

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BAZALT FİBER KATKISININ SİTLİ ZEMİNLERİN
KAYMA DİRENCİ PARAMETRELERİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ali KENAN

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : GEOTEKNİK
Tez Danışmanı : Doç. Dr. Aşkın ÖZOCAK

Temmuz 2018

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BAZALT FİBER KATKISININ SİTLİ ZEMİNLERİN
KAYMA DİRENCİ PARAMETRELERİNE ETKİSİ

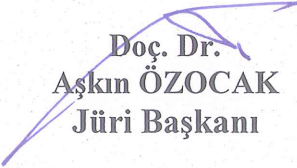
YÜKSEK LİSANS TEZİ

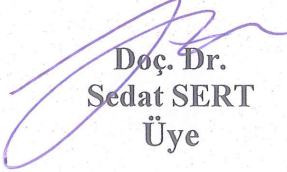
Ali KENAN

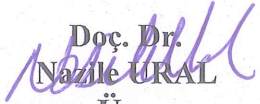
Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : GEOTEKNİK

Bu tez 03.07.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.


Doç. Dr.
Aşkın ÖZOCAK
Jüri Başkanı


Doç. Dr.
Sedat SERT
Üye


Doç. Dr.
Nazile URAL
Üye

BEYAN

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

Ali KENAN

03.07.2018

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca ve tez çalışmam sürecinde kıymetli zamanımı ayırarak bilgi, birikim ve tecrübesiyle her türlü desteği sağlayan, çok değerli tez danışmanım Doç. Dr. Aşkın ÖZOCAK'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam sürecinde bilgi, birikim, tecrübe ve fikirlerini esirgmeden aktaran Sakarya Üniversitesi öğretim üyeleri Doç. Dr. Ertan BOL ve Doç. Dr. Sedat SERT'e ve laboratuvar çalışmalarımnda bana her türlü desteği veren çok kıymetli Tekniker Recep EYÜPLER ve Tekniker Sebahattin İŞ'e teşekkürü bir borç bilirim.

Hayatımın her anında maddi manevi her türlü desteklerini esirgemeyen, yüksek lisans eğitimime başlamamda en büyük pay sahibi annem ve babam ile en önemlisi de yüksek lisans tezimi bitirmemdeki katkılarından ve anlayışından dolayı sevgili eşime şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ	ix
ÖZET.....	x
SUMMARY	xi
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ VE AMAÇ	1
BÖLÜM 2.	
ZEMİNLERİN İYİLEŞTİRİLMESİ.....	3
2.1. Yüzeysel Zemin İyileştirme Yöntemleri.....	5
2.1.1. Kompaksiyon.....	5
2.1.2. Drenaj	7
2.1.3. Çimento ile zemin stabilizasyonu.....	7
2.1.4. Kireç ile zemin stabilizasyonu.....	8
2.1.5. Uçucu kül ile zemin stabilizasyonu	10
2.1.6. Bitüm ile zemin stabilizasyonu.....	11
2.2. Derin Zemin İyileştirme Yöntemleri	12
2.2.1. Ön yükleme (sürşarj) yöntemi	12
2.2.2. Kum drenleri.....	13
2.2.3. Prefabrik drenler	14
2.2.4. Dinamik kompaksiyon.....	15
2.2.5. Vakumla su emme yöntemi.....	16
2.2.6. Kompaksiyon kazığı	17
2.2.7. Vibro kompaksiyon metodu.....	17

2.2.8. Yatay titreşim tekniği (vibroflotasyon).....	18
2.2.8.1. Vibro tij	19
2.2.9. Patlatma metodu	19
2.2.10. Taş kolonlar	20
2.2.11. Enjeksiyon yöntemleri	21
2.2.11.1. Sızdırma enjeksiyonu.....	22
2.2.11.2. Telafi enjeksiyonu.....	22
2.2.11.3. Kayada enjeksiyon	23
2.2.11.4. Çatlatma enjeksiyonu.....	23
2.2.12. Jet Enjeksiyonu (jet grout).....	23
2.2.13. Derin karıştırma yöntemi.....	24
2.2.14. Elektro-osmoz.....	25
2.2.15. Mini kazıklar	26
2.2.16. Diğer alternatif zemin iyileştirme yöntemleri	27
2.2.16.1. Geosentetik malzemeler ile zemin iyileştirilmesi.....	27
2.2.16.2. Atık lastikler ile zemin iyileştirmesi.....	28

BÖLÜM 3.

BAZALT VE BAZALT FİBER KATKISI İLE ZEMİN İYİLEŞTİRİLMESİ.....	30
3.1. Bazalt	30
3.2. Bazalt Fiber.....	31
3.2.1. Bazalt fiberlerin üretimi	31
3.3. Bazalt Fiberlerin Özellikleri	32
3.3.1. Mekanik özellikleri ve dayanıklılığı.....	33
3.3.2. Kimyasal özellikleri ve direnci.....	33
3.3.3. Korozyon ve mantar direnci	34
3.3.4. Ekolojik etkisi ve çevreye duyarlılığı.....	34
3.4. Bazalt Lif Ürünler.....	35
3.5. Bazalt Fiberlerin Betonda Kullanımı.....	37
3.6. Bazalt Fiber Katkısı İle Zemin İyileştirilmesi Örnekleri.....	40

BÖLÜM 4.

MALZEMELER VE YÖNTEM	42
4.1. Malzemeler	42
4.1.1. Silt zemin	42
4.1.2. Bazalt fiber	44
4.2. Yöntem.....	45
4.2.1. Fiziksel deneyler.....	46
4.3. Doymun Numunelerin Konsolide Edilerek Hazırlanması	51
4.4. Kesme Kutusu Deneyleri	54
4.5. Kayma Direnci Deney Sonuçları	56

BÖLÜM 5.

SONUÇLAR	61
----------------	----

KAYNAKLAR.....	62
----------------	----

ÖZGEÇMİŞ	66
----------------	----

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ASTM	: Amerikan Malzeme Test Standardı
c	: Kohezyon
C	: Kil
CH	: Yüksek plastisiteli kil
CHO	: Yüksek plastisiteli organik kil
CL	: Düşük plastisiteli kil
CLO	: Düşük plastisiteli organik kil
I _p	: Plastisite İndisi
LL	: Likit limit
M	: Silt
MH	: Yüksek plastisiteli silt
MHO	: Yüksek plastisiteli organik silt
ML	: Düşük plastisiteli silt
MLO	: Düşük plastisiteli organik silt
n	: Porozite
N	: Darbe Sayısı
OMC	: Optimum su muhtevası (Optimum moisture content)
P	: Yük
PL	: Plastik limit
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu (Scanning Electron Microscope)
S _r	: Doygunluk derecesi
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
UU	: Konsolidasyonsuz drenajsız (Unconsolidated undrained)
w	: Su muhtevası
w _L	: Likit limit
w _{opt}	: Optimum su muhtevası

w_p	: Plastik limit
W_s	: Kuru örnek ağırlığı
W_w	: Su ağırlığı
γ_{kmak}	: Maksimum kuru birim hacim ağırlık
σ	: Toplam normal gerilme
τ_{max}	: Kayma direnci
ϕ°	: Kayma direnci açısı
ρ_n	: Doğal birim hacim ağırlık

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Dane boyutuna göre zemin iyileştirme metotları	4
Şekil 2.2. Titreşimli kompaksiyon silindiri	6
Şekil 2.3. Killi zeminin kireç ile stabilizasyonu.....	10
Şekil 2.4. Ön yükleme yöntemi ve prefabrike drenler ile zemin iyileştirilmesi...	15
Şekil 2.5. Dinamik kompaksiyon uygulaması ile zemin iyileştirme	16
Şekil 2.6. Vakum ile su emme yöntemi	17
Şekil 2.7. Enjeksiyon türleri (a) ve (b) sızdırma, (c) telafi, (d) jet.	21
Şekil 2.8. Jet enjeksiyonu (jet grout) yöntemi.....	24
Şekil 3.1. Kıyılmış bazalt fiberler.....	35
Şekil 3.2. Bazalt ip.....	36
Şekil 3.3. Bazalt donatı çubuğu.....	37
Şekil 4.1. Numunenin alındığı çalışma sahası.....	43
Şekil 4.2. Numunelerin geoteknik laboratuvarına taşınması.....	43
Şekil 4.3. Kurutulup elekten geçirilmiş elenmiş silt.....	43
Şekil 4.4. Bazalt fiberler (a) torbalanmış bazalt fiberler, (b ve c) değişik uzunluklardaki bazalt fiberler.....	44
Şekil 4.5. Siltli zemin için Casagrande deneyine ait görüntüler.....	47
Şekil 4.6. Konik penetrometre deneyi yapılışı.	48
Şekil 4.7. Plastik limit deneyine ait fotoğraflar	49
Şekil 4.8. Casagrande cihazı ile yapılan likit limit deney sonucu	49
Şekil 4.9. Kullanılan silt zeminin TS1500 plastisite kartındaki konumu	49
Şekil 4.10. Doğal numunenin dane dağılımı eğrisi	50
Şekil 4.11. TS 1900/2006-1'e göre yapılan elek analizi, hidrometre ve pipet deneylerine ait fotoğraflar	51
Şekil 4.12. Bazalt liflerinin ayrıştırılmadan önce ve ayrıştırıldıktan sonraki hali..	52

