

**YÜZEYSEL TEMELLERDE TAŞIMA  
GÜCÜNÜN İKİ ve ÜÇ BOYUTLU  
SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİYLE  
İNCELENMESİ**

**Hatice TÜLÜMEN ARDA**  
**Yüksek Lisans Tezi**  
**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Yrd. Doç. Dr. Ertuğrul Ordu**  
**2011**



This document has been  
edited with **Infix PDF Editor**  
- free for non-commercial use.

To remove this notice, visit:  
[www.iceni.com/unlock.htm](http://www.iceni.com/unlock.htm)

**T.C.  
NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**YÜZEYSEL TEMELLERİN TAŞIMA GÜCÜNÜN  
İKİ ve ÜÇ BOYUTLU SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİYLE  
İNCELENMESİ**

**HATİCE TÜLÜMEN ARDA**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN: YRD. DOÇ. DR. ERTUĞRUL ORDU**

**TEKİRDAĞ-2011**

**Her hakkı saklıdır**



This document has been  
edited with **Infix PDF Editor**  
- free for non-commercial use.

To remove this notice, visit:  
[www.iceni.com/unlock.htm](http://www.iceni.com/unlock.htm)

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### YÜZEYSEL TEMELLERİN TAŞIMA GÜCÜNÜN İKİ ve ÜÇ BOYUTLU SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİYLE İNCELENMESİ

Hatice Tülümen Arda

Namık Kemal Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Anabilim Dalı

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Ertuğrul Ordu

Yüzeysel temelerde nihai (uç) taşıma gücü Geotekniğin en önemli konularından birini oluşturmaktadır. Terzaghi'nin limit denge kuramı (1943) ile gelişmeye başlayan analitik çalışmalar, limit analiz (alt ve üst limit kuramı) ile gelişmeye devam etmiştir. Çalışmalardaki en önemli basamak, sonlu elemanlar gibi bilgisayar teknolojisinin ürünü olan metodların kullanılması ve nümerik çalışmaların artışında gözlenmektedir.

Bu çalışmada, sonlu elemanlar yönteminden yararlanarak temellerin taşıma gücü üzerinde, kohezyon ( $c$ ), içsel sürtünme açısı ( $\phi$ ) ve temel boyutu ( $B$ ) ile sürsajla birlikte temel derinliğinin etkisi de araştırılmıştır.

Bu çalışmayla elde edilen bulgular, Terzaghi ve Meyerhof tarafından ortaya konulan ve günümüzde halen geçerliliğini koruyan formüllerden yapılan hesaplamalar ile karşılaştırmaları yapılmıştır.

**Anahtar kelimeler :** Yüzeysel temel, nihai taşıma gücü, sonlu elemanlar

2011, 46 sayfa



## **ABSTRACT**

MSc. Thesis

### **TWO and THREE DIMENSIONAL BEARING CAPACITY SOLUTIONS FOR SHALLOW FOUNDATIONS**

Hatice Tülümen Arda

Namık Kemal University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Main Science Division of Civil Engineering

Supervisor : Assist. Prof. Dr. Ertuğrul Ordu

Bearing capacity of shallow foundations has always been one of the most interesting areas in geotechnical engineering because it is a function of a lot of parameters ( such as cohesion and unit weight of soil, depth and shape of foundation ) related to soil and footing.

Bearing capacity estimation is generally based on the theories developed by Terzaghi, Meyerhof, Brinch Hansen and Vesic. In recent years, the finite element method has been used for computing the bearing capacities of shallow foundations. This method has the advantage of combining all the parameters into a single problem.

**Keywords :** Shallow foundation, bearing capacity, finite element method

**2011, 46 pages**

## ÖNSÖZ

Yüzeysel Temellerin Taşıma Gücünün İki ve Üç Boyutlu Sonlu Elemanlar Yöntemiyle İncelenmesi konulu tez çalışmamın hazırlanması sırasında verdiği destek ve yön gösterici yardımlarından dolayı danışman hocam Yrd. Doç.Dr. Ertuğrul Ordu'ya teşekkür edirim.

Ayrıca, bütün çalışmalarım süresince sağladıkları her türlü destek için aileme ve özellikle anlayışından dolayı, kızım Duru Deniz Arda'ya teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

|   |      |
|---|------|
| ÖZET.....   | i    |
| ABSTRACT.....   | ii   |
| ÖNSÖZ.....  | iii  |
| İÇİNDEKİLER.....                                      | iv   |
| SİMGELER DİZİNİ.....                                  | vi   |
| ŞEKİLLER DİZİNİ.....                                  | vii  |
| TABLolar DİZİNİ .....                                 | viii |
| 1.GİRİŞ.....  | 1    |
| 2.KURAMSAL TEMELLER.....                              | 2    |
| 2.1.LİMİT DENGE METODU.....                           | 2    |
| 2.1.1.TERZAGHI’NİN (1943) TAŞIMA GÜCÜ KURAMI.....     | 2    |
| 2.1.2.MEYERHOF’UN (1951) TAŞIMA GÜCÜ KURAM.....       | 10   |
| 2.1.3.BRINCH HANSEN’İN (1961) TAŞIMA GÜCÜ KURAMI..... | 12   |
| 2.1.4. VESIC’İN (1973) TAŞIMA GÜCÜ KURAMU.....        | 15   |
| 2.1.5.GENEL TAŞIMA GÜCÜ FORMÜLÜ.....                  | 16   |
| 2.1.6. UZUNER B. A ve TAN Ö. (1992).....              | 17   |
| 2.1.7. ZHU.D.Y, LEE C.F, JIANGİ (2001).....           | 17   |
| 2.2 SONLU ELEMENLAR METODU (SEM).....                 | 17   |
| 2.2.1 GRIFFITHS D.V (1982).....                       | 18   |
| 2.2.2 MANOHARAN N.ve DASGUPTA S.P. (1995).....        | 18   |
| 2.2.3 WOODWARD P.K ve BERENJI A.P (2001).....         | 18   |
| 3. MATERYAL ve YÖNTEM.....                            | 19   |
| 3.1. GEOMETRİK MODEL.....                             | 19   |
| 3.2.SINIR ŞARTLARI.....                               | 19   |
| 3.3 MALZEME MODELİ.....                               | 19   |
| 3.4 SONLU ELEMENLAR AĞI (MESH).....                   | 20   |
| 3.5 BAŞLANGIÇ KOŞULLARI.....                          | 21   |
| 4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI.....                           | 22   |
| 4.1 İKİ BOYUTLU ANALİZ SONUÇLARI.....                 | 22   |
| 4.2 ÜÇ BOYUTLU ANALİZ SONUÇLARI.....                  | 28   |
| 5.SONUÇ ve ÖNERİLER.....                              | 31   |
| 6.KAYNAKLAR.....                                      | 33   |

|  |    |
|--|----|
| <b>EKLER</b> .....   | 34 |
| <b>EK 1</b> İki boyutlu analizlerde farklı kohezyon değerleri için yer değiştirme-taşıma gücünü bulduran çarpım faktörü grafiği.....   | 35 |
| <b>EK 2</b> İki boyutlu analizlerde farklı içsel sürtünme açısı değerleri için yer değiştirme - taşıma gücünü bulduran çarpım faktörü grafiği.....                                 | 36 |
| <b>EK 3</b> İki boyutlu kohezyonlu zeminde ( $c=40\text{kN/m}^2$ $\phi=0^\circ$ ) interfaceli (ara elemanlı) şartlarda temel altındaki gerilme yayılımının vektörel gösterimi..... | 37 |
| <b>EK 4</b> İki boyutlu kohezyonsuz zeminde( $c=1\text{ kN/m}^2$ $\phi=35^\circ$ ) interfaceli (ara elemanlı) şartlarda temelin yerdeğıştirmesinin vektörel gösterimi.....         | 38 |
| <b>EK 5</b> İki boyutlu analizlerde kohezyonlu zeminde rijit sürtünmeli temelde yer değıştirme - taşıma gücünü bulduran çarpım faktörü grafiği.....                                | 39 |
| <b>EK 6</b> İki boyutlu analizlerde temel derinliğinin taşıma gücüne etkis .....   | 40 |
| <b>EK 7</b> Üç boyutta analizlerde farklı kohezyon değerleri için yer değıştirme – taşıma gücünü bulduran çarpım faktörü grafiği. ....   | 41 |
| <b>EK 8</b> Üç boyutlu analizlerde yük altında temelin oturması (üstten görünüm).....  | 42 |
| <b>EK 9</b> Üç boyutlu analizlerde yük altında temelin oturması (perspektif görünüm).....  | 43 |
| <b>EK 10</b> Üç boyutlu analizlerde farklı içsel sürtünme açısı değerlerine göre yerdeğıştirme – taşıma gücünü bulduran çarpım faktörü grafiği.....                                | 44 |
| <b>EK 11</b> Üç boyutta analizlerde farklı temel genişlikleri için yerdeğıştirme – taşıma gücünü bulduran çarpım faktörü grafiği.....  | 45 |
| <b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....  | 46 |

## SİMGELER DİZİNİ

|                      |                                 |
|----------------------|---------------------------------|
| B                    | temel genişliği                 |
| L                    | temel boyu                      |
| $\phi$               | zemin içsel sürtünme açısı      |
| $\gamma$             | zemin birim hacim ağırlığı      |
| c                    | kohezyon                        |
| $N_c, N_q, N_\gamma$ | boyutsuz taşıma gücü faktörleri |
| q                    | sürsaj                          |
| $D_f$                | Temel derinliği                 |
| E                    | Elastisite Modülü               |
| $\nu$                | poison oranı                    |
| $\psi$               | dilatasyon açısı                |
| $q_u$                | nihai taşıma gücü               |
| $s_c, s_q, s_\gamma$ | şekil faktörleri                |
| $d_c, d_q, d_\gamma$ | derinlik faktörleri             |
| $i_c, i_q, i_\gamma$ | eğim faktörleri                 |
| $b_c, b_q, b_\gamma$ | taban eğim faktörleri           |
| $g_c, g_q, g_\gamma$ | zemin eğim faktörleri           |
| kx                   | yatay yönde permeabilite        |
| ky                   | düsey yönde permeabilite        |
| d                    | malzeme kalınlığı               |
| G                    | kayma modülü                    |



## ŞEKİLLER DİZİNİ

|   |    |
|---|----|
| Şekil.2.1 Terzaghi'nin taşıma gücü modeli.....  | 2  |
| Şekil.2.2 abc zonunun bc yüzeyi üzerine etkiyen pasif kuvvetler.....  | 2  |
| Şekil.2.3 a.b $\phi \neq 0$ , $\gamma = 0$ , $q \neq 0$ , $c = 0$ durumunun gösterilişi.....  | 3  |
| Şekil.2.4 a ve b $\phi \neq 0$ , $\gamma = 0$ , $q = 0$ , $c \neq 0$ durumunun gösterilişi.....   | 5  |
| Şekil.2.5 a ve b $\phi \neq 0$ , $\gamma \neq 0$ , $q = 0$ , $c = 0$ durumunun gösterilişi .....  | 7  |
| Şekil.2.6 Meyerhof'un taşıma gücü modeli.....   | 10 |
| Şekil.2.7 Vesic taşıma gücü modeli.....   | 15 |
| Şekil.3.1 İki boyutta yapılan analizlerde oluşturulan mesh.....   | 21 |
| Şekil.3.2 Üç boyutta yapılan analizlerde oluşturulan mesh.....  | 21 |
| Şekil.4.1 Değişen kohezyon değerlerine göre nihai taşıma gücünün 2 boyutlu SEM ile Terzaghi-Meyerhof ile karşılaştırılması.....                                     | 22 |
| Şekil.4.2 Değişen içsel sürtünme açısı değerlerine göre nihai taşıma gücünün iki boyutta, Meyerhof ve Terzaghi değerleri ile karşılaştırmasını gösteren grafik..... | 24 |
| Şekil.4.3 İki boyutlu kohezyonlu zeminde temel tabanının sürtülmeli ve sürtünmesiz olması durumundaki taşıma güçleri.....   | 26 |
| Şekil.4.4 Yüzeysel temellerde sürsaj ifadesi.....   | 27 |
| Şekil.4.5 Temel derinliğine bağlı taşıma gücündeki artış.....   | 27 |
| Şekil.4.6 Değişen kohezyon değerlerine göre 2 ve 3 boyutlu analizlerin karşılaştırılması.....   | 29 |
| Şekil.4.7 Üç boyutta değişen içsel sürtünme açısının nihai taşıma gücüne etkisi.....  | 29 |
| Şekil.4.8 İki ve üç boyutta temel genişliğine göre taşıma gücü değerinin değişimi.....  | 30 |

## TABLULAR DİZİNİ

|  |    |
|--|----|
| Tablo.2.1 Terzaghi taşıma gücü faktörleri.....   | 9  |
| Tablo.2.2 Mayerhof taşıma gücü değerleri.....  | 12 |
| Tablo.2.3 $N\gamma$ taşıma gücü faktörünün değişimi.....   | 14 |
| Tablo.3.1 Zeminin malzeme özellikleri.....   | 20 |
| Tablo.3.2 Temelin malzeme özellikleri.....   | 20 |
| Tablo.4.1 Değişen kohezyon değerlerine göre iki boyutlu sonluelemanlar yöntemi ile Hesaplanan nihai taşıma gücü değerleri.....             | 23 |
| Tablo.4.2 Değişen içsel sürtünme açısı değerlerine göre iki boyutlu sonluelemanlar yöntemi ile hesaplanan nihai taşıma gücü değerleri..... | 23 |
| Tablo.4.3 İnterface kullanımının nihai taşıma gücü üzerindeki etkisi.....  | 24 |
| Tablo.4.4 İki boyutlu kohezyonlu zeminde temel tabanının sürtünmeli ve sürtünmesiz olması durumdaki taşıma güçleri.....                    | 25 |
| Tablo.4.5 İki boyutlu kohezyonsuz zeminde temel tabanının sürtünmeli ve sürtünmesiz olması durumdaki taşıma güçleri.....                   | 25 |
| Tablo.4.6 Farklı temel genişliğindeki taşıma gücü değerleri.....   | 26 |

## 1. GİRİŞ

Temel, bir yapı sisteminde üst yapıdan iletilen (hareketli ve ölü) yükleri, zemine ya da kayaya aktaran yapı elemanıdır. Temele iletilen yükü aktarması ve zeminin buna cevabı, temel ile zemin arasında bir etkileşim oluşturur. Bu etkileşimde;

- Temelin; derinliği ( $D_f$ ), şekli, boyutları, rijit veya esnek oluşu,
- Zeminin; içsel sürtünme açısı değeri ( $\phi$ ), kohezyon değeri ( $c$ ), birim hacim ağırlığı ( $\gamma$ ),
- Uygulanan yükün eğimi,
- Temel tabanının düz yada pürüzlü oluşu,

gibi temele, zemine ve uygulanan yüke ait bir takım özellikler nihai taşıma gücü hesaplarında önemli rol oynamaktadır. Böylesine çok faktörü kapsayan konu ile ilgili olarak önceleri; analitik çalışmalar ve teoriler Terzaghi'nin limit denge kuramını geliştirmesiyle ivme kazanmaya başlamıştır. Zaman içerisinde limit denge kuramı Meyerhof, Brinch Hansen ve Vesic tarafından daha ileri götürülmüştür. Daha sonra nihai taşıma gücüne ait alt ve üst limit değerlerini ortaya koyan, limit analiz teorisi geliştirilmiştir. Çalışmalardaki en önemli gelişme ise; sonlu elemanlar gibi bilgisayar teknolojisinin ürünü olan metodların kullanılması ile yeni çalışmaların yapılmasıdır. Böylelikle teoriler arasında karşılaştırma yapılabilen aynı zamanda teoriler arasındaki farklılıkları ve benzerlikleri aydınlatılmaktadır. Bu çalışmada, geniş kabul görmüş teoriler ile sonlu elemanlar yönteminden yararlanılarak yapılmış olan iki ve üç boyutlu analizlerden elde edilen sonuçları karşılaştırarak gerçeğe en yakın çözüme ulaşmak hedeflenmiştir.

