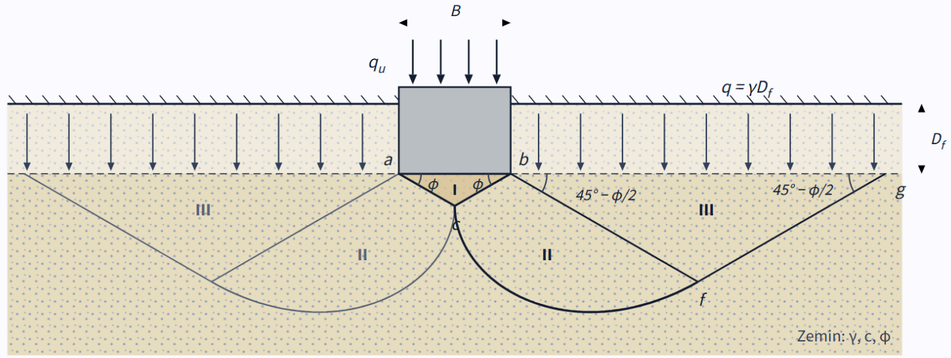
Geoteknik ders sunumu · Temeller

Terzaghi taşıma gücü

Ders anlatımı: Terzaghi'nin göçme mekanizmasından ve türetmesinden N_q, N_c, N_γ katsayılarına, kare ve dairesel temellerden yerel kaymaya ve yeraltı suyuna; her konuda çözümlü örnek.

Üç bölge · Log spiral · $N_c \cdot N_q \cdot N_\gamma$ · Kare ve daire temel · Yerel kayma · Çözümlü örnekler



Giriş

Bu derste neler öğreneceğiz?

- Terzaghi denkleminin **varsayımlarını** ve **genel / yerel kayma** göçmesini ayırt etmeyi
- Göçme mekanizmasını (**üç bölge**, log spiral) ve pasif kuvvetin üç parçaya ayrılmasını izlemeyi
- N_q **ve** N_c katsayılarını kapalı formlardan, N_γ'yı Kumbhojkar tablosundan bulmayı
- **Şerit, kare, daire** temel için denklemi yazmayı; drenajsız ($\varphi = 0$) durumu ele almayı
- **Yerel kayma** için c' ve φ' ile aynı denklemi uygulamayı
- **Yeraltı suyunun** üç durumunu ve brüt/net emniyetli basıncı hesaplayıp temeli **kontrol** etmeyi

DERS AKIŞI

Her konu **üç adımda** işlenir:

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

2 · **Soru**: verilenler ve istenen

3 · **Çözüm**: adım adım, sayılarla

Örnek temel, modülün açıldığı model: c = 15,2 kPa, φ' = 20°, γ = 17,8 kN/m³ zeminde 1,5 m × 1,5 m kare temel, D_f = 1 m, YASS 2 m.

Terzaghi denklemi neye dayanır?

KURAM

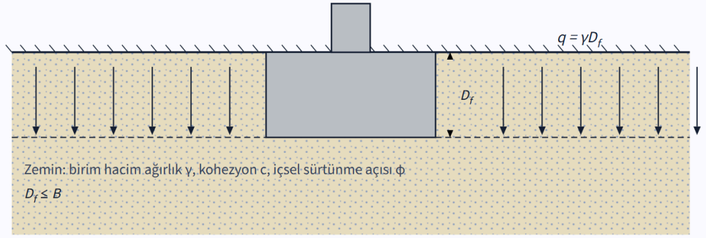
Terzaghi (1943) taşıma gücü q_u'yu, yani temelin altındaki zeminin kayma ile göçtüğü ortalama basıncı, kabul ettiği bir göçme mekanizmasından ve parçalarının dengesinden buldu. Türetme şu kabullere dayanır:

Temel **uzun bir şerit** (düzlem birim şekil değiştirme), rijit ve **pürüzlü tabanlı**: altındaki zemin tabanda kayamaz, temelle birlikte tek cisim olarak iner.

Taban altındaki zemin **homojen** ve çok derindir; yük **düşey ve merkezidir**.

Temel **sığdır**, $D_f \le B$: taban üstündeki zemin mekanizmaya katılmaz, yalnızca **sürşarj $q = \gamma D_f$** olarak basar; kayma dayanımı yok sayılır (güvenli tarafta bir sadeleştirme).

Zemin **genel kayma** ile göçer; yerel kayma sonradan azaltılmış parametrelerle ele alınır.



Kayma dayanımı Mohr–Coulomb'a uyar:

$$s = c + \sigma' \tan \varphi$$

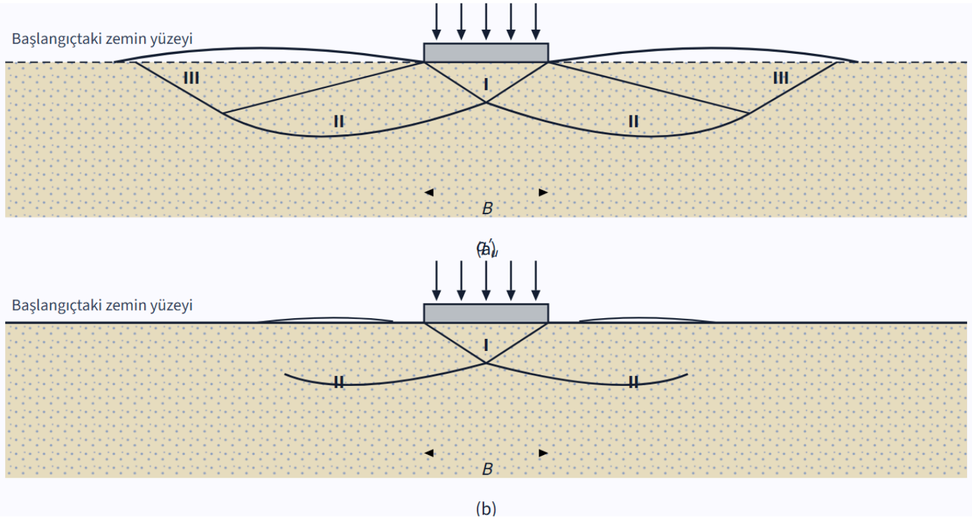
Temel nasıl göçer?

