T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOĞAL LİFLERDEN GELİŞTİRİLEN GEOGRİDİN YOLUN TAŞIMA GÜCÜNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

VEYSEL EKREM GÖNÜL

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
DR. ÖĞR. ÜYESİ SERCAN SERİN

DÜZCE, 2021

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOĞAL LİFLERDEN GELİŞTİRİLEN GEOGRİDİN YOLUN TAŞIMA GÜCÜNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Veysel Ekrem GÖNÜL tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Dr. Öğr. Üyesi Sercan SERİN
Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Sercan SERİN
Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi _____

Doç. Dr. Erol İSKENDER
Karadeniz Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Mehmet Emin ARSLAN
Düzce Üniversitesi _____

Tez Savunma Tarihi: 23/06/2021

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

23 Haziran 2021

Veysel Ekrem GÖNÜL

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimimde ve bu tezin hazırlanmasında gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Sercan SERİN'e en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Bu çalışma boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen sevgili aileme ve çalışma arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

23 Haziran 2021 **Veysel Ekrem GÖNÜL**

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ iv

ÇİZELGE LİSTESİ v

KISALTMALAR vi

SİMGELER vii

ÖZET viii

ABSTRACT ix

1. GİRİŞ 1

2. LİTERATÜR TARAMASI 7

2.1. GEOGRİDLER 7

2.1.1. Üretim Yöntemine Göre Geogridler 8

2.1.1.1. *Ekstrüde Yöntemi ile Üretilen Geogridler 8*

2.1.1.2. *Kaynaklı veya Yapıştırmalı Geogridler 9*

2.1.1.3. *Örgülü Geogridler 10*

2.1.2. Göz Açıklığı Şekline Göre Geogridler 11

2.1.2.1. *Tek Yönlü Geogridler 11*

2.1.2.2. *Çift Yönlü Geogridler 12*

2.1.2.3. *Üç Yönlü Geogridler 13*

2.1.3. Geogridlerin Çalışma İlkesi 14

3. MALZEME VE YÖNTEM 29

3.1. MALZEME 29

3.1.1. Zemin Malzemesi 29

3.1.2. Kaplama Malzemesi 31

3.1.3. Doğal (JÜT) Lifli Tekstil 32

3.1.4. Doğal Liften Geliştirilen Geogrid 32

3.1.5. Bitüm ile Kaplanmış Doğal Lifli Geogrid 33

3.1.6. Bazalt Lifli Geogrid 34

3.2. YÖNTEM 34

4. BULGULAR VE TARTIŞMA 37

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 42

6. KAYNAKLAR 44

ÖZGEÇMİŞ 51

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Yük dağılım farklılıkları……..…...2
Şekil 1.2. İş akış diyagramı…….....……....6
Şekil 2.1. Yaygın olarak kullanılan tipik bir ekstrüde geogrid görüntüsü……..7
Şekil 2.2. Ekstrüde yöntemi ile üretilmiş geogrid……..……..…..9
Şekil 2.3. Kaynak/yapıştırma yöntemiyle üretilmiş geogridler……...……...….9
Şekil 2.4. Örgülü geogrid türleri…….……10
Şekil 2.5. Ekstrüde yöntemiyle üretilmiş tek yönlü geogridler……...……..……12
Şekil 2.6. Kaynaklı birleşim yöntemiyle üretilmiş tek yönlü geogridler……..…….12
Şekil 2.7. Kaynaklı birleşim yöntemiyle imal edilmiş çift yönlü geogrid……13
Şekil 2.8. Üç yönlü geogridin eşit kenarlı üçgen elemanları……..……...13
Şekil 2.9. Üç yönlü geogridin yük dağıtma şekli……...……...13
Şekil 2.10. Üç yönlü geogridin agrega tanelerini kenetlemesi……14
Şekil 2.11. Geogrid kuşaklarının enine kesitinde dolgu parçacıklarını taşıyan noktaların gösterilmesi……..15
Şekil 2.12. Geogridlerin kenetlenme mekanizması……..…...……15
Şekil 2.13. Kenetlenme mekanizması örneği……..……...……..16
Şekil 3.1. Alt temel malzemesine ait gradasyon eğrisi……..29
Şekil 3.2. Alt temel malzemesine ait hidrometre grafiği……...30
Şekil 3.3. Proktor deney sonuçları……...……31
Şekil 3.4. Doğal jüt lifli tekstil……...……...32
Şekil 3.5. Kaplanmamış doğal lifli geogrid……...……...33
Şekil 3.6. Bitüm ile kaplanmış doğal lifli geogrid……...……33
Şekil 3.7. Bazalt lifli geogrid numunesi……34
Şekil 3.8. Proktor deneyi aşamaları……...……...35
Şekil 3.9. CBR numunelerinin hazırlanması ve suda bekletilmesi……...……36
Şekil 3.10. CBR deneyinin yapılışı……..……...……36
Şekil 4.1. Bazalt geogridli numune ile şahit numune grafiği……..……38
Şekil 4.2. Doğal lifli kaplanmamış geogridli numune ile şahit numune grafiği……..….39
Şekil 4.3. Doğal lifli bitümle kaplanmış geogridli numune ile şahit numune grafiği..….40
Şekil 4.4. Genel Gerilme-Çökme grafiği……...……...40
Şekil 4.5. CBR değişim grafiği……41

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa No

Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan alt temel malzemesinin temel fiziksel özellikleri…...30
Çizelge 3.2. Bitüme ait temel fiziksel özellikler……..…...……..31
Çizelge 3.3. Doğal Jüt'e ait temel fiziksel özellikler……..…..……...……..32
Çizelge 3.4. Numune gruplarının kodlanması ……..…….……...…...34
Çizelge 3.5. Geogridlere ait karakteristik özellikler……..…….…….……..34

KISALTMALAR

CBR	California bearing ratio (Kaliforniya taşıma oranı)
EN	Avrupa standardı
GG	Geogrid
GPR	Ground penetrating radar (Jeoradar)
IGS	International geosythetics society
ISO	International organization for standardization
KGM	Karayolları genel müdürlüğü
kN	Kilo newton
kPa	Kilo pascal
TS	Türk standardı
UV	Ultraviyole (Morötesi)

SİMGELER

E	Elastisite modülü
F	Aderans faktörü
Fbi	i. Geogrid elemanın toplam kuvveti
Fij	Pullout kuvveti
Fs	Geogrid emniyet faktörü
FT	Çekme gerilmesi
h	Tabaka kalınlığı
Lrib	Geogridin iki birleşim yeri arasındaki mesafe
ls	Geogridin iki düğüm noktası arası mesafe
Ø	İçsel sürtünme açısı
P	Düşey basınç
q	Yayılı yük
Rlij	Geogridin ilk boylam elemanının pullout direnci
Rti	Zemin pasif direnci
Tij	Ortalama çekme kuvveti
U	Pullout kutusu derinliği boyunca deplasman değişimi
z	Derinlik
δ	Deplasman (yer değiştirme)
εi	Birim şekil değiştirme
σr	Radyal gerilme
σT	Eksenel çekme gerilmesi
σv	Normal gerilme
σZ	Düşey normal gerilme
τ	Kayma gerilmesi

ÖZET

DOĞAL LİFLERDEN GELİŞTİRİLEN GEOGRİDİN YOLUN TAŞIMA GÜCÜNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Veysel Ekrem GÖNÜL
Düzce Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Sercan SERİN
Haziran 2021, 50 Sayfa

Bu çalışmada yol zemininin taşıma gücünü arttırmak amacıyla farklı tip geogridlerin geliştirilebilirliği ve kullanılabilirliği araştırılmıştır. Çalışma kapsamında doğal jüt liflerinden elde edilmiş tekstil ürünler geogrid formuna dönüştürülerek yol zemininde kullanılmıştır. Yapılan araştırmalar, genellikle doğal liflerin doğada kendi kendine yok olabileceğini ortaya koymuştur. Bu nedenle geogrid formuna dönüştürülen jüt tekstili bitüm kaplama malzemesi kullanılarak yüzey kaplama işlemine tabi tutulmuştur. Ayrıca çalışmada karşılaştırmalı analizler yapılabilmesi adına piyasada kullanılan bazalt liflerden elde edilmiş geogrid malzemeler de yol zemin güçlendirici olarak çalışmaya dahil edilmiştir. Çalışma etkin olarak kullanılan bir yol alt temel malzemesi üzerinden yürütülmüştür. Geliştirilen ve piyasadan temin edilen geogridler farklı numune grubu oluşturularak zemin deneylerine tabi tutulmuştur. İlk grupta yol alt temel malzemesi geogrid kullanmadan zemin deneyleri yapılmıştır. Böylece referans olarak kullanılacak zeminin temel fiziksel özellikleri ve taşıma gücü parametresi olan CBR değerleri belirlenmiştir. İkinci grupta ise aynı alt temel malzemesi bazalt geogrid ile test edilmiştir. Üçüncü olarak, geliştirilen geogrid herhangi bir kaplamaya işlemi yapılmadan, dördüncü grupta ise doğal jüt liflerinden geliştirilen geogridin yüzeyi bitüm kaplama yapıldıktan sonra aynı deneylere tabi tutulmuştur. Böylece şahitler dahil dört farklı numune grubu karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Yapılan deney sonuçları göstermiştir ki doğal liflerden geliştirilen geogridin, zeminin taşıma gücüne önemli derecede katkı sağlamaktadır.

Anahtar sözcükler: CBR, Doğal lifler, Geogrid, Geotekstil, Zemin stabilizasyonu

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF GEOGRID DEVELOPED FROM NATURAL FIBERS ON BEARING CAPACITY OF THE ROAD

Veysel Ekrem GÖNÜL
Düzce University
Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Civil Engineering
Master's Thesis
Supervisor: Asst. Prof. Dr. Sercan SERİN
June 2021, 50 pages

In this study, the developability and usability of different types of geogrids were investigated in order to increase the bearing capacity of the road surface. Within the scope of the study, textile products obtained from natural jute fibers were transformed into geogrid form and used on the road floor. Studies have revealed that natural fibers, usually obtained from agricultural wastes, can be destroyed by themselves in nature. For this reason, jute textile, which was transformed into geogrid form, was subjected to surface coating process using different coating materials. In addition, geogrid materials obtained from basalt fibers used in the market were included in the study as road ground reinforcement in order to make comparative analyzes in the study. The study was carried out on an effectively used road sub-base material. Geogrids developed and supplied from the market were subjected to soil tests by forming different sample groups. In the first group, soil tests were carried out without using the road sub-base material geogrid. Thus, the CBR values, which are the basic physical properties and bearing strength parameter of the soil to be used as a reference, were determined. In the second group, the same sub-base material was tested with basalt geogrid. Thirdly, the developed geogrid was subjected to the same experiments without any coating, and in the fourth group, the surface of the geogrid developed from natural jute fibers was coated with bitumen. Thus, four different sample groups, including witnesses, were evaluated comparatively. The results of the experiments showed that the geogrid developed from natural fibers can significantly contribute to the bearing power of the ground.

Keywords: CBR, Natural fibers, Geogrid, Geotextile, Ground stabilization,

1. GİRİŞ

Dünyada en büyük ihtiyaçlardan birisi ulaşımdır. İhtiyaca göre ülkelerin, kendi ulaşım ağları oluşturulmaktadır. Tasarlanan bu ulaşım sistemleri bazen mühendislik açısından, bazen uygulama aşamasında gözden kaçan kontrollerden, bazen de ilgili yönetmeliğin yetersizliğinden kaynaklı bazı fark edilemeyen sorunlar ortaya çıkarmaktadır. Türkiye'nin de yer aldığı gelişmekte olan ülkeler başta olmak üzere, ülke ekonomilerinde trafik kazalarından dolayı çok miktarda ekonomik kayıp yaşanmaktadır. Trafik kazalarının azaltılması için trafikte denetimlerin artırılması, yoldan kaynaklı kusurların giderilmesi veya geliştirilmesi, araç muayenelerinin sıklaştırılması, kaza önleme mekanizmalarının geliştirilmesi gibi çeşitli tedbirler alınmaktadır [1].

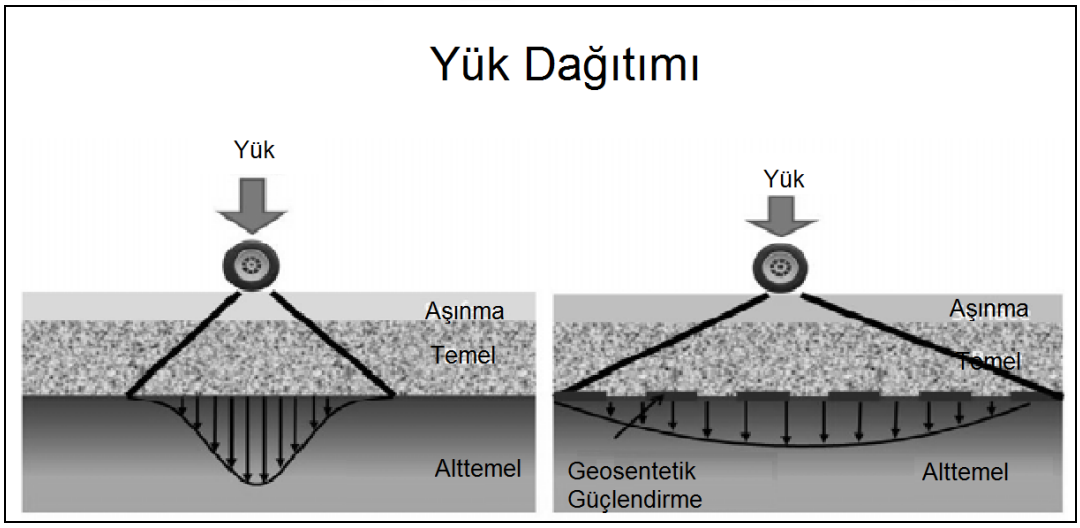
Karayollarında her geçen gün artan trafik yükü nedeniyle yol zeminine gönderilen yük artmaktadır. Bu durum beraberinde yollarda çökmeler meydana getirmektedir. Bu durumu ortadan kaldırabilmek için çeşitli zemin iyileştirme metotları bulunmaktadır. Zemin iyileştirmesi, zeminlerin belirli özelliklerinin, amaçlanan bir mühendislik uygulamasına yönelik olarak, değişik fiziksel, kimyasal veya biyolojik yöntemler kullanılarak iyileştirilmesi olarak tarif edilebilir. Zemin stabilizasyonunda temel amaçlar; zayıf zeminin taşıma kapasitesini arttırmak, zemindeki toplam oturmayı ve zeminin sıvılaşma potansiyelini azaltmak olarak özetlenebilir. Yol zeminlerinde oluşan tehlikelerin önüne geçmek adına başka bir çözüm de çeşitli geosentetikler, geotekstiller, geogridler ve geoceller kullanmaktır. Günümüzde, bu ürünlerin en önemli kullanım alanı zemin güçlendirmesidir. Zeminlerin güçlendirilmesinde farklı birçok yöntem, malzeme ve yaklaşım olmasına karşın, geogridlerin bu alandaki kullanımları hızla artmaktadır [2].

Geogridlerin en önemli özelliği, açıklık olarak adlandırılan, zeminin içinden geçmesine izin verecek kadar genişlikte, enlemesine ve boylamasına olan şeritler arasındaki mesafelerdir. Geogridlerin hem şerit dayanımları hem de bağlanma dayanımları önemlidir. Geogridler, zeminin deliklerinden geçmesine izin verdikleri için yükün uygulandığı boyuna şeritleri dik kesen enine şeritlerde pasif bir dayanım ve zahiri bir kohezyon oluşacaktır. Aynı zamanda geogridin zemine bağlanması da bu şeritler sayesinde olur.

Geogridlerin birçok kullanım alanı bulunmaktadır. Bunlar, kaplamasız yollarda agreganın altında, toprak dolguların ve dolgu barajların güçlendirilmesinde, ev yenilenmeleri ve heyelanlarının onarılmasında, kaplamalarda asfalt donatısı olarak kullanımı şeklinde sıralanabilir [3].

Güçlendirme işlevine sahip geosentetikler yerleştirildikleri alanın stabilitesini artırarak oluşacak gerilme kuvvetlerini azaltırlar [4, 5, 6, 7]. Tekrarlı yüklerin etkisiyle yüzeyde oluşan plastik deformasyonların temel sebeplerinden biri olarak, granüler tabakalara ve taban zeminine ulaşan gerilmelerin azaltılamaması olarak görülmektedir. Bu konuya odaklanıldığında ise alt tabakalara ulaşabilecek gerilmelerin en aza indirilmesi önemli bir yer tutmaktadır [8, 9]. Bu işleve sahip geosentetikler kullanıldıkları bölgenin esneklik modülünü artırarak gerilmelerin alt tabakalara daha az ulaşmasını sağlayarak oluşacak plastik deformasyonları önleyebilir, azaltabilir veya geciktirebilir [10].