Şekil 4.13. (a) Fiberli zemin, (b) deney numunesinin bulamaç haline getirilmesi, (c) bulamaç içindeki hava kabarcıklarının çıkarılması, (d) desikatörden çıkmış zemin	53
Şekil 4.14. Hücrelere koyulan numunelerin 75 kPa düşey gerilme altında yeniden oluşturulması	54
Şekil 4.15. Numunenin konsolidasyon hücresinden kesme kutusu halkasının içine alınması.....	54
Şekil 4.16. Konsolidasyon deneyi ile drenajlı kesme hızının belirlenmesi.....	55
Şekil 4.17. Kesme kutusu cihazı.....	56
Şekil 4.18. Kesme kutusu deneyi sonrası deneye tabi tutulan tüm deney numuneleri.....	56
Şekil 4.19. B015 nolu numunenin kesme kutusu deney sonuçları.....	57
Şekil 4.20. Farklı oranlardaki bazalt fiber katkısı ile (a) birim hacim ağırlıktaki değişim grafiği, (b) kohezyon değerindeki değişim grafiği, (c) kayma direnci açısındanki değişim grafiği	59

TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1. Bazalt ve E-camı kimyasal bileşenleri	33
Tablo 3.2. Bazalt elyafı ile diğer elyaf türlerinin temel niteliklerinin karşılaştırması.....	35
Tablo 4.1. Silt zeminin fiziksel özellikleri	44
Tablo 4.2. Bazalt fiberin fiziksel ve mekanik özellikleri	45
Tablo 4.3. Hazırlanan karışımlarda silt ve bazalt fiber ağırlığı, bazalt fiber boy ve oranları.....	46
Tablo 4.4. Siltli numunenin fiziksel özellikleri	50
Tablo 4.5. Kesme kutusu deney sonuçları özeti	58

ÖZET

Anahtar kelimeler: Bazalt fiber, siltli zemin, zemin iyileştirme, kayma direnci, kesme kutusu

Zemin iyileştirilmesi genellikle ekonomik olmayan ve ileri teknoloji gerektiren derin temeller karşısında uygun bir alternatif olabilmektedir. Bunun yanında ulaşım yapılarının altında sıkça kullanılmaktadır. Zeminlerin iyileştirilmesinde katkı malzemeleri günümüzde hala sıkça kullanılmaktadır. Bu bağlamda, doğal ve yapay fiberler zemin iyileştirilmesi için kullanılan katkı malzemelerine örnek olarak verilebilirler. İyileştirmede kullanılan gerecin çevre dostu olması da istenmektedir. Son yıllarda geliştirilen bazalt fiberler bu kategori içinde sayılabilir olmasının yanında henüz zemin iyileştirme çalışmalarında kullanımı ile ilgili yeterli çalışma yapılmış durumda değildir.

Bu çalışmada bazalt fiber katkısının doygun siltli zemin örnekleri üzerinde zeminin kayma direncine olan etkisi araştırılmıştır. Adapazarı kent merkezinde 2-3 m derinlikten alınmış siltli zemin hem doğal durumda hem de farklı oranlarda katılmış bazalt fiber malzemesi ile doygun durumda konsolide edilerek yeniden yapılandırılmış zemin numuneleri oluşturulmuştur. Tek boyutlu konsolidasyonda düşey gerilme 75 kPa olarak seçilmiştir. Oluşturulan numuneler üzerinde farklı düşey gerilmeler altında kesme kutusu deneyleri tatbik edilmiş ve kayma direnci parametreleri elde edilmiştir. Deney sonuçları %1,5 fiber katkısının kayma direnci açısından en uygun oran olduğu sonucunu ortaya koymaktadır. Sonuç olarak bazalt fiber kullanımının zemin özelliklerini iyileştirmede de alternatif olabileceği anlaşılmıştır.

EFFECT OF BASALT FIBER ADDITION ON SHEAR STRENGTH PARAMETERS OF SILTY SOILS

SUMMARY

Keywords: Basalt fiber, silt soil, soil improvement, shear strength, shear box

Soil remediation is usually an economically alternative for deep foundations that requires advanced technology. However, soil stabilization is frequently used under transportation structures. The use of additive materials in the improvement of soils is still frequently used today. In this context, natural and artificial fibers can be given as an example to additive materials used for soil improvement. It is also desirable that the material used for stabilization be environmentally friendly. Although basalt fibers developed in recent years are countable within this category, there is not yet enough study done on their use in ground improvement work.

In this study, the effect of basalt fiber addition on the soil shear resistance on saturated silty soil specimens was investigated. Soil taken from a depth of 2-3 m in the city center of Adapazarı was consolidated in a saturated condition with basalt fiber material both in natural condition and in different proportions and reconstituted soil samples were formed. In one dimensional consolidation procedure, the vertical stress was chosen as 75 kPa. Shear box experiments were performed on the prepared specimens under different vertical stresses and shear resistance parameters were obtained. The experimental results show that 1.5% of the fiber addition is the most suitable in terms of shear resistance. As a result, it has been understood that the use of basalt fiber may be an alternative for improving soil properties.

BÖLÜM 1. GİRİŞ VE AMAÇ

Eski çağlardan bu yana insanoğlunun yaşamını idame ettirebilmesi için en temel ihtiyaçlarından biri de barınma ihtiyacıdır. Bu ihtiyacı karşılamak için önceleri mağaralar, oyuklar gibi doğal barınma yerlerini tercih ederken, teknolojinin gelişmesi ve bir arada yaşama zorunluluğunun doğması sebebiyle yapay barınma yerleri inşa edilmeye başlanmıştır. Bundan dolayıdır ki yerleşim yeri olarak kullanılabilir alanlar veya araziler kıymet kazanmıştır. Bu kıymetlenme neticesinde, en basitinden bazen kaya zeminler yontularak inşaya uygun hale getirilmiş bazen ise yumuşak zeminli araziler farklı yöresel malzemelerle ıslah edilme yoluna gidilmiştir. Böylece insanoğlu, en temel geoteknik işlemlerini bilinçli veya bilinçsiz olarak yapma işine girişmiştir.

Günümüzde gelişen mimari ve mühendislik yapıları kendine has ihtiyaçları da beraberinde getirmiş, bu ihtiyaçlara cevap verecek araştırmalar yapılmasını da zaruri hale getirmiştir. Son elli yıldan beri üretilen bir çok yeni iyileştirme yöntemi ile problemlili zeminler ıslah edilmekte veya iyileştirilmektedir. Fakat bu zemin iyileştirme yöntemlerinin bir kısmı, kullanılan katkı malzemesinin veya iyileştirme teknolojisine bağlı olarak makine teçizatının maliyetinin yüksek olması sebebiyle ekonomik bir kayba sebep olmaktadır. Yüzeysel zemin iyileştirme yöntemleri kullanılarak, derin zemin iyileştirme metotlarından daha kısa zamanda ve çok daha ekonomik bir şekilde yapılabilen geoteknik çözümler elde edilmektedir. Farklı mühendislik dallarındaki teknolojik gelişmelerle beraber, geoteknik alanındaki araştırmaların da artması sonucunda problemlili zeminler için alternatif yüzeysel zemin iyileştirme çözümleri bulunmuştur. Yüzeysel zemin iyileştirme yöntemlerinden biri de problemlili zemini gereç katkısı ile ıslah etme yöntemidir. Son yıllarda yapılan çalışmalarla, farklı zemin türlerine değişik zemin gereçleri ilave edilerek zeminlerin dayanım durumları ve iyileşme performansları ölçülüp

gözlemlenmektedir. Bu zemin gereçlerinden biri de inşaat mühendisliğinde birçok amaçla kullanılan bazalt fiberlerdir.

Bazalt, volkanik bir kaya çeşidi olup doğal bir malzeme türüdür. Neredeyse dünyanın her yerinde bolca bulunabildiğinden eski zamanlardan beri üstyapı, yol ve köprü gibi birçok yapıda kullanılmaktadır. Sert ve dayanıklı yapısıyla mükemmel denilenebilecek mekanik ve kimyasal özelliklere sahip bazalt, betonun bazı mekanik özelliklerini iyileştirmesi sebebiyle, taze betona lif halinde katkı gereci olarak katılmaktadır. Bazalt lifler, betona çeşitli oranlarda ilave edilmek suretiyle betonun özellikle çekme, eğilme ve çarpma dayanımları gibi mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Bazaltın bu üstün özelliklerine rağmen, bazalt fiberlerin zemin iyileştirmesinde kullanımına yönelik çalışmaların sayısının yeteri kadar olmadığı da gözlemlenmektedir.

Yapılan bu yüksek lisans tezinde bazalt fiber katkısının siltli zeminlerin kayma direnci parametrelerine etkisinin araştırılması amaçlanmıştır. Deneysel çalışmada tüm deneyler Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Geoteknik Laboratuvarı'nda yapılmıştır.

Bu çalışmada bazalt fiber katkısının doymuş siltli zemin örnekleri üzerinde zeminin kayma direncine olan etkisi araştırılmıştır. Adapazarı kent merkezinde 2-3 metre derinlikten alınmış siltli zemin, hem doğal durumda hem de farklı oranlarda katılmış bazalt fiber malzemesi ile doymuş durumda konsolide edilerek yeniden yapılandırılmış ve zemin numuneleri oluşturulmuştur. Tek boyutlu konsolidasyonda düşey gerilme 75 kPa olarak seçilmiştir. Oluşturulan numuneler üzerinde farklı düşey gerilmeler altında kesme kutusu deneyleri tatbik edilmiş ve kayma direnci parametreleri elde edilmiştir. Deney sonuçları %1,5 fiber katkısının kayma direnci açısından en uygun oran olduğu sonucunu ortaya koymaktadır. Sonuç olarak bazalt fiber kullanımının zemin özelliklerini iyileştirmede de alternatif olabileceği anlaşılmıştır.