KURAM

Yoğun kum ya da sert kil üzerindeki bir şerit temeli basamak basamak yükleyelim. Oturma önce yavaş artar; sonra belirli bir basınçta **yük artmadan** oturma kaçar: temel kenarından yüzeye uzanan sürekli bir kayma yüzeyi oluşmuştur ve temel yanında zemin kabarır. Bu **genel kayma** göçmesidir ve o basınç $\mathbf{q_u}$'dur.

Gevşek kum ve yumuşak kilde eğrinin tepe noktası yoktur: q'_u'dan sonra daha dik ama hâlâ yükselen bir doğruya geçer; kayma yüzeyleri zemin içinde kalır, kabarma azdır: **yerel kayma**.

Temel altında üç bölge: tek cisim gibi inen **kama (I)**, kamanın ittiği **radyal bölge (II)** ve yukarı-yana itilen **pasif bölge (III)**. Yerel kaymada kama aynı oluşur ama II ve III yüzeye ulaşmadan zeminde sönümlenir.



(b)

Üç bölge ve logaritmik spiral

KURAM

Terzaghi her iki yanda zemini üç bölgeye ayırdı:

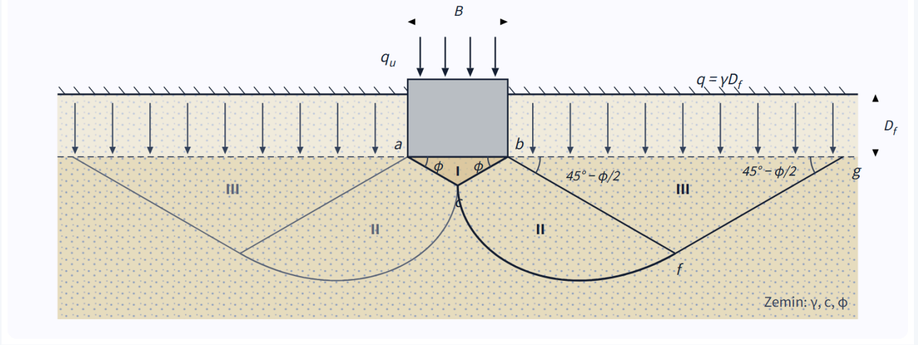
I · kama abc: pürüzlü taban tutar; temelle birlikte rijit iner. Kenarları ac ve bc yatayla **α = φ** yapar.

II · radyal bölge bcf (Prandtl): b'den çıkan her ışın bir kayma çizgisi; cf sınırı kutbu b olan **log spiral** yayıdır.

III · pasif Rankine bölgesi bfg: bf ve fg, yatayla 45° − φ/2 yapan doğru kayma çizgileri.

$$r = r_0\, e^{\theta \tan\varphi} \qquad \theta_1 = \angle cbf = 180^\circ - \varphi - \left(45^\circ - \tfrac{\varphi}{2}\right) = \frac{3\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}$$

Spiralin özelliği: her noktada kutuptan çizilen yarıçap eğrinin normaliyle φ açısı yapar. Dolayısıyla spiral üzerindeki sürtünme kutba göre **moment üretmez** ve denge, bu kutup etrafında momentlerle yazılır.



Düşeydir ve üç parçaya bölünür

KURAM

Temel kamayı aşağı iter; II ve III bölgelerinin zemini her yüzde **pasif kuvvet P_p** ile direnir. Zemin zeminle kaydığı için tam sürtünme açısı etkir: P_p yüzün normaliyle φ yapar. bc yüzü yatayla φ yaptığından normali düşeyle φ yapar; bu normalden φ sapan kuvvet **tam düşeydir**.

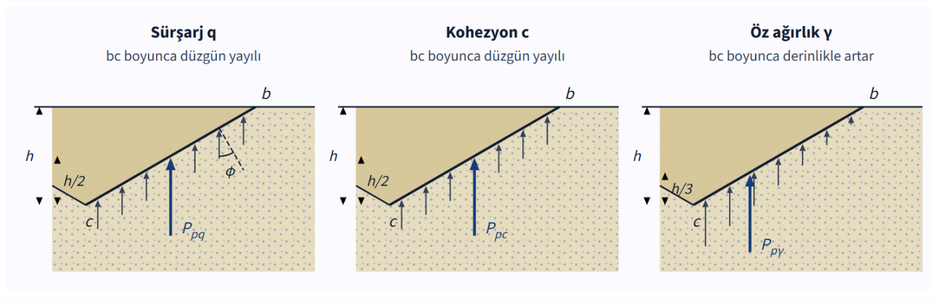
P_p aynı anda q, c ve γ'ya bağlıdır ve üçü birlikte kapalı çözüm vermez. Terzaghi her birini diğer ikisi sıfırmış gibi buldu ve **topladı** (süperpozisyon):

$$P_p = P_{pq} + P_{pc} + P_{p\gamma} \qquad h = \frac{B}{2}\tan\varphi$$

P_{pq}: yalnızca sürşarj (γ = 0, c = 0) → **N_q**

P_{pc}: yalnızca kohezyon (γ = 0, q = 0) → **N_c**

$P_{p\gamma}$: yalnızca zemin ağırlığı (q = 0, c = 0) → **N_γ**



Kutup b etrafındaki momentler

KURAM

Yalnızca sürşarjla kutup b'dedir. bcfj kütlesine bc üzerinde P_{pq}, bj üzerinde q, jf üzerinde Rankine pasif kuvveti ve spiral üzerinde bileşke F etkir; F kutuptan geçer, momentten düşer:

$$P_{p(1)} = q\,H_d \tan^2\!\left(45^\circ + \tfrac{\varphi}{2}\right) \qquad P_{pq}\frac{B}{4} = q\,\overline{bj}\,\frac{\overline{bj}}{2} + P_{p(1)}\frac{H_d}{2}$$

$$r_0 = \frac{B}{2}\sec\varphi \quad r_1 = r_0\, e^{\left(\frac{3\pi}{4}-\frac{\varphi}{2}\right)\tan\varphi} \quad \overline{bj} = r_1\cos\left(45^\circ - \tfrac{\varphi}{2}\right) \quad H_d = r_1\sin\left(45^\circ - \tfrac{\varphi}{2}\right)$$

$\tan(45° + \varphi/2) = \cot(45° - \varphi/2)$ olduğundan iki terim eşit çıkar: $P_{pq} = (4/B)\, q\, r_1^2 \cos^2(45° - \varphi/2)$. Kama dengesi $\mathbf{q_q\, B = 2\, P_{pq}}$ ile:

$$q_q = qN_q \qquad N_q = \frac{e^{2\left(\frac{3\pi}{4}-\frac{\varphi}{2}\right)\tan\varphi}}{2\cos^2\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right)}$$

SONUÇ

φ = 0 için N_q = 1: sürtünme yokken sürşarj aynen taşınır. φ = 30° için **N_q = 22,46**.

