

DONATILI ZEMİNLER ÜZERİNDEKİ SÜREKLİ TEMELLERİN OTURMASINI ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN ARAŞTIRILMASI

Atila DEMİRÖZ, Özcan TAN

Selçuk Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü, KONYA

ÖZET: Yapılarda görülen oturmaların izin verilen değerlerin altında kalması için zemin içerisine yerleştirilen çeşitli donatılar kullanılmaya başlanmış olup, günümüzde de kullanımları hızlı artış göstermektedir. Bu tür uygulamalarda temel zemin içerisine çekmeye dayanıklı ve zemin ile arasında yeterli sürtünmeye sahip donatılar yerleştirilmesiyle, geleneksel yöntemlere oranla daha güvenilir ve ekonomik çözümler elde edilmektedir.

Bu çalışmada, geogrid donatılı kum üzerine oturan model sürekli temellerde oturmayı etkileyen tasarım faktörleri deneysel olarak araştırılmıştır. Deneyler, Taguchi yöntemine göre 5 parametrelili (temel genişliği, temel derinliği, donatı uzunluğu, donatılar arası uzaklık ve donatı sayısı) 4 seviyeli standart L_{16} ortogonal dizin tablosu seçilerek yapılmıştır. S/N ve varyans analizleri yapılarak oturmayı etkileyen faktörlerin etki dereceleri ve güvenilirlikleri belirlenmiştir.

Çalışma sonucunda; sınıır taşıma gücüne ulaşıldığı andaki oturma miktarı üzerinde en etkili parametrenin % 52 oranla temel genişliği, ikinci derecede etkili parametrenin ise % 30 oranla temel derinliği olduğu belirlenmiştir. Temel genişliği ve temel derinliği arttıkça, oturmanın arttığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Donatılı zemin, Taguchi yöntemi, geogrid, oturma analizi, kum.

Investigation of Factors Affecting the Settlement of Strip Foundation on Reinforced Soils

ABSTRACT: In order to keep the settlement of the constructions in a safe value, various reinforcements (geosynthetics) placed in the soil have been used. Their usages are increasing day by day. In this application, geosynthetics being durable to tensional forces and able to form friction with the soil interface gives more practical, economic and fast solutions for the geotechnical improvement than the classical methods.

In this study, design factors affecting the bearing capacity of strip foundation on geogrid-reinforced sand were investigated experimentally. The experiments were made according to Taguchi's 5 parameter, 4 level, and standard L_{16} orthogonal arrays. Signal-to-noise (S/N) and variance analysis are used to determine the levels of the factors affecting the bearing capacity. It was determined that the most effective parameters on bearing capacity are foundation width (with 52 % influence ratio) and foundation depth (with 30 % influence ratio). While the foundation width and depth increased, the bearing capacity increased also.

Keywords: Reinforced soil, Taguchi method, geogrid, settlement analysis, sandy soils.

GİRİŞ

Temeller, üst yapı yüklerini zemine aktaran, Terzaghi'nin deyiimiyle görkemsiz yapı elemanlarıdır. Bunu yaparlarken, yapısal bütünlüklerini korurlarken üzerinde buldukları zeminleri de aşırı gerilmelere

zorlamamalıdır. Gerilmelerin artış göstermesi zeminde göçme veya aşırı oturmalara neden olabilir. Bu nedenle temel tasarımları, hem geoteknik ve hem de yapısal gereksinimleri ekonomik olarak karşılamak zorundadır. Temellerin üzerine oturtulacağı zeminin veya kayanın izin verilebilir taşıma

gücüne ve oturma kriterlerine göre tasarımı yapılması gerekir.

Son yıllarda, taşıma gücünü arttırmak ve oturumları izin verilen değerlerde tutmak için zemin içerisine yerleştirilen çeşitli donatılar (geotekstil, geogrid vb.) kullanılmaya başlanmış olup, günümüzde kullanımları hızla artış göstermektedir. Geogridler, yüksek çekme dayanımı, elastisite modülü ve sıyrılmaya direncine sahip, üzerinde düzgün olarak dağılmış elips, dikdörtgen ya da kare boşluklar bulunan ve özellikle zemin güçlendirmesinde kullanılan bir geosentetik türüdür. Geogridlerle güçlendirmedeki asıl amaç, zemin yapısı içerisinde düşük deformasyona karşılık yüksek çekme mukavemeti oluşturmaktır. Bu da, temel zemini ile geogrid arasındaki kenetlenme sayesinde ortaya çıkmaktadır. Donatılı zeminler üzerinde günümüze kadar çok çeşitli bilimsel araştırmalar yapılmış olup bunlardan birkaç tanesi aşağıda özet olarak verilmiştir.

Schlosser ve Long (1974), tarafından yapılan bir dizi laboratuvar çalışması ile donatılı zeminler için üniform yüklü bir şerit temelin bölgesel göçmesi analiz edilerek göçmenin donatı kopması ile başladığını ve donatı miktarı arttırıldıkça göçmenin (oturmanın) hızlı bir şekilde oluşabileceğini savunmuşlardır.

Milovic (1977), araştırmacı donatı boyunu $L_R=4B$ veya $L_R=4D$ seçerek zemin içerisine tek tabaka halinde yerleştirilen donatıların taşıma kapasitesinin arttığını gözlemlemiş ve de donatılı zemindeki oturumlarının donatısız zemine (kumlu) kıyasla daha küçük kaldığını belirtmiştir.