Güçlendirme işlevi sıklıkla geogridler kullanılarak gerçekleştirilirken, diğer geotekstiller de ulaştırma uygulamalarında güçlendirme amaçlı olarak kullanılabilmektedirler [11]. Taban zemini üzerindeki gerilmeler, güçlendirilmemiş esnek üstyapılarda güçlendirme yapılmış üstyapılardan daha yüksektir. Şekil 1.1'de her iki durumu temsil eden gerilme dağılımlar şematik olarak gösterilmiştir [4].



Şekil 1.1. Yük dağılım farklılıkları [4].

Yapılan literatür araştırması geosentetiklerin ve geogridlerin yaygın kullanım alanını başarılı bir şekilde ortaya koymaktadır. Araştırmalar geosentetiklerin ve geogridlerin hangi yönlerden daha etkin olduğunu belirlemiştir. Bu malzemelerin temel zeminini stabilize etmek için serilmesi gerekli tabaka kalınlığın azaltılmasına, kaplama tabakasının hizmet ömrünü arttırmaya ve bakım ihtiyacını en aza indirmeye katkı sağladığı

gözlenmiştir [12, 13, 14, 15, 16, 17].

Geogridler zemin CBR değerini arttırmakta ve göçme anındaki oturmaları önemli derecede azaltmaktadır.

Geogridlerin taşıma kapasitesini ölçmek için yapılan çalışmada geogrid ile hazırlanmış zeminler üzerine yapılan temellerin taşıma kapasitesini araştırmıştır. Elde edilen bulgulara göre taşıma gücünde önemli artışlar olduğu tespit edilirken göçme anındaki oturma değerlerinde büyük farklılıklar gözlemlenmemiştir. Donatı boyunun artması ile taşıma kapasitesinde belirli bir seviyeye kadar artış olduğu belirlenmiştir [18].

Başka bir çalışmada ıslatılmış ve ıslatılmamış numunelerde geosentetiklerin kullanımının CBR değerinde artışa neden olduğunu gözlemlemişlerdir. Çalışmada geosentetikler uygun biçimde kesilip numunenin tam ortasına yerleştirilmiştir. Düşük CBR değeri olan zemin numunelerinde kullanılan geogridlerin taşıma gücünü arttırdığı tespit edilmiştir [19].

Geogrid donatı kullanılmış olan stabilize dolgu tabakası ile kil zeminlerin iyileştirilmesi için bir takım arazi deneyleri yapılmıştır. Deneylerde 30cm ve 60cm ölçekli dairesel model temeller kullanılmıştır. Arazi deneylerinden sonra, sonlu elemanlar yöntemi mantığı ile çalışan PLAXIS 2D yazılımı ile sayısal analizler yapılmıştır. Deney sonuçları sayısal analiz sonuçları ile karşılaştırıldığında geogrid donatılı stabilize dolgu tabakasının, dairesel temelin taşıma kapasitesi ve oturma davranışı üzerinde önemli bir etkisi olduğunu göstermektedir [20].

Geogrid donatı kullanılan kum zeminlerin özelliklerinin önemli derecede arttığını gözlemlenmiştir. Donatılı zemin sistemlerinde donatı ile zemin arasında oluşan kenetlenme ve sürtünme dirençleri nedeniyle donatılı zeminler kompozit bir malzeme gibi davranmaktadır. Bu nedenle taşıma kapasitesinde artış olduğu yapılan çalışmalarla tespit edilmiştir [21].

Aynı zamanda geogridlerin yerleştirileceği derinlik de çok önemlidir.

Bu konuda yapılan çalışmada geogridleri farklı kesitli model temellerde kullanıp taşıma gücüne etkisi araştırılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda geogrid donatı tabakasının kullanılmasının zemin taşıma gücünü arttırdığı tespit edilmiştir. Bunun yanında en yüksek dayanımı veren derinlik kesitlerin h/L=0.33 olduğu belirlenmiştir [22].

Başka bir çalışmada, düşük plastisiteli (CL) kilin geogrid katkısıyla Kaliforniya Taşıma Oranındaki (CBR) değişimi incelenmiştir. 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 [23].

Kare bir temel içerisinde kil zemin tabakasına yerleştirilen geogrid donatıların etkisini araştırma amaçlı yapılan çalışmada geogridler farklı derinliklere koyularak taşıma kapasitesi oranları ve iyileşme faktörleri ölçülmüştür. İyileşme faktörü u/B = 0.25 aralığında oldukça belirgin bir şekilde iyileşmiştir ve u/B=0.175 olası durumunda taşıma kapasitesinde %36 oranında yükselme görülmüştür [24].

Kullanılan malzemenin elek çaplarına göre de kullanılması gereken derinlikler değişmektedir.

Bir çalışmada geogridlerin, asfalt kaplama altındaki granüler temel tabakasında oluşan kalıcı deformasyona etkisi araştırılmıştır. İnce granüler tabakalı zeminlerde zemine yakın, kalın granüler tabakalı zeminlerde ise orta bölgeye yakın yere serilen geogridlerin kalıcı deformasyonu azalttığını yaptıkları deneyler sonucunda tespit etmişlerdir. Geogridlerin yapılarda uygun yerlerde ve derinliklerde kullanılması durumunda kalıcı deformasyonun önemli ölçülerde azaldığını tespit etmişlerdir [25].

Malzemenin granüler yapısına göre bir araştırmacı grubunun yaptıkları çalışmada farklı esnek kaplama numuneleri üretmişlerdir. Farklı kalınlıktaki esnek kaplamanın altına granüler tabakalar yerleştirilerek deneyler yapmışlardır. Hareketli yük altında verecekleri tepkiyi tespit etme amaçlı hızlandırılmış trafik yükü uygulamak için 8 km/s ve 44 KN da etkili çift tekerlekli bir düzenek kullanmışlardır. Yapılan deneyler geogridin özellikle trafik yönünde agrega tabakasının yatay kesme deformasyonunu azaltmada çok etkili olduğunu göstermiştir. Ayrıca ince bir agrega katmanı içinde en uygun geogrid konumunun agrega-alt zemin ara yüzünde olduğunu tespit etmişlerdir. Daha kalın bir taban katmanı için, katmanın üst üçte birlik kısmına tek bir geogrid yerleştirilmesi en uygunudur; Stabilite için alt zemin-temel katman ara yüzünde başka bir geogridin eklenmesi gerekebileceğini tespit etmişlerdir [26].

Geogrid donatılarının yeri kadar konulacak miktarları ve uzunlukları da büyük önem arz etmektedir.

Bununla alakalı bir çalışmada geogrid donatı ile güçlendirilmiş kil zemin üzerine oturan modelleme temellerin taşıma kapasitesi üzerine deneysel çalışmalar yapılmıştır. Deneyler sırasında 20 mm yarı çapında dairesel temel kullanılmıştır. 1. donatı derinliğinin (u) optimum değeri 0,50 efektif donatı boyunu da 4B olarak bulunmuştur. Donatı sayısının 1'den 3'e kadar yükselmesi durumunda taşıma kapasitesi oranı, 1,15'ten 1,70'e kadar yükselmiştir. Donatısız ve donatılı kil zemin durumlarında taşıma kapasitesi, su içeriği arttıkça azalmıştır. En uygun su muhtevasında iki tabaka geogrid donatı ile güçlendirilmiş kilin taşıma kapasitesi oranı 1,47 olarak elde edilmişken, uygun su içeriğinden daha ıslak durumda 1,11, optimumdan kuru durumda da 1,26 olarak elde edilmiştir [27].

Yapılan literatür araştırmaları ışığında geogridlerin zemin taşıma gücüne etkisi belirlenmiştir. Yapılan bu çalışmada ise literatürden farklı olarak doğal tekstilden oluşturulmuş ve belirli bir forma getirilmiş doğal lifli geogridler kullanılmıştır. Daha sonra bu geogridlere kaplama işlemi yapılarak geogridler deneylere tabii tutulmuştur. Ayrıca çalışmada bazalt geogridler de aynı deney düzeneği içerisinde diğer bir karşılaştırma grubu olarak deneye tabi tutulmuş ve ele alınmıştır. Bu kapsamda iş çalışma aşamalarını gösterir akış grafiği özeti aşağıda sunulmuştur (Şekil 1.2).



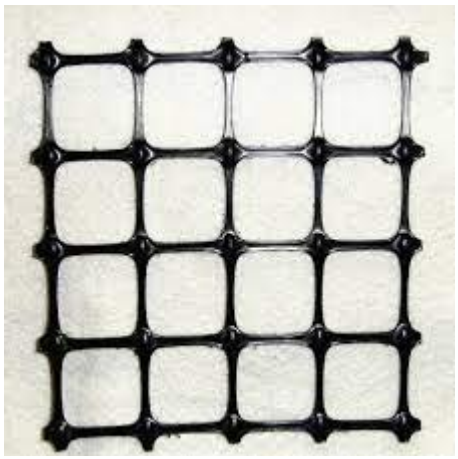
Şekil 1.2. İş akış diyagramı.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Geosentetik; mühendislik alanında klasik yöntemlerin alternatifi olarak geliştirilmiş tekstil ürünlerine verilen genel addır. Polimer malzemelerden üretilmiş ve mühendislik alanında kullanılan birçok malzemenin genel tanımıdır. 21. yüzyılda kullanımı giderek yaygınlaşan geosentetik ürünler özellikle İnşaat Mühendisliği alanını etkisi altına almıştır. Uygulanabilirliği zor İnşaat Mühendisliği Projelerinde mevcut İnşaat Teknolojisi ile çözülemeyen konularda geosentetiklere ihtiyaç duyulmaktadır. Geosentetikler; geotekstil, geogrid, geomembran ve geokompozit olmak üzere 4 ana başlıkta incelenmektedir [28].

2.1. GEOGRİDLER

Geogridler, dikdörtgen açıklıklar meydana getirecek şeklide birbirine bağlı çekme elemanlarından oluşan, çekme elemanları birbirine ekstrüzyonla, yapıştırmayla veya geçmeyle tutturulmuş, göz açıklığının boyutları, çekme elemanlarının boyutlarından daha büyük olan ağ şeklinde düzlemsel ve polimerik malzemelerdir (Şekil 2.1). Izgara şeklindeki açıklıklara sahip geogridlerin inşaat mühendisliğindeki başlıca uygulama alanı zeminlerin güçlendirilmesidir [29].



Şekil 2.1. Yaygın olarak kullanılan tipik bir ekstrüde geogrid görüntüsü [30].

İnşaat mühendisliği uygulamalarında geogridler, zayıf temel zeminleri üzerine yapılacak olan seddelerin duraylılığını sağlamak, kaplamasız yollarda dayanımı arttırarak tekerlek izi derinliğini azaltmak, şev duraysızlıklarını önlemek, betonarme olarak inşa edilemeyecek yükseklikteki istinat duvarlarında istenilen ölçütleri sağlamak ve zayıf

zeminler üzerine inşa edilmesi zorunlu olan makine temellerinin güçlendirilmesinde zeminin taşıma gücünü arttırmak için donatı amacıyla kullanılmaktadır. Geosentetikler ailesinden olan geogridler en çok kullanılan polimerik malzemelerdir [31]. Geogridle güçlendirmenin temel ilkesi, zemin yapısı içerisinde düşük deformasyon ve yüksek çekme dayanımı oluşturmaktır [32].

Geogridlerinin başlıca özellikleri, esnek, yüksek dayanımlı, düşük sünmeli, kimyasal, biyolojik ve ultraviyole (UV) etkilerine karşı korumalı ve yapım aşamasındaki olumsuz koşullardan en az etkilenen bir yapı malzemesi olmasıdır. Geogridler, değişik gereksinimleri karşılamak üzere farklı çekme dayanımlarında ve göz açıklıklarında üretilebilmektedirler [33].

Geogridler, üretim yöntemine ve göz açıklığı şekline göre farklı sınıflara ayrılabilir. Ayrıca hem üretim yöntemi hem de göz açıklığının şekli geogridin çekme dayanımı üzerinde oldukça etkilidir. Bu bakımdan, bir proje için geogrid seçimi yapılacağında üretim yöntemine ve göz açıklığı şekline mutlaka dikkat edilmelidir. Aşağıda üretim yöntemleri ve göz açıklığı şekline göre geogrid türleri kısaca anlatılmıştır.

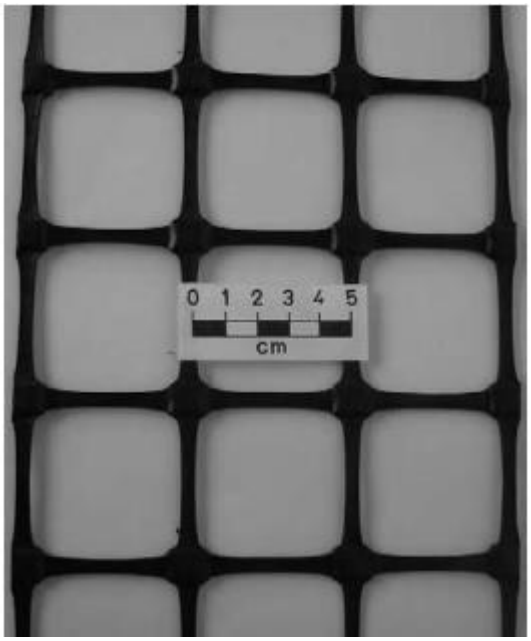
2.1.1. Üretim Yöntemine Göre Geogridler

Geogridler üretim yöntemlerine göre üçe ayrılır. Bunlar, ekstrüde, kaynaklı ve örgülü geogridlerdir. Geogridlerin en önemli özelliği olan çekme dayanımı üretim şekline göre önemli ölçüde değişmektedir. Ayrıca, bileşim yerlerinin çekme (kopma) dayanımları da yine üretim yöntemine bağlı olarak değişiklik gösterir [34]. Bazı durumlarda geogridin nihai çekme dayanımı ancak geogridin kuşaklarının birleşim noktalarının kopma dayanımı kadar olmaktadır.

2.1.1.1. *Ekstrüde Yöntemi ile Üretilen Geogridler*

Ekstrüde geogridlerin üretiminde, büyük ölçekli polietilen ya da polipropilen plakalar (levhalar) kullanılır. Bu levhaların üzerine düzenli bir şekilde kalıplar yardımıyla delikler açılır ve yüksek sıcaklıktaki fırın ya da suyun içinde tek yönde veya çift yönde çekilerek dayanım kazandırılır. Bu üretim yöntemi sayesinde bağlantı noktaları kendiliğinden oluşur ve herhangi bir ek yeri bulunmaz (Şekil 2.2). Çekme işlemi sırasında sıcaklık ve çekme oranı kontrol altında tutulur. Dayanımı etkileyen asıl değişken çekme oranı olsa da molekül ağırlığı, ağırlık dağılımı ve molekülün ayrılma veya bağlanma derecesi de önemlidir [33, 34].

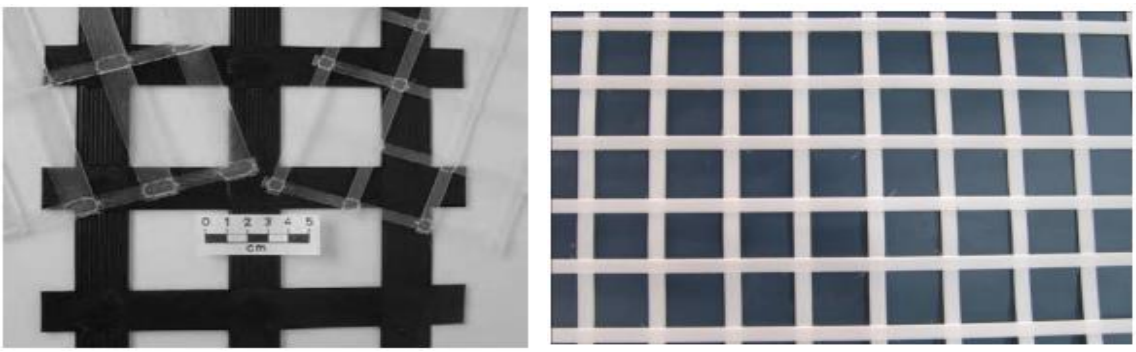
Ekstrüde geogridler üretim yöntemi bakımından dayanımı en yüksek geogrid tipidir. Kuşakların bağlantı noktaları kendiliğinden oluştuğu için üretim yöntemine göre bağlantı noktaları bakımından dayanımı fazladır. Ekstrüde geogridlerin diğerlerine karşı en büyük avantajı, bağlanma noktalarındaki çekme dayanımının yüksek olmasıdır.



