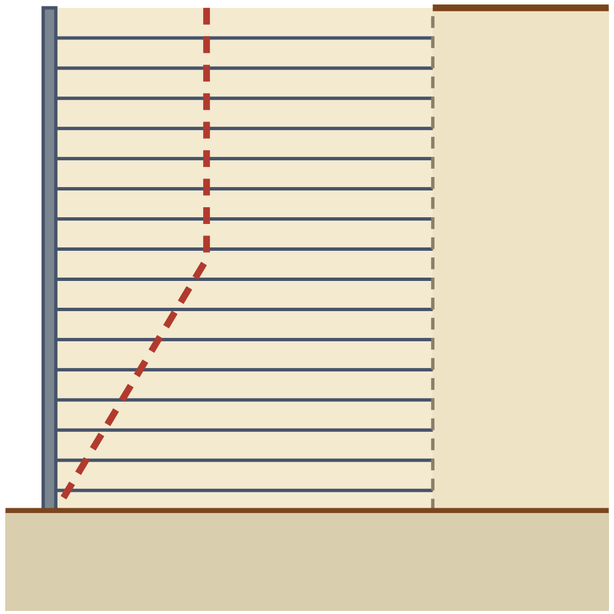
Geoteknik ders sunumu · İstinat duvarları

Mekanik stabilize zemin (MSE) duvarı

Ders anlatımı: donatılı zemin duvarının iç stabilitesi (kopma, sıyrılma), dış stabilitesi (devrilme, kayma, taşıma gücü) ve deprem kontrolü; her konuda çözümlü örnek.

Donatılı zemin
Kopma · sıyrılma
Devrilme · kayma · taşıma gücü
Deprem



Giriş

Bu derste neler öğreneceğiz?

Donatılı zeminin mantığını: zemin basıncı, donatı çekmeyi, aralarındaki sürtünme ikisini bir arada tutar; cephe zemini yalnızca tutar

İç stabiliteyi: her seviyede çekme $T = \sigma'_h S_V S_H$, **kopma** (korozyon payı dahil), **sıyrılma** (göçme yüzeyinin arkasındaki etkin boy)

Göçme yüzeyini (bilineer ya da Rankine kaması) ve K_r/K_a oranını: sert donatıda üstte yanal gerilme Rankine'den büyük

Dış stabiliteyi: donatılı blok L × H bir ağırlık duvarıdır; devrilme, eksantrisite (L/6), kayma ve taşıma gücü (Meyerhof etkin genişlik)

Hareketli sürşarjın neden yalnız yüklediğini, **depremin** bloğa, itkiye ve donatı seviyelerine etkisini

Yetersiz bir tasarımı **nasıl düzelteceğini**: donatı boyu, donatı türü

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: H = 10 m, galvanizli çelik şeritler 75 × 6 mm (f_y = 240 MPa), L = 7,5 m, S_V = 0,6 m, S_H = 1,0 m; dolgu γ = 16,5 kN/m³, φ′ = 36°; temel φ′ = 28°, c′ = 50 kPa. Kuvvetler duvarın metresi (şerit başına) içindir.

Ne yapar, neler kontrol edilir?

KURAM

Zemin duvarı kendi başına yalnız yığılma açısında durur. Dolguya yerleştirilirken ince **çekme elemanları** (galvanizli çelik şeritler, geotekstil, geogrid) konursa zemin basınç, donatı çekme taşır, ikisini **sürtünme** bir arada tutar. Cephe (beton paneller, bloklar ya da donatının sarılması) zemini içeride tutar, başka yük taşımaz.

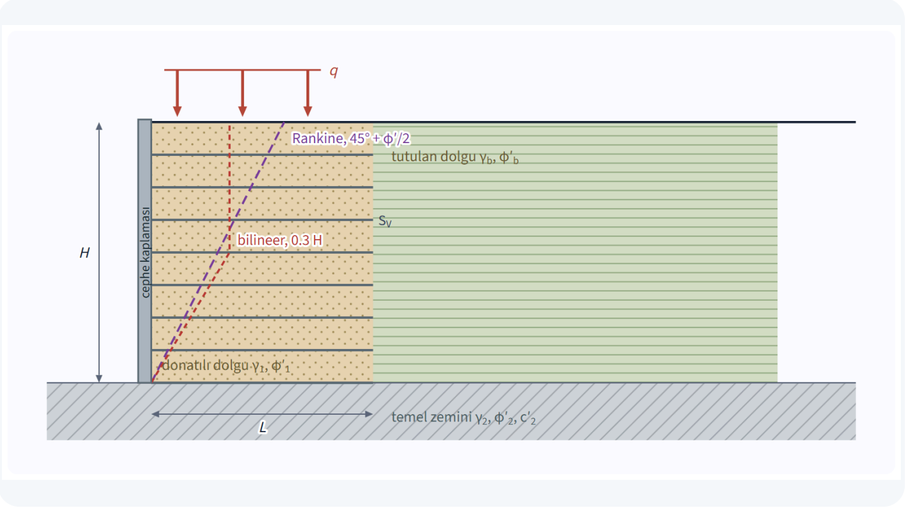
İç stabilite: her seviye (1) **kopmadan**, (2) göçme yüzeyinin arkasından **sıyrılmadan**, (3) cepheden **kopmadan** (bağlantı) çekmeyi taşımalı.

Dış stabilite: L genişliğinde, H yüksekliğinde donatılı blok bir **ağırlık duvarıdır**: arkadaki dolgunun itkisiyle devrilmemeli, tabanda kaymamalı, temel zemini taşımalı.

Deprem: iki kontrol kümesi yeniden, dinamik itki + blok ve etkin bölge ataleti ile (gerekli güvenlik katsayıları statiğin %75'i).

Dolgu serbest drenajlı granüler olmalıdır; **genel stabilite** (temelden geçen ya da bileşik kayma yüzeyi) bu modülün dışındadır.

İki yöntem: kaynağın **Rankine** yaklaşımı ve uygulamanın (FHWA/AASHTO) **basitleştirilmiş yöntemi** (modülün açıldığı yöntem).



Düşey ve yanal gerilme, K_r/K_a oranı

KURAM

z duvar tepesinden derinlik, γ_1, φ'_1 donatılı dolgunun birim ağırlığı ve sürtünme açısıdır. Dolgu aktif durumdadır:

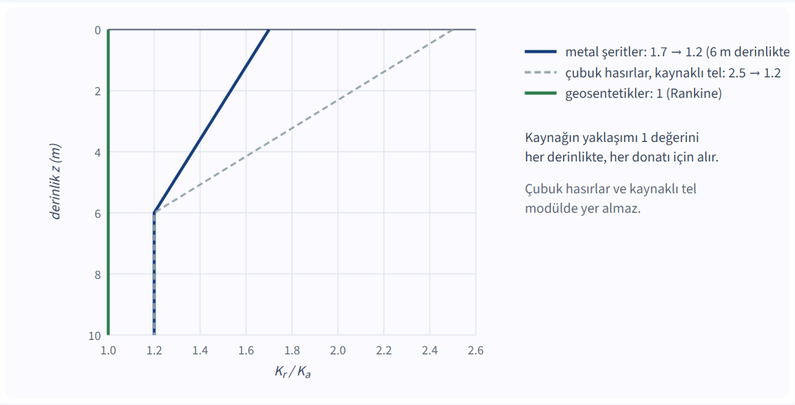
$$\sigma'_v = \gamma_1 z + q_D + q_L \qquad \sigma'_h = K_r\,(\gamma_1 z + q_D + q_L) \qquad K_a = \tan^2\!\left(45^\circ - \frac{\varphi'_1}{2}\right)$$

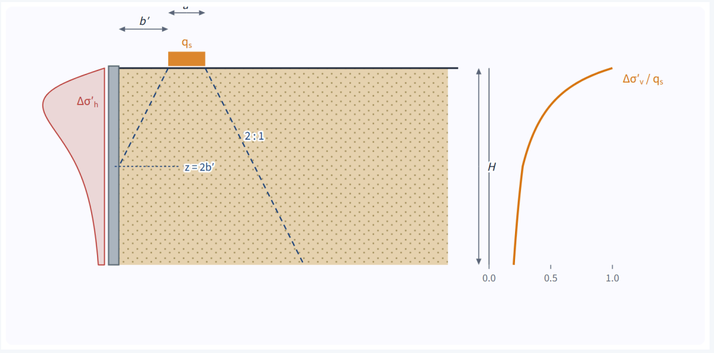
Sert (uzamaz) donatı — çelik şeritler — dolguyu üst kısımda Rankine durumundan **daha sert** tutar; basitleştirilmiş yöntemde K_r/K_a donatı türüne göre alınır:

$$\text{şeritler: } \frac{K_r}{K_a} = 1{,}7 - 0{,}5\frac{z}{6}\ (z \le 6\ \text{m}),\ \ 1{,}2\ \text{altında} \qquad \text{geosentetik: } \frac{K_r}{K_a} = 1$$

Düzgün sürşarj her derinlikte düşey gerilmeyi q kadar artırır, K_r ile yanal gerilmeyi de artırır. **Hareketli** sürşarj (q_L) yükler ama **tutmaz**: devrilme/kayma ağırlığına ve sıyrılmayı tutan düşey gerilmeye girmez (güvenli taraf).

Şerit yük (Laba–Kennedy): düşey gerilme 2:1 yayılır, yanal basınç rijit duvar için elastik çözümdür (M = 1,4 → 1).





