Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.
Cilt 28, No 1, 187-198, 2013

Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University
Vol 28, No 1, 187-198, 2013

SIĞ RİJİT TABAKA MEVCUDİYETİNİN KOHEZYONSUZ ZEMİNLER ÜZERİNDEKİ YÜZEYSEL TEMELLERİN TAŞIMA KAPASİTESİNE ETKİSİ

Güneş BABAGİRAY, Sami Oğuzhan AKBAŞ, Özgür ANIL
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Gazi Üniversitesi, 06570 Ankara
gunesaydin@gazi.edu.tr, soakbas@gazi.edu.tr, oanil@gazi.edu.tr

(Geliş/Received: 14.08.2012; Kabul/Accepted: 29.11.2012)

ÖZET

Kohezyonsuz zeminler üzerinde bulunan sığ temellerin taşıma gücü hesaplarında geleneksel yaklaşım, temel genişliğinden (B) daha küçük derinlikte (H ≤ B) göreceli olarak rijit bir tabaka bulunması halinde taşıma gücü faktörü N_γ'nın uygun biçimde düzeltilmesini içerir. Fakat yakın tarihli bazı çalışmalar, bu uygulamanın kare ve dairesel temeller için daha büyük (H = 3B) rijit tabaka derinliklerine kadar genişletilmesini önermekte, aynı zamanda şekil faktörlerinde de benzer düzeltmelerin yer alması gerektiğine işaret etmektedir. Bu noktalardan hareketle, bu çalışmada, rijit bir tabaka ile sınırlanmış bulunan beş farklı kalınlıkta kum zemin üzerinde, model ölçekli kare ve dikdörtgen temeller üzerinde gerçekleştirilen eksenel yükleme deney sonuçları sunulmuştur. Elde edilen yük-deformasyon ilişkileri, rijit tabakanın taşıma gücü üzerindeki etkili derinliğinin temel şeklinin etkisi de göz önüne alınarak belirlenmesinde kullanılmıştır.

Anahtar kelimeler: Yüzeysel (Sığ) Temeller, Taşıma Gücü, Kohezyonsuz Zeminler, Rijit Tabaka Etkisi

THE EFFECT OF A SHALLOW RIGID LAYER ON THE BEARING CAPACITY OF FOOTINGS ON COHESIONLESS SOILS

ABSTRACT

Traditionally, for footings on cohesionless soils, the bearing capacity factor N_γ is modified if an underlying rigid layer exists within a depth (H) less than or equal to the width of the footing (H ≤ B). However, the validity of this practice has been challenged by some recent studies, which indicate that this modification should be applied for rigid layer depths of up to three times the width (H = 3B) for circular and square footings. In addition, there is no consensus on whether the shape factors should be modified for this condition as well, and if so, how. In this study, laboratory test results of axially loaded rigid square and rectangular footings on sand underlain by rigid bases at five different depths are presented. The results are discussed within the framework of the limiting value of H/B for which the bearing capacity should be modified considering the effect of the footing shape as well.

Keywords: Shallow Foundations, Bearing Capacity, Cohesionless Soils, Rigid Layer Effect

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kaya veya benzer bir sığ rijit tabaka varlığı, yüzeysel temel taşıma gücünde artışa sebep olur. Böyle bir durumla karşılaşıldığında, tasarımcının temel taşıma gücünü doğru bir biçimde belirlemeye yönelik analitik çözümlere ihtiyacı olacaktır. Bu çözüm, kohezyonsuz bir zemin üzerinde bulunan yüzeysel bir temel için, taşıma gücü faktörü N_γ'nın, en azından rijit tabaka derinliğine (H) bağlı biçimde düzeltilmesini içerecektir. Buna karşın, söz konusu düzeltme için, etkili ya da sınır rijit tabaka derinliği veya temel şeklinin etkisi hakkında bir karar birliği bulunmamaktadır.

Bu tartışmalı noktalar doğrultusunda, sınırlı kalınlıkta kum zemin üzerinde yer alan rijit kare ve dikdörtgen yüzeysel temellerin eksenel yük altındaki davranışını irdelemek maksadı ile bir dizi model eksenel yükleme deneyi gerçekleştirilmiştir. Deneyler sırasında rijit

tabaka derinliği ve temel şekli ana değişkenler olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, rijit tabaka derinliğinin, taşıma gücü faktörü N_γ ve şekil faktörü $\zeta_{\gamma s}$ üzerindeki tartışmalı etkisini incelemede kullanılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR (PREVIOUS STUDIES)

Yatay bir kohezyonsuz zemin tabakası üzerinde yer alan, eksenel yükleme altındaki yüzeysel bir temel için, genel yenilme durumunda taşıma gücü (q_{ult}), aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

$$q_{ult} = 0,5\,B\gamma' N_\gamma \zeta_{\gamma s} \qquad (1)$$

Eşitlik 1'de γ' zeminin efektif birim hacim ağırlığıdır. Terzaghi [1] tarafından sunulan ve ardından diğer araştırmacıların çalışmaları ile bazı değişikliklere uğrayan taşıma gücü veya şekil faktörlerinin hiçbiri, sınırlı kalınlıkta bir zemin tabakasının altında mevcut bulunabilecek rijit bir tabaka ile temel arasındaki etkileşimi hesaba katmamaktadır. Eğer rijit bir tabaka yüzeye yeterince yakın bir konumda yer alıyor ise, bu tabakanın taşıma gücü üzerindeki etkisini yansıtmak üzere taşıma gücü faktörü N_γ ve şekil faktörü $\zeta_{\gamma s}$ uygun biçimde değiştirilerek sırası ile N_γ^* ve $\zeta_{\gamma s}^*$ şekline dönüştürülmelidir.

Bu bağlamda, Mandel ve Salencon [2], limit denge teorisini kullanarak N_γ^* değerinin, efektif içsel sürtünme açısına (ϕ') ve rijit tabaka derinliğinin temel genişliğine oranına (H/B) bağlı olarak hesaplanmasını sağlayan bir çözüm geliştirmişlerdir. Söz konusu çözüme göre, $H/B \geq 1$ için, $N_\gamma^* = N_\gamma$'dır. Diğer bir deyişle, söz konusu rijit tabaka temel genişliğinden büyük bir derinlikte yer alıyor ise taşıma gücü hesaplarında herhangi bir dönüşüme ihtiyaç bulunmamaktadır [3].

