

# 4. YÜZEYSEL TEMELLER - III

DOÇ. DR. ERDAL UNCUGLU  
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ  
2021



### 3. TAŞIMA GÜCÜ

## TAŞIMA GÜCÜ ANALİZ YÖNTEMLERİ

- Tam Ölçekli Yükleme Deneyleri
- Model Yükleme Deneyleri
- **Limit Denge Analizleri**
- Sonlu Elemanlar Yöntemi

### Limit Denge Analiz Yöntemleri

- Taşıma gücünün tahmin edilmesine yönelik olarak ilk çalışmalar 1890' lı yıllarda klasik toprak basıncı teorisine dayalı olarak Rankine, Pauker ve Bell tarafından yapılmıştır.
- Prandtl (1920); yumuşak metal bir bloğun pürüzsüz yüzeyi üzerinde yer alan ve bu metalden daha sert uzun bir metal parçasının yumuşak metal içerisine batmasına yönelik yaptığı çalışmalar ile metallerdeki plastik göçmeyi araştırmıştır. Bu çalışma; zeminlere uyarlanmış ve zeminin rölatif olarak rijit bir temel ile kayma göçmesi durumuna gelene kadar yüklenmesi durumu göz önüne alınmıştır (1921). Prandtl; teorisini, zemin yüzeyi üzerine oturan pürüzsüz uzun bir şerit temel için geliştirmiştir. Teorinin orijinali temel boyutlarını içermez ve zemini ağırlıksız olarak kabul eder. Bir  $c-\phi$  zemini için nihai taşıma gücü Prandtl tarafından aşağıdaki eşitlik ile tanımlanmıştır.

$$q_u = c \cot \phi (N_\phi e^{\pi \tan \phi} - 1) \quad N_\phi = \tan^2(45 + \phi/2)$$

- Terzaghi (1943)
- Meyerhof (1963)
- Hansen (1970)
- Vesic (1973, 1975)

Genel Taşıma Gücü Eşitliği

Genel Taşıma Gücü Eşitliği



## Terzaghi Taşıma Gücü Teorisi

Terzaghi (1943); Prandtl – Reissner yaklaşımını genişleterek zemin içerisinde yer alan şerit (sürekli) bir temel için ilk taşıma gücü eşitliğini geliştirmiştir. Bu önermiş olduğu taşıma gücü formülünde; zeminin ağırlığının, kohezyonunun ve içsel sürtünme açısının taşıma gücüne katkılarını hesaba katmıştır. Terzaghi (1943), genel zemin durumu ( $c-\phi$  zemini) için nihai taşıma gücü  $q_u$ ’yu tanımlamak amacı ile geliştirdiği teoride aşağıdaki kabulleri yapmıştır.

- Zemin yarı-sonsuz, homojen ve izotropudur.
- Problem iki boyutludur.
- Temel tabanı pürüzlüdür.
- Genel kayma göçmesi durumu söz konusudur.
- Zemin yüzeyi yataydır.
- Uygulanan yük basınç kuvvetidir ve temelin ağırlık merkezine düşey olarak etkir. Moment kuvveti mevcut değildir.
- Temel, zemine kıyasla çok rijittir.
- Temel derinliği, temel genişliğine eşit ya da küçüktür,  $D_f \leq B$ .
- Zemin yüzeyi ve  $D_f$  derinliği arasındaki zeminin kayma mukavemeti ihmal edilir. Bu derinlik için zemin kayma yüzeyi dikkate alınmaz.
- Temel tabanı seviyesi üzerinde yer alan zemin ağırlığı, temel tabanı seviyesinde etkiyen eşdeğer bir sürsaj yükü ( $\gamma' \cdot D_f$ ) olarak dikkate alınır.
- Zeminin kayma mukavemeti,  $\tau = c + \sigma \tan \phi$  ile tanımlanır.
- Yer altı su seviyesi çok derindedir.
- Zeminde konsolidasyon oluşmaz. Konsolidasyon oturmaları tamamlanmıştır. Temelin oturması, yalnızca, zeminin kayması ve yanal hareketi nedeniyledir.
- Süperpozisyon prensibi geçerlidir.

**Problem iki boyutludur;**

Merkezi düşey yüke maruz bir şerit temele ait teorik taşıma gücü eşitlikleri geliştirilirken düzlem deformasyon (plain strain) koşullarının var olduğu kabul edilmiştir.

