



## Comparison of the shape, depth and $N_\gamma$ factors used in the bearing capacity equation

Mustafa ÖZER<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Gazi University, Faculty of Technology, Department of Civil Engineering, 06500, Yenimahalle/ANKARA

### Graphical/Tabular Abstract

#### Article Info:

Research article  
Received: 01.11.2021  
Revision: 11.12.2021  
Accepted: 13.12.2021

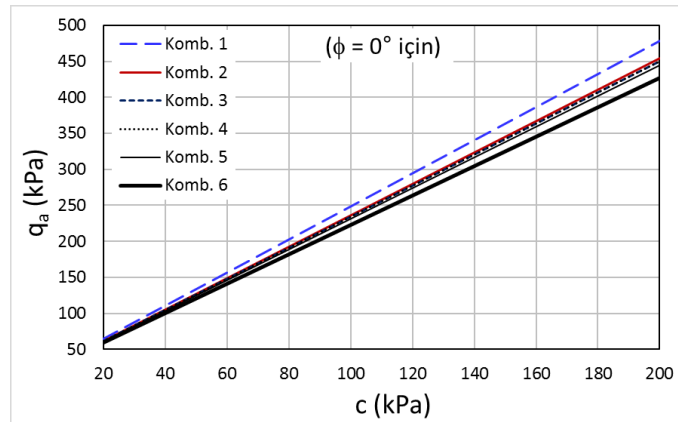
#### Highlights

- Terzaghi equation
- Bearing capacity factors
- Correction factors

#### Keywords

Shallow foundation  
Bearing capacity  
Shape factor  
Depth factor  
TBEC-2018

In this study, using different equations generally accepted in the literature for the shape, depth and  $N_\gamma$  coefficients in the general bearing capacity equation used in the calculation of the bearing capacity of shallow foundations, safe bearing capacity values were calculated for varying soil conditions from  $c=20$  to 200 kPa and from  $\phi=0$  to  $40^\circ$  and the results were compared with each other.



**Figure A.** Comparison of the allowable bearing capacity values calculated with different combination equations for  $\phi=0^\circ$ ,  $B/L=0.625$  and  $D/B=0.3$

**Purpose:** There are different equations suggested by different researchers in the literature for the correction factor used in the general bearing capacity equation. In addition, although there is a general agreement in the literature for  $N_c$  and  $N_q$ , there are many different equations for  $N_\gamma$  in the literature. In order to decide which of these factors to use while designing the foundation, it is important to know how these factors affect the foundation design and which factors will be used to obtain safer results.

**Theory and Methods:** In this study, safe bearing capacity values were calculated for different ground conditions ranging from  $c=20$  to 200 kPa and from  $\phi=0$  to  $40^\circ$  using different equations generally accepted in the literature, and the results were compared with each other.

**Results:** In the  $\phi=0^\circ$  analyses, the lowest (safest) bearing capacity values were obtained by Meyerhof [10]'s shape and depth factors, and the highest bearing capacity values were obtained by De Beer [12]'s shape and Hansen [13]'s depth factors. In the “ $c-\phi$ ” analyses, the lowest (safest) bearing capacity values for soils with approximately  $\phi < 20^\circ$  were obtained by Meyerhof [10]'s shape, depth and  $N_\gamma$  factors. As for the soils with approximately  $\phi > 20^\circ$ , the lowest (safest) bearing capacity values were obtained using the shape factors with  $\sin\phi$  proposed by De Beer [12],  $d_c$  factors suggested by Vesic [15] and  $d_q$  and  $d_\gamma$  factors proposed by Hansen [13] and  $N_\gamma$  factor suggested in TBEC [18].

**Conclusion:** It has been observed that there is a significant difference between the bearing capacity values calculated with the different relations suggested in the literature for shape, depth and  $N_\gamma$  coefficients, and this difference is not constant, but changes depending on the cohesion value in  $\phi=0^\circ$  analyzes and the internal friction angle in “ $c-\phi$ ” analyses.



## Comparison of the shape, depth and $N_\gamma$ factors used in the bearing capacity equation

Mustafa ÖZER<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 06500, Yenimahalle/ANKARA

### Abstract

In this study, allowable bearing capacity values using different equations generally accepted in the literature for shape, depth and  $N_\gamma$  factors in the general bearing capacity equation used in bearing capacity calculation of shallow foundations were calculated for different soil conditions varying from  $c=20$  kPa to 200 kPa and from  $\phi=0^\circ$  to  $40^\circ$  and the results obtained were compared with each other. In the bearing capacity calculations, a residential type building resting on a mat foundation has been taken into account, and it has been assumed that the resultant of column loads from the building to the foundation are perpendicular to the foundation and at the center of the foundation, ground surface are level, and foundation base are horizontal. Earthquake and moment effects were not taken into account in the calculations, and static loading conditions were assumed to be valid. According to the results obtained; In the  $\phi=0^\circ$  analyses, the lowest (safest) bearing capacity values were obtained by Meyerhof [10]'s shape and depth factors, and the highest bearing capacity values were obtained by De Beer [12]'s shape and Hansen [13]'s depth factors. In the “c- $\phi$ ” analyses, the lowest (safest) bearing capacity values for soils with approximately  $\phi<20^\circ$  were obtained by Meyerhof [10]'s shape, depth and  $N_\gamma$  factors. As for the soils with approximately  $\phi>20^\circ$ , the lowest (safest) bearing capacity values were obtained using the shape factors with  $\sin\phi$  proposed by De Beer [12],  $d_c$  factors suggested by Vesić [15] and  $d_q$  and  $d_\gamma$  factors proposed by Hansen [13] and  $N_\gamma$  factor suggested in TBEC [18].

### Makale Bilgisi

Araştırma makalesi  
Başvuru: 01.11.2021  
Düzeltilme: 11.12.2021  
Kabul: 13.12.2021

### Keywords

Shallow foundation  
Bearing capacity  
Shape factor  
Depth factor  
TBEC-2018

### Anahtar Kelimeler

Sığ temel  
Taşıma gücü  
Şekil katsayısı  
Derinlik katsayısı  
TBDY-2018

### Taşıma gücü bağıntısında kullanılan şekil, derinlik ve $N_\gamma$ katsayılarının karşılaştırılması

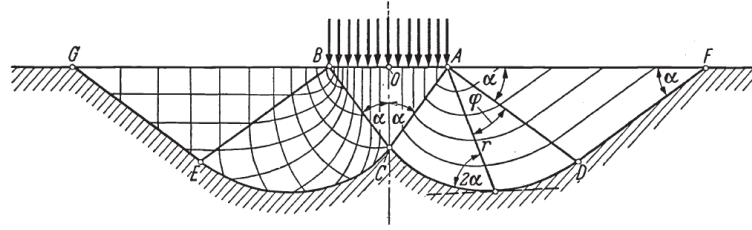
### Öz

Bu çalışmada, sığ temellerin taşıma gücünün hesaplanmasında kullanılan genel taşıma gücü bağıntısındaki şekil, derinlik ve  $N_\gamma$  katsayıları için literatürde genel kabul görmüş farklı bağıntılar kullanılarak  $c=20$  kPa'dan 200 kPa'ya ve  $\phi=0^\circ$ 'den  $40^\circ$ 'ye kadar değişen farklı zemin koşulları için emniyetli taşıma gücü değerleri hesaplanmış ve sonuçları birbiriyle karşılaştırılmıştır. Taşıma gücü hesaplamalarında, radye temel üzerine oturan konut tipi bir bina dikkate alınmış olup, yapıdan temele gelen kolon yüklerinin temelin merkezine ve temele dik, zemin yüzeyinin ve temel tabanının düz olduğu kabul edilmiştir. Hesaplamalarda statik yükleme koşullarının geçerli olduğu kabul edilmiş olup deprem etkisi ve moment etkileri dikkate alınmamıştır. Elde edilen sonuçlara göre;  $\phi=0^\circ$  analizlerinde, en düşük (en emniyetli) taşıma gücü değerlerinin Meyerhof'un [10] şekil ve derinlik katsayıları, en yüksek taşıma gücü değerlerinin ise De Beer'in [12] şekil katsayıları ve Hansen'in [13] derinlik katsayıları kullanılarak elde edilmiştir. “c- $\phi$ ” analizlerinde ise; yaklaşık  $\phi<20^\circ$  olan zeminlerde en düşük (en emniyetli) taşıma gücü değerleri Meyerhof'un [10] şekil, derinlik ve  $N_\gamma$  katsayıları kullanılarak elde edilmiştir. Yaklaşık  $\phi>20^\circ$  olan zeminlerde ise en düşük (en emniyetli) taşıma gücü değerleri, şekil katsayıları için De Beer'in [12]  $\sin\phi$ 'li bağıntıları, derinlik katsayılarından  $d_c$  için Vesić'in [15],  $d_q$  ve  $d_\gamma$  için Hansen'in [13] bağıntıları ve  $N_\gamma$  katsayısı için TBDY-2018'de [18] önerilen bağıntı kullanılarak elde edilmiştir.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Temellerin, yapıdan gelen tasarım yüklerini emniyetli bir şekilde zemine aktarabilmesi için hem taşıma gücü hem de oturma bakımından yeterli olması gerekmektedir. Sığ temellerin taşıma gücünün hesaplanması için günümüzde halen yaygın olarak kullanılan taşıma gücü bağıntısı ilk kez 1943’de Terzaghi [1] tarafından önerilmiştir. Ancak, Terzaghi [1] tarafından önerilen taşıma gücü bağıntısının kökleri 1920’lere Prandtl [2] ve Reissner’in [3] çalışmalarına kadar uzanmaktadır [4].

Prandtl [2], inşaat mühendisliğinden ziyade makine mühendisliği amaçlarına yönelik olarak gerçekleştirdiği çalışmasında [4] plastik bir malzemenin yüzeyine oturan metal bir plakanın, plastik malzemede meydana getirdiği etkileri iki boyutlu bir düzlemde ele alarak aşağıdaki gibi çözümlenmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Prandtl'in yenilme mekanizması [2]

Prandtl [2] tarafından gerçekleştirilen çözümlenmelerin sonucunda elde edilen bağıntılar günümüzdeki güncel geoteknik simgelerine ve kavramlarına dönüştürüldüğünde Eş.1’de verilen bağıntı elde edilmektedir.

$$q_u = c \left[ \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right) e^{\pi \tan \phi} - 1 \right] \cot \phi \quad (1)$$

Eş. 1’de,  $c$ ’nin yanındaki terim  $N_c$  ile ifade edilecek olursa, Eş. 1.1 ve 1.2 elde edilmektedir [2, 5].

$$q_u = c N_c \quad (1.1)$$

$$N_c = \left[ \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right) e^{\pi \tan \phi} - 1 \right] \cot \phi \quad (1.2)$$

Prandtl [2] tarafından elde edilmiş olan  $N_c$  terimi (Eş. 1.2) sonraki yıllarda “taşıma gücü katsayısı” olarak adlandırılmış olup [5], günümüzde sığ temellerin taşıma gücünün hesaplanmasında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Prandtl [2] tarafından geliştirilen yenilme mekanizmasını inşaat mühendisliği amaçlarına yönelik olarak ele alan Reissner [3], Şekil 1’de görülen yenilme mekanizmasında yüklü alanın kenarlarına gömülü temelleri temsilen sürşarj yükü ekleyerek yeni çözümlenmeler gerçekleştirmiş ve sürşarj yükünün etkisini hesaba katan bir bağıntı geliştirmiştir [3, 4]. Reissner’in [3] çözümlenmeleri sonucunda elde ettiği bağıntılar günümüzdeki geoteknik simgelerine ve kavramlarına dönüştürüldüğünde Eş.2’de verilen bağıntı elde edilmektedir.

$$q_u = q \left[ \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right) e^{\pi \tan \phi} \right] \quad (2)$$

Eş. 2’de köşeli parantez içindeki terim  $N_q$  ile ifade edilecek olursa, Eş. 2.1 ve 2.2 elde edilmektedir [5].

$$q_u = q N_q \quad (2.1)$$

$$N_q = \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right) e^{\pi \tan \phi} \quad (2.2)$$

Eş. 2.2’de görülen  $N_q$  terimi sürşarj yükünün etkisini hesaba katan taşıma gücü katsayısı olarak günümüzde sığ temellerin taşıma gücünün hesaplanmasında yaygın olarak kullanılmaktadır.  $N_c$  ve  $N_q$  bağıntılarının ortak terimler içermesi nedeniyle birçok kaynakta  $N_c$  terimi Eş. 2.3’te verildiği gibi de ifade edilmektedir [5].

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi \quad (2.3)$$

Hesaplamalarda kolaylık olması bakımından Prandtl [2] ve Reissner [3] tarafından gerçekleştirilen çözümlerinde malzemenin (zeminin) kendi ağırlığı ihmal edilmiştir [4].

Terzaghi [1], Prandtl [2] tarafından geliştirilen yenilme mekanizmasını dikkate alarak zeminin kendi ağırlığını da hesaba katan bir bağıntı ( $N_\gamma$  katsayısını içeren bir bağıntı) geliştirmiştir. Terzaghi [1], kendi geliştirdiği bağıntı ile birlikte Prandtl [2] ve Reissner [3] tarafından geliştirilen bağıntıları süperpozisyon ilkesine göre toplayarak derinliği genişliğinden az veya eşit olan ( $D_f \leq B$ ) şerit temellerin taşıma gücünün hesaplanması için Eş.3’te verilen bağıntıyı önermiştir.

$$q_u = c N_c + \gamma'_1 D_f N_q + 0.5 \gamma'_2 B N_\gamma \quad (3)$$

Terzaghi [1], homojen zeminler üzerine oturan şerit temeller için önermiş olduğu bu bağıntıya kuramsal ve deneysel sonuçlara dayanan bazı katsayılar ekleyerek bağıntıyı kare ve dairesel temelleri de kapsayacak şekilde genişletmiş ve kare temeller için Eş. 3.1, dairesel temeller için Eş. 3.2’de verilen bağıntıları önermiştir.

$$q_u = 1.3 c N_c + \gamma'_1 D_f N_q + 0.4 \gamma'_2 B N_\gamma \quad (3.1)$$

$$q_u = 1.3 c N_c + \gamma'_1 D_f N_q + 0.3 \gamma'_2 B N_\gamma \quad (3.2)$$

Terzaghi’nin önerdiği taşıma gücü bağıntısında temel tabanı seviyesinin üstündeki zeminin kesme dayanımı ihmal edilmiş ve bu bölgedeki zeminin etkisi temel tabanı seviyesine etkiyen sürşarj yükü olarak hesaba katılmıştır (tasarımcıyı güvenli tarafta bırakan bir varsayım) [1]. Bununla birlikte, kolon yüklerinin temele dik olarak geldiği, temelin düz bir zemine oturduğu ve temel tabanının düz (yani zemin yüzeyine paralel) olduğu kabul edilmiştir [1]. Terzaghi [1] tarafından dikdörtgen temellerin taşıma gücünün hesaplanması için herhangi bir bağıntı veya katsayı önerilmemiştir. Terzaghi [1]’nin önerdiği taşıma gücü bağıntısındaki bu varsayımlardan dolayı, sonraki yıllarda birçok araştırmacının katkısıyla [Ör. 6-15] taşıma gücü bağıntısına dikdörtgen temelleri de kapsayacak şekilde temel şeklini, temel derinliğini, temele gelen yükün eğimini, zemin yüzeyinin eğimini ve temel tabanının eğimini hesaba katan bazı düzeltme katsayıları eklenmiş ve bağıntı daha da genişletilerek Eş. 4’te verilen nihai şeklini almıştır.

$$q_u = c N_c s_c d_c i_c g_c b_c + \gamma'_1 D_f N_q s_q d_q i_q g_q b_q + 0.5 \gamma'_2 B' N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma g_\gamma b_\gamma \quad (4)$$

Eş. 4’te verilen genişletilmiş taşıma gücü bağıntısında, Terzaghi [1] tarafından önerilen üç terimli temel biçiminin muhafaza edildiği görülmektedir.