Şekil 2.2. Ekstrüde yöntemi ile üretilmiş geogrid [35].

2.1.1.2. *Kaynaklı veya Yapıştırmalı Geogridler*

Kaynaklı veya yapıştırmalı geogridler, yüksek dayanımlı şeritlerin birbirine dik olarak banda konulması ve bant üzerinde ilerlerken lazer ya da ısı yardımı ile bu şeritlerin birbirlerine kaynatılmasıyla (birleştirilmesiyle) üretilirler [33]. Şeritlerin birleştirilmesi işlemi kimyasal reçineler kullanılarak da yapılabilmektedir. Şeritleri birleştirmek için kimyasal reçine, lazer veya ısı gibi birkaç yöntemi birlikte kullanan üreticilerde de bulunmaktadır. Şekil 2.3'te bazı kaynaklı geogrid tipleri görülmektedir.



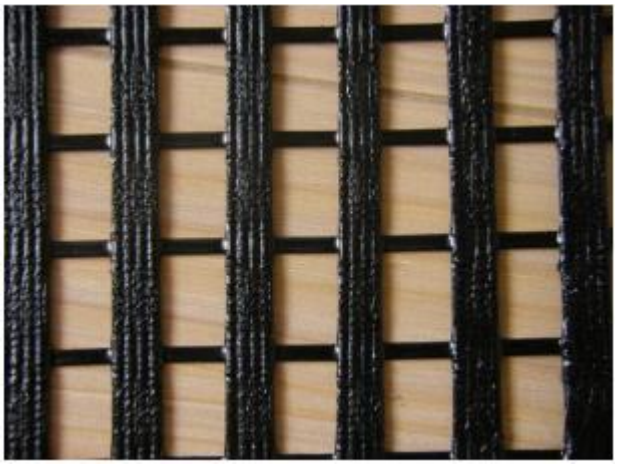
Şekil 2.3. Kaynak/yapıştırma yöntemiyle üretilmiş geogridler [33, 35].

Kaynaklı/yapıştırmalı geogdirlerin üretilmesinde kullanılan şeritler, çeşitli polimerlerden istenilen çekme dayanımına ve genişliğe sahip olacak şekilde önceden imal edilmektedir.

Ekstrüde geogridlerin en önemli üstünlüğü, imalat tezgâhında birkaç basit ayarlama yapılarak istenilen göz açıklığına ve şekline sahip geogrid üretiminin mümkün olabilmesidir. En zayıf tarafı ise, bağlantı noktası dayanımının polimer şeridin kendi dayanımından daha düşük olabilmesidir. Bu nedenle kaynaklı/yapıştırmalı geogdirlerin genel dayanımı bağlantı noktasının dayanımı kadar olabilmektedir.

2.1.1.3. *Örgülü Geogridler*

Örgülü geogridler, polyester ipliklerin dokuma makinelerinde örülmesi ile üretilirler. Hammaddesi genellikle polyesterdir. Polyester iplik sayısı istenen çekme dayanımına göre iki yönde de değişebilir [33]. Şekil 2.4'te dokuma yöntemiyle üretilmiş geogrid görülmektedir.



Şekil 2.4. Örgülü geogrid türleri [32].

Örgülü geogridlerin bağlantı noktalarının dayanımı dokuma ile üretildiğinden ekstrüde sistemdeki kadar yüksek değildir [33].

Örgülü geogridler, genellikle yüksek modüle sahip polyester (PET) ipliğinden yapılırlar ve koruma amacıyla genellikle PVC ile kaplanırlar [32].

Örgülü geogridler, polipropilen (PP) veya yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) Şiltelerinin çekilerek uzatılması sonucunda elde edilen iplikçikler kullanılarak da üretilebilmektedirler [36]. Bu durumda yine koruyucu bir tabaka ile kaplanmış olmaları gerekmektedir. Her iki polimer türü için de tasarım çekme dayanımının belirlenmesinde

polimer yapılarına uygun olacak krip (sünme) azaltma katsayıları kullanılmalıdır [36].

2.1.2. Göz Açıklığı Şekline Göre Geogridler

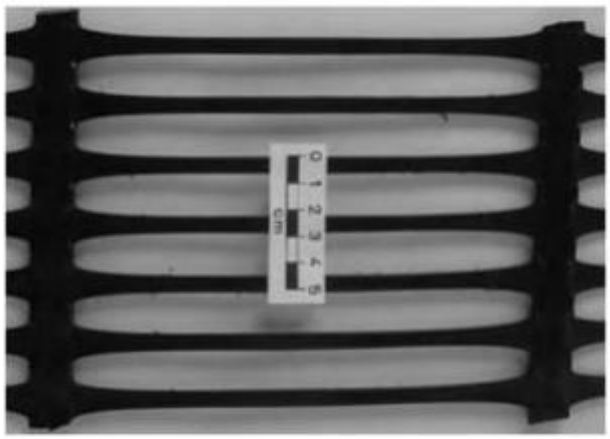
Geogridler göz açıklığının şekline göre; tek yönlü, çift yönlü ve üç yönlü olmak üzere üç farklı tipte üretilebilmektedir [37]. Geogridin göz açıklığının geometrik şekli, yük taşıma ve zemine çekme dayanımı kazandırma yönünü belirlemektedir. Bu nedenle bir projede hangi yönde güçlendirme yapılması isteniyorsa (diğer bir ifadeyle, zemine hangi yönde çekme dayanımı kazandırılmak isteniyorsa) ona uygun göz açıklığı şekline sahip bir geogridin kullanılması gerekmektedir. Bu geogridlerden tek yönlü ve çift yönlü geogridler yukarıda değinilen her üç imalat yöntemiyle de üretilebilmektedir. Üç yönlü geogridler ise, sadece ekstrüde yöntemiyle üretilebilmektedir.

2.1.2.1. *Tek Yönlü Geogridler*

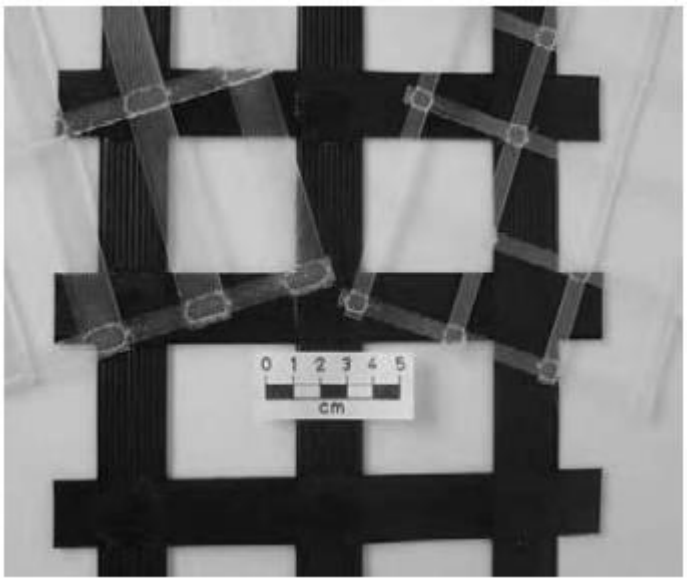
Tek yöndeki çekme dayanımı diğer yöndeki çekme dayanımına göre çok daha yüksek olan ve göz açıklığı dikdörtgen şeklinde (bir kenarı diğer kenarından daha uzun) olan geogridlerdir. Ekstrüde yöntemiyle üretilen geogridlerde ekstrüde işlemi tek yönde yapılırsa, tek yönde yüksek dayanımlı geogrid elde edilmektedir. Kaynaklı birleşim yönteminde ise, polimer şeritler dikdörtgen göz açıklığına sahip olacak şekilde kaynaklama bandına yerleştirilmekte ve uygun yöntemle birleştirilerek tek yönlü geogrid üretilmektedir. Kaynaklı birleşim yöntemiyle üretilen tek yönlü geogridlerde, çekme dayanımının yüksek olması istenen yöndeki polimer şeridin çekme dayanımı, diğer yöndeki polimer şeride göre daha yüksek olacak şekilde üretilmelidir.

Tek yönlü geogridler genellikle donatılı duvar yapımında ve şev duraylılığının sağlanmasında kullanılırlar. Bu uygulamalarda geogridlere tek yönden çekme gerilmesi uygulandığı için tek yönde güçlendirme yapılması yeterli olmaktadır [33, 34].

Şekil 2.5'te ekstrüde yöntemiyle, Şekil 2.6'da ise kaynaklı birleşim yöntemiyle imal edilmiş tek yönlü geogridler görülmektedir.



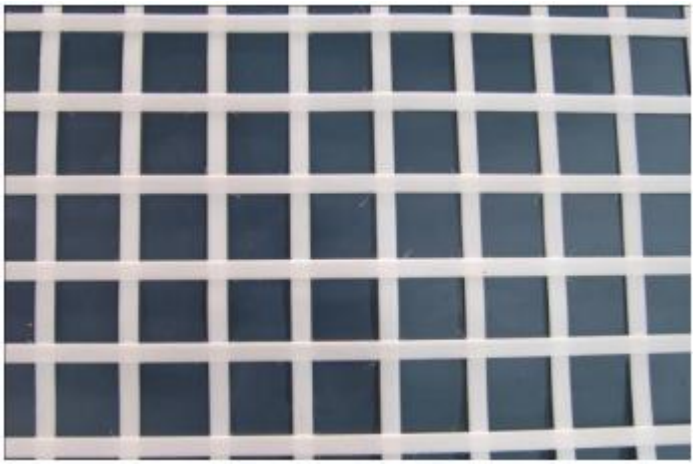
Şekil 2.5. Ekstrüde yöntemiyle üretilmiş tek yönlü geogridler [34].



Şekil 2.6. Kaynaklı birleşim yöntemiyle üretilmiş tek yönlü geogridler [35].

2.1.2.2. *Çift Yönlü Geogridler*

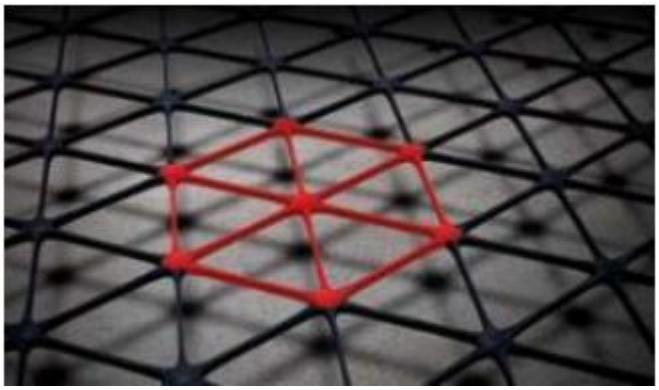
Bu geogridler, her iki yöndeki çekme dayanımı birbirine eşit veya yakın olan ve göz açıklığı yaklaşık kare şeklinde olan geogridlerdir. Ekstrüde yöntemiyle imal edilen geogridlerde ekstrüde işlemi her iki yönde de yapılmaktadır. Kaynaklı birleşim yönteminde ise, polimer şeritler yaklaşık kare göz açıklığı oluşturacak şekilde kaynaklama bandına yerleştirilmekte ve uygun yöntemle birleştirilerek çift yönlü geogrid imal edilmektedir. Kaynaklı birleşim yöntemiyle imal edilen çift yönlü geogridlerde, her iki yöndeki polimer şeritlerin çekme dayanımları da birbirine eşittir. Çift yönlü geogridler her iki yönde de gerilme ve deformasyon beklenen örneğin karayolu, demiryolu ve makine temelleri gibi uygulamalarda kullanılmaktadır. Şekil 2.7'de kaynaklı birleşim yöntemiyle üretilmiş geogrid görülmektedir.



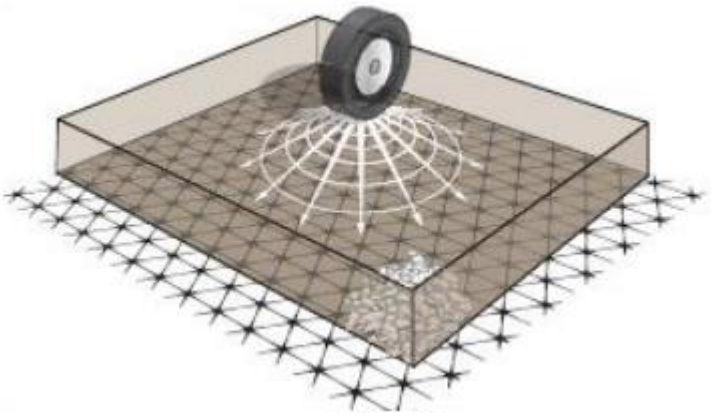
Şekil 2.7. Kaynaklı birleşim yöntemiyle imal edilmiş çift yönlü geogrid [38].

2.1.2.3. *Üç Yönlü Geogridler*

Üç yönlü geogridler, çift yönlü geogridlerin performansını artırmak amacıyla son yıllarda geliştirilmiş yeni bir teknoloji ürünüdür. Göz açıklıkları eşit kenarlı üçgenlerden oluşmaktadır (Şekil 2.8). Üç yönlü geogridler, her üç yönde de yük dağıtma kapasitesine sahiptirler (Şekil 2.9).



Şekil 2.8. Üç yönlü geogridin eşit kenarlı üçgen elemanları [39].



Şekil 2.9. Üç yönlü geogridin yük dağıtma şekli [40].

Üç yönlü geogridler; kesitleri, efektif birleşim yerleri, gridler arasındaki açıklık ve özellikle düzlem içerisindeki rijitlikleri açısından önemli yeniliklere sahiptirler. Bu geogridler üzerinde yapılan çok sayıdaki deneyler, zemin tanelerini daha yüksek oranda çevrelediği (kenetlediği) için, bunlardan daha yüksek performans elde edildiğini göstermiştir (Şekil 2.10).



Şekil 2.10. Üç yönlü geogridin agrega tanelerini kenetlemesi [37].

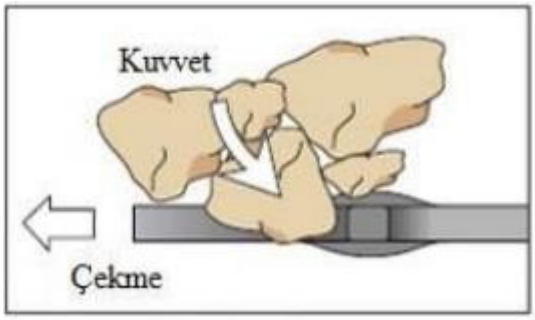
2.1.3. Geogridlerin Çalışma İlkesi

Geosentetik (genellikle geogrid veya geotekstil) ile güçlendirilmiş zemin, geosentetik ile zemin arasında oluşan etkileşim nedeniyle kompozit bir malzeme gibi çalışmaktadır. Geosentetik ile zeminin makaslama dayanımı ve göçmeden önceki deformasyon kapasitesi artmaktadır.

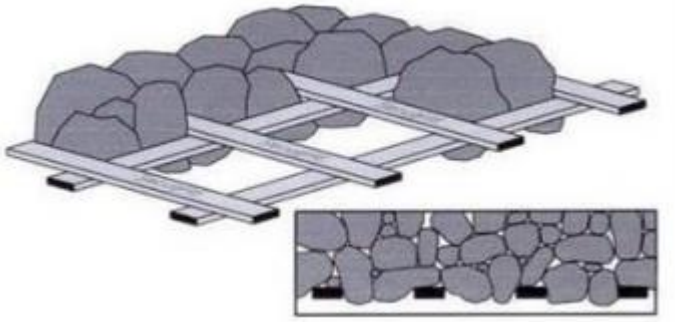
Güçlendirme amacıyla geogrid kullanıldığında, zemin taneleri geogridin göz açıklıkları içerisine girerek çekme gerilmelerinin geogride aktarılmasını sağlarlar. Böylece donatılı zemin sisteminde zemine çekme direnci kazandırılmış olur. Donatı-zemin sisteminde makaslama dayanımı, geogrid boşluklarına giren zemin taneleri ile donatı arasında oluşan makaslama dayanımı ve geogrid boşluklarına giren zemin tanelerinin kendi arasında oluşan makaslama dayanımından meydana gelmektedir [38].

