

Donatılı Kum Şeve Oturan Şerit Temelin Deneysel Olarak İncelenmesi

Mustafa LAMAN*
Levent YILDIZ**
M. Salih KESKİN***
Erdal UNCUOĞLU****

ÖZ

Bu çalışmada, geogrid ile güçlendirilmiş şevli zemin üzerine oturan, yüzeysel temelin taşıma kapasitesi, laboratuvar ortamında küçük ölçekli model deneyler yapılarak araştırılmıştır. Yüzeysel temel olarak şerit temel kullanılmıştır. Model deneylerde; ilk donatı derinliği, donatı tabaka sayısı ve temelin şev tepesinden uzaklığı gibi parametrelerin taşıma kapasitesine etkisi araştırılmıştır. Elde edilen deneysel sonuçlar değerlendirilerek, temel mühendisliği uygulamalarında kullanılmak üzere tasarım parametreleri önerilmiştir. Sonuçlar mevcut yöntemlerle karşılaştırılmış ve genel bir uyum gözlenmiştir. Sonuçta şevli zemine oturan bir şerit temelin nihai taşıma kapasitesinin, uygun donatı yerleşimine bağlı olarak, donatısız duruma göre, altı kata kadar artırılabilceği görülmüştür.

ABSTRACT

Experimental Investigation of Strip Footing on Reinforced Sand Slope

In this study, the ultimate bearing capacity of shallow foundation on geogrid-reinforced sandy slope was investigated using a small scale laboratory tests. Strip footing was used in the model tests. The parameters investigated include the location of the first layer of reinforcement, the number of reinforcement layer and the vertical spacing of reinforcement layer. Some practical design parameters were suggested for the relevant foundation engineering applications. The results of the study were compared with the existing methods and a general agreement was observed. Finally, it was concluded that the ultimate bearing capacity values of strip footing on sloping ground can, depending on the reinforcement geogrid arrangement, be increased up to six times that of the unreinforced case.

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 21.11.2005 günü ulaşmıştır.
- 30 Eylül 2007 gününe kadar tartışmaya açıktır.

* Çukurova Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana - mlaman@cu.edu.tr
** Çukurova Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana
*** Çukurova Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana - skeskin@cu.edu.tr
**** Çukurova Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana - erdal@cu.edu.tr

1. GİRİŞ

Yamaçlarda denge, eski terimiyle heyelan problemi, toplum yaşamında deprem, sel baskını, çığ gibi doğal afetlerle birlikte anılmakta olup, insan hayatında ciddi aksamalar hatta can kayıpları ortaya çıkarabilmektedir. Mühendisliğin gelişmesiyle doğal olanların yanında, yapay yamaçlardaki stabilite kayıpları da önem kazanmıştır. Yamacın dayanıklılığı ortamın mekanik özellikleri yanında, iklim ve bitki örtüsü gibi çevre koşullarına da bağlıdır. Uzun süre dengede kalan doğal yamaçlar kazı, drenaj koşullarının değiştirilmesi, bitki örtüsünün kaldırılması gibi müdahalelerle dengesini yitirebilmektedir.

Toprak kazı ve dolgu ile oluşturulan yamaçlar, en az doğal olanlar kadar sorun oluşturabilmektedir. “Yamaç” ve “heyelan” terimleri daha çok doğal olanlar için kullanılırken, “şev” ve “kayma-göçme-gelme” terimleri yapay olanlarda kullanılır. Şev için genel bir tanımlama “yatayla ya da mevcut arazi yüzeyi ile belirli bir açı yapan kitle” şeklinde yapılabilir.

Şevde, diğer mekanik problemlerdeki gibi, denge kaybı ortamın direnme gücünün mevcut kuvvet ve gerilmelerden az olması durumunda ortaya çıkar. Dengenin kaybolması, gerilmelerdeki artış kadar, kayma mukavemetindeki azalmalar sonucu görülebilir.

Bir yapı temelinin şevli bir zemin üzerine inşa edildiği durumlarda, taşıma kapasitesi, eğimli olmayan zemine oranla şevin eğimine ve temelin konumuna göre önemli mertebelerde azalabilmektedir. Bu gibi durumlarda taşıma gücünü arttırmak için alınabilecek önlemlerden birisi, temel zemininin geogrid tabakaları ile güçlendirilmesidir. Ayrıca, yol genişletme, göçen şevlerin onarılması gibi değişik mühendislik problemlerinde de donatı ile güçlendirme yapılarak başarılı uygulamalar gerçekleştirilmektedir.

Bu çalışmada, kumlu, 30° açılı şevve oturan şerit temelin taşıma kapasitesi donatısız ve geogrid donatı ile güçlendirilmiş durumlar için model deneyler yapılarak incelenmiştir. Deneylerde; ilk donatı derinliği, donatı tabaka sayısı ve temelin şev tepesine uzaklığının, taşıma kapasitesine etkisi araştırılmıştır. Deney sonuçları literatürdeki mevcut teorik yöntemler ve deneysel çalışmalar ile karşılaştırılmış ve en uygun donatı yerleşim düzeni araştırılarak, maksimum taşıma kapasitesi elde edilmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

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 tarafından önerilendir. Terzaghi teorisi, sürekli temeller (yani L/B oranı çok büyük olan temeller) için geliştirilmiştir. Daha sonra, model deneylerden elde edilen deneysel katsayılar ilave edilerek teori, kare ve dairesel temellere genişletilmiştir. Sürekli temeller için Terzaghi taşıma gücü formülü;

$$q_u = c' N_c + \sigma'_{zD} N_q + 0.5 \gamma' B N_\gamma \quad (1)$$

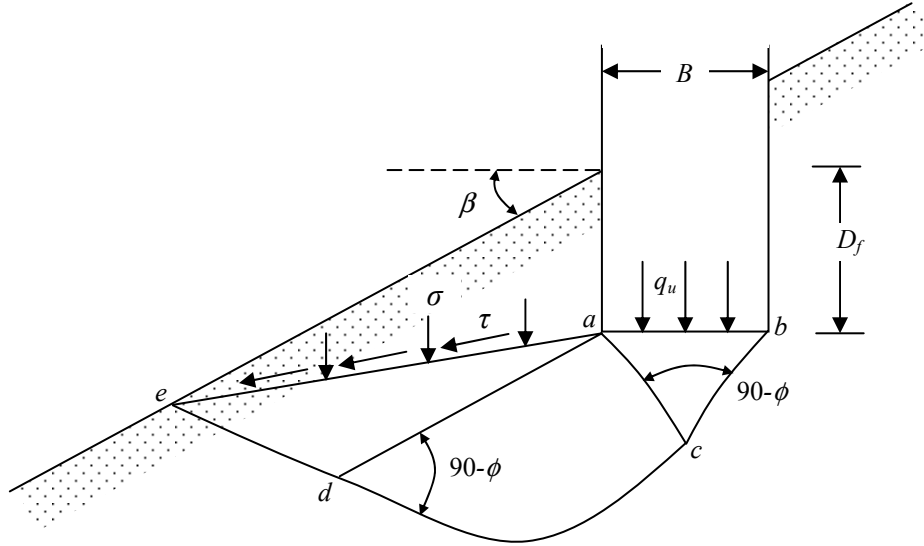
şeklindedir. Burada; q_u nihai taşıma gücünü, c' , temel altındaki zeminin efektif kohezyonunu, ϕ' , temel altındaki zeminin efektif sürtünme açısını, σ'_{zD} , zemin yüzeyinden aşağıda D derinliğindeki düşey efektif gerilmeyi, γ' , zeminin efektif birim ağırlığını, B , temel genişliğini, N_c , N_q , N_γ ise Terzaghi'nin taşıma gücü faktörlerini simgelenmektedir.