Soru

SORU

Verilenler

Zemin $\varphi' = 30^\circ$ **ve** $\varphi' = 20^\circ$ **(modül modeli)**

Formül $$N_q = \frac{e^{2(3\pi/4 - \varphi/2)\tan\varphi}}{2\cos^2(45^\circ + \varphi/2)}$$

İSTENEN

Her φ′ için **N_q** değerini kapalı formdan bulunuz.

Çözüm

ÇÖZÜM

1 φ′ = 30° (3π/4 − φ/2 = 2,0944 rad; tan 30° = 0,5774; 45° + 15° = 60°)

$$N_q = \frac{e^{2(2{,}0944)(0{,}5774)}}{2\cos^2 60^\circ} = \frac{e^{2{,}4184}}{2(0{,}25)} = \frac{11{,}228}{0{,}5} = \mathbf{22{,}46}$$

2 φ′ = 20° (3π/4 − φ/2 = 2,1817 rad; tan 20° = 0,3640; 45° + 10° = 55°)

$$N_q = \frac{e^{2(2{,}1817)(0{,}3640)}}{2\cos^2 55^\circ} = \frac{e^{1{,}5881}}{2(0{,}3290)} = \frac{4{,}895}{0{,}6580} = \mathbf{7{,}44}$$

$N_q(30°)$ = **22,46**, $N_q(20°)$ = **7,44**; φ′ = 0 için N_q = 1. Bunlar modülün tablosundaki değerlerdir.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

$\cot \varphi \, (N_q - 1)$

KURAM

Yalnızca kohezyonla kutup yine b'dedir. bcfj kütlesinde kohezyon kuvveti C = c·bc (bir yarıçap boyunca, momentsiz), jf üzerinde kohezyonlu Rankine pasif kuvveti ve spiral boyunca c etkir. Spiralin dilimi ds = r sec φ dθ ve momenti c r² dθ:

$$P_{p(2)} = 2cH_d \tan\left(45^\circ + \tfrac{\varphi}{2}\right) \qquad M_c = \int_0^{\theta_1} c\, r^2 d\theta = \frac{c}{2\tan\varphi}\left(r_1^2 - r_0^2\right)$$

Moment dengesi P_{pc} B/4 = $P_{p(2)}$ H_d/2 + M_c ile P_{pc} bulunur; kama dengesi **q_c B = 2 C sin φ + 2 P_{pc}** (C'nin düşey bileşeni). İki özdeşlikle parantezler sadeleşir:

$$q_c = c\cot\varphi\left[\frac{e^{2\left(\frac{3\pi}{4}-\frac{\varphi}{2}\right)\tan\varphi}}{2\cos^2\left(45^\circ+\frac{\varphi}{2}\right)} - 1\right] = c\cot\varphi\,(N_q - 1) = cN_c$$

$$N_c = \cot\varphi\,(N_q - 1)$$

SONUÇ

φ → 0 iken N_c → 3π/2 + 1 = 5,71; Terzaghi'nin φ = 0 değeri **5,7** (Prandtl'ın 5,14'ünden farklı bir yöntem). φ = 30° için **N_c = 37,16**.

Soru

SORU

Verilenler

Zemin	$\varphi' = 30^\circ$ **ve** $\varphi' = 20^\circ$
Önceki örnek	$N_q(30^\circ) = 22{,}46,\ N_q(20^\circ) = 7{,}44$

İSTENEN

N_c değerlerini $N_c = \cot \varphi\ (N_q - 1)$ ile bulunuz; $\varphi \to 0$ sınırını yazınız.

Çözüm

ÇÖZÜM

1 φ′ = 30° ve φ′ = 20°

$$N_c(30^\circ) = \frac{22{,}46 - 1}{0{,}5774} = \mathbf{37{,}16} \qquad N_c(20^\circ) = \frac{7{,}44 - 1}{0{,}3640} = \mathbf{17{,}69}$$

2 φ → 0 sınırı

$$N_c \to \frac{3\pi}{2} + 1 = \mathbf{5{,}71} \approx 5{,}7 \text{ (Terzaghi'nin değeri)}$$

$N_C(30°)$ = **37,16**, $N_C(20°)$ = **17,69**. Aynı φ′'de N_C, N_q'dan çok daha büyüktür: kohezyon terimi düşük φ'de baskın olur.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Deneme kutbu ve kapalı biçimi olmayan katsayı

KURAM

Ağırlıkla kutup b'deki spiral artık kritik değildir: kutup O, fb doğrusunun b ötesindeki uzantısında **denemeyle** hareket ettirilir; her konum yeni bir spiral ve yeni bir bcfj kütlesi verir. O etrafında momentler:

$$P_{p\gamma} = \frac{W\, l_w + P_{p(3)}\, l_R}{l_p} \qquad P_{p(3)} = \tfrac{1}{2}\gamma H_d^2 \tan^2\!\left(45^\circ + \tfrac{\varphi}{2}\right)$$

En küçük $P_{p\gamma}$ zeminin geliştirdiği değerdir. Kama artık kendi ağırlığını da taşır: $W_w = ½\ B\ h\ \gamma = (B^2/4)\ \gamma \tan\varphi$. $P_{p\gamma} = ⅛\ \gamma\ B^2\ K_{p\gamma} \tan^2\varphi$ yazılırsa ($K_{p\gamma}$ yalnızca φ'ye bağlı):

$$q_\gamma B = 2P_{p\gamma} - W_w \;\Rightarrow\; q_\gamma = \tfrac{1}{2}\gamma B\, N_\gamma \qquad N_\gamma = \tfrac{1}{2}K_{p\gamma}\tan^2\varphi - \tfrac{1}{2}\tan\varphi$$

$K_{p\gamma}$ denemeli küçültmeden çıktığı için **N_γ'nın kapalı biçimi yoktur**; her φ için sayısal hesaplanır. Modül **Kumbhojkar (1993)** değerlerini (Tablo 1) kullanır ve aralarını doğrusal enterpole eder: φ = 30° için N_γ = 19,13.