Soru

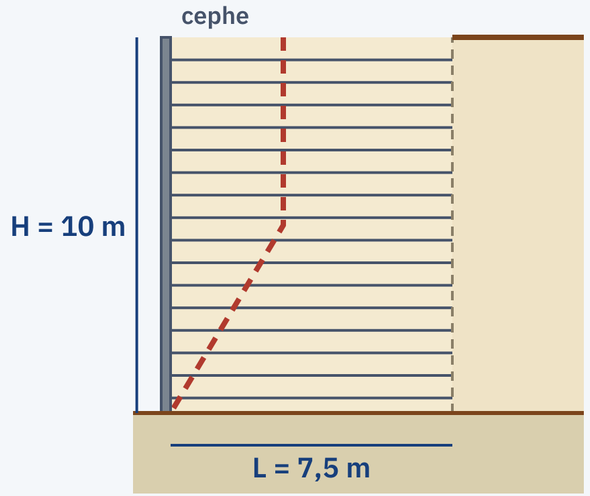
SORU

İSTENEN

K_a, K_r/K_a, σ'_v ve σ'_h her derinlikte; en büyük yanal gerilme nerede?

Verilenler

Dolgu	$\gamma_1 = 16{,}5\ \mathrm{kN/m^3},\ \varphi'_1 = 36^\circ$**; çelik şeritler; basitleştirilmiş yöntem; sürşarj yok**
Derinlikler	$z = 0{,}6;\ 3{,}0;\ 6{,}0$ **ve** $10{,}0$ **m (taban)**



Çözüm

ÇÖZÜM

1 Aktif katsayı

$$K_a = \tan^2(45^\circ - 18^\circ) = \mathbf{0{,}2596}$$

2 Her derinlikte ($K_r/K_a = 1{,}7 - 0{,}5z/6$, $z \le 6$ m; 6 m'den sonra 1,2)

z (m)	$\sigma'_v = 16{,}5z$ (kPa)	K_r/K_a	K_r	$\sigma'_h = K_r\sigma'_v$ (kPa)
0,6	9,9	1,65	0,4284	4,24
3,0	49,5	1,45	0,3764	18,63
6,0	99,0	1,20	0,3115	30,84
10,0	165,0	1,20	0,3115	51,40

Taban: σ'_v = **165 kPa**, $K_r = 1{,}2K_a = 0{,}3115$, σ'_h = **51,4 kPa**. Üst seviyede ($z = 0{,}6$ m) $K_r/K_a = 1{,}65$: Rankine'in 1,65 katı. σ'_h derinlikle artar; en büyük yanal gerilme (ve çekme) tabandadır.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Etkin boy $L_e = L - L_a$

KURAM

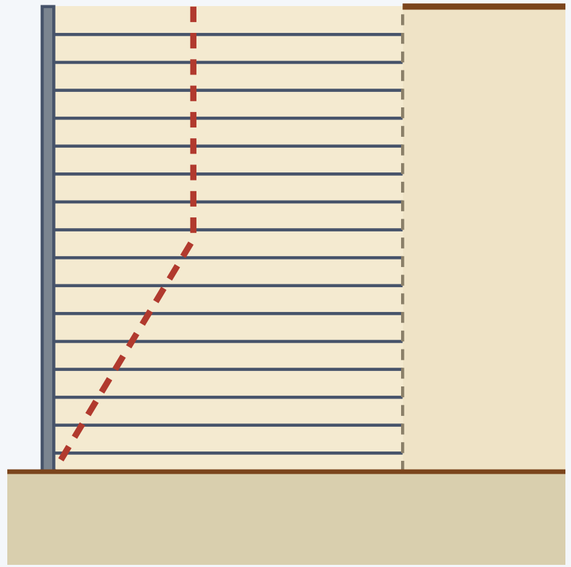
Donatı, dolgunun aksi hâlde göçeceği yerde çalışır. Her seviyenin **göçme bölgesi içindeki kısmı** (cephe ile göçme yüzeyi arasında) kayan zeminle gider, tutmaz; yalnız yüzeyin **arkasındaki kısım** seviyeyi ankre eder: aktif boy L_a ve etkin boy $L_e = L - L_a$.

$$\text{Rankine: } L_a = \frac{H - z}{\tan(45^\circ + \varphi'_1/2)} \qquad \text{bilineer: } L_a = 0{,}3H \ (z \le H/2),\ \ L_a = 0{,}6(H - z) \ (z > H/2)$$

Kaynak her donatıda ön uçtan başlayan Rankine kamasını (yatayla 45° + φ′$_1$/2) alır: φ′ = 36°'de 10 m duvarın tepesinde cepheden 5,1 m.

Sert (çelik şerit) donatıda ölçümler en büyük çekme yüzeyini cepheye çok daha yakın gösterir: uygulama **bilineer** yüzey alır — üst yarıda cepheden 0,3H dik, oradan topuğa düz. Geosentetikte Rankine korunur.

Modülün basitleştirilmiş yönteminde çelik şerit bilineer, geosentetik Rankine yüzeyini alır; kaynağın yöntemi ikisinde de Rankine'dir.



Kırmızı kesikli: bilineer göçme yüzeyi (şerit). Rankine kaması cepheden 5,1 m uzaktan başlar.

Soru

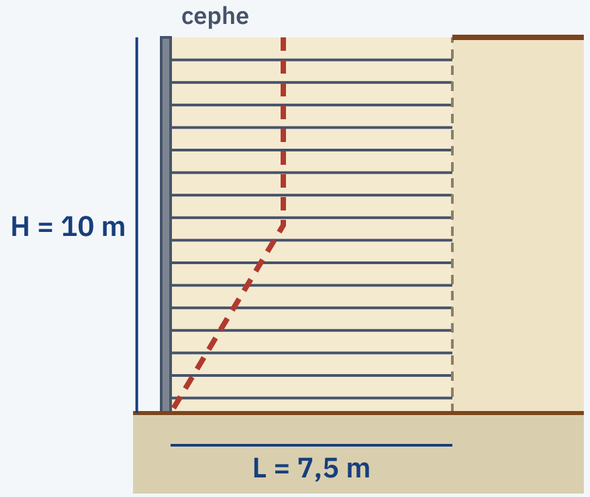
SORU

İSTENEN

Her derinlikte $\mathbf{L_a}$ (bilineer ve Rankine) ve bilineer yüzeyle $\mathbf{L_e}$.

Verilenler

Duvar	$H = 10$ **m,** $L = 7{,}5$ **m, çelik şeritler;** $\varphi_1' = 36^\circ$
Derinlikler	$z = 0;\ 0{,}6;\ 3;\ 5;\ 6;\ 9{,}4$ **m**



Çözüm

ÇÖZÜM

1 Bilineer: z ≤ 5 m için 0,3H = 3,00 m; z > 5 m için 0,6(H – z). Rankine: (H – z)/tan63° = (H – z)/1,963

z (m)	L_a bilineer (m)	$L_e = 7{,}5 - L_a$ (m)	L_a Rankine (m)	L_e Rankine (m)
0,0	3,00	4,50	5,10	2,40
0,6	3,00	4,50	4,79	2,71
3,0	3,00	4,50	3,57	3,93
5,0	3,00	4,50	2,55	4,95
6,0	2,40	5,10	2,04	5,46
9,4	0,36	7,14	0,31	7,19

Bilineer yüzey, üst seviyelerde cepheye Rankine'den daha yakındır (z = 0,6 m: L_a = 3,00 m, Rankine 4,79 m); bu yüzden **etkin boy daha büyüktür** (4,50 m, Rankine 2,71 m). Üst seviyeler ise K_r/K_a kat daha çok çekme taşır (Örnek 4).

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Seviyenin çekmesi ve donatının taşıma gücü

KURAM

Her seviye, komşu seviyelerle orta yüksekliklerinde sınırlı **katkı yüksekliğindeki** (S_V) dolgunun yanal gerilmesini taşır. Şerit yatay aralığı S_H kadar dolguyu tutar; tabaka ve grid sürekli olduğundan çekme duvarın metresi içindir:

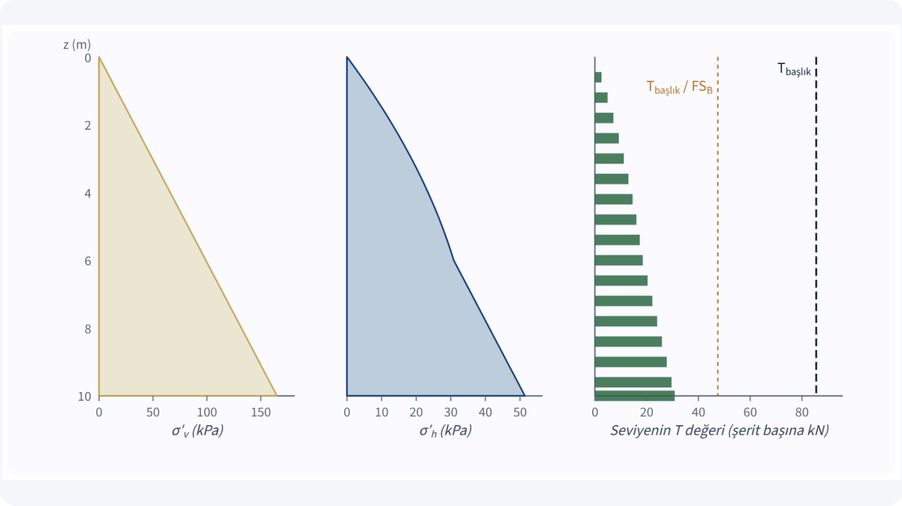
$$T = \sigma'_h S_V S_H \ \ (\text{şerit başına}) \qquad T = \sigma'_h S_V \ \ (\text{duvarın metresi})$$