Terzaghi formülü sadece zemin yüzeyi düz, yatay tabanlı bir temel üzerine etkiyen düşey yükleri dikkate alır. Ancak, temellerin bir şev üstüne veya yakınına inşa edilmesi gerektiği durumlar vardır. Örnekler, yaklaşım dolguları üzerinde oturan köprü ayakları, elektrik direklerinin temelleri ve bazı binaları kapsar. Fakat, bu gibi durumlarda aşağıdaki kaygılar söz konusudur:

- Yanal destekte azalma, taşıma gücü yenilmesini daha olasılıklı hale getirir.
- Temeller, yüzeysel (veya derin) bir heyelanın meydana gelmesi halinde yıkılabilir.
- Yüzeyle yakın zeminler yamaç aşağı yavaşça kayıyor olabilir ve bu kayma temelin yavaşça şev aşağı hareketine neden olabilir. Bu özellikle killerde olasıdır [1].

2.1. Şev Üzerindeki Temeller

Meyerhof [2], herhangi bir şev üzerine oturan yüzeysel bir temelin nihai taşıma kapasitesinin belirlenmesi amacıyla teorik bir çözüm önermiştir. Şekil 1'de, şev üzerine oturan sürekli bir temel (B genişliğinde) altında oluşan plastik bölge görülmektedir [3].



Şekil 1. Şev Üzerine Oturan Sürekli Temel Altında Oluşan Plastik Bölge [3]

Donatılı Kum Şev Oturan Şerit Temelin Deneysel Olarak İncelenmesi

Şekilde, abc elastik bölge, acd radyal kayma bölgesi ve ade ise karma kayma bölgesini göstermektedir. ae düzlemindeki normal ve kayma gerilmeleri sırasıyla σ ve τ 'dur. Şevin yatayla yaptığı açı β , kayma mukavemeti parametreleri $c-\phi$ ve birim hacim ağırlığı ise, γ 'dır.

Nihai taşıma gücü aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

$$q_u = cN_c + p_0N_q + 0.5\gamma BN_\gamma \quad (2)$$

İlişki aşağıdaki şekilde de ifade edilebilir;

$$q_u = cN_{cq} + 0.5\gamma BN_{\gamma q} \quad (3)$$

Burada N_{cq} , $N_{\gamma q}$ taşıma gücü faktörleridir. Kohezyonlu zeminler için,

$$q_u = cN_{cq} \quad (4)$$

İfadedeki N_{cq} taşıma gücü faktörü, şev açısı β ve şev stabilite sayısı N_s değerlerine bağlı olarak Meyerhof [2] tarafından tablolaştırılmıştır. N_s ise aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır;

$$N_s = \frac{\gamma H}{c} \quad (5)$$

Burada H şev yüksekliğidir.

Benzer şekilde, kohezyonsuz zeminler için ise;

$$q_u = 0.5\gamma BN_{\gamma q} \quad (6)$$

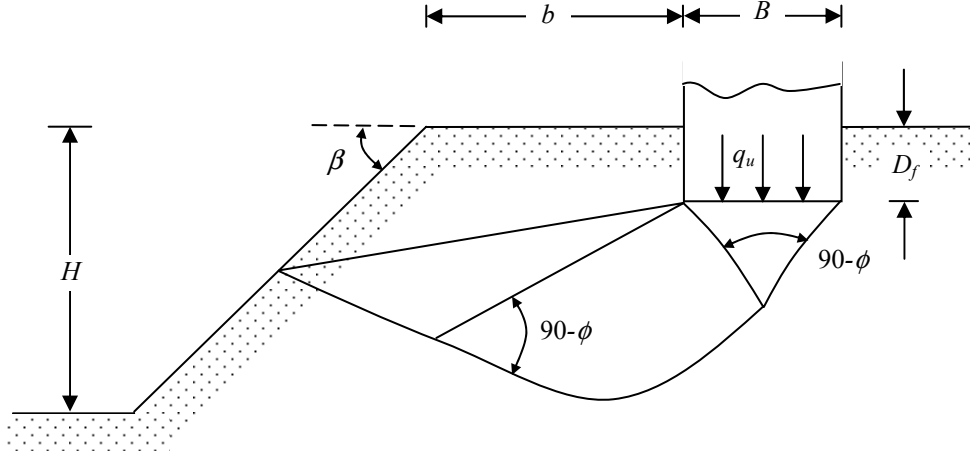
şeklinde ifade edilmektedir. $N_{\gamma q}$ taşıma gücü faktörü de, şev açısı β ve içsel sürtünme açısı ϕ değerlerine bağlı olarak Meyerhof [2] tarafından tablolaştırılmıştır [3].

2.2. Şev Yakınındaki Temeller

Şekil 2'de B genişliğinde ve H yüksekliğinde bir şevin tepesine oturan sürekli bir temel görülmektedir. Temel, şev tepesinden b kadar uzaklıkta yerleştirilmiştir. Temelin nihai taşıma kapasitesi;

$$q_u = cN_{cq} + 0.5\gamma BN_{\gamma q} \quad (7)$$

ifadesi ile hesaplanmaktadır.



Şekil 2. Şev Yakınına Oturan Sürekli Temel [3]

Meyerhof [2], N_{cq} taşıma gücü faktörünün, kohezyonlu ve $N_{\gamma q}$ taşıma gücü faktörünün kohezyonsuz zeminler için teorik varyasyonlarını geliştirmiştir. Nihai taşıma gücü kapasitesi, kohezyonlu zeminler için;

$$q_u = cN_{cq} \quad (8)$$

kohezyonsuz zeminler için ise;

$$q_u = 0.5 \gamma B N_{\gamma q} \quad (9)$$

ifadeleri ile hesaplanmaktadır. Şekil 2'de $b=0$ olması durumunda (temelin şev sınırına oturması durumu), sürekli temelin nihai taşıma kapasitesi için Hansen [4] aşağıdaki ifadeyi önermiştir;

$$q_u = cN_c \lambda_{c\beta} + qN_q \lambda_{q\beta} + 0.5 \gamma B N_\gamma \lambda_{\gamma\beta} \quad (10)$$

Burada; $\lambda_{c\beta}$, $\lambda_{q\beta}$, $\lambda_{\gamma\beta}$ şev faktörlerini simgelemektedir. q değeri ise, γD_f şeklindedir.

$\phi=0$ durumu için, Vesic [5], şev ağırlığının ihmal edilmesiyle, N_γ değerinin aşağıdaki gibi negatif değer alacağını ifade etmiştir:

$$N_\gamma = -2 \sin \beta \quad (11)$$

Kohezyonsuz zeminler için önerilen, Denklem (6)'da $N_{\gamma q}$ taşıma gücü faktörünün elde edilebilmesi amacıyla Graham ve ark. [6], gerilme karakteristikleri metodunu kullanarak bir çözüm geliştirmişler ve abaklar halinde sunmuşlardır.

