T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GEOGRİD DONATILI KUM ÜZERİNE OTURAN SÜREKLİ TEMELLERDE TAŞIMA GÜCÜNÜ ETKİLEYEN TASARIM FAKTÖRLERİNİN DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI

Atila DEMİRÖZ
DOKTORA TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
Konya, 2008

T.C
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GEOGRİD DONATILI KUM ÜZERİNE OTURAN SÜREKLİ TEMELLERDE TAŞIMA GÜCÜNÜ ETKİLEYEN TASARIM FAKTÖRLERİNİN DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI

Atila DEMİRÖZ
DOKTORA TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez 25/07/2008 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. M. Yaşar KALTAKCI
Jüri Başkanı

Doç. Dr. Özcan TAN
Danışman

Doç. Dr. Suat AKBULUT
Üye

Yrd. Doç. Dr. Mustafa YILDIZ
TİK Üyesi

Yrd. Doç. Dr. Rahmi AKSOY
TİK Üyesi

ÖZET

Doktora Tezi

GEOGRİD DONATILI KUM ÜZERİNE OTURAN SÜREKLİ TEMELLERDE TAŞIMA GÜCÜNÜ ETKİLEYEN TASARIM FAKTÖRLERİNİN DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI

Atila DEMİRÖZ
Selçuk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Özcan TAN
2008, 247 sayfa

Jüri:
Prof. Dr. M., Yaşar KALTAKCI (S.Ü.)
Doç. Dr. Özcan TAN (S.Ü., Danışman)
Doç. Dr. Suat AKBULUT (A.Ü.)
Yrd. Doç. Dr. Mustafa YILDIZ (S.Ü., TİK Üyesi)
Yrd. Doç. Dr. Rahmi AKSOY (S.Ü., TİK Üyesi)

Temeller, üst yapı yüklerini zemine aktaran, Terzaghi'nin deyimiyle görkemsiz yapı elemanlarıdır. Bunu yaparlarken, yapısal bütünlüklerini korurlarken üzerinde bulundukları zeminleri de aşırı gerilmelere zorlamamalıdırlar. Çünkü aşırı gerilmeler zeminde kayma yenilmesine veya aşırı oturmalara neden olabilir. Bu nedenle temel tasarımları hem geoteknik ve hem de yapısal gereksinimleri ekonomik olarak karşılamak zorundadır. Geoteknik gereksinimler, temellerin üzerine oturtulacağı zemin veya kayanın izin verilebilir taşıma gücüne ve oturma kriterlerine yöneliktir.

Son yıllarda, taşıma gücünü arttırmak ve oturmaları izin verilen değerlerde tutmak için zemin içerisine yerleştirilen çeşitli donatılar (geosentetik ailesi) kullanılmaya başlanmış olup, günümüzde kullanımları artış göstermektedir. Yapı temelleri altında taşıma kapasitesini arttırmak ve oturmaları azaltmak amacıyla temel zemin içerisine çekmeye dayanıklı ve zemin ile arasında yeterli sürtünmeye sahip donatılar yerleştirilmesi ile geleneksel yöntemlere oranla daha hızlı ve ekonomik çözümler elde edilmiştir.

Geogridler, yüksek çekme dayanımı, elastisite modülü ve sıyrılma direncine sahip, üzerinde düzgün olarak dağılmış elips, dikdörtgen ya da kare boşluklar bulunan

ve özellikle zemin güçlendirmesinde kullanılan bir geosentetik türüdür. Tek eksenli ve çift eksenli olmak üzere iki gruba ayrılan geogridlerle güçlendirmede temel ilke, zemin yapısı içerisinde düşük deformasyona karşılık yüksek çekme mukavemeti oluşturmaktır. Bu da, temel zemini ile geogrid arasındaki kenetlenme sayesinde ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışmada, geogrid donatlı kum üzerine oturan sürekli temellerde taşıma gücünü etkileyen tasarım faktörleri deneysel olarak araştırılmıştır. Deneyler, Taguchi yöntemine göre 5 parametreli (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 taşıma gücünü etkileyen faktörlerin etki dereceleri ve güvenilirlikleri belirlenmiş, taşıma gücünün en yüksek olduğu faktör seviyelerini belirlemek için optimizasyon yapılmıştır. Deneylerden ve analizlerden elde edilen sonuçlar ise grafikler ve tablolar halinde sunulmuş ve birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Ayrıca deneyler esnasında çekilen fotoğraflar dijital fotogrametri tekniği ile değerlendirilerek kayma yüzeyleri sayısallaştırılarak koordinatları belirlenmiştir. Bu teknik ile donatılı ve donatısız zeminlerde oluşan kayma yüzeyleri daha doğru bir şekilde belirlenmiştir.

Çalışma sonucunda; sınır taşıma gücü üzerinde en etkili parametrenin % 39 oran ile temel genişliği, ikinci etkili parametrenin ise % 27'lik oran ile temel derinliği olduğu belirlenmiştir. Temel genişliği ve temel derinliği arttıkça, sınır taşıma gücünün de arttığı belirlenmiştir. Taşıma gücü, oturma ve ekonomiklik kriterleri gözönüne alınarak, geogrid donatılı kum üzerine oturan sürekli temellerin tasarımında temel derinliği D_f=0.5B, donatı sayısı N=3, donatı uzunluğu L_G=6B ve donatı derinlik oranı u=0.5B olarak seçilebilir.

Anahtar Kelimeler: Donatılı zemin, Taguchi yöntemi, geogrid, yüzeysel temel, taşıma kapasitesi, dijital fotogrametri yöntemi, kumlu zeminler.

ABSTRACT

Ph. D.Thesis

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF DESIGN FACTORS AFFECTING THE BEARING CAPACITY OF STRIP FOUNDATION ON GEOGRID-REINFORCED SAND

Atila DEMİRÖZ
Selcuk University
Graduate School of Natural and Apllied Sciences
Department of Civil Engineering
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Özcan TAN
2008, 247 page

Jury:
Prof. Dr. M. Yaşar KALTAKCI (S.Ü.)
Assoc. Prof. Dr. Özcan TAN (S.Ü., Supervisor)
Assoc Prof. Dr. Suat AKBULUT (A.Ü.)
Assist. Prof. Dr. Mustafa YILDIZ (S.Ü., TIK member)
Assist. Prof. Dr. Rahmi AKSOY (S.Ü., TIK member)

Foundations are unimposing structural elements that transfer loads to the ground as Terzaghi expessed. While transferring these loads foundations should preserve their integrity and do not force the soil under it to expose excessive stresses, because excessive stress conditions cause shear failure or excessive settlement in the soil. Therefore, foundation designs should meet geotechnical and structural needs economically. Geotechnical needs concern the allowable bearing capacity and settlement criteria of the soil or rock where the foundations rest on.

Use of geosynthetics to improve soil properties is increasing year by year. 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 classic methods.

Geogrids have high tensional strength, debonding resistance and elasticity modulus. They are types of a geosynthetic used for the reinforcement of soil and have elliptic, square and rectangular cavities in it. There are two types of geogrids; uniaxial and biaxial. Its task is to provide high tensile strength in relation to the low deformation. This is done by binding of foundation soil and geogrid tightly.

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. In this study, a comparison between analysis of variance and method of graphical representation has been made by using the data obtained from the study. In addition to this, pictures taken during the tests were evaluated to determine the shear planes by using the digital photogrametry techniques. With this technique, shear planes occurred in reinforced and unreinforced soils were determined more precisely.

Thus, it was determined that the most effective parameters on bearing capacity are foundation width (with 39 % influence ratio) and foundation depth (with 27 % influence ratio). While the foundation width and depth increased, the bearing capacity increased also. Considering the bearing capacity, settlement and economic criterions, foundation depth, number of reinforcement, length of reinforcement and depth ratio of reinforcement can be chosen as D_f=0.5B, N=3, L_G=6B and u=0.5B, recpectively for designing of strip foundation on geogrid reinforced sand.

Key Words: Reinforced Soil, Taguchi Method, Geogrid, Shallow foundation, bearing capacity, digital photogrammetry method, sandy soils.

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında ve akademik hayatımın bütün aşamalarında beni teşvik eden, daima en iyi ve doğrunun olması için bizleri doğru bir şekilde yönlendiren, yetişmemizde ve bilim dünyasına katkıda bulunmamızda önümüzü açan, laboratuar imkânlarının kullanılması konusunda her türlü kolaylığı sağlayan, Prof. Dr. M. Yaşar KALTAKCI hocama sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Her zaman motive eden her türlü desteğini ve yardımını esirgemeyen, bu günlere gelmemde büyük katkıları olan tez danışmanım Doç. Dr. Özcan TAN'a sonsuz şükranlarımı sunarım.

Bu çalışmanın ortaya çıkmasında her zaman yanımda olan yardım ve desteklerini esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Mustafa YILDIZ hocama ve manevi olarak her zaman yanımda olan destek veren çalışmalarım sırasında ilgilerini esirgemeyen değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Rahmi AKSOY'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Sevgili dostlarım Yrd. Doç. Dr. Mehmet KAMANLI, Yrd. Doç. Dr. Mustafa ONÜÇYILDIZ, Doç. Dr. M. Faik SEVİMLİ, Yrd. Doç. Dr Abdülkerim İLGÜN ve Öğr. Gör. Dr. Atilla ÖZÜTOK'a, tez çalışmamın her safhasında yanımda olan Arş. Gör. İ. Hakkı ERKAN, Yrd. Doç. Dr. Ayhan GÖKTEPE ve Arş. Gör. Dr. Hakan KARABÖRK, ve Alâeddin ALTINIŞIK'a şükranlarımı sunarım.

Sevgi ve desteklerini esirgemeyen eşim Ümran hanıma, kızım Melike ve oğlum Mert Burak'a, bu günlere gelmemde en büyük paya sahip babam M. Yalçın DEMİRÖZ, annem Melek DEMİRÖZ ve ağabeyim Alpaslan DEMİRÖZ'e destekleri için teşekkür ederim.

ÇALIŞMAYI DESTEKLEYEN KURULUŞLAR

Bu doktora tezi çalışması, "Kum Üzerine Oturan Geogrid Donatılı Sürekli Temellerde Taşıma Gücünü Etkiliyen Faktörlerin Deneysel Olarak Araştırılması" başlığı ile Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinatörlüğü tarafından 07101035 nolu tez projesi olarak desteklenmiştir. Sağlamış olduğu destekten dolayı, Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinatörlüğü'ne teşekkür ederiz.

İÇİNDEKİLER

ÖZET i
ABSTRACT iii
TEŞEKKÜR v
ÇALIŞMAYI DESTEKLEYEN KURULUŞLAR vi
İÇİNDEKİLER vii
KULLANILAN SEMBOLLER x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ xiv
TABLOLARIN LİSTESİ xviii

1. GİRİŞ 1

2. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI 5

2.1. Kohezyonsuz Zeminlerde Yapılan Çalışmalar 7

2.1.1. Zemin İçerisine Donatının Yatay Olarak Yerleştirilmesi 7
2.1.1.1. Metal donatı 8
2.1.1.2. Doğal veya işlenmiş lifli donatı 16
2.1.1.3. Geotekstil Donatılar 19
2.1.1.4. Geogrid Donatılar 23
2.1.2. Donatıların Zemin İçerisinde Düşey Yerleştirilmesi 41
2.1.3. Donatıların Zemin İçerisinde Eğimli Yerleştirilmesi 42

2.2. Kohezyonlu Zeminlerde Yapılan Çalışmalar 42

3. YÜZEYSEL TEMELLER 45

3.1. Giriş 45

3.2. Yüzeysel Temellerde Göçme Türleri 46

3.2.1. Genel kayma göçmesi 47
3.2.2. Zımbalama Göçmesi 48
3.2.3. Bölgesel Kayma Göçmesi 50

3.3. Yüzeysel Temellerin Taşıma Gücü 51

3.3.1. Terzaghi Taşıma Gücü Teorisi 53
3.3.2. Meyerhof Taşıma Gücü Teorisi 55

4. DONATILI ZEMİNLER 58

4.1. Giriş 58

4.2. Geotekstiller 63

4.3. Geomembran 65

4.3.1. Üretildikleri Hammaddelere göre Sınıflandırılması 66
4.3.2. Taşıyıcı Malzemelerine göre Sınıflandırılması 66
4.3.3. Bitüme Katılan Modifiye Maddesine göre Sınıflandırılması 67

4.4. Geogrid 67
4.4.1. Tarihçe 67
4.4.2. Üretim 69
4.4.3. Kullanım Alanları 69
4.4.3.1. Yumuşak zeminlerde kullanımı 70
4.4.3.2. Yollarda kullanımı 71
4.4.4. Geogrid-Zemin Etkileşimi 72
4.5. Geonet 73
4.6. Geoboru 74
4.7. Geofoam 75
4.8. Geohücre 76
5. MATERYAL ve METOT 77
5.1. Dijital Fotogrametri ile Deney Tasarımı 77
5.1.1. Yakın Resim Fotogrametresi 78
5.1.2. Yakın Resim Fotogrametrisinde Kullanılan Koordinat Sistemleri 79
5.1.2.1. Piksel Koordinat Sistemi 81
5.1.2.2. Görüntü koordinat sistemi 82
5.1.2.3. Model koordinat sistemi 82
5.1.2.4. Obje (Arazi) kooridinat sistemi 83
5.1.2.5. Koordinat sistemleri arasındaki dönüşümler 84
5.1.3. Fotograf Alım Yöntemleri 86
5.1.3.1. Normal alım durumu 87
5.1.3.2. Dönük alım durumu 87
5.1.3.3. Konverjan alım durumu 88
5.2. Kalibrasyon 88
5.2.1. Kalibrasyonun Tanımı ve Amacı 88
5.2.2. Çalışmada Kullanılan Resim Çekme Makinesinin Kalibrasyonu 89
5.2.3. Dijital Kameralar 89
5.2.4. Dijital Fotogrametride Kullanılan Yazılımlar 90
5.2.5. Pictran yazılımı 91
5.2.5.1. Üç boyutlu değerlendirme 92
5.2.5.2. Demet dengelemesi 92
5.2.5.3. Düşeye çevirme 92
5.2.5.4. Ortofoto 92
5.2.6. Taguchi Yöntemi 93
5.2.7. Taguchi Yöntemi ile Yapılan Analizler 96
5.3. Yapılan Çalışma İçin Seçilen Tasarım Parametreleri 97
5.4. Deney Düzeneği 98
5.4.1. Deney Tankı 98
5.4.2. Hidrolik Pres 102
5.4.3. Model Temeller 103
5.4.4. Ölçme Tekniği 104

5.4.4.1. Yük ölçümleri 104
5.4.4.2. Yer değiştirmelerin ölçülmesi....105
5.4.4.3. Yük ve yer değiştirme ölçümlerinin bilgisayar ortamına aktarılması 106
5.4.5. Deneyde Kullanılan Zeminin Özellikleri....109
5.4.5.1. Kumun dane boyut dağılımı (Granülometri) eğrisi 109
5.4.5.2. Kumun dane birim hacim ağırlığı....110
5.4.5.3. Kumun maksimum ve minimum kuru birim hacim ağırlığı....111
5.4.5.4. Kesme kutusu deneyi 111
5.4.6. Kum Sıkıştırma Aleti....111
5.4.7. Deneyde Kullanılan Donatının Özellikleri....112
5.4.8. Deneylerin Yapılışı....114
5.4.9. Deneylerde Dijital Fotogrametri Yönteminin Uygulanması....116
5.4.10. Taguchi Yöntemi ile Deney Tasarımı....132
5.5. Deney Programı....133
6. ARAŞTIRMA SONUÇLARI....136
6.1. Donatısız Model Taşıma Gücü Deneyleri....136
6.2. Geogrid Donatılı Model Taşıma Gücü Deneyleri....139
6.2.1. Sınır Taşıma Gücü İçin Yapılan Analizler....149
6.2.1.1. S/N analizleri....149
6.2.1.2. Varyans analizleri....155
6.2.2. Oturma Analizleri....163
6.2.2.1. S/N Analizleri....163
6.2.2.2. Varyans analizleri....167
6.2.3. Deney Sonuçların Dijital Fotogrametri Yöntemi İle Değerlendirilmesi 174
7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER....184
8. KAYNAKLAR....187
EKLER....197

KULLANILAN SEMBOLLER

u	: Donatı derinlik oranı
D_f	: Temel derinliği
L_G	: Donatı uzunluğu
N	: Donatı tabaka sayısı
B	: Temel genişliği
BCR	: Taşıma kapasitesi oranı
B_R	: Donatı tabaka boyu
D	: Toplam donatı boyu
$(B_R/B))_{opt}$	: Optimum donatı tabaka boyu
C	: Kohezyon
σ	: Gerilme
ϕ	: İçsel Sürtünme açısı
S/N	: Veri tekrar oranı
$q_{sınır}$	: Sınır taşıma gücü
SI	: Etkileşim önem katsayısı
DOF	: Serbestlik Derecesi
Ss	: Kareler toplamı
ΔH	: Oturma miktarı
D_{10}	: Efektif dane çapı
D_{30}	: Granülometri eğrisinde % 30'a karşılık gelen dane çapı
D_{60}	: Granülometri eğrisinde % 60'a karşılık gelen dane çapı
C_u	: Üniformluk katsayısı
C_c	: Derecelenme katsayısı
N_c, N_q, N_γ	: İçsel sürtünme açısına bağlı taşıma gücü katsayıları
D_r	: Sıkılık (Rölatif) derecesi
e_{max}	: Maksimum boşluk oranı
e_{min}	: Minimum boşluk oranı
e	: Boşluk oranı
$\gamma_{k,max}$	: Maksimum kuru birim hacim ağırlığı

$\gamma_{k,min}$: Minimum kuru birim hacim ağırlığı

γ_k : Kuru birim hacim ağırlığı

γ_s : Dane birim hacim ağırlığı

EA : Eksenel rijitlik

E_i : Başlangıç elastisite modülü

EI : Eğilme rijitliği

E_s : Zeminin elastisite modülü

F : Müsaade edilebilir donatı-sürtünme katsayısı

FS_f : Donatı sıyrılmasına karşı güvenlik katsayısı

FS_y : Donatı kopmasına karşı güvenlik katsayısı

F_y : Donatı akma ve kopma dayanımı

GS : Güvenlik katsayısı

H : Donatı kopmaları arasındaki derinlik

H : Kasa yüksekliği

IF : Maksimum İyileştirme faktörü

K_p : Pasif toprak basıncı katsayısı

K_a : Aktif toprak basıncı katsayısı

K_0 : Sukunette toprak basıncı katsayısı

K_1, K_2 : Temel şekil katsayıları

LDR : Lineer donatı sıkılık oranı

ΔH : Donatılar arasındaki düşey uzaklık

W : Deney kasasının genişliği

q_0 : Donatısız zeminin taşıma gücü

q_R : Donatılı zeminin taşıma gücü

L_R : Donatı boyu

x : Donatı şeritleri arasındaki yatay uzaklık

z : Donatı arası düşey uzaklık

u : İlk donatının temel tabanından olan düşey uzaklık

E_R : Donatının elastisite modülü

A_R : Donatı enkesit alanı

e/B : Eksantrisite/Temel genişliği

LL : Likit limit

PL : Plastik limit

ω : Su muhtevası

η : Grup tesir katsayısı

q'_u : İki temelin birlikte oturması durumunda temelin nihai taşıma gücü

q_u : Tek temelin oturması durumunda temelin nihai taşıma gücü

$q_{sınır}$: Sınır taşıma gücü

R : Ring temelin dış yarıçapı

r : Ring temelin iç yarıçapı

q_D : Donatılı durumdaki taban basıncı

q_0 : Donatısız durumdaki taban basıncı

I_P : Plastisite indisi

T_D : Herhangi bir tabakada oluşan çekme kuvveti

R_y : Donatı kopma mukavemeti veya akma direnci

T_f : Donatı-zemin arasında sürtünme direnci

α, β : (z/B) oranına bağlı katsayılar

w : Donatı tabakasının genişliği

t : Donatı tabakasının kalınlığı

N_R : Şerit temelin birim uzunluğundaki donatı sayısı

f : Müsaade edilebilir zemin-donatı arasındaki sürtünme katsayısı

χ : (z/B) oranına bağlı katsayı

γ : Zeminin birim hacim ağırlığı

ϕ_f : Zemin-donatı arasındaki sürtünme açısı

P : Herhangi bir oturma seviyesinde donatılı zemin tarafından taşınan toplam

P_s : Donatısız zemin tarafından taşınan yük

P_r : Donatılar tarafından taşınan yük

S : Ani (elastik) oturma

ν : Poisson oranı

ρ_A : Donatılı zemin tabakasının donatı lineer sıkılık oranı

F_{Ni} : Donatı üzerindeki efektif düşey normal kuvvet

ϕ_{Mj} : Tabaka seviyesindeki donatı-zemin arasındaki sürtünme açısı

ε : Yanal deformasyon

ρ_{Ai} : Donatı lineer sıkılık oranı

ϕ_μ : Donatı ve zemin arasındaki sürtünme açısı

i	: Maksimum donatı çekme mukavemetinin mobilize olduğu donatı tabaka seviyesi
σ	: Donatı malzemesinin çekme mukavemeti
A_{ri}	: i'nci tabakada donatıların toplam enkesit alanı
$q_{1,}\ q_3$	: Aktif zonu içeren kayan bloğun basınç mukavemeti
$q_{2,}\ q_4$	: Zemin bloğun yanal yüzlerindeki sürtünme ve diğer faktörlerden ileri gelen gerilme bileşeni
q_B	: Donatısız zemine oturan rijid ve derin temelin taşıma kapasitesi
D_R	: Donatı zon derinliği
Δq_B	: Taşıma kapasitesindeki artış miktarı
Δq_A	: Donatılı zeminin taşıma kapasitesindeki artış miktarı
Δq_C	: Taşıma kapasitesindeki toplam artış miktarı
$T_{av,i}$	: Kayma bloğunda i. tabakasında ortalama çekme kuvveti
R_T	: Donatı çekme kuvveti
ψ_0	: Göçmenin başladığı noktadaki açı
$K(\phi)$	: Katsayı (Pasif toprak basıncı katsayısı alınabilir)
B_t	: Fiktif temel genişliği
q_u	: Nihai taşıma gücü
q_a	: Emniyetli taşıma gücü
OCR	: Aşırı konsolide kil
$\sigma'_{z,o}$	: Zemin yüzeyinden aşağıdaki D_f derinliğindeki efektif düşey gerilmeyi

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil 2-1 Donatılı zemin üzerine oturan yüzeysel temellerin göçme durumları (Binquet ve Lee, 1975a, 1975b) 11
Şekil 2-2 Donatılı zeminde oluşan göçme yüzeyi (Das, 1999'dan alınmıştır) 12
Şekil 3-1 Genel kayma göçmesi 48
Şekil 3-2 Zımbalama kayma göçmesi 50
Şekil 3-3 Bölgesel kayma göçmesi 51
Şekil 3-4 Terzaghi teorisinde kayma bölgeleri 53
Şekil 3-5 Yüzeysel temel altındaki göçme mekanizması (Çinicioğlu, 2005'den alınmıştır). 54
Şekil 3-6 Meyerhof taşıma gücü teorisinde kayma yüzeyleri (Das, 1999'dan alınmıştır). 56
Şekil 4-1 Geosentetik uygulamalarına ait örnek resimler. 62
Şekil 4-2 Geogridler (URL-2) 68
Şekil 4-3 Geonet 74
Şekil 4-4 Geoboru (URL-3) 75
Şekil 4-5 Geofoam 76
Şekil 4-6 Geohücre 76
Şekil 5-1 Veri elde etme yöntemleri 80
Şekil 5-2 Dijital görüntünün yapısı, piksel ve görüntü koordinat sistemleri 81
Şekil 5-3 Görüntü koordinat sistemi 82
Şekil 5-4 Görüntü ve arazi koordinat sistemleri 83
Şekil 5-5 İki boyutta basit bir dönüşümün geometrisi 84
Şekil 5-6 Normal alım durumu 87
Şekil 5-7 Dönük alım durumu 87
Şekil 5-8 Konverjan alım durumu 88
Şekil 5-9 Deneylerde kullanılan kamera ve tripodlar 90
Şekil 5-10 Donatı geometrik parametreleri 98
Şekil 5-11 Deneylerde kullanılan temperli (zırhlı) camlar 100
Şekil 5-12 Deney kasası ve yükleme çerçevesi 100
Şekil 5-13 Deney kasası ve yükleme çerçevesi 100
Şekil 5-14 Deney düzeneği (ölçüler mm) 101
Şekil 5-15 Servo kontrol ünitesi 102

Şekil 5-16 Hidrolik pres 102
Şekil 5-17 Deneyde kullanılan model temeller 103
Şekil 5-18 Deneylerde kullanılan düşey yük ölçüm düzeneği 104
Şekil 5-19 Deneylerde kullanılan ölçüm düzeneği 105
Şekil 5-20 LVDT'lerin yerleşim düzeni 106
Şekil 5-21 Yük ve yer değiştirme okumalarını değerlendiren veri aktarım sistemi ve bilgisayar düzeneği 108
Şekil 5-22 Deneylerde kullanılan kum 109
Şekil 5-23 Deneyde kullanılan kumun granülometri eğrisi 110
Şekil 5-24 Geogrid-UR55 113
Şekil 5-25 Donatıya ait tek eksenli çekme deneyi (URL-1) 113
Şekil 5-26 Donatı ve donatının kum zemin içerisine yerleştirilmesi 114
Şekil 5-27 Dijital fotogrametri yöntemi 117
Şekil 5-28 Dragonfly Express digital video kamera, ... 117
Şekil 5-29 TOPCON GTS 701. 118
Şekil 5-30 Dragonfly Express video kameraya ait kalibrasyon parametreleri. 119
Şekil 5-31 Sol kamera ile 6. dakikada alınan görüntü (B=8 cm, Df= 0 cm). 120
Şekil 5-32 Sağ kamera ile 6. dakikada alınan görüntü (B=8 cm, Df= 0 cm). 121
Şekil 5-33 Proje oluşturulması esnasında 6. dakikada alınmış eş zamanlı iki fotoğraf. 121
Şekil 5-34 Eş zamanlı resimlerin özelliklerinin belirlenmesi. 122
Şekil 5-35 İç yöneltme parametrelerinin değerleri 122
Şekil 5-36 Obje kontrol noktalarının 3D obje koordinatları. 123
Şekil 5-37 Obje kontrol noktalarının 3D resim koordinatları. 123
Şekil 5-38 Donatısız zemin deneylerine ilişkin görüntüler (B=6 cm, D_f= 0 cm). 124
Şekil 5-39 Donatılı zemin deneylerine ilişkin görüntüler (B=4 cm, N=1, u=1 cm, L_g=16 cm, D_f= 0 cm). 125
Şekil 5-40 Donatılı zemin deneylerine ilişkin görüntüler (B=4 cm, N=2, u=3 cm, L_g=32 cm, D_f= 4 cm). 126
Şekil 5-41 Donatılı zemin deneylerine ilişkin görüntüler (B=6 cm, N=4, u=4.5 cm, L_g=36 cm, D_f= 0 cm). 127
Şekil 5-42 Donatılı zemin deneylerine ilişkin görüntüler (B=8 cm, N=2, u=6 cm, L_g=64 cm, D_f= 0 cm). 128
Şekil 5-43 Donatılı zemin deneylerine ilişkin görüntüler (B=10 cm, N=1, u=10 cm, L_g=60 cm, D_f= 10 cm). 129
Şekil 5-44 Donatısız zemine ait dijital fotogrametri yöntemi (B=4 cm Df=0 cm). 130

Şekil 5-45 Donatısız zemin deneylerine ilişkin görüntüler (B=4 cm Df=0 cm). 130
Şekil 5-46 Deney öncesinde deney tankında işaretlenmiş referans noktaları (X,Y,Z koordinatları).....131
Şekil 5-47 Donatı parametreleri 134
Şekil 6-1 Donatısız deneylerde temel genişliği-sınır taşıma gücü değişimi 137
Şekil 6-2 Donatısız deneylerde temel genişliği-oturma grafiği.....137
Şekil 6-3 1 no'lu deneye ait oturma-taban basıncı grafiği 141
Şekil 6-4 2 No'lu deneye ait oturma-taban basıncı grafiği 141
Şekil 6-5 3 no'lu deneye ait oturma-taban basıncı grafiği 142
Şekil 6-6 4 no'lu deneye ait oturma-taban basıncı grafiği 142
Şekil 6-7 5. no'lu deneye ait oturma-taban basıncı grafiği 143
Şekil 6-8 6. no'lu deneye ait oturma-taban basıncı grafiği 143
Şekil 6-9 7. no'lu deneye ait oturma-taban basıncı grafiği 144
Şekil 6-10 8. no'lu deneye ait oturma-taban basıncı grafiği 144
Şekil 6-11 9. no'lu deneye ait oturma-taban basıncı grafiği 145
Şekil 6-12 10. no'lu deneye ait oturma-taban basıncı grafiği 145
Şekil 6-13 11. no'lu deneye ait oturma-taban basıncı grafiği 146
Şekil 6-14 12. no'lu deneye ait oturma-taban basıncı grafiği 146
Şekil 6-15 13. no'lu deneye ait oturma-taban basıncı grafiği 147
Şekil 6-16 14. no'lu deneye ait oturma-taban basıncı grafiği 147
Şekil 6-17 15. no'lu deneye ait oturma-taban basıncı grafiği 148
Şekil 6-18 16. no'lu deneye ait oturma-taban basıncı grafiği 148
Şekil 6-19 Parametre Seviyelerinin S/N oranları 151
Şekil 6-20 Temel genişliği ile S/N oranları arasındaki değişim.....152
Şekil 6-21 Donatı sayısı ile S/N oranları arasındaki değişim.....152
Şekil 6-22 Donatı derinlik oranı ile S/N oranları arasındaki değişim.....153
Şekil 6-23 Donatı uzunluğu ile S/N oranları arasındaki değişim 153
Şekil 6-24 Temel derinliği ile S/N oranları arasındaki değişim 154
Şekil 6-25 Parametrelerin sınır taşıma gücü üzerindeki etki oranları.....156
Şekil 6-26 Parametrelerin etkileşim grafikleri 157
Şekil 6-27 Parametrelerin maksimum performans üzerindeki etkileri 160
Şekil 6-28 Deneysel ve tahmin edilen sınır taşıma gücü değerleri.....162
Şekil 6-29 Temel genişliği ile S/N oranları arasındaki değişim.....164
Şekil 6-30 Donatı sayısı ile S/N oranları arasındaki değişim.....164

Şekil 6-31 Donatı derinlik oranı ile S/N oranları arasındaki değişim.....165
Şekil 6-32 Donatı uzunluğu ile S/N oranları arasındaki değişim.....165
Şekil 6-33 Temel derinliği ile S/N oranları arasındaki değişim.....166
Şekil 6-34 Oturma için parametrelerin etki oranları.....168
Şekil 6-35 Parametreler arası iç etkileşim önem sayıları.....169
Şekil 6-36 Parametrelerin maksimum performans üzerindeki etkileri.....172
Şekil 6-37 Tahmin edilen ve deneysel oturmaların dağılımı.....173
Şekil 6-38 (B= 8 cm, D_f=0 cm) donatısız zeminde dijital fotogrametri tekniği ile belirlenmiş kum hareketleri.....179
Şekil 6-39 (B=8 cm N=1 u= 6cm L_G=80 cm, D_f= 4 cm) donatılı zeminde dijital fotogrametri tekniği ile belirlenmiş kum hareketleri.....183

TABLOLARIN LİSTESİ

Tablo 3.1 Meyerhof faktörleri (Meyerhof, 1951) 57
Tablo 4.1 Fonksiyonlarına göre geosentetikler (Karagül 2006) 60
Tablo 5.1 Kumun fiziksel özellikleri 110
Tablo 5.2 Rölatif sıkılık deney sonuçları 111
Tablo 5.3 Geogrid UR55 fiziksel ve mekanik özellikleri 113
Tablo 5.4 Deney tankı üzerindeki kontrol noktalarının obje koordinatlatları 118
Tablo 5.5 L_{16} Ortogonal dizin tablosu 132
Tablo 5.6 Seçilen parametreler ve seviyeleri 134
Tablo 5.7 Donatılı deneyler için deney tasarım tablosu (L_{16}) 135
Tablo 6.1 Donatısız deney sonuçları 136
Tablo 6.2 Yapılan deneylerde parametre seviyeleri 139
Tablo 6.3 Geogrid donatılı model taşıma gücü deney sonuçları ve S/N değerleri 140
Tablo 6.4 Sınır taşıma gücü için S/N oranları 149
Tablo 6.5 Parametre seviyelerinin ortalama S/N oranları 150
Tablo 6.6 Varyans analizi (ANOVA) sonuçları 155
Tablo 6.7 Etkileşim önem sayıları 156
Tablo 6.8 Maksimum $q_{sınır}$ için optimum koşullar ve performans değerleri 158
Tablo 6.9 Minimum $q_{sınır}$ için Optimum koşullar ve performans değerleri 158
Tablo 6.10 Parametrelerin maksimum performans üzerindeki etkileri 159
Tablo 6.11 Tahmin edilen sınır taşıma gücü değerleri 161
Tablo 6.12 Oturma için S/N oranları 163
Tablo 6.13 Parametre seviyelerinin ortalama S/N oranları (oturma için) 163
Tablo 6.14 Varyans analizi (ANOVA) sonuçları 167
Tablo 6.15 Etkileşim Önem Sayıları 168
Tablo 6.16 Maksimum oturma için optimum koşullar ve performans değerleri 170
Tablo 6.17 Minimum oturma için Optimum koşullar ve performans değerleri 170
Tablo 6.18 Parametrelerin maksimum performans üzerindeki etkileri 171
Tablo 6.19 Tahmin edilen oturma değerleri 173

1. GİRİŞ

Günümüzde, hızlı nüfus artışı nedeniyle kentlerdeki inşa için kullanılabilecek geoteknik açıdan elverişli yerleşim alanlarının hızlı azaldığı görülmektedir. Özellikle metropol (anakent) kentlerde, sanayi ve yerleşim bölgelerindeki arsa sıkıntısı ve yüksek maliyetler nedeniyle taşıma gücü ve oturma problemleri olan zeminlerde de mühendislik yapılarının inşası zorunlu olabilmektedir. Taşıma gücü ve oturma kriterlerinin sağlanması için temel zemininin mühendislik özellikleri çeşitli yöntemlerle iyileştirilmekte veya yapı yükleri daha derinlerdeki sağlam tabakaya aktarılmaktadır.

Yapı yüklerini daha derinlere aktarmak için kazıklı temel, keson temel veya ayaklı (kuyu) temel sistemleri uygulanmaktadır.

Temel zemininin özelliklerini iyileştirmek için zeminin kohezyonlu ve kohezyonsuz olması durumlarına göre çok farklı yöntemler uygulanmaktadır. Başlıcaları;

Ön yükleme, kum drenleri, elektro osmoz, enjeksiyon, taş kolon, dinamik konsolidasyon, kompaksiyon kazıkları, ısı ile stabilizasyon, mekanik stabilizasyon ve donatılı zemin uygulamalarıdır.

Geoteknik mühendisliğinde son yıllarda sıklıkla kullanılan ve en hızlı şekilde gelişim ve değişim gösteren malzemelerin başında geosentetik malzemeler gelmektedir. Fabrika koşullarında üretilen polimerik malzemeler zemin ile birlikte kullanılarak geoteknik projelerin hayata geçirilmesinde önemli rol oynamakta ve ortam performansını arttırarak geleneksel yöntemlere göre maliyetleri de düşürerek estetik çözümler sunabilmektedir. Bahsi geçen polimerik malzemelerin başında ise geniş bir malzeme ailesi ile yer edinmiş olan geosentetikler yer almaktadır. Sentetik polimer hammaddesinden istenilen özelliklerde üretilebilen, çevre şartlarına dayanıklı ve maliyeti düşük malzemeler olan geosentetikler; geotekstiller, geogridler,

geomembranlar, geonetler, geokompozitler ve geosentetik kil kaplamaları ve diğer bazı ürünleri de kapsamaktadır geosentetikler geleneksel malzemelerle birlikte kullanılmakta ve şu avantajları sağlamaktadır.

- Çok fonksiyonlu görev yapabilmek
- Yer kazanma
- Malzeme kalite kontrolü
- İmalat kalite kontrolü
- Düşük maliyet
- Teknik üstünlük
- İnşaat süresini kısaltma
- Malzeme üretimindeki sürekli gelişmeler
- Hidrolik ve kimyasal dayanıklılık
- Yerleştirme kolaylığı ve ekonomik olması

Geosentetiklerin geoteknik mühendisliği uygulamalarında ayırma, filtrasyon, güçlendirme, drenaj, koruma ve yalıtım fonksiyonlarından biri esas olmak üzere birkaç fonksiyonu üstlenebilir. Güçlendirme ve takviye amacı olarak geogridler kullanılmaktadır. Geogridler metallerden daha düşük rijitliğe sahip olmasına rağmen zemin ile beraber çalışarak oldukça daha iyi performans göstermektedirler. Özellikle donatı-zemin arasında metal donatılardan daha yüksek sürtünme katsayısına sahip olup, ızgara şeklindeki açıklıkları sayesinde zemin ile arasında oluşan kenetlenme etkisiyle donatılı zemin uygulamalarında daha iyidir.

Donatılı zemin kavramı bu gelişmelere paralel ilk defa Fransız Mühendis H. Vidal (1960) tarafından bilimsel olarak araştırılmıştır (Vidal, 1968).Günümüze kadar değişik yönleri ile araştırmalar sürdürülmüştür. Donatılı zemin uygulamalarında amaç; zeminin taşıma gücünü arttırmak, oturma ve deformasyonları azaltmaktır.

Donatılı zemin, esas itibariyle, çekme gerilmelerine dayanabilen zeminle sürtünme ve adhezyon yoluyla etkileşen bir malzeme ile güçlendirilmiş zemin anlamına gelir. Donatılı zemin Türkçe'de kullanılan diğer ismi "Toprakarme" olup,

son yıllarda geoteknik mühendisliği alanlarında geniş bir uygulama alanı bulan bir tasarım yöntemidir.

Donatılı zemin kompozit sistemleri, donatı elemanlarının zemin içerisine belli bir düzende teşkil edilebildiği gibi, sentetik liflerin zemin içerisine gelişi güzel yerleştirilmesiylede teşkil edilebilmektedir. Kompozit bir malzeme olarak çalışması için donatı ve zemin arasındaki sürtünme katsayısı, donatı çekme mukavemetinin yeterli büyüklükte olması gerekir. İçsel stabilite tahkikleri olarak adlandırılan donatı kopması ve donatı sıyrılması tahkiklerinin sağlanması gerekir (Sağlamer ve Aygit, 1987).

Dünyada ve ülkemizde çok sayıda uygulama örneği bulan donatılı zemin öncelikle dayanma yapılarında, köprü kenar ayakları, deniz ve nehir duvarları, kömür depolama eğim duvarları, dolgu takviyeleri ve yumuşak zeminlere oturan yapılarda uygulanmıştır (Yılmaz ve diğerleri 2005). Ayrıca barajlarda, endüstri yapılarında, dolgu ve yarmalarda istinat perdesi olarak, hava alanlarında temel takviyesi için, şevlerde stabiliteyi sağlamak üzere kullanıldığı gibi, temel altı zeminlerin donatılandırılarak takviye edilmesiyle taşıma gücünün arttırılması ve oturmaların azaltılması da mümkün olmaktadır.

Geogrid donatılı kum üzerine oturan sürekli temellerin taşıma gücü üzerinde etkili olan başlıca parametreler aşağıda verilmiştir.

- Temel genişliği (B)
- Temel derinliği (D_f)
- Donatı uzunluğu (L_g)
- Donatı sayısı (N)
- Donatılar arası uzaklık (u)

Günümüze kadar yapılan model temellerle taşıma gücünün araştırılması çalışmalarında deney sayısının fazla olması nedeni ile bu parametrelerin bir kısmı sabit tutularak diğerlerinin taşıma gücü üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Bu çalışmada, geogrid donatılı kum üzerine oturan sürekli temellerde taşıma gücünü etkileyen 5 faktörün tamamı dikkate alınarak faktörlerin taşıma gücü üzerindeki etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Deneyler, Taguchi yöntemine göre 5 parametreli ve 4 seviyeli standart L_{16} ortogonal dizin tablosuna göre yapılmıştır. S/N ve varyans analizleri yapılarak taşıma gücünü etkileyen faktörlerin etki dereceleri ve güvenilirlikleri belirlenmiş, taşıma gücünün en yüksek olduğu faktör seviyelerini belirlemek için optimizasyon yapılmıştır. Deneylerden ve analizlerden elde edilen sonuçlar grafikler ve tablolar halinde verilerek karşılaştırılmıştır. Ayrıca deneyler esnasında çekilen fotoğraflar dijital fotogrametri tekniği ile değerlendirilerek kayma yüzeyleri sayısallaştırılıp koordinatları belirlenmiştir. Bu teknik ile donatılı ve donatısız zeminlerde oluşan kayma yüzeyleri daha doğru bir şekilde belirlenmiştir.

2. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI

Bu bölümde, donatılı zeminler üzerinde günümüze kadar yapılmış çalışmalar özetlenmiştir. Donatılı zemin kavramı çok yönlü bir konu olduğundan çalışmada kum zemin kullanıldığından dolayı, kumlu zeminler üzerine oturan temellerin taşıma kapasitesi ve oturma davranışını konu alan çalışmalar sunulmuştur.

Donatılı zemin tabakalarına oturan yüzeysel temellerin taşıma kapasitesi, oturması, göçmesi ve göçme yüzeyi şekilleri konuları hakkında literatürde yayınlanmış deneysel ve teorik çalışmalar:

- Zemin cinsi (kohezyonlu ve kohezyonsuz)
- Donatı cinsi (metal, lif, çubuk veya geotekstil, geogrid)
- Temel şekli (şerit, kare, dikdörtgen ve daire)
- Yükleme şekli (eksantrik, eksenel, statik veya dinamik)
- Donatıların zemin içindeki yerleştirme şekli (yatay, düşey veya eğimli)

kriterlerine göre incelenmişdir.

Donatılı zeminlere oturan yüzeysel temellerin taşıma kapasitesi, oturma ve göçme mekanizması üzerine yapılan teorik çalışmalar sınırlı olup, 5 ana grupta toplanmaktadır. Bunlar:

1. Ankraj teorisi,
2. Sınırlandırılan deformasyon teorisi,
3. Kompozit malzeme teorisi,
4. Yarı deneysel teoriler ve
5. Sonlu elemanlar yöntemi ile analizler

şeklinde sınıflandırılmıştır.

Ankraj teorisinde esas temel dışında kalan donatıların ankre edilmesidir. Bu teoride donatıların düşey yerdeğiştirmelere karşı koyacak ankraj boyuna sahip olmaları gerekir. Temel yüklerinden dolayı zeminde ve donatılarda oluşan kuvvetler, elastisite teorisine dayalı çözümler kullanılarak hesaplanır. Sistemin stabilitesi ise denge yöntemi ile analiz edilir.

Sınırlandırlan deformasyon teorisi ise temel kenarları altındaki kayma zonu içerisinde kalan donatıların, potonsiyel çekme deformasyonlarını sınırlandırarak zeminin basınç mukavemetini arttırması ilkesine dayanır. Ankraj teorisindekinin aksine, bu teoride düşey kayma zonu içerinde kalan, uzunluğu temel genişliğine eşit olan donatılar, zeminin taşıma kapasitesinde hakim faktörlerdir. Sistemin stabilitesi, limit denge yöntemine göre analiz edilir. Donatılı zemin üzerine yapılan çalışmalarda kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlerdeki değişik araştırmacıların çalışmalarına kısmen yer verilmiştir.

Kompozit malzeme teorisinde donatılı zemin kompozit bir malzeme gibi düşünülmüş ve donatılı-zeminin mekanik olarak çalışacağı kabul edilmiştir. Bu teoride donatı sıyrılmasının olmadığı düşünülerek analizler yapılmaktadır.

Yarı amprik teorisinde genellikle donatısız zeminler için bilinen klasik taşıma gücü teorileri, donatılı zeminler için yapılan deneysel çalışmalarda da benzer sonuçlar vermiş ve bu sonuçlara göre donatılı zeminlerin taşıma gücü analizleri yapılmaktadır.

Sonlu elemanlar teorisinde donatılı zeminlere oturan temellerin sonlu elemanlar yöntemi ile analizi konusunda çalışmaların bilgisayar programlarındaki gelişmelere bağlı hız kazandığı görülmektedir.

Binquet ve Lee (1975a) tarafından yapılan deneysel çalışmada model deneylerde donatı olarak metal şeritler, çubuklar ve doğal lifler kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda daha çok geogrid malzeme kullanılmıştır. Donatı-zemin etkileşiminin daha efektif gerçekleşmesinden dolayı deneysel çalışmalarda

kohezyonsuz zeminler daha çok tercih edilirken; kohezyonlu zeminler üzerinde yapılan deneylerin de mevcut olduğu görülmektedir.

Model deneylerde temel şekli olarak şerit, kare, dikdörtgen ve dairesel temeller kullanılmıştır. Model deneylerde farklı donatı miktarı, donatı boyu ve yerleşim düzeni için taşıma kapasitesinin maksimum olduğu donatıyla ilgili optimum değerler araştırılmıştır. Sonuçların değerlendirilmesi ve karşılaştırılmasında boyutsuz birimler için geometrik parametreler temel genişliğine bölünerek bulunmuştur. Donatılı zemin ile ilgili çalışmalarda donatı miktarı ve donatının yerleşim düzeni için yük-oturma grafikleri çizilmiş, donatısız durum ile karşılaştırmaları yapılmıştır.

2.1. Kohezyonsuz Zeminlerde Yapılan Çalışmalar

Kohezyonsuz zeminlerde yapılan çalışmalar; donatının yerleştirilmesi doğrultusuna göre üç farklı gruba ayrılmıştır. Bunlar:

1. Donatının zemin içerinde yatay yerleştirilmesi
2. Donatının zemin içerinde düşey yerleştirilmesi
3. Donatının zemin içerinde belli bir eğim ile yerleştirilmesi

2.1.1. Zemin İçerisine Donatının Yatay Olarak Yerleştirilmesi

Donatı-Zemin etkileşimi göz önüne alındığında kohezyonsuz zeminler üzerine oturan temellerde yük-oturma davranışı ve göçme mekanizması hususunda yapılan deneysel çalışmaların büyük çoğunluğunda donatnın yatay olarak yerleştirildiği görülmektedir. Burada amaç; donatıların asal çekme birim deformasyonları doğrultusunda yerleştirilmesi yani donatıların çekme gerilmelerini taşıması ilkesine dayanmaktadır. Ayrıca donatının yatay olarak yerleştirilmesi uygulamada bir kolaylık ve avantaj sağlamaktadır. Bu tip çalışmalarda

- Metal,
- Doğal veya işlenmiş lif,
- Geotekstil,
- Geogrid,

donatı olarak kullanılmıştır.

2.1.1.1. Metal donatı

Metal donatıda alüminyum, bronz, çelik levha ve çelik çubukların birbirine kaynak yapılmasıyla elde edilmiş grid formundaki donatılar kullanılmıştır. Metal donatı seçilmesinin nedeni polimer geotekstil ve geogridlere göre yapımının kısa ve kolay elde edilmesindedir.

Binquet ve Lee (1975a ve 1975b) kohezyonsuz zeminlerin taşıma kapasitelerini arttırmak için laboratuarda bir dizi model deneyler yapmışlardır. Bu model deneyler donatılı kum üzerine oturan şerit temel üzerinde yapılmıştır. Bu deneyler;

1. Seri: Homojen ve derin kum tabakası üzerinde
2. Seri: Kum zemin altındaki turbalık veya yumuşak kil tabakası
3. Seri: Kum zemin tabakası altındaki çok yumuşak zemin tabakası (kırıklı-oyuklu kireçtaşı veya organik zemin)

şeklinde yapılmıştır.

Deneylerde uniform kum (Ottowa kumu), % 75 sıkılıkta el vibratörü ile deney kasasına yerleştirilmiştir. Donatı malzemesi olarak alüminyum folyolardan kesilmiş şeritler kullanılmıştır. Her üç seri model deneyde temel genişliği B=76 mm. uzunluğu ise deney kasasının genişliğinde tasarlanmıştır. Deneyde z/B=0.30 ve LDR= % 42.50 olarak sabit değerde tutularak model deneyler yapılmıştır. Lineer

donatı sıkılık oranı (LDR) değeri her tabakadaki donatı sayısının donatılar arası yatay mesafe ile deney kasasının genişliği ile çarpılarak hesaplanmıştır. Bu değer,

$$LDR=\Delta H x \frac{N}{W} \tag{2.1}$$

şeklinde formüle edilmiştir. Formülde

LDR: Lineer donatı sıkılık oranı
ΔH: Donatılar arasındaki düşey uzaklık
N: Donatı tabaka sayısı
W: Deney kasasının genişliğini ifade etmektedir.

Yumuşak zemin tabakası ise sünger ile modellenmiştir. Deneylerde donatılar arası düşey uzaklık (ΔH), donatı boyu ve tipi değiştirilmemiştir. Donatı tabaka sayısı (N) ve en üstte bulunan donatının temel tabanından olan uzaklığı (u) ise, değişken olarak tanımlanmıştır. Tüm deneylerde göçme, temelin uzun kenarı etrafında dönmesi ve zımbalanması olarak gözlenmiştir. Binquet ve Lee (1975a), donatılı-donatısız zemin üzerine oturan temelin taşıma kapasitesi oranını (BCR) olarak tanımlamışlar ve BCR ifadesini ise;

$$BCR=\frac{q_R}{q_0} \tag{2.2}$$

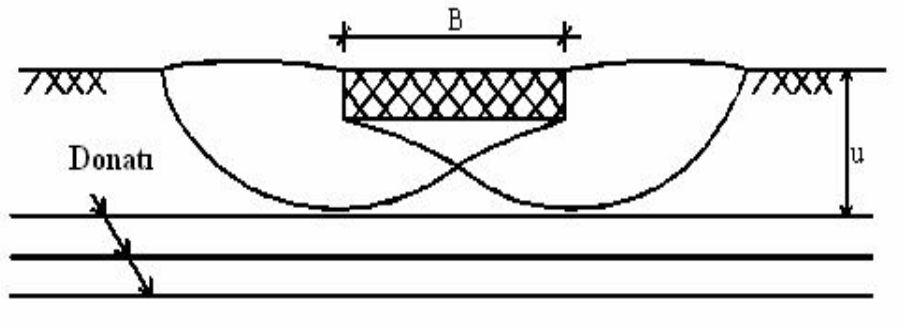
q_0: Donatısız zeminin taşıma gücü
q_R: Donatılı zeminin taşıma gücü

şeklinde tanımlamışlardır.

Araştırmacılar donatı boyunu L_R=4B veya L_R=4D seçerek zemin içerisine tek tabaka halinde donatıların yerleştirilmesi halinde taşıma kapasitesinin arttığını; donatılı zemindeki oturmaların, donatısız zemine (kumlu) göre daha küçük kaldığını belirtmişlerdir.

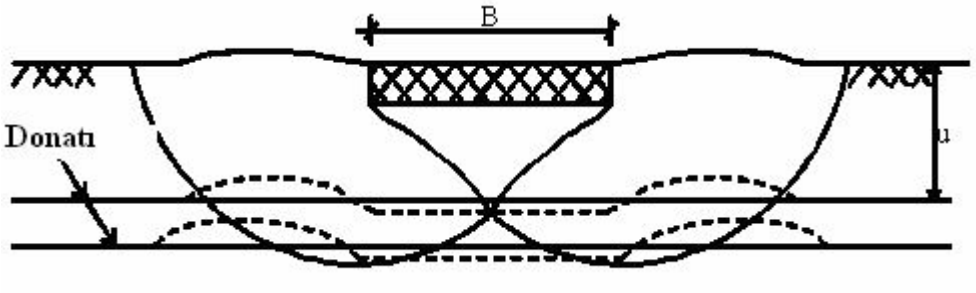
Binquet ve Lee (1975b), model deneylerden elde ettikleri sonucu göre donatı yerleşim şekli ve mukavemetine bağlı olarak üç tür göçme mekanizmasının oluştuğunu belirtmişlerdir. Bunlar,

1. **En üst donatı tabakası üzerinde oluşan kayma göçmesi:** Bu araştırmacılar göçmenin derinlik oranının u/B>0.67 ve donatı tabakası arasındaki derinlikte (u), donatı yoğunluğunun fazla olmasından dolayı oluştuğunu belirtmişlerdir (Şekil 2.1a).



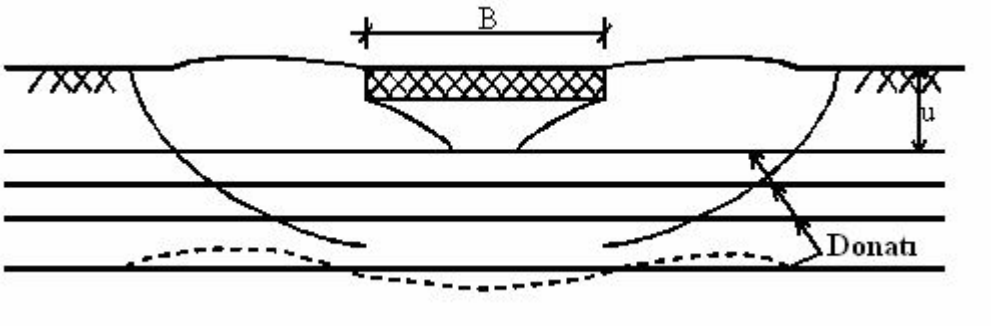
a. Donatılar üzerinde kayma (u/B<0.67)

2. **Donatı sıyrılması:** Bu göçme mekanizmada, sığ ve seyrek donatılı (u/B<0.67 ve N<3) veya donatı uzunluğunun gerekli sürtünme direncini mobilize edemeyecek (donatı boyunun kısa olması) olduğu durumda göçmenin gerçekleştiği belirtilmiştir (Şekil 2.1b).



b. Donatı sıyrılması (u/B<0.67, N<2 veya 3, kısa donatı)

3. **Donatı kopması:** Bu mekanizmada araştırmacılar göçmenin muhtemelen uzun, sığ ve sık donatılı (u/B<0.67, N>3~4) olması hallerinde oluşacağını belirtmişlerdir (Şekil 2.1c).



c. Donatı kopması (u/B<0.67, N>4 ve uzun donatı

Şekil 2-1 Donatılı zemin üzerine oturan yüzeysel temellerin göçme durumları (Binquet ve Lee, 1975a, 1975b)

Binquet ve Lee (1975a, 1975b), ilk donatı tabakası üzerinde kayma göçmesinin sağlam rijid bir taban üzerindeki sığ zemin tabakalarına oturan temellerin taşıma kapasitesi problemine karşı geldiğini ve donatıların sığ derinliklere yerleştirilmesi halinde göçmenin önlenebileceğini belirtmişlerdir. Göçmenin, donatı sıyrılması ve kopması nedeniyle oluşması durumunda taşıma kapasitesi analizini teşkil eden tasarım kriterini,

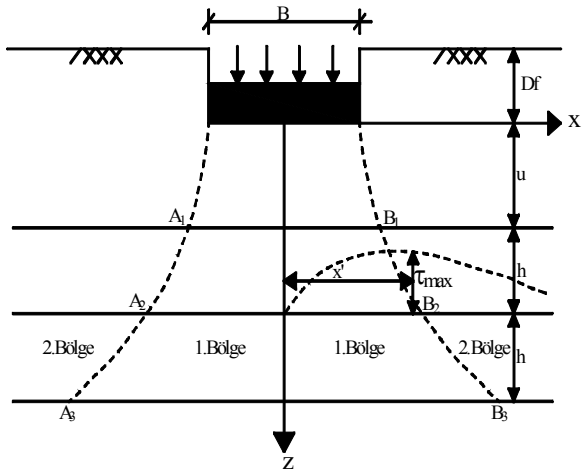
$$T_D \leq \left\{ \frac{R_y}{FS_y}, \frac{T_f}{FS_f} \right\} \tag{2.3}$$

olarak ifade edilmişlerdir. Burada:

T_D: Herhangi bir tabakada oluşan çekme kuvvetini
R_y: Donatı kopma mukavemeti veya akma direncini
T_f: Donatı-zemin arasında sürtünme direncini
FS_y: Donatı kopması veya akmasına karşı güvenlik katsayılarını ve
FS_f: Donatı sıyrılmasına karşı güvenlik katsayılarını göstermektedir.

Araştırmacılar temelin ön boyutlandırılmasında, donatıların boyut ve yerleri belirlendikten sonra tasarım yükleri altında her tabaka için T_D, R_y, ve T_f kuvvetlerinin hesaplanabileceğini belirtmişlerdir. Temel zemininde yük altında göçme yüzeyi oluşurken donatılı bölge iki zona ayrılmıştır. Temelin hemen altındaki

I. bölgede yükün artması ile beraber zeminin aşağı doğru hareket ettiği, II. bölgede ise zeminin dışa veya yukarı doğru itildiği ifade edilmiştir. Bu durumda kayma gerilmelerinin A_1, A_2, A_3 ve B_1, B_2, B_3 noktalarında maksimum olduğu belirtilmiştir (Şekil 2.2). Aynı oturma değerinde, donatılı ve donatısız zeminlerde birim alana gelen yüklerin oranı (q_R/q_o) sabittir.



Şekil 2-2 Donatılı zeminde oluşan göçme yüzeyi (Das, 1999'dan alınmıştır).

Milovic (1977), arazide plaka yükleme deneyi ve laboratuar deneyleri olmak üzere bir dizi deneyler yaparak kumlu zeminler üzerine oturan temellerin taşıma kapasitesini incelemiştir. Laboratuarda çapı 6-12 mm., B=25 cm genişliğinde çelik şerit çubuklar, arazideki deneylerde ise çapı 15 mm. poliprobilen kordonlar donatı ve D=60 cm çapında dairesel temel kullanmıştır. 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 oturmaların donatısız zemine (kumlu) kıyasla daha küçük kaldığını belirtmiştir.

Andrawes ve diğerleri (1978) tarafından yapılan model deneylerde donatı olarak pürüzsüz-pürüzlü çelik levhalar ve polimer örgüsüz geotekstil (TERRAM T140) levhaları kullanılmıştır. Bu araştırmacılar donatının uzamasının, donatı yüzey pürüzlülüğünün ve donatı derinliğinin gevşek kum zemin tabakası üzerine oturan temellerin taşıma kapasitesine olan etkilerini araştırmışlardır. Sonuç olarak optimum

derinliğinin u/B=4 değer olduğunu ve taşıma kapasitesinin maksimum olduğunu belirtmişlerdir.

Saran ve Talwar (1981), ilk donatı tabakası derinliği ve donatı uzunluğunu esas alarak, metal şeritler ve cam yünü levhaları ile donatılı orta-sıkı kumlara oturan şerit temeller üzerinde model deneyler yapmışlardır. Araştırmacılar N>6 ve u>B/3 olması halinde donatı tabaka sayısının, temel tabanından itibaren 2B derinliğine yerleştirilmesi gerektiğini belirtmişlerdir.

Fragaszy ve diğerleri (1983) tarafından şerit ve kare temeller üzerinde yapılan model deneylerle kumun sıkılığı, donatı uzunluğu ve donatı yerleşiminin donatılı kum zeminlerin taşıma kapasitesine olan etkisi araştırılmıştır. Donatı konfigürasyonu olarak N=3, u/B=0.3~0.4, LDR=%47 ve alüminyum folyolardan kesilmiş şerit donatılar kullanılmıştır. Şerit temellerde B=76 mm, kare temeller de ise B=63.5 mm'de sabit tutulmuştur.

Kumlu zeminin rölatif sıkılık derecesi D_r=% 51-% 90 ve s/B= % 10 oturma oranında BCR değerleri hemen hemen birbirine eşit bulunmuştur. % 4 oturma oranında sıkı kumlar için hesaplanan BCR değerleri gevşek kuma oranla bir miktar büyük elde edilmiştir. Donatı uzunluğu L_R=3B~7B aralığında iken taşıma kapasitesinin çok hızla arttığını fakat L_R>7B durumunda ise taşıma kapasitesinde bir artış olmadığını belirtmişlerdir.

Fragaszy ve Lawton (1984) tarafından yapılan **ç**alışma, Fragszy ve diğerlerinin (1983)'ün yaptığı çalışmanın bir benzeri olup, bu çalışmada araştırmacılar, şerit temeller için bir seri laboratuar deneyleri yaparak, kumun sıkılık derecesi, donatı uzunluğu ve donatı yerleşim düzeninin donatılı zeminin taşıma kapasitesine olan etkisini incelemişlerdir.

Singh (1988), yaptığı model deneylerde D_r=%85 rölatif sıkılıktaki üniform kumlu zeminde, donatı olarak alüminyum şeritler ile grid oluşturacak şekilde birbirine kaynak edilmiş çelik çubuklar kullanmıştır. Araştırmacı donatı yerleşim

düzenini (N), donatı genişliğini (B_R), düşey donatı aralığını (z), birinci donatı tabakasının temel tabanından derinliğini (u) olarak tanımlamış ve aşağıdaki sonuçları elde etmiştir.

1. Donatı kalınlığının üç kat arttırılması halinde BCR değerinde gözlenen artışın % 15'i geçmediğini belirtmiştir.
2. En büyük taşıma kapasitesinin, donatı ve temel parametreleri sabit kalmak üzere çelik çubukların birbirleriyle 90°'lik açıyla kaynak yapılması durumunda elde edilmiştir.
3. Alimünyum şerit donatının temel kenarına paralel olacak şekilde (birbirine dik doğrultuda) iki sıra halinde yerleştirilmesi durumunda, taşıma kapasitesinin en büyük değere ulaştığını fakat planda temel alanı dışında kalan 2 sıradaki alüminyum şerit donatının taşıma kapasitesine bir etkisinin olmadığı saptanmıştır.
4. N=4 değerinde taşıma kapasitesinin arttığını, N>4 değerlerinde ise taşıma kapasitesindeki artışın az olduğunu göstermiştir.
5. Taşıma kapasitesi değerinin, düşey donatı aralığı mesafesinin (z) donatı boyutu ile değiştiğini ortaya koymuştur.
6. Donatılı kum zeminlere oturan kare temellerde, grid formundaki donatı (kaynaklı çelik çubuklar) ile donatı boyutunun (B_R=2B) taşıma kapasitesini arttırdığı gözlenmiştir.
7. Donatılı zeminlerde, temel şeklinin yük-oturma davranışı açısından bir faktör olmadığını (kare, dikdörtgen, daire ve şerit temel için donatı konfigürasyonunda yük-oturma eğrilerinin birbirine yakın değerler aldığını) belirlemiştir.

Araştırmacı ayrıca, donatı tabaka sayısı ile temel boyutu cinsinde donatı konfigürasyon parametrelerinin aynı olması durumunda, model deney sonuçlarının arazideki gerçek temellerin taşıma kapasitesinin tahmininde de kullanılabileceğini savunmuştur.

Huang ve Tatsuoka (1988 ve 1990), B=100 mm genişliğinde bir bronz şerit temel, D_r=%80-%86 arasında iken homojen kum zemin üzerine oturan temelin taşıma kapasitesini incelemişlerdir. Bu çalışmada donatı konfigürasyonu ile donatı çekme mukavemeti ve rijitliği (donatının elastisite modülü (E_R) ve donatı enkesit alanı (A_R)) parametreleri esas alınmıştır. Donatının yerleştirilmesi, donatı tabakalarının genişliği, donatı rijitliği ve kopma mukavemeti sistematik bir şekilde incelenmiştir. Kum içindeki gerilme bölgeleri, donatıda oluşan çekme kuvvetleri ve temel tabanında oluşan basınç dağılışları ölçülmüştür. Donatılı kumun göçme mekanizması, donatının özellikleri ve donatının yerleştirilmesi göz önünde alınarak mevcut deney sonuçlarından stabilite analizi hesabı yapılmıştır.

Araştırmacılar, sonuç olarak, donatı kopması olmadığı sürece donatı çekme rijitliğinin taşıma kapasitesi üzerindeki etkisinin ihmal edilebileceğini vurgulamışlardır. Fakat donatı kopmasının gözlendiği model deneylerde kopma noktalarının temel merkezinin düşeyine rastladığını ve çoğunlukla alt kısımlardaki (tabakalardaki) donatılarda kopmanın meydana geldiğini belirlemişlerdir. Sonuçta, deneysel ve analitik çözümlerle elde edilen değerlerin birbirleriyle karşılaştırması yapıldığında farklı donatı miktarı ve yerleşim düzenine göre elde edilen taşıma kapasitesi değerlerinin birbirleri ile uyum içinde olduğu görülmüştür.

Abdel-Baki ve diğerleri (1993), rölatif sıkılığı % 90 olacak şekilde donatılı granüler bir zemin üzerine oturan şerit temelde eksantrik ve eğimli yükler altındaki taşıma kapasitesini belirlemişlerdir. Donatı olarak birbirine kaynaklanmış galvanize çelik çubuklar ve donatı tabaka sayısı N=1, şerit temelin genişliği B=20 cm. olan alüminyum plak kullanılmıştır.

Donatı tabakası derinliğinin (u) artması sonucunda taşıma kapasitesinde artışın fazla olmadığı ve azaldığı, u>0.4B durumunda ise donatıların taşıma kapasitesine önemli bie etkisinin olmadığı belirtilmiştir. Araştırmacılar, donatı kopmasına karşı eğer donatı mukavemeti yeterli büyüklükte ise, tek tabakalı donatılı granüler zeminlere oturan şerit bir temelin taşıma kapasitesini (q),

$$q = \frac{1}{2}.\gamma.B_t.N_\gamma \tag{2.4}$$

$$B_t = B + 2\tan\theta.D_R \tag{2.5}$$

Burada;

B: Temel genişliği

B_t: Fiktif temel genişliği

θ : Temel kenarlarından itibaren lineer varsayılan düşey gerilme dağılışının düşeyle yaptığı açı

D_R: Donatı derinliği

$$\theta \quad \left[\frac{\phi}{\pi/4} - 2\frac{D_R}{B}\right]\frac{2\pi}{3} \tag{2.6}$$

bağıntıları ile tanımlamaktadır. Burada içsel sürtünme açısı (ϕ) ve Vesic (1973) tarafından önerilen zeminin kayma mukavemet açısına bağlı taşıma gücü katsayısı N_γ değerleri kullanılarak taşıma gücü hesaplanmıştır. Analiz ile deneysel sonuçlar karşılaştırıldığında bunların birbiriyle uyum içerisinde olduğu belirtilmiştir.

2.1.1.2. Doğal veya işlenmiş lifli donatı

Doğal veya işlenmiş lifli malzemelerin kullanıldığı çalışmalara en iyi örnek Nijerya ipi lif malzemesinden elde edilen yassı şerit donatılardır.

Akinmusura ve Akinbolade (1981) yaptıkları model deneylerde Nijerya ipinden elde edilen bitkisel lifli yassı şeritleri donatı olarak kullanmışlardır. Çalışmacılar, kumlu zemin üzerine oturan (B=100 m) rijit çelik kare plaka temelin taşıma kapasitesi araştırmışlardır. Çalışmada donatı konfigürasyonu parametreleri olarak aşağıdaki parametreler seçilmiştir.

x: Donatı şeritleri arasındaki yatay uzaklık

z: Donatı arası düşey uzaklık

u: İlk donatının temel tabanından olan düşey uzaklık

B: Temel genişliği

N: Donatı tabaka sayısı

seçilmiştir.

Yatay Donatı Aralığının (x), Taşıma Kapasitesine Etkisi: x/B=0.00-1.50, u/B=0.50 ve donatı sayısı N=5 değerleri sabit olarak alındığında deneylerden elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

- x/B<0.5: Yatay donatı aralığı artsa bile, BCR'nin azaldığı görülmüştür.
- 0.5<x/B<1.0: Yatay donatı aralığının artmasıyla BCR'de lineer bir azalma meydana gelmektedir.
- x/B>1.0: Donatı aralığının artmasıyla taşıma kapasitesindeki artış sabit kalmaktadır.

Donatılar Arasındaki Düşey Mesafenin (z) BCR'ye Etkisi: Yatay donatı aralığı u/B=0.50, N=5 olarak sabit tutulmuştur. Buradan elde edilen sonuçların yatay donatı aralığının değiştirilmesiyle elde edilen sonuçlara benzediği vurgulanmıştır. Deneylerde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- z/B<0.5: Donatılar arasındaki düşey mesafenin artmasıyla BCR'de azalma meydana geldiği belirtilmiştir. Göçmenin, donatının zeminle beraber düşey yönde blok şeklinde hareket etmesiyle oluştuğu,
- 0.5<z/B<1.0: z/B'nin artmasıyla BCR değerinde meydana gelen azalmanın daha dik ve lineer bir şekilde olduğu belirtilmiştir. En üstteki bir veya iki donatının koptuğu,
- z/B>1.0: Donatılar arasındaki düşey mesafede artış gözlense bile taşıma kapasitesi küçük ve sabit kaldığı belirtilmiştir. Göçmenin donatı sıyrılması ile gerçekleştiği vurgulanmıştır.

İlk (en üstteki) Donatı Tabakası Derinliğinin (u), BCR'ye Etkisi: Deneyler x/B=0.5, z/B=0.5 ve N=5 değerleri sabit tutularak ve u/B=0.25-1.50 arasında tutularak yapılmıştır. Deney sonucunda optimum BCR'ye u/B=0.5 iken ulaşılmıştır. Burada,

- u/B<0.5 BCR değerinin azaldığı bunun sebebinin ise en üstteki tabakanın temel tabanına çok yakın yerleştirilmesinden kaynaklandığı vurgulanmıştır.
- 0.5<u/B<1.0 BCR değerinin u/B'nin artmasıyla birlikte düşüş gösterdiği ifade edilmiştir.
- u/B>1.0 BCR değeri sabit kaldığı belirtilmiştir.

Donatı Tabaka Sayısının (N), BCR'ye Etkisi: x/B=0.5, z/B=0.5 ve u/B=075 değerleri sabit tabaka sayısı N=l-5'e arasında alınmıştır. N<3 olduğu durumlarda taşıma kapasitesinde hızlı bir artışın gözlendiği, N>3 durumunda ise taşıma kapasitesindeki artışın yaklaşık sabit kaldığı ifade edilmiştir.

Sonuç olarak, donatılar arasındaki yatay ve düşey uzaklık ile en üstteki donatının derinliği 0.5B ve en uygun değer donatı tabaka sayısı N=3 olarak alındığında, taşıma kapasitesindeki artışın 3 kat olduğu belirtilmiştir. Zeminlerin bu tip donatılar kullanılarak yapılan iyileştirme uygulamalarında, yeraltı su seviyesinin yükselerek donatının üzerine çıkması nedeniyle donatıyı zayıflatması, böcek ve kuş saldırıları gibi sorunlarla karşılandığı vurgulanmıştır.

Sawicki (1983), çekme mukavemeti yüksek lifler ile donatılmış zeminleri homojen ve anizotrop kompozit bir malzeme olarak kabul edip, donatılı zeminlere oturan şerit bir temelin taşıma gücü kapasitesini, (q);

$$q=\frac{\sigma_0}{2}(1+\sqrt{\sin\phi})^2\ \frac{1+\sin\phi}{1-\sin\phi},\ \sigma_{\bar{0}}\quad \eta.R \tag{2.7}$$

bağıntısı ile tanımlamıştır. Burada,

η: Donatı-zemin kompozit malzemesi kütlesinde donatıların hacim olarak yüzdesini ve

R: Donatı çekme mukavemetini ifade etmektedir.