Geogridle zemin arasındaki karşılıklı etkileşim mekanizması üç kısma ayrılmaktadır. Bunlardan ilki geogrid malzemesi ile zemin arasındaki yüzey sürtünmesi (Şekil 2.11), ikincisi geogridin enine elemanlarının önünde oluşan pasif taşıma kuvveti (Şekil 2.12), üçüncü ise iri taneli zeminlerde geogridin yapısındaki açıklıklara zemin tanelerinin girmesi ve bu tanelerin çevreleme etkisine maruz kalarak kenetlenmesidir (Şekil 2.12). Yüzey sürtünmesi zeminin cinsine ve geogridin yüzey pürüzlülüğüne bağlıyken, enine elemanların önündeki pasif taşıma kuvvetinin toplam sıyrılma dayanımına etkisi düşey gerilme, geogrid geometrisi ve çap oranı (ortalama tane boyutunun geogrid boşluk

boyutuna oranı) gibi faktörlerle değişmektedir [41].



Şekil 2.11. Geogrid kuşaklarının enine kesitinde dolgu parçacıklarını taşıyan noktaların gösterilmesi [42].

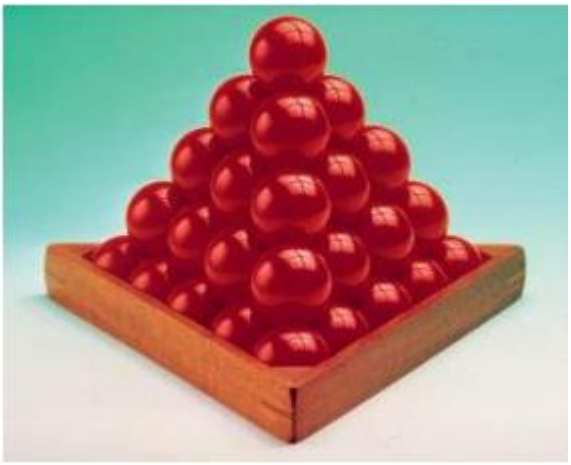


Şekil 2.12. Geogridlerin kenetlenme mekanizması [33].

Yüzey sürtünmesi, yüksek düşey basınçlar altında, düşük uzama değerleri veren durumlarda sıyrılma dayanımı açısından belirleyici olmakta, enine elemanların önünde oluşan pasif taşıma kuvveti ise fazla uzama meydana getiren düşük düşey basınç ortamlarında sıyrılma performansını kontrol etmektedir [43].

Geogridler fiziksel davranışları daha belirgin ve tasarım parametreleri belirlenebilen ürünlerdir. Zemin içerisinde kenetlenme ilkesine göre çalışarak zemin seviyelerinin bir bütün olarak davranmasını sağlamaktadır (Şekil 2.13). Böylece zeminin tek başına taşıyamayacağı yükler geogrid yardımıyla taşınabilir duruma gelmektedir. Bu durumda geogridler:

- Zeminin emniyet gerilmelerini arttırır,
- Oluşacak oturmaları en aza indirir ve üniform bir oturma oluşmasını sağlar.



Şekil 2.13. Kenetlenme mekanizması örneği [42].

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.

Bir çalışmada geotekstil kullanılarak yol dolgularının güçlendirilebilirliği araştırılmıştır ve dolgu şevlerinin güvenlik katsayısı ile geotekstil yerleştirme aralığının ve şev açısının arasındaki ilişki incelenmiştir. Bu amaçla 8 m yüksekliğinde, 20 m tepe genişliğine sahip 4 şeritli yola karşılık gelen bir yol dolgusunun 58^o, 64^o, 72^o ve 78^o olmak üzere dört farklı şev açısıyla inşa edileceğini göz önüne almışlardır. Araştırmacılar uçucu kül ve kil karışımı bir malzemeden yapılacağını tasarladıkları bu dolgunun etkin içsel sürtünme açısının ϕ'=30^o, etkin kohezyonun 15 kPa olacağını öngörmüşler ve üzerinde Hindistan Teknik şartnamelerine göre (IRC:6-2000) trafik yükünü temsilen 50 kPa sürşarj yükü bulunduğunu kabul etmişlerdir. Dolgunun 5 m kalınlığındaki yumuşak bir kil tabakasının üzerine inşa edileceğini düşünmüşler ve bu kil tabakasının kohezyonu için 5 kPa, içsel sürtünme açısı için 15o almışlardır. Bir grup araştırmacı, çözümlemelerinde izin verilen çekme dayanımı Ta=40 kN/m ve Ta=10 kN/m olan Polyester (PET) ve Polipropilen (PP) geotekstiller kullanmışlar ve bu geotekstillerin dolgu gövdesine dolgu tabanından itibaren 0,4 m, 0,5 m, 1,0 m ve 2,0 m olmak üzere dört farklı eşit aralıkla serileceğini hesaba katmışlardır. Çözümlemelerini limit denge yöntemlerine göre çözümleme yapan GEO5 (sürüm 12) isimli şev duraylılığı çözümleme programını kullanarak gerçekleştirmişlerdir.

Araştırmacılar, sonuç olarak; Ta = 10 kN/m geotekstil kullanıldığında 0,5 m ve 0,4 m aralıkla yerleştirilen geotekstillerin 1,5'ten büyük güvenlik katsayısı verdiğini (G.K>1,5), 2,0 m ve 1,0 m aralıklarla yerleştirilen geotekstillerin ise yeterli güvenlik katsayısı sağlamadığını (G.K1,5) verdiğini göstermişlerdir. İki farklı çekme dayanımına sahip

geotekstil kullanarak dolgu şevlerinin güvenlik katsayısı ile geotekstil aralığının ve şev açısının arasındaki ilişkiyi araştıran araştırmacılar, sadece tek tip dolgu malzemesi ve tek tip zemin için çözümleme yapmışlar, dolgu malzemesinin ve zeminin dayanımı için farklı senaryoları göz önüne almamışlardır [44].

Geogrid kullanılarak ve kullanılmadan imal edilen bir yol dolgusunun duyarlılık ve maliyet çözümlemeleri gerçekleştirilmiştir. Araştırmacı bu araştırmasını çözümlemeleri sonlu elemanlar yöntemine göre çalışan Plaxis programını kullanarak gerçekleştirmiş ve beş farklı senaryoya göre çözümleme yapmıştır. Bunlardan dördü geogrid kullanılarak, biri ise geogrid kullanılmadan yapılan çözümlemelerdir. Araştırmacı, iyileştirilecek yol dolgusu için üç gidiş üç geliş olmak üzere toplam altı şeritli bir otoyol seçmiştir. Şerit genişlikleri 3,75 m olup, yolun her iki tarafında 3 m genişliğinde banket ve 0,75 m genişliğinde oto korkuluğu bulunan bu yolun toplam genişliği 30 m'dir. Bu yol dolgusunun 20 m derinliğindeki kil zemin üzerine oturduğu ve zeminde yeraltı suyu bulunmadığı kabul edilmiştir. Geogrid kullanılarak yapılan yol dolgusunda dolgu malzemesi olarak kum-çakıl karışımı bir malzeme, geogrid kullanmadan yapılan dolguda ise Karayolları Şartnamesinde belirtilen özelliklerde temel ve alt temel malzemesinin kullanıldığını kabul etmiştir. Dolguyu iyileştirmek amacıyla en yüksek (kopma anındaki) çekme dayanımı 40 kN/m olan ekstrüde yöntemi ile üretilmiş çift yönlü geogrid kullanmıştır. Geogrid kullanılarak yapılan dolgu ile kullanılmadan yapılan dolguda meydana gelen oturmalar, plastik noktalar ve dolgu maliyetleri karşılaştırılmıştır. Araştırmacı, 3 sıra geogrid donatılı sistem ile 2 sıra geogrid donatılı sistem arasında oturmalar açısından 1 cm fark bulmuştur. Aradaki oturma farkını küçük bulduğu için maliyet çözümlemesini 2 sıra geogrid donatılı sistem ile geogrid donatı kullanılmayan sistem arasında gerçekleştirmiştir. Geogrid donatı kullanılan sistemde, geogrid donatı kullanılmayan sisteme göre oturma değerlerinin 10,4 cm, dolgu kalınlığının ise 40 cm azaldığını, buna bağlı olarak yol dolgusunun maliyetinin de yaklaşık %41 oranında azaldığını belirlemiştir [33].

Kaplamasız yollarda geotekstil-geogrid kullanılması durumunda oluşan fayda - maliyet ilişkisinin incelemişler ve eşit maliyetlerle hangi durumda ne kadar yol yapılabileceğini karşılaştırılmalı şekilde grafiksel olarak ortaya koyulan çalışmada geotekstil ve geogrid kullanımı sayesinde elde edilen kazanımları şu şekilde sıralamışlardır [45]:

- Yolun servis ömrü uzamaktadır.

- Üniform bir yük dağılımı meydana gelmekte ve tekrarlanan tekerlek yükleri daha geniş bir alana yayılmaktadır.
- Alt temel kalınlığı büyük ölçüde azalmaktadır. Bu durum özellikle ocak mesafelerinin uzak olması, şantiye yakınlarında uygun kalitede malzeme bulunmaması durumlarında zaman ve maliyet açısından önemli yarar sağlamaktadır.
- Geogrid ve geotekstiller kolay taşınabilir ve serilebilir olduklarından dolayı uygulama açısından kolaylık, zaman açısından ise kazanç sağlamaktadır.
- Geogrid ve geotekstiller sayesinde temelin oturduğu zeminin taşıma gücü artmakta, maliyeti artmadan hatta birçok durumda büyük oranda düşerek daha duraylı bir yol yapısı elde edilebilmektedir.
- Özellikle alt temel olarak ocak taşından konkasörle kırılmış malzeme ve yüksek dayanım parametrelerine sahip geogridler kullanılması durumunda hem ekonomik hem de duraylılık açısından büyük yarar sağlanmaktadır.
- Geogrid ve geotekstil kullanılması durumunda zayıf zemin kazısı ortadan kalktığından, kazı miktarında önemli ölçüde azalma sağlanmaktadır. Zayıf zemin kazısı ve nakliyeden doğan maliyet ekonomik fayda olarak ortaya çıkmaktadır. Ayrıca yolun yarmadan geçtiği kısımlarda, alt temel kalınlığının azalmasından dolayı yarma kazısı miktarı da düşmektedir.
- Zemin üzerinde meydana gelen gerilmeler azalmaktadır. Ayrıca geotekstil kullanılması durumunda agreganın zayıf zemine batması ve pompaj etkisiyle zayıf zemin bünyesindeki ince partiküllerin agrega aralarına göçü engellenmektedir. Böylece maliyeti yüksek alt temel malzemesinin özelliğini yitirmesi önlenmekte ve alt temel tasarım kalınlığının korunması sağlanmaktadır.

Çalışmada araştırmacılar yumuşak kil üzerine inşa edilecek seddelerde şev stabilitesini arttırılmasını araştırmış ve kullanılan geosentetik donatının etkilerini sonlu elemanlar modeli kullanarak yapılan analizleri incelemişlerdir. Bu amaçla, suya doymuş yumuşak kil temel zemininin yüksekliği 10 metre, üstüne yapılacak dolgunun yüksekliği 5 metre ve düşey eğimi ½ olarak belirlemişlerdir. Dolgu kum zeminden meydana gelmiş ve üzerine 10 kN/m2'lik sürşarj yükü (q) uygulamışlardır. Kum dolgu tabakalar halinde inşa edilmiş ve hem ani yükleme halinde hem de konsolidasyon sonunda yapılan oturma analizlerini dikkate almışlardır. Taban zemini olarak yeraltı su seviyesi zemin yüzeyinden 3 m aşağıda bulunan 10 m kalınlığındaki yumuşak bir kil tabakası seçmişlerdir.

Analizlerde geosentetik donatı malzemesi olarak tek yönlü geogrid donatısını kullanarak geogridlere gelen en fazla çekme kuvvetleri hesaplanmış ve donatı sayısının güvenlik katsayısına etkilerini araştırmışlardır. Araştırmacılar, sonuç olarak; uzun süreli davranıştaki güvenlik katsayısı kısa sürelilere nazaran her durumda daha yüksek bulmuşlardır. Geosentetik donatı sayısı arttıkça güvenlik katsayısının arttığını belirtmişlerdir. Ayrıca donatı boyu arttıkça şev stabilitesi iyileşmiş, güvenlik katsayıları artmış, farklı donatı sayıları için elde edilen güvenlik faktörleri azalmış ve donatı sedde boyunca sürekli serildiğinde çeşitli uzunlukta kullanılanlara göre çok daha yüksek güvenlik oluşturduğunu belirlemişlerdir [46].

Bir grup araştırmacı, pullout deneylerinde yaptıkları çalışmalarda, geogrid boylam eleman sayısının artmasıyla kayma mukavemetlerinin yükseldiğini belirlemişlerdir. Aynı çalışmada, geogrid enlem elemanlarının artmasının kayma mukavemet değerleri üzerinde ihmal edilecek kadar az etkisinin olduğunu göstermişlerdir [47].

Geosentetik güçlendirmeli yapılar için tasarım ve test metotları üzerine yapılan çalışmaya göre, sürtünme kuvveti zemin ve güçlendirme elemanının özelliklerine bağlıdır. Üç türlü etkileşim mekanizmasından söz edilmektedir [48]:

- Zemin-geogrid arası sürtünme,
- Kenetlenme durumundaki geogrid- agrega etkileşimi,
- Yatay geogrid eleman önündeki zemin direncidir.

Yine bu çalışmada, geogrid elemanlar arasında yük transferinden bahsedilmektedir. Çekmeye yakın bölgedeki deplasman ve buna bağlı olarak gelişen birim şekil değiştirme değeri, çekmeye uzak olan bölgelere kıyasla daha büyük olmaktadır.

Başka bir çalışmada araştırmacılar, geogrid donatının pullout testinde zemin-geogrid eleman arasındaki etkileşimini çalışmışlardır. Araştırmacılar, çalışmasında bahsedilen kutu genişliği kadar ve bu genişlikten dar seçilen geogridlerin pullout üzerindeki etkisi burada da doğrulanmaktadır [48]. Yani kutu genişliğinden dar geogridlerde, geogridin bittiği yerden kutu yanlarına kadar olan zemin bölgesinde ilave bir sınır kayma gerilmesi ortaya çıkar. Bu durum çalışmada 3 boyutlu etkileşim mekanizması olarak adlandırılmaktadır. Geogrid genişliği, kutu genişliği kadar ise bu durumda sadece zeminle geogrid arasında sürtünme ve kenetlenme (interlock) durumundan bahsedilir. Bu da 2 boyutlu etkileşimdir.

Araştırmacılar, çalışmasında a'da normal basınçta geogride uygulanan çekme, b'de çekmenin tersi yönde geogrid elemanlarda görülen tepki kuvveti, c'de çekme doğrultusundan itibaren her bir düğüm noktasının deplasmanı, d'de her bir düğüm noktasının birim şekil değiştirmesi, e'de yük-birim şekil değiştirme eğrisi ve f'de ise çekme kuvvetinin çekme doğrultusundan başlanarak geogrid boyunca diğer düğüm noktalarındaki değerleri görülmektedir. Çekmeye yakın bölgelerde birim şekil değiştirme, deplasman ve etkiyen kuvvet daha fazla olmakla beraber, doğrultu boyunca çekme bölgesinden uzaklaşıldıkça bu değerlerde azalmalar gözlenmektedir [49].

Geogrid güçlendirmeli yol temelinin performansı araştırılmıştır. Temel içine yerleştirilmiş geogridin yüksek rijitlik göstermesinin yine geogridin küçük göz açıklıklı olması ile ilgili olabileceği gösterilmiştir [50, 51, 52, 53, 54].

Bir grup araştırmacı, çalışmalarında kesme kutusu testlerinde agrega–agrega kayma mukavemetlerinin agrega-geonet kayma mukavemetlerinden daha yüksek olduğunu göstermişlerdir. Literatüre göre bu tezatlık aslında geogridlerin iyi bir güçlendirme donatısı olmadığı anlamına gelmez, agrega özelliklerine göre uygun geogrid kullanılması gerektiği anlamına gelmektedir [55].

Bir çalışmada geogrid donatının pullout çekme direncini araştırılmıştır. Basıncın, zemin yoğunluğunun, sınır şartlarının ve zemine gömülü geogridlerin mekanik özelliklerinin pullout karakteristikleri üzerinde etkili olduğunu tespit etmişlerdir. Uygulanan düşey basınç artırıldıkça pullout kutusu içindeki zemin ile geogrid daha iyi kenetlenebilmekte, iyi bir sıkışma elde edilmekte ve geogridin sıkışmış zemin arasından sıyrılıp çıkması ihtimali o kadar azalmaktadır. Sınır şartlarının genişletilmesi örneğin daha büyük ölçekli pullout kutusu kullanılması durumunda ise yanal basınçların sıfıra yaklaştığı daha iyi görülmektedir [56].