Donatılı Kum Şeve Oturan Şerit Temelin Deneysel Olarak İncelenmesi

Shields ve ark. [7], Gemperline [8] tarafından gerçekleştirilen 215 adet santrifüj deney sonucunu kullanarak kumlu şevlere oturan sürekli temellerde $N_{\gamma q}$ taşıma gücü faktörünün bulunabilmesi için aşağıdaki ampirik ifadeyi elde etmişlerdir:

$$\frac{N_{\gamma q}}{N_{\gamma q R}} = \left[1 + 0.65 \left(\frac{D_f}{B} \right) \right] \left\{ 1 - 0.8 \left[1 - (1 - \tan \beta)^2 \right] \left[\frac{2}{2 + \left(\frac{b}{B} \right)^2 \tan \beta} \right] \right\} \\ \times \left\{ 1 - 0.33 \left(\frac{D_f}{B} \right) \tan \beta \left[\frac{2}{2 + \left(\frac{b}{B} \right)^2 \tan \beta} \right] \right\} \quad (12)$$

Burada, $N_{\gamma q R}$ zemin yüzeyindeki referans sürekli temelin $N_{\gamma q}$ değerini simgelemektedir. $N_{\gamma q R}$ değeri aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$N_{\gamma q R} = (10^{0.1159 \phi - 2.386}) (10^{0.34 - 0.2 \log B}) \quad (13)$$

Denklemdaki ϕ değeri derece, B değeri ise inç cinsindedir.

2.3. Donatılı Şevler

Temel zeminlerinin problemlili olması durumunda, donatılı zemin uygulaması alternatif zemin iyileştirme tekniklerinden birisidir. Donatılı zemin, çekme dayanımı çok düşük olan zeminlerin, çekme dayanımı yüksek metal şerit, geotekstil veya geogrid gibi malzemeler kullanılarak, bu mukavemet özelliklerinin iyileştirilmesi olarak tanımlanabilir. Donatılı zemin uygulamalarında amaç, zeminin taşıma gücünü arttırmak, beklenen oturma ve deformasyonları azaltmaktır.

Donatılı zemin konusunda yapılan ilk çalışmalarda, metal şeritler veya çubuklar kullanılırken, daha sonra bu tür malzemelerin yerini geosentetik türü malzemeler almıştır. Geosentetikler, özellikle otoyollardaki dayanma yapılarında, karayolu, demiryolu, hava limanları alt temel dolgularında, yapı temel zeminlerinde, sıklıkla ve artan bir şekilde kullanılmaktadır. Geosentetikler, plastik veya fiberglastan yapılıp; gözenekli kumaş, ince keçe, seyrek gözlü ağ veya deliksiz (geçirimsiz) örtü gibi malzemeler olup; genellikle rulolar şeklinde piyasaya sürülmektedir. Geosentetikler, Geoteknik Mühendisliğinde; başlıca, güçlendirme, geçirimsizliğin sağlanması, filtre-drenaj, ayırma vb. amaçlar için kullanılmaktadır. Geosentetikler, zeminin taşıma gücünün artırılmasında, zemine düşeydeki aralıklarla, yatay yönde serilerek kullanılmaktadır. Tipik olarak bir tabaka zemin bir tabaka geosentetik olmak üzere, bir veya birkaç tabakadan oluşmaktadırlar.

Zemin içerisine çekmeye dayanıklı, yatay konumda şerit donatılar yerleştirilerek zeminin kuvvetlendirilmesi fikri Vidal [9] tarafından 1960'larda ortaya atılmış ve "donatılı zemin" (reinforced earth) adı altında mühendislik uygulamalarına girmiştir.

Literatürde, donatılı zeminlerle ilgili çok sayıda çalışma mevcut olmasına rağmen, donatılı zeminlerin şev stabilitesi ile ilgili çalışmalar sınırlı sayıdadır.

Selveaduari ve Gnanendran [10], geogridlerle güçlendirilmiş bir şev dolgusu üzerine oturan şerit temelin taşıma kapasitesini model deneyler yaparak incelemişlerdir. Fakat bu çalışmada sadece, zemin içerisine yerleştirilen tek bir geogrid tabakası kullanılmıştır. Çeşitli derinliklerde, şev tepesine yakın bir noktaya yerleştirilen şerit temelin yük-deplasman davranışı incelenmiştir. Deneysel çalışma sonunda, şev dolgusu üzerine oturan şerit temelin taşıma kapasitesinin geogrid donatı kullanılarak 1.8 kata kadar arttırılabildiği, optimum donatı tabaka derinliğinin, temel genişliğinin 0.5-0.9 katı derinliklerinde elde edildiği belirlenmiştir.

Huang ve ark. [11], laboratuvarında modelledikleri şerit temel ile yüklenmiş donatılı şev üzerinde bir seri deney gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada donatılı şevin yük altında göçme mekanizması incelenmiştir. Fakat çalışmada donatı olarak, güçlendirme mekanizması geogridlerden farklı olan fosforlu bronz şeritler kullanılmıştır. Bronz şerit donatılar, zemin içerisine belli açılarla yerleştirilmiş ve bu durumun taşıma kapasitesine etkisi araştırılmıştır. Çalışmadan elde edilen deney sonuçlarından, zemin içerisine 3 donatı tabakası konularak elde edilen taşıma kapasitesi değerinin, donatısız durumda elde edilen değer yaklaşık 3 katı olduğu görülmüştür. Ayrıca, donatının 30° açı ile yerleştirilmesi durumunda taşıma kapasitesi değerinin, donatıların yatay halde yerleştirilmesi durumunda elde edilen değer 1.3 katı olduğu belirlenmiştir.

Lee ve Manjunath [12], geosentetik kullanılarak güçlendirilmiş şeve oturan rijit bir şerit temelin taşıma kapasitesini araştırmak amacıyla deneysel bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada değişik tiplerde geosentetikler kullanılarak göçme mekanizmaları incelenmiş ayrıca derinlik, tabaka sayıları gibi parametreler için çeşitli öneriler yapılmıştır. Çalışmada, donatı optimum derinliği, temel genişliğinin 0.5 katı değerinde elde edilmiştir. Ayrıca, temelin şev tepesine olan uzaklığının taşıma kapasitesine etkisi araştırılmış ve temelin temel genişliğinin 5 katı kadar uzaklığa konması durumunda şev açısının taşıma kapasitesi üzerinde bir etkisinin kalmadığı görülmüştür.

Yoo [13], donatılı bir şeve oturan yüzeysel şerit temelin, taşıma gücü kapasitesini incelemiştir. Hazırlanmış olduğu model üzerinde yapmış olduğu deneysel çalışmaların sonuçlarını, GEOFE2D sonlu elemanlar programı yardımıyla, bilgisayar ortamında modellemiş ve çıkan verileri, deneysel yollarla bulduğu verilerle karşılaştırmıştır. Ayrıca, kullanmış olduğu donatıların maruz kaldığı gerilmeleri de ölçmüştür. Deneysel çalışmada elde edilen ilk donatı derinliğinin optimum değeri, temel genişliğinin 1.0 katı kadardır. Zemin içerisine tek tabaka donatının optimum derinliğe konması durumunda taşıma gücü kapasitesinin donatısız duruma göre yaklaşık 1.73 kat arttığı görülmüştür.

Bathurst ve ark. [14] tarafından, 2 adet büyük ölçekli, geosentetik ile güçlendirilmiş ve 1 adet donatısız kumlu şeve oturan şerit temelin kapasitesi ile ilgili deneysel bir çalışma yapılmıştır. Deneylerde, model geometrisi ve yükleme koşulları her 3 deney düzeneğinde de aynı tutularak, iki farklı tipte geogrid kullanılmış ve bu durumun taşıma kapasitesine etkisi araştırılmıştır. Zemin içerisine geogrid yerleştirilmesi durumunda taşıma kapasitesinin donatısız duruma göre 1.6 kat daha güçlü ve rijit geogrid konması durumunda ise, 2.0 kat arttığı tesbit edilmiştir.

Donatılı Kum Şeve Oturan Şerit Temelin Deneysel Olarak İncelenmesi

Briançon ve ark. [15] tarafından “Geosynthetic Lining Systems” (GLS) ile oluşturulan donatılı şevlerin, su altındaki davranışları incelenmiş ve yapılan çalışmaların olumlu sonuçlar verdiği dikkat çekilmiştir.

