DÜMF Mühendislik Dergisi
web: http://dergipark.gov.tr/dumf

Şev yakınına oturan yüzeysel temellerin taşıma kapasitesinin sayısal analizi

M. Salih KESKİN*
Dicle Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır
mskeskin@.dicle.edu.tr *ORCID: 0000-0003-1973-4437*

Fatih AKGÜL
Dicle Kalkınma Ajansı, Mardin
fatih.akgul@dika.org.tr

Geliş: 15.03.2019, Revizyon: 13.09.2019, Kabul Tarihi: 04.12.2019

Öz

Çalışmada, kum şevlerin yakınına oturan yüzeysel şerit temellerin taşıma kapasitesi davranışı sayısal olarak incelenmiştir. Bu amaçla, bir prototip model oluşturulmuş ve farklı koşullar için sonlu elemanlar analizleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, sonlu elemanlar yöntemi ile çözüm yapan PLAXIS bilgisayar programı kullanılmıştır. Analizlerde, şev açısı, kumun sıkılık derecesi, temel genişliği ve temelin şev tepesine olan mesafesi parametrelerinin, yüzeysel şerit temellerin taşıma kapasitesi davranışına etkileri incelenmiştir. Analizlerde, Mohr-Coulomb malzeme modeli kullanılmış ve şev modelinde farklı şev açıları ve sıkılık durumları için şev stabilite analizleri gerçekleştirilerek güvenlik sayıları elde edilmiştir. Analizler sonunda elde edilen sonuçlara göre, şev yakınına oturan yüzeysel şerit temellerin taşıma kapasitesi, şev açısının artmasına bağlı olarak azalmakta, kumun sıkılık derecesi, temel genişliği ve temelin şev tepesine olan mesafesinin artmasına bağlı olarak ise artış göstermektedir. Şev için elde edilen güvenlik sayıları şev açısının artmasına bağlı olarak azalmakta ve kumun sıkılık derecesinin artmasına bağlı olarak artmaktadır. Analizler sonucunda, ele alınan modeller için göçme mekanizmaları incelenmiş ve düz yüzeyli zemin durumunda temelin hemen altında yaklaşık simetrik bir deplasman dağılımı oluşurken, şevli durumda deplasman dağılımının asimetrik ve şev yüzeyinde oluştuğu, şev tepesinden uzaklaştıkça göçme mekanizması üzerindeki şev etkisinin azaldığı görülmüştür. Teorik çözümler ile elde edilemeyen deplasman ve gerilme davranışının sonlu elemanlar yöntemiyle elde edilebiliyor olması göçme mekanizmasının daha iyi anlaşılmasına olanak vermektedir.

Anahtar Kelimeler: *Şev; yüzeysel temel; sonlu elemanlar yöntemi; taşıma kapasitesi; PLAXIS*

* Yazışmaların yapılacağı yazar

DOI: 10.24012/dumf.540636

Giriş

Yüzeysel temeller, tatbik edilen yükleri yüzeye yakın zemin katmanlarına aktarırlar ve bu durum, zeminde basınç ve kayma gerilmelerinin ortaya çıkmasına neden olur. Oluşan bu gerilmeler, genellikle uygulanan yükten dolayı meydana gelen temel taban basıncına ve temelin boyutlarına bağlı olmaktadır. 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 (Coduto, 2001).

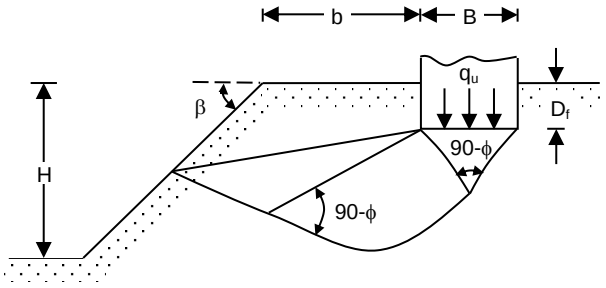
Literatürde, zeminlerin taşıma gücünü hesaplamada kullanılan farklı yöntemler bulunmaktadır. Uygulamada en çok kullanılan yöntemlerden biri, Terzaghi (1943) tarafından önerilen taşıma gücü teorisidir. Terzaghi teorisi, sürekli temeller (B/L oranı çok büyük olan temeller) için geliştirilmiş ve model deneyler sonucunda elde edilen deneysel katsayılar eklenerek teori, kare ve dairesel temellere uyarlanmıştır. Yüzeysel temeller için Terzaghi taşıma gücü formülü

$$q_u = K_1 c N_c + \gamma D_f N_q + K_2 \gamma B N\gamma \quad (1)$$

şeklindedir. Burada; q_u, nihai taşıma gücünü, c, kohezyonu, γ, zeminin birim hacim ağırlığını, D_f, temel derinliğini, B, temel genişliğini, N_c, N_q, N_γ ϕ, zeminin içsel sürtünme açısına bağlı taşıma gücü faktörlerini, K_1 ve K_2 ise temel şekil katsayılarını göstermektedir. Terzaghi bağıntısı, sadece düz yüzeyli zemine oturan yatay tabanlı bir temel üzerine etki eden düşey yükleri göz önüne alır. Bununla birlikte, yüzeysel bir temelin, bir şev üzerine veya yakınına inşa edilmesi zorunluluğu ortaya çıkabilmektedir. Bu duruma örnek olarak, yaklaşım dolgularına oturan köprü ayakları, elektrik direkleri ve bazı bina yapıları gösterilebilir.

Bir yapı temelinin, şev üzerine veya yakınına inşa edilmesi durumunda, zeminin taşıma kapasitesi, düz zeminin taşıma kapasitesi ile karşılaştırıldığında, şevli zeminin eğimine ve temelin konumuna göre önemli miktarda azalabilmektedir.