NEDEN TABLO?

N_c ve N_q kapalı ifadelerden çıkar. N_γ ise bir minimizasyonun sonucudur: aynı yöntemle yazılsa da herkesin kullandığı bir formül yoktur.

Soru

SORU

Verilenler

Zemin	$\varphi' = 20^\circ$ **(modül modeli) ve** 30°**; ayrıca** $22{,}5^\circ$
Kaynak	**Kumbhojkar (1993) Tablo 1: $N_\gamma(22°) = 5{,}09$, $N_\gamma(23°) = 6{,}00$**

İSTENEN

$N_\gamma(20°)$, $N_\gamma(30°)$; bunlardan $K_{p\gamma}$; ve $N_\gamma(22{,}5°)$ (doğrusal enterpolasyon).

Çözüm

ÇÖZÜM

1 Tablo 1 ($N_\gamma = ½\, K_{p\gamma} \tan^2\varphi - ½ \tan\varphi \Rightarrow K_{p\gamma} = (2N_\gamma + \tan\varphi)/\tan^2\varphi$)

$$N_\gamma(20^\circ) = 3{,}64 \;\Rightarrow\; K_{p\gamma} = \frac{2(3{,}64) + 0{,}3640}{0{,}3640^2} = 57{,}7$$

$$N_\gamma(30^\circ) = 19{,}13 \;\Rightarrow\; K_{p\gamma} = \frac{2(19{,}13) + 0{,}5774}{0{,}5774^2} = 116{,}5$$

2 $\varphi' = 22{,}5°$: 22° ile 23° arasında yarı yol (t = 0,5)

$$N_\gamma = 5{,}09 + 0{,}5(6{,}00 - 5{,}09) = \mathbf{5{,}545}$$

$N_\gamma(20°)$ = **3,64**, $N_\gamma(30°)$ = **19,13**; $K_{p\gamma}$ 57,7 → 116,5. Modül N_c ve N_q'yu da aynı tablodan doğrusal enterpole eder: 22,5°'de N_c = 21,01, N_q = 9,71.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Üç parçanın toplamı ve Tablo 1

KURAM

Üç parça toplanınca **şerit temelin** kohezyonlu, sürtünmeli, ağırlıklı zemindeki taşıma gücü:

$$q_u = q_c + q_q + q_\gamma = c\,N_c + q\,N_q + \tfrac{1}{2}\gamma B\,N_\gamma$$

N_q, N_c, N_γ **yalnızca φ'ye** bağlıdır; Tablo 1 modülün okuduğu değerleri verir.

Süperpozisyon tam değildir: N_q ve N_c kutbu temel kenarında, N_γ kutbu O'da olan spirallerden çıkar. Ayrı ayrı minimize edilen parçaların toplamı birleşik problemin minimumunu aşamaz; hata **güvenli taraftadır**.

Deneyler kama kenarlarının φ değil yaklaşık **45° + φ/2** olduğunu gösterir. Terzaghi'nin katsayıları (ve bu modül) α = φ'yi korur; 45° + φ/2 kaması Prandtl–Reissner katsayılarının (Meyerhof, Hansen, Vesic modülleri) temelidir ve onların N_c, N_q değerleri bu yüzden farklıdır.

TABLO 1 (Terzaghi)

φ′ (°)	N_c	N_q	N_γ
0	5,70	1,00	0,00
5	7,34	1,64	0,14
10	9,60	2,69	0,56
15	12,86	4,45	1,52
20	17,69	7,44	3,64
25	25,13	12,72	8,34
30	37,16	22,46	19,13
35	57,75	41,44	45,41
40	95,66	81,27	116,31
45	172,29	173,29	325,34
50	347,51	415,15	1 072,80

Soru

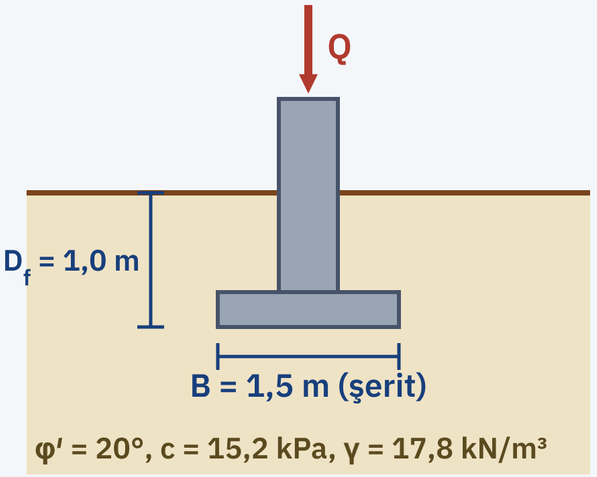
SORU

Verilenler

Temel	**şerit (sürekli), B = 1,5 m, D_f = 1,0 m**
Zemin	$c = 15{,}2\ \mathrm{kPa},\ \varphi' = 20^\circ,\ \gamma = 17{,}8\ \mathrm{kN/m^3}$
Yeraltı suyu	**yok (derinde)**
Tablo 1 (20°)	**N_c = 17,69, N_q = 7,44, N_γ = 3,64**

İSTENEN

q_u ve birim uzunluk için **Q_u** değerlerini bulunuz.