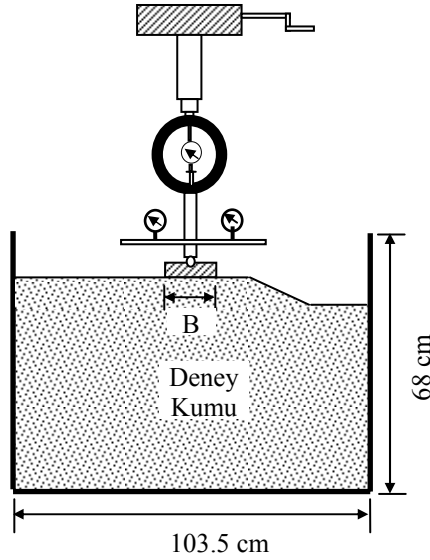
3. DENEYSEL ÇALIŞMA

Deneysel çalışma, donatı ile güçlendirilmiş kumlu şev üzerinde yapılan, model plaka yükleme deneylerini içermektedir. Model temel olarak 2cm kalınlıkta ve plan boyutları 40cm x 4cm olan metal şerit plaka kullanılmıştır. Donatı malzemesi olarak kohezyonsuz zeminlerde daha efektif çalışması nedeniyle geogridler tercih edilmiştir. Deneylerde kasa içerisinde farklı boyut, miktar ve konumda yerleştirilen geogrid donatılarının taşıma kapasitesi üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

3.1. Deney Düzenegi

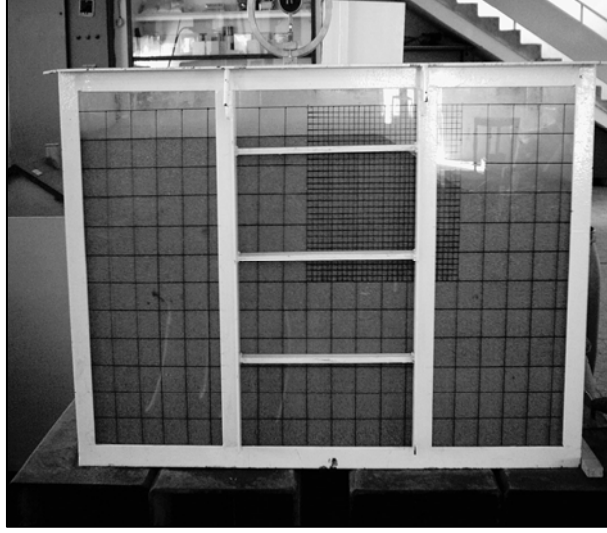
Deneysel çalışmalar, Ç.Ü. İnşaat Mühendisliği Bölümü Zemin Mekaniği Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Deneyler 103,5×40,5cm genişliğinde ve 68cm yüksekliğindeki dikdörtgen kesitli kasa içerisinde yapılmıştır (Şekil 3 ve 4). Deney kasası iskeleti çelik profilden olup, ön ve arka yüzeyi saydam fiberden, yan yüzeyler ve alt taban ise çelik levhalardan teşkil edilmiştir.

Sıkıştırma işlemlerini hassas bir şekilde yapabilmek için ön yüzeydeki fiber malzeme üzerine 5 cm aralıklarla, şevin oluşturulacağı kısımda ise, daha hassas gözlem yapabilmek için 1 cm aralıklarla yatay ve düşey çizgiler çizilmiştir.



Şekil 3. Deney Düzenegi

Mustafa LAMAN, Levent YILDIZ, M. Salih KESKİN, Erdal UNCUOĞLU



Şekil 4. Deney Kasası

Deneylerde şev açısı 30° olarak belirlenmiştir. Yüzeyi şevlendirmek amacı ile ahşap suntadan özel olarak hazırlanmış 30° açılıya sahip şev plakası kullanılmıştır (Şekil 5).



Şekil 5. Şev Plakası

Donatılı Kum Şeve Oturan Şerit Temelin Deneysel Olarak İncelenmesi

Deneyde yükleme CONTROLS firması tarafından imal edilen 45 kN kapasiteli T112 model mekanik kriko ile gerçekleştirilmiştir. Uygulanan yük değerini okumak için yük halkası kullanılmıştır.

Yükleme nedeniyle temel tabanında meydana gelen oturmaları ölçmek için ELE firması tarafından üretilen ve 0.0-9.999mm arasında okuma yapabilen deplasman transducerleri kullanılmıştır.

Her yük kademesinde temel plakası tabanında oluşan oturmalar 2 farklı noktada ölçülmüş ve oturma değeri olarak iki okumanın ortalaması alınmıştır.

Transduserler yardımıyla yapılan okumalar, EL27-1495 seri numaralı ve 8 kanal girişli ADU (Autonomous Data Unit) data logger cihazına aktarılmıştır. Bu datalar daha sonra bilgisayar ortamında DIALOG programı yardımı ile sayısal değerlere dönüştürülmüştür.

3.2. Zemin Özellikleri

Deneysel çalışmalarda, Çukurova bölgesi, Seyhan nehir yatağından getirilen kum numuneler kullanılmıştır. Kum numuneler, ASTM standardına göre sırasıyla 18 no'lu (1mm çaplı) ve 200 no'lu (0.074mm çaplı) eleklerden yıkanarak elenmiştir. Bu işlem sonunda No 18 ile No 200 arasında kalan kumlar, 105 °C sıcaklıkta etüvde kurutulduktan sonra, geniş bir alanda serilerek oda sıcaklığında havalandırılmıştır. Deney kumunun endeks ve kayma mukavemeti özelliklerini belirlemek üzere bir dizi deneyler yapılmıştır [16]. Deney kumunun, TS 1500'e göre yapılan sınıflandırmada, üniform kum (SP) sınıfına girdiği belirlenmiştir.

Deney kumunun dane birim hacim ağırlığını belirlemek için yapılan piknometre deneyinde $\gamma_s = 26,8 \text{ kN/m}^3$ olarak bulunmuştur. Kum numuneler kasa içerisinde $D_r = \%65$ olacak şekilde yerleştirilmiştir. Deney kumunun kayma mukavemeti parametrelerini belirlemek amacıyla kesme kutusu ve konsolidasyonlu drenajlı (CD) üç eksenli basınç deney leri yapılmıştır.

Yapılan kesme kutusu deneylerinde, kumun kayma mukavemeti açısı $\phi = 41^\circ$ ve kohezyonu $c = 0 \text{ kPa}$ olarak bulunmuştur. Ayrıca, $D_r = \%65$ sıklık oranında hazırlanan numuneler üzerinde yapılan drenajlı üç eksenli basınç deneylerinde (CD) kumun kayma mukavemeti açısı $\phi = 40.4^\circ$ ve kohezyonu $c = 0 \text{ kPa}$ olarak bulunmuştur.

3.3. Kullanılan Donatının Özellikleri

Donatı malzemesi olarak tek yönlü çalışan geosentetik donatı kullanılmıştır (Şekil 6). Şevli yüzeyler genellikle tek yönde göçmeye zorlandıklarından dolayı bu tip yüzeylerde tek yönlü çalışan donatı kullanılmaktadır.

Donatının dayanım özelliklerini tayin etmek için üretici firma tarafından sabit oda sıcaklığında ($20 \pm 2^\circ\text{C}$), 100cm boyunda ve 6cm (dört nervür) genişliğinde numuneler kullanılarak yapılan tek eksenli çekme ve süreli sünme deneylerinden elde edilen bilgilere göre, tek eksenli çekme deneyinden geogridlerin yaklaşık olarak 30 kN/m'lik eksenel

Mustafa LAMAN, Levent YILDIZ, M. Salih KESKİN, Erdal UNCUOĞLU

çekme kuvvetinde aktığı görülmektedir. Yetimoğlu [17], bu geogridin 10 kN/m'lik proje yüklerini %3 sünme ile taşıyabileceğini belirtmiştir.