Şevli bir zeminin üzerine veya yakınına oturan yüzeysel bir temelin taşıma kapasitesi ile ilgili ilk teorik çalışmalar Meyerhof (1957) tarafından gerçekleştirilmiştir. Şekil 1'de, H yüksekliğine sahip bir şevin yakınına oturan B genişliğinde bir şerit temel görülmektedir. Temel, şev tepesinden b kadar mesafeye yerleştirilmiştir.



Şekil 1. Şev yakınına oturan temel (Das, 1999)

Kohezyonsuz zeminler (c=0) için, şev yakınına oturan sürekli temellerin taşıma kapasitesi (2) eşitliği ile hesaplanmaktadır.

$$q_u = 0.5\gamma B N_{\gamma q} \quad (2)$$

Eşitlikte, $N_{\gamma q}$ taşıma gücü faktörü, temelin şev tepesine olan uzaklığı (b), şev açısı (β), içsel sürtünme açısı (ϕ) ve temel derinliği (D_f) parametrelerine bağlı olarak elde edilmektedir (Das, 1999).

Şekil 1'de b=0 olması yani temelin şev eğiminin başladığı noktaya oturması halinde, temelin taşıma kapasitesinin hesaplanabilmesi için Hansen (1970) aşağıdaki eşitliği vermiştir;

$$q_u = cN_c\lambda_{c\beta} + \gamma D_f N_q \lambda_{q\beta} + 0.5\gamma B N_\gamma \lambda_{\gamma\beta} \quad (3)$$

Eşitlikte, $\lambda_{c\beta}$, $\lambda_{q\beta}$, $\lambda_{\gamma\beta}$ şev katsayılarını göstermektedir.

ϕ=0 olması durumunda, Vesic (1975), şev ağırlığının ihmal edilerek, N_γ değerinin aşağıda sunulduğu gibi negatif değer alacağını ifade etmiştir:

$$N_\gamma = -2\sin\beta \qquad (4)$$

Graham ve diğ. (1988) tarafından, kohezyonsuz zeminler için önerilen, $N_{\gamma q}$ taşıma gücü faktörünün elde edilebilmesi için, gerilme karakteristikleri yöntemi kullanılarak bir çözüm geliştirilmiş ve abaklar halinde sunulmuştur.

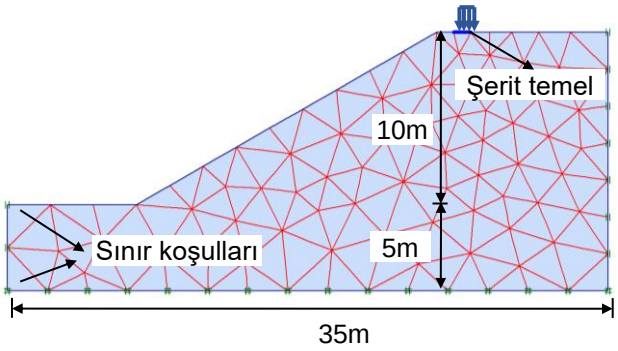
Saran ve diğ. (1989), limit denge ve limit analiz yaklaşımlarını kullanarak, şevli zeminlere oturan yüzeysel temellerin taşıma kapasitesini belirlemek amacıyla bir çözüm geliştirmişlerdir.

Bu çalışmada, kumlu şevlerin yakınına oturan yüzeysel şerit temellerin taşıma kapasitesi davranışı sayısal olarak analiz edilmiştir. Bu amaçla, prototip bir zemin-temel modeli oluşturulmuş ve farklı koşullar için sonlu elemanlar analizleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, sonlu elemanlar yöntemini kullanan PLAXIS v8.2 bilgisayar yazılımı kullanılmıştır. Analizlerde, şev açısı, kumun sıkılık derecesi, temel genişliği ve temelin şev tepesine olan mesafesi parametrelerinin, yüzeysel şerit temellerin taşıma kapasitesi davranışına etkileri incelenmiştir. Ayrıca, yük olmayan durumlar için farklı koşullarda şev stabilite analizleri gerçekleştirilmiş ve güvenlik sayıları elde edilmiştir.

Materyal ve Yöntem

Çalışmada, kum şeve oturan yüzeysel şerit temellerin taşıma kapasitesi davranışı sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Analizlerde, sonlu elemanlar yöntemiyle çözüm yapan iki boyutlu PLAXIS v8.2 bilgisayar programı kullanılmıştır. Program, geoteknik uygulamalarında kullanılmak üzere geliştirilmiştir. Çalışmada, problem iki boyutlu ve model geometrisine uygun olarak düzlem-şekil değiştirme koşullarında analiz edilmiştir (Şekil 2).

Analizlerde kullanılan prototip modelin genişliği 35 m., toplam yükseklik 15 m., şev yüksekliği 10 m., temel genişliği, B, temelin şev tepesine olan uzaklığı, b ve şev açısı, β değişkendir.



Şekil 2. Geometrik model

Şerit temel genişlikleri, B=1.00-1.25-1.50 m., şev açıları, β=25°-30°-35°, temelin şev tepesine olan uzaklıkları, b=0B-1B-2B-3B-4B-5B olarak seçilmiştir.