Meyerhof [4], Mandel ve Salencon [2], analizlerinden yararlanarak, dikdörtgen ve dairesel sığ temeller için ϕ' ve H/B değerlerinin bir fonksiyonu olarak değiştirilmiş şekil faktörü değerleri ($\zeta_{\gamma s}^{*)}$ değerleri sunmuştur. Meyerhof [4]'un analizlerinde de kritik H/B değeri 1'e eşit olup, $H/B \leq 1$ için, aşağıda verilen eşitlikten de anlaşılacağı gibi, kare ve dairesel temeller için birbirine eş şekil faktörleri önerilmiştir [5]:

$$\zeta_{\gamma s\ (\text{dikdörtgen})}^{*} = \left[1 - \left(1 - \zeta_{\gamma s\ (\text{dairesel})}^{*}\right)\frac{B}{L}\right] \qquad (2)$$

Meyerhof [4]'un aksine, rijit tabaka ile herhangi bir etkileşimi incelemeyen Terzaghi [1], kare ve dairesel temeller için şekil faktörlerini sırasıyla 0.8 ve 0.6 olarak belirlemiştir [3].

Daha güncel bir çalışmada, Cerato ve Lutenegger [3], beş değişik kalınlıkta (H/B = 0.5, 1, 2, 3 ve 4), rölatif sıkılığı D_r = % 24, % 57 ve % 87 olacak şekilde hazırlanmış, gevşek, orta sıkı ve sıkı kum tabakalarında yer alan, genişlikleri 0.102 ile 0.457 m arasında değişen model kare ve dairesel temeller üzerinde eksenel yükleme deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Deney sonuçlarına göre, Cerato ve Lutenegger [3], kritik H/B oranının yukarıda özetlenen araştırmalarda önerilen bir değerinden daha büyük olması gerektiğini vurgulayarak, N_γ ve $\zeta_{\gamma s}$ değerlerinin, kare ve dairesel temeller için $H/B \leq 3$ koşulunun sağlandığı durumlarda rijit tabaka etkisi sebebi ile değiştirilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Ayrıca, aynı çalışma sonuçlarına göre, Meyerhof [4] tarafından önerilenin aksine, şekil faktörlerinin kare ve dairesel temeller için eşit olmadığı belirlenmiş ve rijit tabaka mevcudiyetinde de Terzaghi [1] tarafından önerilen şekil faktörlerinin kullanımı önerilmiştir [3].

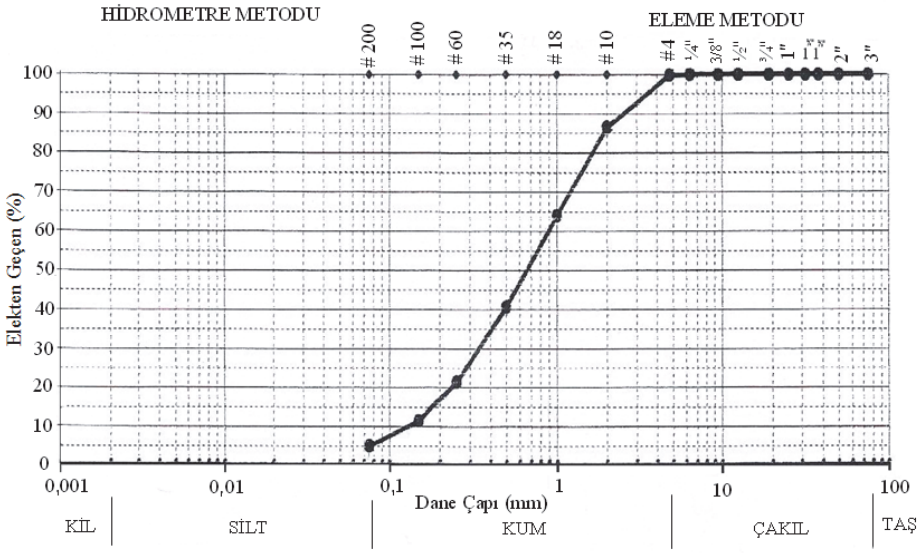
3. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL STUDY)

Yukarıda belirtildiği üzere, rijit tabaka varlığının temel taşıma gücü üzerindeki etkisi konusunda çeşitli noktalarda farklı görüşler mevcuttur. Özellikle dikdörtgen temeller için bilgi birikimi son derece sınırlıdır. Bu hususları bir miktar açıklığa kavuşturmak amacı ile Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü Geoteknik ve Yapı Mekaniği Laboratuvarlarında, rijit bir tabaka üzerinde yer alan beş farklı kalınlıkta kum zemin üzerinde, uzunluğu 100 ile 400 mm arasında değişen, 100 mm genişlikte kare ve dikdörtgen ölçekli çelik model temeller üzerinde eksenel yükleme deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Deneylerde kullanılan ve Birleştirilmiş Zemin Sınıflama Sistemine (USCS) göre SW – iyi derecelenmiş kum olarak sınıflandırılan kum, sonuçları Tablo 1'de özetlenmiş olan endeks deneyleri ile karakterize edilmiştir. Ayrıca, kullanılan zemin için elek analizi yardımı ile elde edilmiş olan tane dağılım eğrisi Şekil 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Deneylerde kullanılan kumun özellikleri (Properties of the sand used in the experimental studies)

G_s	ρ_{min} (Mg/m^3)	ρ_{max} (Mg/m^3)	e_{min}	e_{max}	D_{10} (mm)	D_{50} (mm)	C_c	C_u	İnce Malzeme Oranı (%)
2.71	1.55	1.82	0.48	0.75	0.12	0.62	1.0	7.5	4.9

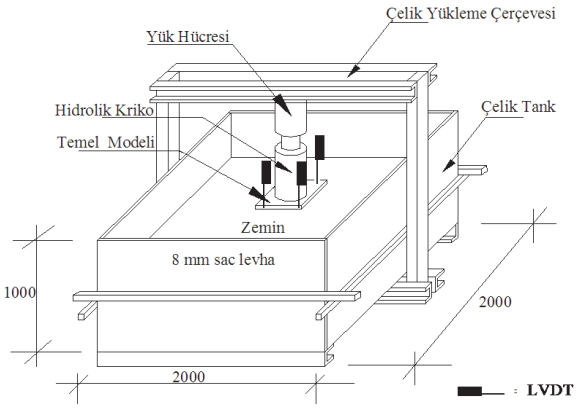


Şekil 1. Elek analizi sonucu elde edilen granülometri eğrisi
(Grain size distribution curve obtained by sieve analysis)