Patel (1982), kum zemin üzerine oturan ($B=14.50$ cm) şerit temel, ($D=14.15$ cm) daire ve ($BXL=11.35 \times 46.50$ cm) dikdörtgen temellerde, donatıların temellere ve yük-oturma davranışına olan etkisini araştırmıştır. Örgülü geotekstil levhaları donatı olarak kullanmıştır. Çalışmada en üstteki donatı tabakasının derinliği ve donatı kalınlığı parametre alınarak dane dağılımı ve dane yapısı değişken olarak alındığında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir. Bu temeller için her hangi bir seviyede oturması halinde taşıma kapasitesinin maksimum olduğu en uygun donatı

derinliğinin $u=0.47B$ veya $u=0.47D$) olduğu belirtilmiştir.

Dembicki ve diğerleri (1986), araştırmacılar sıkı kum-geotekstil-yumuşak kil arasındaki çok tabakalı zeminin eksenel, eksantrik ve eğik yükler altında yük-oturma davranışını incelemiştir.

Dawson ve Lee (1988), arazi yükleme deneyleri ile kil donatılı zeminler üzerindeki sürekli temellerin oturma davranışını incelemiştir. Deneylerde arazide yerinden kazılan kil zemin tekrar sıkıştırılarak donatılı zemin oluşturulmuş ve dört yıl süreyle belirli yük kademelerinde 33, 66, 100 kPa yük uygulanmıştır. Donatı olarak galvanizli çelik çubukların birbirine kaynak edilmesiyle grid levhalar, oluşturularak ($B \times L=0.75 \times 15$ m) boyutlarında dört adet şerit temel üzerinde deneyler yapılmıştır. Donatılı kilin herhangi bir düşey gerilme seviyesinde ikincil konsolidasyonu donatısız kil zemine göre daha küçük olduğu belirtilmiştir.

Moroğlu ve Uzuner (2002), kum zemin üzerine oturan merkezi ve eksantrik yüklü şerit temelde, taşıma gücü, kırılma yüzeyleri ve oturma-yük eğrilerini donatısız ve donatılı durumlar için karşılaştırmalı olarak araştırmışlardır. Eksantrik temellerde kırılma yüzeyi (birincil) temelin eksantrik tarafında meydana geldiği, kırılma yüzeyinin kum yüzey ile arakesitinin temele olan uzaklığının eksantrikte arttıkça azaldığını belirtmiştir.

Moroğlu ve diğerleri (2004a, 2004b ve 2006), yaptıkları çalışmalarda, donatısız ve donatılı sıkı kuma oturan bir model yüzey şerit temelin çekirdeğinde, üzerinde ve dışında eksantrik olarak yapılan yüklemelerle bir dizi deneyler yapmışlardır. Sonuç olarak, kullanılan geotekstil malzemenin, temelin yük-oturma eğrisini, oturma koşulu açısından iyileştirdiğini belirtmiştir. (donatısız durumdaki aynı oturmaya karşılık, donatılı durumda daha büyük taşıma gücü sağlandığını).

Mandal ve Sah (1992), çalışmada geogrid donatılı kil zemin üzerine oturan kare temellerin taşıma kapasitesi ve oturma kriteri araştırılmıştır. Kil zemin içerisine yatay olarak yerleştirilen çift yönlü geogrid donatı tabakaları ile model temelin taşıma

kapasitesinin arttığı ve oturmaların azaldığı ifade edilmiştir.

Khing ve diğerleri (1993a, 1993b), yaptıkları deneylerde, donatı konfigürasyonu parametrelerinin (u , N ve B_R) geogrid ile güçlendirilmiş %70 sıklıkta olan iyi derecelenmiş kum zeminler üzerine oturan, eksantrik şerit temelin çeşitli yük kademeleri ile bu kademelerde meydana gelen oturmalar ve de u/B -BCR arasındaki ilişki belirlenmiştir.

Yetimoğlu (1994), geogrid-donatılı kum zemin üzerine oturan temellerin, laboratuarda bir dizi model deneylerle ve sonlu elemanlar analizi yaparak taşıma kapasitesini ve oturma analizini araştırmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, donatılı ve donatısız kum zemin üzerine oturan temellerin göçme anındaki oturma değerlerinin birbirinden farklı olmadığını belirtmiştir.

Das ve diğerleri (1994), gerçekleştirdikleri çalışmada geogrid donatılı kum ve suya doymuş kil zemin üzerine oturan şerit temelin taşıma gücü ve oturması üzerine çalışmışlardır. Suyu doymuş killerde şerit temelin oturması donatılı ve donatısız olarak yapılan laboratuvar deneylerinde aynı olduğunu, kumlu zeminlerde yük arttıkça zeminin taşıma gücünün arttığı belirtilmiştir.

Adams ve Collin (1997), model deneylerle donatılı kum zemin üzerine oturan ($B=30, 46, 61, 91$ cm) boyutlarındaki kare tekil temellerin göçme oluşuncaya kadar belirli yükler altında donatı parametrelerinin taşıma gücüne ve oturmaya olan etkisini araştırmışlardır.