Çalışmada, kum zemin sıkılığının etkisinin araştırılması amacıyla gevşek, orta sıkı ve sıkı zemin durumlarında analizler gerçekleştirilmiştir. Kum zemin, Mohr-Coulomb (MC) zemin modeli kullanılarak modellenmiştir. MC model, elasto-plastik zemin modelidir. Modelde, giriş parametreleri olarak, programa; zeminin birim hacim ağırlığı, γ, kohezyon, c, içsel sürtünme açısı, ϕ, Poisson oranı, ν, Elastisite modülü, E, ve dilatasyon açısı, ψ girilmektedir. Zemin rijitliği (E), bütün zemin tabakalarında sabittir (Keskin, 2009). MC model için sayısal analizlerde kullanılan model zemin parametreleri Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1. MC model zemin parametreleri

Parametre	Gevşek	Orta Sıkı	Sıkı
γ (kN/m^3)	16.5	17.0	17.5
E (kN/m^2)	20000	28000	40000
ν (-)	0.25	0.25	0.25
ϕ (°)	40.6	41.8	43.5
c (kN/m^2)	0.10	0.10	0.10
ψ (°)	10.6	11.8	13.5

Analizlerde şerit temel plakası, betonarme malzeme özellikleri kullanılarak programda mevcut plate eleman ile modellenmiştir. Şerit temel plakasının malzeme parametreleri, EI=4.16×10^6 kNm²/m, EA=2×10^8 kN/m, kalınlığı ise d=0.50 m.'dir.

Sayısal çözümlerde, geometri oluşturulduktan sonra, sınır koşulları belirlenmiş ve sonlu elemanlar ağı oluşturulmuştur. Malzeme özellikleri belirlendikten sonra, başlangıç gerilmeleri oluşturulmuş ve şerit temele üniform gerilme uygulanarak çözüm elde edilmiştir.

Bulgular ve Tartışma

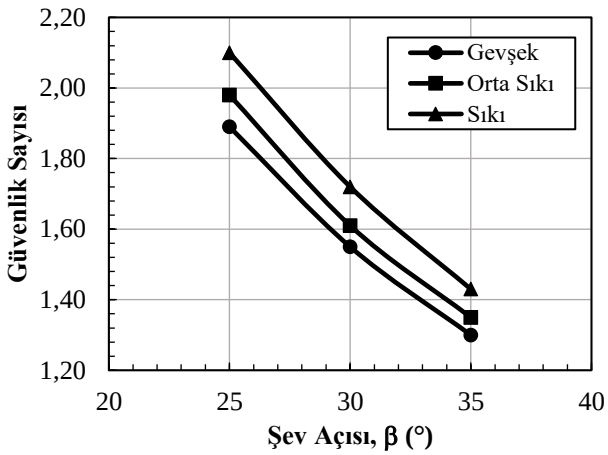
Çalışmada, farklı genişliklere sahip şerit temel (B=1.00m, 1.25cm ve 1.50cm), değişik sıkılıklardaki kum zemine (ϕ=40.6°, ϕ=41.8° ve ϕ=43.5°), şev tepesine farklı mesafelerde (b=0B, 1B, 2B, 3B, 4B, 5B) yerleştirilerek farklı şev açılarında (β=25°-30°-35°) analiz edilmişlerdir. Ayrıca, analizler sonucunda elde edilen deplasman ve gerilme konturları kullanılarak kum şeve oturan şerit temelin göçme mekanizması incelenmiştir.

Şev Stabilite Analizleri

Analizlerde ele alınan prototip şev zemin modelin, farklı şev açıları (β=25°-30°-35°) ve kum sıkılıkları değerleri için (ϕ=40.6°, ϕ=41.8°, ϕ=43.5°) güvenlik sayıları PLAXIS programı kullanılarak elde edilmiştir. Programda, şev stabilite analizleri mukavemet azaltma yöntemi (phi-c reduction) ile gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemde, kayma mukavemeti parametreleri, kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerleri şevde göçme oluşuncaya ve denge çözümü ortadan kalkıncaya dek azaltılır (Keskin ve Laman, 2007). Şekil 3 ve Tablo 2'de farklı şev açıları (β=25°-30°-35°) ve sıkılık durumları (ϕ=40.6°, ϕ=41.8°, ϕ=43.5°) için analizler sonucunda bulunan güvenlik sayısı değerleri verilmektedir. Şekil 3 ve Tablo 2 incelendiğinde, şev açısının artmasıyla güvenlik sayısı değerlerinin azaldığı, kumun sıkılık derecesi değerlerinin artmasına bağlı olarak ise arttığı görülmektedir.

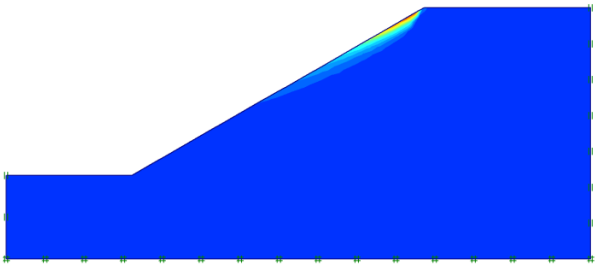
Tablo 2. Farklı durumlar için güvenlik sayıları

Şev açısı, β (°)	Gevşek	Orta Sıkı	Sıkı
25	1.89	1.98	2.10
30	1.55	1.61	1.72
35	1.30	1.35	1.43

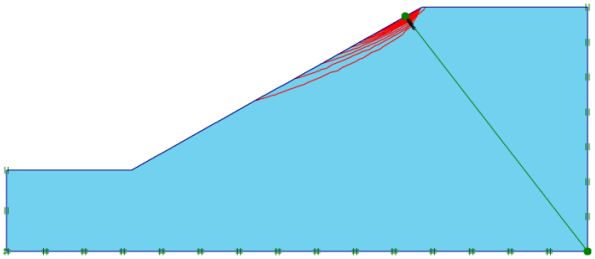


Şekil 3. Güvenlik sayısı – Şev açısı ilişkisi

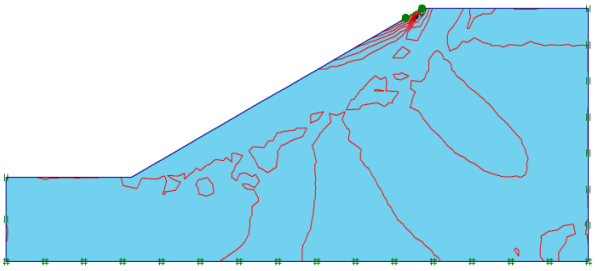
Şekil 4'de sonlu elemanlar analizleri sonucunda elde edilebilen kayma yüzeyi görüntüleri görülmektedir (β=30°, ϕ=41.8°).