Şerit (genişlik w, kalınlık t, akma f_y): galvanizli çelik dolguda yılda 0,025–0,050 mm korozyona uğrar; tasarım ömrü n için kalınlık r n kadar azalır:

$$t_{eff} = t - rn \qquad T_{cap} = w\, t_{eff}\, f_y \qquad FS_B = \frac{T_{cap}}{T} \qquad t_{req} = \frac{FS_B T_{max}}{w\, f_y} + rn$$

Geosentetik: uzun süreli dayanım, uç çekme dayanımının hasar, sünme ve bozulma katsayılarıyla bölünmesidir; grid her zaman tüm planı kaplamaz (C_r):

$$T_{all} = \frac{T_{ult}}{RF_{id}\, RF_{cr}\, RF_{cbd}} \qquad FS_B = \frac{T_{all} C_r}{T} \qquad S_{V,req} = \frac{T_{all} C_r}{\sigma'_h(H)\, FS_B}$$



Soru

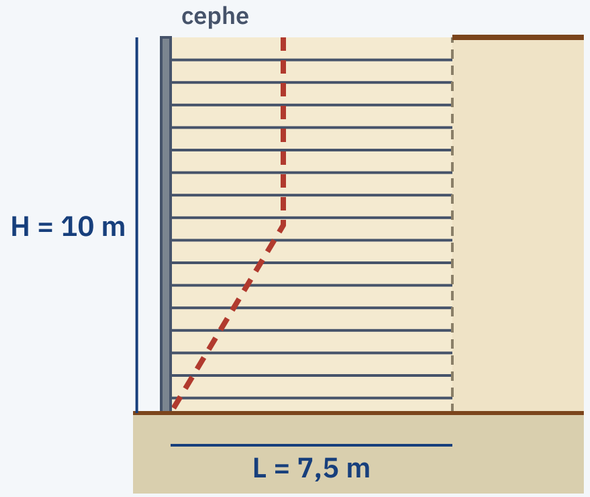
SORU

Verilenler

Şerit	**75 × 6 mm yerleştirilmiş; $f_y = 240$ MPa; korozyon 0,025 mm/yıl, tasarım ömrü 50 yıl; $S_V = 0{,}6$ m, $S_H = 1{,}0$ m**
Gerekli	$FS_B \geq 1{,}8$ **(uygulama: 0,55 f_y korozyonlu kesitte)**

İSTENEN

En büyük çekme T_{max} (şerit başına); T_{cap}, FS_B; gereken kalınlık t_{req}.



Çözüm

ÇÖZÜM

1 En büyük çekme tabandaki seviyededir (z = 10 m; σ'_h = 51,40 kPa)

$$T_{max} = \sigma'_h S_V S_H = 51{,}40(0{,}6)(1{,}0) = \mathbf{30{,}84}\ \text{kN/şerit}$$

2 Korozyonlu kesit ve taşıma gücü

$$t_{eff} = 6 - 0{,}025(50) = 4{,}75\ \text{mm} \quad (1{,}25\ \text{mm kayıp})$$

$$T_{cap} = w\, t_{eff}\, f_y = 0{,}075(0{,}00475)(240\,000) = \mathbf{85{,}5}\ \text{kN}$$

$$FS_B = 85{,}5/30{,}84 = \mathbf{2{,}772} \ \geq 1{,}80\ \checkmark$$

3 Gereken kalınlık (korozyon payı geri konarak)

$$t_{req} = \frac{1{,}8(30{,}84)}{0{,}075(240\,000)} + rn = 3{,}084 + 1{,}25 = \mathbf{4{,}33}\ \text{mm}$$

FS$_B$ = **2,77** ≥ 1,80: 6 mm şerit yeterli; gereken kalınlık **4,33 mm**. Kritik seviye taban (k = 17).

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Göçme yüzeyinin arkasındaki sürtünme

KURAM

Kopmayan bir seviye yine de dolgudan **sıyrılabilir**. Göçme yüzeyinin arkasında dolgu donatıyı iki yüzündeki sürtünmeyle tutar; sürtünme, seviye üstündeki düşey gerilmenin donatının harekete geçirdiği katsayı kadarıdır:

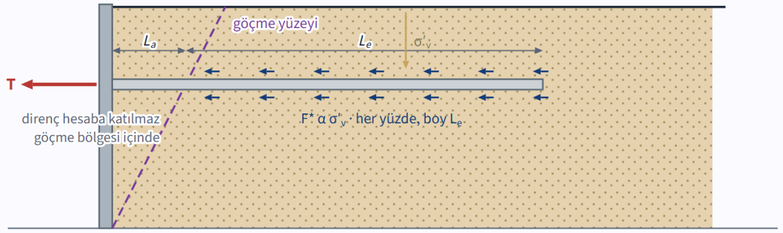
$$P_r = 2R_c\,F^*\alpha\,\sigma'_v\,L_e \qquad FS_P = \frac{P_r}{T} \qquad L_{req} = L_a + \frac{FS_P\,T}{2R_c F^*\alpha\,\sigma'_v}$$

F* sıyrılma direnç katsayısı: şerit için tan φ′ (alt sınır), geosentetik için ⅔ tan φ′ (modülün alt sınırı; çekme deneyiyle belirlenir). **α** ölçek etkisi: şerit 1,0, geogrid 0,8, geotekstil 0,6.

R_c kaplama: şeritte şerit genişliği w (şerit başına), geogridde C_r (duvarın metresi başına), örtüde 1. **σ'_v** dirençli bölgedeki düşey gerilmedir: $\gamma_1 z$ + kalıcı sürşarj; **hareketli yük girmez** (tutmaz).

Şeritte T ve P_r derinlikle büyür: kaynağın yönteminde gereken etkin boy her seviyede aynıdır; basitleştirilmiş yöntemde üst seviyeler K_r/K_a kat daha çok çekme taşır, etkin boy aynı oranda büyür.

Bağlantı: çekme T_{max} cepheye geçer; dayanım bağlantı deneylerinden girilir ve kopma katsayısıyla kontrol edilir.



Soru

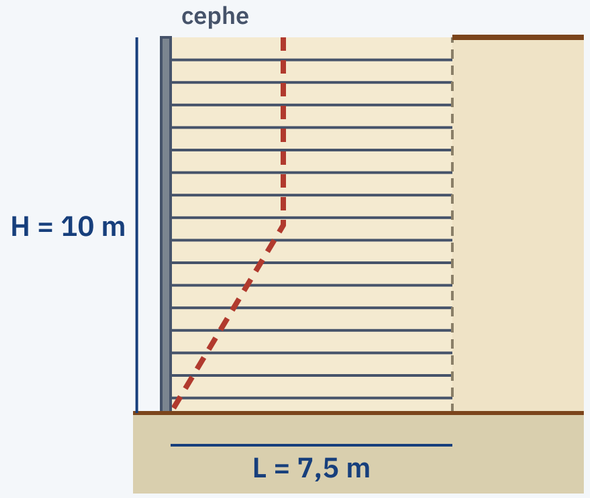
SORU

Verilenler

Şerit ve zemin	**Örnek 1–3'teki duvar;** $F^* = \tan 36^\circ = 0{,}727$**,** $\alpha = 1$**;** $FS_P \geq 1{,}5$
Seviyeler	**z = 0,6 m (1. seviye) ve diğer seviyeler**

İSTENEN

Seviye 1'de $\mathbf{P_r}$, $\mathbf{FS_P}$, gereken boy $\mathbf{L_{req}}$; tüm seviyelerin özeti.



Çözüm (1/2)

ÇÖZÜM

1 Seviye 1 (z = 0,6 m): $K_r/K_a = 1{,}65$; $\sigma'_h = 4{,}24$ kPa

$$T = \sigma'_h S_V S_H = 4{,}24(0{,}6) = 2{,}54\ \text{kN} \qquad L_a = 0{,}3H = 3{,}00,\quad L_e = 4{,}50\ \text{m}$$

$$P_r = 2(0{,}075)(0{,}727)(1{,}0)(9{,}9)(4{,}50) = \mathbf{4{,}86}\ \text{kN}$$

$$FS_P = \frac{4{,}86}{2{,}54} = \mathbf{1{,}908}\ \geq 1{,}5\ \checkmark$$

2 Gereken boy: $L_{req} = L_a + FS_P T/(F^*\alpha\,\sigma'_v \cdot 2w)$

$$L_{req} = 3{,}00 + \frac{1{,}5(2{,}54)}{0{,}727(1)(9{,}9)(2)(0{,}075)} = 3{,}00 + 3{,}54 = \mathbf{6{,}54}\ \text{m}$$

Çözüm (2/2)

ÇÖZÜM

3 Tüm seviyelerin özeti

Seviye	z (m)	T (kN)	L_a	L_e	P_r (kN)	FS_P	L_{req} (m)
1	0,6	2,54	3,00	4,50	4,86	1,91	6,54
2	1,2	4,93	3,00	4,50	9,71	1,97	6,43
5	3,0	11,18	3,00	4,50	24,28	2,17	6,11
10	6,0	18,51	2,40	5,10	55,02	2,97	4,97
17	10,0	30,84	0,00	7,50	134,86	4,37	2,57

En küçük sıyrılma güvenliği **seviye 1'de FS_P = 1,91** (1,5 gerekli); en uzun gereken boy **6,54 m** (L = 7,5 m yeterli). Üst seviyede çekme küçük, ama σ'_V de küçük olduğundan sıyrılma en zayıf oradadır.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Blok bir ağırlık duvarıdır