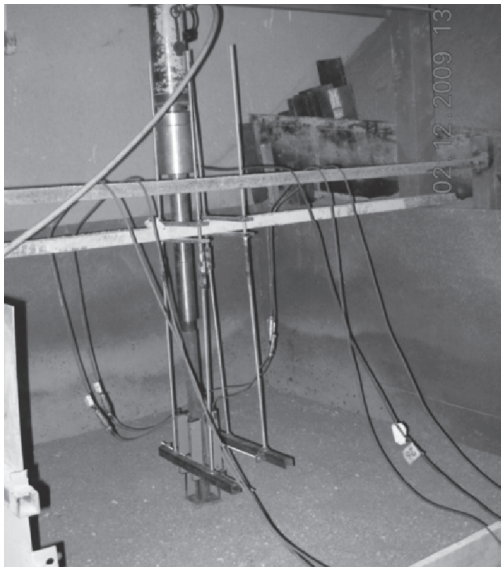
Rölatif sıkılığı (D_r), %55 olan kum numuneleri üzerinde gerçekleştirilen kesme kutusu deneylerine göre, kumun efektif içsel sürtünme açısı (ϕ') 41.6° olarak belirlenmiştir. Söz konusu deneylerde normal gerilme 95 ile 500 kPa aralığında değişmiştir.

Model ölçekli temeller üzerinde eksenel yükleme deneyleri, rijit tabakayı temsil eden betonarme tabana sahip, bu tür çalışmalar için tasarlanmış olan 2.00 x 2.00 x 1.00 m boyutlarında çelik bir deney kutusu içerisinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 2). Tüm testlerde etüvde kurutulmuş olan kum kullanılmış ve deneylerde temeller kum yüzeyinde yer almıştır (D=0). Deneylerde yüklenen kare ve dikdörtgen şekildeki model temeller 0.10 m genişliğe sahip olup, tabanları zımparalanmak sureti ile yapay biçimde pürüzlü hale getirilmiştir. Yükleme, oluşturulan kapalı çerçeve üzerine yerleştirilen 300 kN basınç kapasiteli hidrolik bir kriko ile uygulanmış ve 225 kN kapasiteli bir yük hücresi ile ölçülmüştür. Deneylerde test edilen model temellerin deformasyonları köşelerine yerleştirilen dört adet Elektronik Doğrusal Deplasman Ölçer (LVDT: Linear Variable Displacement Tranducer) kullanılarak belirlenmiştir. Bilgisayar ortamına aktarılan LVDT ölçümlerinin ortalaması, sonuçları temsil etmiştir. Kullanılmış olan deney ve ölçüm düzeneği Şekil 3'te gösterilmiştir.

Bu çalışmada, ölçülen taşıma gücü $q_ö$, temel genişliğinin % 10'una eşit bir oturma (s = % 10B = 10 mm) meydana getiren gerilme olarak tanımlanmıştır. Cerato ve Lutenegger [3] tarafından da belirtildiği üzere, bu seçimin herhangi bir teorik altyapısı bulunmamakla birlikte, kolay hatırlanabilir bir rakam olması, göçme durumundaki ortalama zemin birim deformasyonuna yakın bir değer olması, $q_ö$ değerini kesin ve sabit bir rakam olmaya zorlaması ve farklı boyutlardaki temelleri benzer şekilde değerlendirmesi açısından yararlı bir yaklaşım olduğu söylenebilir [3].



Şekil 2. Model yükleme deneylerinde kullanılan deney tankı (Loading tank used at the model loading tests)

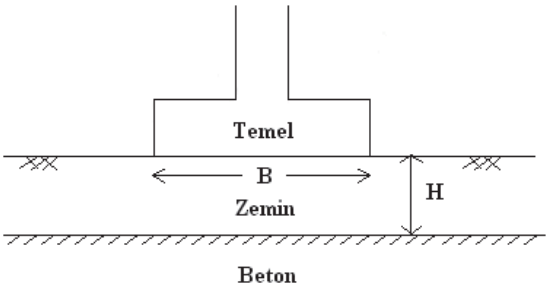


Şekil 3. Deney düzeneğini gösteren bir fotoğraf
(A photograph illustrating the experimental setup)

Deneysel çalışmalarda, çelik kasa içerisine 50 mm'lik tabakalar halinde serilen kum, çelik bir tokmak yardımı ile sıkılık derecesi D_r = %55, yani birim hacim ağırlığı γ = 16.8 kN/m^3 olacak şekilde sıkıştırılarak yerleştirilmiştir. Bu amaçla deney kasasının duvarları ölçeklendirilmiş ve her kum tabakası üst yüzeyi önceden belirlenen derinliğe denk gelene dek sıkıştırılmıştır. Sıkıştırma işlemi tamamlandıktan sonra yüzeyin düzgün olup olmadığı her deneyde kontrol edilmiş ve yük, temel plakası merkezine düşey yönde ve statik olarak uygulanmıştır. Her deney için çelik kutu tam olarak boşaltılarak, yeni bir kum tabakası hazırlanmıştır. Gerçekleştirilen tüm yükleme testlerinde oluşturulan tipik deney kesiti Şekil 4'te görülmektedir.

4. DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ (EVALUATION OF THE EXPERIMENTAL RESULTS)

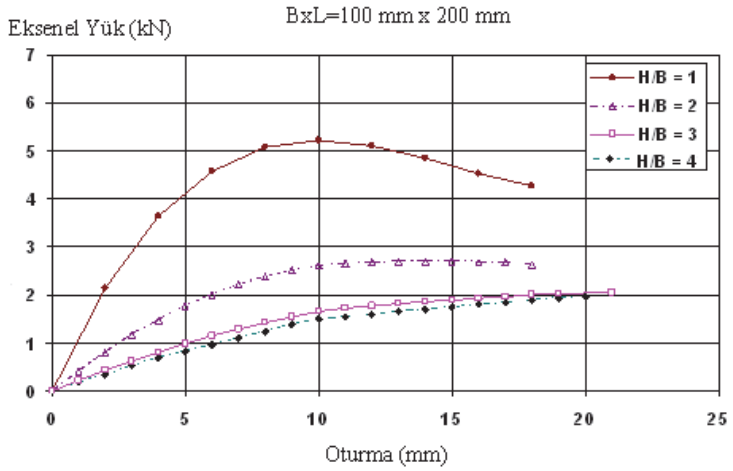
50 mm, 100 mm, 200 mm, 300 mm ve 400 mm kalınlığına sahip zemin tabakaları üzerinde yapılan deneyler sonucunda 10 mm oturmadaki ve temel tabanındaki zeminin yenilmeden taşıyabileceği en büyük gerilme düzeyinde (nihai taşıma gücü) ölçülen yük değerleri Tablo 2'de verilmiştir. 100 mm x 200 mm boyutlarındaki model temel üzerinde yapılan eksenel yükleme deneyinde değişen kum tabaka kalınlığı ile ortaya çıkan yük–oturma eğrileri karşılaştırmalı olarak Şekil 5'de sunulmuştur. Tablo 2'de sunulan değerler ile yük–oturma grafikleri incelendiğinde, tabaka kalınlığının temel yük–oturma davranışına etki eden ana faktörlerden biri olduğu açıkça görülmektedir (Şekil 6, Şekil 7).