BÖLÜM 2. ZEMİNLERİN İYİLEŞTİRİLMESİ

Geoteknik bilimi içinde zeminlerin mühendislik özelliklerinin iyileştirilmesi, günümüzde sürekli gelişen teknolojilerle beraber geoteknik biliminin en canlı konusudur. İnşaat arazisinde veya inşa edilecek yapının cinsine göre güzergahında, farklı veya aynı zeminler için çeşitli zemin iyileştirme metotları kullanılıp özellikleri iyileştirilmiş kompozit bir ortama ulaşmak mümkündür. Problemlili zeminin iyileştirilmesinde hangi metotların seçileceğine karar verilmesindeki ana etkenler, zeminin üzerine inşa edilecek yapının cinsine bağlı olarak metodun ekonomik olarak uygun ve zaman açısından pratik olup olmayacağıdır.

İnşaat mahallinde karşılaşılan zeminler tasarlanan yapı için istenilen özelliklerde olmayabilir. Arsanın terk edilerek yapının başka bir yere yapılması veya yapının güzergahının değiştirilmesi günümüzde şehirleşmenin getirdiği arsa kıymetlerinin ve kamulaştırma maliyetlerinin artması sebebiyle uygun bir çözüm olarak görülmemektedir. İnşaat için elverişsiz olan zemin tabakasının kaldırılıp, yerine istenilen özelliklere sahip zemin getirilerek kullanılması üst yapılar için teknolojik ve ekonomik nedenler sebebiyle çoğu kez uygun görülmemektedir. Buna ek olarak tekniğe uygun yerleştirilen ve sıkıştırılan toprak dolgular, arazide bulunan zemin katmanlarının niteliklerinin ıslah edilmesi uygulamalarında özellikle yol ve su yapıları gibi yüzeysel temele sahip yapılar için yaygın olarak kullanılmaktadır (Özaydın, 2011).

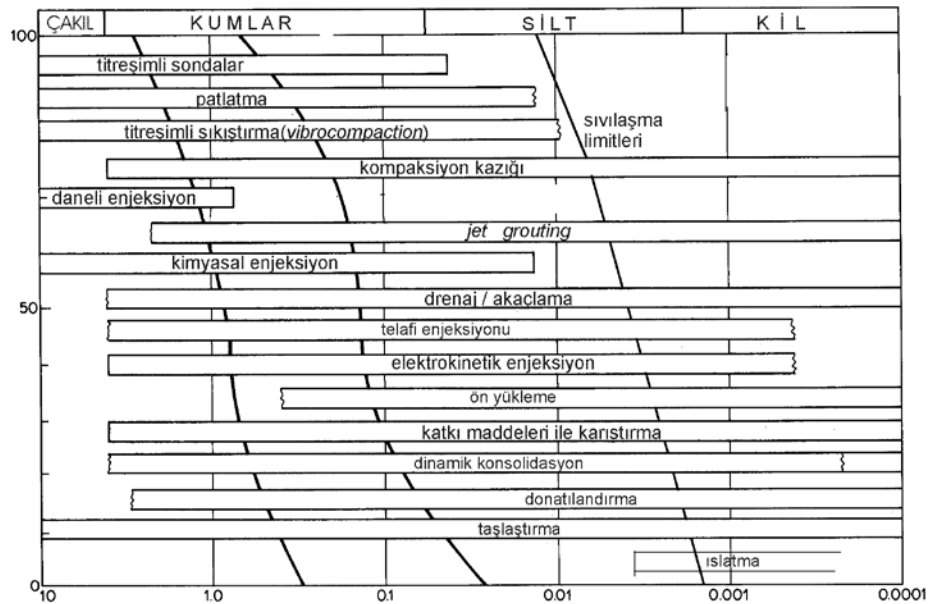
Zemin iyileştirilmesi, zeminin; birim hacim ağırlığı, ısı iletkenliği, geçirimsizliği, göçebilirliği, şişme/büzülme yeteneği, dağınık yapısı gibi özelliklerini değiştirmeyi gözetir. İnşa edilecek bir yapıda, yeterli temel kazı derinliğine inilmesine karşın zeminin istenilen taşıma gücü ve oturma limitleri hedefine ulaşamayarak yapı yükünün yüzeysel temele taşıtılamaması durumunda, zemin için stabilizasyon

uygulaması gerekir. Stabilizasyon uygulamaları özellikle, sıkışabilirliğin ve kayma direnci değerlerinin kabul edilebilir bir seviyeye ulaştırılması ayrıca sıvılaşma riskinin giderilmesi olarak bilinmelidir (Önalp ve Sert, 2010).

Genel bir bakış açısı ile zemin iyileştirmesinde uygulanabilecek metotlar iki temel sınıfta irdelenebilir. Birincisi toprak dolgular için kullanılacak dolgu zeminlerinin niteliklerinin iyileştirilmesi ve elverişli dolgu toprağı oluşturma metotları olarak düşünülebilir. Bu sınıf kapsamında akla gelebilecek temel metotlar ise; sıkıştırma (kompaksiyon) metotları ve kireç, çimento, cüruf, uçucu kül, bazalt fiber, kimyasal maddeler gibi katkı malzemesi kullanılması ile zemin niteliklerinin stabilizasyonu yöntemleridir (Özaydın, 2011).

İkinci grup ise doğal zemin tabakalarının özelliklerinin yerinde iyileştirilmesi yöntemleridir. Bu grup içinde düşünülebilecek başlıca yöntemler ise; ön yükleme, drenaj, enjeksiyon ve dinamik stabilizasyon gibi yöntemlerdir (Özaydın, 1997).

Değişik zemin problemleri için farklı iyileştirme metotları kullanmak gerekebilir. Zemini meydana getiren katmanların, dane çapına uygun zemin iyileştirme yöntemleri uygulama aralığı Şekil 2.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Dane boyutuna göre zemin iyileştirme metotları (Mitchell, 1981)

Genel manada zemin iyileştirme metotları, uygulamanın derinliğine bağlı olarak;

- a. Yüzeysel zemin stabilizasyonu
- b. Derin zemin stabilizasyonu

şeklinde iki gurup halinde sınıflandırılırlar.

2.1. Yüzeysel Zemin İyileştirme Yöntemleri

Son yıllarda ilerleyen teknoloji ve araştırmalar zemin iyileştirme yöntemlerinde kullanılacak makine, teçhizat ve materyallerin çeşitlenmesine olanak sağlamıştır. Yüzeysel zemin iyileştirme yöntemleri diğer iyileştirme yöntemlerine kıyasla daha az maliyetli yöntemlerdir. Derin zemin iyileştirmelerinin uygun görülmediği yerlerde uygulanan metotlara yüzeysel zemin iyileştirilmesi denilebilir. Yüzeysel zemin iyileştirmeleri genellikle demiryolu, karayolu gibi yol inşaatlarında veya üstyapı yüklerinin çok fazla olmadığı yapılarda kullanılan yöntemlerdir. Yüzeysel zemin iyileştirme yöntemlerini genel olarak, katmanlar halinde serilen katkılı veya katkısız zeminin çeşitli baskılama metotları ile sıkıştırılması ve zemine drenaj uygulaması yapılması olarak özetleyebiliriz.

2.1.1. Kompaksiyon

Kompaksiyon (sıkıştırma) yöntemi, baskılama neticesinde zemin danelerinin birbirlerine yaklaştırılması ve danelerin arasında oluşan hava boşluklarının azaltılması hedeflenerek, mekanik vasıtalar yardımıyla zeminin daha kompakt bir yapıya sahip olmasını amaçlayan zemin sıkıştırılma işlemidir (Şekil 2.2.) (Özaydın, 2011).

Belirli bir zemini meydana getiren daneler farklı şekillerde sıralanırlar. Gevşek bir şekilde bulunan zemin danelerine nazaran sıkı bir biçimde dizilmiş danelerin zemin direnci ve dayanımı daha yüksektir. Bununla birlikte sıkı zeminler tekrarlı yüklemeye tabi tutulduklarında pozitif boşluk suyu basıncı oluşturma eğilimleri gevşek zeminlere göre daha düşüktür. Sıkılaştırma ile rijitliği artan zeminin deprem

hareketlerine tepkisinin farklı olacağı bilinmelidir. Sıkı zeminlerin yer değiştirme genlikleri muhtemel olarak azalacak fakat sıkıştırılmış zemindeki ivmeler gevşek zemine göre daha büyük olacaktır (Kramer, 2003).

Kuru birim hacim ağırlığı zemine ait sıkıştırma durumunun lsdr. Kuru haldeki zemin üzerine biraz su katıldığında daneler arasındaki sürtünmede azalma meydana gelir ve yağlanma etkisi ile danelerin sıkıştırılması kolaylaşır. Böylece zeminin kuru birim hacim ağırlığı da fazlalaşır. Zemin zerine su eklenmesine devam edildiği takdirde daneler arası boşluklar daki su artışı kuru birim hacim ağırlığının da artmasına sebep olması gerekirken kuru birim hacim ağırlığında azalma meydana getirir. Zemin tam olarak suya doyorulduğunda sıkışma olanaksızdır. Her bir zemin cinsine bağlı sabit bir sıkıştırma enerjisinde en yüksek kuru birim hacim ağırlığına ulaşılan optimum bir su muhtevası değeri vardır. Bu su miktarı zeminin en iyi şekilde sıkıştırılabileceği su muhtevası değeridir (Ayan ve Aksoy, 2009).