KURAM

İç stabilitesi sağlanan donatılı blok, arkasındaki dolguyu tutan **L × H boyutlu bir zemin bloğudur**. Tutulan dolgu (γ_b, φ'_b) bloğun düşey arka yüzüne Rankine aktif itkisiyle basar; sürşarj ek itki getirir:

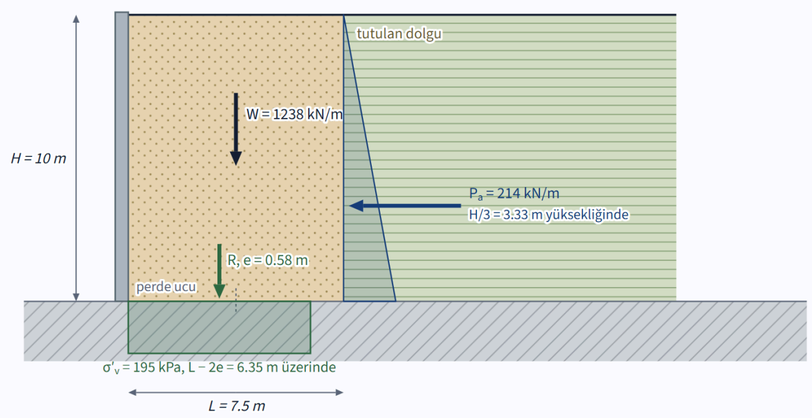
$$P_a = \tfrac{1}{2} K_a \gamma_b H^2 \;\; (H/3) \qquad P_q = K_a\, q\, H \;\; (H/2) \qquad W = \gamma_1 H L \;\; (L/2)$$

$$FS_{ot} = \frac{M_R}{M_o} = \frac{W\, L/2}{P_a H/3 + P_q H/2} \qquad x_R = \frac{M_R - M_o}{\Sigma V} \qquad e = \frac{L}{2} - x_R$$

Karşı koyan: blok ağırlığı ve **kalıcı** sürşarj. İtki etkirken bulunmayabilecek **hareketli yük karşı koymaz** (yalnız yükler).

Aynı kontrol iki biçimde okunur: **moment oranı** ($FS_{ot} \geq 2$) ve bileşkenin yeri: taban tamamen basınç altında kalsın diye **e ≤ L/6** (depremde L/3).

Cephe kaplaması ve önündeki gömülü kısım karşı koyan ağırlığa katılmaz (güvenli taraf).



Soru

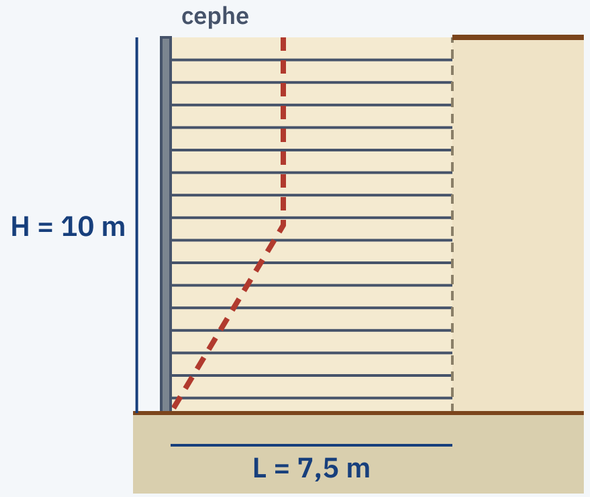
SORU

Verilenler

Blok	$H = 10$ **m,** $L = 7{,}5$ **m; donatılı dolgu** $\gamma_1 = 16{,}5$ **kN/m³**
Tutulan dolgu	**aynı zemin (**$\gamma_b = 16{,}5$**,** $\varphi'_b = 36°$**); sürşarj yok**

İSTENEN

P_a ve M_o; **W** ve M_R; **FS_{ot}**; bileşkenin yeri x_R ve **e** (sınır L/6).



Çözüm (1/2)

ÇÖZÜM

1 Aktif itki (K_a = 0,2596) ve devirici moment

$$P_a = \tfrac{1}{2} K_a \gamma_b H^2 = \tfrac{1}{2}(0{,}2596)(16{,}5)(10)^2 = \mathbf{214{,}18}\ \mathrm{kN/m}$$

$$M_o = P_a\, H/3 = 214{,}18(3{,}333) = \mathbf{713{,}9}\ \mathrm{kN\cdot m/m}$$

2 Blok ağırlığı ve karşı koyan moment

$$W = \gamma_1 H L = 16{,}5(10)(7{,}5) = \mathbf{1\,237{,}5}\ \mathrm{kN/m}$$

$$M_R = W\, L/2 = 1\,237{,}5(3{,}75) = \mathbf{4\,640{,}6}\ \mathrm{kN\cdot m/m}$$

Çözüm (2/2)

ÇÖZÜM

3 Devrilme ve bileşkenin yeri

$$FS_{ot} = M_R / M_o = 4\,640{,}6 / 713{,}9 = \mathbf{6{,}50} \;\geq 2{,}0 \;\checkmark$$

$$x_R = (M_R - M_o)/\Sigma V = (4\,640{,}6 - 713{,}9)/1\,237{,}5 = 3{,}173\ \mathrm{m}$$

$$e = L/2 - x_R = 3{,}75 - 3{,}173 = \mathbf{0{,}577}\ \mathrm{m} \;\leq L/6 = 1{,}25 \;\checkmark$$

Devrilme güvenliği **6,50** (≥ 2,0); bileşke tabanın ortasından yalnız **0,58 m** ön uca kaymış: taban tamamen basınç altında (e ≤ L/6 = 1,25 m).

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Taban sürtünmesi

KURAM

İtki, taban sürtünmesini aşarsa blok tabanı üzerinde kayar. **Kaynak**, zemine oturan beton duvardaki gibi sürtünmeyi k ≈ ⅔ ile alır; donatılı bloğun tabanında ise **zemin zemine** oturur: uygulama, donatılı dolgu ile temel zemininden **zayıfın** sürtünme açısını esas alır. Modül ⅔ katsayısını korur, daha zayıf zemini seçer ve temel zemininin kohezyonunu saymaz:

$$FS_{sl} = \frac{\Sigma V \, \tan\left(\frac{2}{3}\varphi'_{min}\right)}{\Sigma H} \qquad \varphi'_{min} = \min\left(\varphi'_1, \varphi'_2\right)$$

ΣH: tutulan dolgunun itkisi ve (varsa) sürşarj itkisi; ΣV: blok ağırlığı ve kalıcı sürşarj. **Hareketli yük itkiye girer, ΣV'ye girmez.**

Kaynağın yolu (yalnız dolgu, φ'_1) da hesaplanır; temel zemini zayıfsa modülün değeri daha düşüktür ve **belirleyici olandır**.

Kayma, bloğu genişleterek (ΣV, L ile doğrusal artar) çözülür; boy ayrıca sıyrılma ve eksantrisiteyi iyileştirir.

GEREKLİ GÜVENLİK SAYILARI

Kontrol	Statik (gerekli)	Deprem (gerekli, %75)
Kopma FS_B	1,80	1,35
Sıyrılma FS_P	1,50	1,125
Devrilme FS_{ot}	2,00	1,50
Eksantrisite e	≤ L/6	≤ L/3
Kayma FS_{sl}	1,50	1,125
Taşıma gücü FS_{bc}	2,50	1,875

Deprem değerleri statiğin %75'idir (eksantrisitede L/6 → L/3). Hareketli yük her iki durumda da korunur.

Soru

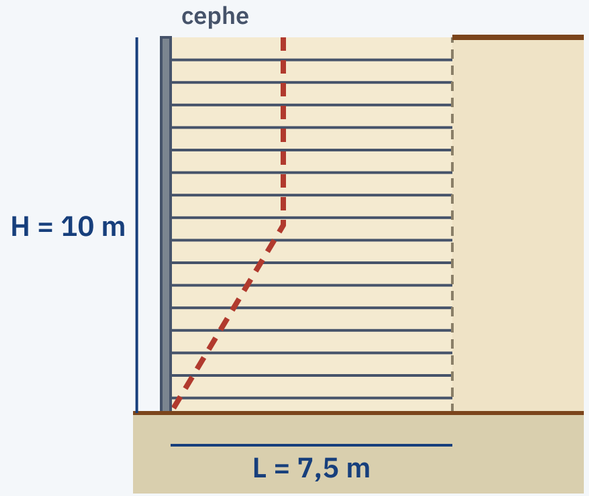
SORU

Verilenler

Blok	**Örnek 5'teki blok ($\Sigma V = 1\,237{,}5$ kN/m, $\Sigma H = P_a = 214{,}18$ kN/m)**
Zeminler	**donatılı dolgu $\varphi'_1 = 36^\circ$; temel zemini $\varphi'_2 = 28^\circ$ ($c'_2 = 50$ kPa, kohezyon sayılmaz)**

İSTENEN

Taban sürtünmesinden **FS_{sl}**; kaynağın yoluyla (yalnız dolgu) karşılaştırma.