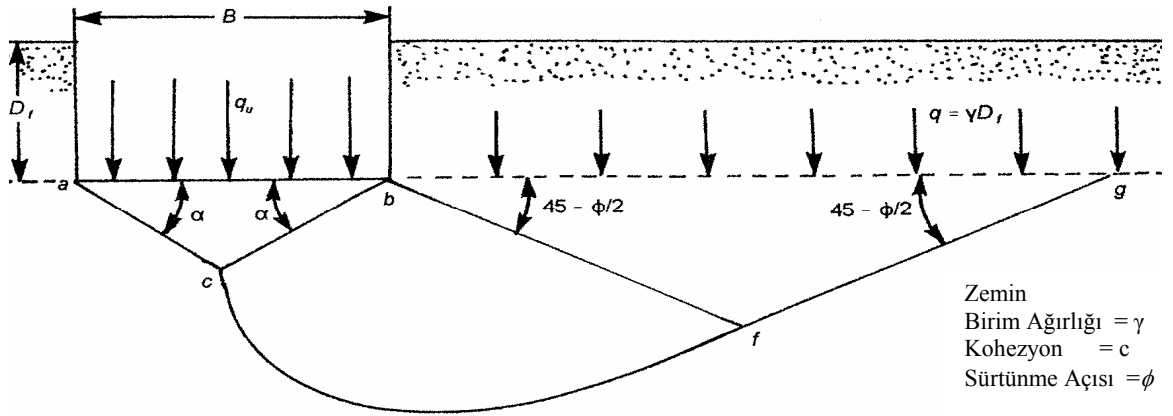
## 2. KURAMSAL TEMELLER

### 2.1. LİMİT DENGİ METODU

#### 2.1.1. TERZAGHI'NİN (1943) TAŞIMA GÜCÜ KURAMI

Terzaghi, yüzeysel temellerde nihai taşıma gücü kuramını 1943'te temel genişliği B, temel derinliği  $D_f$  olan sürekli bir temel üzerinde açıklamıştır. Kuramında temelin altındaki zemini üç ana zona ayırmıştır (Şekil 2.1). Bunlar;

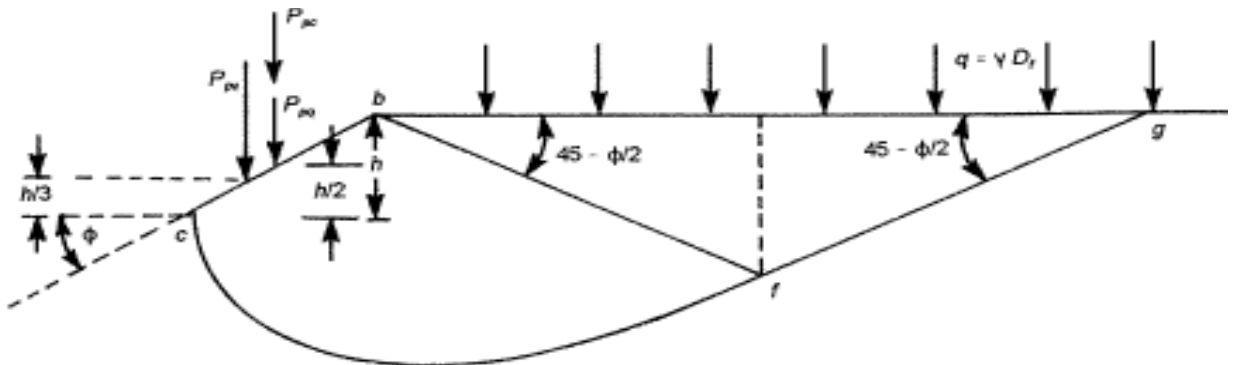
1. abc zonu; temelin hemen altındaki elastik bölgedir,  $\alpha = \phi$  (zeminin içsel sürtünme açısı)
2. bcf zonu; Prandtl'in radyal kayma zonu,
3. bfg zonu; Rankine pasif zonu. (Burada kayma çizgisi yatayla  $45^\circ - \phi/2$  açı yapar, cf çizgisi log spiralin eğrisidir ve  $r = r_0 e^{\theta \tan \phi}$  formülü ile açıklamaktadır).



Şekil 2.1. Terzaghi'nin taşıma gücü modeli

Şekil 2.2'de görüldüğü gibi bc üzerindeki pasif kuvvet  $P_p$ , sürsaj yükü  $q = \gamma D_f$ 'nin, kohezyon c, birim hacim ağırlık  $\gamma$  ve zeminin içsel sürtünme açısı  $\phi$ 'nin fonksiyonudur ve şu eşitlik ile ifade edilebilir.

$$P_p = P_{pq} + P_{pc} + P_{p\gamma} \quad (2.1)$$



Şekil 2.2. abc zonunun bc yüzeyi üzerine etkiyen pasif kuvvetler

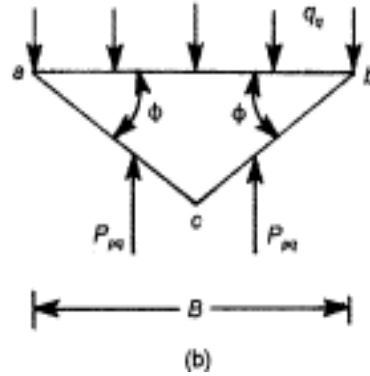
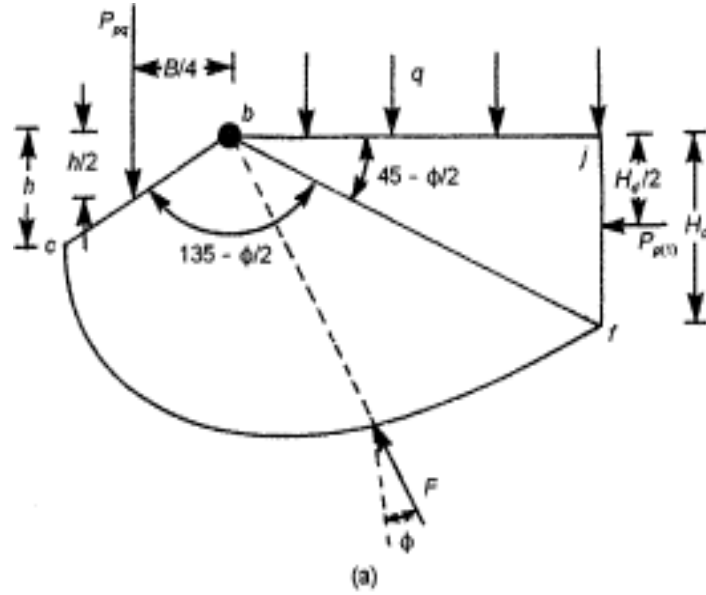
**$P_{pq}$  için bağıntı  $\phi \neq 0, \gamma = 0, q \neq 0, c = 0$  durumu**

Şekil 2.3a-b'de, sürsaj yükü  $q$ , Rankine'nin pasif kuvveti  $P_{p(1)}$  ve sürtünme kuvveti  $F$  görülmektedir. Rankine'nin pasif kuvveti şu şekilde ifade edilebilir.

$$P_{p(1)} = qK_p H_d = q H_d \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right) \quad (2.2)$$

$$K_p = \tan^2 (45 + \phi/2) \quad (2.3)$$

$$H_d = \overline{fj}$$



Şekil 2.3a,b.  $\phi \neq 0, \gamma = 0, q \neq 0, c = 0$  durumunun gösterilişi

$$P_{pq} \left( \frac{B}{4} \right) = q(\overline{bj}) \left( \frac{\overline{bj}}{2} \right) + P_{p(1)} \frac{H_d}{2} \quad (2.4)$$

$$\overline{bc} = r_0 = \left( \frac{B}{2} \right) \sec \phi \quad (2.5)$$

$$\overline{bf} = r_1 = r_0 e^{\left(\frac{3\pi\phi}{4}\right)\tan\phi} \quad (2.6)$$

$$\overline{bj} = r_1 \cos\left(45 - \frac{\phi}{2}\right) \quad (2.7)$$

$$H_d = r_1 \sin\left(45 - \frac{\phi}{2}\right) \quad (2.8)$$

$$\frac{P_{pq}B}{4} = \frac{qr_1^2 \cos^2\left(45 - \frac{\phi}{2}\right)}{2} + \frac{qr_1^2 \sin^2\left(45 - \frac{\phi}{2}\right) \tan^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right)}{2} \quad (2.9)$$

yada

$$P_{pq} = \frac{4}{B} \left[ qr_1^2 \cos^2\left(45 - \frac{\phi}{2}\right) \right] \quad (2.10)$$

(2.5), (2.6) ve (2.10) formülleri birleştirildiğinde

$$\begin{aligned} P_{pq} &= qB \sec^2 \phi \left[ e^{2\left(\frac{3\pi\phi}{4}\right)\tan\phi} \right] \left[ \cos^2\left(45 - \frac{\phi}{2}\right) \right] \\ &= \frac{qBe^{2\left(\frac{3\pi\phi}{4}\right)\tan\phi}}{4 \cos^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right)} \end{aligned} \quad (2.11)$$

$$q_q(B \times 1) = 2P_{pq}$$

$$q_q = \frac{2P_{pq}}{B} = q \left[ \frac{e^{2\left(\frac{3\pi\phi}{4}\right)\tan\phi}}{2 \cos^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right)} \right] = qN_q \quad (2.12)$$

eşitliği bulunmuş olur.

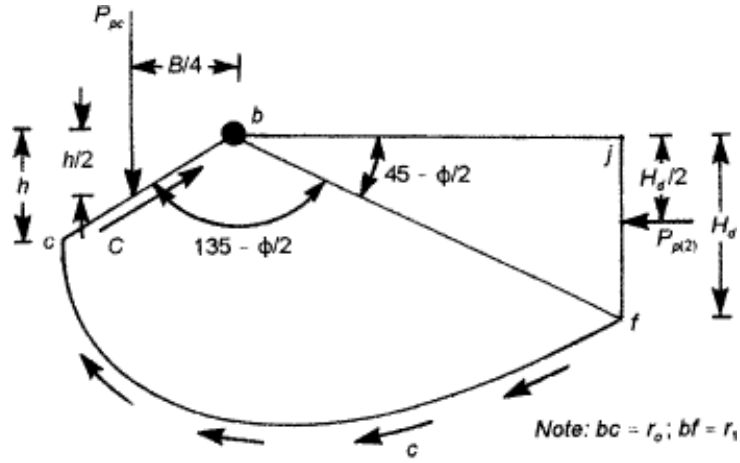
**$P_{pc}$  için bağıntı  $\phi \neq 0, \gamma = 0, q = 0, c \neq 0$  durumu**

$$P_{p(2)} = 2c\sqrt{K_p}H_d = 2cH_d \tan\left(45 + \frac{\phi}{2}\right) \quad (2.13)$$

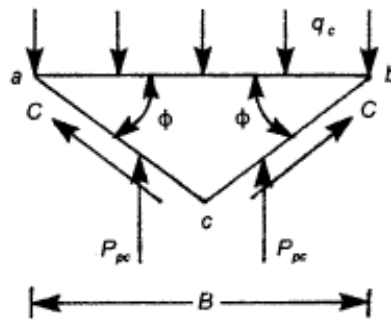
Şekil 2.4a'daki b noktasına göre moment alındığında,

$$P_{pc}\left(\frac{B}{4}\right) = P_{p(2)} \left[ \frac{r_1 \sin\left(45 - \frac{\phi}{2}\right)}{2} \right] + M_c \quad (2.14)$$

$$= \frac{c}{2 \tan \phi} (r_1^2 - r_0^2) \quad (2.15)$$



(a)



(b)

Şekil 2.4 a ve b  $\phi \neq 0, \gamma = 0, q = 0, c \neq 0$  durumunun gösterilişi

$$P_{pc} \left( \frac{B}{4} \right) = \left[ 2cH_d \tan \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right) \right] \left[ \frac{r_1 \sin \left( 45 - \frac{\phi}{2} \right)}{2} \right] + \left( \frac{c}{2 \tan \phi} \right) (r_1^2 - r_0^2) \quad (2.16)$$

$$P_{pc} = Bc(\sec^2 \phi) \left[ e^{2 \left( \frac{3\pi}{4} - \frac{\phi}{2} \right) \tan \phi} \right] \left( \frac{\cos \phi}{2} \right) + \left( \frac{Bc}{2 \tan \phi} \right) \sec^2 \phi \left[ e^{2 \left( \frac{3\pi}{4} - \frac{\phi}{2} \right) \tan \phi} \right] \quad (2.17)$$

yada

$$q_c(B \times 1) = 2C \sin \phi + 2P_{pc} \quad (2.18)$$

$$q_c B = cB \sec \phi \sin \phi + 2P_{pc} \quad (2.19)$$

$$q_c = c e^{2 \left( \frac{3\pi}{4} - \frac{\phi}{2} \right) \tan \phi} \left[ \sec \phi + \frac{\sec^2 \phi}{\tan \phi} \right] - c \left[ \frac{\sec^2 \phi}{\tan \phi} - \tan \phi \right] \quad (2.20)$$

$$\begin{aligned} \sec \phi + \frac{\sec^2 \phi}{\tan \phi} &= \frac{1}{\cos \phi} + \frac{1}{\cos \phi \sin \phi} = \cot \phi \left( \frac{1 + \sin \phi}{\cos^2 \phi} \right) \\ &= \cot \phi \left[ \frac{1}{2 \cos^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right)} \right] \end{aligned} \quad (2.21)$$

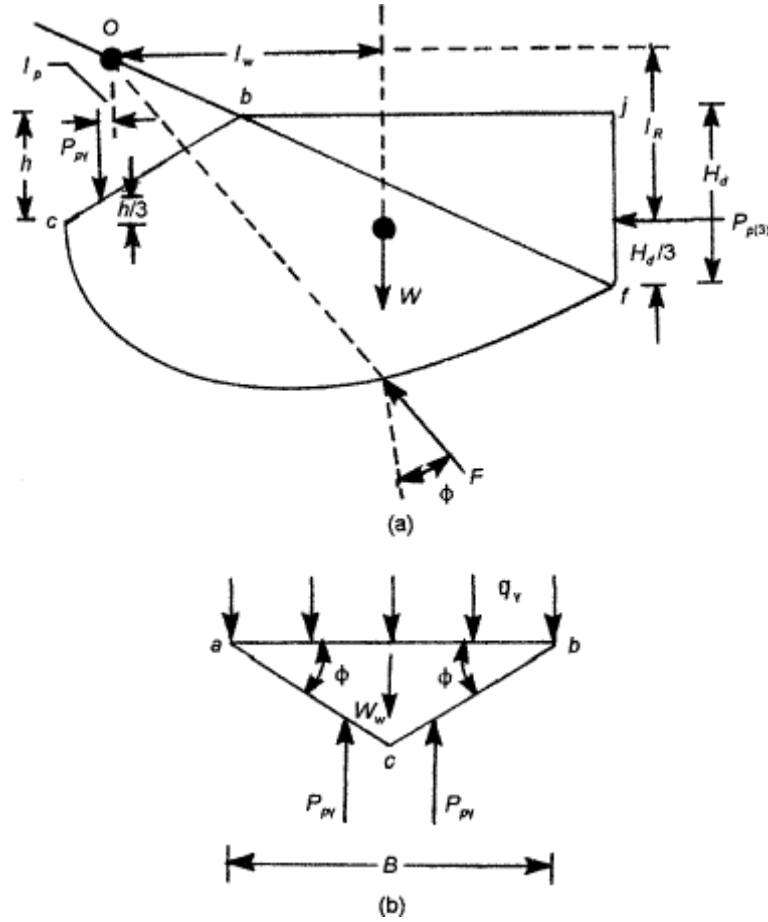
$$\begin{aligned} \frac{\sec^2 \phi}{\tan \phi} - \tan \phi &= \cot \phi (\sec^2 \phi - \tan^2 \phi) \\ &= \cot \phi \left( \frac{1}{\cos^2 \phi} - \frac{\sin^2 \phi}{\cos^2 \phi} \right) \\ &= \cot \phi \left( \frac{\cos^2 \phi}{\cos^2 \phi} \right) = \cot \phi \end{aligned} \quad (2.22)$$



$$q_c = c \cot \phi \left[ \frac{e^{2\left(\frac{3\pi}{4} - \frac{\phi}{2}\right) \tan \phi}}{2 \cos^2 \left(45 + \frac{\phi}{2}\right)} - 1 \right] = cN_c = c \cot \phi (N_q - 1) \quad (2.23)$$

Bu eşitlikle de  $N_c$  değeri hesaplanmış olur.

**$P_{py}$  için bağıntı  $\phi \neq 0, \gamma \neq 0, q = 0, c = 0$  durumu**



Şekil 2.5a ve b  $\phi \neq 0, \gamma \neq 0, q = 0, c = 0$  durumunun gösterilmesi

Rankine pasif kuvveti formüle edilirse

$$P_{p(3)} = \frac{1}{2} \gamma H_d^2 \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right) \quad (2.24)$$

$W$  bcfj kamasının ağırlığı  $P_{py}l_p = Wl_w + P_{p(3)}l_R$   
yada

$$P_{p\gamma} = \frac{1}{l_p} [Wl_w + P_{p(3)}l_R] \quad (2.25)$$

şeklinde ifade edilir.