Boy: Min. 50m – Maks. 70 m

En: 1.0m

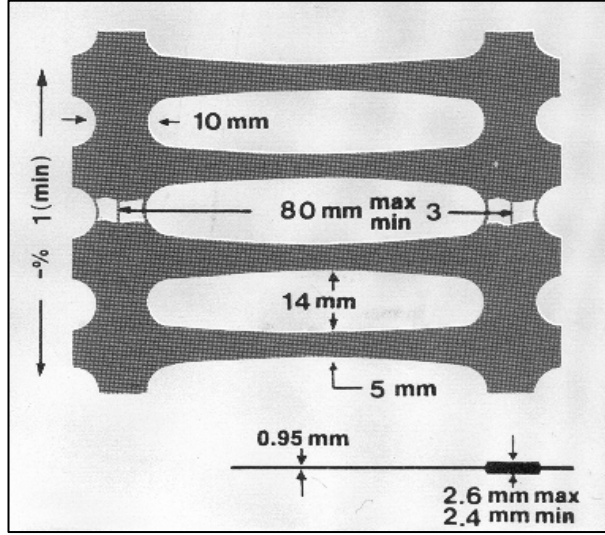
Et kalınlığı.....: 0.95mm

Renk: Siyah

Ağırlık: 0.5 kg/m² (± 0.1 gr)

Dayanım.....: 28.60 kN/m'de uzama %11.6

Çalışma sıcaklığı.....: -50°C ile + 60°C



Şekil 6. Deneylerde Kullanılan Donatı ve Özellikleri

3.4. Deneyin Yapılışı

Kum numuneler, kasa içerisine 5cm'lik tabakalar halinde ve relatif sıklık oranı $D_r = \%65$ (± 3) olacak şekilde, kompaksiyon aleti ile sıkıştırılarak yerleştirilmiştir. Bu amaçla deney kasesinin ön yüzündeki fiber cam ölçeklendirilmiştir. 5cm kalınlığındaki bir tabaka kumun %65 sıklığı sağlayabilmesi için kullanılması gereken kum miktarı hesaplanmış ve 2 tabaka halinde (2.5cm) sıkıştırılmıştır.

Her bir kum tabakası, elektrikle çalışan BOSCH GBH 2-24 DSE titreşim cihazı ile önceden belirlenen derinliğe ulaşınca kadar sıkıştırılmıştır. Sıkıştırma işlemi sırasında uniform sıklık elde edebilmek ve kum danelerinin ezilmesini önlemek amacıyla titreşim cihazının uç kısmına 13cm×13cm boyutlarında ve 2cm kalınlığında merlin malzemeden imal edilen

Donatılı Kum Şevde Oturan Şerit Temelin Deneysel Olarak İncelenmesi

plaka monte edilmiştir. Her sıkıştırma işleminin sonunda su terazisi ile zemin yüzeyinin düzgünlüğü kontrol edilmiştir. Donatı, kumun yerleştirilmesi işlemi sırasında, şevin üst noktasından daha önce belirlenmiş derinliklere tabakalar halinde serilmiştir. Donatının genişliği 40cm olup şev yüzeyine çok yakın mesafeye kadar uzatılmıştır.

Kumun sıkıştırılması işlemi tamamlandıktan sonra, şevin üst noktasından belirlenen mesafede, zemin yüzeyine temel plakası konmuştur. Düşey deplasman transduserleri ise, temel plakasının üzerinde iki noktaya yerleştirilmiştir.

Yük, temel plakası merkezine düşey yönde ve statik olarak uygulanmıştır. Yük kademeli olarak artırılmış ve deney sırasında yükleme hızı sabit tutulmuştur.

Yüklemeye şev göçünceye kadar devam edilmiş ve yük-deplasman değerleri kaydedilmiştir. Aşağıdaki şekilde yükleme sonucu şevde oluşan göçme yüzeyi görülmektedir (Şekil 7).



Şekil 7. Şevde Göçmenin Meydana Gelmesi

4. DENEY SONUÇLARI

Sabit sıklıkta hazırlanan kumlu zeminlerde ilk donatı derinliğinin, donatı sayısının ve temelin şev tepesine olan mesafesinin taşıma kapasitesine olan etkileri araştırılmıştır.

Deneylerden elde edilen yük-oturma eğrilerinden donatılı kum zeminlerin göçme türü, nihai taşıma kapasitesi q_u ve göçme anındaki oturma miktarı belirlenmiştir.

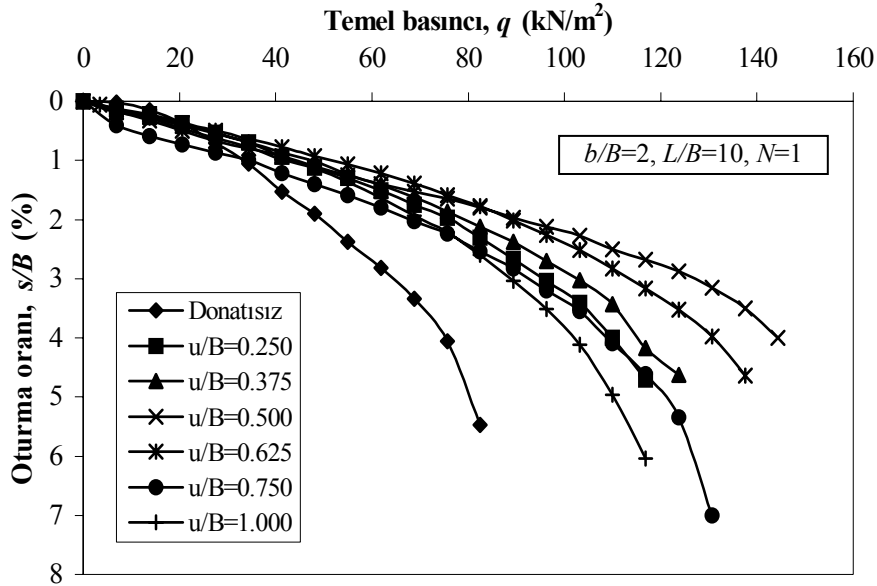
Deneylerde, donatı ile ilgili geometrik parametreler, temel genişliği B değerine bölünerek u/B , b/B ifade elde edilmiştir (u =ilk donatı tabakası derinliği, b =şev tepesine olan uzaklık). Böylece, deneylerden elde edilen sonuçlar değerlendirilirken donatı ile ilgili optimum değerler, temel genişliği B cinsinden ve boyutsuz olarak verilmiştir.