Eş. 4’te verilen bağıntının geliştirilmesinde başta Terzaghi [1] olmak üzere birçok araştırmacının katkısı olduğu için [Ör. 6-15], bu çalışmada bu bağıntı tek bir araştırmacının ismiyle anılmayıp “*genel taşıma gücü bağıntısı*” olarak adlandırılmıştır (Ör. [16-18]’de olduğu gibi).

Genel taşıma gücü bağıntısında bulunan düzeltme katsayıları için literatürde farklı araştırmacılar tarafından önerilen farklı bağıntılar bulunmaktadır. Ayrıca,  $N_c$  ve  $N_q$  taşıma gücü katsayıları için literatürde genel bir mutabakat sağlanmış olsa da,  $N_\gamma$  taşıma gücü katsayısı için literatürde çok sayıda farklı bağıntı bulunmaktadır. Temel tasarımı yapılırken bu bağıntılardan hangisinin kullanılacağına karar verebilmek için, bu bağıntıların temel tasarımını ne yönde etkilediğinin ve hangi bağıntılar kullanıldığında daha

emniyetli sonuçlar elde edileceğinin bilinmesi önemlidir. Bununla birlikte, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 (TBDY-2018)'de [19], sığ temellerin taşıma gücü karakteristik dayanımının hesaplanması için Eş. 4'te verilen genel taşıma gücü bağıntısı önerilmiş olup, düzeltme katsayıları için literatüre dayanan ve genel kabul görmüş bağıntıların kullanılabilmesi belirtilmiştir. Bu nedenle sığ temel tasarımı yapılırken bu düzeltme katsayılarının bilinçli ve doğru bir şekilde seçilmesinin önemi daha da artmıştır.

Bu çalışmada, literatürde genel kabul görmüş farklı araştırmacılar tarafından önerilen şekil, derinlik ve  $N_\gamma$  katsayılarının taşıma gücü üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu amaçla, genel taşıma gücü bağıntısında şekil ve derinlik düzeltme katsayıları ve  $N_\gamma$  taşıma gücü katsayısı için literatürde genel kabul görmüş farklı bağıntılar kullanılarak  $c=20$  kPa'dan 200 kPa'ya,  $\phi=0^\circ$ 'den  $40^\circ$ 'ye kadar değişen farklı zemin koşulları için emniyetli taşıma gücü değerleri hesaplanmış ve sonuçları birbiriyle karşılaştırılmıştır. Taşıma gücü hesaplamalarında, radye temel üzerine oturan konut tipi bir bina dikkate alınmış olup, yapıdan gelen kolon yüklerinin bileşkesinin temelin merkezine ve temele dik etkidiği ve zemin yüzeyinin ve temel tabanının düz olduğu kabul edilmiştir. Bu durumda genel taşıma gücü bağıntısındaki  $i_c$ ,  $i_q$ ,  $i_\gamma$ ,  $g_c$ ,  $g_q$ ,  $g_\gamma$  ve  $b_c$ ,  $b_q$ ,  $b_\gamma$  katsayıları 1'e eşit olmaktadır. Hesaplamalarda statik yükleme koşullarının geçerli olduğu kabul edilmiş olup, deprem etkisi ve moment etkileri dikkate alınmamıştır.

## 2. GENEL TAŞIMA GÜCÜ BAĞINTISINDA KULLANILAN TAŞIMA GÜCÜ KATSAYILARI (BEARING CAPACITY FACTORS USED IN GENERAL BEARING CAPACITY EQUATION)

Geoteknik camiasında  $N_c$  ve  $N_q$  taşıma gücü katsayıları için sırasıyla Prandtl [2] ve Reissner [3] tarafından önerilen bağıntılar (sırasıyla Eş. 1.2 ve 2.2) üzerinde genel bir mutabakat sağlandığı görülmektedir. Nitekim hem Terzaghi [1] hem de genel taşıma gücü bağıntısında  $N_c$  ve  $N_q$  taşıma gücü katsayıları için sırasıyla Prandtl [2] ve Reissner [3] tarafından önerilen bağıntılar kullanılmaktadır. Ancak Terzaghi [1] tarafından önerilen  $N_\gamma$  katsayı üzerinde genel bir mutabakat sağlanmış gibi görünmemektedir. Zira  $N_\gamma$  katsayısının belirlenmesi üzerine Terzaghi [1]'den sonra çok sayıda çalışma yapılmış olup, birçok araştırmacı tarafından farklı  $N_\gamma$  bağıntıları önerilmiştir. Bunlardan literatürde genel kabul görmüş olanları Çizelge 1'de verilmiştir.

*Çizelge 1. Literatürde önerilen bazı  $N_\gamma$  bağıntıları*

Kaynak	$N_\gamma$ bağıntıları	Eş. No
Hansen [9]	$N_\gamma = 1.8 (N_q - 1) \tan\phi$	(5.1)
Meyerhof [10]	$N_\gamma = (N_q - 1) \tan (1.4\phi)$	(5.2)
Hansen [13]	$N_\gamma = 1.5 (N_q - 1) \tan\phi$	(5.3)
Vesic [14]	$N_\gamma = 2 (N_q + 1) \tan\phi$	(5.4)
TBDY-2018 [19]	$N_\gamma = 2 (N_q - 1) \tan\phi$	(5.5)

TBDY-2018'de [19] önerilen  $N_\gamma$  bağıntısı Eurocode-7 (EC-7)'de [20] önerilen bağıntı ile aynı olup (Eş. 5.5), Çizelge 1'de bu bağıntıya da yer verilmiştir.

## 3. GENEL TAŞIMA GÜCÜ BAĞINTISINDA KULLANILAN DÜZELTME KATSAYILARI (CORRECTION FACTORS USED IN GENERAL BEARING CAPACITY EQUATION)

Genel taşıma gücü bağıntısında kullanılan ve literatürde genel kabul görmüş düzeltme katsayılarının önerildiği başlıca çalışmalar kronolojik sırayla aşağıda verilmiştir.

### 3.1. Skempton [6] Tarafından Önerilen Düzeltme Katsayıları (Correction Factors Proposed by Skempton [6])

Skempton [6], Terzaghi [1] tarafından önerilen taşıma gücü bağıntısını bazı düzeltme katsayılarıyla çarparak genişletme fikrini “muhtemelen” ilk ortaya atan ve uygulayan araştırmacı olmuştur. Skempton [6], killi zeminlerin taşıma gücünün belirlenmesi üzerine yapmış olduğu çalışmada, Terzaghi [1] tarafından önerilen taşıma gücü bağıntısını temel şeklini ve temel derinliğini hesaba katacak şekilde genişletmek için  $N_c$  katsayısını  $s_c$  ve  $d_c$  katsayılarıyla çarpmıştır. Skempton [6] tarafından önerilen  $s_c$  ve  $d_c$  katsayıları sırasıyla Eş. 6.1 ve 6.2’de verilmiştir.

$$s_c = 1 + 0.2 \frac{B}{L} \quad (6.1)$$

$$d_c = 1 + 0.2 \frac{D_f}{B} \quad (D_f/B < 2.5 \text{ için}) \quad (6.2)$$

$$d_c = 1.5 \quad (D_f/B > 2.5 \text{ için}) \quad (6.3)$$

Skempton [6]’ın çalışması killi zeminleri kapsadığı için Eş. 6.1 ila 6.3’te verilen bağıntılar  $\phi = 0^\circ$  için geçerlidir.

### 3.2. Meyerhof [7, 8] Tarafından Önerilen Düzeltme Katsayıları (Correction Factors Proposed by Meyerhof [7, 8])

Meyerhof [7], sıg temellerin taşıma gücünün hesaplamasında eksantrik ve eğimli yüklerin etkisini belirlemek için killi ve kumlu zeminler üzerinde laboratuvar ortamında küçük ölçekli model deneyler gerçekleştirmiş ve elde ettiği sonuçları grafikler halinde yayımlamıştır. Meyerhof [8], Meyerhof [7] tarafından elde edilen deneysel sonuçlara ve kuramsal çözümlere dayanarak eğimli yüklerin etkisini hesaba katmak için aşağıda verilen yük eğim katsayılarını önermiştir.

$$i_c = i_q = (1 - \delta/90^\circ)^2 \quad (7.1)$$

$$i_\gamma = (1 - \delta/\phi)^2 \quad (7.2)$$

Eş. 7.1 ve 7.2’deki  $\delta$  açısı derece cinsinden ifade edilmiştir.

### 3.3. Hansen [9] Tarafından Önerilen Düzeltme Katsayıları (Correction Factors Proposed by Hansen [9])

Hansen [9], Skempton [6] tarafından ortaya atılan taşıma gücü bağıntısını düzeltme katsayılarıyla çarparak genişletme fikrini benimsemiş ve taşıma gücü bağıntısına temel şeklini, temel derinliğini ve temele gelen yüklerin eğimini hesaba katan düzeltme katsayıları ekleyerek Eş. 8’de verilen bağıntıyı önermiştir.

$$q_u = cN_c s_c d_c i_c + \gamma_1 D_f N_q s_q d_q i_q + 0,5 \gamma_2 B N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma \quad (8)$$

Hansen [9],  $N_c$  ve  $N_q$  için sırasıyla Prandtl [2] ve Reissner [3] tarafından önerilen bağıntıları (sırasıyla Eş. 1.2 ve 2.2) dikkate almış olup,  $N_\gamma$  için ise deneysel gözlemlerine dayanarak Eş. 5.1’de verilen bağıntıyı önermiştir (Çizelge 1).

Hansen [9], küçük ve tam ölçekli deney sonuçlarına dayanarak şekil katsayıları için aşağıda verilen bağıntıları önermiştir.

$$s_c = 1 + (0.2 + \tan^6 \phi) \frac{B}{L} \quad (8.1)$$

$$s_q = s_c - \frac{s_c - 1}{N_q} \quad (8.2)$$

$$s_\gamma = 1 - \frac{1}{2}(0.2 + \tan^6 \phi) \frac{B}{L} \quad (8.3)$$

Hansen [9],  $D_f \leq B$  için geçerli olmak üzere derinlik katsayıları için aşağıda verilen bağıntıları önermiştir.

$$d_c = 1 + 0.35 \frac{D_f}{B} \quad (\phi = 0^\circ \text{ için}) \quad (8.4)$$

$$d_q = d_c - \frac{d_c - 1}{N_q} \quad (8.5)$$

$$d_\gamma = 1 \quad (8.6)$$

Hansen [9], kuramsal çözümlere dayanarak yük eğim katsayıları için aşağıda verilen bağıntıları önermiştir.

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1} \quad (8.7)$$

$$i_q = \left[ 1 - \frac{H}{V + c A \cot \phi} \right]^2 \quad (8.8)$$

$$i_\gamma = (i_q)^2 = \left[ 1 - \frac{H}{V + c A \cot \phi} \right]^4 \quad (8.9)$$

### 3.4. Meyerhof [10] Tarafından Önerilen Düzeltme Katsayıları (Correction Factors Proposed by Meyerhof [10])

Meyerhof [11] Terzaghi [1]'den sonra taşıma gücü problemini kısmen teorik kısmen yarı-görgül çözümlerle ele alan ve Terzaghi [1]'ye alternatif olarak yeni bağıntılar/abaklar öneren bilinen ilk araştırmacıdır. Ancak Meyerhof [11] tarafından önerilen yöntemler oldukça karmaşık ve pratikte uygulaması zor olduğundan yaygınlaşmamıştır. Nitekim Meyerhof [10] sonraki yıllarda Skempton [6] ve Hansen [9] gibi Terzaghi [1] tarafından önerilen taşıma gücü bağıntısına çeşitli katsayılar ekleyerek genişletme fikrine katılmış ve Terzaghi [1] tarafından önerilen taşıma gücü bağıntısına şekil, derinlik ve yük eğim katsayıları ekleyerek Eş. 9'da verilen bağıntıyı önermiştir.

$$q_u = c N_c s_c d_c i_c + \gamma_1 D_f N_q s_q d_q i_q + 0.5 \gamma_2 B N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma \quad (9)$$

Meyerhof [10], Hansen [9] gibi,  $N_c$  ve  $N_q$  için sırasıyla Prandtl [2] ve Reissner [3] tarafından önerilen bağıntıları (sırasıyla Eş. 1.2 ve 2.2) dikkate almış olup,  $N_\gamma$  için ise deneysel gözlemlerine dayanarak Eş. 5.2'de verilen bağıntıyı önermiştir (Çizelge 1). Meyerhof [10], şekil katsayıları için aşağıda verilen bağıntıları önermiştir.

$$s_c = 1 + 0.2 (B/L) \tan^2 (45 + \phi/2) \quad (9.1)$$

$$s_q = s_\gamma = 1 \quad (\phi = 0^\circ \text{ için}) \quad (9.2)$$

$$s_q = s_\gamma = 1 + 0.1 (B/L) \tan^2 (45 + \phi/2) \quad (\phi > 10^\circ \text{ için}) \quad (9.3)$$

Meyerhof [10], çeşitli deney sonuçlarına dayanarak  $D_f \leq B$  için geçerli olmak üzere derinlik katsayıları için aşağıda verilen bağıntıları önermiştir.

$$d_c = 1 + 0.2 (D_f/B) \tan (45+\phi/2) \quad (9.4)$$

$$d_q = d_\gamma = 1 \quad (\phi = 0^\circ \text{ için}) \quad (9.5)$$

$$d_q = d_\gamma = 1 + 0.1 (D_f/B) \tan (45+\phi/2) \quad (\phi > 10^\circ \text{ için}) \quad (9.6)$$

Meyerhof [10], yük eğim katsayıları için Eş.7.1 ve 7.2’de verilen bağıntıları kullanmıştır.

Eş. 9.3 ve 9.6’da verilen bağıntıların  $\phi > 10^\circ$  olan zeminler için geçerli olduğu görülmektedir. Ancak Meyerhof’da [10] bunun nedeni ve  $\phi < 10^\circ$  olan zeminler için nasıl bir yol izlenmesi gerektiği hakkında herhangi bir açıklama yapılmamıştır.

