B kazı genişliği, L_{exc} plan boyu (uzun kazıda şekil terimi düşer), T tabanın altındaki sert tabakanın derinliği (girilmezse yüzey yalnız genişlikle sınırlanır); c_u tabanın altındaki kil, c_{side} tutulan yükseklikte ortalama kohezyon, $\sigma_v(H)$ taban seviyesinde yandaki toplam gerilme.

Perdenin tabanın altındaki gömmesi sayılmaz (güvenli taraf). Sürşarj ve şerit/nokta yükler B′ içinde eşdeğer üniform yük olarak q'ya eklenir. Çok tabakada formül GeoTerva'nın tabakalı uzantısıyla kullanılır.

$$FS_{req} = 1{,}5$$

Gerekli güvenlik sayısı girdidir; kontrol yalnız kohezyonlu kazılar içindir.

Soru

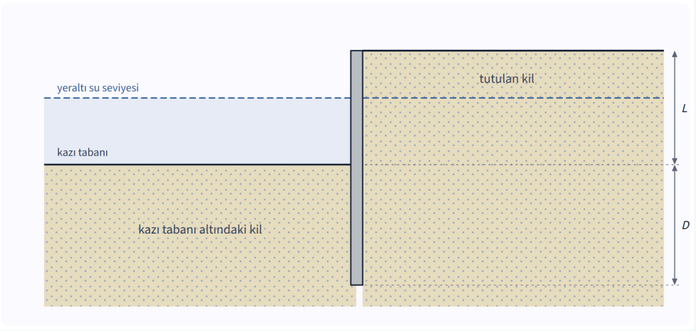
SORU

Verilenler

Kazı	**genişlik $B = 10$ m (uzun kazı, sert tabaka girilmedi); duvar Örnek 6'daki ($H = 5$ m)**
Zemin	**taban altı kil $c_u = 70$ kPa; tutulan yükseklikte ortalama $c_{side} = 30$ kPa; $\sigma_v(H) = 90$ kPa; sürşarj yok**

İSTENEN

B′, **FS** (≥ 1,5?); kazı genişliği B = 5 m ve 20 m olsaydı?



Çözüm

ÇÖZÜM

1 Etkin genişlik (L_{exc} girilmedi: şekil terimi yok)

$$B' = \frac{B}{\sqrt{2}} = \frac{10}{\sqrt{2}} = \mathbf{7{,}071\ \mathrm{m}}$$

2 Güvenlik sayısı

$$FS = \frac{5{,}14(70) + 30(5)/7{,}071}{90} = \frac{359{,}8 + 21{,}2}{90} = \mathbf{4{,}23} \ \geq 1{,}5\ \checkmark$$

$$B = 5\ \mathrm{m}:\ \ FS = 4{,}47 \qquad B = 20\ \mathrm{m}:\ \ FS = 4{,}12$$

Taban kabarmasına karşı güvenlik **4,23** (gerekli 1,5): taban güvenlidir. Genişlik arttıkça yan kayma payı azalır (B = 20 m için 4,12); alt kilin c_u değeri belirleyicidir.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Çözümün kapsamı

KURAM

Her tabaka kil, **drenajsız toplam gerilmede** (φ = 0) çözülür: **kısa süreli durum**. Uzun süreli drenajlı durum (c′, φ′) kontrol edilmez; kalıcı duvarlarda belirleyici olabilir. Kum dolgulu duvar kum modülüyle tasarlanır.

Rankine basınçları duvar adezyonu olmadan: $K_a = K_p = 1$; aktif $\sigma_v - 2c_u$, pasif $\sigma_v + 2c_u$; kazı tabanı üstünde emme yok (çekme çatlağı, varsayılan suyla dolu, ya da kuru; su tablası altında çatlak yeraltı suyunu tutar).