Şekil 2.5a ve b'de görüldüğü gibi abc kamasının stabilitesini sağlamak için

$$q_\gamma B = 2P_{p\gamma} - W_w \quad (2.26)$$

$$q_\gamma = \frac{1}{B} \left( 2P_{p\gamma} - \frac{B^2}{4} \gamma \tan \phi \right) \quad (2.27)$$

$$W_w = \frac{B^2}{4} \gamma \tan \phi \quad (2.28)$$

formülde yerine konursa;

$$P_{p\gamma} = \frac{1}{2} \gamma h^2 K_{p\gamma} = \frac{1}{2} \gamma \left( \frac{B \tan \phi}{2} \right)^2 K_{p\gamma} = \frac{1}{8} \gamma B^2 K_{p\gamma} \tan^2 \phi \quad (2.29)$$

$K_{py}$  pasif toprak basıncı kat sayısı

$$\begin{aligned} q_\gamma &= \frac{1}{B} \left( \frac{1}{4} \gamma B^2 K_{p\gamma} \tan^2 \phi - \frac{B^2}{4} \gamma \tan \phi \right) \\ &= \frac{1}{2} \gamma B \left( \frac{1}{2} K_{p\gamma} \tan^2 \phi - \frac{\tan \phi}{2} \right) = \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma \end{aligned} \quad (2.30)$$

Bu formülle nihai taşıma gücü formülünün üçüncü bölümünde bulunmuş olur. Böylelikle sürekli temel için nihai taşıma gücü formülü elde edilmiş olmaktadır.

$$q_u = cN_c + qN_q + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma \quad (2.31)$$

Taşıma gücü faktörleri de

$$N_q = \frac{e^{2 \left( \frac{3\pi - \phi}{4} \right) \tan \phi}}{2 \cos^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right)} \quad (2.32)$$

$$N_c = \cot \phi (N_q - 1) \quad (2.33)$$

$$N_{\gamma} = \frac{1}{2} K_{p\gamma} \tan^2 \phi - \frac{\tan \phi}{2} \quad (2.34)$$

olarak ifade edilir.

Terzaghi teorisindeki taşıma gücü faktörlerini  $\phi$  açıları için hesaplanmıştır. Bu değerler Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1. Terzaghi taşıma gücü faktörleri

| $\phi$ | Nc    | Nq    | N $\gamma$ | $\phi$ | Nc     | Nq     | N $\gamma$ |
|--------|-------|-------|------------|--------|--------|--------|------------|
| 0      | 5.70  | 1     | 0          | 26     | 27.09  | 14.21  | 9.84       |
| 1      | 6     | 1.1   | 0.01       | 27     | 29.24  | 15.9   | 11.6       |
| 2      | 6.3   | 1.22  | 0.04       | 28     | 31.61  | 17.81  | 13.7       |
| 3      | 6.62  | 1.35  | 0.06       | 29     | 34.24  | 19.98  | 16.18      |
| 4      | 6.97  | 1.49  | 0.1        | 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  | 0.2        | 32     | 44.04  | 28.52  | 26.87      |
| 7      | 8.15  | 2     | 0.27       | 33     | 48.09  | 32.23  | 31.94      |
| 8      | 8.6   | 2.21  | 0.35       | 34     | 52.64  | 36.5   | 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  | 53.8   | 65.27      |
| 12     | 10.76 | 3.29  | 0.85       | 38     | 77.5   | 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  | 115.31     |
| 15     | 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     | 14.6  | 5.45  | 2.18       | 43     | 134.58 | 126.5  | 211.56     |
| 18     | 15.12 | 6.04  | 2.59       | 44     | 151.95 | 147.74 | 261.6      |
| 19     | 16.57 | 6.7   | 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 | 241.8  | 512.84     |
| 22     | 20.27 | 9.19  | 5.09       | 48     | 258.28 | 287.85 | 650.87     |
| 23     | 21.75 | 10.23 | 6          | 49     | 298.71 | 344.63 | 831.99     |
| 24     | 23.36 | 11.4  | 7.08       | 50     | 347.5  | 415.14 | 1072.8     |
| 25     | 25.13 | 12.72 | 8.34       |        |        |        |            |

Terzaghi’nin yaklaşımında yaptığı kabuller

1. Zemin homojen, izotrop, ve ağırlıksızdır,
2. Temel aksenal ve dikey yönde yüklüdür,
3. Zemin tabakaları yataydır,



Meyerhof zemini abc; elastik zon, bcd; radyal kayma zonu, bde; karışım kayma zonu, olmak üzere üç ana bölgeye ayırmıştır. Taşıma gücü faktörlerinin de buna bağlı olarak tekrar hesaplamıştır.

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

$$N_q = \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right) e^{\pi \tan \phi}$$

$$N_\gamma = (N_q - 1) \tan(1.4\phi)$$

Ayrıca ve önemli olarak Meyerhof nihai taşıma gücü formülüne şekil, derinlik ve eğim faktörlerini eklemiştir.

#### Şekil faktörleri

$$s_c = 1 + 0.2 \frac{B}{L} \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right)$$

$$s_q = s_\gamma = 1 + 0.1 \frac{B}{L} \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right) \quad \phi > 10 \text{ için}$$

$$s_q = s_\gamma = 1 \quad \phi = 0 \text{ için}$$

#### Derinlik faktörleri

$$d_c = 1 + 0.2 \frac{D_f}{L} \tan \left( 45 + \frac{\phi'}{2} \right)$$

$$\phi \geq 10^\circ \quad d_q = d_\gamma = 1 + 0.1 \frac{D_f}{L} \tan \left( 45 + \frac{\phi'}{2} \right)$$

$$\phi = 0^\circ \quad d_q = d_\gamma = 1$$

#### Eğim faktörleri

$$i_c = i_q = \left( 1 - \frac{\beta}{90} \right)^2 \quad i_\gamma = \left( 1 - \frac{\beta}{\phi'} \right)^2$$

Meyerhof nihai taşıma gücü formülünü şu şekilde özetlemiştir.

$$q_u = c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c + q \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q + 0.5 \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma$$

Şekil faktörü derinlik faktörü eğim faktörü

Meyerhof bulduğu taşıma gücü faktörlerini  $\phi$  açısına göre tekrar hesaplamıştır (Tablo 2.2).

Tablo 2.2 Meyerhof taşıma gücü değerleri

| $\phi$ | Nc    | Nq    | N $\gamma$ | $\phi$ | Nc     | Nq     | N $\gamma$ |
|--------|-------|-------|------------|--------|--------|--------|------------|
| 0      | 5.14  | 1     | 0          | 26     | 22.25  | 11.85  | 8          |
| 1      | 5.38  | 1.09  | 0.002      | 27     | 23.94  | 13.2   | 9.46       |
| 2      | 5.63  | 1.2   | 0.01       | 28     | 25.8   | 14.72  | 11.19      |
| 3      | 5.9   | 1.31  | 0.02       | 29     | 27.86  | 16.44  | 13.24      |
| 4      | 6.19  | 1.43  | 0.04       | 30     | 30.14  | 18.4   | 15.67      |
| 5      | 6.49  | 1.57  | 0.07       | 31     | 32.67  | 20.63  | 18.56      |
| 6      | 6.81  | 1.72  | 0.11       | 32     | 35.49  | 23.18  | 22.02      |
| 7      | 7.16  | 1.88  | 0.15       | 33     | 38.64  | 26.09  | 26.17      |
| 8      | 7.53  | 2.06  | 0.21       | 34     | 42.16  | 29.44  | 31.15      |
| 9      | 7.92  | 2.25  | 0.28       | 35     | 46.12  | 33.3   | 37.15      |
| 10     | 8.35  | 2.47  | 0.37       | 36     | 50.59  | 37.75  | 44.43      |
| 11     | 8.8   | 2.71  | 0.47       | 37     | 55.63  | 42.92  | 53.27      |
| 12     | 9.28  | 2.97  | 0.6        | 38     | 61.35  | 48.93  | 64.07      |
| 13     | 9.81  | 3.26  | 0.74       | 39     | 67.87  | 55.96  | 77.33      |
| 14     | 10.37 | 3.59  | 0.92       | 40     | 75.31  | 64.2   | 93.69      |
| 15     | 10.98 | 3.94  | 1.13       | 41     | 83.86  | 73.9   | 113.99     |
| 16     | 11.63 | 4.34  | 1.38       | 42     | 93.71  | 85.38  | 139.32     |
| 17     | 12.34 | 4.77  | 1.66       | 43     | 105.11 | 99.02  | 171.14     |
| 18     | 13.1  | 5.26  | 2          | 44     | 118.37 | 115.31 | 211.41     |
| 19     | 13.93 | 5.8   | 2.4        | 45     | 133.88 | 134.88 | 262.74     |
| 20     | 14.83 | 6.4   | 2.87       | 46     | 152.1  | 158.51 | 328.73     |
| 21     | 15.82 | 7.07  | 3.42       | 47     | 173.64 | 187.21 | 414.32     |
| 22     | 16.88 | 7.82  | 4.07       | 48     | 199.26 | 222.31 | 526.44     |
| 23     | 18.05 | 8.66  | 4.82       | 49     | 229.93 | 265.51 | 674.91     |
| 24     | 19.32 | 9.6   | 5.72       | 50     | 266.89 | 319.07 | 873.84     |
| 25     | 20.72 | 10.66 | 6.77       |        |        |        |            |

### 2.1.3. BRINCH HANSEN'İN (1961) TAŞIMA GÜCÜ KURAMI

Brinch Hansen'in formülü Meyerhof'un devamı niteliğindedir. Formüle temel tabanı ve zeminin eğimi faktörlerini eklemiştir. Taşıma gücü faktörlerinden N<sub>c</sub> ve N<sub>q</sub> değerleri Meyerhof değerleri ile aynıdır fakat N<sub>γ</sub> değeri farklıdır. (Tablo 2.3) Brinch Hansen nihai taşıma gücü formülü şu şekilde düzenlemiştir.

$$q_u = cN_c(s_c d_c i_c b_c g_c) + \gamma D_f N_q(s_q d_q i_q b_q g_q) + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma(s_\gamma d_\gamma i_\gamma b_\gamma g_\gamma)$$

Eğer arazi yüzeyi yatay ise formül

$$q_u = -c \cot \phi + (\gamma D_f + c \cot \phi) N_q s_q d_q i_q b_q g_q + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma (s_\gamma d_\gamma i_\gamma b_\gamma g_\gamma)$$

şekline dönüşür.

Eğim, derinlik ve şekil faktörleri

$$\begin{aligned} \rightarrow \quad i_c &= 1 - \frac{F_H}{2BLc} \quad \phi = 0 & i_c &= \frac{1}{2} \left[ 1 + \frac{(1-F_H)}{BLs_u} \right]^{1/2} \quad \phi > 0 \\ i_q &= \left[ 1 - \frac{0.5F_H}{F_V + BLc \cdot \cot \phi} \right]^5 & i_\gamma &= \left[ 1 - \frac{0.7F_H}{F_V + BLc \cdot \cot \phi} \right]^5 \\ \rightarrow \quad \phi = 0 & \begin{cases} d_c = 0.4 \frac{D_f}{B} & D_f \leq B \\ d_c = 0.4 \tan^{-1} \frac{D_f}{B} & D_f > B \end{cases} & \phi > 0 & \begin{cases} d_c = 1 + 0.4 \frac{D_f}{B} & D_f \leq B \\ d_c = 1 + 0.4 \tan^{-1} \frac{D_f}{B} & D_f > B \end{cases} \\ d_q &= 1 + 2 \tan \phi \cdot (1 - \sin \phi)^2 \left( \frac{D_f}{B} \right) & D_f < B & & d_\gamma &= 1 \\ d_q &= 1 + 2 \tan \phi \cdot (1 - \sin \phi)^2 \tan^{-1} \left( \frac{D_f}{B} \right) & D_f > B & & & \\ \rightarrow \quad s_c &= 0.2 i_c \cdot \frac{B}{L} \quad \phi = 0 & s_c &= 0.2 (1 - 2i_c) \cdot \frac{B}{L} \quad \phi > 0 \\ s_q &= 1 + i_q \cdot (B/L) \sin \phi & s_\gamma &= 1 - 0.4 i_\gamma \cdot (B/L) \end{aligned}$$

Suya doymun kohezyonlu zemin için aşağıdaki formül önerilmiştir.

$$\phi=0 \rightarrow q_u = c \cdot N_c \cdot (1 + s_c + d_c + i_c) + q$$

Tablo 2.3.  $N_y$  taşıma gücü faktörünün değişimi

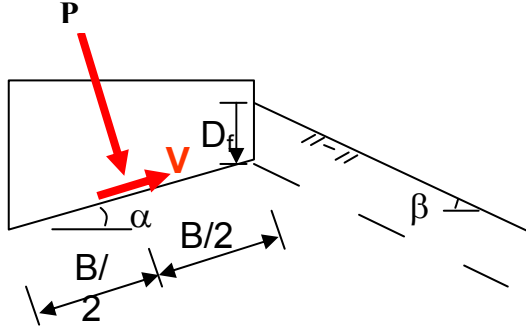
| $\phi$ | Terzaghi | Meyerhof | Vesic  | Brinch Hansen |
|--------|----------|----------|--------|---------------|
| 0      | 0        | 0        | 0      | 0             |
| 1      | 0.01     | 0.002    | 0.07   | 0             |
| 2      | 0.04     | 0.01     | 0.15   | 0.01          |
| 3      | 0.06     | 0.02     | 0.24   | 0.02          |
| 4      | 0.1      | 0.04     | 0.34   | 0.05          |
| 5      | 0.14     | 0.07     | 0.45   | 0.07          |
| 6      | 0.2      | 0.11     | 0.57   | 0.11          |
| 7      | 0.27     | 0.15     | 0.71   | 0.16          |
| 8      | 0.35     | 0.21     | 0.86   | 0.22          |
| 9      | 0.44     | 0.28     | 1.03   | 0.3           |
| 10     | 0.56     | 0.37     | 1.22   | 0.39          |
| 11     | 0.69     | 0.47     | 1.44   | 0.5           |
| 12     | 0.85     | 0.6      | 1.69   | 0.63          |
| 13     | 1.04     | 0.74     | 1.97   | 0.78          |
| 14     | 1.26     | 0.92     | 2.29   | 0.97          |
| 15     | 1.52     | 1.13     | 2.65   | 1.18          |
| 16     | 1.82     | 1.38     | 3.06   | 1.43          |
| 17     | 2.18     | 1.66     | 3.53   | 1.73          |
| 18     | 2.59     | 2        | 4.07   | 2.08          |
| 19     | 3.07     | 2.4      | 4.68   | 2.48          |
| 20     | 3.64     | 2.87     | 5.39   | 2.95          |
| 21     | 4.31     | 3.42     | 6.2    | 3.5           |
| 22     | 5.09     | 4.07     | 7.13   | 4.13          |
| 23     | 6        | 4.82     | 8.2    | 4.88          |
| 24     | 7.08     | 5.72     | 9.44   | 5.75          |
| 25     | 8.34     | 6.77     | 10.88  | 6.76          |
| 26     | 9.84     | 8        | 12.54  | 7.94          |
| 27     | 11.6     | 9.46     | 14.47  | 9.32          |
| 28     | 13.7     | 11.19    | 16.72  | 10.94         |
| 29     | 16.18    | 13.24    | 19.34  | 12.84         |
| 30     | 19.13    | 15.67    | 22.4   | 15.07         |
| 31     | 22.65    | 18.56    | 25.99  | 17.69         |
| 32     | 26.87    | 22.02    | 30.22  | 20.79         |
| 33     | 31.94    | 26.17    | 35.19  | 24.44         |
| 34     | 38.04    | 31.15    | 41.06  | 28.77         |
| 35     | 45.41    | 37.15    | 48.03  | 33.92         |
| 36     | 54.36    | 44.43    | 56.31  | 40.05         |
| 37     | 65.27    | 53.27    | 66.19  | 47.38         |
| 38     | 78.61    | 64.07    | 78.03  | 56.17         |
| 39     | 95.03    | 77.33    | 92.25  | 66.75         |
| 40     | 115.31   | 93.69    | 109.41 | 79.54         |
| 41     | 140.51   | 113.99   | 130.22 | 95.05         |
| 42     | 171.99   | 139.32   | 155.55 | 113.95        |
| 43     | 211.56   | 171.14   | 186.54 | 137.1         |
| 44     | 261.6    | 211.41   | 224.64 | 165.58        |
| 45     | 325.34   | 262.74   | 271.76 | 200.81        |



## 2.1.4. VESIC'İN (1973) TAŞIMA GÜCÜ KURAMI

Vesic kendisinden önce yapılan çalışmaları özetlemiştir. Formülü Brinch Hansen'in formülüne benzer.

$$q_u = cN_c(s_c d_c i_c b_c g_c) + \gamma D_f N_q (s_q d_q i_q b_q g_q) + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma (s_\gamma d_\gamma i_\gamma b_\gamma g_\gamma)$$



Şekil 2.7 Vesic taşıma gücü modeli

### Şekil faktörleri

$$s_c = 1 + \left( \frac{B}{L} \right) \left( \frac{N_q}{N_c} \right)$$

$$s_q = 1 + \left( \frac{B}{L} \right) \tan \phi'$$

$$s_\gamma = 1 - 0.4 \left( \frac{B}{L} \right)$$

### Derinlik faktörleri

$$k = \tan^{-1} \left( \frac{D}{B} \right)$$

$$d_c = 1 + 0.4k$$

$$d_q = 1 + 2k \tan \phi' (1 - \sin \phi')^2$$

$$d_\gamma = 1$$

### Eğim faktörleri

$$i_c = 1 - \frac{mV}{L'B'cN_c} \geq 0$$

$$i_q = \left[ 1 - \frac{V}{P + \frac{L'B'c}{\tan \phi}} \right]^m \geq 0$$

$$i_\gamma = \left[ 1 - \frac{V}{P + \frac{L'B'c}{\tan \phi}} \right]^{m+1} \geq 0$$

Yükün eğimi B yönünde olduğu zaman

$$m = \frac{2 + B / L}{1 + B / L} = m_B$$

Yükün eğimi L yönünde olduğu zaman

$$m = \frac{2 + L / B}{1 + L / B} = m_L$$

Yükün eğimi diğer yönlerde olduğu zaman

$$m = m_L \cos^2 \theta_n + m_B \sin^2 \theta_n$$

### Taban eğim faktörleri

$$b_q = b_\gamma = (1 - \alpha \tan \phi)^2$$

$$b_c = 1 - \frac{2\alpha}{\pi + 2}$$

### Zemin eğim faktörleri

$$g_c = 1 - \frac{2\beta}{\pi + 2}$$

$$g_q = g_\gamma = (1 - \tan \beta)^2$$

### 2.1.5. GENEL TAŞIMA GÜCÜ FORMÜLÜ

Çalışmaların sonunda kabul edilmiş en genel nihai taşıma gücü formülü aşağıda verilmiştir.

$$q_u = c N_c (s_c d_c i_c b_c g_c) + \gamma D_f N_q (s_q d_q i_q b_q g_q) + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma (s_\gamma d_\gamma i_\gamma b_\gamma g_\gamma)$$

### 2.1.6 UZUNER B. A. ve TAN Ö. (1992)

Bu çalışmada yazarlar, sıkı kum ( $D_r=0.80$ ) ve gevşek kum ( $D_r=0.19$ ) zemine oturan farklı temel genişliğinde ( $B=4\text{cm}$ ,  $B=6\text{cm}$ ,  $B=8\text{cm}$ ) sürekli temellerde  $N_\gamma$  taşıma gücü faktörü değerini deneysel olarak bulmaya çalışmışlardır.