2.1.1.3. Geotekstil Donatılar

Patel (1982), donatılı kum zemin üzerine oturan (B=14.50 cm) şerit temel, (D=14.15 cm) daire, ve (BXL=11.35x46.50 cm) dikdörtgen temellerde, temel şeklinin yük-oturma davranışına olan etkisini araştırmıştır. Cam yünü malzemesinden üretilmiş 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.

- D=B alındığı zaman eksenel simetrik ve düzlem deformasyon koşullarında her iki temelin birbirine yakın davranış sergilediğini,
- Dairesel ve şerit temellerin her hangi bir seviyede oturması halinde taşıma kapasitesinin maksimum olduğu en uygun donatı derinliğinin u=0.47B veya u=0.47D) olduğunu,
- Donatı parametreleri, temel şekli ve kumun sıkılık derecesinin sabit kalması halinde kumun içsel sürtünme açısının arttığı ve BCR değerinin büyük değerler almaktadır.

Guido ve diğerleri (1985), geotekstil donatılı kum zemin üzerine oturan kare temellerde (B=31 cm) yük-oturma davranışlarını araştırmışlardır. Çalışmada özellikleri birbirlerinden farklı altı cins örgülü ve örgüsüz levhalar ile Dupont Typar 3401 tipi geotekstil donatı malzemesi olarak kullanmışlardır.

Deneylerde ilk donatı tabakasının derinliği (u), düşey donatı aralığı (z), donatı tabaka sayısı (N), donatı genişliği (B_R) ve donatı çekme mukavemeti parametreleri esas alınmıştır. D_r=% 50 sıkılıkta hazırlanmış ve içsel sürtünme açıları (ϕ=35°, 36°)

indeks özellikleri farklı iki kum üzerinde tekrarlı deneyler yapılarak zemin cinsinin deney sonuçlarına etkisi araştırılmıştır. Sonuç olarak,

- Kumlu zeminlerde N>1 olduğu durumlarda birinci donatı tabakasının derinliğinin (u) artmasıyla BCR değerlerinin küçüldüğü,
- N=3'e kadar BCR değerinin arttığı, N>3'de BCR değerinin bir miktar azaldığı,
- u/B<0.15'de zımbalama göçmesini yansıtan yük-oturma eğrilerinin eld edildiğini,
- B_R=2.5B efektif donatı genişliğine kadar BCR değerinin donatı genişliği ile arttığı ve daha büyük donatı genişliklerinde BCR değerinin sabit kaldığı ve değişmediğini,
- Donatı çekme mukavemetinin büyük olmasına karşılık kalın donatı kullanıldığı zaman düşük taşıma kapasitesi oranlarının elde edildiği görülmüştür.

Haeri ve diğerleri (2000), geotekstil donatılı zemin üzerinde yaptıkları deneylerde; geotekstil tabaka sayısı, geotekstil tipi, geotekstilin yerleşim düzenini değiştirerek kompozit malzemenin mekanik davranışını araştırmuışlardır. Deneylerde kuru deniz kumu kullanılarak, kumun gerilme-deformasyon ilişkisini belirlemek amacıyla üç eksenli deneyler yapılmıştır. Araştırma sonucunda, geotekstil donatılı kumların mukavemetinin, geotekstil-zemin arasındaki sürtünme katsayısına bağlı olarak değiştiği ve sürtünme katsayının arttırılması ile mukavemetin de arttığı gözlenmiştir. Ayrıca, göçmeye etki eden en önemli parametrenin donatılı zeminlerde donatı yerleşim düzeni olduğu belirlenmiştir. Donatısız kum zeminle karşılaştırma yapıldığında donatılı kumların rijitliğinin donatı tipine göre değiştiği belirtilmiştir.

Moroğlu (2002) tatafından yapılan çalışmada donatılı kum zemine oturan model şerit temelin taşıma gücü araştırılmıştır. Deneylerde kullanılan tankın iç boyutları 0.90 m (uzunluk) x 0.65 m (yükseklik) x 0.10 m (genişlik)'dir. Tankın ön ve arka yüzleri 12 mm kalınlığında cam plakalarla kaplanmıştır. 10 cm genişliğindeki model şerit temel çelik plakalardan üretilmiştir.

Yükleme düzeni olarak, üç eksenli pres kullanılmış, model şerit temel bir yükleme bıçağı ile çekirdek içi, üzeri ve dışı olmak üzere çeşitli eksantrisitelerde yüklenmiştir. Deneylerde, dane çapları 0.2-4 mm arasında değişen orta-iri kum kullanılmış olup, kumun sıkılığı deneyler boyunca sıkı düzeyinde sabit tutulmuştur. Donatı olarak örgülü bir geotekstil, temel tabanından itibaren temel genişliğinin yarısı (B/2) kadar bir derinliğe yatay olarak yerleştirilmiştir. Esas deneyler yüzey temeli için yapılmış olup, sığ temeller de kısmen incelenmiştir. Çalışmanın önemli bazı sonuçları aşağıda verilmiştir.

- Donatılı zeminin toplam taşıma gücü, merkezi yüklü temel için, donatısız zemine göre ortalama olarak % 50 kadar artmıştır.
- Donatının toplam taşıma gücüne olan katkısı, eksantrisite artıkça azalmaktadır.
- Donatılı zeminde, temelin göçmesi için gerekli olan düşey hareket miktarı, donatısız zemine göre daha büyüktür.
- Yanal hareketi önlenmemiş temelde, birincil kırılma yüzeyi, eksantrisitenin olduğu tarafta meydana gelmektedir.
- Donatılı zeminde temelin dönmesi, eksantrisite tarafına doğru olmakta, eksantriklik arttıkça, dönme miktarı da artmaktadır.

Donatılı kuma oturan eksantrik yüklü model yüzey temelinin toplam taşıma gücünün (Q_e), merkezi yüklü aynı temelin toplam taşıma gücüne (Q_m) oranının (Q_e/Q_m) eksantrisite (e) ile olan ilişkisinde; bu konudaki başlıca yaklaşımlardan biri olan Meyerhof'un Azaltılmış (Yararlı) Genişlik Kavramı ile oldukça uyumlu değerler elde edildiği vurgulanmıştır. Geleneksel yöntemin, çekirdek içinde deney sonuçlarından küçük, çekirdek dışında da oldukça büyük değerler verdiği 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. Çalışma sonuçları aşağıda özetlenmiştir:

- Donatılı zeminde merkezi yüklü temelde taşıma gücünün % 50 artığı,
- Eksantrik temellerde kırılma yüzeyi (birincil) temelin eksantriste tarafında meydana geldiği,
- Kırılma yüzeyinin kum yüzey ile arakesitinin temele olan uzaklığının eksantriste arttıkça azaldığı,
- Eksantriste arttıkça taşıma gücünün azaldığı, Meyerhof Taşıma Gücü yöntemi ile uyum içinde olduğu belirtilmiştir.

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. Bu deneylerle zeminin toplam sınır taşıma gücü değerleri ölçülerek, kırılma yüzeyleri çizilmiştir. Deneysel düzenek ve deneysel çalışmanın ayrıntıları Moroğlu (2002), tarafından verilmiştir. Donatı olarak örgülü geotekstil, şerit temel altında 0.05 m. derinliğe yatay olarak yerleştirilmiştir. Deney kumu olarak seçilen yerel sahil kumu (İyidere İlçesi, Rize İli) Dr=% 74 sıkılıkta tokmaklanarak deney tankında sıkıştırılmıştır.

Yanal hareketi önlenmemiş eksantrik yüklü model şerit temelde, birincil kırılma yüzeyi eksantrisite yönünde meydana gelmiştir. Özellikle yanal hareketi önlenmiş ve birincil kırılma yüzeyinin eksantrisitenin tersi tarafta oluştuğu deneysel çalışma sonuçları ile zıtlık içinde olduğu vurgulanmıştır. Sınırlı miktar ve koşullarda yapılan bu deneylerin bulgularından şu sonuçlar sıralanabilir;

1. Örgülü bir geotekstilin, temel genişliğinin yarısı kadar bir derinliğe yerleştirildiği sıkı kuma oturan model yüzey şerit temelin taşıma gücü, donatısız duruma göre % 50 kadar artmıştır.
2. Kullanılan geotekstil, temelin yük-oturma eğrisini, oturma koşulu açısından iyileştirmiştir (donatısız durumdaki aynı oturmaya karşılık, donatılı durumda daha büyük taşıma gücü sağlayarak).
3. Kırılma yüzeylerinin zemin yüzeyi ile olan arakesitlerinin temel kenarlarına olan uzaklıkları, donatılı durumda daha büyüktür.

2.1.1.4. Geogrid Donatılar

Üretimi yeni olan, birçok ülkede olduğu gibi ülkemizde de geotekstillere kıyasla daha pahalı olan geogrid donatılar ticari olarak kolay elde edilememektedir. Geogrid ile yapılan model deneyler son yıllarda artış göstermiş olup; aşağıda bazı deneysel ve teorik çalışmalardan elde edilen sonuçlar özetlenmiştir.

Schlosser ve Long (1974) tarafından yapılan bir dizi laboratuar çalışması ile donatılı zeminler için "Psödo Kohezyon Teorisi" geliştirilmiştir. Bu araştırmacılar kum zeminlerin içerisine donatı yerleştirilmesiyle psödo kohezyona sahip kompozit bir malzeme gibi davranacağını ve kayma mukavemetlerinin artacağını vurgulamışlardır. Çalışmada sonsuz kalınlık ve genişlikte, donatılı bir temel zeminde, üniform yüklü bir şerit temelin bölgesel göçmesi analiz edilerek, zeminin nihai taşıma kapasitesinin (q);

$$\frac{K_p - 1}{K_p + 1}\psi_0 + \frac{2\pi c\sqrt{K_p}}{q(K_p + 1)} \quad \sin\psi_0 \tag{2.8}$$

eşitliğinden hesaplanması önerilmiştir. Burada K_p pasif toprak basıncını, c, psödo-kohezyon, ψ_0 ise göçmenin başladığı noktadaki açıyı göstermektedir.

$$c = \frac{R_T\sqrt{K_p}}{2\Delta H} \tag{2.9}$$

$$\psi_0 = \arccos\left(\frac{K_p - 1}{K_p + 1}\right) \tag{2.10}$$

R_T : Donatı çekme kuvveti

ΔH : Düşey donatı aralığı

Araştırmacılar eşitlik (2.8), (2.9) ve (2.10)'u süperpoze ederek, B genişliğindeki şerit bir temelin nihai taşıma kapasitesini

$$q = \frac{R_T}{\Delta H} K(\phi) \left(\frac{B}{B + 2\Delta H} \right) \tag{2.11}$$

bağıntısı ile hesaplanabileceğini önermişlerdir. Fakat $K(\phi)$ katsayısının değeri tam olarak belli olmadığından $K(\phi)$ yerine pasif toprak basıncı katsayısı (K_p) alınmış ve bu durumda nihai taşıma kapasitesinin iki kat daha büyük olabileceği ifade edilmiştir. Göçmenin donatı kopması ile başladığını ve donatı miktarı arttırıldıkça göçmenin hızlı bir şekilde oluşabileceğini savunmuşlardır.

Miyazaki ve Hirokawa (1992) tarafından yapılan çalışmada, TENSAR SS2 geogrid levhaları kum zemin içerisine donatı N=1-2 tabaka halinde yerleştirilmiştir. Araştırmacılar, B=10 cm genişliğindeki bir şerit temelin taşıma kapasitesini Terzahgi (1943) teorisini kullanarak tek tabakalı donatılı kumlar için göçme anındaki BCR oranını,

$$BCR = \frac{u}{B.\tan\phi} + 1 \tag{2.12}$$

eşitliği ile tanımlamışlardır. Burada,

u : İlk donatı tabakasının temel tabanından itibaren derinliği

B : şerit temelin genişliği

ϕ : Kumun içsel sürtünme açısını ifade etmektedir.

Guido ve diğerleri (1986), geotekstil ve geogrid donatılı kum zemin üzerine oturan temelin yük-oturma davranışını karşılaştırmalı olarak araştırmışlardır. Deneylerde TENSAR SS1 geogrid ile örgüsüz geotekstil DUPONT TYPAR 3401 donatı kullanılarak ve D_r=%55 rölatif sıkılıkta hazırlanmış kum zemin üzerine oturan (B=305 mm) kare temel ile yapılmıştır. Çalışmada hem geogrid ve hem de geotekstil donatılı kum zemin için göçme anındaki taşıma kapasitesinin donatı konfigürasyonu parametreleri ile bu parametrelerin değişiminin birbiriyle aynı olduğu belirtilmiştir. Sonuç olarak,

- Donatı yerleşim düzeni aynı iken, geogrid donatılı kumların nihai taşıma kapasitelerinin geotekstil donatılı kumlu zeminlere göre daha büyük olduğu
- Birinci donatı tabakasının derinliği (u) ve düşey donatı aralığı (z) küçüldükçe daha büyük BCR değerlerinin elde edildiği,
- N=3 ve donatı genişliği $B_R \cong 2.5B$ iken, BCR değerleri, N ve B_R değerleri ile artış göstermiştir. N>3 ve B_R>3 değerlerinde ise BCR değerinin sabit kaldığını,
- Donatı-zemin etkileşimi açısından geogrid donatılı kumlarda donatı çekme deneylerinin geotekstil donatılı kumlarda ise kesme kutusu deneyinin daha uygun olacağı görülmüştür.

Guido ve diğerleri (1987), 1986 yılında yaptıkları bir çalışmadaki yükleme, temel ve zemin şartları aynı olmak üzere, geogrid donatılı kumlu zeminlerin taşıma kapasitesini incelemişlerdir. Donatı olarak TENSAR SS1, SS2, SS3 geogridleri kullanarak donatı konfigürasyon parametrelerinin (u, N, z ve B_R) taşıma kapasitesine olan etkisini araştırmışlardır. Araştırma sonucunda geogrid donatılı kumlu zemin üzerine oturan kare temeller için zımbalama göçmesini belirleyecek şekilde yük-oturma eğrilerini elde etmişlerdir.

N=3 ve donatı genişliği (B_R)$\cong$2.5B iken taşıma kapasitesi N ve B_R değerleri ile artış göstermiştir. Ancak N>3 ve B_R>3 değerlerinde ise BCR'nin sabit değerde kaldığı gözlenmiştir. Her üç cins geogrid için, N>1 durumunda kumlu zeminde birinci donatı tabaka derinliği azaldıkça büyük BCR değerlerinin elde edilirken, SS3 tipi geogridlerde diğer iki tip geogride göre farklı u/B-BCR ilişkisi saptanmıştır. Donatı çekme mukavemetinden daha çok, grid açıklığının ve zeminin dane çapının büyüklüğünün zeminin taşıma kapasitesi açısından önemli olduğu belirtilmiştir.

Saran ve Agarwal (1991), deneysel ve teorik olarak olarak yaptıkları çalışmada eksantrik yüklü temelin taşıma kapasitesinin zeminin içsel sürtünme açısına (ϕ), e/B (eksantrisite/temel genişliği) oranına ve yükün doğrultu açısına bağlı

olarak değiştiğini göstermişlerdir. Çalışma ile teorik ve model deney sonuçlarının iyi bir uyum içerisinde olduğunu belirtmişlerdir.

Mandal ve Sah (1992), tarafından yapılan çalışmada geogrid donatılı kil zemin üzerine oturan kare temellerin taşıma kapasitesi araştırılmıştır. Kil zemine yatay olarak yerleştirilen çift yönlü geogrid donatı tabakaları ile model temelin taşıma kapasitesinin arttığı ve oturmaların azaldığı ifade edilmiştir. Model deneyler, 46x46x46 cm boyutlarında çelik tankda yapılmıştır. Temel olarak 10 cm boyutlarında ahşap malzeme ve tankın boyutları temel genişliğinin 4 katı olacak şekilde tasarlanmıştır. Drenajsız kayma mukavemeti 27 kN/m^2 olan deniz kili (LL=%72, PL=%41) deney kasasına su muhtevası ω=%28 olacak şekilde tabakalar halinde sıkıştırılarak yerleştirilmiştir. Sonuçlardan elde edilen değerlere göre yük-oturma eğrileri karşılaştırıldığında geogrid donatılı zeminlerde oturma miktarının azaldığı ve taşıma gücünün arttığı belirtilmiştir. Kil zeminlerde taşıma kapasitesinin u=0.175B değer olduğu belirtilmiştir.

Khing ve diğerleri (1992), geogrid ile güçlendirilmiş kum zemine oturan iki şerit temelin taşıma kapasitesini araştırmışlardır. Genişliği 10 cm olacak şekilde birbirine yakın olan şerit temeller ve iki eksende yerleştirilmiş polimer geogrid donatılar kullanılmıştır. Donatılı ve donatısız kumlu zeminlerde temel merkezleri arasındaki mesafeyi S=1.5B ve S=3.5B aralığında değiştirilerek bir tesir katsayısı belirlemişlerdir.

$$\eta=\frac{q_u'}{q_u} \tag{2.13}$$

bağıntıda,

η : Grup tesir katsayısını
q_u' : İki temelin birlikte oturması durumunda temelin nihai taşıma gücünü
q_u : Tek temelin oturması durumunda temelin nihai taşıma gücünü

göstermektedir.

Değişik donatılı tabaka sayısına göre (N=1-6) grup tesir katsayısı donatısız kumlarda benzerlik gösterirken, donatılı kumlarda taşıma kapasitesinde lineer bir azalmanın gözlendiği belirlenmiştir.

Takemura ve diğerleri (1992), geogrid-donatılı kum üzerine oturan bir şerit temelin nihai taşıma kapasitesini belirlemek amacıyla yüzeysel temel üzerinde model deneyler yapılmışlardır. Model deneylere dayanarak, yük şiddeti uç noktaya ulaşmadan hemen önce, temelin altında rijit bir zemin bloğunun oluştuğu ve bu bloğun bir gömülü temelmiş gibi davranış gösterdiği sonucuna varmışlardır.

Khing ve diğerleri (1993), donatı konfigürasyonu parametrelerinin (u, N ve B_R) geogrid donatılı $D_r \cong$%70 rölatif sıkılıkta hazırlanmış iyi derecelenmiş ince daneli kum üzerine oturan (101.6x30,48x2.54cm) boyutlarında şerit bir temelin taşıma kapasitesi araştırmışlardır. Araştırmacılar, donatılı zeminin nihai taşıma gücünü ve göçme anındaki oturmayı analiz ederek, aşağıda özellikleri kısaca tanımlanan deneylerde değiştirilen parametrelerin BCR'ye olan etkilerini irdelemişlerdir:

İlk donatı tabakası derinliği değişiminin (u/B)'nin BCR'ye etkisi: İlk donatının derinliği değiştirilirken, donatı tabaka sayısı N=6, donatılar arasındaki düşey mesafe (h=0.375B), donatı boyu (b=10.75B) değerleri sabit tutulmuştur. Çeşitli yük kademeleri ile bu kademelerde meydana gelen oturmalar ve de u/B-BCR arasındaki ilişki belirlenmiştir.

Donatı tabaka sayısı (N) değişiminin BCR'ye etkisi: u=0.375B, h=0.375B, b=10.75B değerleri sabit tutularak, N artıkça, BCR_U ve BCR_S değerlerinin büyüdüğü, d/B=2.25 olduğunda; (N=6), BCR_U ve BCR_S değerlerinin sabit kaldığı ifade edilmiştir. N'nin bütün değerleri için; $BCR_S \cong (0.67\text{-}0.70)\ BCR_U$ şeklinde bir eşitliğin ortaya çıktığı belirtilmiştir.

Donatı boyu değişiminin (b/B) BCR'ye etkisi: b/B oranı değiştirilirken u/B=0.375, h/B=0.375, N=6 değerleri sabit tutulmuştur. Nihai yükte elde edilen

taşıma gücü oranı (BCR_U) ile belli bir oturma oranına karşılık gelen yükteki taşıma gücü oranı (BCR_S) arasında bir bağıntı elde edilmeye çalışılmıştır.

Khing ve diğerleri (1993), yaptıkları deneylerde, donatı konfigürasyonu parametrelerinin (u, N ve B_R) geogrid ile güçlendirilmiş %70 sıkılıkta olan iyi derecelenmiş kum zeminler üzerine oturan, eksantrik şerit temelin nihai taşıma gücüne olan etkisini araştırmışlardır. İlk donatının derinliği değiştirilirken, donatı tabaka sayısı N=6, donatılar arasındaki düşey mesafe (h/B=0.375), donatı boyu (b/B=10.75) değerleri sabit tutulmuştur. Çeşitli yük kademeleri ile bu kademelerde meydana gelen oturmalar ve de u/B-BCR arasındaki ilişki belirlenmiştir.

Al-Mosawe ve Al-Dobaissi (1992), dinamik yükler altında donatılı kum zemin üzerine oturan B=60 mm. genişliğindeki şerit temelin taşıma kapasitesini incelemişlerdir. Deneylerde polimer Netlon 111–121 levhaları ve TENSAR SS1, SS2, SS3 geogridler kullanılmıştır. Donatılı ve donatısız olarak yapılan deneyleri karşılaştırmak amacıyla donatı etki sayısını (η), şu şekilde tanımlamışlardır.

$$\eta=\frac{S_o}{S} \tag{2.14}$$

bağıntısı ile vermişlerdir.

S_0, S: donatısız ve donatılı kumun yük-oturma eğrisinde belli bir düşey gerilmeye karşılık gelen oturma miktarını tanımlamaktadır.

- TENSAR SS3 geogrid dışındaki diğer donatı malzemelerinde (η)'nin maksimum olduğu bir optimum değer ile ilk donatı tabakasının temel tabanından olan uzaklık değeri (u) saptanmıştır.
- Donatılı kumlu zeminlerde N=1 ve N>1 olduğu durumlarda donatı tabaka sayısından bağımsız u=B/2 değeri bulunmuştur.
- Kullanılan donatılı levhalar içinde N=3 değerine kadar (η) donatı tabaka sayısı artmış, fakat N>3 değerinde ise (η) değerinin değişmediği belirtilmiştir.

Omar ve diğerleri (1993), gerçekleştirdikleri model deneylerde TENSAR BX1000 (SSO) çift eksenli geogrid donatı ile güçlendirilmiş kum zemin üzerine oturan temelin taşıma kapasitesi açısından efektif donatı yerleşim düzenini ve kritik donatı derinliğini belirlemişlerdir. D_r=%70 sıkılıkta üniform kum zemin yüzeyine oturan şerit (BxL=7.62x30.48 cm) ve kare (B=7.62 cm) temellerin BCR değerlerini araştırmışlardır. Deneylerde alüminyum plaka şeklinde kullanılan B/L=0 (şerit), B/L=0, 0.3, 0.5 ve 1.0 arasında değiştirilmiştir.

Omar ve diğerleri (1993a), geogrid donatılı kum zemin üzerine oturan dikdörtgen temelin taşıma kapasitesinin efektif toplam donatı zon derinliği ve temelin donatı boyutu (B/L) oranı için yarı ampirik bağıntılar önermişlerdir.

$$\frac{D_R}{B} = 2 - 1.4(\frac{B}{L}).....(0 \le \frac{B}{L} \le 0.5) \quad (2.15)$$

$$\frac{D_R}{B} = 1.43 - 0.26(\frac{B}{L}).....(0.5 \le \frac{B}{L} \le 1) \quad (2.16)$$

Omar ve diğerleri (1993b), daha önce yaptıkları bir çalışmanın devamı olan geogrid donatılı kum zemin üzerine oturan dikdörtgen temellerin taşıma gücünü araştırmışlardır.

Model plak genişliği B=76 mm sabit olmak üzere diğer uzunlukları değiştirerek (B/L=0,00 0.33, 0.50, 1.00) dikdörtgen temelde, kumun birim hacim ağırlığı, içsel sürtünme açısı ve donatı tipi sabit tutularak geogrid donatılı kumun taşıma kapasitesinin bağlı olduğu parametreler incelenmiştir. Bir önceki çalışma da göz önüne alınarak B/L oranı azaldıkça kritik toplam donatı derinliğinin $(d/B)_{cr}$ arttığı belirtilmiştir.

Das ve Omar (1994) tarafından yapılan çalışmada geogrid donatılı kum zeminler üzerine oturan şerit temellerin, taşıma kapasitesi araştırılmıştır. Deneylerde TENSAR BX1000 (SSO) çift eksenli geogrid ve üniform derecelenmiş ince daneli

kum kullanılmıştır. Temel genişliği ve kumun sıkılığı değiştirilerek, bu değişikliklerin taşıma gücü oranını nasıl değiştirdiği saptanmaya çalışılmıştır.

Uzunlukları sabit L=30.48 cm, genişlikleri farklı, 6 adet model şerit temel kullanılmıştır. Temel genişlikleri (5.08cm, 7.62cm, 10.16cm, 12.7cm, 15.24cm)'dir. Toplam 42 adet deneyin 21 tanesi donatılı zemin, 21 tanesi de donatısız zeminler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Kum zemin D_r=(%55, %65, %75) sıkılık oranlarında yağmurlama tekniği ile tank içerisinde sıkıştırılmıştır.

Donatılı zeminler üzerinde yapılan tüm deneylerde boyutsuz parametreler; u/B=h/B=l/3, b/B=8 ve d/B=2 olarak alınmıştır. b/B=8 ve d/B=2 değerleri, Omar ve diğerlerinin (1993a) daha önce yaptıkları deneylerden elde ettikleri kritik değerler olduğu için bu şekilde seçildiği, özellikle belirtilmiştir. Aşağıda deney sonuçları özetlenmiştir:

- Donatılı ve donatısız zeminlerde tüm sıkılık oranlarında, nihai taşıma gücü ile temel genişliği arasındaki bağıntının, doğrusal olmadığı belirtilmiştir.
- Kum zeminlerde, tüm sıkılık oranlarında, B değeri arttıkça BCR değerinin azaldığı gözlenmiştir.
- Tüm sıkılık oranlarındaki değerlerde; temel çapı 13-l4 cm'den daha fazla olan temellerde BCR değerinin, yaklaşık olarak sabit hale geldiği görülmüştür.

Das ve diğerleri (1994), gerçekleştirdikleri çalışmada geogrid donatılı kum ve doygun kil zemin üzerine oturan şerit temelin taşıma gücü ve oturması üzerine çalışmışlardır. Çalışmada basit bir temel üzerinde optimum derinlik, geogrid tabakasının genişliği ve ilk donatı tabakası derinliğini belirlemişlerdir. Deneysel çalışmanın sonucunda;

- Donatılı zemin derinliği kumlarda 2B, killerde ise 1.75B değerinde iken taşıma gücünün maksimum değerde olduğunu,

- Donatılı zemin kullanılarak maksimum taşıma gücüne ulaşılması için ilk geogrid tabakasının 0.3B~0.4B derinliklere yerleştirilmesinin gerektiğini,
- Suya doygun killerde şerit temelin oturması donatılı ve donatısız olarak yapılan laboratuar deneylerinde aynı olduğunu, kumlu zeminlerde yük arttırıldıkça zeminin taşıma gücünün arttığını,
- Maksimum taşıma gücünün kum-geogrid sisteminde daha yüksek buna karşılık kil-geogrid sisteminde ise daha küçük olduğu bildirilmiştir.

Yetimoğlu (1994), geogrid-donatılı kum zemin üzerine oturan temellerin, laboratuarda bir dizi model deneylerle ve sonlu elemanlar analizi yaparak taşıma kapasitesini araştırmıştır. Model deneylerde dikdörtgen bir plak ile donatı konfigrasyonu olarak u, z, N ve B_R parametreleri esas alınmıştır. Sonlu elemanlar analizinde eksenel simetri geometri koşullarında, donatı konfigrasyonuna ilave olarak donatı rijitliğinin taşıma kapasitesine olan etkisi araştırılmıştır. Teorik ve deneysel çalışmaların sonucunda:

- Sonlu elemanlar analizi ile deneysel sonuçlar karşılaştırıldığında donatılı zeminlerin taşıma kapasitelerinde benzer sonuçların elde edildiğini vurgulamıştır.
- Birinci donatı tabakası derinliğinin (u) taşıma kapasitesine olan etkisi, donatı tabakası sayısının N=1 ve N>1 olduğu durumlarda, donatılı zeminin taşıma kapasitelerinin birbirinden farklı olduğu belirtilmiştir.
- Geogrid donatının kumun içerisinde belli derinliklere yerleştirilmesi durumunda, nihai taşıma kapasitesinde dört kata varan artışların olduğu belirtilmiştir.
- Deneysel çalışmalarda, donatılı ve donatısız kum zemin üzerine oturan temellerin göçme anındaki oturma değerlerinin birbirinden farklı olmadığı,
- Yatay olarak yerleştirilmiş donatılar arasındaki düşey uzaklığın (z), optimum değer $(z/B)_{opt}=0.15$ olduğunda taşıma kapasitesinin en büyük değerde olduğu belirtilmiştir.

Yetimoğlu ve diğerleri (1994), tek eksenli geogrid donatılı kum zemin üzerine oturan dikdörtgen temellerin taşıma kapasitesini araştırmışlardır. Ayrıca donatının yerleşim şekli ve donatı rijitliği parametrelerini esas alarak sonlu elemanlar analizi yapmışlardır. Deneylerde iyi derecelenmiş Yalıköy kumu %70 sıkılık derecesinde vibrasyonla model tankın içerinde sıkıştırılmıştır. Çelik dikdörtgen temel (101.50x127x12.50mm) boyutlarında olup, donatı olarak TERRAGRİD GS1000 kullanılmıştır. Deneylerde aşağıdaki parametreler esas çalışma yürütülmüştür.

- Donatı rijitliği
- Donatı tabaka sayısının etkisi
- Donatı tabakaları arasındaki düşey uzaklığın etkisi,
- Donatı tabakasının boyut etkisi
- İlk donatının derinlik etkisi

Çalışmada sonlu elemanlar analizi ve model deneylerden elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir. Buna göre,

- Donatılı zeminlerde yapılan deneylerde, göçme anındaki oturmaların daha fazla olduğu,
- Donatılı zeminin nihai taşıma gücü donatısız zemine göre dört kat daha fazla olduğu,
- Yükün belli bir değere ulaşmasından sonra donatı rijitliğinin arttığı ve taşıma kapasitesindeki artışın fazla olmadığı,
- Donatılı zemin üzerine oturan dikdörtgen temelin donatı konfigürasyonuna göre taşıma kapasitesinin arttığı,
- Tek tabakalı donatılı kumlu zeminlerde ilk donatı tabakası derinliğinin u=0.3B değerinde maksimum taşıma kapasitesine ulaştığı,
- Çok tabakalı donatılı kumlu zeminlerde ilk donatı tabakası derinliğinin u=0.3B değerinde maksimum taşıma kapasitesine ulaştığı ve donatılar arası düşey aralığın z=0.20B~0.40B arasında değiştiği,
- Deney ve analiz sonuçlarında donatı boyu arttırıldığında BCR değerinde az bir artış gözlendiği,

- Donatı boyu 4.5B'yi geçerse BCR değerinin sabit kaldığı,
- Donatılı kum zeminin BCR değerinin belirli bir efektif bölge içerisindeki donatı tabaka genişliğine ve donatı tabaka sayısına bağlı olarak arttığı sonucuna varılmıştır.

Wasti ve Bütün (1996), laboratuarda yaptıkları bir dizi model deneylerle donatısız ve donatılı kum zemin üzerine oturan şerit temelin taşıma gücü kapasitesini incelemişlerdir. Donatı malzemesi kum zemin içerisine parçacıklar halinde rastgele yerleştirilmiştir. Araştırmacılar sonuç olarak kullanılan donatılı zeminin taşıma gücünün arttığını belirtmişlerdir.

Adams ve Collin (1997), yaptıkları 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. Donatı parametreleri olarak donatılar arası düşey aralık, donatı tabakasının boyutu, donatı tabaka sayısı, zemininin sıkılık derecesi seçilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- N=1-3 arasında seçilmiş olup, N=3 durumunda en büyük taşıma kapasitesi değerine ulaşıldığı,
- N=3 iken BCR=1.60-2.50 değeri elde edilmiş, fakat zeminde iyileştirmenin sadece tabaka sayısına göre değil toplam donatı derinliği ve donatılar arası düşey mesafeye göre değişeceği,
- Göçme oluştuğu anda donatı derinliği 0.40B'den küçük olduğu durumlarda göçmenin zımbalama şeklinde olduğunu,
- İlk donatı derinliği 0.5B'den küçük ise, s/B=%0.50, %1, %3 değerlerinde maksimum BCR değeri 2.60'dan büyük olduğu belirtilmiştir.

Çelik (1997), geogrid donatılı zemin üzerine oturan yüzeysel şerit temellerin taşıma kapasitesini incelemiştir. Deneylerde FORTAC geogridleri ile Trabzon ili, Of ilçesinden getirilen sahil kumu kullanılmıştır. Deneylerde düzlem deformasyon

koşullarına uygun olarak ön ve arka yüzeyleri cam malzemeden yapılmış çelik tank kasası (B=35 mm, 50 mm, ve 70 mm) kullanılmıştır.

Tan ve Çelik (1997), 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. Taşıma gücü deneyleri için model tank (70x10x40 cm) ön ve arka yüzleri 8 mm kalınlığında cam plakalardan oluşturulmuştur. Deneyler sonucunda B=35, ve B=50 mm için optimum derinlik oranının yaklaşık u=0.5B olduğu her iki temel genişliği için sınır taşıma gücünü veren matematik modeller geliştirilmiştir.

B=35 mm için

$$q_{sınır}=-1252.5u^2+1212.50u+120.75 \quad (2.17)$$

B=50 mm için

$$q_{sınır}=-1238.3u^2+1238.8u+175.40 \quad (2.18)$$

3 tabakalı geogrid kullanılması durumunda kumlu zeminlerin sınır taşıma gücünün donatısız zeminlere göre oldukça önemli oranlarda (B=3.5 cm'lik şerit temel için 5.1 kat, B=5 cm'lik şerit temel için 3,6 kat) arttığı belirlenmiştir. 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.

Shin ve Das (2000), tarafından yapılan çalışmada, geogridle güçlendirilmiş kum zemin üzerindeki şerit temelin taşıma kapasitesi incelenmiştir. Çok tabakalı geogrid donatılı orta sıkılıkta sıkıştırılmış kum zemin üzerine oturan şerit temelin değişik derinlikteki ve yüzey temel koşulları göz önünde tutularak BCR değerleri araştırılmıştır. Temel derinliği temel genişliğinden daha küçük tutulmuştur. Deney sonucunda ilk donatı tabakası derinliğinin u=0.3B değerinde maksimum taşıma kapasitesine ulaşıldığı belirtmişlerdir.

Alawaji (2001), kumlu ve yumuşak zeminler üzerine oturan (D=100 mm) dairesel temelin taşıma kapasitesi araştırılmıştır. Deneyler 450 mm çapında, 350 mm yüksekliğinde dairesel çelik tank içinde, % 80'i yumuşak, % 20'si kum zemin ve TENSAR SS2 geogrid donatı malzeme olarak kullanılmıştır. Çalışmada oturma miktarı, 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 modulünde % 2000 artış ve taşıma kapasitesinde % 320 artış görülmüştür. Yumuşak zemin üzerinde bulunan kumlu zemin tabakasında ise, donatının efektif ve ekonomikliğini sağlamak için, donatı genişliğinin yüklü bölgenin 4 katı (4D), donatı derinliğinin ise 0.1D olması gerektiğini belirtmiştir.

Arslan (2001), tarafından donatılı ve donatısız zeminlerde dairesel temel seçilerek deneyler yapılmıştır. ANSYS programı ile sonlu eleman ağının oluşturulmasında dairesel temel, bir kare temele dönüştürülerek çözümlere gidilmiştir. Çalışmada aşağıdaki şu özellikler incelenmiştir.

- Farklı yükleme koşullarındaki (tekil, yayılı ve düğüm noktalarına etkimesi durumu) sınır etkisi,
- Model uzunluğunun sınır etkisi,
- Model genişliğinin sınır etkisi,
- Kasa derinliğinin sınır etkisi,
- Farklı derinliklerde (B, 2B ve 3B) temel merkezinin altındaki oturma değerleri ve taşıma kapasitesi.

Araştırmacının elde ettiği sonuçlar özetlenirse:

- Laboratuar ve paket programlar karşılaştırıldığında donatı konfigürasyonu parametrelerinin (u, z, N ve B_R) temellerin taşıma kapasitesini doğrudan etkilediğini,

- Birinci donatı tabakası derinliğinin (u), taşıma kapasitesine olan etkisinin donatı tabaka sayısının N=1 ve N>1 olduğu durumlarda farklı olduğu,
- Donatısız zeminde N=1 olması durumunda taşıma kapasitesinin maksimuma eriştiğini,
- Donatısız zeminde donatı tabaka derinliği u_{opt}=0.3B olarak bulunmuştur.

Atalar ve diğerleri (2002), geogrid takviyeli ayrık daneli zemin üzerine yerleştirilen düzenli yüklü dairesel plaklarla iletilen gerilmeyi ölçmek için okyanustan kazanılmış arazi üzerinde (Güney Kore'deki Inchon Uluslararası Havalimanı İnşaatı) yükleme deneyleri yapmışlardır. Çalışmada gerilme dağılımı, temel üzerindeki yükün büyüklüğü, takviye için kullanılan geogrid donatı levhalarının sayısı ve geogrid takviyeli zeminin kalınlığı araştırılmıştır.

Yıldız (2002), geogrid donatılı kum zeminlere oturan kare dairesel ve ring temellerin taşıma kapasitesini model deneylerle araştırmıştır. Bu deneysel çalışmada elde edilen sonuçlar ayrıca, literatürde yayınlanmış deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Temel olarak kare, daire ve halka şeklinde plakalar ve donatı olarak da tek eksenli TERRAGRİD GS 1000 geogrid kullanılmıştır. Kullanılan kum, üniform derecelenmiş Seyhan kumu olup, kasa içerisine titreşim cihazı kullanılarak yerleştirilmiştir. Deneylerde zemin içerisine yerleştirilen; farklı boyut, miktar ve yerleşim düzenindeki geogrid donatılı tabakaların taşıma kapasitesine olan etkisi araştırılmıştır.

Donatılı zemin uygulamalarında kohezyonsuz zeminler, kohezyonlu zeminlere göre daha efektif çalıştığı için tercih edilmiştir. Ayrıca donatılı kum zeminlere oturan temellerin PLAXIS 7.2 bilgisayar yazılımı kullanılarak 2 boyutlu ve eksenel, simetrik koşullarda sayısal çözümü yapılmış ve elde edilen sonuçlar teorik deney sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Araştırmacının kare temeller üzerinde yaptığı çalışmaya ait sonuçlar özetlenmiştir.

Donatısız deneylerde rölatif sıkılığı % 65±3 sıkıştırılan kum zemin üzerinde (7.5x7.5x2 cm) rijit çelik plakalar kullanılmıştır. Göçme tipinin, genel kayma göçmesi şeklinde olduğu ifade edilmiştir.

Donatılı Deneylerde ilk donatı tabakası derinliği (u), donatı tabaka sayısı (N), donatı tabaka boyu, (B_R) değişiminin taşıma kapasitesine olan etkisi aşağıda özetlenmiştir.

- u/B oranı azaldıkça donatılı zeminin taşıma kapasitesinin arttığı,
- u/B<1 iken taşıma kapasitesinde artışın başladığı,
- u/B<0.60 olduğunda ise artışın hızlandığı,
- u=0.40B değerinde artışın maksimum değere ulaştığı belirtilmiştir.
- u/B<0.30 değerinde zeminde meydana gelen göçmenin zımbalama kayma göçmesi şeklinde gerçekleştiği,
- u/B=0.30 olduğunda ise genel kayma göçmesinin meydana geldiği ifade edilmiştir.
- Donatı tabaka sayısı arttıkça, donatılı zeminlerin taşıma kapasitesinin de arttığı belirtilmiştir.
- Donatı tabaka sayısı N=4'de optimum değer olduğu ifade edilmiştir.
- Bu durumda, efektif donatı derinliği d≅1.5B olduğu ve optimum donatı tabaka sayısının taşıma gücünü üç kat artırdığı vurgulanmıştır.
- Donatı tabaka boyu, B_R=4B değerinde optimum olduğu belirtilmiştir.
- B_R>4B'den taşıma kapasitesindeki artış hızının düştüğü belirtilmiştir.

Laman ve Yıldız (2003), geogrid donatılı kum zeminler üzerine dairesel temellerin, donatı konfigürasyonu olarak; ilk donatının temel tabanından olan uzaklığı, dairesel temelin genişlik oranı, donatı tabaka sayısı ve donatı boyu göz önüne alınarak laboratuarda model deneyler yapılarak taşıma kapasitesi araştırılmıştır. Araştırmada Vateks tarafından üretilen TERRAGRİD GS100 geogrid donatı ile Çukurova bölgesi Seyhan nehri yatağından getirilen kum numuneler kullanılmıştır. Model tank 700 mm uzunluğunda x 700 mm genişliğinde, 700 mm yüksekliğinde kare kesitli tank olarak teşkil edilmiştir. Model temel olarak boyutları

20 mm ile 85 mm olan dairesel temel seçilmiştir. Çalışmanın sonucunda donatı malzemesinin temel tipine göre değiştiği, fakat boyut ve ölçek etkilerinin araştırmaya dahil edilmediği vurgulanmıştır.

Laman ve Yıldız (2004 ve 2007), çalışmalarında donatısız ve donatılı kumlu zeminler üzerine oturan dairesel temellerin taşıma kapasitesini deneysel olarak araştırmışlardır. Donatı yerleşim düzenine bağlı olarak dairesel temellerin taşım a kapasitesinde, donatısız zeminin taşıma kapasitesine göre yaklaşık üç kat artış gösterdiğini belirlemişlerdir. Donatılı ve donatısız kumlu zeminde, optimum genişlikteki bir dairesel temel ile aynı çaptaki dairesel temelin taşıma kapasiteleri birbirine yakın çıkmıştır. Geogrid donatılı zeminde iyileştirme sonucunda donatısız zemine göre daha az oturmanın olduğu belirtilmiştir. Efektif bölgenin derinliği temel tabanından itibaren yaklaşık 1.20D genişliği ise 3D ve ilk donatı tabakasının derinliğinin (u=0.30D), donatı tabaka sayısının (N=4) ve donatı tabaka boyunun (B_R=3D) olduğu belirtilmiştir.

Babacan (2004), model deneylerle geogrid donatılı ve donatısız kumlu zeminler üzerine oturan yüzeysel temellerin taşıma kapasitesi (BCR) incelenmiştir.. Donatı malzemesi olarak TENSAR tarafından üretilmiş olan çift yönlü (TENSAR SS20) geogrid kullanılmış ve model temel olarak beş farklı tipte dairesel temel seçilmiştir. Deneyler kare kesitli 700x700 mm çelik tank içerisine malzemenin tabakalar halinde serilerek sıkıştırılmasıyla yapılmıştır. Araştırmacı, donatı konfigürasyonuna ve kum zeminin fiziksel özelliklerine ilşkin verileri Yıldız (2002)'den almıştır. Sonuçta bu değerler birbirleriyle karşılaştırılmış, her iki durumda da optimum temel yarı çap oranları bulunmuştur.

Donatısız zeminlerde göçme türü genel kayma göçmesi şeklinde gerçekleşmiştir. Donatılı zeminlerde, r/R=0, r/R=0.18 olan dairesel temellerde göçme zımbalama kayma göçmesi şeklinde, diğer temellerde ise, genel kayma göçmesi şeklinde oluşmuştur. Ayrıca donatılı deneylerde donatı sıyrılması veya kopması gözlenmemiştir.

Deneysel çalışma sonucu bulunan göçme yükleri ile PLAXIS bilgisayar programı sonucu bulunan göçme yükleri karşılaştırıldığında, göçme yükü değerleri ve dolayısıyla BCR değerleri r/R'nin küçük değerleri için $(r/R)_{opt}$=0.29'a kadar) uyumlu olduğu ancak, daha büyük değerler için farklı sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

Laman ve Babacan (2004), yaptıkları deneylerde farklı çaplarda model halka temeller ile çift yönlü geogrid donatılar kullanmışlardır. PLAXİS V.7.2 bilgisayar yazılımı kullanılarak halkı temeller; sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edilmiştir. Deney ve analiz sonuçlarından, donatılı ve donatısız durumda halka temellere ait nihai taşıma kapasiteleri belirlenmiştir. Araştırmacılar donatı konfigürasyonu ve kum zeminin fiziksel özelliklerine ait verileri Babacan (2004)'den almışlardır.

Deneysel çalışma sonucunda, optimum (r/R)=0.29, teorik çalışma sonucunda ise optimum (r/R)=0.41 olarak hesplanmıştır.. Zemin içerisine yerleştirilen donatıdan dolayı zeminin taşıma gücündeki artış değeri BCR=3.02 olarak bulunmuştur. Analizler sonucunda ise; zemin içerisine yerleştirilen donatıdan dolayı zeminin taşıma gücündeki artış değeri BCR=3.20 olarak belirtilmiştir.

Atalar ve diğerleri (2004), Patra ve diğerleri (2005), geogrid donatılı kumlu zeminler üzerine oturan şerit temellerin taşıma kapasitesini araştırmışlardır. Model deney tankı 0.8 m x 0.365 m x 0.7 m boyutlarında yumuşak çelikten yapılmıştır. Deneyde içsel sürtünme açısı 41° ve rölatif sıkılığı %71 olan doğal kum kullanılmıştır. 3 seri deney gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda sadece temelin yüzeyden itibaren belirli mesafelere gömülerek diğer parametreler sabit olacak şekilde BCR değerleri hesaplanmıştır. Gömülme arttıkça (D_f/B=0-1 arasında) BCR değerinin de arttığı görülmüştür.

Patra ve diğerleri (2005), çok tabakalı geogridle güçlendirilmiş orta sıkılıktaki kum zemin üzerinde, eksantrik yüklü şerit temelin değişik derinlikte ve yüzey temel koşullarındaki durumu dikkate alınarak zeminin taşıma kapasitesini

incelemişlerdir. Model deney tankı 0.8 m x 0.365 m x 0.7 m ölçülerinde yumuşak çelikten yapılmıştır. Deneyde içsel sürtünme açısı 42.4° ve rölatif sıkılığı %71 olan doğal kum ile tekyönlü TENSAR BX1100 geogrid donatı kullanılmıştır. Donatılı zeminler üzerinde yapılan tüm deneylerde boyutsuz parametreler; u/B=0.35 h/B=0.25, b/B=5 ve e/B=0.1 olarak alınmıştır.

Laman ve diğerleri (2006), tarafından yapılan çalışmada geogrid donatılı kum üzerine oturan dairsel temellerin taşıma kapasitesi sonlu elemanlar analizi ve PLAXIS bilgisayar programı kullanılarak yapılmıştır. Analizlerde donatı konfigürasyonu (u, h, N ve B_R) parametreleri seçilerek donatıdan dolayı taşıma kapasitesinde meydana gelen artışlar, taşıma kapasitesi oranı BCR terimi ile ifade edilmiştir. Bu terim,

$$BCR=\frac{q_D}{q_0} \tag{2.19}$$

bağıntısı ile formüle edilmiştir. Bağıntıda

q_D: Donatılı durumdaki taban basıncını ve

q_0: Donatısız durumdaki taban basıncını göstermektedir.

Donatı yerleşim düzeni ve boyutlandırma ile ilgili olarak:

- İlk donatı tabakası 0.30D mesafede,
- Donatı tabakası arasındaki düşey mesafe ise 0.20D-0.30D arasında,
- Donatı tabaka sayısının N=4,
- Donatı uzunluğunun B_R=3B,

seçilmesi durumunda BCR değerinin donatılı zeminlerde 3.5 kat daha artış gösterdiği belirtmiştir.

Kumar ve diğerleri (2007), tarafından yapılan çalışmada düşük taşıma kapasitesine sahip bir kum dolgu üzerinde güçlü bir kum tabakasından oluşan

(donatılı/donatısız) temel zemini üzerinde inşa edilmiş şerit temellerin nihai taşıma kapasitesi incelenmiştir. Model deneylerden elde edilen sonuçlara dayanarak analiz edilen üç temel problem şunlardır:

1. Tabakalı temel zemininin temelin taşıma kapasitesi üzerindeki etkisi;
2. Üst tabakayı yatay geogrid donatı tabakalarıyla takviye edilmesi durumunda taşıma kapasitesi üzerindeki etkisi;
3. Tabakalı temel zemininin (donatılı ve donatısız) takviye edilmesi durumunda temelin oturması üzerindeki etkisi.

2.1.2. Donatıların Zemin İçerisinde Düşey Yerleştirilmesi

Verma ve Char (1988), kum zemin üzerine oturan 10 cm genişliğindeki şerit temelde yapılan model deneylerde düşey olarak yerleştirilen donatıların taşıma kapasitelerini araştırmışlardır. Donatıda 1.7-2.51 mm çapındaki galvanizli çelikler kullanılmıştır. Donatılı zeminin donatısız zemine göre üç kat daha fazla nihai taşıma gücüne sahip olduğunu ve de donatılı zeminde pekleşmeyi yansıtan yük-oturma eğrileri elde edildiğini belirtmişlerdir.

Araştırmacılar deneysel sonuçlara göre taşıma kapasitesinde gözlenen artışın nedenini, donatıların kazıklı temel gibi etkimesini, sürşarj yükünü arttırmasını ve psödo (görünür) kohezyon'dan oluştuğunu savunmuşlardır. Donatılı zeminin taşıma kapasitesinin, Terzaghi (1943) formülünden hesaplanabileceğini ileri sürmüşlerdir.

Verma ve Jha (1992), araştırmacılar kumlu zemin üzerine oturan (B=10 cm) kare temelin, taşıma kapasitesini incelemilerdir. D=1.7 mm çapındaki galvanizli çelik çubukların %71 sıkılıkta, zemin içerine donatı boyu sabit tutularak düşey yerleştirilmesi durumunda, mevcut yapı temellerinin taşıma gücünün arttırılması için model deneylerin yapıldığı belirtilmiştir.

2.1.3. Donatıların Zemin İçerisinde Eğimli Yerleştirilmesi

Bassett ve Last (1978), yaptıkları çalışmada üst yapı yüklerinden dolayı temel zemininde oluşacak asal çekme birim deformasyonlarını teorik analizle hesaplamışlardır. Deneyler, B=10 cm genişliğinde L=20 cm uzunluğunda şerit temel plak, orta ve gevşek sıkılıktaki kum zemin üzerinde, donatı olarak çelik çubuklar ve pipet (içecek kamışı) modellenmiştir. Donatılı zeminin nihai taşıma kapasitesi ve gerekse yük-oturma eğrisinin rijitliği donatısız kumlara oranla iki kat daha büyük olmuştur.

2.2. Kohezyonlu Zeminlerde Yapılan Çalışmalar

Kohezyonlu zeminlerde temel zeminin derin ve homojen olması, temel zemini üzerinde sınırlı kalınlığa sahip kum tabakasının bulunması durumuna göre iki şekilde çalışmalar yapılmıştır.

Giroud ve Nioray (1981), kohezyonlu zemin üzerinde geotekstil donatılı kaplamasız yolların tasarımı için dolgu-kil arasına geotekstil yerleştirilmesi durumunda taşıma kapasitesinin arttığı ve bu durumda gerekli dolgu hacminin %20-%60 arasında azabileceğini belirtmişlerdir.

Ingold ve Miller (1982), geogrid donatılı kil zemin üzerine oturan, B=5 cm genişliğindeki şerit plak temelin taşıma kapasitesini araştırmışlardır. Londra kili ve donatı konfigürasyonu olarak (u, z ve N) parametreleri esas alınmıştır. Düşey donatı aralığının (z) artması sonucunda kil zeminin taşıma kapasitesinin azaldığı ve büyük oturma seviyelerinde (s/B=%10, 20), u/B'nin artmasıyla BCR değerinin azaldığı, küçük oturma seviyelerinde ise (s/B=%5) BCR'nin maksimum değere ulaştığı ve u/B değerinin de yaklaşık 0.45 olduğu belirtilmiştir.

Milligan ve Love (1984), suya doygun kil zemin üzerine inşa edilen sınırlı kalınlıktaki dolgu zeminin içine yerleştirilen, TENSAR SS tipi geogridle güçlendirilmiş zeminin taşıma kapasitesini araştırmışlardır. Deneylerde dolgu tabakasının kalınlığı (H), killi zeminin drenajsız kayma mukavemeti (c_u), donatı tabaka sayısı (N=1), alınarak, deneyler B=75 mm genişliğindeki şerit temel üzerinde yapılmıştır. Araştırmacılar:

- Dolgu kalınlığının arttırılması yerine dolgu ile kil zemin arasına geogrid yerleştirilmesi halinde BCR değerinin optimum olduğunu
- Donatılı zeminin nihai taşıma kapasitesinin donatısız zemine göre % 40 fazla olduğunu,
- Donatılı ve donatısız zeminde yük-oturma eğrilerinin birbirine yakın olduğunu,
- Donatılı ile güçlendirilmiş kil zeminin oturmasının, donatısız kil zeminden daha büyük olduğunu belirtmişlerdir.

Dembicki ve diğerleri (1986), araştırmacılar sıkı kum-geotekstil-yumuşak kil arasındaki çok tabakalı zeminin eksenel, eksantrik ve eğik yükler altında yük-oturma davranışını incelemişlerdir. Kalınlıkları ve çekme mukavemetleri değişik olan (dokusuz iğneli geotekstiller ve multi filament geotekstillerle) geotekstil levhaları donatı olarak kullanmak suretiyle, zemin yüzeyine oturan (B=20 cm) şerit temel üzerinde model deneyler yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre,

- Donatı derinliğinin u/B=1.0'de s/B=%5 oturma olduğu zaman taşıma kapasitesinin en büyük değere sahip olduğu görülmüştür
- Donatı boyunun L_R=5B'den, L_R=13B'ye çıkarılması halinde BCR=1.10 değerinden BCR=1.30'a yükseldiği belirtilmiştir.
- Donatı boyunun (L_R)'nin BCR'yi etkilemediği savunulmuştur.

Dawson ve Lee (1988), arazi yükleme deneyleri ile kil donatılı zeminler üzerindeki şerit temellerin oturma davranışını incelemişlerdir. 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 (BxL=0.75mx15m) 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.

Das (1988), model deneylerde yumuşak kil zemin üzerinde sınırlı kalınlıkta sıkı kum tabakası arasına tek sıra halinde geotekstil yerleştirilmesi halinde nihai taşıma kapasitesini araştırmıştır. B=76.2 mm genişliğindeki şerit temel, temel derinliği D_f=0.5B sabit tutulup, temel tabanı ile kil yüzeyi arasındaki uzaklık H=0B~3B, donatı genişliği B_R=2B~10B, arasında değişken alınmıştır. Donatılı zemin BCR değeri donatısız zemine göre % 8 büyük olduğunu ve de optimum bir H/B oranı (H/B=0.75), ayrıca 4B'den büyük genişliklerde B_R>4B nihai taşıma kapasitesinde artış olmadığı bu nedenle de donatı genişliği (B_R=4) alınabileceği ifade edilmiştir.

Das ve diğerleri (2000), yaptıkları çalışmada, geogrid takviyeli suya doygun kil şevlerin üzerinde yer alan yüzeysel sürekli temellerin taşıma kapasitesini araştırmışlardır. Rijitliği sağlamak amacıyla ahşap temelin üzerine alüminyum levha konulmuştur. Yükleme esnasında yükün merkezde düşey olarak etkimesini sağlamak amacıyla temelin üzerine bir delik açılmıştır. Deneylerde likit limiti LL=%44, ve plastisite indisi I_P=%20 olan tabii kil kullanılmıştır. Su içeriğini korumak için plastik torbalara yerleştirilen kil numunesi bir hafta süreyle dinlendirilmiştir. Donatı malzemesi olarak en mukavemetsiz iki eksenli geogrid yatay konumda ve temel genişliğinin b=5B olacak şekilde yerleştirilmiştir. Sonuç olarak maksimum taşıma kapasitesini arttırmak için ilk geogrid levhasının temelden itibaren 0.4B derinliğe yerleştirilmesi gerektiğini ve de sürekli temellerin toplam taşıma kapasitesinin tahmini hesabında bir ilki ortaya koymuşlardır.

3. YÜZEYSEL TEMELLER

3.1. Giriş

Bir yapı sistemi genel olarak iki kısımda tanımlanır. Üst kısım üst yapı olarak adlandırılır. Zeminle üst yapı arasındaki ara bölge de temel olarak tanımlanır. Bir yapı sistemi üst yapı, temel ve zemin bileşiminden oluşur. Temel, zeminle doğrudan temas halinde olan ve üst yapı yüklerini zemine aktaran aracı yapı kısmıdır. Bir başka deyişle, temel, yapı yüklerini ve yükün dağılımını altta bu yükü taşıyacak zeminin taşıyabileceği şekle dönüştürerek aktaran bir sistemdir. Bu niteliği ile de hem yapıdan hem de zeminden etkilenir. Buna göre, temel tasarımı bir yapı-zemin etkileşimi problemidir. Temeller iki ana gruba ayrılırlar:

1. *Yüzeysel temel (tekil temel, sürekli temel, radye temel):* Yapı yüklerini zemin yüzüne yakın olan sığ derinliklere aktarırlar. $D_f/B \leq 1$ olması halinde temele yüzeysel (sığ) temel denir.

2. *Derin temel (Kazıklar, ayaklar ve kesonlar):* ($D_f/B > 1$) Zeminin zayıf olup taşıma gücü aşıldığı zaman yüzeysel temeller yeterli olmazlar. Diğer yandan; bir temel taşıma gücü açısından yeterli olabilir ancak istenilenden fazla oturabilir. Bu durumda yapı yüklerini daha sağlam olan zemin tabakalarına veya kayaya aktaran ve oturmaların istenen sınırlar içinde kalmasını sağlamak için derin temeller inşa edilir (Birand 2001 ve 2006).

Temeller inşa edilecekleri zeminin özelliklerine büyük ölçüde bağlıdır. Bazı zeminler sert, bazıları yumuşaktır. Sert zeminler ıslanınca yumuşayabilir, bazıları şişer ve yüzeysel temelleri kaldırabilir, bazıları göçer ve temel içine batar. İyi temel tasarımı tüm olumsuz koşul ve değişimlerde kendisinden beklenen fonksiyonu yerine getirecek şekilde yapılan tasarımdır. Önemli bir yapının temel sisteminin tasarımında yapılan hatalar veya yanlış uygulamalar daha sonra ortaya çıkabilir. Bir yapı ve

temeli çeşitli afetlere karşın başarıyla ayakta durabiliyorsa, ancak o zaman başarılı bir tasarım ve uygulama yapıldığı düşünülebilir (Çinicioğlu, 2005).

Temel, üst yapı yüklerini taşıyıcı zemin tabakalarına aktarırken zeminde aşırı gerilmeye sebep olmamalıdır. Bu sebeple emniyetli temel tasarımında uygun bir güvenlik sayısı uygulanmalıdır. Kullanılan güvenlik sayısı, temel zemininin kayma göçmesine ve aşırı oturmalara karşı yeterli güveni sağlamalıdır.

Nihai taşıma gücü taşıma göçmesi mekanizması ve bu göçme durumuna ulaştıran statik denge hesabı yapılarak bulunur. Tüm statik denge problemlerinde olduğu gibi göçme mekanizmasının tanımlanmasının ardından bu mekanizmaya etki eden, göçüren kuvvetlere (gerilmeler) karşı, karşı koyan kuvvetler (gerilmeler) tanımlanır.

3.2. Yüzeysel Temellerde Göçme Türleri

Yüzeysel temeller uygulanan yapısal yükleri yakın zemin tabakalarına iletirler. Yüklerin iletilmesi esnasında zeminde hem basınç hem de kayma gerilmeleri oluşur. Bu gerilmelerin büyüklükleri temel taban basıncına ve temel büyüklüğüne bağlıdır. Taban basıncının yeteri kadar büyük ve temelin yeterli boyutlarda olmaması durumunda, kayma gerilmeleri zeminin kayma basıncını aşabilir. Bu durumda, taşıma gücü problemi ortaya çıkmaktadır (Coduta, 2005).

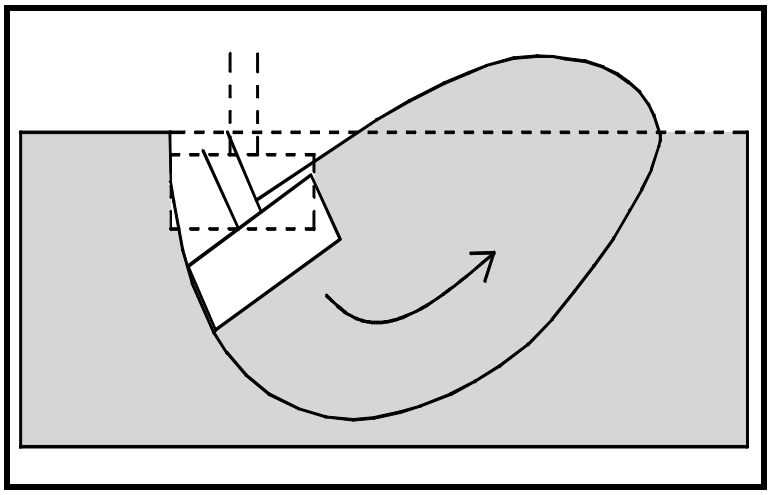
Temelden aktarılan yüklerin zeminde oluşturduğu kayma gerilmeleri zeminin kayma mukavemetini aşarsa taşıma gücü göçmesi oluşur. Bu tür göçmeler yıkıcıdır ve mutlaka kaçınılmalıdır (Craig, 2004). Araştırmacılar taşıma gücü göçmelerinin (yenilmesi) üç tipini saptamışlardır. Bunlar;

1. Genel kayma göçmesi
2. Zımbalama göçmesi
3. Bölgesel (kısmi, yerel) kayma göçmesi

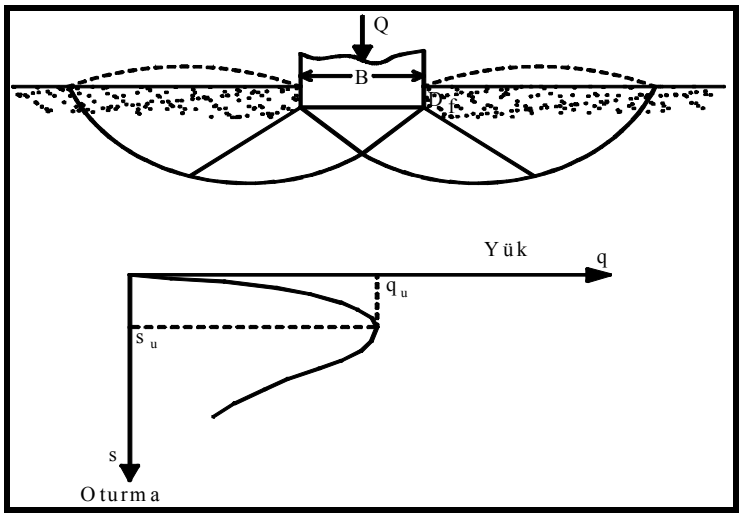
3.2.1. Genel kayma göçmesi

En yaygın göçme şeklidir. Genellikle granüler, sert kohezyonlu zeminlerde ve de orta sert kayalarda, drenajsız koşulun hakim olduğu yeteri kadar hızla yüklenen doygun normal konsolide killerde meydana gelmektedir. Yüzeyde oturan temel için sıkı kumlar (D_r>%65) ve aşırı konsolide killerde (OCR>5) yükleme boyunca temel/plaka oturmaları oldukça düşük iken taşıma yük Q_d aniden belirmekte ve sistemde biriken enerji nedeniyle göçme şiddetli olabilmektedir.

Başlangıçta temele uygulanan Q_d yükü arttıkça oturmalar da artmakta, göçme yüküne ulaşıldığı zaman yük sabit kalırken oturmalar artmaya devam ederek büyük değerlere ulaşılmaktadır. Temele bitişik zemin yüzeyinde açık bir biçimde oluşan kabarmalar görülmektedir. Kabarmaların temel kenarlarında görülmesine rağmen, göçme sadece bir kenarda oluşur ve buna yönelik olarak temelin döndüğü gözlenmektedir. Zemin, kayma yüzeyleri boyunca kırılarak temel göçer ve zemin yüzeyinde kırılmalar oluşur. Yük-oturma eğrisinde nihai taşıma kapasiteleri (q_u) kolayca belirlenebilir (Şekil 3.1.)



a. Genel kayma göçmesi (Coduta, 2005'den alınmıştır).



b. Genel kayma göçmesi yük-oturma eğrsi (Das, 1999'dan alınmıştır).



c. Genel kayma göçmesi ve yük-oturma eğrisi (Das, 1999, Çinicioğlu, 2005'den alınmıştır)

Şekil 3-1 Genel kayma göçmesi

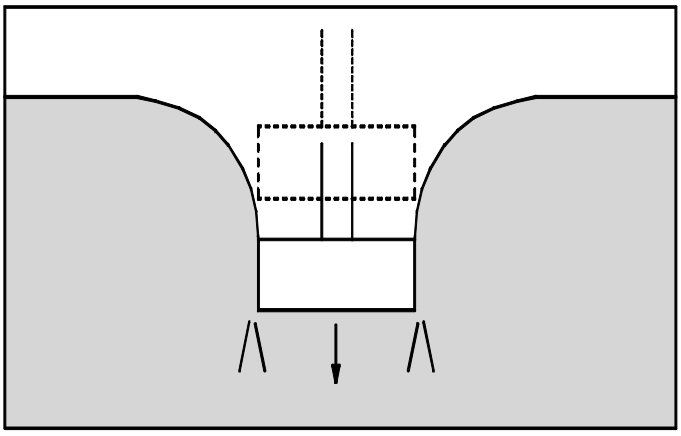
3.2.2. Zımbalama Göçmesi

Gevşek-çok gevşek kumlar, batık siltler, moloz ve dolgular ile yumuşak kil tabakalarında yavaş drenajlı koşullar altında temel ortama bir zımba gibi girmekte, zemin yüzeyinde herhangi bir şekil değiştirme gözlenmemektedir. Oturma-yük eğrilerinde bölgesel (kısmi, yerel) kayma kırılmasına benzer olarak fakat kırılma noktası belirgin değildir. Temel yanlarında kırılma, çok az kabarma veya kabarma

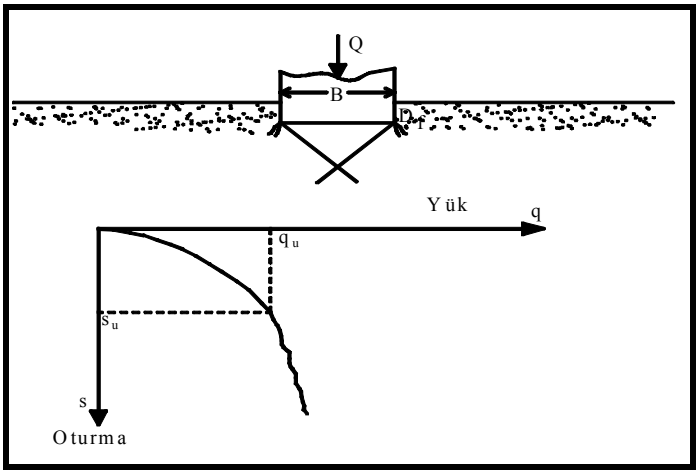
oluşmaz. Kırılma yüzeyleri oluşmadan bu tip zeminlerde zeminin yüksek sıkışabilirliğinden dolayı büyük oturmalar gözlenmektedir.

Nihai taşıma gücü değeri çizilen eğrilerin başlangıç ve bitiş teğetlerinin kesişim noktasındaki değerler alınarak hesap edilmektedir (Şekil 3.2). Nihai taşıma kapasitesinin (q_u) belirlenmesinde iki farklı yöntem ileri sürülmüştür.

1. Nihai taşıma kapasitesi değerini yük-oturma eğrisinden Δ_s/Δ_q oranının en büyük olduğu ve bu büyük değerden sonra sabit kaldığı nokta olarak tanımlanmıştır (Das, 1999)
2. Nihai taşıma kapasitesi değeri yük-oturma eğrisinin başlangıç ve bitiş teğetlerinin kesişim noktası olarak belirtmiştir (Yetimoğlu, 1994).



a. Zımbalama göçmesi (Coduta, 2005'den alınmıştır)



b. Zımbalama göçmesi ve yük-oturma eğrisi (Das, 1999'dan alınmıştır)



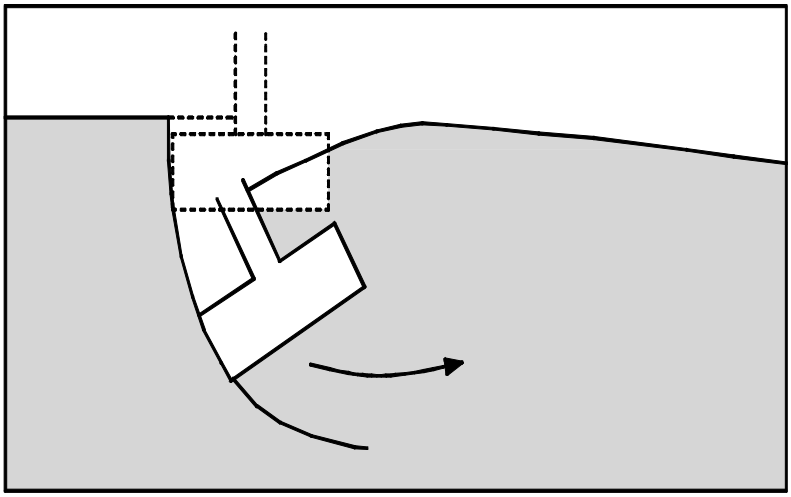
c. Zımbalama göçmesi ve yük-oturma eğrisi (Çinicioğlu, 2005'den alınmıştır)

Şekil 3-2 Zımbalama kayma göçmesi

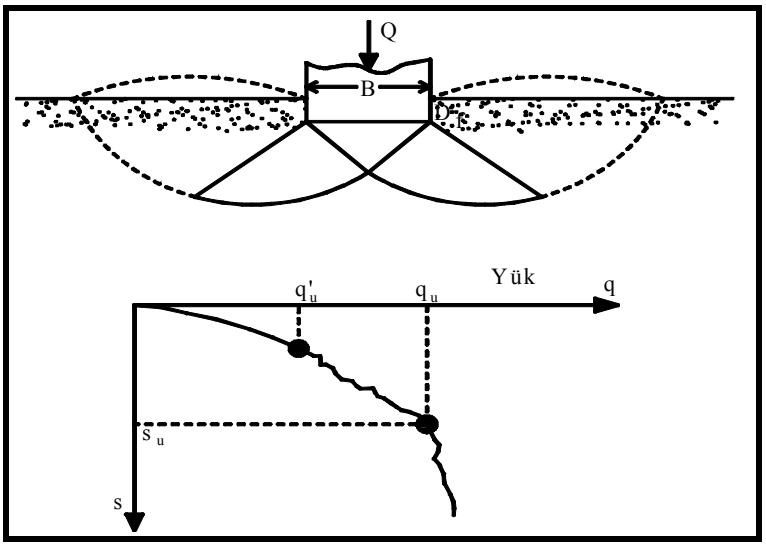
3.2.3. Bölgesel Kayma Göçmesi

Bölgesel kayma göçmesi bir ara durumdur. Kayma yüzeyleri temel altında iyi tanımlanmamış olup, daha sonra zemin yüzeyine yakın bir yerde belirsiz hale geçer. Orta sıkı-gevşek kumlarda veya hafif-orta aşırı konsolide killerde daha çok görülen göçme tipidir. Yük-oturma eğrisi üç bölgeden oluşmaktadır (Şekil 3.3.) (Cernica, 1995 ve Craig, 2004).

