

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BAZALT GEOGRİDİN
ZEMİN İYİLEŞTİRİLMESİNDE KULLANIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mert TOZ

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : GEOTEKNİK

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Sedat SERT

Temmuz 2020

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BAZALT GEOGRİDİN
ZEMİN İYİLEŞTİRİLMESİNDE KULLANIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mert TOZ

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : GEOTEKNİK

Bu tez 22.07.2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

**Doç. Dr.
Sedat SERT
Jüri Başkanı**

**Doç. Dr.
Aşkın ÖZOCAK
Üye**

**Doç. Dr.
Nazile URAL
Üye**

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Mert TOZ
22.07.2020

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim boyunca bilgi birikimleri ve tecrübelerinden faydalandığım, çalışmamın her aşamasında destek veren, bana yol gösteren çok değerli danışman hocam Doç. Dr. Sedat SERT'e teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans öğrenimim süresince bilgi birikimlerinden faydalandığım, Sakarya Üniversitesi öğretim üyeleri Doç. Dr. Ertan BOL ve Doç. Dr. Aşkın ÖZOCAK'a ve laboratuvar çalışmalarında bilgi ve tecrübelerini bana aktarıp her türlü desteği sağlayan çok değerli Tekniker Recep EYÜPLER ve Tekniker Sebahattin İŞ'e teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca laboratuvar çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen çok değerli arkadaşlarım Fatih KORKMAZ ve Safa DEMİRBAŞ'a şükranlarımı sunarım

Hayatım boyunca desteklerini esirgemeyen, her zaman yanımda olan, iyi bir birey olarak yetişmem için çabalayan sevgili annem Aynur TOZ'a, aileme ve hayatıma anlam katan Elif GEÇGİN'e teşekkürlerimi sunarım.

Bazalt geogrid malzemesini bedelsiz olarak tarafımıza sağlayan Spinteks Tekstil İnşaat Sanayi ve Ticaret A.Ş.'ne teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ	xiii
ÖZET	xiv
SUMMARY	xv
 BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
 BÖLÜM 2.	
GEOSENTETİK MALZEMELER VE ZEMİN İYİLEŞTİRİLMESİNDE KULLANIM ÖRNEKLERİ	4
2.1. Geosentetik Malzemelerin Türleri ve İşlevleri	5
2.2. Geosentetik Malzemelerin Zemin İyileştirilmesinde Kullanımı	6
2.3. Geogridler	9
2.3.1. Üretim şekillerine göre geogridler	10
2.3.2. Geometrilere göre geogridler	11
2.3.2.1. Tek eksenli geogrid	11
2.3.2.2. Çift eksenli geogrid	12
2.3.3. Geogridlerin fonksiyonları	12
2.3.4. Geogridlerin zemin iyileştirilmesinde kullanımı	13
 BÖLÜM 3.	
BAZALT VE ZEMİN İYİLEŞTİRİLMESİNDE KULLANIMI	23

3.1. Bazalt	23
3.2. Bazalt Fiber	24
3.2.1. Bazalt fiberin üretim aşamaları	24
3.3. Bazalt Geogrid	25
3.4. Bazalt Geogridin Mikro Yapısı	25
3.5. Bazalt Geogridin İnşaat İşlerinde Kullanımı	26
3.6. Bazaltın Zemin İyileştirilmesinde Kullanımı	27
 BÖLÜM 4.	 32
MALZEMELER VE YÖNTEM	
4.1. Malzemeler	32
4.1.1. Silt zemin	32
4.1.2. Kil zemin	34
4.1.3. Bazalt geogrid	35
4.2. Yöntem	37
4.2.1. Fiziksel deneyler	38
4.2.1.1. Kıvam limitleri	38
4.2.1.2. Özgül ağırlık deneyleri	42
4.2.1.3. Elek analizi ve hidrometre deneyleri	43
4.3. Standart Kompaksiyon Deneyleri	46
4.3.1. Kompaksiyon deneyinin hesapları	48
4.4. Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR) Deneyleri	49
4.4.1. TS 1900-2'ye göre taşıma oranının tayini	49
4.4.1.1. Deneyde kullanılan malzemeler	49
4.4.1.2. Deney numunesinin hazırlanması	50
4.4.1.3. Sıkıştırma yöntemleri	50
4.4.1.4. Numuneleri suda bekletme	52
4.4.1.5. Deneyin yapılışı	52
4.4.2. Silt ve kil zeminde CBR deneyleri	52
4.4.3. Hesaplamalar	55

BÖLÜM 5.	57
ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	57
5.1. Sıkıştırılan Zeminlerin Fiziksel Özellikleri	57
5.1.1. Silt zeminin fiziksel özellikleri	58
5.1.2. Kil zeminin fiziksel özellikleri	59
5.2. Silt Zemin Üzerinde Yapılan CBR Deney Sonuçları	61
5.2.1. Geogrid katkısız numune	60
5.2.2. Geogridin 0,2 H tabakasında bulunması durumu	62
5.2.3. Geogridin 0,4 H tabakasında bulunması durumu	63
5.2.4. Geogridin 0,6 H tabakasında bulunması durumu	64
5.2.5. Geogridin 0,8 H tabakasında bulunması durumu	65
5.2.6. Geogridin 0,2-0,4 H tabakalarında bulunması durumu	66
5.2.7. Geogridin 0,2-0,6 H tabakalarında bulunması durumu	67
5.2.8. Geogridin 0,2-0,8 H tabakalarında bulunması durumu	68
5.2.9. Geogridin 0,4-0,6 H tabakalarında bulunması durumu	69
5.2.10. Geogridin 0,4-0,8 H tabakalarında bulunması durumu	70
5.2.11. Geogridin 0,6-0,8 H tabakalarında bulunması durumu	71
5.3. Kil Zemin Üzerinde Yapılan CBR Deney Sonuçları	72
5.3.1. Geogrid katkısız numune	72
5.3.2. Geogridin 0,2 H tabakasında bulunması durumu	73
5.3.3. Geogridin 0,4 H tabakasında bulunması durumu	74
5.3.4. Geogridin 0,6 H tabakasında bulunması durumu	75
5.3.5. Geogridin 0,8 H tabakasında bulunması durumu	76
5.3.6. Geogridin 0,2-0,4 H tabakalarında bulunması durumu	77
5.3.7. Geogridin 0,2-0,6 H tabakalarında bulunması durumu	78
5.3.8. Geogridin 0,2-0,8 H tabakalarında bulunması durumu	79
5.3.9. Geogridin 0,4-0,6 H tabakalarında bulunması durumu	80
5.3.10. Geogridin 0,4-0,8 H tabakalarında bulunması durumu	81
5.3.11. Geogridin 0,6-0,8 H tabakalarında bulunması durumu	82
5.4. Silt Zeminin Kaliforniya Taşıma Oranı Değerleri	83
5.5. Kil Zeminin Kaliforniya Taşıma Oranı Değerleri	85

5.6. Silt ve Kil Zemin için Şişme Değerleri	86
BÖLÜM 6.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	88
KAYNAKLAR	93
ÖZGEÇMİŞ	99



SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

B	: Temel genişliği
BCR	: Taşıma kapasitesi oranı
c	: Kohezyon
CBR	: Kalifornia taşıma oranı (California Bearing Ratio)
CH	: Yüksek plastisiteli kil
CL	: Düşük plastisiteli kil
D	: Temel çapı
dd	: Dikiş yönüne dik
D _f	: Temel gömme derinliği
dy	: Dikiş yönünde
e	: Boşluk oranı
ε	: Düşey birim boy değişimi
GCL	: Geosentetik kil örtü
G _s	: Özgül ağırlık
H	: Yükseklik, Deney kasası boyu
h	: Donatılar arası mesafe
L	: Temel genişliği
L _G	: Donatı uzunluğu
M ₁	: Kabın kütlesi
M ₂	: Kap + yaş numune kütlesi
M ₃	: Kap + kuru numune kütlesi
M _{toplam}	: Toplam ağırlık
M _{su}	: Suyun ağırlığı
M _{zemin}	: Zeminin ağırlığı
n	: Porozite
N	: Darbe sayısı, donatı sayısı

PL	: Plastik limit
PI	: Plastisite indisi
PVA	: Polivinil alkol
PVDs	: Prefabrike düşey drenler
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu (Scanning Electron Microscope)
S_r	: Doygunluk derecesi
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
u	: Donatı derinliği
USCS	: Birleştirilmiş sınıflandırma sist. (Unified Soil Classification Syst.)
UU	: Konsolidasyonsuz drenajsız (Unconsolidated Undrained)
V	: Numune hacmi
V_e	: Boşluk hacmi
V_{hava}	: Havanın hacmi
V_{toplam}	: Toplam hacim
V_{su}	: Suyun hacmi
V_{zemin}	: Dane hacmi
w	: Su muhtevası
w_{alt}	: Kalıbın alt kısmındaki zeminin su muhtevası
w_{ort}	: Ortalama su muhtevası
$w_{üst}$	: Kalıbın üst kısmındaki zeminin su muhtevası
w_{opt}	: Optimum su muhtevası
W_s	: Kuru örnek ağırlığı
W_w	: Su ağırlığı
γ_{kmaks}	: Maksimum kuru birim hacim ağırlık
γ_w	: Suyun birim hacim ağırlığı
ϕ	: Kayma direnci açısı
σ	: Toplam normal gerilme
τ_{max}	: Kayma direnci
ρ'	: Batık birim hacim ağırlık
ρ_d	: Doygun birim hacim ağırlık
ρ_k	: Kuru birim hacim ağırlık
ρ_n	: Doğal birim hacim ağırlık

ρ_s : Dane birim hacim ağırlığı



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Geogrid donatılı duvar imalatı	10
Şekil 2.2. Tek eksenli geogridle duvar imalatı	11
Şekil 2.3. Çift eksenli geogrid (URL-2)	12
Şekil 2.4. Geogridin ayırıcı olarak kullanılması (DSİ 2014)	13
Şekil 3.1. Bazalt fiberin üretim şeması (Kamiya ve ark., 2013)	24
Şekil 3.2. Bazalt geogridin SEM görüntüleri, (a) Tip A, (b) Tip B, (c) Tip C (Jiang ve ark, 2019)	25
Şekil 3.3. Fiber yüzeylerinin SEM görüntüleri, (a) Tip A, (b) Tip B, (c) Tip C (Jiang ve ark, 2019)	25
Şekil 4.1. Adapazarı Yenigün Mahallesi	33
Şekil 4.2. Silt zeminin kurutulması	33
Şekil 4.3. Silt zeminin elenmesi ve kuruyan killer	33
Şekil 4.4. Sakarya 1. Organize Sanayi Bölgesi ve numune çukuru	34
Şekil 4.5. Ufalanmış ve elenmiş kil zemin	35
Şekil 4.6. Bazalt geogrid	36
Şekil 4.7. CBR kalıbı	38
Şekil 4.8. Likit limitin tayini, (a) Zemin numunesinin hazırlanması (b) numunenin saklanması, (c) Koni düşürme deney düzeneği , (d) Zeminin Casagrande aletine yerleştirilmesi, (e) Oluk açılmış zemin, (g) Su muhtevalarının belirlenmesi için alınan örnekler	40
Şekil 4.9. Plastik limit deneyi numuneleri	40
Şekil 4.11. Silt zeminin Casagrande deney grafiği	41
Şekil 4.12. Kil zeminin Casagrande deney grafiği	41
Şekil 4.13. Silt ve kilin TS 1500/2000 plastisite kartındaki yeri	42
Şekil 4.14. Piknometre deneyi aşamaları	43
Şekil 4.15. Elek analizi deney düzeneği	44

Şekil 4.16. Hidrometre deneyi, (a) 50 gr numune hazırlanması, (b) Perhidrol ile organik malzemenin yakılması, (c) Etüvde kurutulmuş zemini, (d) Sodyum Hekzametafosfat, (e) Danelerine ayrılmış zemin, (f) deney düzeneği	45
Şekil 4.17. Silt zeminin dane dağılım eğrisi	45
Şekil 4.18. Kil zeminin dane dağılım eğrisi	45
Şekil 4.19. Kompaksiyon deneyi, (a) Suyla karıştırılmış zemin, (b) Numunenin saklanması, (c) Kompaksiyon deney düzeneği, (d) Sıkıştırılmış zeminin tartılması, (e) Su muhtevası için alınmış örnekler, (f) etüvde kurutulmuş örnekler	47
Şekil 4.20. Silt zeminin standart kompaksiyon eğrisi	47
Şekil 4.21. Kil zeminin standart kompaksiyon eğrisi	47
Şekil 4.22. Numunenin hazırlanması ve saklanması	53
Şekil 4.23. Sıkıştırma işlemleri, (a) Filtre kağıdının yerleştirilmesi, (b) Kalıba numune eklenmesi, (c) Geogridin eklenmesi, (d) Bir sonraki tabakanın numunesinin eklenmesi, (e) Sıkıştırılmış zemin , (f) Nihai durum	54
Şekil 4.24. Deney aşamaları, (a) Numunenin suda bekletilmesi, (b) Suda beklemiş numune, (c) Deneyin yapımı, (d) Deney sonrası numunenin görünümü, (e) Su muhtevası için alınmış örnekler, (f) Numune alınmış kalıplar	55
Şekil 4.25. Yük – penetrasyon eğrisi (TS 1900-2)	56
Şekil 5.1. Geogrid katkısız numunede yük-penetrasyon grafiği	61
Şekil 5.2. Geogridin 0,2 H tabakasında bulunduğu durum için yük – penetrasyon tablosu	62
Şekil 5.3. Geogridin 0,4 H tabakasında bulunduğu durum için yük – penetrasyon ilişkisi	63
Şekil 5.4. Geogridin 0,6 H tabakasında bulunduğu durum için yük – penetrasyon ilişkisi	64
Şekil 5.5. Geogridin 0,8 H tabakasında bulunduğu durum için yük – penetrasyon ilişkisi	65

Şekil 5.7. Geogridin 0,2-0,6 H tabakalarında bulunması durumu için yük – penetrasyon ilişkisi	67
Şekil 5.8. Geogridin 0,2-0,8 H tabakalarında bulunması durumu için yük – penetrasyon ilişkisi	68
Şekil 5.9. Geogridin 0,4-0,6 H tabakalarında bulunması durumu için yük – penetrasyon ilişkisi	69
Şekil 5.10. Geogridin 0,4-0,8 H tabakalarında bulunması durumu için yük – penetrasyon ilişkisi	70
Şekil 5.11. Geogridin 0,6-0,8 H tabakalarında bulunması durumu için yük – penetrasyon ilişkisi	71
Şekil 5.12. Geogrid katkısız numunede yük-penetrasyon ilişkisi	73
Şekil 5.13. Geogridin 0,2 H tabakasında bulunması durumu için yük – penetrasyon ilişkisi	74
Şekil 5.14. Geogridin 0,4 H tabakasında bulunması durumu için yük – penetrasyon ilişkisi	75
Şekil 5.15. Geogridin 0,6 H tabakasında bulunması durumu için yük – penetrasyon ilişkisi	76
Şekil 5.16. Geogridin 0,8 H tabakasında bulunması durumu için yük – penetrasyon ilişkisi	77
Şekil 5.17. Geogridin 0,2-0,4 H tabakalarında bulunması durumu için yük – penetrasyon ilişkisi	78
Şekil 5.18. Geogridin 0,2-0,6 H tabakalarında bulunması durumu için yük – penetrasyon ilişkisi	79
Şekil 5.19. Geogridin 0,2-0,6 H tabakalarında bulunması durumu için yük – penetrasyon ilişkisi	80
Şekil 5.20. Geogridin 0,4-0,6 H tabakalarında bulunması durumu için yük – penetrasyon ilişkisi	81
Şekil 5.21. Geogridin 0,4-0,8 H tabakalarında bulunması durumu için yük – penetrasyon ilişkisi	82
Şekil 5.22. Geogridin 0,6-0,8 H tabakalarında bulunması durumu için yük – penetrasyon ilişkisi	83

Şekil 5.23. Tek tabaka geogrid ilaveli silt zeminin yük- penetrasyon ilişkisi	84
Şekil 5.24. Çift tabaka geogrid ilaveli silt zeminin yük- penetrasyon ilişkisi	84
Şekil 5.25. Çift tabaka geogrid ilaveli kilzeminin yük- penetrasyon ilişkisi	85
Şekil 5.26. Çift tabaka geogrid ilaveli kil zeminin yük- penetrasyon ilişkisi	86
Şekil 5.27. Silt ve kil zeminin şişme değerleri ilişkisi	87



TABLÖLER LİSTESİ

Tablo 2.1. Geosentetik malzemelerin çeşitleri ve özellikleri (Handbook for geosynthetics, 2013)	5
Tablo 4.1. Silt zemine ait fiziksel özellikler	33
Tablo 4.2. Kil zeminin fiziksel özellikleri	35
Tablo 4.3. Bazalt geogridin özellikleri.....	36
Tablo 4.4. Geogrid yerleşim düzeni	37
Tablo 5.1. Suda bekletilmeyen silt numunenin fiziksel özellikleri	58
Tablo 5.2. Suda bekletilen silt numuneye ait fiziksel özellikler	58
Tablo 5.3. Suda bekletilmeyen kil numunenin fiziksel özellikleri	59
Tablo 5.4. Suda bekletilen kil numuneye ait fiziksel özellikler	60
Tablo 5.5. Geogrid katkısız numunede yük – penetrasyon değerleri	61
Tablo 5.6. Geogridin 0,2 H tabakasında bulunduğu durum için yük - penetrasyon değerleri	62
Tablo 5.7. Geogridin 0,4 H tabakasında bulunduğu durum için yük - penetrasyon değerleri	63
Tablo 5.8. Geogridin 0,6 H tabakasında bulunduğu durum için yük - penetrasyon değerleri	64
Tablo 5.9. Geogridin 0,8 H tabakasında bulunduğu durum için yük - penetrasyon değerleri	65
Tablo 5.10. Geogridin 0,2-0,4 H tabakalarında bulunduğu durum için yük - penetrasyon değerleri	66
Tablo 5.11. Geogridin 0,2-0,6 H tabakalarında bulunması durumu için yük - penetrasyon değerleri	67
Tablo 5.12. Geogridin 0,2-0,8 H tabakalarında bulunması durumu için yük - penetrasyon değerleri	68
Tablo 5.14. Geogridin 0,4-0,8 H tabakalarında bulunması durumu için yük -	70

penetrasyon değerleri	
Tablo 5.15. Geogridin 0.6-0.8 H tabakalarında bulunması durumu için yük - penetrasyon değerleri	71
Tablo 5.16. Geogrid katkısız numunede yük-penetrasyon değerleri	72
Tablo 5.17. Geogridin 0,2 H tabakalarında bulunması durumu için yük - penetrasyon değerleri	73
Tablo 5.18. Geogridin 0,4 H tabakasında bulunması durumu için yük - penetrasyon değerleri	74
Tablo 5.19. Geogridin 0,6 H tabakasında bulunması durumu için yük - penetrasyon değerleri	75
Tablo 5.20. Geogridin 0,8 H tabakasında bulunması durumu için yük - penetrasyon değerleri	76
Tablo 5.21. Geogridin 0,2-0,4 H tabakalarında bulunması durumu için yük - penetrasyon değerleri	77
Tablo 5.22. Geogridin 0,2-0,6 H tabakalarında bulunması durumu için yük - penetrasyon değerleri	78
Tablo 5.23. Geogridin 0,2-0,6 H tabakalarında bulunması durumu için yük - penetrasyon değerleri	79
Tablo 5.24. Geogridin 0,4-0,6 H tabakalarında bulunması durumu için yük - penetrasyon değerleri	80
Tablo 5.25. Geogridin 0.4-0.8 H tabakalarında bulunması durumu için yük - penetrasyon değerleri	81
Tablo 5.26. Geogridin 0,6-0,8 H tabakalarında bulunması durumu için yük - penetrasyon değerleri	82
Tablo 5.27. Silt zeminin CBR değerleri	83
Tablo 5.28. Kil zeminin CBR değerleri	85
Tablo 5.29. Silt ve kil zeminde şişme değerleri	86

ÖZET

Anahtar sözcükler: Zemin iyileştirilmesi, Bazalt geogrid, Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR), Silt, Kil.

Ulaşım yapılarında, zayıf zeminler büyük problemler oluşturmaktadır. Bu problemlerin çözümünde zayıf zemin tabakası kaldırılarak yerine mukavemet özellikleri daha iyi olan nitelikli dolgu malzemesi serilebilmektedir. Bir yol güzergahı düşünüldüğünde bu kazı ve dolgu miktarları çok yüksek değerlere ulaşabilmektedir. Literatür incelendiğinde, geosentetik bir ürün olan geogridlerin kullanımıyla dolgu tabakasının kalınlığının azaltıldığı görülmüştür. Ayrıca geogrid kullanımı yük dağılımını düzenlemekte, oturmaları azaltmakta ve yolun servis ömrünü uzatmaktadır. Piyasada kullanılan geogridler köken olarak polipropilen gibi plastik türü kimyasal malzemelerden üretilmektedir. Dünyada ve ülkemizde artan çevre hassasiyeti doğrultusunda zeminlerin iyileştirilmesinde daha çevreci ürünlerin kullanılması fikri ortaya çıkmaktadır. Buradan hareketle, bu tez çalışmasında uzun süredir betonun mukavemet özelliklerinin iyileştirilmesinde kullanılan bazalt fiberden üretilmiş bazalt geogrid zemin iyileştirilmesinde kullanılarak, diğer geogridlere bir alternatif sunulmaya çalışılmıştır. Çalışmada, Sakarya ilinden elde edilen silt ve kil zeminler üzerinde Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR) deneyleri yapılmıştır. Her bir zemin türünde geogrid sayısı ve yeri değiştirilerek 11 farklı varyasyon oluşturulmuştur. Her bir varyasyon için hazırlanan kuru numuneler sıkıştırma işlemi sonunda ve yaş numuneler 96 saat süreyle suda bekletilme işleminden sonra deneye tabi tutulmuştur. Toplamda 44 adet CBR deneyi gerçekleştirilmiştir.

Gerçekleştirilen deneyler sonrasında bazalt geogrid kullanımının silt ve kil zeminleri iyileştirdiği görülmüştür. Artan su içeriği ve şişme değerleri geogridin olumlu etkisini azaltmıştır. Sonuç olarak bazalt geogridin diğer geogridlere bir alternatif olarak kullanılabileceği ortaya konmuştur.

Ölçek etkisi de düşünüldüğünde bazalt geogridin olumlu etkisinin daha iyi anlaşılması için bu çalışmanın model deneylerle desteklenmesi önerilmektedir.

USE OF BASALT GEOGRID IN SOIL IMPROVEMENT

SUMMARY

Keywords: Soil Stabilization, Basalt geogrid, California Bearing Ratio (CBR), Silt, Clay

Weak soils cause major problems in transportation structures. To solve these problems, the layer of weak soil is removed, and instead, a high-quality filling material with better strength properties is laid. Considering a road route, the quantity of this excavation and filling can reach very high values. Reviewing the literature, it is seen that the thickness of the filling layer is reduced by using geogrids which are geosynthetic product. In addition, the use of geogrid regulates the load distribution, reduces the settlement, and extends the service life of the road. Geogrids used in the market are originally produced from chemical materials like polypropylene of plastic origin. As a result of increasing environmental sensitivity in the world and our country, the idea of using more environment-friendly products emerges.

For this purpose, in this thesis, it is attempted to present an alternative to other geogrids by using the basalt geogrid on soils, which is produced from basalt fiber used in the improvement of the endurance properties of concrete. In the study, California Bearing Ratio (CBR) tests were conducted on the silt and clay soil obtained from Sakarya province. 11 different variations were created by changing the number and location of geogrids on each soil type. For each variation, dry samples were tested at the end of compaction process, and wet samples after 96 hours of soaking in water. In total, 44 CBR tests were conducted.

After the conducted tests, it has been observed that the use of basalt geogrid improves the silt and clay soil. Increased water content and swelling values have reduced the positive effect of the geogrid. In conclusion, basalt geogrid can be used as an alternative to other geogrids. Considering also the scale effect, this study should be supported by model tests to better understand the positive effect of basalt geogrid.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

İnsanlığın ortaya çıkışından bugüne en temel ihtiyaç olan barınma ihtiyacının karşılanması amacıyla yapılar yapılmaktadır. İlk insanlar, doğada mevcut olarak bulunan mağaralarla barınma ihtiyaçlarını karşılayorken sonraları geliştirdikleri aletlerle, düşmanlarından korunmak amacıyla kayaları oydukları ve kendi mağaralarını meydana getirdikleri görülmektedir. Yine aynı şekilde Venedik halkı düşmanlarından korunmak amacıyla mühendislik özellikleri son derece kötü olan bataklık zeminde, ahşap kazıklar üzerine bir şehir inşa etmişlerdir. Romalıların bulundukları coğrafyayı kontrol altında tutmak ve ordularının geçişini sağlamak amacıyla kilometrelerce uzunlukta yol yaptıkları ve bu yollar boyunca zeminlerin mühendislik özelliklerini iyileştirmek amacıyla tonlarca dolgu malzemesi kullandıkları bilinmektedir. İnsanlık geliştikçe, meydana getirdikleri yapılar karmaşıklaşmakta, bunun doğal sonucu olarak zemini daha iyi tanımakta ve zeminlerin özelliklerini geliştirmek amacıyla birçok yeni yöntem ve teknikler geliştirmektedirler.

Günümüzde gelişen teknolojinin yardımı ile her türlü zemin koşullarında yapı yapmak mümkün duruma gelmiştir. Bununla beraber zemin türüne göre meydana gelen problemler ve bu problemlerin çözümü sonucunda ortaya çıkacak ekonomik tablo sınırlayıcı olmaktadır. Problemlili zeminlere yapı yapmak zorunda kalan mühendisler, yapılarının güvenliği için çeşitli temel sistemleri ve zemin iyileştirilmesi yöntemleri geliştirmişlerdir.

Kazıklı temel imalatının çok maliyetli olması, bu seçenek seçilmeden önce zemin iyileştirilmesi yöntemiyle, zeminlerin özelliklerini istenilen seviyelere çıkartabilme düşüncesini ortaya çıkarmaktadır. Bu yöntemlerden bazıları, dinamik kompaksiyon,

jet grout kolonları, taş kolonlar, derin karıştırma kolonları ve geosentetik ürünlerle zemin iyileştirme olarak sıralanabilirler.

Geosentetik malzemelerin kullanımı 20. yüzyılın ortalarında başlamış ve bu malzemeler günümüzde hemen her projede karşımıza çıkan, geoteknik mühendisliğin karşılaştığı problemlere son derece optimum çözümler getiren ürünler olmuşlardır. Geosentetik malzemeler, drenaj, taşıma gücü arttırma, filtrasyon, tabakaları ayırma gibi amaçlarla zeminlerde kullanılırlar. Geosentetik malzemeler, geogridler, geotekstiler, geoborular, geofaamlar, geoceller, geokompozitler, geomembranlar olarak ayrılabilirler.

Geogridler, temellerde taşıma gücü arttırmada kullanılırlar. Bunun yanında iri daneli zeminle ince daneli zeminin arasına konulduklarında zeminlerin birbirlerine karışmasını engelleyerek ayırıcı işlevi de görmektedirler. Geogridler, plastik kökenli poliprobilen türü malzemelerden tek yönlü ve çift yönlü olarak üretilmektedirler. Son yıllarda üç yönlü olanları da üretilmeye başlanmıştır. Gelen yüklere göre bu geogridlerden biri seçilerek projede kullanılmaktadırlar.

Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR) deneyi, dolgu olarak kullanılacak bir malzemenin kalitesinin ölçümünde kullanılan ucuz ve basit bir deneydir. Ayrıca deney sonucu, karayollarında mevcut temel zemininin kalitesinin de bir ölçütüdür. CBR değerleri düşük çıkan zeminler, yerlerinden sıyrılarak yerine nitelikli dolgu malzemesi serilmektedir. Bu bir yol güzergahı boyunca düşünüldüğünde ciddi miktarlarda kazı ve dolgu işi ortaya çıkabilmektedir. Literatür incelendiğinde geosentetik malzeme kullanımı ile kazı ve dolgu miktarlarının azaltıldığı görülmektedir. Ayrıca geosentetik kullanımı, yollarda meydana gelecek oturmaları, asfaltta meydana gelen çatlamları azaltmakta, yol ömrünün uzun olmasını sağlamaktadır. Dolayısıyla, ileriki zamanlarda yapılacak bakım ve onarım masrafları azalmaktadır.

Bu tez çalışmasında, Sakarya ilinden elde edilen silt ve kil zeminler bazalt fiber ürünü olan bazalt geogrid kullanılarak güçlendirilmiş ve bu zeminler üzerinde Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR) deneyleri yapılmıştır. Deneylerde geogridler

numunelerin farklı derinliklerine, farklı sayılarda yerleştirilerek optimum dizilime ulaşılmaya çalışılmıştır. Buradan çıkacak sonuçla, bazalt geogrid kullanımının taşıma oranlarına etkisinin görülüp, dolaylı olarak yapılacak dolgu ve kazı miktarlarının azaltılması hedeflenmiştir.



BÖLÜM 2. GEOSENTETİK MALZEMELER VE ZEMİN İYİLEŞTİRİLMESİNDE KULLANIM ÖRNEKLERİ

İnşaat mühendisliğindeki gelişmeler teknolojiyle paralel olarak devam etmekte, her yıl yeni ürünler, yeni yapım teknikleri doğmakta ve bu mühendislik dalını geliştirmektedir. Benzer bir şekilde geoteknik mühendisliğinde geosentetik ürünlerin doğması bu alanda yeni ufuklar açmıştır. İlk başlarda sayıları bir kaçı geçmeyen geosentetik malzemelerin, rüşlerini ispat etmeleriyle kullanımları oldukça artmıştır. Yapılan tahminlere göre 2025 yılında dünya genelinde 20,12 milyar dolarlık bir sektör haline geleceği varsayılmaktadır (URL-1).

Geosentetik malzemeler, bünyelerinde bulundurdıkları drenaj, güçlendirme, filtrasyon, donatı, ayırma gibi özellikleri ile geoteknik mühendisliğinde başa çıkılması zor olan birçok problemin kolay bir şekilde çözülmesini zeminlere kazandırdıkları artı değerlerle sağlayan çoğunlukla yapay sentetik ürünlerdir. Geosentetik malzemelerin çeşitleri, karşılaşılan problemlerin türüne göre değişmekte, çoğu zaman da tek bir geosentetik malzeme birden fazla problemin çözümünde kolayca kullanılabilir. Bu malzemelerin zeminle birlikte, bir bütün gibi çalışması ve bozulmalara karşı dirençli olmaları uzun yıllar kullanımlarını sağlamaktadır.

Günümüzde geosentetik malzemelerin, beton, çelik, ahşap gibi bir inşaat mühendisliği malzemesi olduğunun kabul edildiği söylenebilir. Her malzemenin kendisine özgü özelliklerinin olmasının yanı sıra geosentetik malzemeler uygulamanın amacına göre üretilbildiğinden klasik inşaat malzemelerinden daha optimum çözümler sunabilmektedir. Bu optimum çözümlerin yanısıra inşaat süresinde ve maliyetinde de klasik yöntemlere göre düşüş sağlamaktadır (Güler, 2014).

Geosentetikler mekanik ve hidrolik olarak iki ana kısımda incelenebilir. Geleneksel yöntemlerin yerine çok farklı şekillerde kullanılabilen bu malzemeler zeminin kendisinde bulunmayan mühendislik parametrelerini zemine katarak, zemine yeni özellikler verebilmektedirler.

İşlevlerinin çeşitliliği ve yapım aşamasında getirdiği kolaylıklar, mühendislik parametrelerinin kontrolü, maliyet ve zaman aşamasından önemli katkılar sağlaması ve ömrünün uzun olmasından ötürü son yıllarda kullanımı oldukça artmıştır (Erbil, 2009).

Geosentetiklerin tüm bu özelliklerinin yanı sıra, tüketicinin yeşil binalara ve malzemelere doğru yönelmesi, çevresel kaygıların artması ülkemizde ve dünyada geosentetik kullanımını artırma eğilimindedir.

2.1. Geosentetik Malzemelerin Türleri ve İşlevleri

Literatürde geosentetik malzemelerin başlıca geotekstiler, geogridler, geomembranlar, geosentetik kil örtüler, geonetler, geofomlar olarak ayrıldığı görülmektedir. Buradaki her bir malzemenin kendisine göre üstün özellikleri bulunmaktadır. Bazen bir problemin çözümünde tek bir geosentetik malzeme kullanımı yeterken problemin türüne göre birden fazla geosentetik malzemeyi bir arada kullanarak problem çözüme kavuşturulur. Tablo 2.1.'de geosentetik malzemelerin türleri ve bu türlerin işlevleri görülmektedir.

Tablo 2.1. Geosentetik malzemelerin çeşitleri ve özellikleri (Handbook for geosetetics,Rao K. S., 2013)

Geosentetik Çeşiti	Ayırma	Güçlendirme	Filtrasyon	Drenaj	Kapsama	Koruma	Erozyon Kontrolü
Geotekstil	+	+	+	+		+	
Geogrid		+					
Geonet				+			
Geomembran					+		
GCL					+		
Geofom	+	+					
Geocells	+	+					
Geokompozit	+	+	+	+	+		

Tablo 2.1. (Devamı)

Geosentetik Çeşiti	Ayırma	Güçlendirme	Filtrasyon	Drenaj	Kapsama	Koruma	Erozyon Kontrolü
Polimer Gabion						+	+
Geobags						+	+
Geotekstil tubes				+		+	+
PVDs			+	+			
Geomats		+		+			+
Geopipes				+			
Geonets				+		+	+
Doğal Geosentetikler	+	+	+	+			

2.2. Geosentetik Malzemelerin Zemin İyileştirilmesinde Kullanımı

Zemin iyileştirilmesi, zeminin kendisinde bulunmayan bir özelliği zemine kazandırma işlemi olarak tarif edilebilir. İnşaat mühendisliğinde her yapı zemin içine veya üstüne yapılmak durumundadır. Çoğu zaman, inşa edilecek yapıların oturacağı zeminlerin seçilmesi gibi bir seçeneğe sahip olunamaz. İnşaat öncesi yapılan zemin incelemelerinden çıkan sonuçlara göre mevcut zemin istenilen mukavemet özelliklerine sahip değilse zemin iyileştirilmesi yöntemlerinden biri tercih edilebilir. Geosentetikler, son zamanlarda zemin iyileştirilmesi işlerinde en çok kullanılan inşaat mühendisliği ürünleridir.

Demir ve ark. (1992) geotekstil malzemenin yol inşaatında taşıma gücüne etkisini incelemek için çeşitli varyasyonlarda CBR deneyleri yapmışlardır. Bu deneylerde, Geotekstil-A dedikleri örgülü ve Geotekstil-B dedikleri örgüsüz iki çeşit geotekstil malzeme kullanmışlardır. Deneylerde öncelikle kil zemin sıkıştırılmış ve üzerine agrega serilmiş, sonrasında sıkıştırılan kil zemin üzerine geotekstil serilip, üstüne tekrardan agrega yerleştirilmiştir. Yapılan 16 adet deney sonucuna göre geotekstil kullanımının taşıma gücünü arttırdığı görülürken, örgülü tip geotekstil örgüsüz tip geotekstile göre daha iyi sonuç vermiştir.

Gören ve ark. (2000) yaptıkları çalışmada, arazide kum mesnet oluşturmuşlardır. Mesnet, iki boyutlu sonlu elemanlar programı DACSAR (Lizuka and Ohta, 1987) ile

modellenmiş, deney sırasında da ölçümler alınarak karşılaştırma yapılmıştır. Karşılaştırma sonucunda, hesaplanan deplasmanların gerçek değerlerinden daha düşük çıktığı görülmüştür. Deney düzeneğinde, kum ve geogrid uygun bir yöntemle birleştirilip bükülme direnci alan geokompozit bir yapı meydana getirilmiştir. Bu direnç, kumun sıklığı ve geogridle olan etkileşimiyle alakalıdır.