Alawaji (2001), çalışmada oturma miktarını, elastisite modülü ve taşıma kapasitesi, geogrid tabakasının derinliği ve genişliği değiştirilerek araştırılmıştır. Geogrid donatılı kumlarda donatı genişliği arttıkça ve donatı derinliği azaldıkça, oturma %95 azaldığı, elastisite modülünde %2000 artış ve taşıma kapasitesinde %320 artış görülmüştür.

Tan ve Çelik (1999), Tan ve Çelik (2004), tarafından yapılan çalışmada kötü derecelenmiş orta büyüklükte sahil kumu üzerine oturan temel genişlikleri ($B=35$ mm, 50 mm, ahşaptan) olan şerit temellerin taşıma kapasitesi araştırılmıştır. Donatılar arası uzaklığın sınır taşıma gücünü önemli derecede etkilediği ve $u=0.5B$ olması halinde zemin

emniyet gerilmesi için oturma analizlerinin de yapılması gerektiği belirtilmiştir.

Laman ve Yıldız (2004 ve 2007), çalışmalarında donatısız ve donatılı kumlu zeminler üzerine oturan dairesel temellerin taşıma kapasitesi ve oturması deneysel olarak araştırmışlardır. Geogrid donatılı zeminde iyileştirme sonucunda donatısız zemine göre daha az oturmanın olduğu belirtilmiştir.

Bu çalışmada, geogrid donatılı kum üzerine oturan sürekli temellerde oturmayı etkileyen 5 faktör (temel genişliği, temel derinliği, donatı uzunluğu, donatı tabaka sayısı ve donatılar arası uzaklık) dikkate alınarak faktörlerin oturma üzerindeki etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Çalışma hakkında ayrıntılı bilgi Demiröz (2008)'de bulunmaktadır. Deneyler, Taguchi yöntemine göre 5 parametrelili ve 4 seviyeli standart L16 ortogonal dizin tablosuna göre yapılmıştır. S/N ve varyans analizleri yapılarak oturmayı etkileyen faktörlerin etki dereceleri ve güvenilirlikleri belirlemek için optimizasyon yapılmıştır.

TAGUCHİ YÖNTEMİ

Araştırma-geliştirme giderlerini en aza indirmek amacıyla en az deneyle doğru sonuca gitme ilkesine dayanan birçok deney tasarımı yöntemi geliştirilmiş ve bunlar geniş uygulama alanı bulmuştur. Deney tasarımının amacı, en az sayıda deneyden mümkün olduğu kadar çok bilgi elde etmektir. Bir ürünü, tasarımı veya deneyi etkileyen kontrol edilebilir parametrelerin çıktı üzerindeki etkilerini araştırmak için çeşitli yaklaşım ve yöntemler kullanılmaktadır. Yönlendirilmiş deney tekniğinin yaygın olarak kullanılabilirliğinin ortaya çıkması, birçok araştırmacıyı bu alana yöneltmiş ve aşağıda bazıları sıralanan yöntemler geliştirilmiştir.

- Her defasında bir faktörü değiştirilerek deney yapma
- Klasik istatistiksel deney tasarımı
- Tam parametrelili tasarım
- Kısmi parametrelili tasarım
- Taguchi deney tasarımı

Aynı amaca hizmet etmek üzere ortaya çıkan bu yöntemlerin olumlu ve olumsuz yanlarının bilinmesi, yapılacak çalışmanın başarısını etkilediği görülmektedir. Bazı deney tasarımlarında değişik parametreler arasındaki etkileşimler de araştırma sonuçlarını etkileyebilmektedir. Bir deneydeki parametreler arasındaki etkileşimler varyans analizleriyle araştırılması gerekir. Tam parametrelili ve kısmi parametrelili deney tasarımlarında ve analizlerinde parametreler arası etkileşimlerin genelde dikkate alınmadığı gözlenmektedir. Bu nedenle tam parametrelili ve kısmi parametrelili deney tasarımlarında ve analizlerinde mühendislik açısından bazı dezavantajları vardır. Bunlar,

1. Parametrelerin ve parametre düzeylerinin sayısının fazla olması durumunda deneylerin yapılması ve değerlendirme için uzun bir süre gerekirken bazı tasarımlarda imkânsızlaşmaktadır. Ayrıca bu durum çalışmaların maliyetini de arttırmaktadır.
2. Aynı çalışma için yapılan ikiden fazla tasarımlarda farklı sonuçlara ve değerlendirmelere ulaşılabilmektedir.
3. Bu tasarımlar genelde her bir faktörün sonuç üzerindeki etkilerini ayrı ayrı belirlemeye izin vermezler.
4. Çok faktörlü ve seviyeli deneylerin yorumlanması da oldukça zor olabilmektedir.

Taguchi yöntemi az sayıda deney yaparak tam faktörlü çalışma sonuçlarını vermeyi hedefleyen bir optimizasyon tekniğidir. Bu teknik, optimizasyon ve parametrik analiz çalışmalarında maliyeti düşürmek, sonuçlara daha kısa sürede ulaşmak ve parametrelerin sonuç üzerindeki etkilerini belirlemek için geliştirilmiş olan bir güçlü bir alternatif optimizasyon yöntemidir.