şekil 2.2. Titreşimli kompaksiyon silindiri (URL-1)

2.1.2. Drenaj

Drenaj, genel manada zeminden suyun uzaklaştırılması işlemidir. Yüzeysel drenaj da açılan hendeklerle suların toplanarak inşaat sahasından uzaklaştırılmasıdır. Hendekler suların tahliye edilmesi için eğimli bir şekilde yapılır. Hendek tabanlarında suyun akışını sağlayacak düzenlemeler (drenaj boruları, geotekstiller vb.) yapılarak üzerleri kum ve çakıl gibi uygun filtre malzemeleri ile doldurulur (Uzuner, 1995).

Bir zeminin su muhtevsındaki azalma, zeminin yararlı özelliklerinin oluşmasını sağladığı gibi su muhtevsındaki artma ise genellikle kohezyonlu zeminlerin taşıma gücü ve mukavemet değerlerinin düşmesine neden olur. Bu sebeple zeminin özelliklerini koruyabilmesi, araziden suyun tasfiye edilmesi ve araziye su girişinin önlenmesine bağlıdır (Uzuner, 1995).

Başlıca drenaj çeşitleri; Fransız drenleri, çevre drenleri, köstebek drenleri ve kuyu drenler olarak bilinir.

2.1.3. Çimento ile zemin stabilizasyonu

Çimento kullanılarak zemin stabilizasyonu, diğer kimyasal katkılı zemin stabilizasyonları gibi zeminlerin dayanım ve durabilite özelliklerini iyileştirmeyi amaçlayan derin zemin katmanları ve yüzeysel zemin stabilizasyonu için de kullanılabilen bir metottur. Çimento ile zemin iyileştirme, kireç stabilizasyonu gibi yaygın olarak kullanılan bir yüzeysel zemin iyileştirme metodudur. Özellikle karayolu, demiryolu ve havaalanları gibi hareketli yüklerin bir hayli fazla olduğu yapılarda çimento stabilizasyonu tercih edilen bir yöntemdir (Çetin ve Şenol, 2011).

Bu metotta, yüzeysel zemin iyileştirmeleri için çoğu kez Portland çimentosu tercih edilmektedir. Çimento, ilk reaksiyonlarında zeminin daneleri arasında güçlü bağlar oluşmasına sebep olur. Bu reaksiyonların etkinliğinin azalmaması için sıkıştırma işlemleri altı saatten daha az bir sürede bitirilmelidir. Gerçekleşen ilk reaksiyonlarda

çimentonun bilinen hidroliz ve hidratlaşması önemli bir rol oynar. Çimento, sonraki reaksiyonlarda ise kil mineralinin yapısında ve içeriğinde bulunan amorf malzemedeki değişiklikler sonucunda yeni bir bağlayıcının ortaya çıkmasını sağlamaktadır (Ayan ve Aksoy, 2009).

Genel olarak üç ayrı zemin-çimento karışımı bulunmaktadır. Bunlar;

- a. Plastik zemin-çimento karışımı
- b. Çimento katkılı zemin karışımı
- c. Sıkıştırılmış zemin-çimento karışımı

Plastik zemin-çimento karışımları, belirli oranlarda zemin, çimento ve su içeren, sıva harcına benzer kıvamda karışımlardır. Bu karışımlar genel olarak erozyona maruz kalan zeminlerde veya şevlerde uygulanmaktadır (Çetin ve Şenol, 2011).

Çimento katkılı zemin karışımları ise yarı-katılmış veyahut katılmamış bir zemin-çimento karışımlarıdır. Bu karışımda diğer çimentolu karışımlara oranla daha az miktarda çimentonun zemine ilave edilip karıştırılmasıyla zeminin fiziksel ve kimyasal özellikleri iyileştirilir. Zemine karıştırılan çimento sonucunda zeminin plastisitesi ve su tutma özelliği azalır lakin zeminin mukavemet ve taşıma gücü kapasitesi yükselir. Genel olarak yol dolguları, temel altı dolgular ve iksa arkası dolgularında uygulanmaktadır (Çetin ve Şenol, 2011).

Sıkıştırılmış zemin-çimento karışımları, diğer karışımlardan farklı olarak zemin, çimento ve su karışımının sıkıştırılma işlemine tabi tutulması ile elde edilir. Sonuç olarak oluşan zeminin mukavemet değerlerindeki iyileşme neticesinde yeni katman; ıslanma-kuruma ve donma-çözülme gibi etkenlere karşı yüksek durabiliteye sahiptir. Bu yöntem genel olarak yol yapılarında kullanılmaktadır (Çetin ve Şenol, 2011).

2.1.4. Kireç ile zemin stabilizasyonu

Kireç, kireç taşının yüksek sıcaklıklarda pişirilmesiyle oluşturulur. Kireç, suyla karıştırılması sonucu sertleşme ve katılma özelliği gösteren, inorganik ve beyaz renkli bağlayıcı bir maddedir. Kalsinasyon, kireç taşının yüksek sıcaklıklarda

pişirilme işlemine verilen addır. Kalsinasyon işlemi sonucunda meydana gelen CaO söndürülmemiş kalsiyum kirecidir. Kireçler söndürülmemiş halde kullanılamazlar. Sönmemiş kirece az miktarda su ilave edildiğinde kısa bir süre sonra sönmemiş kirecin kabarıp, yavaş yavaş çatlayarak dağıldığı gözlemlenebilir. Kirecin söndürülmesi bir hidrasyon olayıdır ve kirecin gösterdiği reaksiyon neticesinde sıcaklık artışı ve buharlaşma meydana gelir (Çetin ve Şenol, 2011).

Killi zeminlerin büyük bir bölümüne %3 ila %8 sönmüş kireç ilave edilmesi stabilizasyon açısından olumlu sonuçlar verir. Kirecin kil mineralindeki silisle reaksiyona girmesi neticesinde ortamda silikat jeli oluşur. Kil danelerini ve tabakalarını çevreleyen silikat jeli zeminin boşluklarının arasını doldurur ve belirli bir süre sonunda oluşan kristalleşme hidratlı silis dönüşür (Özaydın, 2011).

Kireç ile yapılan stabilizasyon uygulamalarında, reaksiyonlar sonucu killi zeminin kimyasal yapısı bozulmakta ve killi zemin tekrar eski haline gelememektedir. Kilin şişme ve su tutma özelliklerini kaybetmesi sonucunda, killi zeminin tekrar su ile teması halinde kil davranışı göstermemesi, zeminin uygun stabilizasyon değerlerini yakalamasını sağlamaktadır (Akyarlı vd., 2018).

Kireç stabilizasyonu sahada 3 farklı şekilde yapılabilmektedir;

- a. Stabilizasyon için uygun orandaki kireç, arazide zemin ile karıştırılır ve su ilave edilerek serilip sıkıştırılır.
- b. Zemin, kireç ve su karışımı, gerekli miktarlarda tesiste hazırlanır, araziye tabaka halinde serilen karışım kompaksiyona tabi tutularak yerleştirilir.
- c. Kireç-su karışımı zemine basınçla enjekte edilir. Bu enjeksiyon metodu ile 4.00 m ila 5.00 m derinlikteki zemin katmanlarına kadar karışım ulaştırılır. Sonrasında farklı metotlarla zemin-kireç karışımı kompaksiyona tabi tutulur (Das, 2007).

Uygulanış bakımından, kireç kullanılarak yapılan stabilizasyon yöntemi bir hayli basittir. Laboratuvarda yapılan deneylerin yardımıyla bulamaç için en uygun karışım oranı ve uygulamanın yapılması gereken derinlik miktarı belirlenir. Uygulamada,

farklı iş makineleri tarafından yüzeysel olarak serilen kireç, keçi ayaklı silindir makinası yardımıyla istenen zemin derinliğine kadar karıştırılır (Şekil 2.3.) (Çetin ve Şenol, 2011).



Şekil 2.3. Killi zeminin kireç ile stabilizasyonu (URL-2)

2.1.5. Uçucu kül ile zemin stabilizasyonu

Termik santrallerde yakıt olarak kullanılan öğütülmüş kömürün yanması neticesinde ortaya atık olarak ayrı tiplerde kül ve cüruf çıkmaktadır. Fırın tabanındaki küllerle beraber gazlarla birlikte yükselemeyen uçucu küllerin yanında, taban külü olarak isimlendirilen bir miktar cüruf da birikir. Atık olarak fırın tabanında biriken bu malzemenin içeriğini yaklaşık olarak %75 ila %80 civarında uçucu kül oluşturmaktadır. Uçucu kül, taş veya linyit kömürlerinin çok yüksek bir sıcaklıkta yanmaları neticesinde ortaya çıkan ve baca gazları ile beraber alıp götürülen silis ve alimünosilisli toz halindeki yanma atığıdır (Alkaya, 2009).

Uçucu küllerin, kendi başlarına bağlayıcılıkları ya hiç yoktur ya da bağlayıcılık özellikleri çok zayıftır ama nemli ortamda kalsiyum hidroksitle birleştiklerinde hidrolik bağlayıcılık sergileyebilme niteliği kazanan silisli ve alüminli malzemelerdir (Çetin ve Şenol, 2011).