(a) Toplam deplasmanlar



(b) Deplasman konturları



(c) Kayma deformasyonları

Şekil 4. Kayma yüzeyleri (β=30°, ϕ=41.8°)

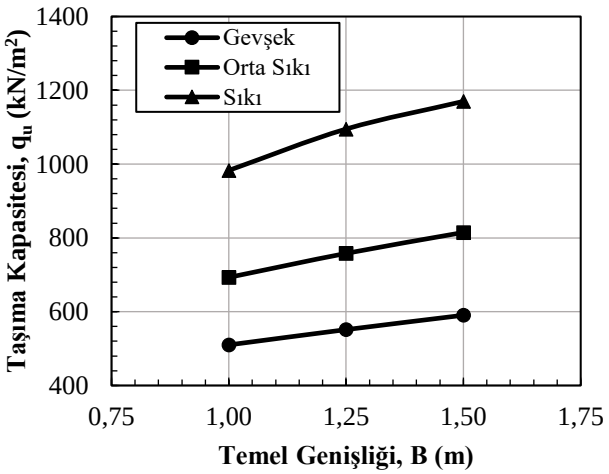
Taşıma Kapasitesi Analizi

Çalışmada, farklı genişliklere sahip şerit temel (B=1.00m, 1.25cm ve 1.50cm), değişik sıkılıklardaki kum zemine (ϕ=40.6°, ϕ=41.8° ve ϕ=43.5°), şev tepesine farklı mesafelerde (b=0B, 1B, 2B, 3B, 4B, 5B) yerleştirilerek farklı şev açılarında (β=25°-30°-35°) analiz edilmişlerdir. Sayısal analizlerde, MC modelde belirgin bir göçme noktası elde edilemediğinden dolayı göçme kriteri olarak temel genişliğinin % 10'una denk gelen deplasman belirlenmiş ve bu değere karşılık gelen yük göçme yükü olarak seçilmiştir (0.1B yöntemi). Analizlerde öncelikle farklı temel genişlikleri ve kum sıkılıkları için şevsiz durumda (β=0°) taşıma kapasiteleri belirlenmiş ve şevli durumda elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır.

Şekil 5 ve Tablo 3'de şevsiz durumda analizler sonucunda bulunan taşıma kapasitesi değerleri verilmektedir. Şekil 5 ve Tablo 3 incelendiğinde, düz zemine oturan şerit temelin taşıma kapasitesi değerlerinin, temel genişliğinin ve kumun sıkılık değerlerinin artmasına bağlı olarak artış gösterdiği görülmektedir.

Tablo 3. Taşıma kapasitesi değerleri (β=0°)

Temel Genişliği, B (m)	Taşıma Kapasitesi (kN/m²)		
	Gevşek	Orta Sıkı	Sıkı
1.00	510	693	983
1.25	551	758	1095
1.50	590	815	1170



Şekil 5. q_u – B İlişkisi (β=0°)

Tablo 4, 5 ve 6'da sırasıyla, β=25°, 30° ve 35° şev açısına sahip zemine oturan B=1m. genişliğindeki temelin, şev tepesine farklı mesafeleri için analizler sonucunda elde edilen taşıma kapasitesi değerleri görülmektedir. Şekil 6, 7 ve 8'de ise değerler grafik olarak gösterilmektedir.

Tablo 4. q_u değerleri (B=1m, β=25°)

b/B	Taşıma Kapasitesi, q_u (kN/m²)		
	Gevşek	Orta Sıkı	Sıkı
0	279	336	416
1	378	498	690
2	414	552	817
3	416	561	835
4	418	562	838
5	418	564	840

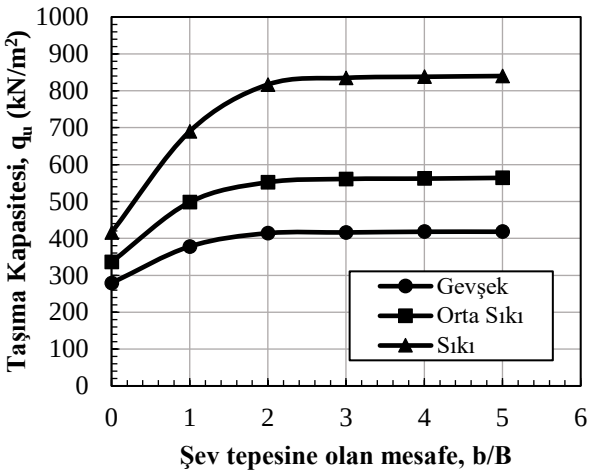
Tablo 5. q_u değerleri (B=1m, β=30°)

b/B	Taşıma Kapasitesi, q_u (kN/m²)		
	Gevşek	Orta Sıkı	Sıkı
0	234	286	360
1	342	435	567
2	390	522	765
3	402	540	800
4	412	554	802
5	420	558	805