Üç farklı temel boyutu ve iki farklı kum numunesi üzerinde yaptıkları deneylerde farklı  $N_\gamma$  değerleri hesaplamışlardır. Deney sonucunda bulunan  $N_\gamma$  değeri teorik  $N_\gamma$  değerinden büyük bulunmuştur. Bu farklılığın sebebi; ya teorilerin eksikliğinden yada  $\phi$  açısının belirlenmesi yönteminden kaynaklanabileceği sonucuna varmışlardır. Daha çok deneysel ve teorik çalışma yapılması gerektiğini vurgulamaktadırlar.

### 2.1.7 ZHU D.Y, LEE C.F, ve JIA NG (2001)

Yazarlar çalışmalarında, temel tabanı altındaki üçgen zonun temel tabanı ile yaptığı açının  $N_\gamma$  taşıma gücü faktörü üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Hesaplamalarını  $\phi= 1-50^\circ$  değerleri için üç durumda yapmışlardır.

1. Taban açısı değeri =  $\phi$
2. Taban açısı değeri =  $45^\circ + \phi / 2$
3.  $N_\gamma$  değerinin minimum (en küçük) olduğu taban açısı değeri

Çalışmalarının sonucunda; temel tabanı altındaki üçgen zonun  $N_\gamma$  değerini hesaplamada etkili bir metod olduğu savunularak farklı  $\phi$  açısı değerlerinde göçme yüzeyini şekille göstermişlerdir.

## 2.2 SONLU ELEMANLAR METODU (SEM)

Sonlu elemanlar metodu ile analiz, fiziksel bir sistemin matematik olarak ifade edilerek sayısal model olarak gerçekleştirilmesidir. Diğer bir ifade ile SEM sayısal çözüm yöntemidir. SEM ile ilk çalışmalar 1941'de başlar. Genel amaçlı SEM paket programları 1970'lerde ortaya çıkmış ve 80'lerden itibaren bilgisayarların hız ve kapasite artışları ile ilgili gelişmelerle SEM kullanımını oldukça önemli mesafe katedilmiştir. Bu metodu kullanarak yapılan çalışmalardan birkaçı aşağıda verilmiştir.

### 2.2.1 GRIFFITHS D.V (1982)

Griffiths bu yayınında sonlu elemanlar metodunu kullanarak elasto-plastik teori ile son taşıma gücünü rijit temellerde nasıl tahmin edileceğini göstermeye çalışmıştır. Özellikle  $N_c$ ,  $N_q$  ve  $N_\gamma$  taşıma gücü faktörlerini hesaplamıştır. Değişik temel boyutları ile rijit ve düz temellerde değişik  $\phi$  açısı değerlerinde hesaplanan  $N_c$ ,  $N_q$  ve  $N_\gamma$  değerlerini teorik hesaplamalarda bulunan (Tablo 2.1, Tablo 2.2 ve Tablo 2.3) değerler ile karşılaştırmıştır. Bulduğu sonuçları şöyle değerlendirmiştir. Teorik olarak bulunan  $N_c$ ,  $N_q$  değerleri SEM ile buldukları değerler ile birbirlerine oldukça yakın fakat  $N_\gamma$  değeri farklılık göstermiştir.  $\phi < 20^\circ$  için  $N_\gamma$  değeri oldukça küçük fakat  $20^\circ$ 'den büyük  $\phi$  değerlerinde  $N_\gamma$  değeri hızla artış görülmektedir. Ayrıca temelin pürüzlülüğü  $N_c$ ,  $N_q$  değerlerini etkilemezken,  $N_\gamma$  değerini etkilediğini belirtilmiştir.

### 2.2.2 MANOHARAN N. ve DASGUPTA S.P. (1995)

Çalışmada sürekli ve daire temel üzerinde Mohr- Coulomb yenilme modeli kullanılarak zemin davranışı ile hem akma hem de akmama durumunda temel davranışını incelemiştir. Analizler aynı zamanda düz ve pürüzlü temeller için tekrarlanmıştır. Grafiklerle, analiz sonuçlarının karşılaştırmasını yapmışlardır. Ayrıca  $N_c$ ,  $N_q$  ve  $N_\gamma$  değerlerini de hesaplamışlardır.

### 2.2.3 WOODWARD P. K ve BERENJI A.P (2001)

İki boyutlu sonlu eleman programı kullanılarak kohezyonlu zeminde düz rijit daire temel için analizler yapmışlar ve bu analiz sonuçlarını Terzaghi'nin teorisiyle elde edilen sonuçlar ile karşılaştırmışlardır. Aynı zamanda  $N_q$  ve  $N_\gamma$  değerlerini de hesaplamışlardır.  $N_\gamma$  değeri temel genişliği (B) ile ilgili  $N_q$  ise temel derinliği ( $D_f$ ) ile ilgili taşıma gücü faktörü olduğuna dikkat çekmişlerdir.

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışma kapsamında, yüzeysel temelerde taşıma gücü iki ve üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Analizler Pentium III işlemcili bir kişisel bilgisayar ile yürütülmüş ve Plaxis (Finite Element Code for Soil and Rock Analyses) sonlu elemanlar programının iki boyutlu analizlerde 8.2 versiyonu, üç boyutlu analizlerde ise 3D Foundation 1.6 versiyonundan faydalanılmıştır.

Sonlu elemanlar yönteminde yapı, davranışı önceden belirlenmiş olan bir çok parçalara bölünür. Yapıyı oluşturan parçaların her birine eleman adı verilir. Her elemanın şekli ve bu elemanı bağlayan düğüm noktaları (nodlar) vardır. Bu çalışmada hem iki hem de üç boyutlu analizlerde Plaxis programında sabit olan üçgen eleman ve 15 nod (15 düğüm sayısı) seçilmiştir.

#### 3.1. GEOMETRİK MODEL

Modelleme sonlu elemanlar analizinin en önemli adımıdır. Gerek iki boyutlu gerekse üç boyutlu analizlerde model ortamının büyüklüğü özenle seçilmelidir. Çok küçük olması analiz sonuçlarının üzerinde olumsuz etkisi olacaktır. Çok büyük olması eleman sayısını arttıracığından analiz süresinin uzamasına sebep olacaktır. Bu çalışmada oluşturulan sonlu elemanlar model ortamı temel boyutunun 4 katı olarak alınmıştır.

#### 3.2. SINIR ŞARTLARI

Sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan analizlerde sınır şartları özellikle belirtilmelidir. Her doğrultuda bir sınır şartı olmalıdır. Plaxis programının özelliği olarak tek tek sınır şartları belirtmeye gerek kalmadan otomatik olarak, geometrinin tabanında sabit, düşey kenarlarda kayar mesnet şeklinde oluşturulmuştur. ( $u_x = 0$  ve  $u_y = \text{serbest}$ ).

#### 3.3 MALZEME MODELİ

Zemin davranışının doğru ifade edebilmesi için malzeme model ve parametreleri uygun seçilerek geometriye atanmıştır. Hem 2 hem de 3 boyutta aynı model ve parametreler kullanılmıştır (Tablo 3.1 ve Tablo 3.2 ).

Tablo 3.1. Zeminin malzeme özellikleri

| Parametre                  | Simge            | Değer        | Birim             |
|----------------------------|------------------|--------------|-------------------|
| Malzeme Göçme Modeli       | Model            | Mohr-Coulomb |                   |
| Malzeme Davranış Tipi      | Tipi             | Drenajsız    |                   |
| Kuru Birim Hacim Ağırlık   | $\gamma_{unsat}$ | 16           | kN/m <sup>3</sup> |
| Yaş Birim Hacim Ağırlık    | $\gamma_{sat}$   | 18           | kN/m <sup>3</sup> |
| Yatay Yönde Permeabilite   | $k_x$            | 0            | m/day             |
| Düşey Yönde Permeabilite   | $k_y$            | 0            | m/day             |
| Elastisite Modülü          | E                | 257100       | kN/m <sup>2</sup> |
| Poison Oranı               | $\nu$            | 0.286        |                   |
| Kohezyon                   | c                | 100          | kN/m <sup>2</sup> |
| Zemin İçsel Sürtünme Açısı | $\phi$           | 1            | °                 |
| Dilatasyon Açısı           | $\psi$           | 0            | °                 |

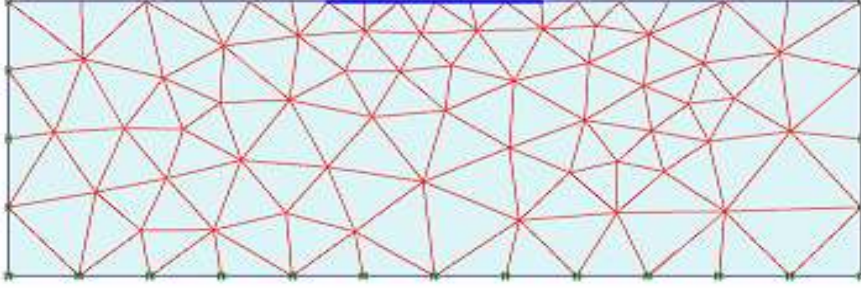
Tablo 3.2 Temelin malzeme özellikleri

| Parametre             | Simge    | Değer    | Birim             |
|-----------------------|----------|----------|-------------------|
| Malzeme Davranış Tipi | Tipi     | Lineer   |                   |
| Birim Hacim Ağırlık   | $\gamma$ | 24       | kN/m <sup>3</sup> |
| Kalınlık              | d        | 0.25     | m                 |
| Elastisite Modülü     | E        | 10000000 | kN/m <sup>2</sup> |
| Poison Oranı          | $\nu$    | 0.25     |                   |
| Kayma Modülü          | G        | 3968000  | kN/m <sup>2</sup> |

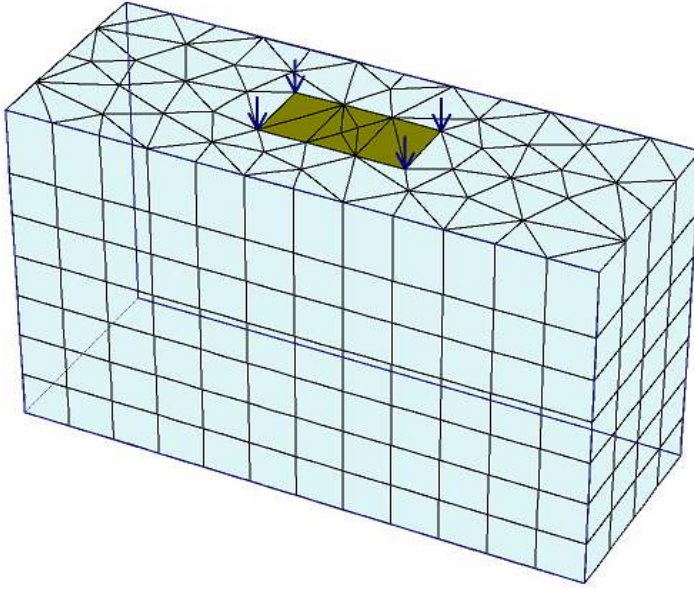
### 3.4 SONLU ELEMANLAR AĞI (MESH)

Geometrik model tamamlandıktan sonra mesh (ağ) oluşturulmuştur. Şekil 3.1’de 2 boyutlu olarak oluşturulan mesh görülmektedir. Gerçekleştirilen iki boyutlu analizlerde oluşturulan bu sonlu elemanlar ağında (mesh) kullanılan eleman sayısı 130 ve nod sayısı 1117’dir. Üç

boyutlu analizlerde ise oluşturulan meshte kullanılan eleman sayısı 728 ve nod sayısı 2411'dir. Şekil 3.2'de 3 boyutlu yapılan analizlerdeki mesh görülmektedir.



Şekil 3.1 İki boyutta yapılan analizlerde oluşturulan mesh



Şekil 3.2 Üç boyutta oluşturulan mesh örneği

### 3.5. BAŞLANGIÇ KOŞULLARI

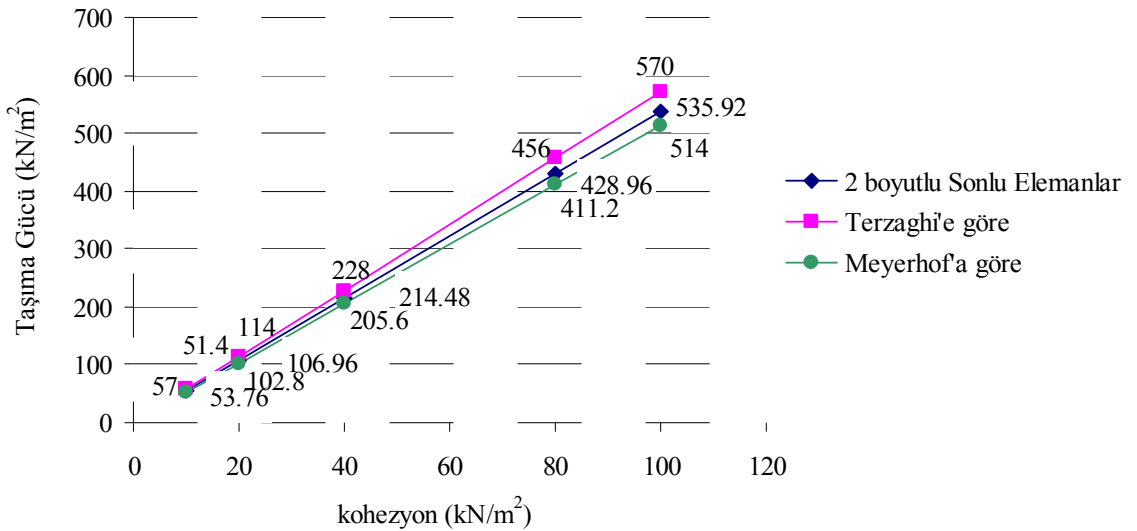
Mesh oluşumu ile Sonlu elemanlar modeli (SEM) tamamlanır. Fakat hesaplama aşamasından önce zemin bünyesindeki başlangıç koşulları girilmelidir. Başlangıç koşulları; yer altı suyu ve başlangıç efektif gerilme durumları ile yanaldaki ve düşeydeki gerilmelerin atanmasından oluşur. Bu safhadan sonra analiz aşamasına geçilmiştir.

#### 4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI

##### 4.1 İKİ BOYUTLU ANALİZ SONUÇLARI

Bu çalışma kapsamında iki boyutlu sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak çözümlenmesi yapılan analizlerden, elde edilen eğriler EKLER bölümünde verilmiştir. Ayrıca analizlerden elde edilen çözümler ile 2. bölümde verilen Terzaghi ve Meyerhof'a ait teoriler çerçevesinde hesaplamalar karşılaştırmalı grafikler halinde bu bölümde verilmiştir.