Geoteknik tasarımların çoğunluğunda  $\phi$  açıları laboratuvar üç eksenli deneylerden ya da arazi penetrasyon deneylerinden elde edilir. Aynı zemin örneği üzerinde üç eksenli deneylerden elde edilen  $\phi$  değerleri genellikle düzlem deformasyon deneylerinden elde edilenlerden daha küçüktür (plain strain deneyleri daha düşük çevre basınçlarında gerçekleştiğinden). İki deneyden elde edilen  $\phi$  açısı değerleri arasında, pratikte,  $\phi_{PS} = (9/8) \times \phi_{TR}$  yaklaşımı kullanılabilir.

Planda; dikdörtgen ya da dairesel geometriye sahip temellerin altında düzlem-deformasyon koşullarının geçerli olmadığını bilen Terzaghi bu tür temeller için şekil katsayıları önermiştir.

**Temel tabanı pürüzlüdür;**

Pürüzlü temel; temel ile temel zemini ara yüzeyinde tam bir kayma direncinin geliştiği temelleri ifade eder. Pratikte; yaygın bir uygulama olarak, temel, sıkıştırılmış kaba daneli bir zemin tabakası üzerine oturtulur. Özellikle, beton temeller, betonun direk zemin üzerine dökülmesi ile elde edilmektedir. Bu yüzden temel-zemin ara yüzeyi sürtünmelidir. Belirtilen nedenlerden dolayı temel tabanının pürüzlü kabul edilmesi pürüzsüz kabul edilmesine göre daha gerçekçidir.

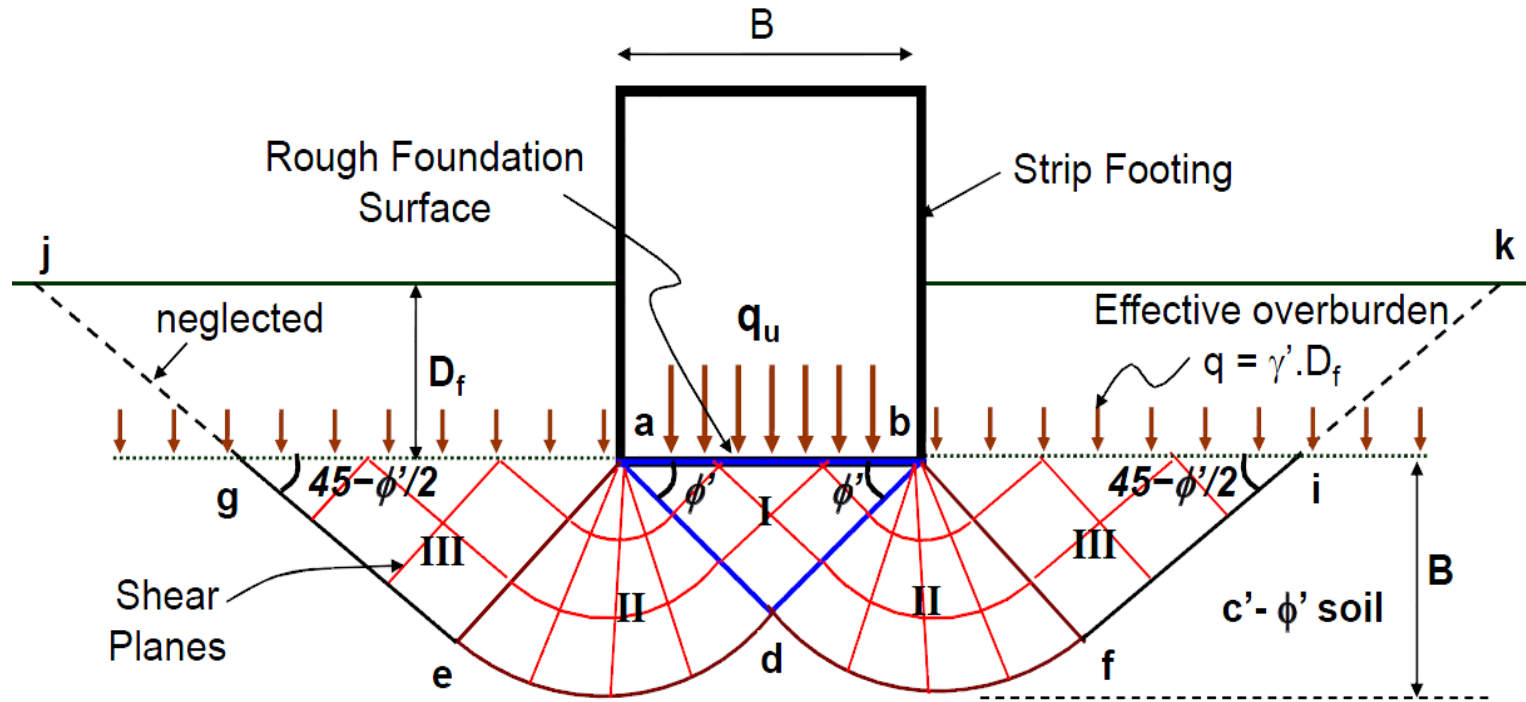
Bir temel direk olarak ince daneli zemin yüzeyine oturuyor ise pürüzsüz temel tabanı kabulü yapılabilir.