Bu çalışma için seçilen 5 parametrelili ve 4 seviyeli ortogonal dizin (L_{16}) Tablo 1'de verilmiştir. Tablo 1'deki P1, P2, P3, P4 ve P5, çalışmada seçilen parametreleri, her deney numarası satırındaki rakamlar ise deneyin yapılacağı parametre seviyelerini göstermektedir. Taguchi Yöntemine göre hazırlanmış olan bu ortogonal dizin tablosu L_{16}

sembolü ile gösterilmektedir. Her satır, satırda gösterilen faktör seviyeleri kullanılarak yapılacak deney programını göstermektedir. Bu tablo ile 1024 deney yerine 16 deney yapılarak sonuçlar üzerinde değerlendirme yapılabilmektedir.

Taguchi Yönteminde analizler; S/N (signal to noise) oranları (değişim indeksi) kullanılarak yapılmaktadır. S/N değişim indeksinin kullanılmasının nedeni, deneylerin tekrarlanması ile dış koşulların veya kontrol edilemeyen değişkenlerin alınan sonuçlar üzerindeki etkisini görebilmektir. S/N oranı aşağıdaki bağıntı ile belirlenmektedir.

$$S / N = -10 \log_{10}(MSD) \quad (1)$$

Tablo 1. Ortogonal dizin $L_{16}(4^5)$.

Table 1.

Deney No	Parametreler ve Deneylerin Yapılacağı Parametre Seviyeleri				
	P1	P2	P3	P4	P5
1	1	1	1	1	1
2	1	2	2	2	2
3	1	3	3	3	3
4	1	4	4	4	4
5	2	1	2	3	4
6	2	2	1	4	3
7	2	3	4	1	2
8	2	4	3	2	1
9	3	1	3	4	2
10	3	2	4	3	1
11	3	3	1	2	4
12	3	4	2	1	3
13	4	1	4	2	3
14	4	2	3	1	4
15	4	3	2	4	1
16	4	4	1	3	2

Burada MSD hedef değer etrafındaki sapma karelerinin ortalaması olarak tanımlanmaktadır. MSD değeri hedef değer en büyük ve en küçük olması durumları için aşağıdaki bağıntılarla belirlenmektedir.

Hedef değer maksimum olması için:

$$MSD = \left(\frac{1}{Y_1^2} + \frac{1}{Y_2^2} + \dots + \frac{1}{Y_n^2} \right) / n \quad (2)$$

Hedef değer minimum olması için:

$$MSD = \frac{Y_1^2 + Y_2^2 + \dots + Y_n^2}{n} \quad (3)$$

Burada; Y_1, Y_2, \dots, Y_n : deney sonuçları, n : bir deneydeki tekrar sayısı, Y_0 : bilinen belirli hedef değerdir. Bu yöntemle göre yapılmış bir deney tasarımında, optimum deney koşullarında beklenen hedef değerler ile deneylerin yapılmadığı durumlar için beklenen değerler (Y_{exp}) tahmin edilebilir. Bu değer, optimum koşullardaki faktör seviyelerinin ortalama S/N değerleri ve bütün tasarımın ortalama S/N değeri göz önüne alınarak belirlenmektedir.

$$Y_{exp} = \sqrt{\frac{1}{MSD}} \quad (4)$$

Deney sonuçlarının güvenilirliği ve parametrelerin sonuca etki derecelerinin belirlenmesi için çeşitli istatistiksel analizler yapılmaktadır. Bunun için varyans analizi (ANOVA) olarak bilinen standart istatistiksel teknik kullanılmaktadır. Sonuçların güven düzeyleri varyanstan ölçülmektedir. ANOVA analizi ile ortogonal dizinde bulunan her parametrenin sonuç üzerindeki etkileri değerlendirilmektedir. Yöntem hakkında detaylı bilgi Taguchi (1987)'de bulunmaktadır.

MATERYAL VE METOD

Donatısız ve geogrid donatılı kum zeminler ($D_r = \%85$) üzerine oturan model oturma analizi deneylerinde kullanılan malzemeler ve deney düzeneği aşağıda açıklanmıştır.

Deney Kumusu: Deneylerde 0.4-2.0 mm aralığında kötü derecelenmiş doğal kum kullanılmıştır. Kumun indeks özellikleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Deney kumunun özellikleri.

Table 2.

Zemin Sınıfı (USCS)	SP
Efektif Dane Çapı D_{10} (mm)	0.35
D_{30} (mm)	0.48
D_{60} (mm)	0.55
Üniformalık Katsayısı C_u	1.4
Derecelenme Katsayısı C_c	1.05
Özgül Yoğunluk G_s	2.68

Donatı: Deneylerde donatı malzemesi Çevre Plastik Ürünleri San. Tic. Taah. Ltd. tarafından üretilmiş olan GEOGRİD UR55 kullanılmıştır. Tek yönlü geogridin (UR55) özellikleri Tablo 3'de verilmiştir.

Deney Düzeneği: Model temellerle oturma deneyleri genişliği 39 cm, uzunluğu 112.50 cm ve yüksekliği 80 cm olan deney tankı içerisinde gerçekleştirilmiştir. Ön ve arka yüzleri kalın temperli cam plakalardan, yan yüzeyleri ise et kalınlığı 3 mm olan çelik saçtan yapılmıştır. Deneyler esnasında deformasyonları engellemek için tankın yan yüzeyleri yatay ve düşey profillerle desteklenmiştir. Deney tankı yükleme çerçevesi içine monte edilmiştir. Yükleme çerçevesi farklı çelik profillerden imal edilmiş ve üst kat seviyesinden düşey yük uygulanabilecek şekilde tasarlanmıştır. Deneyler esnasında okunan değerler veri toplama sistemi ile bilgisayara aktarılmış ve kayıtlı altına alınmıştır.

