

Kuma Oturan Yüzeysel Temelerde Temel Boyutunun Taşıma Kapasitesine Etkisi

Salih KESKİN^{*1}, Mustafa LAMAN², Samet UĞUR¹ ve Selçuk BİLDİK²

¹D.Ü., Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır

²Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana

Özet

Bu çalışmada, kumlu zeminler üzerine oturan şerit temellerin taşıma kapasitesi sayısal ve teorik olarak analiz edilmiştir. Bu amaçla, kum zemine oturan bir şerit temel modeli oluşturularak üç boyutlu Plaxis-3D bilgisayar programı ve literatürdeki mevcut teorik yöntem (Terzaghi Yöntemi) kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Sayısal analizlerde, farklı temel genişlikleri kullanılarak, temel genişliğinin, taşıma kapasitesi, q_u ve taşıma gücü katsayısına, N_γ etkisi incelenmiş ve teorik yöntemle karşılaştırmalar yapılmıştır. Sayısal analiz sonuçları, temel genişliğinin artmasıyla şerit temelin taşıma kapasitesinin arttığını, taşıma kapasitesi katsayısının ise azaldığını göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Şerit Temel, Taşıma Kapasitesi, Ölçek Etkisi, Sonlu Elemanlar Yöntemi.

Effect of Footing Dimension on the Bearing Capacity of Shallow Foundations on Sand

Abstract

In this study, the bearing capacity of strip footings on sand was investigated numerically and theoretically. For this aim, a strip footing model on sand was constituted and analyses were performed using Plaxis-3D computer program and theoretical method (Terzaghi Method) from the literature. In the numerical analysis, the effect of footing width on the bearing capacity, q_u and the bearing capacity factor, N_γ was investigated using different footing widths. The numerical results indicate that with increasing footing width, the bearing capacity of strip footing is increased, while the bearing capacity factor is reduced.

Keywords: Strip footing, bearing capacity, scale effect, finite element method.

* Yazışmaların yapılacağı yazar: Salih KESKİN, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır.mskeskin@dicle.edu.tr

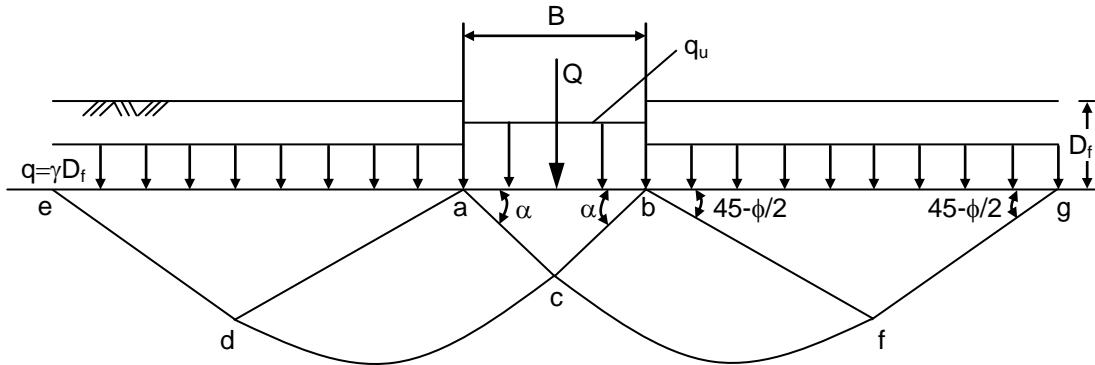
1. GİRİŞ

Yüzeysel temeller, uygulanan yapısal yükleri yüzeye yakın zemin tabakalarına iletirler ve bu esnada zeminde hem basınç hem de kayma gerilmeleri oluştururlar. Bu gerilmelerin büyüklükleri çoğunlukla temel taban basıncına ve temelin büyüklüğüne bağlıdır. Taban basıncının yeteri kadar büyük veya temelin yeteri kadar küçük olması durumunda, kayma gerilmeleri zeminin kayma dayanımını aşabilir. Bu da taşıma gücü yenilmesi ile sonuçlanır [1].