Çözüm

ÇÖZÜM

1 Sürşarj $q = \gamma D_f = 17{,}8 \times 1{,}0 = 17{,}8$ kPa; şeritte şekil katsayısı yok

$$q_u = 15{,}2(17{,}69) + 17{,}8(7{,}44) + \tfrac{1}{2}(17{,}8)(1{,}5)(3{,}64)$$
$$= 268{,}89 + 132{,}43 + 48{,}59 = \mathbf{449{,}91}\ \mathrm{kPa}$$

2 Birim uzunluk için yük

$$Q_u = q_u B = 449{,}91(1{,}5) = \mathbf{674{,}9}\ \mathrm{kN/m}$$

Şerit temelde taşıma gücü **449,9 kPa**: kohezyon terimi %60, sürşarj %29, öz ağırlık %11.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Yarı-deneysel şekil katsayıları

KURAM

Kare ya da dairesel temelin altında zemin düzlem birim şekil değiştirme durumunda değildir; türetme doğrudan uygulanamaz. Terzaghi kohezyon ve ağırlık terimlerine **yarı-deneysel katsayılar** önerdi:

$$q_u = 1{,}3\,c\,N_c + q\,N_q + 0{,}4\,\gamma B\,N_\gamma \qquad (\text{kare, B} \times \text{B})$$

$$q_u = 1{,}3\,c\,N_c + q\,N_q + 0{,}3\,\gamma B\,N_\gamma \qquad (\text{daire, çap B})$$

Doygun kilde drenajsız yükleme ($\varphi = 0$, $c = c_u$; $N_c = 5{,}7$, $N_q = 1$, $N_\gamma = 0$):

$$q_u = 5{,}7\,c_u + q\ (\text{şerit}) \qquad q_u = 1{,}3 \times 5{,}7\,c_u + q = 7{,}41\,c_u + q\ (\text{kare, daire})$$

Modülün **Şekil** seçeneği bu katsayıları seçer. Terzaghi dikdörtgen temel için katsayı vermemiştir; onu şekil katsayılı genel taşıma gücü denklemi (Meyerhof, Hansen, Vesic) kapsar.

KATSAYILAR

Temel	c N_c	γ B N_γ	B
şerit	1	0,5	genişlik
kare	1,3	0,4	kenar
daire	1,3	0,3	çap

Soru

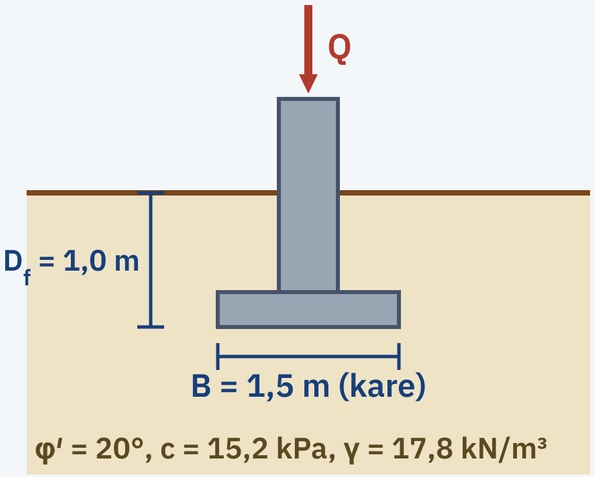
SORU

Verilenler

Temel	**kare, B = L = 1,5 m, taban derinliği D_f = 1,0 m**
Zemin	$c = 15{,}2\ \mathrm{kPa},\ \varphi' = 20^\circ$
Birim ağırlık	$\gamma = 17{,}8\ \mathrm{kN/m^3}$ **(üstte)**
Yeraltı suyu	**yok (derinde)**
Karşılaştırma	**daire, çap B = 1,5 m; ayrıca kil: φ = 0, c_u = 40 kPa, γ = 18 kN/m³, D_f = 1 m**

İSTENEN

Kare ve daire için **q_u** ve **Q_u**; kil için şerit ve kare **q_u**.



Çözüm (1/2)

ÇÖZÜM

1 Kare (0,4) ve daire (0,3); N_c = 17,69, N_q = 7,44, N_γ = 3,64

$$\text{kare}: \quad q_u = 1{,}3(15{,}2)(17{,}69) + 17{,}8(7{,}44) + 0{,}4(17{,}8)(1{,}5)(3{,}64)$$
$$= 349{,}55 + 132{,}43 + 38{,}88 = \mathbf{520{,}86}\ \text{kPa}$$
$$\text{daire}: \quad q_u = 349{,}55 + 132{,}43 + 0{,}3(17{,}8)(1{,}5)(3{,}64) = \mathbf{511{,}14}\ \text{kPa}$$

2 Yükler

$$Q_u^{kare} = q_u B^2 = 520{,}86(2{,}25) = \mathbf{1\,171{,}9}\ \text{kN}$$
$$Q_u^{daire} = q_u \frac{\pi B^2}{4} = 511{,}14(1{,}767) = \mathbf{903{,}3}\ \text{kN}$$

Kare temelin q_u'su daireninkinden yalnızca %1,9 fazla (yalnız γ terimi farklıdır).

Çözüm (2/2)

ÇÖZÜM

3 Drenajsız kil (q = 18 × 1 = 18 kPa; N_c = 5,7)

$$\text{şerit}: \quad q_u = 5{,}7(40) + 18 = \mathbf{246{,}0}\ \text{kPa}$$

$$\text{kare, daire}: \quad q_u = 1{,}3(5{,}7)(40) + 18 = 7{,}41(40) + 18 = \mathbf{314{,}4}\ \text{kPa}$$

Temel	c N_c terimi	q	q_u (kPa)
şerit	228,0	18,0	**246,0**
kare / daire	296,4	18,0	**314,4**

Kilde taşıma gücü neredeyse yalnızca kohezyondan gelir; kare ve daire temel şeritten **%28** daha yüksek taşır (1,3 katsayısı).

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Aynı denklem, azaltılmış c ve φ

KURAM

Zemin yerel kayma ile göçerken mekanizma tam gelişmez, dayanımın yalnızca bir kısmı harekete geçer. Terzaghi **aynı denklemleri** korudu, dayanım parametrelerini azalttı:

$$c' = \frac{2}{3}\,c \qquad \varphi' = \tan^{-1}\left(\frac{2}{3}\tan\varphi\right)$$

Düzeltilmiş N'_c, N'_q, N'_γ aynı fonksiyonların φ′'de hesabıdır (Tablo 3):

$$q_u = c' N'_c + q N'_q + \tfrac{1}{2}\gamma B N'_\gamma \ (\text{şerit}) \qquad q_u = 1{,}3\,c' N'_c + q N'_q + 0{,}4\,\gamma B N'_\gamma \ (\text{kare})$$

c′ = ⅔ c olduğundan kare ve daire temelde kohezyon terimi 1,3 × ⅔ = **0,867 c N'_c** olur.