### 3.5. De Beer [12] Tarafından Önerilen Düzeltme Katsayıları (Correction Factors Proposed by De Beer [12])

De Beer [12], üniform derecelenmiş ince kumlu zeminler üzerinde küçük boyutlu model temeller ( $B=36$  ve  $156$  mm) kullanarak laboratuvar ortamında gerçekleştirdiği deney sonuçlarına dayanarak içsel sürtünme açısının elde edilme yöntemine göre değişen iki farklı yaklaşımla çeşitli şekil katsayıları önermiştir. De Beer [12], içsel sürtünme açısının geleneksel üç eksenli basınç deneyi ile bulunması durumunda Eş.10.1 ile 10.3’te verilen şekil katsayılarının kullanılmasını önermiştir.

$$s_c = 1 + \frac{B}{L} \frac{N_q}{N_q - 1} \sin\phi \quad (\phi > 0^\circ \text{ için}) \quad (10.1)$$

$$s_c = 1,2 \quad (\phi = 0^\circ \text{ için}) \quad (10.2)$$

$$s_q = 1 + \frac{B}{L} \sin\phi \quad (10.3)$$

De Beer [12], içsel sürtünme açısının eğrisel yenilme zarfı üzerinden normal gerilme düzeyine bağlı olarak sekant açısıyla bulunması durumunda ise Eş.10.4 ile 10.6’da verilen bağıntıları önermiştir.

$$s_c = 1 + \frac{B}{L} \frac{N_q}{N_q - 1} \tan\phi \quad (\phi > 0^\circ \text{ için}) \quad (10.4)$$

$$s_c = 1,2 \quad (\phi = 0^\circ \text{ için}) \quad (10.5)$$

$$s_q = 1 + \frac{B}{L} \tan\phi \quad (10.6)$$

De Beer [12]’de,  $\phi > 0^\circ$  için  $s_c$  bağıntısı farklı bir biçimde Eş. 10.7’de verildiği gibi de sunulmuştur.

$$s_c = \frac{s_q N_q - 1}{N_q - 1} \quad (\phi > 0^\circ \text{ için}) \quad (10.7)$$

Eş. 10.7’de  $s_q$  yerine Eş. 10.3 konulup gerekli sadeleştirmeler yapıldığında Eş. 10.1 elde edilmektedir. Benzer şekilde Eş. 10.7’de  $s_q$  yerine Eş. 10.6 konulup yine gerekli sadeleştirmeler yapıldığında ise Eş. 10.4 elde edilmektedir. Ayrıca, Eş. 3.1’de verilen  $N_c$  bağıntısı Eş. 10.4’te yerine yazılıp gerekli sadeleştirmeler yapıldığında Eş 10.8 elde edilmektedir.



$$s_c = 1 + \left(\frac{B}{L}\right) \left(\frac{N_q}{N_c}\right) \quad (10.8)$$

Eş. 10.4 ve 10.8’de verilen  $s_c$  bağıntıları  $\phi > 0^\circ$  için aynı sonucu verse de  $\phi=0^\circ$  için farklı sonuçlar vermektedir. Zira  $\phi=0^\circ$  ve  $B/L=1$  için Eş. 10.4 ile  $s_c=1$  olarak hesaplanırken Eş. 10.8 ile  $s_c=1.2$  olarak hesaplanmaktadır.

De Beer [12]  $s_c$  bağıntılarında kullandığı  $N_c$  ve  $N_q$  katsayıları için sırasıyla Prandtl [2] ve Reissner [3] tarafından önerilen bağıntıları (sırasıyla Eş. 1.2 ve 2.2) dikkate almıştır. De Beer [12],  $s_\gamma$  için içsel sürtünme açısından bağımsız olarak Eş.10.9’da verilen bağıntıyı önermiştir.

$$s_\gamma = 1 - 0.4 \frac{B}{L} \quad (10.9)$$

### 3.6. Hansen [13] Tarafından Önerilen Düzeltme Katsayıları (Correction Factors Proposed by Hansen [13])

Hansen [13]’in “A Revised and Extended Formula for Bearing Capacity” başlıklı çalışması, vefatından bir yıl sonra Hansen’ın adıyla Danimarka Geoteknik Enstitüsü tarafından, Hansen’in 1968’de Japonya’da verdiği ders notlarından derlenerek oluşturulmuş ve yayımlanmıştır [13].

Hansen [13], 1961 [9]’de önerdiği taşıma gücü bağıntısına temel tabanı eğimini ve temelin oturduğu zemin yüzeyinin eğimini de (şev açısını) hesaba katan yeni katsayılar ekleyerek Eş. 11’de verilen bağıntıyı önermiştir.

$$q_u = c N_c s_c d_c i_c b_c g_c + \gamma'_1 D_f N_q s_q d_q i_q b_q g_q + 0.5 \gamma'_2 B N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma b_\gamma g_\gamma \quad (11)$$

Hansen [13],  $N_c$  ve  $N_q$  için ise sırasıyla Prandtl [2] ve Reissner [3] tarafından önerilen bağıntıları dikkate almış olup (sırasıyla Eş. 1.2 ve 2.2),  $N_\gamma$  için ise Eş. 5.3’te verilen bağıntıyı önermiştir (Çizelge 1). Hansen [13], yük eğim katsayıları için aşağıda verilen bağıntıları önermiştir.

$$i_c = 0.5 - 0.5 \sqrt{1 - \frac{H}{cA}} \quad (\phi = 0^\circ \text{ için}) \quad (11.1)$$

$$i_q = \left[1 - \frac{0.5H}{V + c A \cot\phi}\right]^5 \quad (11.2)$$

$$i_\gamma = \left[1 - \frac{0.7H}{V + c A \cot\phi}\right]^5 \quad (11.3)$$

Hansen [13] temel tabanı eğim katsayıları için aşağıda verilen bağıntıları önermiştir.

$$b_c = \frac{\alpha}{147} \quad (\phi = 0^\circ \text{ için}) \quad (11.4)$$

$$b_q = e^{-2\alpha \tan\phi} \quad (\phi > 0^\circ \text{ için}) \quad (11.5)$$

$$b_\gamma = e^{-2.7\alpha \tan\phi} \quad (\phi > 0^\circ \text{ için}) \quad (11.6)$$

$\alpha$  açısı Eş. 11.4’te derece, Eş. 11.5 ve 11.6’da ise radyan cinsinden alınmalıdır. Hansen [13] zemin yüzeyi eğim katsayıları için aşağıda verilen bağıntılar önermiştir.

$$g_c = \frac{\beta}{147} \quad (\phi = 0^\circ \text{ için}) \quad (11.7)$$

$$g_q = g_\gamma = (1 - 0.5 \tan\beta)^5 \quad (\phi > 0^\circ \text{ için}) \quad (11.8)$$

Eş. 11.7 ve 11.8'de  $\beta$  açısı derece cinsinden alınmalıdır. Hansen [13]'da  $\phi > 0^\circ$  için  $i_c$ ,  $b_c$  ve  $g_c$  katsayısı verilmediği görülmektedir.

Eş. 11.4 ve 11.7'de verilen  $b_c$  ve  $g_c$  bağıntıları irdelenecek olursa, temel tabanındaki veya zemin yüzeyindeki küçük bir eğimin (şev açısının) temelin taşıma gücünü önemli ölçüde azaltacağı görülmektedir. Örneğin temel tabanı  $\alpha = 5^\circ$ 'lik bir eğimle tasarlanacak olursa, Eş. 11.4 ile  $b_c$  katsayısı 0.034 olarak hesaplanmaktadır. Bu da, taşıma gücü bağıntısının birinci teriminin 0.034 ile çarpılması demektir ki bunun da taşıma gücünü beklenmedik bir biçimde ve önemli ölçüde azaltacağı aşikârdır. Aynı durum  $g_c$  bağıntısı için de geçerlidir. Belki de bu yüzden olsa gerek, bazı kaynaklarda (Ör. [21]) Eş. 11.4 ve 11.7'de verilen  $b_c$  ve  $g_c$  bağıntıları Hansen'a [13] atıf yapılmak suretiyle aşağıdaki gibi düzeltilerek verilmiştir.

$$b_c = 1 - \frac{\alpha}{147} \quad (\phi = 0^\circ \text{ için}) \quad (11.9)$$

$$g_c = 1 - \frac{\beta}{147} \quad (\phi = 0^\circ \text{ için}) \quad (11.10)$$

Hansen [13], De Beer [12] tarafından önerilen  $s_q$  ve  $s_\gamma$  katsayılarının ve Skempton [6] tarafından önerilen  $s_c$  katsayısının düşey yükler için geçerli olduğunu belirtmiş ve bu katsayıları yük eğim katsayıları eklemek suretiyle şekil katsayıları için aşağıda verilen bağıntıları önermiştir.

$$s_c = 0,2 \frac{B}{L} i_c \quad (\phi = 0^\circ \text{ için}) \quad (11.11)$$

$$s_q = 1 + \frac{B}{L} \sin\phi i_q \quad (11.12)$$

$$s_\gamma = 1 - 0,4 \frac{B}{L} i_\gamma \quad (11.13)$$

Eş. 11.11 – 11.13'te verilen bağıntılar eğimli yükün yatay bileşeni ( $H$ ) temelin kısa kenarına ( $B$ ) paralel olduğu durumlar için geçerli olup, eğimli yükün yatay bileşeni ( $H$ ) temelin uzun kenarına ( $L$ ) paralel olduğunda bu bağıntılarda  $B/L$  yerine  $L/B$  yazılması gerekmektedir [13].

Eş. 11.11'de verilen  $s_c$  bağıntısında da tıpkı  $b_c$  ve  $g_c$  bağıntılarında olduğu gibi bir eksiklik olduğu görülmektedir. Zira Eş. 11.11'e göre  $s_c$  katsayısı düşey yüklü kare temeller için 0.2, şerit temeller için ise çok daha düşük değerler almaktadır ki, bunun da taşıma gücünün beklenmedik bir biçimde düşüreceği aşikârdır. Hansen [13] tarafından  $s_c$  katsayısı için atıf yapılan orijinal kaynağa [6] bakıldığında şekil katsayısının  $1+0.2(B/L)$  şeklinde verildiği görülmektedir (Eş. 6.1). Ayrıca Hansen'ın 1961'deki [9] çalışmasında da  $s_c$  katsayısı Skempton [6]'a atıf yapılarak verilirken bağıntının  $s_c=1+0.2(B/L)$  şeklinde verildiği görülmektedir. Bu durumda, Hansen'da [13]  $s_c$  bağıntısı verilirken +1 teriminin "sehven" unutulduğu anlaşılmaktadır. Bu nedenle Hansen [13] tarafından önerilen  $s_c$  bağıntısının aşağıdaki gibi düzeltilerek verilmesinin daha doğru olacağı değerlendirilmiştir.

$$s_c = 1 + 0,2 \frac{B}{L} i_c \quad (\phi = 0^\circ \text{ için}) \quad (11.14)$$

Hansen [13] tarafından önerilen bağıntılarda, yük eğim katsayılarının ( $i_c$ ,  $i_q$ ,  $i_\gamma$ ) hem taşıma gücü bağıntısında (Eş. 11) hem de şekil katsayıları ile birlikte (Eş. 11.11 – 11.14) olmak üzere iki kere kullanıldığı görülmektedir. Ancak, Hansen'da [13] bu konuyla ilgili herhangi bir açıklama bulunmamaktadır.

Hansen'da [13],  $D_f \leq B$  için geçerli olmak üzere derinlik katsayıları için aşağıda verilen bağıntılar önerilmiştir.

$$d_c = 0.4 (D_f/B) \quad (\phi = 0^\circ \text{ için}) \quad (11.15)$$

$$d_q = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 (D_f/B) \quad (11.16)$$

$$d_\gamma = 1 \quad (11.17)$$

Hansen'da [13],  $D_f > B$  için aşağıda verilen derinlik katsayısı bağıntıları önerilmiştir.

$$d_c = 0.4 \arctan (D_f/B) \quad (\phi = 0^\circ \text{ için}) \quad (11.18)$$

$$d_q = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 \arctan (D_f/B) \quad (11.19)$$

$$d_\gamma = 1 \quad (11.20)$$

Eş.11.18 ve 11.19'daki arctanlı terimler radyan olarak hesaplanmalıdır. Hansen'da [13],  $\phi > 0$  için  $d_c$  katsayısı verilmediği görülmektedir. Hansen [13], derinliğin fazla olması durumunda derinlik katsayısı hesaplamının zor olduğunu ve  $D_f > B$  için geçerli olan bağıntıları "tereddütlü" bir şekilde önerdiğini ifade etmiştir [13].

Eş. 11.15 ve 11.18'de verilen  $d_c$  bağıntıları irdelenecek olursa bu bağıntıların da tıpkı  $s_c$ ,  $b_c$  ve  $g_c$  bağıntıları gibi "sehven" eksik verildiği ve bu nedenle taşıma gücünü beklenmedik bir şekilde azaltacağı görülmektedir. Örneğin 10 m genişliğindeki bir temelin 3 m derinliğe inşa edileceği düşünülecek olursa, Eş. 11.15 ile  $d_c$  katsayısı 0,12 olarak hesaplanmaktadır. Bunun da, taşıma gücünü önemli ölçüde azaltacağı aşikârdır. Hâlbuki derinlik katsayıları temel tabanı seviyesinin üstündeki zeminin kesme dayanımını hesaba katmak için taşıma gücü bağıntısına ilave edilmiştir. Dolayısıyla taşıma gücünü bir miktar arttırması beklenir. Bu nedenle tıpkı  $s_c$ , bağıntısında olduğu gibi  $d_c$  bağıntılarında da +1 teriminin Danimarka Geoteknik Enstitüsü tarafından "sehven" unutulduğu düşünülmektedir. Bu değerlendirmeler doğrultusunda, Hansen [13] tarafından önerilen  $d_c$  bağıntılarının aşağıdaki gibi düzeltilerek kullanılmasının daha doğru olacağı değerlendirilmiştir.

$$d_c = 1 + 0.4 (D_f/B) \quad (\phi = 0^\circ \text{ ve } D_f \leq B \text{ için}) \quad (11.21)$$

$$d_c = 1 + 0.4 \arctan (D_f/B) \quad (\phi = 0^\circ \text{ ve } D_f > B \text{ için}) \quad (11.22)$$

Nitekim bazı kaynaklarda da (Ör. [14, 16-18, 21])  $d_c$  bağıntıları Hansen'a [13] atf yapılarak verilirken Eş. 11.21 ve 11.22'deki gibi bağıntılara +1 eklenerek verildiği görülmektedir.