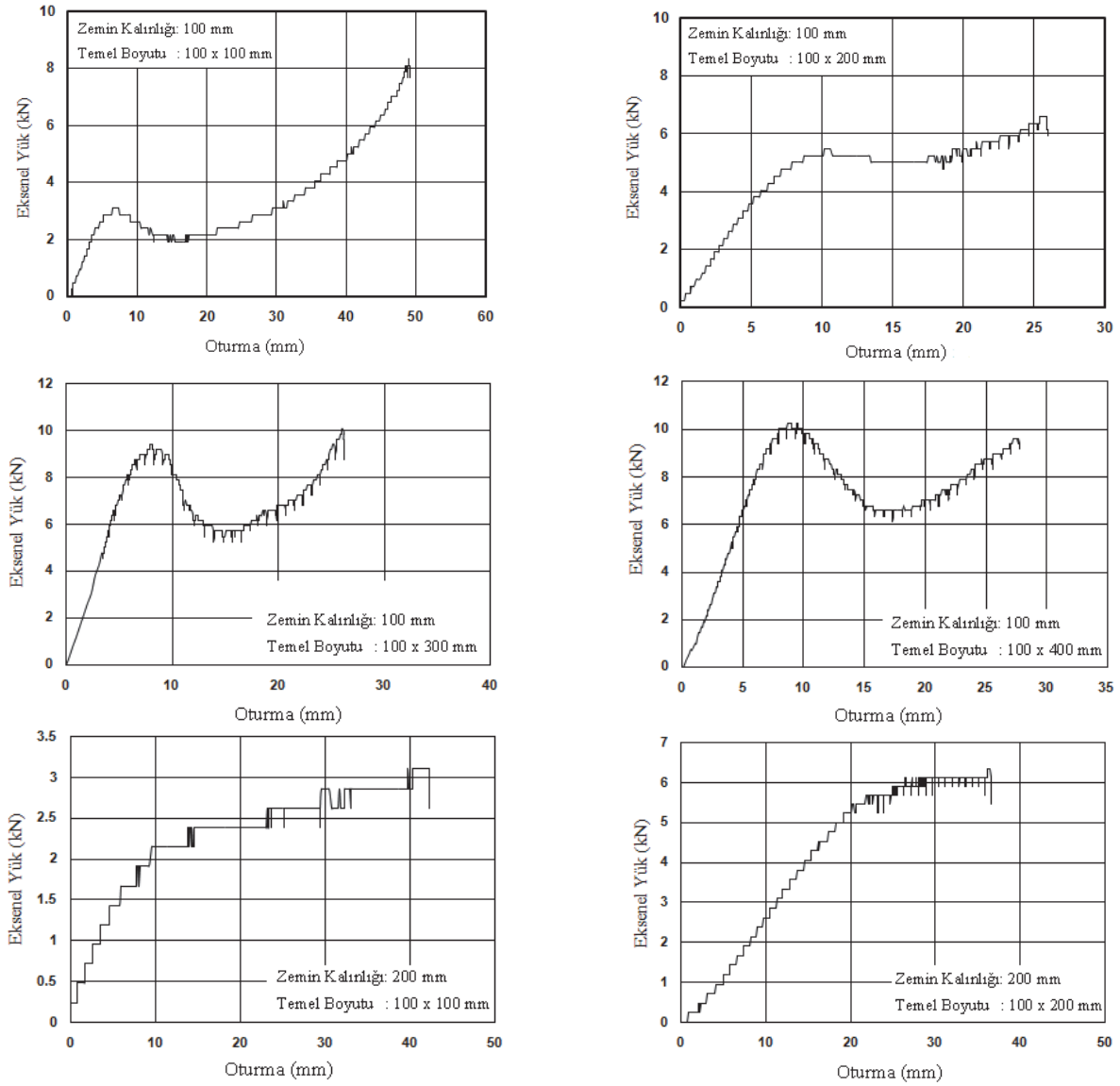
Şekil 4. Yükleme deneylerindeki tipik kesit (A typical section for the loading tests)

Tablo 2. Deneyler sonucu ölçülmüş olan 10 mm oturmadaki eksenel yük ve nihai yük değerleri (Experimental values of axial load at 10 mm settlement and ultimate load)