**Genel kayma göçmesi durumu;**

Plastik denge bölgesi gedfi ile sınırlandırılmış alan ile temsil edilmekte ve üç alt bölüme ayrılmaktadır. Plastik denge bölgesi, temel tabanından itibaren  $\approx B$  kadar bir derinliğe uzanmaktadır.

|     |             |                       |
|-----|-------------|-----------------------|
| I   | no lu bölge | Elastik Denge Bölgesi |
| II  | no lu bölge | Radyal Kayma Bölgesi  |
| III | no lu bölge | Pasif Rankine Bölgesi |





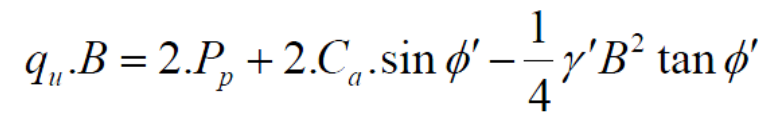
- Göçme yüzeyinin şeklinden dolayı  $c$  ve  $\phi$  değerleri sadece temel tabanı ve tabandan aşağı  $B$  derinliğindeki zemini temsil eder.
- Terzaghi (1943); temel tabanının pürüzlü olduğunu kabul ettiğinden dolayı zemin kaması için  $\alpha = \phi$  ilişkisini kullanmaktadır. Vesic (1973), yapmış olduğu çalışmalar sonrasında,  $\alpha = 45 + \phi/2$  olduğunu deneysel olarak ortaya koymuştur. Bu durum; taşıma gücü faktörleri olan  $N_c$ ,  $N_q$  ve  $N_\gamma$ 'nın Terzaghi tarafından önerilen orijinal değerlerinden farklı olmasına yol açmıştır.  $N_c$  ve  $N_q$  ile ilgili genel bir fikir birliği sağlanmış olmasına rağmen  $N_\gamma$  için literatürde farklı değerler üreten çok sayıda yaklaşım bulunmaktadır.  $N_\gamma$  yaklaşımları ile ilgili olarak en çok tercih edilenler ise Meyerhof (1963) ve Hansen (1970) tarafından önerilmiş olanlardır. Terzaghi yönteminde  $\phi = 0$  hali pürüzsüz temel halidir.
- Terzaghi formülü, efektif gerilmeler için geçerlidir. Ancak gerekli parametre değişiklikleri yapılarak toplam gerilme analizlerinde de kullanılabilirler.

Mühendislik uygulamalarında kullanılan taşıma gücü eşitlikleri, genellikle, limit denge yöntemi kullanılarak çıkarılmaktadır. Limit denge yönteminde;

- ✓ Uygun bir göçme mekanizması ya da göçme yüzeyi seçilir.
- ✓ Göçme yüzeyi üzerinde etkiyen kuvvetler tanımlanır.
- ✓ Statikten bilinen denge denklemleri kullanılarak göçme ya da yenilme yükü tanımlanır.