Yılmaz ve Aklık (2004) çalışmalarında, kaplamasız ve geçici yollarda geosentetik kullanımının faydaları ile ilgili örnek bir çalışma hazırlamışlardır. Çalışmada kullanılan kohezyonlu zeminin ortalama drenajsız kayma direnci 30 kPa ve CBR değeri 1'dir. Yapılacak yolun trafikle ilgili detayları 5000 trafik geçiş yükü, 90 kN tek dingilli kamyon ve 550 kPa lastik basıncıdır. Yapılan çalışmada, yol geotekstilsiz olarak projelendirildiğinde kullanılacak agrega kalınlığı 475 mm iken geotekstil kullanılarak projelendirildiğinde agrega kalınlığının 325 mm'ye azaltıldığı görülmüştür. Bu çalışmaya göre geotekstil kullanıldığında agrega kalınlığının dolayısıyla maliyetin azaltılabileceği görülmüştür.

İncecik ve ark. (2004) çalışmalarında, zamanında maden işletmesi olarak kullanılan ve içinde işletmeden kaynaklı boşluk bulunan bir zemin üzerine yapılacak yol dolgusu için geosentetik malzeme kullanımını PLAXIS V.8 yazılımı ile modellemişlerdir. Zemin içerisindeki boşluk, zemin yüzeyinden 1,80 m aşağıda ve 3,8 m çapa sahiptir. Yapılacak dolgu, zemin yüzeyinden 1,5 metre yüksekliğe 1/2 şev eğimiyle çıkan 25 metre genişliğinde bir dolgudur. Yapılan analizlerde ilk önce herhangi bir iyileştirme olmadan inceleme yapılmış ve dolgunun 67 cm'lik bir oturma yaparak sistemin göçtüğü görülmüştür. İkinci modelde dolgu geogrid donatı ile iyileştirilerek analiz yapılmıştır. Analiz sonucuna göre geogrid donatı kullanımının bu sistem için oturmaları 67 cm'den 19,5 cm'ye indirdiği görülmüştür.

İncecik ve ark. (2006) çalışmalarında, yumuşak-orta katı kil üzerine yapılacak olan bir yol dolgusunda geosentetik malzeme kullanımının ortaya koyduğu farkları incelemek amacıyla PLAXIS sonlu elemanlar yazılımında 5 farklı model kurgulayıp analiz etmişlerdir. Kesitte 35 metre kalınlığında orta katı kil üzerinde 10 metre kalınlığında yumuşak orta katı kil tabakası bulunmakta olup bunun üzerine 12 metre

yüksekliğinde tabanı 92 metre ve şev eğimi 2/5 olan kum dolgu inşaa edilecektir. İlk modelde geotekstil kullanılmadan dolgu 2 metrelik tabakalar halinde yerleştirilip her tabaka sonrasında 15 gün beklenilmiştir. Dolgunun 6. ve son tabakası yapılırken sistemde göçme meydana gelmiştir. Bu aşamada meydana gelen maksimum deplasman 23,76 cm ve GS= 1,06'dır. İkinci modelde tabakalar yine 2 metre halinde yerleştirilip 15 gün beklenirken tabalar arasına geosentetik konulmuştur. Bu modelde meydana gelen maksimum deplasman 24,68 cm ve GS=1,86'dır. Üçüncü modelde dolgu bir metrelik tabakalar halinde yapılmış ve her tabaka arasına geotekstil yerleştirilmiştir. 2 metre tabakaya ulaşıldığında ise 15 gün beklenilmiştir. Bu modelde meydana gelen maksimum deplasman 24,43 cm ve GS=1,87'dir. Dördüncü modelde ise zemin 1 metre kazılıp geotekstil serildikten sonra üzerine 1 m yüksekliğinde kum yastık şilte konulup dolgu aynen 2. modeldeki gibi yapılmıştır. Bu modelde meydana gelen maksimum deplasman 24,03 cm ve GS=2,09'dur. Beşinci ve son modelde zemin 1 metre kazılıp geotekstil serildikten sonra üzerine 1 metre kum yastık şilte serilip aynı 3. modeldeki gibi dolgu yapılmıştır. Bu modelde meydana gelen maksimum deplasman 23,87 cm ve GS=2,10'dur. Yapılan bu çalışma sonucunda böyle bir zemin tipinde yapılacak bir yol dolgusunda geotekstil kullanımı sistemin göçme mekanizmasını geciktirirken güvenlik sayısını 1,87'den 2,10 mertebelerine çıkartmıştır. Ayrıca program verilerine göre kayma dairesinin geosentetik malzemeden etkilendiği ortaya konmuştur.

Yılmaz ve Sevensan (2010) yaptıkları çalışmada, yüksek plastisiteli Ankara kiline, ağırlıkça %0, %10,0, %20,0 ve %30,0 oranlarında uçucu kül, %0,5 ve %1,0 oranlarında polipropilen fiber katarak uçucu kül-kil ve uçucu kül-polipropilen fiber-kil karışımları oluşturarak tek eksenli basınç deneyleri yapmışlardır. Uçucu kül-kil karışımları 1, 7, 14 ve 28 gün bekletilerek, uçucu kül-polipropilen fiber-kil karışımları 28 gün bekletilerek deneylere tabi tutulmuşlardır. Deneylerde 19,0 mm uzunluğunda M ve F tipi polipropilen fiber kullanılmıştır. Ayrıca kül-kil karışımları standart proctor deneyine tabi tutulmuştur. Deney sonuçlarına göre kül katkısı arttıkça optimum su muhtevası azalırken, maksimum kuru birim hacim ağırlık artmıştır. 1 ve 7 günlük kül-kil karışımında %10'dan fazla kül içeriğinin tek eksenli basınç dayanımına pek bir etkisi olmamıştır. 14 ve 28 günlük kül-kil karışımlarında kül

içeriğinin artması, tek eksenli basınç dayanımını arttırmıştır. Fiber-kül-kil karışımlarında %1,0 fiber katkısı %0,5 fiber katkısına göre daha iyi sonuçlar verirken fiber katkısının bariz bir etkisinin olmadığı gözlemlenmiştir.

Karakan ve ark. (2015) geotekstil donatılı killere üzerinde serbest basınç deneyleri yapmışlardır. Bu deneylerde, yükleme hızını, su içeriğini ve geotekstil donatı tabakalarını değiştirip etkilerini incelemişlerdir. İnceleme sonuçlarına göre su muhtevası arttıkça serbest basınç dayanımı azalmıştır. Geotekstil donatı tabakası arttıkça serbest basınç dayanımı artarken, daha sünek bir davranış görülmüştür. Yükleme hızı ve tabaka sayısı ile alakalı serbest basınç direnci fonksiyonu türetmişlerdir.

2.3. Geogridler

Geogridler, zeminlerde taşıma gücünü arttırmak amacıyla kullanılan geosentetik donatı malzemelerdir. Bünyelerinde bulundukları yüksek çekme mukavemetini zeminlere aktararak, zeminlerin çekme kuvvetlerine karşı koymasını sağlarlar. Ana kullanım amaçları donatı olmakla birlikte dane çapı farklı iki zemin arasında kullanıldığında, bu zeminlerin bir birine karışmasını önleyerek ayırıcı görevi de görmektedirler. Üstüne gelen yüklerin dağılımını düzgün bir şekilde yaparak yük aktarımından dolayı oluşacak farklı oturma gibi problemleri de azalttığı bilinmektedir.

Güneş ışınları, donma, çözülme gibi çevresel etkilerden etkilenmemeleri, zemin içinde bulunan kimyasal maddelere dirençleri, hassas bir malzeme olmamaları ve kolay inşa olanakları sunmalarının yanı sıra birçok üstün özellikleri sebebiyle kullanıcı dostu ürünlerdir.

Kaplamalı ve kaplamasız yollar, geosentetik duvarlar, dolgular, temel altı zemini güçlendirilmesi genel kullanım alanlarıdır. Şekil 2.1.'de geogrid donatılı duvar imalatı görülmektedir.



Şekil 2.1. Geogrid donatılı duvar imalatı

Taşıma gücü sorunu olan zeminlerde zayıf tabaka kaldırılır ve mevcut zeminden daha üstün özelliklere sahip nitelikli dolgu malzemesi serilir. Geogrid kullanıldığında, taşıma gücünde bir artış meydana geleceği için mevcut durumda yapılacak kazı miktarı azalacak, nitelikli dolgu kullanımı azalacak dolayısıyla hem inşaat süresinde bir kısalma meydana gelecek hem de hafriyat malzemesinin azalmasından ötürü ekonomik bir kazanım elde edilecektir.

2.3.1. Üretim şekillerine göre geogridler

Geogridler, üretim şekillerine göre üç kısma ayrılırlar. Bu yöntemler, ekstrüde yöntemi, dokuma yöntemi ve yapıştırma yöntemidir. Üretim şekilleri, geogridlerin kimliklerini belirler. Çekme mukavemetleri, dayanıklılıkları, birleşim bölgesi

detayları üretim aşamaları sonrasında ortaya çıkar. Dayanımı en yüksek olan yöntem ekstrüde yöntemidir. Bu yöntemde bağlantı noktalarının kendiliğinden ortaya çıkması mukavemeti arttıran en önemli unsurdur (Karagül, 2007).

2.3.2. Geometrilerine göre geogridler

Geogridler geometrilerine göre, tek eksenli ve çift eksenli olmak üzere ikiye ayrılırlar. Yük akışı bu eksenler üzerinde meydana geleceği için gelen kuvvetlere göre geogrid seçimi önem kazanmaktadır.

2.3.2.1. Tek eksenli geogrid

Üzerine gelen kuvvetleri tek bir eksenenden ileten geogridlerdir. Yük nakli bu eksen üzerinden tek yönlü olarak meydana gelir. Karayollarında köprü yaklaşım rampası gibi donatılı duvar imalatlarında sıkça kullanılmaktadırlar. Şekil 2.2.'de tek eksenli bir geogridin kullanıldığı imalat görülmektedir (URL-2).



Şekil 2.2. Tek eksenli geogridle duvar imalatı (URL-2)

2.3.2.2. Çift eksenli geogrid

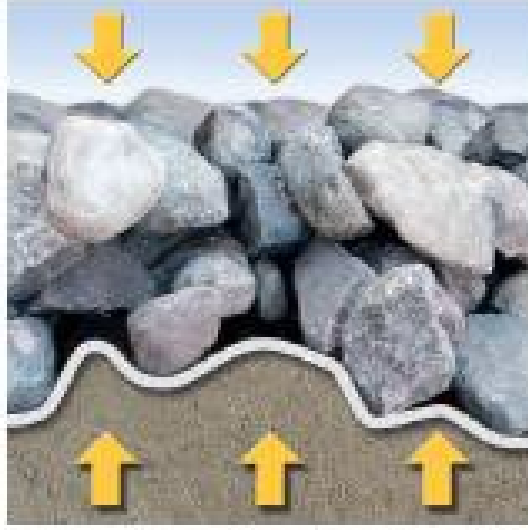
x ve y yönlerinde bir birlerine doksan derece açıyla bağlanmış, üzerlerine gelen kuvvetleri her iki yönde de ileten geogridlerdir. Temel altında bulunan zeminin güçlendirilmesinde, yol dolgularında, donatılı duvarlarda kullanılmaktadırlar. Şekil 2.3.'de çift eksenli geogrid görülmektedir (URL-3).



Şekil 2.3. Çift eksenli geogrid (URL-3)

2.3.3. Geogridlerin fonksiyonları

Geogridler, taşıma gücünü arttırıcı olarak kullanılır. Geogridlerin ana fonksiyonu zeminlerde donatı görevi görmesidir. Bunun yanında geogridler iki farklı zemin tabakası arasına eklendiğinde bu zeminlerin bir birlerine geçmesini engelleyerek ayırıcı fonksiyonu da görmektedir. Şekil 2.4.'de görüldüğü üzere iki farklı malzeme arasına yerleştirilen geogrid bu malzemelerin bir birine karışmasına mani olarak ayırıcı işlevi görmüştür.



Şekil 2.4. Geogridin ayırıcı olarak kullanılması (DSİ, 2014)

2.3.4. Geogridlerin zemin iyileştirilmesinde kullanımı

Yapılan uygulamalar ve deneysel çalışmalar göstermiştir ki geogrid kullanımı zeminlerin taşıma gücünü artırırken yapılan imalatın servis ömrünü uzatıp uygun kullanımında sorunsuz bir inşa ortamı meydana getirmiştir.

Das ve ark. (2000) yaptıkları çalışmada, şevli bir kil zemine oturan sürekli temellerin geogrid katkısı ile taşıma gücündeki değişimi incelemişlerdir. Bu çalışma için oluşturdukları modelde yaptıkları deneyler sonucunda, 0,4 B derinliğe yerleştirilen geogrid levhanın taşıma gücünde maksimum artış sağladığını ve 1,72 B derinlikten daha fazla derinliğe konulan geogrid levhanın etkisinin olmadığını ortaya koymuşlardır.

Aydoğmuş ve ark. (2006) yaptıkları çalışmada yüksek plastisiteli kil zeminde PVA geogrid katkısının ilave çimento ve kireç ile stabilize edilmesi halinde ara yüz kayma ve çekme davranışını incelemişlerdir. Bu amaçla daha gerçekçi sonuçlar almak için çekme ve kesme deneyleri yapabilen bir deney aleti geliştirmişlerdir. Deney sonuçlarından zeminin, %6 çimento ve %6 kireç ile stabilize edilmesi halinde geogridle etkileşimin olumlu yönde olduğudur.

Yıldız ve ark. (2006) geogrid takviyeli kum zemin üstüne oturan dairesel temelleri PLAXIS programı ile modelleyip taşıma kapasitelerini incelemişlerdir. Çalışmada, ilk donatının yeri, donatılar arası mesafe, donatı boyu ve donatı sayısı değişken tutulmuştur. Daha sonra, önceden yapılmış model deneylerle (Laman ve Yıldız, 2004) karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda PLAXIS verileri ile deney verileri uyumlu olup, ilk donatının yerinin temel tabanına uzaklığının $0,30 D$, donatılar arası mesafenin $0,2 D - 0,3 D$ arası, donatı sayısının 4 ve donatı uzunluğunun $3 B$ olması durumunda optimum sonuca ulaşılmıştır. Ayrıca optimum değerler kullanıldığında taşıma kapasitesinde 3,5 kat artış görülmüştür.

Demiröz ve ark. (2008) yaptıkları çalışmada geogrid donatılı kumların taşıma gücünü etkileyen faktörleri deneysel olarak incelemişlerdir. Deneyler, Taguchi yöntemine göre 5 farklı parametre ve 4 seviyeli standart L16 ortogonal dizin tablosu seçilerek yapılmıştır. Çalışmada incelenen parametreler temel genişliği (B), temel derinliği (D_f), donatı uzunluğu (L_G), donatı tabaka sayısı (N) ve donatılar arası uzunluk (u) olmak üzere bu parametrelerin taşıma gücüne olan etkileri bulunmuştur. Elde edilen sonuçlara göre taşıma gücünü etkileyen en önemli parametre, temel genişliğidir. Sonrasında sırasıyla temel derinliği, donatı derinlik oranı, donatı tabaka sayısı gelmekte olup en az önemli olan parametrenin ise donatı uzunluğu olduğu ortaya konmuştur. Optimum çözüm olarak da temel tasarımında $N=3$, $u= 0,5 B$, $L_G= 6 B$ ve $D_f = 0,5 B$ alınabileceği saptanmıştır.

Şenol ve ark. (2008) yaptıkları çalışmada kaplamasız yollarda geogrid kullanımının 4 farklı yöntemle ekonomik yönden incelemesini yapmışlardır. Bu yöntemler sırasıyla, Giroud-Noiray yöntemi, Barenberg Yöntemi, Philip yöntemi ve Tensar yöntemidir. Yapılan analiz sonuçlarına göre, Giroud-Noray ve Philip yöntemlerinde donatılı durum, donatısız durumdan sırasıyla %9 ve %25 oranlarında daha fazla maliyet çıkarırken, Barenberg ve Tensar yöntemlerinde donatısız durum donatılı durumdan sırasıyla %3,4 ve %2,8 oranlarında daha fazla maliyet çıkarmıştır. Ancak, yol güzergahında alt temel malzemesi olmaması ve ocak mesafesinin uzak olması durumunda geogrid kullanılması daha ekonomiktir.

Örnek ve ark. (2008) çalışmalarında, yumuşak kil zemin üzerine oturan 60 cm çaplı dairesel rijit temeli PLAXIS programında modelleyip, çeşitli faktörlerin taşıma gücü oranı üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Bu faktörler, stabilize zemin kalınlığı, ilk geogrid donatı tabakasının derinliği, donatılar arası mesafe, donatı genişliği, donatı tabaka sayısıdır. Öncelikle taşıma gücü oranındaki artışı görebilmek amacıyla sadece yumuşak kil zemin ortamında analiz yapılmıştır. Donatısız durumda yapılan analiz sonuçlarına göre stabilize zemin kalınlığı 1,0 D kalınlığına kadar taşıma gücü oranını büyük ölçüde arttırmıştır. Ekonomiklik ve inşaa kolaylığı açısından optimum stabilize zemin kalınlığının 0,5 D alınması önerilmiş ve diğer analizlerde de bu değer kullanılmıştır. Donatılı durumlarda yapılan analizlerde ise ilk donatı tabakasının, temelden 5 cm derinliğe yerleştirildiğinde en iyi sonucu verdiği görülmüş ve diğer analizlerde de bu değer kullanılmıştır. Donatılar arası mesafe 20 cm olduğunda taşıma gücü oranı maksimum olmuştur. Donatı tabaka sayısının da 2 olması durumunda optimum değere ulaşılmıştır. Tüm çalışma sonucunda optimum değerlerle yapılan analizde, yumuşak kil zeminde taşıma gücü oranının 2,55 kat arttığı görülmüştür.

Naeini ve Moayed (2009) yaptıkları çalışmada, plastisite indisinin ve geogrid katkısının dayanım üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla CBR deneyleri yapmışlardır. Kil zemine %0, %10 ve %20 oranında bentonit katarak farklı plastisite indislerine sahip üç farklı numune oluşturmuşlardır. Sırasıyla bu numunelerin plastisite indisleri %10, %16 ve %23'dür. CBR deneyleri kuru ve yaş olarak gerçekleştirilmiştir. Deneylerde geogrid tek tabaka ve çift tabaka olarak yerleştirilmiştir. Kuru olarak yapılan CBR deneyleri yaş CBR deneylerine göre daha iyi sonuç vermiştir. Artan plastisite indisi yaş ve kuru deneylerde fark göstermeksizin CBR değerlerini azaltmıştır. Geogrid katkısının deney sonuçlarını bariz bir şekilde iyileştirdiği görülmüştür. Kuru deneylerde tek tabaka geogrid kullanımının daha avantajlı olduğu görülürken, yaş deneylerde ise iki sıra geogrid katkısının CBR sonuçlarına etkisi daha fazladır.

Özer ve Christmann (2010), çalışmalarında Wheeler Caddesi'nin yeni yapılacak yol güzergahı için iki farklı zemin iyileştirme yöntemini inceleyip ekonomik açıdan

karşılaştırmışlardır. Yolun geçeceği caddede yapılan sondajlar sonrasında, 30-60 cm kalınlığında organik zeminlere rastlanmıştır. Organik zeminlerden dolayı oluşacak problemleri önlemek için önce klasik yöntem olarak organik zemin tabakası kaldırılacak ve yerine nitelikli dolgu yerleştirilecektir. Diğer yöntemde de geogrid kullanılacaktır. Yapılan analizler sonucunda, geogrid kullanılarak yapılan çözümün, geleneksel yöntemle karşılaştırılmasında, ortalama 2008 ağır inşaat maliyet datalarına göre 67350 dolar, FDOT birim fiyat analizlerine göre de 76950 dolar daha ucuz olduğu görülmüştür. Ayrıca zemin profilinde görülen yüksek su seviyesinin klasik yöntemde inşaat süresini çok uzatacağı, geogrid kullanımının inşaat süresini ciddi oranda azaltacağı görülmüştür.

Keskin ve Laman (2010) çalışmalarında, geogrid takviyeli şevli zeminlere oturan şerit temellerin taşıma güçlerini incelemişlerdir. Bu amaçla labovatuvarda 1140 mm x 475 mm x 500 mm boyutlarında deney düzeneği imal etmişlerdir. Çalışma için 4 farklı tipte geogrid kullanıp geogridleri temel genişliğinin 0,5 katı derinliğe yerleştirmişlerdir. Deneyde kullanılan şerit temel 5 cm kalınlığındadır. Sonuçlar taşıma gücü (q_u), taşıma kapasitesi oranı (BCR) ve oturma azaltma oranı faktörü cinsinden incelenmiştir. Yapılan bu deneyler sonucunda, donatı takviyesinin taşıma kapasitesini arttırdığı, geogridin geometrik özelliğinin deney sonuçlarını etkilediği ve geogrid donatı kullanımının oturmaları azalttığı görülmüştür.

Choudhary ve ark. (2012) asfaltın performansının alttaki zeminle doğrudan ilişkili olduğunu ve bu zeminlerin iyileştirilmesinde kullanılan geosentetik ürünlerin çoğunlukla çevreci olmayan ve maliyetli ürünler olduklarını, bunların yerine jüt, Hindistan cevizi, palm ve doğal liflerden üretilen geosentetik ürünlerin kullanımının daha çevreci ve daha az maliyetli olduğunu iddia etmektedirler. Bu iddialarını kanıtlamak amacıyla polipropilenden üretilmiş bir geogrid ve jütten üretilmiş bir geotekstili CBR deneyleriyle kıyaslamışlardır. Deneylerde katkı malzemelerinin z/d oranı 0,25-0,50-1-1,50'dir. Çalışma sonucunda hem geogrid hem de geotekstil takviyesi zeminlerin CBR değerlerini arttırmıştır. İki malzeme için de maksimum iyileşme $z/d=1$ oranında olmuştur. Jüt geotekstille polipropilen geogrid karşılaştırıldığında jüt geotekstil daha iyi sonuçlar vermektedir. Örnekle $z/d=1$

oranında jüt geotekstil için CBR değeri 8,03 iken geogridin CBR değeri 7,53'dür. Yazarların başta iddia ettikleri gibi doğal bir maddeden üretilmiş jüt geotekstil zeminlerin iyileştirilmesinde daha ekonomik ve çevreci bir alternatiftir.

Singh ve Gill (2012) yaptıkları çalışmada, düşük plastisiteli (CL) kilin geogrid katkısıyla Kaliforniya Taşıma Oranındaki (CBR) değişimini incelemişlerdir. Deney numuneleri optimum su muhtevasında ve maksimum kurum birim hacim ağırlıkta hazırlanmış olup, geogrid tek katman halinde CBR kalıbının 0,2 H, 0,4 H, 0,6 H ve 0,8 H noktalarına yerleştirilmiştir. Deney sonuçlarına göre geogrid katkısı taşıma oranında %50-100 dolaylarında iyileştirme sağlamıştır. Optimum sonuca geogrid 0,2 H noktasına konulduğunda ulaşılmıştır. Bu noktada, CBR değeri %2,9'dan %9,4'e çıkmıştır.

Kuity ve Roy (2013) kil zemine atık maddeler olan gölet külü, pirinç kabuğu külü ve kireci çeşitli oranlarda karıştırarak numuneler hazırlamışlardır. Hazırlanan numuneler üzerinde standart proktor deneyleri uygulayarak, numunelerin optimum su muhtevaları ve maksimum kuru birim hacim ağırlıklarındaki değişimler incelenirken, karışımlara geogrid ilave edilip Kaliforniya Taşıma Oranlarındaki (CBR) değişimler de incelenmiştir. Geogridler, tek ve çift tabaka halinde yerleştirilmiştir. Çalışma sonucuna göre kil zemine yapılan bu katkılar optimum su muhtevasını artırırken, maksimum kuru birim hacim ağırlığı azaltmıştır. Bu değişim en fazla zemin-gölet külü-pirinç kabuğu külü 50:75:3 oranlarında karıştırıldığında görülmüştür. Geogrid katkısı, kuru CBR değerlerinde çok iyi sonuçlar vermemekle beraber yaş CBR değerlerini hemen hemen hepsinde arttırmıştır.

Bakkaylı ve ark. (2013) çalışmalarında polipropilen geogridlerin kullanımı ile killi zeminin CBR değerindeki değişimleri incelemişlerdir. Çalışmada, öncelikli olarak doğal zeminin CBR değeri bulunmuş olup bu değer %5'tir. Daha sonra kil zemine geogrid bir ve iki tabaka halinde ilave edilmiştir. Çalışma sonunda tek bir donatı kullanılan modellerde CBR değeri artışı 2,5, 5 ve 7,5 mm oturma için sırasıyla %10, %26 ve %28 olmuştur. İki sıra geogrid kullanılması durumunda bu değerler %10, 80 ve 94 olarak bulunmuştur.

Adams ve ark. (2014) Gana’da yaygın bulunan laterit cinsi zemin üzerinde geogrid takviyesiyle asfalt kalınlığının azaltılıp azaltılamayacağını CBR deneyleriyle incelemişlerdir. Çalışmada, Triax Tx 130s ve Triax Tx 170 markalı iki farklı geogrid kullanmışlardır. CBR deneyleri yaş ve kuru olarak yapılmış olup deneylerde geogridler zemin tabakaları arasına yerleştirilmiştir. Çalışma sonucunda geogrid takviyesi her koşulda zeminin penetrasyon direncini arttırmıştır. Ancak Triax Tx 130s geogridinin sağladığı iyileşme asfalt kalınlığını azaltmaya yetecek ölçüde değildir. Triax Tx 170 geogridi kullanıldığında asfalt tabakasını azaltmak mümkün olmuştur. Yazarlar bu çalışma ile zayıf zeminlerde geogrid kullanılması durumunda asfalt maliyetinin azalabileceğini ve kullanılması gerektiğini tavsiye etmektedirler.

Arslan ve ark. (2014) çalışmalarında Adana Hacı Sabancı Organize Sanayi bölgesinde bulunan üstünden ağır tonajlı kamyonların geçtiği ve bu süreç içerisinde bozulmalara uğrayan bir yol üzerinde geogrid takviyesiyle iyileştirme çalışmaları yapmışlardır. Çalışmada öncelikli olarak PLAXIS sonlu elemanlar programında mevcut zemin modellenmiş olup modelleme sonucunda herhangi bir iyileştirmenin yapılmadığı durumda oluşan toplam oturmalar 8,37 cm dolaylarında bulunmuştur. Geogrid takviyesiyle birlikte yapılan çözümlerde toplam oturmaların 6,34 cm dolaylarına düştüğü görülmüştür. Ayrıca sayısal analiz sonuçlarından takviyeli zeminde yük dağılımlarının daha geniş alanlara yayıldığı görülmüştür. Bu da yolun servis ömrünü arttıran bir faktördür. Sonrasında bu çalışma, arazide uygulanmış ve yol dolgusunun geogrid takviyesi ile güçlendiği ispatlanmıştır. Sonuç olarak yapılan bu çalışmada gerek bilgisayar çözümleri, gerekse de arazi uygulamaları ile geogrid kullanımının yol dolgusunu güçlendirdiği, yolun servis ömrünü uzatarak ileride oluşabilecek masrafların önlendiği görülmüştür.

Altay ve ark. (2014) yaptıkları çalışmada, tekrarlı yükler altındaki esnek yol kaplamalarının geogridle güçlendirilmesini PLAXIS 2D dinamik modülü ile incelemişlerdir. Çalışmada ilk geogridin yeri, ikinci geogridin yeri ve kaplama tabakası kalınlığı miktarı araştırılmıştır. Çalışma sonucunda temel tabakası kalınlığının artmasının teker izini azalttığı ancak tekrarlı yükleme sayısının artmasıyla, temel kalınlığının teker izi üzerindeki etkisinin çok olmadığı görülmüştür.

Literatürdeki çalışmalara benzer bir şekilde geogridin zayıf zemin tabakasına yakın konulması teker izini azaltmada optimum çözümü vermiştir. Tekrarlı yük sayısının artması geogridin etkisini arttırarak teker izindeki iyileşme miktarını arttırmıştır.

Bildik ve ark. (2014) geogrid ile güçlendirilmiş zemine gömülü boruların davranışlarını incelemek amacıyla labovatuvarda model deney düzeneği oluşturmuşlardır. Çalışmalarında, geogridin bulunduğu yerin etkisi incelenmiş olup, boruda ve geogridde gerilme ölçümleri yapılarak bir birleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Oluşturulan deney düzeneğinin ölçüleri 1140 mm x 475 mm x 500 mm'dir. Deneylerde kum zemin kullanılmış olup Çukurova bölgesinden elde edilmiştir. Deneylerde boru gömüldükten sonra üstüne 100 mm genişliğinde çelikten imal edilmiş bir şerit temel konulup yükleme yapılmıştır. Geogrid, temel tabakası ile boru arasında bulunmakta ve yeri değişken olarak tutulmaktadır. Boru $H/D=3$ derinliğine yerleştirilmiştir. Geogridler $u/B=0,10-0,30-0,50$ ve $0,75$ noktalarına yerleştirilmişlerdir. Çalışmada, ilk donatının $u/B=0,50$ derinliğine yerleştirilmesi taşıma kapasitesi açısından optimum çözümü vermiştir. Geogrid, bu derinlikte boruya gelen gerilme miktarını %24 oranında azaltmıştır.

Türedi ve ark. (2014) çalışmalarında geogrid donatılı gevşek ve sıkı kum üzerine oturan çok kenarlı +, H, T ve kare geometriye sahip yüzeysel temellerin taşıma gücünü incelemek amacıyla laboratuvarda 70 cm x 50 cm x 50 cm boyutlarında oluşturulan deney düzeneğinde çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada, u = ilk donatı derinliği, L = temel genişliği, H = deney kasası boyu olmak üzere $u/L=H/L=0,17$ oranlarında geogridsiz, 1, 2, 3, ve 4 adet geogrid donatı katkısıyla toplamda her bir temel çeşidinden 10 adet olmak üzere 40 adet model deneyler gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçlarına göre geogrid katkısı gevşek ve sıkı kumlarda her temel çeşidi için taşıma gücünü arttırmıştır. Sıkı kumlarda taşıma gücü gevşek kumlara göre daha yüksektir. Temel türü fark etmeksizin BCR oranları bir birine oldukça yakındır. Donatı miktarı arttıkça gevşek ve sıkı kum durumlarında taşıma gücü miktarı artmış, $N=4$ olduğu durumda geogridsiz duruma göre taşıma gücü miktarında %50 oranında bir artış meydana gelmiştir.

Infante ve ark. (2016) iyi derecelenmiş kum zemin üzerinde yaptıkları Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR) deneylerinde zemine geogrid katkısının etkisini incelemişlerdir. Deneyler geogridsiz, tek tabaka ve çift tabaka geogridli olarak gerçekleştirilmiştir. Tek tabaka yerleştirilen geogridler, kalıbın H/2 ve H/3 kısmına kalıba tutturulmuş ve tutturulmamış olarak yerleştirilmiştir. Ayrıca geogridin zeminle birleştiği noktalarda meydana gelen deformasyonları gözlemek amacıyla kalıbın x ve y düzleminde ölçümler alınmıştır. Yapılan deney sonuçlarına göre geogrid katkısının zeminin taşıma oranını önemli bir miktarda yükselttiği görülürken geogridin kalıba tutturulması, tutturulmamış duruma göre daha iyi sonuç vermiştir. Çift tabaka geogrid serimi tutturulmamış örnekler göre daha iyi sonuç vermiştir. Geogridin H/3 konumunda tutturulmuş olarak kullanıldığında en iyi sonucu elde edilmiştir. Geogridin kalıba tutturulması deformasyonları arttırmıştır.

Singh ve ark. (2017) kil zemin üzerinde yaptıkları çalışmada farklı katmanlarda, tek tabaka geogrid takviyesinin zeminin CBR değerleri üzerindeki etkisini inceleyip, en uygun geogrid pozisyonunu bulmayı amaçlamışlardır. Çalışmada geogrid CBR kalıbının 0,1 H-0,2 H-0,3 H-0,4 H-0,5 H-0,6 H-H/3-2H/3 noktalarına yerleştirilmiştir. Geogrid takviyesiz zeminin, CBR değeri %6,6 iken geogrid takviyesi ile bu oran %50-%150 arası artmıştır. Maksimum iyileşmeye geogridin 0,5 H tabakasına konduğunda %16,4 CBR değeri ile ulaşılmıştır. Yazarlar geogridin bozunur bir madde olmadığı ve servis ömrünü uzattığı için kullanımının yaygınlaştırılmasını önermektedirler.

Yadav ve ark. (2018) çalışmalarında Hindistan'da bulunan yolların düşük CBR değerlerinde olması ve istenen verimin sağlanamaması sebebiyle zeminlere geogrid ilavesiyle bu sorunun giderilip giderilemeyeceğini incelemişlerdir. Çalışmanın ana amaçları, asfalt kalınlığını azaltmak, yolun taşıma gücünü arttırmak ve hizmet ömrünü arttırmaktır. Bu amaç doğrultusunda CBR deneyleri yapıp geogridi CBR kalıbının 3H/4, H/2 ve H/4 noktalarına yerleştirmişlerdir. Yapılan tüm deneylerde geogrid ilavesi zeminin CBR değerini arttırmıştır. Geogrid tabakası yüzeye yaklaştıkça iyileşme değerleri artmıştır. En yüksek oran geogridin 3H/4 noktasına yerleştirildiğinde bulunmuştur. Çalışma sonucunda geogridle iyileştirilmiş

zeminlerde gereken asfalt tabakası kalınlığının azaltılabileceği, dolayısıyla ekonomik yönden kazanç sağlanabileceği ve yolların kullanım ömrünün uzatılabileceği sonuçlarına ulaşılmıştır.

He ve ark. (2019) çalışmalarında kil-geogrid etkileşimini incelemek amacıyla farklı su muhtevalarında ve farklı normal kuvvetler altındaki numuneler üzerinde büyük ölçekli kesme kutusu deneyleri yapmışlardır. Normal kuvvetler 27 kPa, 54 kPa ve 81 kPa, su içerikleri %8,5, %14,4, %20,7 ve %22,4 değerlerine sahiptirler. Çalışma sonucunda geogrid ile güçlendirilmiş zeminin kayma mukavemetinde gelişme görülmüştür. Artan su içeriği kayma mukavemetini azaltırken, artan normal kuvvet kayma mukavemetini arttırmıştır. Ayrıca bu çalışma kapsamında kayma gerilmesi ve deplasmanlar arasındaki doğrusal olmayan ilişkiyi açıklayabilmek için hiperbolik bir model oluşturulmuş ve kil-geogrid arayüz etkileşimini hesaplamak için bir denklem önerilmiştir.

Yeşiltepe ve ark. (2019) çalışmalarında geogrid donatıya ön germe uygulayarak kum zeminin taşıma gücündeki değişimi PLAXIS 2D yazılımında sayısal olarak incelemişlerdir. Çalışmada, geogridsiz, geogridli ve ön germe uygulanmış geogridler kullanılarak, öngerme miktarı, geogrid yeri ve sayısı değişken olarak kullanılmıştır. Çalışma sonucunda geogrid kullanımı, kum zeminin taşıma gücünü artırırken, ön germe uygulaması, ön germesiz örneklerle göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Tek donatılı durumda 150 kN/m ön germe uygulandığında donatısız duruma göre %40 oranında iyileştirme sağlanırken, çift donatılı durumda 200 kN/m ön germe uygulaması ile donatısız duruma göre %70 oranında iyileştirme sağlanmıştır.