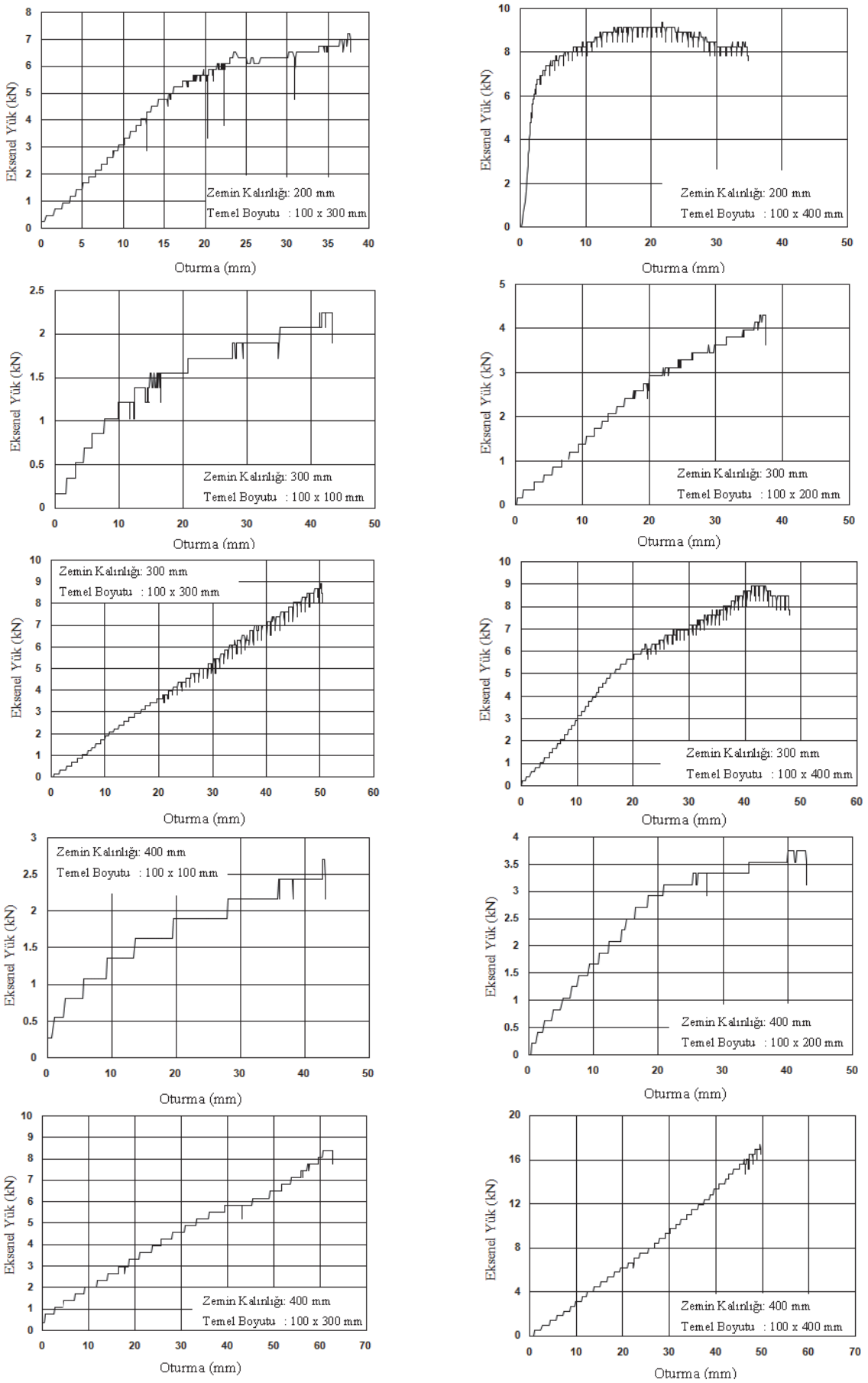
Zemin Derinliği (mm)	Temel Boyutları (mm) (Genişlik x Uzunluk)	10 mm oturmada eksenel yük (kN)	Nihai taşıma gücü	
			Eksenel yük (kN)	Oturma (mm)
50	100 x 100	10.21	24.35	21.92
	100 x 200	32.67	42.83	15.05
	100 x 300	55.22	78.29	18.96
	100 x 400	60.00	90.53	19.04
100	100 x 100	2.61	3.09	7.27
	100 x 200	5.23	5.47	10.63
	100 x 300	8.10	9.41	8.11
	100 x 400	9.83	10.26	8.96
200	100 x 100	2.15	3.10	42.21
	100 x 200	2.62	6.33	36.39
	100 x 300	3.10	7.20	37.56
	100 x 400	8.26	9.35	21.75
300	100 x 100	1.35	2.24	43.32
	100 x 200	1.67	4.31	37.46
	100 x 300	1.90	8.92	50.23
	100 x 400	3.13	8.91	43.72
400	100 x 100	1.21	2.70	43.05
	100 x 200	1.38	3.75	42.79
	100 x 300	2.00	8.38	62.73
	100 x 400	2.92	17.39	49.55



Şekil 5. 0.10 m x 0.20 m dikdörtgen model temelin farklı H/B değerlerinde yük– oturma eğrileri (The load-settlement curves of 0.10 m x 0.20 m rectangular footing at various H/B values)



Şekil 6. Deneyler sonucu elde edilen yük - oturma eğrileri (Load-settlement curves obtained from the tests)



Şekil 7. Deneyler sonucu elde edilen yük - oturma eğrileri (Load-settlement curves obtained from the tests)

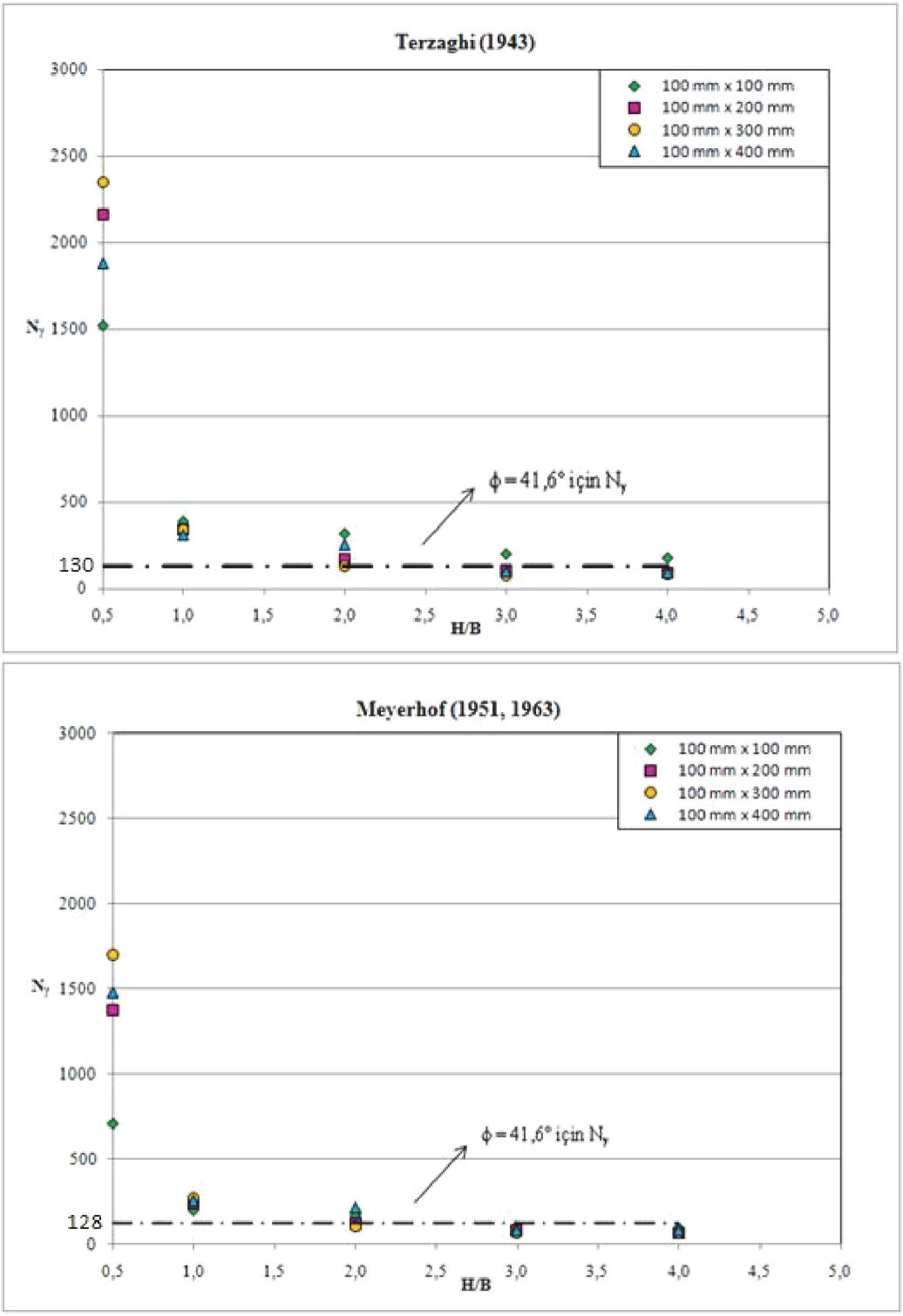
Rijit tabaka varlığının taşıma gücü faktörü N_γ ve şekil faktörü $\zeta_{\gamma s}$ üzerindeki etkisini incelemek için, Terzaghi [1], Meyerhof [4], Hansen [6], Vesic [7] taşıma gücü eşitliklerinden yararlanılmış ve her bir yöntem için önerilen şekil faktörleri ile deneysel çalışma sonuçları kullanılarak geri hesaplama yoluyla elde edilen taşıma gücü faktörleri ve buna bağlı olarak eşdeğer içsel sürtünme açısı değerleri Tablo 3'te özetlenmiştir.