Kaynağın basitleştirilmiş net basınç diyagramı: her derinlikte iki yüzün basınçları, yatay dengeden uç bloğu, momentlerden derinlik. Su iki yüzde aynı ya da farklı (sızmasız); sızma modellenmez.

Depremde kil, 45° kritik düzlemli yarı-statik drenajsız kamayla alınır (GeoTerva varsayımı). Palplanş eğilmede doğrulanır; kesme, yerel burkulma, korozyon kontrol edilmez. Yerdeğiştirme yatak katsayısı yöntemiyle, limitsiz verilir.

Özet

Akılda kalacak noktalar

Kil drenajsız ($\varphi = 0$, c_u): aktif $\sigma_v - 2c_u$, pasif $\sigma_v + 2c_u$; yüzeye yakın emme sayılmaz: **çekme çatlağı $z_c = (2c_u - q)/\gamma$**; $P_1 = \tfrac{1}{2}\sigma_a(L)(L - z_c)$, $\bar{z}_1 = (L - z_c)/3$

Kazı tabanı altında net basınç sabit: $\sigma_6 = 4c_u - (\gamma L_1 + \gamma' L_2)$, uçta $\sigma_7 = 4c_u + (\ldots)$; $\sigma_6 > 0$ değilse kil duvarı tutamaz

Denge: $L_4 = (\sigma_6 D - P_1)/(4c_u)$; D için ikinci derece denklem (örnek: 0,678 m; su dolu çatlakla 2,288 m); $z' = P_1/\sigma_6$, $M_{max} = P_1(z' + \bar{z}_1) - \sigma_6 z'^2/2$

Su dolu çatlak P_1'i, D'yi ve M'yi çok büyütür (25 → 79,5 kN/m; 15,5 → 181,9 kN·m/m); kuru alınırsa güvensizdir

Tasarım derinliği: f = 1,4–1,6 (moment aynı) ya da σ_p/FS_p; verilen derinlikte iki durumun büyük momenti

Kesit: EN 1993-1-1 η = 0,638; AISC LRFD/ASD 0,840 / 0,789. **Deprem**: $D_E = 2{,}50$ m ≤ 3,43 m; yatak katsayısı yöntemiyle tepe ≈ 9 mm

Taban kabarması: $FS = (5{,}14c_u(1 + 0{,}2B''/L_{exc}) + c_{side}H/B')/(\sigma_v(H) + q)$; örnekte 4,23 ≥ 1,5

Kaynaklar

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

EN 1993-1-1:2005 — Çelik yapıların tasarımı, genel kurallar.

ANSI/AISC 360-22 — Specification for Structural Steel Buildings.

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

Jaky, J. (1944). The coefficient of earth pressure at rest. Journal of the Society of Hungarian Architects and Engineers, 7, 355–358.

Mononobe, N. and Matsuo, H. (1929). On the determination of earth pressure during earthquakes. World Engineering Congress, Tokyo. Okabe, S. (1926). General theory of earth pressure. Journal of the Japan Society of Civil Engineering, 12(1).

Westergaard, H.M. (1933). Water pressures on dams during earthquakes. Transactions of the American Society of Civil Engineers, 98, 418–433.

NOT

Sayısal örneklerin tümü modülün kendi hesap motoruyla üretilmiştir; modül aynı değerleri verir. Modül sayfasındaki çözümlü örnek de bu duvardır (L = 5 m, γ = 18 kN/m³, c_u = 30 / 70 kPa).

GeoTerva

Çevrim içi geoteknik hesaplar

Teoriden uygulamaya

Kendi duvarınızın yüksekliğini, tabakalı kil profilini, suyunu, çekme çatlağını, palplanş kesitini ve deprem katsayılarını GeoTerva'da girin; modül basınç diyagramını, gömme derinliğini, momenti, kesit kontrolünü, yerdeğiştirmeyi ve taban kabarmasını birlikte verir.

Modülü açın →

Teori sayfası →

Telefonla açın
Örnek modüller kayıt gerektirmez.