Çömez ve ark. (2019) çalışmalarında kaplamasız yollarda geogrid takviyesinin etkisini incelemek amacıyla büyük ölçekli model deneyler yapmışlardır. Çalışmada kullandıkları model 2x2x2 metre boyutlarında ölçüm cihazları ile donatılmış çelik bir kafestir. Toplamda 5 adet deney yapılmış ve bu deneylerden bir tanesi karşılaştırma amacıyla geogrid takviyesiz olarak yapılmıştır. Çalışmada, 1,45 metre kalınlığında zayıf alt temel, onun üzerinde 0,45 metre kalınlığında iri malzeme bulunmaktadır. Geogridler bu iri malzemenin içerisine yükleme düzeneğinin çapının

0,33, 0,67, 1,00 ve 1,33 katı derinliklere konulmuştur. Test düzeneği oluşturulduktan sonra sisteme maksimum 40 kN değerine sahip döngüsel yükler uygulanmıştır. Çalışma sonucunda, geogrid takviyesi ile kaplamasız yollarda iyileştirmenin sağlanabileceği görülmüştür. Geogrid katkısız durumda 10000 devirde yaklaşık 40 mm civarlarında kalıcı deformasyon varken, bu değer geogridin temel çapının 0,33 katı derinliğinde bulunduğu durumda 10-11 mm civarına kadar düşmüştür. Geogridin bulunduğu konum üst yüzeyden uzaklaştıkça kalıcı deformasyonlarda artış meydana gelmiştir. Ayrıca geogrid takviyesi ile temel tabakası altında bulunan zayıf zemine aktarılan yüklerde bir azalma meydana geldiği gözlemlenmiştir.

Saltan ve ark. (2019) çalışmalarında, taban zemini kalınlığı 50 cm, alt temel kalınlığı 12 cm ve temel kalınlığı 8 cm olan, bir karayolu modeli kurmuşlardır. Taban zemininin CBR değeri %3, alt temelin %280 ve temelin %278'dir. Model üzerinde gerçekleştirdikleri deneylerde alt temel ve taban zemini arasına Tip-1 ve Tip-2 olarak isimlendirdikleri 2 farklı geogrid koyarak üzerlerinden geçen tekrarlı teker yükleri sonucunda oluşan deformasyonları geogridsiz duruma göre kıyaslamışlardır. Lazerli ölçüm cihazları ile başlangıç durumunda, 50 tur, 80 tur ve 120 tur tekerlek sayılarından sonra oluşan tekerlek izleri ölçülmüştür. Çalışma sonucunda geogrid kullanımı ile tekerlek izlerinin derinliklerinde azalma görülmüştür. 120 tur sonucunda geogrid katkısız modelde oluşan derinlik 24 cm, Tip-2 geogridin kullanıldığı modelde 12 cm ve Tip-1 geogridin kullanıldığı durumda 8 cm dolaylarındadır. 50 tur tekerlek sayısına kadar oluşan iz derinliğindeki artış miktarı maksimumken 50 turdan sonra bu iz derinliğindeki oluşumun azaldığı görülmüştür. Benzer şekilde geogrid kullanımı ile bu artış daha kararlı bir durum sergilemiştir.

BÖLÜM 3. BAZALT VE ZEMİN İYİLEŞTİRİLMESİNDE KULLANIMI

3.1. Bazalt

Yeryüzü altında bulunan mağma tabakası, litosferin farklı bölgelerinden bir şekilde yeryüzüne çıkıp soğuyarak katılaşması sonucu magmatik kayalar oluşturur. Mağma asidik (felsik), nötr (ortaç) ve bazik (mafik) karakterli olup, soğuması sonucunda farklı türde kayalar oluşabilir (Yıldırım ve Gökaşan, 2013). Bazalt da volkanik kökenli bir kayaç olup, bazik karakterli mağmanın soğuması sonucunda meydana gelir.

Bazik karakterli mağma yüksek sıcaklığı sahip ve oldukça akışkan bir yapıdadır. Yeryüzüne ulaştığında sahip olduğu yüksek akışkanlıkla geniş alanlara yayılarak taşkın ve plato bazaltlarını oluştururlar (Yıldırım ve Gökaşan, 2013). Yüzeye ulaşamayan, bir şekilde önü kesilen ve olduğu bölgede tıkalı kalan magma ise bulunduğu yerde soğur ve katılaşır. Soğuma hızı yüzeye yakınlıkla doğru orantılı olup oluşacak kayaç yapısı da bu soğuma hızına bağlıdır.

Bazalt, aşınma, donma-çözülme, güneş ışınları gibi çevre etkilerine karşı son derece dirençli bir kayadır. Bu olumlu özellikleri haricinde ülkemizde bol miktarda bulunan ve ekonomik bir malzemedir. Hem ucuz hem de bol bulunması bir çok sektörde kullanılmasını sağlamıştır. Ülkemizde en çok inşaat alanında kullanımı varken balistik zırh gibi değişik amaçlarla kullanılması üzerinde çalışmalar sürmektedir.

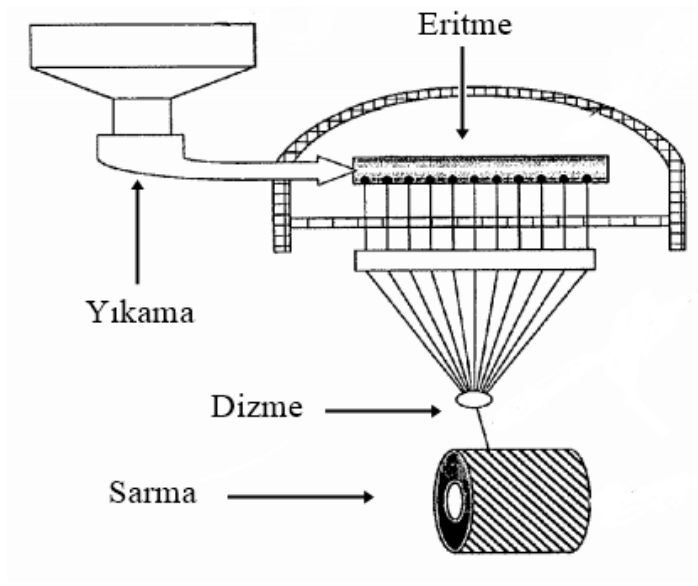
3.2. Bazalt Fiber

Bazalt fiber, 1980'li yıllarda SSCB tarafından Ukrayna ve Gürcistan'da açılan fabrikalarda üretilmeye başlanmıştır. Bazalt fiberlerin üretimi cam fiber üretimine benzer olup, yüksek sıcaklıklarda tek kademeli prosesle, tek komponent malzeme kullanılarak gerçekleştirilir (Ulus, 2018).

Bazalt fiberler, yüksek mukavemetli olup yüksek ısıya, çevre şartlarına, kimyasal maddelere karşı oldukça dirençli ürünlerdir. İnşaat mühendisliğinde betonun iyileştirilmesinde uzun yıllardır kullanılan bazalt fiberlerin zemin iyileştirilmesinde kullanımı yeni olmakla birlikte her geçen gün artmaktadır.

3.2.1. Bazalt fiberin üretim aşamaları

Ham halde elde edilen bazalt kayası öncelikle öğütölme işlemine tabi tutulur. Bu işlemin akabinde öğütülen kaya parçaları yıkama işlemine tabi tutularak temizlenir. Yıkanan bazalt, yüksek sıcaklıkta eritilir. Eritilme işleminden sonra bazaltlar çekilerek lifler haline getirilir. Son aşamada ise rulolar halinde sarılarak istiflenirler. Şekil 3.1.'de bazalt fiberin üretim aşamaları görülmektedir (Kamiya ve ark., 2013).



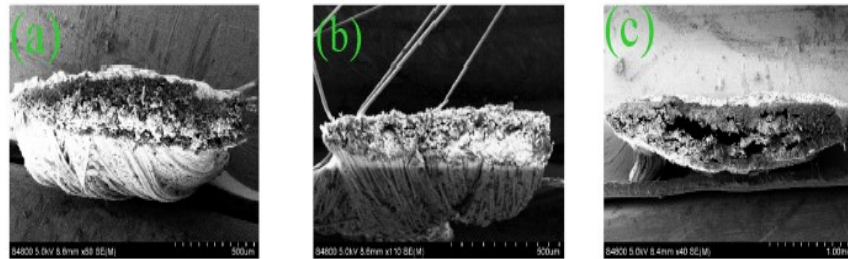
Şekil 3.1. Bazalt fiberin üretim şeması (Kamiya ve ark., 2013).

3.3. Bazalt Geogrid

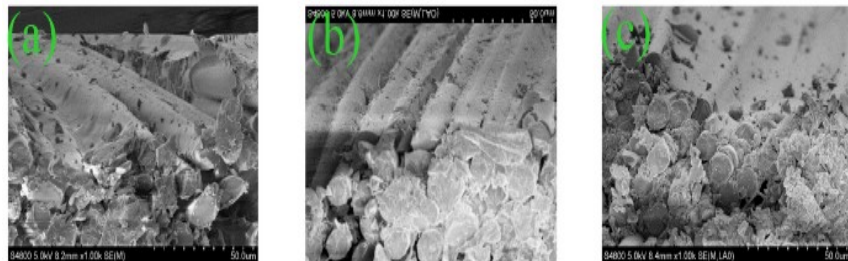
Bazalt geogrid, bazalt fiberden üretilen bir tekstil malzemesidir. Bu geogrid klasik dokuma tezgahlarında, boşluklu dokuma denen bir yöntemle dokunarak imal edilir. Yüksek çekme mukavemetine sahip, dış etkenlerden meydana gelecek bozulmalara karşı dirençli uzun ömürlü bir malzemedir. Betonun özelliklerinin iyileştirilmesinde, beton yüzeyinde meydana gelen çatlakların önlenmesinde kullanılmaktadır. Bazalt geogrid, trafik yükleri ve hava şartlarından dolayı meydana gelen çatlakların engellenmesinde de kullanılmaktadır. Diğer geogridlere karşı çevreci özelliğiyle öne çıkmaktadır.

3.4. Bazalt Geogridin Mikro Yapısı

Jiang ve ark. (2019) çalışmalarında, üç farklı tipteki bazalt fiber meshin (geogrid) mikro yapısını görüntülemek amacıyla SEM analizlerini yapmışlardır. Tip A 5x5 mm açıklığa sahip, Tip B 10x10 mm açıklığa sahip ve Tip C 25x25 mm açıklığa sahiptir. Şekil 3.2.'de bazalt meshlerin SEM görüntüsü, Şekil 3.3.'de fiber yüzeylerinin SEM görüntüsü görülmektedir.



Şekil 3.2. Bazalt geogridin SEM görüntüleri, (a) Tip A, (b) Tip B, (c) Tip C (Jiang ve ark., 2019).



Şekil 3.3. Fiber yüzeylerinin SEM görüntüleri, (a) Tip A, (b) Tip B, (c) Tip C (Jiang ve ark., 2019).

3.5. Bazalt Geogridin İnşaat İşlerinde Kullanımı

Bazalt geogridin, betonun iyileştirilmesi, dolgu duvarların güçlendirilmesi, asfalt takviyesi vb. inşaat işlerinde kullanıldığı bilinmektedir.

Hulin ve ark. (2013) yüksek performanslı betonların yangın etkisi altında davranışını incelemek amacıyla deneysel çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmada kullanılan betonun 28 günlük dayanımı 100 MPa'dır ve yangına karşı güçlendirilmesinde bazalt fiber mesh (bazalt geogrid) ve çelik ağlar kullanılmıştır. Beton, öncelikle katkısız olarak yüksek sıcaklığa maruz bırakılmış, sonrasında bazalt fiber ağla ve çelik ağla kaplanarak yüksek sıcaklıklara maruz bırakılmıştır. Çalışma sonucunda, bazalt fiber ağın, yüksek sıcaklıkta yangına karşı betonu koruduğu gözlemlenmiştir. Ancak yüksek sıcaklık etkisi altında beton yüzeyi ile ağ arasında boşluk oluşmuştur. Bu boşluk, betonun mekanik mukavemetini azaltmıştır. Çelik ağ ile örülen betonda yüksek sıcaklık etkisi altında böyle bir boşluk oluşmamıştır. Bundan dolayı, çelik ağ ile kaplanmış betonun, bazalt fiber mesh ağı ile kaplanmış betona göre yangın davranışının daha iyi olduğu sonucuna varılmıştır. Yazarlar bu deneysel çalışma sonucunda, gözlemlere dayanarak sayısal modelleme için teorik bir yaklaşım önermişlerdir.

Padalu ve ark. (2018) çalışmalarında, tuğla duvarların bazalt fiber mesh (bazalt geogrid) takviyesi altında mekanik davranışlarını incelemişlerdir. Çalışmada kullanılan bazalt geogridlerin mesh aralıkları 25 ve 50 mm'dir. Bu çalışma, üç aşamadan meydana gelmektedir. Birinci aşamada, malzemelerin teknik özellikleri ayrı ayrı olarak eleman bazında incelenmiştir. İkinci aşamada bazalt geogrid ve çimento bileşiminden oluşan plaklar yapılmış ve bu plaklar üzerinde çekme deneyleri yapılarak malzemelerin bir arada çalışması durumu incelenmiştir. Üçüncü ve son aşamada tüm malzemeler bir araya getirilerek tuğla duvar oluşturulmuştur. Tuğla duvarlar yatay konumda eksenel yüke maruz bırakılarak, davranışı incelenmiş ve bazalt geogrid takviyesinin etkisi irdelenmiştir. Deney sonuçlarına göre, bazalt geogrid takviyesi olmayan tuğla duvarda ani ve gevrek kırılma davranışı görülmüştür. Geogrid takviyesiyle birlikte, duvarda meydana gelen bu ani ve gevrek

kırılmanın önüne geçilmiş, yük ve deplasman miktarları artmış, malzemenin yük sönmüleme kapasitesinde önemli miktarlarda artmalar meydana gelmiştir. Örneğin duvarın dik konumda eğilme yüklerine maruz bırakıldığı durumda, takviyesiz duvar maksimum 6 kN yük taşıyıp, maksimum 1,2 mm dolaylarında deplasman yapmıştır. 25 mm açıklığa sahip geogrid takviyesi ile yük 40 kN dolaylarına çıkmış, deplasman miktarı ise 10 mm seviyelerine yükselmiştir.

3.6. Bazaltın Zemin İyileştirilmesinde Kullanımı

Bazalt, inşaat sektöründe bir çok alanda kullanılırken zemin iyileştirilmesinde kullanımı oldukça yeni ve sınırlıdır. Araştırma düzeyinde devam eden çalışmalar önümüzdeki yıllarda zemin iyileştirilmesinde bazalt kullanımının mümkün olduğunu göstermektedir.

Bazalt, ülkemizde çok miktarda bulunan doğal bir malzemedir. Ayrıca bazaltın zemin iyileştirilmesinde kullanılacak son ürün haline gelmesi sürecinde geçtiği adımların, diğer zemin iyileştirme ürünlerinin geçtiği adımlardan daha çevreci olduğu bilinmektedir. Bu gibi üstün özelliklerinden dolayı günümüzde artan çevre duyarlılığına yanıt verebilecek bir malzeme olarak öne çıkmaktadır.

Gao ve ark. (2015) yaptıkları çalışmada, Çin'in Nanjing şehrinden elde ettikleri düşük plastisiteli kil zemine bazalt fiber katarak bazalt fiberin etkisini fiber uzunluğu ve oranı açısından incelemişlerdir. Bu amaçla, 12 mm uzunluğundaki bazalt fiberi, %0, %0,05, %0,10, %0,15, %0,20, %0,25, %0,30 ve %0,35 oranında, 4, 8 ve 15 mm uzunluğundaki bazalt fiberi %0,05 oranında kil zemine katarak serbest basma deneyleri yapmışlardır. Deney sonuçlarına katkı oranı açısından bakıldığında, fiber katkısının artışı belli bir orana kadar serbest basma mukavemetini artırırken belli bir orandan sonra azaltmıştır. En iyi sonuç %0,25 oranında katıldığında %30,89 iyileştirme oranı ile bulunmuştur. Boy uzunlukları açısından bakıldığında, serbest basma mukavemetinin 12 mm fiber uzunluğuna kadar arttığı ve ondan sonra azaldığı görülmüştür. En iyi sonuca 12 mm uzunluğunda %8,07 iyileştirme oranı ile

ulaşılmıştır. Ayrıca numunelerin davranışları incelendiğinde bazalt fiber katkılı numunelerin daha kararlı bir yapıda oldukları görülmektedir.

Özdemir ve ark. (2016) yaptıkları çalışmada kil zemine, bazalt fiber ve kireç katkısının etkisini serbest basınç deneyleri yaparak incelemişlerdir. Kilin içine ağırlıkça %0 ve %9 oranında kireç, ağırlıkça %0, %1 ve %1,5 oranında bazalt fiber ve %9 oranında kireç içeren örnekler %0, %1 ve %1,5 oranında bazalt fiber ekleyerek, numuneleri 1, 7 ve 28. günde serbest basınç deneylerine tabi tutmuşlardır. Yapılan deneyler sonucunda kireç katkısının bariz bir şekilde iyileştirme sağladığı görülürken, kireçsiz örneklerde bazalt fiber katkısının net bir etkisi görülmemiştir. En uygun dayanım değerlerine 28. günde %9 kireç ve %1 bazalt fiber içeren örnekte ulaşılmıştır.

Ndepote ve Sert (2016) çalışmalarında silt zemin üzerinde bazalt fiberin etkisini görmek amacıyla 40 adet üç eksenli hücre kesme (UU) deneyleri yapmışlardır. Çalışmada kullanılan bazalt fiberler 6 mm, 12 mm ve 24 mm boyunda olup zemine %1, %1,5 ve %2 oranında katılmışlardır. Yapılan UU deneylerinde çevre basıncı 100 kPa, 200 kPa, 300 kPa ve 400 kPa olarak belirlenmiştir. Deneyler ilk önce doğal zemin üzerinde gerçekleştirilip sonrasında katkılı zeminlerde gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçlarına göre çevre basıncının artması zeminlerin direncini arttırmıştır. Bazalt fiber katkısı tüm örneklerde iyileştirme sağlamıştır. Artan fiber boyu ile iyileşmenin arttığı görülmüştür. %1,5 oranında kullanılan bazalt fiber %2'den , %2 de %1'den daha iyi sonuç vermiştir. Optimum çözüme ise bazalt fiberin 24 mm boyda, %1,5 oranında kullanıldığı deneylerde ulaşılmıştır.

Gisymol ve Ramya (2017) çalışmalarında, Hindistan'da bulunan Mangalam barajından elde ettikleri Hint standartlarına göre yüksek plastisiteli organik zemine (OH) bazalt fiber ilave ettikten sonra sıkıştırıp serbest basma deneyleri yapmışlardır. Deneylerde kullanılan bazalt fiberler 10 mm, 20 mm ve 30 mm boylarında olup zemine ağırlıkça %0,05, %0,1 ve %0,15 oranında homojen olarak katıldıktan sonra 0, 7, 14, ve 28 gün kürlenmiştir. Çalışma sonucunda bazalt fiberin bu zeminin iyileştirilmesinde kullanımının uygun olduğu görülmüştür. Optimum çözüm 28

günlük kür süresinde 10 mm fiberin %0,05 oranında katılması ile %650 oranında güçlendirme olarak bulunmuştur.

Ndepete ve Sert (2017) doymuş silt zemin üzerinde yaptıkları UU deneylerinde bazalt fiber katkısının kayma direnci üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Çalışmada doymuş zemine 6 mm-12 mm-24 mm boylarında olan fiberleri %1-%1,5-%2 oranlarında katarak deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Deney sonuçlarına göre bazalt fiber katkısı tüm örneklerde dayanımı arttırmıştır. Fiber boyunun artması dayanımı artırırken fiber oranın %1,5 olduğu durumda maksimum dayanım artışı görülmüştür. Çevre basıncına bağlı olarak 24 mm fiberin %1,5 oranında zemine ilave edildiği durumlarda %74-%89 arası iyileştirme sağlanmıştır. Bu sonuçlara göre yazarlar bazalt fiber kullanımının diğer fiber kullanımlarına bir alternatif olacağını belirtmişlerdir.

Kenan ve Özocak (2018) çalışmalarında, bazalt fiber katkısının suya doymuş silt zemin üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Bu amaçla 24 mm uzunluğundaki bazalt fiberleri %0, %1, %1,5, %2, %2,5, ve %3 oranında zemine karıştırarak bulamaç haline getirmişlerdir. Bu bulamacı 100 kPa basınç altında 4-5 gün süreyle konsolide etmişlerdir. Konsolide olmuş malzemeden kesme kutusu deneyi için 60 mm x 60 mm boyutlarında numune hazırlamışlardır. Sonrasında numuneler kesme kutusunda 0,5 mm/dk hızla kesilmişlerdir. Çalışma sonuçlarına göre belirli bir oranda bazalt fiber katkısının zeminlerin kohezyonunu ve içsel sürtünme açısını arttırdığı görülmüştür. %2'den fazla fiber katkısının olduğu durumlarda zeminin içsel sürtünme açısı düşmüş ve bazalt fiberlerin zemin daneleri arasında homojen bir şekilde dağıtılmasında problemler yaşanmıştır. Yazarlar çalışma sonunda, %1,5 oranında bazalt fiber kullanımının uygun olduğu hakkında görüş bildirmişlerdir.

Ramachandran ve ark.ı (2019) çalışmalarında Hindistan'ın Tirupur şehrinden elde ettikleri AASHTO sınıflandırmasına göre A-7-5 olan organik zeminin iyileştirilmesinde bazalt fiber ve öğütülmüş granüler yüksek fırın cürufu kullanmışlardır. Deneylerde bazalt fiber %1, %2 ve %3 oranında kullanırken fırın cürufu %3, %6 ve %9 oranında kullanılmıştır. Öncelikle zeminler sıkıştırılıp

sonrasında serbest basma deneylerine tabi tutulmuşlardır. Sıkıştırma işlemlerinden sonra optimum su muhtevası en fazla %14, maksimum kuru birim hacim ağırlık da $5,72 \text{ g/cm}^3$ bulunmuştur. Serbest basma deney sonuçlarına göre doğal zeminin serbest basma direnci 43 kN/m^2 olarak elde edilmiştir. İyileşmenin en iyi sağlandığı durum, %2 bazalt fiber ve %6 fırın cürufu içeren deney numunesinde 183 kN/m^2 değeridir. Çalışma sonucunda bazalt fiberin zeminin mukavemet özelliklerini arttırdığı görülmüştür.

Küçükosmanoğlu ve Sert (2019) çalışmalarında, kil zeminin taşıma oranında ve şişme davranışında meydana gelecek değişimleri incelemek amacıyla, kil zemine farklı boy ve oranlarda bazalt fiber ilave ederek, Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR) deneyleri yapmışlardır. Fiberler 6 mm, 12 mm ve 24 mm boylarında olup, zemine % 2-% 1,5-% 1-% 0,20-% 0,15-% 0,10-% 0,05 oranlarında homojen olarak karıştırılmışlar ve oluşturulan numuneler 96 saat süreyle şişmeye bırakıldıktan sonra deneye tabi tutulmuştur. Yapılan çalışma sonucunda bazalt fiber katkısının kil zeminin şişme davranışını iyileştirdiği görülürken belli bir değerden sonra doğal durumdan daha fazla şişme gerçekleştirmiştir. En iyi sonuç 6 mm uzunluğundaki fiberin %0,20 oranında kullandığı durumda 0,41 mm olarak elde edilmiştir. Taşıma gücü oranındaki en iyi sonuca ise yine 6 mm uzunluğundaki fiber %0,20 oranında kullanıldığında 3,25 kat artışla ulaşılmıştır.

Ocakbaşı (2019) yaptığı tez çalışmasında kil zemine, bazalt fiber katkısının etkilerini incelemiştir. Çalışmada, 20 adedi doğal numuneler, 180 adedi bazalt fiber katkılı numuneler içeren zemin örnekleri üzerinde serbest basma (UC) deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bazalt fiberler, farklı su muhtevalarında hazırlanmış zeminlere 6 mm, 12 mm ve 24 mm boylarında %1, %2 ve %3 oranında katılmıştır. Ayrıca bazalt fiberle zemin arasında oluşan dokuyu görüntülemek için SEM analizleri yapılmıştır. Tez çalışması sonucunda bazalt fiber katkısının, bu zemin türünde iyileştirme sağladığı görülmüştür. En iyi iyileşme 24 mm uzunluğunda bazalt fiberin %2 oranında zemine katıldığı durumda elde edilmiştir. Bazalt fiber boyunun artmasıyla birlikte iyileşme oranlarının arttığı görülmüştür. SEM analizleri sonucunda, katkı

oranının optimum tutulması durumunda fiberlerin daneler arasında iskelet yapısı oluşturduğu görülmüştür. Bu yapı zeminin drenajsız kayma direncini arttırmaktadır.

Chen (2019) yaptığı çalışmada, çimento ile güçlendirilmiş yumuşak zemine bazalt fiber takviye ederek serbest basma deneyleri yapmıştır. Deneyler 7, 28, 60 ve 90 gün bekleyen numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Deneylerde %15 ve %16,5 çimento içeren numuneler kullanılmıştır. Su çimente oranı 0,5’de sabit tutulmuştur. Deney sonuçlarına göre bazalt fiber katkısı, çimento takviyeli yumuşak zeminler üzerinde serbest basma mukavemetini arttırmıştır. Deney numunelerinin bekleme süresi arttıkça, mukavemetleri artmıştır. Örnekle 7 günlük dayanımı 0,84 MPa olan bir numune, 90 günün sonunda 2,52 MPa serbest basma değerine ulaşmıştır.

Xiao ve ark. (2019) çalışmalarında, silika kumunu bazalt fiber ve Sporosarcina pasteurii isimli bakteri ile güçlendirip serbest basma ve çekme testleri yapmışlardır. Bu bakterilerin özelliği, uygun ortamda üreyerek kalsit oluşturmalarıdır. Oluşan bu kalsit de zemin danelerini çimentolamaktadır. Kum, bazalt fiber ve kalsitlerden oluşan yapıyı gözlemlemek için de SEM analizleri yapılmıştır. Deney numunelerine bazalt fiberler ağırlıkça %0, %0,4, %0,6, %0,8, %1, %1,2 oranlarında katılmıştır. Numuneler içerisindeki kalsit oranları değişkenlik arz etmektedir. Yapılan deney sonuçlarına göre aynı miktarda fiber içeren numunelerde kalsit miktarının artması zeminin serbest basma ve çekme direncini arttırmıştır. Örneğin %0,6 bazalt fiber içeren numunede kalsit miktarının ağırlıkça %10,8 olduğu durumda q_u : 0,67 MPa, %19,3 olduğu durumda 1,99 MPa değerine yükselmiştir. Benzer şekilde çekme değeri, %0,4 bazalt fiber içeren numunede kalsit miktarının ağırlıkça %7,9 olduğu durumda q_u : 0,11 MPa, %17,7 olduğu durumda 0,45 MPa değerine yükselmiştir. Hem serbest basma deneyleri hem de çekme deneyleri için bazalt fiberin %0,8 oranında olması optimum çözümü sağlamıştır. SEM analizi sonuçlarına göre, kum ve bazalt fiberler üzerinde kalsit oluşumu gözlenmiş olup, oluşan bu yapı iki malzemenin bütünleşik bir form haline gelmesini sağlamıştır.

BÖLÜM 4. MALZEMELER VE YÖNTEM

Bu bölümde, tez çalışmasında kullanılan malzemelerin özellikleri, zeminlerde kullanım şekli ve deneylerde kullanılan malzemelerin hazırlanışları ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır. Deney yöntemleri tanıtılmış ve deney sonuçlarının gösterildiği tablo ve grafikler verilmiştir. Bazalt geogrid, zemine tek adet ve çift adet olmak üzere farklı derinliklerde ilave edilerek zemine olan katkısı sayı ve zemin içerisindeki konumu açısından incelenmiştir.

4.1. Malzemeler

Deneylerde, Sakarya iline ait farklı noktalardan elde edilen kil ve silt zemin ile bu zeminleri güçlendirmek üzere bazalt geogrid kullanılmıştır.

4.1.1. Silt zemin

Deneylerde kullanılan silt zemin, Sakarya ili Adapazarı ilçesi Yenigün mahallesinden 3-4 metre derinlikten alınmıştır. Şekil 4.1.'de numunenin alındığı Adapazarı Yenigün mahallesi görülmektedir. Mahallenin doğusundan geçen Sakarya Nehri bu bölgenin zeminlerinin oluşmasında etkilidir. Laboratuvara getirilen silt zemin sonrasında açık havada kurutulmaya bırakılmıştır. Kuruyan zemin, elekten elenerek deneylerde kullanılmıştır. Silt zeminin açık havada kurutulması Şekil 4.2.'de ve elekten elenmesi Şekil 4.3.'de görülmektedir. Tablo 4.1.'de silt zemine ait fiziksel özellikler görülmektedir.



Şekil 4.1. Adapazari Yenigün Mahallesi



Şekil 4.2. Silt zeminin kurutulması



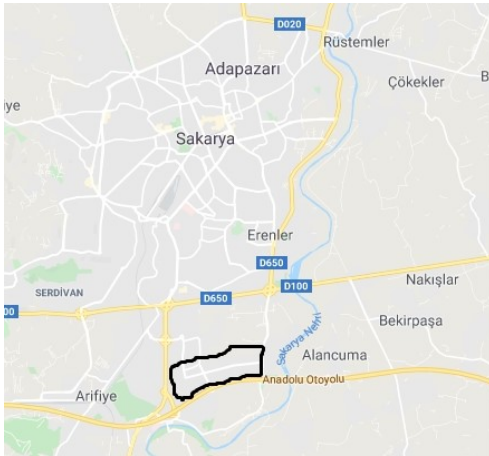
Şekil 4.3. Silt zeminin elenmesi ve kuruyan killler

Tablo 4.1. Silt zemine ait fiziksel özellikler

Özellik	Değer	Simge ve Birim
Likit limit	32	LL (%)
Plastik limit	25	PL (%)
Plastisite indisi	7	PI (%)
Maksimum kuru hacim ağırlık	15,42	γ_{kmaks} (kN/m ³)
Optimum su muhtevası	22	w _{opt} (%)
Özgül ağırlık	2,67	G _s
Kil oranı	17	C (%)
No 200'den geçen	83	%

4.1.2. Kil zemin

Deneylerde kullanılan kil zemin, Sakarya ili 1. Organize Sanayi Bölgesinden 3,80-4,00 metre derinliklerden elde edilmiştir. Şekil 4.4.'de kilin elde edildiği 1.Organize Sanayi Bölgesi ve kilin alındığı çukur görülmektedir. Bölgenin doğusundan geçmekte olan Sakarya Nehri buradaki zeminlerin oluşumunda etkilidir. Kil zemin elde edildikten sonra kurutulmaya bırakılmıştır. Şekil 4.3.'de yerde serili bir şekilde kuruyan killer görülmektedir. Kuruyan killer önce parçalanmışlar, daha sonra elekten elenerek deneylerde kullanılacak dane boyutuna getirilmişlerdir. Şekil 4.5.'de kil zeminin parçalanmış ve elenmiş halleri gözükmemektedir. Tablo 4.2.'de kil zeminin fiziksel özellikleri verilmiştir.



Şekil 4.4. Sakarya 1. Organize Sanayi Bölgesi ve numune çukuru



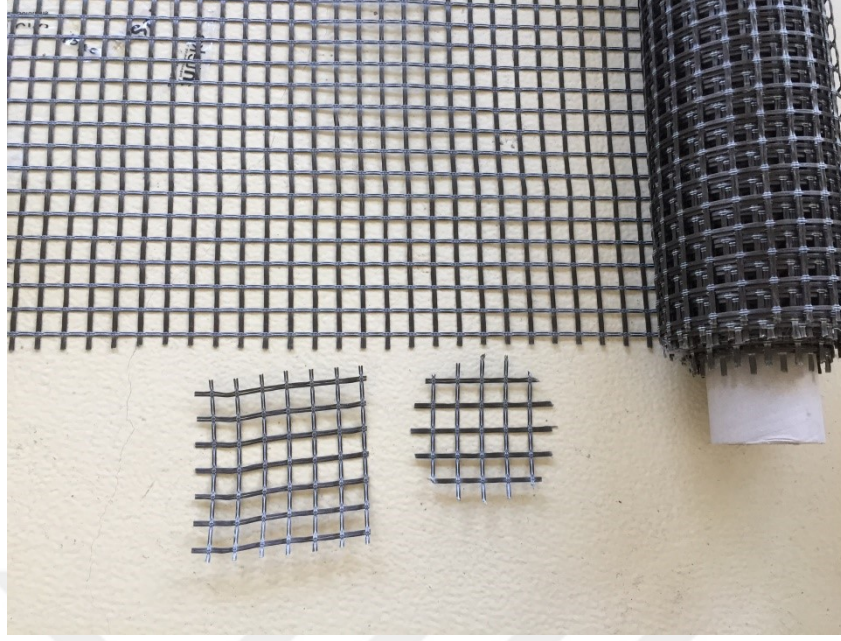
Şekil 4.5. Ufalanmış ve elenmiş kil zemin

Tablo 4.2. Kil zeminin fiziksel özellikleri

Özellik	Değer	Simge ve Birim
Likit limit	59	LL (%)
Plastik limit	18	PL (%)
Plastisite indisi	41	PI (%)
Maksimum kuru hacim ağırlık	13,78	γ_{kmaks} (kN/m ³)
Optimum su muhtevası	29,5	w _{opt} (%)
Özgül ağırlık	2,67	G _s
Kil oranı	38	C (%)
No 200'den geçen	99,5	%

4.1.3. Bazalt geogrid

Çalışmalarda kullanılan bazalt geogrid, Spinteks Tekstil İnşaat Sanayi ve Ticaret A.Ş. (Denizli/Türkiye) tarafından sağlanmıştır. Geogridler, piyasada rulolar halinde satılıp, imalat sırasında zemin yüzeylerine serilmektedirler. Bazalt geogrid, deneylerde kullanıma uygun bir şekilde dairesel olarak kesilmiştir. Şekil 4.6.'da bazalt geogrid görülmektedir. Tablo 4.3.'de bazalt geogridin özellikleri verilmiştir.



Şekil 4.6. Bazalt geogrid

Tablo 4.3. Bazalt geogridin özellikleri

Kaynak	Özellik	Birim	Değer
URL-4	Cinsi	-	HS-Basalt
	Ham madde	-	Bazalt
	Renk	-	Kahverengi
	Ağırlık	g/m ²	320
	Gözenek açıklığı	mm/mm	25/25
	Kalınlık	mm	1
	Elastisite modülü	GPa	26,2
	Çekme gerilmesi	MPa	1575
	Kopma anında uzama	%	2,2
	Çekme yükü	kN	5,253
Jiang ve ark. (2019)	Çekme gerilmesi	MPa	643,4
	Kopma anında uzama	%	2,31
	Elastisite modülü	GPa	28,98
	Çekme yükü (dy)	kN	1,66
Padalu ve ark. (2020)	Çekme gerilmesi (dy)	MPa	1103
	Kopma anında uzama (dy)	%	1,87
	Elastisite modülü (dy)	GPa	62,1
	Çekme yükü (dd)	kN	1,71
	Çekme gerilmesi (dd)	MPa	856
	Kopma anında uzama (dd)	%	1,96
	Elastisite modülü (dd)	GPa	50,9

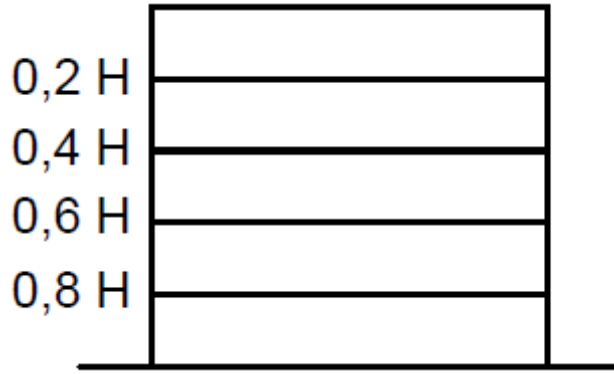
4.2. Yöntem

Deneylere başlamadan önce, kil ve silt zeminin sınıfını belirlemek amacıyla TS 1900-1'e göre likit limit, plastik limit ve elek analizi deneyleri yapılmıştır. Ayrıca, hidrometre deneyi yapılmış ve kil yüzdeleri belirlenmiştir. Piknometre deneyi yapılarak numunelerin özgül ağırlıkları bulunmuştur. Kil ve silt zeminin optimum su muhtevasını ve maksimum kuru birim hacim ağırlığını belirlemek için kompaksiyon deneyleri yapılmıştır.