Zeminlerin taşıma gücünü hesaplamada kullanılan çeşitli sınır denge yöntemleri mevcuttur. Ancak, yaygın kabul görenlerden biri, Terzaghi [2] tarafından önerilendir. Terzaghi teorisi L/B oranı çok büyük olan şerit temeller için geliştirilmiştir. Terzaghi, üniform yüklü şerit temel için geliştirdiği taşıma gücü teorisinde, göçme anında temel zemininde oluşan kırılma yüzeylerini Şekil 1'de görüldüğü gibi kabul etmiştir. Sonraki çalışmalarda, model deneylerden elde edilen deneysel katsayılar ilave edilerek teori, kare ve dairesel temellere genişletilmiştir.

Temel zemini; homojen, izotrop ve yarı sonsuz kabul edilerek şerit temelin nihai taşıma kapasitesi için aşağıdaki bağıntı çıkarılmıştır:

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



Şekil 1. Terzaghi tarafından kabul edilen zemin kırılma yüzeyleri

Burada;

q_u : nihai taşıma kapasitesi,

c : temel altındaki zeminin kohezyonu,

q : γD_f (D_f = temel derinliği)

γ : zeminin birim hacim ağırlığı,

B : temel genişliği,

N_c , N_q , N_γ : Zeminin içsel sürtünme açısı, ϕ değerlerine bağlı olarak elde edilen Terzaghi'nin taşıma gücü faktörü değerlerini göstermektedir.

Temelin zemin yüzeyine oturması ($D_f = 0$) ve kohezyonun sıfır olması durumunda ($c=0$) Denklem (1);

$$q_u = \frac{1}{2}\gamma BN_\gamma \quad \text{veya} \quad N_\gamma = \frac{q_u}{\gamma B/2} \quad (2)$$

şeklini almaktadır.

Kumlu zeminlere oturan yüzeysel temellerin taşıma kapasitesi birçok araştırmacı tarafından uzun yıllardır çalışılmaktadır [3,4]. Fakat nihai taşıma kapasitesini, q_u veren ve Terzaghi [2] tarafından önerilen genel denklem çok az değişikliğe uğramıştır. Denklem (1) ve (2)'de verilen taşıma kapasitesi faktörü N_γ , sabit bir içsel sürtünme açısı, ϕ değeri için sabit kalmakta ve temel boyutundan bağımsız olmaktadır. Bu yüzden, kuma oturan yüzeysel temellerin tasarımında temel büyüklüğü hesaplara katılmamakta ve bu durum aşırı güvenli fakat ekonomik olmayan çözümlere yol açabilmektedir.

Oysa yapılan çalışmalar granüler zeminlere (kum, çakıl vb.) oturan temellerde N_{γ} değerinin, temel boyutuyla değiştiğini göstermiştir [5, 6, 7, 8].

Bu çalışmada, farklı temel genişlikleri kullanılarak, temel genişliğinin, taşıma kapasitesi, q_u ve taşıma gücü katsayısına, N_{γ} etkisi üç boyutlu sayısal analizlerle incelenmiş ve teorik yöntem ile karşılaştırmalar yapılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

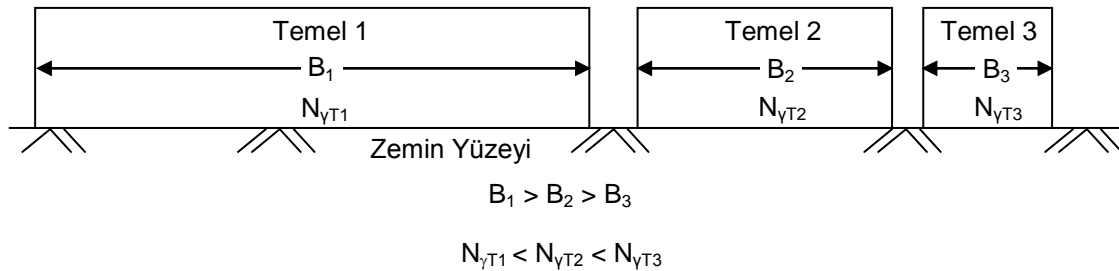
Temel boyutunun, B taşıma kapasitesi faktörü, N_{γ} üzerindeki etkisi ile ilgili ilk çalışma Debeer [9] tarafından gerçekleştirilmiştir. Temel genişliğinin artmasıyla, N_{γ} değerinin azalması Debeer [9] tarafından ölçek etkisi olarak adlandırılmıştır. Temel genişliği ile N_{γ} arasındaki ilişki Şekil 2'de görülmektedir.