1. Bölgede $q=q_u$' değerine kadar yük arttırılırsa, oturmalar artmakta ve q_u' değeri ilk göçme yüküdür. Bu bölgede zemin daha çok düşey yönde sıkışırken çok az yanal deformasyonlar oluşur.
2. Bölgede yük arttırıldığında yük-oturma eğrisinin dik ve düzensiz arttığı gözlenmektedir. Zemin hareketleri yukarıya ve dışa doğrudur.
3. Bölgede $q=q_u$ olduğunda göçme yüzeyi zemin yüzeyine yakın bir yerde ve yüklemeye devam edilirse zemin yüzeyinde kabarmalar oluşur. Yük-oturma eğrisi lineer olarak artmakta fakat q_u değeri belirgin değildir.



a. Bölgesel kayma göçmesi (Coduta, 2005'den alınmıştır)



b. Bölgesel (kısmi, yerel) kayma göçmesi ve yük-oturma eğrisi (Das, 1999'dan alınmıştır)

Şekil 3-3 Bölgesel kayma göçmesi

3.3. Yüzeysel Temellerin Taşıma Gücü

Binalarda büyük çoğunlukla yüzeysel temeller kullanılır. Bunun nedeni yüzeysel temellerin yapımının daha kolay ve maliyetinin düşük olmasıdır. Yüzeysel temellerin taşıma gücü yenilmesini analiz etmede ve bu gibi yenilmelerden

kaçınacak şekilde tasarım yapmada aşağıdaki değişkenlerin bilinmesi daha doğru bir yaklaşım sağlamaktadır. Bu değişkenler,

- Zeminin türü ve özellikleri
- Yük (eksenel, eksantrik ve eğimli olması durumunda)
- Temelin boyutları
- Temel derinliği
- Etkiyen moment ve titreşimler
- Temelin şekli
- Yeraltı su seviyesinin temele göre yeri,
- Yeraltı suyu var ise temelin yapımından ve yüklenmesinden sonra geçen süre,
- Temel tabanın pürüzlülüğü

Zeminin taşıma gücünün belirlenmesinde araştırmacılar tarafından birçok teori ve yöntemler geliştirilmiştir. Yüzeysel temellerin taşıma gücünü belirleme yöntemlerini üç grupta toplayabiliriz. Bunlar:

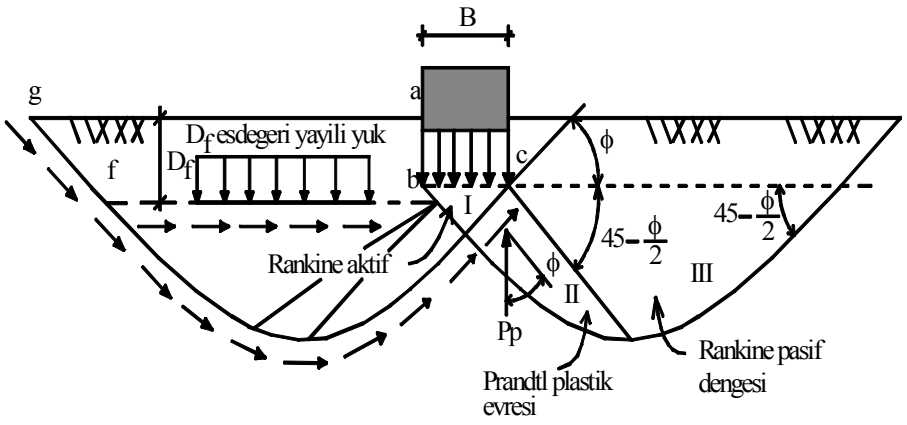
1. Arazi deneyleri
2. Hazır tablolarla
3. Taşıma gücü teorileri

Günümüzde en çok kullanılan yüzeysel temellerin taşıma gücü analizleri Terzaghi (1943), Meyerhof (1951), Brinch-Hansen (1961), Vesic (1975) tarafından geliştirilen teoriler kullanılmaktadır.

3.3.1. Terzaghi Taşıma Gücü Teorisi

Terzaghi Şekil 3.4'de gösterilen aktif ve pasif kamalara ek olarak üç önemli değişiklik getirmiştir. Bunlar,

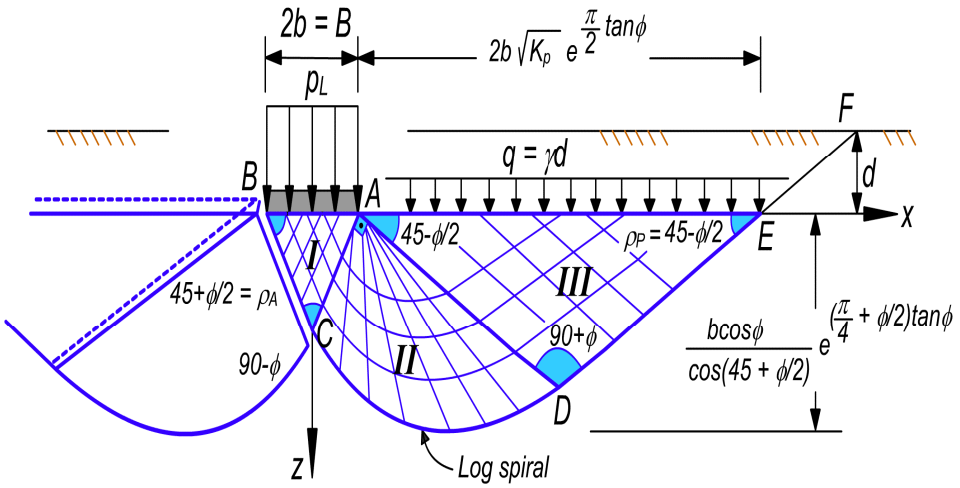
- Kamanın kenar eğiminin $45+\phi/2$ yerine ϕ
- Temel tabanının cilalı değil pürüzlü olması
- Temel derinliği (D_f) boyunca zeminin kayma direncini göstermeyerek sadece (γD_f) eşdeğeri yayılı yük q gibi etkimesidir.



Şekil 3-4 Terzaghi teorisinde kayma bölgeleri

Terzaghi yüzeysel temellerin taşıma gücü için Prandtl denklemini zemin koşullarına göre düzenleyerek teorisini geliştirmiştir. Bir temelin taşıma gücü, temelin göçmeden taşıyabileceği maksimum taban basıncıdır.

Yüzeysel temeller altında göçme mekanizmasının Şekil 3.5'de görüldüğü gibi gelişeceği düşünülür ve kaydıran kuvvetlerle karşı koyan kuvvetler dengelenerek limit durum için çözüm yapılır (Terzaghi, 1943).



Şekil 3-5 Yüzeysel temel altındaki göçme mekanizması (Çinicioğlu, 2005'den alınmıştır).

Terzaghi teorisi, sürekli temeller (yani L/B oranı çok büyük olan temeller) için geliştirilmiştir. Şerit temeller için bazı kabuller yapılmaktadır. Bu kabuller

- Zemin homojen, izotrop ve yarım sonsuzdur.
- AB tabanı tam sürtünmelidir.
- Temel tabanı altında ABC zemin üçgen kaması meydana gelmektedir. Bu kama ile birlikte aşağı doğru hareket eder ve S(CBA)=S(CAB)=ϕ'dir.
- CD ve CD' kırılma yüzey kısımları logaritmik spiraldir.
- ADE, ADE' pasif bölgeler olup, DE ve DE' kırılma yüzey kısımları doğrusaldır. (DAE=DAE=45-ϕ/2)
- EF ve E'F' yüzeylerinde kayma dayanımı göz önüne alınmamış olup, temel düzeyinin üzerindeki zemin etkisi sürşarj olarak göz önüne alınmıştır.
- Temel derinliği (D_f) temel genişliğinden (B) fazla değildir.
- Yeraltı suyu derindedir.
- Temel eksenel ve düşey yük etkimektedir.

Yukarıdaki kabuller göz önünde tutularak *şerit temelin nihai taşıma gücü*;

$$q_d = cN_c + \gamma D_f N_q + 0.5\gamma B N_\gamma \quad (3.1)$$

bağıntısıyla verilmektedir. Bu bağıntıda,

N_c, N_q, N_γ : İçsel sürtünme açısına bağlı taşıma gücü katsayıları

c : Kohezyon

D_f : Temel derinliği

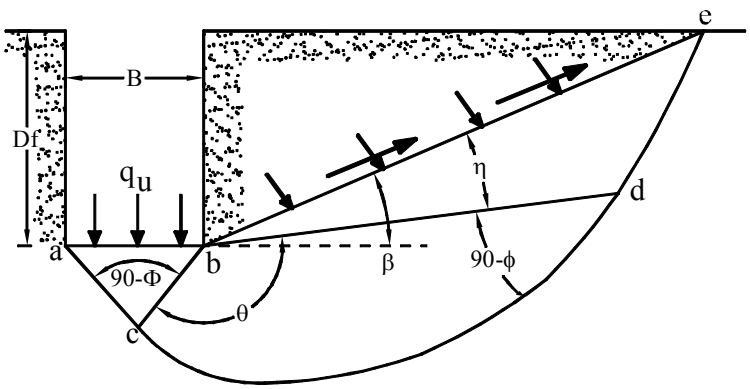
γ : Zeminin birim hacim ağırlığı

B : Temel genişliği

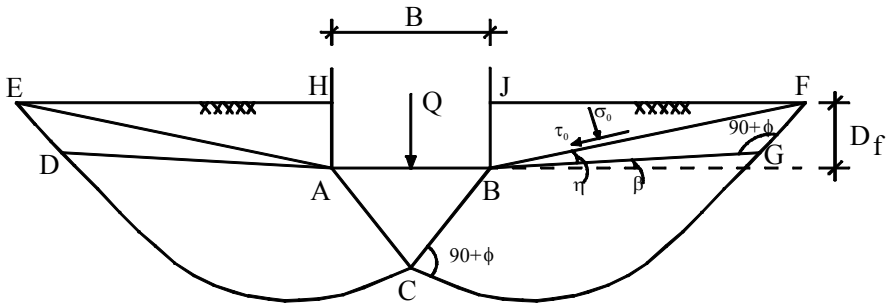
$\sigma'_{z,o}$: γD_f : Zemin yüzeyinden aşağıdaki D_f derinliğindeki efektif düşey gerilmeyi

3.3.2. Meyerhof Taşıma Gücü Teorisi

Meyerhof (1951), Terzaghi denklemlerini şekil (s), derinlik (d) ve eğim (i) faktörlerini dahil ederek geliştirmiştir. Kırılma yüzeyleri Terzaghi teorisindekine benzemekte olup kırılma yüzeyleri temel taban seviyesinin üstüne uzanmaktadır. Teoride yüzeysel şerit temel için kayma yüzeyleri Şekil 3.6'da gösterildiği gibi kabul edilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 3-6 Meyerhof taşıma gücü teorisinde kayma yüzeyleri (Das, 1999'dan alınmıştır).

Şekilde,

- CD ve CG eğrileri birer logaritmik spiraldir.
- Temel tabanının sürtünmelidir
- ABC kaması temelin bir parçası gibi davranış gösterir ve bu kamanın bitişiğindeki ACD ve BCG radyal kesme bölgelerinin sınırları temel taban seviyesinin üstüne kadar uzanır.
- ADEH ve BGFJ bölgeleri radyal ve düzlem kesme durumları arasında karışık kesme direnci gösteren bölgedir.
- BFJ ve AEH bölgelerinde zeminin etkisi eşdeğer bir üniform yayılı yük yerine BF ve AE yüzeylerinde normal gerilme (σ_0) ve kayma gerilmesi (τ_0) olarak temsil edilmektedir. β açısı derinlikle artmaktadır. β, σ_0 ve τ_0 değerlerine temel derinlik parametreleri denilmektedir.

Meyerhof, sonuç olarak yüzeysel şerit temellerin taşıma gücü için aşağıdaki bağıntıyı vermiştir. Tablo 3.1.'de s, d ve i faktörleri için ifadeler verilmektedir.

Düşey eksenel yükleme durumu için

$$q_d = cN_c s_c d_c + \gamma D_f N_q s_q d_q + 0.5\gamma B N_\gamma s_\gamma d_\gamma \qquad (3.2)$$

Eğik yük uygulanan durum için

$$q_d = cN_c s_c d_c i_c + \gamma D_f N_q s_q d_q i_q + 0.5\gamma B N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma \quad (3.3)$$

Tablo 3.1 Meyerhof faktörleri (Meyerhof, 1951)

	Şekil	Derinlik	Eğiklik
Herhangi (ϕ)	$S_c = 1 + 0.2 K_p \frac{B}{L}$	$d_c = 1 + 0.2\sqrt{K_p}\frac{D_f}{B}$	$i_c = i_q = (1 - \frac{\alpha}{90})^2$
$\phi = 0°$	$S_q = S_\gamma = 1$	$d_q = d_\gamma = 1$	$i_\gamma = 1$
$\phi \geq 10°$	$S_q = S_\gamma = 1 + 0.1 K_p \frac{B}{L}$	$d_q = d_\gamma = 1 + 0.1\sqrt{K_p}\frac{D_f}{B}$	$i_\gamma = (1 - \frac{\alpha}{\phi})^2$

4. DONATILI ZEMİNLER

Donatılı zemin, ya da mekanik olarak stabilize edilmiş zemin, metal şeritler, geotekstiller ya da geogridler gibi çekme elemanlarınca kuvvetlendirilmiş zeminden meydana gelen bir inşaat tekniğidir. 1960'lı yıllarda Fransız yol araştırma laboratuarında bir inşaat tekniği olarak donatılı zemin kullanımının faydalı etkilerini değerlendirmek amacıyla birçok araştırmalar yapılmış ve önceki yapılan çalışmaların sonuçları Vidal (1968) tarafından değerlendirilmiştir. Dünyanın çeşitli yerlerinde donatılı zemin kullanılarak pek çok istinat duvarı ve set inşa edilmiş ve bu yapılar çok iyi performans göstermişlerdir (Vidal, 1968).

4.1. Giriş

Geosentetikler doğa koşullarına çok uzun yıllar dayanabilecek şekilde üretilmiş petrol türevi ürünlerdir. Mucize malzeme olarak adlandırlan geosentetikler; bir proje, yapı veya sistemin bir parçası olarak temel elemanı, zemin, kaya ve toprakla veya geoteknik mühendisliği ile ilgili herhangi bir malzemeyle beraber kullanılan ürünlerdir. (Wasti, 1992).

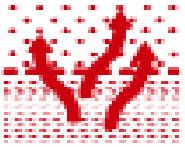
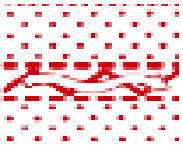
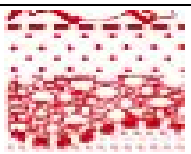
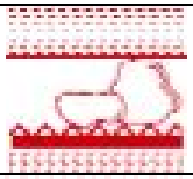
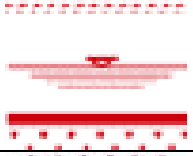
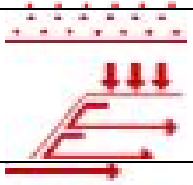
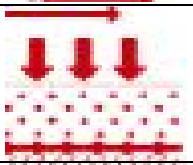
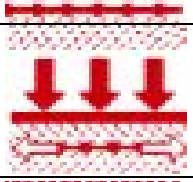
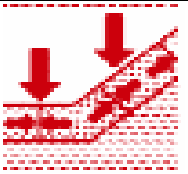
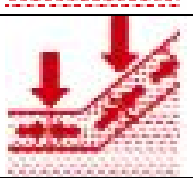
Geosentetiklerin zemin uygulamalarında, diğer yöntemlere göre ekonomik oluşu, uygulama kolaylığı ve zaman tasarrufu kullanım alanını hızla arttırmıştır. Yıllar boyunca bu malzemeler üzerine yapılan gözlemler, araştırmalar bu tür malzemelere karşı duyulan tedirginliği büyük ölçüde ortadan kaldırmıştır (Çoruh, 1991).

Günümüzde kullanılmakta olan ambalaj filmleri, plastik borular, dilatasyon malzemeleri, suni deriler, tekstil sanayinde kullanılan polyesterler, naylonlar ve bunlara benzer birçok ürün polimerlerin dönüştürülmesi ile elde edilmektedir. Polimerlerden oluşan geosentetikler fiziksel özelliklerine ve farklı kullanım amacına

göre; geotekstiller, geomembran, geogrid, geonet, geoboru, geofoam, geohücre, geotüp ve geokompozitler olarak sınıflandırılmıştır. Tablo 4.1'de geosentetiklerin hangi fonksiyonlara göre kullanım alanları verilmektedir.

Geotekstiller örgüsüz ve örgülü olmak üzere ikiye ayrılırlar. Örgüsüz geotekstiller; drenaj, filtrasyon, ayırma ve koruma amaçlı kullanılırlar. Örgülü geotekstiller, ayırma, donatılı duvar ve zemin iyileştirmede kullanılırlar. Geomembranlar geçirimsizlik, geomatlar erozyon kontrolü ve yüzey stabilitesi için kullanılırlar. Geohücreler, sınırlama, erozyon kontrolü ve yüzey stabilitesi için kullanılırlar. Geogridler ise, donatılı duvar, zemin iyileştirme, asfalt ve beton donatısı olarak kullanılırlar (Şekil 4.1).

Tablo 4.1 Fonksiyonlarına göre geosentetikler (Karagül 2006)

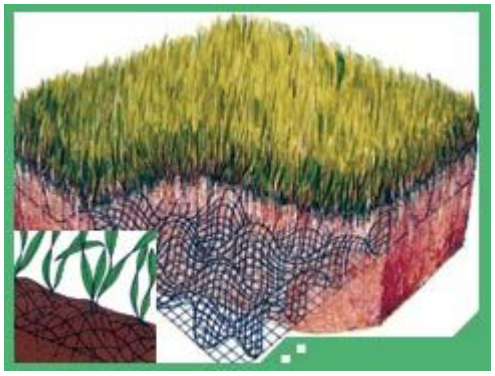
Fonksiyon		Çeşit	Tanım
Filtrasyon		Geokompozit Geotekstil	Suyun geçişi sağlanırken ince malzemenin diğerinin gözeneklerini tıkamaması veya yıkanma olayının oluşmaması için
Drenaj		Geokompozit Geonet	Zemin içerinde gaz veya sıvı akışı sağlamak için geçirgenliği fazla olan malzemeler kullanılması
Ayırma (Seperasyon)		Geokompozit, Geotekstil	Farklı yapıdaki gereçlerin zamanla birbirine karışmasını engel olmak amacıyla
Koruma		Örgüsüz Geotekstil Geokompozit, Geonet	Yapının zarar görmesini engellemek amacıyla
Geçirimsizlik		Geokompozit Geomembran	Sıvı bariyeri
Donatılı duvar		Örgülü Geotekstil Tek Yönlü Geogrid	Zemine gelecek olan çekme kuvvetini karşılamak
Zemin iyileştirmesi		Geotekstil Çift Yönlü Geogrid	
Asfalt ve beton donatısı		Çift Yönlü Geogrid	
Erozyon kontrolu ve yüzey stabiletesi		Geomat Geohücre Biomat Bionet	Rüzgar, yağmur vb. etkilerden zeminin taşınmasını ve ayrılmasını önlemek.
Sınırlama		Geohücre	



Erozyon kontrolü



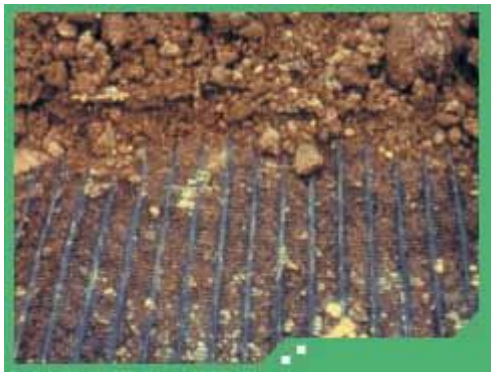
Erozyon kontrolü



Erozyon kontrolü



Stabilizasyon



Stabilizasyon



Stabilizasyon



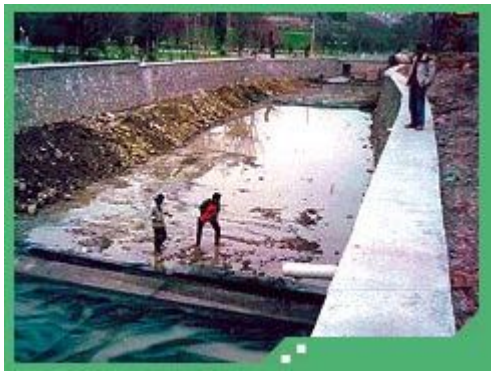
Donatılı duvar



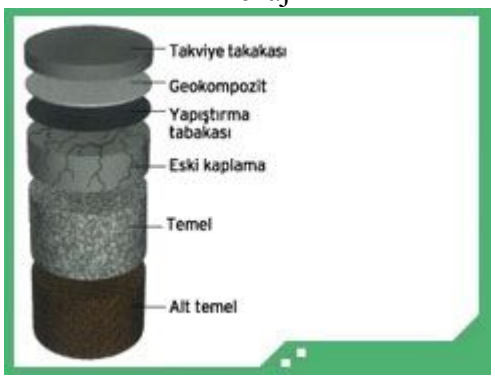
Donatılı duvar



Drenaj



Drenaj



Astar donatısı



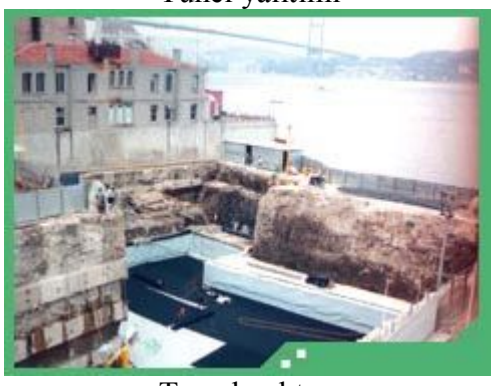
Astar donatısı



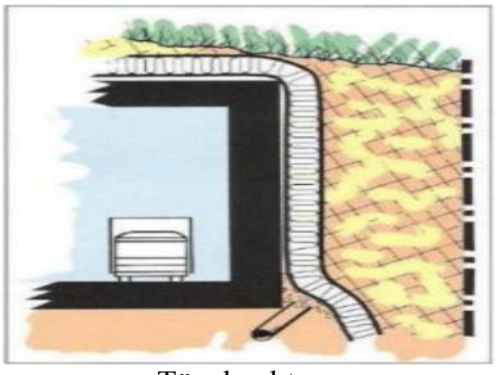
Tünel yalıtımı



Tünel yalıtımı



Temel yalıtımı



Tünel yalıtımı

Şekil 4-1 Geosentetik uygulamalarına ait örnek resimler.

4.2. Geotekstiller

ASTM D4439 geotekstili, insan yapısı bir proje veya sistemin bir parçası olarak temel elamanı, zemin kaya ve toprakla veya geoteknik mühendisliği ile ilgili kullanılan herhangi bir malzeme, geçirimli tekstil ürünüdür (Koerner, 2005)

Geotekstiller zemin donatısı olarak kullanılan gözenekli, geçirgen, ızgara şekilli olarak dokunmuş malzemeler olup; yeraltında toprakla birleşme yerlerinde ayırma, süzme, dayanım artırma ve sudan koruma amaçlarıyla kullanılmaktadır Genellikle petrol ürünleri olan polyester, poliamid, poliprobilen, polietilen, naylon, polivinil klorür (PVC) gibi sentetik hammaddeden üretilen geçirimli örtülerdir. Doğal malzemelerin ömrü kısa olduğu için geotekstilerin yapımında pek kullanılmazlar. Bununla birlikte metal ve benzeri malzemelerden üretilen geotekstil malzemelerde korozyona dayanaksız oldukları için sentetik en yaygın malzeme olmuştur. Bunlar örülerek *(dokunarak=woven)* veya yukarıdaki malzemelerin fiberleri özel makinelerde işlenip preslenerek, örgüsüz *(dokumasız=non-woven)* olarak imal edilirler (Demiröz, 1996).

Geotekstillerin çok geniş uygulama alanları mevcut olup günümüzde; mühendislikte, yol inşaatlarında, havaalanlarında, demiryollarında, baraj-gölet-set inşaatlarında, binalarda, su depolarında, kanallarda, şev-yamaç korumalarında ve kıyı mühendisliğinde büyük avantajlar sağlamaktadır.

Geotekstillerin başlıca türleri lif, flaman veya şeritlerin kumaş gibi dokunduğu örgülü ve mekanik (iğneleme), ısı veya kimyasal yöntemlerle elyafların birleştirildiği örgüsüz tiplerdir. Geotekstil pazarının % 70'i örgüsüz tiplere aittir. Isı ile birleştirilen örgüsüz geotekstillerin kalınlıkları, 0.5-1.0 mm arasında, iğneleme yöntemi ile birleştirilenler ise; 2-5 mm. veya daha fazladır ve bunlara "keçe" tipi de denilmektedir. Kimyasal birleştirme yöntemi ise pek sık kullanılmamaktadır (Koerner, 1993). Geotekstiller üretim şekillerine göre klasik, özel ve kompozit olarak üçe ayrılmaktadır.

Klasik Geotekstiller: klasik tekstil teknolojisiyle geliştirilmiş, dokunmuş triko kumaşlar ve dokunmamış geotekstillerdir.

Dokunmuş klasik geotekstiller, dokuma tezgâhlarında sentetik ipliklerden bilinen kumaşlar gibi örülerek ve dokunarak imal edilen geotekstillerdir.

a. Monofilament: Tek liften dokunan
b. Multifilament: Birçok lif kullanılarak dokunan
c. Bant: Monofilament şeritlerinden dokunmuş
d. Kombinasyon: Yukarıdaki sayılan tiplerin bir arada kullanılması ile dokunmuş

Dokumasız klasik geotekstiller, dokuma olmayan ürün, iplikleri belli yönde veya rasgele düzenlenmiş ve mekanik, kimyasal ve fiziki olarak bağlı, diğer bir ifade ile yün sanayinde kullanılan dokuma, dikiş, yorgan dikişi veya herhangi bir yöntem uygulanmadan üretilen geotekstillerdir.

a. Zımbalanmış: Sentetik lifler kancalı iğnelerle zımbalanarak keçe haline getirilmiş
b. Ergitme
c. Reçine
d. Kompozit

EDANA *(European Disposables and Non-Wovens Association)* tarafından kabul edilen dokumasız ürün tanımı şu şekildedir: Dokumasız ürün mekanik, kimyasal veya fiziksel vasıtalarla *(dokuma, örgü, tafta, dikişle tutturma ve geleneksel keçe yöntemi hariç)* üretilmiş veya birbirine tutturulmuş tek yönlü veya gelişigüzel dizili elyaftan imal edilmiş tabaka, ağ veya yumaktır. İplikler, doğal bitkisel veya sentetik kökenli olabilir, ayrıca kesintisiz liflerden de oluşabilir.

Özel geotekstiller, tekstil veya tekstil dışı belirli bir amaçla dizayn edilmiş delikli föy, file, ızgara şeklindeki geotekstillerdir.

Kompozit geotekstiller, geotekstil ürünlerden iki veya daha fazlasının birlikte kullanılması şeklinde tasarlanmış bileşik geotekstillerdir.

4.3. Geomembran

ASTM 4439, geomembranı "geoteknik mühendisliği ile ilgili insan yapısı bir proje, yapı ve sistemde sıvı hareketlerini kontrol altına alabilecek kadar düşük geçirgenlikte asfalt, polimer ve bunların karışımından elde edilen membran tipi kaplama ve izole bariyeri" olarak tanımlamaktadır (Koerner 1993).

Geomembranlar; petrol ürünlerinden elde edilen yüksek yoğunlukta polietilen, polipropilen, asfalt, polimerize edilmiş damıtık bitümden, SBS *(Styrene Butadiene Styrene)* edilmiş bitümden, elastomerik polimerden, plastik ve kauçuktan üretilen geçirimsiz örtülerdir. Geomembranların çevre, geoteknik ve hidrolik alanlarında kullanımları şu şekilde sıralanabilir:

- Sıvı atıklar için kaplama malzemesi olarak,
- Su kanalları için kaplama malzemesi olarak,
- Çöp depolama alanlarında,
- Tehlikeli atık depolama alanlarında,
- Kıyı mühendisliğinde,
- Tünellerin içinde geçirimsizliği sağlamak için,
- Kaya dolgu barajların geçirimsizliğinin sağlanmasında,
- Şişen zeminlerin kontrolünde,
- Dona hassas zeminlerin kontrolünde,
- Temellerin bohçalanmasında,
- Asfalt üst kaplamaların altında sızdırmazlığın sağlanmasında

Geomembranlar yeraltında geotekstillerle beraber kullanılmaktadır. Burada geotekstilin gözenekli ve geçirimli oluşundan, geomembranların ise geçirimsizlik ve

esneklilik özelliklerinden faydalanılmaktadır. Geomembranlar üretildikleri hammaddelere, taşıyıcı malzemelerine ve bitüme katılan modifiye maddesine göre üç sınıfa ayrılırlar.

4.3.1. Üretildikleri Hammaddelere göre Sınıflandırılması

- *Termoplastikler:* Polivinil klorür (PVC) ve PVC'nin çeşitli tipleri yer alır.
- *Kristalize termoplastikler:* Yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE), lineer düşük yoğunluklu polietilen (LLDPE) ve polipropilendir.
- *Termoplastik elastomerler:* Klorinli polietilen (CPE), klorosülfatlı polietilen (CSPE) ve benzeri sentetik kauçuk olarak adlandırılan malzemeler yer alır.
- *Elastomerler:* İzopren-izokütilen kauçuk, polikloropren, etilen propilen diene monomer (EPDM) vb. gibi polimerler sayılabilirler.

4.3.2. Taşıyıcı Malzemelerine göre Sınıflandırılması

Geomembranlar normal üretimlerinin yanı sıra özel bazı malzemelerle beraber üretilerek daha farklı fonksiyonlar üstlenmeleri sağlanır.

- *Polyester keçe taşıyıcılı membranlar:* Binalarda, temel-bodrum bohçalama sistemlerinde, köprü, viyadük, depo, otopark, kanal, kanalet, baraj, gölet inşaatları gibi su yalıtımı istenen işlerde kullanılmaktadır.
- *Camtülü-camyünü taşıyıcılı membranlar:* Fibro-cam kullanılmak suretiyle üretilen membranlardır. Tüm ıslak hacimlerde, metal boruların korozyona karşı korunmasında ve iki katlı detaylarda 2. kat su yalıtım örtüsü olarak kullanılmaktadır.

4.3.3. Bitüme Katılan Modifiye Maddesine göre Sınıflandırılması

- Butil ve izopren, İzobutilen: PVC ve nitril kauçuktan üretilirler.
- *Atactic polipropilen (APP) katkılılar:* Tüm su yalıtım işlerinde ve ılıman iklim koşullarında kullanılırlar.
- *Styrene bütadiene styrene (SBS) katkılılar:* Tüm su yalıtım işlerinde, soğuk iklim koşullarında ve elastikiyetin yüksek olması istenen hareketli yapılarda kullanılırlar

4.4. Geogrid

4.4.1. Tarihçe

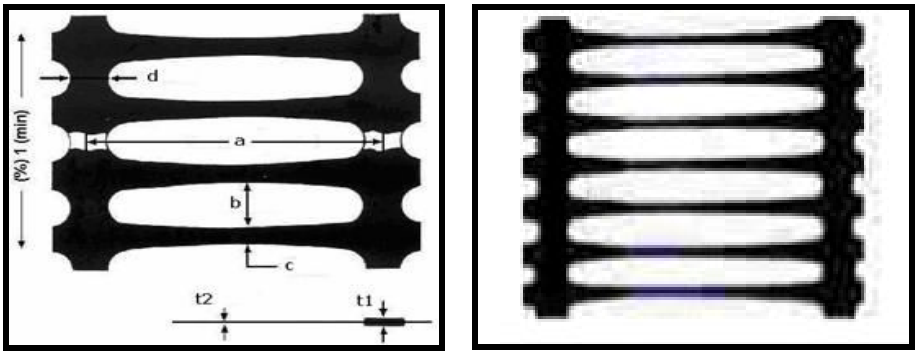
Soğuk işleme yöntemiyle yüksek mukavemetli polimer malzemeler elde etme metotlarının gelişmesiyle bu tür malzemelerin zemin dahil olmak üzere birçok yapı malzemesinde donatı olarak kullanılabilme imkanını doğurmuştur. Günümüzde bu tür geogridlerin en çok kullanım alanı zeminlerin güçlendirilmesidir. Zeminlerin güçlendirilmesinde farklı birçok yöntem, malzeme ve yaklaşımlar olmasına karşın, geogridlerin bu alandaki kullanımları da hızla artmaktadır. Pazarda birçok farklı tip, hammadde ve bağlantı özelliklerine sahip olarak farklı mukavemetlerde ve göz açıklıklarında üretilmektedir.

Geogridlerin temel özelliği, boyuna ve enine lifler arasındaki boşluğun (göz açıklığı) zemin danelerinin geogridin her iki yüzeyi arasında hareket ederek kilitlenme yaratabilmesidir. Geogrid lifleri, geotekstil ipliklerine göre çok daha rijittir. Lif mukavemetinin yanında düğüm noktası mukavemeti de önemli bir parametredir. Bunun nedeni, zemin danelerinden enine liflere gelen yükün düğüm noktaları vasıtasıyla boyuna liflere aktarılmasıdır.

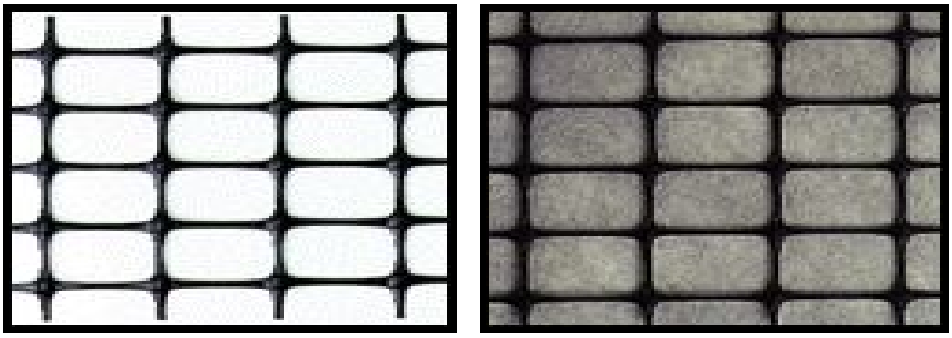
İlk geogridler İngiltere'de yapılmış, daha sonra 1982'de Kanada üzerinden Amerika'ya getirilmiştir. Başka bir tip ise İtalya orijinlidir. Donatı bileşeni olarak polyester liflerinin kullanıldığı, daha esnek tekstil benzeri geogridler 1980'li yıllarda İngiltere'de geliştirilmiştir (Koerner 1999 ve 2005).

Geogridlerin çalışma prensibi; üzerine dolgu veya granüler malzeme serildiğinde, malzeme daneleri, geogridin açıklıklarıyla tam olarak kenetlenir. Geogridin yüksek mukavemetli elemanlarına sürtünen ve kenetlenen dolgu, (zemin) bir donatılı platform oluşturur (Karagül, 2006).

Geogridler bir zemin duvar yapısını, şevin kaymasını önlemek, zayıf zemin tabakasının mukavemetini arttırmak, için kullanılan yaygın malzemelerdir (Demiröz, 1996). Tek eksenli ve iki eksenli olan geogridler, Şekil 4.2a ve 4.2b bu iki geogridi göstermektedir. Geogridler, gridlerin açık bölgelerinin toplam alanın %50'sinden daha büyük olacağı şekilde üretilirler. %2 gibi düşük şekil değiştirme düzeylerinde güçlendirme dayanımı geliştirirler.



a. Tek yönlü geogrid (URL-1, URL-2)



b. Çift yönlü geogrid

Şekil 4-2 Geogridler (URL-2)

4.4.2. Üretim

Geogrid üretiminde en çok kullanılan polimer malzemeler, polipropilen ve yüksek yoğunluklu polietilendir. Örgülü tip geogridlerde ise mukavemet PVC, lâteks veya bitüm kaplı polyester elemanlarla sağlanmaktadır. Geogrid üretim prosesi, 4-6 mm. kalınlığında polietilen veya polipropilen levhalarla başlar. Bu levhalara düzenli bir şekilde delikler delinir ve 1 ya da 2 doğrultuda çekilerek uzatılır.

Çekme işlemi, moleküllerin zincir yapısını alırken kırılmalarını engellemek amacıyla sıcaklıklar ve uzama oranları kontrol altında tutulmak suretiyle yapılır. Çekme oranı başta olmak üzere molekül ağırlığı, molekül ağırlığı dağılımı da üretim sürecinde anahtar değişkenlerdir. Çekme işlemiyle rijitlik ve mukavemetteki belirgin artışın yanı sıra uzatılan liflerin sünme hassasiyeti de önemli ölçüde azalmaktadır. Ürün olarak elde edilen geogridler homojen ve oldukça rijit malzemelerdir.

Geogridler üretim şekline göre 3'e ayrılırlar. ***Ekstrüde geogridler***, plakların delinip belirli sıcaklıklarda çekilmesi ile elde edilirler. ***Dokuma geogridler*** dokuma tezgâhlarında istenilen mukavemette polyester ipliklerin örülmesi ile üretilen geogridlerdir. ***Yapıştırma geogridler*** polimer şeritlerin lazer ve ışıl işlem ile birbirine dik olarak yapıştırılması elde edilen geogridlerdir. Halen yaygın olarak kullanılan polipropilen, polietilen ve polyester geogridlerin dışında diğer polimerlerden geogrid üretme çalışmaları da çeşitli firmalarca sürdürülmektedir.

4.4.3. Kullanım Alanları

Geogridler genellikle yüksek mukavemetli, yüksek rijitliğe ve düşük sünme hassasiyetine sahip, göz açıklığı 10 mm ve 100 mm. arasında değişen polimer malzemelerdir. Gözler uzatılmış elips, yuvarlatılmış, köşeli, kare veya dikdörtgen şekillidir. Çoğunlukla zemin donatısı olarak kullanılan geogridler sadece çakıl ve iri daneli malzemelerle birlikte kullanıldığında ayırıcı görev görürler. Geogridlerin kullanım alanları aşağıda listelenmiştir.

- Kaplamasız yollarda kırmataş altında
- Demiryolu inşaatında balastın altında
- Sürşarj dolguları ve geçici inşaat sahaları altında
- Dolgu toprak barajların donatılandırılmasında
- Şev göçmeleri ve toprak kaymalarının ıslahında
- Duvar inşaatında gabion (birbirine kaynaklı tel-ağ gibi) şeklinde
- Erozyon kontrol yapılarında gabion şeklinde
- Köprü ayaklarında gabion şeklinde
- Yumuşak zeminlerde temel zemini donatılandırmasında
- Kazıklı temellerde başlık plağı altında
- Çatlaklı kayalarda köprü elemanı olarak
- Yumuşak zemin üzerinde dolgu teşkilinde
- Donatılı zemin istinat duvarında cephe paneli ankrajı olarak
- Yollarda asfalt donatısı olarak
- Saha betonlarında donatı olarak
- Geotekstiller ve geomembranlar arasında
- Katı atık depolarında donatı olarak

4.4.3.1. Yumuşak zeminlerde kullanımı

Geogridler, yüksek çekme mukavemetleri sayesinde kullanıldıkları yerdeki stabiliteyi arttırırlar. Geogridlerin diğer geosentetiklere göre daha yüksek mukavemet sağlaması ve boşlukları sayesinde kullanıldığı ortam malzemelerle bütünlük arz etmesi onların zemin iyileştirmelerinde, şevlerde ve donatı olarak kullanılmasını sağlar.

Zayıf zeminler üzerine inşa edilen yapılarda, taşıma gücü, oturma problemleri gibi sorunlar yaşanmaktadır. Bu problemlerin çözümü için zemin iyileştirme yöntemleri geliştirilmiştir. Zeminin özelliklerine, yapının yüklerine ve şantiye şartlarına göre uygun bir yöntemle iyileştirme yapılır. Bu yöntemler arasında

geogridler ile iyileştirme de vardır. Geogridler yükü uniform olarak zemine yayarak farklı oturmaları da engellemiş olur. Zemin iyileştirmede kullanılan geogridlerin başlıca faydaları;

- Taşıma gücünü artırır.
- Uzun zamanda oluşacak deformasyonları azaltır.
- Farklı oturmaları önler.
- Çatlakları önler.
- Alt temelin taşıma gücünü arttırır.
- Yükün uniform dağılımını sağlar.

4.4.3.2. Yollarda kullanımı

Geogridler ile yol iyileştirilmesinde amaç farklı oturmaları önleyerek zeminin taşıma gücünü arttırmaktır. Geogridler gelen yükleri alanları boyunca uniform yayarak birim alana gelen yük miktarını azaltırlar. Günümüzde yol dolguları, yolun standartları arttıkça daha maliyetli ve önemli olmaya başlamıştır. Özellikle zayıf zeminlerde yapılan yol inşaatlarında problemler artmaktadır.

Hem taşıma gücü sınırlı hem de dolgu içinde oluşan toprak basıncı ile dolgu yana doğru yayılmaya çalışacaktır. Bunun nedeni yatay toprak basıncı ile dolgu tabanında yatay kayma gerilmeleri doğmakta ve zemin yeterli kayma direncine sahip olmadığından stabilitede bozukluklar oluşabilir. Burada kullanılacak geogrid ile yanal deformasyonlar ve farklı oturmalar önlenir.

Demiryollarında ve havaalanlarında, karayollarından farklı olarak oluşan dinamik yükler zeminde önemli oturmalara ve çatlaklara yol açar. Zemine gelen dinamik yüklerin neden olabileceği gerilmeler ve farklı oturmadan dolayısıyla çatlakları önlemek için ya da kullanılan dolgu zeminin kalınlığını azaltmak için geogridler kullanılır (Tunç, 2002). Yol inşaatlarında geogrid etkisi taşıma gücü, membran etkisi ve yanal deformasyonların etkisi olarak üçe ayrılabilir.

Taşıma Gücü: Taşıma gücü zayıf ya da yetersiz olan zeminlerde geogidlerle çekme dayanımı arttırılabilir. Bu sayede zemine gelen gerilmeler karşılanmış olur. Ayrıca geogrid ile gelen yük uniform olarak yayılarak gerilme soğanı da genişletilir. Bu sayede zeminde meydana gelecek oturmalar önlenmiş olur.

Membran Etkisi: Zayıf zeminler üzerine inşa edilen yollarda dolgu tabakasında trafik yükleri veya yatay-düşey hareketler sonucunda özellikle tekerleklerin olduğu yerlerde yerel oturmalar gözlenmektedir. Bu tür oturmalar geogridlerin sağladıkları çekme gerilme yardımıyla gelen yükü daha geniş bir alana yayarlar. Denge oluşuncaya kadar devam eder. Membran etkisinde dikkat edilmesi gereken husus geogridde meydana gelecek uzamadır. Zeminde 100 mm'ye kadar oluşabilecek kalıcı deformasyondan ötürü geogridin uzamasına engel olmaktadır. Aksi takdirde zeminde kalıcı tipte deformasyonlar oluşabilir (Karagül, 2006).

Yanal Deformasyon: Zeminin ve temel tabakasının yanal deformasyonunu önlemek için geogrid kullanılabilir. Kenetlenme ve sürtünme ile zemin ve temel malzemesini bir arada tutar. Böylece yanal deformasyonlar önlenmiş olur. Geogridin kullanımı aynı zamanda kayma yüzeyi daha uzun olacağından dolayı taşıma gücü artmaktadır.

4.4.4. Geogrid-Zemin Etkileşimi

Donatılı zemin yapıları, donatı ile zemin arasında oluşan etkileşim nedeniyle kompozit bir malzeme gibi davranırlar. Bu nedenle de zeminin kayma direnci ve göçmeden önceki deformasyon kapasitesi arttırılmış olur.

Donatı-zemin arasındaki etkileşimin nedenleri aşağıda sıralanmıştır.

1) Çekme direnci: Zemin içerisine gömülü geogrid tabakası üzerinde oluşan çekme gerilmeleri nedeniyle oluşur. Çekme gerilmelerinin iki bileşeni vardır:

i) Geogrid tabakası boyunca zemin daneleri ile donatı arasında oluşan sürtünme dirençleri
ii) Geogrid tabakaları üzerindeki enine nervürler ile zemin (daneleri arasında oluşan sürtünme dirençleri

2) Kayma direnci: İki bileşenden oluşur:
i) Geogrid boşluklarına giren zemin daneleri ile donatı arasında oluşan kayma direnci
ii) Geogrid boşluklarına giren zemin danelerinin kendi arasında oluşan kayma direnci

Donatı-zemin arasında oluşan bu dirençleri ölçmek için genellikle çekme deneyi ve kesme kutusu deneyleri yaygın olarak yapılmaktadır. Literatürde pek çok araştırmacı çekme deneylerinden elde edilecek parametrelerin daha sağlıklı olacağını belirtmişler, fakat numune hazırlamadaki kolaylık nedeniyle birçok araştırmacı tarafından kesme kutusu deneyleri tercih edilmektedir. Daneli bir yapıya ve daha yüksek içsel sürtünme açısına sahip kumlu zeminlerde geogrid-zemin etkileşimi killere göre daha efektif bir şekilde gerçekleşir.

4.5. Geonet

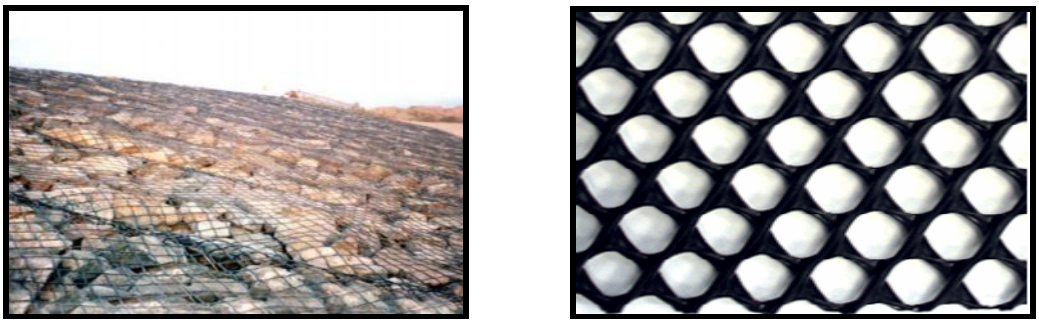
Geonetler, çevre geotekniğinin ilk uygulaması olarak Hopewell, Virginia'da tehlikeli likit atık depolama tesisindeki sızıntıların tespit edilmesi için kullanılmıştır. Daha çok grid malzemelere benzeyen geonetler polietilenden imal edilmiş ve geogridlerin altında uygulanmaktadır (Şekil 4.3). Kullanım alanı ayırma amaçlı olmamakla birlikte, bu özelliği de sağlamaktadır. Geonetler geotekstillere bir sıvı yapışkan ile bağlanır. Fakat yapışkanların zaman içerisinde zayıflaması nedeniyle geotekstilerden kolayca ayrılabilirler (Demiröz, 1996)

Geogrid donatı malzemesi olarak kullanıldığı zaman geonetler drenajı sağlamak için kullanılır. Geonetler, geotekstil, geomembran, geogrid veya bir başka malzemenin alt/üst yüzünde kullanılarak, zeminin boşluklara grip, malzemenin

drenaj özelliğini kaybetmesini önlemektedir. Bu sebebten dolayı kompozit malzemelerin hazırlanmasında kullanılmaktadırlar (Koerner, 1999). Geonetler,

- İstinat duvarlarının arkasında su drenajı,
- Şevlerinden sızan suyun drenajı,
- Dona duyarlı zeminlerde su drenajı,
- Bina temellerin altında su drenajı,
- Katı atık depolama tesislerinde çöp suyunun drenajı,
- Otoyolların altında kirli su drenajı,
- Toprak dolguların altında alt drenaj sistemlerinde,
- Kaya şevlerinden sızan suyun drenajı,
- Spor sahalarının altında su drenajı,

amacıyla kullanılmaktadır (Koerner, 1999)



Şekil 4-3 Geonet

4.6. Geoboru

Su, gaz, ve petrol vb., likit maddelerin yeraltında taşınması sırasında boru hatlarında kullanılan klasik malzemeler çelik, font, beton ve kildir. Polimerik malzemelerden imal edilen borular ise esnek olarak sınıflandırılırlar. Geoborular genellikle polivinil klorit (PVC), yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE), poliprobilen (PP), polibütilen (PB), akrilonitril bütadien stiren (ABS) ve seliloz asetat bütrit (CAB), malzemelerden üretilmektedirler (Şekil 4.4), (Bağcı, 2007), Geoboru,

- Tünellerde sızma dreni olarak
- İstinat duvarlarının arkasında boşluk suyu dreni olarak
- Karayolları, demiryolları ve hava alanlarında kenar dreni olarak
- Zemin ve kaya şevlerindeki sızmalar için kuşaklama dreni olarak
- Atık su drenaj sistemlerinde
- Kimyasalların taşındığı boru hatlarında
- Zemin ve atık malzeme dolgularında suyun uzaklaştırılması

amacıyla kullanılmaktadır (Koerner, 1999).



Şekil 4-4 Geoboru (URL-3)

4.7. Geofoam

1960'lı yıllardan beri geoteknik mühendisliği uygulamalarında başarıyla kullanılan her türlü köpük malzemenin adıdır. Horvath'a (1995) göre geofoamun en doğru tanımı, kapalı ve içi gaz dolu muhtelif hücrelerin oluşumu ile sonuçlanan ve genleştirme yoluyla elde edilen bir malzemedir. Hücre duvarları katı ancak gazlara karşı geçirgendir (Bağcı, 2007).

Geofoam polimerik (plastik) veya camsı köpük esaslıdır. Polistiren köpük kapsamında EPS (genleştirilmiş polistiren), XPS (sıkıştırılmış polistiren) olarak iki çeşit ürün olarak üretilmektedir (Şekil 4.5). Yumuşak ve zayıf zeminlerin üzerinde yapılan dolguların içinde, donma-çözünme etkisinin olduğu yerlerdeki yolların, hava

alanı kaplamalarının ve demiryolların altında geofoam kullanılmaktadır. Ülkemizde uygulama örneği az olan geofoam ürünleri diğer geosentetik malzemelerle geokompozit oluşturularak kullanılmaktadır (Yılmaz ve diğerleri, 2005)



Şekil 4-5 Geofoam

4.8. Geohücre

Geohücreler, içerisi zemin, kaya veya betonla doldurulmuş üç boyutlu petek tarzı elemanlardır. Genellikle şerit şeklinde polimer tabakalardan veya geotekstillerden üretilen geohücreler çaprazlama olarak yerleştirilmekte ve kesişim noktalarından birbirlerine sabitlendirilmektedir. Şeritlerin çekildikleri zaman geniş bir petek şeklinde örtüye dönüşmektedir (Şekil 4.6).



Şekil 4-6 Geohücre

5. MATERYAL ve METOT

5.1. Dijital Fotogrametri ile Deney Tasarımı

Dijital fotogrametri ardışık olarak kamera ile çekilen fotogrametrik resimler yardımıyla güvenilir ölçüler elde etme bilimi ve tekniği olarak tanımlanabilir. Fotogrametri; fotoğraflar üzerinden nesneleri ölçme tekniği ve görüntü verilerinin metrik yorumlanması olarak tanımlanmaktadır (Wolf ve Dewitt, 2000). Fotogrametrik yöntemle gözün görme olayı taklit edilerek 3 boyutlu (3B) model elde edilmekte ölçme değerlendirmesi bu 3B model üzerinden yapılmaktadır.

Gözümüzle objelere bakarken sağ ve sol göz objeleri değişik bakış açıları ile görmekte ve her gözde cismin ayrı bir görüntüsü oluşmaktadır. Bu görüntüler beynin görme merkezinde birleştirilerek 3B görme olayı gerçekleşmektedir.

Fotogrametride fotogrametrik değerlendirmesi yapılacak alanın iki farklı noktadan görüntüleri elde edilmekte ve bu fotoğrafların bindirmeli alanında 3B görüntü elde edilmektedir. Verilen tanımlardan da anlaşılacağı gibi, fotogrametrinin ana amacı, uzaktaki cisimlerin geometrik parametrelerini fotoğraflar yardımıyla elde etmektir.

Fotogrametri, gelişen teknolojiye paralel olarak bugün, artık fotoğraf yerine video veya CCD (Charge Couple Device, Yük bağlamalı Düzen, Dijital) kameralarla üretilen veya tarayıcılarla elektronik olarak disk, teyp gibi ortamlara kaydedilen görüntüleri kullanmaktadır. Fotogrametriyi, kullanım alanına, resim alım yerine, cisimlerin büyüklüklerine, değerlendirme tekniğine göre değişik şekillerde sınıflandırmak mümkündür. Buna göre fotogrametri:

Kullanım alanlarına göre;

- Topoğrafik fotogrametri,
- Topoğrafik olmayan fotogrametri

Resim alım yerine göre;

- Hava fotogrametrisi,
- Yersel (yakın resim) fotogrametri

Cisimlerin büyüklüklerine göre;

- Makro fotogrametri,
- Mikro fotogrametri

Değerlendirme tekniklerine göre;

- Çizgisel değerlendirme,
- Sayısal değerlendirme,
- Fotoğrafik değerlendirme

şeklinde sınıflandırılır (Tüdeş, 1996).

5.1.1. Yakın Resim Fotogrametresi

Bir nesne hakkında, üç boyutlu konumsal bilgi elde etmek için kullanılan ölçme teknolojisidir. Ayrıca hava fotogrametrisine benzer şekilde, bir nesneyi doğrudan ölçmek yerine, nesnenin görüntülerinden yararlanarak ölçümleri gerçekleştiren bir teknolojidir. Yakın resim fotogrametrisinde fotoğraf çekimi için, nesne ile çekim istasyonu arasındaki uzaklık 0.10 m - 300 m arasında değişmektedir.

Son yıllarda yakın resim fotogrametrisinin kullanım alanının artmasının en önemli nedenlerinden biri, nesnelerin klasik fotoğraflardan veya kameralar ile yakın mesafeden çekilen dijital görüntüler üzerinden doğru bir şekilde ölçülmesi ve değerlendirilmesi neticesinde istenen hassasiyetin elde edilebilmesidir. Yakın resim fotogrametrisi, geleneksel ölçüm yöntemleri ile karşılaştırıldığında üstünlükleri:

- Arazideki veriyi toplamak için gereken zamanı anlamlı bir şekilde azalttığından etkin (verimli) ve hızlı olması,
- Noktalar uzaktan ölçüldüğünden ölçüm aşamasının çalışanlar açısından oldukça emniyetli ve güvenli olması,
- Trafik akışını etkilemediği için kullanışlı olması,
- Üretilen işlem mevcut alanda bulunan farklı özellikleri de içerdiğinden ve daha sonraki bir zamanda da geometrik olarak değerlendirilebilme veya ölçülebilme imkânı sağladığından çok amaçlı görsel kayıt olarak kullanılması
- Jeodezik ölçüm tekniklerinin güçlükle kullanıldığı tünel, baraj veya rafineri gibi yapılar üzerinde etkili boyutsal ölçümler elde edebilmek için de kullanılmaktadır.

Yakın resim fotogrametrisinde üç boyutlu verilerin elde edilmesi ve yüksek doğruluğa ulaşılması için değişik istasyonlardan ardışık ve bindirmeli görüntülerin çekilmesi şarttır. Bu şartı gerçekleştirmek için kamera düzeninin iyi tasarlanması ve işleme en uygun matematik modelin seçilmesi gerekmektedir. Bu model için,

- Yüksek ölçü hassasiyetine ulaşılması,
- Kamera ağ tasarımı olarak adlandırılan kaç tane kameranın, nereye ve nasıl yerleştirilebileceği,
- Cisim üzerindeki kontrol noktalarının sayısı ve konumlarının nasıl olması gerektiği,
- Uygun optimizasyon

metodu kullanılarak sağlanmaktadır.

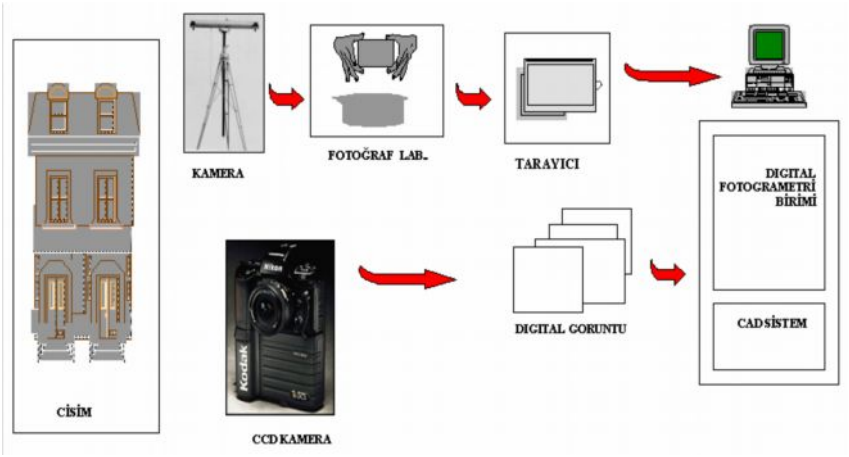
5.1.2. Yakın Resim Fotogrametrisinde Kullanılan Koordinat Sistemleri

Yakın resim fotogrametrisi, bir nesne hakkında, üç boyutlu konumsal bilgi elde etmek için kullanılan ölçme teknolojisi olduğundan, görüntü koordinatlarından

arazi (obje) koordinatlarına geçişi sağlamaktadır. Bundan dolayı uzaydaki bir noktanın konumu genelde merkez, ölçek ve yöneltmelerin keyfi olarak tanımlanabileceği, üç boyutlu kartezyen (dik) koordinat sistemi ile ifade edilir (Cooper ve Robson, 1996). Dijital yakın resim fotogrametrisinde hesaplamalar sırasında kullanılan koordinat sistemleri;

- Piksel koordinat sistemi - İki boyutlu
- Görüntü koordinat sistemi - İki boyutlu
- Model koordinat sistemi - Üç boyutlu
- Arazi koordinat sistemi - Üç boyutlu

Dijital fotogrametride, iki şekilde veri elde edilebilir. Klasik fotoğraf makinası kullanılarak elde edilen resim taranarak dijital ortama aktarılır veya dijital fotoğraf makinası kullanarak çekilen resim doğrudan bilgisayara aktarılır (Şekil 5.1).



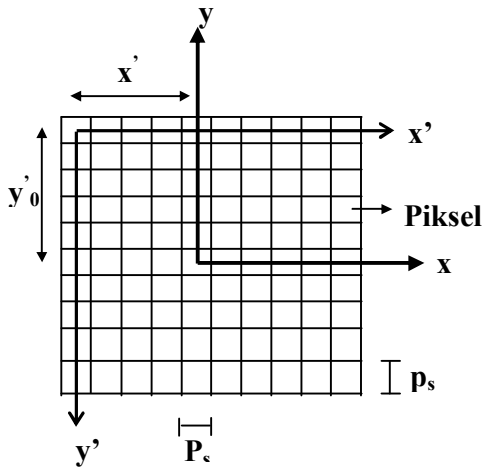
Şekil 5-1 Veri elde etme yöntemleri

Dijital ortamda görüntüler iki boyutlu bir f(x,y) fonksiyonu olarak ifade edilir. Her bir piksel için bilgisayarda renk değeri ve (x,y) piksel koordinat değeri olmak üzere 3 ayrı bilgi kaydedilir. Piksel koordinat sisteminden görüntü koordinat sistemine dönüşüm yapılır. Model koordinatları ise görüntü koordinatlarından yararlanılarak bulunur. Eğer çalışma bölgesel ise veya tek model ile çalışılıyorsa, model koordinat değerleri arazinin orijinal boyutunda olduğu için elde edilen değerler yeterli olabilir ve arazi koordinat sistemine geçiş gerekli olmaz. Çok modelli

çalışmalarda veya kontrol noktalarının koordinatları bir nirengi koordinat sistemine göre belirlenmiş ise arazi koordinat sistemine geçiş yapılması gerekli olur (Tüdeş, 1996).

5.1.2.1. Piksel Koordinat Sistemi

Bilindiği gibi analitik ve dijital fotogrametride temel veriyi görüntü koordinatları oluşturur. Dijital görüntüdeki ölçümler bir piksel koordinat sisteminde ifade edilir. Bir görüntü üzerinden resim koordinat bilgisinin çıkarılması için bu iki sistem arasında bir geçişin sağlanması gerekir. İki sistem arasındaki geçiş Şekil 5.2'de gösterilmektedir.



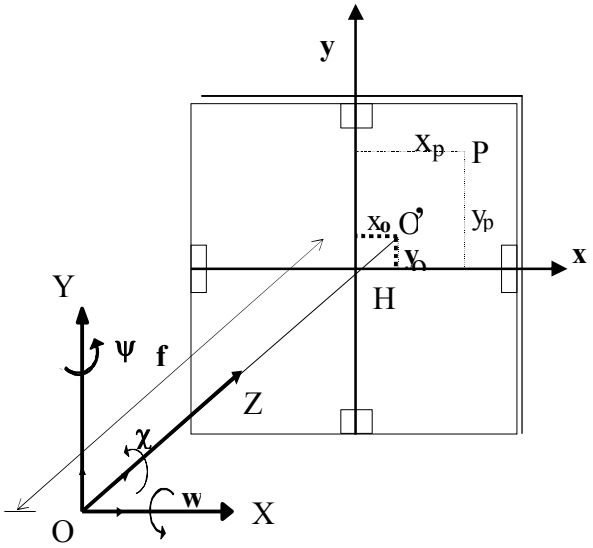
Şekil 5-2 Dijital görüntünün yapısı, piksel ve görüntü koordinat sistemleri

Şekil 5.2'de kullanılan sembollerin anlamları:

x ', y'	: Piksel koordinatları
x'_0, y'_0	: Piksel koordinat sistemindeki asal noktanın koordinatları
x , y	: Görüntü koordinatları
p_{sx}, p_{sy}	: x ve y yönündeki piksel büyüklüğü.

5.1.2.2. Görüntü koordinat sistemi

Görüntü üzerindeki detaylar bu koordinat sistemine göre ölçülür. Çekim sırasında resim üzerinde beliren ve müşir adı verilen işaretlerin birleştirilmesi sonucu oluşan koordinat sistemidir.



Şekil 5-3 Görüntü koordinat sistemi

Şekil 5.3'de kullanılan sembollerin anlamları:

O : İzdüşüm merkezi,

O': İzdüşüm merkezinin görüntü düzlemindeki karşılığı ve bu noktanın üç boyutlu uzay koordinatları x_o, y_o, C,

ω, φ, χ : Dönüklük açıları,

C : Odak uzaklığı, (kamera sabiti, asal uzaklık),

x_p,y_p : P noktasının görüntü koordinatlarıdır.

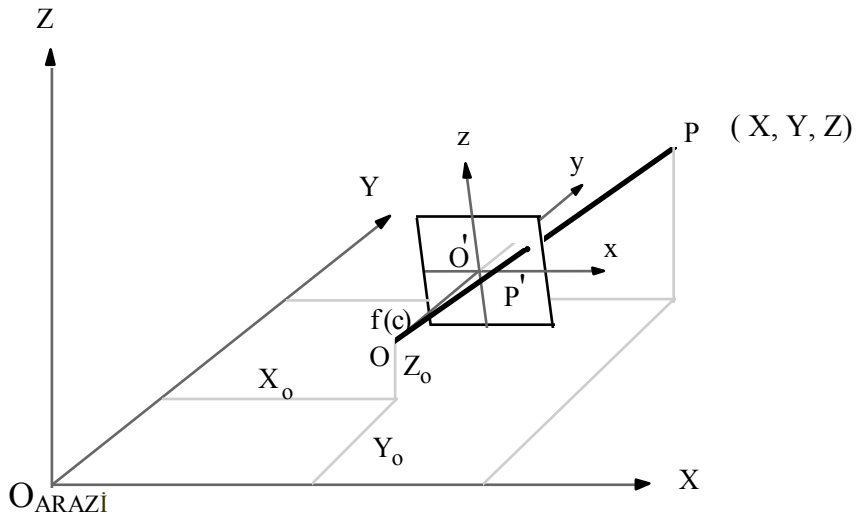
5.1.2.3. Model koordinat sistemi

Model koordinat sistemi, üç boyutlu bir modelde görüntülenen noktaların uzay koordinatlarının dayandığı sistemdir. Bu sistem arazi koordinat sistemi

olduğundan X-Y düzlemi yatay, Z ekseni düşey olmalıdır (Tüdeş, 1996). Sol resmin istasyon noktasını başlangıç, kamera ekseninin yatay izdüşümünü Y ekseni olarak kabul eden bir sistemdir. Z ekseni ise X-Y'nin belirttiği düzleme dik olan eksendir (Kocaman, 1988). Modelin konumu genelde resim çekme bazına göre belirlenir.

5.1.2.4. Obje (Arazi) kooridinat sistemi

Arazi koordinat sistemi noktaların konumlarını cisim uzayında belirlemek için kullanılan koordinat sistemidir. Ülke koordinat sistemi olabileceği gibi, yapılan çalışma için tesis edilmiş bölgesel bir nirengi ağı da olabilir. Eğer birden fazla bazdan çekim yapılmışsa, modeller arasında gerekli bağıntının kurulabilmesi için böyle bir sisteme ihtiyaç vardır (Şekil 5.4).



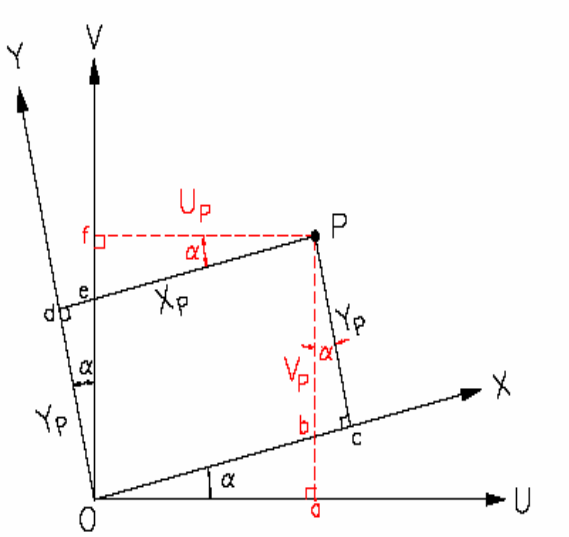
Şekil 5-4 Görüntü ve arazi koordinat sistemleri

Şekil 5.5'deki sembollerin ifadesi:

x,y, z :	Görüntü koordinatları,
O :	İzdüşüm merkezi,
X,Y,Z:	P noktasının arazi koordinatları,
$O_{ARAZİ}$:	Arazi koordinat sisteminin başlangıcıdır

5.1.2.5. Koordinat sistemleri arasındaki dönüşümler

Koordinat dönüşümü, bir sistemdeki değerlerin ikinci bir sistemin değerlerine dönüştüğü bir matematiksel işlemler bütünüdür. Bu noktanın fiziksel konumunun değiştiği anlamına gelmez. Dönüşümün şekli aşağıdaki resimde verilmiştir (Şekil 5.5).



Şekil 5-5 İki boyutta basit bir dönüşümün geometrisi

Yukarıdaki şekilde "P" noktası U-V Koordinat sisteminde yeri U_p ve V_p değerleri ile belirtilir. Aynı şekilde X-Y Koordinat sisteminde P noktası X_p ve Y_p değerleri ile tanımlanır. Her iki koordinat sistemi de ortak bir orijine sahiptir. X ve U eksenleri ile Y ve V eksenleri arasında α açısı kadar bir dönüklük vardır. Noktanın koordinatları,

$$X_p = de + ep \tag{5.1}$$

şeklinde gösterilir. feP üçgeninden

$$\cos\alpha \quad \frac{fP}{eP} \Rightarrow eP = \frac{fP}{\cos\alpha} \tag{5.2}$$

bağıntıları elde edilir. Bu eşitliklerden “de” ve “ep” çekilecek olursa;

$$\tan\alpha \quad \frac{de}{Y_p} \Rightarrow de \quad Y_p = \tan\alpha \tag{5.3}$$

$$\cos\alpha \quad \frac{U_p}{eP} \Rightarrow eP = \frac{U_p}{\cos\alpha} \tag{5.4}$$

eşitlikleri elde edilir. Sonra bu eşitlikler ana denklemde yerine konulursa;

$$X_p = Y_p \tan\alpha + \frac{U_p}{\cos\alpha} \quad Y_p \frac{\sin\alpha}{\cos\alpha} + \frac{U_p}{\cos\alpha} \Leftrightarrow X_p \cos\alpha = Y_p \sin\alpha + U_p \tag{5.5}$$

eşitliğinden sonuç olarak

$$U_p = X_p \cos\alpha - Y_p \sin\alpha \tag{5.6}$$

bağıntısına ulaşılır. Aynı işlemler V_p koordinatına da uygulanacak olursa:

$$V_p = ab + Pb \tag{5.7}$$

$$\tan\alpha \quad \frac{bc}{Y_p} \Rightarrow bc \quad Y_p = \tan\alpha \tag{5.8}$$

$$\sin\alpha \quad \frac{ab}{X_p - bc} \Rightarrow ab \quad (X_p - bc)\sin\alpha \tag{5.9}$$

$$ab = (X_p - Y_p \tan\alpha)\sin\alpha \tag{5.10}$$

eşitliğinden,

$$ab = X_p \sin\alpha - Y_p \frac{\sin^2\alpha}{\cos\alpha} \tag{5.11}$$

$$\cos\alpha \quad \frac{Y_p}{Pb} \Rightarrow Pb = \frac{Y_p}{\cos\alpha} \tag{5.12}$$

$$V_p = X_p \sin\alpha - Y_p \frac{\sin^2\alpha}{\cos\alpha} + \frac{Y_p}{\cos\alpha}$$
$$V_p = X_p \sin\alpha + Y_p \left(\frac{1}{\cos\alpha} - \frac{\sin^2\alpha}{\cos\alpha} \right) \quad X_p \sin\alpha + Y_p \cos\alpha \tag{5.13}$$

Yukarıda yapılan işlemlerde XY ve UV koordinat sistemleri arasındaki sağa doğru α kadar dönüklük giderildi. Bu dönüklük ters istikamette de olabilirdi. O zaman,

$$\sin(-\alpha) \quad = \sin\alpha \tag{5.14}$$

olacağı için formüller şu hale dönüşür;

$$X_p = U_p \cos\alpha + V_p \sin\alpha \tag{5.15}$$

$$Y_p = -U_p \sin\alpha + V_p \cos\alpha \tag{5.16}$$

Burada 5.15 ve 5.16 eşitliklerini matris denklemi ile gösterilirse

$$\begin{bmatrix} X_p \\ Y_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\alpha & \sin\alpha \\ -\sin\alpha & \cos\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_p \\ V_p \end{bmatrix} \tag{5.17}$$

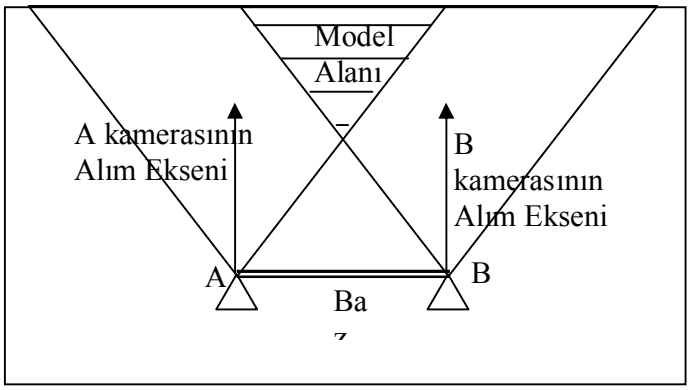
şeklinde gösterilir.