Yenilme problemlerini tanımlayan eşitlikler non-lineer olduklarından dolayı temellerin taşıma gücünün hesaplanması için geliştirilmiş kesin bir analitik çözüm günümüzde de hala mevcut değildir. Terzaghi (1943)'nin önermiş olduğu taşıma gücü teorisi yarı-deneysel bir yaklaşımdır.





$$P = P_{p\gamma} + P_{pc} + P_{pq}$$

$P_{pc}$  = due to soil cohesion only  
(soil is weightless)

$P_{pg}$  = due to surcharge only

- ✓ İkizkenar üçgende, tepe açısına ait açı ortay aynı zamanda yükseklik ve kenar ortaydır.
- ✓ Kamanın düşey dengesi hesaplanırken kohezyon kuvvetinin düşey bileşeni hesaplara katılıyor.  $P_p$  pasif itki değeri şekil üzerinde de görüldüğü gibi düşey olarak kamaya etkiliyor.
- ✓ II no. lu bölge hareket anlamında I ve III no. lu bölgeler arasında sıkıştığından bu bölgedeki zemin kütlesinin pasif itkisi kamaya etkiliyor.  $P_p$  pasif itki kuvveti üç bileşenden meydana gelmektedir. Bunlar;

$$P_p = P_{p\gamma} + P_{pc} + P_{pq}$$

$P_{p\gamma}$  : sadece kayma bölgesindeki zemin ağırlığı etkisi ile oluşan pasif itkidir. Sürsaj yükü sıfır kabul edilerek elde edilir.

$P_{pq}$  : sadece sürsaj yükü etkisi ile oluşan pasif itkidir. Temel tabanı altındaki zemin ağırlıksız kabul edilerek elde edilir.

$P_{pc}$  : sadece zemin kohezyonundan kaynaklanan etkidir. Temel tabanı altındaki zemin ağırlıksız ve sürsaj yükü sıfıra eşit kabul edilir.

$$q_u \cdot B = \left( \overset{\text{Weight term}}{2.P_{p\gamma} - \frac{1}{4}\gamma' B^2 \tan \phi'} \right) + \left( \overset{\text{Cohesion term}}{2.P_{pc} + B.c'.\sin \phi'} \right) + \overset{\text{Surcharge term}}{2.P_{pq}}$$

$$\Downarrow \qquad \qquad \Downarrow \qquad \qquad \Downarrow$$

$$B.(0.5\gamma' B.N_\gamma) \qquad B.c.N_c \qquad B.q.N_q$$

$$q_u = c.N_c + q.N_q + 0.5\gamma' B.N_\gamma$$

← Terzaghi's bearing capacity equation

Terzaghi's bearing capacity factors

$$N_\gamma = \frac{1}{2} \tan \phi' \left[ \frac{K_{p\gamma}}{\cos^2 \phi'} - 1 \right]$$

$$N_q = \frac{e^{2a}}{2 \cos^2 \left( 45 + \frac{\phi'}{2} \right)}$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi'$$

$$a = \left( \frac{3\pi}{4} - \frac{\phi' \text{ in rad.}}{2} \right) \tan \phi'$$

Yüzeysel temeller için Terzaghi Taşıma Gücü formülü aşağıda verilmiştir.

$$q_u = k_1 c' N_c + q N_q + k_2 \gamma' B N_\gamma$$

$c N_c$  temel zeminindeki kohezyonun taşıma gücüne katkısıdır.

$q N_q$  temel tabanı üzerinde yer alan sürsaj yükünün taşıma gücüne katkısıdır.  $q = \gamma' \times D_f$  dir.  $\gamma'$ , temel taban seviyesi üzerinde yer alan zeminin efektif birim hacim ağırlığıdır.

$\gamma' B N_\gamma$  zemin ağırlığının taşıma gücüne katkısıdır.  $\gamma'$ , temel taban seviyesi altında yer alan zeminin efektif birim hacim ağırlığıdır.

$N_c, N_q$  ve  $N_\gamma$  taşıma gücü katsayılarıdır. Bu katsayılar boyutsuz olup içsel sürtünme açısı  $\phi'$  nün fonksiyonudur.

$B$  temel genişliği ya da çapı

$L$  temel uzunluğu

$q_u$  nihai taşıma gücü değeri

$D_f$  temel derinliği

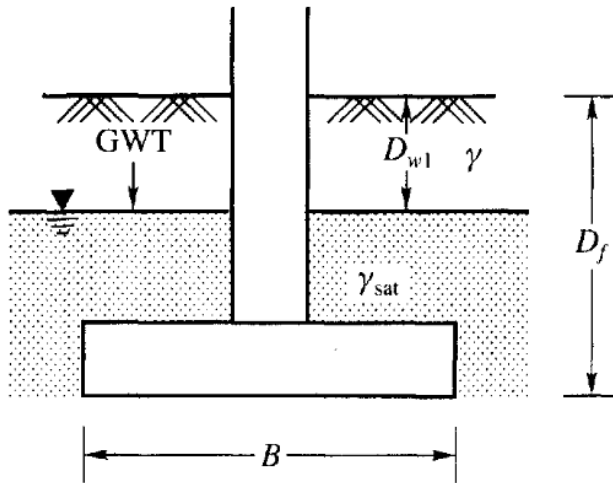
$k_1$  ve  $k_2$  temel geometrisine bağlı şekil katsayılarıdır