Tatsouka ve ark. [11] taşıma kapasitesi faktörü, N_{γ} ile temel boyutu arasındaki ilişkide iki faktörün etkili olduğunu belirtmişlerdir. Bunlardan ilki, Golder [12] tarafından tanımlanan kumun mekanik özelliklerinin gerilme seviyesine bağımlılığı, ikincisi ise, dane boyutu etkisidir.

Habib [13], temel genişliği etkisinin hesaplara katılması amacıyla değiştirilmiş taşıma kapasitesi faktörü, N_{γ}^* terimini önermiştir:

$$N_{\gamma}^* = N_{\gamma} + 400/N \quad (3)$$

N_{γ}^* = Değiştirilmiş Taşıma Kapasitesi Faktörü,
 N_{γ} = Taşıma Kapasitesi Faktörü,
 N = Temel Altındaki Zemin Dane Sayısı (B/Δ),
 B = Temel Genişliği (Mm),
 Δ = Ortalama Dane Boyutu, Değerlerini Göstermektedir.



Şekil 2. Temel boyutunun taşıma kapasitesi faktörü üzerindeki etkisi [10]

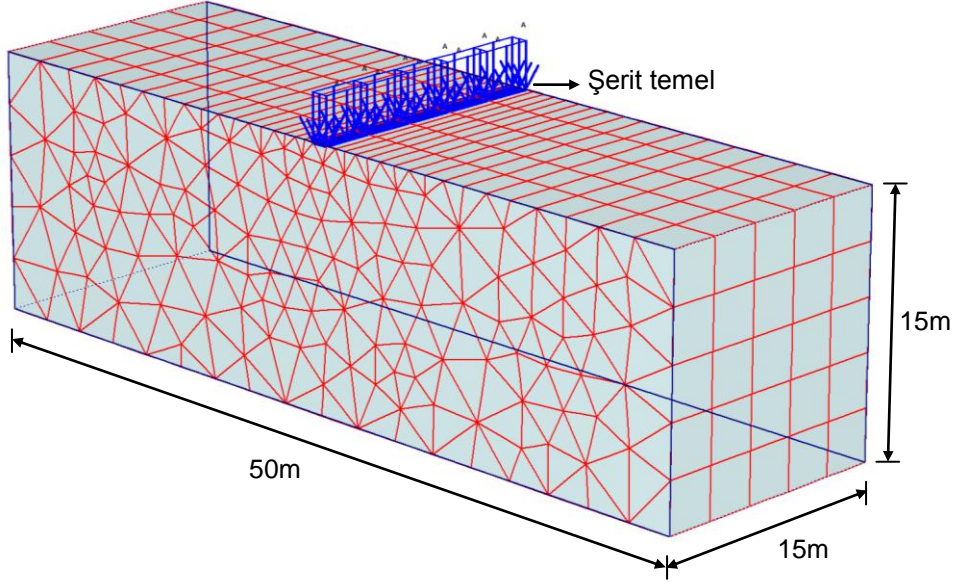
konu ile ilgili gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda birçok farklı n_{γ} ifadesi önerilmiştir [14, 15, 16, 17]. Ingra ve Baecher [18] literatürde mevcut konu ile ilgili gerçekleştirilmiş model deney sonuçlarını kullanarak n_{γ} değerini belirlemek amacıyla bir bağıntı önermişlerdir. çalışmada, model deney sonuçlarının, daha önceden önerilen farklı teorik çözümlerin üst sınırının üzerinde n_{γ} değerleri verdiği ve dolayısıyla yüksek taşıma kapasiteleri elde edildiği belirtilmiştir.

Cerato ve Lutenegeer [19] tarafından gerçekleştirilen çalışmada, farklı genişlikte model temeller üzerinde küçük ölçekli model deneyler yapılarak, temel genişliğinin, n_{γ} üzerindeki etkisi incelenmiştir. çalışma sonunda, temel genişliğinin artmasıyla n_{γ} değerinin azaldığı belirtilmiştir.

Clark [20] ve Zhu ve ark. [21] tarafından gerçekleştirilen santrifüj deneyleri, temel boyutunun artmasına bağlı olarak temelin taşıma kapasitesinin arttığını, n_{γ} değerinin ise, azaldığını göstermiştir.