Bazalt geogridin, kil ve silt zeminde meydana getirdiği etkiyi görmek amacıyla TS1900-2'ye göre Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR) deneyleri yapılmıştır. İlk olarak doğal numuneler üzerinde CBR deneyleri yapıldıktan sonra zeminlere geogrid ilave edilerek çeşitli varyasyonlarda deneylere devam edilmiştir. Deneylerde kullanılan geogrid, zemin numunelerine tek ve çift tabaka olarak yerleştirilmiştir. CBR kalıbının boyu H olmak üzere zemin, her bir tabaka kalınlığı 0,2 H olmak üzere beş tabakaya bölünmüştür. Tek tabaka geogrid katkısı, zeminlerin 0,2 H, 0,4 H, 0,6 H ve 0,8 H noktalarına yerleştirilmiştir. Çift tabaka geogrid katkısı zeminlerin, 0,2-0,4 H, 0,2-0,6 H, 0,2-0,8 H, 0,4-0,6 H, 0,4-0,8 H ve 0,6-0,8 H noktalarına yerleştirilmiştir. Tablo 4.4.'de geogrid yerleşim düzeni görülmektedir. Deneylerde kullanılan bu düzen kil ve silt zeminde aynen tatbik edilmiştir. Deneyler, bir seti suda şişmeye bırakılmış ve diğer seti şişmeye bırakılmış olarak iki set halinde uygulanmıştır. Şekil 4.7.'de CBR kalıbı şematize edilmiştir.

Tablo 4.4. Geogrid yerleşim düzeni

Geogrid Sayısı	Bulunduğu Tabaka
TEK	0,2 H
	0,4 H
	0,6 H
	0,8 H
ÇİFT	0,2-0,4 H
	0,2-0,6 H
	0,2-0,8 H
	0,2-0,4 H
	0,2-0,6 H
	0,2-0,8 H



Şekil 4.7. CBR kalıbı

4.2.1. Fiziksel deneyler

Sınıflama deneyleri doğal numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Kıvam limitlerini belirlemek amacıyla, likit limiti belirlemeye yarayan Casagrande ve Koni düşürme deneyleri ile plastik limit deneyleri yapılmıştır. Malzeme granülometresi için elek analizi deneyleri yapılmıştır. İnce malzeme içerisindeki kil yüzdesini belirlemek amacıyla hidrometre deneyi ve malzemenin özgül ağırlığını tayin etmek için de piknometre deneyleri yapılmıştır. Tüm bu deneyler kil ve silt numuneler için ayrı ayrı yapılmıştır.

4.2.1.1. Kıvam limitleri

İnce daneli zeminlerin, kıvam özelliklerini belirlemede en önemli kıstas zeminlerin su içeriğidir. İnce daneli zeminler belli bir su içeriğinde katı gibi davranırken su miktarının artışıyla katı davranıştan sıvı davranışa geçiş görülür. Zeminlerin farklı su muhtevalarında gösterdiği davranış farkına kıvam denir. Kıvam limitleri deneyleri TS1900-1’de açıklandığı gibi yapılarak çıkan sonuçlara göre ince daneli zeminlerin sınıfı TS1500/2000 standardına göre belirlenir.

Likit limitleri belirlemek amacıyla silt ve kil üzerinde Casagrande ve düşen koni deneyleri yapılmıştır. Casagrande yönteminde, 200 g zemin numunesine bir miktar su katılmıştır. Karışım homojen hale gelecek şekilde karıştırıldıktan sonra hava

geçirmez bir kapla kapatılmıştır. 24 saat bekletilerek suyun ince malzeme içerisinde iyice dağılması sağlanmıştır. Sonrasında bir miktar zemin numunesi alınarak Casagrande aletine yerleştirilmiştir. Oluk açma bıçağı ile 13 mm genişliğinde oluk açılmış ve cihaz saniyede 2 sefer olmak üzere 10 mm yükseklikten düşürülmüştür. 13 mm genişliğin kapandığı düşme sayısı kayıt edilmiş ve bu işlem artan su muhtevalarında 4 kere daha uygulanmıştır. Su muhtevası için her deney sırasında kaplardan örnek alınmış, deney sonrasında su muhtevası-vuruş sayısı grafiği çizilmiştir. 25 vuruşa denk gelen su muhtevası o zeminin likit limiti olarak kaydedilmiştir.

Düşen koni yönteminde, 200 g zemin numunesine bir miktar su katılmış, karışım homojen hale gelecek şekilde karıştırıldıktan sonra hava geçirmez bir kapla kapatılmıştır. 24 saat bekletilerek suyun ince malzeme içerisinde iyice dağılması sağlanmış, sonrasında bir miktar zemin numunesi alınarak deney kabına yerleştirilmiştir. Deney kabına, koni düşürülmüş ve 5 saniye beklendikten sonra batma miktarı kaydedilmiştir ve sonrasında bu işlem 4 kere tekrar edilmiştir. Su muhtevası için her deney sırasında kaplardan örnek alınmış, deney sonrasında su muhtevası-batma grafiği çizilmiştir. 20 mm batmaya denk gelen su muhtevası o zeminin likit limiti olarak kaydedilmiştir. Şekil 4.8.'de likit limit deney yapım süreci görülmektedir.

Plastik limit, zeminin yuvarlanırken 3 mm kalınlığı indiğinde, üzerinde çatlakların meydana geldiği su muhtevası olarak tanımlanır. Zemin numunesi buzlu cam üzerine serilmiş, belli bir süre kurumaya bırakıldıktan sonra numune top haline getirilip yuvarlanmaya başlanılmıştır. 3 mm boyutuna gelene kadar yuvarlanılan numunelerde çatlamların meydana geldiği görülünce su muhtevası için örnek olarak alınarak etüve atılmışlardır.

Şekil 4.9.'da plastik limit deneyleri görülmektedir. Deney sonuçlarına göre silt zeminin plastik limiti %25 su muhtevasında, kil zeminin plastik limiti %18 su muhtevasında bulunmuştur.

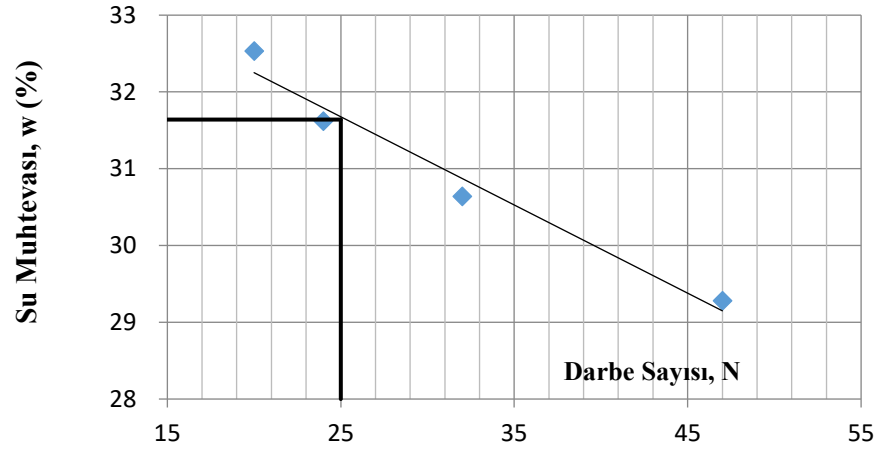


Şekil 4.8. Likit limitin tayini, (a) Zemin numunesinin hazırlanması (b) Numunenin saklanması, (c) Koni düşürme deney düzeneği, (d) Zeminin Casagrande aletine yerleştirilmesi, (e) Oluk açılmış zemin, (g) Su muhtevalarının belirlenmesi için alınan örnekler

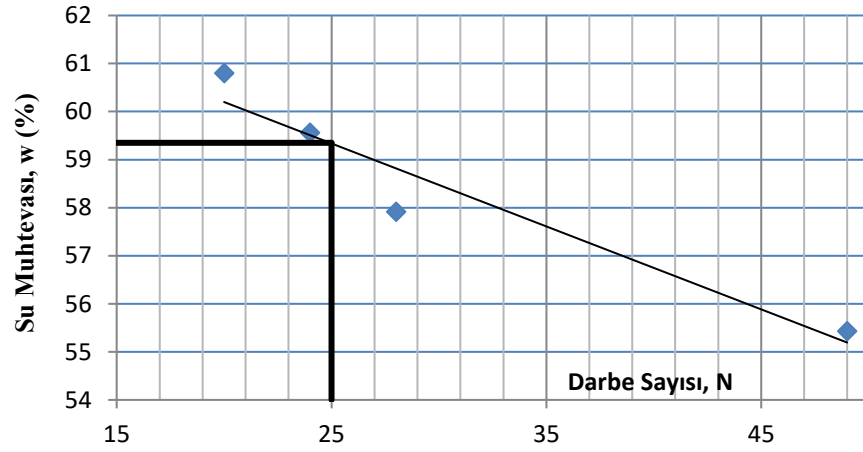


Şekil 4.9. Plastik limit deneyi numuneleri

Şekil 4.10.'da Silt zeminin, Şekil 4.11.'de kil zeminin likit limit deney sonuçları görülmektedir.

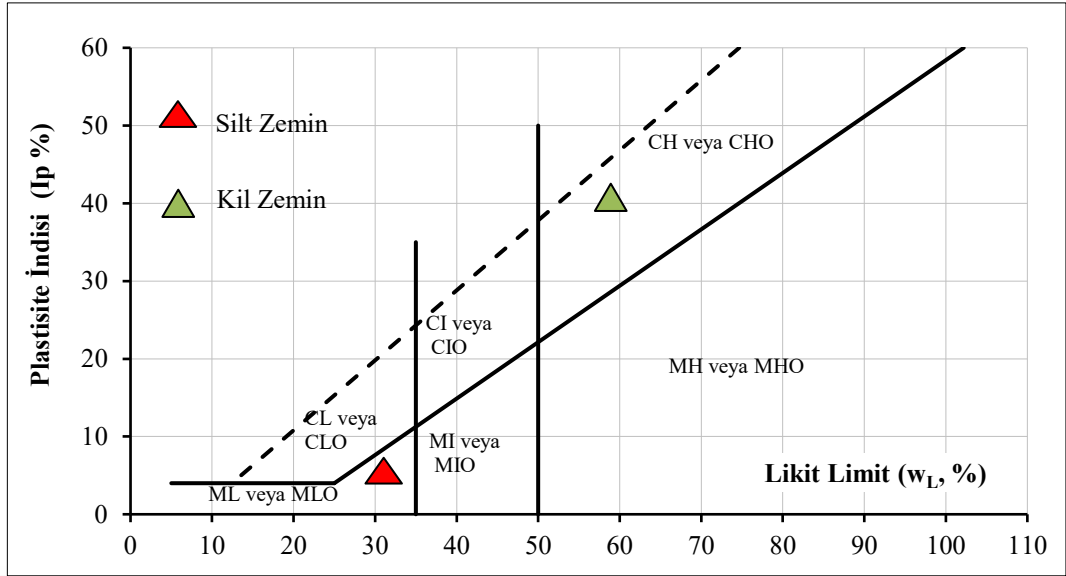


Şekil 4.10. Silt zeminin Casagrande deney grafiği



Şekil 4.11. Kil zeminin Casagrande deney grafiği

Yapılan kıvam deneyleri sonucunda silt zeminin plastisite indisi %7 su muhtevasında, kil zeminin plastisite indisi %41 su muhtevasında bulunmuştur. Şekil 4.12.'de silt ve kil zeminin TS 1500 plastisite kartındaki konumları görülmektedir.



Şekil 4.12. Silt ve kilin TS 1500/2000 plastisite kartındaki yeri

TS 1500/2000 plastisite kartına göre A doğrusunun üzerinde bulunan zeminler kil olarak sınıflandırılırken altında bulunan zeminler silt olarak sınıflandırılır. Deneylerde kullanılan silt zemin A doğrusunun altında ve likit limit değeri %35'den küçük olduğu için düşük plastisiteli siltler kısmında değerlendirilerek ML simgesiyle adlandırılmıştır. Kil zemin, A doğrusunun üzerinde ve likit limit değeri %50'den büyük olduğu için yüksek plastisiteli killer kısmında değerlendirilerek CH simgesiyle adlandırılmıştır.

4.2.1.2. Özgül ağırlık deneyleri

Özgül ağırlık deneyinde, zemin danesinin birim hacim ağırlığının, suyun birim hacim ağırlığına oranı bulunur. TS 1900-1'de tariflendiği gibi piknometre adı verilen şişeler kullanılarak zeminin özgül ağırlığı bulunur. Deneyin ilk aşamasında piknometre şişeleri 105°C sıcaklıktaki etüvde 24 saat bekletilerek kurutulmuş, kuru şişeler tartılarak ağırlıkları not alınmıştır. Şişelere 10 gr kadar etüvde kurutulmuş zemin numunesi konularak 2. tartım yapılmış, sonrasında şişelere biraz su eklenerek, şişeler desikatöre yerleştirilmiş, zemin içerisinde tüm hava alındıktan sonra şişeler desikatörden çıkarılmıştır. Şişelerin oda sıcaklığına gelmesi beklendikten sonra şişeler suyla doldurulup 3. tartım yapılmış ve şişeler boşaltılmıştır. Deneyin son aşamasında ise şişeler ağzına kadar su ile doldurulup 4. tartım yapılmıştır. Bu deney

evre koşullarından çok fazla etkilendiği için deneyin her bir kademesinin son derece dikkatli yapılması gerekmektedir. Her bir zemin için en az 3 adet özgül ağırlık deneyi yapılmalı ve sonuçların bir biri ile tutarlı olduğu gözlenmelidir. Şekil 4.13.'de deney sırasında çekilen fotoğraflar görülmektedir. Yapılan deney sonuçlarına göre silt zeminin özgül ağırlığı 2,67, kil zeminin özgül ağırlığı 2,67 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.13. Piknometre deneyi aşamaları

4.2.1.3. Elek analizi ve hidrometre deneyleri

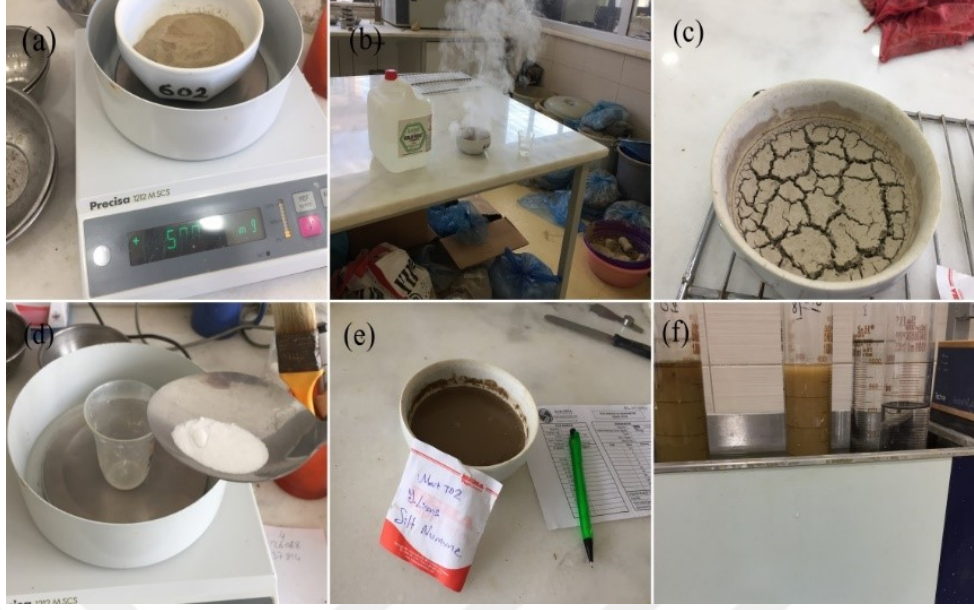
Kaba daneli zeminlerin dane dağılımı elek analizi ile bulunurken ince daneli zeminlerin dane dağılımı hidrometre deneyleri ile elde edilir. Elek analizi ve hidrometre deneyleri TS 1900'e göre yapılmış olup silt ve kil zeminler için ayrı ayrı tatbik edilmiştir. Elek analizi deneyinde zemin belirli çap aralıklarında oluşturulmuş eleklerden elenerek deney gerçekleştirilir. Elekler üzerinde kalan zeminler tartılarak aralıkları bulunur. En son, 0,074 mm elekten geçen zeminler tavaya düşer ve bu zeminler ince daneli zeminler olarak değerlendirilir. Hidrometre deneyi elek analizi deneyinden daha karmaşık bir deney olup bu deneyde önemli olan malzemenin su içerisindeki çökelme hızıdır. Hidrometre deneyinde ilk olarak malzeme 2 mm açıklıklı elekten elenmiş, 50 gr kadar alınan numune, etüvde 24 saat süreyle kurutulmuştur. Sonrasında numune içerisindeki organik malzemeleri uzaklaştırmak amacıyla zemine perhidrol katılarak organik malzemeler yakılmıştır. Yakma işlemi

bittikten sonra numune etüve atılarak tekrar kurutulmuş, etüvden katı halde çıkan numuneye sodyum hekzametafosfat eklenerek zemin danelerinin bir birinden ayrılması sağlanmıştır. Bu işlemden sonra numune, 1000 ml su içeren mezürün içerisinde çalkalanarak sabit sıcaklıktaki havuza yerleştirilmiş ve okumalar alınmıştır. Şekil 4.14.'de elek analizi, Şekil 4.15.'de hidrometre deneylerinden görüntüler bulunmaktadır.

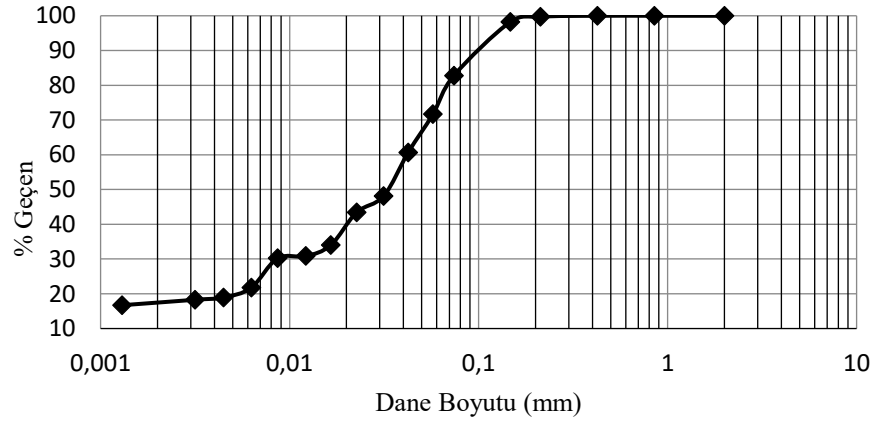
Deney sonuçlarına göre silt zeminin % 83'ü ince daneli olup, % 17'si kildir. Kil zeminin % 99,5'i ince malzeme olup % 44'ü kildir. Elde edilen verilere göre çizilen dane dağılım eğrilerinden Şekil 4.16. silt zeminin, Şekil 4.17. kil zeminin dane dağılım eğrilerini göstermektedir.



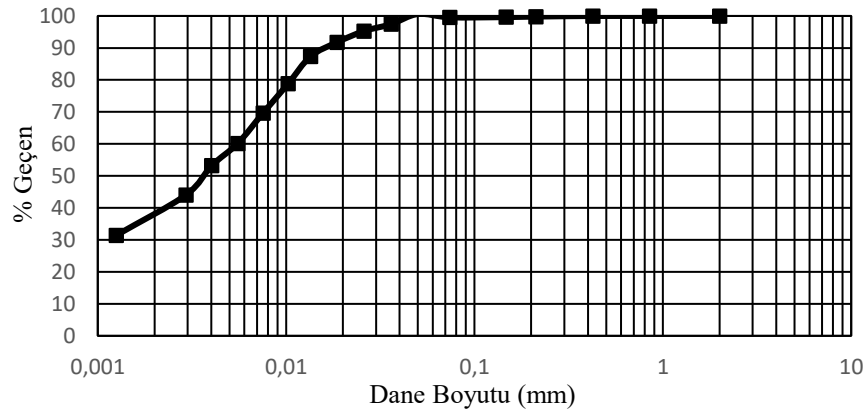
Şekil 4.14. Elek analizi deney düzeneği



Şekil 4.15. Hidrometre deneyi, (a) 50 gr numune hazırlanması, (b) Perhidrol ile organik malzemenin yakılması, (c) Etüvde kurutulmuş zemini, (d) Sodyum Hekzametafosfat, (e) Danelerine ayrılmış zemin, (f) Deney düzeneği



Şekil 4.16. Silt zeminin dane dağılım eğrisi



Şekil 4.17. Kil zeminin dane dağılım eğrisi

4.3. Standart Kompaksiyon Deneyleri

Standart kompaksiyon deneyi TS1900-1’de tariflendiği şekilde gerçekleştirilmiştir. Bu deneyde ağırlıkları 2,5 kg olan 5 adet zemin numunesi hazırlanmış, herbir numuneye farklı içeriklerde su katılarak karıştırılmıştır. Karışım homojen hale gelince, numuneler su içeriğinin zemin danelerine tamamen dağılması için plastik poşetlerde 24 saat süreyle saklanarak deney yapımına hazır hale getirilmiştir. Sonra, hazır halde bulunan zemin, iç çapı 105 mm ve yüksekliği 115,5 mm olan kalıp içerisinde 3 tabaka halinde ağırlığı 2,5 kg olan bir tokmağın 305 mm yükseklikten her tabakada 25 vuruş yapacak şekilde düşürülerek sıkıştırılmıştır. Sıkıştırılan zeminlerden, su muhtevası için örnek alınmış, deney verilerine göre kuru birim hacim ağırlık-su muhtevası grafikleri çizilerek numunenin maksimum kuru birim hacim ağırlığı ve optimum su muhtevası bulunmuştur.

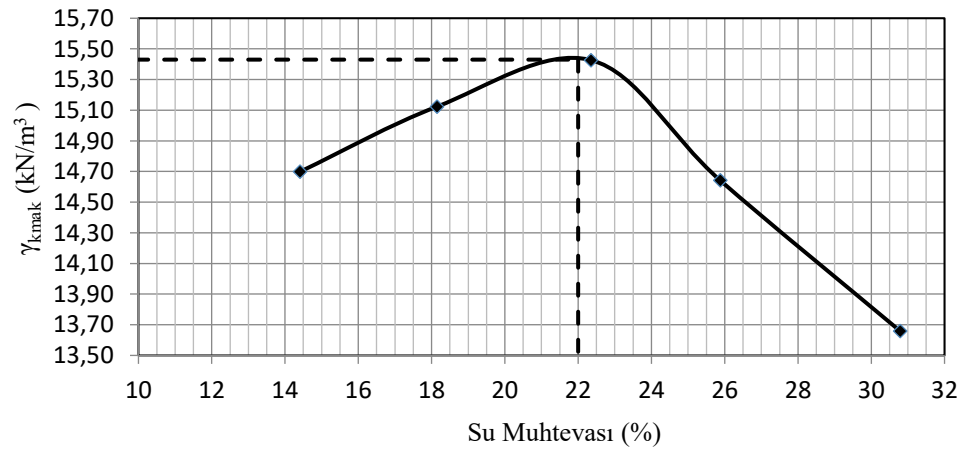
Bu deney, uygulanan enerjinin miktarına göre farklı sonuçlar vermektedir. Artan sıkıştırma enerjisi ile maksimum kuru birim hacim ağırlık artarken, optimum su muhtevası azalma eğilimindedir. Deney sonucunda çizilen grafik hiçbir zaman teorik olarak çizilen sıfır hava boşluğu eğrisinin sağına geçemez.

Silt zemin üzerinde gerçekleştirilen kompaksiyon deneylerinde 2,5 kg’lık numunelere sırasıyla 200-300-400-500-600 gr, kil zemin üzerinde gerçekleştirilen kompaksiyon deneylerinde ise 2,5 kg’lık numunelere sırasıyla 300-400-500-600-700 gr su eklenmiştir.

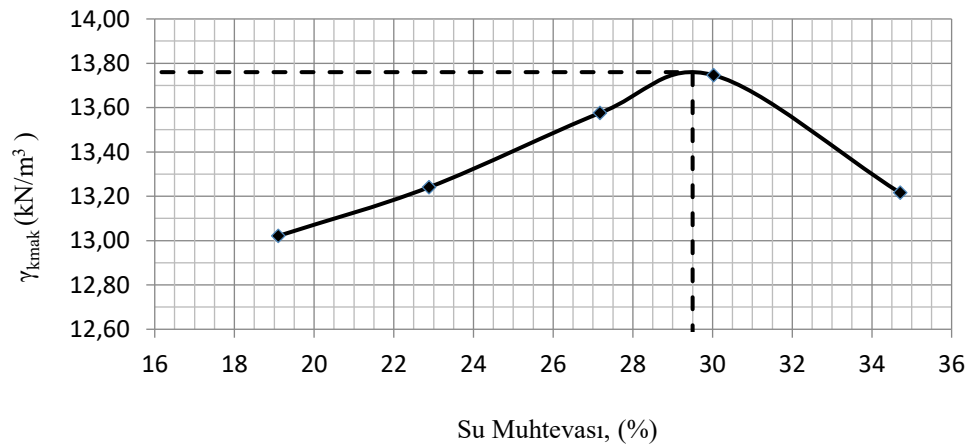
Şekil 4.18.’de deney sırasında çekilen fotoğraflar görülmektedir. Şekil 4.19.’da silt zeminin, Şekil 4.20.’de kil zeminin kuru birim hacim ağırlık-su muhtevası grafikleri görülmektedir.



Şekil 4.18. Kompaksiyon deneyi, (a) Suyla karıştırılmış zemin, (b) Numunenin saklanması, (c) Kompaksiyon deney düzeneği, (d) Sıkıştırılmış zeminin tartılması, (e) Su muhtevası için alınmış örnekler, (f) Etüvde kurutulmuş örnekler



Şekil 4.19. Silt zeminin standart kompaksiyon eğrisi



Şekil 4.20. Kil zeminin standart kompaksiyon eğrisi

Deney sonuçlarına göre silt zeminde optimum su muhtevası %22, maksimum kuru birim hacim ağırlık (γ_{kmaks}) 15,42 kN/m³ olarak bulunmuştur. Kil zeminde optimum su muhtevası %29,5, maksimum kuru birim hacim ağırlık (γ_{kmaks}) 13,78 kN/m³ olarak bulunmuştur.

4.3.1. Kompaksiyon deneyinin hesapları

Bu deneyin hesabı, farklı su içeriklerindeki zeminin uygulanan sabit enerji karşısında ne kadar sıkışabildiklerinin karşılaştırılması esasına dayanır. Sıkıştırılan zeminler tartılır ve aşağıda verilen ifadelerle göre hesaplandıktan sonra γ_k -w grafiği çizilerek en iyi sıkışmanın sağlandığı aralık bulunur.

Sıkıştırma işleminden sonra, kalıpla birlikte içerisindeki zemin tartılır. Aşağıdaki ifadenin yardımıyla zeminin yaş birim hacim ağırlığı (γ_n) (Denklem 4.1) bulunur.

$$\gamma_n \left(\text{kN/m}^3 \right) = \frac{M_{\text{kalıp+zemin}} - M_{\text{kalıp}}}{V_{\text{kalıp}}} \times 9,81 \quad (4.1)$$

Zeminin kuru birim hacim ağırlığına (γ_k) aşağıdaki ifadeden (Denklem 4.2) geçiş yapılır.

$$\gamma_k = \frac{\gamma_n}{1 + w} \quad (4.2)$$

Su muhtevasının (w) yüzde cinsinden bulunması aşağıdaki ifade (Denklem 4.3) ile bulunur.

$$w = \frac{M_{\text{kap+yaş}} - M_{\text{kap+kuru}}}{M_{\text{kap+kuru}} - M_{\text{kap}}} \times 100 \quad (4.3)$$

Sıfır hava boşluğu aşağıdaki ifade (Denklem 4.4) ile teorik olarak çizilir.

$$\gamma_{zav} \left(\text{kN/m}^3 \right) = \frac{\rho_w}{\left(\frac{1}{G_s} + w \right)} \times 9,81 \quad (4.4)$$

Burada ρ_w suyun yoğunluğunu (g/cm^3), G_s zeminin özgül ağırlığını ve w zeminin su muhtevasını ifade etmektedir.

4.4. Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR) Deneyleri

Kaliforniya Taşıma Oranı deneyi, karayolları ve havalimanlarında yapılacak dolguların kalitesini belirlemede, alt temel ve üst temelde kullanılacak dolgu malzemesinin niteliklerinin belirlemesinde, asfalt kalınlığının belirlenmesinde, bir malzemenin dolgu olup olamayacağının tespitinde kullanılan bir deneydir. Bu deney mevcut zeminin, Kaliforniya kırma taşının dayanımına yüzde cinsinden oranlanması esasına dayanır.

4.4.1. TS 1900-2'ye göre taşıma oranının tayini

Bu deney TS 1900-2 Bölüm 5'de taşıma oranının tayini adıyla geçmektedir. Deney, kesit alanı 1935 mm^2 olan bir pistonun zemine sabit hızda penetre edilmesiyle oluşan yük penetrasyon ilişkisinin Kaliforniya kırma taşına oranlanmasıyla alakalıdır. 20 mm çaptan daha büyük dane boyutuna sahip zeminlerde ve CBR değerinin %5'den daha düşük çıkacak zeminlerde uygulanması elverişli değildir.

4.4.1.1. Deneyde kullanılan malzemeler

Bu deneyde, göz açıklığı 4,75 mm ve 20 mm olan elekler, iç çapı 152 mm, yüksekliği 127 mm ve 50 mm yüksekliğinde yakası olan kalıp, plaka sapı, kesit alanı 1935 mm^2 ve uzunluğu 250 mm olan bir piston, pres, komparatör saati, iç çapı 54 mm, dış çapı 149,2 mm olan 3 adet 2,3 kg kütle, 2,5 kg ve 4,5 kg ağırlığında tokmaklar, 5000 mm^2 alanlı 25 ton kapasiteli basınç aleti, elektrikli tokmak, çubuk, cetvel, A tipi palet bıçağı, sacayak, terazi, süzgeç kağıdı, vazelin veya silikon gresi kullanılmaktadır.

4.4.1.2. Deney numunesinin hazırlanması

Deney, 20 mm elekten geçmiş zeminler üzerinde gerçekleştirilmelidir. Deney genellikle zeminin kazı anındaki su muhtevasında yapılır. Farklı su muhtevalarında yapılmak istendiğinde zemine istenilen miktarda su katılarak karıştırılır. Karıştırma işleminin çok iyi yapılması gerekmektedir. Karıştırıldıktan sonra sıkıştırma işlemi öncesinde 24 saat süreyle nemini kaybetmesini engelleyecek bir kap içerisinde bekletilmelidir.

4.4.1.3. Sıkıştırma yöntemleri

Statik ve dinamik sıkıştırma olarak iki çeşittir. İstenilen kuru birim hacim ağırlıkta sıkıştırma işlemini yapmak için gereken zemin kütlesi aşağıdaki ifadeden (Denklem 4.5) hesaplanır.

$$M_1 = 23,5 \times (100 + w) \times \rho_k \text{ (g)} \quad (4.5)$$

Burada w zeminin su muhtevasını, ρ_k kuru birim hacim ağırlığı, M_1 'de deneye girecek zemin ağırlığını temsil etmektedir.

Statik sıkıştırma yöntem 1 ve yöntem 2 olarak aşağıda tariflendiği şekilde iki farklı yöntemle yapılır.

Yöntem 1'e göre taban plakasına süzgeç kağıdı yerleştirilir ve kalıbın yakası takılır. Hesaplanan zemin kütlesi kalıba yavaşça dökülür. Bu işlem süresince zemin çelik çubukla şişlenerek sıkıştırılır. Sıkıştırma bittiğinde zeminin kalıbın üstünde 5-10 mm yukarıda kalması sağlanır. Zeminin üstüne süzgeç kağıdı yerleştirir ve kağıdın üzerine 50 mm kalınlığında disk yerleştirilir. Zemin yüzeyi, kalıbın tepesine gelene kadar yüklenerek sıkıştırılır. Sonrasında ulaşılan yük düzeyinde zemin en az 30 saniye daha yüklenir. Yük kaldırıldıktan sonra zeminde şişme meydana geliyorsa zemin biraz daha yüklenir. Sıkıştırma işlemi bittikten sonra disk ve süzgeç kağıdı çıkarılır.

Zeminin doygunluk derecesi %95'den fazla ise oluşan boşluk suyu basınçlarının sönmülenmesi amacıyla numune 24 saat bekletilir ve sonrasında deneye tabi tutulur.

Yöntem 2'de kalıp yöntem 1'de belirtildiği gibi hazırlanır. Hesaplanmış miktardaki zemin üçe bölünerek su içeriklerini kaybetmesini engelleyecek biçimde saklanır. Öncelikle zeminin bir parçası kalıba dökülerek, kalıbın üçte birine denk gelecek şekilde sıkıştırılır. İkinci aşamada bir parça daha zemin dökülerek kalıbın 2/3'ünü dolduracak biçimde sıkıştırılır. En son parça zemin de kalıbın üst yüzeyine gelecek biçimde sıkıştırıldıktan sonra numune deneye hazır hale gelir.

Dinamik sıkıştırma işlemi dinamik veya titreşimli sıkıştırma yoluyla 3 farklı şekilde gerçekleştirilebilir.

Yöntem 1'de hesaplanan zemin kütlesi 5 parçaya ayrılır ve zemin kalıp içerisinde 2,5 kg'lık tokmak ya da 4,5 kg'lık tokmakla 5 tabaka halinde sıkıştırılır. Zemin kütlesinin kalıp içerisinde sıkışması sırasında gereken vuruş sayısının hesabı için deneme deneyleri yapılır ve vuruş sayısı hesaplanır. Sıkıştırma işleminin sonunda gereken tartımlar alınarak, numune deneye hazır hale getirilir.

Yöntem 2'de zemin üç parçaya ayrılır. İlk parça kalıba yerleştirildikten sonra titreşimli tokmakla kalıbın üçte birini dolduracak şekilde sıkıştırılır. 2. ve 3. tabaka da benzer şekilde sıkıştırıldıktan sonra gerekli tartımlar yapılır ve numune deneye hazır hale getirilir.

Yöntem 3'de, istenilen su muhtevasında 6 kg zemin hazırlanır. Kalıp tabanına süzgeç kağıdı yerleştirildikten sonra sıkıştırma işlemlerine geçilir. Sıkıştırma işlemlerinde 2 tokmaktan herhangi biri kullanılabilir. İlkinde 2,5 kg, ikincisinde 4,5 kg ağırlığında tokmak kullanılır.