Çözüm

ÇÖZÜM

1 Zayıf zemin: φ'_{min} = min(36°, 28°) = 28° (temel zemini)

$$\tan\left(\tfrac{2}{3}\cdot 28^\circ\right) = \tan 18{,}67^\circ = 0{,}3378$$

$$R = \Sigma V \tan(\ldots) = 1\,237{,}5(0{,}3378) = 418{,}1\ \mathrm{kN/m}$$

$$FS_{sl} = \frac{R}{\Sigma H} = \frac{418{,}1}{214{,}18} = \mathbf{1{,}952}\ \geq 1{,}5\ \checkmark$$

2 Kaynağın yolu (yalnız dolgu, φ'_1 = 36°)

$$\tan\left(\tfrac{2}{3}\cdot 36^\circ\right) = \tan 24^\circ = 0{,}4452$$

$$FS_{sl} = \frac{1\,237{,}5(0{,}4452)}{214{,}18} = \mathbf{2{,}572}$$

Temel zemini daha zayıf olduğundan kayma güvenliği **1,95** (kaynağın yoluyla 2,57): modül **küçüğü** belirleyici alır; gerekli 1,5'in üstünde.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Temel zemini bloğu bir şerit temel gibi taşır

KURAM

Kaynak, zemin yüzeyindeki L genişliğinde bir temelin taşıma gücünü, derinlik terimi olmadan, tabandaki düşey gerilmeyle karşılaştırır. Genel taşıma gücü katsayıları (Vesic): $N_q = e^{\pi \tan \varphi'} \tan^2(45° + \varphi'/2)$, $N_c = (N_q - 1)\cot \varphi'$, $N_\gamma = 2(N_q + 1)\tan \varphi'$:

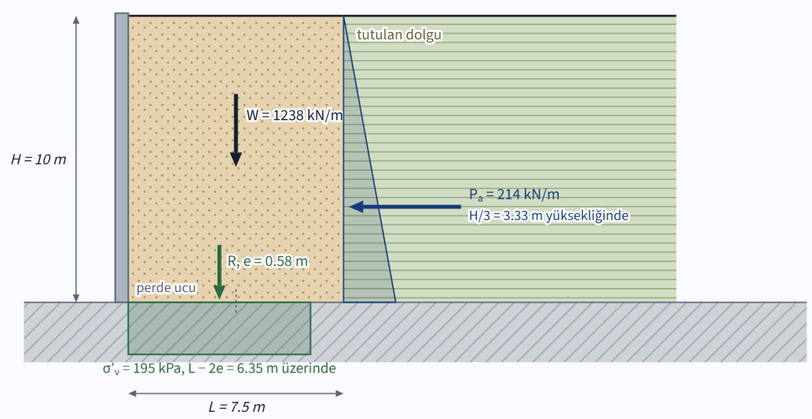
$$q_u = c'_2 N_c + \tfrac{1}{2}\gamma_2 L N_\gamma \qquad FS_{bc} = \frac{q_u}{\sigma'_o},\ \ \sigma'_o = \gamma_1 H + q_D$$

Uygulama (FHWA/AASHTO): bileşke ortada değildir (e), basınç ön uçta ortalamadan büyüktür; bu yüzden tüm düşey yük **Meyerhof etkin genişliği** $L' = L - 2e$ üzerine üniform yayılır ve bu genişlikteki bir temelin taşıma gücü hesaplanır:

$$L' = L - 2e \qquad \sigma'_v = \frac{\Sigma V}{L'} \qquad q_u = c'_2 N_c + \tfrac{1}{2}\gamma_2 L' N_\gamma \qquad FS_{bc} = \frac{q_u}{\sigma'_v}$$

Basınç daha büyük, temel daha dar: Meyerhof güvenliği daha düşüktür; modül **ikisini de hesaplar, küçüğünü** belirleyici alır.

Bu sayfa kısa süreli (boşluk suyu basıncı yok) bir kontroldür; genel stabilite ve oturma modülün dışındadır.



Soru

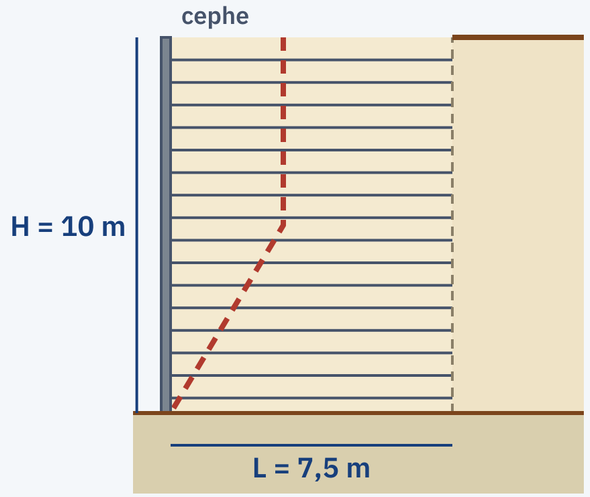
SORU

Verilenler

Blok	**Örnek 5'teki blok:** $\Sigma V = 1\,237{,}5$ **kN/m,** $e = 0{,}577$ **m**
Temel zemini	$\varphi'_2 = 28^\circ$**,** $c'_2 = 50$ **kPa,** $\gamma_2 = 17{,}3$ **kN/m³**

İSTENEN

Kaynağın yoluyla **FS_{bc}**, Meyerhof etkin genişliğiyle **FS_{bc}**; belirleyici olan.



Çözüm

ÇÖZÜM

1 Katsayılar (Vesic, $\varphi'_2 = 28°$): $N_q = e^{\pi \tan \varphi'} \tan^2(45° + \varphi'/2)$, $N_c = (N_q - 1)\cot \varphi'$, $N_\gamma = 2(N_q + 1)\tan \varphi'$

$$N_q = 14{,}72 \qquad N_c = 25{,}80 \qquad N_\gamma = 16{,}72$$

2 Kaynağın yolu (genişlik L = 7,5 m, $\sigma'_o = \gamma_1 H = 165$ kPa)

$$q_u = 50(25{,}80) + \tfrac{1}{2}(17{,}3)(7{,}5)(16{,}72) = 2\,375 \text{ kPa} \qquad FS_{bc} = 2\,375/165 = \mathbf{14{,}39}$$

3 Meyerhof etkin genişliği (e = 0,577 m)

$$L' = 7{,}5 - 2(0{,}577) = 6{,}346 \text{ m} \qquad \sigma'_v = \Sigma V / L' = 1\,237{,}5/6{,}346 = 195 \text{ kPa}$$

$$q_u = 50(25{,}80) + \tfrac{1}{2}(17{,}3)(6{,}346)(16{,}72) = 2\,208 \text{ kPa}$$

$$FS_{bc} = 2\,208/195 = \mathbf{11{,}32} \;\geq 2{,}5 \;\checkmark$$

Kaynağın yolu **14,39**, etkin genişlikle **11,32**: eksantrisite basıncı artırıp temeli daralttığından **Meyerhof değeri belirleyicidir**; ikisi de 2,5'in çok üstünde.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Soru

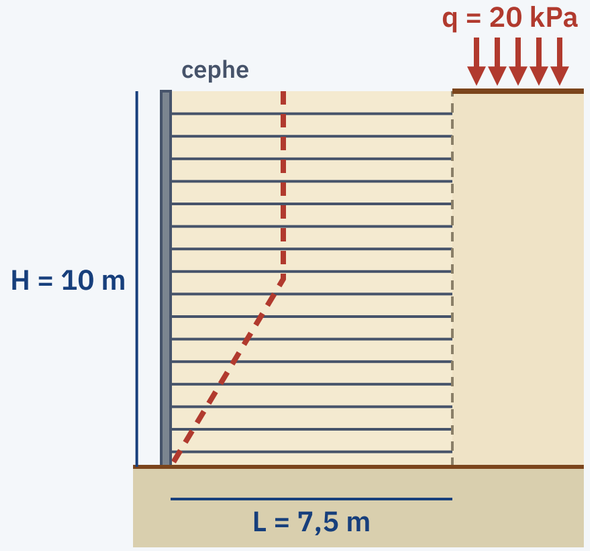
SORU

Verilenler

Duvar	**Örnek 1–7'deki duvar (H = 10 m, L = 7,5 m, şeritler)**
Yük	**duvarın üstünde hareketli yayılı sürşarj $q_L = 20$ kPa (bloğun üstünde ve arkasında)**

İSTENEN

Seviye 1'de **FS_P**; tabanda **T_{max}**, FS_B; dış kontroller (itki, devrilme, kayma, taşıma gücü).



Çözüm (1/2)

ÇÖZÜM

1 Seviye 1 (z = 0,6 m): sürşarj yanal gerilmeyi artırır, sıyrılma direncini artırmaz

$$\sigma'_h = K_r\,(\gamma_1 z + q_L) = 0{,}4284(9{,}9 + 20) = 12{,}81\ \text{kPa} \quad T = 12{,}81(0{,}6) = 7{,}68\ \text{kN}$$

$$P_r = 4{,}86\ \text{kN} \quad (\sigma'_v = \gamma_1 z = 9{,}9\ \text{kPa; hareketli yük tutmaz})$$

$$FS_P = \frac{4{,}86}{7{,}68} = \mathbf{0{,}632} \ < 1{,}5 \ \text{✗}$$

2 Taban: en büyük çekme ve kopma

$$\sigma'_h = 0{,}3115(165 + 20) = 57{,}63\ \text{kPa} \quad T_{max} = 57{,}63(0{,}6) = 34{,}58\ \text{kN}$$

$$FS_B = \frac{85{,}5}{34{,}58} = \mathbf{2{,}47} \ \geq 1{,}8 \ \text{✓} \qquad L_{req} = 13{,}68\ \text{m} \ > 7{,}5 \ \text{✗}$$

Seviye 1'de çekme 2,54 → **7,68 kN** artarken sıyrılma direnci **aynı kalır**: FS_P 1,91 → **0,63**. Kopma yeterli (2,47), ama gereken boy 13,68 m olur: hareketli yük **yükler, tutmaz**.