| Temel Tipi         | $k_1$           | $k_2$           |
|--------------------|-----------------|-----------------|
| Şerit veya Sürekli | 1               | 0.5             |
| Kare               | 1.3             | 0.4             |
| Daire              | 1.3             | 0.3             |
| Dikdörtgen         | $1 + 0.2 (B/L)$ | $1 - 0.2 (B/L)$ |

## Yeraltı Su Seviyesinin Taşıma Gücüne Etkisi

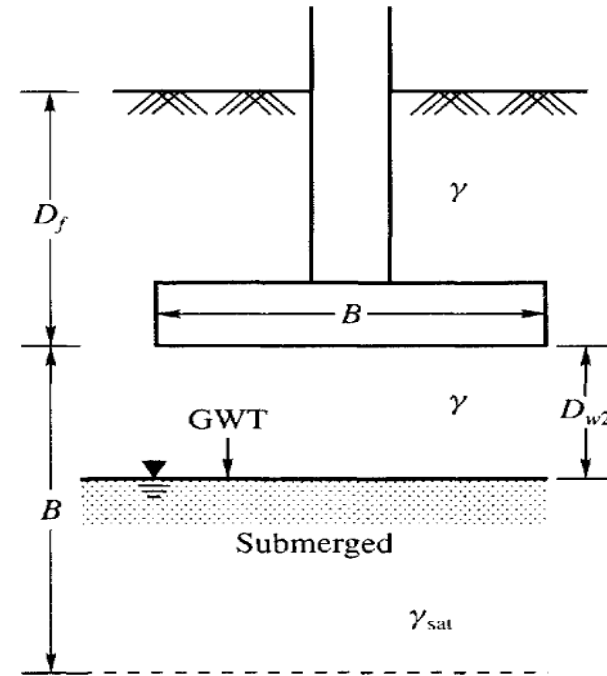
Zeminin nihai taşıma gücü  $q_u$ 'yu hesaplamak için geliştirilmiş olan teorik eşitlikler yeraltı su seviyesinin temel tabanından itibaren temel genişliği  $B$  kadar ya da daha büyük bir derinlikte diğer bir ifade ile zemin yüzeyinden itibaren  $D_f + B$  ya da daha büyük bir derinlikte yer aldığı kabulüne dayanılarak geliştirilmiştir.

Yeraltı su seviyesi potansiyel kayma zonu içerisinde ise bu durumda boşluk suyu basınçları söz konusu olacak ve bunun sonucu olarak da kayma yüzeyi boyunca efektif gerilme ve kayma dayanımı daha küçük olacağından nihai taşıma gücü azalacaktır. Taşıma gücü hesabı yapılırken bu etki dikkate alınmalıdır. Yeraltı su seviyesi derinliğinin  $D_f + B$ 'den daha küçük olması durumunda taşıma gücü eşitlikleri suyun varlığından etkilenecektir.