4.1. İlk Donatı Tabakası Derinliğinin (u) Etkisi

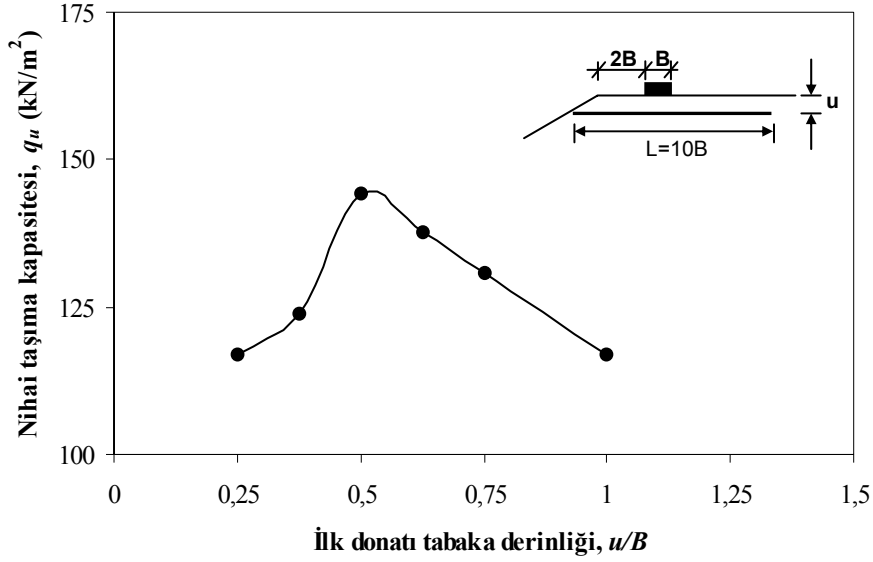
İlk donatı tabakası derinliğinin (u) taşıma kapasitesine etkisini araştırmak amacıyla farklı u değerleri seçilerek bir seri deney yapılmıştır. Deneylerde donatı tabaka sayısı $N=1$, $D_r=\%65$ (± 3) sıklık oranında, donatı tabaka boyu $L=10B$, temel in şev tepesine olan mesafesi $b=2B$, şev açısı ise 30° olarak sabit tutulmuştur. Temel basıncı, q – oturma oranı, s/B eğrileri toplu olarak Şekil 8’de, u ile nihai taşıma kapasitesi, q_u arasındaki ilişki ise Şekil 9’da görülmektedir. Farklı u/B oranları için deneylerden elde edilen sonuçlar ayrıca Çizelge 1’de özetlenmiştir.

Çizelge 1. Farklı u/B Değerlerine Ait Deney Sonuçları

u/B	q_u (kN/m ²)	s/B (%)
Donatısız	82.500	5.475
0,250	116,875	4,713
0,375	123,750	4,625
0,500	144,375	4,000
0,625	137,500	4,638
0,750	130,625	7,000
1,000	116,875	6,038



Şekil 8. Farklı u/B Değerlerinde Elde Edilen Yük-Oturma Oranı Değerleri



Şekil 9. u/B ile Nihai Taşıma Kapasitesi Arasındaki İlişki

İlk donatı derinliği u , $0.25B$ ile $1.0B$ arasında seçilerek yapılan deneylerden elde edilen veriler sonucunda, $u=0.25B$ ile $u=0.50B$ arasında taşıma gücü kapasitesi artış gösterirken $u=0.50B$ olduğunda taşıma gücü maksimum değere ulaşmakta ve $u=0.50B$ ile $u=1.0B$ arasında da taşıma gücü kapasitesi azalış göstermektedir. İlk donatı tabakasının maksimum derinlikte olması durumunda ($u=0.50B$) taşıma kapasitesi, donatısız oranla yaklaşık 1.75 kat artış göstermiştir.

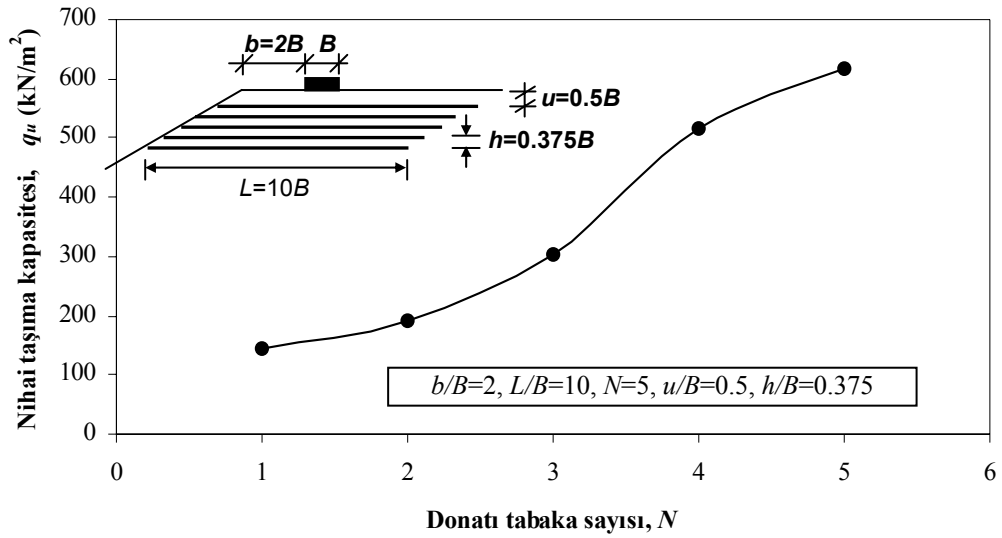
4.2. Donatı Tabaka Sayısının (N) Etkisi

Donatı tabaka sayısının, şevli kum yüzeye oturan şerit temelin taşıma kapasitesine etkisini araştırmak için, $N=1$ 'den 5'e kadar artırılmak suretiyle bir seri deney yapılmıştır. Deneylerde, diğer parametreler $u/B=0.5$, $h/B=0.375$, $b/B=2$, $L/B=10$ olarak sabit tutulmuştur. Burada h iki donatı arası mesafeyi göstermektedir. Deney sonuçları toplu olarak Çizelge 2'de özetlenmiştir. Donatı tabaka sayısı N ile nihai taşıma kapasitesi, q_u arasındaki ilişki Şekil 10'da görülmektedir.

Çizelge 2. Donatı Tabaka Sayısı İle İlgili Deney Sonuçları

N	q_u (kN/m ²)	s/B (%)
Donatısız	82.500	5.475
1	144.375	4.000
2	192.500	7.000
3	302.500	11.150
4	515.620	15.400
5	618.750	12.438

Donatı tabaka sayısı, N arttıkça, donatılı zeminlerin taşıma gücü de artmaktadır. Donatı sayısı 4'e ulaştığında taşıma gücü artış miktarı azalmaktadır. $N=4$ 'ten fazla donatı tabakası kullanılmasının taşıma kapasitesine önemli derecede katkısı olmamaktadır. Bu veriler doğrultusunda optimum donatı sayısı $N=4$ olarak önerilmektedir. Optimum donatı sayısında taşıma kapasitesi, tek donatı sayısındaki taşıma kapasitesine oranla yaklaşık 3.5 kat, donatısız durumdaki taşıma kapasitesine oranla da 6.2 kat artmaktadır.



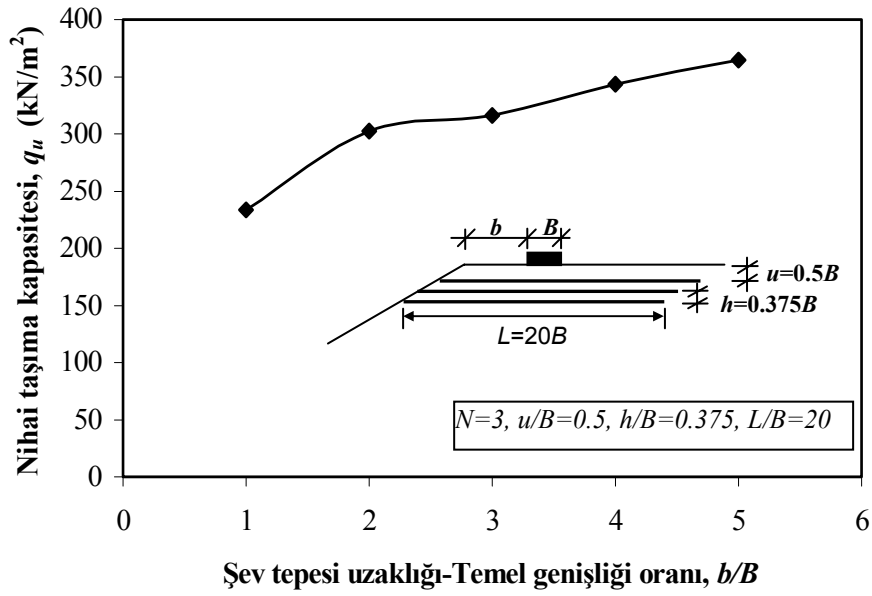
Şekil 10. Donatı Tabaka Sayısı, N ile Taşıma Kapasitesi Arasındaki İlişki