### 3.7. Vesić [14] Tarafından Önerilen Düzeltme Katsayıları (Correction Factors Proposed by Vesić [14])

Vesić [14],  $N_c$  ve  $N_q$  taşıma gücü katsayıları için sırasıyla Prandtl [2] ve Reissner [3] tarafından önerilen bağıntıları dikkate almış olup (sırasıyla Eş. 1.2 ve 2.2),  $N_\gamma$  için ise Eş. 5.4'de verilen bağıntıyı önermiştir (Çizelge 1). Vesić [14], şekil katsayıları için De Beer [12] tarafından önerilen  $\tan \phi$ 'li bağıntıları (Eş. 10.6, 10.8 ve 10.9), derinlik katsayıları için ise Hansen [13] tarafından önerilen bağıntıları dikkate almıştır. Vesić [14],  $\phi > 0^\circ$  ve  $D_f \leq B$  için Hansen'da [13] verilmeyen  $d_c$  katsayısı için Eş. 12.1'de verilen bağıntıyı önermiştir.

$$d_c = d_q - \frac{1 - d_q}{N_q \tan \phi} \quad (\phi > 0^\circ \text{ ve } D_f \leq B \text{ için}) \quad (12.1)$$

Vesić [14], her ne kadar çalışmasında derinlik katsayılarına yer vermiş olsa da sığ temel tasarımı yapılırken taşıma gücü hesaplamalarında derinlik düzeltme katsayılarının kullanılmasını önermemiştir.

### 3.8. Vesić [15] Tarafından Önerilen Düzeltme Katsayıları (Correction Factors Proposed by Vesić [15])

Vesić [15], 1973'deki çalışmasında [14] olduğu gibi  $N_c$  ve  $N_q$  için sırasıyla Prandtl [2] ve Reissner [3] tarafından önerilen bağıntıları,  $N_\gamma$  için ise Vesić [14] tarafından önerilen bağıntıyı dikkate almıştır (Eş. 5.4; Çizelge 1).

Vesić [15], şekil katsayıları için De Beer [12] tarafından önerilen  $\tan\phi$ 'li bağıntıları (Eş. 10.6, 10.8 ve 10.9), derinlik katsayıları için ise Hansen [13] tarafından önerilen bağıntıları dikkate almış, ancak  $d_c$  için  $\phi > 0^\circ$  ve  $D_f \leq B$  için geçerli olmak üzere Eş. 13.1'de verilen bağıntıyı önermiştir.

$$d_c = d_q - \frac{1 - d_q}{N_c \tan \phi} \quad (\phi > 0^\circ \text{ ve } D_f \leq B \text{ için}) \quad (13.1)$$

Vesić [15] çalışmasında her ne kadar 1973'deki çalışmasında [14] olduğu gibi derinlik katsayılarına yer vermiş olsa da sığ temel tasarımı yapılırken taşıma gücü hesaplamalarında derinlik düzeltme katsayılarının kullanılmasını önermemiştir.

Vesić [15], yük eğim katsayıları için aşağıda verilen bağıntıları önermiştir.

$$i_c = 1 - \frac{mH}{cAN_c} \quad (\phi = 0^\circ \text{ için}) \quad (13.2)$$

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_c \tan \phi} \quad (\phi > 0^\circ \text{ için}) \quad (13.3)$$

$$i_q = \left[ 1 - \frac{H}{V + cA \cot \phi} \right]^m \quad (13.4)$$

$$i_\gamma = \left[ 1 - \frac{H}{V + cA \cot \phi} \right]^{m+1} \quad (13.5)$$

Vesić [15], Eş. 13.2 ve 13.3'de kullandığı  $N_c$  katsayısı için Prandtl [2] tarafından geliştirilen bağıntıyı (Eş. 1.2) dikkate almıştır. Eş. 13.2-13.5'te görülen  $m$  katsayısı eğik yükün yönüne göre aşağıda verilen bağıntılarla hesaplanabilmektedir.

$$m = m_B = \frac{2 + B/L}{1 + B/L} \quad (\text{Yükün eğim yönü temelin kısa kenarına doğru ise}) \quad (13.6)$$

$$m = m_L = \frac{2 + L/B}{1 + L/B} \quad (\text{Yükün eğim yönü temelin uzun kenarına doğru ise}) \quad (13.7)$$

Vesić [15], temel tabanı eğim katsayıları için aşağıda verilen bağıntıları önermiştir.

$$b_c = 1 - \frac{2\alpha}{\pi + 2} \quad (\phi = 0^\circ \text{ için}) \quad (13.8)$$

$$b_c = b_q - \frac{1 - b_q}{N_c \tan \phi} \quad (\phi > 0^\circ \text{ için}) \quad (13.9)$$

$$b_q = b_\gamma = (1 - \alpha \tan \phi)^2 \quad (13.10)$$

Hesaplamalarda, Eş. 13.8 ve 13.10'da görülen  $\alpha$  açısı radyan cinsinden alınmalıdır.  $\alpha$  açısı derece cinsinden ifade edildiğinde bu bağıntılar aşağıdaki gibi olmaktadır.

$$b_c = 1 - \frac{\alpha}{147.3} \quad (\phi = 0^\circ \text{ için}) \quad (13.11)$$

$$b_q = b_\gamma = \left(1 - \frac{\alpha}{57.3} \tan \phi\right)^2 \quad (13.12)$$

Vesic [15], zemin yüzeyi (şev) eğim katsayıları için aşağıda verilen bağıntıları önermiştir.

$$g_c = 1 - \frac{2\beta}{\pi + 2} \quad (\phi = 0^\circ \text{ için}) \quad (13.13)$$

$$g_c = g_q - \frac{1 - g_q}{N_c \tan \phi} \quad (\phi > 0^\circ \text{ için}) \quad (13.14)$$

$$g_q = g_\gamma = (1 - \tan \beta)^2 \quad (13.15)$$

Hesaplamalarda,  $\beta$  açısı Eş. 13.13'te radyan, Eş. 13.15'de ise derece cinsinden alınmalıdır. Eş. 13.13'te  $\beta$  açısı derece cinsinden ifade edildiğinde  $g_c$  bağıntısı aşağıdaki gibi olmaktadır.

$$g_c = 1 - \frac{\beta}{147.3} \quad (\phi = 0^\circ \text{ için}) \quad (13.16)$$

Vesic [15], önerdiği temel tabanı eğim katsayılarının  $\alpha < 45^\circ$  için, zemin yüzeyi eğim katsayılarının ise  $\beta < 45^\circ$  için geçerli olduğunu, ayrıca bu bağıntıların geçerli olabilmesi için  $\beta < \phi$  olması gerektiğini belirtmiştir.

#### 4. ŞEKİL, DERİNLİK VE $N_\gamma$ KATSAYILARININ KARŞILAŞTIRILMASI (COMPARISON OF THE SHAPE, DEPTH AND $N_\gamma$ FACTORS)

Literatürde önerilen farklı bağıntılar kullanılarak hesaplanan şekil, derinlik ve  $N_\gamma$  katsayılarının temel tasarımını ne düzeyde etkilediğini ortaya koyabilmek için öncelikle bu düzeltme katsayıları kendi aralarında karşılaştırılmıştır.

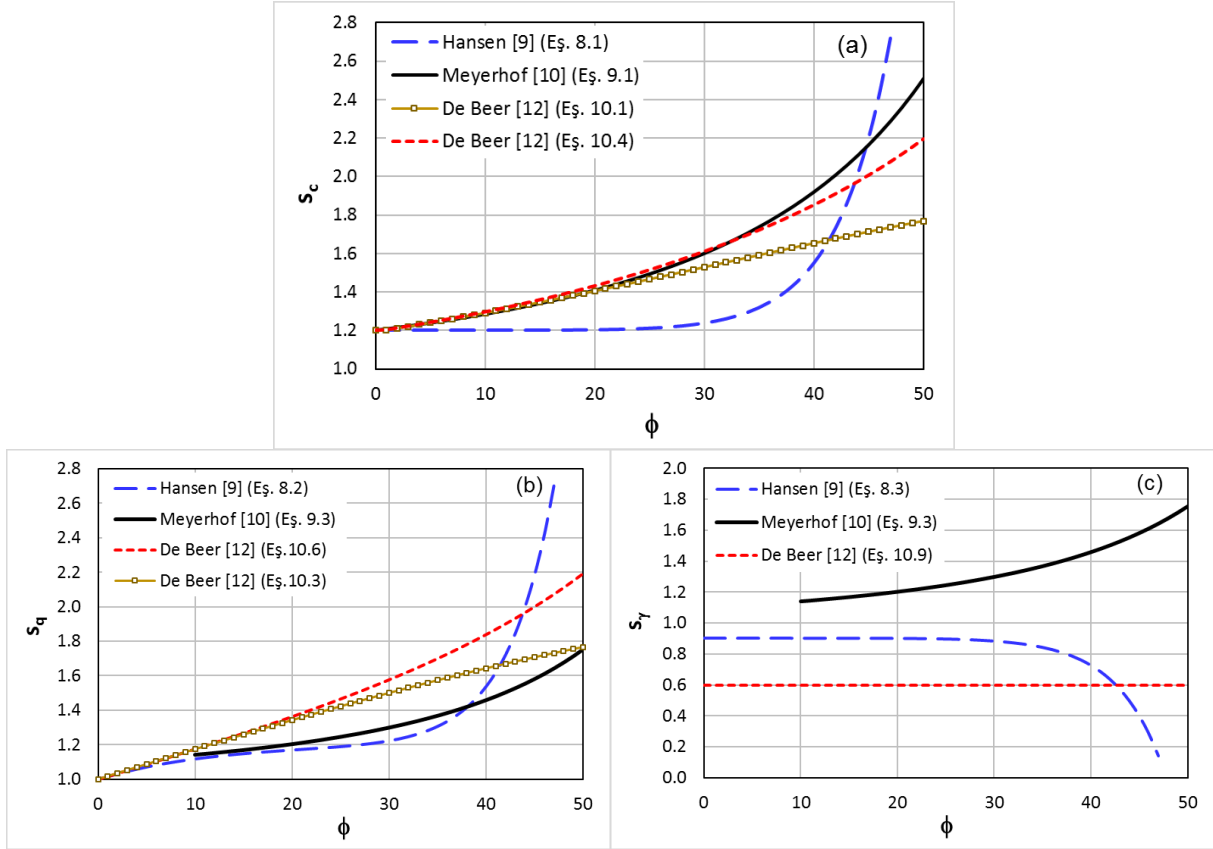
##### 4.1. Şekil Katsayılarının Karşılaştırılması (Comparison of the Shape Factors)

Şekil katsayıları için Skempton [6], Meyerhof [10], Hansen [9], Hansen [13] ve De Beer [12] tarafından çeşitli bağıntılar önerildiği görülmektedir. Skempton [6] sadece  $s_c$  katsayısı için bir bağıntı önermiş olup bu bağıntı da sadece  $\phi=0^\circ$  için geçerlidir. Hansen [13] ise Skempton [6] ve De Beer [12] tarafından önerilen bağıntılara yük eğim katsayısı ekleyerek kısmen modifiye etmiş olup, yükün temele dik gelmesi durumunda bu bağıntılar Skempton [6] ve De Beer'in [12] bağıntılarıyla aynı olmaktadır. Bu nedenle şekil katsayıları karşılaştırılırken Skempton [6] ve Hansen [13] tarafından önerilen bağıntılar dikkate alınmamıştır.

Hansen [13], Meyerhof [10] ve De Beer [12] tarafından önerilen bağıntılarla  $\phi = 0^\circ$ 'den  $50^\circ$ 'ye kadar hesaplanan  $s_c$ ,  $s_q$  ve  $s_\gamma$  katsayılarının içsel sürtünme açısı ile değişimini gösteren grafikler Şekil 2'de sunulmuştur. Meyerhof [10] tarafından önerilen  $s_q$  ve  $s_\gamma$  bağıntısı  $\phi > 10^\circ$  için geçerli olduğundan Şekil 2b ve 2c'de Meyerhof [10]'un bağıntısıyla sadece  $\phi > 10^\circ$  için hesaplanan  $s_q$  ve  $s_\gamma$  değerleri verilmiştir.

$s_c$  değerleri karşılaştırıldığında (Şekil 2a); Meyerhof'un [10] ve De Beer'in [12] bağıntılarıyla hesaplanan  $s_c$  değerlerinin yaklaşık  $\phi=20^\circ$ 'ye kadar hemen hemen aynı olduğu görülmektedir. Meyerhof'un [10] ve De Beer'in [12]  $\tan \phi$ 'li bağıntısıyla hesaplanan  $s_c$  değerlerinin ise yaklaşık  $\phi=35^\circ$ 'ye kadar hemen hemen aynı olduğu,  $\phi=35^\circ$ 'den sonra ise Meyerhof'un [10]  $s_c$  değerlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. De Beer'in [12]  $\sin \phi$ 'li ve  $\tan \phi$ 'li bağıntılarıyla hesaplanan  $s_c$  değerlerinin ise yaklaşık  $\phi=20^\circ$ 'ye kadar hemen hemen aynı olduğu,  $\phi=20^\circ$ 'den sonra ise  $\tan \phi$ 'li bağıntılarla hesaplanan  $s_c$  değerlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Hansen'in [9] bağıntısı ile hesaplanan  $s_c$  değerlerinin ise Meyerhof [10] ve De Beer'in [12]

bağıntılarıyla hesaplanan  $s_c$  değerlerine kıyasla farklı bir eğilim sergilediği görülmektedir. Hansen'ın [9] bağıntısı ile hesaplanan  $s_c$  değerleri  $\phi=30^\circ$ 'ye kadar önemli bir değişim göstermezken,  $\phi=30^\circ$ 'den sonra ise hızlı artmaktadır (Şekil 2a).



Şekil 2. Kare temeller için farklı bağıntılarla hesaplanan; a)  $s_c$ , b)  $s_q$  ve c)  $s_\gamma$  değerlerinin içsel sürtünme açısı ile değişimi

$s_q$  değerleri karşılaştırıldığında (Şekil 2b); Meyerhof [10]'un  $s_q$  değerlerinin De Beer [12]'in  $\sin\phi$ 'li ve  $\tan\phi$ 'li  $s_q$  değerlerinden daha düşük olduğu görülmektedir. De Beer [12]'in  $\sin\phi$ 'li ve  $\tan\phi$ 'li bağıntılarıyla hesaplanan  $s_q$  değerlerinin ise yaklaşık  $\phi=20^\circ$ 'ye kadar hemen hemen aynı olduğu,  $\phi=20^\circ$ 'den sonra ise  $\tan\phi$ 'li bağıntılarla hesaplanan  $s_q$  değerlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Hansen [9]'ın  $s_q$  değerlerinin ise yaklaşık  $\phi=20^\circ$ 'ye kadar Meyerhof [10]'un  $s_q$  değerlerine yakın olduğu, De Beer [12]'in  $\sin\phi$ 'li ve  $\tan\phi$ 'li  $s_q$  değerlerinden ise daha düşük olduğu görülmektedir. Hansen [9]'ın  $s_q$  değerlerinin yaklaşık  $\phi=30^\circ$ 'den sonra hızlı arttığı görülmektedir (Şekil 2b).