Çözüm (2/2)

ÇÖZÜM

3 Dış kontroller: itki artar; ağırlığa girmez

$$P_q = K_a q_L H = 0{,}2596(20)(10) = 51{,}92\ \text{kN/m}\ \ (H/2) \qquad P_a = 266{,}11\ \text{kN/m}$$

$$M_o = 713{,}9 + 51{,}92(5) = 973{,}6\ \text{kN·m/m} \qquad W = 1\,237{,}5\ \text{kN/m (hareketli yük yok)}$$

$$FS_{ot} = 4\,640{,}6/973{,}6 = \mathbf{4{,}77} \qquad e = \mathbf{0{,}787}\ \text{m}\ \le 1{,}25\ \checkmark$$

4 Kayma ve taşıma gücü (taşıma gücünde hareketli yük de tabanı yükler)

$$FS_{sl} = 1\,237{,}5(0{,}3378)/266{,}11 = \mathbf{1{,}57}\ \ge 1{,}5\ \checkmark$$

$$V = 1\,237{,}5 + 20(7{,}5) = 1\,387{,}5\ \Rightarrow\ e_b = 0{,}702,\ \ L' = 6{,}10\ \text{m},\ \ \sigma'_v = 227{,}6\ \text{kPa}$$

$$q_u = 2\,172\ \text{kPa} \qquad FS_{bc} = \mathbf{9{,}54}\ \ge 2{,}5\ \checkmark$$

Dış stabilite yeterli (devrilme 4,77, kayma 1,57, taşıma gücü 9,54), ama **sıyrılma başarısız** (FS_P = 0,63): hareketli yüklü duvarda üst seviyelerin boyu belirleyici olur.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Dinamik itki, blok ataleti ve aktif bölgenin ataleti

KURAM

Deprem (yarı-statik, k_h; k_v = 0) üç kuvvet ekler: tutulan dolgunun dinamik itkisi (Mononobe–Okabe), donatılı bloğun ataleti ve donatının tuttuğu **aktif bölgenin ataleti**:

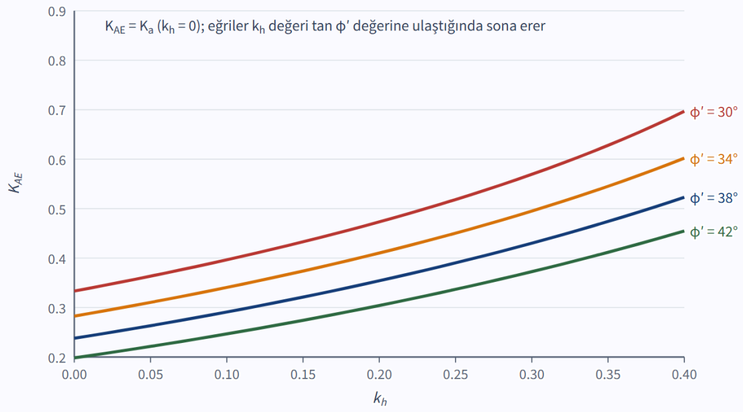
$$\psi = \tan^{-1} k_h \qquad K_{AE} = \frac{\cos^2(\varphi_b' - \psi)}{\cos^2\psi \left[1 + \sqrt{\dfrac{\sin\varphi_b' \sin(\varphi_b' - \psi)}{\cos\psi}}\right]^2}$$

$$\Delta P_{AE} = \tfrac{1}{2}\gamma_b H^2 (K_{AE} - K_a) \;\; (0{,}6H) \qquad P_{IR} = \tfrac{1}{2} k_h \gamma_1 H^2 \;\; (H/2) \qquad P_i = k_h W_a \;\Rightarrow\; T_{md} = P_i \frac{L_e}{\Sigma L_e}$$

ΔP_{AE}'nin **yarısı** alınır (itki ve atalet en büyük değerlerine aynı anda ulaşmaz); P_{IR} yalnız cephenin gerisinde 0,5H genişliğindeki blok için. Sürşarj atalet kuvveti üretmez.

Dış kontroller: $\Sigma H = P_a + \tfrac{1}{2}\Delta P_{AE} + P_{IR}$; $e \le L/3$; güvenlik sayıları statiğin %75'i.

İç kontroller: her seviye $T + T_{md}$ ile kopmaya, F^*'ın **%80'i** ile sıyrılmaya yeniden kontrol edilir; hareketli yük statikteki gibi korunur.



Soru

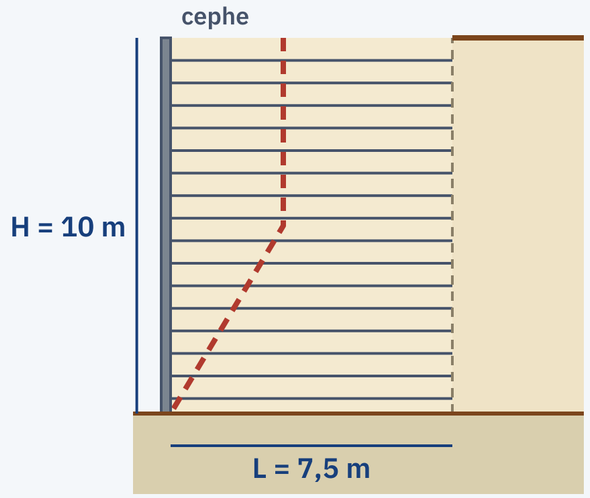
SORU

Verilenler

Duvar	**Örnek 1–7'deki duvar; sürşarj yok**
Deprem	**$k_h = 0{,}15$ ($k_v = 0$); gerekli FS statiğin %75'i; $e \leq L/3$; sıyrılmada F^* statiğin %80'i**

İSTENEN

K_{AE}, ΔP_{AE}, P_{IR}; dış kontroller; aktif bölge ataleti ve her seviyenin **T + T_{md}** ile kopma ve sıyrılma kontrolü.



Çözüm (1/4)

ÇÖZÜM

1 Sismik açı ve katsayı

$$\psi = \tan^{-1} 0{,}15 = 8{,}53^\circ \qquad \sqrt{\sin 36^\circ \sin(27{,}47^\circ)/\cos 8{,}53^\circ} = 0{,}5236$$

$$K_{AE} = \cos^2(27{,}47^\circ)/\left[\cos^2 8{,}53^\circ (1 + 0{,}5236)^2\right] = \mathbf{0{,}3468} \quad (K_a = 0{,}2596)$$

2 Dinamik itki artışı, blok ataleti ve toplam yatay kuvvet

$$\Delta P_{AE} = \tfrac{1}{2}(16{,}5)(10)^2(0{,}3468 - 0{,}2596) = \mathbf{71{,}89}\ \text{kN/m} \ \ (6{,}0\ \text{m})$$

$$P_{IR} = \tfrac{1}{2}(0{,}15)(16{,}5)(10)^2 = \mathbf{123{,}75}\ \text{kN/m} \ \ (5{,}0\ \text{m})$$

$$P_s = 214{,}18 + \tfrac{1}{2}(71{,}89) + 123{,}75 = \mathbf{373{,}88}\ \text{kN/m}$$

3 Devirici moment

$$M_{o,E} = 214{,}18(3{,}333) + 35{,}94(6{,}0) + 123{,}75(5{,}0)$$

$$= 713{,}9 + 215{,}7 + 618{,}8 = \mathbf{1\,548{,}4}\ \text{kN}\cdot\text{m/m}$$

Çözüm (2/4)

ÇÖZÜM

4 Devrilme ve eksantrisite (sınır L/3 = 2,50 m)

$$FS_{ot,E} = 4\,640{,}6/1\,548{,}4 = \mathbf{3{,}00} \;\geq 1{,}5 \;\checkmark$$

$$x_R = (4\,640{,}6 - 1\,548{,}4)/1\,237{,}5 = 2{,}499\ \text{m} \qquad e = 3{,}75 - 2{,}499 = \mathbf{1{,}251}\ \text{m} \;\leq 2{,}50 \;\checkmark$$

5 Kayma (ön direnç yok)

$$FS_{sl,E} = 1\,237{,}5(0{,}3378)/373{,}88 = 418{,}1/373{,}88 = \mathbf{1{,}118} \;< 1{,}125 \;\text{✗}$$

6 Taşıma gücü (Meyerhof)

$$L' = 7{,}5 - 2(1{,}251) = 4{,}998\ \text{m} \qquad \sigma'_v = 1\,237{,}5/4{,}998 = 247{,}6\ \text{kPa}$$

$$q_u = 50(25{,}80) + \tfrac{1}{2}(17{,}3)(4{,}998)(16{,}72) = 2\,013\ \text{kPa} \quad FS_{bc,E} = \mathbf{8{,}13} \;\geq 1{,}875 \;\checkmark$$

Çözüm (3/4)

ÇÖZÜM

7 Aktif bölgenin ataleti ve seviyelere dağılım

$$W_a = \gamma_1 A_a = 16{,}5(22{,}50) = 371{,}25\ \text{kN/m} \qquad P_i = 0{,}15(371{,}25) = 55{,}69\ \text{kN/m}$$

$$T_{md} = P_i L_e / \Sigma L_e \qquad \Sigma L_e = 91{,}5\ \text{m} \quad (17\ \text{seviye})$$