Özellikle gevşek ve yumuşak tipteki zeminler için iyileştirme metotlarına kullanılabilir ek bir yöntem olarak uçucu kül kullanımı, yüzeysel zemin stabilizasyonu açısından güzel neticeler vermektedir. Uçucu kül ile zemin karışımlarının dayanım özelliklerini belirlenmesi ve arazi uygulamasında kullanmak üzere en elverişli karışım oranlarını bulmak için çok çeşitli laboratuvar deneylerinin yapılması elzemdir. Uçucu kül ile zemin stabilizasyonu uygulaması, genel manada gevşek zeminin uçucu kül ilave edilerek karılması sonrasında çeşitli iş makineleri maharetiyle sıkıştırılması işlemidir (Çetin ve Şenol, 2011).

Uçucu külün, yüzeysel zemin iyileştirmelerinde uygulanmasında etkili olan en önemli faktör uçucu külün tipidir. Genel olarak yüzeysel zemin iyileştirmeleri işlemlerinde, tercihen C tipi uçucu küller kullanılmaktadır. Uçucu küller F ve C tipi olmak üzere iki tipe ayrılırlar (Çetin ve Şenol, 2011).

- a. F Tipi; CaO miktarı % 10'dan az olan düşük kireçli/kalsiyumlu uçucu kül.
- b. C Tipi; CaO miktarı % 10'dan fazla olan yüksek kireçli/kalsiyumlu uçucu kül.

2.1.6. Bitüm ile zemin stabilizasyonu

Genellikle yol yapılarında kullanılan bu yöntemde, temel zeminine bitümlü madde uygulanması ile iri daneli temel zemininin kohezyon miktarı artar. Bitüm ince daneli zemine ilave edilip karıştırıldığında zemine sızdırmazlık (geçirimsizlik) özelliği verir. Fakat maliyeti yüksek olduğundan diğer katkı malzemelerine oranla daha az kullanılır.

Bu metoda en iyi şekilde 18'den az plastisiteye sahip zeminler cevap verirler. Bu yöntem daneler için birleştirici bir görev gördüğü gibi danelerin asfalt ile kaplanmasını da sağlar. Danelerin yüzeyinin asfalt ile kaplanması ince daneli zeminlerin sudan yumuşamasını engeller. Ayrıca danelerin birbirine yapışması sonucu su ve rüzgar erozyonuna karşı dayanıklılığı artar (Özaydın, 2011).

Bitümlü emülsiyonlar ile zemin stabilizasyonu genellikle kuru iklimler için elverişlidir. Bu şekildeki zeminler su ile birlikte bağlayıcılık özelliği olan bitümlü madde karıştırılır. Farklı bir metot olarak Biritanya'da sıvı bitüm karışımının içine çimento ilave edilerek karıştırılması için bir yöntem bulunmuştur. Bu yöntemle göre hazırlanmış bitüm karışımı ince daneli zeminlere uygulandığında, bir müddet sabit kalınarak zeminin her yerine bitümün sirayet etmesi sağlanır. Çimentonun bitüm karışımına ilave edilmesi ile beraber, emülsiyon parçalanır ve çimentonun hidratasyonu ile beraber zemin içerisindeki su emilir. Bu reaksiyon sonucu zeminin mukavemeti artar. Pratikte %5 ila %8 oranındaki bitüm karışımı, %3 ila %5 arasında çimento ile karıştırılmaktadır. Ortaya çıkan malzemenin özelliği zemin-çimento karışımı ile zemin-bitüm karışımının nitelikleri arasındadır. Bu karışım sayesinde zemin sert ve dayanıklı olmakla beraber su geçirmezlik özelliğine de sahip olur (Özaydın, 2011).

2.2. Derin Zemin İyileştirme Yöntemleri

Genellikle yüksek katlı inşaat zeminlerinde veya yapı tasarımına bağlı olarak güzergah değişimi yapılamayan yol yapıları gibi yapı yüklerinin fazla olduğu ve buna bağlı olarak zemin dayanımının zayıf olduğu durumlarda, zeminler yüzeysel zemin stabilizasyonu yöntemleriyle iyileştirilemeyebilir. Bu gibi durumlarda zemin açısından olumsuzlukların giderilmesi için zeminin daha derin katmanlarına kadar iyileştirme yapmak zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle birçok derin zemin iyileştirme yöntemi geliştirilmiştir.

2.2.1. Ön yükleme (sürşarj) yöntemi

Bilhassa suya doygun haldeki siltli ve killi zeminlerde, yapı yükünden kaynaklanan yerleşme sonucundaki oturmaların miktarını azaltmak veya oturmaları tamamen ortadan kaldırmak ve zeminin dayanım değerlerini yükseltmek için, tasarlanan üst yapının yapı yüküyle aynı değerde olan bir dolgu yükünün, problemlili zeminin üzerine yüklenerek problemlili zeminin konsolide edilmesi işlemine ön yükleme (Sürşarj) yöntemi denir. Suyu doymuş haldeki problemlili zeminlerin, alacakları fazladan bir yük sonucunda üzerlerinde oluşan fazla basınç ilk olarak zeminin ihtiva ettiği su tarafından taşınır. Neticede zemin içerisinde artık boşluk suyu basıncı oluşur. Oluşan bu basıncın sönmülenebilmesi zemindeki permeabilite (geçirgenlik) değerine bağlıdır. Düşük permeabiliteli zeminlerde artık boşluk suyu basıncının sönmülmesi uzun zaman alır. Problemlili doygun zemin üzerine yüklenen bu dolgu nedeniyle meydana gelen artık boşluk suyu basıncının sönmülmesi ile beraber doygun zeminindeki yüksek su içeriği drene olur ve zemindeki oturma hızlandırılır. Böylece zemindeki boşluk oranı azalır ve dayanım özellikleri bakımından daha güçlü bir zemin elde edilir ve en önemlisi de inşaa sürecinde meydana gelebilecek oturmaların önüne geçilmiş olunur (Çetin ve Şenol, 2011).

Problemlili zemine uygulanan ilave dolgu yükü ile zeminde istenen miktarda oturma sağlandıktan sonra dolgu kaldırılır. İlerleyen süreçlerde ön görülen olası oturma miktarı azaltılan zemin üzerine yapılması tasarlanan üst yapının inşasına başlanabilir. İnşaa edilecek yapının oturacağı zeminin killi, yumuşak ve aşırı sıkışabilir olması durumunda önyükleme tekniği ile çok güzel sonuçlar elde edilmektedir. Ön yükleme metodu diğer iyileştirme yöntemlerine nazaran daha ucuz fakat problemlili zemindeki oturmaların tamamlanması için gereken zaman açısından dezavantajlıdır (Erol ve Şenol, 2008).

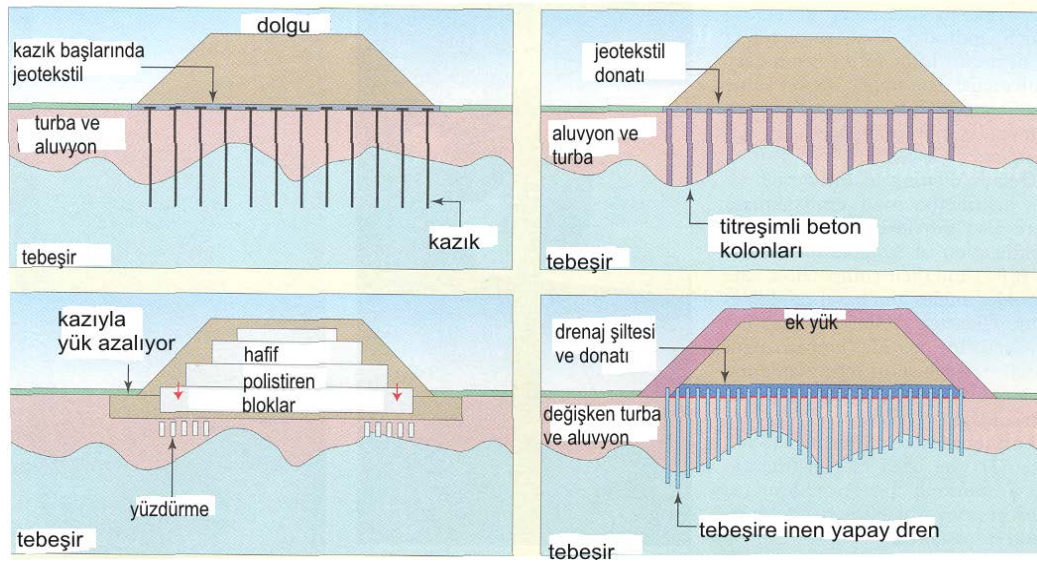
Ayrıca önyükleme yönteminde oturma sürecini hızlandırmak ve dolgu yükünü azaltmak için düşey drenler kullanılmaktadır.