2,5 kg'lık tokmakla sıkıştırma yapılacaksa kalıp 3 aşamada doldurulur ve her bir tabaka 61 vuruşla yüzeyin her bir kısmı eşit enerji uygulanacak şekilde sıkıştırılır. 4,5 kg'lık tokmak kullanılacaksa kalıp 5 aşamada doldurulur ve her bir tabaka 61

vuruşla yüzeyin her bir kısmı eşit enerji uygulanacak şekilde sıkıştırılır. Sıkıştırılacak zemin miktarlarını bulmak için denemeler yapılır. Sıkıştırma işlemlerinden sonra gerekli tartımlar yapılır ve numune deneye hazır hale getirilir.

4.4.1.4. Numuneleri suda bekletme

Numuneleri suda bekletme işlemi her zaman yapılmaz. Geniş bir su kabı hazırlanır. Kalıp kontrol edilir ve taban plakası delikli değilse, delikli bir taban plakasıyla değiştirilir. Numune su içerisine yerleştirilir ve su düzeyi yakanın üst kenarının altında tutulur. Numunede şişme ölçülecekse numunenin üstüne komparatör saati yerleştirilir ve saat sıfırlanır. Suda bekletme işlemi 96 saat süreyle gerçekleştirilir. 72 saat sonunda numunenin üzerinde su belirmemişse kalıp tamamen suya gömülür. İşlem bittikten sonra kalıplar 15 dakikayla süzölmeye bırakılıp gerekli tartımlar yapılır.

4.4.1.5. Deneyin yapılışı

Kalıp yükleme cihazına yerleştirilir. CBR oranı %30'un altında olan zeminler için 44,15 N'luk yükle, %30'un üzerindeki zeminler için 220,73 N'luk bir yükle dakikada 1,2 mm hızla zemine penetre ettirilir. 7,5 mm batmaya kadar deney devam ettirilir ve bu sırada gerekli okumalar alınıp kaydedilir. Deney kalıbın alt ve üst kısmında gerçekleştirilir. Deney sonrasında su içeriğini tespit etmek maksadıyla kalıbın alt ve üst kısımlarından 350 gr kadar numune alınır ve etüvde kurutulur.

4.4.2. Silt ve kil zeminde CBR deneyleri

Bu çalışmada yapılan CBR deneyleri, TS 1900-2 Taşıma Oranı Tayini deneyi dinamik sıkıştırma yöntem 1'de tariflendiği biçimde silt ve kil zeminlerde tatbik edilmiştir.

Numune hazırlanırken, silt zemin için su muhtevası %15 olacak şekilde açıkta kurutulmuş 3900 gr silte 500 gram su eklenerek karıştırılmış ve 24 saat süreyle

plastik poşet içerisinde bekletilerek suyun zemin daneleri içerisinde homojen bir şekilde yayılması sağlanmıştır. Sıkıştırma işleminde her bir tabakaya giren malzeme miktarı 860 gramdır. Kil zeminde uygulanan deneylerde kullanılan numune, su muhtevası %24 olacak şekilde açıkta kurutulmuş 3560 gr kile 640 gram su eklenerek elde edilmiştir. Elde edilen karışım plastik poşetlerde 24 saat süreyle bekletilerek suyun zemin daneleri içerisinde homojen bir şekilde yayılması sağlanmıştır. Sıkıştırma işleminde her bir tabakaya giren malzeme miktarı 840 gramdır. Numune hazırlanması sırasındaki işlemler Şekil 4.21.'de görülmektedir.

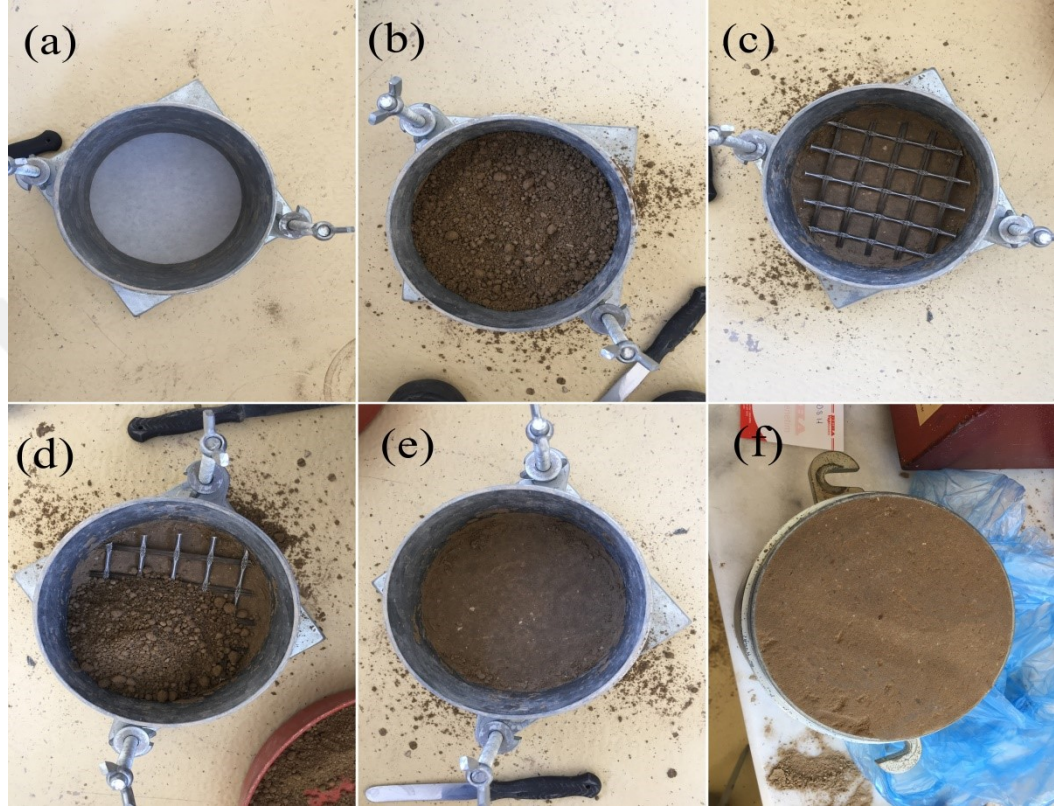


Şekil 4.21. Numunenin hazırlanması ve saklanması

CBR kalıbı beş eşit parçaya bölünmüş ve her parça standart kompaksiyon aletiyle 55 vuruş olmak suretiyle sıkıştırılmıştır. Sıkıştırma işleminde öncelikle kalıbın 4 noktasına vuruş yapılmış, sonrasında her noktaya eşit enerji uygulanmasına dikkat edilerek 55 vuruş tamamlanmış ve bir sonraki tabakaya geçilmiştir. En üst tabaka da sıkıştırıldıktan sonra zeminin yüzeyi tesviye edilmiş ve deneye uygun hale getirilmiştir.

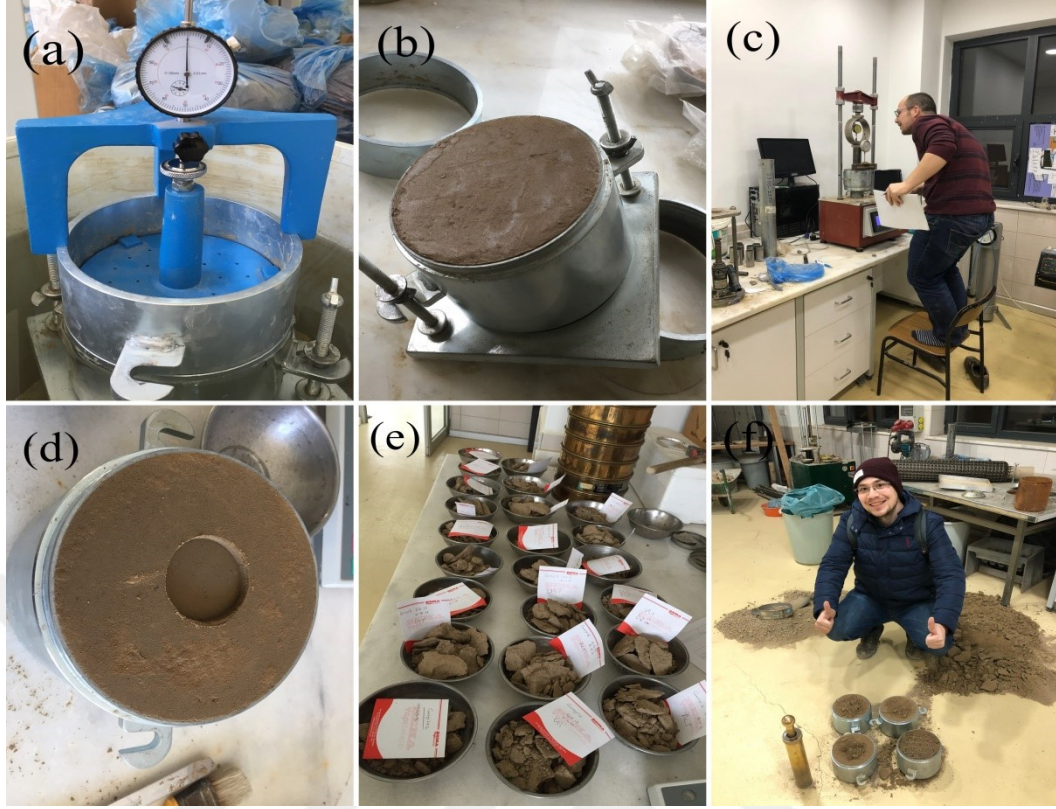
Silt ve kil zeminde aynı deney programı yürütülmüş olup deneyler 2 kısımda gerçekleştirilmiştir. Birinci kısımda hazırlanan numuneler direkt olarak deneye tabi edilmiş, ikinci kısımda ise 96 saat süreyle suda bekletildikten sonra deneye tabi tutulmuştur. Deneylerde geogridlerin dizilimi, geogrid katkısız, tek ve çift tabaka geogrid katkılı olarak gerçekleştirilmiştir. Tek tabaka geogridler kalıbın 0,2 H, 0,4 H,

0,6 H ve 0,8 H noktalarına, çift tabaka geogridler ise kalıbın 0,2-0,4 H, 0,2-0,6 H, 0,2-0,8 H, 0,4-0,6 H, 0,4-0,8 H ve 0,6-0,8 H noktalarına yerleştirilmişlerdir. Sıkıştırma işlemleri Şekil. 4.22.'de görülmektedir. Şekil 4.23.'de suda bekletme ve deney aşamaları görülmektedir.



Şekil 4.22. Sıkıştırma işlemleri, (a) Filtre kağıdının yerleştirilmesi, (b) Kalıba numune eklenmesi, (c) Geogridin eklenmesi, (d) Bir sonraki tabakanın numunesinin eklenmesi, (e) Sıkıştırılmış zemin, (f) Nihai durum.

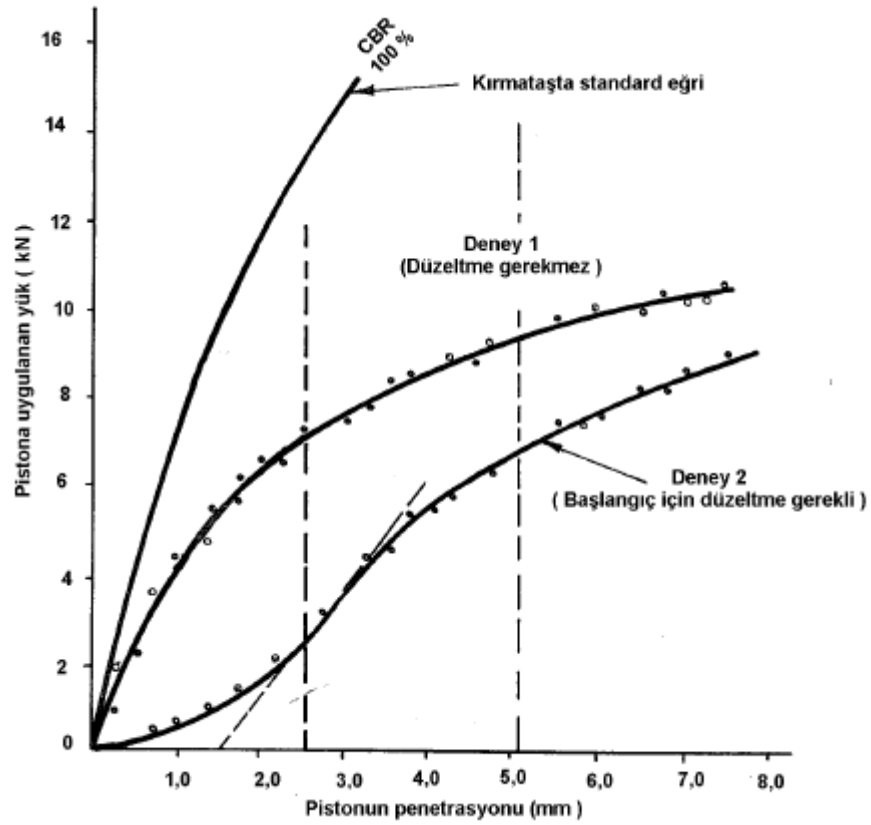
Deney sonrasında, her bir kalıbın alt ve üst noktalarından su içeriğinin belirlenmesi amacıyla 300 gr kadar numune alınmış, tartılmış ve 24 saat süreyle 105 °C sıcaklıktaki etüvde bekletilmiştir. Numuneler etüvden alındıktan sonra tekrar tartılarak su içerikleri bulunmuştur. Alınan numuneler şekil 4.23.'de (e) bölümünde görülmektedir.



Şekil 4.23. Deney aşamaları, (a) Numunenin suda bekletilmesi, (b) Suda beklemiş numune, (c) Deneyin yapımı, (d) Deney sonrası numunenin görünümü, (e) Su muhtevası için alınmış örnekler, (f) Numune alınmış kalıplar.

4.4.3. Hesaplamalar

Bu deney sonucunda elde edilen verilerle yük- penetrasyon grafiği çizilir. Bu grafikte oluşan eğrinin başlangıç kısmı genellikle dış bükeydir. Eğer oluşan egride iç bükeylik varsa bu eğri için düzeltme uygulanır. Düzeltme işlemi için eğimin en büyük noktasına, penetrasyon çizgisini kesecek biçimde teğet çizilir. Teğetin kestiği nokta ile başlangıç noktası denk gelecek şekilde sola kaydırılır. Artık bu yeni oluşan eğri ile taşıma oranı bulunur. Şekil 4.24.'de yük-penetrasyon grafiği örneği görülmektedir.



Şekil 4.24. Yük-penetrasyon eğrisi (TS 1900-2)

Taşıma oranının hesabında, Kaliforniya kırma taşı üzerinde yapılan deneyle, numune üzerinde yapılan deney kıyaslanır. Kaliforniya taşının yük değerleri, 1,25 mm batmada 0,84 kN, 2,5 mm batmada 13,2 kN ve 5,0 mm batmada 20 kN'dir. Bu değerlerle kıyaslama yapıp 2,5 mm ve 5,0 mm batmadaki en yüksek değer taşıma oranı olarak alınır.

Deney numunelerinin, kuru birim hacim ağırlıklarının bulunmasında formül 4.1. ve formül 4.2. kullanılır.

Taşıma oranı değerlerindeki hassaslık ölçütü %30'dan düşük orana sahip numunelerde %1, %30 ile %100 arasındaki değerlere sahip numuneler için %5 ve %100'den büyük numuneler için %10'dur.

BÖLÜM 5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde, silt ve kil zemine bazalt geogrid katkısının olumlu etkisi, yapılan 44 adet Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR) deneylerinin sonuçlarına göre irdelenecektir. Zeminler suda bekletilmemiş (kuru) ve suda bekletilmiş (yaş) olarak gruplandırılmıştır. Kuru ve yaş olarak yapılmış her bir deneyin sonuçları aşağıdaki tablolarda görülmektedir. Her bir deney numunesi üzerinde gerekli ölçümler yapılmış, numuneler alınmış ve bu ölçümler sonucunda oluşan değişimler bu bölümde tablolar ve grafikler yardımıyla irdelenmiştir. CBR sonuçlarında TS 1900-2’de belirtilen yuvarlamalar, varyasyonlar arasındaki farkları görmek amacıyla yapılmamıştır.

5.1. Sıkıştırılan Zeminlerin Fiziksel Özellikleri

Bir deney numunesinden sıkıştırma işlemi esnasında alınan ölçümler sırasıyla aşağıda anlatılmıştır.

Öncelikli olarak sıkıştırma işleminin gerçekleştirileceği kap tartılır ve kaba ait çap ve boy ölçümleri yapılır. Sonrasında numune sıkıştırılır ve sıkıştırılan numune tartılır. Numune suda bekletilmediyse, penetrasyon işleminden sonra kabın alt ve üst noktalarından numune alınarak su muhtevaları belirlenir. Numune suda bekletilmiş ise, 96 saat sonrasında numunedeki şişme miktarı ölçülerek hacim artışı hesaplanır. Sonrasında kap tekrar tartılır ve arada oluşan farktan numunenin ne kadar su emdiği bulunur. Penetrasyon işleminden sonra ise kalıbın alt ve üstünden numune alınarak su muhtevası içerikleri bulunur.

Alt bölümlerde, bu ölçümler sonucunda oluşturulan fiziksel özellikler tablolar halinde verilmiştir. İşlemlerde kullanılan su muhtevası, kabın alt ve üst noktalarından alınan örneklerin su içeriklerinin ortalamasıdır.

5.1.1. Silt zeminin fiziksel özellikleri

Silt zeminin sıkıştırma işlemleri sonucunda oluşmuş fiziksel özellikleri aşağıdaki tablolarda görülmektedir. Tablo 5.1.'de suda bekletilmeyen numuneye ait veriler, Tablo 5.2.'de suda bekletilen numuneye ait fiziksel özellikler verilmiştir.

Tablo 5.1. Suda bekletilmeyen silt numunenin fiziksel özellikleri

ÖZELLİKLER	Geogridsiz	0,2 H	0,4 H	0,6 H	0,8 H	0,2-0,4 H	0,2-0,6 H	0,2-0,8 H	0,4-0,6 H	0,4-0,8 H	0,6-0,8 H
G_s	2,67	2,67	2,67	2,67	2,67	2,67	2,67	2,67	2,67	2,67	2,67
M_{toplam} (g)	4286,50	4230,50	4105,00	4232,50	4189,50	4202,00	4216,50	4179,00	4317,00	4259,00	4212,00
M_{zemin} (g)	3679,40	3641,33	3580,46	3660,70	3634,98	3642,83	3638,05	3617,24	3701,77	3671,55	3647,70
M_{su} (g)	607,10	589,17	524,54	571,80	554,52	559,17	578,45	561,76	615,23	587,45	564,30
V_{toplam} (cm ³)	2133,17	2133,17	2120,30	2118,48	2131,46	2131,46	2118,48	2133,17	2131,46	2118,48	2133,17
V_{su} (cm ³)	607,10	589,17	524,54	571,80	554,52	559,17	578,45	561,76	615,23	587,45	564,30
V_{zemin} (cm ³)	1378,05	1363,79	1341,00	1371,05	1361,42	1364,35	1362,57	1354,77	1386,43	1375,11	1366,18
V_{hava} (cm ³)	148,02	180,21	254,77	175,63	215,53	207,93	177,46	216,64	129,80	155,92	202,69
w_{ort}	0,17	0,16	0,15	0,16	0,15	0,15	0,16	0,16	0,17	0,16	0,15
w_{alt}	0,16	0,16	0,15	0,15	0,15	0,15	0,16	0,15	0,17	0,16	0,16
$w_{üst}$	0,17	0,17	0,15	0,16	0,15	0,15	0,16	0,16	0,17	0,16	0,15
γ_n (kN/m ³)	19,71	19,46	18,99	19,60	19,28	19,34	19,53	19,22	19,87	19,72	19,37
γ_k (kN/m ³)	16,92	16,75	16,57	16,95	16,73	16,77	16,85	16,63	17,04	17,00	16,78
γ_s (kN/m ³)	26,19	26,19	26,19	26,19	26,19	26,19	26,19	26,19	26,19	26,19	26,19
γ_d (kN/m ³)	19,71	19,46	18,99	19,60	19,28	19,34	19,53	19,22	19,87	19,72	19,37
γ' (kN/m ³)	9,90	9,65	9,18	9,79	9,47	9,53	9,72	9,41	10,06	9,91	9,56
e	0,55	0,56	0,58	0,55	0,57	0,56	0,55	0,57	0,54	0,54	0,56
n	0,35	0,36	0,37	0,35	0,36	0,36	0,36	0,36	0,35	0,35	0,36
S_r	0,80	0,77	0,67	0,77	0,72	0,73	0,77	0,72	0,83	0,79	0,74

Tablo 5.2. Suda bekletilen silt numuneye ait fiziksel özellikler

ÖZELLİKLER	Geogridsiz	0,2 H	0,4 H	0,6 H	0,8 H	0,2-0,4 H	0,2-0,6 H	0,2-0,8 H	0,4-0,6 H	0,4-0,8 H	0,6-0,8 H
G_s	2,67	2,67	2,67	2,67	2,67	2,67	2,67	2,67	2,67	2,67	2,67
M_{toplam} (g)	4302,00	4312,20	4340,00	4331,00	4315,00	4345,50	4359,50	4314,00	4346,50	4357,00	4333,00
M_{zemin} (g)	3552,44	3584,69	3613,96	3481,93	3495,34	3553,87	3589,25	3527,39	3602,57	3616,82	3600,93
M_{su} (g)	749,56	727,51	726,04	849,07	819,66	791,63	770,25	786,61	743,93	740,18	732,07
V_{toplam} (cm ³)	2157,24	2137,39	2151,02	2135,76	2174,92	2141,40	2158,88	2148,12	2149,21	2139,76	2146,27
V_{su} (cm ³)	749,56	727,51	726,04	849,07	819,66	791,63	770,25	786,61	743,93	740,18	732,07
V_{zemin} (cm ³)	1330,50	1342,58	1353,54	1304,09	1309,12	1331,04	1344,29	1321,12	1349,28	1354,61	1348,66
V_{hava} (cm ³)	77,17	67,30	71,43	0,00	46,15	18,73	44,34	40,39	56,01	44,96	65,53
w_{ort}	0,21	0,20	0,20	0,24	0,23	0,22	0,21	0,22	0,21	0,20	0,20
w_{alt}	0,19	0,19	0,19	0,26	0,21	0,20	0,19	0,20	0,19	0,19	0,19
$w_{üst}$	0,23	0,22	0,21	0,23	0,26	0,24	0,24	0,24	0,22	0,22	0,22

Tablo 5.2. (Devamı)

ÖZELLİKLER	Geogridsiz	0,2 H	0,4 H	0,6 H	0,8 H	0,2-0,4H	0,2-0,6H	0,2-0,8H	0,4-0,6H	0,4-0,8H	0,6-0,8H
γ_n (kN/m ³)	19,56	19,79	19,79	19,89	19,46	19,91	19,81	19,70	19,84	19,98	19,80
γ_k (kN/m ³)	16,15	16,45	16,48	15,99	15,77	16,28	16,31	16,11	16,44	16,58	16,46
γ_s (kN/m ³)	26,19	26,19	26,19	26,19	26,19	26,19	26,19	26,19	26,19	26,19	26,19
γ_d (kN/m ³)	19,56	19,79	19,79	19,73	19,46	19,91	19,81	19,70	19,84	19,98	19,80
γ' (kN/m ³)	9,75	9,98	9,98	9,92	9,65	10,10	10,00	9,89	10,03	10,17	9,99
e	0,62	0,59	0,59	0,65	0,66	0,61	0,61	0,63	0,59	0,58	0,59
n	0,38	0,37	0,37	0,39	0,40	0,38	0,38	0,38	0,37	0,37	0,37
S_r	0,91	0,92	0,91	1,00	0,95	0,98	0,95	0,95	0,93	0,94	0,92

Suda bekletilme işlemi sonucunda, silt zeminin fiziksel özelliklerinde bir takım değişiklikler meydana gelmiştir. Yukarıdaki tablolarda görüldüğü üzere su muhtevasında meydana gelen artış γ_n , γ_k , γ_d , γ' değerlerinde bir azalış meydana getirmiştir. Bunun zeminin mukavetinesine etkisi sonraki bölümlerde karşılaştırılmıştır.

5.1.2. Kil zeminin fiziksel özellikleri

Kil zeminin sıkıştırma işlemleri sonucunda oluşmuş fiziksel özellikleri aşağıdaki tablolarda görülmektedir. Tablo 5.3.'de suda bekletilmeyen numuneye ait veriler, Tablo 5.4.'de suda bekletilen numuneye ait fiziksel özellikler verilmiştir.

Tablo 5.3. Suda bekletilmeyen kil numunenin fiziksel özellikleri

ÖZELLİKLER	Geogridsiz	0,2 H	0,4 H	0,6 H	0,8 H	0,2-0,4H	0,2-0,6H	0,2-0,8H	0,4-0,6H	0,4-0,8H	0,6-0,8H
G_s	2,67	2,67	2,67	2,67	2,67	2,67	2,67	2,67	2,67	2,67	2,67
M_{toplam} (g)	4039,00	4037,00	3986,50	4027,00	4002,00	4109,50	3914,00	3949,50	3955,00	3961,50	3950,00
M_{zemin} (g)	3257,26	3241,40	3216,74	3238,31	3206,86	3298,55	3151,62	3181,10	3189,26	3193,08	3180,87
M_{su} (g)	781,74	795,60	769,76	788,69	795,14	810,95	762,38	768,40	765,74	768,42	769,13
V_{toplam} (cm ³)	2133,17	2133,17	2133,17	2120,30	2131,46	2133,17	2120,30	2133,17	2131,46	2118,48	2120,30
V_{su} (cm ³)	781,74	795,60	769,76	788,69	795,14	810,95	762,38	768,40	765,74	768,42	769,13
V_{zemin} (cm ³)	1219,95	1214,01	1204,77	1212,85	1201,07	1235,41	1180,38	1191,42	1194,48	1195,91	1191,34
V_{hava} (cm ³)	131,48	123,56	158,64	118,76	135,25	86,81	177,54	173,35	171,24	154,15	159,83
W_{ort}	0,24	0,25	0,24	0,24	0,25	0,25	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
W_{alt}	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
$W_{üst}$	0,24	0,25	0,24	0,24	0,25	0,25	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
γ_n (kN/m ³)	18,57	18,57	18,33	18,63	18,42	18,90	18,11	18,16	18,20	18,34	18,28
γ_k (kN/m ³)	14,98	14,91	14,79	14,98	14,76	15,17	14,58	14,63	14,68	14,79	14,72
γ_s (kN/m ³)	26,19	26,19	26,19	26,19	26,19	26,19	26,19	26,19	26,19	26,19	26,19
γ_d (kN/m ³)	18,57	18,57	18,33	18,63	18,42	18,90	18,11	18,16	18,20	18,34	18,28

Tablo 5.3. (Devamı)

ÖZELLİKLER	Geogridsiz	0,2 H	0,4 H	0,6 H	0,8 H	0,2-0,4H	0,2-0,6H	0,2-0,8H	0,4-0,6H	0,4-0,8H	0,6-0,8H
γ' (kN/m ³)	8,76	8,76	8,52	8,82	8,61	9,09	8,30	8,35	8,39	8,53	8,47
e	0,75	0,76	0,77	0,75	0,77	0,73	0,80	0,79	0,78	0,77	0,78
n	0,43	0,43	0,44	0,43	0,44	0,42	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44
S _r	0,86	0,87	0,83	0,87	0,85	0,90	0,81	0,82	0,82	0,83	0,83

Tablo 5.4. Suda bekletilen kil numuneye ait fiziksel özellikler

ÖZELLİKLER	Geogridsiz	0,2 H	0,4 H	0,6 H	0,8 H	02-04 H	02-06 H	02-08 H	04-06 H	04-08 H	06-08 H
G _s	2,67	2,67	2,67	2,67	2,67	2,67	2,67	2,67	2,67	2,67	2,67
M _{toplam} (g)	4129,50	4088,00	4146,00	4096,50	4152,00	4077,50	4226,00	4187,00	4101,50	4195,00	4198,00
M _{zemin} (g)	3088,98	3134,37	3114,48	3112,01	3167,05	3192,53	3199,33	3195,82	3210,44	3143,15	3203,11
M _{su} (g)	1040,52	953,63	1031,52	984,49	984,95	884,97	1026,67	991,18	891,06	1051,85	994,89
V _{toplam} (cm ³)	2243,11	2191,58	2234,74	2207,40	2196,07	2157,22	2225,97	2221,41	2154,67	2237,30	2171,04
V _{su} (cm ³)	1040,52	953,63	1031,52	984,49	984,95	884,97	1026,67	991,18	891,06	1051,85	994,89
V _{zemin} (cm ³)	1156,92	1173,92	1166,47	1165,55	1186,16	1195,70	1198,25	1196,94	1202,41	1177,21	1199,67
V _{hava} (cm ³)	45,67	64,03	36,75	57,37	24,96	76,54	1,05	33,29	61,20	8,24	0,00
W _{ort}	0,34	0,30	0,33	0,32	0,31	0,28	0,32	0,31	0,28	0,33	0,31
W _{alt}	0,30	0,29	0,30	0,30	0,29	0,28	0,29	0,29	0,29	0,30	0,29
W _{üst}	0,38	0,32	0,37	0,33	0,33	0,27	0,35	0,33	0,27	0,37	0,33
γ_n (kN/m ³)	18,06	18,30	18,20	18,21	18,55	18,54	18,62	18,49	18,67	18,39	18,97
γ_k (kN/m ³)	13,51	14,03	13,67	13,83	14,15	14,52	14,10	14,11	14,62	13,78	14,47
γ_s (kN/m ³)	26,19	26,19	26,19	26,19	26,19	26,19	26,19	26,19	26,19	26,19	26,19
γ_d (kN/m ³)	18,06	18,30	18,20	18,21	18,55	18,54	18,62	18,49	18,67	18,39	18,77
γ' (kN/m ³)	8,25	8,49	8,39	8,40	8,74	8,73	8,81	8,68	8,86	8,58	8,96
e	0,94	0,87	0,92	0,89	0,85	0,80	0,86	0,86	0,79	0,90	0,83
n	0,48	0,46	0,48	0,47	0,46	0,45	0,46	0,46	0,44	0,47	0,45
S _r	0,96	0,94	0,97	0,94	0,98	0,92	1,00	0,97	0,94	0,99	1,00

Suda bekletilme işlemi sonucunda, kil zeminin fiziksel özelliklerinde bir takım değişiklikler meydana gelmiştir. Yukarıdaki tablolarda görüldüğü üzere su muhtevasında meydana gelen artış γ_n , γ_k , γ_d , γ' değerlerinde bir azalış meydana getirmiştir. Bunun zeminin mukaveteye etkisi sonraki bölümlerde karşılaştırılmıştır.

5.2. Silt Zemin Üzerinde Yapılan CBR Deney Sonuçları

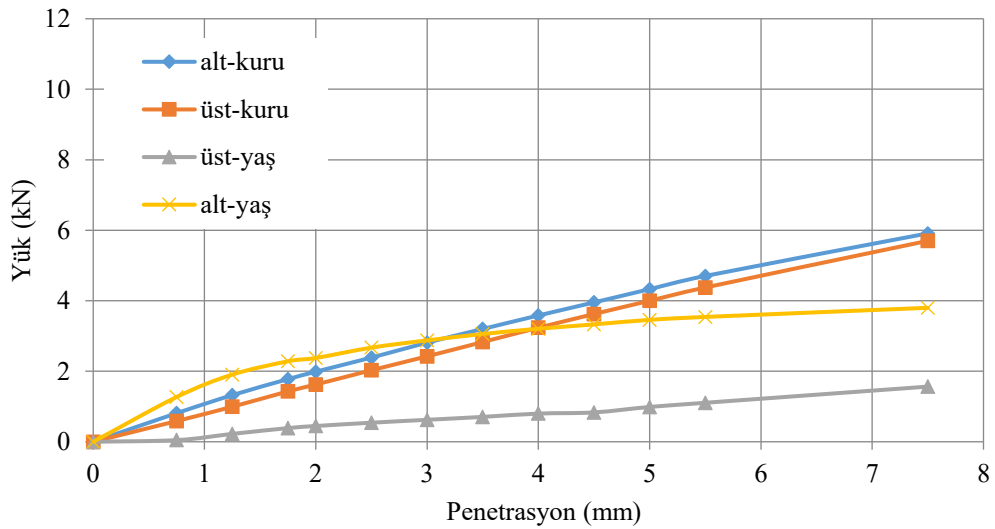
Silt zemin üzerinde, biri doğal numune olmak üzere 11'i kuru, 11'i yaş toplam 22 adet CBR deneyi yapılmıştır. Deneylerde geogrid ilavesi tek ve çift tabaka olarak, kalıbın farklı bölgelerine yerleştirilmek suretiyle gerçekleştirilmiştir.

5.2.1. Geogrid katkısız numune

Geogrid ilavesinin bulunmadığı numunede yapılan CBR deney sonuçları Tablo 5.5.'de, sonuçlar üzerinden çizilen grafikler Şekil 5.1.'de görülmektedir. Geogrid katkısının olmadığı silt numunede yapılan deney sonuçlarına göre CBR değerleri, kuru durumda üst okuma için %20, alt okuma için %21,65, yaş durumda üst okuma için %4,95, alt okuma için %20,17 çıkmıştır.

Tablo 5.5. Geogrid katkısız numunede yük-penetrasyon değerleri

Penetrasyon (mm)	KURU		YAŞ	
	Alt (kN)	Üst (kN)	Alt (kN)	Üst (kN)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,75	0,81	0,59	1,27	0,05
1,25	1,32	0,99	1,91	0,22
1,75	1,78	1,43	2,28	0,39
2,00	1,99	1,62	2,38	0,45
2,50	2,39	2,03	2,67	0,54
3,00	2,81	2,42	2,88	0,62
3,50	3,20	2,83	3,06	0,71
4,00	3,58	3,24	3,21	0,80
4,50	3,95	3,62	3,33	0,83
5,00	4,33	4,00	3,46	0,99
5,50	4,70	4,38	3,54	1,11
7,50	5,91	5,70	3,80	1,56



Şekil 5.1. Geogrid katkısız numunede yük-penetrasyon grafiği

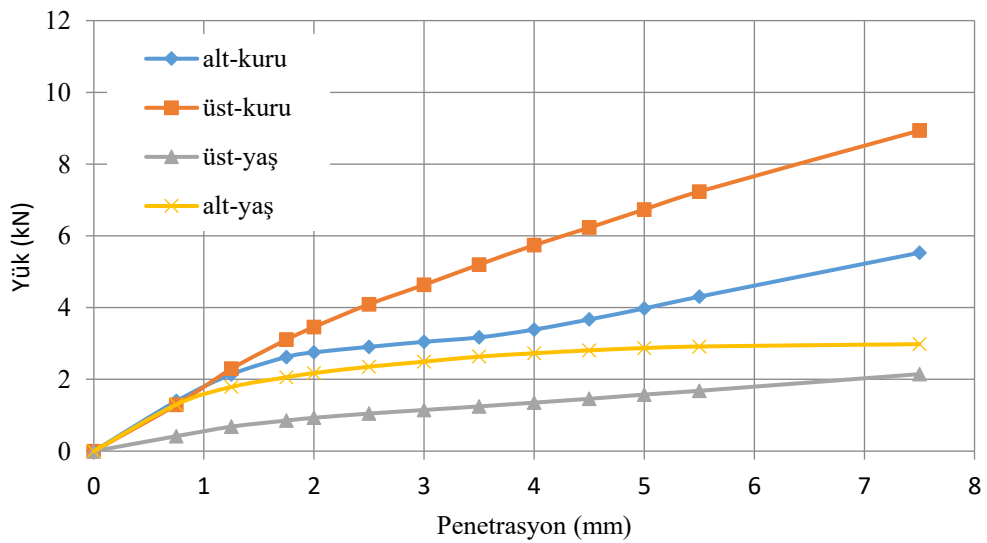
5.2.2. Geogridin 0,2 H tabakasında bulunması durumu

Geogridin 0,2 H tabakasında bulunduğu durumda yapılan CBR deney sonuçları Tablo 5.6.'da, sonuçlar üzerinden çizilen grafikler Şekil 5.2.'de görülmektedir.