Geogridlerin uzun ve kısa süreli sünme davranışı üzerine çalışılmıştır. Geogridlerin bozulmasını aşırı sünme deformasyonu olarak tanımlamışlar ve geogrid örneklerin birim şekil değiştirme-zaman eğrilerini elde etmişlerdir. Bu eğriler sünme davranışını göstermektedir. Daha az süre deneye tabi tutulan geogridlerde daha yatık bir birim şekil değiştirme-zaman grafiği; daha uzun süre devam edilenlerde ise daha dik grafik eğrileri elde edilmiştir. Kısa süre deneye tabi tutulan geogridler yorulmaya maruz kalmamaktadır, böylece kopmadan uzun süreli sünme davranışı gösterebilmektedirler. Bundan dolayı da yatık bir eğri ortaya çıkmaktadır. Uzun süreli deneye tabi tutulanlarda ise bir noktadan

sonra geogrid dayanımını kaybetmekte ve eğri azalma eğilimi göstermektedir. Bu yüzden dik grafik eğrileri görülebilmektedir. Bu durum ise polyster malzemeden üretilmiş olan geogridlerin sürekli sünme deformasyonuna maruz bırakılmasının ömrünü azaltabileceği ve dayanımını yitirebileceği sonucunu ortaya çıkarmıştır [57, 58].

İki araştırmacı, sıkıştırılmış granüler zeminde gömülü geogrid donatısının davranışına etkiyen faktörleri çalışmışlardır. Bu çalışmayı yapmak için büyük ölçekte pullout test aparatı tasarlamışlardır. Sabit birim şekil değiştirme yüklemesi altında 3 adet geogrid örneğine 40 adet pullout testi uygulamışlardır. Kullanılan granüler malzemeler; sınıflandırma, proktor ve çekme testleri kullanılarak karakterize edilmiştir. Vurgulanan önemli bir husus da kullanılan geogrid genişliği pullout kutusu genişliğinden az ise 3 boyutta zemin genleşme eğiliminin ortaya çıkmasıdır [59].

Şevli bir kil zemine oturan sürekli temellerin geogrid katkısı ile taşıma gücündeki değişimi incelemek için bir çalışma yapılmıştır. 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 [60].

Başka bir çalışmada araştırmacıların 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 [61].

Geogrid takviyeli kum zemin üstüne oturan dairesel temelleri PLAXIS programı ile modelleyip taşıma kapasiteleri incelenen çalışmada, ilk donatının yeri, donatılar arası mesafe, donatı boyu ve donatı sayısı değişken tutulmuştur. Daha sonra, önceden yapılmış model deneylerle 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 [62].

Bir grup araştırmacının 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 (Df), donatı uzunluğu (LG), 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, LG= 6 B ve Df = 0,5 B alınabileceği saptanmıştır [63].

Kaplamasız yollarda geogrid kullanımının 4 farklı yöntemle ekonomik yönden incelemesi üzerine bir çalışma yapılmıştır. 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 [45].

Bir takım araştırmacı 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 inşa 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 [64].

Plastisite indisinin ve geogrid katkısının dayanım üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla yapılan CBR deneylerine göre kil zemine %0, %10 ve %20 oranında bentonit katılarak farklı plastisite indislerine sahip üç farklı numune oluşturulmuştur. Sırasıyla bu numunelerin plastisite indisleri %10, %16 ve %23'tür. 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 [65].

İki araştırmacı, 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 verilerine 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 [66].

Geogrid takviyeli şevli zeminlere oturan şerit temellerin taşıma güçlerini inceleme amaçlı yapılan çalışmada laboratuvarda 1140 mm x 475 mm x 500 mm boyutlarında deney düzeneği imal edilmiştir. 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 (qu), 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 [67].

Bir grup araştırmacı 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'tür. Yazarların başta iddia ettikleri gibi doğal bir maddeden üretilmiş jüt geotekstil zeminlerin iyileştirilmesinde daha ekonomik ve çevreci bir alternatiftir [68].

Kil zemine atık maddeler olan gölet külü, pirinç kabuğu külü ve kireci çeşitli oranlarda karıştırılarak 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 [69].

Bir takım araştırmacı, 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 [70].

Gana'da yaygın bulunun laterit cinsi zemin üzerinde geogrid takviyesiyle asfalt kalınlığının azaltılıp azaltılamayacağı CBR deneyleriyle incelenmiştir. 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 [71].

Bir grup araştırmacı, 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 kullanımın yol dolgusunu güçlendirdiği, yolun servis ömrünü uzatarak ileride oluşabilecek masrafların önlendiği görülmüştür [72].

Tekrarlı yükler altındaki esnek yol kaplamalarının geogridle güçlendirilmesini PLAXIS 2D dinamik modülü ile incelenmiştir. 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 [73].

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.

Araştırmacılar geogrid ile güçlendirilmiş zemine gömülü boruların davranışlarını incelemek amacıyla laboratuvarda model deney düzeneği oluşturmuşlardır. Çalışmalarında, geogridin bulunduğu yerin etkisi incelenmiş olup, boruda ve geogridde gerilme ölçümleri yapılarak birbirleri 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 [74].

Bir grup araştırmacı, 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 birbirine 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 [75].

İyi derecelenmiş kum zemin üzerinde yaptıkları Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR) deneylerinde zemine geogrid katkısının etkisi incelenmiştir. 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 gözlemlemek 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 örneklere göre daha iyi sonuç vermiştir. Geogridin H/3 konumunda tutturulmuş olarak kullanıldığında en iyi sonucu elde edilmiştir. Geogridin kalıba tutturulması deformasyonları arttırmıştır [76].

Bir grup araştırmacı 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 bio bozunur bir madde olmadığı ve servis ömrünü uzattığı için kullanımının yaygınlaştırılmasını önermektedirler [77].

Hindistan'da bulunan yolların düşük CBR değerlerinde olması ve istenen verimin sağlanamaması sebebiyle zeminlere geogrid ilavesiyle bu sorunun giderilip giderilemeyeceği incelenmiştir. 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 [78].

Bir grup araştırmacı, 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 ara yüz etkileşimini hesaplamak için bir denklem önerilmiştir [79].

Bir grup araştırmacı, 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, ön germe miktarı, geogrid yeri ve sayısı değişken olarak kullanılmıştır. Çalışma sonucunda geogrid kullanımı, kum zeminin taşıma gücünü arttırırken, ön germe

uygulaması, ön germesiz örneklere 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 [80].

Kaplamasız yollarda geogrid takviyesinin etkisini incelemek amacıyla büyük ölçekli model deneyler yapılmıştır. 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 [81].

Bir takım araştırmacı, 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 izin derinliğindeki oluşumun azaldığı görülmüştür. Benzer şekilde geogrid kullanımı ile bu artış daha kararlı bir durum sergilemiştir [82].

3. MALZEME VE YÖNTEM

Yapılan bu çalışmada ilk başta kullanılacak olan alt temel/temel malzemesi, bazalt geogrid ve doğal lifler temin edilmiştir. Kullanılacak olan alt temel/temel malzemesinin proktor deneyi ile optimum su muhtevası bulunmuştur. Daha sonra karakteristik özelliklerinin belirlenmesine yönelik temel malzeme deneyleri yapılmıştır. Doğal lifler geogrid haline getirilip CBR deneyleri yapılmıştır.

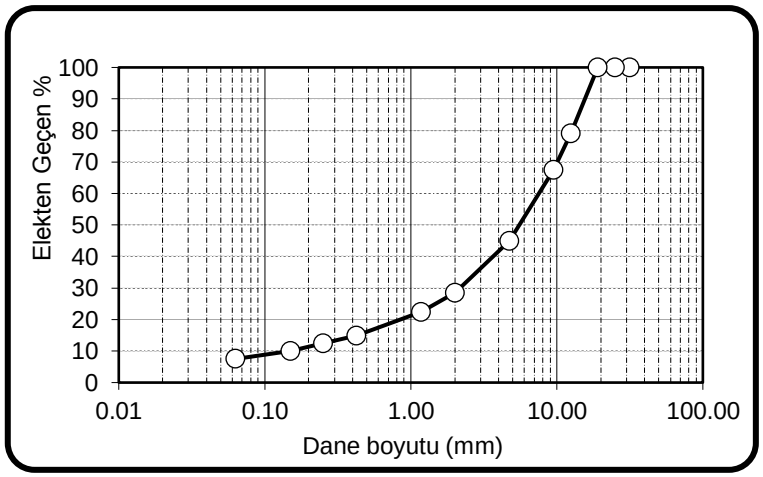
3.1. MALZEME

3.1.1. Zemin Malzemesi

Araştırmada zemin malzemesi olarak yol alt temel yapımında kullanılan bazalt kırma taş malzemesi kullanılmıştır. Alt temel malzemesi kent yolu yapımında kullanılmakta olan ocaklardan temin edilmiştir. Bazalt, volkanik kaya kütlelerinden biridir. Siyah renkte ve kesif yığınlar halindedir. Taşıyıcılığı bakımından ve aşınma dayanımı açısından kaliteli bir malzemedir [83].

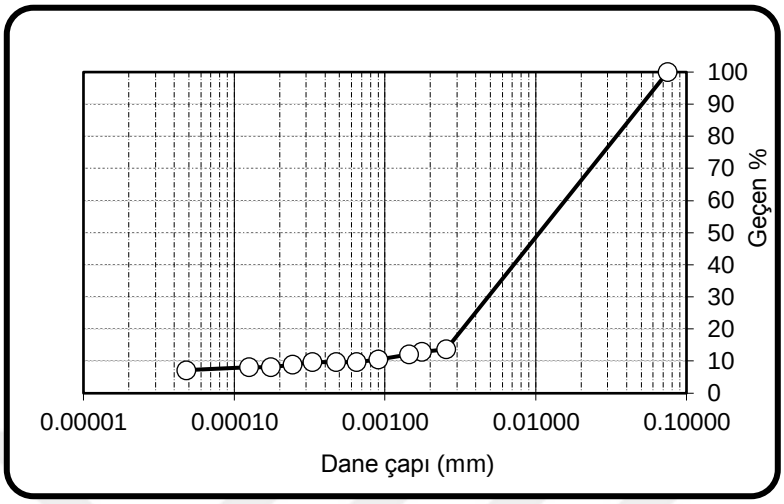
Çalışmada kullanılan alt temel malzemesi üzerinde temel fiziksel özelliklerin tayin edilmesi için laboratuvar deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneylere dair sonuçlar bu bölümde sunulmuştur.

Şekil 3.1'de çalışmada kullanılan malzemeye ait gradasyon eğrisi bulunmaktadır. Malzemenin maksimum dane çapı 20 mm olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.1. Alt temel malzemesine ait gradasyon eğrisi.

Şekil 3.2'de çalışmada kullanılan malzemeye ait hidrometre deney grafiği bulunmaktadır. En ince malzemenin oranı (0.00005 mm dane çaplı) %0,5011'dir. Malzemenin Silt oranı %87 iken Kil oranı %13 bulunmuştur.



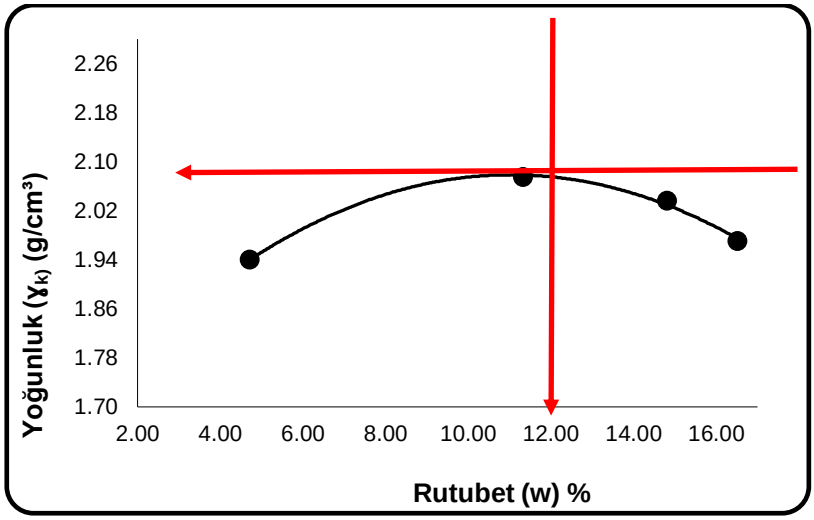
Şekil 3.2. Alt temel malzemesine ait hidrometre grafiği.

Çizelge 3.1'de çalışmada kullanılan malzemenin temel fiziksel özelliklerini belirlemeye yönelik deney sonuçları sunulmuştur. Yapılan deneyler sonucunda kuru birim hacim ağırlığı 1.721 gr/cm^3, özgül ağırlık 2.667, likit limit %24,20, plastik limit %21,39, Plastik indeks %2,81 ve zemin sınıfı da saGrW olarak bulunmuştur.

Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan alt temel malzemesinin temel fiziksel özellikleri.

Deney	**Birim**	**Sonuç**
Kuru birim hacim ağırlık	gr/cm^3	1.721
Özgül ağırlık	Gs	2.667
Atterberg limitleri	Likit Limit (%)	24.20
	Plastik Limit (%)	21.39
	Plastik İndeks (%)	2.81
Dane boyu dağılımı	No.10 Kalan (%)	71,36
Dane boyu dağılımı	No.230 Geçen (%)	6,96
Zemin sınıflaması	TS EN ISO 14688-2	saGrW
Hidrometre	Kil Oranı (%)	13
	Silt (%)	87.0

Çalışmada kullanılan bazalt kırma taş malzemesinin fiziksel özellikleri tayin edildikten sonra proktor deneyi yapılmış ve optimum su içeriği saptanmıştır. Şekil 3.3'te proktor deney grafiği sunulmuştur. Deney sonucunda maksimum yoğunluk değeri 2,08 gr/cm^3 olarak elde edilmiştir. Ayrıca zemin numunesi için optimum su içeriği %11,4 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.3. Proktor deney sonuçları.

3.1.2. Kaplama Malzemesi

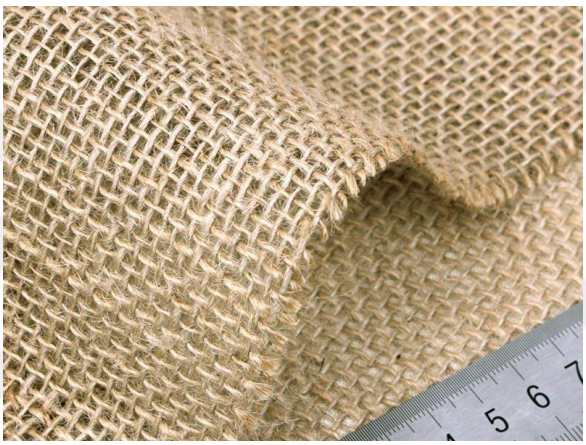
Doğal liflerden geogrid formuna getirilen numunelerin uzun süreli doğal zemin içerisine yerleştirilecek olması doğal seleksiyon içerisinde malzemeyi bozabileceği düşüncesinden dolayı özel bir kaplama malzemesi ile yüzeyin kaplanması uygun görülmüştür. Bu nedenle geogrid formuna getirilen doğal liften elde edilen numuneler; yollarda kaplama tabakasında bağlayıcı olarak kullanılan, ayrıca temel tabakalarında zemin stabilizasyonunda sıkça kullanılan bitüm ile yüzeyi kaplanmıştır. Bitümün visko elastik özelliğe sahip olması, üzerine gelecek taşıt yükleri açısından geogride daha esnek bir form kazandıracağı düşüncesiyle kaplama malzemesi olarak tercih edilmiştir. Diğer taraftan yol uygulamalarında sıkça kullanılan bir malzeme olması da önemli durum teşkil etmiştir. Çalışma kaplama malzemesi olarak kullanılan bitümün temel fiziksel özellikleri yapılan deneylerle belirlenmiştir ve çizelge 3.2'de sunulmuştur.

Çizelge 3.2. Bitüme ait temel fiziksel özellikler.