Sonuçlar, Şekil 8'de, ele alınmış olan her taşıma gücü yöntemi ve dört farklı temel şekli için taşıma gücü faktörü N_γ cinsinden ifade edilerek gösterilmektedir. Kullanılan kumun %55 rölatif sıkılık derecesindeki içsel sürtünme açısı olan 41.6° değerine karşılık gelen ve rijit tabaka etkisini içermeyen taşıma gücü faktörü aynı şekiller üzerinde kesik çizgi ile ifade edilmiştir. Sonuçlar, beklendiği üzere N_γ değerlerinin artan H/B değeri ile azaldığını göstermektedir. H/B, yaklaşık 2.0–3.0 değerini aştığında rijit tabaka etkisi ortadan kalkmaktadır. Bu, Cerato ve Lutenegger [3] tarafından elde edilen sonuçlar ile büyük oranda uyumlu, literatürde çoklukla yer alan sınır veya kritik H/B değeri olan 1 ile uyumsuzdur. Meyerhof [4] ve Mandel ve Salencon [2] 'un kabul ettiği sınır H/B değeri olan ve halen uygulamada sıklıkla kullanılan değerin geçersiz olduğu görülmektedir. [3].

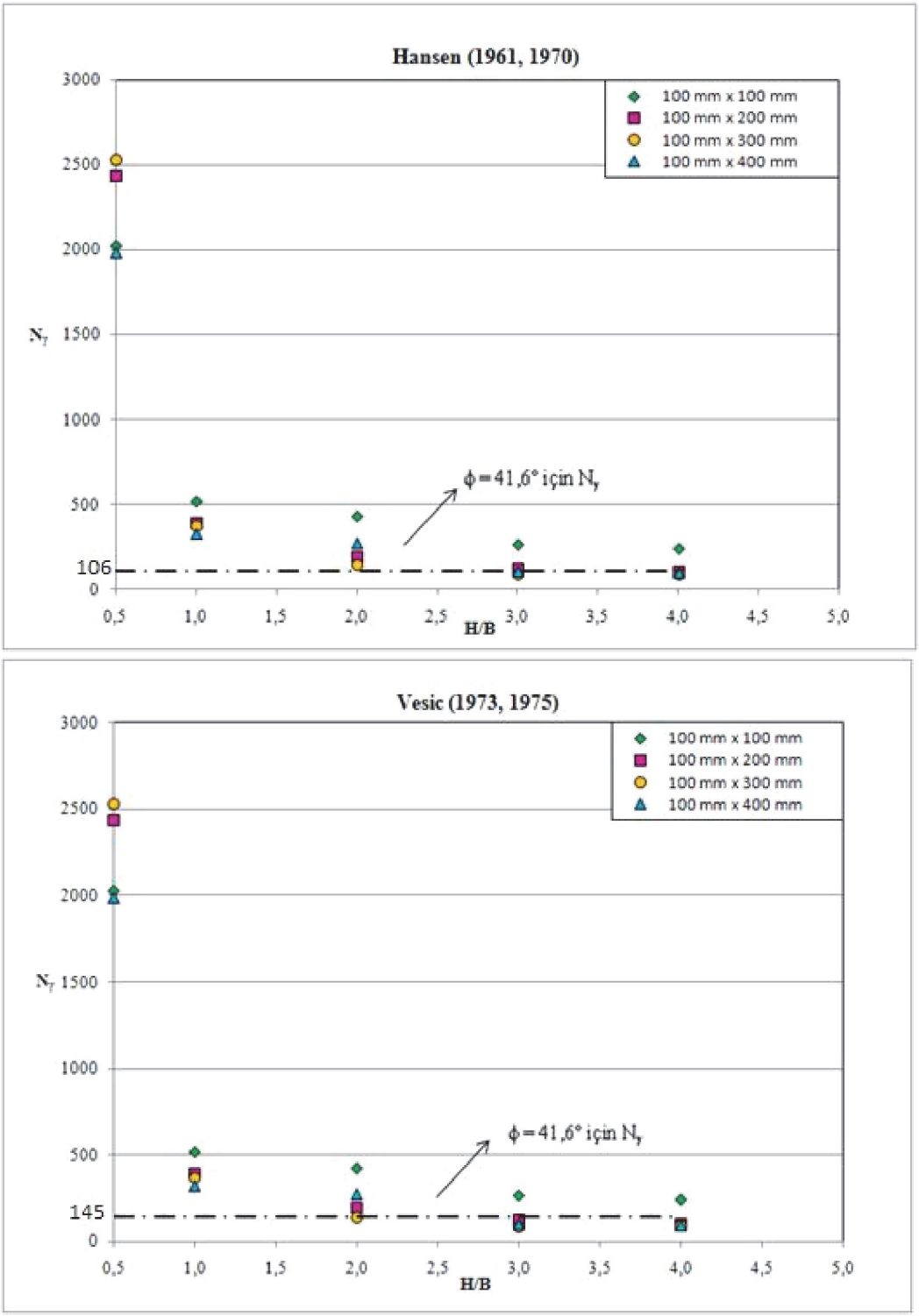
Şekil 8 ve Şekil 9, model temel şekilleri açısından incelendiğinde, şekil faktörü kullanılmasının ardından, belirli bir kum tabaka kalınlığında ortaya çıkan taşıma gücü faktörü değerleri arasındaki en düşük farkın, özellikle artan H/B ile birlikte görsel olarak Meyerhof [4] yönteminde oluştuğu anlaşılmaktadır. Bu hususun sayısal olarak incelenmesi amacı ile her yöntem için farklı H/B değerlerinde deney sonuçlarından geri hesaplama yolu ile elde edilen taşıma gücü katsayılarının varyans katsayısı (COV) hesaplanarak, Tablo 4'te sunulmuştur. Hatasız şekil faktörü sunan bir yöntem ve mükemmel deney sonuçları için COV değerinin sıfıra eşit olmasının bekleneceği, şekil faktörünün başarısızlığının ise artan COV değeri ile ifade edilebileceği söylenebilir.