3. SAYISAL ANALİZ

Çalışmada, kum zemine oturan şerit temellerin sayısal analizi, sonlu elemanlar yöntemi ile çözüm yapan Plaxis bilgisayar programı kullanılarak üç boyutlu koşullarda gerçekleştirilmiştir (Şekil 3). Zemin ortamı, 15 düğümlü üçgen elemanlarla ve Mohr-Coulomb malzeme modeli kullanılarak modellenmiştir. Analizlerde kullanılan Mohr-Coulomb malzeme modeli, elasto-plastik zemin modelidir. Modelde, giriş bilgileri olarak 5 parametre girilir. Bunlar; Elastisite modülü, E, Poisson oranı, ν , kohezyon, c, içsel sürtünme açısı, ϕ ve dilatasyon açısı, ψ 'dir.



Şekil 3. Model geometrisi ve sonlu elemanlar ağı

Ayrıca modelde, doğru bir K_0 seçilerek zemindeki başlangıç yatay gerilme durumu oluşturulabilir. Kum malzemesinin modellenmesinde kullanılan, deneysel olarak belirlenmiş parametreler Tablo 1’de görülmektedir.

Analizlerde farklı temel genişlikleri ($B=1.00-1.25-1.50-1.75-2.00$ m) kullanılmış ve model temel, kiriş eleman ile modellenmiştir. Kiriş elemanın malzeme özellikleri, $EI=8500$ kNm^2/m ve $EA=5 \times 10^6$ kN/m ’dir. Analizlerde farklı genişliklerdeki model temeller üniform olarak yüklenmiştir. Sonlu elemanlar ağı orta sıklıkta oluşturulmuş, ayrıca temel altında ağ sıklaştırması yapılarak daha hassas çözüm elde edilmiştir. Sınır koşulları olarak, modele Plaxis’de mevcut standart sınır koşulları uygulanmıştır. Analizlerde aşamalı çözüm gerçekleştirilmiş ve başlangıç gerilmeleri oluşturulduktan sonra temel ve yük aktif hale getirilerek plastik çözüm yapılmıştır. Sayısal analizlerde, yük – oturma eğrisinden belirgin bir göçme yükü elde edilememekte ve temelın göçme yükünü tanımlayan doğru bir nihai taşıma kapasitesi, q_u , değeri belirlemek oldukça güç olmaktadır.

Tablo 1. Kum için model parametreleri

Parametre Adı	Simge	Birim	Değeri
Referans basınç değeri	p^{ref}	kN/m^2	100
Birim hacim ağırlığı	γ_n	kN/m^3	17.10
Elastisite modülü	E	kN/m^2	28000
Gerilme seviyesine bağlı üs değeri	M	-	0.50
Kohezyon	C	kN/m^2	0.00
Kayma mukavemet açısı	ϕ	(°)	41
Dilatasyon açısı	Ψ	(°)	11
Poisson oranı	M	-	0.25
Toprak basıncı katsayısı	K_0	-	0.34
Göçme oranı	R_f	-	0.90

Konu ile ilgili literatür incelendiğinde q_u değerinin belirlenmesi için 4 yöntemin kullanıldığı görülmektedir [22]. Bu yöntemler;

1. %10 gibi sınırlanmış bir oturma değerine karşılık gelen yük değerinin seçilmesi [23]. (0.1B Yöntemi, B=temel genişliği)
2. Oturma değerlerinde belirgin bir değişimin meydana geldiği noktaya karşılık gelen yük değerinin seçilmesi [24]. (Teğet Kesleştirme Yöntemi)
3. Yük – oturma değerlerinde düzeltme yapılarak kesişim noktasına karşılık gelen yük değerinin seçilmesi [25]. (Log-Log Yöntemi)
4. Yük – oturma eğrisine uygun bir model seçilerek tahmini bir asimptot değere karşılık gelen yük değerinin seçilmesi (Hiperbolik Yöntem).

Bu yöntemlerin her biri farklı taşıma kapasitesi değerleri verebilmektedir. Bu yüzden, taşıma kapasitesi değeri belirlenirken tek bir yöntemin belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, analizlerde, yük – oturma eğrisinden belirgin bir göçme yükü elde edilemediğinden, diğer yöntemlere göre daha kesin ve objektif değerler veren 0.1B yöntemi kullanılmış ve temel genişliğinin %10'una karşılık gelen gerilme değeri nihai taşıma kapasitesi, q_u değeri olarak belirlenmiştir. (Şekil 4).