5.1.3. Fotograf Alım Yöntemleri

Yakın resim Fotogrametrisi çalışmasının yapılabilmesi için gerekli olan resimlerin çekimleri, amaçlarına ve çekim ortamına bağlı olarak çeşitli şekillerde olmaktadır. Dolayısı ile aşağıda anlatılan durumlardan biri seçilip, o duruma uygun hareket ederek alım yapılmalıdır.

5.1.3.1. Normal alım durumu

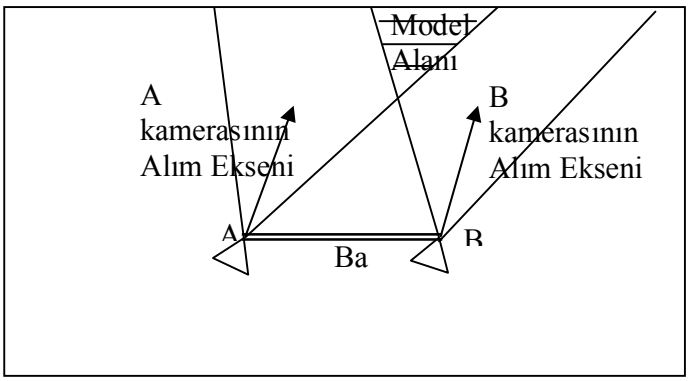
Bu tür durumlarda bazın her iki ucunda alınan resimlerde, alım eksenleri birbirine paralel ve baza diktir. Çalışmalar, hesaplama kolaylığı için genellikle, fotogrametrinin normal durumuna uygun olarak yapılır. (Şekil 5.6).



Şekil 5-6 Normal alım durumu

5.1.3.2. Dönük alım durumu

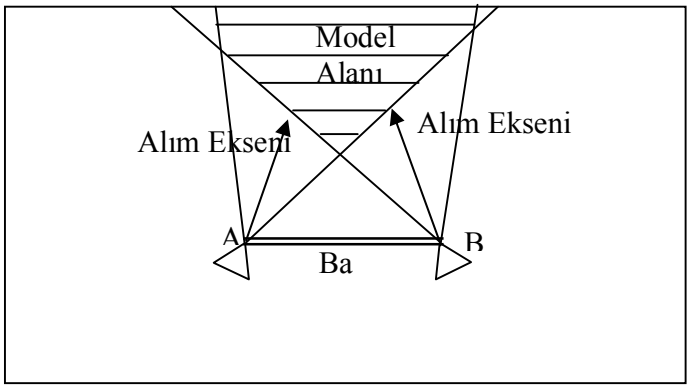
Bu alım şeklinde ise bazın her iki ucundan alınan resimlerdeki alım eksenleri birbirine paraleldir, fakat baza dik değildir (Şekil 5.7). Bu durumla, resmi çekilecek nesnenin tam olarak karşısına kameralar yerleştirilemediği zaman karşılaşılır.



Şekil 5-7 Dönük alım durumu

5.1.3.3. Konverjan alım durumu

Bu durumda ise, bazın her iki ucundan alınan resimlerde, alım eksenleri birbirlerine paralel değildirler ve kesişirler. Her iki kamera konumunda oluşan dönüklük açıları birbirine eşit olmak zorunda değildir. Burada önemli olan nesnenin bu alım şekliyle model içerisine sokulabilmesidir (Şekil 5.8).



Şekil 5-8 Konverjan alım durumu

5.2. Kalibrasyon

5.2.1. Kalibrasyonun Tanımı ve Amacı

Kamera kalibrasyonu, kamera sistemini en iyi şekilde ifade eden parametrelerin bulunması olarak ifade edilir. Bu parametreler bilindiği üzere resim çekme merkezin uzaklığı (odak uzaklığı, f), resim koordinat sistemi eksenlerinin yönleri ve dönüklükleri ile distorsiyon parametreleridir. Aynı zamanda bir resim çekme makinesinin kalibrasyonu fotogrametrik nokta belirleme işleminin tersi olarak da ifade edilebilir. Fotogrametrik nokta belirlemesinde iç yöneltme elemanları bilinir ve cisim noktalarının koordinatları istenir. Kalibrasyonda ise cisim noktalarının koordinatları bilinir ve iç yöneltme elemanları aranır.

5.2.2. Çalışmada Kullanılan Resim Çekme Makinesinin Kalibrasyonu

Kalibrasyon çalışmasında önemli olan hedeflerin oluşturduğu şeklin hacimsel yapısı, yani resim çekim noktası ile resim çekilen obje arasındaki yatay uzunluk ve kontrol noktalarının birbirleri ile aralarındaki derinlik oranının hassas bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Ancak kullanılan kontrol noktalarının üç boyutlu koordinatlarının doğruluğuna bağlı olacaktır (URL-4).

5.2.3. Dijital Kameralar

Digital kameraların klasik kameralara oranla birçok üstün yanları vardır. Fakat beraberinde bazı problemleri de mevcuttur. Bu problemleri şu şekilde sıralayabiliriz:

- Gerekenden fazla veri depolanır. (Format sorunu)
- Resimlerin çerçeve oranı sınırlıdır.
- Pixeller çok fazla kontrastlığa (fazla ışık miktarına) sahiptir.
- Pixel boyutu maksimum 7.5x7.5 mikron ile sınırlıdır.

Kameraların hassasiyetini etkileyen en önemli konular piksel boyutu, ayırma gücü ve doğruluktur. Digital kameraların görüntü düzlemi, iki boyutlu algılayıcı tarafından oluşturulmuştur. Algılayıcılar belirli aralıklarla alınan sinyalleri kaydederler. Bu sinyaller daha sonra sayısallaştırılarak sayısal görüntü verisi haline getirilir.

Digital kameralar, klasik hava kameraları ile aynı yapıya sahip olup, optik mercekler, mekanik optüratör ve film olmak üzere üç ayrı parçadan oluşmaktadır. Günümüzde tamamen digital olan kameralar da bulunmaktadır. Özellikle CCD kameralar, bunlara en iyi örnektir. Fakat formatı sınırlı olup, genellikle yakın mesafe fotogrametrisinde kullanılmaktadır. Özellikle objeler üzerinde çalışılırken tripod

(üçayak) vazgeçilmez bir aksesuardır. Tripod kullanım alanına ve şekline göre farklı büyüklüklerde ve özelliklerde olabilir (Şekil 5.9).



Şekil 5-9 Deneylerde kullanılan kamera ve tripodlar

5.2.4. Dijital Fotogrametride Kullanılan Yazılımlar

Filmli fotoğraf makineleri ile alınan görüntüler tarayıcılar kullanılarak dijital ortama aktarılabilmektedir. Fotogrametrik çalışmalar için kullanılacak tarayıcılar yüksek çözünürlüklü tarayıcılar olmalıdır (Göktepe, 1998). Düşük çözünürlüklü kameralar ve tarayıcılar üç boyutlu görsel sunular için yeterli olabilir ancak metrik ölçümler için yeterli değildir.

Kullanılacak yazılım ihtiyaca göre seçilir. Düşeyleme yapılacaksa, model oluşturulup üç boyutlu görselleştirme yapılacaksa buna uygun yazılım seçilmelidir. Sağladığı üstünlüklerden dolayı ışın demetleri yöntemine göre alım yapıldıysa bu yönteme göre değerlendirme yapan yazılımlar kullanılmalıdır. Her türlü CAD yazılımı ve bu verileri kullanabilen görsel sunum araçları değişik ihtiyaçlar için kullanılabilir.

Ancak günümüzde resimler doğrudan digital formatta çekilmekte ve bilgisayar ortamında bu amaçla yazılmış programlarla (Pictran, Photomodeler, Z-Map, vs) değerlendirilmektedir. Çalışmada dijital görüntü işlemek için kullanılan

yazılım Pictran yazılımıdır. Pictran programı, Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Bölümü Fotogrametri laboratuarından temin edilerek değerlendirmeler yapılmıştır.

5.2.5. Pictran yazılımı

Pictran programı digital görüntü işlemek için kullanılan bir yazılımdır. Berlin Teknik Üniversitesinde jeodezi ve bilgisayar mühendisleri tarafından yazılan, ticari yönünden çok akademik ve bilimsel yönü ağır basan bir programdır. Yazılımın temel modülleri Pictran D ve Pictran E'dir. Bir de demet dengelemesi yapan modül Pictran B'dir. Pictran D ana modüldür. Dijital resimlerin çevrilmesini sağlar. Sonuç ya bir çizim veya ölçekli bir plandır. Pictran E modülü ise digital görüntüleri düşeye çevirmeye yarayan modüldür. Sonuçlar cisim koordinatları, grafik çizimler veya cad veri yapısında elde edilebilir (URL-5.). Pictran programının genel özellikleri:

- Düşeye çevirme ve ortofoto yapabilir.
- Üç boyutlu cisim belirlemesi yapabilir.
- İstenilen sayı ve büyüklükte resim işleyebilir.
- Kamera kalibrasyonu yapabilir.
- Cad sistemine bağlamak mümkündür.
- Görüntü eşleştirme yöntemiyle subpiksel doğruluğa erişmek mümkündür.
- Tam otomatik yaklaşık değer belirleyebilir ve kaba hataları ayıklayabilir.
- Yarı otomatik nokta ölçmesi yapabilir.
- Tam otomatik ağ plaka ölçmesi yapabilir.
- Analog ve digital kameraları kullanabilir,
- Esnek resim çekme ve işleme kolaylığı bulunmaktadır.
- Cisimleri tam anlamlı dokümantasyon ve arşivleme özelliğine sahiptir.
- Sonuçları üç boyutlu koordinat veya çizim olarak sunabilme özelliğine sahiptir.
- Sonuçları görüntü mesafesine, çözünürlüğe ve kullanılan kameraya bağlıdır.

5.2.5.1. Üç boyutlu değerlendirme

Pictran D modülü resmi çekilen cisimlerin bir takım işlemler sonucu bilgisayar ortamında yeniden modellendirilmesini sağlar. Modeli oluşturulan bölge üzerinde yapılan üç boyutlu nokta ölçümü esnasında kullanılan resimlerde uzaysal doğrultular oluşturur. Bu sayede nokta ölçümünün hassas olması sağlanır. Uzaysal ışınlar kesiştirilerek noktaların üç boyutlu koordinatları elde edilir.

5.2.5.2. Demet dengelemesi

Pictran B modülü dengeleme yapan modüldür. Demet dengelemesi yapan modülde iç yöneltmesi yapılan resimleri oluşturulan proje kapsamında kontrol noktaları ile dış yöneltmeye tabi tutulurlar. Dengeleme esnasında resim çekim noktasının koordinatlarına ve dönüklük değerlerine ihtiyaç yoktur. Bu değerler dengeleme esnasında Pictran B tarafından hesaplanmaktadır.

5.2.5.3. Düşeye çevirme

Pictran E modülü eğik çekilen resimlerin düşeye çevrilmesine yarayan modüldür. Bu modülde resim üzerinde düzlemsel eğikliklerden dolayı meydana gelen perspektif görünüm giderilir. Böylece düşeye çevrilen resimler üzerinden iki boyutlu değerlendirme mümkün olur.

5.2.5.4. Ortofoto

Pictran O modülü çekilen resimlerin düşeye çevrilip üzerinde matematiksel işlemler yapılabilen hala getiren modüldür. Böylece yöneltmesi yapılan resimler üzerinden koordinat alınabilen haritalara dönüşür.

5.2.6. Taguchi Yöntemi

Araştırma-geliştirme giderlerini azaltmak amacıyla en az deneyle doğru sonuca gitme ilkesine dayanan birçok deney tasarımı yöntemi geliştirilmiş ve bunlar geniş uygulama alanı bulmuştur (Şirvancı, 1997)

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 değiştirerek deney yapma
- Klasik istatiksel deney tasarımı
    - Tam parametreli tasarım
    - Kısmi parametreli tasarım
- Taguchi deney tasarımı

Aynı amaca hizmet etmek üzere ortaya çıkan bu yöntemlerin olumlu ve olumsuz yanlarının bilinmesi, yapılacak çalışmanın başarısını etkilemektedir. Bazı deney tasarımlarında değişik parametreler arasındaki etkileşimler de araştırma sonuçlarını etkileyebilmektedir. Bir deneydeki parametreler arasındaki etkileşimler varyans analizleriyle araştırılmaktadır. Tam parametreli ve kısmı parametreli deney tasarımlarında ve analizlerinde etkileşimler genelde dikkate alınmadığı gözlenmektedir. Bu nedenle tam parametreli ve kısmı parametreli 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 gerekmektedir. Ayrıca bu durum çalışmaların maliyetini de arttırmaktadır.
2. Aynı çalışma için yapılan ikiden fazla tasarımlarda farklı sonuçlar elde edilebilmektedir.
3. Bu tasarımlar normalde 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 yöntemdir.

Taguchi tarafından deney tasarımına yeni bir boyut kazandırılmıştır. Bu yöntem kalite-kontrol amaçlı ürün üretimi ve parametre tasarımı için geliştirilmiş olmakla birlikte, oldukça farklı alanlar içinde uygulanmaktadır. Taguchi Yöntemi ile çok faktörlü ve/veya seviyeli deneylerin planlanmasında basitlik ve mükemmel esneklik sağlanmaktadır.

Bu çalışmada geogrid donatılı kumlu zeminlerdeki sürekli temellerin taşıma gücünü etkileyen faktörler Taguchi yöntemi ile araştırıldığından, bu yöntemin genel ilkeleri ve uygulanması aşağıda açıklanmıştır.

Tam faktoriyel tasarımında çıktı üzerinde etkili olan kontrol edilebilir bütün parametre ve seviyelerini kapsayan deneyler yapılmalıdır. Örneğin her biri 2 seviyeli olan 4 parametreli bir deneysel çalışma için 2^4=16 adet deney yapılması gerekmektedir. Bu tasarım zaman ve maliyet açısından uygulanabilir bir tasarımdır. Fakat her biri 4 seviyeli olan 5 parametreli bir çalışmada, parametrelerin etkilerini görebilmek için 4^5=1024 adet, her deneyinde 3 kez tekrarlanıldığı düşünülürse 3072

adet deney yapılması gerekmektedir. Bu zaman, maliyet ve değerlendirme açısından neredeyse imkânsız bir tasarımdır.

Tam faktöriyel deney tasarımına alternatif olabilecek optimizasyon teknikleri kullanılmaktadır. Kısmi faktöriyel deney tasarımında uygulayıcı tarafından tüm kombinasyondan oldukça küçük bir bölümü örnek olarak seçilip deneyler yapılmakta ve sonuçlar genelleştirilmektedir.

Bu tür tasarımlarda hangi parametre ve seviyelerin seçileceği, sonuçların güvenilirliği konusunda problemler oluşmaktadır. Elde edilen sonuçlar bütün için her zaman gerçek sonucu yansıtmayabilir. Aynı kombinasyondan seçilen farklı bir grup üzerinde yapılan deneylerle farklı değerlendirmeler yapılabilmektedir. Her defasında bir faktörü değiştirerek deneylerin yapılması durumunda sonuç üzerindeki parametrelerin bir tanesi değiştirilmekte diğerleri sabit tutulmaktadır. Bu nedenle çok parametreli ve çok seviyeli deneylerin yapılması, değerlendirilmesi ve optimum oranların belirlenmesi oldukça zordur.

Taguchi yöntemine göre ürün veya çıktıyı etkileyen faktörler; kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen faktörler olmak üzere iki grupta toplanmaktadır. Kontrol edilebilen faktörlerin optimum değerlerini belirleyebilmek için ortogonal dizileri içeren deney tasarım tabloları kullanılmaktadır. Bunların sonunda verilerin analiziyle belirlenen optimum şartlarda doğrulama deneyleri yapılarak, beklenen sonucun elde edilip edilemeyeceği kontrol edilir. Ayrıca bu yöntem ile yapılmamış deneyler için tahminlerde de bulunulabilir. Endüstri Mühendisliğinde ürün tasarımı için geliştirilmiş olan bu yöntem son yıllarda farklı disiplinlerde bilimsel araştırmalarda kullanılmaktadır. Geoteknik mühendisliğinde çimento enjeksiyonları ve şev stabilitesi konularında bu yöntem başarılı bir şekilde uygulanmıştır (Tan ve diğerleri, 2004, Tan 2006).

5.2.7. Taguchi Yöntemi ile Yapılan Analizler

Bu yöntemde standart analiz ve S/N (signal to noise) olmak üzere iki şekilde analizler yapılmaktadır. Analizler üç farklı amaç için yapılmaktadır.

- Hedef değerin maksimum olması
- Hedef değerin minimum olması
- Hedefin bilinen bir değer olması

S/N analizinde temel olarak değişim indeksi olarak tanımlanan S/N oranı kullanılmaktadır. S/N oranı ne kadar büyük ise hedef değer etrafındaki ürün değişimi o kadar küçülür. S/N oranının kullanılmasının nedeni, deneylerin birden fazla tekrarlanması ile dış etkenlerin ve kontrol edilemeyen değişkenlerin sonuç üzerindeki etkilerini belirleyebilmektir. S/N oranı ise aşağıdaki bağıntı ile bulunabilir.

$$\frac{S}{N} = -10x\log_{10}(MSD) \tag{5.18}$$

Burada MSD hedef değer etrafında sapma karelerinin ortalaması olup hedef değerin en büyük, en küçük ve bilinen bir değer olması durumları için sırayla aşağıdaki bağıntılarla belirlenmektedir.

$$MSD = \left(\frac{1}{Y_1^2} + \frac{1}{Y_2^2} + ... + \frac{1}{Y_n^2} \right) / n \tag{5.19}$$

$$MSD = \left(\frac{Y_1^2 + Y_2^2 + ... + Y_n^2}{n} \right) \tag{5.20}$$

$$MSD = \left(\frac{(Y_1 - Y_0)^2 + (Y_3 - Y_0)^2 + ...(Y_n - Y_0)^2}{n} \right) \tag{5.21}$$

Bağıntılarda Y_1 ... Y_n : deney sonuçları, n: bir deneydeki tekrar sayısı, Y_0 : bilinen belirli hedef değerdir. Bu yönteme göre yapılmış tasarımda optimum koşullarda beklenen hedef değerler veya deneylerin yapılmadığı kombinasyonlar için beklenen hedef değerler aşağıdaki bağıntı ile belirlenmektedir.

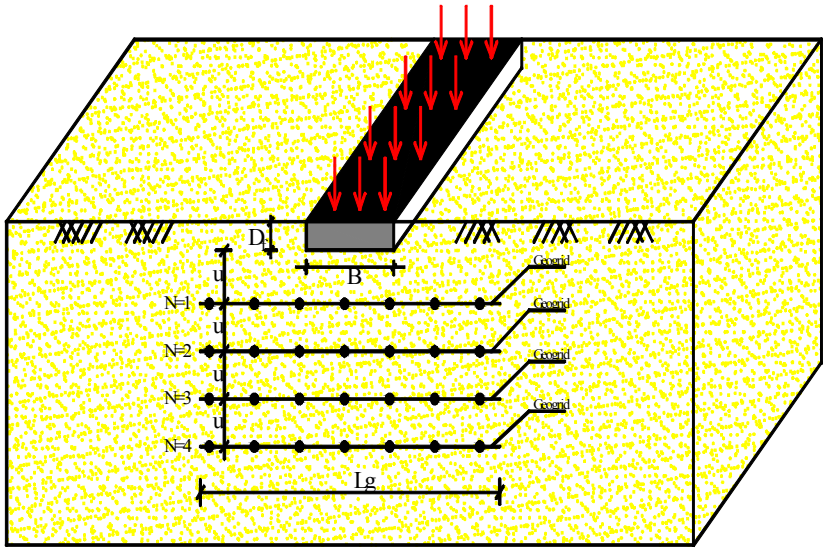
$$Y_{beklenen} = \sqrt{\frac{1}{MSD_{ort}}} \tag{5.22}$$

Deney sonuçlarının güvenilirliğinin ve parametrelerin sonuç üzerindeki etki derecelerini belirlemek için istatistiksel analizler yapılmalıdır. Bunun için geliştirilmiş olan çok değişkenli varyans analizleri (ANOVA) kullanılmaktadır. Bu teknikle verilerin serbestlik dereceleri, kareler toplamı varyans ve değişkenliği belirlenmektedir. Yani parametrelerin sonuç üzerindeki etki yüzdeleri ve güven düzeyleri varyanstan ölçülmektedir.

5.3. Yapılan Çalışma İçin Seçilen Tasarım Parametreleri

Bu çalışmada; geogrid donatılı kum üzerine oturan sürekli temellerin sınır taşıma gücünü etkilyen ve kontrol edilebilen başlıca parametrelerin sonuç üzerindeki etkilerinin deneysel ve istatiksel olarak araştırılması hedeflenmiştir. Çalışma için seçilen parametreler aşağıda belirtilmiştir. Şekil 5.10'da bu parametrelerin şematik gösterimi verilmiştir.

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



Şekil 5-10 Donatı geometrik parametreleri

5.4. Deney Düzeneği

Donatısız ve geogrid donatılı kum zeminler üzerinde yapılan deneysel çalışmalar Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Zemin Mekaniği laboratuarında gerçekleştirilmiştir. Model temellerde taşıma gücü deneyleri kumun rölatif sıkılığı %85 seçilerek, donatısız ve değişik derinlik oranlarında donatı kullanılarak iki farklı grubta deneyler yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan alet, cihaz ve düzenekler aşağıda açıklanmıştır.

5.4.1. Deney Tankı

Deney tankı 39 cm (genişlik), 112.50 cm, (uzunluk) ve 80 cm. (yükseklik) boyutlarında teşkil edilmiştir. Ön ve arka yüzleri kalın temperli cam plakalardan, yan yüzeyleri ise et kalınlığı 3 mm olan çelik saçtan yapılmıştır. Ön ve arka yüzeyleri 30x30 mm kutu profille desteklenmiştir. Tankın yatay yüzeyleri de 30x30 kutu profillerle desteklenmiştir. Böylelikle deneyler esnasında düşey yükler altında yan duvarlarda muhtemel oluşabilecek deformasyonları önlemek amacıyla tankın rijitliği

arttırılmıştır. Ayrıca deney esnasında oluşacak olan deformasyonların % 0.2 mertebesinden büyük olmaması için tankın üst kısmında 3 mm et kalınlığında, 80 mm genişliğinde dört adet U kesitli çelik profillerle destek yapılmıştır. Deneylerde model temelin altındaki kayma yüzeylerini ve kabarmaları gözlemlemek amacıyla deney tankının ön ve arka yüzeyi 15 mm kalınlığında temperli cam yapılmıştır. (Şekil 5.11).

Deneylerde sert cam kullanılması durumunda hata oranının % 10'un altında kalmakta bu da deney sonuçlarını çok fazla etkilememektedir. (Tan, 1996). Ayrıca ön camın yüzeyi 2.5x2.5 cm'lik bir karalej yapılmıştır. Bu sayede temel altındaki oluşan kayma yüzeyleri daha belirgin olarak gözlemlenmiştir. Deney tankı yükleme çerçevesi içine monte edilmiştir. Yükleme çerçevesi farklı çelik profillerden imal edilmiş ve üst kat seviyesinde düşey yük uygulanabilecek şekilde tasarlanmıştır.

D=40 mm çapında dolu dairesel kesitli dört adet çelik çubuk ile üst ve alt çelik plaka ile rijit bir yükleme çerçevesi oluşturulmuştur. Yükleme platformu içerisine yerleştirilen deney tankı alt rijit taban plakasına kaynakla sabitlenmiştir. Böylelikle deney esnasında tankın herhangi bir dönme ve ötelenme yapması engellenmiştir (Şekil 5.12, 5.13 ve 5.14).



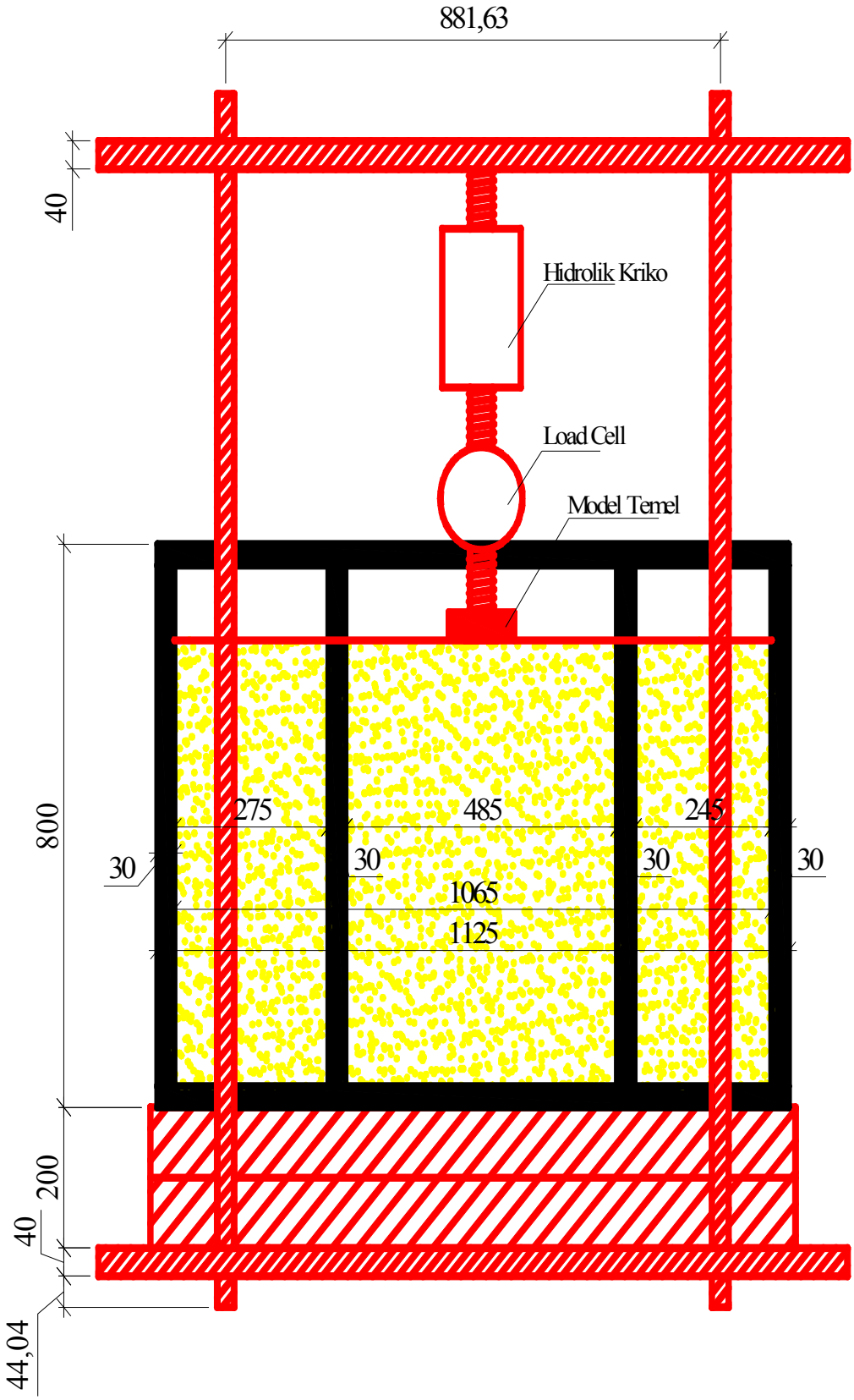
Şekil 5-11 Deneylerde kullanılan temperli (zırhlı) camlar



Şekil 5-12 Deney kasası ve yükleme çerçevesi



Şekil 5-13 Deney kasası ve yükleme çerçevesi

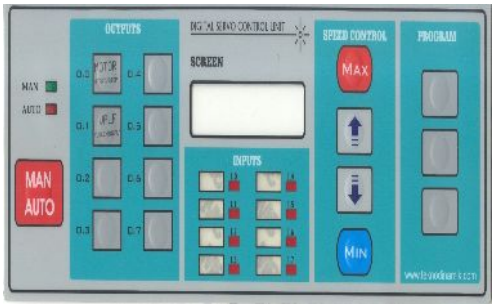


Şekil 5-14 Deney düzeneği (ölçüler mm)

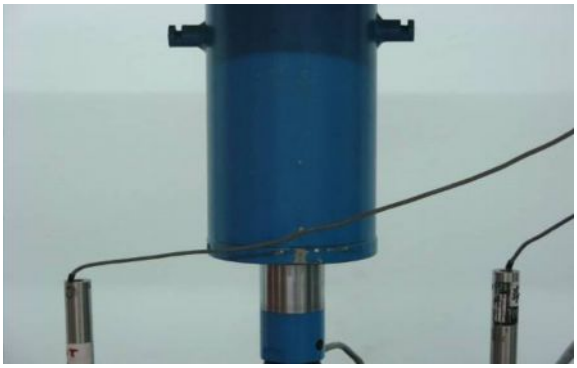
5.4.2. Hidrolik Pres

Deneylerde model temellerin sabit bir hızla yüklenebilmesi için Yükleme hızı ayarlanabilen Tekno-Dinamik tarafından üretilen 200 kN kapasiteli, hidrolik pres kullanılmıştır. Deneyler esnasında tümüyle dijital ve mikrokontrolör tabanlı mimari ve standart RS232 ile bilgisayara bağlanabilme özelliğine sahip servo kontrol ünitesi ile hidrolik prese doğrudan basınç kuvvetleri uygulanmıştır (Şekil 5.15).

Yükleme çerçevesinin üst kısmına sabitlenmiş olan hidrolik pres ile eksenel yük uygulanmıştır. Sistemde yükleme hızı tamamen deney için kullanılan bilgisayar programı tarafından yönetilmektedir. Dijital servo kontrol ünitesi mikro işlemci tabanlı tasarımdır. Kullanılan bilgisayar programı yükleme bilgilerini işleyerek deneyi başlatıp sonlandırmaktadır. Bilgisayar programında bulunan parametrik ayarlar sayesinde deneyler istenilen yükleme hızıyla başlatılmaktadır. Hidrolik kriko sistemi iki yönlü çalışabilmekte olup, deneylerde sadece basınç kuvveti uygulanmıştır (Şekil 5.16).



Şekil 5-15 Servo kontrol ünitesi

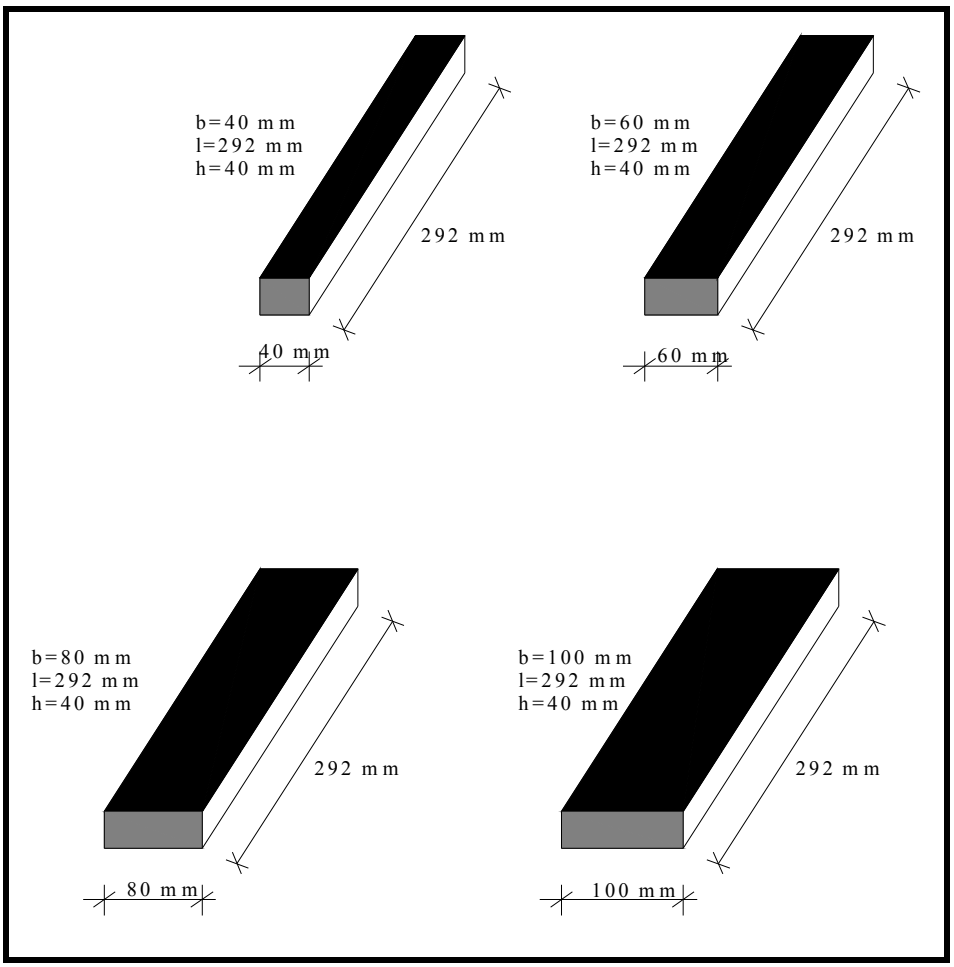


Şekil 5-16 Hidrolik pres

5.4.3. Model Temeller

Deneysel çalışmada 40x292x40 mm, 60x292x40 mm, 80x292x40 mm, ve 100x292x40 mm. olmak üzere dört farklı şerit temel tipi esas alınmıştır. Temeller 40 mm. kalınlığında rijit çelik plakalardan oluşturulmuştur. Model temellerin tabanındaki sürtünmeleri (pürüzlü bir yüzey) sağlamak amacıyla zımpara kâğıdı yapıştırılmıştır.

Temellerin üzerine yük verildiği zaman temellerin cam duvarlar arasındaki hareketini kolaylaştırmak, sürtünmeleri azaltmak ve de kum tanelerinin cam ile temel arasına girmesini engellemek amacıyla temelin ön ve arka yüzlerine sert olmayan ince lastik plakalar yapıştırılmıştır (Şekil 5.17).



Şekil 5-17 Deneyde kullanılan model temeller

5.4.4. Ölçme Tekniği

Deney sırasında düşey yük ölçümleri, yer değiştirmeler LVDT deplasman ölçerler ile zemindeki kabarmalar ise potansiyometrik cetveller kullanılarak belirlenmiştir. Bu aletlerden okunan değerler anında bilgisayara CoDA isimli veri toplama (data logger) sistemi vasıtasıyla aktarılmış ve kayıt altına alınmıştır.

5.4.4.1. Yük ölçümleri

Deney numunelerine hidrolik kriko yardımıyla basınç olarak uygulanan düşey yük değerleri yük hücreleri yardımıyla okunmuştur. Yük hücresinin çıkış ucu data logger kutusuna bağlı olup, yük hücresinden alınan gerilme data logger kutusuna, oradan da bilgisayara aktarılmaktadır. Yük hücresinden okunan yük değeri bilgisayar ekranından da takip edilebilmektedir. Düşey yük için 200 kN kapasiteli ESİT marka tek yönlü yük ölçer ve Tekno-Dinamik marka hidrolik pres kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan yük hücreleri ve bağlantı sistemleri Şekil 5.18 ve 5.19'de görülmektedir.



Şekil 5-18 Deneylerde kullanılan düşey yük ölçüm düzeneği



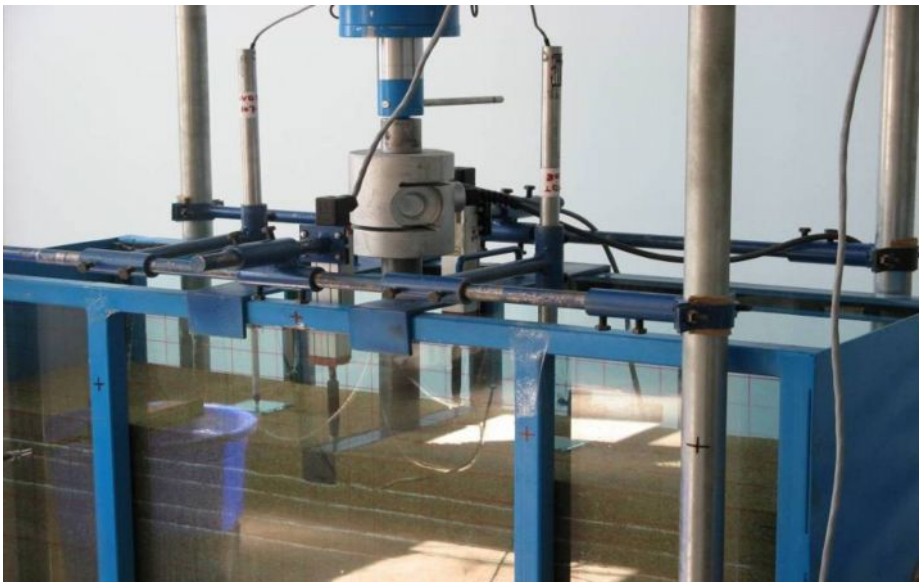
Şekil 5-19 Deneylerde kullanılan ölçüm düzeneği

5.4.4.2. Yer değiştirmelerin ölçülmesi

Deneyler sırasında, temel altındaki meydana gelen yer değiştirmeler, temelin sağ ve solundaki kabarmaları, ön ve arka camda deplasmanları; dijital LVDT'ler kullanılarak ölçülmüştür. Ön ve arka camdaki deplasmanları Novateknik markalı LVDT'lerle ölçülmüştür. Temelin solundaki ve sağındaki kabarmaları Monitron marka LVDT'lerle ölçülmüştür. Model temelin ön ve arka yüzlerine yerleştirilen Opkon marka LVDT'lerle deformasyonlar ölçülmüştür. LVDT'lerin, çıkış uçları veri aktarım sistemine bağlanmaktadır. Kullanılan bu LVDT'ler sayesinde 0.01 mm hassasiyetinde okuma yapmak mümkün olabilmektedir. Deneylerde 100, 200 mm'lik LVDT'ler, kullanılmıştır.

Bu ölçümler kullanılarak, yük-deplasman eğrileri çizilmiştir. Temelin sağ ve solundaki kabarmaları izlemek amacıyla yerleştirilen LVDT'ler temel merkezinden 50 mm 200 mm. arasında değişen uzaklıkta yerleştirilmiştir. LVDT'lerin zemin içerisine batmasını önlemek amacıyla 1 mm kalınlığında, 15x15 mm boyutunda cam

plakalar üzerine yerleştirilmiştir. Cam plakalar ise kum zeminin yüzeyine yerleştirilmiştir (Şekil 5.20).



Şekil 5-20 LVDT'lerin yerleşim düzeni

5.4.4.3. Yük ve yer değiştirme ölçümlerinin bilgisayar ortamına aktarılması

Yük hücreleri, LVDT'lerden alınan gerilmeler, ara bağlantı kutuları yardımıyla data logger'a iletilmektedir. Veri toplama sistemi, üzerinde yük hücreleri, LVDT, komparametre ve potansiyometrik cetvellerin çıkış uçlarının bağlandığı 8 kanaldan oluşan 3 adet veri toplama kutusu ile bu sistemle bilgisayar arasında veri iletimini sağlayan bir communicator'a bağlanmakta ve veriler bu kutudan bilgisayara aktarılmaktadır. CoDA deney düzenleyici programı ile bir deney süresince 125 milisaniye aralıklarla kayıt alınabilmektedir.

Bu kanallar vasıtasıyla alınan gerilmeler, bilgisayar üzerine bağlanmış olan doğru akım kartına aktarılmaktadır. Bilgisayara yüklenmiş olan özel yazılım CoDA programı, doğru akım kartından alınan değerleri

LVDT'ler için 0.01 mm, hassasiyetle,
Komparametreler için 0.001 mm hassasiyetle,
Potansiyometrik cetveller için ±0.5, ±%1 linearite hassasiyetle,
Yük hücreleri için de 0.11 kN hassasiyetle

değerlendirmektedir. Bu alınan değerler bilgisayar ekranından da takip edilebilmektedir. Kullanılan kanallardan okunan bütün değerler, anında bilgisayara kayıt edilmekte ve ayrıca deney esnasında istenen kanallardan alınan okumalar grafik olarak da izlenebilmektedir.

Alınan okuma değerlerinin çıktısı "EXCEL" programı tarafından okunabilecek şekildedir. Yük hücresi, LVDT ve potansiyometrik cetvellerden alınan okumaların değerlendirilmesine yarayan veri toplama sistemi Şekil 5.21'de görülmektedir.





Şekil 5-21 Yük ve yer değiştirme okumalarını değerlendiren veri aktarım sistemi ve bilgisayar düzeneği

5.4.5. Deneyde Kullanılan Zeminin Özellikleri

Deneysel çalışmalarda, Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Zemin Mekaniği Laboratuarında bulunan deney kumu kullanılmıştır (Şekil 5.22). Kum numunenin, dane dağılımı 1.19 mm ve 0.074 mm. arasındadır. Bu çalışmada ASTM standartlarına göre kum yıkanarak 105 °C'de etüvde kurutulduktan sonra kuru kumun laboratuarda 1 gün süre ile oda sıcaklığında havalandırılmıştır (Yetimoğlu 1994, Çelik 1997, Yıldız, 2004).

Deney kumunun indeks ve kayma mukavemeti parametrelerini belirlemek üzere laboratuarda dane boyutu dağılımı eğrilerini, dane birim hacim ağırlığı, maksimum ve minimum kuru birim hacim ağırlık deneyleri, rölatif sıkılığı ve kayma mukavemeti parametrelerini belirlemek için kesme kutusu deneyi yapılmıştır



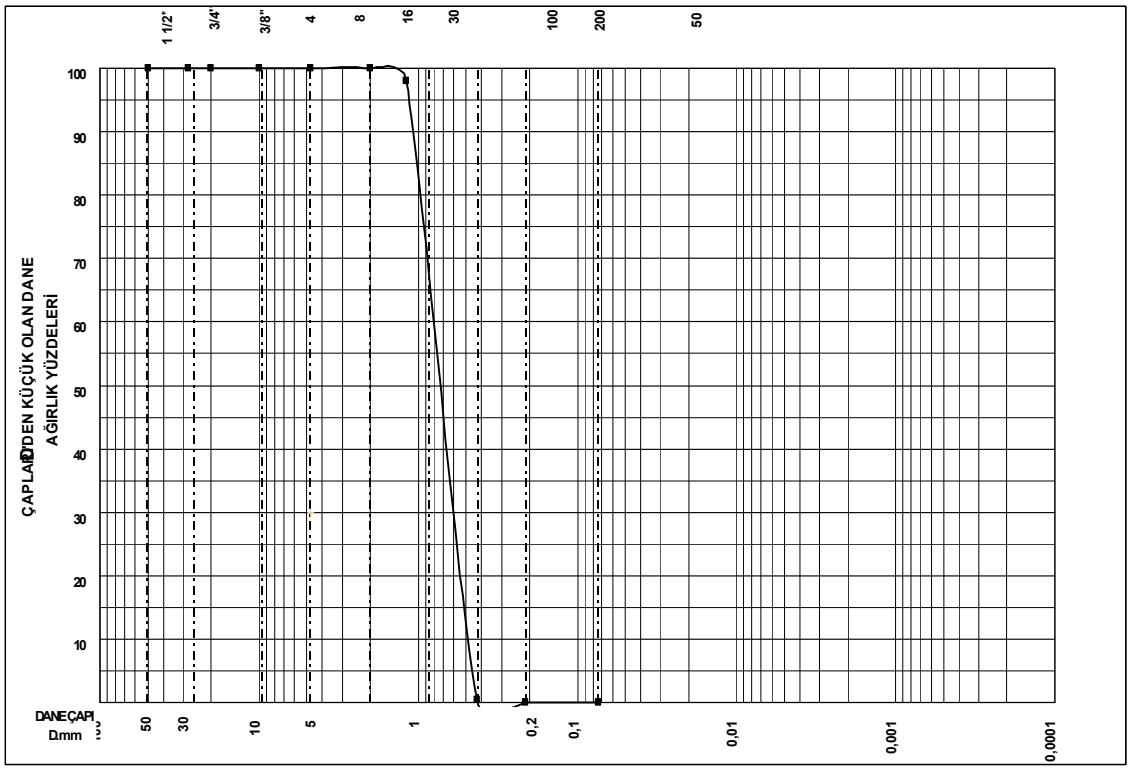
Şekil 5-22 Deneylerde kullanılan kum

5.4.5.1. Kumun dane boyut dağılımı (Granülometri) eğrisi

Deney kumu için laboratuarda ASTM standartlarına uygun olarak yapılan elek analizi sonucunda dane çapı dağılımı bulunmuştur. Zemin sınıfı kötü derecelenmiş temiz kumdur (SP). Elek analizi deneyi sonuçları Tablo 5.1'de verilmiştir. Şekil 5.23.'de deney kumuna ait granülometri eğrisi verilmiştir.

Tablo 5.1 Kumun fiziksel özellikleri

Tanımlama (USCS)	SP
Efektif Dane Çapı D_{10} (mm)	0.35
D_{30} (mm)	0.48
D_{60} (mm)	0.55
Üniformluk Katsayısı $C_u = D_{60}/D_{10}$	1.375
Derecelenme Katsayısı $C_c=(D_{30})^2/D_{60}*D_{10}$	1.05
Özgül Yoğunluk G_s	2.68



Şekil 5-23 Deneyde kullanılan kumun granülometri eğrisi

5.4.5.2. Kumun dane birim hacim ağırlığı

Deney kumunun dane birim hacim ağırlığını belirlemek için laboratuarda piknometre deneyleri yapılmıştır. Yapılan piknometre deneyi sonucuna göre ortalama dane birim hacim ağırlığı γ_s= 26.80 kN/m^3 bulunmuştur.

5.4.5.3. Kumun maksimum ve minimum kuru birim hacim ağırlığı

Deneylerde kullanılan kumun maksimum ve minimum kuru irim hacim ağırlıklarını (boşluk oranlarını) belirlemek için standartlara uygun olarak proctor kalıpları ile deneyler yapılmıştır. Deney kumunun deneylerle belirlenen indeks özellikleri toplu olarak Tablo 5.2'de verilmiştir.

Tablo 5.2 Rölatif sıkılık deney sonuçları

Özgül yoğunluk G_s	2.68
Minimum boşluk oranı (e_{min})	0.53
Maksimum boşluk oranı (e_{max})	0.71
Minimum kuru birim hacim ağırlığı γ_{min} (kN/m^3)	15.54
Maksimum kuru birim hacim ağırlığı γ_{max} (kN/m^3)	17.52

5.4.5.4. Kesme kutusu deneyi

Deney kumunun kayma mukavemeti parametrelerini tayin etmek için laboratuarda dijital kesme kutusu aleti kullanılarak deneyler yapılmıştır. Rölatif sıkılığı D_r=% 85 olacak şekilde hazırlanmış olan numuneler üzerinde yapılan deneyler sonucunda kohezyon c=0 kPa ve içsel sürtünme açısı ϕ=41° olarak bulunmuştur. Gevşek halde (D_r=%30) hazırlanan kum numunesi için kohezyonu c=0 kPa, içsel sürtünme açısı ise ϕ=34° olarak bulunmuştur.

5.4.6. Kum Sıkıştırma Aleti

Deney tankının içerisine tabakalar halinde serilen kumun her seferinde rölatif sıkılığının değişmemesi için kullanılan aletlerden birisi sıkıştırma tokmağıdır. Sıkıştırma tokmağı sert ahşaptan (Gürgen) deney tankının iç genişliğine göre hazırlanmıştır. 1 kg ağırlığında yaklaşık 10 cm yüksekliğinden dökülen kum elle sıkıştırılmıştır. 1.0 cm genişliğinde 0.63 cm yüksekliğinde ve 28.5 cm uzunluğunda gürgen ağacından yapılmıştır.

Deney tankının içerisinde rahat çalışmak için sıkıştırma tokmağına tutma kolları monte edilmiştir. Deney sırasında sıkıştırılan kumun ezilmemesi için ahşabın tabanına sert plastik malzeme kuvvetli bir yapıştırıcı ile yapıştırılmıştır.

Deney tankı içerisine yerleştirilen kum, sıkıştırma tokmağı ile istenilen sıkılığı sağlayacak şekilde sıkıştırma yapıldıktan sonra düzeltme aleti ile kumun üst yüzeyi düzeltilmiştir. Düzeltme işlemi bittikten sonra su terazi ile tekrar kontrol edilerek kumun üst yüzeyinin düz bir şekil almasına kadar devam edilmiştir.

5.4.7. Deneyde Kullanılan Donatının Özellikleri

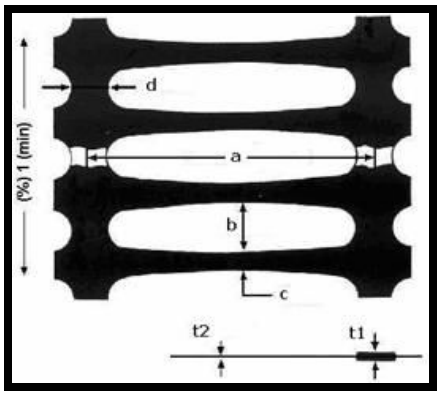
Deneylerde donatı malzemesi olarak kullanılan GEOGRİD UR55 Türkiye'de 2000 yılından beri Çevre Plastik Ürünleri San. Tic. Taah. Ltd. tarafından üretilmektedir. Hammadde olarak polypropylene kullanılmakta, UV ışınlarına karşı "carbon black" katkı ile koruma sağlanmıştır.

Tüm polimer esaslı benzerleri gibi ÇEVRE GEOGRİD'de gün ışığına karşı hassas olmakla beraber, toprakla temastan ve yeraltı suyundan kaynaklanan tuzlu, asitli veya alkali ortamlardan etkilenmemektedir. Laboratuara getirilen geogridler gün ışığından ve sudan korunmuştur.

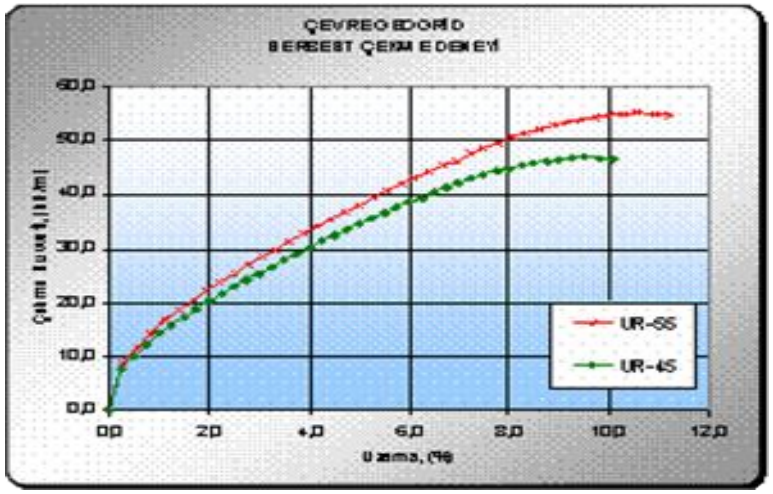
Tablo 5.3'de tek eksenli olarak üretilen GEOGRİD UR55 malzemenin özellikleri verilmiştir. Şekil 5.25'de donatı dayanım özelliklerini tayin etmek için Çevre Plastik tarafından sabit oda sıcaklığında (20 ± 4 °C) yapılan tek eksenli çekme deneyinden elde edilen diyagram görülmektedir.

Tablo 5.3 Geogrid UR55 fiziksel ve mekanik özellikleri

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 5-24 Geogrid-UR55



Şekil 5-25 Donatıya ait tek eksenli çekme deneyi (URL-1)

Donatı levhaları kum içerisine önceden belirlenmiş derinliklere yatay olarak yerleştirilmiştir. Yerleştirilen donatılar boyuna nervürler, temel plakasının uzun kenarına paralel olarak yerleştirilmiştir (Şekil 5.26).



Şekil 5-26 Donatı ve donatının kum zemin içerisine yerleştirilmesi

Donatı çekme mukavemetinin yüksek olması (donatı kopması riskinin küçük olması) donatının doğrultusunun, temel plakasının uzun veya kısa kenarı ile paralel kalmasının deney sonuçlarını önemli bir derecede etkilemediği düşünülmüştür (Yetimoğlu, 1994).

5.4.8. Deneylerin Yapılışı

Deneylere ilk önce donatısız sonra da donatılı olmak üzere Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Zemin Mekaniği laboratuarında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan rijit çelik model temellerin genişliği B= 4, 6, 8 ve 10 cm, yüksekliği H=4 cm ve uzunluğu L=29.2 cm olarak seçilmiştir. Model temeller rijit çelik plaka ile modellenmiş ve yükseklik-uzunluk sabit olarak seçilmiştir. Model temellerin tabanındaki sürtünmeleri (pürüzlü bir yüzey) sağlamak amacıyla zımpara kâğıdı yapıştırılmıştır. Temellerin üzerine yük verildiği zaman temellerin cam duvarlar arasındaki hareketini kolaylaştırmak, sürtünmeleri azaltmak ve de kum tanelerinin cam ile temel arasına girmesini

engellemek amacıyla temelin ön ve arka yüzlerine sert olmayan ince araba lastiği yapıştırılmıştır.

Deneylerde temel plakasının nihai taşıma kapasitesine kadar yükleneceği için sınır etkilerinin minimum indirilmesine çalışılmış ve temel boyutunun gerekenden daha büyük seçilmemesine dikkat edilmiştir. Tankın genişliği ve derinliği temel plakasının (en büyük model temel B=10cm) genişliğinden 5B olacak şekilde tasarlanmıştır. Kum ve tankın cam kenar yüzeyleri arasındaki sürtünmeler ihmal edilmiştir. Temel ile ön/arka cam plakalar arasına sıkışması muhtemel olan kum danelerin sürtünme kuvveti oluşturmaması için temelin ön ve arka yüzeyine ince lastik plakalar yapıştırılmıştır.

Deneylerde temel kenarlarındaki kabarmaların temelin genişliğinden daha az olmuştur. Deney esnasında temellerde farklı oturmalar gözlemlendiğinde deney iptal edilmiştir. Bunun nedeni temel ile cam yüzeyi arasına giren kum danelerinin fazla sürtünme göstermesi ve eksantrik yükleme oluştuğu varsayılmıştır.

Eksenel düşey yük, servo kontrol ünitesiyle çalışan hidrolik kriko sayesinde 20 kN'luk Esit marka load cell ile gerilme kontrollü olarak tatbik edilmiştir. Düşey yük bu unite sayesinde sabit hızla kumanda edilerek yükleme yapılmıştır. Yükleme hızı bütün deneyler için sabit değer olarak uygulanmıştır. Eksenel yük göçme yükünden sonra belirli bir zaman kadar devam ettirilip sonra yükleme boşaltılmıştır.

Şekil 5.3'de planı verilmiş olan deney tankı içerine kum numune rölatif sıkılığı % 85 olacak şekilde tank içerisine tabakalar halinde sıkıştırılmıştır.

Her bir yeni deney için bir önceki deneyden kalan tank içerisindeki kum, donatı yerleşim derinliğine bağlı olarak boşaltılmıştır. Deneyler esnasında laboratuarın kapalı olması nedeniyle (nemi kontrol altında tutmak amacıyla) 5 deney yapıldıktan sonra tankın içerisindeki kum tamamen boşaltılmıştır. Boşaltılan kum 1 gün süreyle laboratuar içerisinde serilerek nem alması önlenmiştir. Eğer nem fazla

ise etüvde bir gün süreyle kurutulduktan sonra oda sıcaklığında bekletilip deneylere tekrar başlanmıştır.

Boşaltılan kum, donatı etki oranına bağlı olarak kalınlıkları değişen tabakalar halinde tartılarak % 85 sıkılığı sağlayacak şekilde yeniden sıkıştırılmıştır. Maksimum takaka kalınlığı 10~12 cm ve bu kalınlığa karşı gelen kum ağırlığı 1 kN olup, daha ince tabakalar halinde serilip sıkıştırılması halinde de kum ağırlığı korunmuştur. Kumun sıkıştırma işlemi elle ile sağlanmıştır. Tokmağın kum danelerini ezmemesi için ahşap bloğun altına sert PVC yapıştırılmıştır. Yerleştirilen kum tabakasının yüksekliğini görmek, deneyler esnasında oluşan kayma yüzeylerini ve kabarmaları daha rahat gözlemleyebilmek için deney tankının ön cam yüzüne (2,5x2,5 cm) cam karalejlama yapılmıştır.

Tankın ön yüzeyinde 12 farklı noktaya işaret konulmuştur. Bunun nedeni, kamera ile çekim yapılırken ve dijital fotogrametri tekniği ile değerlendirirken tank içerisindeki gözle görülemeyecek kadar küçük olan kum tanelerinin hareketlerini ölçebilmektir.

5.4.9. Deneylerde Dijital Fotogrametri Yönteminin Uygulanması

Deneylerde çekilen resimlerden, kayma yüzeyinin ilk oluşumunu, yatay hareket miktarını, kum zemindeki kabarmaları ve kayma yüzeyinin şeklini belirlemek için dijital fotogrametri yöntemi uygulanmıştır. Dijital fotogrametri, biri biriyle %60-90 ortak örtü alanına sahip farklı noktalardan çekilen stereoskopik fotoğraflar yardımıyla güvenilir ölçüler ve bilgiler elde etme bilimi veya tekniği olarak tanımlanabilir (Şekil 5.27).



Şekil 5-27 Dijital fotogrametri yöntemi

Bu çalışmada çekilen görüntüler, Dragonfly Expess video kamera ile alınmıştır. Bu video kamera bilgisayar kontrollü olarak çalışan 1/150 sn hızında seri çekim yapabilen dijital bir video kameradır. Bu video kamerada alınan görüntülerin tek bir fotoğrafik görüntü olarak da kaydedilme özelliği mevcuttur. Görüntüler alınırken poz aralığı olarak 1/15 sn/poz seçilmiştir. Poz aralığının büyük seçilmesinin nedeni, yük uygulandığı zaman objedeki (deney düzeneği) deplasmaları daha net ve belirgin olarak görüntüleyebilmektir (Şekil 5.28). Ayrıca deplasmanlar yük uygulandığı anlarda oluştuğundan dinamik bir hareket söz konusu değildir.



Şekil 5-28 Dragonfly Express digital video kamera,

Çekilen resimlerin bilgisayar ortamında digital fotogrametri yazılımında (pictran yazılımı) dış yöneltmesinin (exterior orientation) yapılabilmesi için obje üzerinde (deney tankının üzerinde) 12 adet sabit kontrol işaretlenmiştir. Bu noktalar, TOPCON GTS 701 elektronik uzunluk ölçer (EUÖ) ile ölçüleri yapılmıştır (Şekil 5.29). Bu noktaların ölçüler sonunda hesaplanan koordinatları (X, Y, Z) Tablo 5.4'de verilmiştir.



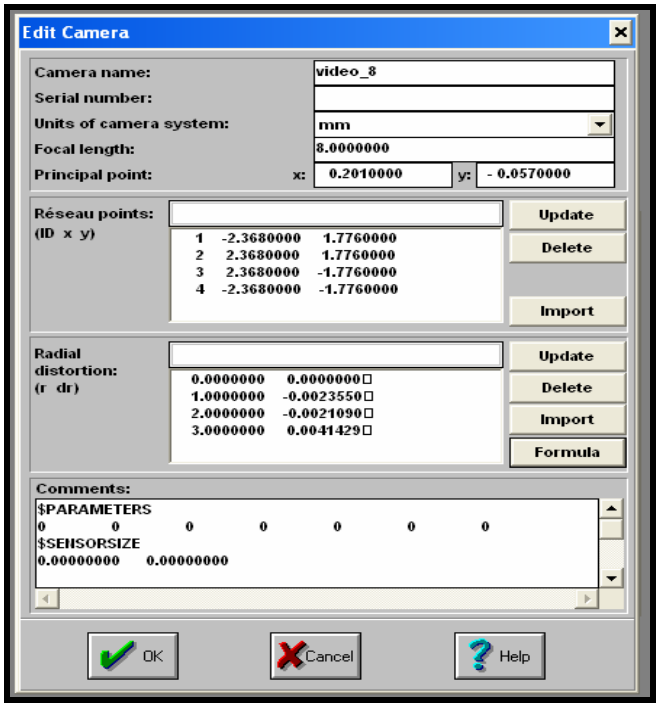
Şekil 5-29 TOPCON GTS 701.

Tablo 5.4 Deney tankı üzerindeki kontrol noktalarının obje koordinatlatları

Nokta	X	Y	Z
1	99.4910	400.3420	304.2650
2	99.0220	400.3500	304.2660
3	98.7570	400.3360	304.2680
4	99.3970	400.5420	304.3170
5	98.9890	400.5440	304.3190
6	99.4020	401.0880	304.3180
7	98.9620	401.0850	304.3160
8	99.4270	401.2940	304.2680
9	99.0750	401.2910	304.2660
10	99.7770	401.2880	304.2670
11	100.1490	401.1980	304.2190
12	99.5120	400.8160	304.3190

Objenin ebatları (deney tankının) 110cm, 80cm ebatlarındadır. Bu çalışmada kullanılan DragonFly video kameranın odak uzaklığı (f) 8.00mm dir. Bu nedenle fotoğraf çekimleri, obje ile çekim noktaları arasındaki uzaklık 3m olarak seçilmiştir. İki çekim noktası arasındaki uzaklık (baz uzunluğu) ise 1.5m olarak seçilmiştir. Fotogrametride en iyi stereoskopik alan derinliği b/h= 0.3-0.6 (baz/çekim uzaklığı) oranları arasında sağlanmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada b/h=0.5 baz/yükseklik oranı elde edilecek şekilde bir resim çekim düzeni oluşturulmuştur. Sonuçta resim ölçeği ise mr=1/375 olarak hesaplanmıştır. Böylelikle en uygun steoroskopik görüş ve netlik sağlanmıştır.

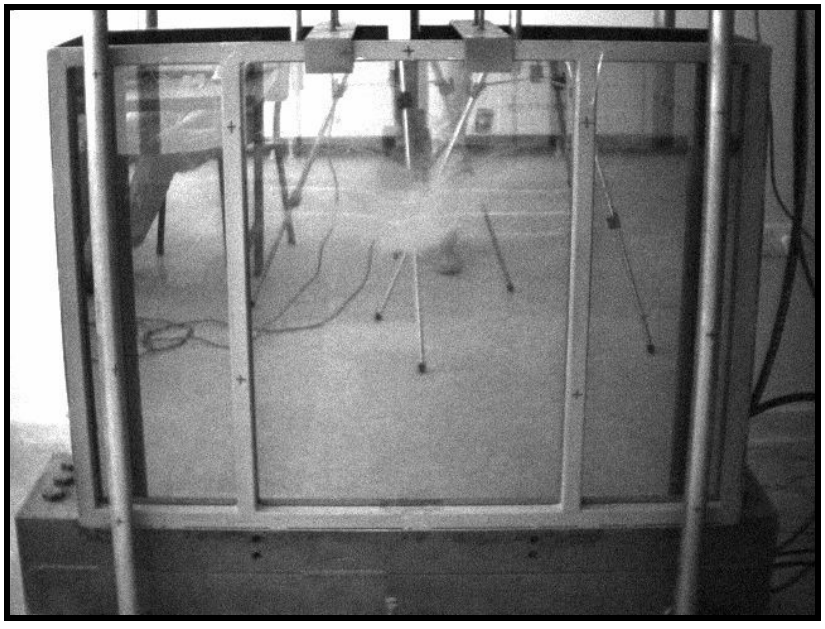
Görüntülerin stereoskopik değerlendirmesine geçmeden önce, Drangonfly Express video kameranın kalibrasyonu yapılmıştır. Kalibrasyonun asıl amacı, kamera sistemini en iyi şekilde ifade eden iç yöneltme (interior orientation) parametrelerin hesaplanmasıdır. Bu parametreler, resim çekim kamerasının düzeltilmiş odak uzaklığı (f), resim ana noktasının (principal point) resim orta noktasına göre koordinatları (öteleme değerleri x_o, y_o) ile mercek distorsiyonununa ait denklemin katsayılarıdır. Kullanılan kameraya ait iç yöneltme parametreleri Şekil 5.30'da verilmiştir. Görüntü piksel büyüklüğü ise 7.4mm dir.



Şekil 5-30 Dragonfly Express video kameraya ait kalibrasyon parametreleri.

Daha sonra stereoskopik görüntü alımı için objenin iki farklı noktadan görüntüleri alınmıştır. Bu işlem için sol ve sağ kamera objeden 3m uzaklıkta ve 1.5m baz aralığında konumlandırılmış ve görüntüler kaydedilmiştir. 1/15 sn poz aralığında kaydedilen görüntülerin eşzamanlı olanlar arasından en uygun olan iki görüntü seçilmiştir. Seçilen bu iki ortak örtü alanına sahip görüntüler kullanılarak 3B görüntüleri elde edilmiştir. Görüntü alımları, değişik yük kademelerinde ardışık olarak tekrar edilmiştir.

Donatısız deneylere ait olan deneyde 6 dakika süre ile sol ve sağ kameralardan alınmış görüntüler Şekil 5.31 ve 5.32'de verilmiştir. Deney sırasında 6 dakika süresince çekilmiş olan görüntüler 1/15 sn/poz aralığında kaydedilmiştir. 15 poz içerisinden eş zamanlı olan iki tanesi alınmıştır.

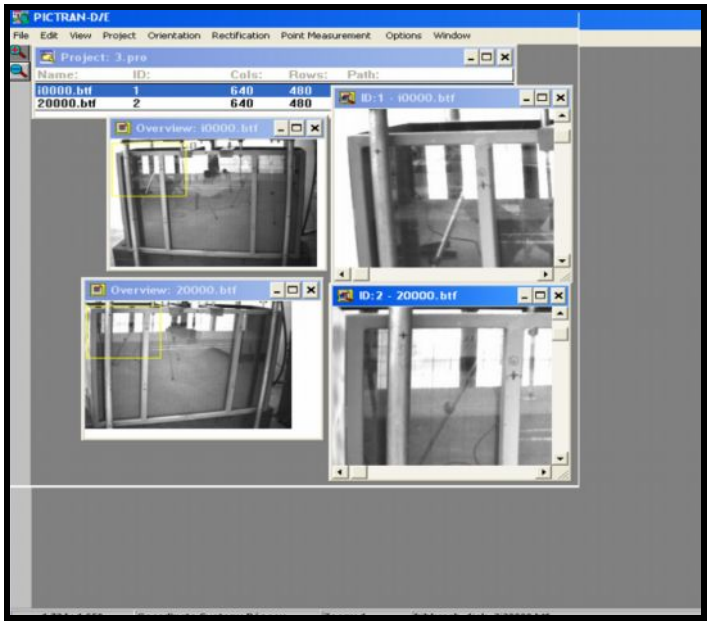


Şekil 5-31 Sol kamera ile 6. dakikada alınan görüntü (B=8 cm, Df= 0 cm).

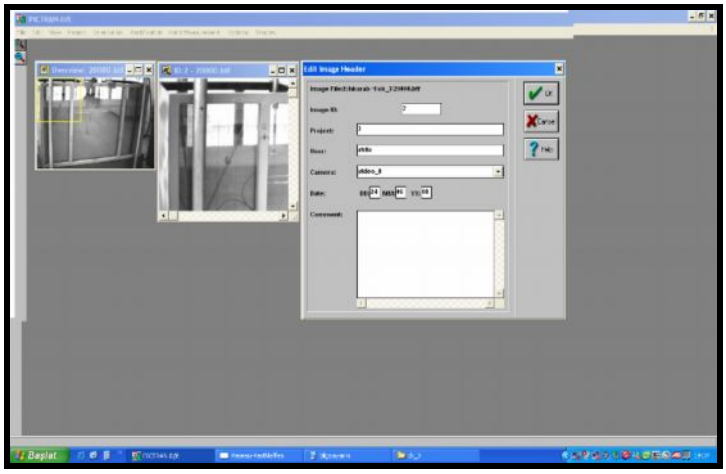


Şekil 5-32 Sağ kamera ile 6. dakikada alınan görüntü (B=8 cm, Df= 0 cm).

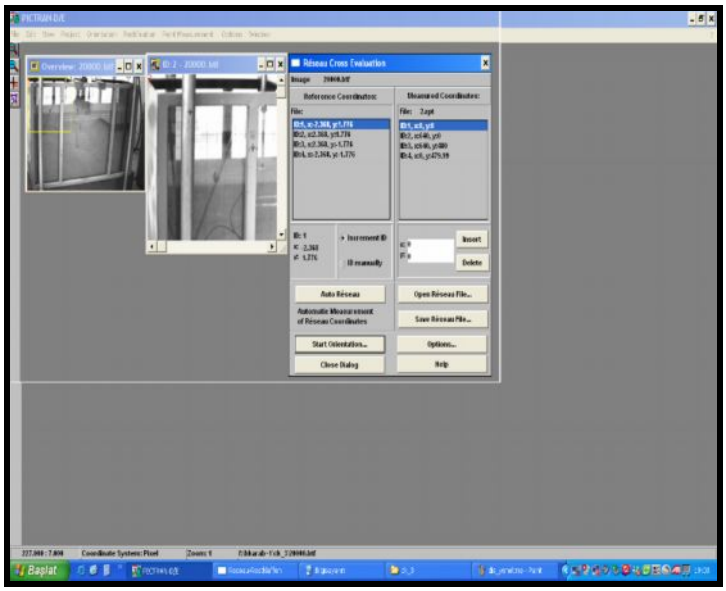
Seçilen eş zamanlı görüntüler ile stereoskopik görüntü (proje) oluşturulmuştur (Şekil 5.33). Projeye ait görüntü özellikleri tanımlandıktan sonra iç yöneltme işlemine geçilmektedir (Şekil 5.34). İç yöneltme işlemi PICTRAN yazılımının PICTRAN-D modulü ile yapılmıştır. Projeye ait iç yöneltme adımında hesaplanan değerler Şekil 5.35'de verilmiştir.



Şekil 5-33 Proje oluşturulması esnasında 6. dakikada alınmış eş zamanlı iki fotoğraf.



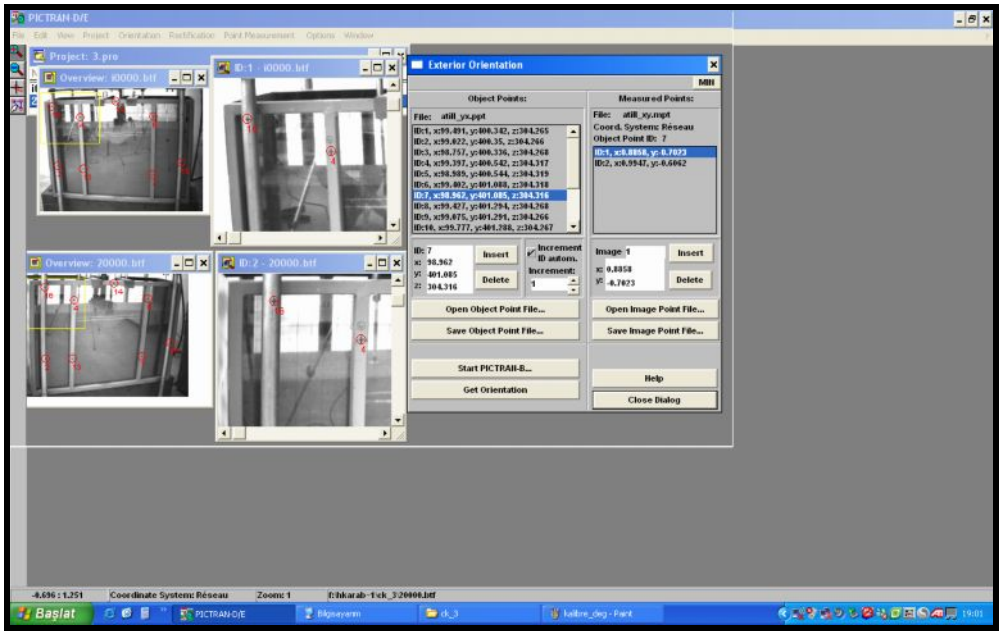
Şekil 5-34 Eş zamanlı resimlerin özelliklerinin belirlenmesi.