8 Seviye 1 (z = 0,6 m, L_e = 4,50 m): kopma kuvveti ve sıyrılma

$$T_{md} = 55{,}69(4{,}50)/91{,}5 = 2{,}739\ \text{kN} \qquad T + T_{md} = 2{,}54 + 2{,}739 = 5{,}283\ \text{kN}$$

$$P_{r,E} = 0{,}8(4{,}855) = 3{,}884\ \text{kN} \quad (F^*\ \text{statiğin \%80'i})$$

$$FS_{P,E} = 3{,}884/5{,}283 = \mathbf{0{,}735} \ < 1{,}125 \quad ✗$$

9 Seviye 17 (taban, L_e = 7,50 m): kopma

$$T_{md} = 55{,}69(7{,}50)/91{,}5 = 4{,}565\ \text{kN} \qquad FS_{B,E} = 85{,}5/(30{,}84 + 4{,}565) = \mathbf{2{,}415} \ \geq 1{,}35\ ✓$$

Çözüm (4/4)

ÇÖZÜM

10 Sonuçların özeti (k_h = 0,15)

Kontrol	Statik	Deprem	Gerekli (statik / deprem)	Karar (deprem)
Kopma FS_B (en küçük)	2,77	2,41	1,80 / 1,35	Sağlanır
Sıyrılma FS_P (en küçük)	1,91	**0,74**	1,50 / 1,125	**Sağlanmaz** (seviye 1)
Devrilme FS_{ot}	6,50	3,00	2,00 / 1,50	Sağlanır
Eksantrisite e (m)	0,58	1,25	≤ 1,25 / ≤ 2,50	Sağlanır
Kayma FS_{sl}	1,95	**1,118**	1,50 / 1,125	**Sağlanmaz** (sınırda)
Taşıma gücü FS_{bc}	11,32	8,13	2,50 / 1,875	Sağlanır

Deprem **sıyrılmayı ($FS_{P,E}$ = 0,74) ve kaymayı ($FS_{sl,E}$ = 1,12)** gereken değerin altına indirir; devrilme, eksantrisite, taşıma gücü ve kopma sağlanır. Üst seviyelerde çekme küçük ama σ'_V de küçük olduğundan **sıyrılma en zayıf halkadır**: donatı boyu artırılmalıdır (Örnek 10).

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Soru

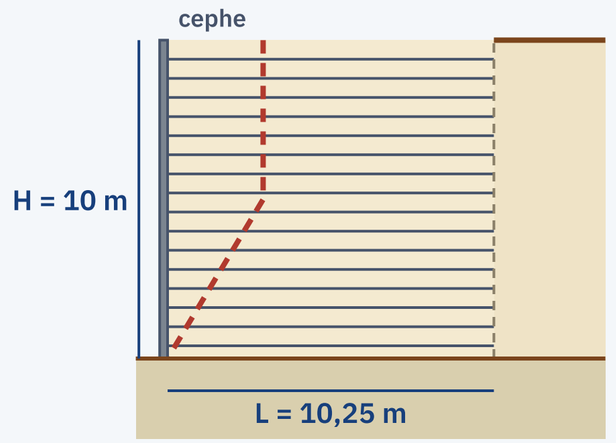
SORU

Verilenler

Başlangıç	**Örnek 9: sıyrılma ($FS_{P,E} = 0{,}74$) ve kayma ($FS_{sl,E} = 1{,}12$) deprem için yetersiz**
Değişken	**şerit boyu L (0,25 m adımlarla artırılır); S_V, S_H, şerit kesiti ve dolgu aynı kalır**

İSTENEN

En küçük L: deprem kontrolleri ($FS_{P,E} \geq 1{,}125$; $FS_{sl,E} \geq 1{,}125$; $e \leq L/3$) sağlansın; **L tablosu**.



Çözüm (1/2)

ÇÖZÜM

1 Boy arttıkça güvenlik sayıları (kalın: gerekli değerin altında)

L (m)	$FS_{P,E}$ (≥ 1,125)	$FS_{sl,E}$ (≥ 1,125)	e_E / (L/3) (m)	FS_P statik	FS_{sl} statik	FS_{bc} statik
7,5	**0,735**	**1,118**	1,25 / 2,50	1,91	1,95	11,32
8,5	**0,884**	1,267	1,10 / 2,83	2,33	2,21	12,65
9,5	**1,033**	1,416	0,99 / 3,17	2,76	2,47	13,87
10,5	1,182	1,565	0,89 / 3,50	3,18	2,73	15,02
11,5	1,331	1,715	0,82 / 3,83	3,60	2,99	16,11
12,5	1,480	1,864	0,75 / 4,17	4,03	3,25	17,16

L = 7,5 m'de sıyrılma (0,74) ve kayma (1,12) yetersizdir; **sıyrılma belirleyicidir**: L = 9,5 m'de bile 1,03 < 1,125. Boy büyüdükçe hem etkin boy L_e (sıyrılma) hem blok ağırlığı (kayma, eksantrisite) artar.

Çözüm (2/2)

ÇÖZÜM

2 0,25 m adımlarla en küçük boy: L = 10,25 m

$$FS_{P,E} = 1{,}145 \;\geq 1{,}125 \;\checkmark \qquad FS_{sl,E} = 1{,}528 \;\geq 1{,}125 \;\checkmark$$

$$e_E = 0{,}916 \;\leq \frac{L}{3} = 3{,}42\ \text{m} \;\checkmark \qquad FS_{ot,E} = 5{,}60 \qquad FS_{bc,E} = 12{,}48$$

3 Statik durum bu boyla (kontrol)

$$FS_P = 3{,}07 \qquad FS_{sl} = 2{,}67 \qquad FS_{ot} = 12{,}14 \qquad e = 0{,}422\ \text{m} \qquad FS_{bc} = 14{,}74$$

Deprem için **L = 10,25 m** (≈ 1,02 H) gerekir; statik güvenlik sayıları bu boyla çok yüksektir. Aynı sonuç, donatıyı sıklaştırarak (S_V, S_H) ya da daha geniş şerit/kaplamalı donatıyla da aranabilir; boy en doğrudan etkendir.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Soru

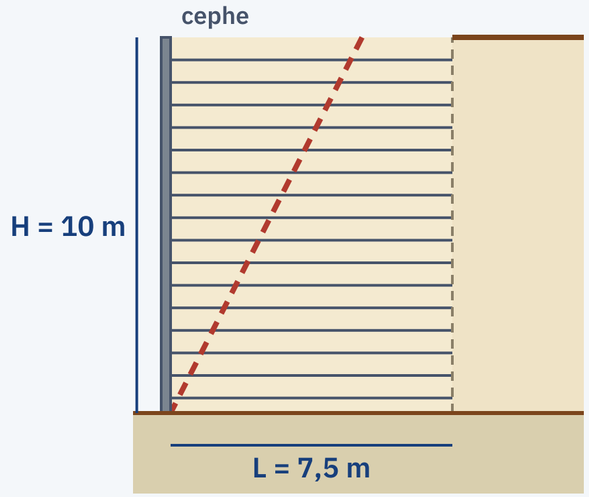
SORU

Verilenler

Geogrid	$T_{ult} = 150$ **kN/m;** $RF_{id} = 1{,}2$**,** $RF_{cr} = 2{,}5$**,** $RF_{cbd} = 1{,}25$**; kaplama** $C_r = 0{,}8$**;** $S_V = 0{,}6$ **m**
Sıyrılma	$F^* = \frac{2}{3}\tan 36^\circ$**,** $\alpha = 0{,}8$**; Rankine göçme yüzeyi (**$K_r = K_a$**);** $FS_B \geq 1{,}8$**,** $FS_P \geq 1{,}5$

İSTENEN

T_{all}, T_{cap}, T_{max} (duvarın metresi), **FS_B**, gereken S_V; seviye 1'de **FS_P** ve L_{req}.



Çözüm (1/2)

ÇÖZÜM

1 Uzun süreli dayanım ve kapasite

$$RF = 1{,}2(2{,}5)(1{,}25) = 3{,}75 \qquad T_{all} = \frac{T_{ult}}{RF} = \frac{150}{3{,}75} = 40{,}0\ \text{kN/m}$$

$$T_{cap} = T_{all} C_r = 40{,}0(0{,}8) = 32{,}0\ \text{kN/m}$$

2 Çekme ve kopma ($K_r = K_a$)

$$\sigma'_h(H) = K_a(165) = 42{,}84\ \text{kPa} \qquad T_{max} = 42{,}84(0{,}6) = 25{,}70\ \text{kN/m}$$

$$FS_B = \frac{32{,}0}{25{,}70} = \mathbf{1{,}245} < 1{,}8 \ \text{✗} \qquad S_{V,req} = \frac{T_{all} C_r}{\sigma'_h FS_B} = \frac{32{,}0}{42{,}84(1{,}8)} = \mathbf{0{,}415}\ \text{m}$$

Yerleştirilen aralık (0,6 m) fazla: kopma güvenliği 1,25 < 1,8; gereken aralık **$S_V \le 0{,}415$ m** (ya da daha dayanıklı geogrid).