Tablo 5.6. Geogridin 0,2 H tabakasında bulunduğu durum için yük-penetrasyon değerleri

Penetrasyon (mm)	KURU		YAŞ	
	Alt (kN)	Üst (kN)	Alt (kN)	Üst (kN)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,75	1,39	1,29	1,30	0,42
1,25	2,14	2,29	1,79	0,68
1,75	2,62	3,11	2,06	0,85
2,00	2,75	3,46	2,18	0,93
2,50	2,91	4,09	2,35	1,05
3,00	3,05	4,64	2,49	1,15
3,50	3,17	5,20	2,64	1,25
4,00	3,39	5,74	2,73	1,35
4,50	3,67	6,23	2,81	1,46
5,00	3,98	6,74	2,87	1,58
5,50	4,31	7,24	2,92	1,68
7,50	5,53	8,94	2,98	2,15

Geogridin 0,2 H tabakasında olduğu silt numunede yapılan deney sonuçlarına göre CBR değerleri, kuru durumda üst okuma için %33,68, alt okuma için %21,95, yaş durumda üst okuma için %7,91, alt okuma için %17,77 çıkmıştır.



Şekil 5.2. Geogridin 0,2 H tabakasında bulunduğu durum için yük-penetrasyon tablosu

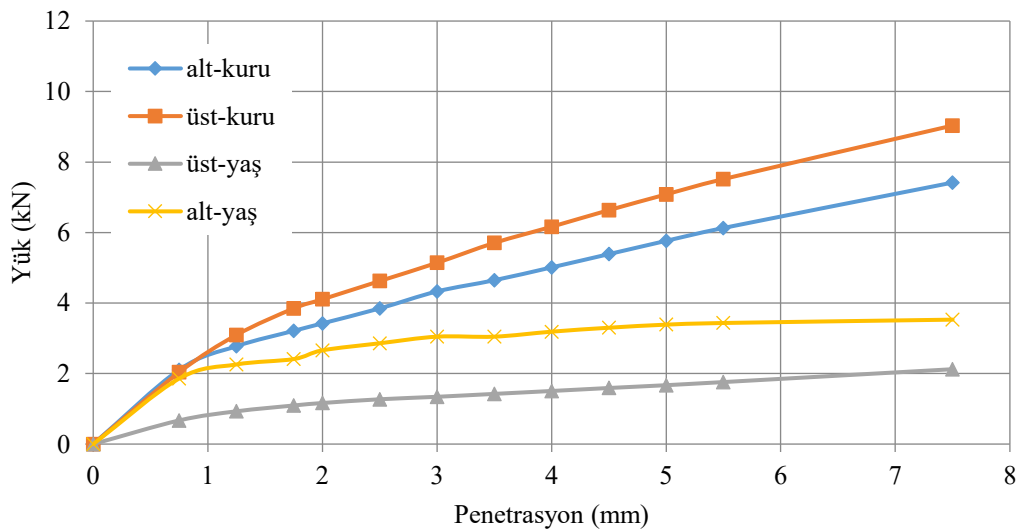
5.2.3. Geogridin 0,4 H tabakasında bulunması durumu

Geogridin 0,4 H tabakasında bulunduğu durumda yapılan CBR deney sonuçları Tablo 5.7.'de, sonuçlar üzerinden çizilen grafikler Şekil 5.3.'de görülmektedir.

Geogridin 0,4 H tabakasında olduğu silt numunede yapılan deney sonuçlarına göre CBR değerleri, kuru durumda üst okuma için %35,41, alt okuma için %29,06, yaş durumda üst okuma için %9,60, alt okuma için %21,59 çıkmıştır.

Tablo 5.7. Geogridin 0,4 H tabakasında bulunduğu durum için yük-penetrasyon değerleri

Penetrasyon (mm)	KURU		YAŞ	
	Alt (kN)	Üst (kN)	Alt (kN)	Üst (kN)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,75	2,11	2,04	1,86	0,67
1,25	2,78	3,09	2,26	0,93
1,75	3,21	3,85	2,41	1,09
2,00	3,42	4,11	2,66	1,16
2,50	3,85	4,62	2,86	1,27
3,00	4,33	5,14	3,05	1,34
3,50	4,65	5,71	3,05	1,42
4,00	5,01	6,16	3,19	1,51
4,50	5,39	6,64	3,30	1,59
5,00	5,76	7,08	3,39	1,67
5,50	6,13	7,52	3,44	1,76
7,50	7,42	9,04	3,53	2,12



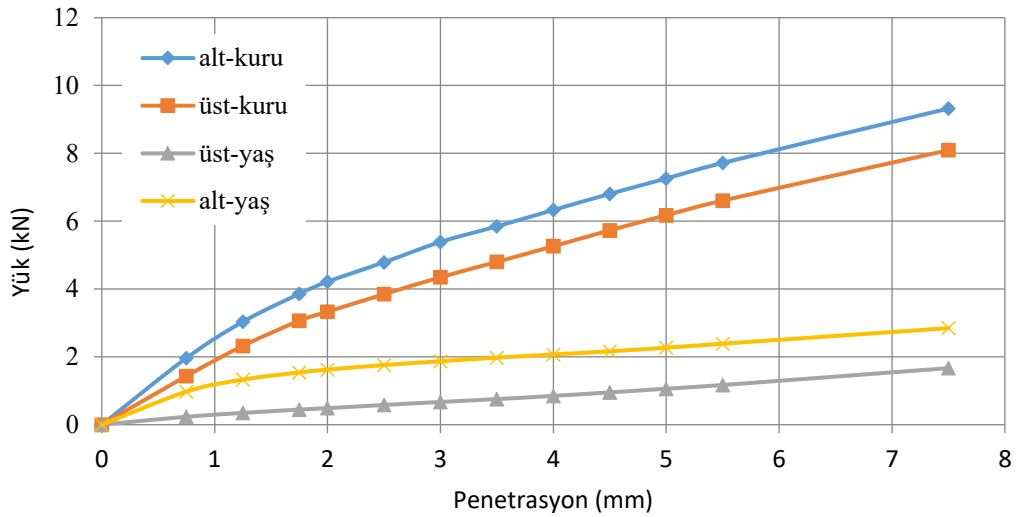
Şekil 5.3. Geogridin 0,4 H tabakasında bulunduğu durum için yük-penetrasyon ilişkisi

5.2.4. Geogridin 0,6 H tabakasında bulunması durumu

Geogridin 0,6 H tabakasında bulunduğu durumda yapılan CBR deney sonuçları Tablo 5.8.'de, sonuçlar üzerinden çizilen grafikler Şekil 5.4.'de görülmektedir.

Tablo 5.8. Geogridin 0,6 H tabakasında bulunduğu durum için yük-penetrasyon değerleri

Penetrasyon (mm)	KURU		YAŞ	
	Alt (kN)	Üst (kN)	Alt (kN)	Üst (kN)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,75	1,96	1,44	0,98	0,24
1,25	3,04	2,32	1,33	0,35
1,75	3,86	3,06	1,54	0,45
2,00	4,22	3,33	1,62	0,49
2,50	4,79	3,85	1,76	0,58
3,00	5,39	4,35	1,87	0,67
3,50	5,85	4,80	1,98	0,76
4,00	6,33	5,26	2,07	0,85
4,50	6,81	5,73	2,16	0,95
5,00	7,26	6,18	2,27	1,06
5,50	7,72	6,61	2,39	1,17
7,50	9,32	8,09	2,85	1,67



Şekil 5.4. Geogridin 0,6 H tabakasında bulunduğu durum için yük-penetrasyon ilişkisi

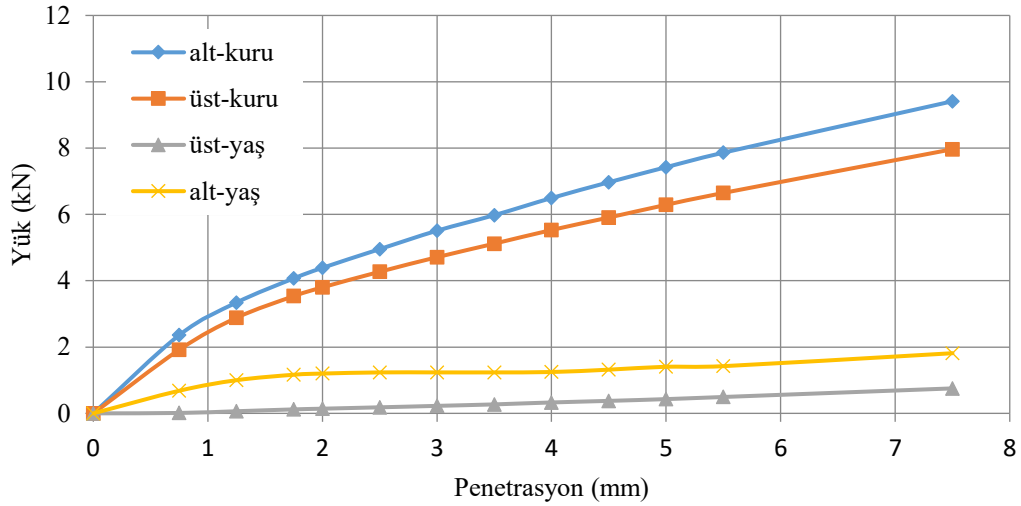
Geogridin 0,6 H tabakasında olduğu silt numunede yapılan deney sonuçlarına göre CBR değerleri, kuru durumda üst okuma için %30,88, alt okuma için %36,30, yaş durumda üst okuma için %5,32, alt okuma için %13,28 çıkmıştır.

5.2.5. Geogridin 0,8 H tabakasında bulunması durumu

Geogridin 0,8 H tabakasında bulunduğu durumda yapılan CBR deney sonuçları Tablo 5.9.'de, sonuçlar üzerinden çizilen grafikler Şekil 5.5.'de görülmektedir.

Tablo 5.9. Geogridin 0,8 H tabakasında bulunduğu durum için yük-penetrasyon değerleri

Penetrasyon (mm)	KURU		YAŞ	
	Alt (kN)	Üst (kN)	Alt (kN)	Üst (kN)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,75	2,36	1,92	0,68	0,01
1,25	3,34	2,88	1,00	0,06
1,75	4,07	3,54	1,16	0,12
2,00	4,39	3,80	1,20	0,14
2,50	4,95	4,27	1,24	0,18
3,00	5,51	4,71	1,24	0,23
3,50	5,98	5,12	1,24	0,27
4,00	6,49	5,53	1,25	0,33
4,50	6,97	5,91	1,32	0,38
5,00	7,42	6,29	1,41	0,43
5,50	7,86	6,65	1,42	0,49
7,50	9,41	7,96	1,81	0,75



Şekil 5.5. Geogridin 0,8 H tabakasında bulunduğu durum için yük-penetrasyon ilişkisi

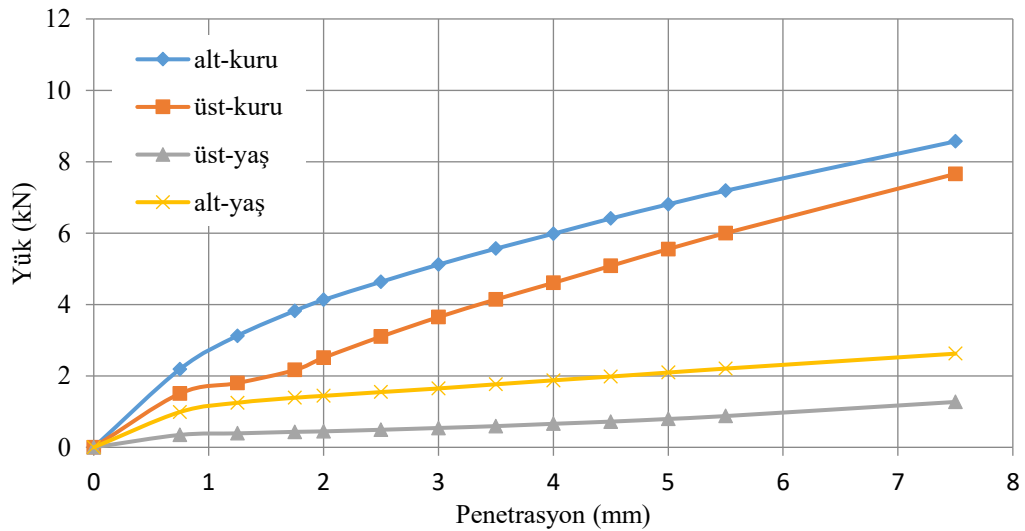
Geogridin 0,8 H tabakasında olduğu silt numunede yapılan deney sonuçlarına göre CBR değerleri, kuru durumda üst okuma için %32,66, alt okuma için %37,41, yaş durumda üst okuma için %2,15, alt okuma için %9,33 çıkmıştır.

5.2.6. Geogridin 0,2-0,4 H tabakalarında bulunması durumu

Geogridin 0,2-0,4 H tabakasında bulunduğu durumda yapılan CBR deney sonuçları Tablo 5.10.'de, sonuçlar üzerinden çizilen grafikler Şekil 5.6.'de görülmektedir. Geogridin 0,2-0,4 H tabakalarında olduğu silt numunede yapılan deney sonuçlarına göre CBR değerleri , kuru durumda üst okuma için %27,77, alt okuma için %35,01, yaş durumda üst okuma için %3,98, alt okuma için %11,69 çıkmıştır.

Tablo 5.10. Geogridin 0,2-0,4 H tabakalarında bulunduğu durum için yük-penetrasyon değerleri

Penetrasyon (mm)	KURU		YAŞ	
	Alt (kN)	Üst (kN)	Alt (kN)	Üst (kN)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,75	2,19	1,51	0,99	0,35
1,25	3,12	1,80	1,25	0,39
1,75	3,82	2,16	1,39	0,43
2,00	4,13	2,51	1,44	0,45
2,50	4,64	3,10	1,55	0,49
3,00	5,12	3,65	1,65	0,54
3,50	5,56	4,14	1,76	0,59
4,00	5,98	4,61	1,88	0,66
4,50	6,41	5,08	1,98	0,72
5,00	6,81	5,55	2,09	0,79
5,50	7,19	6,00	2,21	0,88
7,50	8,57	7,66	2,62	1,27



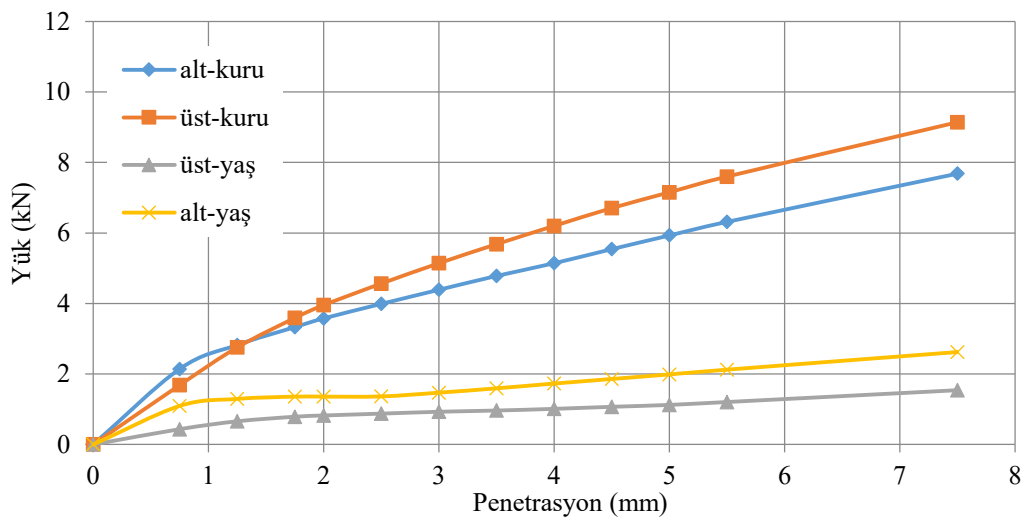
Şekil 5.6. Geogridin 0,2-0,4 H tabakalarında bulunması durumu için yük-penetrasyon ilişkisi

5.2.7. Geogridin 0,2-0,6 H tabakalarında bulunması durumu

Geogridin 0,2-0,6 H tabakasında bulunduğu durumda yapılan CBR deney sonuçları Tablo 5.11.'de, sonuçlar üzerinden çizilen grafikler Şekil 5.7.'de görülmektedir. Geogridin 0,2-0,6 H tabakalarında olduğu silt numunede yapılan deney sonuçlarına göre CBR değerleri, kuru durumda üst okuma için %35,77, alt okuma için %30,12, yaş durumda üst okuma için %6,62, alt okuma için %10,31 çıkmıştır.

Tablo 5.11. Geogridin 0,2-0,6 H tabakalarında bulunması durumu için yük-penetrasyon değerleri

Penetrasyon (mm)	KURU		YAŞ	
	Alt (kN)	Üst (kN)	Alt (kN)	Üst (kN)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,75	2,14	1,68	1,09	0,44
1,25	2,82	2,75	1,29	0,66
1,75	3,33	3,59	1,36	0,79
2,00	3,58	3,95	1,36	0,82
2,50	3,99	4,56	1,36	0,88
3,00	4,39	5,14	1,47	0,93
3,50	4,78	5,68	1,59	0,96
4,00	5,14	6,20	1,73	1,01
4,50	5,54	6,71	1,86	1,07
5,00	5,93	7,15	1,99	1,12
5,50	6,32	7,60	2,12	1,21
7,50	7,68	9,14	2,62	1,54



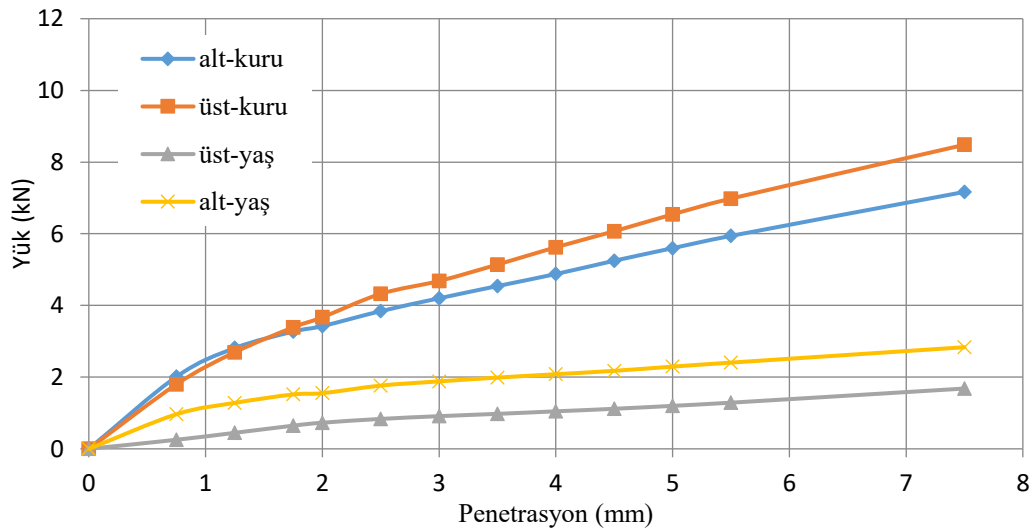
Şekil 5.7. Geogridin 0,2-0,6 H tabakalarında bulunması durumu için yük-penetrasyon ilişkisi

5.2.8. Geogridin 0,2-0,8 H tabakalarında bulunması durumu

Geogridin 0,2-0,8 H tabakasında bulunduğu durumda yapılan CBR deney sonuçları Tablo 5.12.'de, sonuçlar üzerinden çizilen grafikler Şekil 5.8.'de görülmektedir. Geogridin 0,2-0,8 H tabakalarında olduğu silt numunede yapılan deney sonuçlarına göre CBR değerleri, kuru durumda üst okuma için %32,71, alt okuma için %29,01, yaş durumda üst okuma için %6,31, alt okuma için %13,33 çıkmıştır.

Tablo 5.12. Geogridin 0,2-0,8 H tabakalarında bulunması durumu için yük-penetrasyon değerleri

Penetrasyon (mm)	KURU		YAŞ	
	Alt (kN)	Üst (kN)	Alt (kN)	Üst (kN)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,75	2,01	1,80	0,96	0,25
1,25	2,81	2,69	1,28	0,45
1,75	3,27	3,39	1,52	0,65
2,00	3,42	3,67	1,55	0,73
2,50	3,84	4,32	1,76	0,84
3,00	4,20	4,68	1,88	0,91
3,50	4,54	5,14	1,99	0,98
4,00	4,88	5,62	2,08	1,05
4,50	5,25	6,07	2,18	1,12
5,00	5,60	6,54	2,29	1,20
5,50	5,94	6,98	2,41	1,29
7,50	7,17	8,48	2,84	1,68



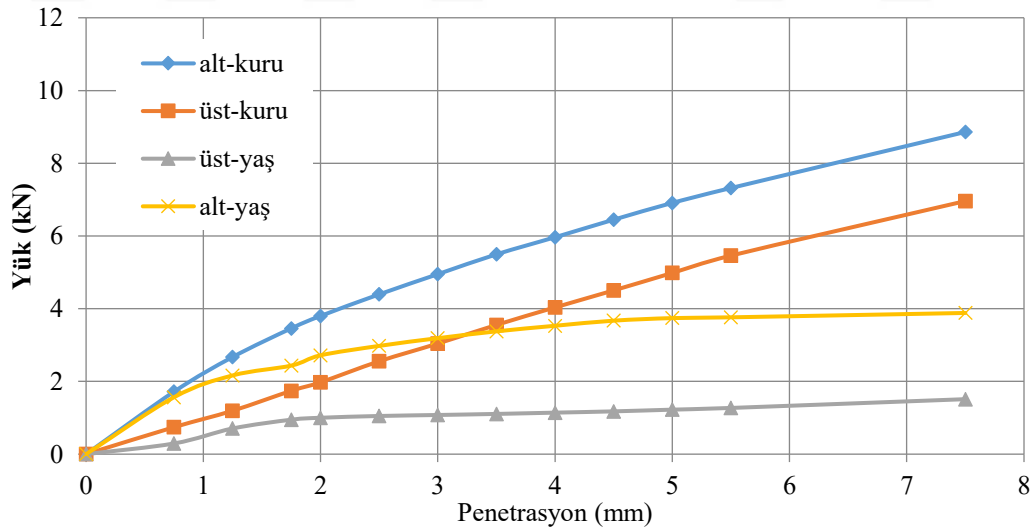
Şekil 5.8. Geogridin 0,2-0,8 H tabakalarında bulunması durumu için yük-penetrasyon ilişkisi

5.2.9. Geogridin 0,4-0,6 H tabakalarında bulunması durumu

Geogridin 0,4-0,6 H tabakasında bulunduğu durumda yapılan CBR deney sonuçları Tablo 5.13.'de, sonuçlar üzerinden çizilen grafikler Şekil 5.9.'da görülmektedir.

Tablo 5.13. Geogridin 0,4-0,6 H tabakalarında bulunması durumu için yük-penetrasyon değerleri

Penetrasyon (mm)	KURU		YAŞ	
	Alt (kN)	Üst (kN)	Alt (kN)	Üst (kN)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,75	1,72	0,74	1,56	0,29
1,25	2,67	1,19	2,16	0,71
1,75	3,46	1,74	2,44	0,95
2,00	3,80	1,98	2,72	1,00
2,50	4,39	2,55	2,98	1,05
3,00	4,95	3,04	3,19	1,08
3,50	5,49	3,55	3,38	1,11
4,00	5,96	4,04	3,53	1,14
4,50	6,45	4,50	3,67	1,18
5,00	6,91	4,98	3,74	1,22
5,50	7,32	5,46	3,76	1,27
7,50	8,86	6,96	3,88	1,51



Şekil 5.9. Geogridin 0,4-0,6 H tabakalarında bulunması durumu için yük-penetrasyon ilişkisi

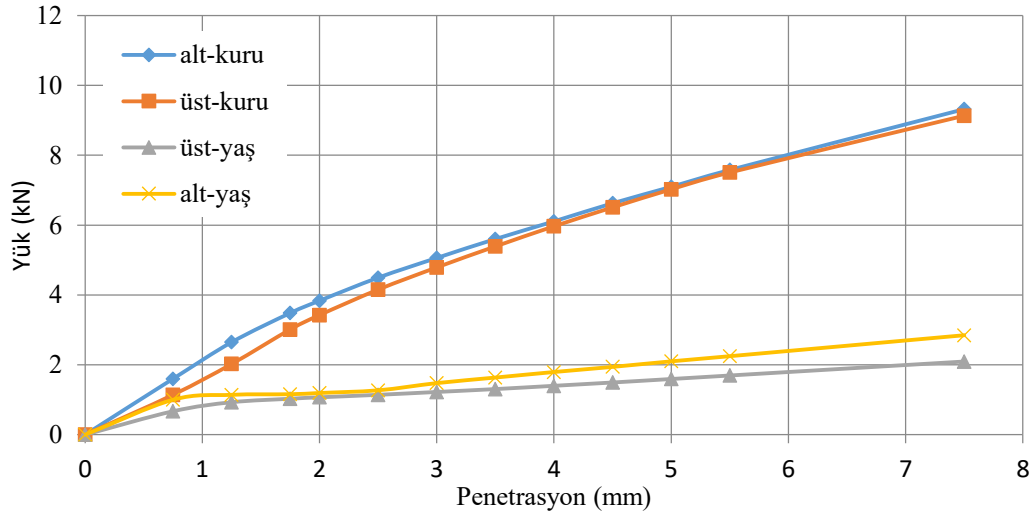
Geogridin 0,4-0,6 H tabakalarında olduğu silt numunede yapılan deney sonuçlarına göre CBR değerleri, kuru durumda üst okuma için %24,91, alt okuma için %35,54, yaş durumda üst okuma için %7,93, alt okuma için %22,48 çıkmıştır.

5.2.10. Geogridin 0.4-0.8 H tabakalarında bulunması durumu

Geogridin 0,4-0,8 H tabakasında bulunduğu durumda yapılan CBR deney sonuçları Tablo 5.14.'da, sonuçlar üzerinden çizilen grafikler Şekil 5.10.'da görülmektedir.

Tablo 5.14. Geogridin 0,4-0,8 H tabakalarında bulunması durumu için yük-penetrasyon değerleri

Penetrasyon (mm)	KURU		YAŞ	
	Alt (kN)	Üst (kN)	Alt (kN)	Üst (kN)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,75	1,60	1,14	1,00	0,67
1,25	2,65	2,02	1,14	0,93
1,75	3,48	3,01	1,16	1,03
2,00	3,84	3,42	1,19	1,07
2,50	4,49	4,15	1,27	1,14
3,00	5,06	4,79	1,48	1,22
3,50	5,60	5,39	1,64	1,31
4,00	6,11	5,96	1,79	1,40
4,50	6,62	6,51	1,94	1,49
5,00	7,09	7,02	2,10	1,59
5,50	7,58	7,51	2,25	1,69
7,50	9,32	9,13	2,85	2,09



Şekil 5.10. Geogridin 0,4-0,8 H tabakalarında bulunması durumu için yük-penetrasyon ilişkisi

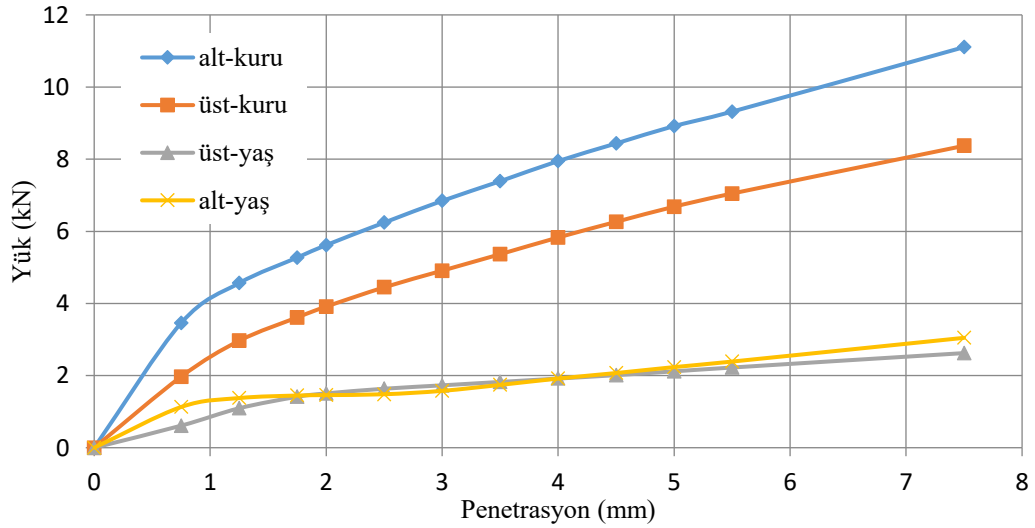
Geogridin 0,4-0,8 H tabakalarında olduğu silt numunede yapılan deney sonuçlarına göre CBR değerleri, kuru durumda üst okuma için %35,12, alt okuma için %35,47, yaş durumda üst okuma için %8,62, alt okuma için %10,52 çıkmıştır.

5.2.11. Geogridin 0,6-0,8 H tabakalarında bulunması durumu

Geogridin 0,6-0,8 H tabakasında bulunduğu durumda yapılan CBR deney sonuçları Tablo 5.15.'de, sonuçlar üzerinden çizilen grafikler Şekil 5.11.'de görülmektedir.

Tablo 5.15. Geogridin 0.6-0.8 H tabakalarında bulunması durumu için yük-penetrasyon değerleri

Penetrasyon (mm)	KURU		YAŞ	
	Alt (kN)	Üst (kN)	Alt (kN)	Üst (kN)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,75	3,46	1,97	1,13	0,61
1,25	4,56	2,96	1,38	1,09
1,75	5,27	3,61	1,45	1,41
2,00	5,62	3,91	1,46	1,51
2,50	6,24	4,45	1,48	1,64
3,00	6,84	4,91	1,58	1,73
3,50	7,39	5,36	1,74	1,82
4,00	7,95	5,83	1,92	1,92
4,50	8,44	6,26	2,07	2,01
5,00	8,92	6,68	2,24	2,12
5,50	9,32	7,05	2,39	2,22
7,50	11,11	8,37	3,05	2,62



Şekil 5.11. Geogridin 0,6-0,8 H tabakalarında bulunması durumu için yük penetrasyon ilişkisi

Geogridin 0,6-0,8 H tabakalarında olduğu silt numunede yapılan deney sonuçlarına göre CBR değerleri, kuru durumda üst okuma için %33,59, alt okuma için %47,17, yaş durumda üst okuma için %12,35, alt okuma için %11,20 çıkmıştır.

5.3. Kil Zemin Üzerinde Yapılan CBR Deney Sonuçları

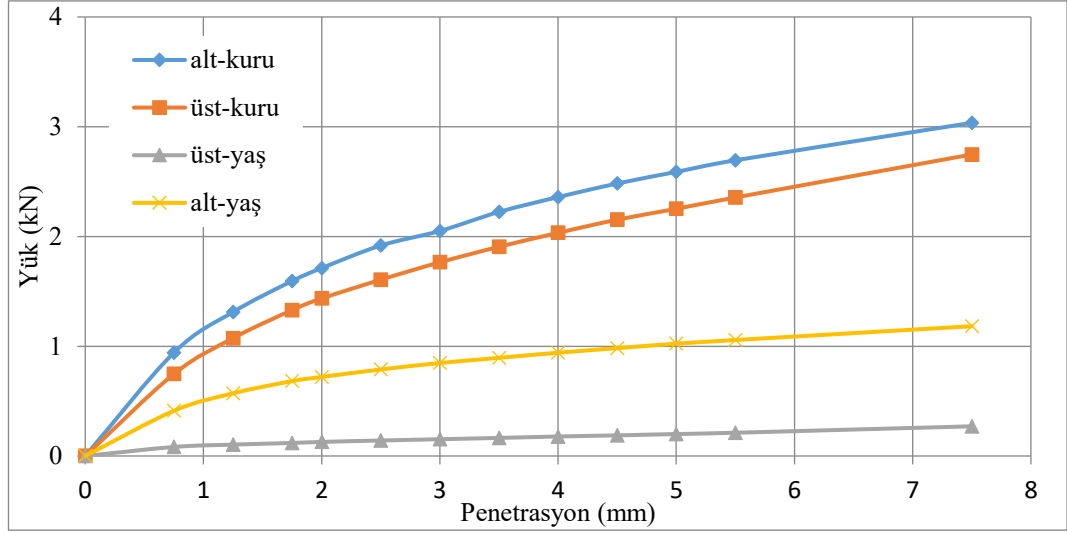
Kil zemin üzerinde, biri doğal numune olmak üzere 11'i kuru, 11'i yaş 22 adet CBR deneyi yapılmıştır. Deneylerde geogrid ilavesi tek ve çift tabaka olarak, kalıbın farklı bölgelerine yerleştirilmek suretiyle gerçekleştirilmiştir.

5.3.1. Geogrid katkısız numune

Geogrid ilavesinin bulunmadığı numunede yapılan CBR deney sonuçları Tablo 5.16.'da, sonuçlar üzerinden çizilen grafikler Şekil 5.12.'de görülmektedir. Geogrid katkısının bulunmadığı durumda kil numunede yapılan deney sonuçlarına göre, CBR değerleri, kuru durumda üst okuma için %12,13, alt okuma için %14,48, yaş durumda üst okuma için %1,07, alt okuma için %5,95 çıkmıştır.

Tablo 5.16. Geogrid katkısız numunede yük-penetrasyon değerleri

Penetrasyon (mm)	KURU		YAŞ	
	Alt (kN)	Üst (kN)	Alt (kN)	Üst (kN)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,75	0,94	0,75	0,41	0,08
1,25	1,31	1,07	0,57	0,10
1,75	1,59	1,33	0,68	0,12
2,00	1,71	1,44	0,72	0,13
2,50	1,92	1,61	0,79	0,14
3,00	2,05	1,76	0,85	0,15
3,50	2,22	1,91	0,89	0,16
4,00	2,36	2,03	0,94	0,18
4,50	2,48	2,15	0,98	0,19
5,00	2,59	2,25	1,02	0,20
5,50	2,69	2,36	1,06	0,21
7,50	3,04	2,75	1,18	0,27



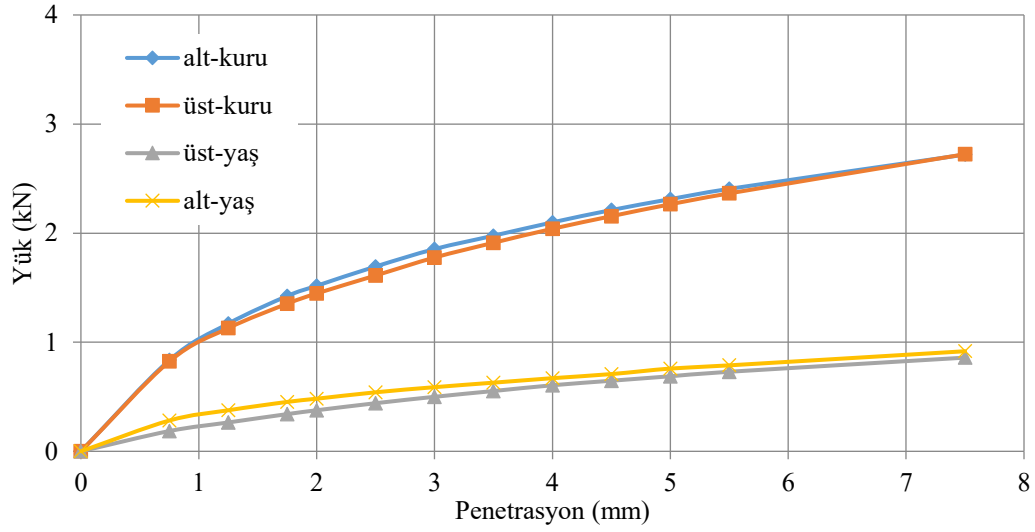
Şekil 5.12. Geogrid katkısız numune yük-penetrasyon ilişkisi

5.3.2. Geogridin 0,2 H tabakasında bulunması durumu

Geogridin 0,2 H tabakasında bulunduğu numune yapılan CBR deney sonuçları Tablo 5.17.'de, sonuçlar üzerinden çizilen grafikler Şekil 5.13.'de görülmektedir. Geogridin 0,2 H tabakasında bulunduğu durumda kil numune yapılan deney sonuçlarına göre CBR değerleri, kuru durumda üst okuma için %12,17, alt okuma için %12,80, yaş durumda üst okuma için %3,45, alt okuma için %4,09 çıkmıştır.