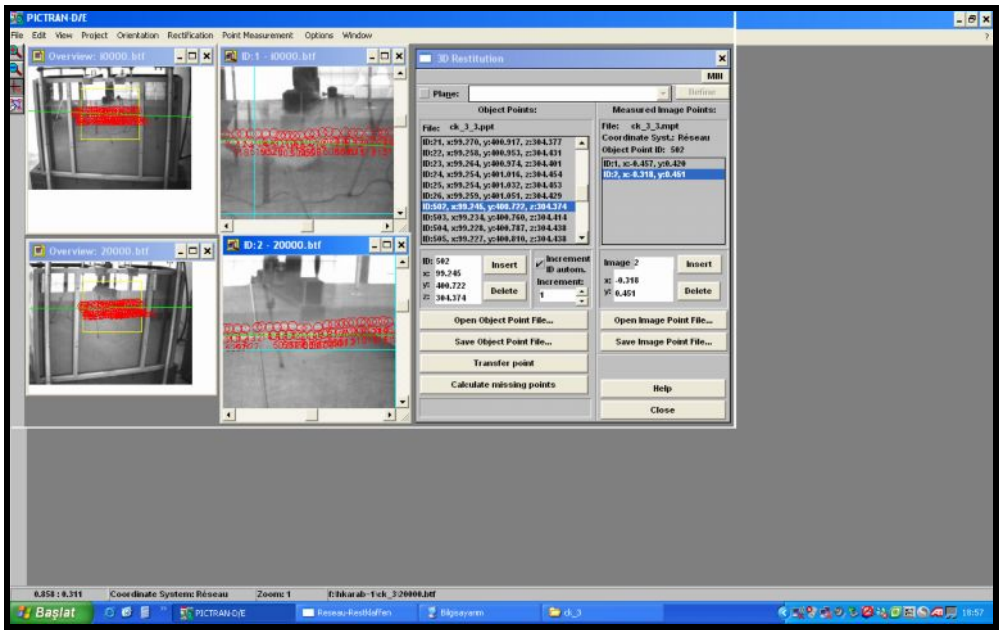
Şekil 5-35 İç yöneltme parametrelerinin değerleri

Yazılımın PICTRAN B modulü ile demet dengelemesi yapılır. Demet dengelemesinin amacı, iç yöneltmesi yapılan resimlerin dış yöneltmesi işlemi gerçekleştirmektedir. Bu işlem adımında obje üzerinde önceden işaretlenen kontrol noktalarının (12 adet) TOPCON GTS 701 EUÖ cihazı ile hesaplanan obje koordinatları ile bilgisayar ortamında ölçülen görüntü koordinatları arasında 3B dönüşüm yapılarak her iki koordinat sistemi arasındaki bilinmeyenler hesaplanır. Bu bilinmeyenler obje koordinat sistemi (X;Y;Z) ile resim koordinat sistemi (x;y;z) arasındaki dönüklük ve öteleme değerlerinin hesaplanmasıdır. PICTRAN B modulü

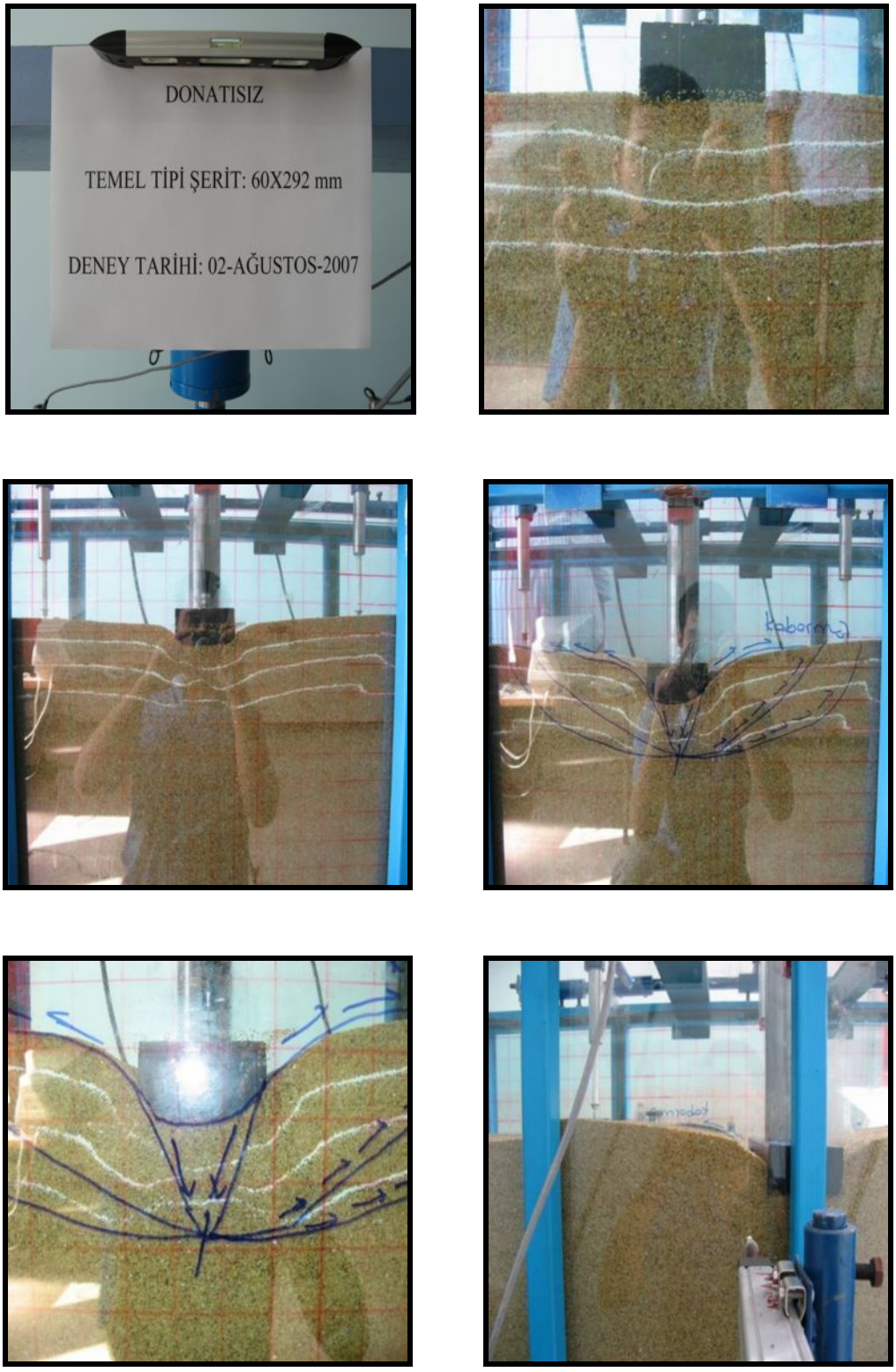
ile görüntü üzerindeki noktalardan çıkan izdüşüm ışınlarının (ışın demetlerinin) blok dengelemesi de gerçekleştirilir (Şekil 5.36 ve 5.37).



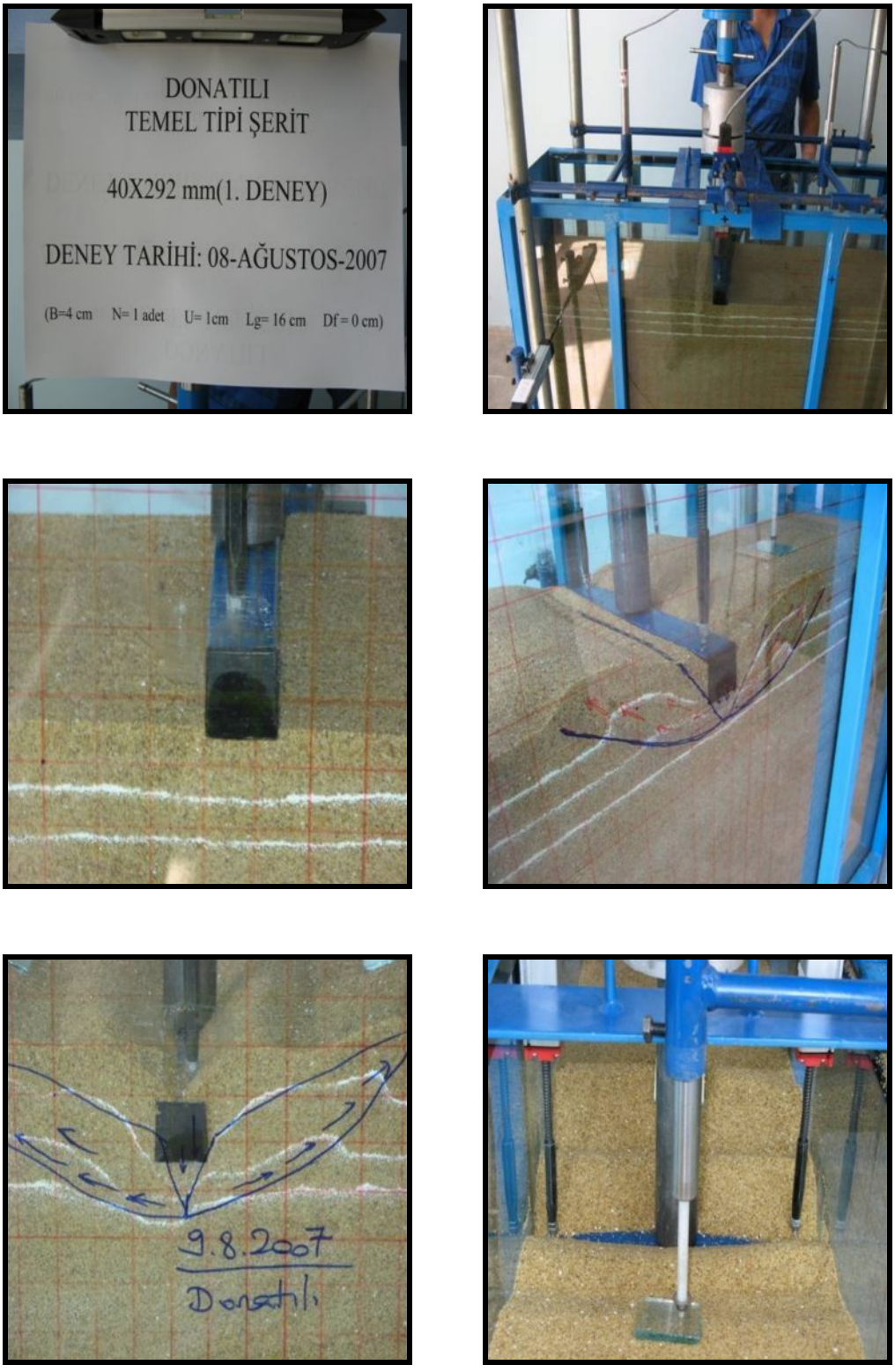
Şekil 5-36 Obje kontrol noktalarının 3D obje koordinatları.



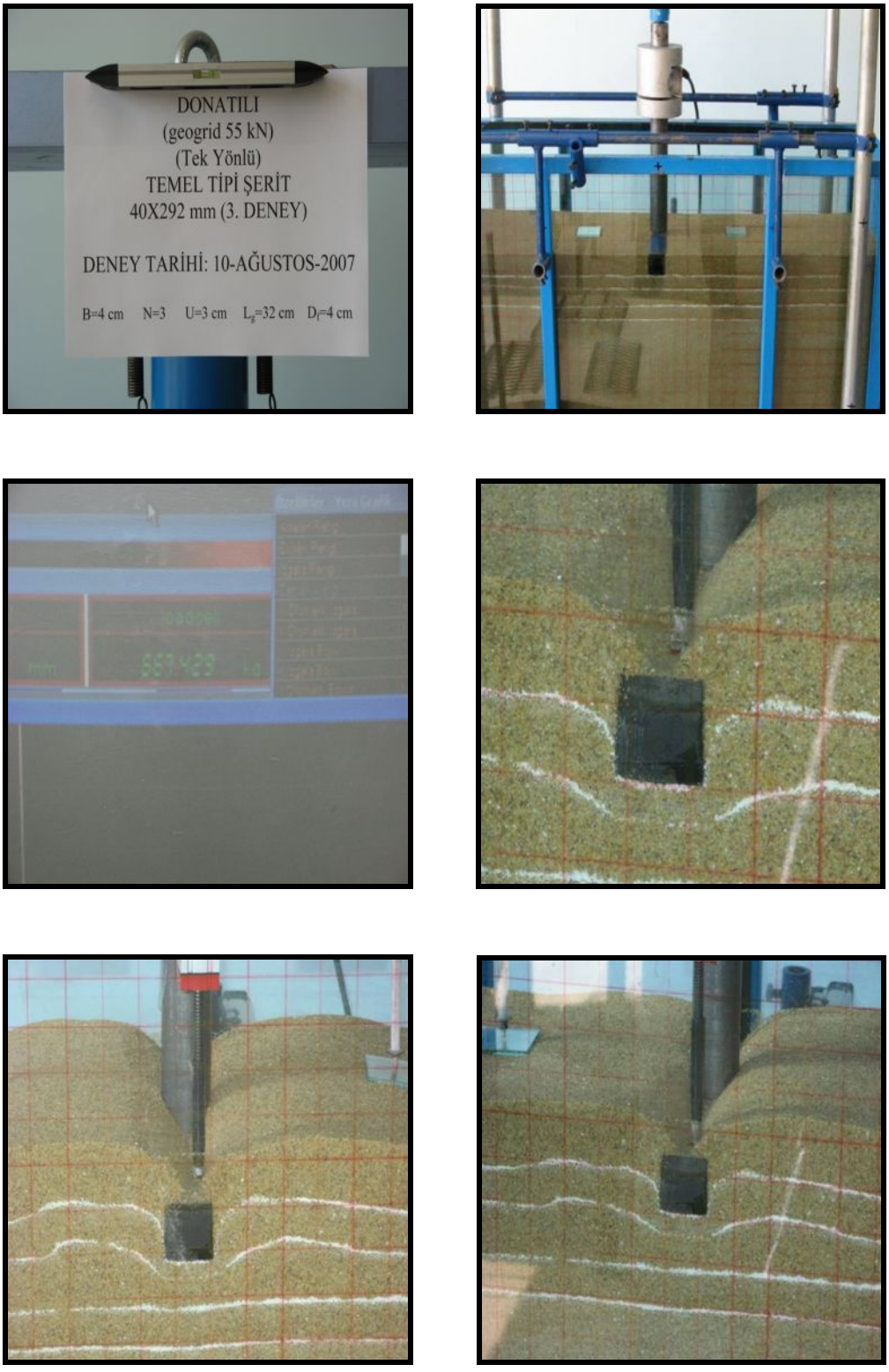
Şekil 5-37 Obje kontrol noktalarının 3D resim koordinatları.



Şekil 5-38 Donatısız zemin deneylerine ilişkin görüntüler (B=6 cm, D_f= 0 cm).



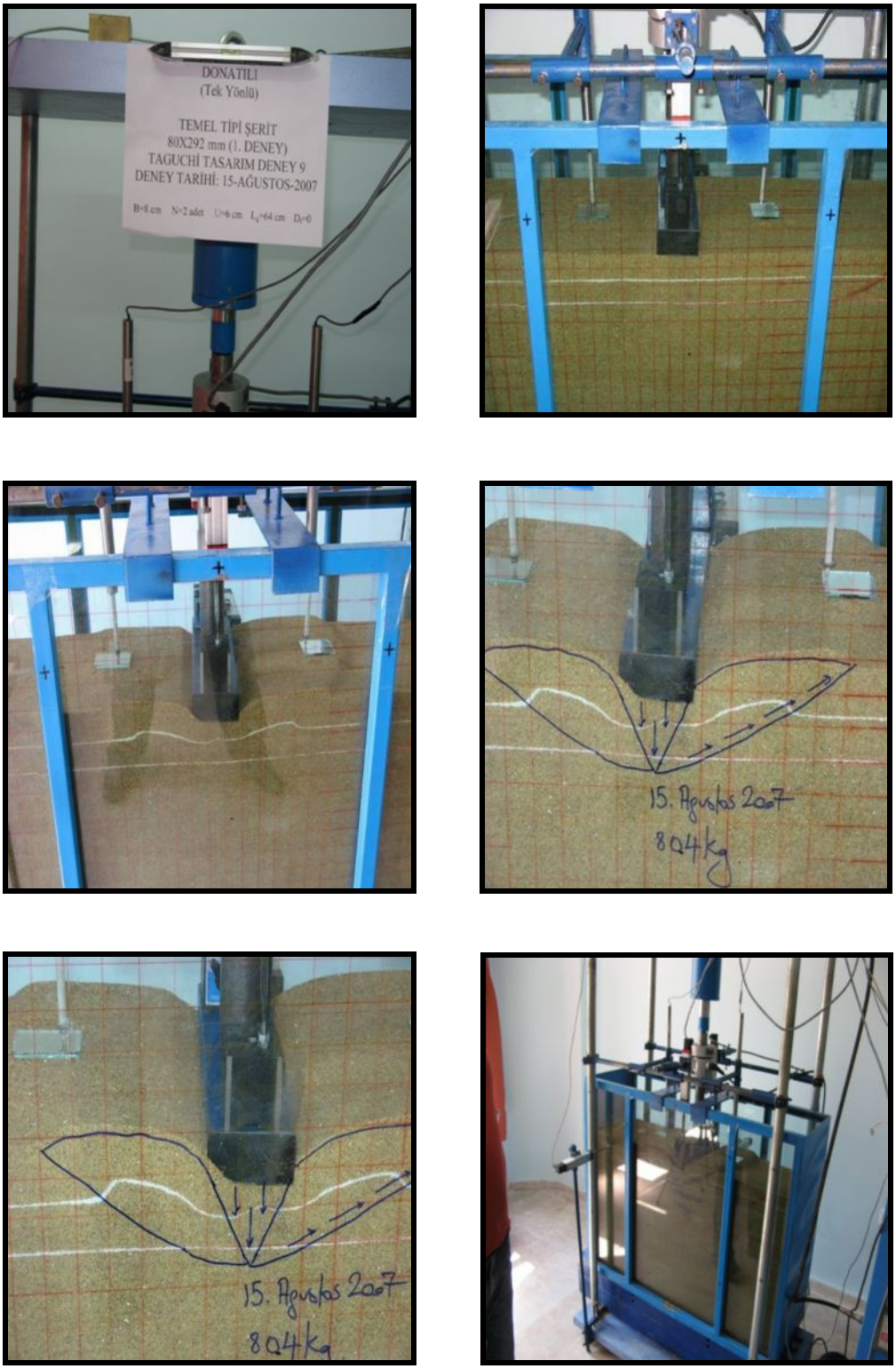
Şekil 5-39 Donatılı zemin deneylerine ilişkin görüntüler (B=4 cm, N=1, u=1 cm, L_g=16 cm, D_f= 0 cm).



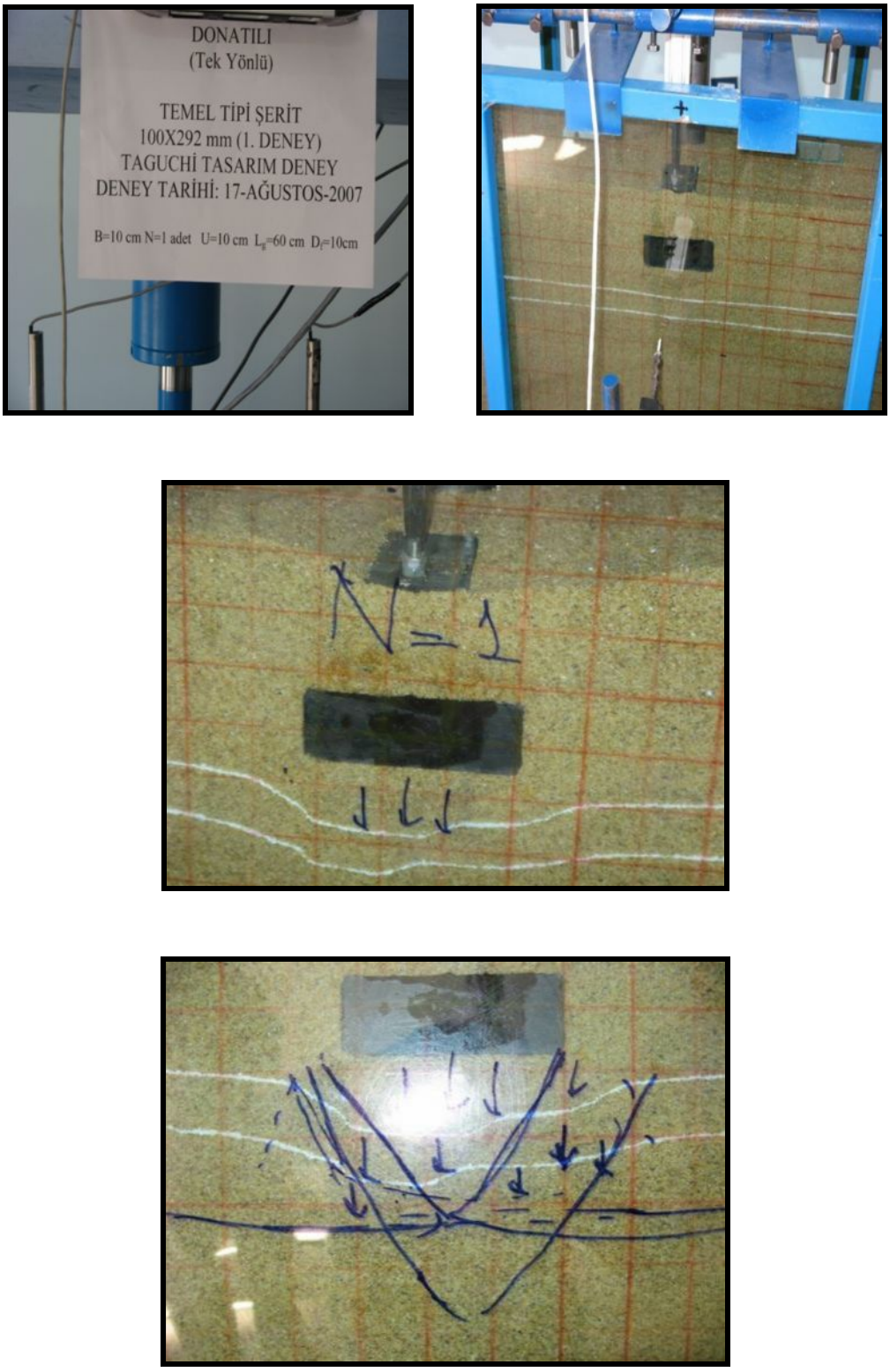
Şekil 5-40 Donatılı zemin deneylerine ilişkin görüntüler (B=4 cm, N=2, u=3 cm, L_g=32 cm, D_f= 4 cm).



Şekil 5-41 Donatılı zemin deneylerine ilişkin görüntüler (B=6 cm, N=4, u=4.5 cm, L_g=36 cm, D_f= 0 cm).



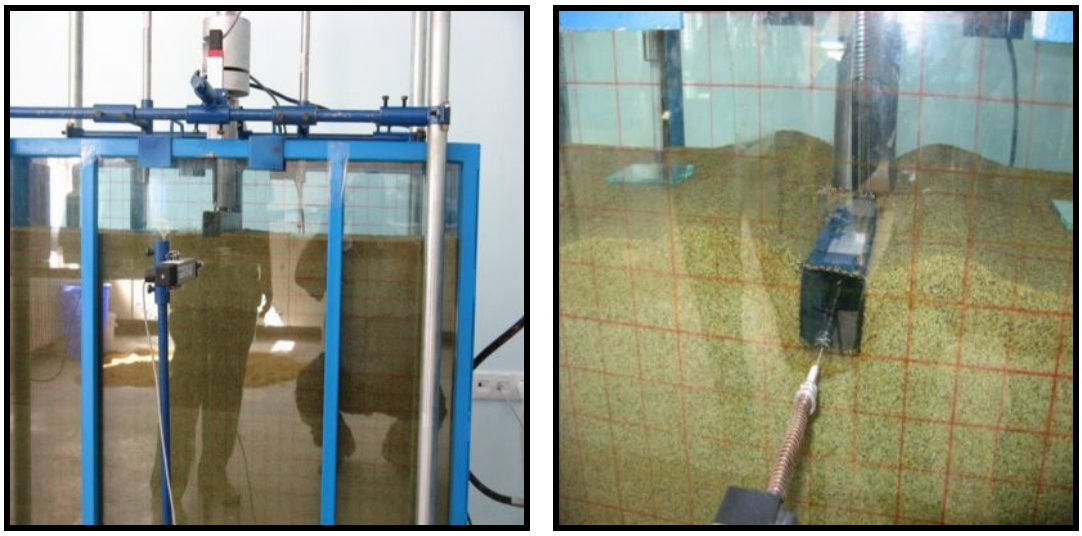
Şekil 5-42 Donatılı zemin deneylerine ilişkin görüntüler (B=8 cm, N=2, u=6 cm, L_g=64 cm, D_f= 0 cm).



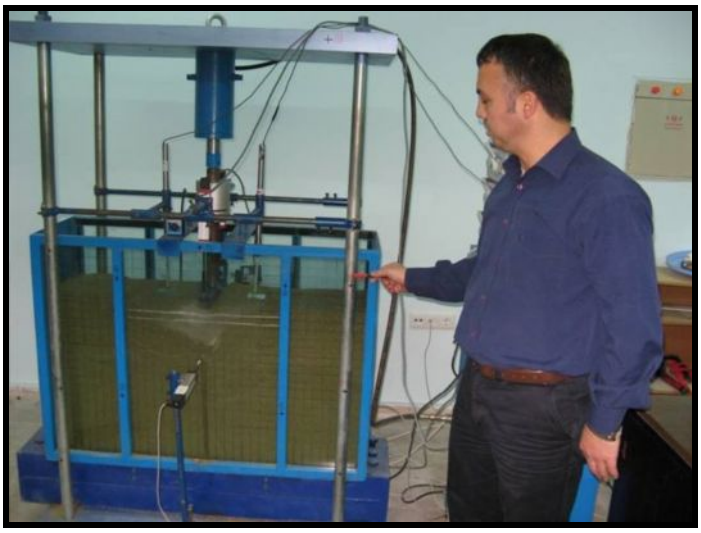
Şekil 5-43 Donatılı zemin deneylerine ilişkin görüntüler (B=10 cm, N=1, u=10 cm, L_g=60 cm, D_f= 10 cm).

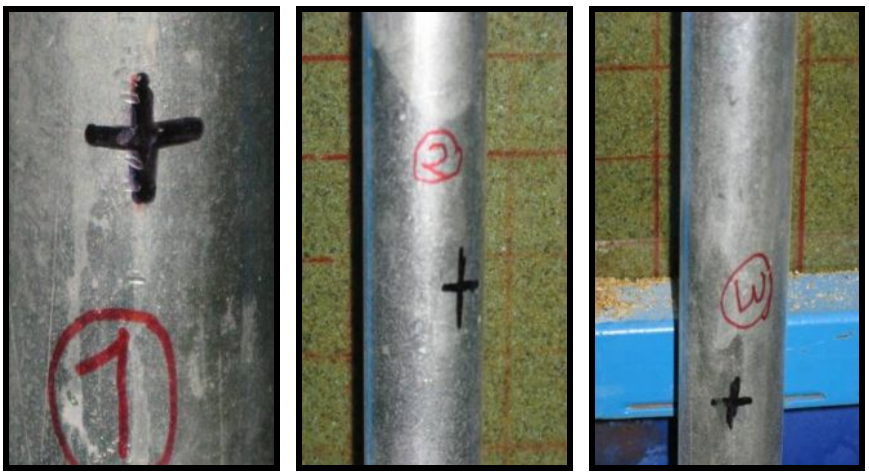


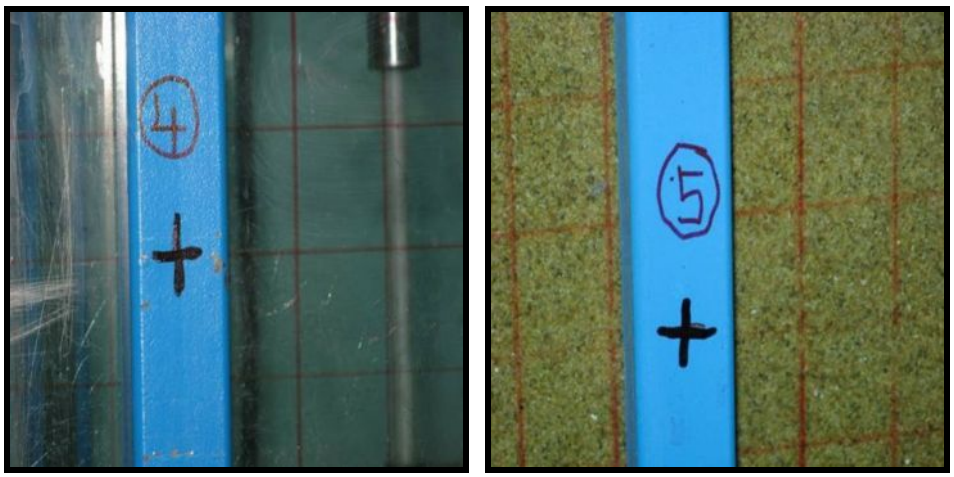
Şekil 5-44 Donatısız zemine ait dijital fotogrametri yöntemi (B=4 cm Df=0 cm).



Şekil 5-45 Donatısız zemin deneylerine ilişkin görüntüler (B=4 cm Df=0 cm).







Şekil 5-46 Deney öncesinde deney tankında işaretlenmiş referans noktaları (X,Y,Z koordinatları).

5.4.10. Taguchi Yöntemi ile Deney Tasarımı

Yöntemde parametre sayısına ve seviyesine bağlı özel olarak geliştirilmiş deney tasarım tabloları (ortogonal dizin, OA) kullanılmaktadır. Bu çalışma için seçilen 5 parametreli, 4 seviyeli L_{16} ortogonal dizini Tablo 5.5'de verilmiştir.

Tablo 5.5 L_{16} Ortogonal dizin tablosu

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

L_{16} ortogonal deney tasarım tablosunun 16 satırı ve maksimum beş kolonu bulunmaktadır. Kolon sayısı parametre sayısına göre değişebilmektedir. Her satır o satırdaki parametre seviyeleri ile yapılacak olan çalışma numarasını göstermektedir. Her kolonda 4 adet 1 nolu, 4 adet 2 nolu, 4 adet 3 nolu ve 4 adet de 4 nolu seviyeler bulunmaktadır.

Bu kombinasyonlar da; (1,1), (1,2), (1,3), (1,4), (2,1), (2,2), (2,3), (2,4), (3,1), (3,2), (3,3), (3,4), (4,1), (4,2), (4,3), (4,4) olmak üzere 16 adet olduğundan L_{16} deney tasarımı tablosu olarak tanımlanmaktadır. Parametre numaraları farklı seçilerek farklı

deneyler yapılmış olsa dahi, parametreler arasında önemli bir iç etkileşim olmadığı sürece analizlerde aynı sonuçlar elde edilmektedir.

5.5. Deney Programı

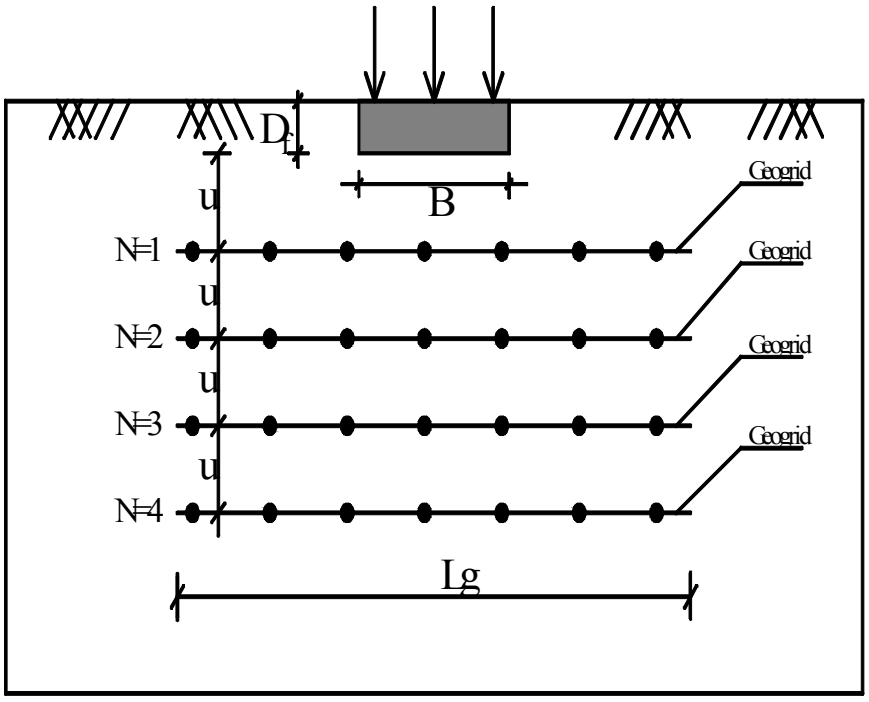
Geogrid donatılı kumlu zeminler üzerindeki sürekli temellerin taşıma gücünü etkileyen faktörlerin model deneylerle araştırıldığı çalışmada deneyler 3 seri olarak yapılmıştır.

1. Seri deneyler: Donatısız olarak B=4 cm, B=6 cm, B=8 cm ve B=10 cm temel genişlikleri için yapılmıştır.
2. Seri deneyler: Geogrid donatılı deneyler olup L_{16} deney tasarım tablosuna uygun olarak yapılmıştır.
3. Seri deneyler doğrulama deneyleri olup, Taguchi yöntemi ile belirlenen hedef değerler için yapılmıştır.

Geogrid donatılı deneylerde :

Temel genişliği (B),
Donatı sayısı (N),
Donatı derinlik oranı (u),
Donatı uzunluğu (L_G)
Temel derinliği (D_f)

parametre olarak seçilmiştir. (Şekil 5.48).



Şekil 5-47 Donatı parametreleri

u, L_G ve D_f genellikle temel genişliğine bağlı olarak ifade edilmektedir. Bu parametrelerin seviyeleri daha önceki çalışmalarda dikkate alınarak B temel genişliğinin belirli oranları olacak şekilde seçilmiştir. Deneylerde kullanılan parametreler ve bu parametrelerin değerleri Tablo 5.6 da, L16 deney tasarım tablosu ise Tablo 5.7 de verilmştir.

Tablo 5.6 Seçilen parametreler ve seviyeleri

Seviye	Parametre				
	Genişlik B (cm)	Donatı sayısı, N	Donatı derinlik 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 5.7 Donatılı deneyler için deney tasarım tablosu (L_{16})

Deney No	Parametreler ve Deneylerin Yapılacağı Parametre değerleri							
	B (cm)	N	U (cm)	L_G (cm)	D_f (cm)	Y1	Y2	Y3
1	4	1	1	16	0			
2	4	2	2	24	2			
3	4	3	3	32	4			
4	4	4	4	40	6			
5	6	1	3	48	9			
6	6	2	1.5	60	6			
7	6	3	6	24	3			
8	6	4	4.5	36	0			
9	8	1	6	80	4			
10	8	2	8	64	0			
11	8	3	2	48	12			
12	8	4	4	32	8			
13	10	1	10	60	10			
14	10	2	7.5	40	15			
15	10	3	5	100	0			
16	10	4	2.5	80	5			

6. ARAŞTIRMA SONUÇLARI

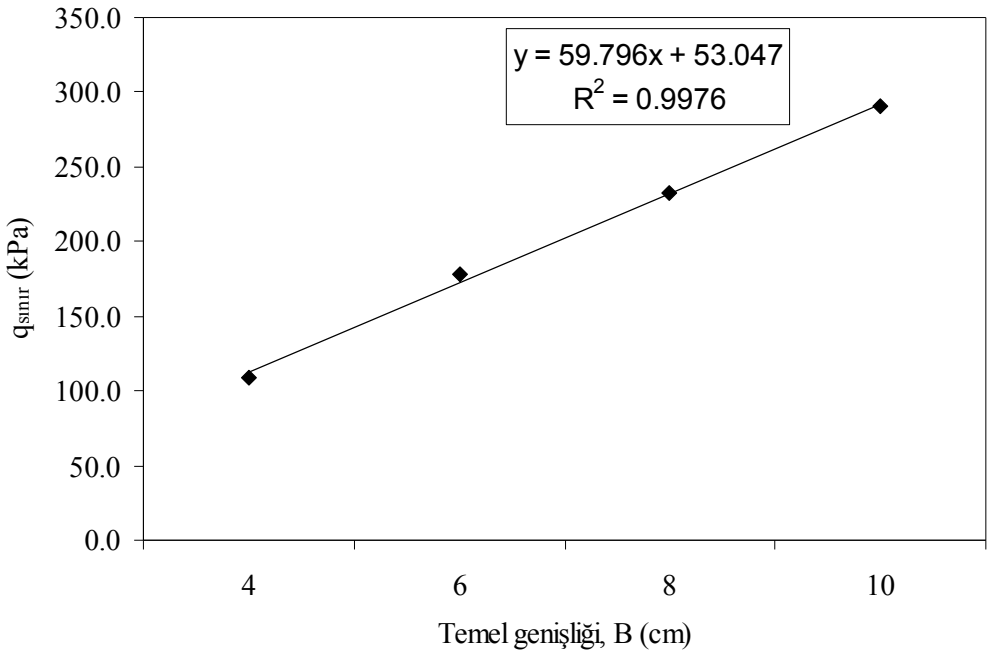
6.1. Donatısız Model Taşıma Gücü Deneyleri

Bölüm 5'de anlatıldığı şekilde B= 4 cm, 6 cm, 8 cm ve 10 cm temel genişlikleri için donatısız olarak yapılan deneylere ait sonuçlar Tablo 6.1'de toplu olarak verilmiştir. Tabloda verilen oturma değerleri, sınır taşıma gücüne ulaşıldığı andaki oturma değerleridir.

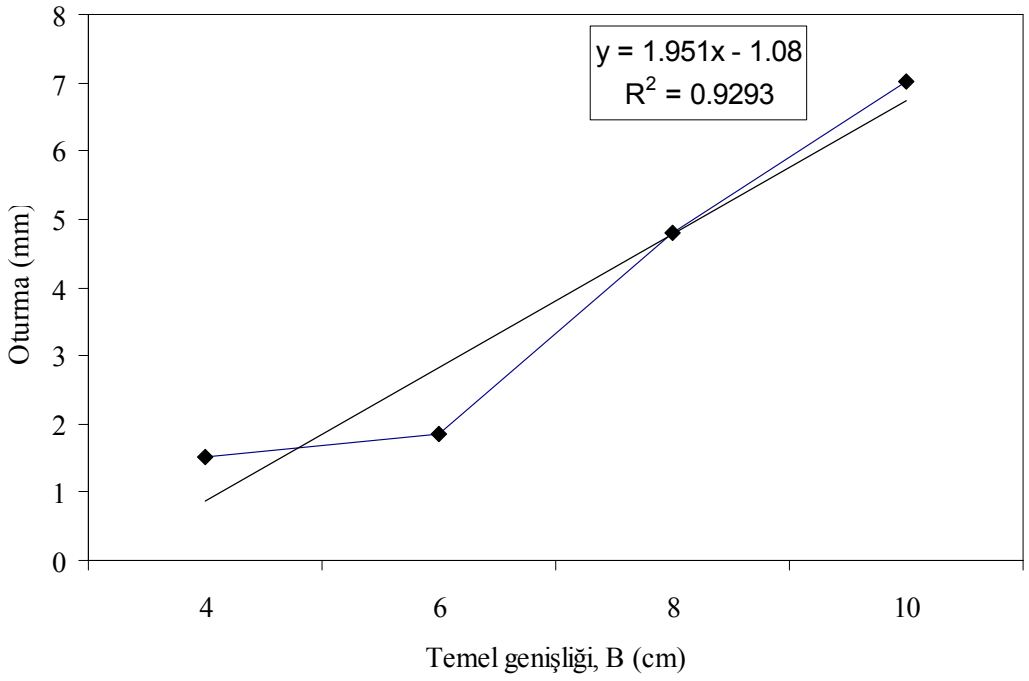
Tablo 6.1'deki veriler kullanılarak çizilen temel genişliği-sınır taşıma gücü (B-$q_{sınır}$) değişim grafiği Şekil 6.1 de, temel genişliği-oturma (B-ΔH) grafiği ise Şekil 6.2 de verilmiştir.

Tablo 6.1 Donatısız deney sonuçları

B (cm)	$Q_{sınır}$ (kN)		$Q_{sınır}$ (kN)	$q_{sınır}$ (kPa)	Oturma ΔH (mm)
	1. deney	2. deney			
4	1.23	1.33	1.28	109	1.51
6	3.17	3.07	3.12	178	1.85
8	5.01	5.83	5.45	232	4.8
10	8.49		8.49	291	7.03



Şekil 6-1 Donatısız deneylerde temel genişliği-sınır taşıma gücü değişimi



Şekil 6-2 Donatısız deneylerde temel genişliği-oturma grafiği

Şekil 6.1'den görüldüğü gibi kum yüzeyine oturan (D_f=0) temellerde temel genişliği arttıkça taşıma gücüde doğrusal olarak artmaktadır. Bu durum daha önce yapılmış çalışmalarla (Tan, 1996) ve taşıma gücü teorileri (Terzaghi, 1943, Meyerhof (1951), ile uyum içerisindedir.

Terzaghi taşıma gücü Teorisine göre temiz bir kum yüzeyine oturan sürekli temelde sınır taşıma gücü;

$$q_{sınır} = k_2 \gamma B N_\gamma \qquad (6.1)$$

bağıntısı ile belirlenmektedir. Tablo 6.1'deki deney sonuçları kullanılarak her temel genişliği için hesaplanan Nγ katsayıları aşağıda verilmiştir.

B=4 cm için;	$109 = 0.5*18x0.04N_{\gamma(deney)}$,	$N_{\gamma\,(deney)} = 302$
B=6 cm için;	$178 = 0.5*18x0.06N_{\gamma(deney)}$,	$N_{\gamma\,(deney)} = 330$
B=8 cm için;	$232 = 0.5*18x0.08N_{\gamma(deney)}$,	$N_{\gamma\,(deney)} = 322$
B=10 cm için	$291 = 0.5*18x0.10N_{\gamma(deney)}$,	$N_{\gamma\,(deney)} = 323$

$N_{\gamma\,(deney)}$ = 320 değeri Terzaghi Teorisine göre $\phi_{Deneysel} = 44.5^o$ içsel sürtünme açısına karşılık gelmektedir. Deney tankı içerisine kum rölatif sıkılığı D_r= 0.85 olacak şekilde yerleştirilmiştir. Bu sıkılıkta yapılan kesme kutusu deneyleri ile kumun içsel sürtünme açısı $\phi=40^o$ olarak belirlenmiştir.

Deneysel olarak belirlenen içsel sürtünme açısının kesme kutusu deneyi ile belirlenenden daha büyük olması daha önce yapılmış çalışmalarda da gösterilmiştir. Bu durum Terzaghi taşıma gücü Teorisinin güvenli tarafta kalmasından ve kesme kutusu ile içsel sürtünme açısının gerçek değerinden birkaç derece küçük belirlenmesinden kaynaklanmaktadır.

Şekil 6.2'de sınır taşıma gücüne ulaşıldığı andaki oturma değerleri ile temel genişliği arasında yaklaşık doğrusal bir ilişki olduğu görülmektedir. Temel genişliği arttıkça sınır taşıma gücüne ulaşmak için gerekli oturma miktarı da artmaktadır.

6.2. Geogrid Donatılı Model Taşıma Gücü Deneyleri

Geogrid donatılı kum üzerine oturan donatılı sürekli temellerde taşıma gücünü etkileyen 5 parametrenin (B, N, u, L_G ve D_f) sınır taşıma gücü ve sınır taşıma gücüne ulaşmak için gereken oturma miktarları üzerlerindeki etkilerini belirlemek için L_{16} deney tasarımına uygun model taşıma gücü deneyleri Tablo 6.2'de gösterilen düzende yapılmıştır. Tablo 5.5'de verilen 16 farklı kombinasyon için Bölüm 5.3'de anlatıldığı şekilde üç tekrarlı olarak yapılan deneyler sonucunda ölçülen sınır taşıma gücü ($q_{sınır}$) ile sınır taşıma gücüne ulaşıldığı andaki oturma (ΔH) değerleri Tablo 6.3'de toplu olarak verilmiştir.

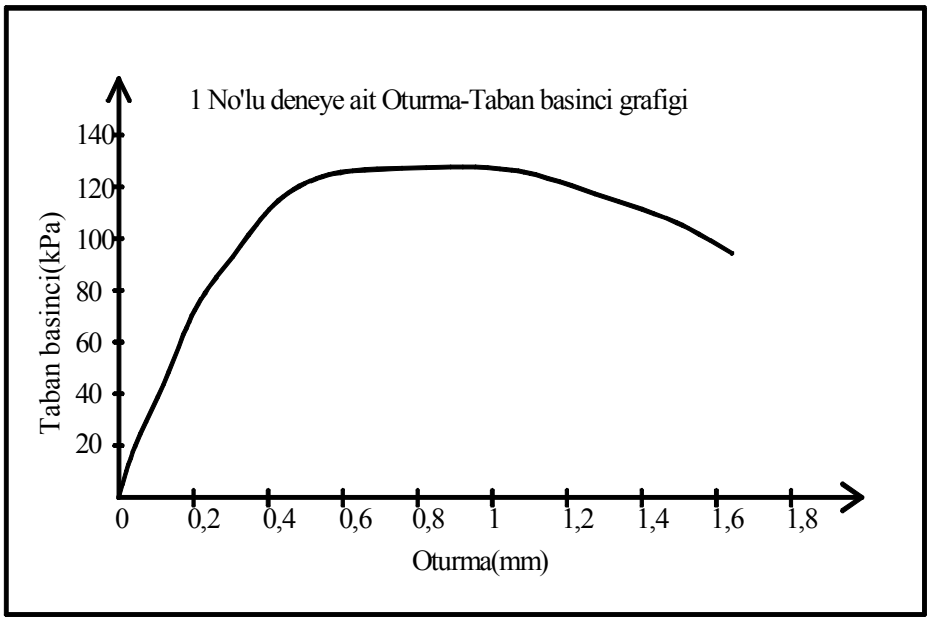
Tablo 6.2 Yapılan deneylerde parametre seviyeleri

Parametre	Deney No															
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**
B_1	√	√	√	√												
B_2					√	√	√	√								
B_3									√	√	√	√				
B_4													√	√	√	√
N_1	√				√				√				√			
N_2		√				√				√				√		
N_3			√				√				√				√	
N_4				√				√				√				√
u_1	√					√					√					√
u_2		√			√							√			√	
u_3			√					√	√					√		
u_4				√			√			√			√			
L_1	√						√					√		√		
L_2		√						√			√		√			
L_3			√		√					√						√
L_4				√		√			√						√	
D_{f1}	√							√		√					√	
D_{f2}		√					√		√							√
D_{f3}			√			√						√	√			
D_{f4}				√	√						√			√		

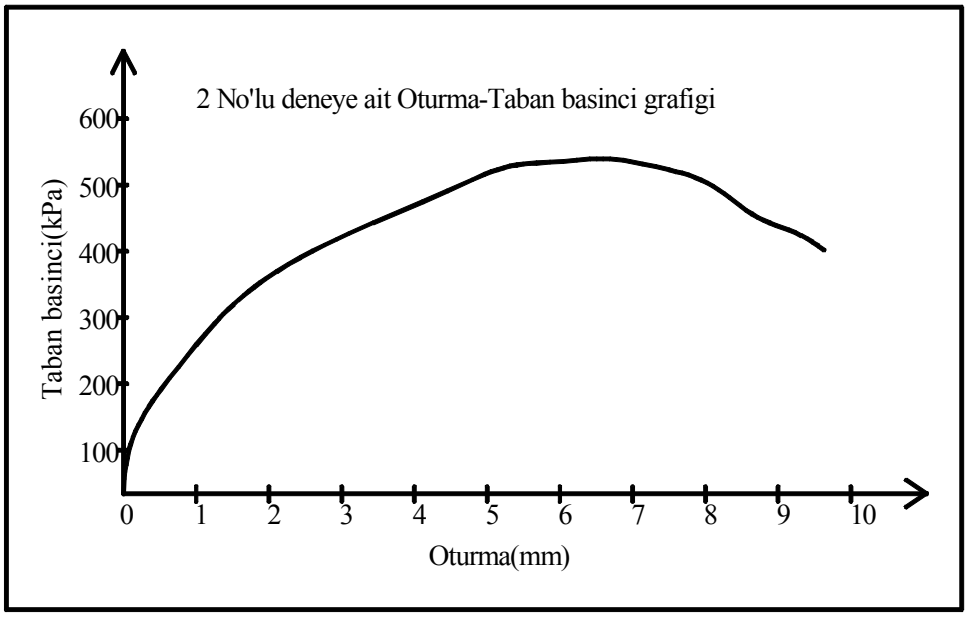
Tablo 6.3 Geogrid donatılı model taşıma gücü deney sonuçları ve S/N değerleri

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

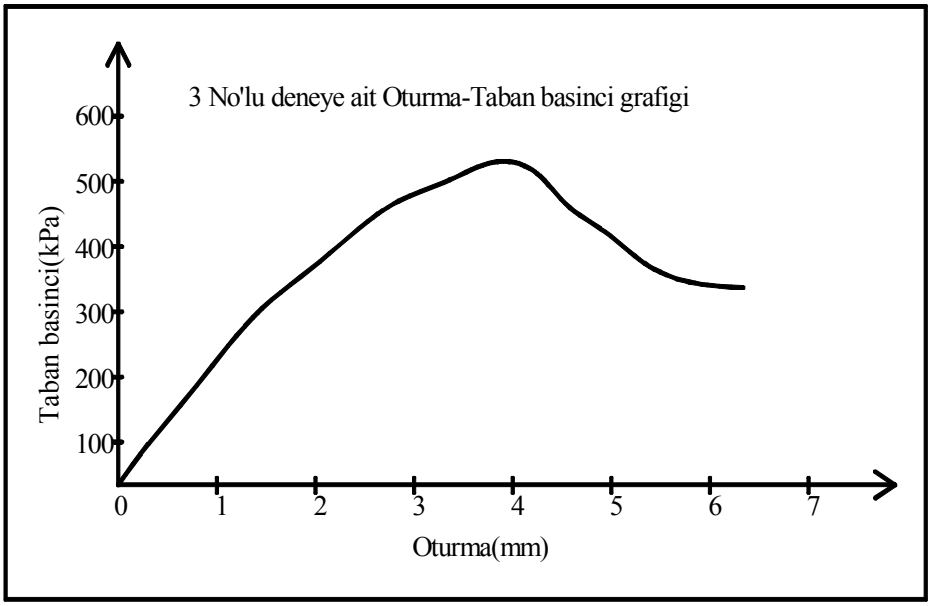
Yapılan 16 farklı deneye ait taban basıncı-oturma grafikleri Şekil 6.18 - Şekil 6.32'de verilmiştir.



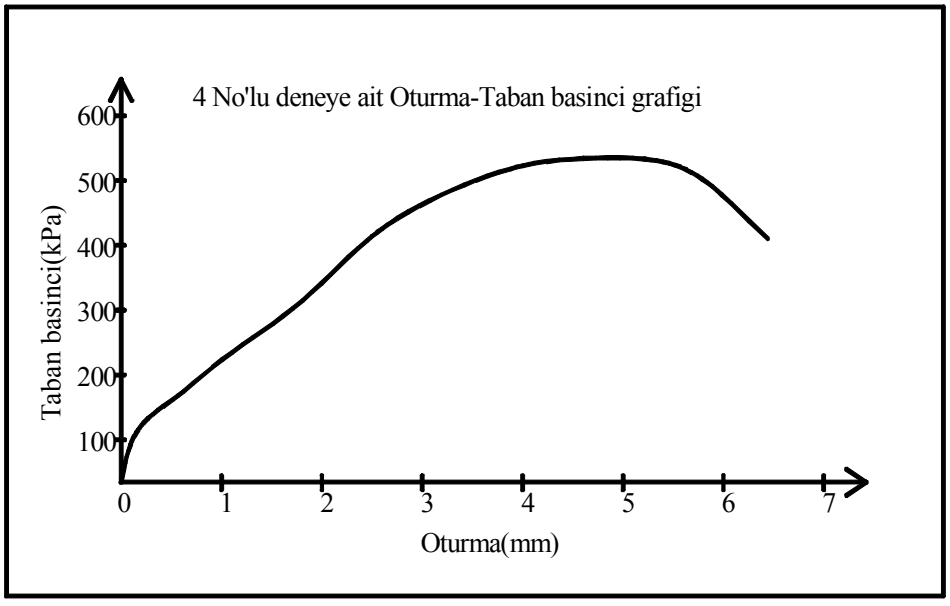
Şekil 6-3 1 no'lu deneye ait oturma-taban basıncı grafiği



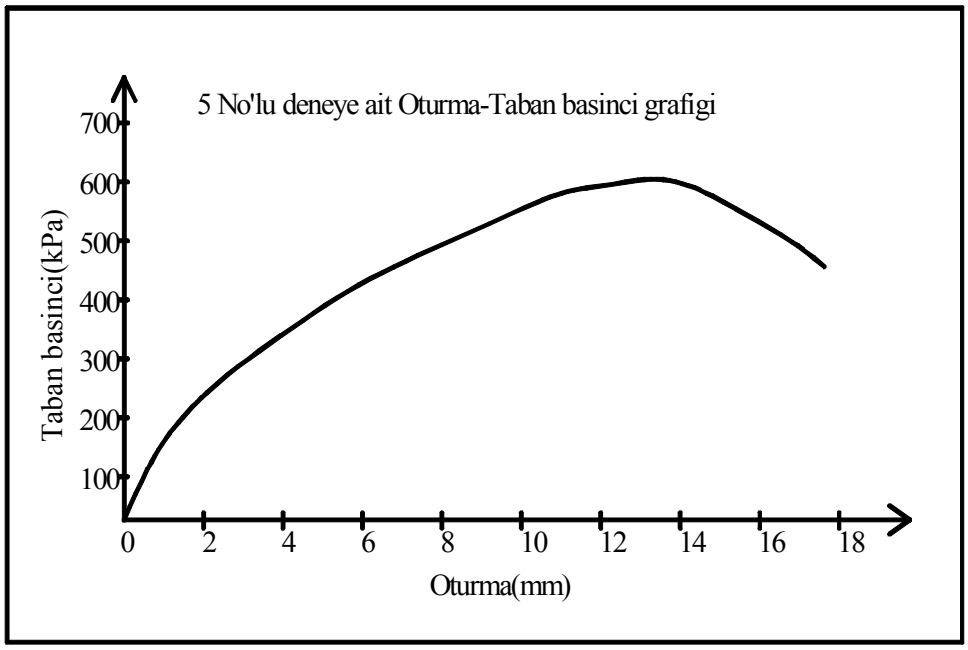
Şekil 6-4 2 No'lu deneye ait oturma-taban basıncı grafiği



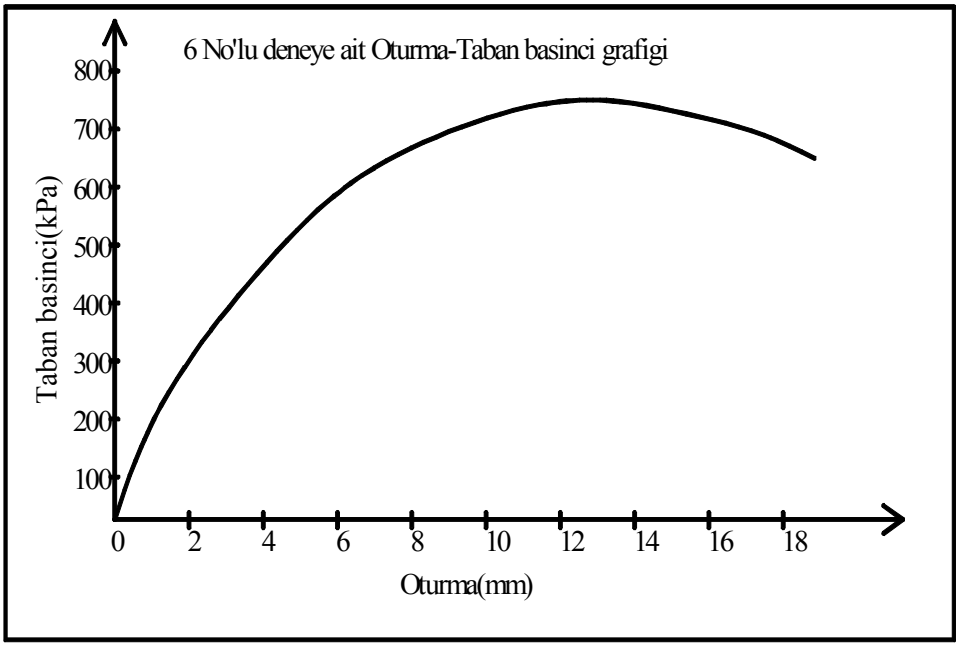
Şekil 6-5 3 no'lu deneye ait oturma-taban basıncı grafiği



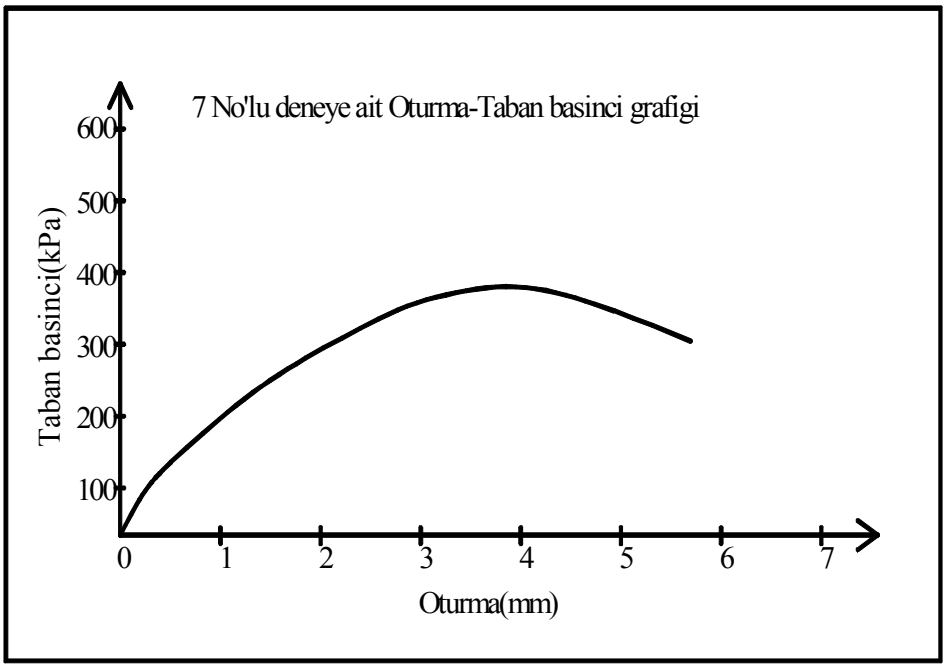
Şekil 6-6 4 no'lu deneye ait oturma-taban basıncı grafiği



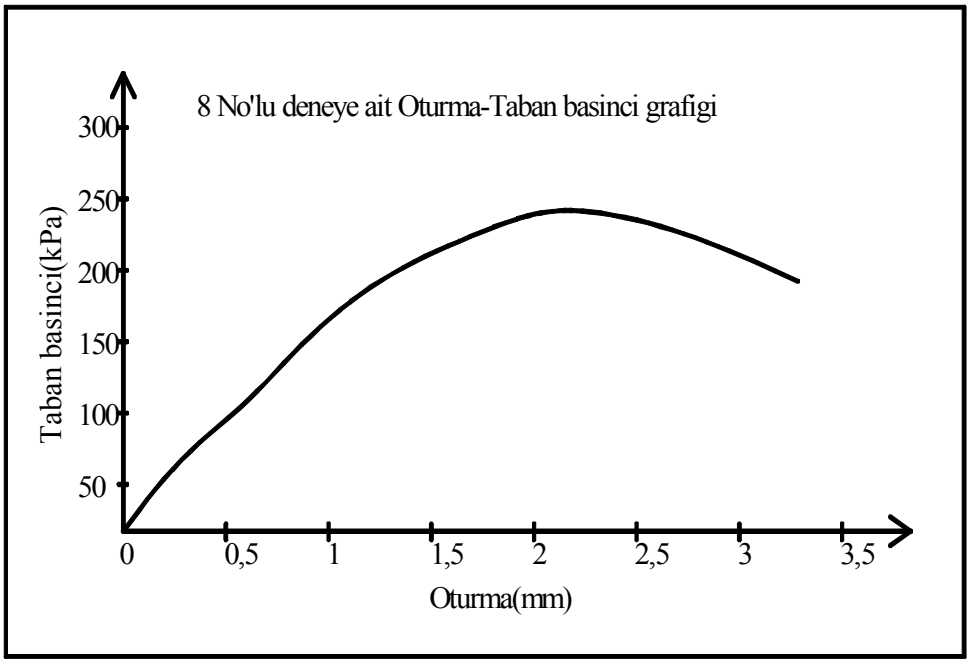
Şekil 6-7 5. no'lu deneye ait oturma-taban basıncı grafiği



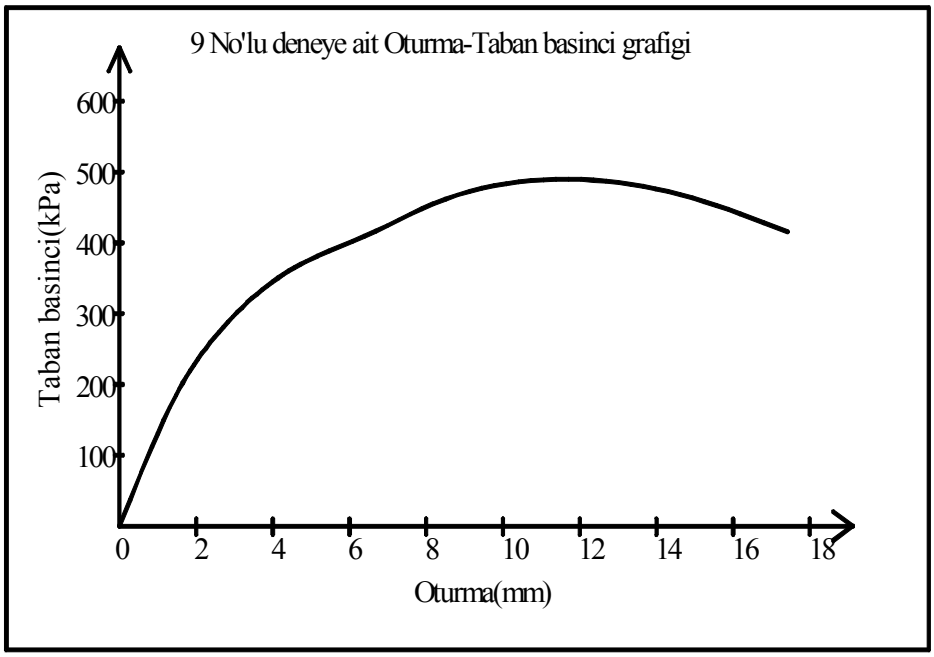
Şekil 6-8 6. no'lu deneye ait oturma-taban basıncı grafiği



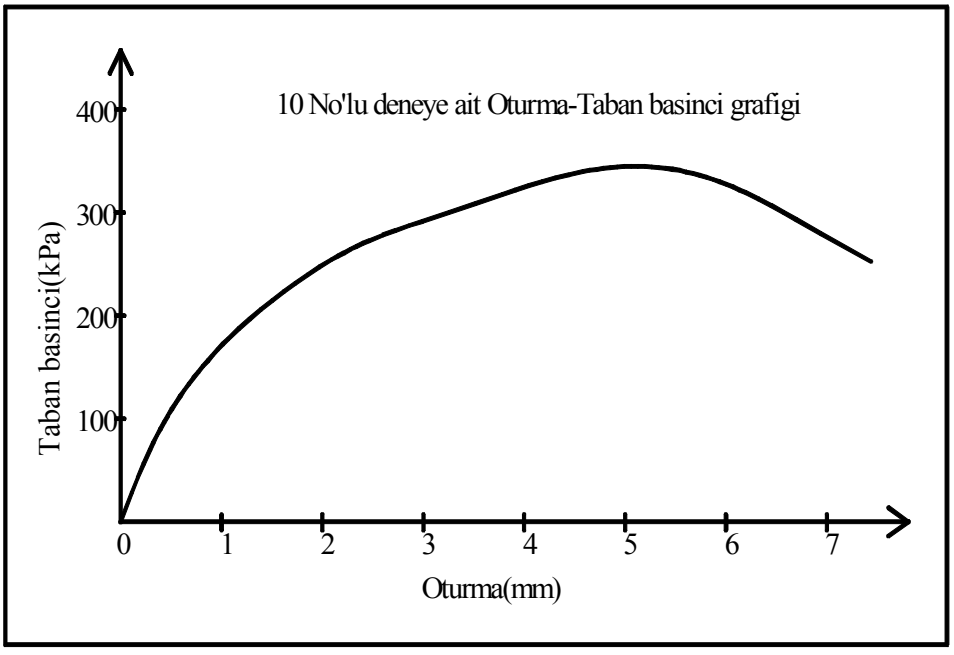
Şekil 6-9 7. no'lu deneye ait oturma-taban basıncı grafiği



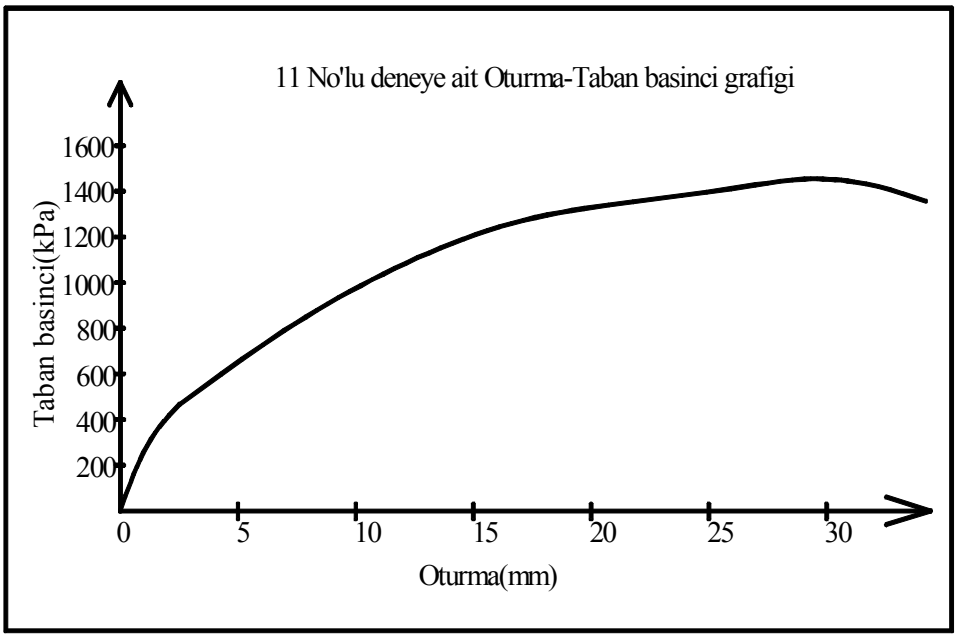
Şekil 6-10 8. no'lu deneye ait oturma-taban basıncı grafiği



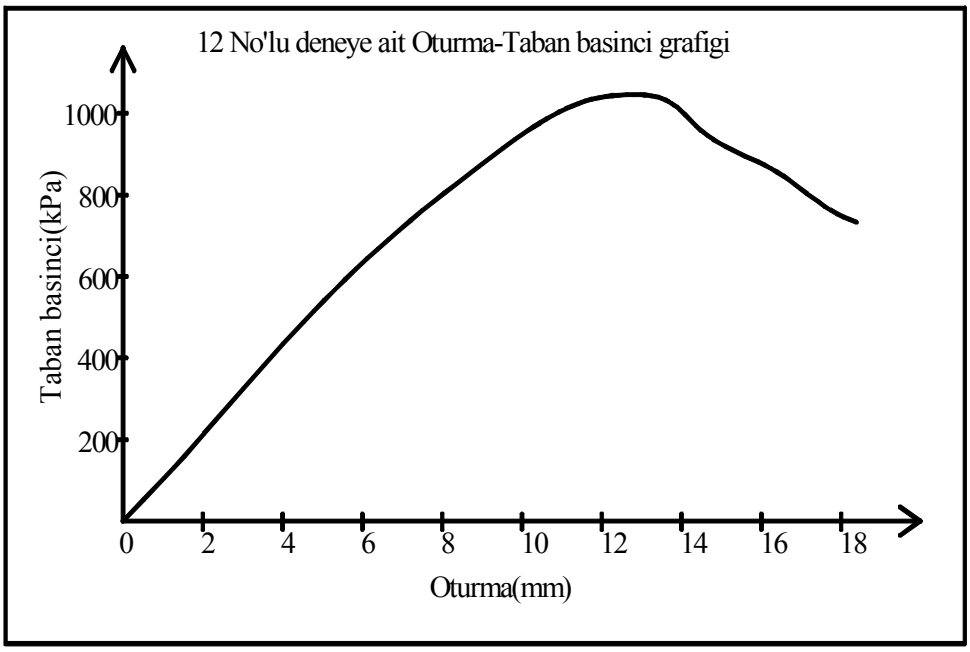
Şekil 6-11 9. no'lu deneye ait oturma-taban basıncı grafiği



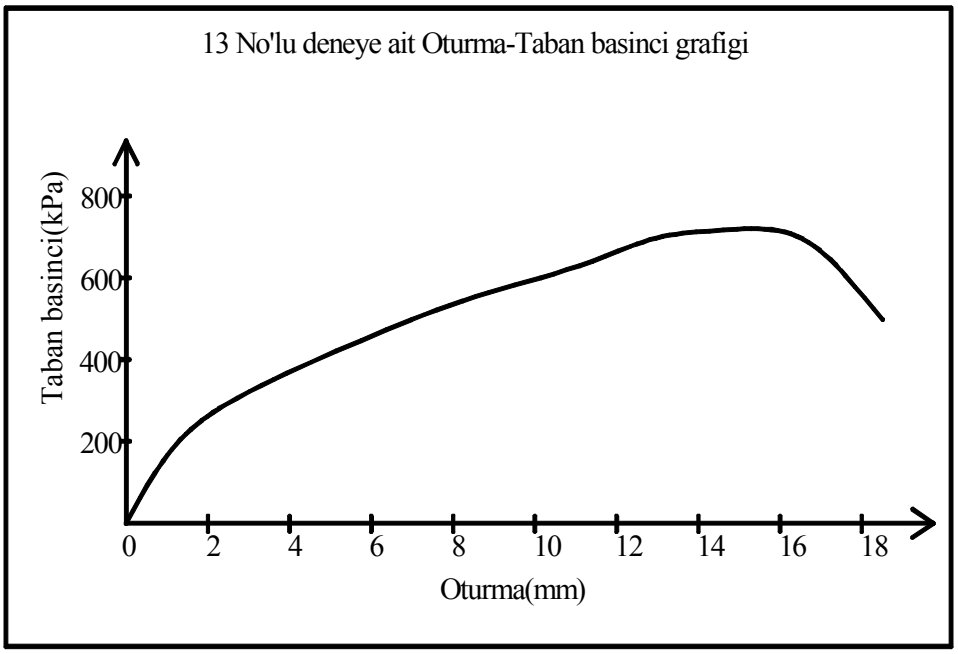
Şekil 6-12 10. no'lu deneye ait oturma-taban basıncı grafiği



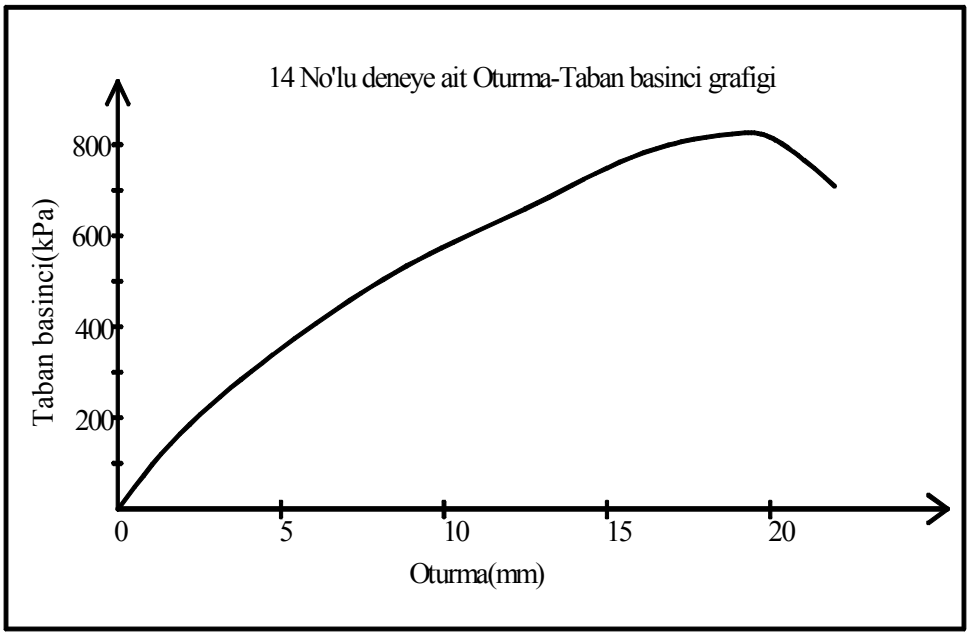
Şekil 6-13 11. no'lu deneye ait oturma-taban basıncı grafiği



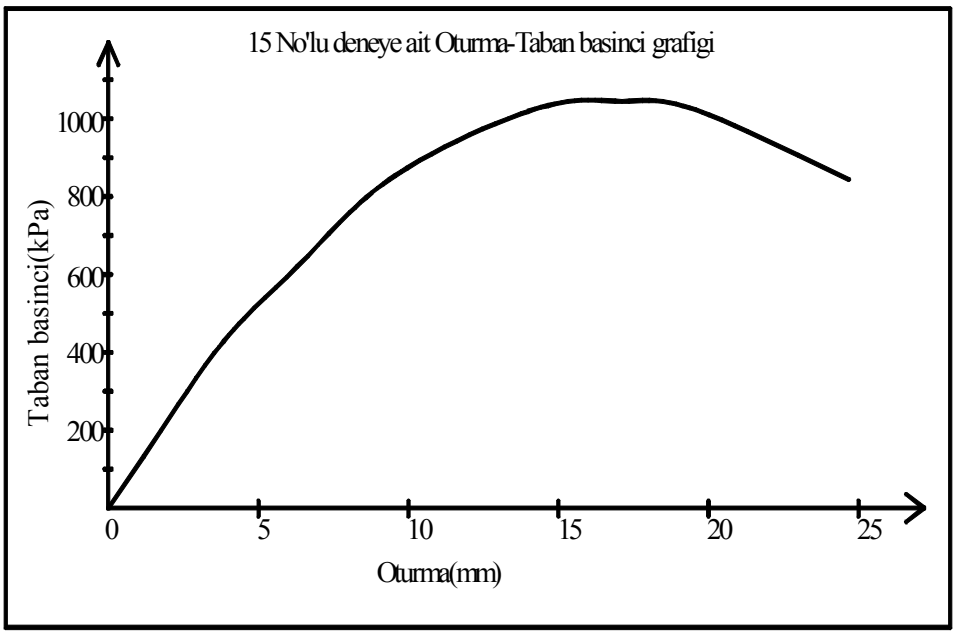
Şekil 6-14 12. no'lu deneye ait oturma-taban basıncı grafiği



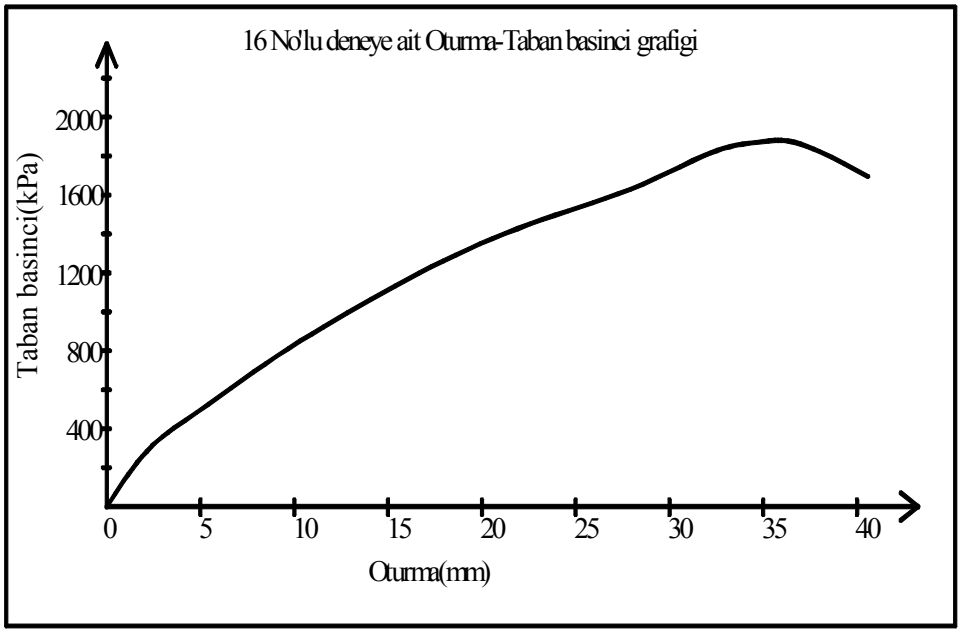
Şekil 6-15 13. no'lu deneye ait oturma-taban basıncı grafiği



Şekil 6-16 14. no'lu deneye ait oturma-taban basıncı grafiği



Şekil 6-17 15. no'lu deneye ait oturma-taban basıncı grafiği



Şekil 6-18 16. no'lu deneye ait oturma-taban basıncı grafiği

6.2.1. Sınır Taşıma Gücü İçin Yapılan Analizler

Sınır taşıma gücü üzerinde temel genişliği (B), donatı sayısı (N), donatı derinlik oranı (u), donatı uzunluğu (L_G) ve temel derinliği (D_f) nin etkilerini belirlemek için Taguchi yöntemine göre S/N ve varyans analizleri yapılarak analiz sonuçları aşağıda verilmiştir.