Analizlerin tamamı, kohezyonlu-drenajsız, kohezyonsuz-drenajsız şartlarda Mohr-Coulomb göçme modeli uygulanarak yapılmıştır. Öncelikle kohezyonlu zeminde ( $\phi=0^\circ$ ), değişik kohezyon değerlerinde, aynı temel boyutu ve özelliklerinde nihai taşıma gücü bulunmuştur. Yapılan analizlerin  $c=10 \text{ kN/m}^2$ ,  $c=20 \text{ kN/m}^2$ ,  $c=40 \text{ kN/m}^2$ ,  $c=80 \text{ kN/m}^2$  ve  $c=100 \text{ kN/m}^2$  için yerdeğiştirme – taşıma gücünü bulduran çarpım faktörü grafikleri Ekler bölümünde EK-1 olarak verilmiştir. İki boyutlu sonlu eleman analiz çözümlerinde bulunan nihai taşıma gücü değerleri (Tablo 4.1), bölüm 2'de verilen Terzaghi ve Meyerhof formülleri kullanılarak hesaplanan nihai taşıma gücü değerlerinin karşılaştırması Şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1 Değişen kohezyon değerlerine göre nihai taşıma gücünün 2 boyutlu SEM ile Terzaghi-Meyerhof karşılaştırması



Tablo 4.1. Değişen kohezyon değerlerine göre, iki boyutlu sonlu elemanlar yöntemiyle hesaplanan nihai taşıma gücü değerleri

|  | c=10 kN/m <sup>2</sup> | c=20 kN/m <sup>2</sup> | c=40 kN/m <sup>2</sup> | c=80 kN/m <sup>2</sup> | c=100kN/m <sup>2</sup> |
|--|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Nihai Taşıma Gücü (kN/m <sup>2</sup> ) | 53.76                  | 106.96                 | 214.48                 | 428.96                 | 535.92                 |

Şekil 4.1’de görüldüğü üzere kohezyon değerinin artması ile nihai taşıma gücü değeride artmaktadır ve çözümlenelerde bulunan değerler, Terzaghi ve Meyerhof’un formülasyonu ile hesaplanan değerler ile oldukça uyumludur. Bu analizlerin sonucunda  $\phi=0^\circ$  için  $N_c$  boyutsuz taşıma gücü faktörü (4.1) formülü kullanılarak hesaplanmıştır.

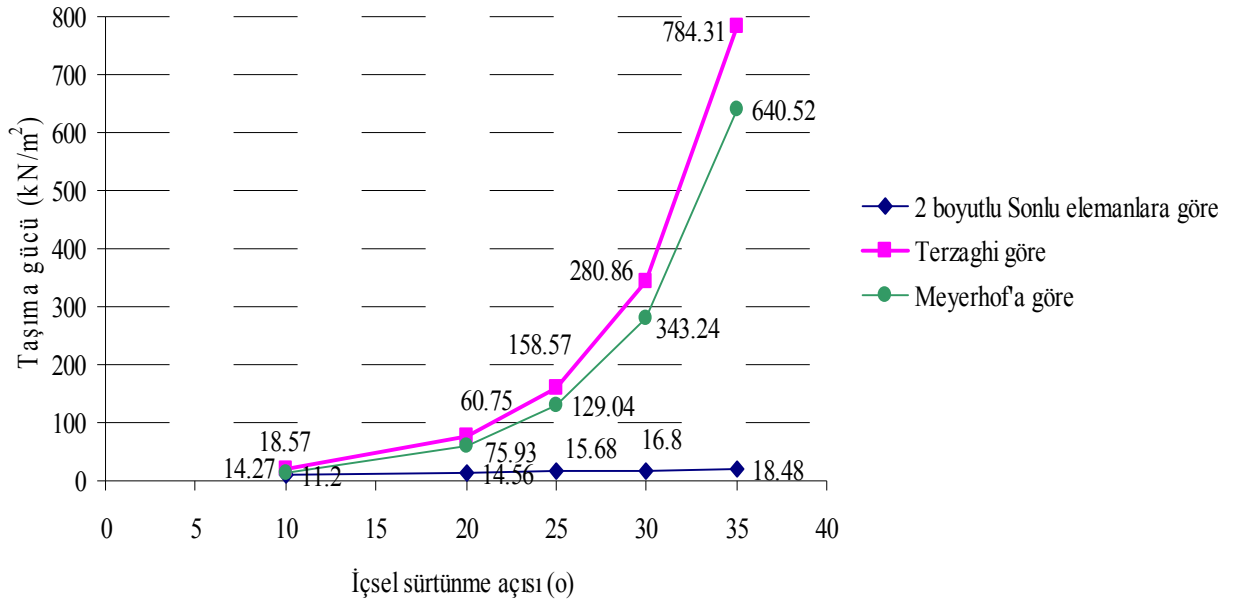
$$N_c = \frac{q_u \text{ (taşıma gücü)}}{\text{kohezyon (c)}} \quad (4.1)$$

Bulunan değer  $N_c = 5.3$ ’tür. Bulunan bu değer, Tablo 2.1 ve Tablo 2.2’den de görüleceği gibi Terzaghi tarafından  $N_c=5.7$  ve Meyerhof tarafından  $N_c = 5.14$  olarak verilen değerler ile örtüşmektedir.

Bir diğer analiz, kohezyonsuz zeminde ( $c=1 \text{ kN/m}^2$ ), değişik içsel sürtünme açısı değerleri  $\phi=10^\circ$ ,  $\phi=20^\circ$ ,  $\phi=25^\circ$ ,  $\phi=30^\circ$ ,  $\phi=35^\circ$  ile yapılmıştır. Elde edilen yerdeğiştirme - taşıma gücünü bulduran çarpım faktörü grafikleri EK-2’de verilmiştir. Analizlerden elde edilen çözümleneler sonucunda  $\phi$  değeri artımı ile nihai taşıma gücü değeride artmıştır. Fakat bu artımlar çok küçük değerde olup lineer kalmaktadır (Tablo 4.2). Halbuki Terzaghi ve Meyerhof ‘un taşıma gücü değerleri  $\phi=20^\circ$ ’den sonraki açı değerleri için katlanarak büyümektedir. İki boyutlu SEM çözümleneler ile Terzaghi - Meyerhof taşıma gücü karşılaştırmalı olarak Şekil 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2. Değişen içselsürtünme açısı değerlerine göre, iki boyutlu sonlu elemanlar yöntemiyle hesaplanan nihai taşıma gücü değerleri

|  | $\phi=10^\circ$ | $\phi=20^\circ$ | $\phi=25^\circ$ | $\phi=30^\circ$ | $\phi=35^\circ$ |
|--|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Nihai Taşıma Gücü (kN/m <sup>2</sup> ) | 11.2            | 14.56           | 15.68           | 16.8            | 18.48           |



Şekil 4.2 Değişen içsel sürtünme açısı değerlerine göre nihai taşıma gücünün; 2 boyutta, Meyerhof ve Terzaghi değerleri ile karşılaştırmasını gösteren grafik

Bu çalışmada ayrıca interface (ara eleman) üzerinde durulmuştur. Interface sonlu elemanlarda kullanılan, gerçekte olmayan temel ile zemin arasına konan bir ara eleman olarak nitelendirilebilir. Temel ile zemin arasında, önemli mertebelerde rijitlik farkları bulunmaktadır. Dolayısı ile zeminden daha rijit olan temel ile zemin arasındaki geçişi yumuşatmak ve analizlerde çözüme ulaşılabilmesi amacıyla interface kullanılmaktadır. İki boyutlu yapılan analizlerde, hem kohezyonlu hem de kohezyonsuz zeminlerde interface kullanılmış ve nihai taşıma gücü değerleri üzerinde interface (ara eleman) rolü araştırılmıştır. Kohezyonlu zemin ( $c=40 \text{ kN/m}^2$ ,  $\phi=0^\circ$ ) interfaceli ve interface olmadan taşıma gücü değerleri birbirlerine yakın iken, kohezyonsuz zeminde ( $c=1 \text{ kN/m}^2$ ,  $\phi=35^\circ$ ) oldukça farklı değerler bulunmuştur. Çözümlenen sonuçlar Tablo 4.3’de verilmiştir. Ayrıca kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminde Interface etkisinin temel altındaki değişimi ise EK-3 ve EK-4’te verilmiştir.

Tablo 4.3. Interface kullanımının nihai taşıma gücü üzerindeki etkisi

| Nihai Taşıma gücü (kN/m <sup>2</sup> ) | $c=40 \text{ kN/m}^2$ $\phi=0^\circ$ | $c=1 \text{ kN/m}^2$ $\phi=35^\circ$ |
|--|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Interface’li                           | 212.24                               | 3.36                                 |
| Interface olmadan                      | 214.48                               | 18.48                                |

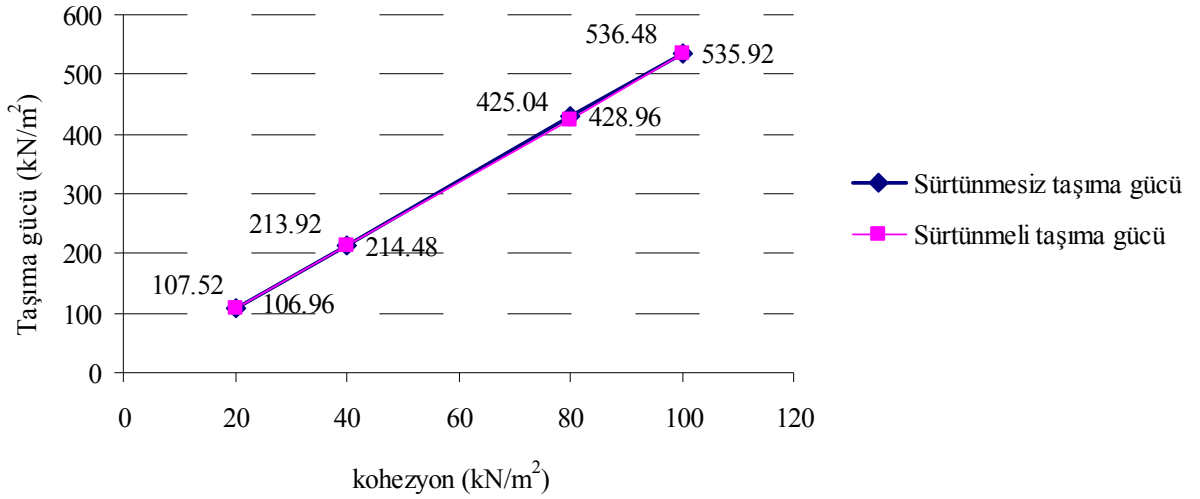
Bu çalışmayla araştırılan diğer bir özelliğe, temel genişliği boyunca temelin altı, x doğrultusunda tutulmuş diğer bir deyişle yanal hareketine izin verilmemiştir. Böylelikle rijit temelin pürüzlülüğü (sürtünme) sağlanmıştır. Temelin altı tutulmadan, yanal hareket serbest yapıldığında ise rijit temelin düz olduğu (sürtünmesiz) kabul edilmiştir. Aynı şartlar kohezyonsuz zeminde de verilerek analizler yapılmıştır. Analizler sonucu elde edilen yerdeğiştirme – taşıma gücünü bulduran çarpım faktörü grafiği EK-5’te verilmiştir. Hesaplanan taşıma gücü değerleri Tablo 4.4 ve Tablo 4.5’de ayrıca grafik olarak da Şekil 4.3’te verilmiştir.

Tablo 4.4 İki boyutlu kohezyonlu zeminde temel tabanının sürtünmeli ve sürtünmesiz olması durumundaki taşıma güçleri

| Nihai Taşıma gücü (kN/m <sup>2</sup> ) | c= 20 kN/m <sup>2</sup><br>$\phi=0^\circ$ | c=40 kN/m <sup>2</sup><br>$\phi=0^\circ$ | c= 80 kN/m <sup>2</sup><br>$\phi=0^\circ$ | c=100 kN/m <sup>2</sup><br>$\phi=0^\circ$ |
|--|---|--|---|---|
| Tutulu (sürtünmeli)                    | 107.52                                    | 213.92                                   | 425.04                                    | 536.48                                    |
| Serbest (sürtünmesiz)                  | 106.96                                    | 214.48                                   | 428.96                                    | 535.92                                    |

Tablo 4.5. İki boyutlu kohezyonsuz zeminde temel tabanının sürtünmeli ve sürtünmesiz olması durumundaki taşıma güçleri

| Taşıma gücü (kN/m <sup>2</sup> ) | c= 1 kN/m <sup>2</sup><br>$\phi=25^\circ$ | c=1 kN/m <sup>2</sup><br>$\phi=35^\circ$ |
|----------------------------------|---|--|
| Tutulu (sürtünmeli)              | 15.68                                     | 18.48                                    |
| Serbest (sürtünmesiz)            | 15.68                                     | 18.48                                    |



Şekil 4.3 İki boyutlu kohezyonlu zeminde temel tabanının sürtünmeli ve sürtünmesiz olması durumundaki taşıma güçleri

Bu çalışma kapsamında, incelenen diğer bir özellikte, temel genişliğinin (B) taşıma gücü üzerindeki etkisini, kohezyonlu zeminde ( $c=80 \text{ kN/m}^2$ ,  $\phi=0^\circ$ ) temel genişliği (B) değiştirilerek çözümlenmeler yapılmıştır. Drenajsız şartlarda, rijit bir temelde temel genişlikleri  $B=0.5\text{m}$ ,  $B=1\text{m}$  ve  $B=2\text{m}$  için nihai taşıma gücü değerleri irdelenmiştir. Çözümlenmelerden bulunan değerler Tablo 4.6'da verilmiştir. Ayrıca üç boyutlu analiz sonucu ile karşılaştırmalı grafiği ise Şekil 4.8'de verilmiştir.

Tablo 4.6. Farklı temel genişliğindeki taşıma gücü değerleri

|  | B = 0.5 m. | B = 1 m | B = 2 m |
|--|------------|---------|---------|
| Nihai Taşıma gücü (kN/m <sup>2</sup> ) | 118.16     | 223.44  | 428.99  |

Bu çalışmada ayrıca sürsajın etkisi de değerlendirilmiştir (Şekil 4.4). Temel derinliği  $D_f = 0.5 \text{ m}$ ,  $D_f = 1\text{m}$ ,  $D_f = 2\text{m}$  ve  $D_f = 2.5\text{m}$  olması durumunda çözümlenmeler  $c=100 \text{ kN/m}^2$ ,  $\phi=0^\circ$  koşullarındaki kohezyonlu zeminlerde yapılmıştır.



kullanılarak karşılaştırma amaçlı hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplanan değerler Şekil 4.5'te karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Grafikler değerlendirilecek olursa, temel derinliğinin artmasıyla taşıma gücü değerinin yükselmesinde belirgin olarak rol oynadığı gözlemlenmektedir.

Bu çalışmada bunlardan başka, taşıma gücü faktörlerinden  $N_q$ 'nın değerlerin (4.2) formülü kullanılarak hesaplamaları yapılabilmektedir.

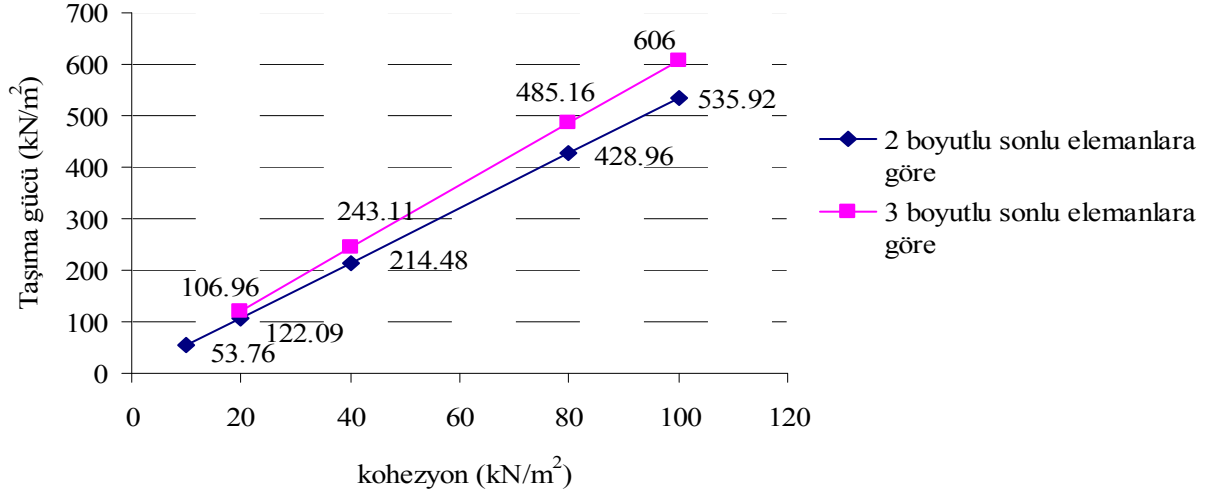
$$N_q = \frac{q_u \text{ (taşıma gücü)}}{q \text{ (sürsaj)}} \quad (4.2)$$

Bu formül yardımı ile  $N_q$  değerleri 1.01 ile 1.07 aralığında hesaplanmıştır. Bölüm 2'de Tablo 2.1 ve Tablo 2.2'de Terzaghi ve Meyerhof  $N_q=1$  olarak almışlardır. Bu sonuç, bu çalışmada yapılan sonlu elemanlar ile yapılan çözümler ile  $N_q$  değerinde çok yakınsama sağlandığının bir göstergesidir.