Tablo 5.17. Geogridin 0,2 H tabakalarında bulunması durumu için yük-penetrasyon değerleri

Penetrasyon (mm)	KURU		YAŞ	
	Alt (kN)	Üst (kN)	Alt (kN)	Üst (kN)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,75	0,84	0,82	0,28	0,19
1,25	1,17	1,13	0,38	0,26
1,75	1,42	1,35	0,45	0,34
2,00	1,52	1,45	0,48	0,38
2,50	1,69	1,61	0,54	0,44
3,00	1,85	1,78	0,59	0,50
3,50	1,98	1,91	0,63	0,55
4,00	2,10	2,04	0,67	0,61
4,50	2,21	2,16	0,71	0,65
5,00	2,31	2,26	0,76	0,69
5,50	2,41	2,36	0,79	0,73
7,50	2,72	2,72	0,92	0,86



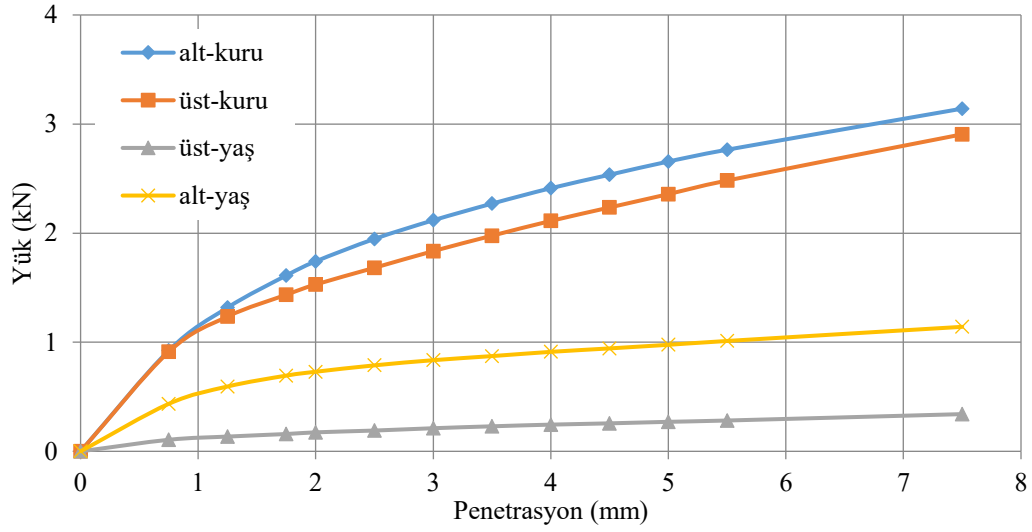
Şekil 5.13. Geogridin 0,2 H tabakasında bulunması durumu için yük-penetrasyon ilişkisi

5.3.3. Geogridin 0,4 H tabakasında bulunması durumu

Geogridin 0,4 H tabakasında bulunduğu numunede yapılan CBR deney sonuçları Tablo 5.18.'de, sonuçlar üzerinden çizilen grafikler Şekil 5.14.'de görülmektedir. Geogridin 0,4 H tabakasında bulunduğu durumda kil numunede yapılan deney sonuçlarına göre CBR değerleri, kuru durumda üst okuma için %12,71, alt okuma için %14,71, yaş durumda üst okuma için %1,44, alt okuma için %5,95 çıkmıştır.

Tablo 5.18. Geogridin 0,4 H tabakasında bulunması durumu için yük-penetrasyon değerleri

Penetrasyon (mm)	KURU		YAŞ	
	Alt (kN)	Üst (kN)	Alt (kN)	Üst (kN)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,75	0,92	0,91	0,44	0,11
1,25	1,32	1,24	0,59	0,14
1,75	1,61	1,44	0,69	0,16
2,00	1,74	1,53	0,73	0,17
2,50	1,95	1,68	0,79	0,19
3,00	2,12	1,84	0,84	0,21
3,50	2,27	1,98	0,87	0,23
4,00	2,41	2,11	0,91	0,24
4,50	2,54	2,24	0,94	0,26
5,00	2,66	2,36	0,98	0,27
5,50	2,76	2,48	1,01	0,28
7,50	3,14	2,91	1,14	0,34



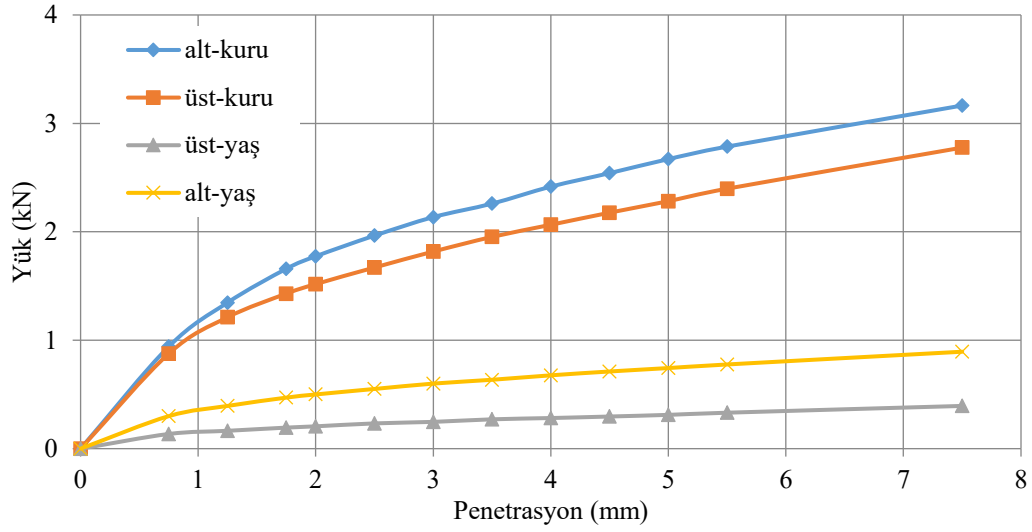
Şekil 5.14. Geogridin 0,4 H tabakasında bulunması durumu için yük-penetrasyon ilişkisi

5.3.4. Geogridin 0,6 H tabakasında bulunması durumu

Geogridin 0,6 H tabakasında bulunduğu numunede yapılan CBR deney sonuçları Tablo 5.19.'de, sonuçlar üzerinden çizilen grafikler Şekil 5.15.'de görülmektedir. Geogridin 0,6 H tabakasında bulunduğu durumda kil numunede yapılan deney sonuçlarına göre CBR değerleri, kuru durumda üst okuma için %12,62, alt okuma için %14,84, yaş durumda üst okuma için %1,76, alt okuma için %4,16 çıkmıştır.

Tablo 5.19. Geogridin 0,6 H tabakasında bulunması durumu için yük-penetrasyon değerleri

Penetrasyon (mm)	KURU		YAŞ	
	Alt (kN)	Üst (kN)	Alt (kN)	Üst (kN)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,75	0,94	0,88	0,30	0,14
1,25	1,35	1,21	0,39	0,16
1,75	1,66	1,43	0,47	0,19
2,00	1,77	1,52	0,50	0,21
2,50	1,96	1,67	0,55	0,23
3,00	2,14	1,82	0,60	0,25
3,50	2,26	1,95	0,64	0,27
4,00	2,42	2,06	0,68	0,28
4,50	2,54	2,18	0,71	0,30
5,00	2,67	2,28	0,74	0,31
5,50	2,79	2,40	0,78	0,33
7,50	3,16	2,78	0,89	0,39



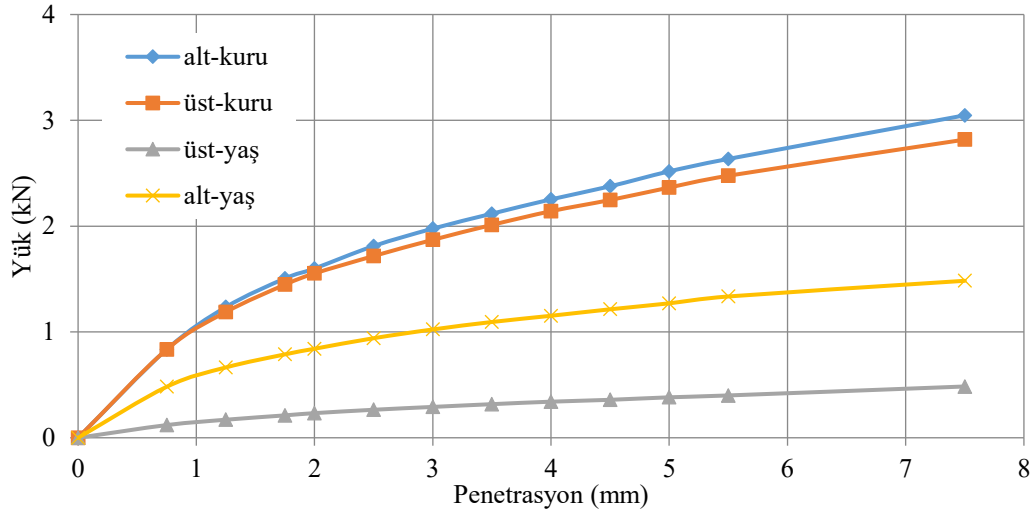
Şekil 5.15. Geogridin 0,6 H tabakasında bulunması durumu için yük-penetrasyon ilişkisi

5.3.5. Geogridin 0,8 H tabakasında bulunması durumu

Geogridin 0,8 H tabakasında bulunduğu numunede yapılan CBR deney sonuçları Tablo 5.20.'de, sonuçlar üzerinden çizilen grafikler Şekil 5.16.'da görülmektedir. Geogridin 0,8 H tabakasında bulunduğu durumda kil numunede yapılan deney sonuçlarına göre CBR değerleri, kuru durumda üst okuma için %12,97 , alt okuma için %13,68, yaş durumda üst okuma için %2,00, alt okuma için %7,11 çıkmıştır.

Tablo 5.20. Geogridin 0,8 H tabakasında bulunması durumu için yük-penetrasyon değerleri

Penetrasyon (mm)	KURU		YAŞ	
	Alt (kN)	Üst (kN)	Alt (kN)	Üst (kN)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,75	0,84	0,84	0,48	0,12
1,25	1,24	1,19	0,66	0,17
1,75	1,51	1,45	0,79	0,21
2,00	1,60	1,55	0,84	0,23
2,50	1,81	1,72	0,94	0,26
3,00	1,98	1,87	1,02	0,29
3,50	2,12	2,01	1,09	0,32
4,00	2,25	2,14	1,15	0,34
4,50	2,38	2,25	1,21	0,36
5,00	2,52	2,36	1,27	0,38
5,50	2,64	2,48	1,34	0,40
7,50	3,05	2,82	1,48	0,48



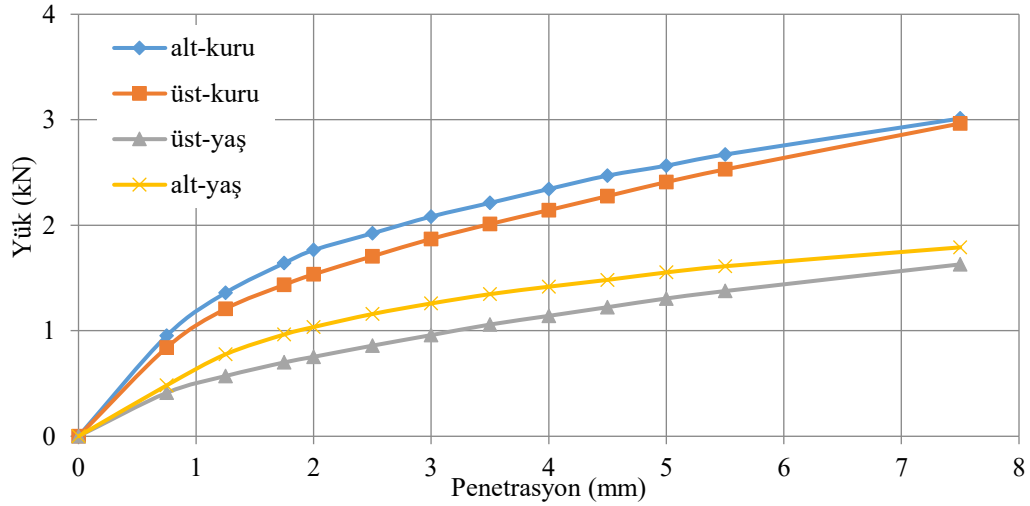
Şekil 5.16. Geogridin 0,8 H tabakasında bulunması durumu için yük-penetrasyon ilişkisi

5.3.6. Geogridin 0,2-0,4 H tabakalarında bulunması durumu

Geogridin 0,2-0,4 H tabakalarında bulunduğu numunede yapılan CBR deney sonuçları Tablo 5.21.'de, sonuçlar üzerinden çizilen grafikler Şekil 5.17.'de görülmektedir. Geogridin 0,2-0,4 H tabakasında bulunduğu durumda kil numunede yapılan deney sonuçlarına göre CBR değerleri, kuru durumda üst okuma için %12,88, alt okuma için %14,53, yaş durumda üst okuma için %6,54, alt okuma için %8,75 çıkmıştır.

Tablo 5.21. Geogridin 0,2-0,4 H tabakalarında bulunması durumu için yük-penetrasyon değerleri

Penetrasyon (mm)	KURU		YAŞ	
	Alt (kN)	Üst (kN)	Alt (kN)	Üst (kN)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,75	0,95	0,84	0,48	0,41
1,25	1,36	1,21	0,78	0,57
1,75	1,64	1,44	0,96	0,70
2,00	1,76	1,54	1,04	0,75
2,50	1,92	1,71	1,16	0,86
3,00	2,08	1,87	1,26	0,96
3,50	2,21	2,01	1,35	1,06
4,00	2,34	2,14	1,42	1,14
4,50	2,47	2,28	1,48	1,22
5,00	2,56	2,41	1,55	1,31
5,50	2,67	2,53	1,61	1,38
7,50	3,01	2,96	1,79	1,63



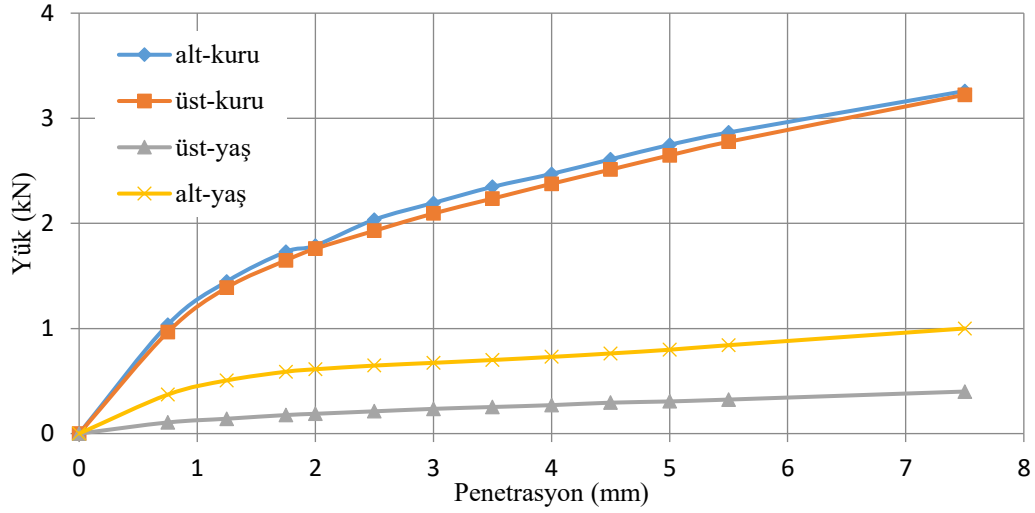
Şekil 5.17. Geogridin 0,2-0,4 H tabakalarında bulunması durumu için yük-penetrasyon ilişkisi

5.3.7. Geogridin 0,2-0,6 H tabakalarında bulunması durumu

Geogridin 0,2-0,6 H tabakalarında bulunduğu numunede yapılan CBR deney sonuçları Tablo 5.22.'de, sonuçlar üzerinden çizilen grafikler Şekil 5.18.'de görülmektedir. Geogridin 0,2-0,6 H tabakasında bulunduğu durumda kil numunede yapılan deney sonuçlarına göre CBR değerleri, kuru durumda üst okuma için %14,57, alt okuma için %15,37, yaş durumda üst okuma için %1,60, alt okuma için %4,89 çıkmıştır.

Tablo 5.22. Geogridin 0,2-0,6 H tabakalarında bulunması durumu için yük-penetrasyon değerleri

Penetrasyon (mm)	KURU		YAŞ	
	Alt (kN)	Üst (kN)	Alt (kN)	Üst (kN)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,75	1,04	0,96	0,37	0,11
1,25	1,45	1,39	0,51	0,14
1,75	1,73	1,65	0,59	0,18
2,00	1,79	1,76	0,61	0,19
2,50	2,04	1,93	0,65	0,21
3,00	2,19	2,09	0,67	0,24
3,50	2,35	2,24	0,70	0,25
4,00	2,47	2,38	0,73	0,27
4,50	2,61	2,51	0,76	0,29
5,00	2,75	2,65	0,80	0,31
5,50	2,86	2,78	0,84	0,32
7,50	3,26	3,22	1,00	0,40



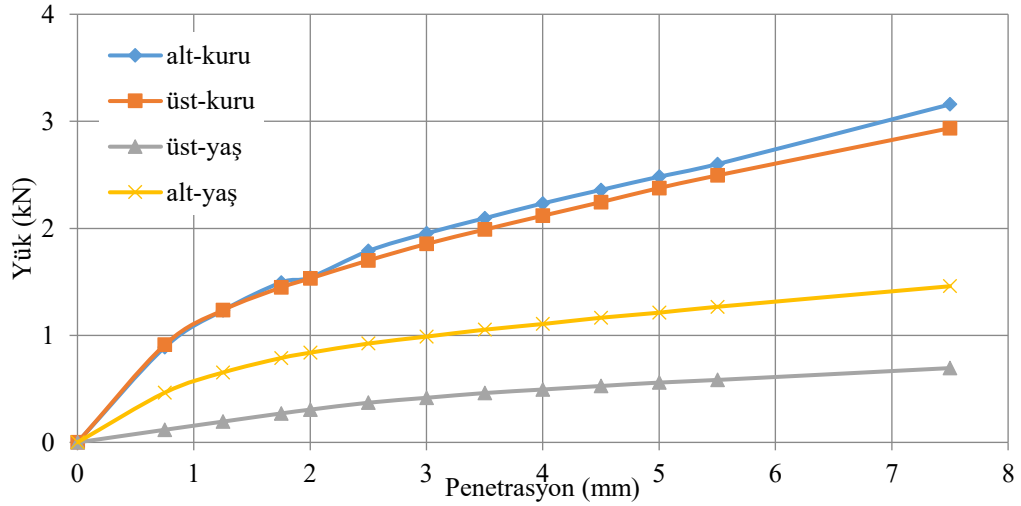
Şekil 5.18. Geogridin 0,2-0,6 H tabakalarında bulunması durumu için yük-penetrasyon ilişkisi

5.3.8. Geogridin 0,2-0,8 H tabakalarında bulunması durumu

Geogridin 0,2-0,8 H tabakalarında bulunduğu numunede yapılan CBR deney sonuçları Tablo 5.23.'de, sonuçlar üzerinden çizilen grafikler Şekil 5.18.'de görülmektedir. Geogridin 0,2-0,8 H tabakalarında bulunduğu durumda kil numunede yapılan deney sonuçlarına göre CBR değerleri, kuru durumda üst okuma için %12,84, alt okuma için %13,51, yaş durumda üst okuma için %2,80, alt okuma için %6,98 çıkmıştır.

Tablo 5.23. Geogridin 0,2-0,6 H tabakalarında bulunması durumu için yük-penetrasyon değerleri

Penetrasyon (mm)	KURU		YAŞ	
	Alt (kN)	Üst (kN)	Alt (kN)	Üst (kN)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,75	0,89	0,91	0,46	0,12
1,25	1,23	1,24	0,65	0,19
1,75	1,49	1,45	0,79	0,27
2,00	1,54	1,53	0,84	0,31
2,50	1,79	1,70	0,92	0,37
3,00	1,95	1,85	0,99	0,42
3,50	2,09	1,99	1,05	0,46
4,00	2,23	2,12	1,11	0,49
4,50	2,36	2,24	1,16	0,53
5,00	2,48	2,38	1,21	0,56
5,50	2,60	2,49	1,27	0,58
7,50	3,16	2,94	1,46	0,69



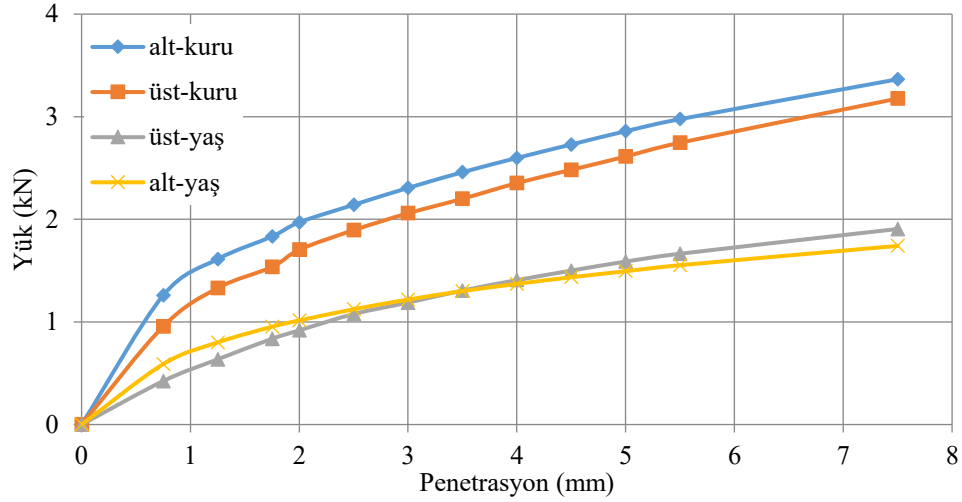
Şekil 5.19. Geogridin 0,2-0,6 H tabakalarında bulunması durumu için yük-penetrasyon ilişkisi

5.3.9. Geogridin 0,4-0,6 H tabakalarında bulunması durumu

Geogridin 0,4-0,6 H tabakalarında bulunduğu numunede yapılan CBR deney sonuçları Tablo 5.24.'de, sonuçlar üzerinden çizilen grafikler Şekil 5.19.'da görülmektedir. Geogridin 0,4-0,6 H tabakalarında bulunduğu durumda kil numunede yapılan deney sonuçlarına göre CBR değerleri, kuru durumda üst okuma için %14,31, alt okuma için %16,17, yaş durumda üst okuma için %8,13, alt okuma için %8,49 çıkmıştır.

Tablo 5.24. Geogridin 0,4-0,6 H tabakalarında bulunması durumu için yük-penetrasyon değerleri

Penetrasyon (mm)	KURU		YAŞ	
	Alt (kN)	Üst (kN)	Alt (kN)	Üst (kN)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,75	1,26	0,96	0,59	0,42
1,25	1,61	1,33	0,80	0,64
1,75	1,83	1,54	0,95	0,84
2,00	1,97	1,70	1,01	0,92
2,50	2,14	1,89	1,12	1,08
3,00	2,31	2,06	1,22	1,19
3,50	2,46	2,20	1,30	1,31
4,00	2,60	2,35	1,37	1,41
4,50	2,73	2,48	1,44	1,50
5,00	2,86	2,61	1,49	1,59
5,50	2,98	2,75	1,55	1,66
7,50	3,36	3,18	1,74	1,91



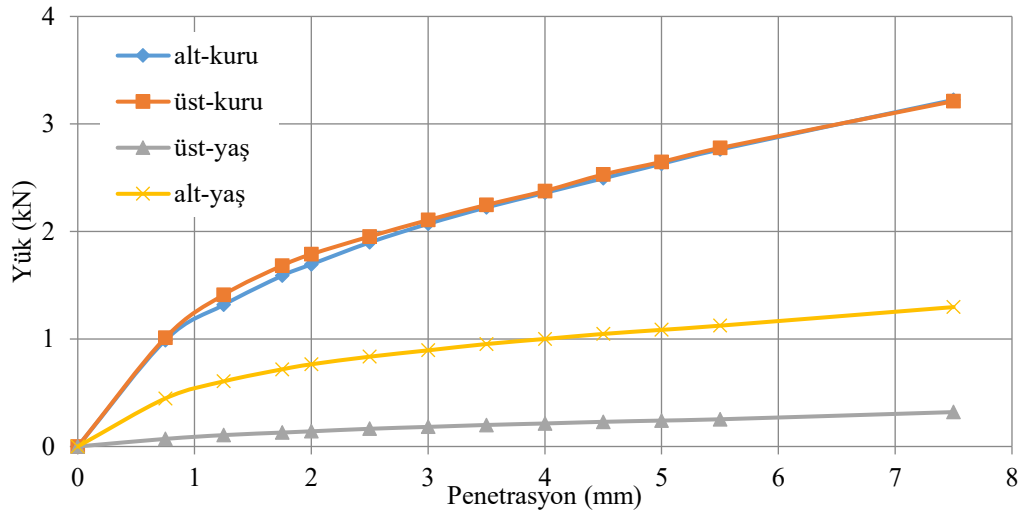
Şekil 5.20. Geogridin 0,4-0,6 H tabakalarında bulunması durumu için yük-penetrasyon ilişkisi

5.3.10. Geogridin 0,4-0,8 H tabakalarında bulunması durumu

Geogridin 0,4-0,8 H tabakalarında bulunduğu numunede yapılan CBR deney sonuçları Tablo 5.25.'de, sonuçlar üzerinden çizilen grafikler Şekil 5.20.'de görülmektedir. Geogridin 0,4-0,8 H tabakalarında bulunduğu durumda kil numunede yapılan deney sonuçlarına göre CBR değerleri, kuru durumda üst okuma için %14,75, alt okuma için %14,33, yaş durumda üst okuma için %1,24, alt okuma için %6,31 çıkmıştır.

Tablo 5.25. Geogridin 0.4-0.8 H tabakalarında bulunması durumu için yük-penetrasyon değerleri

Penetrasyon (mm)	KURU		YAŞ	
	Alt (kN)	Üst (kN)	Alt (kN)	Üst (kN)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,75	0,99	1,01	0,45	0,07
1,25	1,32	1,41	0,61	0,11
1,75	1,59	1,68	0,72	0,13
2,00	1,69	1,79	0,76	0,14
2,50	1,90	1,95	0,84	0,16
3,00	2,07	2,11	0,89	0,18
3,50	2,22	2,25	0,95	0,20
4,00	2,36	2,38	1,00	0,21
4,50	2,49	2,53	1,05	0,23
5,00	2,63	2,65	1,08	0,24
5,50	2,76	2,78	1,12	0,25
7,50	3,22	3,21	1,30	0,32



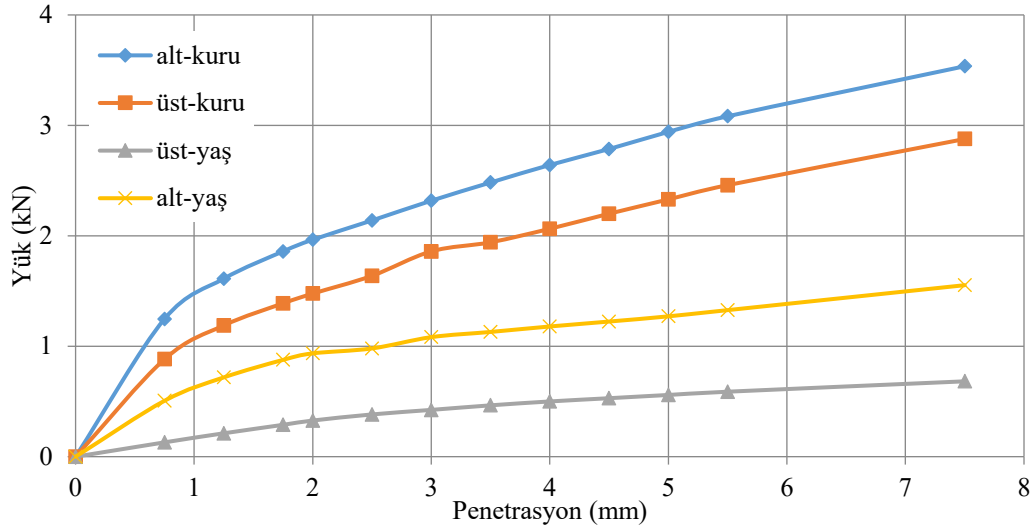
Şekil 5.21. Geogridin 0,4-0,8 H tabakalarında bulunması durumu için yük-penetrasyon ilişkisi

5.3.11. Geogridin 0,6-0,8 H tabakalarında bulunması durumu

Geogridin 0,6-0,8 H tabakalarında bulunduğu numunede yapılan CBR deney sonuçları Tablo 5.26.'da, sonuçlar üzerinden çizilen grafikler Şekil 5.21.'de görülmektedir. Geogridin 0,4-0,8 H tabakalarında bulunduğu durumda kil numunede yapılan deney sonuçlarına göre CBR değerleri, kuru durumda üst okuma için %12,37, alt okuma için %16,15, yaş durumda üst okuma için %2,89, alt okuma için %7,40 çıkmıştır.

Tablo 5.26. Geogridin 0,6-0,8 H tabakalarında bulunması durumu için yük-penetrasyon değerleri

Penetrasyon (mm)	KURU		YAŞ	
	Alt (kN)	Üst (kN)	Alt (kN)	Üst (kN)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,75	1,25	0,88	0,51	0,13
1,25	1,61	1,19	0,72	0,21
1,75	1,86	1,39	0,88	0,29
2,00	1,96	1,48	0,94	0,33
2,50	2,14	1,64	0,98	0,38
3,00	2,32	1,86	1,08	0,42
3,50	2,48	1,94	1,13	0,46
4,00	2,64	2,06	1,18	0,50
4,50	2,79	2,20	1,22	0,53
5,00	2,94	2,33	1,27	0,56
5,50	3,08	2,46	1,33	0,59
7,50	3,54	2,88	1,55	0,68



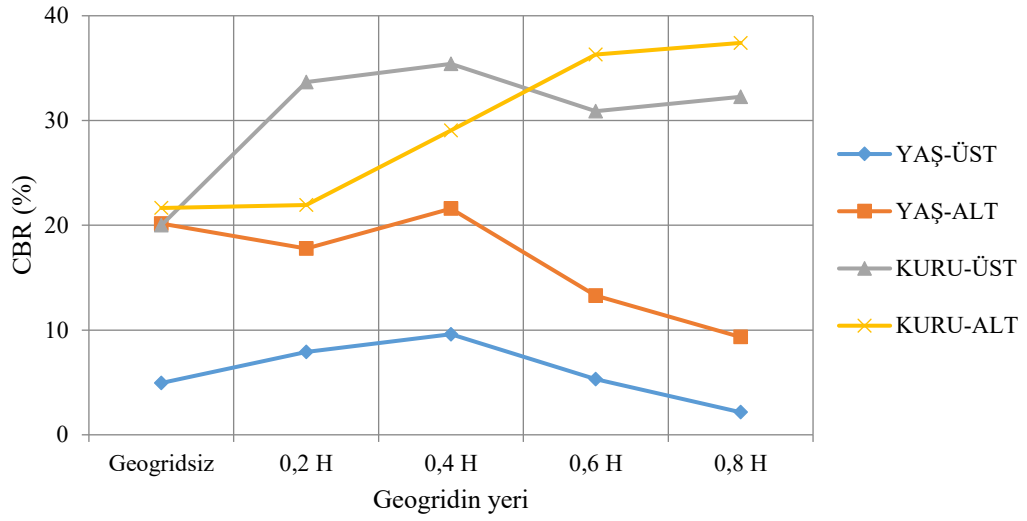
Şekil 5.22. Geogridin 0,6-0,8 H tabakalarında bulunması durumu için yük-penetrasyon ilişkisi

5.4. Silt zeminin Kaliforniya Taşıma Oranı değerleri

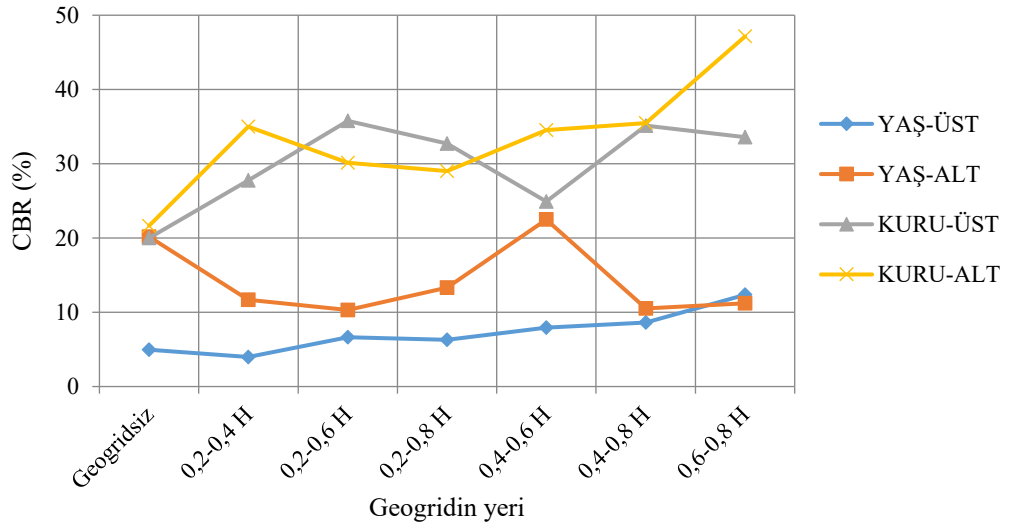
Kaliforniya taşıma oranı, Kaliforniya kırma taşının yük penetrasyon değerlerinin, mevcut deney yapılan zemine oranlanmasıdır. Bu değerler Kaliforniya kırma taşı için 1,25 mm penetrasyonda 0,84 kN, 2,50 mm penetrasyonda 13,2 kN ve 5,00 mm penetrasyonda 20 kN'dir. Silt zemin üzerinde gerçekleştirilen deney sonuçlarına göre elde edilen CBR değerleri Tablo 5.27'de, bu değerler sonucunda çizilen grafikler Şekil 5.23 ve Şekil 5.24'de verilmiştir.