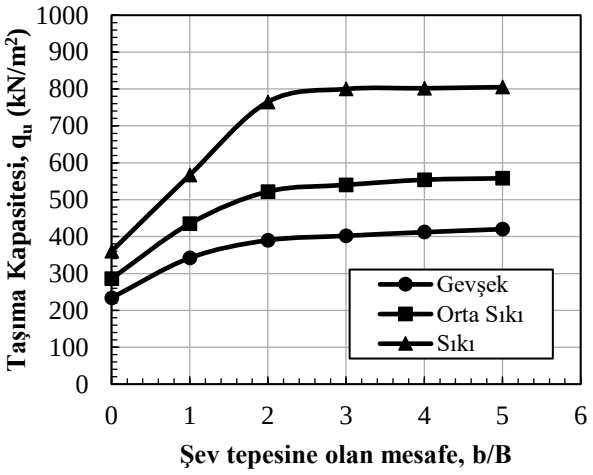
Tablo 6. q_u değerleri (B=1m, β=35°)

b/B	Taşıma Kapasitesi, q_u (kN/m²)		
	Gevşek	Orta Sıkı	Sıkı
0	174	192	225
1	330	400	522
2	378	496	716
3	384	516	756
4	406	540	805
5	408	558	818

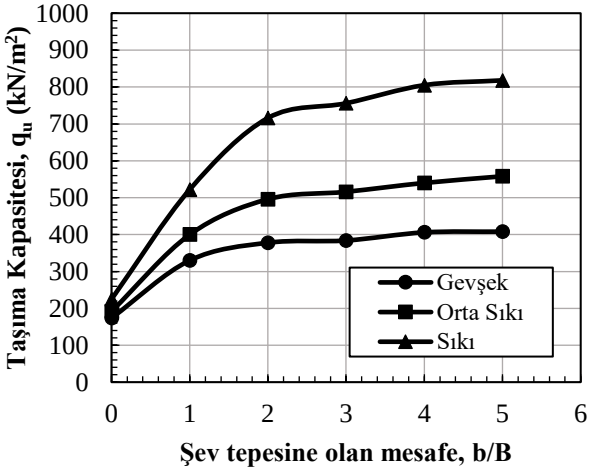
Tablo 4-5-6 ve Şekil 6-7-8 incelendiğinde, şev açısı arttıkça taşıma kapasitesi değerlerinin azaldığı, sıkılığın artmasına bağlı olarak ve şev tepesinden uzaklaşıldıkça taşıma kapasitesi değerlerinin arttığı görülmektedir. Tablo 4-5-6 ve Şekil 6-7-8'den, şev tepesine olan mesafenin 3B olması durumundan sonra taşıma kapasitesi değerlerinde artış miktarının oldukça azaldığı ve mesafenin 5B olması durumunda ise taşıma kapasitesinin, düz yüzeyli zemin durumunda elde edilen değerlerin yaklaşık %85-90'ına denk geldiği görülmektedir.



Şekil 6. q_u – b/B İlişkisi (B=1m, β=25°)



Şekil 7. q_u – b/B İlişkisi (B=1m, β=30°)



Şekil 8. q_u – b/B İlişkisi (B=1m, β=35°)

Çalışmada, temel genişliğinin şev yakınına oturan şerit temellerin taşıma kapasitesine etkisinin incelenmesi amacıyla, B=1m. genişliğinde temele ilave olarak B=1.25 ve 1.50m. genişliğindeki temeller kullanılarak taşıma kapasitesi değerleri elde edilmiştir. Bu analizlerde, şev açısı β=30° sabit tutularak, şerit temeller, değişik sıkılıklardaki kum zemine (ϕ=40.6°, ϕ=41.8° ve ϕ=43.5°), şev tepesine farklı mesafelerde (b=0B, 1B, 2B, 3B, 4B, 5B) yerleştirilmiş ve taşıma kapasitesi değerleri elde edilmiştir. Elde edilen değerler Tablo 7-8 ve Şekil 9-10'da görülmektedir.

Tablo 7. q_u değerleri (B=1.25m, β=30°)

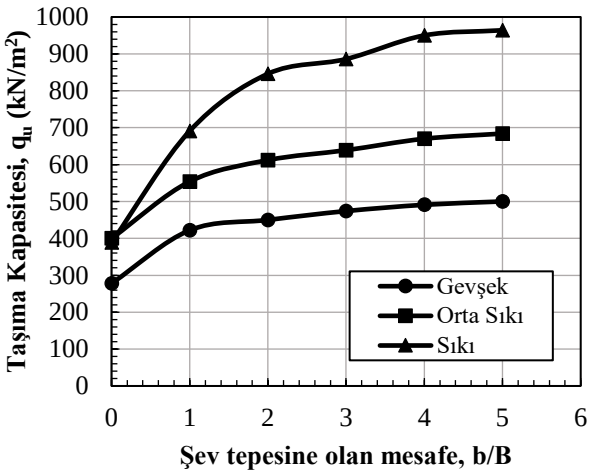
b/B	Taşıma Kapasitesi, q_u (kN/m²)		
	Gevşek	Orta Sıkı	Sıkı
0	278	400	389
1	422	554	691
2	450	612	846
3	474	639	886
4	491	670	950
5	500	684	964

Tablo 8. q_u değerleri (B=1.50m, β=30°)

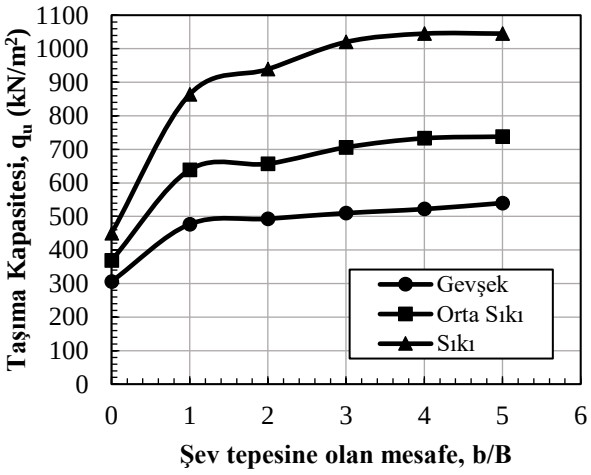
b/B	Taşıma Kapasitesi, q_u (kN/m²)		
	Gevşek	Orta Sıkı	Sıkı
0	306	369	450
1	477	639	864
2	493	657	939
3	510	706	1020
4	522	733	1045
5	540	738	1045

Tablo 7-8 ve Şekil 9-10 incelendiğinde, kumun sıkılık derecesi arttıkça ve şev tepesinden uzaklaşıldıkça taşıma kapasitesi değerlerinin arttığı görülmektedir.