Tablo 3. Donatının fiziksel ve mekanik özellikleri (URL-1).

Table 3.

Donatı Tipi	GEOGRİD UR55					
Birim ağırlık (g/m^2)	500					
Hammadde	PP					
Rulo boyutları (m)	Boy			En		
	60			1		
Çekme dayanımı (kN/m)	Boyuna			Enine		
	55			12		
Kopma uzaması (%)	Boyuna			Enine		
	11			13		
Ölçüler (mm)	A	B	c	d	t_1	t_2

	80	14	5	10	2.50	0.95
--	----	----	---	----	------	------

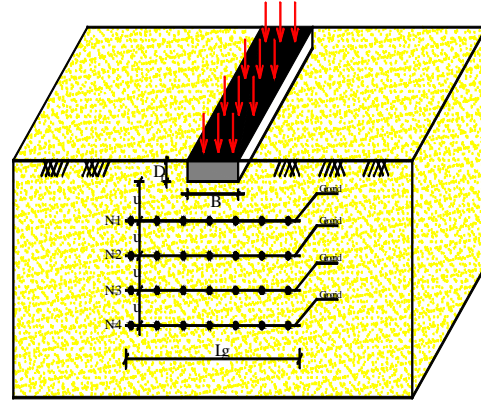


Şekil 1. Deney düzeneği.
Figure 1.

Deney Programı

Bu çalışmada; geogrid donatılı kum üzerine oturan sürekli temellerin oturma miktarını etkileyen ve kontrol edilebilen başlıca parametrelerin sonuç üzerindeki etkilerinin deneysel ve istatistiksel olarak araştırılması hedeflenmiştir. Çalışma için seçilen parametreler aşağıda belirtilmiştir. Şekil 2'de bu parametrelerin şematik gösterimi verilmiştir.

- u: Donatı etki oranı
- B: Temel genişliği
- D_r: Temel derinliği
- N: Donatı tabaka sayısı
- L_G: Donatı tabakasının uzunluğu (genişliği)



Şekil 2. Donatı geometrik parametreleri.

Figure 2.

Alınan okuma değerlerinin çıktısı "EXCEL" programı tarafından okunabilecek şekildedir. Yük hücresi, LVDT ve potansiyometrik cetvellere alınan okumaların değerlendirilmesine yarayan veri toplama sistemi Şekil 3'de görülmektedir.



Şekil 3. Veri aktarım sistemi ve bilgisayar düzeneği.

Figure 3.

Deneylerde kullanılan parametreler ve bu parametrelerin seviyeleri Tablo 4'de, verilmiştir. Tablo 1'de verilen L₁₆ tasarımına uygun olarak deneyler yapılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

BULGULAR

S/N Analizleri

Oturma Analizleri

Sınır taşıma gücüne ulaşıldığı andaki oturma miktarı üzerindeki temel genişliği (B), donatı sayısı (N), donatı derinlik oranı (U), donatı uzunluğu (L_G) ve temel derinliği (D_f) nin etkilerini belirlemek için S/N ve ANOVA analizleri yapılmıştır.

16 farklı kombinasyona ait sınır taşıma gücü ($q_{sınır}$) değerleri kullanılarak hesaplanan S/N değerleri Tablo 5'de, parametre seviyelerine ait ortalama S/N değerleri ise Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 4. Deney parametreleri ve seviyeleri (Demiröz, 2008).

Table 4.

Seviye	Parametre				
	Genişlik B (cm)	Donatı sayısı, N	Donatı Etki Oranı, U	Donatı uzunluğu, L_G	Temel derinliği, D_f
1	B ₁ =4	N ₁ =1	U ₁ =0.25B	L_{G1} =4B	D_{f1} =0
2	B ₂ =6	N ₂ =2	U ₂ =0.50B	L_{G2} =6B	D_{f2} =0.5B
3	B ₃ =8	N ₃ =3	U ₃ =0.75B	L_{G3} =8B	D_{f3} =1.0B
4	B ₄ =10	N ₄ =4	U ₄ =1.0B	L_{G4} =10B	D_{f4} =1.5B

Tablo 5. Geogrid donatılı model taşıma gücü/oturma deney sonuçları ve S/N değerleri.

Table 5.

Deney No	Parametreler ve deneylerin yapılacağı parametre değerleri									
	B (cm)	N	U (cm)	L_G (cm)	D_f (cm)	$q_{sınır1}$ (kPa)	$q_{sınır2}$ (kPa)	$q_{sınır3}$ (kPa)	ΔH_1 (mm)	ΔH_1 (mm)
1	4	1	1	16	0	123	125	158	0.6	0.6
2	4	2	2	24	2	534	547	538	5.9	5.9
3	4	3	3	32	4	578	508	542	3.7	4.0
4	4	4	4	40	6	534	528	521	4.5	4.5
5	6	1	3	48	9	467	689	578	13.0	13.0
6	6	2	1.5	60	6	753	771	762	12.1	12.5
7	6	3	6	24	3	391	395	455	3.7	3.7
8	6	4	4.5	36	0	245	442	344	1.9	2.1
9	8	1	6	80	4	482	552	517	10.0	10.3
10	8	2	8	64	0	320	340	337	4.0	4.8
11	8	3	2	48	12	1497	1493	1495	29.4	29.5
12	8	4	4	32	8	1038	989	1014	13.2	13.6
13	10	1	10	60	10	693	722	708	18.1	15.4
14	10	2	7.5	40	15	823	900	862	19.0	18.7
15	10	3	5	100	0	1085	1086	1086	17.0	16.9
16	10	4	2.5	80	5	1972	1884	1922	36.8	44.1

Tablo 6. Oturma için S/N oranları.