(a) Water table above base level of foundation

$$\gamma_e = \gamma' + (D_{w1} / D_f) \times (\gamma - \gamma')$$



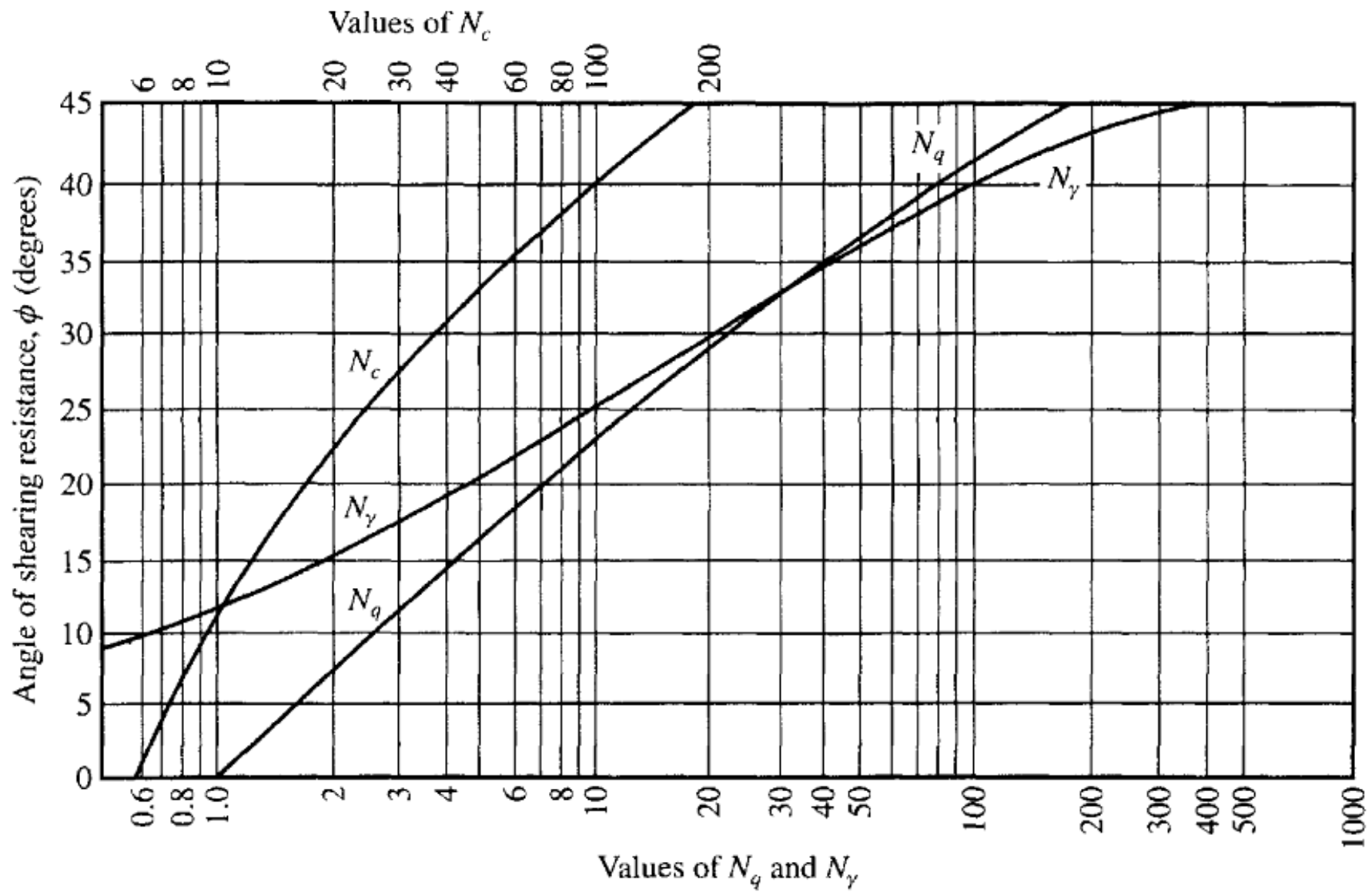
(b) Water table below base level of foundation

$$\gamma_e = \gamma' + (D_{w2} / B) \times (\gamma - \gamma')$$

**Table 16.1** Terzaghi's Bearing-Capacity Factors— $N_c$ ,  $N_q$  and  $N_\gamma$ —Eqs. (16.11), (16.12), and (16.13), respectively