Kumlar için Vesic (1973) sabit ⅔ yerine göreli sıkılığa bağlı bir azaltma önerdi: **$\varphi' = \tan^{-1}(k \tan\varphi)$**, $k = 0{,}67 + D_r - 0{,}75\,D_r^2$ $(0 \le D_r \le 0{,}67)$.

TABLO 3 (yerel kayma)

φ (°)	φ′ (°)	N'_c	N'_q	N'_γ
10	6,70	8,03	1,94	0,25
15	10,13	9,67	2,73	0,58
20	13,64	11,86	3,88	1,18
25	17,27	14,82	5,61	2,29
30	21,05	18,99	8,31	4,35
35	25,02	25,18	12,75	8,38
40	29,22	34,89	20,53	16,84

Soru

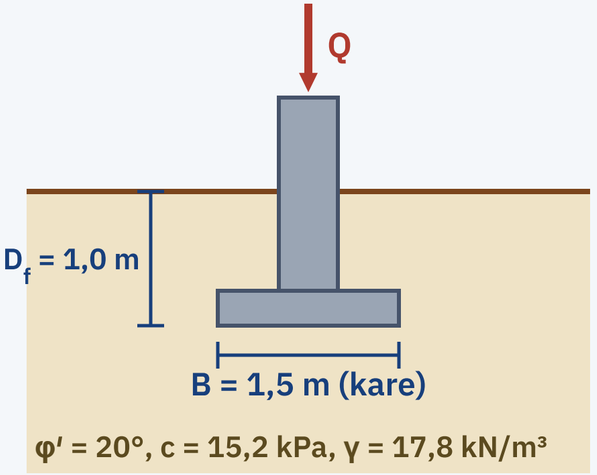
SORU

Verilenler

Temel	**kare, B = L = 1,5 m, taban derinliği D_f = 1,0 m**
Zemin	$c = 15{,}2\ \mathrm{kPa},\ \varphi' = 20^\circ$
Birim ağırlık	$\gamma = 17{,}8\ \mathrm{kN/m^3}$ **(üstte)**
Yeraltı suyu	**yok (derinde)**
Göçme biçimi	**yerel kayma**

İSTENEN

c′, φ′, düzeltilmiş katsayılar ve **q_u**; genel kaymaya göre oranı.



Çözüm (1/2)

ÇÖZÜM

1 Azaltılmış dayanım (tan 20° = 0,3640)

$$\varphi' = \tan^{-1}\left(\tfrac{2}{3}\cdot 0{,}3640\right) = \mathbf{13{,}64^\circ} \qquad c' = \tfrac{2}{3}(15{,}2) = \mathbf{10{,}13}\ \mathrm{kPa}$$

2 Tablo 3 (φ′ = 13,64°, enterpolasyonla)

$$N_c' = \mathbf{11{,}86} \qquad N_q' = \mathbf{3{,}88} \qquad N_\gamma' = \mathbf{1{,}18}$$

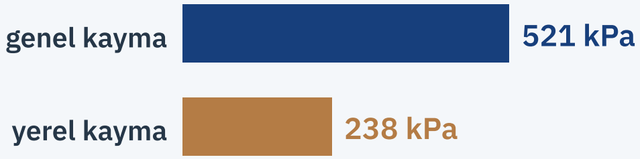
Çözüm (2/2)

ÇÖZÜM

3 Kare temel (q = 17,8 kPa)

$$q_u = 1{,}3(10{,}13)(11{,}86) + 17{,}8(3{,}88) + 0{,}4(17{,}8)(1{,}5)(1{,}18)$$
$$= 156{,}20 + 69{,}05 + 12{,}61 = \mathbf{237{,}86}\ \text{kPa}$$

Yerel kaymada q_u = **237,86 kPa**, genel kaymanın (520,86 kPa) yalnızca **%46**'i. Gevşek ya da yumuşak zeminde bu azaltma **yarıdan fazlasını** götürür.



Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Su yalnızca q ve γ'yı değiştirir

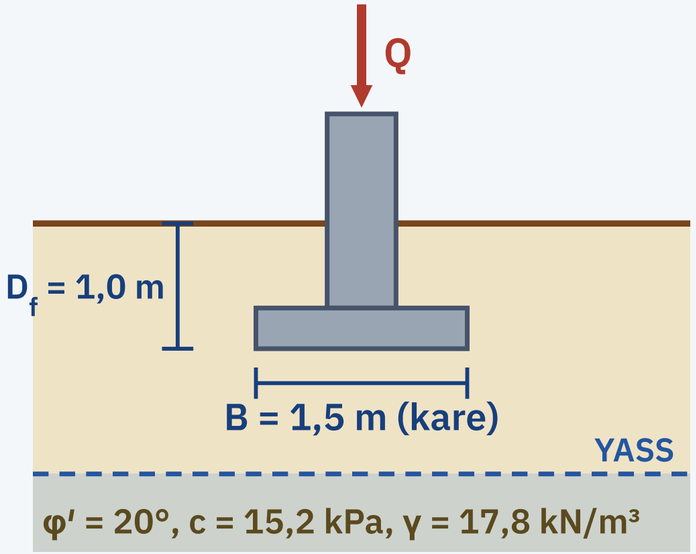
KURAM

Türetme yeraltı suyunu çok derinde varsayar. Taban'a yakın su iki şeyi değiştirir: **sürşarj q** ve ½γBN$_\gamma$ terimindeki **birim ağırlık**; katsayıları asla. YASS altında etkin birim ağırlık γ′ = γ$_{sat}$ − γ$_w$ (γ$_w$ = 9,81). Modül üç durumu ayırır (D$_w$ yüzeyden derinlik):

$$\text{I } (D_w \le D_f):\ q = \gamma D_w + \gamma'(D_f - D_w),\ \ \gamma \to \gamma' \text{ (üçüncü terim)}$$

$$\text{III } (D_w > D_f):\ q = \gamma D_f,\ \ \bar{\gamma} = \frac{1}{B}\left[\gamma D + \gamma'(B - D)\right],\ D = D_w - D_f \le B$$

D$_W$ = D$_f$ (durum II) I'in özel hâlidir: q = γ D$_f$, üçüncü terimde γ′. Tabanın bir B altından derinde (D > B) su göçme bölgesinin altındadır ve denklem su yokmuş gibi kullanılır.