Tablo 5.27. Silt zeminin CBR değerleri

NUMUNE TİPİ	YAŞ		KURU	
	ÜST	ALT	ÜST	ALT
GEOGRİDSİZ	4,95	20,17	20,00	21,65
TEK TABAKA GEOGRİD	0,2 H	7,91	17,77	33,68
	0,4 H	9,60	21,59	35,41
	0,6 H	5,32	13,28	30,88
	0,8 H	2,15	9,33	32,26
	0,2-0,4 H	3,98	11,69	27,77
ÇİFT TABAKA GEOGRİD	0,2-0,6 H	6,62	10,31	35,77
	0,2-0,8 H	6,31	13,33	32,71
	0,4-0,6 H	7,93	22,48	24,91
	0,4-0,8 H	8,62	10,52	35,12
	0,6-0,8 H	12,35	11,20	33,59



Şekil 5.23. Tek tabaka geogrid ilaveli silt zeminin yük- penetrasyon ilişkisi



Şekil 5.24. Çift tabaka geogrid ilaveli silt zeminin yük- penetrasyon ilişkisi

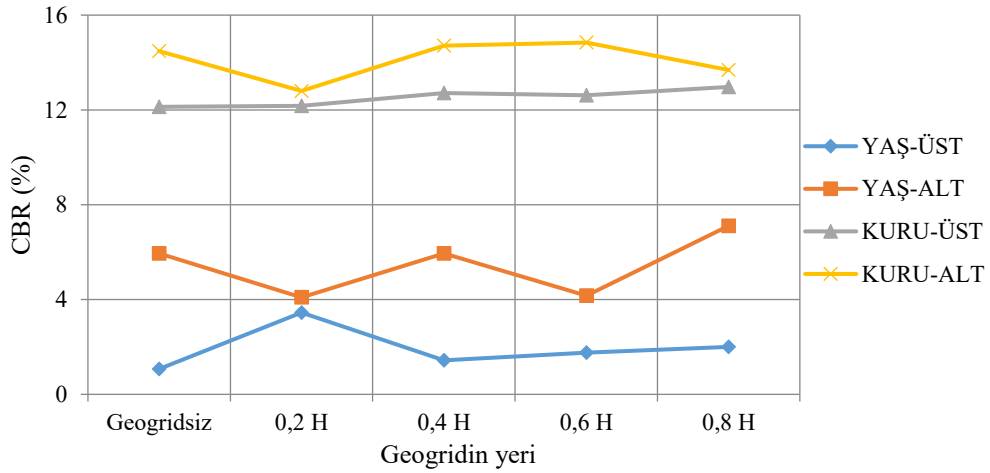
Geogrid katkısı, kuru numunelerde tek ve çift tabaka fark etmeksizin alt ve üst okumalarda CBR değerlerini arttırmıştır. Yaş numunelerde, üst okumalar için 0,2 H ve 0,2-0,4 H tabakaları hariç geogrid katkısı zemini iyileştirmiştir. Alt okumalar için 0,4 H ve 0,4-0,6 H tabakalarında iyileşme sağlanıp diğer durumlarda iyileşme gözlemlenmemiştir. Deneyler sonucunda ulaşılan en yüksek ve en düşük CBR değerleri sırasıyla %47,14 ve %3,98'dir.

5.5. Kil zeminin Kaliforniya Taşıma Oranı değerleri

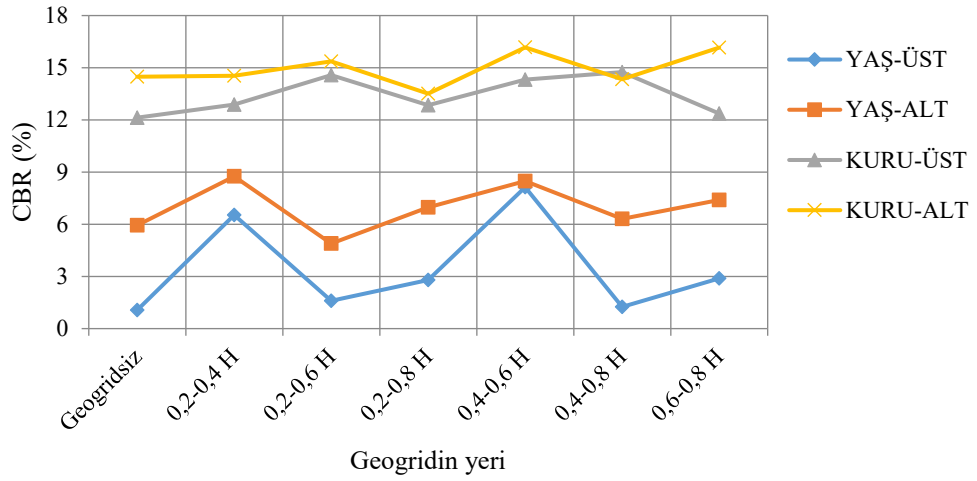
Kil zemin üzerinde gerçekleştirilen deney sonuçlarına göre elde edilen CBR değerleri Tablo 5.28’de, bu değerler sonucunda çizilen grafikler Şekil 5.25. ve Şekil 5.26.’da verilmiştir. Geogrid katkısı üst okumalarda her durumda kil zeminde iyileştirme sağlamıştır. Kuru numunelerde alt okumalarda 0,2 H, 0,8 H, 0,2-0,8 H, 0,4-0,8 H durumları hariç iyileştirme sağlanmıştır. Yaş numunelerde alt okumalar için 0,2 H, 0,6 H ve 0,2-0,6 H durumları hariç iyileştirme sağlanmıştır. Deneyler sonucunda ulaşılan en yüksek ve en düşük CBR değerleri sırasıyla %16,17 ve %1,07’dir.

Tablo 5.28. Kil zeminin CBR değerleri

NUMUNE TİPİ		YAŞ		KURU	
		ÜST	ALT	ÜST	ALT
TEK TABAKA GEOGRİD	GEOGRİDSİZ	1,07	5,95	12,13	14,48
	0,2 H	3,45	4,09	12,17	12,80
	0,4 H	1,44	5,95	12,71	14,71
	0,6 H	1,76	4,16	12,62	14,84
	0,8 H	2,00	7,11	12,97	13,68
ÇİFT TABAKA GEOGRİD	0,2-0,4 H	6,54	8,75	12,88	14,53
	0,2-0,6 H	1,60	4,89	14,57	15,37
	0,2-0,8 H	2,80	6,98	12,84	13,51
	0,4-0,6 H	8,13	8,49	14,31	16,17
	0,4-0,8 H	1,24	6,31	14,75	14,33
	0,6-0,8 H	2,89	7,40	12,37	16,15



Şekil 5.25. Tek tabaka geogrid ilaveli kil zeminin yük- penetrasyon ilişkisi



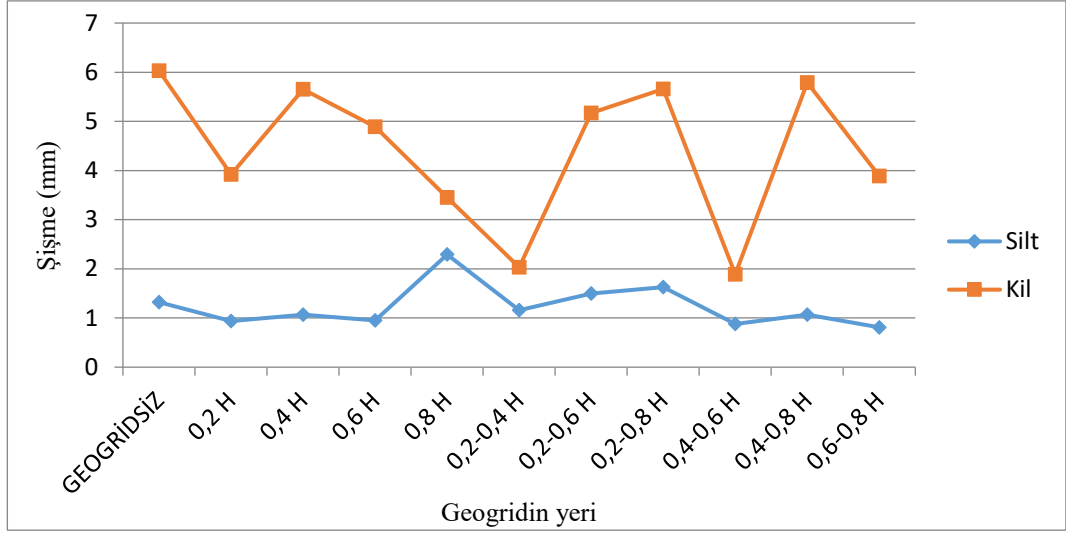
Şekil 5.26. Çift tabaka geogrid ilaveli kil zeminin yük- penetrasyon ilişkisi

5.6. Silt ve Kil Zemin için Şişme Değerleri

Yaş olarak deneye tabi tutulacak numuneler sıkıştırma sonrasında 96 saat süreyle su dolu kaplarda bekletilerek, zeminlerin şişme miktarları ölçülmüştür. Silt ve kil numuneler için Tablo 5.29.'de şişme değerleri, Şekil 5.27.'de bu değerlerin grafik hali görülmektedir.

Tablo 5.29. Silt ve kil zeminde şişme değerleri

NUMUNE TİPİ	SİLT (mm)	KİL (mm)
GEOGRİDSİZ	1,32	6,03
TEK TABAKA GEOGRİD	0,2 H	0,94
	0,4 H	1,07
	0,6 H	0,95
	0,8 H	2,29
	0,2-0,4 H	1,16
ÇİFT TABAKA GEOGRİD	0,2-0,6 H	1,50
	0,2-0,8 H	1,63
	0,4-0,6 H	0,88
	0,4-0,8 H	1,07
	0,6-0,8 H	0,81



Şekil 5.27. Silt ve kil zeminin şişme değerleri ilişkisi

Kil numunelerde, bazalt geogridin katkısı tüm numunelerde şişme değerlerini azaltmıştır. Geogridsiz doğal numunede 6,03 mm şişme değerleri elde edilirken, geogrid katkısı ile bu değer 1,89 mm'ye gerilemiştir.

Silt numunelerde geogrid ilavesinin olumlu katkısı her numunede görülmemiştir. Geogridsiz doğal numunede 1,32 mm şişme değeri elde edilirken geogrid katkısı ile bu değer 0,81 mm şişmeye kadar gerilemiştir. Maksimum şişme değerine ise geogridin 0.8 H tabakasında bulunduğu durumda 2,29 mm ile ulaşılmıştır.

BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, bazalt fiberden üretilmiş bazalt geogridin silt ve kil zeminlerin iyileştirilmesinde kullanımı araştırılmış ve alternatif olarak kullanılabileceği ortaya konmuştur. Silt ve kil zeminler üzerinde 11'i suda bekletilmiş ve 11'i bekletilmemiş olarak toplamda 44 adet Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR) deneyi yapılmıştır. Deneylerde kullanılan silt zemin Adapazarı Yenigün mahallesinden, kil zemin 1. Organize Sanayi bölgesinden elde edilmiştir.

Kil ve silt numuneler doğal ve bazalt geogrid katkılı olarak deneylere tabi tutulmuşlardır. Deneylerde geogridin zemin içerisindeki konumu, sayısı ve artan su muhtevasının etkisi incelenerek, bazalt geogridin varlığının oluşturduğu etki gözlemlenmiştir.

Silt zeminler üzerinde yapılan deneylerde, açıkta kurutulmuş 3900 gram silte, 500 gram su eklenerek su muhtevası %15 olan deney numunesi hazırlanmıştır. Kil zeminler üzerinde yapılan deneylerde ise açıkta kurutulmuş 3560 gram kile, 500 gram su eklenerek su muhtevası %24 olan deney numunesi hazırlanmıştır. CBR kalıplarında sıkıştırma işlemi 5 tabaka halinde her tabakaya standart proktor aleti ile 55 vuruş yapılmak suretiyle gerçekleştirilmiştir. Her tabakaya, silt zeminde 860 gr, kil zeminde 840 gram numune konmuştur. Sıkıştırma işleminin sonrasında suda bekletilmeyen numuneler direkt olarak, suda bekleyen numuneler ise 96 saat süreyle su dolu kapta bekletildikten sonra deneye tabi tutulmuşlardır. İki zemin türü için de geogrid katkısız, tek tabaka geogrid katkılı ve çift tabaka geogrid katkılı numuneler üzerinde deneyler gerçekleştirilmiştir. Tek tabaka geogridler kalıbın 0,2 H, 0,4 H, 0,6 H ve 0,8 H noktalarına, çift tabaka geogridler 0,2-0,4 H, 0,2-0,6 H, 0,2-0,8 H, 0,4-0,6 H, 0,4-0,8 H, 0,6-0,8 H noktalarına yerleştirilmişlerdir.

Silt zeminde, tek tabaka geogrid katkısı ile suda bekletilmemiş numunelerde gerçekleştirilen Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR) deneylerinde tüm numunelerde iyileşme sağlanmıştır. Ulaşılan en yüksek CBR değerleri, üst okumada geogridin 0,4 H tabakasında bulunduğu durumda %35,41, alt okumada geogridin 0,8 H tabakasında bulunduğu durumda %37,41 ile sağlanmıştır. Sırasıyla, %77 ve %73 oranlarında iyileşme sağlanmıştır.

Silt zeminde, çift tabaka geogrid katkısı ile suda bekletilmemiş numunelerde gerçekleştirilen Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR) deneylerinde tüm numunelerde iyileşme sağlanmıştır. Ulaşılan en yüksek CBR değerleri, üst okumada geogridin 0,2-0,6 H tabakasında bulunduğu durumda %35,77, alt okumada geogridin 0,6-0,8 H tabakasında bulunduğu durumda %47,14 ile sağlanmıştır. Sırasıyla, %79 ve %118 oranlarında iyileşme sağlanmıştır.

Silt zeminde, tek tabaka geogrid katkısı ile suda bekletilmiş numunelerde gerçekleştirilen Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR) deneylerinde üst okumada geogridin 0,8 H tabakasında bulunduğu durum hariç diğer tüm numunelerde iyileştirilme sağlanırken, alt okumada sadece geogridin 0,4 H tabakasında bulunduğu durumda iyileşme sağlanmıştır. Ulaşılan en yüksek CBR değerleri, üst okumada geogridin 0,4 H tabakasında bulunduğu durumda %9,6, alt okumada geogridin 0,4 H tabakasında bulunduğu durumda %21,59 ile sağlanmıştır. Sırasıyla, %94 ve %7 oranlarında iyileşme sağlanmıştır.

Silt zeminde, çift tabaka geogrid katkısı ile suda bekletilmiş numunelerde gerçekleştirilen Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR) deneylerinde üst okumada geogridin 0,2-0,4 H tabakalarında bulunduğu durum hariç diğer tüm numunelerde iyileştirilme sağlanırken, alt okumada sadece geogridin 0,4-0,6 H tabakasında bulunduğu durumda iyileşme sağlanmıştır. Ulaşılan en yüksek CBR değerleri, üst okumada geogridin 0,6-0,8 H tabakasında bulunduğu durumda %12,35, alt okumada geogridin 0,4-0,6 H tabakasında bulunduğu durumda %22,48 ile sağlanmıştır. Sırasıyla, %149,5 ve %11,5 oranlarında iyileşme sağlanmıştır.

Şişme değerleri incelendiğinde geogrid katkısız numunede 1,32 mm şişme gözlemlenmiştir. Tek tabaka geogridin kullanıldığı numunelerde geogridin 0,8 H tabakasında bulunduğu durum hariç diğer tüm numunelerde şişme değerleri azalmıştır. Çift tabaka geogridin kullanıldığı numunelerde geogridin 0,2-0,6 H ve 0,2-0,8 H tabakalarında bulunduğu durum hariç diğer tüm numunelerde şişme değerleri azalmıştır. Ölçülen en yüksek şişme değeri geogridin 0,8 H tabakasında bulunduğu durumda 2,29 mm, en düşük şişme değeri 0,6-0,8 H tabakasında bulunduğu durumda 0,81 mm'dir.

Tüm deneyler sonucunda ulaşılan en yüksek CBR değeri %47,14 iken, en düşük CBR değeri %2,15'dir. Silt zemin için artan su muhtevaları ve şişme miktarları CBR değerlerini ciddi oranlarda düşürmüştür. Değerlerden de görüleceği üzere CBR sonuçları geniş bir bant aralığına yayılmıştır. Bu nedenle geogrid takviyesi yapılırsa da silt zeminin dolgu olarak kullanılmasına kuşku ile bakılması önerilmektedir.

Kil zeminde, tek tabaka geogrid katkısı ile suda bekletilmemiş numunelerde gerçekleştirilen Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR) deneylerinde üst okumada tüm numunelerde iyileşme sağlanırken, alt okumada geogridin 0,4 H ve 0,6 H tabakalarında bulunduğu durumda iyileşme sağlanmıştır. Ulaşılan en yüksek CBR değerleri, üst okumada geogridin 0,8 H tabakasında bulunduğu durumda %12,97, alt okumada geogridin 0,6 H tabakasında bulunduğu durumda %14,84 ile sağlanmıştır. Sırasıyla, %7 ve %2,5 oranlarında iyileşme sağlanmıştır.

Kil zeminde, çift tabaka geogrid katkısı ile suda bekletilmemiş numunelerde gerçekleştirilen Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR) deneylerinde üst okumada tüm numunelerde iyileşme sağlanırken, alt okumada geogridin 0,2-0,8 H ve 0,4-0,8 H tabakalarında bulunduğu durum hariç iyileşme sağlanmıştır. Ulaşılan en yüksek CBR değerleri, üst okumada geogridin 0,4-0,8 H tabakasında bulunduğu durumda %14,75, alt okumada geogridin 0,4-0,6 H tabakasında bulunduğu durumda %16,17 ile sağlanmıştır. Sırasıyla, %22 ve %12 oranlarında iyileşme sağlanmıştır.

Kil zeminde, tek tabaka geogrid katkısı ile suda bekletilmiş numunelerde gerçekleştirilen Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR) deneylerinde üst okumada tüm numunelerde iyileşme sağlanırken, alt okumada sadece geogridin 0,8 H tabakasından bulunduğu durumda iyileşme sağlanmıştır. Ulaşılan en yüksek CBR değerleri, üst okumada geogridin 0,2 H tabakasından bulunduğu durumda %3,45, alt okumada geogridin 0,8 H tabakasından bulunduğu durumda %7,11 ile sağlanmıştır. Sırasıyla, %222 ve %19,5 oranlarında iyileşme sağlanmıştır.

Kil zeminde, çift tabaka geogrid katkısı ile suda bekletilmiş numunelerde gerçekleştirilen Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR) deneylerinde üst okumada tüm numunelerde iyileşme sağlanırken, alt okumada geogridin 0,2-0,6 H tabakasından bulunduğu durum hariç tüm numunelerde iyileşme sağlanmıştır. Ulaşılan en yüksek CBR değerleri, üst okumada geogridin 0,4-0,6 H tabakasından bulunduğu durumda %8,13, alt okumada geogridin 0,2-0,4 H tabakasından bulunduğu durumda %8,75 ile sağlanmıştır. Sırasıyla, %660 ve %47 oranlarında iyileşme sağlanmıştır.

Şişme değerleri incelendiğinde geogrid katkısız numunede 6,03 mm şişme gözlemlenmiştir. Geogrid katkısı tüm numunelerde şişme değerlerini azaltarak olumlu bir etki göstermiştir. Ölçülen en düşük şişme değeri geogridin 0,4-0,6 H tabakasından bulunduğu durumda 1,89 mm'dir.

Tüm deneyler sonucunda ulaşılan en yüksek CBR değeri %16,17, en düşük CBR değeri %1,07'dir. Kil zeminde artan su muhtevaları ve şişme miktarları CBR değerlerini ciddi oranlarda düşürmüştür. Özellikle şişme miktarları üst okumalar için CBR oranlarında en etkili parametre olarak gözlemlenmiştir. Değerlerden de görüleceği üzere CBR sonuçları geniş bir bant aralığına yayılmıştır. Bu nedenle geogrid takviyesi yapılsa da kil zeminin dolgu olarak kullanılmasına kuşku ile bakılması önerilmektedir.

Bazalt geogrid kullanımının, mühendislik özellikleri dolgu olarak kullanılmaya yetmeyecek olan kil ve silt zeminin iyileştirilmesinde olumlu etkisi görülmüş olup, suda bekletilme işlemi sonucunda bazı varyasyonlarda bu olumlu etki görülmemiştir.

Su içeriği değişimlerinden çok fazla etkilenmeyen zemin tiplerinde de deneylerin yapılarak bu olumlu etkinin araştırılması ve ölçek etkisi de göz önünde bulunduğuunda bazalt geogrid katkısının net olarak anlaşılması için model deneylerin yapılması önerilmektedir.

Literatüre bakıldığında, geogrid malzemesinin CBR kalıbına mesnetlenmesi ile taşıma oranı değerlerinde artış görülmüştür. Bazalt geogridin de benzer bir şekilde kalıba mesnetlenmesi ile meydana gelecek değişimlerin incelenmesi önerilmektedir.

Bazalt geogrid, diğer geogridlerden farklı olarak polipropilen tarzı kimyasal maddelerden değil, doğal bir kayaktan üretilmesinden dolayı çevreci bir ürün olarak değerlendirilmektedir. Günümüzde artan evre duyarlılığına cevap vermekte olup, diğer geogridlere alternatif olarak öne çıkmaktadır.

KAYNAKLAR

- Adams, C.A., Amofa, N.Y., Boahen, R.O. 2014. Effect of geogrid reinforced subgrade on layer thickness design of low volume bituminous sealed road pavements. *International Refereed Journal of Engineering and Science.*, 3(2): 59-67.
- Altay, G., Demir, A., Bağrıaçık, B., Laman, M., Ok, B., Sarıca, T. 2014. Geogridle Güçlendirilmiş Esnek Yol Kaplamaların Nümerik Olarak Degerlendirilmesi. *Altıncı Ulusal Geosentetikler Konferansı.*, İstanbul, 87-98.
- Arslan, A., Laman, M., Mısıır, G., Kuzum, M. 2014. Yol Dolgularında Geogrid Kullanımına Ait Vaka Analizi. *Altıncı Ulusal Geosentetikler Konferansı.*, İstanbul, 61-72.
- Aydoğmuş, T., Güler, E., Klapperich, H., Eskişar, T., 2006. İkinci Ulusal Geosentetikler Konferansı., İstanbul, 29-38.
- Bakkaylı, M., Örnek, M., Demir, A., Türedi, Y., 2013. Geogrid Donatının Cbr Değerine Etkisinin İncelenmesi. 5. Geoteknik Sempozyumu., Adana
- Bildik, S., Emirler, B., Laman, M. 2014. Geogrid ile Güçlendirilmiş Zeminlerde Gömülü Boruların Davranışı. *Altıncı Ulusal Geosentetikler Konferansı.*, İstanbul, 115-124.
- Chen, F. (2019, September). Test Research on Mechanical Property of Cemented Soil Strengthened with Basalt Fiber. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 304, No. 5, p. 052078). IOP Publishing.
- Choudhary, A., Gill, K., Jha, J., Shukla, S., 2012, Improvement in CBR of the Expansive Soil Subgrades with a Single Reinforcement Layer. *Proceedings of Indian Geotechnical Conference*, Edith Cowan University, Delhi, 298-292.
- Çömez, Ş., Mert, A., Navruz, H.Ö., Komut, M., Kızıroğlu, S., 2019. Geogridle Güçlendirilmiş Kaplamasız Yollar için Büyük Ölçekli Testler. *Sekizinci Ulusal Geosentetikler Konferansı.*, İstanbul, 219-227.
- Das, B.M., Omar, M.T., Atalar, C. 2000. Geogrid – Takviyeli Kil Şevlerin Üzerinde Yer Alan Sürekli Temellerin Toplam Taşıma Kapasitesi. *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Sekizinci Ulusal Kongresi.*, İstanbul, 223-232

- Demir, H., Özçoban, M.Ş., Özaydın, K. 1992. Yol İnşaatında Geotekstil Kullanımının Taşıma Gücü Üzerine Etkisi Hakkında Bir Model Deney Araştırması. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Dördüncü Ulusal Kongresi., İstanbul, 64-72.
- Demiröz, A., Tan, Ö., Erkan, İ.H. 2008. Geogrid Donatılı Kumların Taşıma Gücünü Etkileyen Tasarım Faktörlerinin Optimizasyonu. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onikinci Ulusal Kongresi., Konya, 789-798.
- DSİ. 2014. Dsi Genel Müdürlüğü Tarafından Yaptırılacak Kanallarda, Rezervuarlarda Ve Barajlarda Kullanılacak Geotekstiller Ve Geotekstille İlgili Mamuller İçin Teknik Şartname, Ankara.
- Erbil, S. 2009. Geosentetik ürünlerin türkiye’deki uygulamaları, gelişme potansiyeli, sağlanan faydalar ve mevcut sorunlar ile ekonomikliği üzerine genel bir inceleme. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi
- Gao, L., Hu, G., Xu, N., Fu, J., Xiang, C., Yang, C. 2015. Experimental study on unconfined compressive strength of basalt fiber reinforced clay soil. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2015.
- George, G.P., Ramya, K., 2017. A Study on the Effect of Basalt Fiber in Organic Soil. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 14(4): 13-17
- Gören, S., Ohta, H., Iizuka, A., Yokota, Y., Nishimoto T., 2000. Geosentetik ile Donatılan Bir Kum Mesnetin Arazi İle Hareketi. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Sekizinci Ulusal Kongresi., İstanbul, 261-269.
- Güler, E., 2014. Geoteknik Mühendisliğinde Yeni Bir Devir Başlatan Malzeme Geosentetikler. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onbeşinci Ulusal Kongresi., Ankara, 1-34
- He, Z., Mo, H., Siga, A., Zou, J. (2019). Research on the parameters of nonlinear hyperbolic model for clay-geogrid interfaces based on large scale direct shear tests. *Transportation Geotechnics*, 18, 39-45.
- Hulin, T., Hodicky, K., Schmidt, J. W., Nielsen, J. H., Stang, H. 2013. Fire performance of basalt FRP mesh reinforced HPC thin plates. In 4th Asia-Pacific Conference on FRP in Structures: Towards sustainable Infrastructure with FRP composites. Swinburne University of Technology.
- Infante, D. U., Martinez, G. A., Arrua, P., Eberhardt, M. 2016. Behavior of geogrid reinforced sand under vertical load. *International journal of geomate: geotechnique, construction materials and environment.*, 10(21): 1862-1868.

- İncecik, M., Balkaya, M., Tunca., 2006. Yumuşak-Orta Katı Kil Zemin Üzerine İnşa Edilen Yüksek Dolgulara Geosentetik Donatı Uygulanması. İkinci Ulusal Geosentetikler Konferansı., İstanbul, 117-126
- İncecik, M., Okan, R., Balkaya, M., 2004. Boşluklu Zemin Üzerinde Gerçekleştirilecek Yol Dolgusu için Geosentetiklerin Kullanımı. Birinci Ulusal Geosentetikler Konferansı., İstanbul, 99-106.
- Jiang, J., Jiang, C., Li, B., Feng, P. 2019. Bond behavior of basalt textile meshes in ultra-high ductility cementitious composites. Composites Part B: Engineering, 174(107022): 1-10.
- Kamiya, S., Sasaki, H., Nakagawa, N. (2013). U.S. Patent No. 8,501,643. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Karagül, B.Ç. 2007. Yol dolgularının geogrid kullanılarak iyileştirilmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi
- Karakan, E., Okucu, A., Yağcı, B., 2015. Geotekstil Donatılı Killerin Gerilme Şekil Değiştirme Ve Dayanım Parametrelerinin. İncelenmesi 6. Geoteknik Sempozyumu., Adana
- Kenan, A., Özocak, A. (2018, May). Bazalt Fiber Katkısının Siltli Zeminlerin Drenajlı Kayma Direncine Etkisi. In 2nd International Symposium on Natural Hazards and Disaster Management, Sakarya University Culture and Congress Center, Sakarya-Turkey 04-06 May 2018.
- Keskin, M.S., Laman, M. 2010. Güçlendirilmiş Kumlu Şevlerde Donatı Rijitliğinin Taşıma Gücüne Etkisi. Dördüncü Ulusal Geosentetikler Konferansı., İstanbul, 141-150
- Kuity, A., Roy, T.K., 2013. Utilazation of Geogrid Mesh for Improving the Soft Subgrade Layer with Waste Material Mix Composition. Procedia – Social an Behaviorel Scienses., 104(2013): 255-263.
- Küçükosmanoğlu, M., Sert, S., 2019. Bazalt Fiberin Kil Zeminin Şişebilirliğine Etkisi. Sekizinci Ulusal Geosentetikler Konferansı., İstanbul, 287-296
- Naeini, S. A., Moayed, R.Z., 2009. Effect of plasticity index and reinforcement on the CBR value of soft clay. International Journal of Civil Engineerng., 7(2): 124-130.
- Ndepete, C. P., Sert, S. 2016. Use of basalt fibers for soil improvement. Acta Physica Polonica A, 130(1), 355-356.

- Ndepete. C.P., Sert. S., 2017. Bazalt Fiber Katkısının Silt Zeminin Drenajsız Kayma Direncine Etkisi. Yedinci Ulusal Geosentetikler Konferansı., İstanbul, 79-88
- Ocakbaşı, P. 2019. Bazalt fiber katkısının killi zeminlerin drenajsız kayma direncine etkisi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi
- Örnek, M., Demir, A., Yıldız, A., Laman, M. 2008. Donatılı Kum Zeminlere Oturan Dairesel Temellerin Sayısal Analizi. Üçüncü Ulusal Geosentetikler Konferansı., İstanbul, 1-12
- Özer, T., Chiristmann, C.W. 2010. Geogrid Donatılı Yol Temelinin Ekonomik Faydaları – Wheeler Caddesi Örneği. Dördüncü Ulusal Geosentetikler Konferansı., İstanbul, 75-82.
- Özdemir, T., Polat, G.E., Azdeniz, Ö., Boz, A., Sezer, A. 2016. Bazalt Fiber ve Kireç ile Güçlendirilmiş Kil Zeminin Dayanım Özellikleri. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onaltıncı Ulusal Kongresi., Erzurum, 1025-1034.
- Padalu, P. K. V. R., Singh, Y., Das, S. 2018. Efficacy of basalt fibre reinforced cement mortar composite for out-of-plane strengthening of unreinforced masonry. Construction and Building Materials, 191, 1172-1190.
- Padalu, P. K. V. R., Singh, Y., Das, S. (2020, February). Tensile properties of wire and fibre reinforced cementitious matrix composites for strengthening of masonry. In Structures (Vol. 23, pp. 164-179). Elsevier.
- Ramachandran, G., Monisha, S., Pradeepa, P., Srigayathri, S., Vikachini, T. 2019. Experimental Study On Soil Stabilization Using Basalt Fiber And Ground Granulated Blast Furnace Slag In Organic Soil. International Journal, 6(4): 1-5.
- Rao, K. S., Laksmi, P., & Chatterji, Z. (2013). Handbook of Geosynthetics.
- Saltan, M., Terzi, S., Gökova, S., Tutumluer, E., Uz, V. E., Karşahin, M., 2019. Taşıma Gücü Düşük Taban Zeminine Sahip Karayolu Üst Yapılarında Geogrid Kullanımının Üst Yapısal Performansa Etkisi. Sekizinci Ulusal Geosentetikler Konferansı., İstanbul, 239-248
- Singh, P., Gill, K. S. 2012. Cbr improvement of clayey soil with geogrid reinforcement. International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering., 2(6): 456-462
- Singh, R., Singh, L. Kaur, M., 2017. Improvement in CBR Value of Clayey Soil with Geogrid Reinforcement. International Journal of Engineering Technology Science and Research, 4: 1485-1492.

- Şenol. A., Gümüşer, C., Bostancıoğlu, M. 2008. Kaplamasız Yollarda Geogrid Kullanımının Farklı Hesap Yöntemleriyle Ekonomik Analizi. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onikinci Ulusal Kongresi., Konya, 649-658.
- Türedi, Y., Örnek, M., Davarcı, B., 2014. Geogrid Donatılı Kum Zemine Oturan Çok Kenarlı Temellerde Zemin Sıkılığının Etkisi. Altıncı Ulusal Geosentetikler Konferansı., İstanbul, 177-186.
- TSE. 2000. TSE1500 İnşaat Mühendisliğinde Zemin Sınıflandırması, Ankara.
- TSE. 2006. TS1900-1 İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri - Bölüm 1: Mekanik Özelliklerin Tayini, Ankara.
- TSE. 2006. TS1900-2 İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri - Bölüm 2: Mekanik Özelliklerin Tayini, Ankara.
- Ulus, S. 2018. Balistik koruyucu kompozit plakalarda bazalt fiber kullanımı, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi
- URL-1 www.grandviewresearch.com/press-release/global-geosynthetics-market., Erişim tarihi: 22.01.2020
- URL-2 www.tensar.info.tr/Systems-Products/Uniaxial-geogrids-RE-UX., Erişim: 22.01.2020
- URL-3 <https://www.istanbulteknik.com/geosentetikler/geogrid/fortex-cift-yonlu-geogrid>., Erişim Tarihi : 22.01.2020
- URL-4 <https://haisan.en.made-in-china.com/product/wSKQkyqbrzUT/China-Thermal-Insulation-Basalt-Fiber-Mesh-Geogrid.html>., Erişim tarihi: 25.02.2020
- Xiao, Y., He, X., Evans, T. M., Stuedlein, A. W., & Liu, H. (2019). Unconfined compressive and splitting tensile strength of basalt fiber–reinforced biocemented sand. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 145(9), 04019048.
- Yadav, P.M.G., Bharath, S., Kumar, M.M., Reddy, M.N., Reddy, G.C. 2018. Usage of geogrids in flexible pavement design. *International Journal Of Engineering Sciences & Research Technology*, 7(4): 144-153
- Yeşiltepe, Ö., Türedi Y., Örnek M., 2019. Öngermel Donatılı Zeminlerde Zeminlerin Taşıma Gücünün Sayısal Analizi. 8. Uluslararası Geoteknik Sempozyumu., İstanbul

Yıldırım, M., Gökaşan, E., 2013. Mühendisler için Jeoloji Bilgileri, Yıldık Teknik Üniversitesi Yayınları, İstanbul.

Yıldız, A.A., Laman, M., Örnek, M., Demir, A. 2006. Donatılı Kum Zeminlere Oturan Dairesel Temellerin Sayısal Analizi. İkinci Ulusal Geosentetikler Konferansı., İstanbul, 75-84

Yılmaz, H.R., Aklık, P., 2004. Geçici ve Kaplamasız Yollarda Geogrid Kullanımı ile Projelendirme Esasları ve Bir Örnek Uygulama. Birinci Ulusal Geosentetikler Konferansı., İstanbul, 117-126.

Yılmaz, Y., Sevcen, Ü., 2010. Polipropilen Fiber ve Uçucu Kül Katkılı Ankara Kilinin Bazı Geoteknik Özelliklerinin Araştırılması. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onüçüncü Ulusal Kongresi., İstanbul, 133-142.



ÖZGEÇMİŞ

Mert Toz, 03.12.1992’de Sakarya’da doğdu. İlköğretime İstanbul’da başlayıp, ilk ve orta öğretimini Sakarya ili Karasu ilçesinde tamamladı. Lise eğitimini Bolu Fen Lisesinde tamamlayıp 2013 yılında Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümüne başladı. 2017 yılında lisans öğrenimini tamamladıktan sonra aynı yıl aynı üniversitede Fen Bilimleri Enstitüsü Geoteknik Anabilim Dalında yüksek lisans öğrenimine başladı.