| $\phi'$ (deg) | $N_c$ | $N_q$ | $N_\gamma^a$ | $\phi'$ (deg) | $N_c$  | $N_q$  | $N_\gamma^a$ |
|---------------|-------|-------|--------------|---------------|--------|--------|--------------|
| 0             | 5.70  | 1.00  | 0.00         | 26            | 27.09  | 14.21  | 9.84         |
| 1             | 6.00  | 1.10  | 0.01         | 27            | 29.24  | 16.90  | 11.60        |
| 2             | 6.30  | 1.22  | 0.04         | 28            | 31.61  | 17.81  | 13.70        |
| 3             | 6.62  | 1.35  | 0.06         | 29            | 34.24  | 19.98  | 16.18        |
| 4             | 6.97  | 1.49  | 0.10         | 30            | 37.16  | 22.46  | 19.13        |
| 5             | 7.34  | 1.64  | 0.14         | 31            | 40.41  | 25.28  | 22.65        |
| 6             | 7.73  | 1.81  | 0.20         | 32            | 44.04  | 28.52  | 26.87        |
| 7             | 8.15  | 2.00  | 0.27         | 33            | 48.09  | 32.23  | 31.94        |
| 8             | 8.60  | 2.21  | 0.35         | 34            | 52.64  | 36.50  | 38.04        |
| 9             | 9.09  | 2.44  | 0.44         | 35            | 57.75  | 41.44  | 45.41        |
| 10            | 9.61  | 2.69  | 0.56         | 36            | 63.53  | 47.16  | 54.36        |
| 11            | 10.16 | 2.98  | 0.69         | 37            | 70.01  | 53.80  | 65.27        |
| 12            | 10.76 | 3.29  | 0.85         | 38            | 77.50  | 61.55  | 78.61        |
| 13            | 11.41 | 3.63  | 1.04         | 39            | 85.97  | 70.61  | 95.03        |
| 14            | 12.11 | 4.02  | 1.26         | 40            | 95.66  | 81.27  | 116.31       |
| 16            | 12.86 | 4.45  | 1.52         | 41            | 106.81 | 93.85  | 140.51       |
| 16            | 13.68 | 4.92  | 1.82         | 42            | 119.67 | 108.75 | 171.99       |
| 17            | 14.60 | 5.45  | 2.18         | 43            | 134.58 | 126.50 | 211.56       |
| 18            | 15.12 | 6.04  | 2.59         | 44            | 161.95 | 147.74 | 261.60       |
| 19            | 16.56 | 6.70  | 3.07         | 45            | 172.28 | 173.28 | 325.34       |
| 20            | 17.69 | 7.44  | 3.64         | 46            | 196.22 | 204.19 | 407.11       |
| 21            | 18.92 | 8.26  | 4.31         | 47            | 224.55 | 241.80 | 512.84       |
| 22            | 20.27 | 9.19  | 5.09         | 48            | 258.28 | 287.85 | 650.67       |
| 23            | 21.75 | 10.23 | 6.00         | 49            | 298.71 | 344.63 | 831.99       |
| 24            | 23.36 | 11.40 | 7.08         | 50            | 347.50 | 416.14 | 1072.80      |
| 25            | 25.13 | 12.72 | 8.34         |               |        |        |              |

<sup>a</sup> $N_\gamma$  values from Kumbhojkar (1993)



Terzaghi's bearing capacity factors for general shear failure

### Örnek

1.2m boyutlu kare 0.4m derinlikli tekil temel aşağıda özellikleri verilen zeminin üzerine inşa edilmiştir:  $\gamma = 19.2\text{kN/m}^3$

$$c' = 5\text{kPa}$$

$$\phi' = 30^\circ$$

Yeraltı suyu çok derindedir. Nihai taşıma gücünü Terzaghi yöntemi ile hesaplayın.

### Çözüm

$$N_c = 37.2 \quad N_q = 22.5 \quad N_\gamma = 19.7$$

$$\sigma'_{zD} = 19.2\text{kN/m}^3 \times 0.4\text{m} = 8\text{kPa}$$

$$q_{ult} = 1.3 \times 5\text{kPa} \times 37.2 + 8\text{kPa} \times 22.5 + 0.4 \times 19.2\text{kN/m}^3 \times 1.2\text{m} \times 19.7 = 603\text{kPa}$$

- Terzaghi (1943), taşıma gücünün elde edilmesi sırasında zemin yüzeyinden  $D_f$  derinlikte yer alan sonsuz uzunlukta bir şerit (sürekli) temeli göz önüne almıştır. Bu taşıma gücü eşitliği;  $B/L < 1$  olan dikdörtgen temelleri, merkezi düşey yükleme durumu düşünüldüğünden eğik yükleme durumunu, eğimli temel tabanlarını, şevlere yakın temelleri ya da temel tabanı ile zemin yüzeyi arasındaki zemin kütlesinin kayma direncini göz önüne almamaktadır.
- Meyerhof (1948), Hansen (1970) ve Vesic (1973) yüzeysel temellerin taşıma gücü konusunda çalışmalar yapmışlardır. Bu araştırmacılar tarafından yukarıda sıralanmış hususlar dikkate alınarak önerilmiş olan düzeltme faktörleri ile Terzaghi taşıma gücü denklemi düzenlenerek genel taşıma gücü eşitliği elde edilmiştir.



SORULAR ?????