6.2.1.1. S/N analizleri

Tablo 6.2'de verilen 16 farklı kombinasyona ait deney sonuçları ($q_{sınır}$) kullanılarak (6.1) no'lu bağıntı ile hesaplanan S/N değerleri de Tablo 6.4'de verilmiştir.

Tablo 6.4 Sınır taşıma gücü için S/N oranları

Deney No	1	2	3	4	5	6	7	8	Ortalama S/N oranı
S/N oranı	42,5	54,6	54,7	54,4	54,9	57,6	52,3	50,0	
Deney No	9	10	11	12	13	14	15	16	55,70
S/N oranı	54,2	50.4	63,5	60,1	57.0	58.7	60,7	65.7	

Her parametre seviyesine karşılık gelen S/N değerlerinin ortalaması alınarak belirlenen parametre seviyelerine ait ortalama S/N oranları Tablo 6.5'de verilmiştir. S/N değerini belirlemek için yapılan işlemler örnekker aşağıda açıklanmıştır.

Deney tasarım tablosundan donatı sayısının 1 seviyesinin (N1) yer aldığı deneyler 1., 5., 9., ve 13., deneyler olduğu görülmektedir. Bu deneylere ait S/N oranlarının ortalaması N_1 için ortalama S/N değerini vermektedir.

$S/N_{(N1)}=(42.5+54,4+54,2+57)/4=52,03$

Deney tasarım tablosundan donatı derinlik oranının 2. seviyesinin (U) yer aldığı deneyler 2., 5., 12., ve 15., deneyler olduğu görülmektedir. Bu deneylere ait S/N oranlarının ortalaması U_2 için ortalama S/N değerini vermektedir.

$S/N_{(U2)}=(54,6+54,9+60,1+60,7)/4=57,80$

Deney tasarım tablosundan donatı uzunluğunun 3. seviyesinin (L_G) yer aldığı deneyler 3., 5., 10., ve 16., deneyler olduğu görülmektedir. Bu deneylere ait S/N oranlarının ortalaması U_2 için ortalama S/N değerini vermektedir.

$S/N_{(LG,3)}=(54,7+54,9+50,4+65,7)/4=54,30$

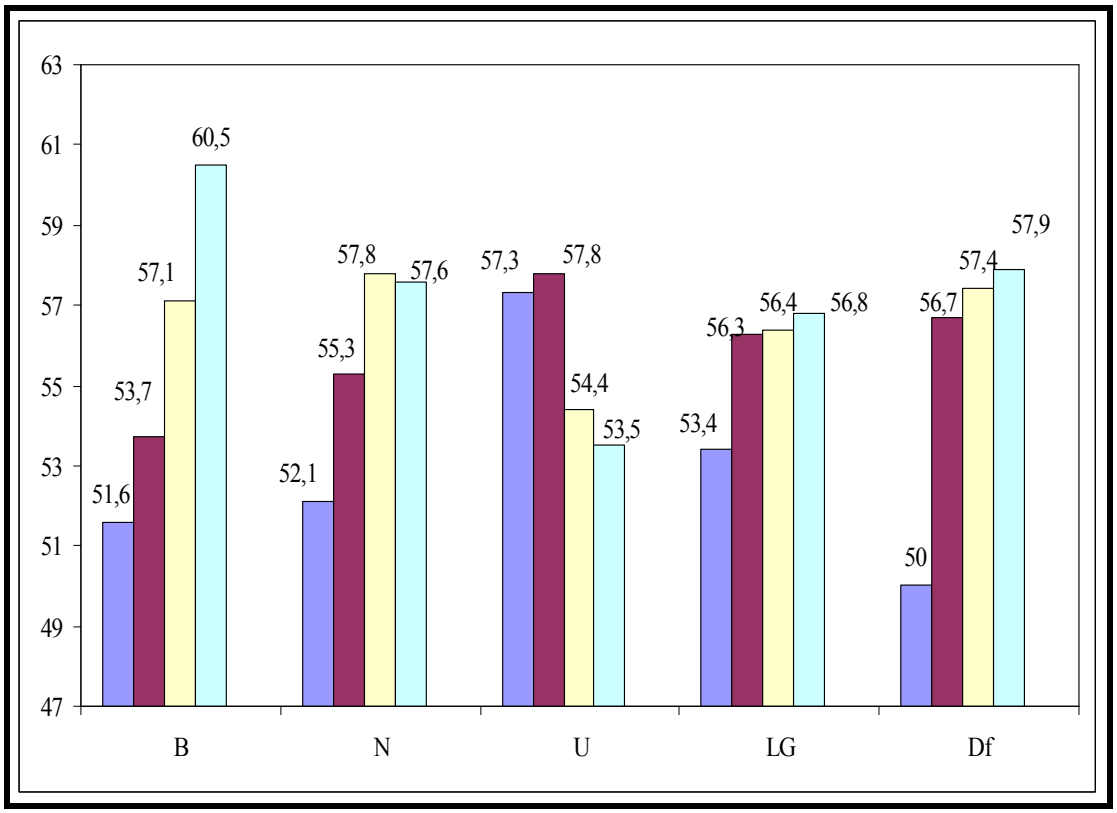
Deney tasarım tablosundan temel derinliğinin 4. seviyesinin (D_f) yer aldığı deneyler 4., 5., 11., ve 14., deneyler olduğu görülmektedir. Bu deneylere ait S/N oranlarının ortalaması $D_{f,4}$ için ortalama S/N değerini vermektedir.

$S/N_{(Df,4)}=(54,7+54,9+63,5+58,7)/4=57,90$

Benzer şekilde parametrelerin her seviyesi için hesaplanan ortalama S/N oranları Tablo 6.5'de toplu olarak verilmiştir. Bu değerlerin grafik gösterimi ise Şekil 6.19'da verilmiştir.

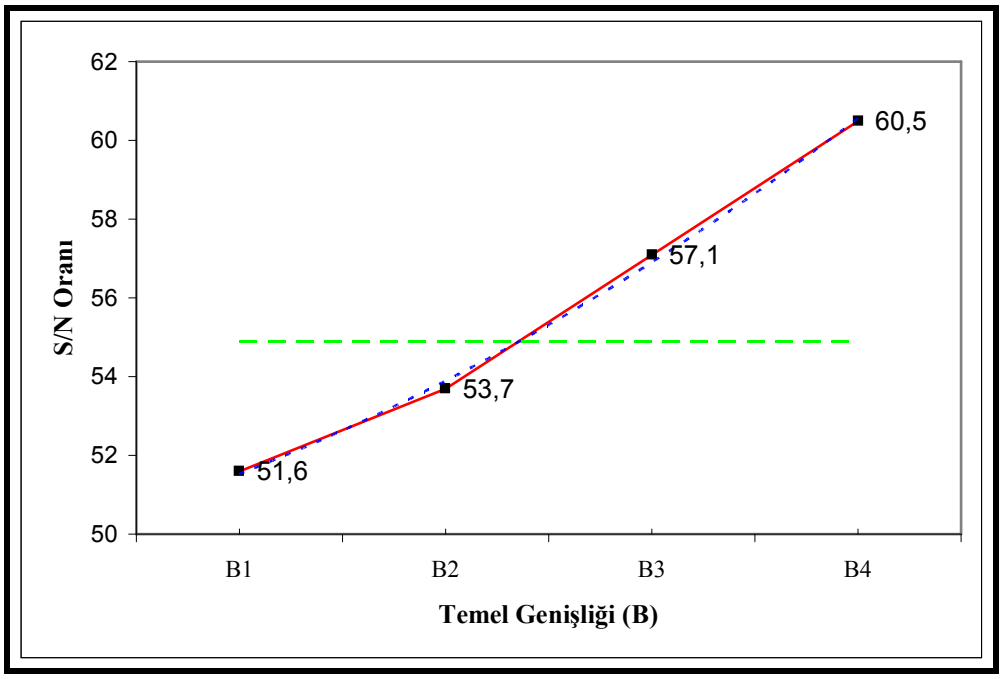
Tablo 6.5 Parametre seviyelerinin ortalama S/N oranları

Parametre	S/N ORANLARI			
	1. seviye	2. seviye	3. seviye	4. seviye
Temel genişliği (B)	51.60	53,70	57,10	60,50
Donatı sayısı (N)	52.10	55,30	57,80	57,60
Donatı derinlik oranı (U)	57.30	57,80	54,40	53,50
Donatı uzunluğu (L_G)	53.40	56,30	56,40	56,80
Temel derinliği (D_f)	50,00	56,70	57,40	57,90
Ortalama S/N	55,70			

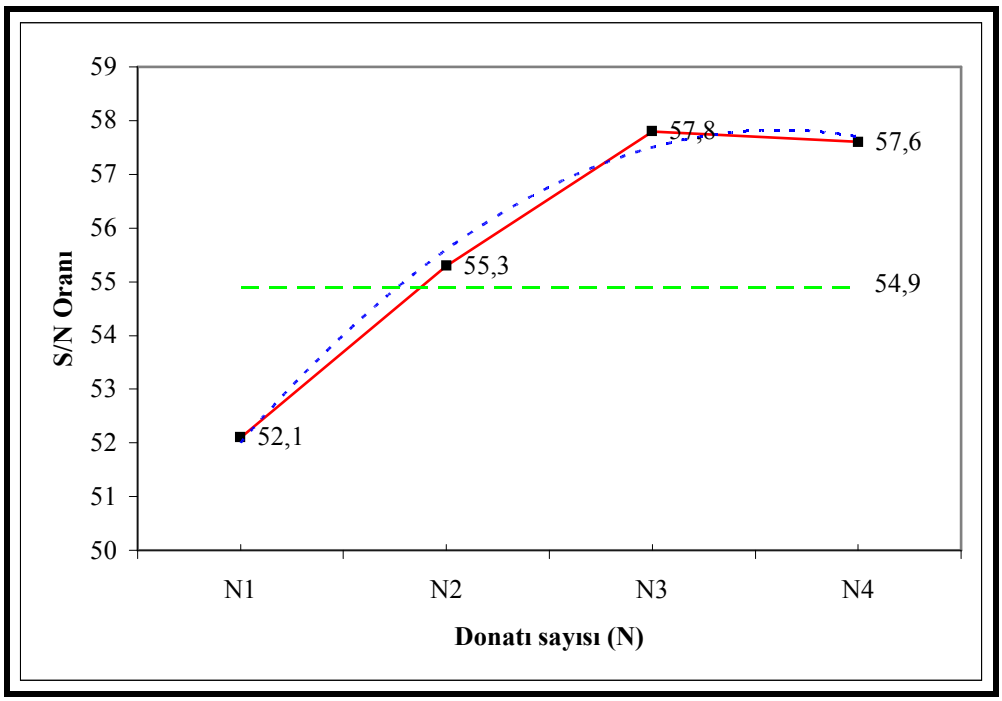


Şekil 6-19 Parametre Seviyelerinin S/N oranları

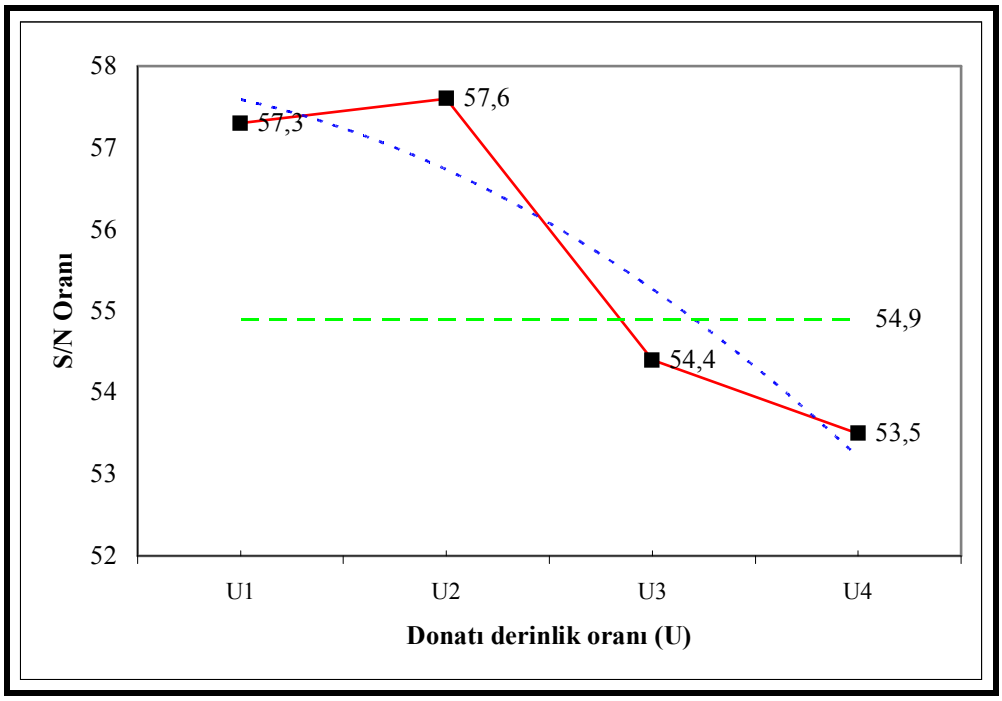
Tablo 6.4.'deki parametre seviyelerine ait ortalama S/N değerleri kullanılarak çizilen temel genişliği-S/N oranı değişimi Şekil 6.20'de, donatı sayısı-S/N oranı değişimi Şekil 6.21'de, donatı derinlik oranı-S/N oranı değişimi Şekil 6.22'de, donatı uzunluğu-S/N oranı değişimi Şekil 6.23'de ve temel derinliği-S/N oranı değişimi ise Şekil 6.24'de verilmiştir.



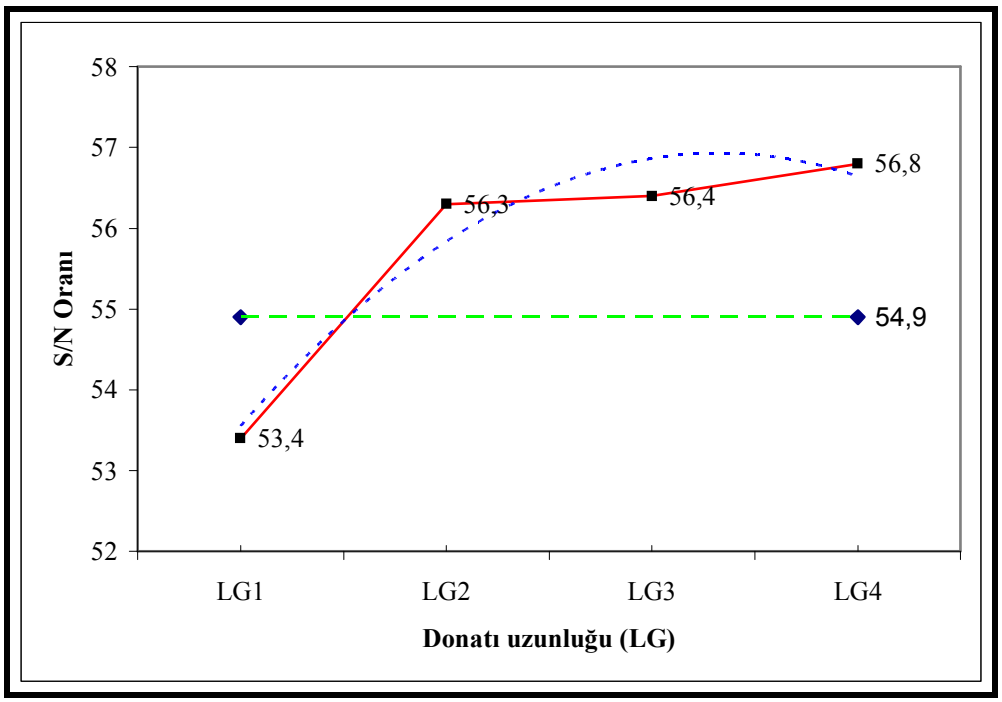
Şekil 6-20 Temel genişliği ile S/N oranları arasındaki değişim



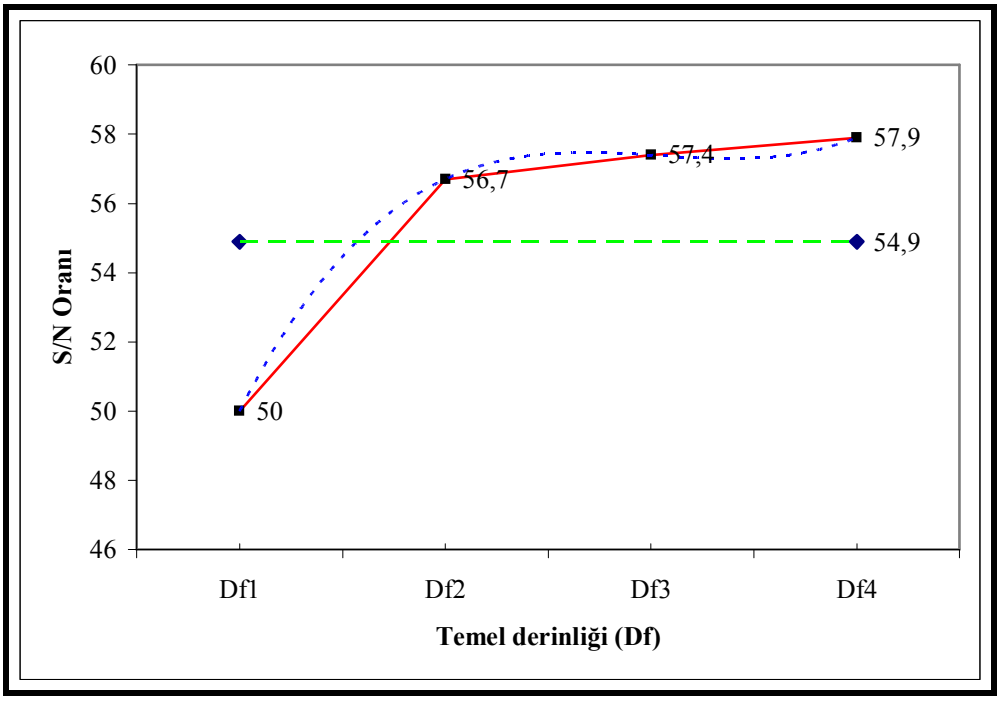
Şekil 6-21 Donatı sayısı ile S/N oranları arasındaki değişim



Şekil 6-22 Donatı derinlik oranı ile S/N oranları arasındaki değişim



Şekil 6-23 Donatı uzunluğu ile S/N oranları arasındaki değişim



Şekil 6-24 Temel derinliği ile S/N oranları arasındaki değişim

Şekil 6.20'den görüldüğü gibi donatılı zeminlerde temel genişliği arttıkça sınır taşıma gücü donatısız zeminlerde olduğu gibi yaklaşık doğrusal olarak artmaktadır. Bu durum taşıma gücü teorileri ve daha önce donatısız zeminlerde yapılmış çalışmalarla uyum içerisindedir

Donatı sayısı ile S/N oranı arasındaki değişim grafiği (Şekil 6.21) incelendiğinde genelde donatı sayısı arttıkça taşıma gücünün de arttığı görülmektedir. Ancak artış oranı N=3 değerinden sonra azalmaktadır. Bu durum, ekonomiklik göz önüne alındığında en fazla 3 sıra donatının yeterli olabileceğini göstermektedir. Donatı derinlik oranının 2. seviyesine (u=0.5B) sınır taşıma gücü artmakta, bu seviyen sonra ise azalmaktadır (Şekil 6.22). Bu durum uygulamada optimum performans için donatılar arası mesafenin 0.5B olarak alınması gerektiğini göstermektedir.

Donatı uzunluğu L_g=6B değerine kadar (2. seviye) sınır taşıma gücü hızlı bir şekilde artmakta bu seviyeden sonra artış hızı azalmaktadır (Şekil 6.23). 1. seviye Lg=6B değerine kadar S/N oranı %5.4 artarken, 2. seviyeden 4. seviyeye kadar S/N

oranı %0.9 oranında artmaktadır. Uygulamada ekonomiklik göz önüne alınarak Lg=6B olarak alınabilir. D_f=0.5B değerine kadar temel derinliği arttıkça sınır taşıma gücüde hızlı bir şekilde artmakta, bu değerden sonra (2. seviyeden sonra) ise sınır taşıma gücü doğrusal olarak yavaş bir şekilde artmaktadır (Şekil 6.24). S/N oranı D_f=0 değerinden (1. seviye) D_f=0.5 değerine kadar yaklaşık % 13 artarken, 2. seviyeden 4. seviyeye kadar yaklaşık %2.1 artmaktadır.

6.2.1.2. Varyans analizleri

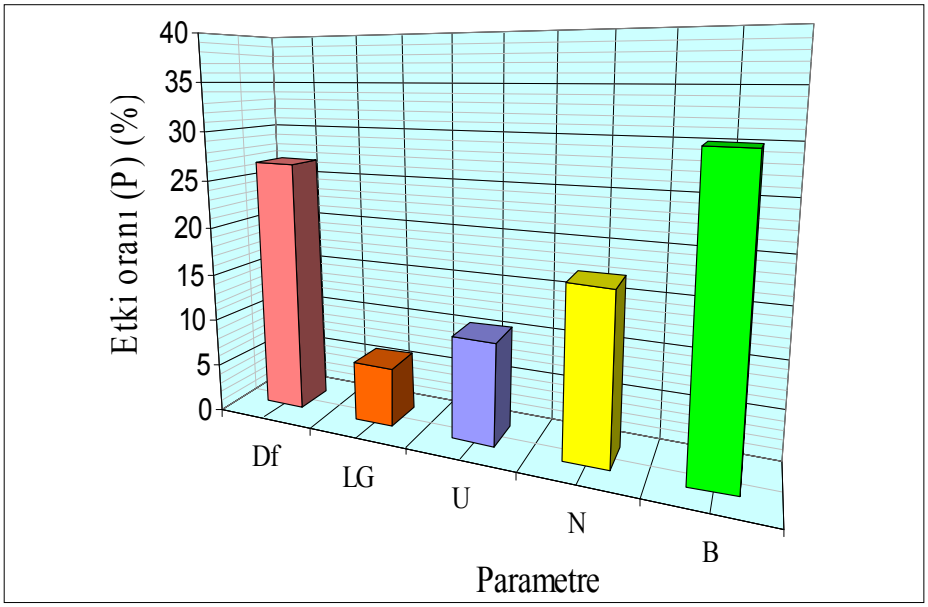
Geogrid donatılı kuma oturan sürekli temellerde B, N, u, L_g ve D_f in sınır taşıma gücü üzerindeki etkilerini ve etki derecelerini belirlemek amacıyla çok değişkenli varyans analizleri (ANOVA) yapılmış olup sonuçları Tablo 6.6'da verilmiştir.

Tablo 6.6 Varyans analizi (ANOVA) sonuçları

Parametre	Serbestlik Derecesi (DOF)	Kareler Toplamı (Ss)	Varyans	Etki oranı (P) (%)
Temel genişliği (B)	3	185,30	61,80	39,10
Donatı sayısı (N)	3	82,10	27,40	17,30
Donatı derinlik oranı (u)	3	50,50	16,80	10,70
Donatı uzunluğu (L_g)	3	29,30	9,80	6,20
Temel derinliği (D_f)	3	126,50	42,20	26,70
Toplam	15	473,70		

Varyans analizi sonuçlarından görülebileceği gibi sınır taşıma gücü değişimi üzerinde en etkili parametre % 39,10'lik oran ile temel genişliği (B)'dir. Temelin özellikle kum yüzeyine (D_f=0) olması durumu ile D_f=0.5B olması durumları arasında sınır taşıma gücü önemli oranda değişmektedir. İkinci derecede etkili parametre % 26,70 oran ile temel derinliğidir. Donatı derinlik oranının etkisi % 10.70, donatı sayısının etkisi % 17,30 donatı uzunluğunun etki derecesi ise % 6.20 olarak

belirlenmiştir. Parametrelerin etki dereceleri grafik olarak Şekil 6.25'de gösterilmiştir.

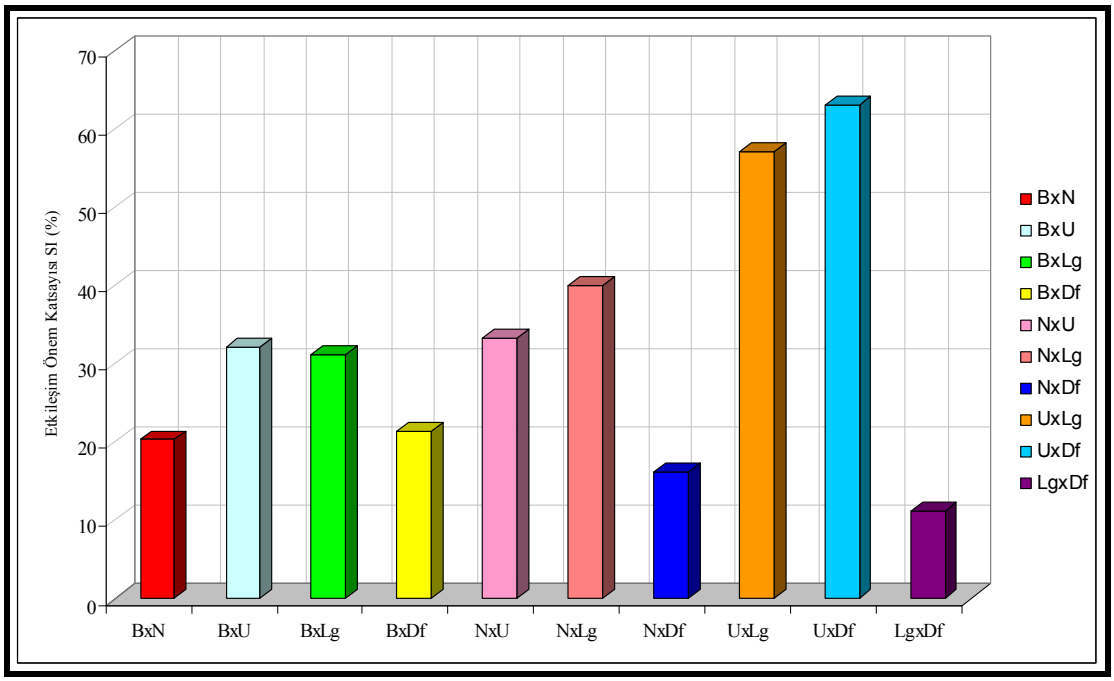


Şekil 6-25 Parametrelerin sınır taşıma gücü üzerindeki etki oranları

Parametreler arasında iç etkileşim olup olmadığını belirlemek için Taguchi Yöntemine göre etkileşim analizleri yapılarak etkileşim önem sayıları (SI) belirlenmiştir. Hesaplanan SI katsayıları Tablo 6,7'de, bu sayılar kullanılarak çizilen grafik ise Şekil 6.26 da verilmiştir.

Tablo 6.7 Etkileşim önem sayıları

Parametreler	Etkileşim önem sayısı % (SI)
BxN	20.30
BxU	32.10
BxL_g	31.20
BxD_f	21.30
NxU	33.20
NxLg	40.00
NxD_f	16.20
UxL_g	57.10
UxD_f	63.10
$LgxD_f$	11.10



Şekil 6-26 Parametrelerin etkileşim grafikleri

Etkileşim önem sayısı SI= % 100 olması durumu iki parametre arasında sonuç üzerinde tam bir etkileşim olduğunu, parametrelerin birbirlerini etkilediğini göstermektedir. Bu durumda etki grafikleri birbirlerini 90^{o} açı ile kesmektedir. Etkileşim sayılarının çok yüksek olduğu durumlarda ortogonal dizinin değiştirilerek etkileşimi de dikkate alan yeni deney tasarım tablosunun oluşturulması ve analizlerin tekrarlanması gerekmektedir. Etkileşim önem sayısının SI= % 0 olması durumu parametreler arasında içi etkileşim olmadığını, çizilen etkileşim grafiklerinin birbirlerine paralel olduğunu göstermektedir.

Tablo 6.7'de verilen etkileşim katsayıları incelendiğinde en az etkileşimin donatı uzunluğu ve temel derinliği arasında (% 11.10) olduğu, en fazla etkileşimin ise donatı derinlik oranı ve temel derinliği (% 63.10) arasında olduğu görülmektedir. Genel olarak parametreler arasındaki etkileşimin sonuç üzerinde çok etkili olmadığı söylenebilir.

Bütün parametre seviyeleri dikkate alındığında 4^5=1024 farklı kombinasyon bulunmaktadır. 1024 farklı durum içinde sınır taşıma gücünün maksimum ve minimum olacağı parametre seviyelerini belirlemek amacıyla S/N oranları

kullanılarak optimizasyon analizleri yapılmıştır. Belirlenen optimum deney koşulları ve performans değerleri Maksimum $q_{sınır}$ için Tablo 6.8'de, minimum $q_{sınır}$ için ise Tablo 6.9'de verilmiştir.

Tablo 6.8 Maksimum $q_{sınır}$ için optimum koşullar ve performans değerleri

Parametre	Maksimum $q_{sınır}$ için Parametre Seviyesi	Maksimum $q_{sınır}$ için Parametre Değeri	Parametre Etki Oranı	Etki Yüzdesi %
Temel genişliği (B)	4	10 cm	4.80	40.00
Donatı sayısı (N)	3	3	2.10	17.50
Donatı derinlik oranı (u)	2	0.5B	1.90	15.80
Donatı uzunluğu (L_G)	4	10B	1.00	8.30
Temel derinliği (D_f)	4	1.5B	2.20	18.30
Maksimum taban basıncı için parametrelerin toplam etkisi			12.00	
Bu seviyelerde beklenen maksimum S/N değeri				67.70
Bu seviyelerde beklenen maksimum $q_{sınır}$ değeri (kPa)				2428
Doğrulama deneyi ile bulunan maksimum $q_{sınır}$ değeri (kN)				2252

Tablo 6.9 Minimum $q_{sınır}$ için Optimum koşullar ve performans değerleri

Parametre	Minimum $q_{sınır}$ için Parametre Seviyesi	Minimum $q_{sınır}$ için Parametre Değeri	Parametre Etki Oranı	Etki Yüzdesi %
Temel genişliği (B)	1	4 cm	4.20	24.70
Donatı sayısı (N)	1	1	3.50	20.60
Donatı derinlik oranı (u)	4	0.25B	2.30	13.50
Donatı uzunluğu (L_G)	1	4B	2.40	14.10
Temel derinliği (D_f)	1	0	4.60	27.00
Minimum taban basıncı için parametrelerin toplam etkisi			17.00	
Bu seviyelerde beklenen minimum S/N değeri				38.90
Bu seviyelerde beklenen minimum $q_{sınır}$ değeri (kPa)				87.80
Doğrulama deneyi ile bulunan minimum $q_{sınır}$ değeri (kN)				123

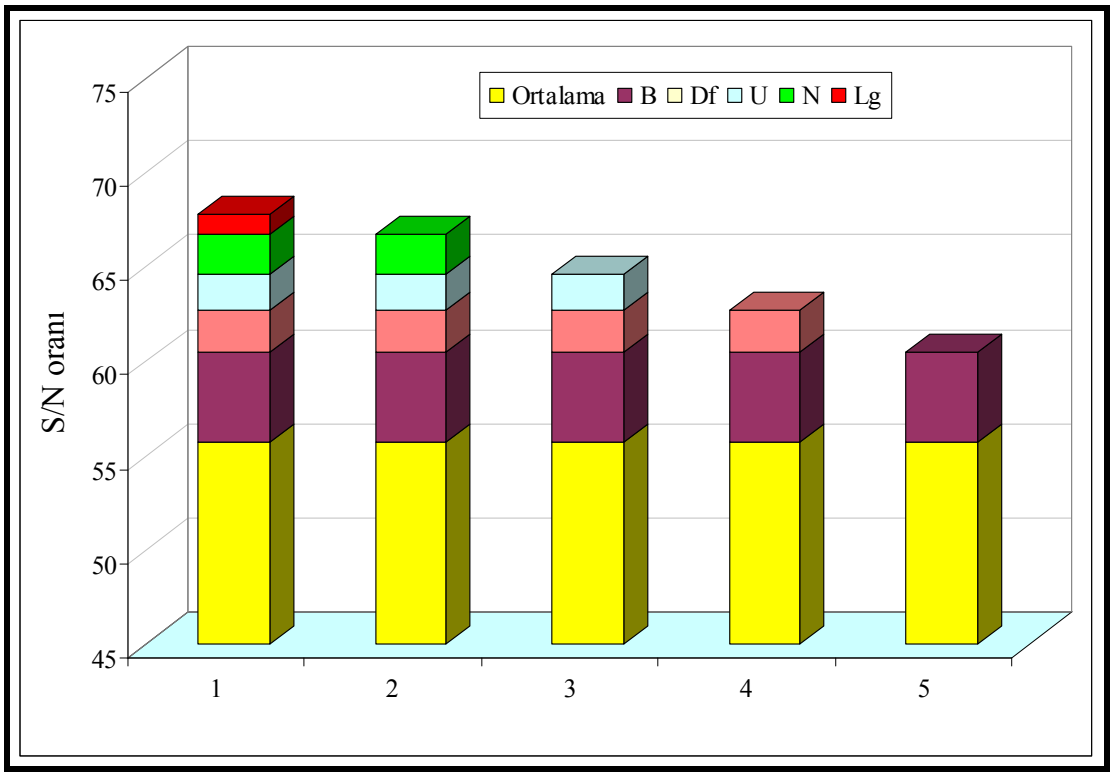
Sınır taşıma gücünün maksimum olması için Taguchi Yöntemi ile yapılan optimizasyon analizleri sonucunda, temel genişliği B=10 cm, donatı sayısı N=3, donatı derinlik oranı u=0.50B, donatı uzunluğu L_g=10B ve temel derinliği D_f= 1.5B olarak belirlenmiştir. Bu seviyelerde yapılacak deneylerde sınır taşıma gücünün $q_{sınır}$=2428±0.10*2428 (kPa) olması beklenmektedir.

Sınır taşıma gücünün minimum olması için Taguchi Yöntemi ile yapılan optimizasyon analizleri sonucunda ise temel genişliği B=4 cm, donatı sayısı N=1, donatı derinlik oranı u=0.25B, donatı uzunluğu L_g=4B ve temel derinliği D_f= 0 olarak belirlenmiş olup bu oranlarda yapılacak deneylerde sınır taşıma gücünün $q_{sınır}$=87.8 ±0.10*87.8 (kPa) olması beklenmektedir.

Parametrelerin maksimum performans üzerindeki etkilerini gösteren grafik Şekil 6.27 de verilmiştir. Her parametrenin maksimum S/N oranı ortalama S/N değerinden çıkarılarak maksimum performans üzerindeki etkiler belirlenmiştir (Tablo 6.10).

Tablo 6.10 Parametrelerin maksimum performans üzerindeki etkileri

	Δ(S/N) Değerleri				
Ortalama S/N	B	D_f	U	N	L_g
55.70	4.80	2.20	1.90	2.10	1.10



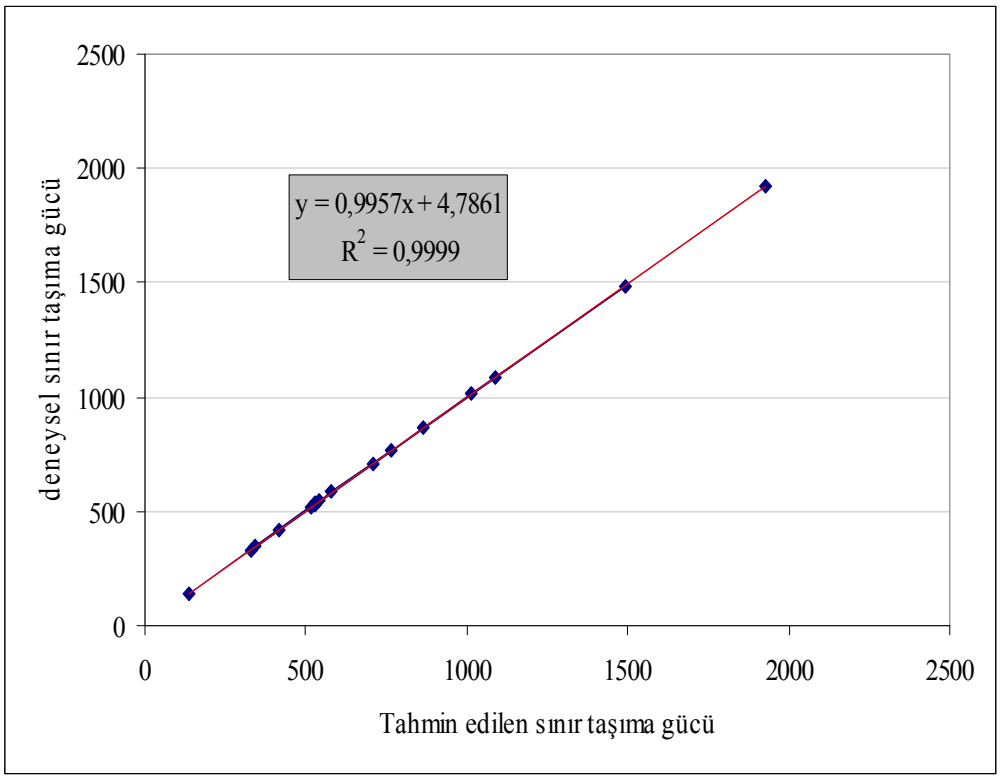
Şekil 6-27 Parametrelerin maksimum performans üzerindeki etkileri

Tablo 6.10 ve Şekil 6.27'de görüldüğü gibi sınır taşıma gücünü ortalama değerden maksimum değere çıkarmak için en fazla etkili parametre temel genişliğidir. Donatıya ait parametrelerin (u, N ve Lg) etki toplamı 5.1, temele ait parametrelerin (B ve D_f) etki toplamı ise 6.2 dir.

Taguchi Yöntemi ile yapılan deneylerin veya 1024 farklı kombinasyon için deney sonuçları tahmin edilebilmektedir. Taguchi Yöntemi ile yapılan tahminlerin doğruluğunu belirlemek amacıyla yapılan 16 deneye ait sınır taşıma gücü değerleri hesaplanarak hata oranları belirlenmiş ve sonuçlar Tablo 6.11 de verilmiştir. Tablo 6.10 da verilen deneysel sınır taşıma gücü değerleri yapılan üç deneyin ortalamasıdır.

Tablo 6.11 Tahmin edilen sınır taşıma gücü değerleri

Deney No	B (cm)	N	U (cm)	L_G (cm)	D_f (cm)	Deneysel ortalama $q_{sınır}$ (kPa)	Tahmin edilen $q_{sınır}$ (kPa)	Hata oranı (%))
1	4	1	1	16	0	135,33	136.00	-0,49
2	4	2	2	24	2	539,67	540.00	-0,06
3	4	3	3	32	4	542,67	543.90	-0,23
4	4	4	4	40	6	527,67	527.90	-0,04
5	6	1	3	48	9	578,00	585.30	-1,26
6	6	2	1.5	60	6	762,00	762.30	-0,04
7	6	3	6	24	3	413,67	414.90	-0,30
8	6	4	4.5	36	0	343,67	353.10	-2,74
9	8	1	6	80	4	517,00	517.90	-0,17
10	8	2	8	64	0	332,33	332.50	-0,05
11	8	3	2	48	12	1495,00	1485.50	0,64
12	8	4	4	32	8	1013,67	1014.30	-0,06
13	10	1	10	60	10	707,67	707.90	-0,03
14	10	2	7.5	40	15	861,67	862.50	-0,10
15	10	3	5	100	0	1085,67	1086.10	-0,04
16	10	4	2.5	80	5	1926,00	1927.10	-0,06



Şekil 6-28 Deneysel ve tahmin edilen sınır taşıma gücü değerleri

Şekil 6.28'de görüldüğü gibi Taguchi yöntemi ile yapılan sınır taşıma gücü tahminleri deney sonuçlarına oldukça yakındır. Bu durum Taguchi yöntemi ile yapılan optimizasyon tekniğinin oldukça güçlü olduğunu, bu yöntemin bu tür problemlerde uygulanabileceğini göstermektedir.

6.2.2. 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 sınır taşıma gücü için yapılan analizlerin benzerleri yapılmıştır.

6.2.2.1. S/N Analizleri

Tablo 6.3 de verilen oturma değerleri kullanılarak (6.1) no'lu bağıntı ile hesaplanan S/N değerleri de Tablo 6.12 de verilmiştir.

Tablo 6.12 Oturma için S/N oranları

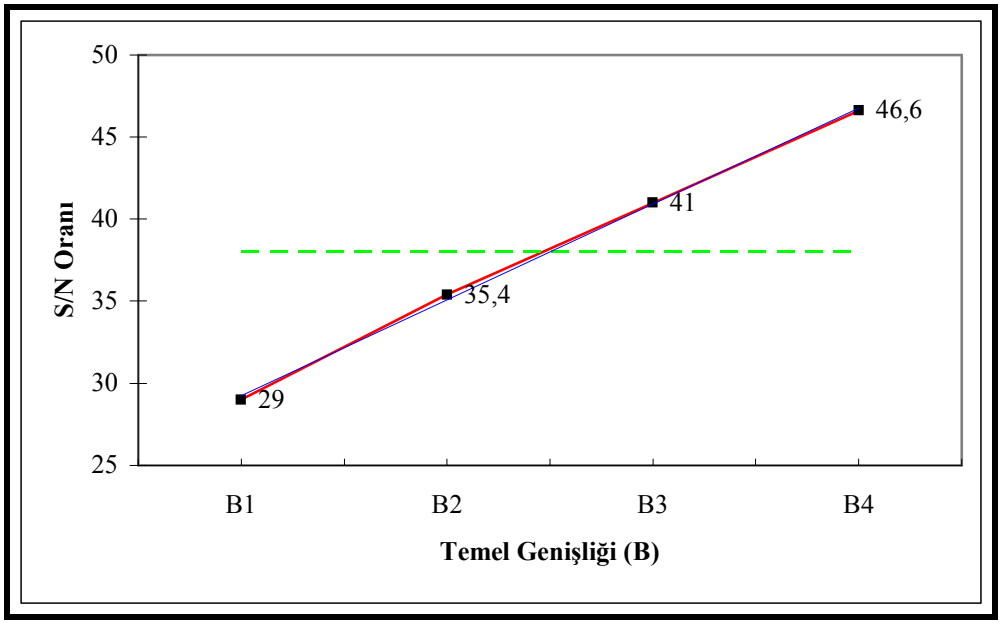
Deney No	1	3	3	4	5	6	7	8	Ortalama S/N oranı
S/N oranı	15.6	35.4	32.0	33.1	42.3	41.8	31.4	26.0	
Deney No	9	10	11	12	13	14	15	16	38.0
S/N oranı	40.1	32.0	49.4	42.5	44.4	45.5	44.6	52.0	

Yapılan S/N analizleri sonucunda beş parametre (B, N, U, L_G ve D_f) için belirlenen parametre seviyelerine ait ortalama S/N oranları Tablo 6.13'de verilmiştir.

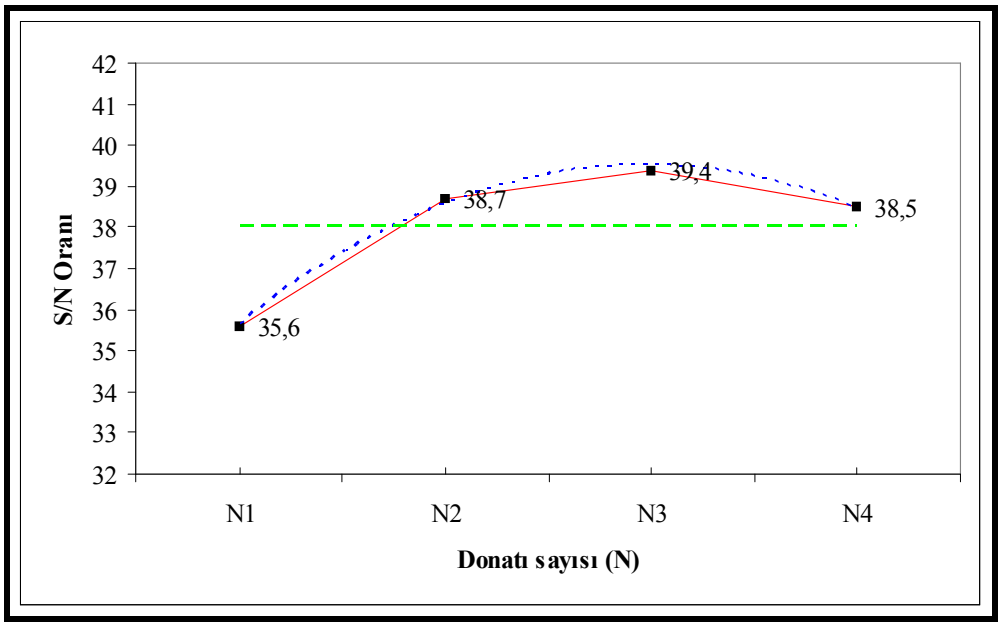
Tablo 6.13 Parametre seviyelerinin ortalama S/N oranları (oturma için)

	S/N ORANLARI			
Parametre	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_f)	29.6	39.7	40.2	42.6
Ortalama S/N	38.0			

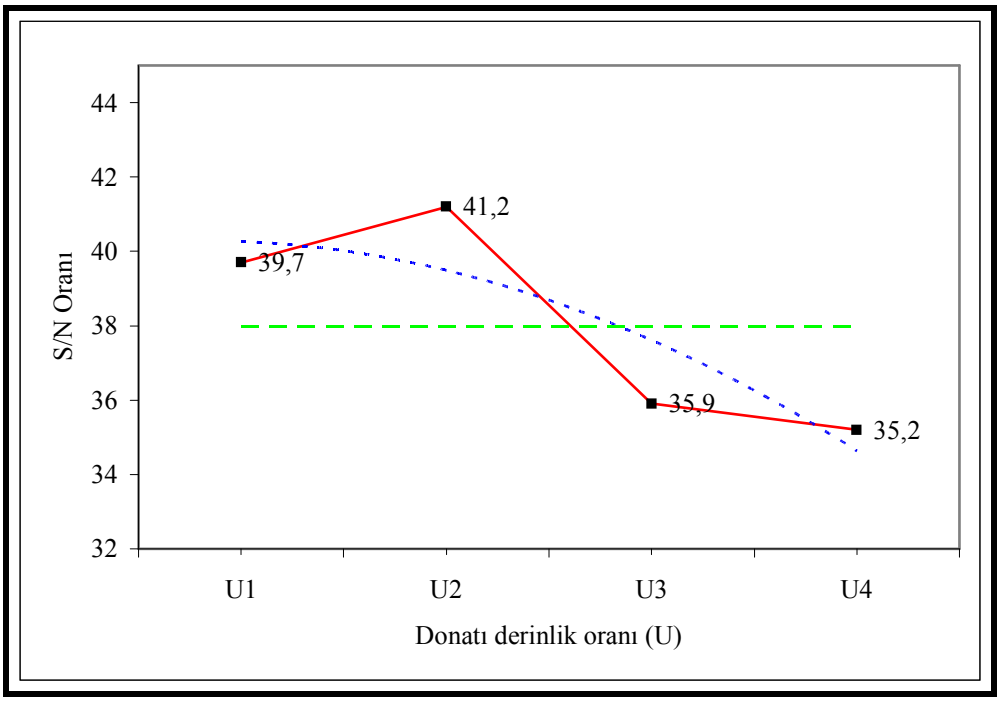
Tablo 6.13 deki parametre seviyelerine ait ortalama S/N değerleri kullanılarak çizilen etki grafikleri Şekil 6.29- 6.33'de verilmiştir.



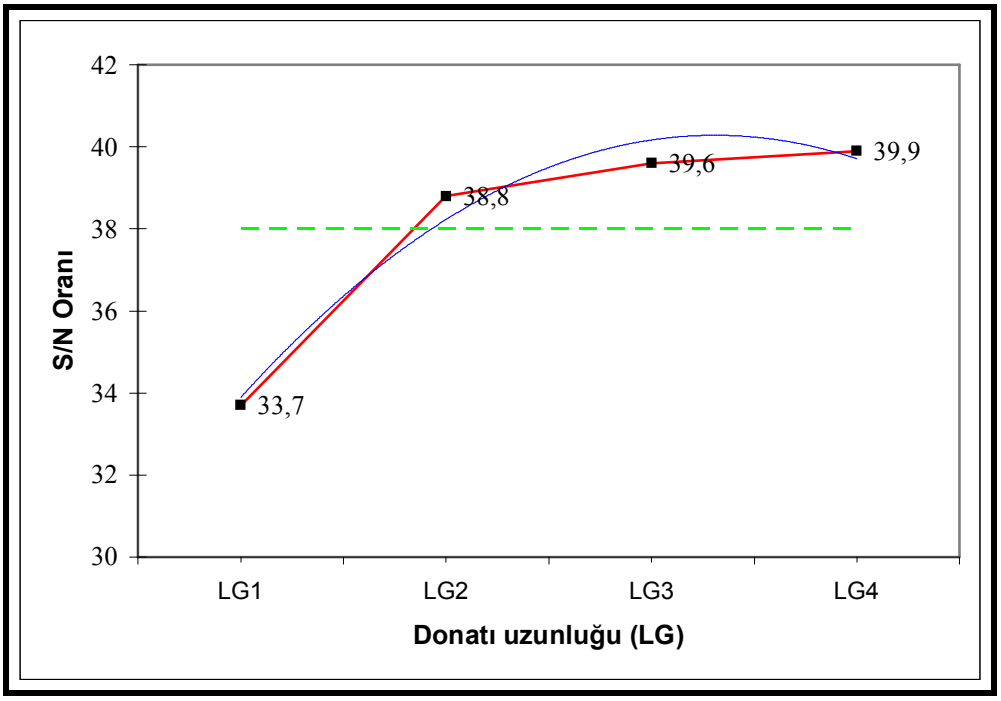
Şekil 6-29 Temel genişliği ile S/N oranları arasındaki değişim



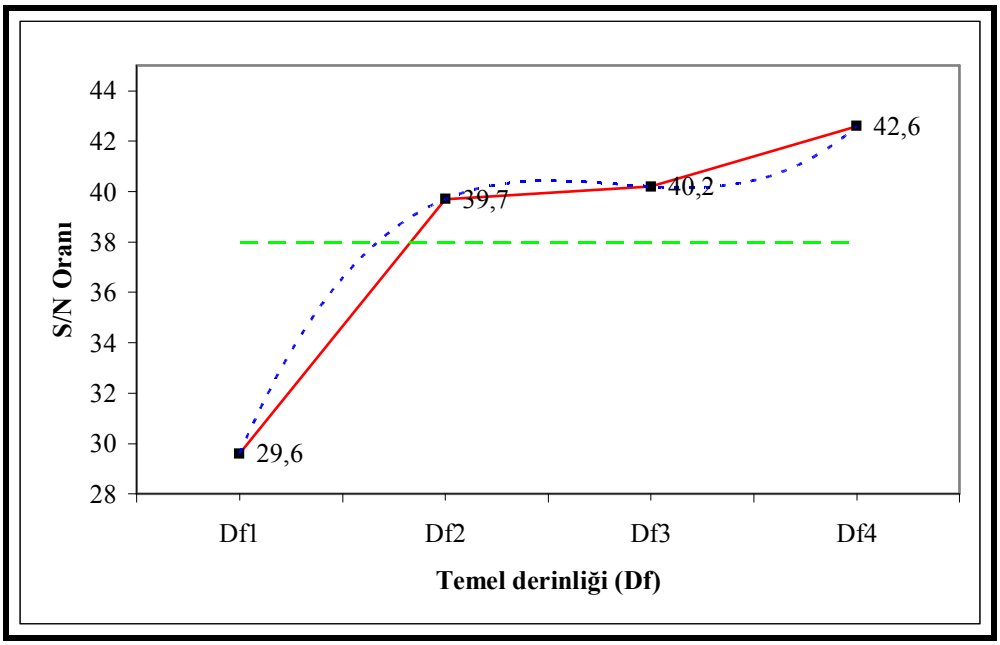
Şekil 6-30 Donatı sayısı ile S/N oranları arasındaki değişim



Şekil 6-31 Donatı derinlik oranı ile S/N oranları arasındaki değişim



Şekil 6-32 Donatı uzunluğu ile S/N oranları arasındaki değişim



Şekil 6-33 Temel derinliği ile S/N oranları arasındaki değişim

Geogrid donatılı donatılı zemin üzeirndeki sürekli temelde temel genişliği arttıkça sınır taşıma gücüne ulaşıldığı andaki oturma değeri doğrusal olarak artmaktadır (Şekil 6.29).

Donatı sayısı ile S/N oranı arasındaki değişim grafiği (Şekil 6.30) incelendiğinde genelde donatı sayısı N=3 değerine kadar oturmanın arttığı görülmektedir.

Donatı derinlik oranının 2. seviyesine (u=0.5B) oturma miktarı artmakta, bu seviyen sonra ise azalmaktadır (Şekil 6.31).

Donatı uzunluğu L_G=10B değerine kadar (4. seviye) oturma yavaş bir şekilde artmakta özellikle 2. seviyeden sonra artış hızı azalmaktadır (Şekil 6.32).

D_f=0.5B değerine kadar temel derinliği arttıkça oturma değeridee hızlı bir şekilde artmakta, bu değerden sonra ise D_f=1.5B değerine kadar çok az artış gözlenmektedir (Şekil 6.33).

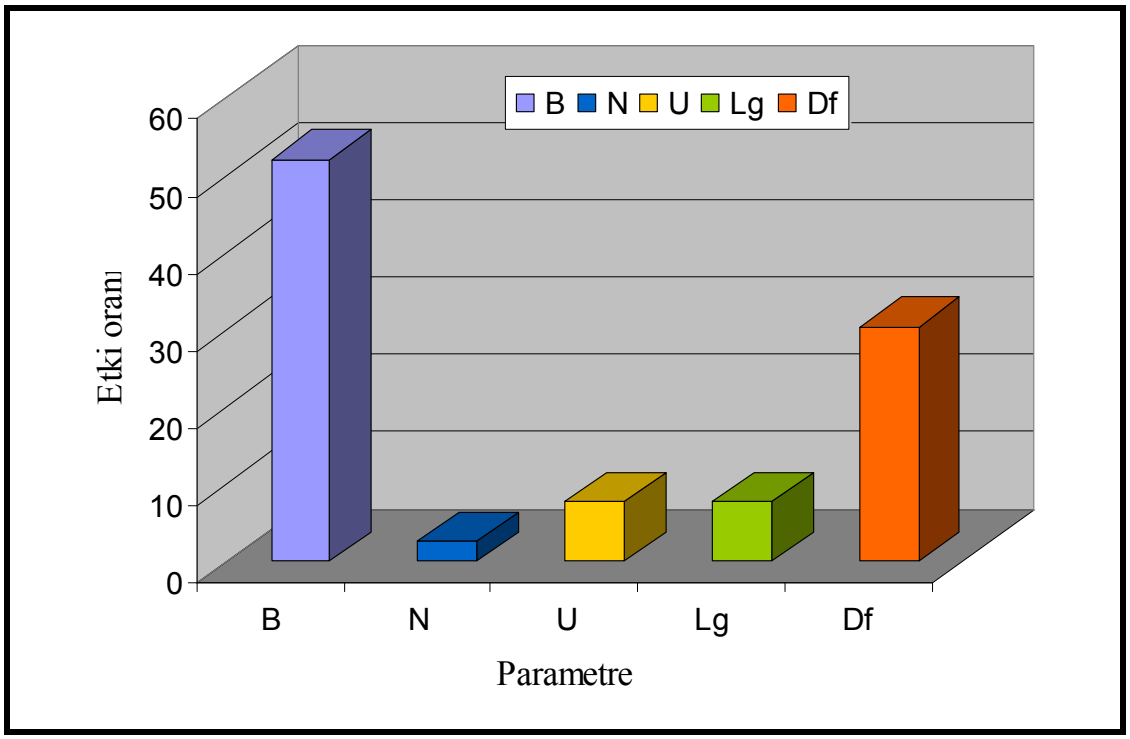
6.2.2.2. Varyans analizleri

Sınır taşıma gücüne ulaşıldığı andaki oturma miktarı üzerinde beş parametrenin (B, N, u, Lg ve D_f) etki derecelerini belirlemek amacıyla çok değişkenli varyans analizleri (ANOVA) yapılmış ve sonuçları Tablo 6.14 te verilmiştir.

Tablo 6.14 Varyans analizi (ANOVA) sonuçları

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

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. Parametrelerin etki dereceleri grafik olarak Şekil 6.34'de gösterilmiştir.

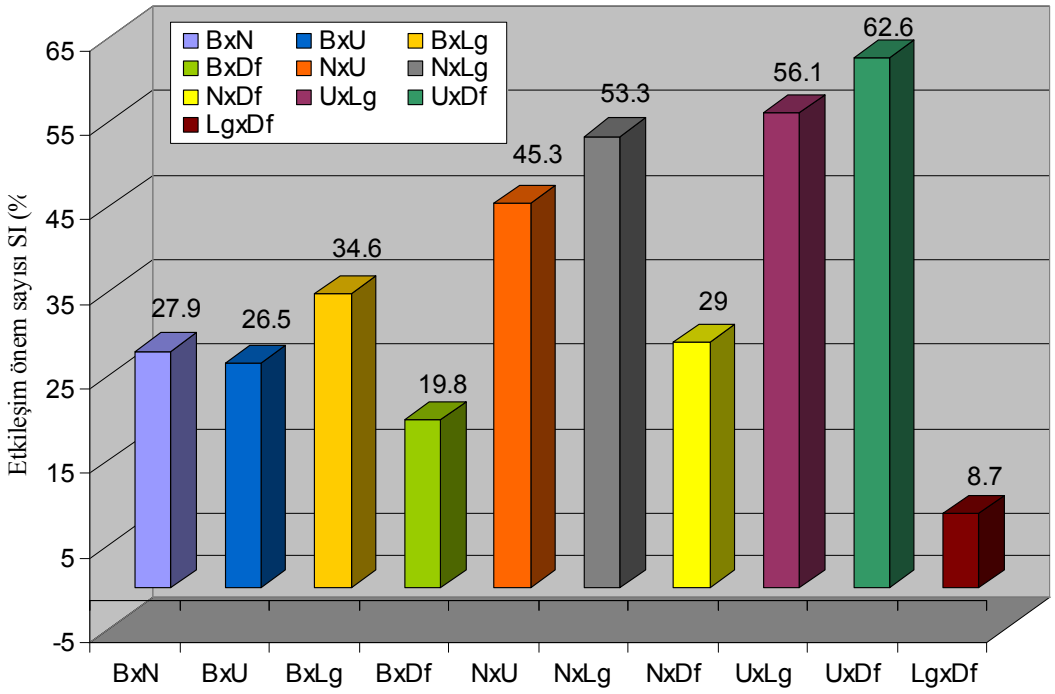


Şekil 6-34 Oturma için parametrelerin etki oranları

Sınır taşıma gücüne ulaşmak için gerekli olan oturma miktarında parametreler arasında iç etkileşim olup olmadığını belirlemek için sınır taşıma gücü için yapılana benzer olarak etkileşim analizleri yapılmış ve etkileşim önem sayıları (SI) belirlenmiştir. Hesaplanan SI katsayıları Tablo 6.15'de, bu sayılar kullanılarak çizilen iç etkileşim dağılımı ise Şekil 6.35 da verilmiştir.

Tablo 6.15 Etkileşim Önem Sayıları

Parametreler	Etkileşim önem sayısı % (SI)
BxN	27.9
BxU	26.5
BxL_g	34.6
BxD_f	19.8
NxU	45.3
NxL_g	53.3
NxD_f	29
UxL_g	56.1
UxD_f	62.6
L_gxD_f	8.7



Şekil 6-35 Parametreler arası iç etkileşim önem sayıları

Tablo 6.15'de verilen etkileşim katsayıları incelendiğinde en az etkileşimin donatı uzunluğu ve temel derinliği arasında (% 8.7) olduğu, en fazla etkileşimin ise donatı derinlik oranı ve temel derinliği (% 62.6) arasında olduğu görülmektedir.

1024 farklı durum içinde sınır taşıma gücüne ulaşmak için gerekli olan oturma miktarlarının maksimum ve minimum olacağı deney seviyelerini belirlemek amacıyla S/N oranları kullanılarak optimizasyon yapılmıştır. Belirlenen optimum deney koşulları ve performans değerleri Maksimum oturma için Tablo 6.16'da, minimum oturma için ise Tablo 6.17'de verilmiştir.

Tablo 6.16 Maksimum oturma için optimum koşullar ve performans değerleri

Parametre	Maksimum oturma için Parametre Seviyesi	Maksimum oturma için Parametre Değeri	Parametre Etki Oranı	Etki Yüzdesi %
Temel genişliği (B)	4	10cm	8.6	51.9
Donatı sayısı (N)	3	3	1.3	2.5
Donatı derinlik oranı (u)	2	0.5B	3.2	7.7
Donatı uzunluğu (L_G)	4	10B	1.9	7.6
Temel derinliği (D_f)	4	1.5B	4.6	30.3
Maksimum taban basıncı için parametrelerin toplam etkisi			19.6	100
Bu seviyelerde beklenen maksimum S/N değeri Bu seviyelerde beklenen maksimum oturma (mm) Doğrulama deneyi ile bulunan maksimum oturma (mm)				57.62 76 86.81

Tablo 6.17 Minimum oturma için Optimum koşullar ve performans değerleri

Parametre	Minimum $q_{sınır}$ için Parametre Seviyesi	Minimum $q_{sınır}$ için Parametre Değeri	Parametre Etki Oranı	Etki Yüzdesi %
Temel genişliği (B)	1	4 cm	9.0	33.3
Donatı sayısı (N)	1	1	2.4	8.9
Donatı derinlik oranı (u)	4	0.25B	2.8	10.4
Donatı uzunluğu (L_G)	1	4B	4.3	15.9
Temel derinliği (D_f)	1	0	8.5	31.5
Minimum taban basıncı için parametrelerin toplam etkisi			27.0	100
Bu seviyelerde beklenen minimum S/N değeri Bu seviyelerde beklenen minimum oturma (mm) Doğrulama deneyi ile bulunan minimum oturma (mm)				-11.1 0.35

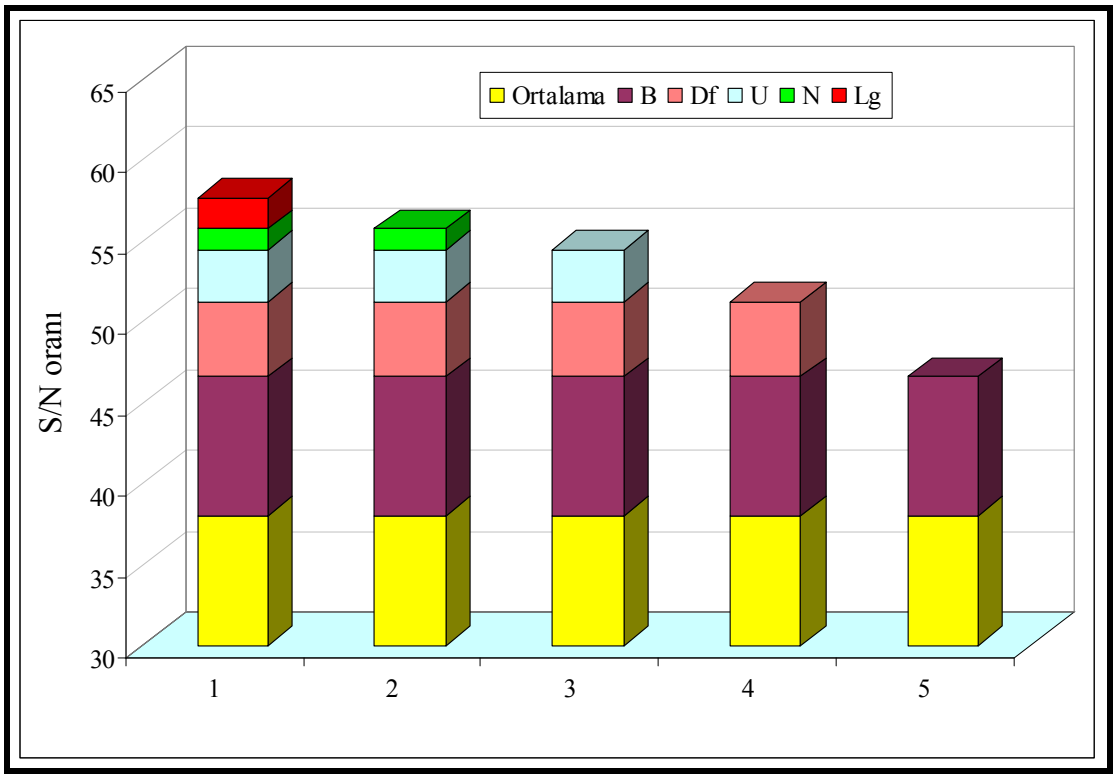
Yapılan optimizasyon sonucunda oturmanın en fazla olacağı deney koşulları B=10cm, donatı sayısı N=3, donatı derinlik oranı u=0.50B, donatı uzunluğu L_g=10B ve temel derinliği D_f= 1.5B olarak belirlenmiştir. Bu seviyelerde yapılacak deneylerde maksimum oturma ΔH_{max}=76±0.10*76 (mm)olması beklenmektedir.