2.2.2. Kum drenleri

Ön yükleme süresi uzun olan çok ince daneli zeminlerde bu zamanı kısaltmak amacıyla, zeminde belirli mesafelerle kum drenleri meydana getirilir. Bu amaçla, ucu açık olmayan bir kaplama borusu zemine çakılarak veya ucu açık bir kaplama borusu içi boşaltılarak zemine indirilir. Kum, çakıl gibi filtre malzemeleri kaplama borusu çekilirken içine doldurulur. Bu drenlerin çapı 30 cm ila 60 cm arasında olabilmektedir. Son zamanlarda, bu yöntemde kullanılmak için hazır drenler geliştirilmiştir. Bu drenlerin kesitleri yaklaşık olarak 10 cm x 0.4 cm şeklinde olup, özel teçhizatlar yardımı ile zemine sokulmak suretiyle drenler arası belirli mesafeler bırakılarak zemine yerleştirilmektedir. Bu drenlerin avantajları, kum drenlerine göre, daha seri bir şekilde inşa edilebilmeleridir. Ön yüklemde, tabii zemin üzerine yerleştirilen dolgunun altındaki zeminde bulunan suyun bir kısmı düşey doğrultuda çıkarken daha büyük bir kısmı yatay olarak drenlere doğru akmakta oradan da tahliye olmaktadır. Böylece konsolidasyon hızlanmakta, konsolidasyon süresi birkaç kat düşürülmektedir (Uzuner, 1995).

2.2.3. Prefabrik drenler

Prefabrik drenler, kum drenleriyle benzer vazife görürler. Belirli bir aralıkla düşey şeritler halinde oluşturulan, geçirgenlik değeri yüksek oluklu kağıt ya da plastikten imal edilen drenlerdir. Plastik drenlerin kum drenlerine göre en büyük avantajları daha hızlı bir şekilde inşa edilmeleridir. Plastik drenin zeminin içine yerleştirilme hızları bir hayli yüksektir. Problemlili zeminde 20 m'lik bir derinlik için yaklaşık süre 3 dakika civarındadır. Daha hızlı konsolidasyon için kum drenlerine göre daha sık yerleştirilebilirler. Plastik drenler 1 m ila 2 m aralıklarla, 20 m ile 25 m derinliğe kadar sokulur. Drenler arası mesafeler özellikle yapı inşası başlamadan önceki zemin iyileştirme müddetini 2 ila 3 ay'a indirir, fakat bu aralıklar arzu edilen konsolidasyon miktarına ulaşılabilmemesi için değiştirilebilir (Şekil 2.4.) (Ayan ve Aksoy, 2009).



Şekil 2.4. Ön yükleme yöntemi ve prefabrike drenler ile zemin iyileştirilmesi (Önalp ve Sert, 2010)

2.2.4. Dinamik kompaksiyon

Dinamik kompaksiyon hem yüzeysel zemin iyileştirme yöntemlerinden hem de derin zemin iyileştirme yöntemlerinden biri olup, yumuşak zeminlerde uygulandığı takdirde dinamik konsolidasyon olarak da isimlendirilebilir. Gevşek ve yumuşak zeminlerde taşıma gücünün artırılması, oturmanın azaltılması amacı ile zemine dinamik gerilme ve titreşim uygulayarak zeminin sıkıştırılması işlemi olarak tanımlanabilir. Uygulama şekli olarak belirli bir ağırlığın bir vinç maharetiyle, hesaplanan belirli bir yükseklikten problemlili zemin üzerine düşürülmesiyle zeminin sıkıştırılıp boşluk oranının düşürülmesi işlemidir (Şekil 2.5.).

Dinamik sıkıştırma işlemlerinde genellikle kullanılan ağırlık miktarları 10 ton ila 20 ton aralığında değişkenlik göstermektedir. Günümüzde vinçlerin düşürme yükseklikleri 40 m' ye kadar varabiliyorken bu stabilizasyon yönteminde düşürme yükseklikleri genellikle 10 m ila 20 m arasında kalmaktadır. Yaygın bir şekilde kullanılan bu yöntemde zemin tipine bağlı olarak düşürülen ağırlığın büyüklüğü, düşme yüksekliği ve vuruş adedi belirlenir. Bu yöntem sayesinde iyileştirme, zeminin büyük derinliklerine kadar etki edilebilmektedir (Bowles, 2001).

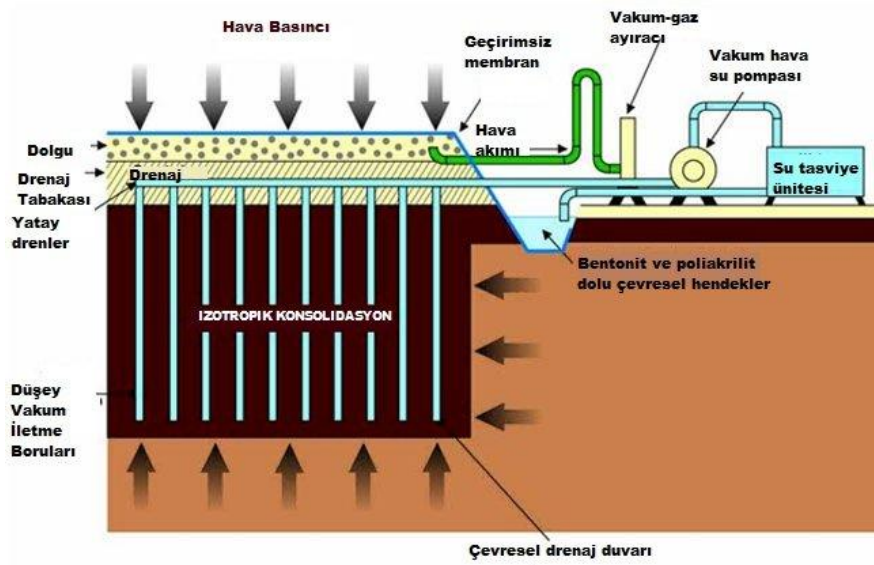
Dinamik kompaksiyon yöntemi kum, çakıl, silt, kil gibi birçok doygun zeminde uygulanabilir, lakin zemindeki ince dane oranı arttıkça zemini iyileştirme etkisinde azalmalar görülmektedir. Suyu doygunluğu az olan killerde yeraltı su seviyesi üzerindeki bir zemin katmanında dinamik kompaksiyonla zemin iyileştirilmesi yapılabilir, ancak doygun killerde oluşacak anlık boşluk suyu basıncı etkisiyle neredeyse hiçbir iyileştirme etkisi görülmez (Bowles, 2001).



Şekil 2.5. Dinamik kompaksiyon uygulaması ile zemin iyileştirme (Önalp ve Sert, 2010)

2.2.5. Vakumla su emme yöntemi

Yüze vakum uygulanması metodu, dolgunun uygulanacağı yerlerde dolgunun maliyetinin fazla olduğu ve de gevşek zeminin kayma direncinin öndolgu yüksekliğine limitler getirdiği hallerde kullanılır. Şekil 2.6.'da görüldüğü gibi bir kum katmanı üzerine geçirimsiz bir membran kılıf serilir ve uygulama yapılacak sahayı kuşatacak ölçüde etrafı kapatılır. Kum tabakası içerisinde plastik dren şebekesi devam eder. Yüze tabakasına uygulanan vakum kuvveti plastik dren sisteminde fazladan boşluk suyu basıncı oluşturur. Bu sayede oluşturulan farklı boşluk suyu basıncı da konsolidasyonun hızlanmasına neden olur (Ayan ve Aksoy, 2009).



Şekil 2.6. Vakum ile su emme yöntemi (URL-3)

2.2.6. Kompaksiyon kazığı

Gevşek zeminlerin iyileştirilmesinde, zemini sıkıştırmak amacıyla kullanılan kazıklar, kompaksiyon kazıklarıdır. Bu kazıklar, gevşek olan kum veya çakıl çökelin içerisine bir ağ geometrisinde yerleştirilerek, kumun sıvılaşma potansiyelini azaltan, ahşap ya da öngermeli betondan oluşan yer değiştirme kazıklarıdır. Kompaksiyon kazıkları, iyileştirme işlemi 3 farklı şekilde gerçekleştirir; birincisi, zeminin hareket etmesine karşı, kazıkların kendi eğilme dayanımının güçlendirilmesidir, ikincisi yerleştirilmeleri sonucunda oluşan titreşimler ve yer değiştirmeler sıkılaşmayı sağlar, üçüncüsü ise bu işlem kazığa komşu bölgedeki yanal gerilmeleri yükseltir. Bu kazıklar, zemini kazık çapının 7 - 12 katı mesafe içinde sıkıştırır ve bir ağ şeklinde yerleştirilir. Kompaksiyon kazığı ile maliyet yükselmeden 20 m derinliğe kadar iyileştirmeler yapılabilir. Bu nedenle maliyet ve uygunluk açısından bu kazıklar özellikle suya doymuş zeminlerde daha çok tercih edilen yöntemdir (Kramer, 2003).

2.2.7. Vibro kompaksiyon metodu

Bir zemin katmanını tüm kalınlığı çerçevesinde bir ağ gibi kompakte eden bir sondanın kullanıldığı yöntemin adı vibro kompaksiyon yöntemidir. Bu yöntem iki

şekilde yapılır; biri yatay titreşim tekniği, diğeri düşey titreşim tekniğidir. Bu yöntem, sismik tehlikeleri azaltmada en çok kullanılan tekniklerden biridir.