Tests	Spesifikasyon Limitleri	Test Sonuçları
Düktilite (cm)	> 100	> 100
Nicholson testi (%)	< 50	< 50
Yumuşama Noktası (^{0}C)	-	47,7
Penetrasyon (1/10 mm)	-	62,8
Bitüm Sınıfı	-	B50/70
Spesifik yerçekimi (gr/cm^3)	-	0,99

3.1.3. Doğal (JÜT) Lifli Tekstil

Doğal liflerden elde edilmiş ve piyasada kullanımı bulunan doğal jüt lifleri ile elde edilmiş tekstil çalışmada kullanılmıştır. Oldukça geniş bir kullanım alanına sahip olan bu ürün; doğal yapısı ve sağlığa zararlı olmayan yönleriyle birçok firmanın tercihi haline gelmiş ve birçok sektörde kullanılmıştır. Kalın ve daha sert olan ipliklerden halat yapımı gerçekleştirilir. Çuval ve çadır gibi ürünlerin dikilmesinde de jüt ipliklerinin kullanışsız olanları tercih edilir [84]. Çalışma kapsamında jüt liflerinden elde edilmiş tekstil geogrid formuna getirilerek kullanılmıştır. Şekil 3.4'te doğal jüt liflerinden üretilmiş tekstil ürünü görülmektedir. Çizelge 3.3'te doğal jüt lifli tekstile ait fiziksel ve karakteristik özellikler verilmiştir.



Şekil 3.4. Doğal jüt lifli tekstil [85].

Çizelge 3.3. Doğal Jüt'e ait temel fiziksel özellikler [86].

Özellikler	Birim	Değerler
Lif çapı	µm	5–25
Yoğunluk	g/cm^3	1.3–1.4
Gerilme Direnci	MPa	393-773
Young modülü	GPa	13–26.5
Özgül Dayanım	GPa/ g/cm^3	0.3–0.5
Özgül Modül (GPa/ g/cm^3)		10–18.3
Kopma Uzaması (%)		1.16-1.5

3.1.4. Doğal Liften Geliştirilen Geogrid

Doğal halde alınıp işlendikten sonra tekstil formuna getirilmiş olan Jüt tekstili dokuma ve ip çekme yöntemleri kullanılarak geogrid formuna getirilmiştir. 4 sıra üste 3 sıra aralara olmak üzere iplik çekme yöntemi ile sabit bir formda tutulmuştur. Daha sonra hazırlanan doğal lifli geogridler zemin taşıma gücünün tespiti için karayolları ve

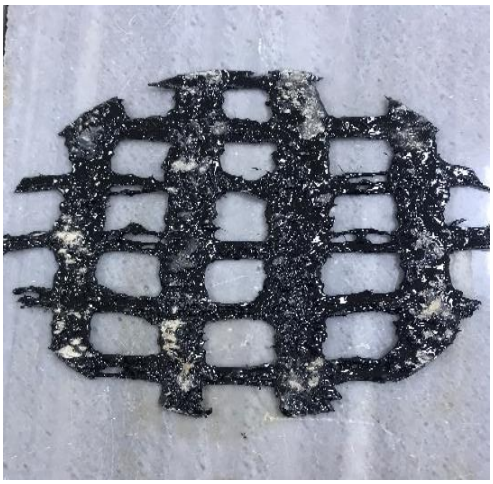
havaalanı pistlerinde Kaliforniya Taşıma Gücü (CBR) deney kalıpların ebatlarında kesilmiştir.



Şekil 3.5. Kaplanmamış doğal lifli geogrid.

3.1.5. Bitüm ile Kaplanmış Doğal Lifli Geogrid

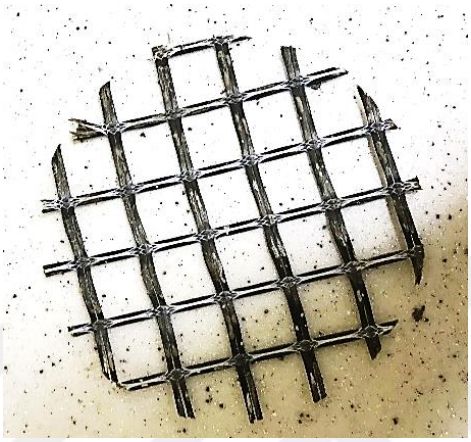
Doğal jüt lifli tekstilden geogrid formuna getirilen numuneler yol zemini içerisinde koruma altına alınmak için kaplanmıştır. Yüzey kaplama malzemesi olarak karayollarında bağlayıcı özelliğiyle kullanılan bitüm tercih edilmiştir. Çalışmada bitüm sınıfı AC 50/70 olan kaplama malzemesi ısıtılıp bir kap içerisine boşaltıldıktan sonra geogrid içerisine sabit formu bozulmadan daldırılıp çıkartılmıştır. Fazla bitüm temizlendikten sonra hazırlanan numune kurumaya bırakılmış ve CBR deneyi için uygun ebatlarda kesilmiştir.



Şekil 3.6. Bitüm ile kaplanmış doğal lifli geogrid.

3.1.6. Bazalt Lifli Geogrid

Alkali dayanımlı kaplamaya sahip bazalt liflerinden üretilmiş kumaşlar çatlakları önlemek ve farklı yapı güçlendirme uygulamaları için geliştirilmiş ürünlerdir. Cam elyafa ve çeliğe göre daha yüksek çekme dayanımına sahip olması avantajına sahiptir. Yüksek performanslı, alkali dayanımlı bazalt örgü çürümeye, korozyana veya oksitlenmeye dayanımı sayesinde, çimentolu uygulamalarda rahatlıkla kullanılabilir. Hafif, kolay kurulumu ve kullanımı sayesinde bazalt örgü çeliğe güçlü bir alternatif olacaktır [87].



Şekil 3.7. Bazalt lifli geogrid numunesi.

Çizelge 3.4. Numune gruplarının kodlanması.

Numune Grupları	Kısaltma
Bitüm Kaplı Jüt Geogrid	BCG
Doğal Haldeki Jüt Geogrid	NFG
Bazalt Geogrid	BG

Çizelge 3.5. Geogridlere ait karakteristik özellikler.

Özellikler	Birim	NFG	BCG	BG
Geogrid Boyutu	mm	20 x 20	20 x 20	25 x 25
Kopma Yükü (çözgü)	kN/m	4.5	10.0	65.0
Kopma Yükü (atkı)	kN/m	2.5	5.4	65.0
Kopma uzaması	%	9.84	19.24	2.46

3.2. YÖNTEM

Kaliforniya taşıma gücü oranı (CBR) testi, esnek kaplamalar için deneysel bir tasarım yöntemidir. Yüzeye uygulanan ve zemin incelemelerinde üstyapı tasarımına yardımcı olarak kullanılan bir yük testidir. Bu testte elde edilen CBR değeri, çeşitli esnek kaplama tasarım yöntemlerinin ayrılmaz bir parçasını oluşturur [88]. Çalışmada yol temel malzemesi olarak kullanılan bazalt kırma taş üzerinde taşıma gücü testleri yapılmıştır. Bu

kapsamda temel malzemesi CBR testine tabi tutulmuş ve referans grup oluşturulmuştur. Daha sonra zemin örneğinin taşıma gücündeki değişimlerini gözlemlemek için geogrid takviyesi ile zemin güçlendirilmiştir. Yol zemin malzemesinin güçlendirilmesinde üç farklı malzeme kullanılmıştır. Geliştirilen doğal jüt lifli geogrid kaplama yapılmadan (NFG), doğal jüt lifli geogrid yüzeyi bitümle kaplanarak (BCG) ve son olarak piyasada kullanımı olan bazalt geogridler (BG) alt temel malzemesi içine yerleştirilip, tekrar taşıma gücü oranını belirlemek için CBR testleri yapılmıştır.

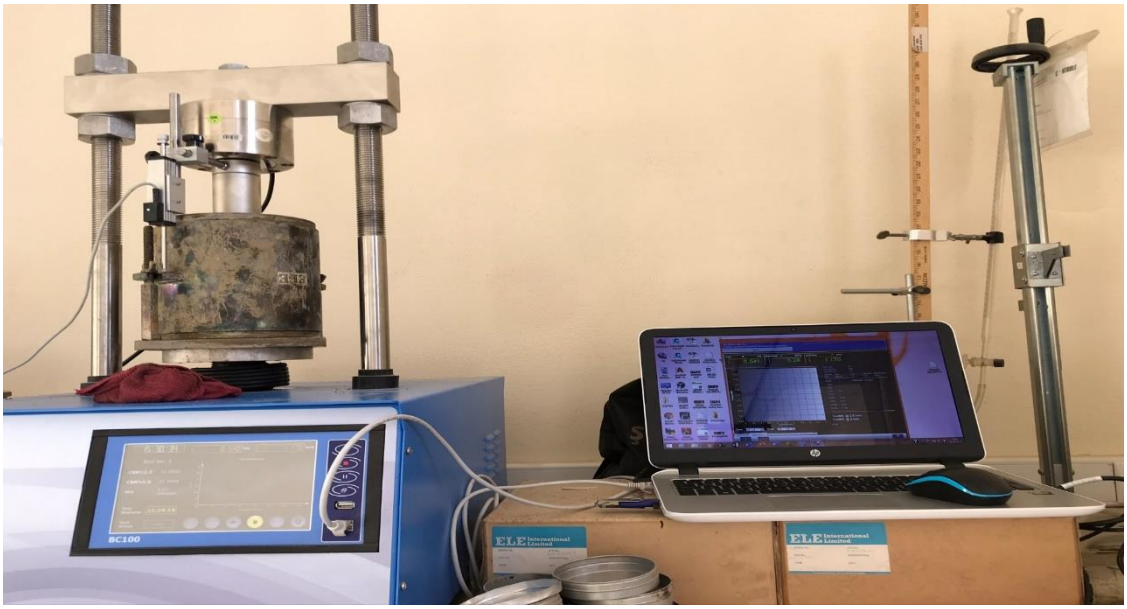
Çalışmada kullanılacak zemin malzemesi önce 20 mm'lik elekte elenmiştir. Daha evvel yapılan standart proktor testi (şekil 3.8) ile belirlenen oranda su ilave edilerek zemin karışımı hazırlanmıştır. Zemin malzemesi CBR kalıplarına üç aşamada sıkıştırılarak yerleştirilmiştir. CBR numune kaplarının 1/3 kadarı zemin malzemesi ile doldurulmuş ve sıkıştırılmıştır. Daha sonra hazırlanan geogrid serilip üzerine kabın 1/3 kadar daha malzeme doldurulup sıkıştırılmış, kabın geriye kalan 1/3 de doldurulduktan sonra son kez sıkıştırılmıştır. Hazırlanan CBR numuneleri standarda uygun olarak suda bekletme işlemine tabi tutulmuştur. Yapılan literatür araştırmalarına [23, 24, 25, 26] dayanarak geogridlerin bu elek çaplarına sahip malzemede en iyi performans vereceği h/3 yüksekliğine yerleştirilmiştir. Şahit numune dâhil dört farklı grup CBR numunesi hazırlanmıştır. Her grup için ikişer tekrarlı CBR deneyleri gerçekleştirilmiştir. Çizelge 3.4'te çalışmada kullanılan numune gruplarının kısaltılmasına dair kodlar verilmiştir. Şekil 3.9 CBR deney numunelerinin hazırlanması ve suda bekletme işlemine dair aşamaları göstermektedir.



Şekil 3.8. Proktor deneyi aşamaları.



Şekil 3.9. CBR numunelerinin hazırlanması ve suda bekletilmesi.



Şekil 3.10. CBR deneyinin yapılışı.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışma kapsamında analizlerde kullanılması planlanan ve çalışmanın ana malzemesini oluşturan bazalt geogrid ve doğal lifler öncelikli olarak temin edilmiş ve bunlarla ilgili çeşitli literatür incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Temin edilen bazalt geogrid ve doğal liflerin optimum su muhteva oranlarını tespit edebilmek adına proktor deneyi gerçekleştirilmiştir. Proktor deneyi ile optimum su muhteva oranlarının belirlenmesinin ardından ise ana malzemeler olan bazalt geogrid ve doğal liflerin temel karakteristik özelliklerini belirlemeye yönelik çeşitli temel malzeme deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Doğal halde alınıp işlendikten sonra tekstil formuna getirilmiş olan Jüt tekstili dokuma ve ip çekme yöntemleri kullanılarak geogrid formuna getirilmiştir. 4 sıra üste 3 sıra aralara olmak üzere iplik çekme yöntemi ile sabit bir formda tutulmuştur. Daha sonra hazırlanan doğal lifli geogridler zemin taşıma gücünün tespiti için karayolları ve havaalanı pistlerinde Kaliforniya Taşıma Gücü (CBR) deney kalıpların ebatlarında kesilmiştir.

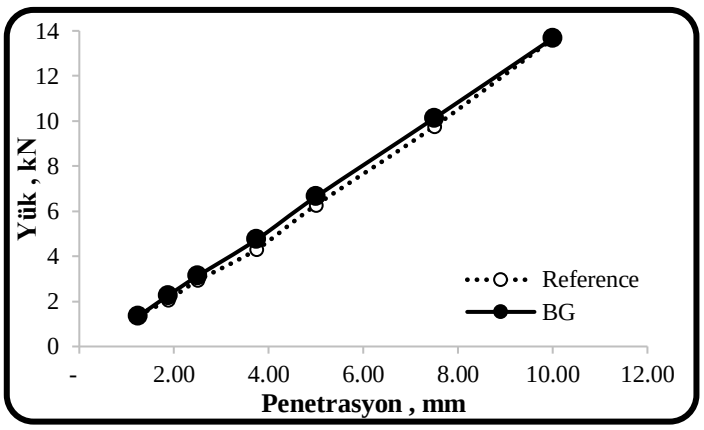
Doğal jüt lifli tekstilden geogrid formuna getirilen numuneler yol zemini içerisinde koruma altına alınmak için kaplanmıştır. Yüzey kaplama malzemesi olarak karayollarında bağlayıcı özelliğiyle kullanılan bitüm tercih edilmiştir. Çalışmada bitüm sınıfı AC 50/70 olan kaplama malzemesi ısıtılıp bir kap içerisine boşaltıldıktan sonra geogrid içerisine sabit formu bozulmadan daldırılıp çıkartılmıştır. Fazla bitüm temizlendikten sonra hazırlanan numune kurumaya bırakılmış ve CBR deneyi için uygun ebatlarda kesilmiştir.

Alkali dayanımlı kaplamaya sahip bazalt liflerinden üretilmiş kumaşlar çatlakları önlemek ve farklı yapı güçlendirme uygulamaları için geliştirilmiş ürünlerdir. Cam elyafa ve çeliğe göre daha yüksek çekme dayanımına sahip olması avantajına sahiptir. Yüksek performanslı, alkali dayanımlı bazalt örgü çürümeye, korozyona veya oksitlenmeye dayanımı sayesinde, çimentolu uygulamalarda rahatlıkla kullanılabilir. Hafif, kolay kurulumu ve kullanımı sayesinde bazalt örgü çeliğe güçlü bir alternatif olacaktır.

Çalışmada kullanılacak zemin malzemesi önce 20 mm'lik elekte elenmiştir. Daha evvel yapılan standart proktor testi (şekil 3.8) ile belirlenen oranda su ilave edilerek zemin karışımı hazırlanmıştır. Zemin malzemesi CBR kalıplarına üç aşamada sıkıştırılarak yerleştirilmiştir. CBR numune kaplarının 1/3 kadarı zemin malzemesi ile doldurulmuş ve sıkıştırılmıştır. Daha sonra hazırlanan geogrid serilip üzerine kabın 1/3 kadar daha malzeme doldurulup sıkıştırılmış, kabın geriye kalan 1/3 de doldurulduktan sonra son kez sıkıştırılmıştır. Hazırlanan CBR numuneleri standarda uygun olarak suda bekletme işlemine tabi tutulmuştur. Bu işlemlerin yapılmasının ardından analizlerde kullanılması planlanan doğal lifler geogrid yapıya sokularak CBR testlerine hazır hale getirilmiştir.