Tablo 3. Farklı taşıma gücü yöntemlerine göre elde edilen taşıma gücü faktörleri ve eşdeğer içsel sürtünme açıları (The bearing capacity factors and the corresponding effective stress friction angles back-calculated from load tests using different bearing capacity estimation methods)

					Terzaghi [1]			Meyerhof [4]			Hansen [6]			Vesic [7]		
Kum Tabakası Kalınlığı (H) (mm)	B (mm)	L (mm)	H/B	10 mm oturmada eksenel yük (kN)	N_γ	$\zeta_{\gamma s}$	$\phi(°)$	N_γ	$\zeta_{\gamma s}$	$\phi(°)$	N_γ	$\zeta_{\gamma s}$	$\phi(°)$	N_γ	$\zeta_{\gamma s}$	$\phi(°)$
50	100	100	0.5	10.21	1519	0.80	50.7	706	1.72	49.2	2026	0.60	55.2	2026	0.60	54.1
	100	200		32.67	2161	0.90	51.6	1376	1.41	51.7	2431	0.80	55.9	2431	0.80	54.8
	100	300		55.22	2348	0.93	51.7	1702	1.29	52.4	2528	0.87	56.0	2528	0.87	55.0
	100	400		60.00	1880	0.95	51.2	1476	1.21	51.9	1984	0.90	55.1	1984	0.90	54.0
100	100	100	1.0	2.61	388	0.80	46.4	201	1.55	43.8	518	0.60	49.6	518	0.60	48.2
	100	200		5.23	346	0.90	46.0	242	1.29	44.6	389	0.80	48.3	389	0.80	46.8
	100	300		8.10	346	0.93	46.0	269	1.20	45.1	371	0.87	48.0	371	0.87	46.6
	100	400		9.83	308	0.95	45.5	256	1.14	44.9	325	0.90	47.4	325	0.90	45.9
200	100	100	2.0	2.15	320	0.80	46.5	168	1.53	42.9	427	0.60	48.7	427	0.60	47.3
	100	200		2.62	173	0.90	43.0	125	1.25	41.5	195	0.80	44.8	195	0.80	43.2
	100	300		3.10	132	0.93	41.7	106	1.16	40.6	142	0.87	43.2	142	0.87	41.5
	100	400		8.26	259	0.95	44.8	216	1.14	44.1	273	0.90	46.5	273	0.90	45.0
300	100	100	3.0	1.35	201	0.80	43.7	109	1.48	40.8	268	0.60	46.5	268	0.60	44.9
	100	200		1.67	110	0.90	40.7	81	1.22	39.2	124	0.80	42.5	124	0.80	40.7
	100	300		1.90	81	0.93	39.1	66	1.14	38.2	87	0.87	40.5	87	0.87	38.7
	100	400		3.13	98	0.95	40.1	84	1.11	39.4	104	0.90	41.5	104	0.90	39.7
400	100	100	4.0	1.21	180	0.80	43.2	98	1.46	40.2	240	0.60	45.9	240	0.60	44.4
	100	200		1.48	91	0.90	39.7	68	1.21	38.3	103	0.80	41.4	103	0.80	39.6
	100	300		2.00	85	0.93	39.4	69	1.14	38.4	92	0.87	40.8	92	0.87	39.0
	100	400		2.92	91	0.95	39.7	78	1.11	39.0	97	0.90	41.1	97	0.90	39.3



Şekil 8. Farklı taşıma gücü yöntemleri için H/B ve temel şeklinin N_γ üzerindeki etkisi (The effect of H/B and footing shape on Nγ for different bearing capacity calculation methods)



Şekil 9. Farklı taşıma gücü yöntemleri için H/B ve temel şeklinin N_γ üzerindeki etkisi (The effect of H/B and footing shape on Nγ for different bearing capacity calculation methods)

Tablo 4. Farklı taşıma gücü yöntemlerine ve H/B değerlerine göre tüm temel şekilleri için elde edilen taşıma gücü faktörlerinin COV değerleri (The COV values of bearing capacity factors obtained for footings with different aspect ratios estimated from different bearing capacity methods and H/B values)

		Terzaghi [1]	Meyerhof [4]	Hansen [6]	Vesic [7]
H/B=0.5	Standart Sapma (SS)	360.62	428.33	277.43	277.43
	Ortalama (ORT)	1976.89	1314.84	2242.28	2242.28
	Varyasyon Katsayısı (COV)	**0.18**	**0.33**	**0.12**	**0.12**
H/B=1	SS	32.87	29.54	82.60	82.60
	ORT	346.97	241.78	400.73	400.73
	COV	**0.09**	**0.12**	**0.21**	**0.21**
H/B=2	SS	84.39	48.69	123.95	123.95
	ORT	221.07	153.70	259.15	259.15
	COV	**0.38**	**0.32**	**0.48**	**0.48**
H/B=3	SS	53.55	17.72	82.88	82.88
	ORT	122.62	85.01	145.65	145.65
	COV	**0.44**	**0.21**	**0.57**	**0.57**
H/B=4	SS	45.44	14.05	71.71	71.71
	ORT	112.04	78.45	132.72	132.72
	COV	**0.41**	**0.18**	**0.54**	**0.54**
Ortalama Varyasyon Katsayısı (COV_{ort})		0.30	0.23	0.38	0.38