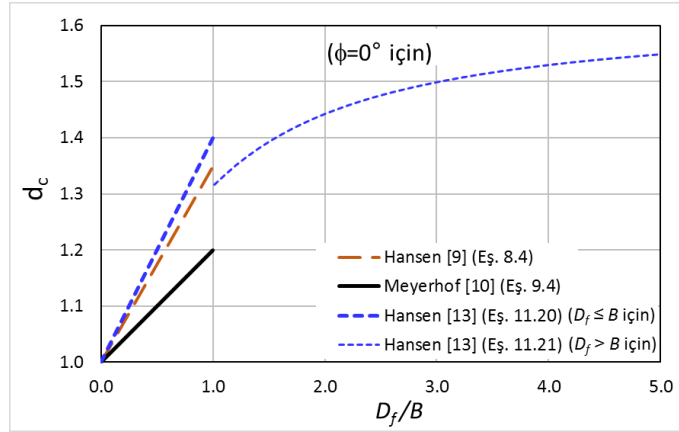
$s_\gamma$  değerleri karşılaştırıldığında (Şekil 2c); Meyerhof [10]'un bağıntısıyla hesaplanan  $s_\gamma$  değerleri içsel sürtünme açısı ile birlikte artarken, De Beer [12]'in bağıntısıyla hesaplanan  $s_\gamma$  değerlerinin sabit kaldığı, Hansen [9]'ın bağıntısıyla hesaplanan  $s_\gamma$  değerlerinin ise yaklaşık  $\phi=30^\circ$ 'ye kadar önemli bir değişim göstermediği,  $\phi=30^\circ$ 'den sonra ise hızla azaldığı görülmektedir (Şekil 2c).

#### 4.2. Derinlik Katsayılarının Karşılaştırılması (Comparison of the Depth Factors)

Sığ temeller genellikle derinliği genişliğinden küçük veya ona eşit ( $D_f \leq B$ ) temel olarak tanımlanmaktadır [1]. Bu nedenle literatürde derinlik düzeltmesi için önerilen bağıntılar genellikle  $D_f \leq B$  için geçerlidir.  $D_f > B$  için sadece Hansen [13] tarafından bir bağıntı önerilmiş olup bu bağıntı da  $\phi=0^\circ$  için geçerlidir.  $D_f \leq B$  için Hansen [9, 13] ve Meyerhof [10] tarafından  $\phi=0^\circ$  ve  $\phi>0^\circ$  için önerilen bağıntılarla hesaplanan derinlik katsayıları ayrı ayrı karşılaştırılmıştır.

#### 4.2.1. $\phi=0^\circ$ için önerilen derinlik katsayılarının karşılaştırılması (Comparison of the depth factors proposed for $\phi=0^\circ$ )

$\phi=0^\circ$  için Hansen [9, 13] ve Meyerhof [10] tarafından önerilen bağıntılarla hesaplanan  $d_c$  değerlerinin  $D_f/B$  oranıyla değişimini gösteren grafikler Şekil 3'te sunulmuştur. Şekil 3'te, Hansen'ın [13]  $D_f > B$  için önerdiği bağıntıyla hesaplanan  $d_c$  değerleri de verilmiştir.  $\phi=0^\circ$  için Hansen [9, 13] ve Meyerhof [10] tarafından  $d_q=d_\gamma=1$  alınabileceği belirtildiğinden bu katsayılar için herhangi bir karşılaştırma yapılmamıştır.



Şekil 3.  $\phi=0^\circ$  için farklı bağıntılarla hesaplanan  $d_c$  değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 3 incelendiğinde  $D_f/B$  oranı arttıkça beklenildiği gibi  $d_c$  değerlerinin de arttığı görülmektedir.  $D_f \leq B$  için hesaplanan  $d_c$  değerleri karşılaştırıldığında Meyerhof [10] ile hesaplanan  $d_c$  değerlerinin Hansen'ın [9, 13] bağıntılarıyla hesaplanan  $d_c$  değerlerinden daha düşük olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, Hansen'ın [13]  $D_f \leq B$  ve için  $D_f > B$  için önerdiği bağıntılarla hesaplanan  $d_c$  değerlerinin  $D_f/B=1$  noktasında süreksizlik gösterdiği de Şekil 3'ten görülmektedir.

#### 4.2.2. $\phi>0^\circ$ için önerilen derinlik katsayılarının karşılaştırılması (Comparison of the depth factors proposed for $\phi>0^\circ$ )

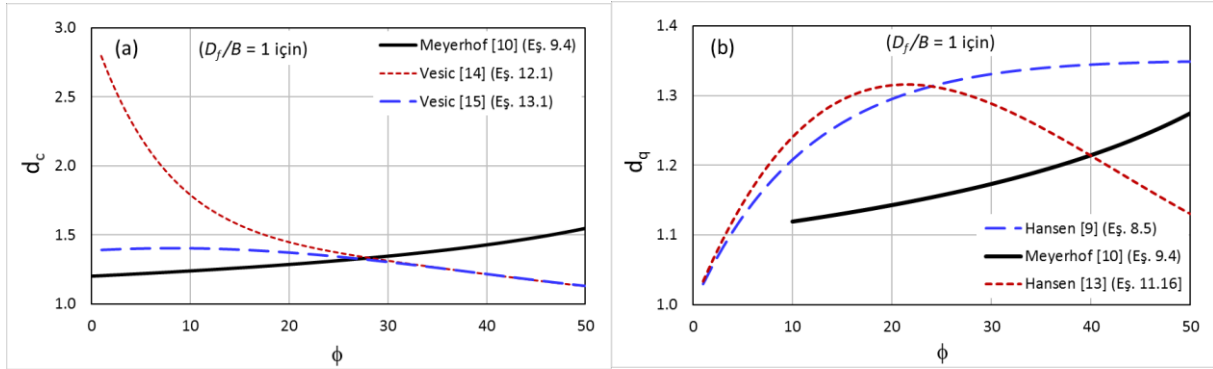
$d_c$  katsayısı için Meyerhof [10] ve Vesic [14, 15] tarafından,  $d_q$  katsayısı için ise Meyerhof [10] ve Hansen [9, 13] tarafından önerilen bağıntılarla  $\phi>0^\circ$  ve  $D_f/B=1$  için hesaplanan  $d_c$  ve  $d_q$  değerleri Şekil 4'te karşılaştırılmıştır.

Şekil 4a incelendiğinde, Meyerhof [10] ile hesaplanan  $d_c$  değerlerinin  $\phi$  ile birlikte arttığı, Vesic [14, 15] ile hesaplanan  $d_c$  değerlerinin ise azaldığı görülmektedir. Özellikle Vesic [14] ile hesaplanan  $d_c$  değerlerinin  $\phi$  ile birlikte hızla azaldığı görülmektedir. Meyerhof [10] ve Vesic [15] ile hesaplanan  $d_c$  değerleri karşılaştırıldığında, yaklaşık  $\phi=28^\circ$ 'ye kadar Vesic [15] ile hesaplanan  $d_c$  değerlerinin,  $\phi=28^\circ$ 'den sonra ise Meyerhof [10] ile hesaplanan  $d_c$  değerlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 4).

Şekil 4b incelendiğinde, Meyerhof [10] ve Hansen [9] tarafından önerilen bağıntılarla hesaplanan  $d_q$  değerlerinin  $\phi$  ile birlikte arttığı, Hansen [13] ile hesaplanan  $d_q$  değerlerinin ise yaklaşık  $\phi=20^\circ$ 'ye kadar arttığı,  $\phi=20^\circ$ 'den sonra ise azalmaya başladığı görülmektedir.

Meyerhof'da [10]  $d_q = d_\gamma$  olduğu, Hansen'da [9, 13] ise her durumda  $d_\gamma=1$  alınabileceğini belirtildiğinden  $d_\gamma$  için herhangi bir karşılaştırma yapılmamıştır.

Şekil 4'te sunulan karşılaştırmalar  $D_f/B=1$  için geçerli olup,  $D_f/B$  oranı değiştiğinde bağıntılar arasındaki sıralamanın değişip değişmeyeceğini görmek için  $D_f/B=0.5$  ve  $D_f/B=0.25$  için de  $d_c$  ve  $d_q$  katsayıları hesaplanıp sonuçları karşılaştırılmış ve tipik olarak Şekil 4'tekine benzer sonuçlar elde edilmiştir. Bu nedenle fazladan yer kaplamaması için  $D_f/B=0.5$  ve  $D_f/B=0.25$  için elde edilen grafikler bu çalışmada sunulmamıştır.



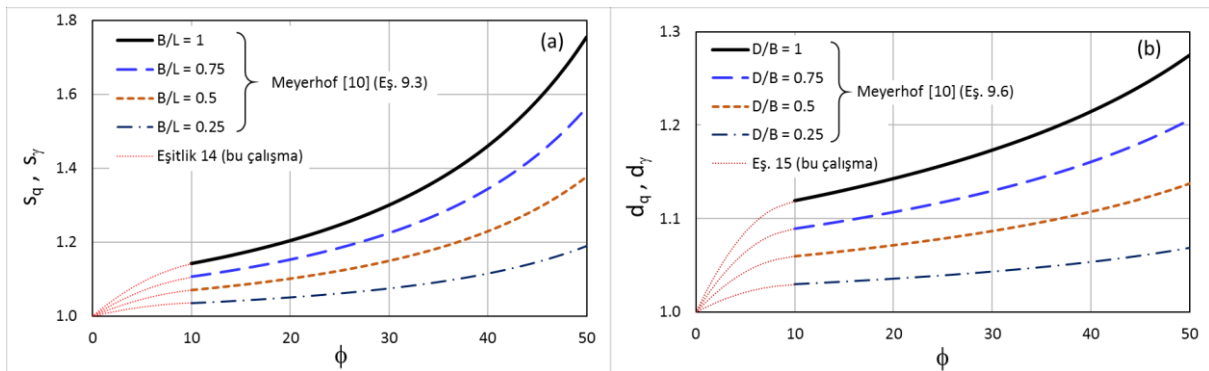
Şekil 4.  $\phi > 0^\circ$  ve  $D_f/B=1$  için farklı bağıntularla hesaplanan; a)  $d_c$  değerlerinin, b)  $d_q$  değerlerinin karşılaştırılması

#### 4.2.3. Meyerhof [10]'un bağıntılarına $\phi \leq 10^\circ$ için şekil ve derinlik katsayılarının eklenmesi (Adding shape and depth factors for $\phi \leq 10^\circ$ to the Meyerhof [10]'s equations)

Meyerhof [10]'un  $s_q$ ,  $s_\gamma$  ve  $d_q$ ,  $d_\gamma$  bağıntıları (Eş. 9.3 ve 9.6)  $\phi=0^\circ$  ile  $10^\circ$  arasındaki zeminler için geçerlidir. Bu nedenle bu katsayıların  $\phi \leq 10^\circ$  olan zeminlerin taşıma gücü hesaplamalarında kullanılması mümkün olmamaktadır. Bu sorunun üstesinden gelmek için Meyerhof [10] tarafından önerilen bağıntularla çizilen grafiklere dış kestirim yapılarak  $\phi \leq 10^\circ$  olan zeminler için  $s_q$ ,  $s_\gamma$  ve  $d_q$ ,  $d_\gamma$  bağıntıları elde edilmiştir. Bu amaçla,  $\phi > 10^\circ$  için çizilen  $s_q$ ,  $s_\gamma$  ve  $d_q$ ,  $d_\gamma$  grafiklerinin genel gidişatına uygun olacak şekilde  $\phi=10^\circ$ 'den  $\phi=0^\circ$ 'ye kadar uzanan birkaç adet dış kestirim noktası yerleştirilmiş ve eğri uydurma yöntemiyle bu noktalardan geçen eğrinin denklemi bulunmuştur. Bu şekilde bulunan denklemler Eş. 14 ve 15'te, bu denklemlerle hesaplanan  $s_q$ ,  $s_\gamma$  ve  $d_q$ ,  $d_\gamma$  değerleri ise Şekil 5'te sunulmuştur.

$$s_q = s_\gamma = 1 + (1.3 \tan \phi - 2.9 \tan^2 \phi) (B/L) \quad (\phi \leq 10^\circ \text{ için}) \quad (14)$$

$$d_q = d_\gamma = 1 + (1.3 \tan \phi - 3.6 \tan^2 \phi) (D_f/B) \quad (\phi \leq 10^\circ \text{ için}) \quad (15)$$



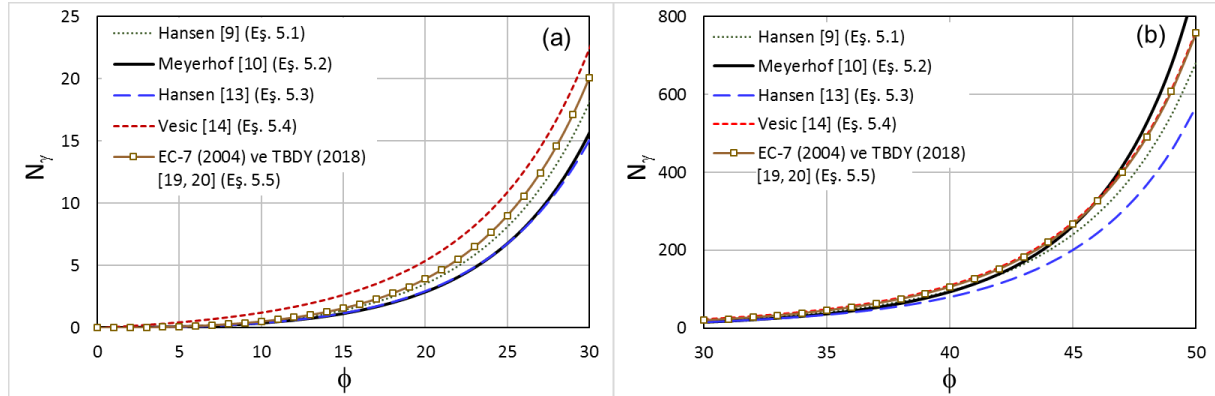
Şekil 5.  $\phi \leq 10^\circ$  için Meyerhof'un [10] bağıntılarına dış kestirim yoluyla eklenen; a)  $s_q$ ,  $s_\gamma$  ve b)  $d_q$ ,  $d_\gamma$  değerleri

#### 4.4. $N_\gamma$ Taşıma Gücü Katsayılarının Karşılaştırılması (Comparison of the $N_\gamma$ Factors)

Literatürde genel kabul görmüş  $N_\gamma$  değerlerini karşılaştırmak için Çizelge 1'de sunulan bağıntularla  $\phi=0^\circ$ 'den  $\phi=50^\circ$ 'ye kadar  $N_\gamma$  değerleri hesaplanmış ve sonuçları Şekil 6'da sunulmuştur.  $N_\gamma$  değerleri



arasındaki farkı daha yakından görebilmek için sonuçlar  $\phi$ 'ye göre ikiye bölünmüş ve Şekil 6a'da  $\phi=0^\circ-30^\circ$  arasındaki değerler için, Şekil 6b'de ise  $\phi=30^\circ-50^\circ$  arasındaki değerler için hesaplanan  $N_\gamma$  değerleri verilmiştir.