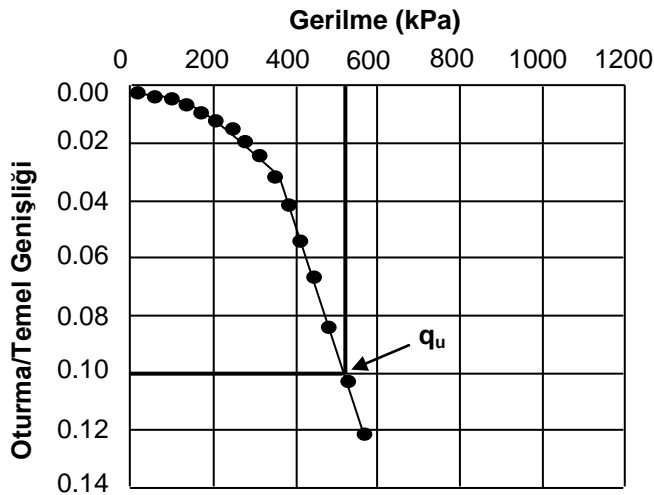
5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Temel genişliğinin (B), nihai taşıma kapasitesine (q_u) etkisini araştırmak amacıyla, farklı temel genişliklerinde (B=1.00-1.25-1.50-1.75-2.00 m) analizler gerçekleştirilmiştir.

Taban basıncı (q) – oturma (s/B) eğrileri toplu olarak Şekil 4'de görülmektedir. Şekil 5'den temel genişliğinin artmasıyla taşıma kapasitesi değerlerinin de beklendiği gibi arttığı görülmektedir.

Temel genişliğinin %10'una karşılık gelen oturma değerleri için elde edilen nihai taşıma kapasitesi değerleri ise Şekil 6 ve Tablo 2'de teorik yöntem sonuçlarıyla birlikte verilmiştir. Şekil 6 ve Tablo 2'den hem sayısal analiz hem de Terzaghi yöntemiyle elde edilen nihai taşıma kapasitesi, q_u değerlerinin temel genişliğinin artmasıyla arttığı görülmektedir.

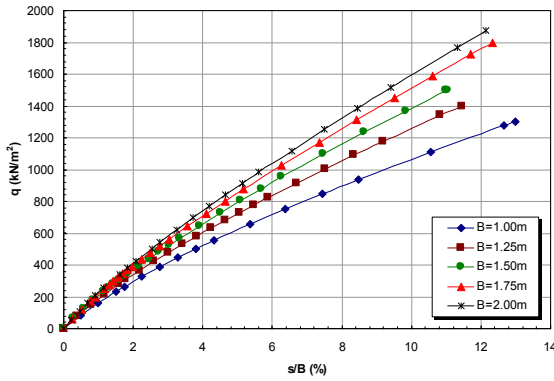
Terzaghi yöntemiyle elde edilen değerler incelendiğinde q_u değerlerinin temel genişliğinin artmasına bağlı olarak doğrusal bir şekilde arttığı, sayısal analizlerden elde edilen q_u değerlerindeki artışın ise daha az olduğu görülmektedir. Temel genişliği değeri 1 m'den 2 m'ye başka bir deyişle %100 artırıldığında, Terzaghi yöntemiyle elde



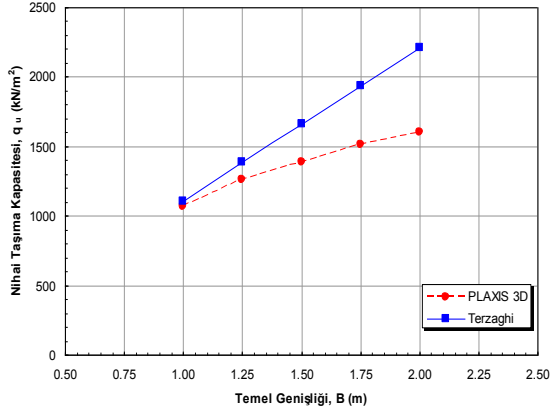
Şekil 4. 0.1b yöntemi

edilen nihai taşıma kapasitesi değeri 1106 kN/m²'den 2213 kN/m²'ye yani %100 artmaktadır.

Sayısal analizlerden elde edilen q_u değerleri ise 1064 kN/m²'den 1599 kN/m²'ye çıkmakta yani yaklaşık %50 artmaktadır. Ayrıca, Terzaghi yöntemiyle elde edilen değerlerin sayısal analizlerden elde edilen değerlere göre daha büyük olduğu ve temel genişliği arttıkça aradaki farkın daha fazla arttığı görülmektedir.