Soru

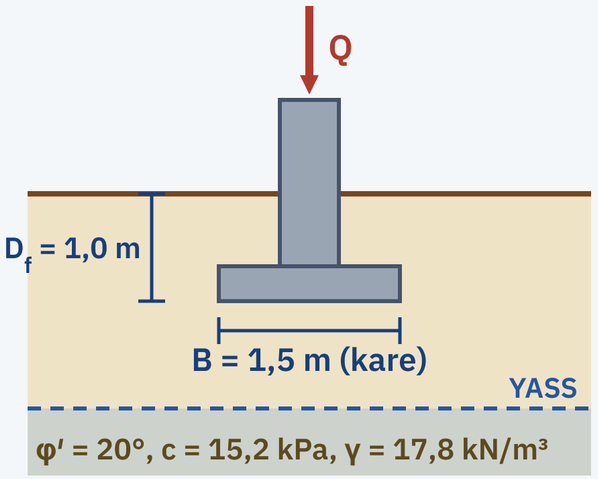
SORU

Verilenler

Temel	**kare, B = L = 1,5 m, taban derinliği D_f = 1,0 m**
Zemin	$c = 15{,}2\ \mathrm{kPa},\ \varphi' = 20^\circ$
Birim ağırlık	$\gamma = 17{,}8\ \mathrm{kN/m^3}$ **(üstte)**
Yeraltı suyu	$\gamma_{sat} = 19\ \mathrm{kN/m^3}$**;** $D_w = 0{,}5;\ 1{,}0;\ 2{,}0$ **ve** $3{,}5\ \mathrm{m}$

İSTENEN

Her durum için **q**, üçüncü terimdeki birim ağırlık ve kare temelin q_u değerini bulunuz.



Çözüm (1/3)

ÇÖZÜM

1 $\gamma' = 19 - 9{,}81 = 9{,}19$ kN/m³. Durum I ($D_w = 0{,}5$) ve II ($D_w = D_f = 1{,}0$)

$$D_w = 0{,}5: \;\; q = 17{,}8(0{,}5) + 9{,}19(0{,}5) = \mathbf{13{,}495}\ \text{kPa},\;\; \gamma' = 9{,}19$$

$$D_w = 1{,}0: \;\; q = 17{,}8(1{,}0) = \mathbf{17{,}8}\ \text{kPa},\;\; \gamma' = 9{,}19$$

2 Durum III ($D_w = 2{,}0 \Rightarrow D = 1{,}0 \le B = 1{,}5$) ve su etkisiz ($D_w = 3{,}5 \Rightarrow D = 2{,}5 > B$)

$$D_w = 2{,}0: \;\; \bar{\gamma} = \frac{1}{1{,}5}\left[17{,}8(1{,}0) + 9{,}19(0{,}5)\right] = \mathbf{14{,}93}\ \text{kN/m}^3,\;\; q = 17{,}8\ \text{kPa}$$

$$D_w = 3{,}5: \;\; q = 17{,}8,\;\; \gamma = 17{,}8$$

Çözüm (2/3)

ÇÖZÜM

3 D_W = 2,0 m için q_u (kare; birinci ve ikinci terim değişmez)

$$q_u = 1{,}3(15{,}2)(17{,}69) + 17{,}8(7{,}44) + 0{,}4(14{,}93)(1{,}5)(3{,}64)$$
$$= 349{,}55 + 132{,}43 + 32{,}61 = \mathbf{514{,}59}\ \mathrm{kPa}$$

Modülün açıldığı model (D_W = 2 m, durum III): q_u = **514,59 kPa**; su olmasaydı 520,86 kPa.

Çözüm (3/3)

ÇÖZÜM

D_w (m)	Durum	q (kPa)	γ üçüncü terim	q_u (kPa)
0,5	I	13,50	9,19	**470,0**
1,0	II	17,80	9,19	**502,1**
2,0	III	17,80	14,93	**514,6**
3,5	etkisiz	17,80	17,80	**520,9**

Su 0,5 m'deyken q_u = 470, derindeyken 521 kPa (%10 fark). Kohezyon terimi (349,6 kPa) hiç değişmez: **su yalnızca q ve γ aracılığıyla girer**.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Brüt ve net, uygulanan basınç

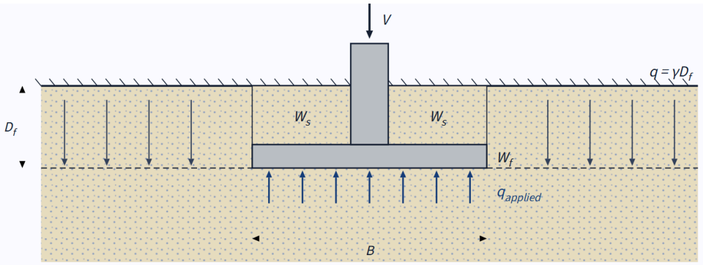
KURAM

q_u göçme anındaki basınçtır. Modül onu güvenlik katsayısı FS'ye böler ve **brüt** ile **net** basıncı ayrı tutar. Net basınç, temelin kazı öncesi tabanda var olan sürşarj q'nun üstüne **eklediği** basınçtır:

$$q_{u,net} = q_u - q \qquad q_{all,g} = \frac{q_u}{FS} \qquad q_{all,n} = \frac{q_{u,net}}{FS}$$

Uygulanan basınç q_{uyg}, servis yükleri altında tabandaki **düşey brüt basınçtır**: kolon yükü V, temel ağırlığı W_f ve temel üstündeki zemin W_s, taban alanına bölünür (kare B^2, daire $\pi B^2/4$, şerit B). Temel şu koşullarda geçer:

$$q_{uyg} = \frac{V + W_f + W_s}{A} \le q_{all,g} \qquad FS_{\text{gerçek}} = \frac{q_u}{q_{uyg}} \qquad q_{uyg} - q \le q_{all,n}$$



> q ≥ 0 ve FS ≥ 1 ise **brüt kontrol belirleyicidir**: geçerse net kontrol de geçer. q_{uyg} girilmezse modül yalnızca kapasiteleri verir. FS ≈ 3 olağandır; teoriden çok dayanım parametrelerinin belirsizliğini karşılar.