Tablo 7-8 ve Şekil 9-10'dan, şev tepesine olan mesafenin 3B olması durumundan sonra taşıma kapasitesi değerlerinde artış miktarının oldukça azaldığı ve mesafenin 5B olması durumunda ise taşıma kapasitesinin, düz yüzeyli zemin durumunda elde edilen değerlerin yaklaşık %90'ına denk geldiği görülmektedir.



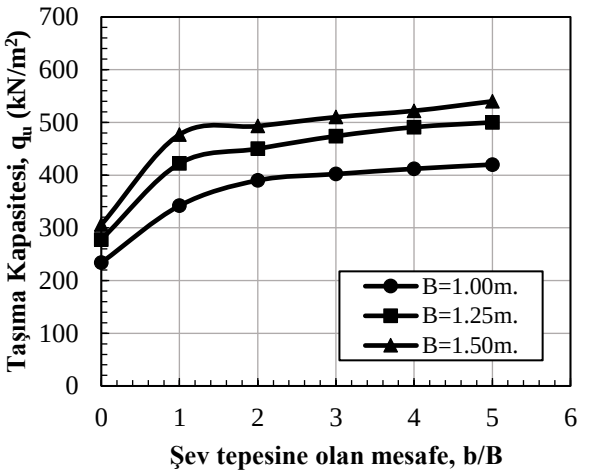
Şekil 9. q_u – b/B İlişkisi (B=1.25m, β=30°)



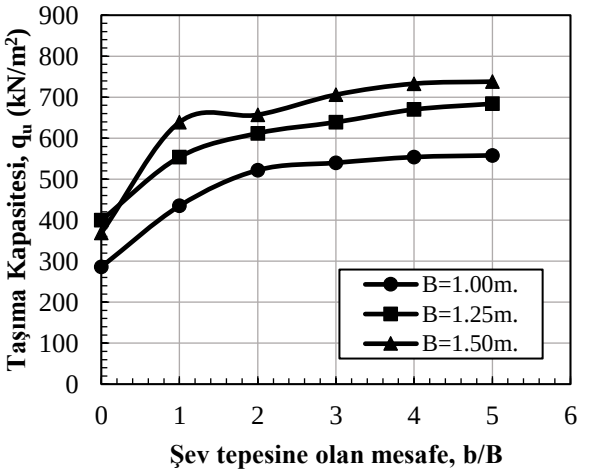
Şekil 10. q_u – b/B İlişkisi (B=1.50m, β=30°)

Şekil 11, 12 ve 13'de farklı temel genişlikleri için β=30° şev açısında ve farklı sıkılıklarda elde edilen taşıma kapasitesi değerleri görülmektedir.

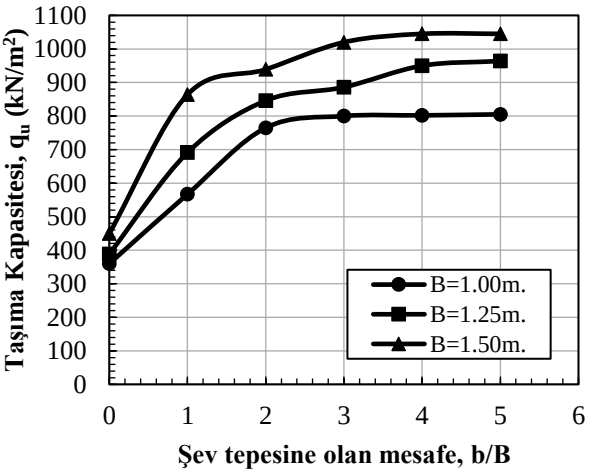
Şekil 11, 12 ve 13 incelendiğinde daha büyük temel genişliklerinde daha büyük taşıma kapasitesi değerlerinin elde edildiği görülmektedir. B=1m temel genişliği %25 arttırılarak B=1.25m seçildiğinde, taşıma kapasitesi değerleri yaklaşık ortalama %20 artarken, B=1.25m temel genişliği %20 arttırılarak B=1.50m seçildiğinde, taşıma kapasitesi değerlerinin yaklaşık %10-15 arasında arttığı ve bu durumun tüm sıkılık değerlerinde benzer olduğu görülmektedir.



Şekil 11. q_u – b/B İlişkisi (β=30°, ϕ=40.6°)



Şekil 12. q_u – b/B İlişkisi (β=30°, ϕ=41.8°)



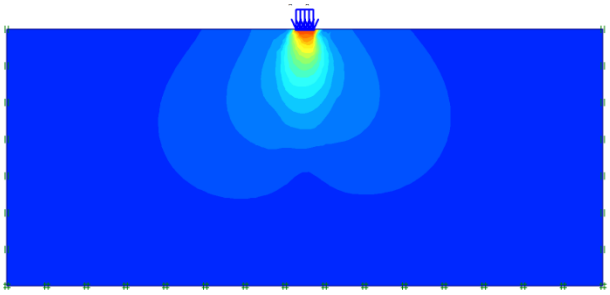
Şekil 13. q_u – b/B İlişkisi (β=30°, ϕ=43.5°)

Göçme Mekanizması

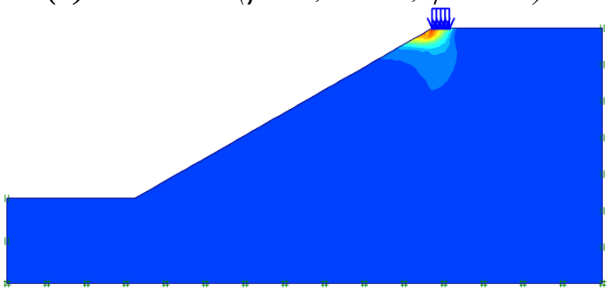
Kum şevlerin yakınına oturan şerit temellerin göçme mekanizmalarının irdelenmesi amacıyla, analizler sonucunda farklı durumlar için elde edilen deplasman konturları incelenmiştir.