## 4.2. ÜÇ BOYUTLU ANALİZ SONUÇLARI

Üç boyutlu sonlu elemanlar yönteminde, Plaxis 3D Foundation 1.6 versiyonu kullanılarak analizler yapılmıştır. İki boyutta olduğu gibi analizler aynı zemin ve temel malzeme özelliklerinde, drenajsız şartlarda, Mohr-Coulomb göçme modeli kullanılarak yapılmıştır.

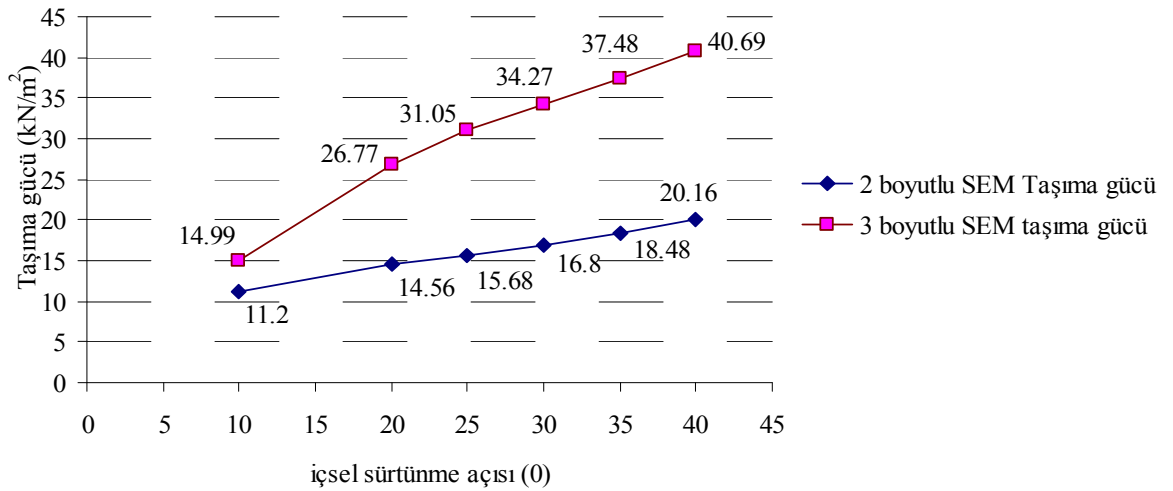
Öncelikle , kohezyonlu bir zeminde değişen kohezyon değerleri girilerek taşıma gücü bulunmaya çalışılmıştır. Analize ait grafik EK 7'de verilmiştir. Ayrıca analize ait 3 boyutlu görüntüler EK 8-9'da verilmiştir. Analize ait hesaplanan taşıma gücü değerlerinin, 2 boyutta yapılan analizlerin sonuçları ile karşılaştırılmasına ait grafikte grafik Şekil 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.6 Değişen kohezyon değerlerine göre 2 ve 3 boyutlu analizlerin karşılaştırılması

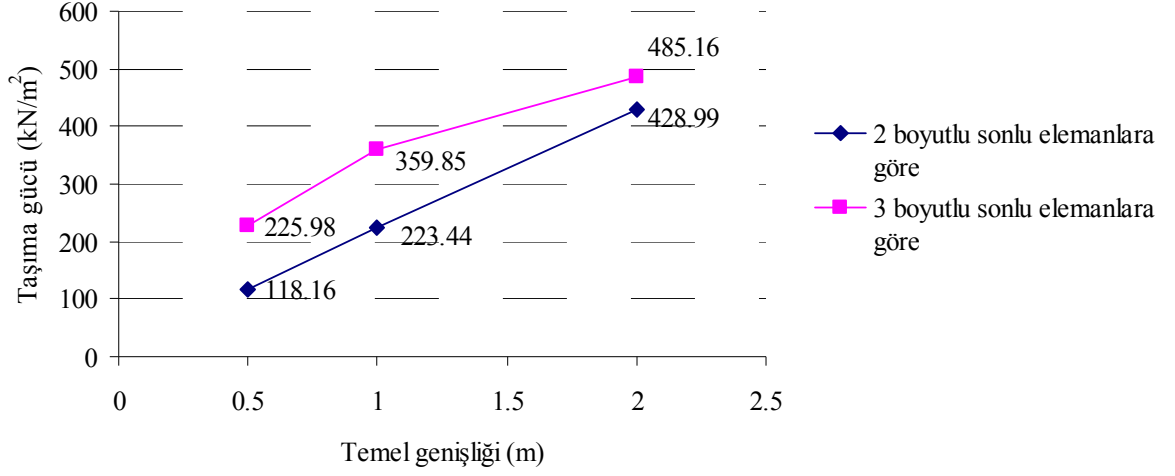
Ayrıca 2 boyutta yapılan çalışma burada 3 boyut içinde tekrar edilmiş ve  $N_c$  taşıma gücü faktörü değeri hesaplanmaya çalışılmıştır. Bulunan değerler 6.06 – 6.10 aralığında değişmektedir.  $N_c = 6$  olarak kabul edilmiştir.

Üç boyutta yapılan çalışmaların bir diğeri de zeminin kohezyon değeri  $c=1\text{kN/m}^2$  alınarak  $\phi$  açısı değerleri değiştirilerek ( $\phi=10^\circ$ ,  $\phi=20^\circ$ ,  $\phi=25^\circ$ ,  $\phi=30^\circ$ ,  $\phi=35^\circ$  ve  $\phi=40^\circ$  için) üç boyutlu nihai taşıma gücünü görebilmektir.(EK-10). Analizlerden hesaplanan nihai taşıma gücü değerleri, 2 boyutta elde edilen taşıma gücü değerleri ile karşılaştırılarak Şekil 4.7’de verilmiştir.



Şekil 4.7 Üç boyutta değişen içsel sürtünme açısının nihai taşıma gücüne etkisi

Bir diğler analiz grubunda  $c=80 \text{ kN/m}^2$   $\phi=0^\circ$  kabul edilen kohezyonlu zeminde temel boyutu değişimi ( $B=0.5\text{m}$ ,  $B=1\text{m}$  ve  $B=2\text{m}$  için) irdelenmiştir. Analiz çıktıları EK-11'de verilmiştir. Nihai taşıma gücü değerleri 2 boyutta hesaplanan değerler ile karşılaştırılmıştır. (şekil 4.8)



şekil 4.8 İki ve Üç boyutta temel genişliğine göre taşıma gücü değerinin değişimi



## 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında yüzeysel temelerde taşıma gücünü irdeleyebilmek için 2 ve 3 boyutlu sonlu elemanlar yardımıyla analizler yapılmış bulunan sonuçlar hem kendi içinde hem de Terzaghi ile Meyerhof'un değerleri ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma ile şu sonuçlara ulaşılmıştır.

1-Sonlu elemanlar ile 2 boyutlu yapılan çözümler Terzaghi ve Meyerhof'un sonuçları ile uyumludur. Fakat 3 boyutlu yapılan çözümlerde Terzaghi ve Meyerhof'a göre daha yüksek değerler elde edilmiştir. Bu da 3. boyutun etkisinden olmuştur.

2- Kohezyonlu zeminde kohezyon değeri arttıkça zeminin nihai taşıma gücü artmaktadır. Bu durum 2 ve 3 boyut içinde geçerlidir. Buna bağlı olarak uyumlu  $N_c$  değerleri hesaplanabilmiştir. 2 ve 3 boyutlu sonlu elemanlar çözümlemesinde elde edilen  $N_c$  değeri, teorilerde elde edilen  $N_c$  değerleriyle örtüşmektedir.

3- Kohezyonsuz zeminde yapılan analizler, hem 2 hem de 3 boyutta oldukça düşük değerler vermiştir. Bu durum gerçeği yansıtmamaktadır. Taşıma gücü hesaplarında sadece temel genişliği ve birim hacim ağırlığı değil  $N_\gamma$  değeri irdelenmesinin önemi ortaya çıkmıştır. Yapılan analizler neticesinde hem 2 hem de 3 boyutlu bulunan taşıma gücü değerleri teoride hesaplanandan oldukça düşük bulunmuştur.

4- İki ve üç boyutlu sonlu elemanlar analizlerinde taşıma gücü üzerinde temelin pürüzlülüğü veya düzlüğü kohezyonlu zeminde önemli etken değilken kohezyonsuz zeminde oldukça önemli bir parametre olduğu ortaya çıkmıştır.

5- Taşıma gücü analizinde sürsaj önemli parametrelerden biridir. Teoride olduğu gibi sürsajın etkisi, 2 ve 3 boyutlu yapılan analizler ile taşıma gücünde artışlar olmuştur.

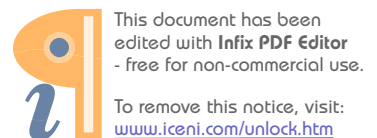
6- Temel genişliği arttıkça nihai taşıma gücü değeride artmaktadır. Bu durum 2 ve 3 boyut içinde geçerliliğini korumuştur.

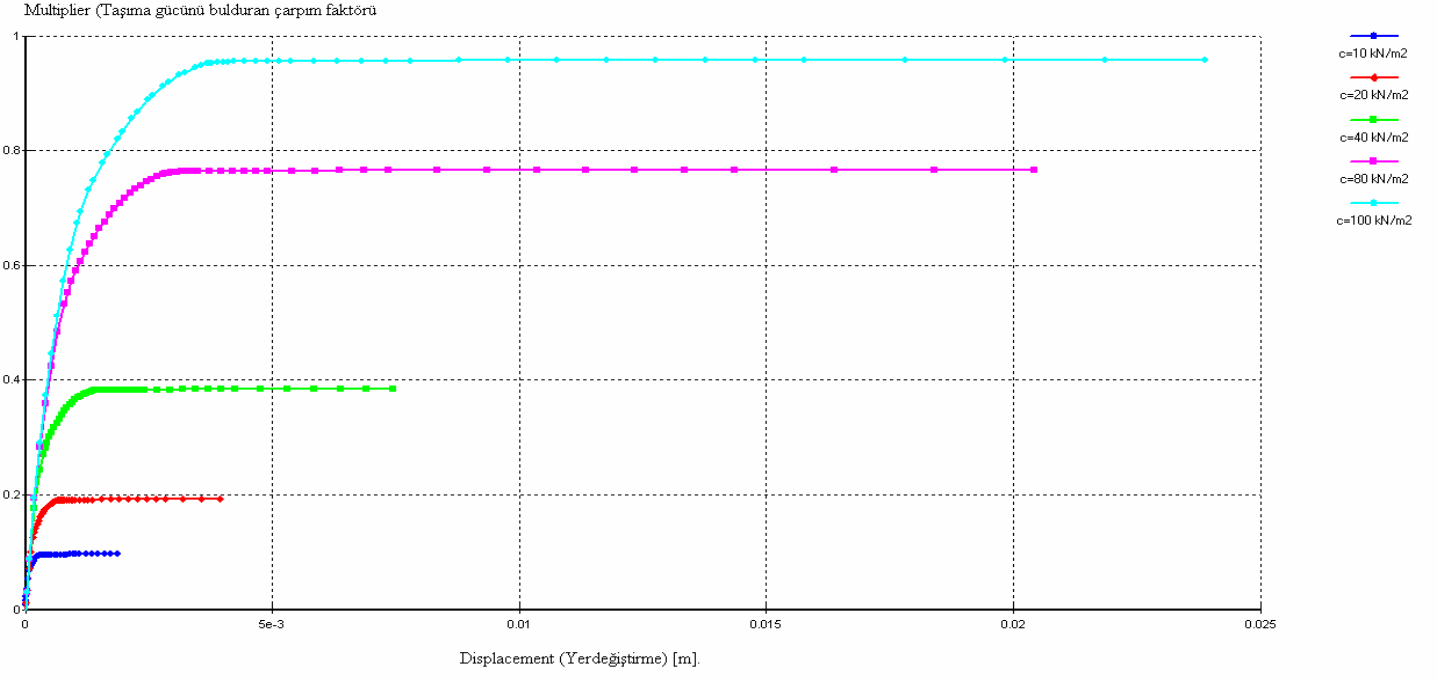
7- Sonlu elemanlar ile yapılan model çalışmalarında, özellikle kohezyonsuz zeminlerde taşıma gücü ve etki eden faktörler üzerine yoğun çalışmaların yapılmasına ihtiyaç duyulduğu bu çalışmayla da gözler önüne serilmiştir.

## 6. KAYNAKLAR

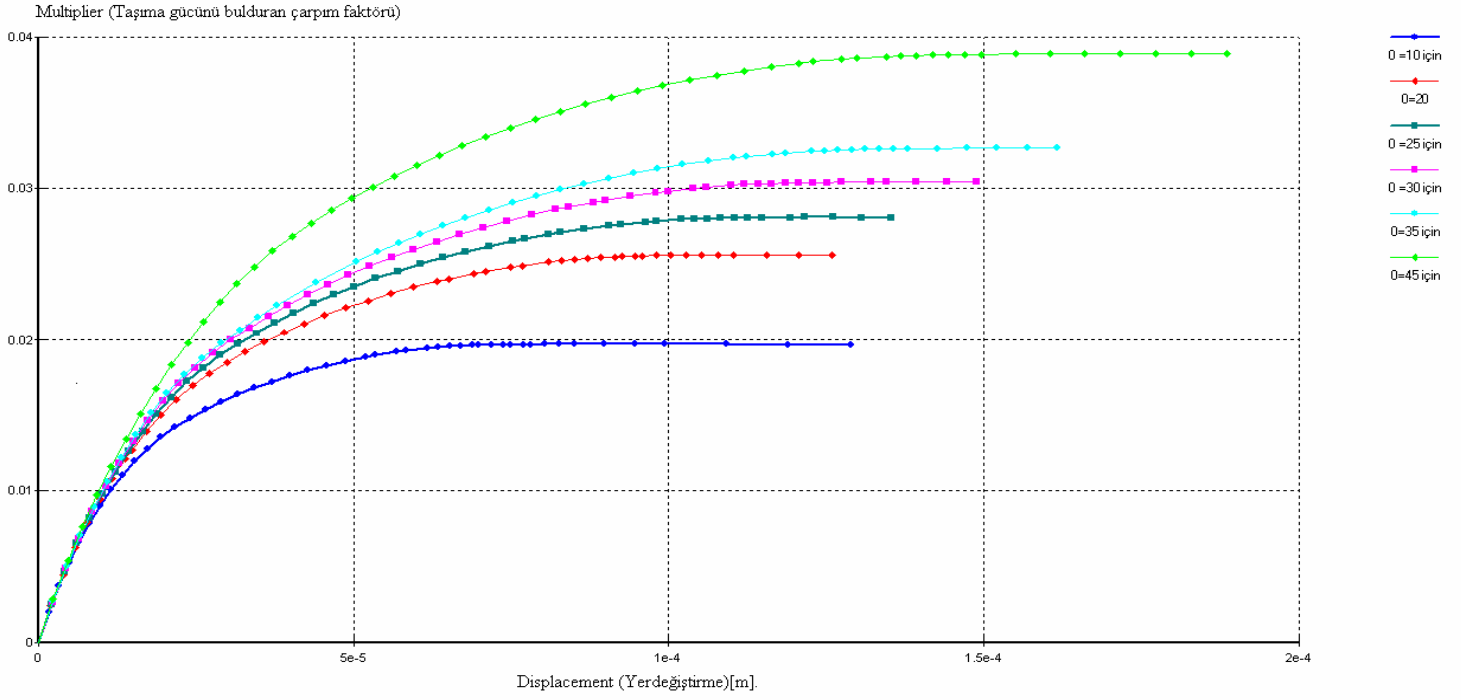
- Atkinson J. H (1999). Shallow Foundations: Bearing capacity and settlement, CRC Press LLC,500p,USA.
- Bowles J. E (1997). Bearing Capacity. Foundation Analysis and Desin, Mc Graw – Hill,180 - 215.
- Çinicioğlu F (2005). Zeminlerde Statik ve Dinamik Yükler Altında Taşıma Gücü Anlayışı ve Hesabı, www. İstanbul.edu.tr/eng2/jfm/ozcep/zemin/Cinicioglu.pdf.
- Das B.M (1993). An Introduction to the Mechanics of Soil and Foundation, Mc Graw-Hill Book Company Europe, 328p, Bershire, England.
- Griffiths D.V (1982). Computation of Bearing Capacity Factors Using Finite Elements. Geotechnique 32: 195-202.
- Manoharan N, Dasgupta S.P (1995). Bearing Capacity of Surface Footings by Finite Elements. Pergamon.563-586.
- Murthy V. N. S (2003). An Overview of Bearing Capacity Theories. Principles and Practies of Soil Mechanics and Foundation Engineering, Marcel Dekker, Inc, 487 – 496.
- Önalp A, Sert S (2006). Geoteknik Bilgisi III Bina Temelleri. Birsen Yayınevi, 376s, İstanbul.
- Uzuner B.A, Tan Ö (1992).  $N_\gamma$  Taşıma Gücü Katsayısı Üzerine. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Dördüncü Ulusal Kongresi, 1,158-165, İstanbul
- Venkatramaiah C (1993). Bearing Capacity. Geotechnical Engineering, New Age International Limited, 624 – 657.
- Woodward P,K, Berenji A.P (2001). Advanced numerical investigation of Terzaghi's superposition theory. Advances in engineering software 32: 797-804.
- Yıldırım S (2004). Zemin İncelemesi ve Temel Tasarımı. Birsen Yayınevi, 471s, İstanbul.
- Zhu D.Y, Lee C.F, Jiang H.D(2001). A Numerical Study of the Bearing Capacity Factor  $N_\gamma$ . Can. Geotech. J. 38: 1090-1096.