Table 6.

Deney No	1	3	3	4	5	6	7	8	Ortalama S/N oranı
S/N oranı	15.6	35.4	32.0	33.1	42.3	41.8	31.4	26.0	
Deney No	9	10	11	12	13	14	15	16	38.0
S/N oranı	40.1	32.0	49.4	42.5	44.4	45.5	44.6	52.0	

Tablo 7. Parametre seviyelerinin ortalama S/N oranları (oturma için)

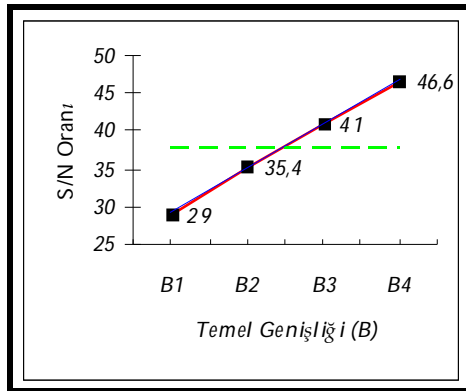
Table 7.

Parametre	S/N ORANLARI			
	1. seviye	2. seviye	3. seviye	4. seviye
Temel genişliği (B)	29.0	35.4	41.0	46.6
Donatı sayısı (N)	35.6	38.7	39.4	38.4
Donatı derinlik oranı (u)	39.7	41.2	35.9	35.2
Donatı uzunluğu (L _G)	33.7	38.8	39.6	39.9
Temel derinliği (D _r)	29.6	39.7	40.2	42.6
Ortalama S/N	38.0			

16 farklı kombinasyona ait oturma değerleri kullanılarak hesaplanan S/N değerleri Tablo 5'de, parametre seviyelerine ait ortalama S/N değerleri ise Tablo 6'da verilmiştir.

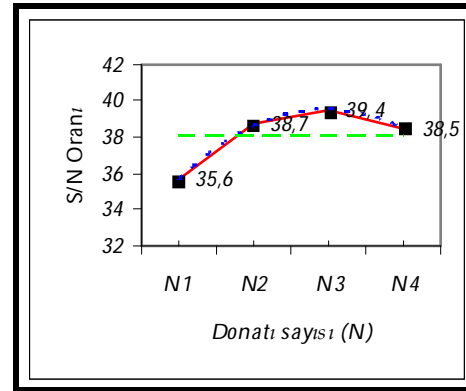
Yapılan S/N analizleri sonucunda beş parametre (B, N, U, L_G ve D_r) için belirlenen parametre seviyelerine ait ortalama S/N oranları Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7'deki parametre seviyelerine ait ortalama S/N değerleri kullanılarak çizilen etki grafikleri Şekil 4-8 de verilmiştir.



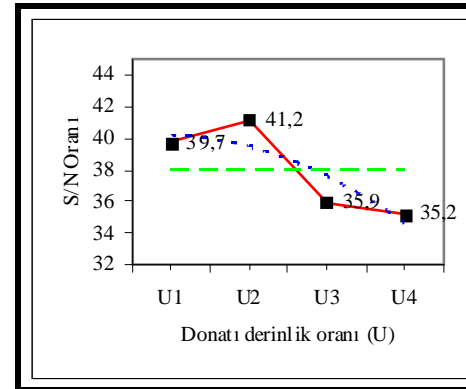
Şekil 4. Temel genişliği ile S/N oranları arasındaki değişim.

Figure 4.



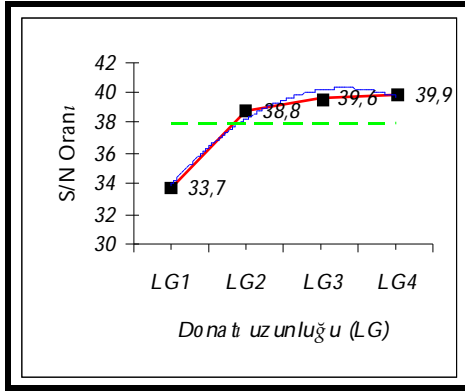
Şekil 5. Donatı sayısı ile S/N oranları arasındaki değişim.

Figure 5.

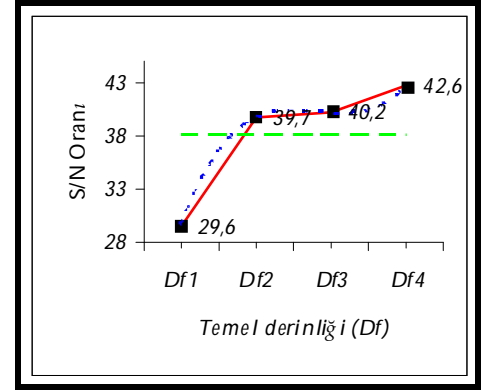


Şekil 6. Donatı derinlik oranı ile S/N oranları arasındaki değişim.