Şekil 14a'da orta sıkı durum için düz yüzeyli zemine oturan B=1m genişliğindeki şerit temel için gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen deplasman konturları görülmektedir.

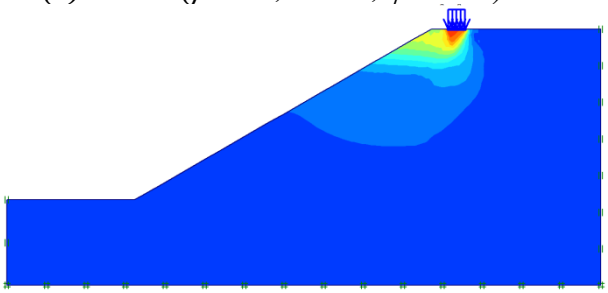
Şekil 14b-c-d-e-f-g'de ise orta sıkı durum için β=30° açıya sahip şevli zemine sırasıyla b/B=0-1-2-3-4-5 mesafelerinde oturan B=1m genişliğindeki şerit temel için gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen deplasman konturları görülmektedir.



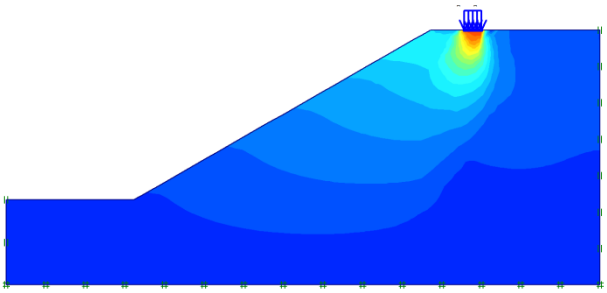
(a) Düz zemin (β=0°, B=1m, ϕ=41.8°)



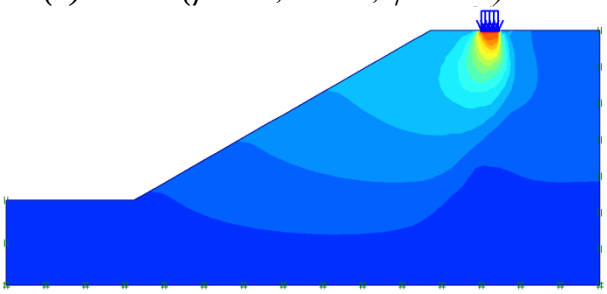
(b) b/B=0 (β=30°, B=1m, ϕ=41.8°)



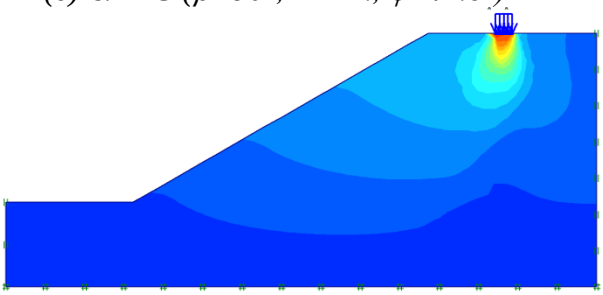
(c) b/B=1 (β=30°, B=1m, ϕ=41.8°)



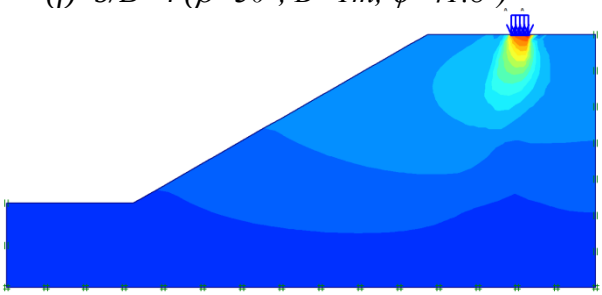
(d) b/B=2 (β=30°, B=1m, ϕ=41.8°)



(e) b/B=3 (β=30°, B=1m, ϕ=41.8°)



(f) b/B=4 (β=30°, B=1m, ϕ=41.8°)



(g) b/B=4 (β=30°, B=1m, ϕ=41.8°)

Şekil 14. Göçme Mekanizması

Göçme mekanizmaları incelendiğinde, düz yüzeyli zeminde temelin hemen altında yaklaşık simetrik bir deplasman dağılımı oluşurken, şevli durumda şev tepesine en yakın mesafedeyken deplasman dağılımının asimetrik ve şev yüzeyinde oluştuğu görülmektedir. Temel, şev tepesinden uzaklaştıkça göçme mekanizması da şev yüzeyinden uzaklaşmakta ve düz yüzeyli zemin durumuyla benzerlik göstermektedir.

Sonuçlar

Bu çalışmada, kumlu şevlerin yakınına oturan yüzeysel şerit temellerin taşıma kapasitesi davranışı sayısal olarak analiz edilmiştir. Bu amaçla, oluşturulan model üzerinde farklı koşullar için sonlu elemanlar analizleri gerçekleştirilmiştir. Aşağıda bu çalışmadan elde edilen sonuçlar sunulmaktadır:

Model şev için elde edilen güvenlik sayıları şev açısının artmasına bağlı olarak azalmakta ve kumun sıkılık derecesinin artmasına bağlı olarak artmaktadır.