Soru

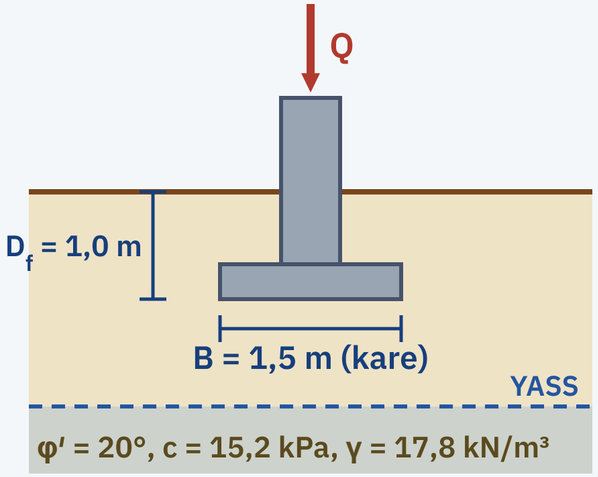
SORU

Verilenler

Temel	**kare, B = L = 1,5 m, taban derinliği D_f = 1,0 m**
Zemin	$c = 15{,}2\ \mathrm{kPa},\ \varphi' = 20^\circ$
Birim ağırlık	$\gamma = 17{,}8\ \mathrm{kN/m^3}$ **(üstte)**
Yeraltı suyu	$\gamma_{sat} = 19\ \mathrm{kN/m^3},\ D_w = 2\ \mathrm{m}$ **(Örnek 7: $q_u = 514{,}59$ kPa)**
Güvenlik	**FS = 3**
Uygulanan basınç	**(a) q_{uyg} = 150 kPa · (b) q_{uyg} = 200 kPa**

İSTENEN

$q_{u,net}$, $q_{all,g}$, $q_{all,n}$, Q_{all} ve her q_{uyg} için kontrol.



Çözüm

ÇÖZÜM

1 Emniyetli basınçlar (q = 17,8 kPa)

$$q_{u,net} = 514{,}59 - 17{,}8 = 496{,}79\ \text{kPa}$$

$$q_{all,g} = \frac{514{,}59}{3} = \mathbf{171{,}53}\ \text{kPa} \qquad q_{all,n} = \frac{496{,}79}{3} = \mathbf{165{,}60}\ \text{kPa}$$

$$Q_{all} = 171{,}53(1{,}5^2) = \mathbf{385{,}9}\ \text{kN}$$

2 Kontrol

$$\text{(a) } 150 \le 171{,}53 \Rightarrow \textbf{geçer},\ FS_{\text{gerçek}} = \frac{514{,}59}{150} = 3{,}43 \ge 3$$

$$\text{(b) } 200 > 171{,}53 \Rightarrow \textbf{geçmez},\ FS_{\text{gerçek}} = \frac{514{,}59}{200} = 2{,}57 < 3$$

q_{uyg} = 150 kPa için net koşul da geçer (132,2 ≤ 165,6 kPa); 200 kPa'da hem brüt hem net koşul sağlanmaz. Brüt koşul geçince net koşul her zaman geçer.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Özet

Akılda kalacak noktalar

Terzaghi (1943): şerit, pürüzlü, sığ ($D_f \le B$) temel; genel kayma; kama (I), radyal (II) ve pasif (III) bölge; kama kenarları $\alpha = \varphi$

Süperpozisyon: $P_p = P_{pq} + P_{pc} + P_{p\gamma}$; $q_u = cN_c + qN_q + \tfrac{1}{2}\gamma B N_\gamma$

$N_q = e^{2(3\pi/4 - \varphi/2)\tan\varphi}/[2\cos^2(45° + \varphi/2)]$, **$N_c = \cot\varphi\,(N_q - 1)$** (kapalı), **$N_\gamma$** Kumbhojkar tablosundan ($\varphi = 20°$: 17,69; 7,44; 3,64)

Kare: 1,3 $cN_c + qN_q + 0{,}4\,\gamma B N_\gamma$; **daire**: 0,3; **drenajsız**: $N_c = 5{,}7$, şerit 5,7 $c_u + q$, kare 7,41 $c_u + q$

Yerel kayma: $c' = \tfrac{2}{3}\,c$, $\varphi' = \tan^{-1}(\tfrac{2}{3}\tan\varphi)$ ile aynı denklem (örnek: 520,86 → 237,86 kPa)

Yeraltı suyu yalnızca q ve γ'yı değiştirir (3 durum): örnek 514,59 kPa

Kontrol: $q_{uyg} \le q_{all,g}$, $FS_{gerçek}$ ve net; $Q_{all} = q_{all,g} \cdot A$

Kaynaklar

Terzaghi, K. (1943). Theoretical Soil Mechanics. Wiley, New York.

Das, B.M. (2017). Shallow Foundations: Bearing Capacity and Settlement, 3rd ed. CRC Press, Boca Raton — Bölüm 2.2–2.3; bu sayfa, oradaki çıkarımın sırasını izlemektedir.

Das, B.M. (2018). Principles of Geotechnical Engineering, 9th ed. Cengage Learning — Bölüm 16: yeraltı suyu durumları, güvenlik sayısı, Tablo 16.1.

Kumbhojkar, A.S. (1993). Numerical evaluation of Terzaghi's Nγ. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 119(3), 598–607.

Prandtl, L. (1921). Über die Eindringungsfestigkeit (Härte) plastischer Baustoffe und die Festigkeit von Schneiden. ZAMM, 1(1), 15–20.

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

Bu sayfadaki şekiller doğrudan göçme mekanizmasının kendisinden çizilmiştir; denklem, şekil ve tablo numaraları sayfanın kendisine aittir.

NOT

Şekillerin bir kısmı GeoTerva Teori sayfasından alınmıştır; sayısal örneklerin tümü modülün kendi hesap kitaplığı ve tablosuyla üretilmiştir, modül aynı değerleri verir.

GeoTerva

Çevrim içi geoteknik hesaplar

Teoriden uygulamaya

Bu sunumdaki örnek temeli GeoTerva'da adım adım hesaplayın: modül bu modelle açılır.

Modülü açın →

Teori sayfası →

Telefonla açın
Örnek modüller kayıt gerektirmez.