Şekil 5. Farklı temel genişlikleri için taban basıncı - oturma eğrileri



Şekil 6. Farklı temel genişlikleri için sayısal ve teorik q_u değerleri

Şekil 7 ve Tablo 3'de Denklem (2) kullanılarak elde edilen sayısal ve teorik nihai taşıma faktörü değerleri görülmektedir.

Tablo 2. Farklı temel genişlikleri için sayısal ve teorik q_u değerleri

Temel Genişliği, B (m)	q _u (kN/m ²)	
	Plaxis	Terzaghi
1.00	1064	1106
1.25	1258	1383
1.50	1387	1660
1.75	1515	1936
2.00	1599	2213

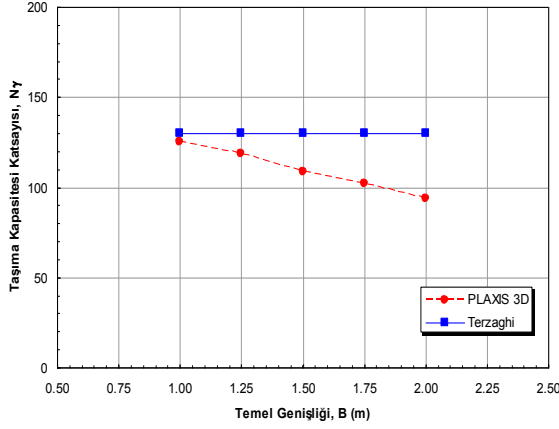
Şekil 7 ve Tablo 3'den Terzaghi yöntemiyle elde edilen taşıma kapasitesi faktörü, N_γ değerlerinin tüm temel genişlikleri için sabit kaldığı başka bir deyişle temel boyutunun N_γ değeri üzerinde herhangi bir etkisi olmadığı görülmektedir. Bu durum, Terzaghi yöntemine göre sabit bir içsel sürtünme değeri için N_γ değerinin sabit kalmasıyla açıklanabilir.

Sayısal analizlerde ise ölçek etkisi ortaya çıkmakta ve analizler sonucunda elde edilen N_γ değerleri, temel genişliğinin artmasıyla azalmaktadır. Temel genişliği değerlerinin %25, %50, %75 ve %100 artması durumunda N_γ değerleri sırasıyla yaklaşık %5, %15, %20 ve %25 oranlarında azalmaktadır.

Şekil 7 ve Tablo 3'de Denklem (2) kullanılarak elde edilen sayısal ve teorik nihai taşıma faktörü değerleri görülmektedir. Şekil 7 ve Tablo 3'den Terzaghi yöntemiyle elde edilen taşıma kapasitesi faktörü, N_γ değerlerinin tüm temel genişlikleri için sabit kaldığı başka bir deyişle temel boyutunun N_γ değeri üzerinde herhangi bir etkisi olmadığı görülmektedir. Bu durum, Terzaghi yöntemine göre sabit bir içsel sürtünme değeri için N_γ değerinin sabit kalmasıyla açıklanabilir.

Sayısal analizlerde ise ölçek etkisi ortaya çıkmakta ve analizler sonucunda elde edilen N_γ değerleri,

temel genişliğinin artmasıyla azalmaktadır. Temel genişliği değerlerinin %25, %50, %75 ve %100 artması durumunda N_γ değerleri sırasıyla yaklaşık %5, %15, %20 ve %25 oranlarında azalmaktadır.