Figure 6.



Şekil 7. Donatı uzunluğu ile S/N oranları arasındaki değişim.
Figure 7.



Şekil 8. Temel derinliği ile S/N oranları arasındaki değişim.
Figure 8.

Tablo 8. Varyans analizi (ANOVA) sonuçları.

Table 8.

Parametre	Serbestlik Derecesi (DOF)	Kareler Toplamı (Ss)	Varyans	Etki oranı (P) (%)
Temel genişliği (B)	3	685.7	228.6	51.9
Donatı sayısı (N)	3	33.10	11.00	2.50
Donatı derinlik oranı (u)	3	101.20	33.70	7.70
Donatı uzunluğu (L _G)	3	99.70	33.20	7.60
Temel derinliği (D _f)	3	400.10	133.4	30.30
Toplam	15	1319.9		100.0

Geogrid donatılı zemin üzerindeki sürekli temelde temel genişliği arttıkça sınır taşıma gücüne ulaşıldığı andaki oturma değeri yaklaşık doğrusal olarak artmaktadır (Şekil 4). Donatı sayısı ile S/N oranı arasındaki değişim grafiği (Şekil 5) incelendiğinde genelde donatı sayısı N=3 değerine kadar oturma miktarının arttığı görülmektedir. Donatı derinlik oranının 2. seviyesine ($u=0.5B$) oturma miktarı artmakta, bu seviyen sonra ise azalmaktadır (Şekil 6). Donatı uzunluğu $L_G=10B$ değerine kadar (4. seviye) oturma yavaş bir şekilde artmakta özellikle 2. seviyeden sonra artış hızı azalmaktadır (Şekil 7). $D_f=0.5B$ değerine kadar temel derinliği arttıkça oturma değerinde hızlı bir şekilde artmakta, bu değerden sonra ise $D_f=1.5B$ değerine kadar çok az artış gözlenmektedir (Şekil 8).

Varyans Analizleri

Geogrid donatılı kuma oturan sürekli temellerde B, N, u, L_G ve D_f in sınır taşıma gücü üzerindeki etkilerini ve etki derecelerini belirlemek amacıyla çok değişkenli varyans analizleri (ANOVA) yapılmış olup sonuçları Tablo 8'de verilmiştir.

Oturma için yapılan varyans analizi sonuçlarından görülebileceği gibi en etkili parametre % 51.90'lık oran ile temel genişliği (B), ikinci derecede etkili parametre ise %30.30'luk oran ile temel derinliği (D_f)'dir. Donatı derinlik oranının etkisi % 7.7, donatı sayısının etkisi % 2.5 ve donatı uzunluğunun etki derecesi ise % 7.6 olarak belirlenmiştir.

SONUÇLAR

Donatılı kum zemin üzerine oturan sürekli temellerin oturma miktarını etkileyen faktörlerin deneysel olarak araştırıldığı çalışmada deneyler Taguchi yöntemine göre 5 parametrelilik, 4 seviyelilik standart L₁₆ ortogonal dizin tablosu seçilerek yapılmıştır. Deneysel ve istatistiksel çalışmaların değerlendirilmesine ait başlıca sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Sınır taşıma gücüne ulaşılması için gerekli oturma miktarı üzerinde en etkili parametre % 52'lik oran ile temel genişliğidir. Temel genişliği arttıkça oturma miktarı da doğrusal olarak artmaktadır.
- Oturma miktarı üzerinde ikinci derecede etkili parametre %30 luk oran ile temel derinliğidir.
- Taguchi Yöntemi ile yapılan oturma tahminleri (beklenen değerler), gerçek değerlere oldukça yakındır. Bu durum Taguchi yönteminin güçlü bir optimizasyon tekniği olduğunu göstermektedir.
- Donatılı zemin uygulamalarında sınır taşıma gücüne ulaşıldığı andaki oturma miktarı, donatısız zeminlere göre oldukça fazladır. Bu durum donatılı zeminlerde taşıma gücü yenilmelerinin daha büyük deformasyon değerlerinde gerçekleştiğini göstermektedir.
- Oturma analizlerinde parametreler arası iç etkileşimin çok önemli düzeyde olmadığı, etkileşim sayılarının genellikle %50'den küçük olduğu görülmüştür. Farklı zemin (zemin türü, sıklık, sertlik), temel (kare, dikdörtgen, radye ve daire), donatı (geogrid, geotekstil) parametreleri için daha kapsamlı deneysel çalışmalar yapılarak uygulamaya yönelik daha genel sonuçlar elde edilebilir.