Oturmanın minimum olması için yapılan optimizasyon sonucunda ise temel genişliği B=4cm, donatı sayısı N=1, donatı derinlik oranı u=1B, donatı uzunluğu L_g=4B ve temel derinliği D_f=0 olarak belirlenmiş olup bu oranlarda yapılacak deneylerde oturmanın ΔH_{min}=0.35±0.10*0.35 (mm)olması beklenmektedir.

Parametrelerin maksimum oturma performansı üzerindeki etkilerini gösteren grafik Şekil 6.20 de verilmiştir. Her parametrenin maksimum S/N oranı, ortalama S/N değerinden çıkarılarak maksimum performans üzerindeki etkiler belirlenmiştir (Tablo 6.18).

Tablo 6.18 Parametrelerin maksimum performans üzerindeki etkileri

	Δ(S/N) Değerleri				
Ortalama S/N	B	D_f	U	N	L_g
38.0	8.6	4.6	3.2	1.3	1.9



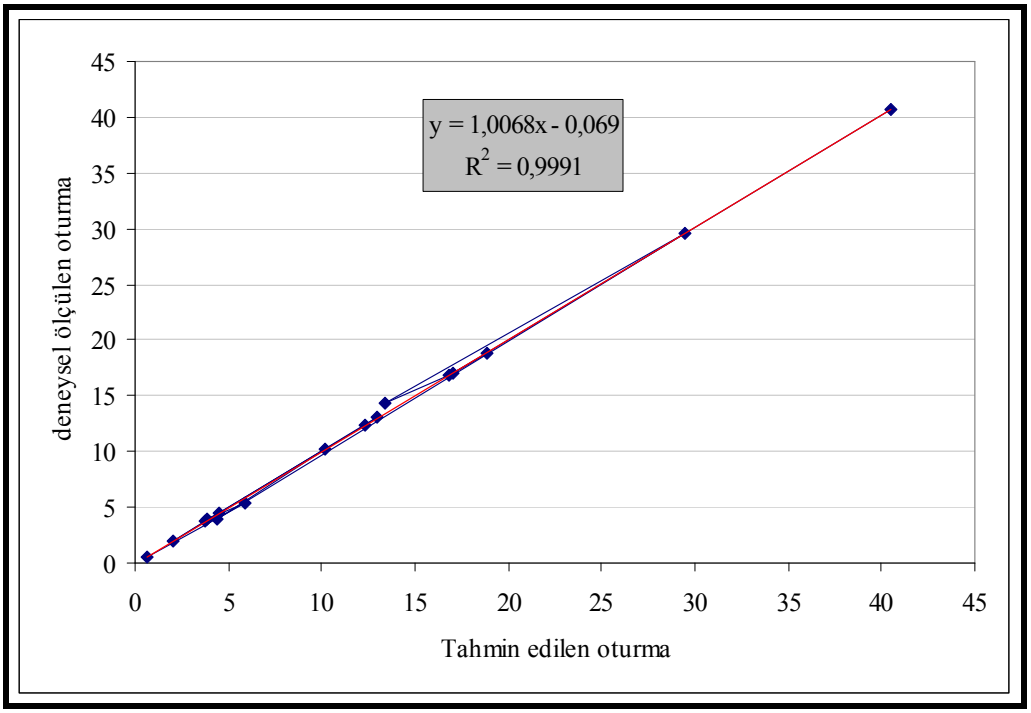
Şekil 6-36 Parametrelerin maksimum performans üzerindeki etkileri

Tablo 6.18 ve Şekil 6.36'dan görüldüğü gibi sınır taşıma gücüne ulaşıldığı andaki oturma değerini ortalama değerden maksimum değere çıkarmak için en fazla etkili parametre temel genişliğidir. Donatıya ait parametrelerin (u, N ve Lg) etki toplamı 6.4, temele ait parametrelerin (B ve D_f) etki toplamı ise 13.2 dir.

Taguchi Yöntemi ile yapılan deneylerin veya yapılmayan diğer kombinasyonların (1024 farklı kombinasyonun tamamı için) deney sonuçları tahmin edilebilmektedir. Taguchi Yöntemi ile yapılan tahminlerin doğruluğunu belirlemek amacıyla yapılan 16 deneye ait oturma değerleri tahmin edilerek hata oranları belirlenmiş ve sonuçlar Tablo 6.19'da deneysel ve tahmin edilen oturma miktarları grafiği ise Şekil 6.37 de verilmiştir.

Tablo 6.19 Tahmin edilen oturma değerleri

Deney No	B (cm)	N	U (cm)	L_G (cm)	D_f (cm)	Deneysel ortalama Oturma (mm)	Tahmin edilen oturma (mm)	Hata oranı (%))
1	4	1	1	16	0	0.60	0.60	0.00
2	4	2	2	24	2	5.90	5.30	10.17
3	4	3	3	32	4	3.90	4.00	-2.56
4	4	4	4	40	6	4.50	4.5	0.00
5	6	1	3	48	9	13.00	13.00	0.00
6	6	2	1.5	60	6	12.30	12.31	-0.08
7	6	3	6	24	3	3.70	3.71	-0.27
8	6	4	4.5	36	0	2.00	2.00	0.00
9	8	1	6	80	4	10.20	10.15	0.49
10	8	2	8	64	0	4.40	4.00	9.09
11	8	3	2	48	12	29.50	29.51	-0.03
12	8	4	4	32	8	13.40	14.42	-7.61
13	10	1	10	60	10	16.80	16.81	-0.06
14	10	2	7.5	40	15	18.90	18.86	0.21
15	10	3	5	100	0	17.0	17.0	0.00
16	10	4	2.5	80	5	40.5	40.66	-0.40



Şekil 6-37 Tahmin edilen ve deneysel oturmaların dağılımı

Şekil 6.37'de görüldüğü gibi Taguchi yöntemi ile yapılan oturma tahminleri deneylerde ölçülen oturma değerlerine oldukça yakındır. Bu durum Taguchi yöntemi ile yapılan optimizasyonun oldukça güçlü olduğunu, bu yöntemin bu tür problemler için uygulanabileceğini bir kez daha göstermektedir.

6.2.3. Deney Sonuçların Dijital Fotogrametri Yöntemi İle Değerlendirilmesi

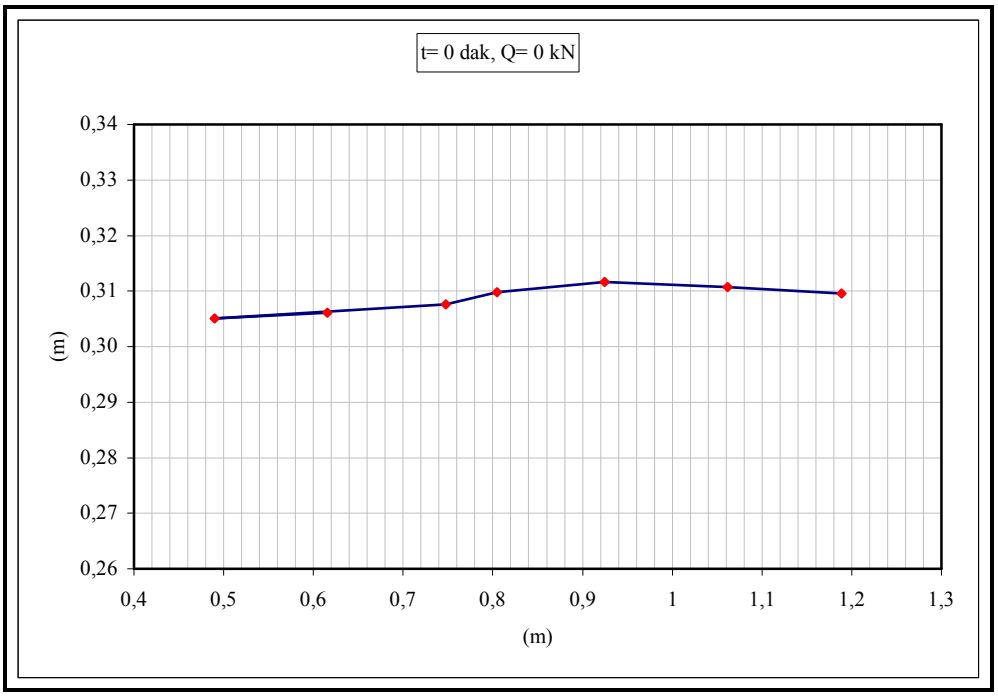
Model temellerle yükleme deneylerinde sınır taşıma gücüne ulaşıldığı anda kırılma yüzeyleri çıplak gözle görülememekte, kırılma yüzeylerini görmek için deneye bir süre daha devam ederek temel oturmasının artması gerekmektedir. Bu durumda çıplak gözle belirlenen kırılma yüzeyleri gerçekte kırılma anına karşılık gelen yüzeyler olmadığından ölçülen kırılma geometrisi de gerçek durumu yansıtmamaktadır. Dijital veya stereo fotogrametri tekniği ile kırılma yüzeyleri çıplak gözle izlemeye göre daha doğru bir şekilde belirlenebilmektedir.

Bölüm 5.4.9'da anlatıldığı şekilde deneyler esnasında çekilen fotoğraflar dijital fotograetri tekniği ile değerlendirilerek kayma yüzeylerinin koordinatları sayılaştırılmıştır. Bu şekilde temel zemininde kırılma gerçekleşene kadar kayma yüzeylerinin gelişimi izlenmiştir. İki farklı açıdan çekilen fotoğraflardan 3B görüntü elde etmek ve tank içerisindeki kum tanelerinin hareketini sayısallaştırmak için tankın ön yüzeyinde önceden işaretlenmiş 12 sabit nokta referans noktaları olarak kullanılmıştır. Deneyler esnasında kum tanelerin hareketini modellemek için tank içerisine kum istenilen sıkılıkta yerleştirilirken belirli aralıklarla 1-3 sıra beyaz renkli kum taneleri 2-3 mm kalınlığında tabaka olacak şekilde serpilmiştir. Bu şekilde deney başlangıcında yatay ve birbirine paralel olan doğrulara (referans doğruları) ait koordinatların deney esnasındaki değişimi izlenmiştir.

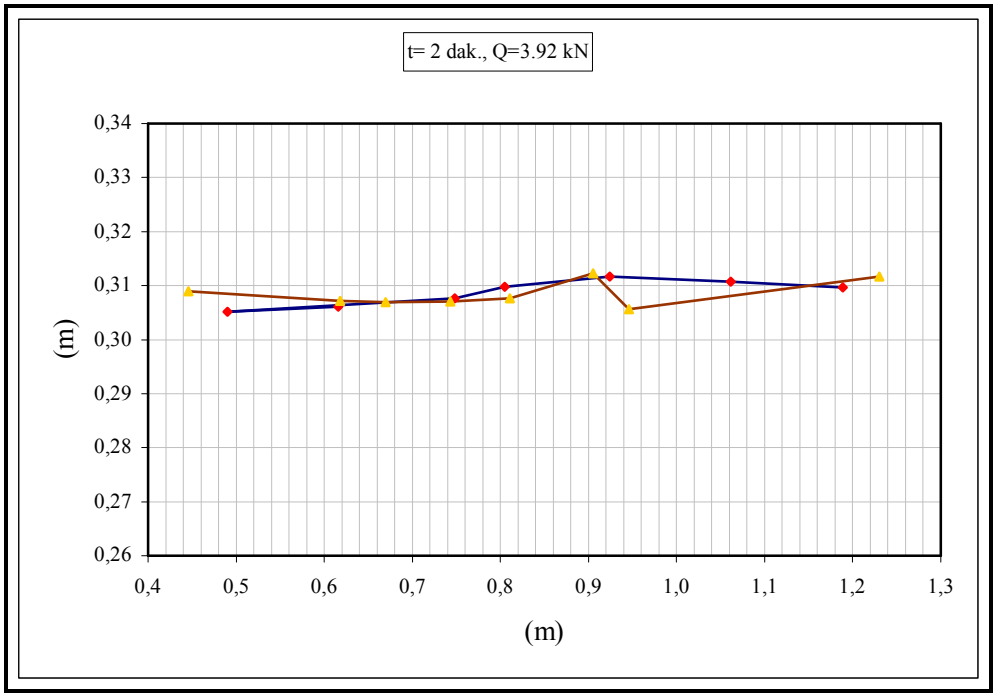
Donatısız ve donatılı deneyler için yapılan dijital fotogrametri tekniğine ait sonuçlar EK 1'de toplu olarak verilmiştir. Aşağıda temel genişliği B=8 cm olan donatısız ve donatılı temeller için yapılan değerlendirme sonuçları örnek olarak verilmiştir.

Temel genişliği B=8 cm ve temel derinliği D_f=0 olan donatısız deneyde deney başlangıcından itibaren t=0, t=2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 ve 12 dakikalarda çekilen resimler değerlendirilerek referans doğrusunun (beyaz renkli ince kum tabakasının) koordinatları belirlenmiştir. Deney başlangıcında yatay olan doğruya ait koordinatların zamana (yük artışına) bağlı değişim grafikleri Şekil 6.38'de verilmiştir.

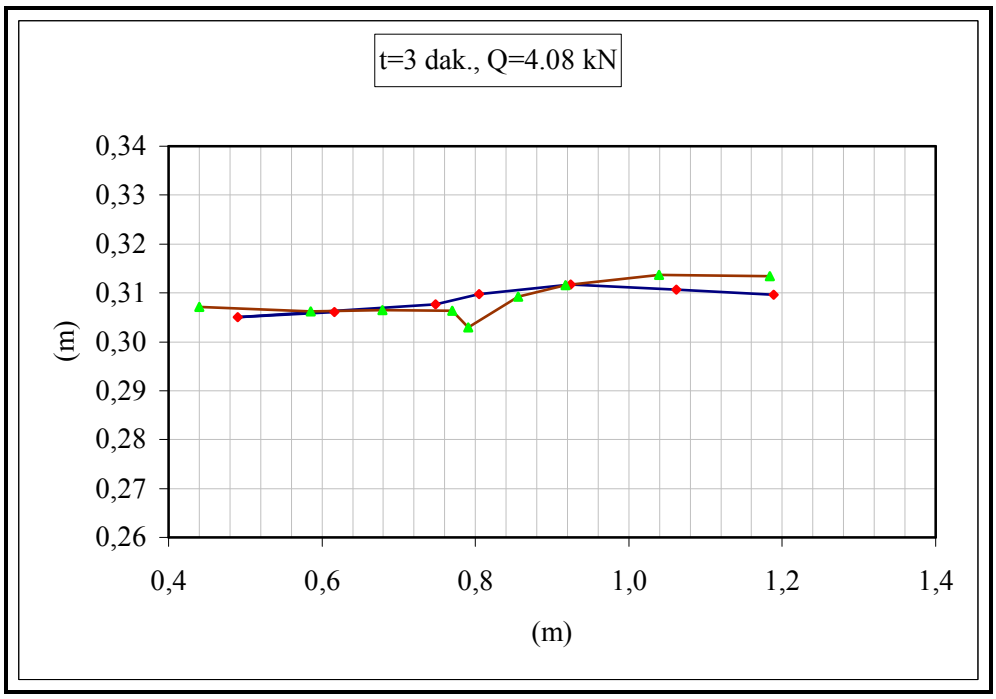
Verilen grafiklerden kum tanelerindeki hareketler belirgin bir şekilde görülmektedir. Referans doğrusunun altındaki noktalar kum tanesinin aşağıya doğru hareketini, üstündeki noktalar ise yukarıya doğru hareketini göstermektedir. Deney başlangıcından 5 dakika sonra sınır taşıma gücüne ulaşılmıştır. Deney esnasında kırılma yüzeyleri çıplak gözle t=8 dakika sonra görülmüştür. 5. ve 8. dakikalar için çizilen grafikler karşılaştırıldığında çıplak gözle izlenen kayma yüzeylerinin kayma yenilmesi durumuna karşılık gelmediği, iki durum arasında kum tanesinin yaklaşık 3cm daha fazla oturma yaptığı görülmektedir (Şekil 6.38).



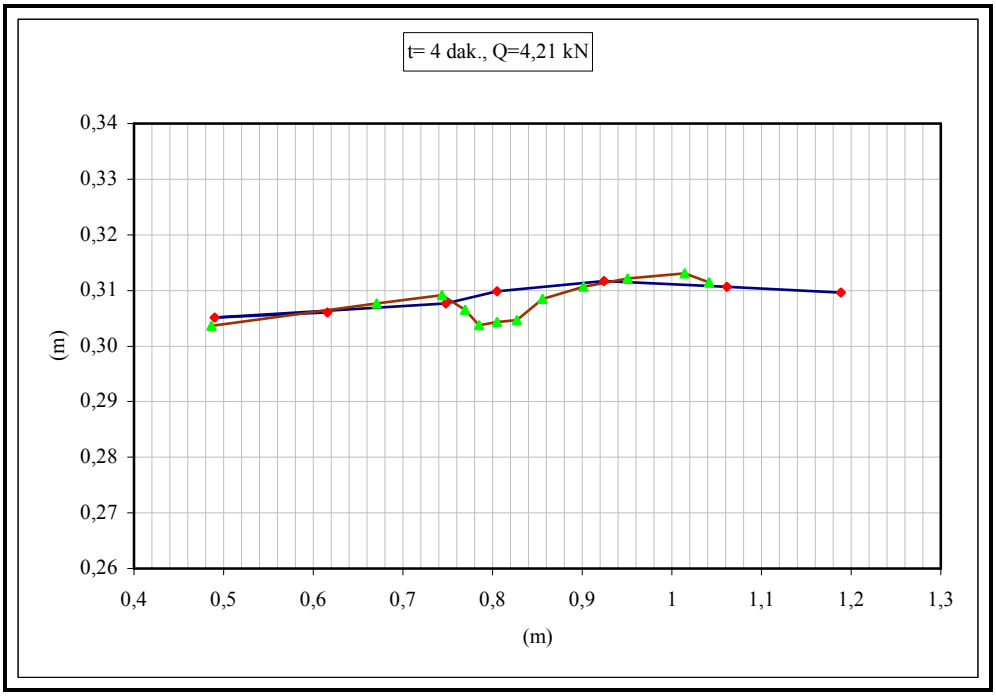
a.


t= 2 dak., Q=3.92 kN
0,34
0,33
0,32
0,31
0,30
0,29
0,28
0,27
0,26
(m)
0,4
0,5
0,6
0,7
0,8
0,9
1,0
1,1
1,2
1,3
(m)

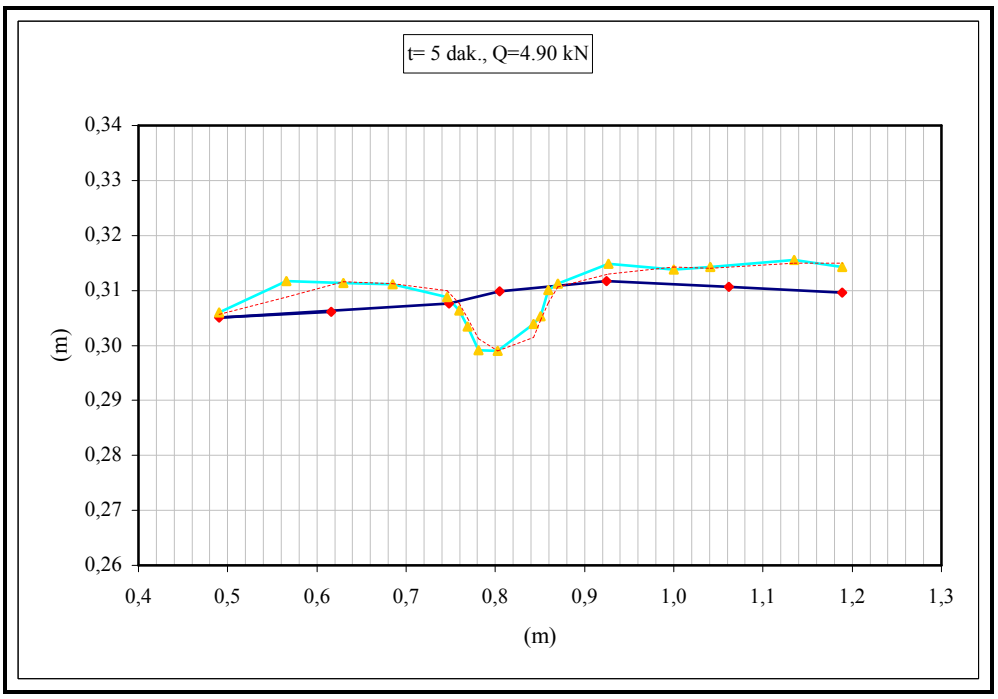
b.


t=3 dak., Q=4.08 kN
0,34
0,33
0,32
0,31
0,30
0,29
0,28
0,27
0,26
(m)
0,4
0,6
0,8
1,0
1,2
1,4
(m)

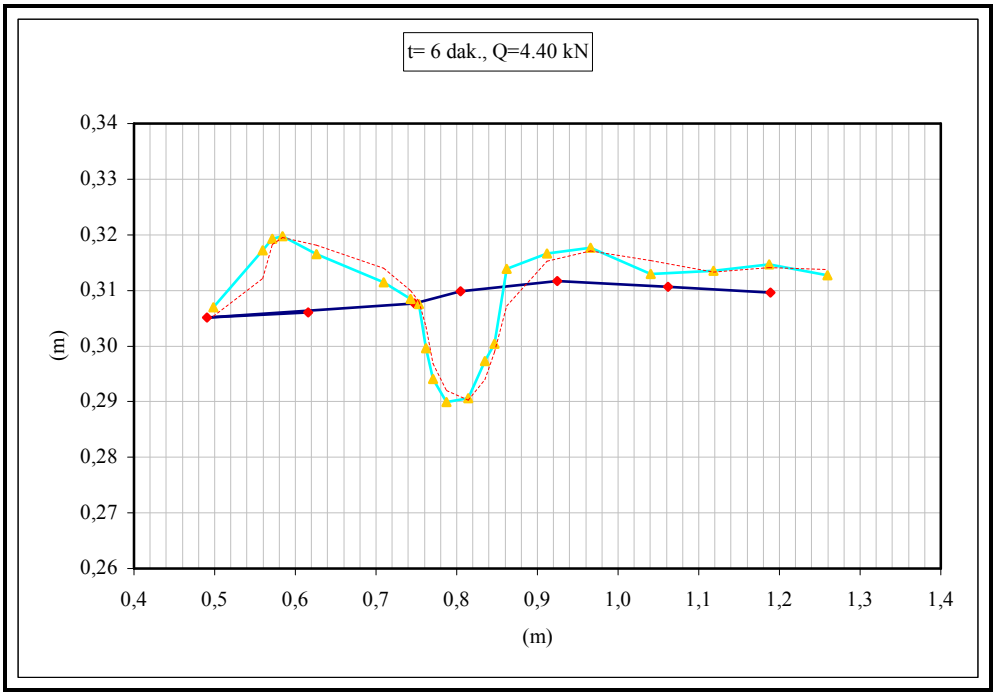
c.


t= 4 dak., Q=4,21 kN
0,34
0,33
0,32
0,31
0,30
0,29
0,28
0,27
0,26
(m)
0,4
0,5
0,6
0,7
0,8
0,9
1
1,1
1,2
1,3
(m)

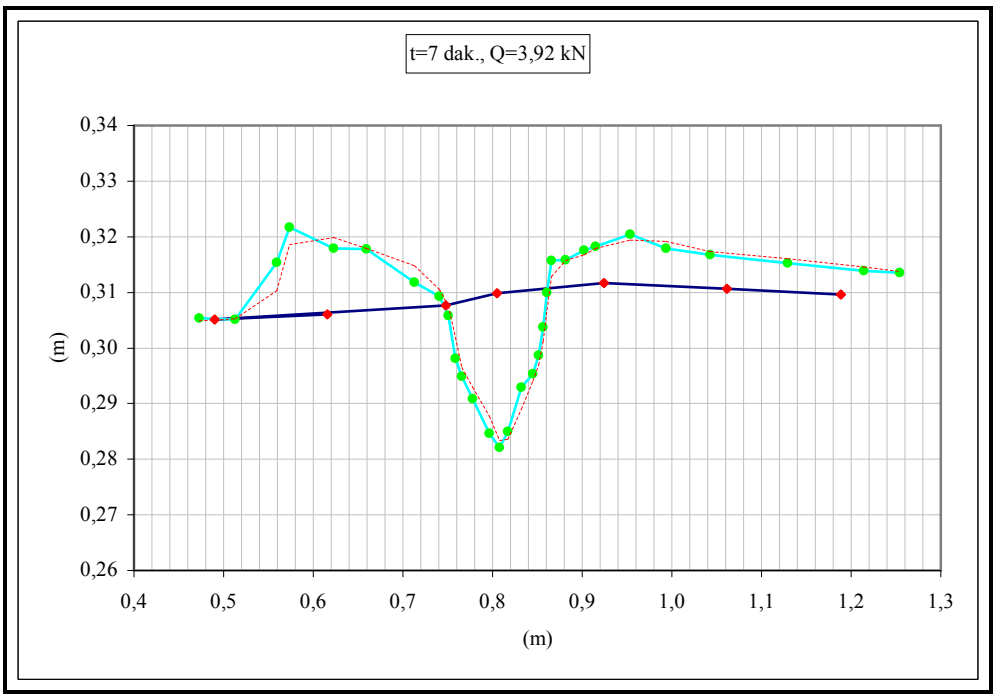
d.


t= 5 dak., Q=4.90 kN
0,34
0,33
0,32
0,31
0,30
0,29
0,28
0,27
0,26
(m)
0,4
0,5
0,6
0,7
0,8
0,9
1,0
1,1
1,2
1,3
(m)

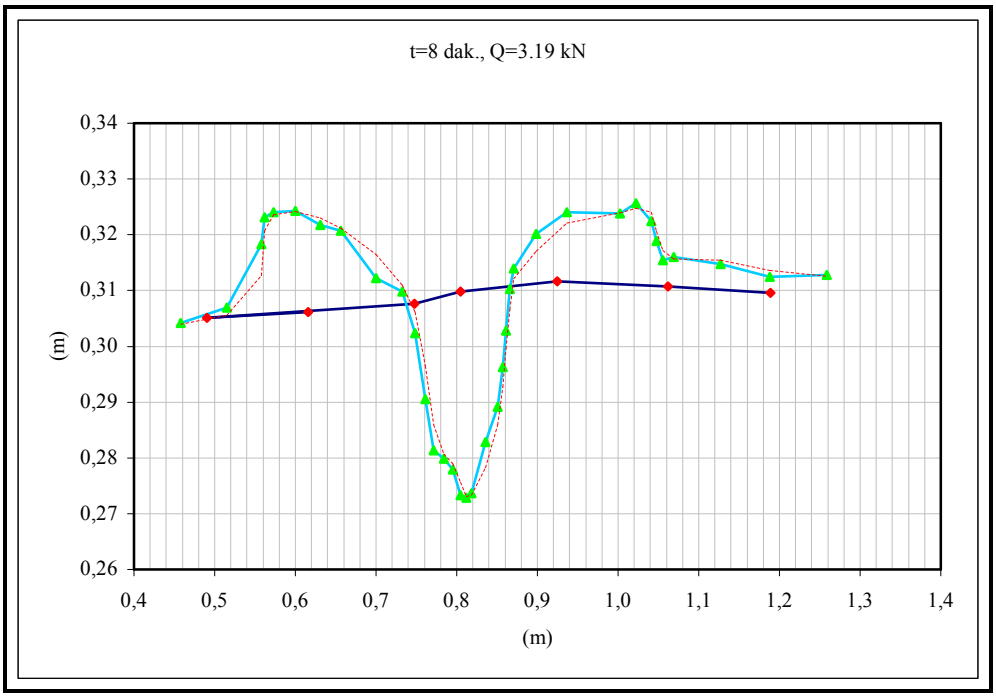
e.


t= 6 dak., Q=4.40 kN
0,34
0,33
0,32
0,31
0,30
0,29
0,28
0,27
0,26
(m)
0,4
0,5
0,6
0,7
0,8
0,9
1,0
1,1
1,2
1,3
1,4
(m)

f.


t=7 dak., Q=3,92 kN
0,34
0,33
0,32
0,31
0,30
0,29
0,28
0,27
0,26
(m)
0,4
0,5
0,6
0,7
0,8
0,9
1,0
1,1
1,2
1,3
(m)

g.



h.

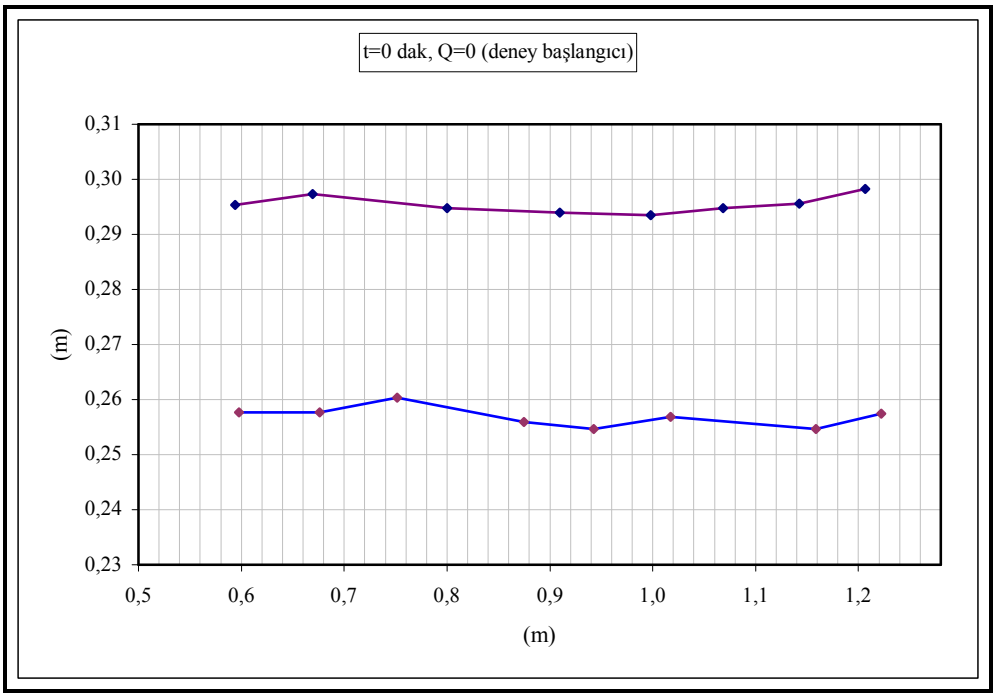


i.

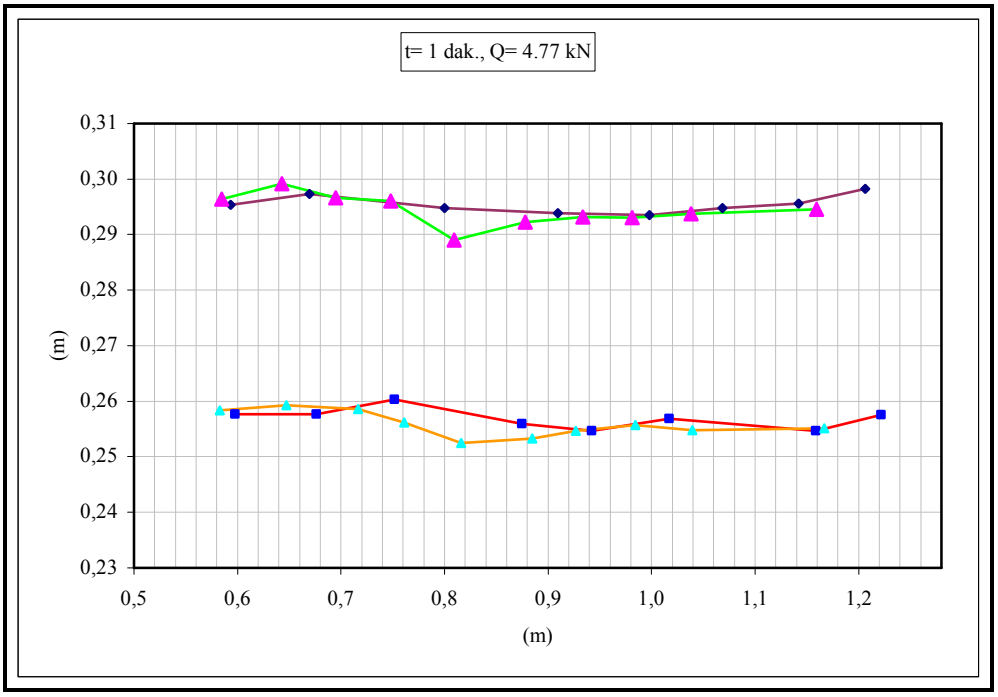
Şekil 6-38 (B= 8 cm, D_f=0 cm) donatısız zeminde dijital fotogrametri tekniği ile belirlenmiş kum hareketleri

Temel genişliği B=8 cm, donatı sayısı N=1, temel derinliği D_f= 4 cm, donatı uzunluğu L_G=80cm ve tmel tabanı ile donatı arasındaki düşey uzaklık u= 6 cm olan donatılı deneye (9 nolu deney) ait grafikler Şekil 6.39'da verilmiştir. Sınır taşıma gücüne ulaşıldığı durum (t=6 dak.,) ile kayma yüzeyinin belirgin olarak görüldüğü durum (t=10 dak.,) arasında yaklaşık 2 cm oturma farkı bulunmaktadır. Yine bu grafiklerden donatılı zeminlerde sınır taşıma gücüne ulaşmak için donatısız zemine göre daha fazla oturma olduğu görülmektedir (Şekil 6.39).

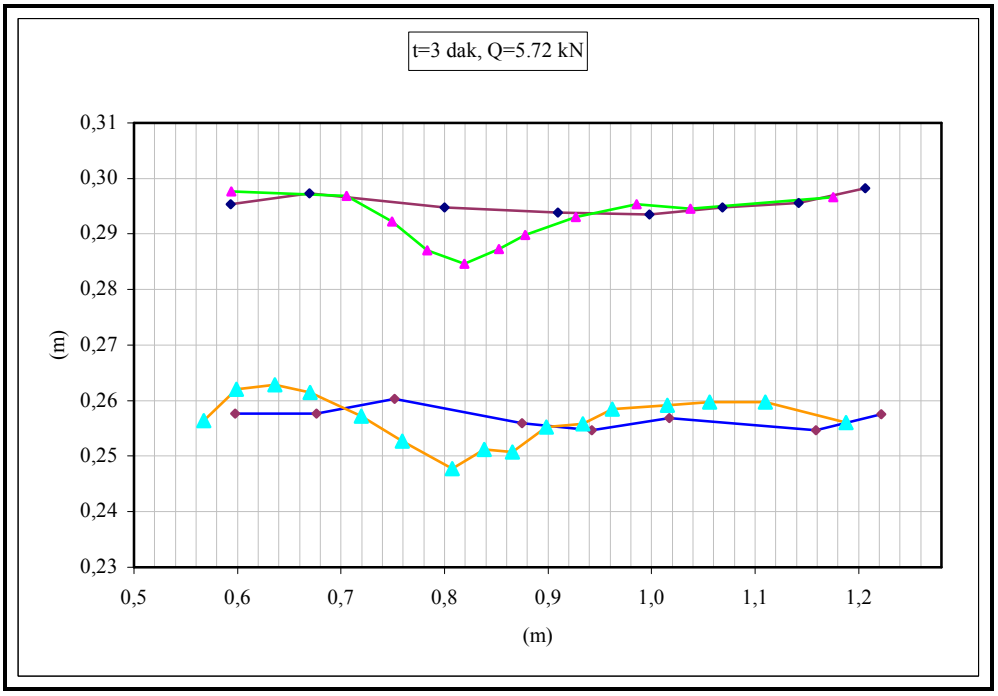
Dijital fotogrametri tekniği, kayma bölgesi içerisinde daha fazla noktaya ait koordinatlar izlenerek daha kapsamlı çalışmalarla geliştirilebilir. Bu şekilde kayma yüzeylerinin ilk oluştuğu andaki oturma ile sınır taşıma gücü arasındaki ilişkiler modellenebilir, ayrıca kayma bölgesindeki üçgen kamanın dengesini dikkate alan taşıma gücü teorilerinin gerçek kayma yüzeyleri dikkate alınarak geliştirilmesi de araştırılabilir.



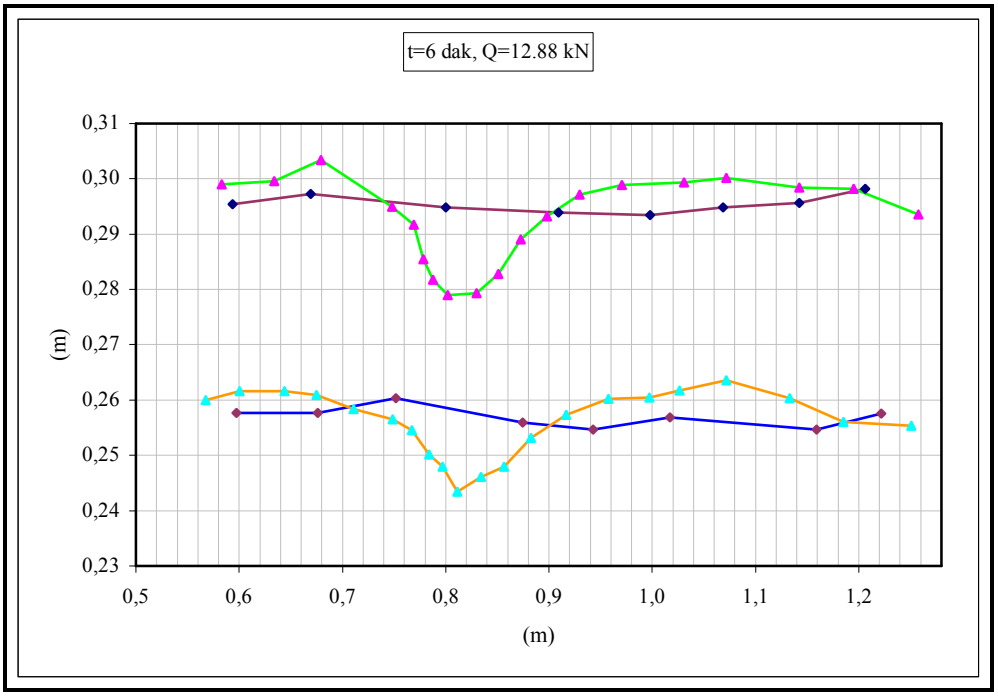
a.


t= 1 dak., Q= 4.77 kN
0,31
0,30
0,29
0,28
0,27
0,26
0,25
0,24
0,23
(m)
0,5
0,6
0,7
0,8
0,9
1,0
1,1
1,2
(m)

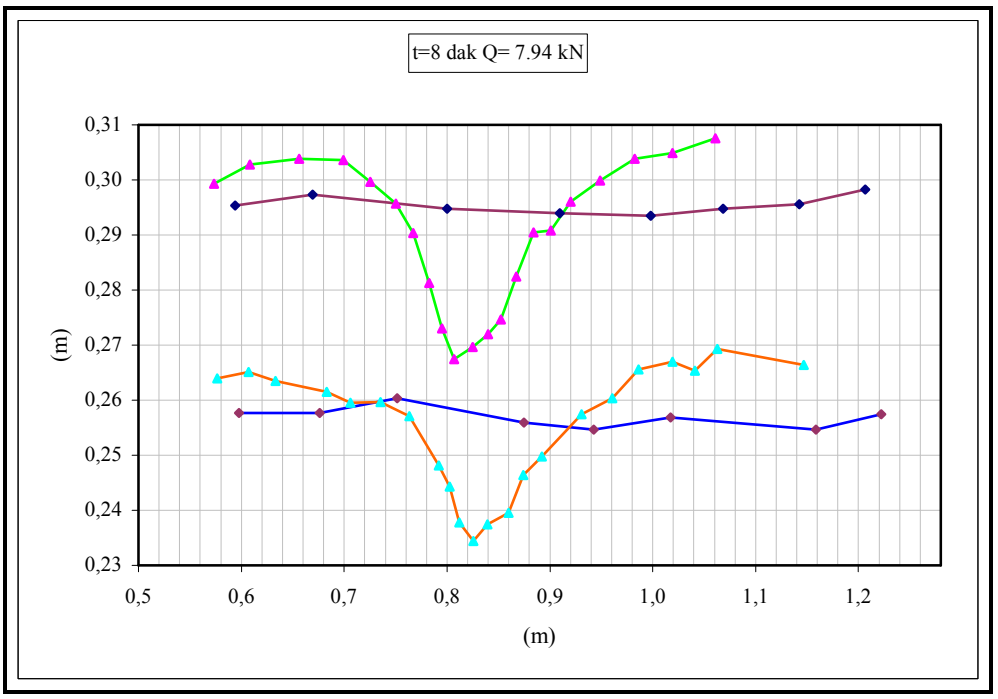
b.


t=3 dak, Q=5.72 kN
0,31
0,30
0,29
0,28
0,27
0,26
0,25
0,24
0,23
(m)
0,5
0,6
0,7
0,8
0,9
1,0
1,1
1,2
(m)

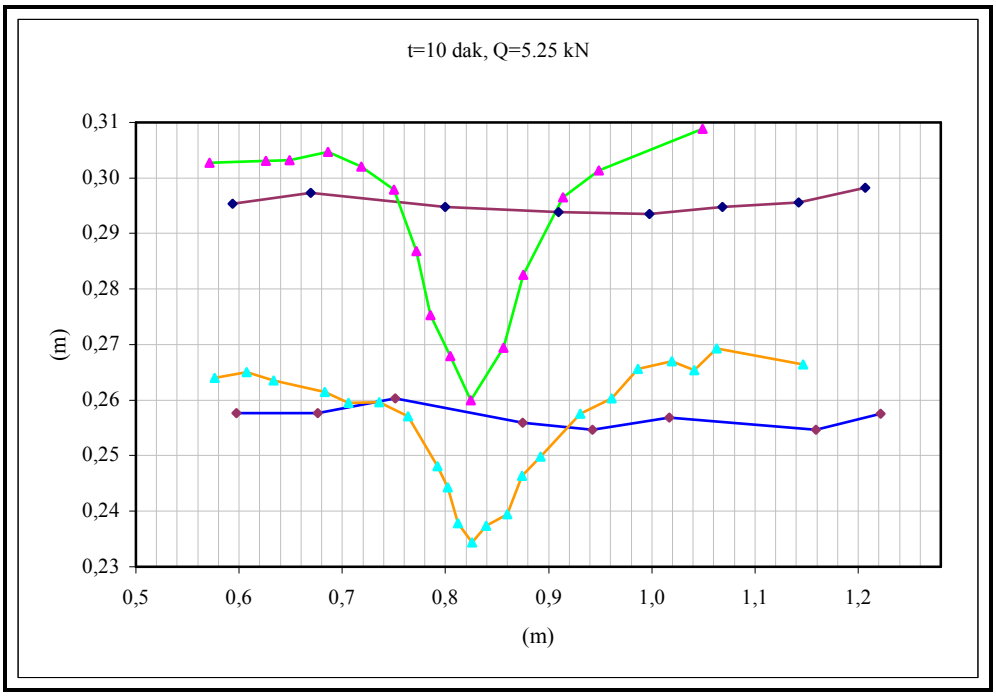
c.


t=6 dak, Q=12.88 kN
0,31
0,30
0,29
0,28
0,27
0,26
0,25
0,24
0,23
(m)
0,5
0,6
0,7
0,8
0,9
1,0
1,1
1,2
(m)

d.


t=8 dak Q= 7.94 kN
0,31
0,30
0,29
0,28
0,27
0,26
0,25
0,24
0,23
(m)
0,5
0,6
0,7
0,8
0,9
1,0
1,1
1,2
(m)

e.



f.

Şekil 6-39 (B=8 cm N=1 u= 6cm L_G=80 cm, D_f= 4 cm) donatılı zeminde dijital fotogrametri tekniği ile belirlenmiş kum hareketleri

7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Doktora tez çalışmasında kuma oturan geogrid donatılı sürekli temellerin sınır taşıma gücünü ve sınır taşıma gücüne ulaşıldığı andaki oturma miktarlarını etkileyen faktörler deneysel olarak araştırılmıştır. Deneyler Taguchi yöntemine göre 5 parametreli, 4 seviyeli standart L_{16} ortogonal dizin tablosu seçilerek yapılmıştır. Seçilen parametreler; temel genişliği (B), donatı sayısı (N), donatı derinlik oranı (u), donatı uzunluğu (L_G) ve temel derinliği (D_f) dir. Deneyler esnasında, dijital fotogrametri tekniği ile değerlendirme yapabilmek için belirli zaman aralıklarında resimler çekilmiştir.

Deneysel ve istatistiksel çalışmaların değerlendirilmesine ait başlıca sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Sınır taşıma gücü üzerinde en etkili parametre %39'luk oran ile temel genişliği olup temel genişliği arttıkça sınır taşıma gücü de yaklaşık doğrusal olarak artmaktadır. Bu durum Terzaghi Meyerhof vd. taşıma gücü teorileri ile ve donatısız-donatılı zeminlerde yapılmış önceki çalışmalarla uyum içerisindedir.
- Sınır taşıma gücü üzerinde ikinci derecede etkili parametre %26.7 lik oran ile temel derinliği olup temel derinliği arttıkça sınır taşıma gücüde artmaktadır. Özellikle D_f=0 değerinden Df=0.5B değerine kadar sınır taşıma gücü hızlı bir şekilde artmakta, Df=0.5B ile Df=1.5B arasında ise artış doğrusal olmakla birlikte artış oranı düşmektedir.
- Donatı derinlik oranının etki derecesi % 10.7 olup U=0.5B donatı derinlik oranına (2. seviye) kadar sınır taşıma gücü artmakta, bu değerden sonra ise azalmaktadır.
- Donatı sayısının etki oranı %17.3 olup N=3 değerine kadar taşıma gücü yaklaşık doğrusal olarak artmaktadır.
- Donatı uzunluğunun etki derecesi %6.2 olup L_G=6B (2. seviye) değerine kadar taşıma gücünde hızlı bir artış gözlenmektedir.

- Sınır taşıma gücü için yapılan optimizasyon çalışmaları sonucunda; B=10cm, N=3, u=0.50B, L_G=10B ve D_f= 1.5B olması durumunda sınır taşıma gücünün maksimum olacağı belirlenmiştir. Bu seviyelerde yapılacak deneylerde sınır taşıma gücünün $q_{sınır}$=2428±0.10*2168 (kPa) olması beklenmektedir. Yapılan doğrulama deneyinde sınır taşıma gücü 2250 kPa olarak belirlenmiş olup belirlenen sınırlar içerisinde kalmaktadır.
- Ekonomiklik koşulu da dikkate alınarak, geogrid donatılı kum üzerine oturan sürekli temellerin tasarımında N=3, U=0.5B, L_G=6B ve D_f=0.5B (enaz) olarak alınması önerilmektedir.
- B=4 cm, N=1, u=0.25B, L_G=4B ve D_f= 0 olması durumunda sınır taşıma gücünün minimum olacağı belirlenmiştir. Bu seviyelerde yapılacak deneylerde sınır taşıma gücünün $q_{sınır}$=88±%10x88 (kPa) olması beklenmektedir.
- 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 sınır taşıma gücü ve oturma tahminleri (beklenen değerler), gerçek değerlere oldukça yakın olup bu durum Taguchi yönteminin güçlü bir optimizasyon tekniği olduğunu göstermektedir.
- Oturma ve sınır taşıma gücü analizlerinde parametreler arası iç etkileşimin çok önemli düzeyde olmadığı, etkileşim sayılarının genellikle % 50'den küçük olduğu görülmüştür.
- Dijital fotogrametri tekniği ile sınır taşıma gücüne ulaşıldığı duruma karşılık gelen kayma yüzeylerinin doğru bir şekilde belirlenebileceği, donatılı zeminlerde donatılı zeminlere göre daha fazla oturma olduğu, bu yöntemin taşıma gücü ve diğer geoteknik çalışma alanlarında uygulanabileceği gösterilmiştir.

- Çalışma sonuçlarının güvenilirliği Taguchi Yönteminin Geoteknik Mühendisliğinde karşılaşılan bu tür araştırmalarda uygulanabilirliğini göstermesi açısından önemlidir.
- Farklı zemin (zemin türü, sıkılık, sertlik), temel (kare, dikdörtgen, radye ve daire), donatı (geogrid, geotektil) parametreleri için daha kapsamlı deneysel çalışmalar yapılarak uygulamaya yönelik daha genel sonuçlar elde edilebilir.
- Plaxis benzeri paket programlar kullanılarak elde edilecek sonuçlar deneysel sonuçlarla karşılaştırılabilir.
- Kayma yüzeylerinin oluşumu ve yük artışı ile birlikte gelişimi, dijital fotogrametri tekniği ile kapsamlı olarak araştırılabilir.

8. 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.

Abdel-Baki, S., Raymond, G. P., Johnson, P., 1993, "Improvement of Bearing Capacity of Footings by a Single Layer of Reinforcement", Proceedings of Geosynthetics 93 Conference, Canada, pp.407-416.

Akinmusura, J. O., Akinbolade, J. A., 1981, "Stability of Loaded Footings on Reinforced Soil", ASCE Journal of Geotechnical Engineering, Division Vol. 107 No: GT6, pp. 819-827.

A1-Mosawe, M. J., Al-Dobaissi, H. H., 1992, "Reinforced Earth Response to Impact Loading", Proc. of the International Symposium on Earth Reinforcement Practice, Fukuoka-Japan, pp. 653-658.

Alawaji, H., A., 2001, "Settlement and Bearing Capacity of Geogrid-Reinforced Sand over Collapsibe Soil", Geotextiles and Geomembranes, Vol: 19 pp. 75-88.

Andrawes, K. Z., McGown, A., Al-Hasani, M. M., 1978, "Alternation of Soil Behavior by the Inclusion of Materials with Different Properties", Ground Eng., Vol: 11, No: 6, pp. 35.42.

Arslan, A., 2001, "Donatılı Zeminler Üzerine Oturan Yüzeysel Temellerin Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana. 81s.

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.

Atalar, C., Das., M. B., Patra, R. C., 2004, "Geogrid Donatılı Kumlu Zeminler Üzerinde Yer Alan Şerit Temeller", Birinci Ulusal Geosentetikler Konferansı, BÜ, İstanbul, ss. 127-136

Basset, K H., Last, N. C., 1978, "Reinforcing Earth Below Footmgs and Embankments", ASCE Symposiurn on Earth Reinforcement, Pittsburgh, pp. 202-231.

Binquet ve Lee, 1975a, "Bearing Capacity Tests on Reinforced Earth Slabs", ASCE Journal of the Geotechnical Engineering Division, Vol: 101, GT 12, pp. 1241-1255.

Binquet ve Lee, 1975b, "Bearing Capacity Analysis of Reinforced Earth Slabs", ASCE Journal of the Geotechnical Engineering Division, Vol: 101, GT 12, pp. 1257-1276

Babacan, D. Ş., 2004, "Donatılı Zemin Üzerine Oturan Ring Temellerin Analizi", Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 101s.

Bağcı, F., 2007, "Geosentetiklerle Projelendirme ve Zemin-Geosentetik Arayüzey Sürtünme Açılarının Değişik Geosentetik ve Zemin Türleri İçin Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 368s.

Basset, R. H., Last, N. C., 1978, "Reinforced Earth Below Tootings and Embankments, ASCE Symposium on Erath Reinforcement, Pittsburg, pp. 202-231.

Baş, H. G., 1993, "Analitik Fotogrametri", Devinim & Full-art Ajans, İstanbul.

Birand, A., 2001, "Kazıklı Temeller", Teknik Yayınevi, Ankara, 433s.

Birand, A., 2006, "Sığ (Yüzeysel) Temeller", Teknik Yayınevi, Ankara, 276s.

Brinch, H. J., 1961, "A General Formula for Bearing Capacity" The Danish Geotech. Institute pp. 38-46.

Cernica, J. N., 1995, "Geotechnical Engineering: Foundation Desing" John Wiley and Sons Inc, Canada, 486p.

Cernica, J. N., 1995, "Geotechnical Engineering: SoilMechanics" John Wiley and Sons Inc, Canada, 453p.

Coduta, D. P., 2005, "Temel Tasarımı İlkeler ve Uygulamalar", Çevirenler, Mollamahmutoğlu, M., ve Kayabalı, K., Gazi Kitapevi, Ankara, 816s.

Cooper, M. A. R. ve Robson, S., 1996, "Theory of Close Range Photogrammetry", Close Range Photogrammetry and Machine Vision, pp. 9-51.

Craig, R. F., 2004, "Craig's Soil Mechanics", Spon Press Taylor and Francis Group, Londan and New York, 447p.

Çelik, S., 1997, "Geogrid Donatılı Yüzeysel Şerit Temellerde Geogridin Zeminin Taşıma Gücüne Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Erzurum, 85s.

Çinicioğlu, S. F., 2005, "Zeminlerde Statik ve Dinamik Yükler Altında Taşıma Gücü Anlayışı ve Hesabı", Seminer, İMO, İstanbul Şubesi, ss. 1-25.

Çoruh, T., 1991, "Geosentetikler", DSİ Gen. Md. Teknik Araş. ve Kalite Kontrol Daire Başkanlığı Yayını, No: 798, Ankara, 176s.

Das, B. M., 1983, "Advenced Soil Mechanics, McGraw-Hill Inc., USA, 456p.

Das, B. M., 1988, "Shallow Foundation on Sand Underlain by Soft Clay with Geotextile Interface", Geosynthetics for Soil Improvement, ASCE Geotechnical Special Publication, No 18, pp. 112-126.

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.

Das, M. B., 1999, "Shallow Foundations: Bearing Capacity and Settlement", CRC Press, USA, 365p.

Das, M. B., Omar, T, M., Atalar, C., 2000, "Geogrid-Takviyeli Kil Şevlerin Üzerinde Yer Alan Sürekli Temellerin Toplam Taşıma Kapasitesi", Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği, Sekizinci Ulusal Kongresi, İTÜ, İstanbul, ss.223-232.

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., 1996, "Geoteknik Açıdan Katı Atık Depolarının Değerlendirilmesi, Doktora Semineri I, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 65s.

Fragaszy, R., Lawton, E., Asgharzadeh-Fozi, Z., 1983, "Bearing Capacity of Reinforced Sand", Proceedings 8th., European Conference Soil Mechanic, Helsinki, pp. 57-360.

Fragaszy, R., Lawton, E., 1984, "Bearing Capacity of Reinforced Sand Subgrades", ASCE, Journal of the Geotechnical Engineering, Vol: 110, No: 10, pp. 1500-1507.

Giroud j. P., Noiray, L., 1981, "Geotextile Reinforced Unpaved Road Design", ASCE, Geotechnical Eng., Vol: 107, No: 9, pp. 1233-1254.

Göktepe, A., 1998, "Metrik Olmayan Digital Kameraların İç Yöneltme Elemanlarının Belirlenmesi Üzerine Bir Çalışma", Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üni., Fen Bilimleri Ens., Konya 59s.

Guido, V. A., Biesiadecki, G. L., Sullivan, M. J., 1985, "Bearing Capacity of a Geotextile Reinforced Foundation", Proceedings. 11th. Int. Conferance Soil Mechanics. and Foundation Engineering., San Francisco, pp. 1777-1780.

Guido, V. A., Dong, K. G., Sweeny, A., 1986, "Comparison of Geogrid and Geotextile Reinforced Earth Slabs", Canadian. Journal Geotechnical Engineering Vol.23, No. 1, pp. 435–440.

Guido, V. A., Knueppel, J. D., Sweeny, M. A., 1987, "Plate Loading Tests on Geogrid-Reinforced Earth Slabs", Geosynthetics '87, Conference Proceedings, New Orleans, U.S.A., pp. 216–225.

Haeri, S. M., Noorzad, R., Oskoorouchi, A. M., 2000, "Effect of Geotextile Reinforcement on the Mechanical Behavior of Sand", Geotextiles and Geomembranes, Vol: 20 pp. 385-402.

Huang C. C., Tatsuoka, F., 1988, Prediction of Bearing Capacity in Level Sandy Ground Reinforced with Strip Reinforcement" International Geotechnical Syp. On Theory and Practice of Earth Reinforcement, Fukuoka-Japan, pp.191-166.

Huang C. C., Tatsuoka, F., 1990, "Bearing Capacity of Reinforced Horizontal Sandy, Geotextiles and Geomembranes, Vol: 9, pp. 51–82.

Horvath, J. S., (1995). "Geofoam Geosynthetic", Horvath Engineering, P.C., Scarsdale, N.Y., USA, pp. 217.

Ingold, T. S., Miller, K. S., 1982, "Analytical and Laboratory Investigations of Reinforced Clay", 2 nd bit. Conference on Geotextiles, Las Vegas, Vol: 3, pp. 587-592.

Karagül, B. Ç., 2006, "Arazi İyileştirme Malzemeleri; Geosentetikler, Geogridler, Dizayn Konstriksiyoni, No: 252, ss. 41–50.

Kocaman, E., 1988, "Yersel Fotogrametride Normal Durumda Yer Kontrol Noktalarının Dağılışının İncelenmesi", Doktora tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon. 99s.

Koerner R. M., 1993, "Desingning with Geosynthetics" Prentice Hall Inc, Third Edition, New Jersey. 784p.

Koerner R. M., 1999, "Desingning with Geosynthetics" Prentice Hall Inc, Four Edition, New Jersey. 784p.

Koerner R. M., 2005, "Desingning with Geosynthetics" Prentice Hall Five Edition, New Jersey, 796p

Khing, K. H., Das, B. M., Puri, V. K, Cook E. E., Yem S. C., 1992, "Bearing Capacity of Two Cioseiy-Spaced Stnp Foundations on Geogrid-Reinforced Sand", Proceedings of the International Symposium on Earth Reinforcement, Fukuoka-Japan, pp. 619-624.

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.

Kumar, A., Ohri, L. M., Bansal K. R., 2007, "Bearing Capacity Tests of Strip Footings on Reinforced Layered Soils", Geotechnical and Geological Engineering, Vol: 25, pp. 139-150.

Laman, M., Yıldız, A. A., 2003, "Model Studies of Ring Foundations on Geogrid-Reinforced Sand", Geosynthetics International, Vol:10 No: 5, pp.142-152.

Laman, M., Yıldız, A. A., 2004, "Donatılı Kum Zeminler Üzerine Oturan Dairesl Temellerin Analizi", Birinci Ulusal Geosentetikler Konferansı, B.Ü., İstanbul, ss.137-146.

Laman, M., Babacan D. Ş., 2004, "Donatılı Kum Zemin Üzerine Oturan Ring (Halka) Temellerin Analizi", Çukurova Üniversitesi, Müh-Mim.Fak., Dergisi, Cilt: 19, Sayı 2, ss.281-289, Adana.

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.

Meyerhof, G. G., 1951, "The Ultimate Bearing Capacity of Foundation", Geotechnique, pp. 301-302.

Milovic, D., 1977, "Bearing Capacity Tests on Reinforced Sand, Proceedings of the International Conference on Soil Mechanic and Foundation Engineering, Vol: 1, pp. 651-654, Tokyo, Japan.

Milligan G. E., Love, J. P., 1984, "Model Testing of Geogrids under an Aggregate Layer on Soft Ground", Proceedings of the International Symposium on Earth Reinforcement, Fukuoka-Japan, pp. 128-138.

Miyazaki, K., Hirokowa, F., 1992, "Fundamental Study of Reinforcement of Sand Layer in Model Test", Proceedings of the International Symposium on Earth Reinforcement, Fukuoka-Japan, pp. 647-652.

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.

Omar, M. T., Das, M. B., Puri, V. K., and Yen, S. C., and Cook, E. E., 1993, " Shallow Foundaiton on Geogrid-Reinforced Sand", Transportation Research Record, No: 1414, pp.59-64

Omar, M. T., Das, M. B., Puri, V. K., and Yen, S. C., 1993a, "Ultimate Bearing Capacity of Shallow Foundaitons on Sand with Geogrid Reinforcement, Journal Canadian Geotechnical, Vol: 11, No: 7, pp. 545-549.

Omar, M. T., Das, M. B., Yen, S. C., Puri, V. K., and Cook, E. E., 1993b, "Ultimate Bearing Capacity of Rectangular Foundations on Geogrid-Reinforced Sand", Geotechnical Testing Journal, Vol: 16, No: 2, pp.246-252.

O' Rourke, T. D., Drushel S. J., and Netrevali, A. N., 1990, "Shear Strength Characteristics of Sand-Polmyer Interfaces", Journal of Geotechnical Eng. ASCE, Vol: 115, No:8, pp.1118-1133.

Önalp, A., Sert, S., 2006, "Geoteknik Bilgisi III, Bina Temelleri", Birsen Yayınevi, İstanbul.

Patel, M. M., 1982, "Influnce of Shape pf Footings on the Performance of the Reinforced Sand Bed", Proceedings of the Confrence on Contruction Practices and Instrumentation in Geotech. Eng. Vol: 1, pp. 265-269.

Patra, C. R., Das, M. B., Shin, E. C., 2005, "Ultimate Bearing Capacity of Eccentrically Loaded Strip Foundations on Sand Reinforced With Geogrids", Paper Presented in International Symposium on Tsunami Reconstruction with Geosynthetics, Bangkok, pp.335-344.

Patra, C. R., Das, M. B., Bhoi, M., Shin, E. C., 2005, "Eccentrically Loaded Strip Foundations on Geogrid-Reinforced Sand", Technical Note, Geotextiles and Geomembranes, pp.1-6

Patra, C. R., Mandal, J. N., Das, M. B., 2005, "Ultimate Bearing Capacity of Shallow Foundation on Geogrid-Reinforced Sand", Proceedings of the 16th International Conference on Soil Mechanics and Geotech. Eng. (ISSMGE), Osaka-Japan, pp.12-16.

Phadke, M. S. 1989, "Quality Engineering Using Robust Design", Prentice Hall, New York.

Sağlamer, A., ve Aygit R., 1987, "Donatılı Zemin İstinat Duvarları", Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği, 2. Ulusal Kongresi, Cilt 2 ss. 275-286, B.Ü., İstanbul.

Saran, S., Agarwal, R., 1991, "Closure to: Bearing Capacity of Eccentrically Obliquely Loaded Footing", Journal of Geotechnical Engineering, Vol: 117, No:11 pp. 398-400.

Saran, S., Talwar, D. V., 1981, "Laboratory Investigations of Reinforced Earth Slab", Proceedings Indian Geotechnical Conference Hyderabad, Vol:1, pp. 389-394.

Sawicki, A., 1983, "Plastic Limit Behavior of Reinforced Earth", ASCE Journal of Geotecbnical Engrg., Vol. 109, No. 7, pp. 1000-1005.

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.

Shin, E. C., Das, M. B., 2000, "Experimental Study of Bearing Capacity of a Strip Foundation on Geogrid-Reinforced Sand", Geosynthetics International, Vol: 7, No: 1, pp.59-71.

Singh, H. R., 1988, "Bearing Capacity of Reinforced Soil Beds", Ph. D. Thesis, Department of Civil Engineering, Indian Institute of Science, Bangalore, India.

Şirvancı, M., 1997, "Kalite için Deney Tasarım: Taguchi Yaklaşımı", Literatür Yayıncılık, İstanbul.

Takemura, J., Okamura, M., Suemasa, and N., Kimura, T., 1992, "Bearing Capacities and Deformations of Sand Reinforced with Geogrids", Proceedings of the International Symposium on Earth Reinforcement Practice, Fukuoka-Japan, pp. 695-700.

Tan, Ö., 1996, "Kumda Aktif ve Pasif Durumlar için Hareket Miktarlarının Model Deneylerle Araştırılması, Doktora Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Ens., Trabzon. 83s.

Tan, O., and Zaimoğlu, A. S., 2004. "Taguchi approach for investigation of the setting times on cement-based grouts", Indıan Journal Engineering Mater S 11 (1): pp. 63-67.

Tan, Ö., Çelik, S., 1999, "Geogrid Donatılı Kumlarda Taşıma Gücünün Model Deneylerle Araştırlması", X Mühendislik Sempozyomu, İnşaat 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.

Tan, O., Zaimoğlu, A.S., Hınıslıoğlu, S., and Altun, S., 2005, "Taguchi approach for optimization of the bleeding on cement-based grouts", Tunn Undergr Sp Tech 20 (2): 167-173.

Tan, Ö., 2006, "Investigation of Soil Parameters Affecting the Stability of Homogeneous Slopes Using the Taguchi Method", Eurasian Soil Science, 2006, Vol. 39, No. 11, pp. 1248–1254.

Terzahgi, K., 1943, "Theoretical Soils Mechanics" Wiley Newyork.

Tunç, A., 2002, "Yol Mühendisliğinde Geoteknik ve Uygulamaları", Atlas Yayın Dağıtım, İstanbul, 912s.

Tüdeş, T., 1996, "Yer Fotogrametrisi", KTÜ Basımevi, Mühendislik Fakültesi yayını, No : 105, Trabzon.

URL -1, http://www.cevreplastik.com.tr.

URL-2, http://www.istanbulteknik.com/geoarme.htm#tenax.

URL -3, http://www.rexross.com/geotube.html.

URL -4, http://www.akropol.com.tr/muhendislik/foto/pictran.htm.

URL- 5, http:// hgv.rrc.ac.uk/documantation/tecnical/cameracalib/node3.html.

Vesic, A. S., 1973, "Analysis of Ultimate Loads of Shallow Foundations", Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol 112 No: 7, pp.701-706.

Vesic A. S., 1975, "Bearing Capacity of Shallow Foundaiton", Chapter 3 of Foundaiton Eng. Handbook, Hans F. W., and Hsai, Y. F., (Eds) Van Nostrand Reinhold.

Verma B. P., Char, A. N. R., 1988, "Modeling for Bearing Capacity Analysis of Reinforced Sand Subgrades", International Geotechnical Symposium on Theory and Prctice of Earth Reinforcement, Japon, pp. 245-250.

Verma, B. P., Jha, J. N., 1992, "Three Dimısiona1 Model Footing Tests for Lmpro'ıng Subgrades below Existing Footings", Proceedings. of the International Symposium on Earth Reinforcement Practice, Fukuoka-Japan, pp. 707-711.

Vidal M. H., 1968, "La Terre Arme", AnnAnneles de L'Intitut Technique du Batiment et des Travoux Publics, pp.888-938. (as referred by Das, M. B.,1990).

Yetimoğlu, T., 1994, "Geogrid Donatılı Kum Zemin Üzerine Oturan Temellerin Taşıma Kapasitesi, Doktora Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Ens İstanbul, 270s.

Yetimoğlu, T., Wu, J., Sağlamer, A., 1994, "Bearing Capacity of Rectangular Footing on Geogrids-Reinforced Sand", Journal of Geotechnical Eng. ASCE, Vol: 120, No:12, pp. 2083-2099.

Yıldırım, H. M., 2001, "Donatılı Zemin Analizi", Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Ens., Adana, 89s.

Yıldız, A. A., 2002, "Donatılı Zemin Üzerine Oturan Yüzeysel Temellerin Analizi", Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 202s.

Yıldız, A. A., Laman, M., 2002, "Donatılı Kum Zeminlere Oturan Kare Temellerin Deneysel ve Sayısal Yöntemlerle Analizi", Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği, 9. Ulusal Kongresi, s. 267-276, Anadolu Üniversitesi., Eskişehir.

Yılmaz, H. R., Eskişar, T., ve Aklık P., 2005, "Donatılı Zemin Uygulamaları Kapsamında Donatılı İstinat Duvarlarının Tanıtımı ve Sağladığı Avantajlar Üzerine Bir İnceleme", İnşaat Mühendisler Odası, İzmir Şubesi Haber Bülteni, 25-Nisan-2005, Yıl: 20 Sayı:122, s.20-24., İzmir.

Yılmaz, H. R., Eskişar, T., ve Aklık P., 2005, "Geofoam Malzemesinin Geoteknik Mühendisliğinde Kullanım Alanları ve Önemi Üzerine Bir İnceleme", İnşaat Mühendisler Odası, İzmir Şubesi Haber Bülteni, 17-Haziran-2005, Yıl: 20 Sayı:123, s.14-19., İzmir.

Wasti, Y., 1982, "Donatılı Zeminlerde Sürtünme Davranışının İncelenmesi" Doçentlik Tezi, ODTÜ, Ankara.

Wasti, Y., Bütün, M. D., 1996, "Behaviour of Model Footings on Sand Reinforced with Discrete Inslusions", Geotextiles and Geomembranes Vol: 14 No: 1 pp. 575-586.