Şev açısı arttıkça taşıma kapasitesi değerlerinin azalmakta, sıkılığın artmasına bağlı olarak ve şev tepesinden uzaklaşıldıkça taşıma kapasitesi değerleri artmaktadır. Şev tepesine olan mesafenin 3B olması durumundan sonra taşıma kapasitesi değerlerinde artış miktarı oldukça azalmakta ve mesafenin 5B olması durumunda taşıma kapasitesi, düz yüzeyli zemin durumunda elde edilen değerlerin yaklaşık %85-90'ına karşılık gelmektedir.

Temel genişliği arttıkça taşıma kapasitesi de artmaktadır. Temel genişliği %25 arttırıldığında, taşıma kapasitesi değerleri yaklaşık ortalama %20 artarken, genişliğin %20 arttırılması durumunda kapasitesi değerleri yaklaşık %10-15 arasında artmaktadır.

Düz yüzeyli zemin durumunda temelin hemen altında yaklaşık simetrik bir deplasman dağılımı oluşurken, şevli durumda deplasman dağılımının asimetrik ve şev yüzeyinde oluştuğu şev tepesinden uzaklaştıkça göçme mekanizması üzerindeki şev etkisi azalmaktadır.

Teşekkür

Bu çalışma, Dicle Üniversitesi DÜBAP MÜHENDİSLİK.15.003 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.

Kaynaklar

Coduto, D. P. (2001). *Foundation design: principles and practices*, 883, New Jersey, Prentice Hall.

Das, B. M. (1999). *Shallow foundations: bearing capacity and settlement*, 365, CRC Press., USA.

Graham, J., Andrews, M. and Shields, D. H. (1988). Stress characteristics for shallow footings in cohesionless slopes, *Canadian Geotech. J.*, 25 (2), 238-249.

Hansen, J. B. (1970). A revised and extended formula for bearing capacity, *Danish Geotechnical Institute*, Bulletin 28, 5-11.

Keskin, M.S. (2009). Güçlendirilmiş kumlu şevlere oturan yüzeysel temellerin deneysel ve teorik analizi, *Doktora tezi*, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

Keskin, M.S., Laman, M. (2007). Sonlu elemanlar yönteminin şev stabilitesi problemlerinin analizinde kullanılması, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22 (1), 101-114.

Meyerhof, G. G. (1957). The ultimate bearing capacity of foundations on slopes, *in Proc., IV Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng.*, London England, 1, 384-386.

PLAXIS. (2002). *User Manual. 2D version8,* (Edited by Brinkgreeve, R.J.B.), Delft University of Technology&PLAXIS b.v., The Netherlands.

Saran, S., Sud, V. K., and Handa, S. C. (1989). Bearing capacity of footing adjacent to slopes, *J. Geotech. Eng., ASCE*, 115 (4), 553.

Terzaghi, K. (1943). *Theoretical soil mechanics*, John Wiley Publications, New York. 528.

Vesic, A. S. (1975). *Bearing capacity of shallow foundations*, in Foundation Engineering Handbook, Van Nostrant Reinhold Co., 121.

Analysis of bearing capacity behaviour of shallow foundations near slope

Extended abstract

There are a lot of situations where foundations should be built on or near a slope. Because of the land limitation and economical purposes, structures are generally located on the crest of slope or at a setback distance from the slope crest. For example, bridge piers supported on approach embankments, foundations on electrical transmission towers and some buildings. It is known that the bearing capacity of a foundation near a sloped ground is less than that on a flat ground. Therefore, in many situations, the classical types of shallow foundations are inadequate.

In this study, bearing capacity of strip footings near sand slope was investigated using finite element method. Finite element analyses were performed using commercially available computer program PLAXIS. The PLAXIS v8.2 program is a geotechnical finite element package for two-dimensional analysis of deformation and stability of any geotechnical engineering project. In the analysis, strip shaped plates were used as footing and modeled under plain-strain conditions. The sand soil was modeled using Mohr-Coulomb model. Also, the stability analysis of the slope model was performed using phi-c reduction method and factor of safety was obtained.

In the study, the effect of distance from the slope crest (b/B=0-1-2-3-4-5), slope angle (β=25°-30°-35°), the relative density of sand (ϕ=40.6°, ϕ=41.8°, ϕ=43.5°) and width of the strip footing (B=1.00m-1.25m-1.50m) on the bearing capacity were investigated.

The results show that the bearing capacity of the strip footing near a slope, increase almost linearly with an increase in setback distance up to setback distance to footing width ratio of b/B=3.0. Beyond this value the amount of increase is considerably reduced. At setback distance of b/B=5.0, the ultimate bearing capacity reaches 85-90% of bearing capacity of footing on level ground.

The bearing capacity of strip footing on sand slope is significantly dependent on the slope angle, relative density of sand, and width of the footing.

The obtained results show that as the slope angle increases or slope becomes steeper the ultimate bearing capacity of footing decreases. Moving the footing further from the slope overcomes this reduction due to the increase in slope angle.

The bearing capacity of the footing on a slope is significantly increases with an increase of relative density of sand.

Based on the analysis results, as the footing width increases the ultimate bearing capacity increases. When the footing width is increased by 20% and 25% the bearing capacity increases about 15% and 20%, respectively.

Finite element method has some advantages to recognize the failure mechanism of plate anchors in sand. It can be noted that if the footing is located close to the edge of the slope, the soil below the footing tends to move toward the slope, since it has less shear resistance. The form of failure surfaces are affected by the setback distance from the slope crest. With increasing setback distance, the failure zone is larger and will provide a higher bearing capacity. When the footing is located away from the slope crest, the bearing capacity of the footing increases as expected. It can be said that, the degree of confinement on the side of the slope increases and part of the stress due to the footing begins being governed by soil on the side of the ground surface.

Keywords: *slope, shallow foundation, finite element method, bearing capacity, PLAXIS.*