KAYNAKLAR

- Adams, M. T., Collin, J. G., (1997), "Large Model Spread Footing Load Tests on Geosynthetic Reinforced Soil Foundation", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol: 123 No:1 pp. 66-72.
- Alawaji, H., A., (2001), "Settlement and Bearing Capacity of Geogrid-Reinforced Sand Over Collapsible Soil", *Geotextiles and Geomembranes*, Vol: 19 pp. 75-88.
- Atalar, C., Das, M. B., Omar, M. T., ve Shin, E., C., (2002), "Geogrid Takviyeli Zemin Yastık Altında Gerilme Dağılımı", *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği, Dokuzuncu Ulusal Kongresi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, Cilt II, ss.509-518.*
- Das, B. M., Omar, M. T., (1994), "The Effects of Foundation Width on Model Test for The Bearing Capacity of Sand with Geogrid Reinforcement", *Geotechnical and Geological Engineering*, Vol: 12, No: 2 pp. 133-141.
- Dawson, A., Lee. R., (1988), "Full Scale Foundation Trials on Grid Reinforced Clay", *Geosynthetics for Soil Improvement, Geotechnical Special Publication, No. 18, pp. 127-147.*
- Dembicki, E., Jermolowicz, P., Niemunis, A., 1986, "Bearing Capacity of Strip Foundation on Soft Soil Reinforced by Geotextile", *3rd International Conference on Geotextiles, Vienna, Vol. 1, pp. 205 -209.*
- Demiröz, A., (2008), "Geogrid Donatılı Kum Üzerine Oturan Şerit Temellerde Taşıma Gücünü Etkileyen Tasarım Faktörlerinin Deneysel Olarak Araştırılması", *Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 247s.*
- Khing, K. H., Das, B. M., Puri, V. K., Cook, E. E., and Yen, S. C., (1993a), "The bearing Capacity of a Strip Foundation on Geogrid-Reinforced Sand", *Geotextiles and Geomembranes, Volume 12, Issue 4, pp. 351-361.*

- Khing, K. H., Das, B. M., Puri, V. K., Yen, S. C., and Cook, E. E., (1993b), "Ultimate Bearing Capacity of Eccentrically Loaded Strip Foundation on Geogrid-Reinforced Sand" Transportation Research Record , Issue 1414, pp. 65-70.
- Laman, M., Yıldız, A. A., (2004), "Donatılı Kum Zeminler Üzerine Oturan Dairesel Temellerin Analizi", Birinci Ulusal Geosentetikler Konferansı, B.Ü., İstanbul, ss.137-146.
- Laman, M., Yıldız, A. A., (2007), "Numerical Studies of Ring Foundations on Geogrid-Reinforced Sand", Geosynthetics International, Vol:14, No: 1, pp.1-13.
- Mandal, J. N., Sah, H., (1992), "Bearing Capacity Tests on Geogrid-Reinforced Clay", Geotextiles and Geomembranes, Vol: 11 No: 3, pp.327-333.
- Milovic, D., (1977), "Bearing Capacity Tests on Reinforced Sand", Proceedings of the International Conference on Soil Mechanic and Foundation Engineering, Vol: 1, Tokyo, Japan, pp. 651-654.
- Moroğlu, B., (2002), "Donatılı Kuma Oturan Eksantrik Yüklü Model Şerit Temelinin Taşıma Gücü", Doktora Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Ens., Trabzon, 84s.
- Moroğlu, B., Uzuner, B. A., (2002), "Donatılı Kuma Oturan Eksantrik Yüklü Model Yüzey Şerit Temelinin Davranışı", Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 9. Ulusal Kongresi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, Cilt I, ss.277-287.
- Moroğlu, B., Uzuner, B. A., Şadoğlu, E., (2004a), "Eksantrik Yüklü Şerit Temel Altındaki Donatısız ve Donatılı Kumda Kırılma Yüzeyleri", Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onuncu Ulusal Kongresi, İTÜ, İstanbul, ss.587-594.
- Moroğlu, B., Uzuner, B. A., Şadoğlu, E., (2004b), "Donatısız ve Donatılı Kuma Oturan Yüzey Şerit Temelinde Yük-Oturma İlişkileri", Birinci Ulusal Geosentetikler Konferansı, BÜ, İstanbul, ss.147-153.
- Moroğlu, B., Şadoğlu, E., Uzuner, B. A., (2006), "Bir Model Yüzey Şerit Temelinin Donatısız ve Donatılı Kumda Davranışları", İkinci Ulusal Geosentetikler Konferansı, BÜ, İstanbul, ss.39-46.
- URL -1, (2008), <http://www.cevreplastik.com.tr>.
- Patel, M. M., 1982, "Influence of Shape of Footings on the Performance of the Reinforced Sand Bed", Proceedings of the Conference on Construction Practices and Instrumentation in Geotech. Eng. Vol: 1, pp. 265-269.
- Schlosser, F., Long, N. T., 1974, "Recent Results in French Research on Reinforced Earth", ASCE, Journal of the Construction Division, No. 100, C03, pp. 223-237.
- Taguchi, G., (1987), System of Experimental Design, ASI, Dearborn.
- Tan, Ö., Çelik, S., 1999, "Geogrid Donatılı Kumlarda Taşıma Gücünün Model Deneylerle Araştırılması", X Mühendislik Sempozyumu, İnş. Mühendisliği 99, Süleyman Demirel Üniversitesi, ss: 414-420.
- Tan, Ö., Çelik, S., 2004, "Geogrid Donatılı Model Şerit Temellerde Donatı Derinlik Oranı ve Sınır Taşıma Gücü İlişkisi", Birinci Ulusal Geosentetikler Konferansı, BÜ, İstanbul, ss. 155-160.
- Yetimoğlu, T., 1994, "Geogrid Donatılı Kum Zemin Üzerine Oturan Temellerin Taşıma Kapasitesi, Doktora Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Ens İstanbul, 270s.