2.2.8. Yatay titreşim tekniği (vibroflotasyon)

Bu yöntemde, bir vince asılan ve torpidoya benzeyen bir sonda kullanılarak zemin çökeli sıkılaştırılır. Genelde 3,0 m ile 4,9 m uzunluğuna sahip vibroflotlar, elektrik ya da hidrolik bir güç vasıtasıyla sürülen, merkezi bir şafta eksantrik bir şekilde monte edilmiş bir ağırlık içerirler. Vibroflot, ilk olarak çökelin tabanına titreşim ile sondanın konik ucundan su veya basınçlı havanın kombinasyonu ile indirilir. Sonrasında 60 cm ile 90 cm'lik kademelerle ve 30 cm/dak'lık ortalama hızla yukarı doğru çekilir. Vibrasyon bu çekme sürecinde devam eder. Vibroflotun üst kısmında bulunan kanallar ile basınçlı su verilerek, vibroflotun üstündeki zemin geçici olarak gevşetilerek yukarı doğru çekilmesi kolaylaştırılır. Bu titreşimler, Vibroflotu saran zeminin sıkılaşmasını sağlayan lokal ve geçici bir sıvılaşma zonu oluşturur. Genellikle sondanın üstündeki zemin yüzeyinde konik bir çöküntü oluşur. Bu çöküntü, vibroflot çekilirken granüler bir malzemeyle doldurulur. Buna ek olarak, tabandan besleme sistemli vibroflotların uç kısımlarından granüler malzeme verilebilir. Vibroflot çekildiğinde arkasında sıkılaşmış bir zemin kolonu kalır. Çakıl veya mıcır uygulanmış zeminde oluşan taş kolonu, hem sıkılaştırma hem de donatı ve drenaj işlevi görür. Son zamanlarda tabandan beslemeli sistemlerin kullanımı giderek artmıştır (Kramer, 2003).

Vibroflotasyon yöntemi sıklıkla ince dane oranının %20'den ve kilin de %3'den az olduğu temiz granüler zeminlerde kullanılır. Bu tarz zeminlerde vibroflotun çevresindeki 12 ile 18 inçlik çap içinde tipik olarak yüksek yoğunluklar ve daha uzak ışınsal mesafelerde ise daha düşük yoğunluklar oluşturur. Bir bölgenin tamamını kompakte etmek için vibroflotasyon uygulama aralığı zemin şartlarına ve vibroflotun gücüne bağlı olarak bir ağ gibi gerçekleştirilir. Ayrıca en fazla tercih gören vibroflotasyon uygulama aralığı 2 m ila 3 m arasındadır (Kramer, 2003).

2.2.8.1. Vibro tij

Bu yöntemde, titreşimli bir kazık çakma çekici kullanılarak uzunca bir sondanın zemin içerisinde vibrasyona uğraması sağlanır. Sonrasında sonda yukarıya çekilerek aynı esnada sondayı titreştirmek kaydıyla zemin sıkışmaya devam etmektedir. Vibrokompaksiyonda farklı sondalar kullanılmaktadır. Terraprobe sisteminde 76 cm'lik açık uçlu bir çelik boru kullanılarak zemin sıkılaştırılır. Vibrowing sisteminde 50 cm'lik aralıklarla ve çapsal olarak birbirine zıt yönde yerleştirilmiş 80 cm'lik kanatlardan oluşan merkezi bir tij kullanılır. Franki Y-probe sisteminde aralarında 120 derecelik açılar bulunacak şekilde kaynatılmış 50 cm genişliğindeki çelik plakalardan oluşan merkezi bir tij kullanılır. Bu sistemin etkili olduğu zeminler vibroflotasyonun etkili olduğu zeminler gibidir (Kramer, 2003).

2.2.9. Patlatma metodu

Uzun zamandan beri uygulanan bu yöntemde gevşek granüler zeminler patlatma yoluyla da sıkılaştırılmaktadır. Bu yöntemde zemin tabakaları içerisinde sondajlamayla veya basınçlı su uygulama usulü ile açılmış kuyularda dikey olarak 3 m ile 6 m mesafelerle oturtulmuş çoklu patlayıcıların ardışık ateşlemelerle patlatılması şeklinde gerçekleştirilir. Bu kuyuların arasında 5 m ile 15 m arası mesafe olmalı ve patlatmadan önce arka dolgusu yapılmalıdır. Zemin yüzeyi patlamadan hemen sonra yukarı çıkar ve zemindeki çatlaklar arasındaki su ve gazlar dışarı çıkarılır. Fazla olan gaz ve su basıncı azalırken, zemin yüzeyi de bu süreçle beraber yerleşmiş olur. İstenilen sıklık kademesini elde edebilmek için iki veya üç aşamalı patlatma yapılır. Bu yöntemin genellikle işe yaradığı zeminler, %20'den az silt ve %5'den az kil ihtiva eden gevşek kum zeminlerdir. Patlatmanın etkinliğini önemli derecede azaltan önemli bir özellik te zeminde, çok düşük orandaki kil ya da ince bir kil damarı bulunmasıdır. Kuru zeminlerde patlatma yöntemi etkilidir, fakat bu etkiyi kılcal çekim ve gaz kabarcıkları sıfırlayabilir. Bu tarz zeminlerde, zemin danelerinin daha sıkı olmasını sağlayan lokal ve geçici bir sıvılaşmaya sebep olan etken patlatma ile oluşturulan şok dalgalarıdır (Kramer, 2003).

Bu yöntemin maliyeti oldukça uygundur, yalnız pratik uygulama açısından sınırlamalara sahiptir. Çevredeki yapılara zarar verebilecek derecede titreşim ve yer değiştirmeler oluşabilir. Bu yöntemde ilaveten taşıma ve saklama açısından dikkat gerektiren tehlikeli patlayıcılar kullanılmaktadır (Kramer, 2003).

2.2.10. Taş kolonlar

Taş kolonlar ile zemin ve saha şartlarına bağlı olarak zeminin taşıma kabiliyeti yükseltilmekte, oturma (konsolidasyon) hızlandırılmakta ve sismik olarak da sıvılaştıran veya taşıma gücünü kaybeden zeminler güçlendirilmektedir. Bu yöntem çoğunlukla orta katı ve yumuşak kil zeminlerde ve iyileştirilmesi gereken zemin katmanının derinliğinin 10 m'yi geçmediği durumlarda yapılabilmektedir. Bu yöntem uygulamaları ile oturma problemleri %50 ile %60 miktarında indirilebilmekte, zeminin taşıma gücü kapasitesi ise çok daha fazla değerlere çıkarılabilmektedir. Taş kolon uçlarının derinlerde sert ve güçlü bir zemine oturtulması tavsiye edilmektedir (Nalçakan, 2004).

Taş kolonların inşa metodu olarak,

- a. Vibroflotasyon ataşmanları ve hava veya su ile taş kolonların oluşturulması.
- b. Problemlili zeminin klasik foraj ile dışarı atılması suretiyle problemlili zemin yerine çakıl doldurulması ve sıkıştırılması.
- c. Zemine boru çakılması ya da itilmesi sayesinde zeminin sıkıştırılarak kolonların oluşturulması imalatları yapılabilmektedir (Nalçakan, 2004).

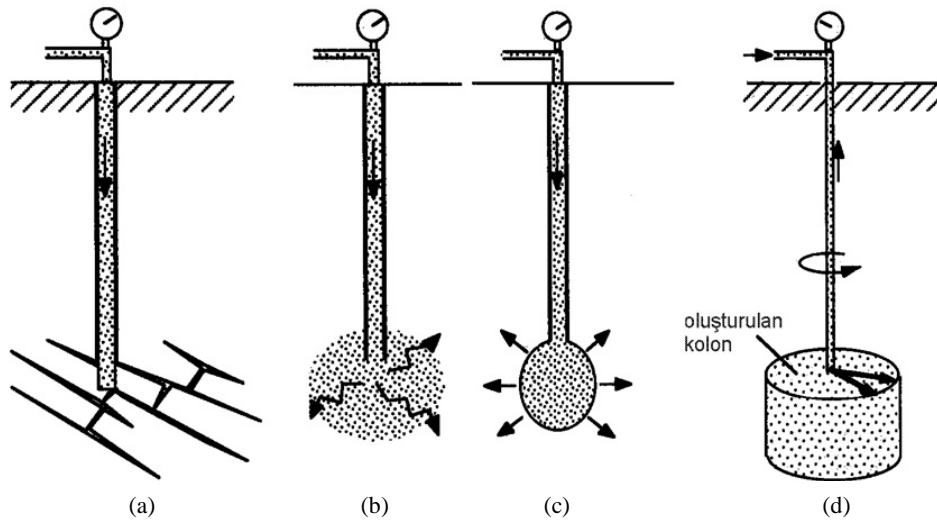
Tasarlanan üstyapının yapı yükleri ve zeminin taşıma gücü durumuna göre yerleşim planında kare veya üçgen yerleşimle 60 cm ila 100 cm çap arasındaki taş kolonlar projelendirilebilmektedir. Taş kolon imalatlarında kullanılacak taşların, temiz ve çoğunlukla 10 mm ila 50 mm boyutlarında, taşların arasını dolduracak çakıl malzemenin ince oranının ise %5 ila %10 arasında olması gerekmektedir (Nalçakan, 2004).

2.2.11. Enjeksiyon yöntemleri

İyileştirme ve stabilizasyon amacıyla, zemin veya kaya ortamına basınç altında ve sondaj kuyusu gibi bir girişten akışkanlaştırılmış bir madde yollama işlemlerine enjeksiyon denmektedir. Enjeksiyon yöntemleri, çeşitli amaçlarla uygulanmakta olup hacimsel olarak en büyük uygulama baraj temellerinin geçirimsizliğinin sağlanması amacıyla gerçekleştirilmesidir. Bu çalışmalar, üç kategoriye ayrılmaktadır;

- a. Sızdırma
- b. Telafi
- c. Jet

Yapılara yönelik enjeksiyon çalışmaları zeminin güçlendirilmesi, sıvılaşma potansiyelinin azaltılması, farklı oturmaların giderilmesi, bazı özel durumlarda komşu yapının güvenliğine yönelik olarak kazı duvarlarının oluşturulması gibi giderek artan önemli uygulamalar bulmaktadır (Şekil 2.7.) (Önalp ve Sert, 2010).