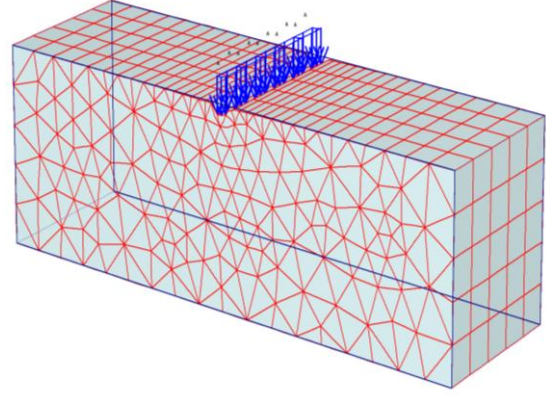


Şekil 7. Farklı temel genişlikleri için sayısal ve teorik n_γ değerleri

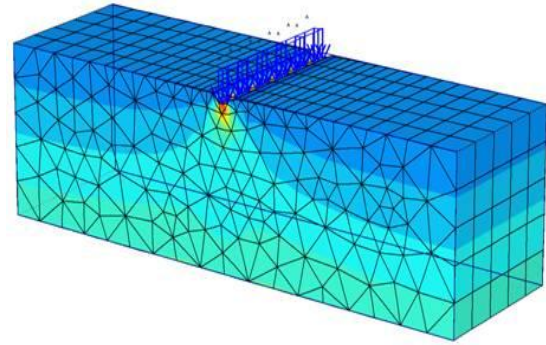
Tablo 3. Farklı temel genişlikleri için sayısal ve teorik N_γ değerleri

Temel Genişliği, B (m)	Taşıma Kapasitesi Faktörü, N_γ	
	Plaxis	Terzaghi
1.00	125.3	130.2
1.25	118.5	Sabit
1.50	108.8	Sabit
1.75	101.8	Sabit
2.00	94.1	Sabit

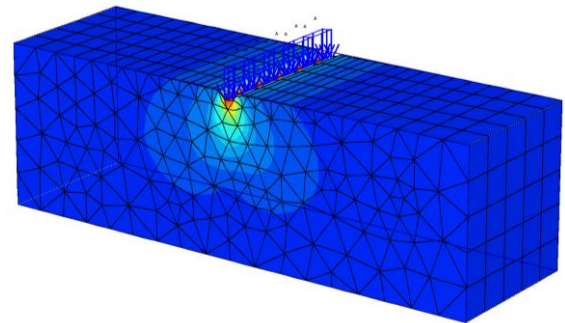
Şekil 8, 9 ve 10'da sırasıyla B=1 m genişliğindeki şerit temel altında oluşan deforme olmuş sonlu elemanlar ağı, toplam deplasman konturları ve toplam gerilme konturları görülmektedir.



Şekil 8. Deforme olmuş sonlu elemanlar ağı (B=1 m)



Şekil 9. Toplam deplasman konturları (B=1 m)



Şekil 10. Toplam gerilme konturları (B=1 m)

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, farklı temel genişlikleri kullanılarak, temel genişliğinin, taşıma kapasitesi, q_u ve taşıma gücü katsayısına, N_γ etkisi üç boyutlu sayısal analizlerle incelenmiş ve teorik yöntem ile karşılaştırmalar yapılmıştır.

Gerçekleştirilen sayısal analiz ve literatürde mevcut Terzaghi yöntemine göre temel genişliğinin artmasıyla taşıma kapasitesi değerlerinin arttığı görülmüştür. Terzaghi yöntemiyle elde edilen taşıma kapasitesi değerlerinin temel genişliğinin artmasına bağlı olarak doğrusal bir şekilde arttığı, sayısal analizlerden elde edilen taşıma kapasitesi değerlerindeki artışın ise daha az olduğu görülmüştür. Dolayısıyla Terzaghi yöntemiyle elde edilen değerlerin sayısal analizlerden elde edilen değerlere göre daha büyük olduğu ve temel genişliği arttıkça aradaki farkın daha fazla arttığı belirlenmiştir.

Terzaghi yöntemiyle elde edilen taşıma kapasitesi faktörü, N_γ değerlerinin tüm temel genişlikleri için sabit kaldığı, başka bir deyişle, temel boyutunun N_γ değeri üzerinde herhangi bir etkisinin olmadığı, sayısal analizlerde ise, ölçek etkisinin ortaya çıktığı ve analizler sonucunda elde edilen N_γ değerlerinin, temel genişliğinin artmasıyla azaldığı görülmüştür.