Şekil 6. Farklı bağıntılarla; a)  $\phi=0^\circ-30^\circ$  için, b)  $\phi=30^\circ-50^\circ$  için hesaplanan  $N_\gamma$  değerleri

Şekil 6'dan görüldüğü gibi, en yüksek  $N_\gamma$  değerleri yaklaşık  $\phi=45^\circ$ 'ye kadar Vesic'in [14],  $\phi=45^\circ$ 'den sonra ise Meyerhof [10]'un bağıntısıyla hesaplanmıştır. En düşük  $N_\gamma$  değerleri ise yaklaşık  $\phi=25^\circ$ 'ye kadar Meyerhof [10]'un,  $\phi=25^\circ$ 'den sonra ise Hansen'in [13] bağıntısıyla elde edilmiştir (Şekil 6). Yaklaşık  $\phi=25^\circ$ 'ye kadar en yüksek ve en düşük sonuçları veren Vesic [14] ile Meyerhof'un [10]  $N_\gamma$  değerleri arasında yaklaşık 2 kat fark olduğu görülmüştür. Örneğin  $\phi=18^\circ$  için  $N_\gamma$  değeri Meyerhof [10]'un bağıntısıyla 2 olarak hesaplanırken, Vesic'in [14] bağıntısıyla 4 olarak hesaplanmaktadır. TBDY 2018'de [19] önerilen bağıntıyla hesaplanan  $N_\gamma$  değerlerinin ise yaklaşık  $\phi=45^\circ$ 'ye kadar Meyerhof [10] ile hesaplanan değerlerden daha yüksek, Vesic [14] ile hesaplanan değerlerden ise daha düşük olduğu görülmüştür.

## 5. FARKLI DÜZELTME KATSAYILARIYLA HESAPLANAN EMNİYETLİ TAŞIMA GÜCÜ DEĞERLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI (COMPARISON OF ALLOWABLE BEARING CAPACITY VALUES CALCULATED WITH DIFFERENT CORRECTION FACTORS)

Farklı araştırmacılar tarafından önerilen bağıntılarla hesaplanan şekil, derinlik ve  $N_\gamma$  katsayıları ayrı ayrı karşılaştırıldığında aralarında önemli farklar olduğu görülmüştür. Ancak taşıma gücü bağıntısında bu katsayılar bir arada kullanıldığı için, katsayılar arasındaki bu farkın taşıma gücünü ne ölçüde yansıdığını görebilmek için bu katsayıların çeşitli kombinasyonlarıyla taşıma gücü bağıntıları oluşturulmuş ve bu bağıntılarla örnek senaryolar üzerinde emniyetli taşıma gücü değerleri hesaplanmış ve sonuçları birbiriyle karşılaştırılmıştır. Emniyetli taşıma gücünün hesaplanmasında güvenlik katsayısı 3 olarak alınmıştır.

Taşıma gücü hesaplamalarında kullanılmak üzere örnek senaryoların oluşturulmasında tek dairesel konut tipi bir bina seçilmiştir. Yapı yüklerinin radye temel sistemiyle zemine aktarılacağı kabul edilmiş ve radye temel ölçüleri ambatan genişliği dâhil  $16 \times 10$  m olarak ( $B/L=0.625$ ) tasarlanmıştır. Binada 1 kat bodrum olacağı düşünülmüş ve temel taban kotu  $-3.0$  m ( $D_f = 3$  m) olarak tasarlanmıştır ( $D_f/B=0.3$ ). Binanın düz bir zemine inşa edileceği düşünülmüş ve zeminde  $D_f+B$  derinliği içinde yeraltı suyunun rastlanmadığı kabul edilmiştir. Zeminin doğal birim hacim ağırlığı  $\gamma_n=18$  kN/m<sup>3</sup> olarak alınmış ve derinlikle birlikte değişmediği kabul edilmiştir. Zemin dayanımı bakımından farklı durumları senaryo edebilmek için suya doymuş killi zeminleri temsilen  $\phi=0^\circ$  analizlerinin yanı sıra, kumlu-siltli-killi zeminleri temsilen  $c$ ,  $\phi$  analizleri de yapılmıştır.  $c$ ,  $\phi$  analizlerinde zeminin kohezyonu  $c=20$  kPa ile 200 kPa, içsel sürtünme açısı ise  $\phi=0^\circ$  ile  $40^\circ$  arasında değiştirilerek farklı  $c$ ,  $\phi$  kombinasyonları için taşıma gücü değerleri hesaplanmıştır. Hesaplamalarda zeminin  $c$ ,  $\phi$  değerlerinin derinlik boyunca değişmediği kabul edilmiştir.

### 5.1. $\phi=0^\circ$ İçin Yapılan Analizler (The Analysis Performed For $\phi=0^\circ$ )

Tasarlanan kurgusal senaryoya uygun olarak  $\phi=0^\circ$ ,  $B/L=0.625$  ve  $D_f/B=0.3$  için bu çalışmada ele alınan farklı bağıntılarla hesaplanan şekil ve derinlik katsayıları Çizelge 2’de sunulmuştur.

**Çizelge 2.**  $\phi=0^\circ$ ,  $B/L=0.625$  ve  $D_f/B=0.3$  için farklı bağıntılarla hesaplanan şekil ve derinlik katsayıları

Kaynak	Şekil Katsayıları			Derinlik Katsayıları		
	$s_c$	$s_q$	$s_\gamma$	$d_c$	$d_q$	$d_\gamma$
Skempton [6]	1.125	-	-	1.06	-	-
Meyerhof [10]	1.125	1	1	1.06	1	1
Hansen [9]	1.125	1	0.94	1.105	1	1
Hansen [13]	1.125	1	0.75	1.12	1	1
De Beer [12]	1.2	1	0.75	-	-	-
Vesić [13, 14]	-	-	-	-	-	-

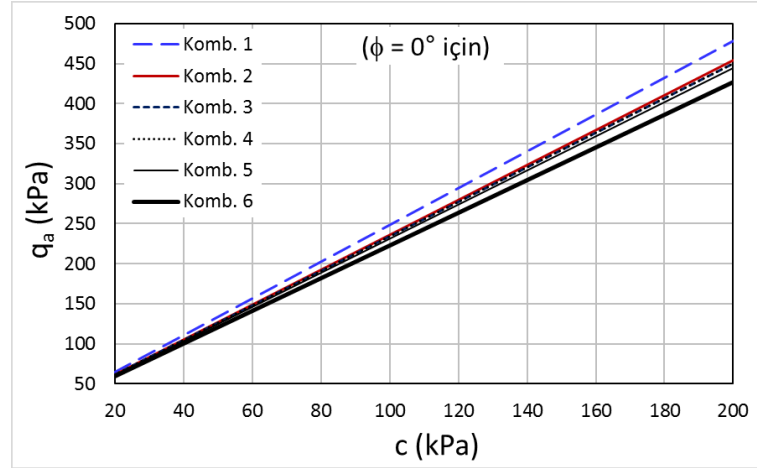
**Açıklama:** Bağıntı önerilmediği için hesaplanamayan katsayıların yerine - işareti konulmuştur.

Çizelge 2 incelendiğinde, Skempton [6], Hansen [9] ve Meyerhof [10]’un bağıntılarıyla hesaplanan  $s_c$  değerlerinin aynı, De Beer [12] ile hesaplanan  $s_c$  değerinin ise bunlardan farklı olduğu görülmektedir.  $d_c$  değerlerine bakıldığında ise Skempton [6] ve Meyerhof [10]’un bağıntılarıyla hesaplanan  $d_c$  değerlerinin aynı, Hansen [9] ve Hansen [13] ile hesaplanan  $d_c$  değerlerinin ise bunlardan farklı olduğu görülmektedir.  $s_q$ ,  $d_q$  ve  $d_\gamma$  değerlerine bakıldığında hepsinin 1 olduğu görülmektedir.  $s_\gamma$  değerlerinin ise her birinin farklı olduğu görülmektedir. Ancak  $\phi=0^\circ$  için  $N_\gamma = 0$  olduğundan  $s_\gamma$  değerlerindeki farkın taşıma gücü hesaplamalarında bir etkisi bulunmamaktadır. Bu durumda  $\phi=0^\circ$  analizleri için genel taşıma gücü bağıntısında kullanılmak üzere düzeltme katsayısı seçilirken  $s_c$  ve  $d_c$  değerlerinin belirleyici olduğu anlaşılmaktadır. Buna göre taşıma gücü hesaplamalarında kullanılmak üzere  $s_c$  ve  $d_c$  bağıntıları dikkate alınarak oluşturulan çeşitli denklem kombinasyonları Çizelge 3’te sunulmuştur.

**Çizelge 3.**  $\phi=0^\circ$  için genel taşıma gücü bağıntısında kullanılan denklem kombinasyonları

Komb. No	Şekil katsayıları	Derinlik katsayıları
Komb. 1	De Beer [12] (Eş. 10.2, 10.3, 10.9)	Hansen [13] (Eş. 11.21, 11.16, 11.17)
Komb. 2	De Beer [12] (Eş. 10.2, 10.3, 10.9)	Meyerhof [10] (Eş. 9.4, 9.5)
Komb. 3	Meyerhof [10] (Eş. 9.1, 9.2)	Hansen [13] (Eş. 11.21, 11.16, 11.17)
Komb. 4	Hansen [13] (Eş. 11.12 – 11.14)	Hansen [13] (Eş. 11.21, 11.16, 11.17)
Komb. 5	Hansen [9] (Eş. 8.1 – 8.3)	Hansen [9] (Eş. 8.4 – 8.6)
Komb. 6	Meyerhof [10] (Eş. 9.1; 9.2)	Meyerhof [10] (Eş. 9.4, 9.5)

Çizelge 3’te verilen denklem kombinasyonları ile  $c=20-200$  kPa arasında değişen değerler için emniyetli taşıma gücü değerleri hesaplanmış ve sonuçları grafik olarak Şekil 7’de,  $c=50, 100, 150$  ve  $200$  kPa için hesaplanan emniyetli taşıma gücü değerleri ise sayısal olarak Çizelge 4’te sunulmuştur. Taşıma gücü hesaplamalarında  $N_c$  ve  $N_q$  için ise sırasıyla Prandtl [2] ve Reissner [3] tarafından önerilen bağıntılar (sırasıyla Eş. 3.1 ve 4.1) kullanılmıştır.  $\phi=0^\circ$  için  $N_\gamma = 0$  olduğundan hesaplamalarda  $N_\gamma$ ’lı terim kullanılmamıştır.



Şekil 7.  $\phi=0^\circ$ ,  $B/L=0.625$  ve  $D/B=0.3$  için Çizelge 3'te sunulan denklem kombinasyonlarıyla hesaplanan emniyetli taşıma gücü değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 7 ve Çizelge 4 incelendiğinde, taşıma gücü hesaplamalarında kullanılan düzeltme katsayılarının emniyetli taşıma gücünü önemli ölçüde etkilediği ve kohezyon değeri arttıkça farklı kombinasyonlarla hesaplanan taşıma gücü değerleri arasındaki farkın da arttığı görülmektedir. En yüksek taşıma gücü değerleri Komb.1, en düşük taşıma gücü değerleri ise Komb.6 ile elde edilmiştir. Komb.1 ve Komb.6 ile hesaplanan taşıma gücü değerleri arasındaki fark incelenecek olursa;  $c=50$  kPa'da aralarındaki fark 13 kPa iken,  $c=100$  kPa'da bu fark 26 kPa'ya,  $c=150$  kPa'da 39 kPa'ya,  $c=200$  kPa'da ise 52 kPa'ya çıkmaktadır (Çizelge 4). Konut tipi bir binada 1 kattan zemine aktarılan taban basıncının yaklaşık 15 kPa olduğu kabul edilecek olursa bunun önemli bir fark olduğu değerlendirilebilir.

Çizelge 4.  $\phi=0^\circ$ ,  $B/L=0.625$ ,  $D_f/B=0.3$  ve  $c=50, 100, 150$  ve  $200$  kPa için Çizelge 3'te sunulan kombinasyonlarla hesaplanan emniyetli taşıma gücü değerleri

Komb. No	$q_a$ (kPa)			
	$c = 50$ kPa	$c = 100$ kPa	$c = 150$ kPa	$c = 200$ kPa
Komb. 1	133	248	363	479
Komb. 2	127	236	345	454
Komb. 3	126	234	342	450
Komb. 4	126	234	342	450
Komb. 5	124	231	337	444
Komb. 6	120	222	324	427

Bu sonuçlara göre,  $\phi=0^\circ$  analizlerinde Meyerhof'un [10] şekil ve derinlik katsayıları kullanılarak (Komb. 6) hesaplanan taşıma gücü değerlerinin diğer kombinasyonlara kıyasla daha emniyetli tarafta kaldığı öne sürülebilir.

## 5.2. $\phi>0^\circ$ İçin Yapılan Analizler (The Analysis Performed For $\phi>0^\circ$ )

$\phi>0^\circ$  ve  $D_f \leq B$  için şekil ve derinlik katsayısı öneren araştırmacılar Çizelge 5'te verilmiştir.  $D_f > B$  için sadece Hansen [13] tarafından bir bağıntı önerilmiş olup, bu çalışma için tasarlanan kurgusal yapıda  $D_f < B$

olduğu için, Hansen [13] tarafından  $D_f > B$  için önerilen derinlik katsayıları karşılaştırmalara dâhil edilmemiştir.

**Çizelge 5.**  $\phi > 0^\circ$  ve  $D_f \leq B$  için şekil ve derinlik katsayısı öneren araştırmacılar

Kaynak	$s_c$	$s_q$	$s_\gamma$	$d_c$	$d_q$	$d_\gamma$
Meyerhof [10]	+	+	+	+	+	+
Hansen [9]	+	+	+	-	-	+
Hansen [13]	-	+	+	-	+	+
De Beer [12]	+	+	+	-	-	-
Vesić [14]	-	-	-	+	-	-
Vesić [15]	-	-	-	+	-	-

**Açıklama:** + işareti bağıntı önerildiğini, - işareti bağıntı önerilmediğini göstermektedir.

Çizelge 5 incelendiğinde, şekil ve derinlik katsayılarının tamamı için sadece Meyerhof [10] tarafından bağıntı önerildiği görülmektedir. Hansen [9] tarafından  $d_c$  ve  $d_q$  hariç diğer katsayılar, Hansen [13] tarafından  $s_c$  ve  $d_c$  hariç diğer katsayılar, De Beer [12] tarafından sadece şekil katsayıları, Vesić [14, 15] tarafından ise sadece  $d_c$  için bağıntı önerilmiştir (Çizelge 5). Bu durumda Vesić [14, 15] ile Hansen [13] tarafından önerilen derinlik katsayılarının birbirini tamamladığı ve genel taşıma gücü bağıntısında birlikte kullanılacakları değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeler doğrultusunda oluşturulan genel taşıma gücü bağıntısı denklem kombinasyonları Çizelge 6'da sunulmuştur.