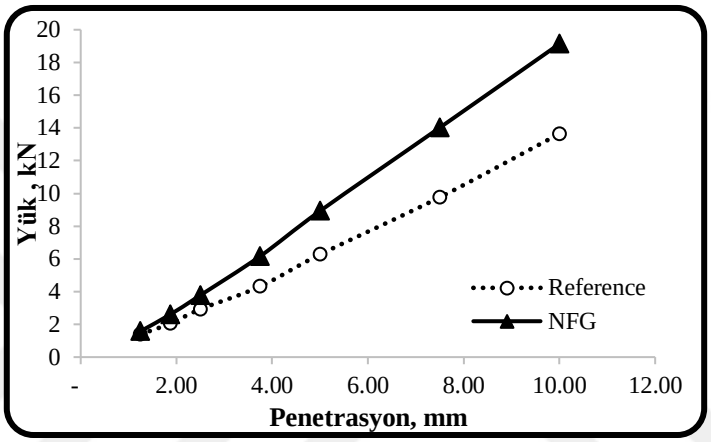
CBR testleri için hazırlanan tüm numuneler öncelikli olarak kür işlemine tabi tutulmuş ve bunun ardından asıl deneye geçilmiştir. Gerçekleştirilen deneyler sonucunda ortaya çıkan analiz sonuçları aşağıda şekil 4.1, şekil 4.2 ve şekil 4.3'te belirtilmiştir. Deneyler ile alakalı tüm ön işlemler bir önceki bölümde detaylı şekilde aktarılmıştır (Bkz. Bölüm 3). Şekillerde CBR testine hazır hale getirilmiş referans numuneler ile geogrid yerleştirilen numunelerde uygulanan farklı gerilmelere denk gelen penetrasyon değerleri görülmektedir.

Öncelikli olarak bazalt geogridli numune ile şahit numune birbiri ile karşılaştırıldığında 1,25 mm batma için referans gruplar kapsamında daha yüksek gerilme değerine ulaşıldığı görülmektedir. Ancak incelenen gerilmelerin artması durumu referans numuneler ile kıyaslandığında BG gruplarında aynı penetrasyon değerleri kapsamında daha yüksek gerilmelere ulaşıldığı tespit edilmiştir (Şekil 4.1). En yüksek penetrasyon değeri olan 10 mm çökme için referans grupta 7,06 MPa olurken BG gruplarında ortalama 7,08 MPa olduğu gerçekleştirilen analizler sonucunda belirlenmiştir.



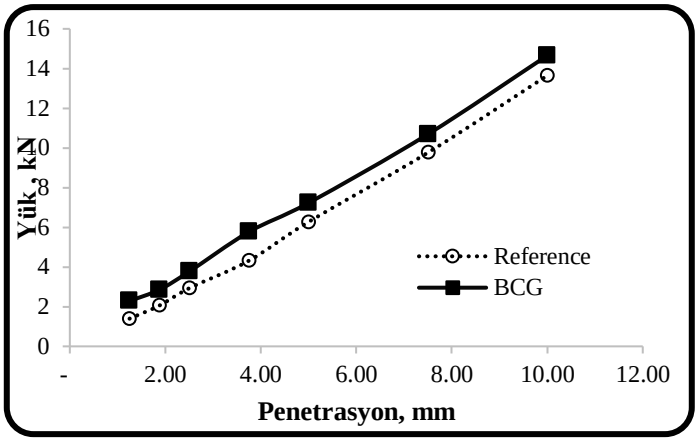
Şekil 4.1. Bazalt geogridli numune ile şahit numune grafiği.

Aşağıda belirtilmiş olan şekil 4.2'de referans numune ile doğal lifle kaplanmamış geogridli NFG numuneleri arasında gerilme miktarlarının karşılaştırılması sonucunda elde edilen analiz sonuçları belirtilmiştir. Doğal lifle kaplanmamış geogridli NFG numunelerinin tamamında tüm penetrasyon değerlerinin referans grubunun üzerinde gerilmeye ulaştığı gözlenmiştir. Maksimum penetrasyon miktarı olan 10 mm için doğal lifle kaplanmamış geogridli NFG numunelerinde 9,905 MPa gerilme değeri okunurken, referans numuneler üzerinde 7,06 MPa gerilme elde edilmiştir. Doğal lifle kaplanmamış geogridli NFG numunelerinde 2,54 mm penetrasyon için 1,96 MPa, 5 mm penetrasyon için 4,62 MPa gerilme değerlerine ulaşılmıştır.



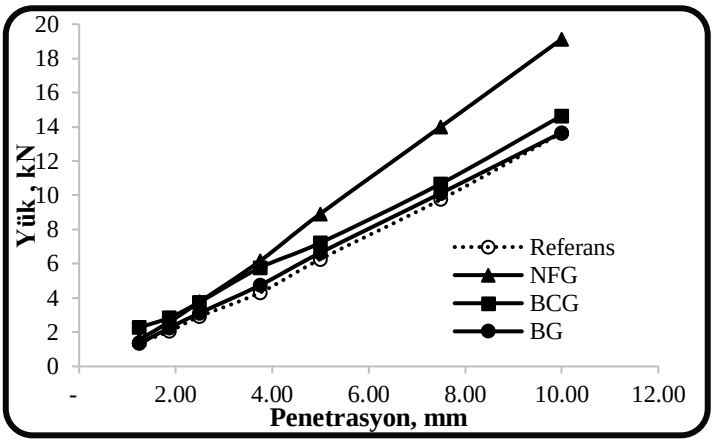
Şekil 4.2. Doğal lifli kaplanmamış geogridli numune ile şahit numune grafiği.

Aşağıda belirtilmiş olan şekil 4.3'de referans numune ile doğal lifli bitümle kaplanmış geogridli BCG numuneleri için penetrasyon değerlerine karşılık elde edilen gerilme değerleri sonuçları belirtilmiştir. Durabilite problemlerine karşı bitümle kaplanan doğal lifli geogrid numunelerinde (BCG) tüm penetrasyon değerlerindeki gerilmelerin referans gruba göre daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Ancak doğal lifli bitümle kaplanmış geogridli BCG numunelerinde elde edilen gerilmeler tüm penetrasyon değerlerinde doğal lifle kaplanmamış NFG gruplarında elde edilen gerilmelerden daha düşük olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Doğal lifli bitümle kaplanmış geogridli numune ile şahit numune grafiği.

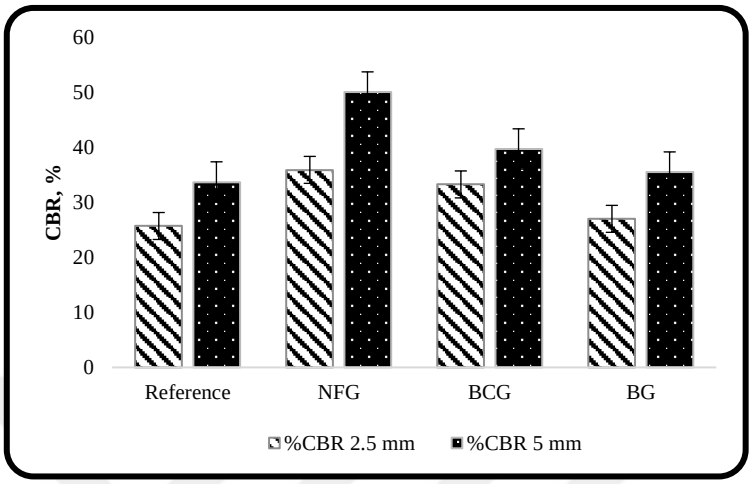
Aşağıda belirtilmiş olan şekil 4.4 kapsamında önceki analizlerden elde edilmiş olan veriler doğrultusunda seçilen alt temel malzemesinde doğal lifle kaplanmamış geogrid NFG ile hazırlanan numunelerin tüm penetrasyon değerlerinde daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmektedir. Maksimum penetrasyon miktarı olan 10 mm penetrasyon değeri için referans grubu ile doğal lifle kaplanmamış geogrid NFG numuneleri arasında 2,845 MPa değerinde gerilme farkı olduğu gözlemlenmiştir. Doğal lifle kaplanmamış geogrid NFG numuneleri yaklaşık %40, doğal lifli bitümle kaplanmış geogrid BCG numuneleri yaklaşık %7,5 ve BC numuneleri ise %0,28 oranında referansa göre daha yüksek gerilme değerine ulaşılmasına imkân tanıdığı tüm analizler sonucunda tespit edilmiştir.



Şekil 4.4. Genel Yük-Penetrasyon grafiği.

Aşağıda belirtilmiş olan şekil 4.5'da yukarıda tek tek analiz sonuçları belirtilmiş olan numuneleri kapsayan tüm gruplar için CBR 2,5 mm ve 5 mm değerlerinin hesaplanmış halleri grafiksel olarak gösterilmiştir. Doğal lifli bitümle kaplanmış geogridli NFG numunelerinin CBR değerleri 2,5 mm için %35,9 olarak hesaplanmıştır. Doğal lifli bitümle kaplanmış geogridli NFG numunelerinin CBR değerleri 5 mm için %50,05 olarak

elde edilmiştir. Tüm bunlarla birlikte belirtilmiş olan değerler gerçekleştirilen analizler kapsamında tüm gruplar içerisinde en yüksek CBR değeri olarak tespit edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda oluşturulan tüm numune gruplarında CBR değerleri referans gruplardan çok daha iyi sonuçlar ortaya koymuştur.



Şekil 4.5. CBR değişim grafiği.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Dünyada en büyük ihtiyaçlardan birisinin ulaşım olduğu araştırma kapsamında incelenen literatürler doğrultusunda belirlenmiştir. Tüm ülkeler ihtiyaçları doğrultusunda kendi ulaşım ağlarını oluşturmaya çalışmaktadırlar. Bu ulaşım ağlarını ise en iyi şekilde malzemeler kullanarak dayanıklı hale getirmeye çalışmaktadırlar.

Gerçekleştirilen araştırma kapsamında Kaliforniya taşıma gücü oranı (CBR) testinden faydalanılmıştır. Araştırma kapsamında CBR testi ile doğal liflerden geliştirilen geogridin yolun taşıma gücüne etkisinin araştırılması planlanmıştır.

Çalışma kapsamında analizlerde kullanılması planlanan ve çalışmanın ana malzemesini oluşturan bazalt geogrid ve doğal lifler öncelikli olarak temin edilmiş ve bunlarla ilgili çeşitli literatür incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Temin edilen bazalt geogrid ve doğal liflerin optimum su muhteva oranlarını tespit edebilmek adına proktor deneyi gerçekleştirilmiştir. Proktor deneyi ile optimum su muhteva oranlarının belirlenmesinin ardından ise ana malzemeler olan bazalt geogrid ve doğal liflerin temel karakteristik özelliklerini belirlemeye yönelik çeşitli temel malzeme deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Yapılan çalışmalar ve deneyler sonucunda elde edilen tüm veriler incelendiğinde NFG numunelerin diğer tüm gruplara göre zeminin taşıma gücünde en iyi sonucu verdiği görülmüştür. En iyi sonucu veren NFG numunelerinden sonra taşıma gücü olarak diğer gruplar değerlendirildiğinde sırası ile BCG numuneleri ve BC numunelerinin en düşük taşıma gücüne sahip oldukları referans gruplarında tespit edilmiştir.

NFG numuneleri şahit numuneye göre %CBR 2.5 mm'de %39,7 oranında, %CBR 5 mm'de %48,5 oranında taşıma gücünü arttırmıştır. Diğer taraftan NFG numuneler BCG numuneye göre %CBR 2,5 mm'de %7,97 oranında, %CBR 5 mm'de %26,1 oranında taşıma gücünü arttırmıştır. BG numuneleri ile kıyaslandığında NFG numuneler %CBR 2,5 mm'de yaklaşık %33 oranında, %CBR 5 mm'de %39,2 oranında taşıma gücünü arttırmıştır.

BCG numuneler şahit numuneye göre %CBR 2,5 mm %17,8 oranında, %CBR 5 mm %22,4 oranında taşıma gücünü arttırdığı görülmüştür. BCG numuneler BG numuneye göre %CBR 2,5 mm %23,15 oranında, %CBR 5 mm ise %10,43 oranında taşıma gücünü arttırdığı tespit edilmiştir. BC numuneler şahit numuneye göre %CBR 2,5 mm %5,05 oranında, %CBR 5 mm için ise %6,68 oranında taşıma gücünü arttırmıştır.

Yapılan deneylerin sonucunda edinilen verilere dayanarak zeminlerde taşıma gücünün eksikliğinden oluşan hasarları iyileştirmeye yönelik kullanılabileceği tespit edilmiştir. Doğal liflerden oluştuğu için hem çevreye zararının olmayışı hem de etkin bir şekilde taşıma kapasitesini arttırdığı göz önünde bulundurularak kullanılabilecek yöntemlerin başında gelecektir. Doğada kendi kendini yenilemesine karşın yapılan kaplama yöntemlerinde doğal haline göre bir miktar azalma olsa da şahit numuneye göre pozitif yönlü artma olduğu tespit edilmiştir. Bitüm ile kolay serilip kullanılabilir olması yol altyapısında yüksek oranda taşımayı arttıracaktır.

Yapılan deneyler sonucunda verilecek olan öneride temel tabakasının zemine serilmesinin ardından tek kat bitüm serilip, tek kat serilen bitümün üzerine geogrid örtülüp geogridin üzerine tek kat bitüm serilip kullanılması uygulama aşamasında kolaylıklar sağlayacaktır. Çalışma doğal liflerin çekme kuvvetlerinin yüksek olması nedeni ile zemin iyileştirmesinde geogrid olarak kullanılabileceğini, durabiliteye karşı farklı önerilerle geliştirilebileceğini göstermiştir.

6. KAYNAKLAR

[1] A. Maltaş, H. Özen, ve A. Saraçoğlu, "Ağ tarama ve K-ortalama kümeleme yöntemleri ile kaza kara noktalarının belirlenmesi: İstanbul D100 Karayolu örneği," *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilim Dergisi*, c. 25 sayı 6, ss 672-682, 2018.

[2] Adana Çukurova Üniversitesi (2021, 20 01). Zemin Mekaniği II Ders Slaytları, [Online]. Erişim: https://imb.cu.edu.tr/storage/Ders%20Notlar%C4%B1%20ve%20Yararl%pdf.

[3] R. M. Koerner, *Designing with geosynthetics*, , New Jersey, USA: Prentice Hall, 1999.

[4] J. G. Zornberg, "Geosentetikle güçlendirilmiş zemin yapılarında gelişmeler: Amerikan tecrübesi," Uluslararası 1. Ankara Geosentetik Semineri, Ankara, 2012.

[5] G. W. E. Milligan, R. A. Jewell, G. T. Houlsby and H. J. Burd, "A new approach to the design of unpaved roads-Part I," *Ground Engineering*, c. 22, sayı 3, ss. 25-29, 1989a.

[6] G.W.E .Milligan, R. A. Jewell, G. T. Houlsby, and H. J. Burd, "A new approach to the design of unpaved roads-Part II," *Ground Engineering*, c. 22, sayı 8, ss 37-42. 1989b.

[7] A. K. Choudhary, and A. Murali Krishna, "Soil-geosynthetics interaction properties for different types of soil," Proceedings of Indian Geotechnical Conference, (j-284), Kochi. 2011.

[8] A. R. Dawson, P. H. Little, and S. F. Brown, "Rutting behaviour in geosynthetic-reinforced unsurfaced pavements," Proceedings 5th International Conference on Geotextiles, Geomembranes and related products, International Geotextile Society (Ed), *SEAC-IGS*, Singapore, sayı 1, ss.143-146. 1994.

[9] J. Tingle and S. Jersey, "*Empirical Design Methods for Geosynthetic Reinforced Low Volume Roads*," Transportation Research Record, Journal of the Transportation Research Board, Low-Volume Roads, 2007.

[10] S. Gökova, "Karayolu üstyapılarında taşıma gücü düşük taban zeminine sahip kesimlerde geogrid kullanımının üstyapı yapısal performansına etkisi," Doktora tezi, İnşaat Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye, 2018.

[11] B. S. Bueno, C. V. S. Benjamim and J. G. Zornberg, "*Field performance of a full-scale retaining wall reinforced with non-woven geotextiles slopes and retaining structures under seismic and static conditions*," Austin, Texas: ASCE Geotechnical Special Publication Gabr, Bowders, Elton and Zornberg (Ed), 2005.

[12] H. R. Yılmaz, "Uygun bir geotekstil kullanımı ile yol inşaatında maliyetlerin düşürülmesi üzerine bir uygulama," TMMOB İstanbul Şubesi, 3. Ulaştırma Kongresi, İstanbul, 1995.

[13] H. R. Yılmaz, P. Aklık, ve T. Eskişar, "Geosentetiklerin karayollarında kullanım olanakları ve sağladığı avantajlar üzerine bir araştırma," TRODSA, II. Yol Güvenliği Kongresi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2003a.

[14] H. R. Yılmaz and T. Eskişar, "Cost considerations on the economy of using geotextiles and an ımprovement application example for İzmir-Melez Delta," Nonwoven Technical Textiles Technology, 2003b.

[15] H. R. Yılmaz, T. Eskişar ve P. Aklık, "Geofoam malzemesinin geoteknik mühendisliğinde kullanım alanları ve önemi," TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, ss 14-19, 2005.