4.3. Şev Tepesine Olan Uzaklığın (b) Taşıma Kapasitesine Etkisi

Şev tepesinden uzaklığın, b taşıma kapasitesine etkisini araştırmak için şev tepesinden farklı uzaklıklarda bir seri deney yapılmıştır. Deneyle ilgili diğer parametreler $N=3$, $u=0.5B$, $h=0.375B$, $L=20B$ olarak sabit alınmıştır. Deney sonuçları toplu olarak Çizelge 3'de, b/B ile göçme gerilmesi, q_u arasındaki ilişki ise Şekil 11'de görülmektedir.

Çizelge 3. Şev Tepesine Olan Uzaklıkla İlgili Deney Sonuçları

b/B	q_u (kN/m ²)	s/B (%)
şevsiz	367.125	12.500
1	233.750	5.750
2	302.500	11.150
3	316.250	8.330
4	343.750	10.813
5	364.375	14.125



Şekil 11. b/B ile Taşıma Kapasitesi Arasındaki İlişki

Şev tepesinden olan mesafe $b=B$ 'den $b=5B$ 'ye kadar artırılarak ve şevsiz olarak yapılan deneyler sonucunda; $b=5B$ 'de elde edilen deney sonucu şevsiz yapılan deney sonucu ile aynı çıkmaktadır. Bu deney verilerine göre $b=5B$ 'de taşıma kapasitesi maksimum değeri almaktadır.

5. SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

5.1. Donatısız Durum

Donatısız şevli kum zemine oturan şerit temelin nihai taşıma kapasitesi deneysel olarak araştırılmış ve $q_u=82.5$ kN/m² olarak bulunmuştur. Bulunan bu değer, deneysel çalışmadaki model parametreleri kullanılarak, Bölüm 2.1 ve Bölüm 2.2’de anlatılan literatürdeki yöntemler ile karşılaştırılmıştır. Hesaplarda kullanılan model parametreleri Çizelge 4’de görülmektedir.

Çizelge 4. Donatısız Durumda Model Parametreleri

γ (kN/m ²)	ϕ	β	B (m)	b/B	D_f (m)
17.1	41°	30°	0.04	2.0	0.0

Literatürdeki yöntemlerde kohezyonsuz zeminler için Denklem (6) kullanılmakta ve $N_{\gamma q}$ taşıma gücü faktörü, b/B , şev açısı β , içsel sürtünme açısı ϕ ve temel derinliği D_f değerlerine bağlı olarak hesaplanmaktadır.

Karşılaştırma sonuçları Çizelge 5’de sunulmaktadır.

Çizelge 5. Donatısız Durum Deneysel-Teorik Sonuçların Karşılaştırılması

q_u (kN/m ²)	Deney	Meyerhof [2]	Graham ve ark. [6]	Shields ve ark. [7]
	82.50	22.20	34.20	110.28

Çizelge 5’de görüldüğü üzere, donatısız durum için yapılan deneyler sonucunda bulunan nihai taşıma kapasitesi q_u , Meyerhof [2] ve Graham ve ark. [6] yöntemleriyle hesaplanan değerlerden büyük, Shields ve ark. [7] tarafından önerilen yöntem sonuçlarından ise daha küçük çıkmaktadır.

Literatürde konu ile ilgili önemli deneysel çalışmalardan biri olan Yoo [13]’ün donatısız durum için elde ettiği değerler, mevcut çalışmadaki koşullardan farklı olduğundan, doğrudan karşılaştırma imkanı olamamıştır. Ancak, yukarıda bahsedilen teorik yöntemlerle karşılaştırılmış ve benzer davranış gözlenmiştir. Yoo [13] tarafından kullanılan model parametreleri ve literatürdeki teorik yöntemlerle karşılaştırma sonuçları sırasıyla Çizelge 6 ve 7’de sunulmuştur.

Çizelge 6. Donatısız Durumda Model Parametreleri [13]

γ (kN/m ²)	ϕ	β	B (m)	b/B	D_f (m)
16.0	42°	34°	0.08	1.5	0.0

Çizelge 7. Donatısız Durumda Deneysel-Teorik Sonuçların Karşılaştırması

q_u (kN/m ²)	Yoo [13]	Meyerhof [2]	Graham ve ark. [6]	Shields ve ark. [7]
	110	32	45	200.26

Çizelge 7'deki değerlerden görüldüğü gibi, Yoo [13] tarafından donatısız durum için yapılan deneyler sonucunda bulunan nihai taşıma kapasitesi q_u , (bu çalışmadakine benzer şekilde) Meyerhof [2] ve Graham ve ark. [6] yöntemleriyle hesaplanan değerlerden büyük, Shields ve ark. [7] tarafından önerilen yöntem sonuçlarından ise daha küçük çıkmaktadır.

5.2. Donatılı Durum

Donatılı şevli kum zemine oturan şerit temelin nihai taşıma kapasitesi deneysel olarak araştırılmış ve optimum değerler elde edilmiştir. Elde edilen değerler Çizelge 8'de sunulmuştur.

Çizelge 8. Donatılı Durumda Optimum Değerler

İlk Donatı Derinliği, (u)	Donatı Sayısı, (N)	Şev Tepesinden Uzaklığı, (b)
0.5B	4	5B

Mevcut çalışmada elde edilen ilk donatı derinliğinin optimum değeri, literatürdeki Selvadurai ve Gnanendran [10], Lee ve Manjunath [12] ve Yoo [13] tarafından elde edilen optimum değerler ile karşılaştırılmıştır. Selvadurai ve Gnanendran [10] optimum değer olarak 0.7B, Lee ve Manjunath [12] 0.5B ve Yoo [13] ise 1.0B değerlerini bulmuşlardır. Buradan, Lee ve Manjunath [12] tarafından önerilen değer mevcut çalışmada önerilen değerle aynı, diğer çalışmalardan elde edilen değerlerin ise, her iki çalışmada önerilen değerden yüksek olduğu anlaşılmaktadır.

Mevcut çalışmada, zemin içerisine tek tabaka donatının optimum derinliğe konması durumunda taşıma gücü kapasitesi donatısız duruma göre 1.75 kat artarken, Selvadurai ve Gnanendran [10]'da 1.8 kat, Yoo [13]'da ise yaklaşık 1.73 kat arttığı görülmüştür. Bathurst ve ark. [14] tarafından yapılan büyük ölçekli deneysel çalışmada ise, kullanılan geogrid tipine bağlı olarak, taşıma kapasitesinin donatısız duruma göre 1.6-2.0 kat arttığı görülmüştür. Buradan, mevcut çalışmada elde edilen tek tabaka donatı optimum derinliğinin, literatürde önerilenler ile oldukça uyumlu olduğu anlaşılmaktadır.

Mevcut çalışmada, temelin şev tepesinden 5B kadar uzaklığa konması durumunda şev açısının taşıma kapasitesine bir etkisinin kalmadığı ve Lee ve Manjunath [12] tarafından yapılan deneysel çalışmada da aynı değer elde edildiği görülmüştür.