Tablo 4, ortalama COV değerleri ışığında incelendiğinde, Meyerhof [4] yönteminin en başarılı şekil faktörünü sunduğunu işaret etmektedir. Söz konusu yöntemin önerdiği şekil faktörünün kullanılması, özellikle rijit tabaka etkisinin tamamen ortadan kalktığı (H/B $\geq$ 3) durumlarda farklı temel şekilleri için diğer yöntemlere kıyasla çok daha birbirine yakın taşıma gücü faktörleri ortaya çıkartmaktadır. Rijit tabakanın oldukça sığ derinliklerde bulunduğu (H/B $\leq$ 1) durumlar için ise Meyerhof [4] yöntemi diğerlerine kıyasla daha yüksek COV değerleri verdiğinden, Terzaghi [1] yönteminin önerdiği şekil faktörlerinin kullanılmasının daha uygun sonuçlar ortaya çıkartacağı anlaşılmaktadır.

5. SONUÇLAR (RESULTS)

Sığ bir rijit tabakanın varlığı durumunda, yüzeysel temel taşıma gücünün nasıl etkilendiği, özellikle halen tartışma konusu olan etkili derinlik ve şekil etkisi çerçevesinde deneysel olarak incelenmiştir. Bu amaçla, rijit bir tabaka ile sınırlanmış bulunan beş farklı kalınlıkta kum zemin üzerinde, model ölçekli kare ve dikdörtgen temeller üzerinde gerçekleştirilen eksenel yükleme deney sonuçları sunularak değerlendirilmiştir.

Deneysel sonuçlar, rijit tabaka derinliğinin temel genişliğine oranı (H/B) yaklaşık 2.0 değerini aştığında rijit tabaka etkisinin ihmal edilebilir düzeye eriştiğini göstermektedir. Bu etki, temel uzunluğunun genişliğine oranının artması ile daha hızlı ortadan kalkma eğilimi göstermektedir.

Elde edilen etkili derinlik, Cerato ve Lutenegger [3] tarafından kare ve dairesel model temeller için elde edilen sonuçlar ile büyük oranda uyumludur. Meyerhof [4] ve Mandel ve Salencon [2] tarafından kabul edilen sınır H/B değeri olan 1' in geçersiz olduğu görülmektedir.

Gerçekleştirilen sınırlı sayıda deney sonucuna göre, sığ rijit tabaka varlığında (H/B $\leq$ 1) Terzaghi [1] tarafından ortaya konulmuş olan şekil faktörlerinin kullanımının uygun olabileceği anlaşılmıştır. Meyerhof [4] şekil faktörleri ise rijit tabaka etkisinin ihmal edilebileceği durumlar için daha geçerli sonuçlar vermiştir.

Çalışma sonuçları 100 mm genişliğinde model temellerin yüklenmesi sonucu elde edildiğinden, olası boyut etkisi, daha sonra gerçekleştirilecek araştırmalarda göz önüne alınmalıdır.

SEMBOLLER VE KISALTMALAR (SYMBOLS AND ABBREVIATIONS)

B	Temelin genişliği
C_c	Eğrilik katsayısı
C_u	Uniformluk katsayısı
D	Temelin derinliği
D_r	Rölatif sıkılık
D_{10}	Numunenin ağırlıkça geçen %10'una karşılık gelen tane çapı
D_{50}	Numunenin ağırlıkça geçen %50'sine karşılık gelen tane çapı
e_{min}	Minimum boşluk oranı
e_{max}	Maksimum boşluk oranı
G_s	Özgül Ağırlık
H	Temel ile rijit tabaka arasındaki katman kalınlığı
kPa	KiloPascal
kN	KiloNewton
L	Temelin uzunluğu
LVDT	Elektronik Doğrusal Deplasman Ölçer
m	Metre
mm	Milimetre
N_γ	Taşıma gücü faktörü
N_γ^*	Değiştirilmiş taşıma gücü faktörü
$q_ö$	Deneyler sonucu ölçülen taşıma gücü
q_{ult}	Genel yenilme durumunda taşıma gücü
ORT	Ortalama
s	Oturma miktarı
SS	Standart Sapma
USCS	Birleştirilmiş Zemin Sınıflama Sistemi
COV	Varyasyon Katsayısı
COV_{ort}	Ortalama Varyasyon Katsayısı
γ	Zeminin birim hacim ağırlığı
γ'	Zeminin efektif birim hacim ağırlığı
ϕ'	Zeminin efektif içsel sürtünme açısı
ρ_{min}	En düşük yoğunluk
ρ_{max}	En yüksek yoğunluk
$\zeta_{\gamma s}$	Şekil faktörü
$\zeta_{\gamma s}^*$	Değiştirilmiş şekil faktörü

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Terzaghi, K., Theoretical Soil Mechanics, **John Wiley and Sons**, New York, 1943.
2. Mandel, J. ve Salencon, J., "Force portante d'un sol sur une assise rigide (Etude Theorique)", **Geotechnique**, Vol 22, No 1, pp 79-93, London, England, 1972.
3. Cerato, A. B. ve Lutenegger, A. J., "Bearing Capacity of Square and Circular Footings on a Finite Layer of Granular Soil Underlain by a Rigid Base", **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE**, Vol 132, No 11, pp 1496–1501, 2006.
4. Meyerhof, G., G., "Some Recent Research on the Bearing Capacity of Foundations", **Canadian Geotechnical Journal**, Ottawa, Canada, Vol 1, No 1, 16-26, 1963.
5. Cerato, A. B. ve Lutenegger, A. J., "Model Footing Tests on a Finite Layer of Granular Soil", **FONDSUP International Symposium**, 155–163, 2003.
6. Hansen, J., B., "A Revised and Extended Formula for Bearing Capacity", **Danish Geotechnical Institute**, Bulletin No 28, pp 5-11, Copenhagen, 1970.
7. Vesic, A., S., "Bearing Capacity of Shallow Foundations", Ed. by H. Winterkorn and H. Y. Fang, **Foundation Engineering Handbook**, Van Nostrand Reinhold, pp 121-147, New York, 1975.