**Çizelge 6.**  $\phi > 0^\circ$  ve  $D_f \leq B$  için farklı şekil ve derinlik katsayıları ve  $N_\gamma$  bağıntıları kullanılarak oluşturulan genel taşıma gücü bağıntısı denklem kombinasyonları

Komb. No	Şekil katsayıları	Derinlik katsayıları	$N_\gamma$ katsayısı
Komb. 1	Meyerhof [10]	Meyerhof [10]	TBDY-2018 [19]
Komb. 2	De Beer [12]*	$d_c$ için Vesić [15]; $d_q$ ve $d_\gamma$ için Hansen [13]	TBDY-2018 [19]
Komb. 3	De Beer [12] <sup>ψ</sup>	$d_c$ için Vesić [15]; $d_q$ ve $d_\gamma$ için Hansen [13]	TBDY-2018 [19]
Komb. 4	$s_c$ için De Beer [12] <sup>ψ</sup> ; $s_q$ ve $s_\gamma$ için Hansen [13]	$d_c$ için Vesić [15]; $d_q$ ve $d_\gamma$ için Hansen [13]	TBDY-2018 [19]
Komb. 5	Meyerhof [10]	Meyerhof [10]	Meyerhof [10]
Komb. 6	De Beer [12] <sup>ψ</sup>	$d_c$ için Vesić [15]; $d_q$ ve $d_\gamma$ için Hansen [13]	Vesić [13]

**Açıklama:** \*De Beer [12]'in  $\tan\phi$ 'li bağıntıları kullanılmıştır. <sup>ψ</sup>De Beer [12]'in  $\sin\phi$ 'li bağıntıları kullanılmıştır.

Hansen [9] tarafından önerilen düzeltme katsayıları Hansen [13] tarafından güncellendiği için, oluşturulan kombinasyonlarda Hansen [9] tarafından önerilen düzeltme katsayılarına yer verilmemiştir. Oluşturulan kombinasyonlarda TBDY-2018'de [19] önerilen  $N_\gamma$  bağıntısının yanı sıra Vesić [14] ve Meyerhof [10] tarafından önerilen  $N_\gamma$  bağıntıları da kullanılmıştır. Hansen [9, 13] tarafından önerilen  $N_\gamma$  bağıntıları diğer

bağıntılara yakınlık gösterdiğinden (Şekil 6a) sonuçların sunumunda sadelik sağlamak için kombinasyonlarda bu bağıntılara yer verilmemiştir. TBDY-2018'de [19] önerilen  $N_\gamma$  bağıntısının kullanıldığı denklemlerden en yüksek ve en düşük sonuçları veren Kombinasyon 1 ve 3'te TBDY-2018'de [19] önerilen  $N_\gamma$  bağıntısı yerine Vesic [14] ve Meyerhof [10] tarafından önerilen  $N_\gamma$  bağıntıları kullanılarak Kombinasyon 5 ve 6 oluşturulmuştur.

Çizelge 6'da verilen taşıma gücü bağıntısı denklem kombinasyonları ile  $c=50, 100$  ve  $200$  kPa için  $\phi=2^\circ$ 'den  $40^\circ$ 'ye kadar taşıma gücü değerleri hesaplanmış ve sonuçları Çizelge 7-9 ve Şekil 8-9'da sunulmuştur.

**Çizelge 7.**  $c=50$  kPa,  $D_f/B=0.3$  ve  $B/L=0.625$  için farklı denklem kombinasyonlarıyla hesaplanan emniyetli taşıma gücü değerleri

$\phi^\circ$	$q_a$ (kPa)					
	Komb. 1	Komb. 2	Komb. 3	Komb. 4	Komb. 5	Komb. 6
2	136	142	142	142	<b>136</b>	145
5	166	173	173	173	<b>165</b>	181
10	243	249	249	249	<b>238</b>	265
15	375	376	374	374	<b>360</b>	398
20	611	592	586	586	<b>574</b>	619
25	1053	977	<b>960</b>	960	971	1002
30	1929	1699	<b>1654</b>	1654	1763	1706
35	3799	3148	<b>3030</b>	3030	3484	3093
40	8174	6310	<b>5993</b>	5993	7666	6068

**Açıklama:** En düşük değerler koyu olarak gösterilmiştir.

**Çizelge 8.**  $c=100$  kPa,  $D_f/B=0.3$  ve  $B/L=0.625$  için farklı denklem kombinasyonlarıyla hesaplanan emniyetli taşıma gücü değerleri

$\phi^\circ$	$q_a$ (kPa)					
	Komb. 1	Komb. 2	Komb. 3	Komb. 4	Komb. 5	Komb. 6
2	249	261	261	261	<b>249</b>	264
5	299	312	312	312	<b>298</b>	320
10	419	434	433	433	<b>414</b>	449
15	614	627	623	623	<b>599</b>	647
20	948	941	931	931	<b>910</b>	963
25	1547	1480	<b>1452</b>	1452	1466	1494
30	2692	2457	<b>2384</b>	2384	2526	2435
35	5052	4352	<b>4166</b>	4166	4736	4229
40	10405	8360	<b>7876</b>	7876	9897	7951

**Açıklama:** En düşük değerler koyu olarak gösterilmiştir.

**Çizelge 9.**  $c=200$  kPa,  $D_f/B=0.3$  ve  $B/L=0.625$  için farklı denklem kombinasyonlarıyla hesaplanan emniyetli taşıma gücü değerleri

$\phi^\circ$	$q_a$ (kPa)					
	Komb. 1	Komb. 2	Komb. 3	Komb. 4	Komb. 5	Komb. 6
2	475	499	499	499	<b>475</b>	502
5	563	591	591	591	<b>562</b>	599
10	770	804	802	802	<b>765</b>	818
15	1092	1128	1121	1121	<b>1077</b>	1145
20	1622	1640	1620	1620	<b>1584</b>	1653
25	2536	2487	<b>2436</b>	2436	2454	2478
30	4217	3972	<b>3843</b>	3843	4051	3895
35	7557	6759	<b>6437</b>	6437	7242	6500
40	14868	12459	<b>11641</b>	11641	14359	11717

**Açıklama:** En düşük değerler koyu olarak gösterilmiştir.

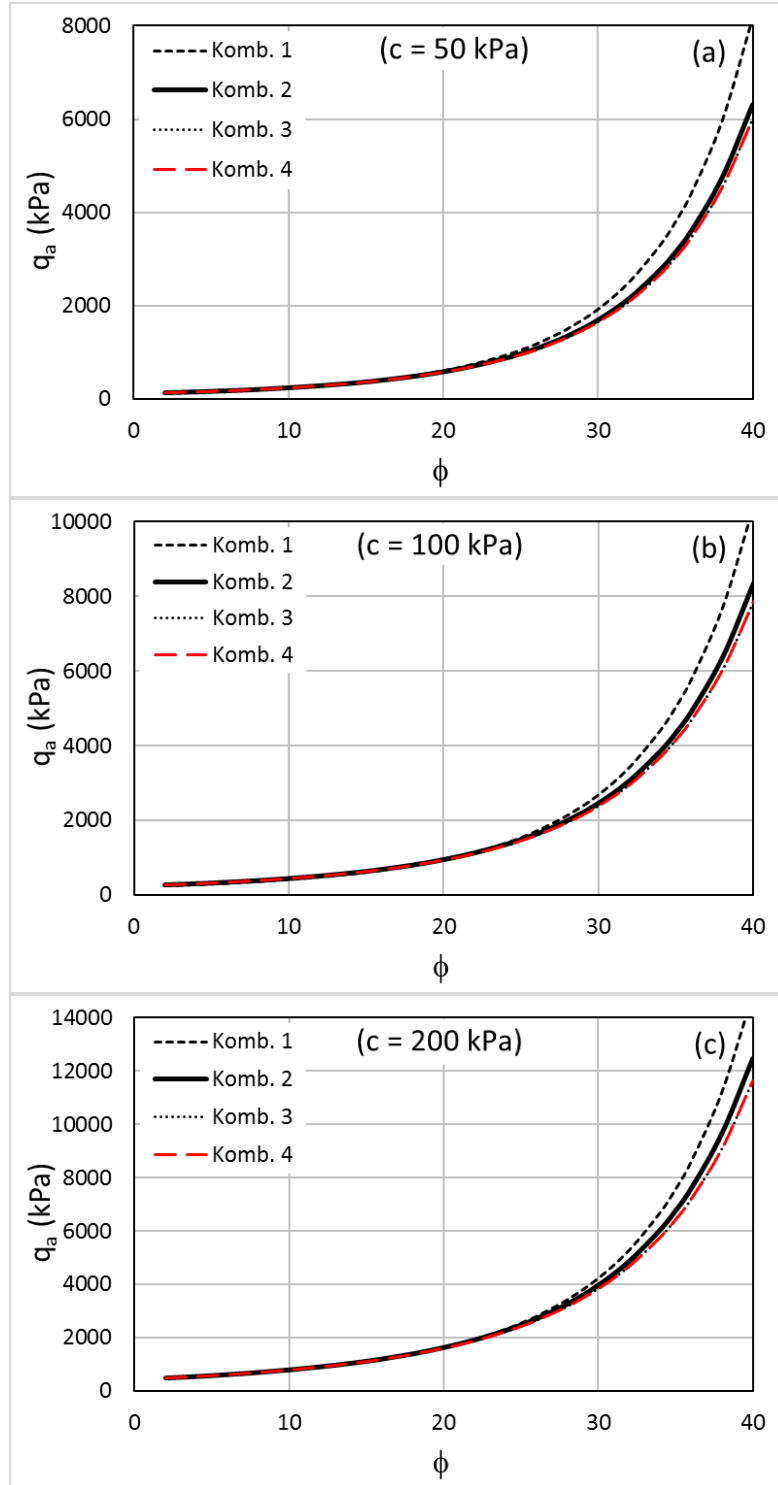
Taşıma gücü bağıntısında TBDY-2018'de [19] önerilen  $N_\gamma$  bağıntısının kullanılması halinde en güvenli sonuçları veren kombinasyonun belirlenebilmesi için ilk dört kombinasyonla hesaplanan taşıma gücü değerleri ayrı olarak Şekil 8'de sunulmuştur.  $N_\gamma$  bağıntısının taşıma gücü değerleri üzerindeki etkisini görebilmek için ise Kombinasyon 1, 3, 5 ve 6 ile hesaplanan taşıma gücü değerleri ayrı bir grafik halinde Şekil 9'da sunulmuştur.  $c=50, 100$  ve  $200$  kPa için elde edilen sonuçlar hiyerarşik (tipik) olarak birbirine benzediği için Şekil 9'da sadece  $c=50$  kPa için elde edilen sonuçlar sunulmuştur. Ayrıca,  $\phi$ 'ye bağlı olarak kombinasyonlar arasındaki farkı daha yakından görebilmek için sonuçlar  $\phi$ 'ye göre ikiye bölünmüş ve  $\phi < 15^\circ$  için hesaplanan sonuçlar ayrı,  $\phi > 25^\circ$  için hesaplanan sonuçlar ise ayrı bir grafik halinde sunulmuştur (Şekil 9a ve 9b).

Çizelge 7-9 ve Şekil 8-9 incelendiğinde, farklı düzeltme katsayılarıyla hesaplanan taşıma gücü değerleri arasındaki farkın sabit olmadığı, içsel sürtünme açısına bağlı olarak değiştiği görülmektedir. Ancak Komb. 3 ve 4'ün tüm  $c$ - $\phi$  değerleri için aynı sonucu verdiği görülmektedir. Bunun nedeni, temele gelen yüklerin dik olması durumunda Hansen [13] tarafından önerilen  $s_q$  ve  $s_\gamma$  bağıntılarının De Beer [12] tarafından önerilen  $\sin\phi$ 'li bağıntılarla aynı olmasıdır.

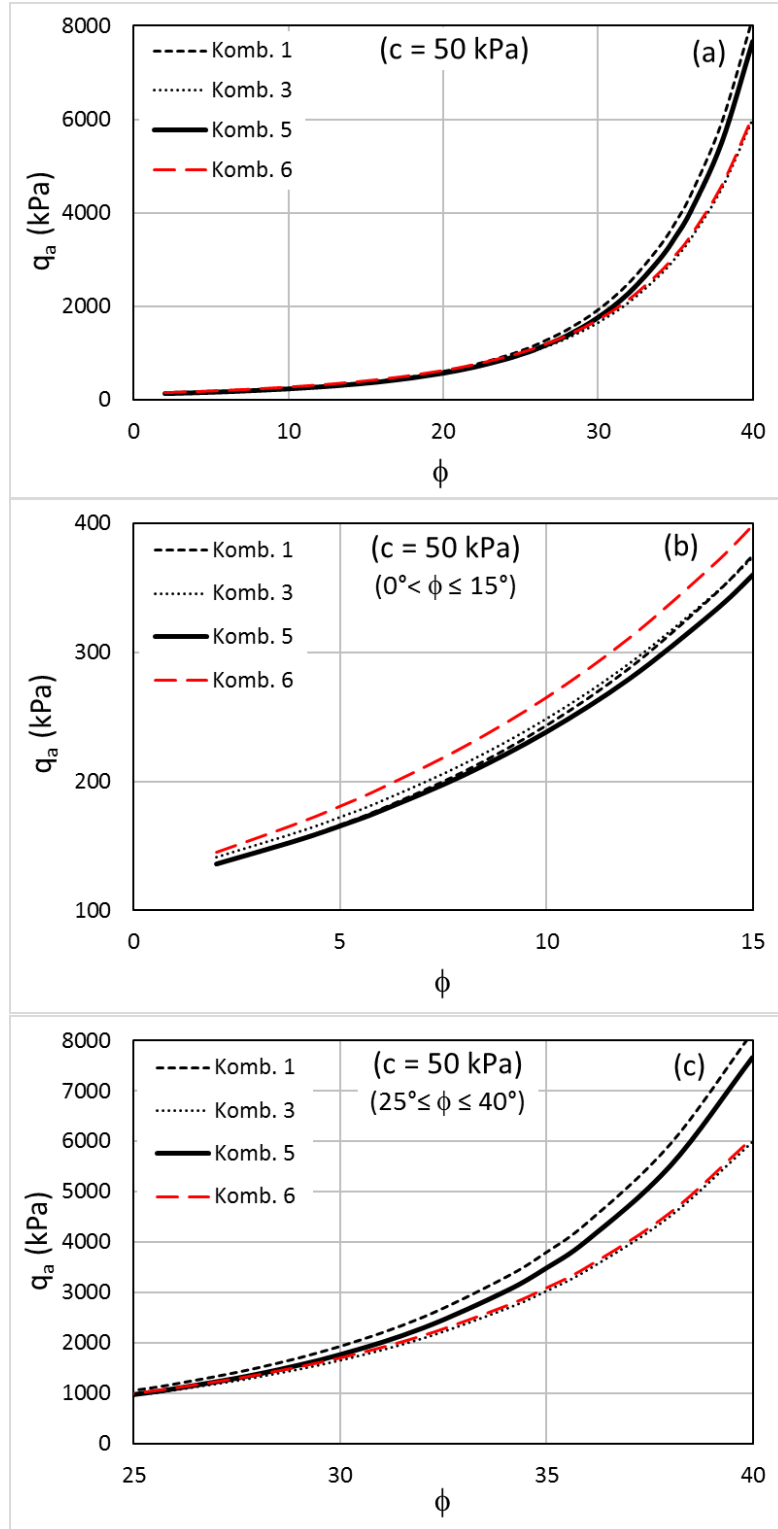
De Beer'in [12]  $\tan\phi$ 'li ve  $\sin\phi$ 'li bağıntıları (sırasıyla Komb. 2 ve Komb.3) karşılaştırıldığında; yaklaşık  $\phi=15^\circ$ 'ye kadar her ikisinin birbirine yakın sonuçlar verdiği,  $\phi=15^\circ$ 'den sonra ise  $\sin\phi$ 'li bağıntılarla yaklaşık %1'den %7'ye kadar daha düşük taşıma gücü değerleri elde edildiği görülmektedir (aralarındaki fark düşük " $c, \phi$ " değerlerinde yaklaşık %1 iken, yüksek " $c, \phi$ " değerlerinde en fazla %7'ye kadar çıkmaktadır). Bu sonuçlara göre, De Beer'in [12]  $\sin\phi$ 'li ve  $\tan\phi$ 'li bağıntıları arasında bir tercih yapılması gerektiğinde, tasarımcıyı daha güvenli tarafta bırakacağı için  $\sin\phi$ 'li bağıntıların tercih edilebileceği değerlendirilmiştir.