# E K L E R

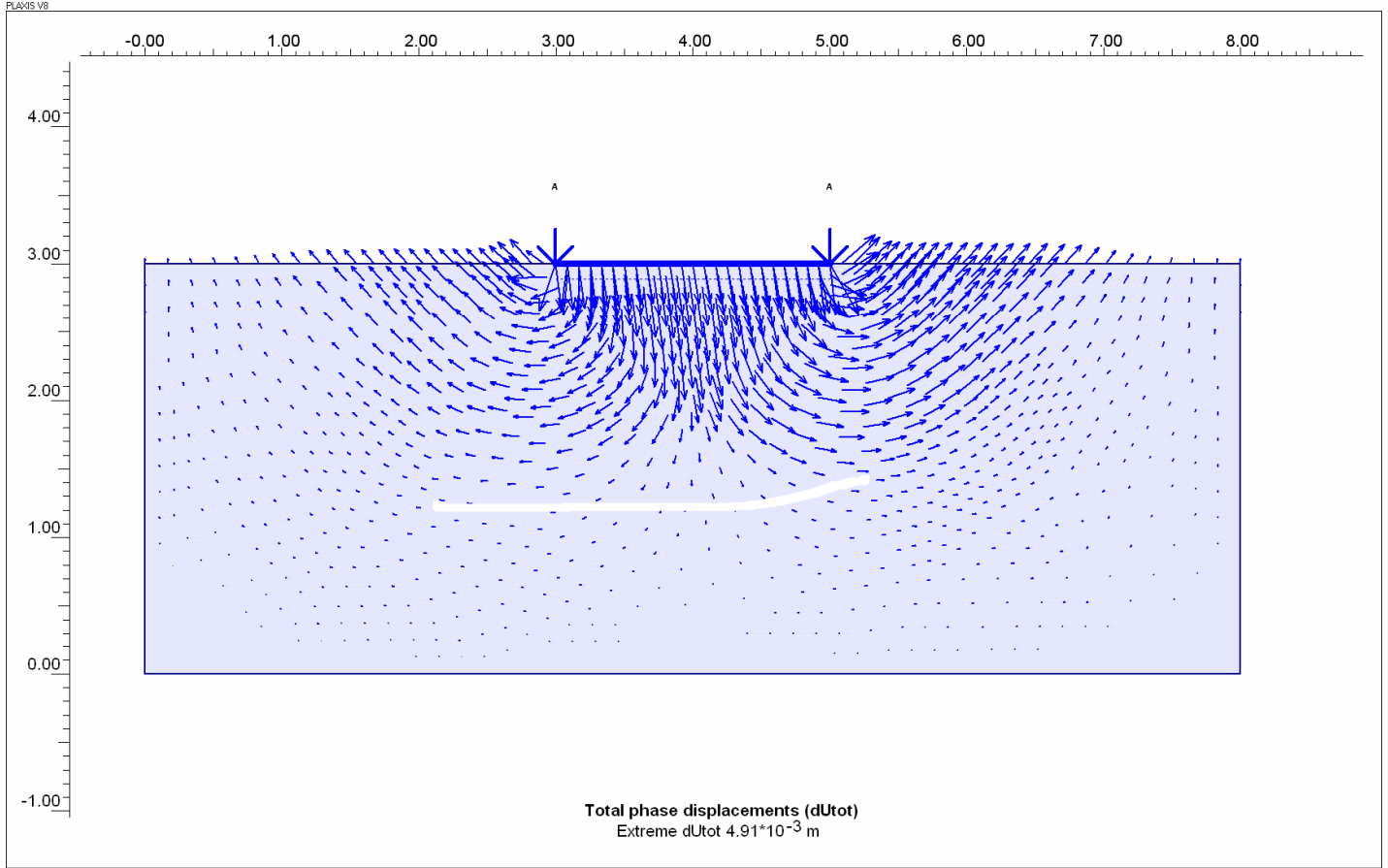




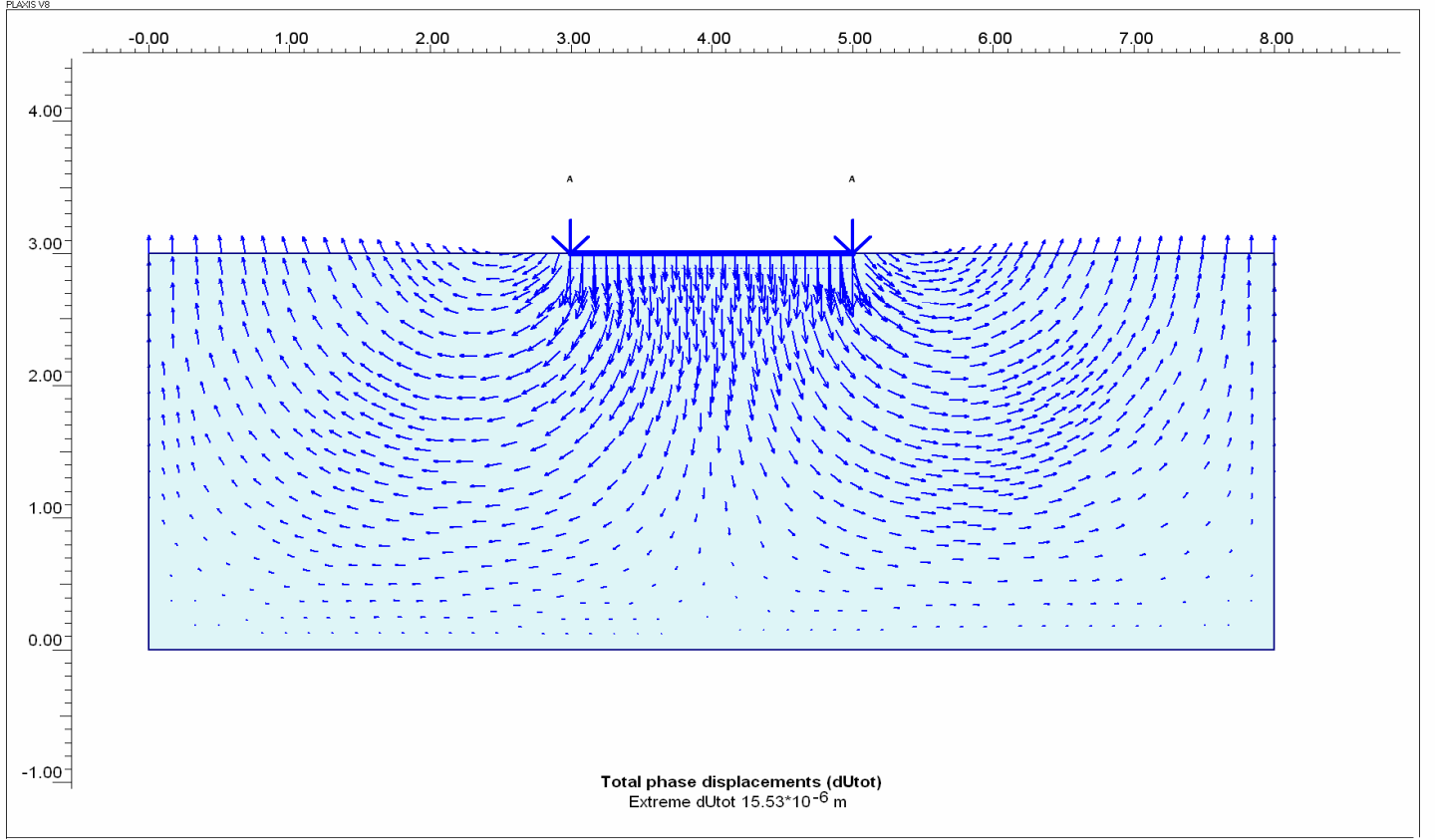
EK – 1. İki boyutlu analizlerde farklı kohezyon (c) değerleri için yerdeğiştirme - taşıma gücünü bulduran çarpım faktörü grafiği



EK - 2. İki boyutlu analizlerde farklı içsel sürtünme açısı ( $\theta$ ) değerleri için yerdeğiştirme – taşıma gücünü bulduran çarpım faktörü grafiği

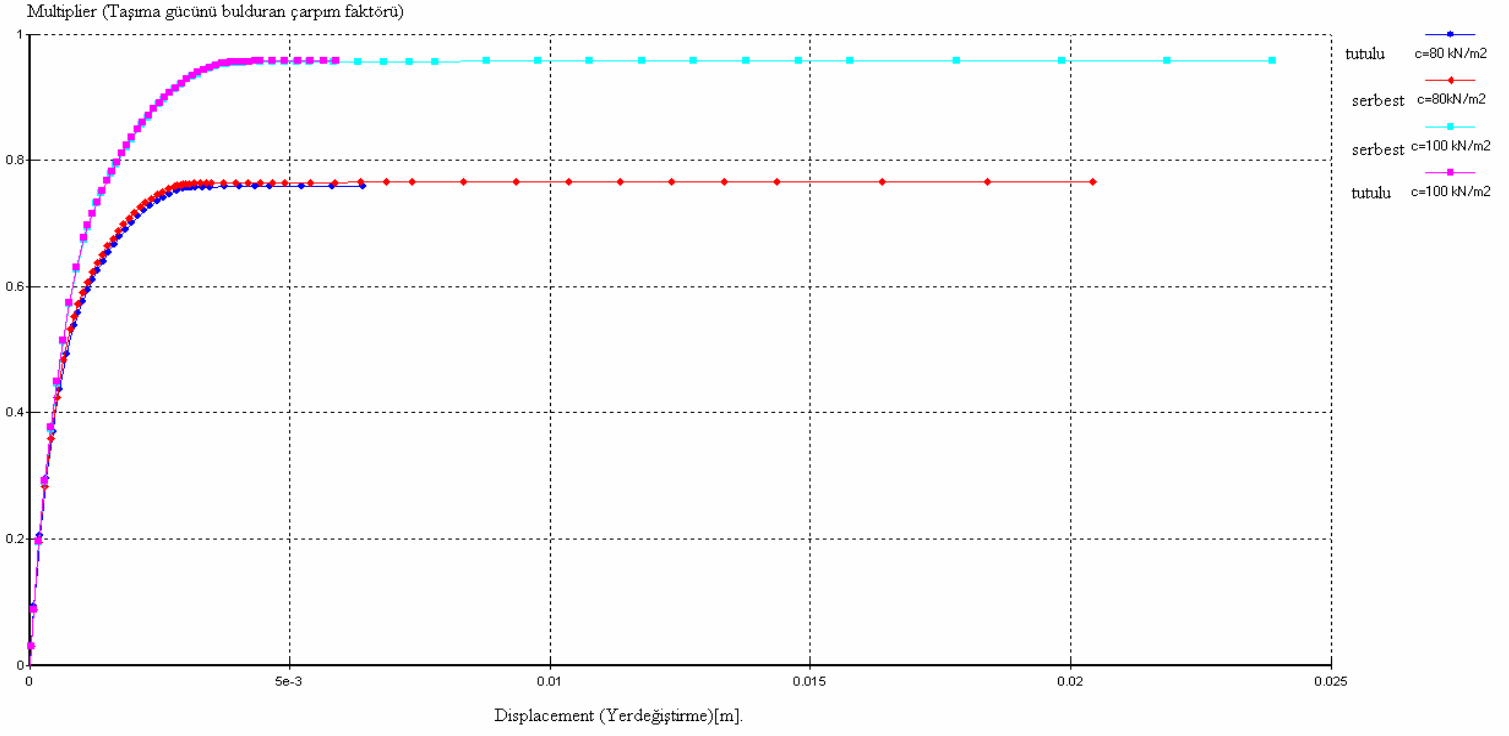


EK – 3. İki boyutlu, kohezyonlu zeminde ( $c=40 \text{ kN/m}^2$   $\phi=0^\circ$ )interfaceli (araelemanlı)şartlarda temel altındaki gerilme yayılımının vektörel gösterimi

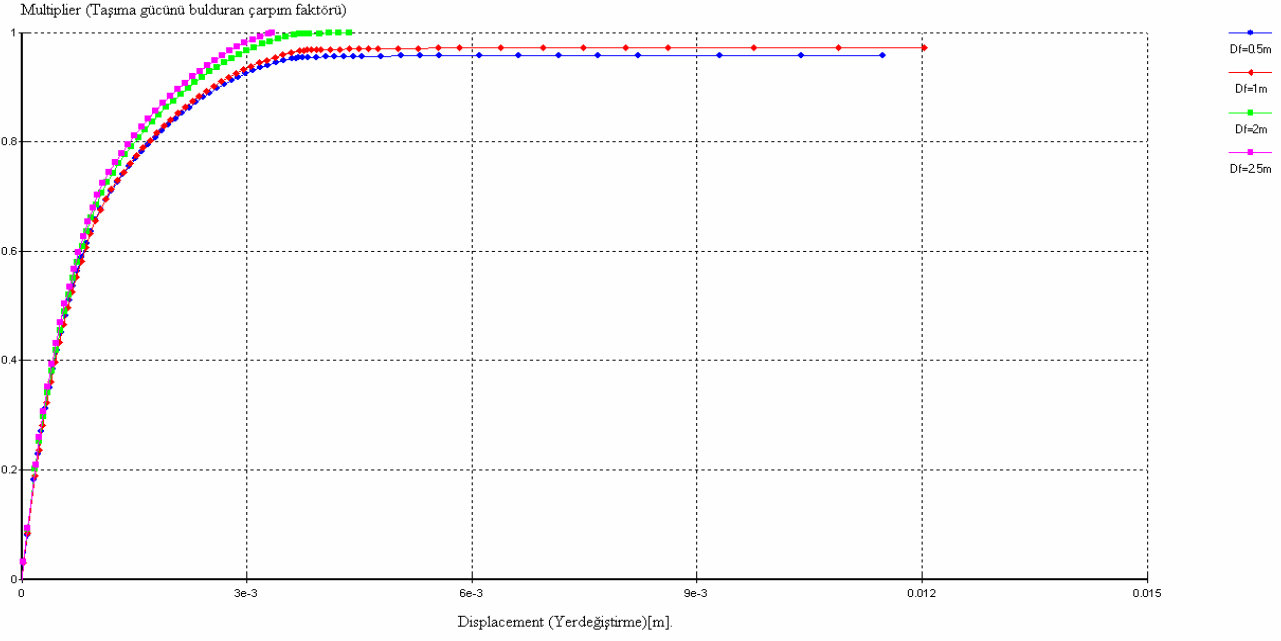


EK- 4. İki boyutlu, kohezyonsuz zeminde ( $c=1 \text{ kN/m}^2$   $\phi=35^\circ$ ) interfaceli (ara elemanlı) şartlarda temelin yer değiştirmesinin vektörel gösterimi