Deneysel çalışmalar arasındaki karşılaştırmalarda, değerler arasında oluşan farkların ise model geometrisi ve zemin koşullarının farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, yüzeyi 30° açı ile şevlendirilmiş ve şerit temel ile yüklenmiş %65 sıklıktaki kum zeminde, tek tabaka halindeki donatının derinliği, donatı tabaka sayısı ve temelin şeve mesafesi dikkate alınarak temelin nihai taşıma kapasitesi model deneyler yapılarak araştırılmıştır. Çalışma sonunda,

- (1) Şevli zemine oturan bir şerit temelin nihai taşıma kapasitesinin, zemin içerisine donatı konularak önemli mertebelerde artırılabilceği görülmüştür.
- (2) Donatı derinliği, donatı tabaka sayısı ve temelin şeve mesafesinin şevin göçme mekanizmasını, temelin nihai taşıma kapasitesini etkileyen önemli parametreler olduğu anlaşılmıştır.
- (3) İlk donatı tabakası için optimum derinlik, $u=0.50B$ olarak bulunmuştur. Bu durumda tek donatının taşıma kapasitesi donatısız göre 1.75 kat artmaktadır.
- (4) Bu çalışmada dikkate alınan parametrelerle optimum donatı sayısı, $N=4$ bulunmuştur. Bu durumda, taşıma kapasitesi, donatı sayısı, $N=1$ olduğunda bulunan değer 3.5 katı, donatısız durumda bulunan değer ise, 6.2 katı kadardır.
- (5) Şev tepesinden olan optimum uzaklık $b=5B$ olarak bulunmuştur. Bu mesafede 30° lik sabit şev açısının etkisinin kalmadığı anlaşılmıştır.
- (6) Çalışmadan elde edilen sonuçlar, literatürde mevcut teorik ve deneysel çalışmalar ile karşılaştırılmıştır. Donatısız durumda elde edilen deney sonuçlarının, Shields ve ark. [7] tarafından önerilen ve santrifüj deney sonuçlarını kullanarak geliştirdikleri yöntemden elde edilen değerlere, Meyerhof [2] ve Graham ve ark. [6] yöntemleriyle hesaplanan değerlerden daha yakın olduğu görülmüştür. Literatürde mevcut bir başka deneysel çalışma [13] da, teorik yöntemlerle karşılaştırılmış ve benzer durum gözlenmiştir. Buradan, Meyerhof [2] ve Graham ve ark. [6] yöntemlerinin oldukça düşük olduğu anlaşılmıştır.
- (7) Donatılı durum için pratik bir teorik yöntemle karşılaştırma olanağı olmadığından, daha önce yapılan deneysel çalışmalarla ([10], [12], [13] ve [14]) karşılaştırma yapılmış ve bu çalışmada elde edilen optimum değerlere oldukça yakın değerler elde edilmiştir.

Semboller

q_u	: Nihai taşıma gücü kapasitesi
c'	: Temel altındaki zeminin efektif kohezyonu
ϕ	: Temel altındaki zeminin efektif sürtünme açısı
σ_{zD}	: Zemin yüzeyinden aşağıda D derinliğindeki düşey efektif gerilme
γ'	: Zeminin efektif birim ağırlığı
B	: Temel genişliği

Donatılı Kum Şeve Oturan Şerit Temelin Deneysel Olarak İncelenmesi

N_c, N_q, N_γ	: Terzaghi taşıma gücü faktörleri
σ	: İlgili düzlemdeki normal gerilme
τ	: İlgili düzlemdeki kayma gerilmesi
β	: Şevin yatayla yaptığı açı
c	: Kohezyon
ϕ	: İçsel sürtünme açısı
γ	: Birim hacim ağırlığı
$N_{cq}, N_{\gamma q}$: Taşıma gücü faktörleri
N_s	: Şev stabilite sayısı
H	: Şev yüksekliği
b	: Temelin şev tepesine olan uzaklığı
$\lambda_{c\beta}, \lambda_{q\beta}, \lambda_{\gamma\beta}$: Şev faktörleri
D_f	: Temel derinliği
$N_{\gamma qR}$: Referans sürekli temelin taşıma gücü faktörü
γ_s	: Dane birim hacim ağırlığı
D_r	: Kumun sıklık derecesi
u	: İlk donatı tabakası derinliği
L	: Donatı tabaka boyu
q	: Temel basıncı
s	: Oturma miktarı
h	: İki donatı arasındaki mesafe

Kaynaklar

- [1] Coduto, D. P., Foundation Design: Principles and Practices, 2nd Edition, New Jersey, Prentice Hall, 2000.
- [2] Meyerhof, G. G., The Ultimate Bearing Capacity of Foundations on Slopes, in Proc., IV Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng., London England, 1, 384-386, 1957.
- [3] Das, B. M., Shallow Foundations: Bearing Capacity and Settlement, CRC Pres, 1999.
- [4] Hansen, J. B., A Revised and Extended Formula for Bearing Capacity, Bulletin 28, Danish Geotechnical Institute, Copenhagen, 5-11, 1970.
- [5] Vesic, A. S., Bearing Capacity of Shallow Foundations, in Foundation Engineering Handbook, Winterkorn, H. F. And Fang, H. Y., Eds., Van Nostrand Reinhold Co., 121, 1975.
- [6] Graham, J., Andrews, M. And Shields, D. H., Stres Characteristics for Shallow Footings in Cohesionless Slopes, Canadian Geotech. J., 25 (2), 238-249, 1988.
- [7] Shields, D., Chandler, N. And Garnier, J., Bearing Capacity of Foundations in Slopes, J. Geotech. Eng., ASCE, 116 (3), 528-537, 1990.
- [8] Gemperline, M. C., Centrifuge Modelling of Shallow Foundations, in Proc., ASCE Spring Convention, 1988.
- [9] Vidal, H., La Terre Arme. Annales de L'Intitut Technique du Batiment et des Travaux Publics, 888-938, 1968 (as referred by Das, 1999).

- [10] Selvadurai, A. P. S., Gnanendran, C. T., An Experimental Study of a Footing Located on a Sloped Fill : Influence of a Soil Reinforcement Layer, *Canadian Geotechnical Journal*, 26 (3), 467-473, 1989.
- [11] Huang, C., Tatsuoka, F., Sato, Y., Failure Mechanisms of Reinforced Sand Slopes Loaded with a Footing, *Soils and Foundations*, 24 (2), 27-40, 1994.
- [12] Lee, K. M., Manjunath, V. R., Experimental and Numerical Studies of Geosynthetic-Reinforced Sand Slopes Loaded with a Footing, *Can. J. Geotech./Rev. Can. Geotech.*, 37(4), 828-842, 2000.
- [13] Yoo, C., Laboratory Investigation of Bearing Capacity Behavior of Strip Footing on Geogrid-Reinforced Sand Slope, *Geotextiles and Geomembranes*, 19, 279-298, 2001.
- [14] Bathurst, R. J., Blatz, J. A., and Burger, M. H., Performance of Instrumented Large-Scale Unreinforced and Reinforced Embankments Loaded by a Strip Footing to Failure, *Can. Geotech. J.*, 40, 1067-1083, 2003.
- [15] Briançon, L., Girard, H., Poulain, D., Slope Stability of Lining Systems-Experimental Modeling of Friction at Geosynthetic Interfaces, *Geotextiles and Geomembranes*, 20, 147-172, 2002.
- [16] Yıldız, A., Donatılı Zeminler Üzerine Oturan Yüzeysel Temellerin Analizi, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2002.
- [17] Yetimoğlu, T., Geogrid Donatılı Kum Zemine Oturan Temellerin Taşıma Kapasitesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1994.