TBDY-2018'de [19] önerilen  $N_\gamma$  bağıntısının kullanıldığı denklemler (Komb.1-4) karşılaştırıldığında (Şekil 8), yaklaşık  $\phi < 20^\circ$  için tüm kombinasyonlar hemen hemen aynı sonucu veriyormuş gibi görünse de Çizelge 7-9 incelendiğinde, yaklaşık  $\phi=15^\circ$ 'ye kadar Komb. 1'in daha düşük (daha emniyetli) sonuçlar verdiği,  $\phi=15^\circ$ 'den sonra ise giderek artan oranda diğer yöntemlere kıyasla daha yüksek sonuçlar verdiği görülmektedir. Ayrıca, yaklaşık  $\phi=15-20^\circ$ 'de yöntemler arasındaki sıralamanın değiştiği ve yaklaşık  $\phi=15^\circ$ 'den sonra Komb. 3'ün daha düşük (daha emniyetli) sonuçlar vermeye başladığı görülmektedir. Taşıma gücü değerleri açısından kombinasyonlar arasındaki farkı irdelemek gerekirse,  $\phi < 10^\circ$  ve  $c=50$  kPa olan zeminlerde Komb. 1 ile Komb. 3 arasındaki farkın 6-7 kPa kadar olduğu, ancak kohezyon değeri arttıkça bu farkın daha da arttığı ve  $c=100$  kPa'da 14 kPa'ya,  $c=200$  kPa'da ise 32 kPa'ya kadar çıktığı

görülmektedir (Çizelge 7-9).  $\phi > 15^\circ$  olan zeminler için kombinasyonlar arasındaki fark irdelendiğinde, örneğin  $\phi = 25^\circ$  için Komb. 1 ile hesaplanan taşıma gücü değerlerinin Komb. 3'e kıyasla 93 ile 100 kPa arasında değişen miktarlarda daha yüksek taşıma gücü değerleri verdiği görülmektedir. Zeminin  $\phi$  değeri arttıkça aradaki bu farkın daha da arttığı Şekil 8'den görülmektedir.



Şekil 8. TB DY-2018'de [19] önerilen  $N_\gamma$  bağıntısının kullanıldığı denklem kombinasyonlarıyla; a)  $c=50$  kPa için, b)  $c=100$  kPa için, c)  $c=200$  kPa için hesaplanan taşıma gücü değerlerinin karşılaştırılması



**Şekil 9.** Farklı  $N_\gamma$  bağıntılarının kullanıldığı denklem kombinasyonlarıyla; **a)**  $0^\circ < \phi \leq 40^\circ$  için, **b)**  $0^\circ < \phi \leq 15^\circ$  için, **c)**  $25^\circ \leq \phi \leq 40^\circ$  için hesaplanan taşıma gücü değerlerinin karşılaştırılması

Farklı  $N_\gamma$  bağıntılarının kullanıldığı denklemler (Komb. 1, 3, 5 ve 6) karşılaştırılacak olursa (Şekil 9), en düşük (en güvenli) taşıma gücü değerlerinin yaklaşık  $\phi=20^\circ$ 'ye kadar Komb. 5 ile,  $\phi=20^\circ$ 'den sonra ise Komb. 3 ile elde edildiği görülmektedir (Çizelge 7-9 ve Şekil 9b). Yaklaşık  $\phi=20^\circ$ 'den sonra Kombi. 3 ve 6'nın birbirine oldukça yakın sonuçlar verdiği görülmektedir. Benzer şekilde yaklaşık  $\phi=20^\circ$ 'den sonra Komb. 1 ve 5'in de birbirine yakın sonuçlar verdiği görülmektedir.



Bu hesaplamaların  $D_f/B = 0.3$  için yapıldığı hatırlanacak olursa,  $D_f/B$  oranı değiştiğinde burada elde edilen sonuçların değişip değişmeyeceğinin ortaya konulması gerektiği değerlendirilebilir. Bu değişimi görebilmek amacıyla bu çalışmada ele alınan kurgusal binaya bir bodrum katı daha ilave edileceği düşünülerek temel taban kotu -6 m'ye indirilmiş (bu durumda  $D_f/B=0.6$ ) ve Çizelge 6'da verilen kombinasyonlar kullanılarak  $D_f/B = 0.6$  ve  $c=50, 100$  ve  $200$  kPa için  $\phi=2^\circ$ 'den  $40^\circ$ 'ye kadar emniyetli taşıma gücü değerleri tekrar hesaplanmıştır. Bu hesaplamaların sonucunda elde edilen taşıma gücü değerleri karşılaştırıldığında kombinasyonlar arasındaki hiyerarşinin (sıralamanın) değişmediği görülmüştür. Buna göre, bu çalışmada belirlenen kombinasyonlar arasındaki hiyerarşinin (sıralamanın) farklı  $D_f/B$  oranları için de geçerli olduğu anlaşılmıştır.

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS)

Şekil, derinlik ve  $N_\gamma$  katsayıları için literatürde önerilen farklı bağıntılarla hesaplanan taşıma gücü değerleri arasında önemli oranda fark olduğu ve bu farkın sabit olmadığı,  $\phi=0^\circ$  analizlerinde kohezyon değerine, “c- $\phi$ ” analizlerinde ise içsel sürtünme açısına bağlı olarak değiştiği görülmüştür.

$\phi=0^\circ$  analizlerinde, en düşük (en emniyetli) taşıma gücü değerinin Meyerhof'un [10] şekil ve derinlik katsayıları kullanılarak elde edildiği görülmüştür. En yüksek taşıma gücü değerleri ise şekil katsayıları için De Beer [12], derinlik katsayıları için ise Hansen'in [13] bağıntıları kullanıldığında elde edilmiştir. En yüksek ve en düşük taşıma gücü değerleri arasında, kohezyon değerine bağlı olarak 13 kPa ile 52 kPa arasında değişen seviyelerde fark bulunduğu görülmüştür. Konut tipi binalarda bir kattan zemine aktarılan taban basıncının yaklaşık 15 kPa olduğu kabul edilecek olursa bunun önemli bir fark olduğu değerlendirilebilir.

“c- $\phi$ ” analizlerinde farklı  $N_\gamma$  katsayılarının kullanıldığı denklemler karşılaştırıldığında; yaklaşık  $\phi < 20^\circ$  olan zeminlerde en düşük (en emniyetli) taşıma gücü değerlerinin yine Meyerhof [10]'un şekil, derinlik ve  $N_\gamma$  katsayıları kullanılarak elde edildiği görülmüştür. Yaklaşık  $\phi > 20^\circ$  olan zeminlerde ise en emniyetli taşıma gücü değerleri, şekil katsayıları için De Beer'in [12]  $\sin\phi$ 'li bağıntıları, derinlik katsayılarından  $d_c$  için Vesic'in [15],  $d_q$  ve  $d_\gamma$  için Hansen'in [13] bağıntıları ve  $N_\gamma$  katsayısı için TBDY-2018'de [19] önerilen bağıntı kullanılarak elde edilmiştir.

“c- $\phi$ ” analizlerinde TBDY-2018'de [19] önerilen  $N_\gamma$  bağıntısı kullanılarak oluşturulan denklem kombinasyonları karşılaştırıldığında ise; yaklaşık  $\phi < 15^\circ$  olan zeminlerde en emniyetli taşıma gücü değerlerinin Meyerhof [10]'un şekil ve derinlik katsayılarıyla hesaplandığı görülmüştür. Yaklaşık  $\phi > 15^\circ$  olan zeminlerde ise en emniyetli taşıma gücü değerleri şekil katsayıları için De Beer'in [12]  $\sin\phi$ 'li bağıntıları, derinlik katsayılarından  $d_c$  için Vesic'in [15],  $d_q$  ve  $d_\gamma$  için Hansen'in [13] bağıntıları kullanılarak elde edilmiştir.

“c- $\phi$ ” analizlerinde yaklaşık  $\phi < 15^\circ$  olan zeminlerde en yüksek ve en düşük taşıma gücü değerleri arasındaki farkın %3-5 arasında değiştiği görülmüştür. Bu farkın taşıma gücü açısından karşılığı ise yaklaşık 6-32 kPa'ya tekabül etmektedir. Yaklaşık  $\phi > 15^\circ$  olan zeminlerde ise en düşük ve en yüksek taşıma gücü değerleri arasındaki farkın daha da büyük olduğu ve zeminin “c- $\phi$ ” değerlerine bağlı olarak arttığı görülmüştür. Örneğin  $\phi=25^\circ$ 'de en yüksek ve en düşük taşıma gücü değerleri arasındaki fark 93-100 kPa (% 4-10) arasında değişirken  $\phi=40^\circ$ 'de bu fark yaklaşık 2200-3200 kPa'ya (% 28-36) kadar çıkmaktadır.

## 7. SİMGELER (SYMBOLS)

$A$	Etkin temelin alanı
$B'$	Etkin temel genişliği
$B$	Temel genişliği (daireysel temellerde temelin çapı)
$b_c, b_q, b_\gamma$	Temel tabanı eğim katsayıları
$c$	Temel tabanından itibaren $B$ derinliği içindeki zeminin kohezyonu
$D_f$	Temel derinliği

$d_c, d_q, d_\gamma$	Derinlik katsayıları
EC-7	Eurocode 7
$g_c, g_q, g_\gamma$	Zemin yüzeyi eğim katsayıları
$H$	Temele gelen eğik kuvvetin yatay (temele yüzeyine paralel) bileşeni
$i_c, i_q, i_\gamma$	Yük eğim katsayıları
$N_c, N_q, N_\gamma$	Taşıma gücü katsayıları
$q$	Yüklü alanın kenarlarındaki sürşarj yükü
$q_u$	Zeminin sınır (nihai) taşıma gücü
$s_c, s_q, s_\gamma$	Şekil katsayıları
TBDY	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
$V$	Temele gelen eğik kuvvetin düşey (temele yüzeyine dik) bileşeni
$\phi$	Zeminin içsel sürtünme açısı
$\gamma'_1$	Temel tabanı seviyesinin üstündeki zeminin efektif birim hacim ağırlığı
$\gamma'_2$	Temel tabanından itibaren $B$ derinliği içindeki zeminin efektif birim hacim ağırlığı
$\alpha$	Temel tabanının yatayla yaptığı açı
$\beta$	Zemin yüzeyinin yatayla yaptığı açı (şev açısı)
$\delta$	Temele gelen yükün düşeyden sapma açısı

#### ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Yazar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Terzaghi, K. (1943). Theoretical Soil Mechanics, John Wiley & Sons, Inc., New York, USA.
- [2] Prandtl, L. (1920). Über die Harte Plastischer Körper, Nachrichten von der Könighlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, Mathematisch-physikalischen Klasse, pp. 74–85.
- [3] Reissner, H. (1924). Zum Erddruckproblem, In: Biezeno, C.B., Burgers, J.M. (Eds.) Proceedings of the 1st International Congress for Applied Mechanics, Delft, The Netherlands, pp. 295–311.
- [4] Baars, S.V. (2018). 100 Years of Prandtl's Wedge. 135 p., IOS Press BV, Amsterdam, Netherlands.
- [5] Terzaghi, K., Peck, R.B. (1967). Soil Mechanics in Engineering Practice. 2nd edition. John Wiley and Sons, Inc. New York, USA.
- [6] Skempton, A.W. (1951). The Bearing Capacity of Clays, Building Research Congress., vol. 1, pp 180-189.
- [7] Meyerhof, G. G. (1953). The Bearing Capacity of Foundations Under Eccentric and Inclined Loads. Proceedings of Third Int. Conf. Soil Mech., vol. 1: 440-445.
- [8] Meyerhof, G. G. (1956). Discussion on "Rupture surfaces in sand under oblique loads." Proc. Am. Soc. Civil Engrs., Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, 82 (3): 15-19.
- [9] Hansen, J. B. (1961). A General Formula for Bearing Capacity, Bulletin No. 11, Danish Geotechnical Institute, Copenhagen.
- [10] Meyerhof, G. G. (1963). Some Recent Research On the Bearing Capacity of Foundations, Canadian Geotechnical Journal, 1(1): 16–26.
- [11] Meyerhof, G. G. (1951). The Ultimate Bearing Capacity of Foundations, Geotechnique, 2 (4): 301-332.

- [12] De Beer, E. E. (1970). Experimental Determination of the Shape Factors and Bearing Capacity Factors of Sand, *Geotechnique*, 20(4): 387–411.
- [13] Hansen, J. B. (1970). A Revised and Extended Formula for Bearing Capacity, Bulletin No. 28, Danish Geotechnical Institute, Copenhagen,.
- [14] Vesić, A. S. (1973). Analysis of Ultimate Loads of Shallow Foundations, *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, American Society of Civil Engineers*, 99(SM1): 45–73.
- [15] Vesić, A. S. (1975). Bearing Capacity of Shallow Foundations. *Foundation Engineering Handbook*, 1st ed. pp.121-147. Winterkorn, Hans F. and Fang, Hsai-Yang, Eds., Van Nostrand Reinhold, New York. 751 pp
- [16] Das, B.M. (2011). *Principles of Foundation Engineering, Seventh Edition*, Cengage Learning, Stamford, USA.
- [17] Das, B. M. (2017). *Shallow Foundations Bearing Capacity and Settlement, Third Edition*, CRC Press, Taylor & Francis Group, FL, USA.
- [18] Das, B. M., Sivakugan, N. (2019). *Principles of Foundation Engineering, Ninth Edition*, Cengage Learning, Inc., Boston, USA.
- [19] TBDY-2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018). İçişleri Bakanlığı, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. Ankara, Türkiye.
- [20] EC-7 (2004), Eurocode 7 - Geotechnical Design - Part 1: General Rules, European Standard, EN 1997-1: 2004, European Committee for Standardization, Brussels.
- [21] Bowles, J.E. (1996). *Foundation Analysis and Design, Fifty Edition*, McGraw-Hill, USA.