EKLER

DİJİTAL FOTOGRAMETRİ ÖLÇÜMLERİ

Deney No	DONATISIZ Donatı Parametrleri B (cm)	N	U (cm)	L_G (cm)	D_f (cm)	KONTROL DENEYLERİ
DZ8-1	8	-	-	-	0	DF UYGULANDI
DZ8-2	8	-	-	-	4	DF UYGULANDI
DZ8-3	8	-	-	-	8	DF UYGULANDI
DZ8-4	8	-	-	-	12	DF UYGULANDI

Deney No	DONATISIZ Donatı Parametrleri B (cm)	N	U (cm)	L_G (cm)	D_f (cm)	KONTROL DENEYLERİ
DZ6-1	6	-	-	-	0	D.F. UYGULANDI
DZ10-1	10	-	-	-	0	D.F. UYGULANDI
DZ4-1	4	-	-	-	0	-
DZ4-2	4	-	-	-	2	-
DZ4-3	4	-	-	-	4	D.F. UYGULANDI
DZ4-1	4	-	-	-	6	D.F. UYGULANDI

Deney No	DONATILI Donatı Parametrleri B (cm)	N	U (cm)	L_G (cm)	D_f (cm)	KONTROL DENEYİ P_{max} (kg)	ΔH (mm)
DN8-1	8	1	4	72	0	D.F. UYGULANDI	
DN8-2	8	2	4	72	0	D.F. UYGULANDI	
DN8-3	8	3	4	72	0	D.F. UYGULANDI	

No	Donatı Konfügrasyonu B (cm)	N	U (cm)	L_G (cm)	D_f (cm)	DENEY
T-DN4-1	4	1	1	16	0	
T-DN4-2		2	2	24	2	D.F. UYGULANDI
T-DN4-3		3	3	32	4	D.F. UYGULANDI
T-DN4-4		4	4	40	6	
T-DN4-5	6	1	3	48	9	
T-DN4-6		2	1,5	60	6	D.F. UYGULANDI
T-DN4-7		3	6	24	3	D.F. UYGULANDI
T-DN4-8		4	4,5	36	0	D.F. UYGULANDI
T-DN4-9	8	1	6	80	4	D.F. UYGULANDI
T-DN4-10		2	8	64	0	
T-DN4-11		3	2	48	12	D.F. UYGULANDI
T-DN4-12		4	4	32	8	D.F. UYGULANDI
T-DN4-13	10	1	10	60	10	D.F. UYGULANDI
T-DN4-14		2	7,5	40	15	
T-DN4-15		3	5	100	0	D.F. UYGULANDI
T-DN4-16		4	2,5	80	5	D.F. UYGULANDI

DZ 8-1 deneyine ait ölçüm dijital fotogrametri sonuçları

Koordinatlar	Y	X	Z
Nokta	**0 dakikada alınan ölçümler**		
1	992.824	4.005.986	3.043.382
2	992.844	4.007.476	3.043.527
3	992.855	4.009.260	3.043.497
4	992.889	4.010.195	3.043.395
501	992.491	4.006.098	3.043.455
502	992.519	4.007.515	3.043.440
503	992.524	4.009.289	3.043.406
504	992.548	4.010.208	3.043.342
601	992.173	4.006.132	3.043.418
602	992.211	4.007.542	3.043.442
603	992.210	4.009.315	3.043.447
604	992.216	4.010.260	3.043.477
Nokta	**1 dakikada alınan ölçümler**		
101	992.877	4.005.911	3.043.448
102	992.870	4.006.941	3.043.298
103	992.802	4.007.667	3.043.449
104	992.822	4.008.044	3.043.493
105	992.908	4.008.538	3.043.309
106	992.857	4.010.035	3.043.598
1501	992.512	4.005.922	3.043.413
1502	992.481	4.006.987	3.043.421
1503	992.465	4.007.695	3.043.409
1504	992.552	4.008.279	3.043.269
1505	992.547	4.010.092	3.043.373
1601	992.183	4.006.098	3.043.761
1602	992.208	4.006.985	3.043.761
1603	992.140	4.007.645	3.043.761
1604	992.150	4.008.398	3.043.761
1605	992.215	4.010.042	3.043.761
Nokta	**2 dakikada alınan ölçümler**		
201	992.851	4.005.928	3.043.567
202	992.875	4.007.152	3.043.642
203	992.800	4.007.621	3.043.734
204	992.746	4.007.912	3.043.795
205	992.820	4.008.373	3.043.502
206	992.927	4.008.705	3.043.262
207	992.851	4.010.234	3.043.583
2501	992.517	4.006.023	3.043.306
2502	992.493	4.007.152	3.043.751
2503	992.445	4.007.570	3.043.652
2504	992.391	4.007.972	3.043.764
2505	992.447	4.008.434	3.043.566
2506	992.547	4.008.767	3.043.276
2507	992.517	4.010.246	3.043.623
2601	992.141	4.008.512	3.043.392
2602	992.170	4.008.831	3.043.336
2603	992.196	4.010.295	3.043.529
Nokta	**3 dakikada alınan ölçümler**		
301	992.884	4.006.001	3.043.433
302	992.909	4.006.882	3.043.469
303	992.820	4.007.450	3.043.413
304	992.798	4.007.728	3.043.380
305	992.754	4.008.004	3.043.485
306	992.831	4.008.464	3.043.575
307	992.950	4.009.464	3.043.128
308	992.895	4.010.246	3.043.401
3501	992.511	4.006.189	3.043.447
3502	992.538	4.006.881	3.043.372
3503	992.516	4.007.456	3.043.418
3504	992.487	4.007.734	3.043.429

3505	992.419	4.008.013	3.043.581
3506	992.479	4.008.522	3.043.447
3507	992.535	4.009.494	3.043.357
3508	992.549	4.010.284	3.043.400
3601	992.157	4.006.191	3.043.553
3602	992.171	4.006.899	3.043.480
3603	992.180	4.009.143	3.043.412
3604	992.217	4.010.300	3.043.482
Nokta	**4 dakikada alınan ölçümler**		
401	992.851	4.006.029	3.043.372
402	992.938	4.006.895	3.043.421
403	992.870	4.007.506	3.043.536
404	992.803	4.007.866	3.043.341
405	992.716	4.008.114	3.043.624
406	992.930	4.008.747	3.043.363
407	992.893	4.010.345	3.043.504
4501	992.548	4.005.987	3.043.489
4502	992.531	4.006.900	3.043.381
4503	992.520	4.007.505	3.043.436
4504	992.460	4.007.845	3.043.376
4505	992.434	4.008.093	3.043.526
4506	992.498	4.008.793	3.043.472
4507	992.546	4.010.379	3.043.457
4601	992.182	4.006.019	3.043.460
4602	992.152	4.006.838	3.043.500
4603	992.163	4.008.148	3.043.510
4604	992.151	4.009.091	3.043.587
4605	992.227	4.010.315	3.043.439
Nokta	**5 dakikada alınan ölçümler**		
501	992.873	4.005.828	3.043.499
502	992.929	4.006.635	3.043.605
503	992.888	4.007.447	3.043.510
504	992.739	4.007.733	3.043.637
505	992.664	4.008.013	3.043.694
506	992.754	4.008.425	3.043.620
507	992.884	4.008.695	3.043.633
508	992.886	4.009.381	3.043.708
509	992.875	4.010.249	3.043.537
5501	992.511	4.005.842	3.043.627
5502	992.537	4.006.656	3.043.469
5503	992.516	4.007.457	3.043.370
5504	992.429	4.007.733	3.043.484
5505	992.349	4.008.022	3.043.641
5506	992.449	4.008.463	3.043.480
5507	992.493	4.008.748	3.043.652
5508	992.553	4.009.418	3.043.571
5509	992.556	4.010.315	3.043.315

DZ 8-2 deneyine ait ölçüm dijital fotogrametri sonuçları

Koordinatlar	Y	X	Z
Nokta	**0 dakikada alınan ölçümler**		
1	993.017	4.005.896	3.043.505
2	993.042	4.007.079	3.043.371
3	993.028	4.007.831	3.043.469
4	993.006	4.009.112	3.043.613
5	992.997	4.009.747	3.043.654
6	993.000	4.010.393	3.043.467
501	992.712	4.005.911	3.043.455
502	992.702	4.007.065	3.043.317
503	992.653	4.007.851	3.043.376
504	992.672	4.009.151	3.043.466
505	992.670	4.009.786	3.043.556
506	992.700	4.010.428	3.043.563
601	992.397	4.005.924	3.043.346
602	992.382	4.007.069	3.043.476
603	992.371	4.007.898	3.043.384
604	992.396	4.009.168	3.043.673
605	992.375	4.009.850	3.043.362
606	992.365	4.010.487	3.043.570
Nokta	**2 dakikada alınan ölçümler**		
101	993.009	4.006.081	3.043.728
102	993.071	4.006.889	3.043.506
103	992.950	4.007.727	3.043.863
104	993.049	4.009.118	3.043.457
105	993.034	4.009.392	3.043.581
106	992.999	4.010.133	3.043.728
1501	992.715	4.006.182	3.043.374
1502	992.673	4.006.896	3.043.571
1503	992.585	4.007.814	3.043.579
1504	992.637	4.009.114	3.043.613
1505	992.670	4.010.145	3.043.671
1601	992.417	4.006.203	3.043.272
1602	992.351	4.006.923	3.043.525
1603	992.317	4.007.867	3.043.423
1604	992.382	4.009.133	3.043.455
1605	992.326	4.010.158	3.043.620
201	992.998	4.005.790	3.043.623
202	993.055	4.006.852	3.043.600
203	992.952	4.007.651	3.043.724
204	992.939	4.007.920	3.043.505
205	993.006	4.008.322	3.043.335
206	993.014	4.008.660	3.043.489
207	993.055	4.009.088	3.043.450
208	993.025	4.009.454	3.043.394
209	993.034	4.009.980	3.043.547
2501	992.676	4.005.788	3.043.626
2502	992.670	4.006.859	3.043.663
2503	992.712	4.007.374	3.043.339
2504	992.574	4.007.689	3.043.645
2505	992.532	4.007.965	3.043.537
2506	992.587	4.008.339	3.043.501
2507	992.619	4.008.690	3.043.553
2508	992.662	4.009.485	3.043.544
2509	992.705	4.010.015	3.043.548
2601	992.371	4.005.865	3.043.491
2602	992.364	4.006.894	3.043.509
2603	992.323	4.007.719	3.043.586
2604	992.287	4.008.052	3.043.658
2605	992.265	4.008.387	3.043.666
2606	992.272	4.008.722	3.043.712
2607	992.393	4.009.539	3.043.346

2608	992.384	4.010.203	3.043.424
Nokta	**3 dakikada alınan ölçümler**		
301	993.007	4.005.809	3.043.633
302	993.055	4.006.716	3.043.424
303	993.036	4.007.478	3.043.543
304	992.979	4.007.656	3.043.839
305	992.944	4.007.944	3.043.363
306	992.925	4.008.359	3.043.560
307	993.004	4.008.680	3.043.546
308	993.039	4.009.190	3.043.527
309	993.036	4.009.424	3.043.385
310	993.052	4.010.134	3.043.472
3501	992.703	4.005.886	3.043.499
3502	992.682	4.006.621	3.043.720
3503	992.690	4.007.493	3.043.338
3504	992.568	4.007.695	3.043.754
3505	992.542	4.007.981	3.043.684
3506	992.530	4.008.388	3.043.678
3507	992.629	4.008.721	3.043.560
3508	992.661	4.009.214	3.043.584
3509	992.718	4.009.475	3.043.339
3510	992.734	4.010.166	3.043.423
3601	992.376	4.005.890	3.043.449
3602	992.348	4.006.643	3.043.728
3603	992.406	4.007.504	3.043.230
3604	992.321	4.007.771	3.043.553
3605	992.327	4.008.069	3.043.347
3606	992.291	4.008.479	3.043.535
3607	992.358	4.010.160	3.043.518
Nokta	**4 dakikada alınan ölçümler**		
401	993.000	4.005.912	3.043.695
402	993.111	4.006.489	3.043.300
403	993.090	4.006.847	3.043.423
404	993.050	4.007.224	3.043.599
405	993.049	4.007.731	3.043.482
406	992.961	4.007.944	3.043.361
407	992.966	4.008.460	3.043.435
408	993.066	4.008.689	3.043.290
409	993.081	4.009.363	3.043.332
410	993.056	4.010.263	3.043.332
4501	992.720	4.006.025	3.043.516
4502	992.767	4.006.518	3.043.212
4503	992.745	4.006.876	3.043.330
4504	992.655	4.007.236	3.043.614
4505	992.627	4.007.706	3.043.485
4506	992.540	4.007.995	3.043.549
4507	992.536	4.008.438	3.043.746
4508	992.654	4.008.740	3.043.409
4509	992.745	4.010.146	3.043.418
4601	992.399	4.006.037	3.043.410
4602	992.420	4.006.898	3.043.339
4603	992.337	4.007.281	3.043.627
4604	992.313	4.007.722	3.043.486
4605	992.307	4.008.038	3.043.390
4606	992.321	4.008.580	3.043.358
4607	992.384	4.010.156	3.043.464
Nokta	**5 dakikada alınan ölçümler**		
501	993.033	4.005.764	3.043.601
502	993.097	4.007.076	3.043.421
503	993.033	4.007.648	3.043.557
504	992.980	4.007.822	3.043.422
505	992.947	4.008.028	3.043.554
506	992.885	4.008.197	3.043.669
507	993.033	4.008.600	3.043.316

508	993.049	4.009.240	3.043.538
509	993.043	4.009.416	3.043.430
510	993.099	4.009.689	3.043.335
511	993.094	4.010.562	3.043.484
5501	992.766	4.005.924	3.043.281
5502	992.769	4.006.647	3.043.328
5503	992.727	4.007.092	3.043.377
5504	992.613	4.007.544	3.043.744
5505	992.532	4.007.777	3.043.737
5506	992.510	4.008.054	3.043.624
5507	992.551	4.008.297	3.043.597
5508	992.610	4.008.620	3.043.533
5509	992.701	4.009.352	3.043.512
5510	992.728	4.009.742	3.043.492
5511	992.758	4.010.142	3.043.552
5601	992.410	4.005.874	3.043.430
5602	992.433	4.006.677	3.043.343
5603	992.442	4.007.114	3.043.270
5604	992.268	4.007.547	3.043.798
5605	992.279	4.007.828	3.043.635
5606	992.245	4.008.111	3.043.688
5607	992.377	4.008.719	3.043.191
5608	992.354	4.009.790	3.043.551

DZ 8-3 deneyine ait ölçüm dijital fotogrametri sonuçları

Koordinatlar	Y	X	Z
Nokta	**0 dakikada alınan ölçümler**		
1	992.678	4.006.507	3.043.502
2	992.692	4.007.107	3.043.500
3	992.700	4.008.394	3.043.465
4	992.729	4.009.672	3.043.539
501	992.444	4.006.601	3.043.350
502	992.442	4.007.381	3.043.507
503	992.471	4.008.412	3.043.438
504	992.457	4.009.694	3.043.516
601	992.142	4.006.700	3.043.487
602	992.145	4.007.552	3.043.504
603	992.141	4.008.716	3.043.571
604	992.131	4.010.275	3.043.644
Nokta	**1 dakikada alınan ölçümler**		
101	992.697	4.006.687	3.043.460
102	992.682	4.007.102	3.043.572
103	992.658	4.007.670	3.043.564
104	992.601	4.008.154	3.043.517
105	992.635	4.008.378	3.043.488
106	992.690	4.008.636	3.043.494
107	992.703	4.008.982	3.043.542
108	992.701	4.009.403	3.043.555
109	992.737	4.009.992	3.043.444
1501	992.456	4.006.654	3.043.284
1502	992.421	4.007.103	3.043.696
1503	992.426	4.007.468	3.043.566
1504	992.418	4.007.926	3.043.486
1505	992.356	4.008.431	3.043.394
1506	992.395	4.009.009	3.043.666
1507	992.447	4.009.427	3.043.484
1508	992.460	4.010.010	3.043.399
1601	992.123	4.006.662	3.043.557
1602	992.095	4.007.111	3.043.628
1603	992.126	4.007.544	3.043.505
1604	992.153	4.007.988	3.043.445
1605	992.161	4.008.522	3.043.423
1606	992.124	4.009.040	3.043.644
1607	992.180	4.009.510	3.043.387
1608	992.200	4.010.013	3.043.353
Nokta	**2 dakikada alınan ölçümler**		
201	992.667	4.006.663	3.043.555
202	992.653	4.007.037	3.043.611
203	992.668	4.007.638	3.043.439
204	992.634	4.007.831	3.043.363
205	992.600	4.008.088	3.043.452
206	992.662	4.008.346	3.043.417
207	992.690	4.008.562	3.043.422
208	992.716	4.008.728	3.043.446
209	992.709	4.009.157	3.043.539
210	992.715	4.009.732	3.043.537
211	992.725	4.010.228	3.043.518
2501	992.415	4.006.657	3.043.505
2502	992.418	4.007.032	3.043.587
2503	992.482	4.007.632	3.043.293
2504	992.457	4.007.835	3.043.289
2505	992.416	4.008.051	3.043.450
2506	992.389	4.008.359	3.043.441
2507	992.419	4.008.578	3.043.471
2508	992.423	4.008.777	3.043.593
2509	992.418	4.009.164	3.043.613
2510	992.492	4.009.735	3.043.299

2511	992.453	4.010.236	3.043.472
2601	992.131	4.006.667	3.043.509
2602	992.140	4.007.063	3.043.425
2603	992.152	4.007.605	3.043.390
2604	992.108	4.008.186	3.043.532
2605	992.131	4.008.506	3.043.472
2606	992.108	4.009.570	3.043.726
2607	992.193	4.010.267	3.043.376
Nokta	**3 dakikada alınan ölçümler**		
301	992.665	4.006.663	3.043.554
302	992.690	4.007.037	3.043.787
303	992.640	4.007.606	3.043.608
304	992.608	4.007.831	3.043.511
305	992.622	4.008.024	3.043.426
306	992.600	4.008.463	3.043.568
307	992.657	4.008.646	3.043.593
308	992.669	4.008.791	3.043.690
309	992.715	4.009.735	3.043.560
310	992.769	4.010.339	3.043.478
3501	992.437	4.006.808	3.043.406
3502	992.384	4.007.046	3.043.714
3503	992.427	4.007.591	3.043.555
3504	992.386	4.007.820	3.043.603
3505	992.390	4.007.996	3.043.472
3506	992.374	4.008.239	3.043.486
3507	992.358	4.008.496	3.043.641
3508	992.371	4.008.681	3.043.716
3509	992.377	4.008.830	3.043.789
3510	992.454	4.009.726	3.043.467
3511	992.444	4.010.347	3.043.509
3601	992.101	4.006.678	3.043.611
3602	992.117	4.006.990	3.043.536
3603	992.152	4.007.647	3.043.323
3604	992.047	4.007.842	3.043.734
3605	992.103	4.008.315	3.043.468
3606	992.162	4.009.172	3.043.494
3607	992.187	4.010.375	3.043.461
Nokta	**4 dakikada alınan ölçümler**		
401	992.699	4.006.679	3.043.434
402	992.678	4.007.066	3.043.788
403	992.644	4.007.466	3.043.739
404	992.595	4.007.681	3.043.668
405	992.569	4.007.880	3.043.712
406	992.551	4.008.185	3.043.757
407	992.560	4.008.474	3.043.790
408	992.705	4.008.765	3.043.493
409	992.709	4.009.185	3.043.513
410	992.701	4.009.747	3.043.633
4501	992.421	4.006.731	3.043.996
4502	992.410	4.007.471	3.043.616
4503	992.385	4.007.673	3.043.638
4504	992.372	4.007.895	3.043.562
4505	992.339	4.008.274	3.043.298
4506	992.348	4.008.507	3.043.643
4507	992.435	4.008.794	3.043.473
4508	992.427	4.009.322	3.043.584
4509	992.446	4.009.769	3.043.584
4601	992.115	4.006.663	3.043.581
4602	992.081	4.007.634	3.043.639
4603	992.050	4.007.822	3.043.658
4604	992.097	4.008.188	3.043.438
4605	992.101	4.008.737	3.043.550
4606	992.148	4.009.170	3.043.520
4607	992.170	4.009.536	3.043.529

4608	992.123	4.009.992	3.043.697
Nokta	**5 dakikada alınan ölçümler**		
501	992.704	4.006.657	3.043.528
502	992.688	4.007.005	3.043.756
503	992.656	4.007.523	3.043.698
504	992.625	4.007.797	3.043.317
505	992.628	4.007.939	3.043.234
506	992.547	4.008.471	3.043.646
507	992.689	4.008.680	3.043.566
508	992.749	4.009.748	3.043.508
5501	992.386	4.006.679	3.043.658
5502	992.435	4.007.356	3.043.577
5503	992.422	4.007.543	3.043.526
5504	992.360	4.007.773	3.043.673
5505	992.371	4.007.972	3.043.352
5506	992.353	4.008.150	3.043.339
5507	992.326	4.008.513	3.043.545
5508	992.447	4.008.763	3.043.424
5509	992.489	4.009.087	3.043.372
5510	992.466	4.009.749	3.043.488
5601	992.176	4.006.649	3.043.309
5602	992.165	4.007.021	3.043.368
5603	992.087	4.007.641	3.043.592
5604	992.084	4.007.826	3.043.487
5605	992.108	4.008.233	3.043.298
5606	992.125	4.008.747	3.043.453
5607	992.123	4.009.171	3.043.690
5608	992.163	4.009.669	3.043.618
5609	992.204	4.010.043	3.043.444

DZ 8-4 deneyine ait ölçüm dijital fotogrametri sonuçları

Koordinatlar	Y	X	Z
Nokta	**0 dakikada alınan ölçümler**		
1	992.740	4.006.246	3.043.483
2	992.733	4.007.310	3.043.562
3	992.710	4.007.651	3.043.626
4	992.695	4.007.994	3.043.676
5	992.714	4.008.128	3.043.542
6	992.718	4.008.270	3.043.641
7	992.741	4.009.649	3.043.609
501	992.531	4.006.318	3.043.504
502	992.535	4.007.448	3.043.502
503	992.524	4.007.924	3.043.641
504	992.541	4.008.264	3.043.401
505	992.523	4.009.035	3.043.582
506	992.533	4.009.646	3.043.537
601	992.293	4.006.288	3.043.565
602	992.314	4.007.801	3.043.301
603	992.322	4.008.206	3.043.443
604	992.309	4.008.992	3.043.557
605	992.315	4.009.299	3.043.526
606	992.302	4.009.628	3.043.395
Nokta	**1 dakikada alınan ölçümler**		
101	992.738	4.006.484	3.043.483
102	992.746	4.007.331	3.043.470
103	992.718	4.007.660	3.043.602
104	992.712	4.008.088	3.043.495
105	992.758	4.009.037	3.043.444
106	992.740	4.009.645	3.043.587
107	992.744	4.009.810	3.043.576
1501	992.519	4.006.642	3.043.531
1502	992.562	4.007.120	3.043.344
1503	992.542	4.007.419	3.043.453
1504	992.501	4.008.083	3.043.511
1505	992.554	4.009.030	3.043.463
1506	992.518	4.009.631	3.043.608
1601	992.295	4.006.624	3.043.570
1602	992.279	4.007.228	3.043.569
1603	992.314	4.008.001	3.043.455
1604	992.287	4.009.141	3.043.624
1605	992.315	4.009.849	3.043.452
Nokta	**3 dakikada alınan ölçümler**		
201	992.737	4.006.499	3.043.486
202	992.745	4.007.320	3.043.446
203	992.756	4.007.642	3.043.385
204	992.670	4.008.013	3.043.586
205	992.664	4.008.136	3.043.711
206	992.736	4.008.547	3.043.375
207	992.751	4.009.375	3.043.693
208	992.775	4.009.653	3.043.400
209	992.805	4.009.808	3.043.300
2501	992.570	4.006.428	3.043.324
2502	992.524	4.007.036	3.043.568
2503	992.549	4.007.625	3.043.405
2504	992.528	4.007.852	3.043.285
2505	992.524	4.008.469	3.043.460
2506	992.542	4.009.031	3.043.509
2507	992.547	4.009.641	3.043.467
2601	992.324	4.006.368	3.043.449
2602	992.277	4.006.636	3.043.668
2603	992.319	4.007.194	3.043.376
2604	992.257	4.008.018	3.043.600
2605	992.258	4.008.393	3.043.574

2606	992.284	4.009.013	3.043.603
2607	992.341	4.009.527	3.043.377
Nokta	**3 dakikada alınan ölçümler**		
301	992.755	4.006.513	3.043.393
302	992.769	4.006.977	3.043.352
303	992.723	4.007.310	3.043.563
304	992.720	4.007.467	3.043.532
305	992.715	4.007.654	3.043.506
306	992.680	4.007.808	3.043.521
307	992.655	4.007.971	3.043.516
308	992.618	4.008.105	3.043.714
309	992.693	4.008.613	3.043.563
310	992.749	4.008.767	3.043.515
311	992.756	4.009.041	3.043.561
312	992.763	4.009.669	3.043.467
3501	992.536	4.006.383	3.043.507
3502	992.569	4.007.150	3.043.349
3503	992.559	4.007.578	3.043.376
3504	992.511	4.007.691	3.043.483
3505	992.505	4.007.851	3.043.498
3506	992.493	4.008.136	3.043.471
3507	992.472	4.008.485	3.043.720
3508	992.521	4.008.802	3.043.535
3509	992.561	4.009.128	3.043.461
3510	992.540	4.009.577	3.043.493
3601	992.304	4.006.363	3.043.547
3602	992.286	4.006.660	3.043.626
3603	992.243	4.007.323	3.043.751
3604	992.246	4.007.643	3.043.641
3605	992.217	4.008.010	3.043.435
3606	992.254	4.008.411	3.043.553
3607	992.259	4.009.010	3.043.746
3608	992.328	4.009.540	3.043.469
Nokta	**4 dakikada alınan ölçümler**		
401	992.761	4.006.493	3.043.412
402	992.737	4.007.302	3.043.514
403	992.724	4.007.620	3.043.458
404	992.686	4.007.748	3.043.472
405	992.659	4.007.877	3.043.484
406	992.647	4.008.002	3.043.450
407	992.639	4.008.342	3.043.584
408	992.696	4.008.583	3.043.425
409	992.751	4.008.703	3.043.443
410	992.788	4.009.375	3.043.434
411	992.786	4.009.658	3.043.396
412	992.809	4.010.330	3.043.406
4501	992.579	4.006.564	3.043.303
4502	992.568	4.007.147	3.043.394
4503	992.533	4.007.563	3.043.468
4504	992.540	4.007.704	3.043.275
4505	992.476	4.007.872	3.043.501
4506	992.472	4.008.020	3.043.490
4507	992.459	4.008.341	3.043.576
4508	992.500	4.008.616	3.043.535
4509	992.557	4.008.757	3.043.417
4510	992.546	4.009.106	3.043.939
4511	992.566	4.009.591	3.043.444
4512	992.558	4.010.309	3.043.549
4601	992.350	4.006.572	3.043.439
4602	992.315	4.007.213	3.043.472
4603	992.306	4.007.692	3.043.363
4604	992.243	4.008.038	3.043.532
4605	992.239	4.008.414	3.043.576
4606	992.266	4.009.009	3.043.699

4607	992.298	4.009.551	3.043.610
4608	992.327	4.010.326	3.043.501
Nokta	**5 dakikada alınan ölçümler**		
501	992.761	4.006.469	3.043.525
502	992.762	4.007.280	3.043.462
503	992.728	4.007.593	3.043.431
504	992.655	4.007.853	3.043.438
505	992.595	4.008.022	3.043.571
506	992.641	4.008.446	3.043.539
507	992.675	4.008.649	3.043.659
508	992.724	4.008.791	3.043.632
509	992.763	4.009.373	3.043.527
510	992.745	4.009.869	3.043.617
511	992.827	4.010.312	3.043.338
5501	992.568	4.006.577	3.043.491
5502	992.537	4.007.189	3.043.541
5503	992.532	4.007.525	3.043.511
5504	992.488	4.007.674	3.043.529
5505	992.465	4.007.841	3.043.499
5506	992.436	4.008.039	3.043.539
5507	992.421	4.008.333	3.043.647
5508	992.470	4.008.494	3.043.557
5509	992.491	4.008.673	3.043.584
5510	992.519	4.008.828	3.043.628
5511	992.564	4.009.373	3.043.477
5512	992.536	4.009.892	3.043.613
5513	992.571	4.010.336	3.043.498
5601	992.321	4.006.647	3.043.512
5602	992.316	4.007.188	3.043.466
5603	992.266	4.007.651	3.043.524
5604	992.248	4.008.000	3.043.508
5605	992.240	4.008.391	3.043.506
5606	992.306	4.008.831	3.043.463
5607	992.288	4.009.191	3.043.645
5608	992.285	4.009.522	3.043.658
5609	992.303	4.009.908	3.043.588
5610	992.332	4.010.372	3.043.493

DZ 6-1 deneyine ait ölçüm dijital fotogrametri sonuçları

Koordinatlar	Y	X	Z
Nokta	**0 dakikada alınan ölçümler**		
1	99,3061	400,6158	304,3485
2	99,3051	400,4902	304,3411
3	99,2755	400,3405	304,4932
4	99,3076	400,7479	304,3456
5	99,3098	400,8049	304,3385
6	99,3117	400,9244	304,3536
7	99,3107	401,0617	304,3595
8	99,3096	401,1886	304,3653
51	99,2279	400,3972	304,4518
52	99,2572	400,7372	304,3416
53	99,2564	400,8059	304,3475
54	99,2397	400,9363	304,4448
55	99,25	400,9887	304,4057
56	99,2602	401,0226	304,3603
57	99,2589	401,1897	304,3563
500	99,3991	400,5429	304,3104
501	98,9918	400,5425	304,3032
502	99,4006	401,0896	304,3286
503	98,9636	401,0839	304,3097
Nokta	**1 dakikada alınan ölçümler**		
1001	99,285	400,4094	304,4482
1002	99,3073	400,6173	304,3395
1003	99,3082	400,7426	304,3443
1004	99,3132	400,9126	304,3356
1005	99,3535	401,1736	304,1154
1051	99,2155	400,3558	304,5189
1052	99,2557	400,7096	304,3415
1053	99,2579	400,8066	304,3404
1054	99,2577	400,8628	304,3499
1055	99,2606	401,0152	304,3531
1056	99,2598	401,1855	304,3503
1500	99,3976	400,5428	304,3165
1501	98,9903	400,5421	304,3068
1502	99,4005	401,0889	304,3255
1503	98,9632	401,0836	304,3097
Nokta	**2 dakikada alınan ölçümler**		
2001	99,3090	400,4455	304,3123
2002	99,3072	400,6178	304,3431
2003	99,3069	400,6697	304,3506
2004	99,3070	400,7431	304,3562
2005	99,3077	400,811	304,3468
2006	99,3123	400,9055	304,3448
2007	99,3056	400,9463	304,3813
2008	99,3117	401,0386	304,3509
2051	99,2412	400,4997	304,393
2052	99,2541	400,5688	304,339
2053	99,2536	400,6494	304,3418
2054	99,2366	400,7848	304,4418
2055	99,2313	400,8192	304,4715
2056	99,2411	400,8744	304,4307
2057	99,2603	400,9146	304,3416
2058	99,2649	401,021	304,3373
2500	99,3978	400,5435	304,3113
2501	98,9907	400,5421	304,3067
2502	99,4008	401,0892	304,3269
2503	98,9637	401,0839	304,3082
Nokta	**3 dakikada alınan ölçümler**		
3001	99,3041	400,3915	304,345
3002	99,3072	400,4401	304,3405
3003	99,3062	400,5854	304,3468

3004	99,3065	400,6791	304,3459
3005	99,3063	400,7702	304,3426
3006	99,3029	400,7904	304,3685
3007	99,3092	400,8555	304,3445
3008	99,3116	400,9175	304,3475
3009	99,3137	401,0394	304,3399
3010	99,3134	401,1839	304,35
3051	99,2497	400,4044	304,3423
3052	99,2291	400,4897	304,4495
3053	99,2529	400,6106	304,3405
3054	99,2559	400,6955	304,3406
3055	99,2537	400,7823	304,3456
3056	99,2547	400,8067	304,3413
3057	99,2606	400,8799	304,3345
3058	99,2603	400,9677	304,3436
3059	99,2639	401,0461	304,3428
3060	99,2622	401,1324	304,3417
3061	99,2605	401,188	304,3491
3062	99,2605	401,2618	304,3428
3500	99,3992	400,5436	304,3055
3501	98,991	400,5421	304,3053
3502	99,4013	401,0887	304,325
3503	98,9646	401,0831	304,3064
3001	99,3041	400,3915	304,345
3002	99,3072	400,4401	304,3405
3003	99,3062	400,5854	304,3468
3004	99,3065	400,6791	304,3459
3005	99,3063	400,7702	304,3426
3006	99,3029	400,7904	304,3685
3007	99,3092	400,8555	304,3445
3008	99,3116	400,9175	304,3475
3009	99,3137	401,0394	304,3399
3010	99,3134	401,1839	304,35
3051	99,2497	400,4044	304,3423
3052	99,2291	400,4897	304,4495
3053	99,2529	400,6106	304,3405
3054	99,2559	400,6955	304,3406
3055	99,2537	400,7823	304,3456
3056	99,2547	400,8067	304,3413
3057	99,2606	400,8799	304,3345
3058	99,2603	400,9677	304,3436
3059	99,2639	401,0461	304,3428
3060	99,2622	401,1324	304,3417
3061	99,2605	401,188	304,3491
3062	99,2605	401,2618	304,3428
3500	99,3992	400,5436	304,3055
3501	98,991	400,5421	304,3053
3502	99,4013	401,0887	304,325
3503	98,9646	401,0831	304,3064
Nokta	**4 dakikada alınan ölçümler**		
4001	99,3036	400,4863	304,3467
4002	99,3076	400,6705	304,3454
4003	99,3092	400,7437	304,3405
4004	99,3065	400,7695	304,3418
4005	99,3037	400,785	304,3416
4006	99,3043	400,8053	304,3393
4007	99,3047	400,827	304,3392
4008	99,3085	400,856	304,3495
4009	99,3107	400,9012	304,3453
4010	99,3122	400,9506	304,3463
4011	99,3131	401,014	304,3458
4012	99,3115	401,0413	304,3543
4051	99,2511	400,4702	304,3449
4052	99,2516	400,5161	304,3478

4053	99,252	400,6114	304,3475
4054	99,2543	400,6651	304,3409
4055	99,2553	400,7085	304,3395
4056	99,252	400,7597	304,3518
4057	99,2528	400,8061	304,3408
4058	99,2564	400,8491	304,3368
4059	99,2601	400,9096	304,3425
4060	99,2626	400,9713	304,3364
4061	99,2639	401,0242	304,3425
4062	99,2652	401,0677	304,3356
4063	99,2642	401,1219	304,3343
	5 dakikada alınan ölçümler		
5001	99,303	400,3572	304,3445
5002	99,3052	400,4217	304,3422
5003	99,306	400,4906	304,3441
5004	99,3117	400,5656	304,3423
5005	99,3114	400,6297	304,345
5006	99,3111	400,6851	304,3405
5007	99,3088	400,7458	304,3453
5008	99,3064	400,7597	304,3426
5009	99,3034	400,7688	304,3366
5010	99,2991	400,7812	304,3391
5011	99,299	400,8027	304,342
5012	99,3039	400,8427	304,3368
5013	99,3053	400,8507	304,3467
5014	99,3101	400,8593	304,3444
5015	99,3112	400,8703	304,348
5016	99,3148	400,9265	304,3378
5017	99,3138	401,0002	304,3383
5018	99,3143	401,0408	304,345
5019	99,3156	401,1347	304,3389
5020	99,3143	401,1887	304,3481
5051	99,2505	400,357	304,3387
5052	99,2518	400,4342	304,3387
5053	99,2526	400,5023	304,3388
5054	99,2546	400,5737	304,3427
5055	99,2579	400,65	304,3422
5056	99,2568	400,7282	304,3407
5057	99,2511	400,7669	304,343
5058	99,2495	400,8063	304,3469
5059	99,2522	400,8334	304,3394
5060	99,258	400,8674	304,3398
5061	99,2621	400,9307	304,3402
5062	99,264	401,004	304,3367
5063	99,2651	401,0515	304,3413
5064	99,264	401,1203	304,34
5065	99,263	401,1711	304,339
5066	99,2611	401,2384	304,3399
5500	99,3986	400,5429	304,3093
Nokta	**6 dakikada alınan ölçümler**		
6001	99,3036	400,3842	304,3429
6002	99,307	400,4983	304,3327
6003	99,3172	400,5593	304,3417
6004	99,3193	400,5714	304,3426
6005	99,3197	400,5841	304,344
6006	99,3165	400,626	304,3489
6007	99,3114	400,7094	304,3434
6008	99,3085	400,7425	304,3383
6009	99,3075	400,7533	304,3334
6010	99,2996	400,7623	304,333
6011	99,2941	400,7707	304,3441
6012	99,2899	400,7876	304,3432
6013	99,2906	400,8143	304,3479
Nokta	**7 dakikada alınan ölçümler**		

7014	99,2973	400,8346	304,3519
7015	99,3004	400,8468	304,3456
7016	99,3139	400,862	304,3481
7017	99,3166	400,912	304,3508
7018	99,3177	400,9662	304,3371
7019	99,313	401,0406	304,3542
7020	99,3135	401,1186	304,3503
7021	99,3147	401,1873	304,3458
7022	99,3127	401,2595	304,3416
7051	99,2529	400,405	304,3336
7052	99,2507	400,4849	304,3486
7053	99,2548	400,576	304,3414
7054	99,2561	400,6188	304,338
7055	99,257	400,6281	304,358
7056	99,2576	400,6421	304,3595
7057	99,2606	400,6588	304,3467
7058	99,2587	400,696	304,338
7059	99,2551	400,7202	304,3459
7060	99,2532	400,7385	304,3327
7061	99,2489	400,7552	304,3375
7062	99,2516	400,77	304,333
7063	99,2509	400,7865	304,3489
7064	99,2512	400,8046	304,3471
7065	99,2525	400,8397	304,3469
7066	99,2586	400,8869	304,3411
7067	99,2635	400,9573	304,34
7068	99,264	400,9902	304,3351
7069	99,2646	401,0403	304,3435
7070	99,2625	401,1222	304,3464
7071	99,2634	401,1893	304,3388
7072	99,2619	401,2593	304,3378
7500	99,3978	400,5426	304,3127
7501	98,9898	400,542	304,3082
7502	99,4006	401,089	304,3279
7503	98,9638	401,0833	304,3073
Nokta	**8 dakikada alınan ölçümler**		
8001	99,3045	400,3897	304,341
8002	99,3053	400,4731	304,3448
8003	99,3051	400,5132	304,3518
8004	99,3154	400,559	304,3489
8005	99,3217	400,5736	304,3397
8006	99,3179	400,6226	304,3526
8007	99,3178	400,659	304,3467
8008	99,3118	400,7132	304,3426
8009	99,3093	400,7404	304,3429
8010	99,3058	400,751	304,3388
8011	99,2981	400,7585	304,347
8012	99,2949	400,7657	304,3362
8013	99,2909	400,7781	304,3333
8014	99,2846	400,7966	304,3438
8015	99,2821	400,8081	304,3531
8016	99,2850	400,8171	304,3426
8017	99,2929	400,8322	304,343
8018	99,2953	400,8449	304,3486
8019	99,2987	400,8515	304,3399
8020	99,3037	400,8567	304,3471
8021	99,3100	400,8605	304,3462
8022	99,3157	400,8654	304,3442
8023	99,3158	400,8811	304,355
8024	99,3176	400,9019	304,3583
8025	99,3183	400,9151	304,3557
8026	99,3204	400,9538	304,3463
8027	99,3179	400,9933	304,3539
8028	99,3168	401,043	304,3561

8029	99,3153	401,1293	304,342
8030	99,3139	401,2142	304,3419
8031	99,3135	401,254	304,3409
8051	99,2515	400,3949	304,346
8052	99,2511	400,4705	304,3451
8053	99,2555	400,5694	304,3397
8054	99,2553	400,6151	304,3412
8055	99,2571	400,6243	304,3425
8056	99,2585	400,6273	304,3574
8057	99,2573	400,6354	304,3712
8058	99,2588	400,6565	304,3637
8059	99,2573	400,7079	304,346
8060	99,2498	400,7502	304,3296
8061	99,2469	400,7689	304,3524
8062	99,2484	400,7853	304,3551
8063	99,2507	400,8051	304,3433
8064	99,2514	400,8301	304,3378
8065	99,25	400,8522	304,3538
8066	99,258	400,8729	304,3378
8067	99,2638	400,9037	304,3414
8068	99,2662	400,948	304,3479
8069	99,2682	400,9904	304,3338
8070	99,265	401,0012	304,3376
8071	99,2657	401,0264	304,338
8072	99,261	401,1238	304,3505
8073	99,2616	401,1875	304,3456
8074	99,2586	401,2637	304,3514
8500	99,3975	400,5437	304,3089
8501	98,9909	400,5419	304,3052
8502	99,4002	401,0886	304,3274
8503	98,9637	401,0833	304,3084
8070	99,265	401,0012	304,3376
8071	99,2657	401,0264	304,338
8072	99,261	401,1238	304,3505
8073	99,2616	401,1875	304,3456
8074	99,2586	401,2637	304,3514
8500	99,3975	400,5437	304,3089
8501	98,9909	400,5419	304,3052
8502	99,4002	401,0886	304,3274
8503	98,9637	401,0833	304,3084
8070	99,265	401,0012	304,3376
8071	99,2657	401,0264	304,338
8072	99,261	401,1238	304,3505
8073	99,2616	401,1875	304,3456
8074	99,2586	401,2637	304,3514
Nokta	**9 dakikada alınan ölçümler**		
9001	99,3037	400,3915	304,3437
9002	99,3042	400,4582	304,3498
9003	99,307	400,5152	304,3423
9004	99,3183	400,5579	304,3483
9005	99,3231	400,5622	304,3563
9006	99,3241	400,5729	304,3527
9007	99,3243	400,5997	304,3394
9008	99,3217	400,631	304,3432
9009	99,3207	400,6563	304,3381
9010	99,3122	400,7003	304,3441
9011	99,3098	400,7322	304,3355
9012	99,3024	400,7484	304,3552
9013	99,2905	400,7614	304,3444
9014	99,2814	400,7713	304,3501
9015	99,2799	400,7841	304,3404
9016	99,2779	400,7955	304,3389
9017	99,2733	400,8045	304,3504
9018	99,2729	400,8116	304,3447

9019	99,2737	400,8183	304,3523
9020	99,2828	400,8359	304,3464
9021	99,2891	400,8506	304,3529
9022	99,2963	400,8571	304,3483
9023	99,3028	400,8612	304,3474
9024	99,3103	400,8655	304,3487
9025	99,314	400,8708	304,3473
9026	99,3202	400,8986	304,3394
9027	99,324	400,9367	304,343
9028	99,3238	401,0024	304,3439
9029	99,3257	401,022	304,3399
9030	99,3224	401,0413	304,357
9031	99,3189	401,0477	304,3501
9032	99,3154	401,0554	304,3578
9033	99,316	401,0687	304,3474
9034	99,3148	401,1266	304,3518
9035	99,3124	401,1884	304,3574
9036	99,3128	401,259	304,3456
9051	99,2504	400,4011	304,3448
9052	99,2502	400,4793	304,3484
9053	99,2543	400,5766	304,3402
9054	99,2538	400,6041	304,3451
9055	99,2526	400,6135	304,3535
9056	99,2597	400,624	304,3522
9057	99,2637	400,6316	304,3518
9058	99,2623	400,6581	304,3538
9059	99,2606	400,6866	304,3488
9060	99,2577	400,7141	304,3356
9061	99,251	400,7369	304,333
9062	99,2454	400,7504	304,3367
9063	99,2443	400,765	304,3539
9064	99,2472	400,7766	304,3563
9065	99,2507	400,7864	304,348
9066	99,2511	400,8055	304,3451
9067	99,2498	400,8323	304,3475
9068	99,2478	400,8434	304,3467
9069	99,2481	400,8551	304,3475
9070	99,2517	400,871	304,3511
9071	99,2622	400,8986	304,344
9072	99,2691	400,9548	304,351
9073	99,2723	400,9845	304,3427
9074	99,2666	400,9899	304,3466
9075	99,2644	400,9959	304,345
9076	99,2646	401,049	304,3472
9077	99,2627	401,1391	304,3464
9078	99,2599	401,1901	304,3561
Nokta	**10 dakikada alınan ölçümler**		
10001	99,2846	400,3469	304,4628
10002	99,2814	400,4328	304,4972
10003	99,3047	400,4891	304,3605
10004	99,2997	400,5076	304,405
10005	99,3261	400,6173	304,3577
10006	99,3301	400,5991	304,3431
10007	99,3201	400,6679	304,3442
10008	99,3151	400,7217	304,3257
10009	99,3101	400,7361	304,3415
10010	99,3042	400,7481	304,3531
10011	99,2982	400,7536	304,3452
10012	99,2843	400,7653	304,3422
10013	99,2698	400,7763	304,3703
10014	99,2722	400,7924	304,3369
10015	99,2675	400,8008	304,3463
10016	99,2645	400,8081	304,3486
10017	99,2628	400,8167	304,3589

10018	99,2666	400,8236	304,3565
10019	99,2761	400,8419	304,3583
10020	99,2871	400,8564	304,3562
10021	99,3028	400,8637	304,3414
10022	99,3117	400,8696	304,3527
10023	99,3136	400,8815	304,3613
10024	99,3199	400,9067	304,3465
10025	99,3236	400,9285	304,3543
10026	99,3268	400,964	304,3501
10027	99,3286	401	304,3477
10028	99,3286	401,0389	304,3544
10029	99,323	401,0469	304,3531
10030	99,3164	401,0531	304,3613
10031	99,3136	401,0592	304,3705
10032	99,3142	401,0667	304,3612
10033	99,3229	401,1288	304,3172
10034	99,315	401,1863	304,3494
10051	99,2383	400,3597	304,412
10052	99,2498	400,4045	304,3567
10053	99,2553	400,62	304,3531
10054	99,2537	400,6058	304,3536
10055	99,2584	400,5757	304,3311
10056	99,26	400,6256	304,3662
10057	99,2658	400,629	304,368
10058	99,2649	400,64	304,3749
10059	99,2636	400,6832	304,3467
10060	99,2577	400,71	304,357
10061	99,2466	400,7418	304,3508
10062	99,247	400,7605	304,3458
10063	99,2483	400,7699	304,3488
10064	99,2486	400,8003	304,3438
10065	99,2513	400,8301	304,3358
10066	99,2449	400,8624	304,3523
10067	99,2566	400,8852	304,3434
10068	99,2627	400,9066	304,3516
10069	99,2675	400,944	304,3677
10070	99,2755	400,9852	304,3449
10071	99,2749	400,9714	304,3496
10072	99,2701	400,9595	304,3686
10073	99,2648	400,9979	304,348
10074	99,2651	401,0148	304,3418
10075	99,2587	401,1943	304,3693
10500	99,3966	400,5421	304,323
10501	98,989	400,5431	304,3233
10502	99,4012	401,0891	304,3215
10503	98,9638	401,0848	304,3114

DZ 4-3 deneyine ait ölçüm dijital fotogrametri sonuçları

Koordinatlar	Y	X	Z
	0 dakikada alınan ölçümler		
1	992.678	4.006.507	3.043.502
1	992.748	4.006.212	3.043.811
2	992.731	4.007.135	3.043.811
3	992.758	4.008.300	3.043.359
4	992.781	4.010.205	3.043.312
501	992.492	4.006.220	3.043.612
502	992.526	4.008.286	3.043.422
503	992.514	4.010.206	3.043.322
601	992.254	4.006.194	3.043.290
602	992.240	4.008.259	3.043.433
603	992.219	4.010.171	3.043.408
Nokta	**1 dakikada alınan ölçümler**		
101	992.751	4.006.292	3.043.409
102	992.737	4.007.715	3.043.620
103	992.659	4.008.754	3.043.424
104	992.740	4.009.504	3.043.655
105	992.755	4.010.267	3.043.643
1501	992.515	4.006.268	3.043.417
1502	992.468	4.007.704	3.043.570
1503	992.417	4.008.765	3.043.414
1504	992.465	4.009.524	3.043.615
1505	992.493	4.010.278	3.043.653
1601	992.255	4.006.279	3.043.309
1602	992.229	4.007.722	3.043.434
1603	992.195	4.008.721	3.043.563
1604	992.187	4.009.536	3.043.573
1605	992.210	4.010.295	3.043.436
Nokta	**2 dakikada alınan ölçümler**		
201	992.753	4.006.394	3.043.559
202	992.804	4.007.192	3.043.377
203	992.676	4.007.812	3.043.522
204	992.652	4.008.135	3.043.620
205	992.776	4.008.824	3.043.225
206	992.816	4.009.314	3.043.225
207	992.846	4.009.784	3.043.225
208	992.793	4.010.186	3.043.305
2501	992.504	4.006.398	3.043.554
2502	992.489	4.007.127	3.043.630
2503	992.401	4.008.114	3.043.570
2504	992.438	4.008.659	3.043.677
2505	992.540	4.009.356	3.043.294
2506	992.503	4.010.185	3.043.373
2601	992.235	4.006.388	3.043.411
2602	992.214	4.007.132	3.043.690
2603	992.185	4.008.123	3.043.565
2604	992.204	4.008.700	3.043.519
2605	992.269	4.009.412	3.043.244
2606	992.226	4.010.237	3.043.419
Nokta	**3 dakikada alınan ölçümler**		
301	992.763	4.006.017	3.043.427
302	992.747	4.006.464	3.043.619
303	992.783	4.006.802	3.043.519
304	992.772	4.007.318	3.043.541
305	992.782	4.007.751	3.043.344
306	992.731	4.007.954	3.043.445
307	992.626	4.008.103	3.043.523
308	992.705	4.008.143	3.043.660
309	992.726	4.008.195	3.043.555
310	992.728	4.008.307	3.043.569

311	992.752	4.008.404	3.043.674
312	992.795	4.009.006	3.043.489
313	992.793	4.010.127	3.043.493
3501	992.518	4.006.188	3.043.261
3502	992.504	4.006.509	3.043.537
3503	992.542	4.006.824	3.043.555
3504	992.525	4.007.334	3.043.539
3505	992.513	4.007.778	3.043.413
3506	992.431	4.008.076	3.043.306
3507	992.517	4.008.576	3.043.306
3508	992.551	4.009.033	3.043.541
3509	992.505	4.010.129	3.043.444
3601	992.230	4.006.196	3.043.507
3602	992.246	4.006.889	3.043.659
3603	992.272	4.007.868	3.043.220
3604	992.188	4.008.306	3.043.454
3605	992.222	4.008.638	3.043.404
3606	992.254	4.009.071	3.043.630
3607	992.208	4.010.187	3.043.468
Nokta	**4 dakikada alınan ölçümler**		
401	992.756	4.006.035	3.043.545
402	992.787	4.006.504	3.043.571
403	992.798	4.006.926	3.043.656
404	992.781	4.007.420	3.043.464
405	992.753	4.007.687	3.043.505
406	992.657	4.007.881	3.043.576
407	992.580	4.008.070	3.043.700
408	992.653	4.008.281	3.043.599
409	992.766	4.008.368	3.043.442
410	992.813	4.008.729	3.043.321
411	992.805	4.009.261	3.043.442
412	992.779	4.010.141	3.043.442
4501	992.499	4.006.029	3.043.531
4502	992.509	4.006.503	3.043.663
4503	992.523	4.006.932	3.043.648
4504	992.525	4.007.381	3.043.526
4505	992.500	4.007.705	3.043.467
4506	992.486	4.007.892	3.043.619
4507	992.362	4.008.099	3.043.724
4508	992.411	4.008.326	3.043.507
4509	992.424	4.008.477	3.043.570
4510	992.545	4.008.752	3.043.344
4511	992.563	4.009.234	3.043.633
4512	992.522	4.010.134	3.043.633
4601	992.221	4.005.999	3.043.691
4602	992.248	4.006.548	3.043.584
4603	992.252	4.007.424	3.043.579
4604	992.185	4.008.241	3.043.544
4605	992.234	4.009.055	3.043.447
4606	992.249	4.009.341	3.043.544
4607	992.214	4.010.455	3.043.447
Nokta	**5 dakikada alınan ölçümler**		
501	992.745	4.005.731	3.043.775
502	992.765	4.006.244	3.043.583
503	992.779	4.006.314	3.043.657
504	992.800	4.006.978	3.043.486
505	992.772	4.007.417	3.043.692
506	992.752	4.007.678	3.043.563
507	992.668	4.007.827	3.043.641
508	992.570	4.007.967	3.043.683
509	992.591	4.008.143	3.043.634
510	992.658	4.008.300	3.043.602
511	992.784	4.008.431	3.043.412
512	992.790	4.008.587	3.043.593

513	992.812	4.009.396	3.043.493
514	992.786	4.009.796	3.043.493
515	992.779	4.010.396	3.043.481
5501	992.486	4.005.759	3.043.765
5502	992.501	4.006.262	3.043.512
5503	992.531	4.006.568	3.043.558
5504	992.566	4.006.995	3.043.448
5505	992.506	4.007.388	3.043.694
5506	992.478	4.007.677	3.043.519
5507	992.419	4.007.853	3.043.547
5508	992.379	4.007.994	3.043.645
5509	992.384	4.008.187	3.043.515
5510	992.417	4.008.374	3.043.559
5511	992.492	4.008.541	3.043.351
5512	992.524	4.008.820	3.043.501
5513	992.538	4.009.652	3.043.494
5514	992.498	4.010.352	3.043.494

DZ 4-4 deneyine ait ölçüm dijital fotogrametri sonuçları

Koordinatlar	Y	X	Z
Nokta	**0 dakikada alınan ölçümler**		
1	992.787	4.006.234	3.043.555
2	992.825	4.008.461	3.043.395
3	992.837	4.009.576	3.043.422
4	992.810	4.010.421	3.043.586
501	992.514	4.006.256	3.043.425
502	992.533	4.008.452	3.043.379
503	992.551	4.009.534	3.043.596
504	992.515	4.010.423	3.043.535
601	992.200	4.006.260	3.043.417
602	992.232	4.008.408	3.043.275
603	992.215	4.009.574	3.043.513
604	992.198	4.010.423	3.043.637
Nokta	**1 dakikada alınan ölçümler**		
101	992.778	4.006.124	3.043.534
102	992.769	4.007.081	3.043.619
103	992.728	4.008.348	3.043.728
104	992.806	4.010.365	3.043.432
1501	992.526	4.006.143	3.043.353
1502	992.468	4.007.108	3.043.577
1503	992.505	4.008.413	3.043.409
1504	992.488	4.010.388	3.043.385
1601	992.260	4.006.166	3.043.351
1602	992.222	4.007.120	3.043.441
1603	992.191	4.009.008	3.043.470
1604	992.181	4.010.431	3.043.524
Nokta	**2 dakikada alınan ölçümler**		
201	992.779	4.006.478	3.043.485
202	992.855	4.007.058	3.043.231
203	992.864	4.007.619	3.043.283
204	992.817	4.007.885	3.043.418
205	992.729	4.008.114	3.043.414
206	992.813	4.008.394	3.043.534
207	992.886	4.008.742	3.043.196
208	992.844	4.010.462	3.043.330
2501	992.521	4.006.418	3.043.400
2502	992.561	4.007.033	3.043.249
2503	992.557	4.007.607	3.043.267
2504	992.507	4.007.923	3.043.418
2505	992.459	4.008.153	3.043.372
2506	992.519	4.008.453	3.043.421
2507	992.546	4.008.769	3.043.345
2508	992.500	4.010.509	3.043.397
2601	992.260	4.006.416	3.043.343
2602	992.262	4.006.997	3.043.304
2603	992.217	4.007.652	3.043.434
2604	992.222	4.007.983	3.043.344
2605	992.184	4.008.224	3.043.540
2606	992.239	4.008.541	3.043.311
2607	992.255	4.008.860	3.043.315
2608	992.227	4.010.530	3.043.429
Nokta	**3 dakikada alınan ölçümler**		
301	992.815	4.006.286	3.043.362
302	992.884	4.007.224	3.043.294
303	992.856	4.007.485	3.043.558
304	992.799	4.007.855	3.043.370
305	992.748	4.008.084	3.043.488
306	992.785	4.008.283	3.043.466
307	992.834	4.008.551	3.043.419
308	992.892	4.008.925	3.043.553
309	992.814	4.010.246	3.043.642

3501	992.556	4.006.509	3.043.396
3502	992.526	4.006.774	3.043.647
3503	992.587	4.007.230	3.043.285
3504	992.522	4.007.502	3.043.556
3505	992.503	4.007.864	3.043.400
3506	992.505	4.008.084	3.043.430
3507	992.414	4.008.306	3.043.620
3508	992.505	4.008.557	3.043.567
3509	992.558	4.009.001	3.043.403
3510	992.526	4.010.362	3.043.342
3601	992.226	4.006.532	3.043.399
3602	992.261	4.007.306	3.043.264
3603	992.219	4.007.883	3.043.312
3604	992.162	4.008.444	3.043.408
3606	992.185	4.009.038	3.043.478
3607	992.207	4.010.381	3.043.441
301	992.815	4.006.286	3.043.362
302	992.884	4.007.224	3.043.294
303	992.856	4.007.485	3.043.558
304	992.799	4.007.855	3.043.370
305	992.748	4.008.084	3.043.488
306	992.785	4.008.283	3.043.466
307	992.834	4.008.551	3.043.419
308	992.892	4.008.925	3.043.553
309	992.814	4.010.246	3.043.642
3501	992.556	4.006.509	3.043.396
3502	992.526	4.006.774	3.043.647
3503	992.587	4.007.230	3.043.285
3504	992.522	4.007.502	3.043.556
3505	992.503	4.007.864	3.043.400
3506	992.505	4.008.084	3.043.430
3507	992.414	4.008.306	3.043.620
3508	992.505	4.008.557	3.043.567
3509	992.558	4.009.001	3.043.403
3510	992.526	4.010.362	3.043.342
3601	992.226	4.006.532	3.043.399
3602	992.261	4.007.306	3.043.264
3603	992.219	4.007.883	3.043.312
3604	992.162	4.008.444	3.043.408
3606	992.185	4.009.038	3.043.478
3607	992.207	4.010.381	3.043.441
Nokta	**4 dakikada alınan ölçümler**		
402	992.796	4.006.578	3.043.519
403	992.846	4.007.087	3.043.417
404	992.853	4.007.359	3.043.502
405	992.807	4.007.686	3.043.584
406	992.736	4.007.942	3.043.494
407	992.665	4.008.108	3.043.653
408	992.788	4.008.392	3.043.506
409	992.787	4.008.622	3.043.708
410	992.869	4.009.049	3.043.378
411	992.845	4.009.522	3.043.535
412	992.805	4.010.313	3.043.578
4501	992.485	4.006.137	3.043.626
4502	992.497	4.006.571	3.043.615
4503	992.522	4.006.981	3.043.556
4504	992.560	4.007.203	3.043.409
4505	992.558	4.007.437	3.043.437
4506	992.483	4.007.735	3.043.509
4507	992.445	4.007.956	3.043.585
4508	992.411	4.008.137	3.043.601
4509	992.492	4.008.437	3.043.485
4510	992.474	4.008.711	3.043.600
4511	992.556	4.009.143	3.043.387

4512	992.539	4.010.449	3.043.250
4609	992.270	4.010.392	3.043.299
4610	992.183	4.009.000	3.043.460
4611	992.194	4.007.543	3.043.469
4612	992.240	4.006.499	3.043.330
Nokta	**5 dakikada alınan ölçümler**		
501	992.791	4.005.892	3.043.302
502	992.769	4.006.230	3.043.584
503	992.834	4.006.579	3.043.315
504	992.928	4.006.757	3.043.343
505	992.928	4.007.000	3.043.446
506	992.870	4.007.366	3.043.513
507	992.786	4.007.674	3.043.551
508	992.699	4.007.884	3.043.549
509	992.615	4.008.055	3.043.692
510	992.710	4.008.297	3.043.675
511	992.875	4.008.598	3.043.312
512	992.919	4.008.857	3.043.375
513	992.843	4.009.448	3.043.284
514	992.846	4.010.068	3.043.465
5501	992.535	4.005.908	3.043.318
5502	992.472	4.006.241	3.043.623
5503	992.546	4.006.635	3.043.286
5504	992.552	4.006.823	3.043.285
5505	992.562	4.007.057	3.043.382
5506	992.514	4.007.369	3.043.631
5507	992.477	4.007.660	3.043.657
5508	992.443	4.007.923	3.043.505
5509	992.378	4.008.124	3.043.573
5510	992.442	4.008.377	3.043.642
5511	992.544	4.008.668	3.043.281
5512	992.539	4.008.939	3.043.351
5513	992.598	4.009.447	3.043.347
5514	992.526	4.010.119	3.043.499
5601	992.190	4.006.292	3.043.377
5602	992.239	4.007.149	3.043.491
5603	992.257	4.007.563	3.043.399
5604	992.218	4.007.893	3.043.395
5605	992.173	4.008.183	3.043.410
5610	992.158	4.008.426	3.043.521
5611	992.238	4.008.748	3.043.250
5612	992.278	4.009.036	3.043.437
5613	992.234	4.009.508	3.043.305
5614	992.200	4.010.192	3.043.648

T-DN 4-2 deneyine ait ölçüm dijital fotogrametri sonuçları

Koordinatlar	Y	X	Z
Nokta	**0 dakikada alınan ölçümler**		
1	992.837	4.006.634	3.043.750
2	992.882	4.007.943	3.043.564
3	992.866	4.008.505	3.043.561
4	992.891	4.009.614	3.043.575
500	992.434	4.006.514	3.043.538
501	992.425	4.007.160	3.043.538
502	992.450	4.007.929	3.043.418
503	992.505	4.008.703	3.043.311
504	992.484	4.009.678	3.043.384
505	992.592	4.010.235	3.043.021
600	992.659	4.006.697	3.043.549
601	992.665	4.007.668	3.043.662
602	992.663	4.008.219	3.043.611
603	992.694	4.009.160	3.043.545
604	992.702	4.009.943	3.043.534
Nokta	**1 dakikada alınan ölçümler**		
101	992.825	4.006.226	3.043.751
102	992.890	4.008.003	3.043.503
103	992.828	4.008.635	3.043.759
104	992.923	4.009.785	3.043.487
105	992.942	4.010.225	3.043.452
1500	992.608	4.006.237	3.043.714
1501	992.689	4.008.017	3.043.507
1502	992.650	4.008.477	3.043.602
1503	992.794	4.009.373	3.043.211
1504	992.763	4.010.456	3.043.333
1600	992.377	4.006.172	3.043.708
1601	992.415	4.007.731	3.043.578
1602	992.385	4.008.100	3.043.581
1603	992.413	4.008.306	3.043.577
1604	992.549	4.009.405	3.043.135
1605	992.509	4.009.685	3.043.337
1606	992.502	4.010.298	3.043.366
Nokta	**2 dakikada alınan ölçümler**		
201	992.632	4.006.742	3.044.644
202	992.756	4.007.806	3.044.098
203	992.721	4.008.059	3.044.044
204	992.769	4.008.344	3.043.821
205	992.874	4.008.980	3.043.707
206	992.906	4.009.667	3.043.594
2500	992.671	4.006.715	3.043.567
2501	992.691	4.007.706	3.043.559
2502	992.596	4.007.878	3.043.852
2503	992.586	4.008.358	3.043.787
2504	992.648	4.008.967	3.043.746
2505	992.723	4.010.044	3.043.499
2600	992.386	4.006.669	3.043.694
2601	992.413	4.007.667	3.043.621
2602	992.357	4.008.029	3.043.687
2603	992.386	4.008.328	3.043.562
2604	992.414	4.009.022	3.043.666
2605	992.433	4.009.648	3.043.674
2606	992.505	4.010.306	3.043.434
Nokta	**3 dakikada alınan ölçümler**		
301	992.902	4.006.673	3.043.507
302	992.915	4.007.400	3.043.407
303	992.844	4.007.836	3.043.660
304	992.778	4.008.014	3.043.753
305	992.798	4.008.302	3.043.630
306	992.779	4.008.725	3.043.932
307	992.887	4.009.086	3.043.683
308	992.863	4.009.769	3.043.829
3500	992.687	4.006.673	3.043.475

3501	992.716	4.007.391	3.043.405
3502	992.674	4.007.822	3.043.468
3503	992.591	4.007.981	3.043.665
3504	992.628	4.008.278	3.043.505
3505	992.737	4.008.675	3.043.334
3506	992.683	4.009.103	3.043.680
3507	992.723	4.010.027	3.043.540
3508	992.480	4.006.878	3.043.390
3509	992.436	4.007.384	3.043.567
3510	992.442	4.007.761	3.043.477
3511	992.435	4.008.068	3.043.327
3512	992.427	4.008.390	3.043.326
3513	992.462	4.008.662	3.043.363
3514	992.461	4.009.082	3.043.486
3515	992.466	4.009.791	3.043.494
Nokta	**4 dakikada alınan ölçümler**		
401	992.771	4.006.248	3.044.053
402	992.880	4.006.756	3.043.795
403	992.884	4.007.478	3.043.658
404	992.868	4.007.728	3.043.684
405	992.819	4.007.891	3.043.681
406	992.815	4.008.120	3.043.435
407	992.862	4.008.371	3.043.327
408	992.965	4.008.645	3.043.116
409	992.998	4.009.006	3.043.121
410	993.069	4.009.644	3.042.837
4500	992.497	4.006.751	3.043.333
4501	992.454	4.007.341	3.043.575
4502	992.402	4.007.559	3.043.674
4503	992.353	4.007.768	3.043.699
4504	992.275	4.008.003	3.043.853
4505	992.408	4.008.499	3.043.532
4506	992.577	4.009.330	3.043.037
4507	992.617	4.010.049	3.042.988
4600	992.732	4.006.696	3.043.381
4601	992.696	4.007.480	3.043.626
4602	992.673	4.007.707	3.043.589
4603	992.637	4.007.879	3.043.555
4604	992.596	4.008.043	3.043.586
4605	992.667	4.008.412	3.043.422
4606	992.789	4.008.740	3.043.193
4607	992.776	4.009.285	3.043.299
4608	992.880	4.009.994	3.042.877
Nokta	**5 dakikada alınan ölçümler**		
501	992.874	4.005.938	3.043.491
502	992.892	4.006.279	3.043.491
503	992.988	4.006.453	3.043.369
504	992.956	4.006.962	3.043.462
505	992.977	4.007.570	3.043.359
506	992.877	4.007.704	3.043.553
507	992.787	4.008.024	3.043.452
508	992.746	4.008.255	3.043.533
509	992.859	4.008.521	3.043.486
510	992.943	4.008.793	3.043.399
511	992.888	4.009.646	3.043.601
512	992.909	4.010.322	3.043.684
5500	992.681	4.006.191	3.043.522
5501	992.676	4.006.425	3.043.584
5502	992.741	4.006.597	3.043.553
5503	992.761	4.006.848	3.043.301
5504	992.750	4.007.241	3.043.468
5505	992.728	4.007.560	3.043.462
5506	992.612	4.007.770	3.043.604
5507	992.565	4.008.011	3.043.504
5508	992.613	4.008.260	3.043.528
5509	992.675	4.008.537	3.043.476
5510	992.751	4.008.835	3.043.363
5511	992.695	4.009.658	3.043.621

5512	992.679	4.010.327	3.043.672
5600	992.408	4.006.141	3.043.582
5601	992.434	4.006.653	3.043.568
5602	992.536	4.006.886	3.043.401
5603	992.493	4.007.299	3.043.450
5604	992.418	4.007.491	3.043.649
5605	992.309	4.007.761	3.043.744
5606	992.393	4.008.040	3.043.506
5607	992.343	4.008.329	3.043.624
5608	992.467	4.008.917	3.043.416
5609	992.425	4.009.591	3.043.626
5610	992.440	4.010.316	3.043.628

T-DN 4-3 deneyine ait ölçüm dijital fotogrametri sonuçları

Nokta	**0 dakikada alınan ölçümler**		
1	992.948	4.005.888	3.044.102
2	993.115	4.008.473	3.043.317
500	992.677	4.005.818	3.044.301
501	992.743	4.009.682	3.043.962
600	992.391	4.005.886	3.044.375
601	992.389	4.009.586	3.044.420
Nokta	**1 dakikada alınan ölçümler**		
101	993.313	4.006.172	3.042.515
102	993.330	4.006.315	3.042.464
103	993.314	4.007.287	3.042.499
104	993.331	4.007.855	3.042.483
105	993.265	4.008.294	3.042.642
106	993.305	4.009.050	3.042.642
107	993.311	4.010.069	3.042.640
1500	993.120	4.006.259	3.042.473
1501	993.102	4.007.291	3.042.529
1502	993.099	4.007.826	3.042.553
1503	993.096	4.009.056	3.042.621
1504	993.097	4.010.062	3.042.642
1600	992.799	4.006.128	3.042.727
1601	992.881	4.007.286	3.042.526
1602	992.917	4.007.888	3.042.364
1603	992.869	4.009.090	3.042.574
1604	992.846	4.010.104	3.042.635
Nokta	**2 dakikada alınan ölçümler**		
201	993.149	4.006.246	3.043.293
202	993.080	4.008.139	3.043.351
203	993.106	4.007.269	3.043.403
204	993.147	4.007.887	3.043.293
205	993.136	4.008.460	3.043.291
206	993.127	4.010.068	3.043.301
2500	992.943	4.006.248	3.043.239
2501	992.896	4.007.263	3.043.404
2502	992.907	4.007.891	3.043.238
2503	992.873	4.008.149	3.043.414
2504	992.888	4.008.470	3.043.315
2505	992.935	4.010.061	3.043.248
2600	992.693	4.006.240	3.043.232
2601	992.663	4.007.276	3.043.353
2602	992.680	4.007.888	3.043.269
2603	992.628	4.008.174	3.043.393
2604	992.658	4.008.498	3.043.324
2605	992.674	4.010.077	3.043.326
Nokta	**3 dakikada alınan ölçümler**		
301	993.106	4.006.081	3.043.527
302	993.150	4.007.277	3.043.348
303	993.150	4.007.714	3.043.390
304	993.017	4.007.921	3.043.522
305	993.124	4.009.867	3.043.282
3501	992.875	4.006.133	3.043.463
3502	992.925	4.007.636	3.043.316
3503	992.896	4.007.836	3.043.338
3504	992.857	4.008.179	3.043.421
3505	992.921	4.008.502	3.043.353
3506	992.911	4.009.845	3.043.335
3600	992.680	4.006.181	3.043.213
3601	992.652	4.007.643	3.043.345
3602	992.686	4.008.419	3.043.199
3603	992.666	4.009.863	3.043.227
Nokta	**4 dakikada alınan ölçümler**		
401	993.136	4.006.226	3.043.282

402	993.122	4.006.647	3.043.332
403	993.168	4.006.893	3.043.280
404	993.183	4.007.129	3.043.363
405	993.169	4.007.407	3.043.419
406	992.982	4.007.966	3.043.411
407	993.184	4.007.805	3.043.251
408	992.969	4.008.326	3.043.583
409	993.088	4.008.547	3.043.644
410	993.142	4.010.200	3.043.386
4500	992.938	4.006.238	3.043.237
4501	992.917	4.006.660	3.043.254
4502	992.914	4.006.905	3.043.346
4503	992.944	4.007.181	3.043.325
4504	992.934	4.007.441	3.043.404
4505	992.927	4.007.802	3.043.247
4506	992.812	4.008.030	3.043.410
4507	992.815	4.008.346	3.043.512
4508	992.863	4.008.590	3.043.565
4509	992.936	4.010.216	3.043.286
4600	992.690	4.006.230	3.043.202
4601	992.714	4.006.681	3.043.210
4602	992.617	4.006.929	3.043.442
4603	992.661	4.007.216	3.043.332
4604	992.689	4.007.493	3.043.302
4605	992.684	4.007.863	3.043.148
4606	992.647	4.008.107	3.043.266
4607	992.565	4.008.376	3.043.548
4608	992.595	4.008.678	3.043.557
4609	992.636	4.010.277	3.043.447
Nokta	**5 dakikada alınan ölçümler**		
500	993.123	4.006.148	3.043.278
501	993.157	4.006.481	3.043.270
502	993.151	4.006.834	3.043.345
503	993.216	4.007.197	3.043.299
504	993.158	4.007.616	3.043.453
505	993.092	4.007.872	3.043.370
506	992.980	4.007.943	3.043.350
507	992.946	4.008.161	3.043.483
508	992.985	4.008.338	3.043.473
509	993.080	4.008.535	3.043.610
510	993.084	4.010.397	3.043.471
5500	992.896	4.006.158	3.043.292
5501	992.943	4.006.719	3.043.218
5502	992.955	4.007.230	3.043.284
5503	992.920	4.007.603	3.043.509
5504	992.907	4.007.803	3.043.318
5505	992.811	4.007.953	3.043.404
5506	992.774	4.008.091	3.043.362
5507	992.785	4.008.216	3.043.465
5508	992.834	4.008.384	3.043.523
5509	992.858	4.008.588	3.043.509
5510	992.883	4.010.391	3.043.342
5600	992.670	4.006.151	3.043.290
5601	992.682	4.006.704	3.043.258
5602	992.715	4.007.255	3.043.206
5603	992.628	4.007.606	3.043.478
5604	992.652	4.007.837	3.043.282
5605	992.628	4.007.984	3.043.332
5606	992.606	4.008.112	3.043.377
5607	992.610	4.008.267	3.043.383
5608	992.596	4.008.434	3.043.493
5609	992.604	4.008.657	3.043.581
5610	992.681	4.010.402	3.043.307