6. KAYNAKLAR

1. Coduto, P.D., "Foundation Design: Principal and Practices (Second Edition)", Prentice Hall, New Jersey, 883p., 2001.
2. Terzaghi, K., "Theoretical Soil Mechanics", Wiley, New York, 510p., 1943.
3. Meyerhof, G.G., "The Ultimate Bearing Capacity of Foundations", Geotechnique, 2: 301-332, 1951.
4. Vesic, A.S., "Bearing Capacity of Shallow Foundations", in Foundation Engineering Hand-Book, Winterkorn, H.F., and Fang, H.Y., Eds., Van Nostrand Reinhold Co., 121-147, 1975.
5. Hettler, A., Gudehus, G., "Influence of the Foundation Width on the Bearing Capacity Factor", Soils Found., 28 (4): 81-92, 1988.
6. Ueno, K., Miura, K., Maeda, Y., "Prediction of Ultimate Bearing Capacity of Surface Footing with regard to Size Effects", Soils and Foundations, 38 (3): 165-178, 1998.
7. Ueno, K., "Methods for Preparation of Sand Samples", Centrifuge 98, ISSMFE, Tokyo, Japan, Vol. 2: 1047-1055, 2001.
8. Zhu, F., Clark, J. I., Phillips, R., "Scale Effect of Strip and Circular Footings Resting on Dense Sand", J. Geotech. Geoenviron. Eng., 127 (7): 613-621, 2001.
9. De Beer, E. E., "The Scale Effect in the Transposition of the Results of Deep-Sounding Tests on the Ultimate Bearing Capacity of Piles and Caisson Foundations", Geotechnique, 13 (1): 39-75, 1963.
10. Cerato, A.B., Lutenecker, A.J., "Scale Effects of Shallow Foundation Bearing Capacity on Granular Material", Proceedings of the British Geotechnical Association (BGA) International Conference on Foundations, 217-225, 2003.
11. Tatsuoka, F., Okahara, M., Tanaka, T., Tani, K., Morimoto, T., Siddiquee, M. S. A., "Progressive Failure and Particle Size Effect in Bearing Capacity of a Footing on Sand", Geotech. Spec. Publ., 27 (2): 788-802, 1991.
12. Golder, H. Q., "The Ultimate Bearing Pressure of Rectangular Footings", J. Inst. Civil Eng., 17: 161-174, 1941.
13. Habib, P. A., "Scale Effect for Shallow Footings on Dense Sand", J. Geotech. Engrg. Div., 100 (1): 95-99, 1974.
14. Caquot, A., Kerisel, J., "Sur le Terme de Surface dans le Calcul des Fondations en Milieu Pulverulent", Proceedings of the 3rd International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. 1: 336-337, 1953.
15. Lundgren, H., Mortensen, K., "Determination by the Theory of Plasticity of the Bearing Capacity of Continuous Footings on Sand",

- Proceedings of the 3rd International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. 1: 409-412, 1953.
16. Feda, J., "Discussion of the Bearing Capacity of Foundations", (by Prakash, S, Ghuman, M.S. and Feda, J.), Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE. Vol. 89 (SM3): 171-176, 1963.
 17. Michalowski, R.L., "An Estimate of the Influence of Soil Weight on Bearing Capacity using Limit Analysis", Soils and Foundations, Tokyo, 37 (4): 57-64, 1997.
 18. Ingra, T.S., Baecher, G.B., "Uncertainty in Bearing Capacity of Sands", Journal of Geotechnical Engineering, 109 (7): 899-914, 1983.
 19. Cerato, A.B., Lutenegeger, A.J., "Scale Effects of Shallow Foundation Bearing Capacity on Granular Material", ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering (JGGE), 133 (10): 1192-1202, 2007.
 20. Clark, J. I., "The Settlement and Bearing Capacity of Very Large Foundations on Strong Soils: The 1996 R. M. Hardy Lecture", Can. Geotech. J., Ottawa, 35, 131-145, 1998.
 21. Zhu, F., Clark, J. I., Phillips, R., "Bearing Capacity of Ring Foundations under Vertical Load", Proc., Int. Conf. Centrifuge '98, T. Kimura, O. Kusakabe, and T. Takemura, eds., Balkema, Rotterdam, TheNetherlands, 441-446, 1998.
 22. Lutenegeger, A.J., Adams, M.T., "Bearing Capacity of Footings on Compacted Sand", Proceedings of the 4th International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering, 1216-1224, 1998.
 23. Briaud, J.L., JeanJean, P., "Load Settlement Curve Method for Spread Footings on Sand", Vertical and Horizontal Deformations of Foundations and Embankments, ASCE, Vol. 2: 1774-1804, 1994.
 24. Trautmann, C.H., Kulhawy, F.H., "Uplift Load-Displacement Behavior of Spread Foundations", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 114 (2): 168-183, 1998.
 25. De Beer, E.E., "Experimental Determination of the Shape Factors and the Bearing Capacity Factors of Sand", Geotechnique, 20 (4): 387-411, 1970.