Çözüm (2/2)

ÇÖZÜM

3 Seviye 1 (z = 0,6 m): Rankine yüzeyi

$$L_a = (H - z)/\tan 63^\circ = 4{,}79\ \text{m} \qquad L_e = 7{,}5 - 4{,}79 = 2{,}71\ \text{m}$$

$$\sigma'_h = K_a(9{,}9) = 2{,}57\ \text{kPa} \qquad T = 2{,}57(0{,}6) = 1{,}542\ \text{kN/m}$$

4 Sıyrılma (duvarın metresi başına, $R_c = C_r = 0{,}8$)

$$F^* = \tfrac{2}{3}\tan 36^\circ = 0{,}4844$$

$$P_r = 2C_rF^*\alpha\sigma'_vL_e = 2(0{,}8)(0{,}4844)(0{,}8)(9{,}9)(2{,}71) = 16{,}64\ \text{kN/m}$$

$$FS_P = 16{,}64/1{,}542 = \mathbf{10{,}79} \geq 1{,}5\ \checkmark \qquad L_{req} = L_a + \frac{1{,}5\,T}{2C_rF^*\alpha\sigma'_v} = \mathbf{5{,}17}\ \text{m}$$

Geosentetikte sıyrılma bol sağlanır (FS_P = 10,79), gereken boy Rankine kamasını izler: **L_{req} = 5,17 m** (< 7,5 m). Belirleyici olan **kopmadır**: tasarım dayanımı ve aralıkla ayarlanır.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Soru

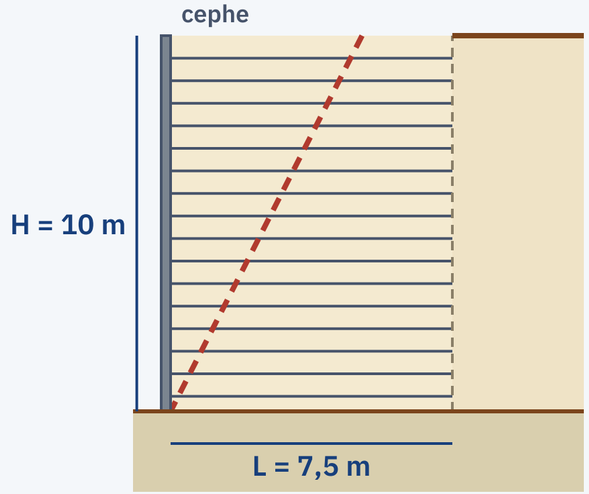
SORU

Verilenler

Duvar	**H = 10 m, L = 7,5 m, $S_V = 0{,}6$ m; dolgu $\varphi'_1 = 36^\circ$; aynı temel zemini**
Durumlar	**basitleştirilmiş yöntem, kaynağın Rankine yaklaşımı, hareketli yük, şerit yük, geogrid, kısa donatı**

İSTENEN

Yedi durumun **güvenlik sayılarını** yan yana yazın ve farkları yorumlayın.



Çözüm

ÇÖZÜM

1 Aynı duvar, yedi durum (statik)

Durum	FS_B	FS_P	L_{req} (m)	FS_{ot}	e (m)	FS_{sl}	FS_{bc}
Açılış: basitleştirilmiş, şeritler, L = 7,5 m	2,77	1,91	6,54	6,50	0,58	1,95	11,32
Kaynağın Rankine yaklaşımı (aynı şeritler)	3,33	1,90	6,93	6,50	0,58	1,95	11,32
Rankine yaklaşımı, L = 13,5 m	3,33	6,09	6,93	21,06	0,32	3,51	18,18
Hareketli sürşarj q_L = 20 kPa	2,47	0,63	13,68	4,77	0,79	1,57	9,54
Şerit yük 60 kPa (a′ = 2 m, b′ = 1 m)	2,74	1,32	8,13	3,66	1,14	1,55	7,87
Geogrid 150 kN/m (Rankine, α = 0,8)	1,25	10,79	5,17	6,50	0,58	1,95	11,32
Şeritler L = 7 m (0,7H)	2,77	1,70	6,54	5,66	0,62	1,82	10,60

Rankine yaklaşımı tabanda K_a kullanır: çekme küçük (T_{max} 25,7 kN), kopma yüksek (3,33), ama üstte gereken boy 6,93 m. **Hareketli yük** her güvenlik sayısını düşürür (FS_P 0,63: yükler, tutmaz); **şerit yük** daha az düşürür (FS_P 1,32), çünkü blok üstünde ağırlık olarak karşı koyar. Geogridde sıyrılma bol, **kopma sınırlayıcıdır** (FS_B 1,25). L = 7 m ile şeritler hâlâ yeterlidir (FS_P 1,70, e = 0,62 m).

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Çözümün kapsamı

KURAM

Dolgu serbest drenajlı granülerdir (boşluk suyu basıncı yok); duvar içinde ya da gerisinde yeraltı suyu ve duvarın üstünde eğimli geri dolgu **yoktur**.

Seviyeler S_V, $2S_V$, … derinliklerindedir; tek donatı boyu, yamuk kesit ve farklı boylu seviyeler modellenmez. Çubuk/tel hasırlar ($K_r/K_a \geq 2{,}5$) ve nervürlü şeritlerin derinlikle değişen F* değeri kapsam dışıdır.

Yükler: yayılı sürşarj (kalıcı/hareketli) ve şerit yükler (Laba–Kennedy; üst üste toplanır). Tekil ve çizgisel yük modellenmez.

Cephe kaplaması yük taşımaz; bağlantı yalnız dayanım girildiğinde kopma güvenlik sayısıyla kontrol edilir; önündeki gömülü kısım sayılmaz.

Kontrol edilmeyenler: genel ve bileşik stabilite (şev stabilitesi analizi), oturma ve farklı oturma, drenaj, cephe kaplaması, yapım aşamaları.

Kontroller **emniyet gerilmesi** biçimindedir (genel güvenlik sayıları); AASHTO LRFD/GEC 11 yük ve direnç katsayıları kullanılmaz. Önemli bir duvar için ürün verileri, genel stabilite ve oturma ayrıca yapılmalıdır.

Özet

Akılda kalacak noktalar

Donatılı zemin: zemin basıncı, donatı çekmeyi taşır, sürtünme birleştirir. İç stabilite: kopma, sıyrılma, (bağlantı); dış stabilite: L × H blok için devrilme, kayma, taşıma gücü

Gerilme: $\sigma'_h = K_r\sigma'_v$; şeritte $K_r/K_a = 1{,}7 \rightarrow 1{,}2$ (6 m'ye kadar), geosentetikte 1. **Çekme** $T = \sigma'_h S_V S_H$; en büyük çekme tabanda

Kopma: $T_{cap} = w(t - rn)f_y$ (şerit) ya da $T_{all}C_r$ (geosentetik); **sıyrılma**: $P_r = 2R_cF^*\alpha\sigma'_vL_e$, L_e göçme yüzeyinin (bilineer / Rankine) arkasında

Dış kontroller: FS_{ot}, $e \le L/6$, $FS_{sl} = \Sigma V \tan(\frac{2}{3}\varphi'_{min})/\Sigma H$, taşıma gücü (kaynak ve Meyerhof $L' = L - 2e$, küçüğü)

Hareketli yük yükler, tutmaz: çekmeyi ve itkiyi artırır, sıyrılma ve ağırlığa girmez; örnekte FS_P 1,91 → 0,63

Deprem: ΔP_{AE} (yarısı, 0,6H), P_{IR}, $P_i \rightarrow T_{md}$; gerekli FS statiğin %75'i; örnek duvar **sıyrılma (0,74) ve kayma (1,12)**'da başarısız, L = 10,25 m ile sağlanır

Geogrid: $T_{all} = T_{ult}/(RF_{id}RF_{cr}RF_{cbd})$; kopma sınırlayıcıdır ($S_{V,req}$ = 0,415 m), sıyrılma bol

Kaynaklar

Das, B.M. (2016). Principles of Foundation Engineering, 8th ed. Cengage Learning, Boston. Bölüm 13, Kısım 13.10–13.17: zemin donatısı; metal şerit, geotekstil ve geogrid donatılı duvarların tasarımı; taşıma gücü katsayıları için Tablo 4.2.

Berg, R.R., Christopher, B.R. and Samtani, N.C. (2009). Design of Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes, Vol. I, FHWA-NHI-10-024. Federal Highway Administration, Washington, D.C.

American Association of State Highway and Transportation Officials (2012). AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, 6th ed., Section 11.10, Mechanically stabilized earth walls.

Vidal, H. (1966). La terre armée. Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics, Paris, July–August, 888–938.

Laba, J.T. and Kennedy, J.B. (1986). Reinforced earth retaining wall analysis and design. Canadian Geotechnical Journal, 23(3), 317–326.

Koerner, R.M. (2005). Designing with Geosynthetics, 5th ed. Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J.

Binquet, J. and Lee, K.L. (1975). Bearing capacity analysis of reinforced earth slabs. Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, 101(GT12), 1257–1276.

Martin, J.P., Koerner, R.M. and Whitty, J.E. (1984). Experimental friction evaluation of slippage between geomembranes, geotextiles and soils. Proceedings, International Conference on Geomembranes, Denver, 191–196.

Mononobe, N. and Matsuo, H. (1929). On the determination of earth pressures during earthquakes. Proceedings, World Engineering Congress, Tokyo, 9, 177–185.

Okabe, S. (1926). General theory of earth pressure. Journal of the Japanese Society of Civil Engineers, 12(1).

Vesic, A.S. (1973). Analysis of ultimate loads of shallow foundations. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, 99(SM1), 45–73.

NOT

Sayısal örneklerin tümü modülün kendi hesap motoruyla üretilmiştir; modül aynı değerleri verir. Modül sayfasındaki adım adım örnek de bu duvardır (H = 10 m, galvanizli şerit 75 × 6 mm, L = 7,5 m, S_V = 0,6 m, S_H = 1,0 m).

GeoTerva

Çevrim içi geoteknik hesaplar

Teoriden uygulamaya

Kendi duvarınızın yüksekliğini, donatısını (şerit, geogrid, geotekstil), dolgusunu, sürşarjını ve deprem katsayısını GeoTerva'da girin; modül her seviyenin kopma ve sıyrılma güvenliğini, bloğun dış kontrollerini ve gereken boyu birlikte verir.

Modülü açın →

Teori sayfası →

Telefonla açın
Örnek modüller kayıt gerektirmez.

Derslerinizde kullanmak isterseniz: info@geoterva.com