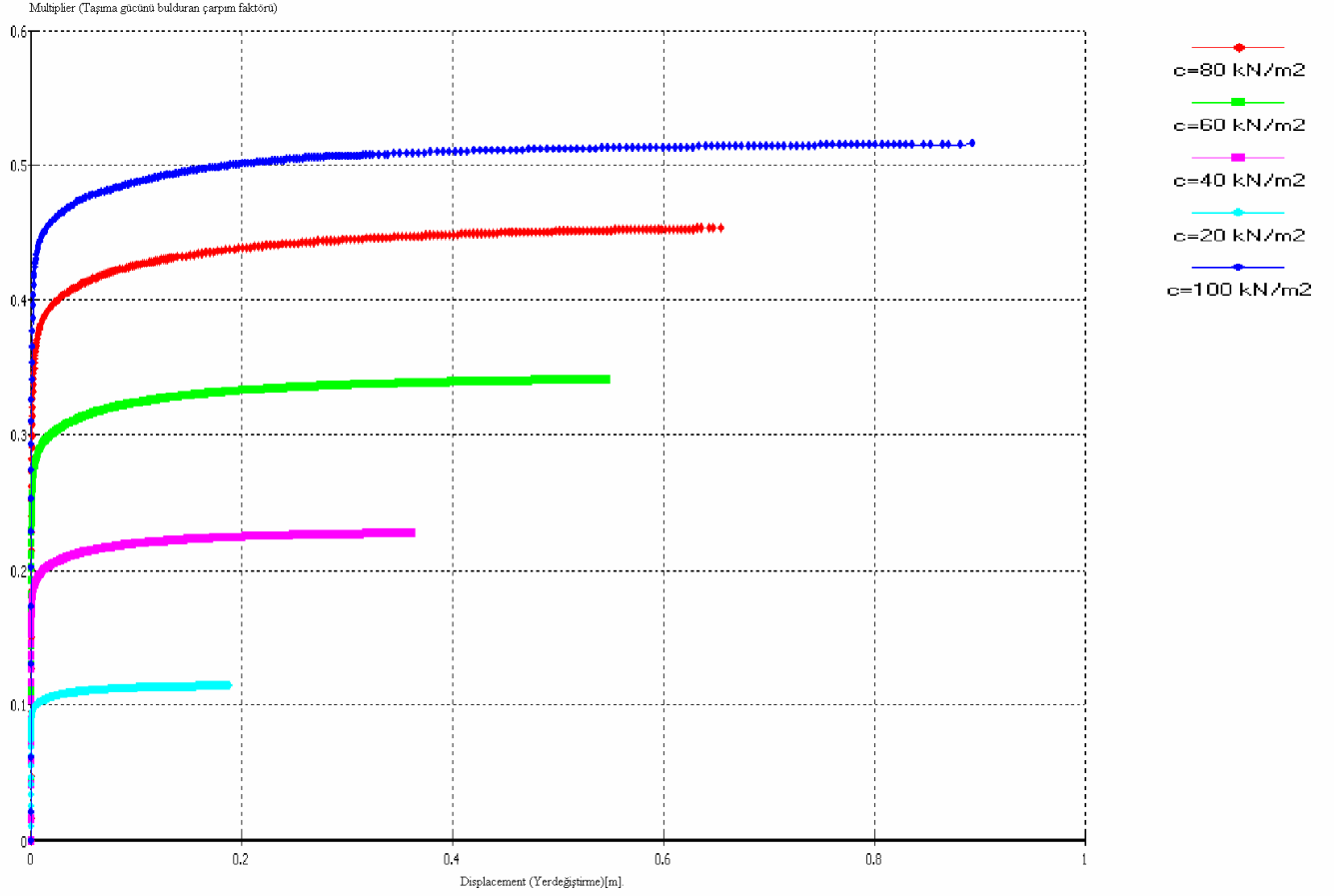




EK – 5. İki boyutlu analizlerde kohezyonlu zeminde rijit sürtülmeli temelde yerdeğiştirme – taşıma gücünü bulduran çarpım faktörü

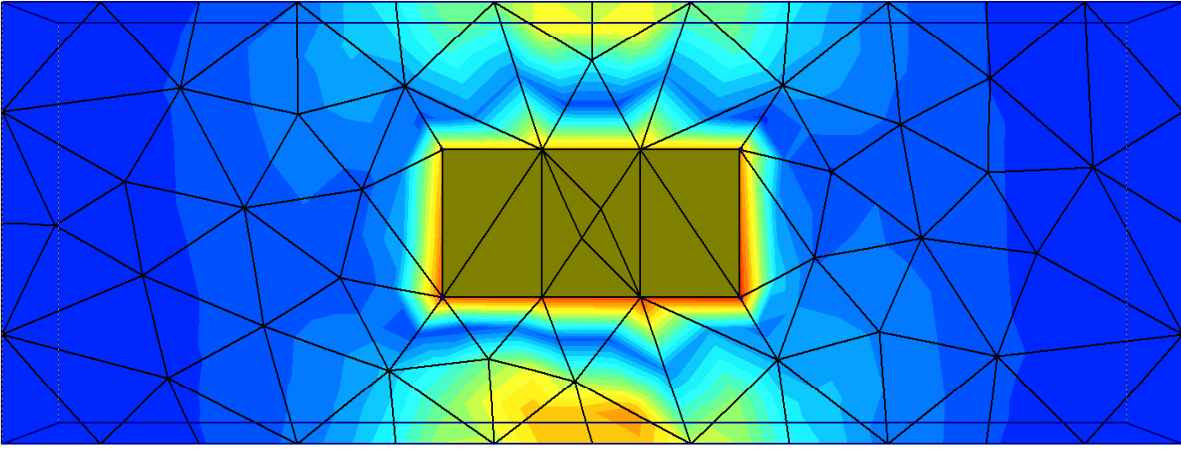
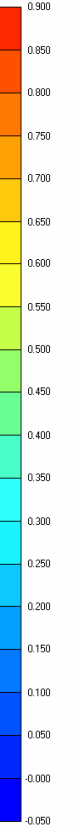


EK – 6. İki boyutlu analizlerde temel derinliğinin taşıma gücüne etkisi



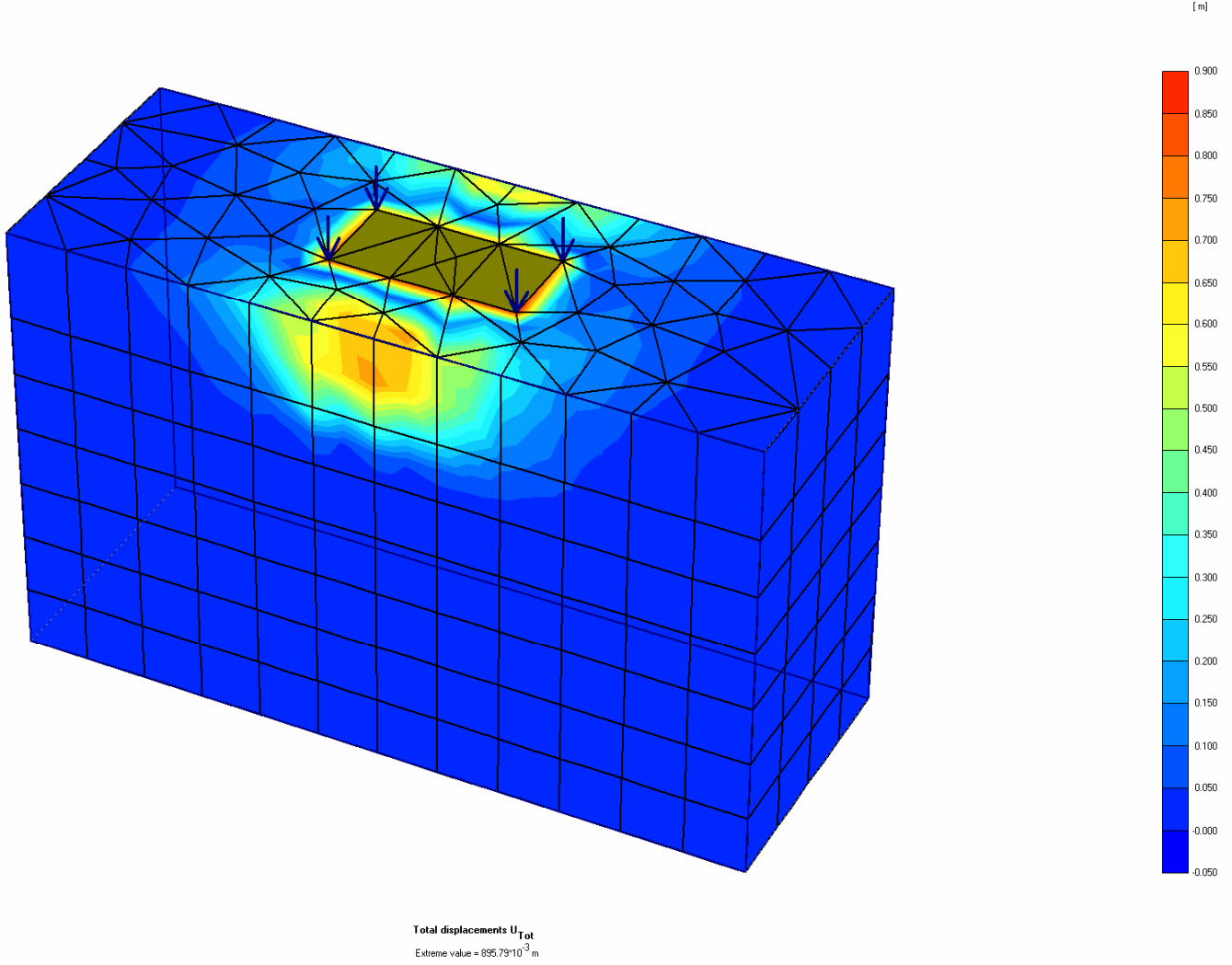
EK – 7. Üç boyutlu analizlerde farklı kohezyon değerleri için yerdeğiştirme – taşıma gücünü bulduran çarpım faktörü grafiği

[m]

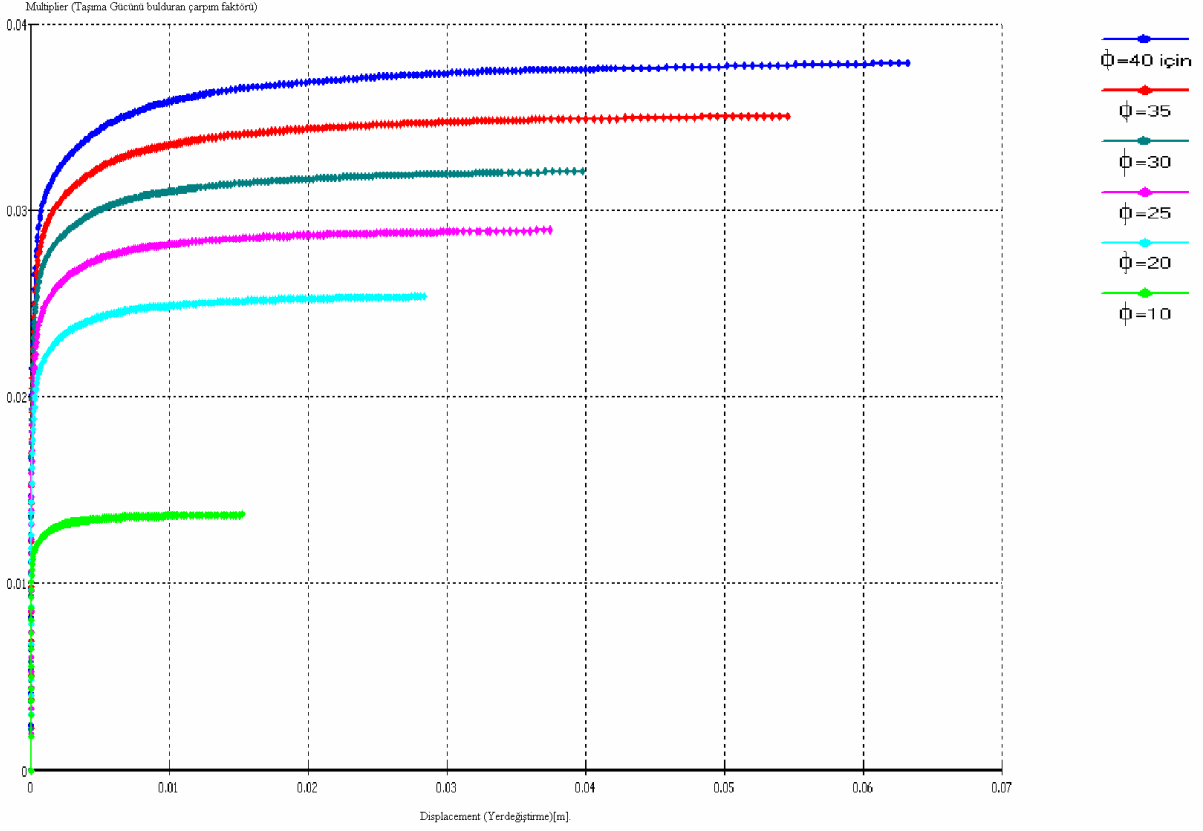


Total displacements  $U_{Tot}$   
Extreme value =  $895.79 \cdot 10^{-2}$  m

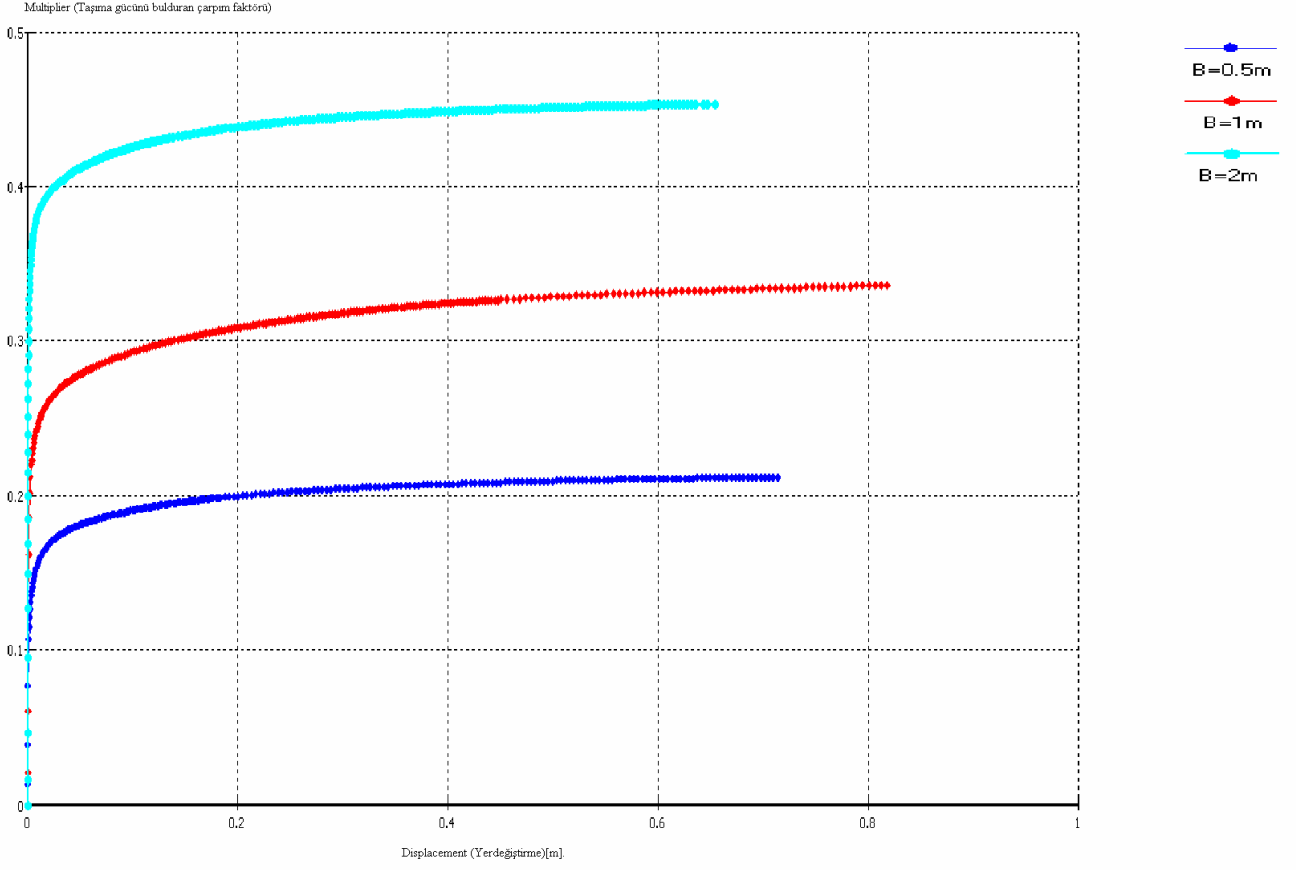
Ek – 8. Üç boyutlu analizlerde yük altında temelin oturması (üstten görünüm)



EK – 9. Üç boyutlu analizlerde yük altında temelin oturması (perspektif görünüm)



EK – 10. Üç boyutlu analizde farklı içsel sürtünme açısı değerlerine göre yerdeğiştirme – taşıma gücünü bulduran çarpım faktörü grafiği



EK – 11. Üç boyutlu analizlerde farklı temel genişlikleri için yerdeğiştirme – taşıma gücünü bulduran çarpım faktörü grafiği

## ÖZGEÇMİŞ

İstanbulda doğdu .İlk –orta ve lise eğitimini İstanbul’da tamamladı.1992-1996 arasında İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği bölümünden mezun oldu