[16] H. R. Yılmaz ve P. Aklık "Yol üst yapısında geotekstil veya geogrid donatıların kullanım imkanları, yöntem ve kriterleri ve sağlanan yararlar üzerine bir inceleme," TRODSA, III. Yol Güvenliği Kongresi, Ankara, 2005a.

[17] H. R. Yılmaz, T. Eskişar ve P. Aklık, "Kaplamasız yollarda geotekstil kullanımının yararları üzerine çeşitli uygulamalar ile maliyet fayda analizleri*," 2. Ulusal Geosentetikler Konferansı,* 16-17 Kasım Boğaziçi Üniversitesi İstanbul, Türkiye, 2006b, ss 191-200.

[18] T. Yetimoğlu, "Geogrid-donatılı kum zemine oturan temellerin taşıma kapasitesi," Doktora tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 1994.

[19] E. Duncan-Williams, and Nii. O. Attoh-Okine, " Effect of geogrid in granular base strength-An experimental İnvestigation," Department of Civil and Environmental Engineering, University of Delaware, Newark, DE, United States, 2007.

[20] D. Yıldırım, "Geogrid Donatılı stabilize dolgu tabakası ile kil zeminlerin iyileştirilmesi," Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye, 2015.

[21] A. A. Yıldız, "Donatılı zeminler üzerine oturan yüzeysel temellerin analizi," Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye, 2002.

[22] B. Davarcı, M. Örnek ve Y. Türedi, "Geogrid donatılı gevşek kum zemine oturan çok kenarlı yüzeysel temellerin deneysel analizi," *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, sayı 30, ISSN:1012-2354, 2014.

[23] P. Singh, and K. S. Gill, "CBR ımprovement of clayey soil with geo-grid reinforcement," *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, c. 2 sayı 6, ISSN:2250-2459, 2012.

[24] J. N. Mandal, and H. S. Sah, "Bearing capacity tests on geogrid-reinforced clay,"

Geotextiles and Geomembranes, c. 11 sayı 3, ss 327-333, 1992.

[25] R. Haas, J. Walls, and R. G. Carroll, "*Geogrid Reinforcement of Granular Bases Flexible Pavements*," *Transportatıon Research Record*, 2014.

[26] I. L Al-Qadi, S. H. Dessouky, J. Kwon, E. Tutumluer, "Geogrid in esnek kaplamalar: doğrulanmış mekanizma," *Ulaşım Araştırma Kaydı*, c. 2045 sayı 1, ss. 102-109, 2008.

[27] S. D. Ramaswamy. and P. Purushothaman, "Model footings of geogrid reinforced clay," *Proceedings of the Indian geotechnical conference on geotechnique today*, sayı 1, ss. 183-186, 1992.

[28] Wikipedia, (2021, 20 Mart), *Geosentetik* [Online]. Erişim: https://tr.wikipedia.org/wiki/Geosentetik

[29] IGS (International Geosynthetic Society). "Recommended Descriptions of Geosynthetics Functions, Geosynthetics Terminology," *Mathematical and Graphical Symbols,* 5th Edition, 2009.

[30] S. F. Brown, J. Kwan, N. H. Thom, "*Identifying The Key Parameters That Influence Geogrid Reinforcement Of Railway*" *Balast*, UK, 2007.

[31] R. M. Koerner, "Designing With Geosynthetics," Third Edition, NJ, USA: Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1999.

[32] S. Çelik, "Jeogrid Donatılı Yüzeysel Şerit Temellerde Jeogridin Zeminin Taşıma Gücüne Etkisi," Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, Türkiye, 1997.

[33] B. Ç. Karagül, "Yol Dolgularının Geogrid Kullanılarak İyileştirilmesi," Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2007.

[34] Tenax Tools Cd., Tenax SpA. Milano, 2005.

[35] S. K. Shukla, and J. H. Yin, "Fundamental of Geosynthetic Engineering Taylor & Francis Group," London, UK, 2006.

[36] L. Yıldız, "Donatıyla Güçlendirilmiş Şevli Zemine Oturan Yüzeysel Temel Analizi," Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye, 2005.

[37] B. M. Das, "*Shallow Foundations: Bearing Capacity and Settlement*," CRC Pres LLC. 2009.

[38] A. Demir, "Yumuşak Kil Zemin Üzerinde Güçlendirilmiş Stabilize Dolguya Oturan Yüzeysel Temellerin Analizi," Doktora tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye, 2011.

[39] "The properties and performance advantages of Tensar TriAx geogrids," *Tensar International Limited.* Sayı 7., 2010.

[40] "Tensar TriAx jeogridlerinin özellikleri ve performans avantajları," *Tensar International Limited,* Sayı 1, 2009.

[41] G. Baykal, ve O. Dadaşbilge, "Tek Yönlü-Geogrid-Kırmataş Arayüzey Özelliklerinin Deneysel Olarak Araştırılması: Sıyrılma Deneyi," Zemin Mekanigi ve Temel Mühendisliği Sekizinci Ulusal Kongresi, s. 281-290, İstanbul, 2000.

[42] "The Properties and Performance of Tensar Biaxial Geogrids," *Tensar International Limited,* Sayı 4, 2005.

[43] K. Farrag, I Juran, Y. Acar, "Pull-out Resistance Of Geogrid Reinforcements," *Geotextile And Geomembranes*, c. 12, ss. 133-159. 1993.

[44] J. M. Vashi, A. K. Desai, C. H. Solanki, "Assessment of reinforced embankment on soft soil with PET and PP Geotextile," *International Journal Of Civil and Structural Engıneering*, c. 2, sayı 3, 2012.

[45] A. Şenol, C. Gümüşer, M. Bostancıoğlu, "Kaplamasız Yollarda Geotekstil Geogrid Kullanılması Durumunda Oluşan Fayda-Maliyet İlişkisinin İncelenmesi, *"Üçüncü Ulusal Geosentetikler Konferansı,* İstanbul, Türkiye, 2008, ss. 13-25

[46] C. Çiçek, ve M. Özer, "Yol Dolgu Şevlerinin Geogrid Kullanılarak Güçlendirilmesi," G6 Altıncı Ulusal Geosentetikler Konferansı, İstanbul, 2014.

[47] M. J. Al-Mosawe, and H. H. Al-Dobaissi, "Reinforced Earth Response ToImpact Loading." Proc. Of The International Symposium On EarthReinforcement Practice, Fukuoka-Japan, 2010, ss 653-658.

[48] A. Nernheim, "Design and Test Methods for Geosynthetic Reinforced Structures." 2004.

[49] M. C. Alfaro, S. Hayashı, N. Miura, and K. Watanabe, "Pullout Interaction Mechanism of Geogrid Strip Reinforcement," *Geosynthetics International*, 1995, c. 2, sayı 4, ss. 679-698..

[50] R. A. Austin, and A. J. T. Gilchrist, "Enhanced Performance of Asphalt Pavements Using Geocomposites", *Geotextiles and Geomembranes*, 1999, sayı 14, ss 175-186.

[51] J. S. Sharma, and M. D. Bolton, "Centrifuge Modelling of an Embankment on Soft Clay Reinforced with a Geogrid," *Geotextiles and Geomembranes*, 1999, ss 1-17.

[52] R. M. Mattox, "Geogrid Reinforcement for Cochrane Bridge Embankment," *Geotextiles and Geomembranes*, 2003, sayı 6, ss 225-232.

[53] H. Ochiai, J. Otani, S. Hayashic, and T. Hirai, "The Pull-out Resistance of Geogrid

in Reinforced Soil," *Geotextiles and Geomembranes*, 1999, sayı 14, ss 19-42.

[54] E. B. Gunther, and A. O: Abd El Halim, "The Performance of Geogrid Reinforced Road Bases," *Construction and Building Materials*, 2003, sayı 1, ss 71-75.

[55] R. M. Bakeer, S. M. Sayed, P. Cates and R. Subramanian, "Pullout and Shear Tests on Geogrid Reinforced Lightweight Aggregate," *Geotextiles and Geomembranes*, 1998, sayı 16, ss 119-133.

[56] K. Farrag, "Pull-out Resistance of Geogrid Reinforcements," *Geotextiles and Geomembranes*, 2009, sayı 12, ss 133-159.

[57] H. Koo, and Y. Kim, "Lifetime Prediction of Geogrids for Reinforcement of Embankments and Slopes," 2004, sayı 24, ss. 181–188.

[58] Y. C. Guo, C. Xin, M. Song and Y. He, "Study on Short- and Long-term Creep Behavior of Plastics geogrid," *Polymer Testing*, sayı 24, 2005, ss. 793–798.

[59] N. Moraci, and D. Gioffre, "A Simple Method to Evaluate the Pullout Resistance of Extruded Geogrids Embedded in a Compacted Gronuler Soil," *Geotextiles and Geomembranes*, sayı 24, 2005, ss. 116-128.

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

[61] T. Aydoğmuş, E. Güler, H. Klapperich, T. Eskişar, *İkinci Ulusal Geosentetikler Konferansı*, İstanbul, Türkiye, 2006, ss. 29-38.

[62] A. A. Yıldız, M. Laman, M. Örnek, ve A. Demir, "Donatılı Kum Zeminlere Oturan Dairesel Temellerin Sayısal Analizi," *İkinci Ulusal Geosentetikler Konferansı*, İstanbul, Türkiye, 2006. ss. 75-84.

[63] A. Demiröz, Ö. Tan, İ. H. Erkan, "Geogrid Donatılı Kumların Taşıma Gücünü Etkileyen Tasarım Faktörlerinin Optimizasyonu." *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onikinci Ulusal Kongresi*, Konya, Türkiye, 2008. ss. 789-798.

[64] M. Örnek, A. Demir, A. Yıldız, M. Laman, "Donatılı Kum Zeminlere Oturan Dairesel Temellerin Sayısal Analizi." *Üçüncü Ulusal Geosentetikler Konferansı*, İstanbul, Türkiye, 2008. ss. 1-12.

[65] S. A. Naeini and R. Z. Moayed, "Effect of plasticity index and reinforcement on the CBR value of soft clay." *International Journal of Civil Engineerng*, c. 7, sayı 2, ss. 124- 130, 2009.

[66] T. Özer, ve C. W. Chiristmann, "Geogrid Donatılı Yol Temelinin Ekonomik Faydaları–Wheeler Caddesi Örneği." *Dördüncü Ulusal Geosentetikler Konferansı*, İstanbul, Türkiye, 2010, ss. 75-82.

[67] M. S. Keskin ve M. Laman, "Güçlendirilmiş Kumlu Şevlerde Donatı Rijitliğinin

Taşıma Gücüne Etkisi." *Dördüncü Ulusal Geosentetikler Konferansı*, İstanbul, Türkiye, 2010, ss. 141-150.

[68] A. Choudhary, K. Gill, J. Jha, and S. Shukla, "Improvement in CBR of the Expansive Soil Subgrades with a Single Reinforcement Layer." *Proceedings of Indian Geotechnical Conference*, Edith Cowan University, Delhi, 2012, ss. 298-292.

[69] A. Kuity, T. K. Roy, "Utilazation of Geogrid Mesh for İmproving the Soft Subgrade Layer with Waste Material Mix Composition." *Procedia–Social an Behaviorel Scienses*, c. 104, sayı 2013, ss. 255-263, 2013.

[70] M. Bakkaylı, M. Örnek, A. Demir, Y. Türedi, "Geogrid Donatının Cbr Değerine Etkisinin İncelenmesi." 5. Geoteknik Sempozyumu, Adana, Türkiye, 2013.

[71] C. A. Adams, N.Y. Amofa, and R. O. Boahen, "Effect of geogrid reinforced subgrade on layer thickness design of low volume bituminous sealed road pavements." *International Refereed Journal of Engineering and Science*, c.3, sayı 2, ss. 59-67, 2014.

[72] A. Arslan, M. Laman, G. Mısır, M. Kuzum, "Yol Dolgularında Geogrid Kullanımına Ait Vaka Analizi". *Altıncı Ulusal Geosentetikler Konferansı*, İstanbul, Türkiye, 2014, ss. 61-72.

[73] G. Altay, A. Demir, B. Bağrıaçık, M. Laman, B. Ok, T. Sarıca, "Geogridle Güçlendirilmis Esnek Yol Kaplamaların Nümerik Olarak Değerlendirilmesi." *Altıncı Ulusal Geosentetikler Konferansı*, İstanbul, Türkiye, 2014, ss. 87-98.

[74] S. Bildik, B. Emirler, M. Laman, "Geogrid ile Güçlendirilmis Zeminlerde Gömülü Boruların Davranışı." *Altıncı Ulusal Geosentetikler Konferansı*, İstanbul, Türkiye, 2014, ss. 115-124.

[75] Y. Türedi, M. Örnek, B. Davarcı, "Geogrid Donatılı Kum Zemine Oturan Çok Kenarlı Temellerde Zemin Sıkılığının Etkisi." *Altıncı Ulusal Geosentetikler Konferansı*, İstanbul, Türkiye, 2014. Ss. 177-186.

[76] D. U. Infante, G. A. Martinez, P. Arrua and M. Eberhardt, "Behavior of geogrid reinforced sand under vertical load." *International journal of geomate: geotechnique, construction materials and environment*, c. 10, sayı 21, ss. 1862-1868, 2016.

[77] R. Singh, L. Singh, M. Kaur, "Improvement in CBR Value of Clayey Soil with Geogrid Reinforcement." *International Journal of Engineering Technology Science and Research*, c. 4, ss. 1485-1492, 2017.

[78] P. M. G. Yadav, S. Bharath, M. M. Kumar, M. N. Reddy, and G. C. Reddy, "Usage of geogrıds ın flexıble pavement desıgn." *Internatıonal Journal Of Engıneerıng Scıences & Research Technology*, c. 7, sayı 4, ss. 144-153, 2018.

[79] Z. He, H. Mo, A. Siga and J. Zou, "Research on the parameters of nonlinear

hyperbolic model for clay-geogrid interfaces based on large scale direct shear tests.” *Transportation Geotechnics*, sayı 18, ss. 39-45, 2019.

[80] Ö. Yeşiltepe, Y. Türedi ve M. Örnek, “Öngermel Donatılı Zeminlerde Zeminlerin Taşıma Gücünün Sayısal Analizi.” *8. Uluslararası Geoteknik Sempozyumu*, İstanbul. Türkiye, 2019.

[81] Ş. Çömez, A. Mert, H. Ö. Navruz, M. Komut, ve S. Kiziroğlu, “Geogridle Güçlendirilmiş Kaplamasız Yollar için Büyük Ölçekli Testler.” *Sekizinci Ulusal Geosentetikler Konferansı*, İstanbul, Türkiye, 2019, ss. 219-227.

[82] M. Saltan, S. Terzi, S. Gökova, E. Tutumluer, V. E. Uz ve M. Karaşahin, “Taşıma Gücü Düşük Taban Zeminine Sahip Karayolu Üst Yapılarında Geogrid Kullanımının Üst Yapısal Performansa Etkisi.” *Sekizinci Ulusal Geosentetikler Konferansı*, İstanbul, Türkiye, 2019, ss. 239-248

[83] *Bazalt,* [Online]. Erişim:https://tr.wikipedia.org/wiki/Bazalt

[84] *Jüt,* [Online]. Erişim:https://www.netpakambalaj.com/tr/jut-nedir--h-49

[85] *Jüt kumaş nedir ve özellikleri nelerdir,* [Online]. Erişim:https://www.sabah.com.tr/gundem/2020/11/03/jut-kumas-nedir-ozellikleri-nelerdir-jut-kumas-nasildir

[86] M. M. Kabir, H. Wang, K. T. Lau and F. Cardona, “Chemical treatments on plant-based natural fibre reinforced polymer composites: An overview.” *Composites Part B: Engineering*, c. 43, sayı 7, ss. 2883-2892, 2012.

[87] *Bazalt mesh* [Online]. Erişim:https://www.teknoyapi.com.tr/tr/urunler/restorasyon-urunleri/teknobazaltmesh-

[88] D. K. Talukdar, “A study of correlation between California Bearing Ratio (CBR) value with other properties of soil.” *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, c. 4, sayı 1, ss. 559-562, 2014.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Veysel Ekrem Gönül

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	İnşaat Mühendisliği	Düzce Üniversitesi	
Lisans	İnşaat Mühendisliği	Düzce Üniversitesi	2019
Lise		Siirt Anadolu Öğretmen Lisesi	2015

YAYINLAR

Investigation of the fracture energy of hot mixtures asphalt incorporating metallic wastes via semi-circular bending test

https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061821017669?dgcid=coauthor