Şekil 2.7. Enjeksiyon türleri (a) ve (b) Sızdırma, (c) Telafi, (d) Jet (Önalp ve Sert, 2010)

2.2.11.1. Sızdırma enjeksiyonu

Sızdırma enjeksiyonu, kumlar ve çakıllar gibi zeminlerin yapısını bozmayacak şekilde düşük viskoziteli daneli şerbetin zemine düşük basınçlarda verilmesi tekniğidir. Enjeksiyon sıvısı, ortamın koşulları uygun ise, çatlak ve boşluklara girerek tıkama yapar ve daneleri yapıştırır. Böylelikle kayma direnci ve temel taşıma gücü arttığı gibi sıkışabilirlik ve geçirimsizlik azalır. Enjeksiyon basıncının o bölgedeki örtü yükü eşdeğerinden yüksek olmaması sağlanarak yüzeyde oluşabilecek kabarmalar önlenmiş olur. Farklı türdeki şerbetlerin değişik zemin koşullarına uygun olup olmadığını etkileyen en önemli etken uygulanacak zeminin dane boyutudur. Çakıl ve kum gibi geniş gözenekli zeminlerde az da olsa viskoz çimento şerbetleri de dahil hemen her çeşit enjeksiyon şerbeti kullanılabilir. Kimyasal enjeksiyon şerbetlerinin viskozitesi daneli şerbetlere göre daha düşük olduğundan ince kumlarda kullanılabilir. Problemlili zeminde ince daneli malzemelerin oranının fazlalığı sızdırma enjeksiyonunun etkisini düşürür (Kramer, 2003).

Sızdırma enjeksiyonu iki ana çalışma prensibi ile zemin iyileştirmesi gerçekleştirmektedir. İlk olarak, şerbetin zemin daneleri arasındaki teması kuvvetlendirme yöneliminde olması ve böylelikle enjeksiyonlanamayan zemine göre iskelet yapısı daha güçlü ve daha sert olan bir zemin meydana getirilmesidir. İkincisi de, enjeksiyon şerbetinin zemin içindeki boşlukları doldurmak suretiyle böylelikle tekrarlı yükleme esnasında fazla boşluk suyu basıncı oluşumunun azaltılmasıdır (Kramer, 2003).

2.2.11.2. Telafi enjeksiyonu

Bu yöntem, orta – yüksek viskoziteli sıvı enjeksiyon şerbetinin zeminde çatlak ve boşluklara girmeden kontrollü bir şekilde ortama yüksek basınçla yollanması işlemidir. Bu yöntemle zemine önemli ölçüde ek hacim girişi olduğundan kontrollü veya kontrolsüz sıkışma etkisi oluşur. Ayrıca bu yöntemle mevcut yapının istenilen yönde ötelenebilmesi sağlanabileceği gibi ortamın sıkıştırılması neticesinde zeminin taşıma gücünde de artış meydana gelir (Önalp ve Sert, 2010).

2.2.11.3. Kayada enjeksiyon

Genellikle baraj temellerinde geçirimsizliğin sağlanması amacıyla ile çimentolu enjeksiyon şerbetinin kaya ortamına sızdırma veya sıkıştırma yöntemiyle uygulanması işlemidir. Son yıllarda yüksek basınçlar kullanarak, ayrılmış ve killeşmiş ortamda olası çatlaklara şerbetin iletilebilmesi için çatlatma veya yapraklandırma enjeksiyonu olarak da adlandırılan bir yöntem kullanılmaktadır (Önalp ve Sert, 2010).

2.2.11.4. Çatlatma enjeksiyonu

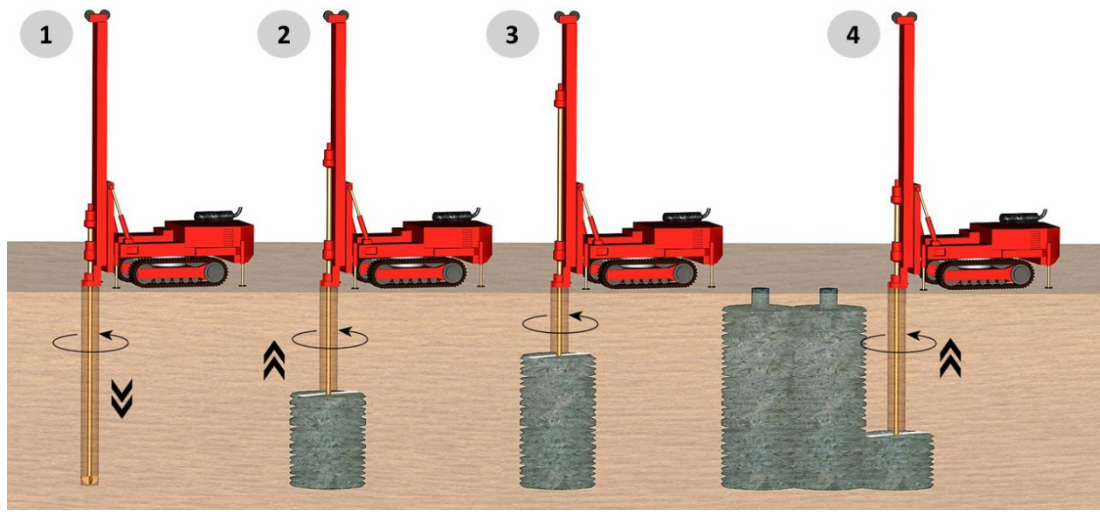
Hidrolik iletkenliğin zayıf olduğu kil ve kaya ortamlarında telafi enjeksiyonuna benzer bir metottur. Bu yöntemde, ortama yüksek basınçla yollanan şerbetin kılcal çatlakları daha da açarak veya yeni çatlaklar oluşturularak zeminde olası oturmaların önüne geçmek amaçlanır (Önalp ve Sert, 2010).

Teorikte, oluşan ilk çatlakların asal gerilme düzlemlerine eşit olması beklenirken yapılan gözlemlerde, bunların daha çok zayıf tabakalanma düzlemlerini takip ettiği görülmektedir. İyileştirme maksadıyla ilk karışımın verilmesinden sonra tekrarlanan çatlatma enjeksiyonu, zemini farklı yüzeyler boyunca çatlatır. Neticede birbirleriyle çakışan enjeksiyon merceklerinden müteşekkil bir ağ ortaya çıkar. Zemin kütlelerinde şerbetin katılmış mercekleri sebebiyle sertleşme ve dayanım artışı gözlemlenir (Kramer, 2003).

2.2.12. Jet enjeksiyonu (jet grout)

Jet enjeksiyonu yöntemi ile dönen bir sondanın ucundaki nozullardan fışkırtılan yüksek basınçlı suyun zemini etkin aşındırma yeteneğinden yararlanır. Zemin tasarlanan derinliğe kadar parçalandıktan sonra tij yeniden döndürülerek geri çekilirken ucundaki nozullardan basınçlı çimentolu enjeksiyon şerbeti basılarak sıvı kıvamındaki şerbetin zeminle karışması sağlanmaktadır. Bu jetleme esnasında sonda belirlenen bir dönüş hızıyla döndürülüp ve de sonda belirlenen bir hızda zemin içinde

tabandan zemin yüzeyine doğru çekilmektedir. Bu uygulamanın sonucunda tasarlanan bir genişlikte ve yükseklikte zemin içerisinde silindirik bir donatısız kolon meydana getirilmektedir (Şekil 2.8.). Jetleme sırasında oluşturulacak kolonun çapını genişletebilmek için çimento şerbeti jetinin yanında su ve hava jetleri de kullanılabilir. Neticede zemin içerisinde yüksek dayanımlı ve düşük geçirimsizlikli beton-zemin karışımı kolonlar oluşturulmaktadır. Yapılan uygulamada karıştırma mekanizması da kullanıldığından jet enjeksiyonu diğer enjeksiyon türlerine pek benzememektedir (Tunçdemir, 2004).



Şekil 2.8. Jet enjeksiyonu (Jet Grout) yöntemi (URL-4)

Jet enjeksiyonu uygulaması neticesinde zemin içinde oluşturulan kolonlar ile yapı yüklerinden kaynaklı oturmalar büyük oranda kontrol altına alınabilir ve zemin taşıma gücü de arttırılmış olur. Bu yöntemle yumuşak ve doygun zeminlerde açılacak galeri ve tüneller için tünel enkesiti üzerinde taşıyıcı bir şemsiye olarak, yol yapılarında, şevlerde, dalçıklarda kompozit bir duvar olarak, derin hafriyatlarda kazı tabanının altında payanda ögesi olarak da kullanılabilir (Tunçdemir, 2004).

2.2.13. Derin karıştırma yöntemi

Derin karıştırma yöntemi tabii zeminin çimentolama etkisi olan veya olmayan katkı malzemeleri kullanılarak kuru veya sulu olarak karıştırılması işlemidir. Bu işlemler uygulama alanına göre değişiklik göstermektedir. Genel olarak derin zemin

karıştırma, sıg zemin karıştırma ve su yapılarında da karıştırma zemin duvarları oluşturulması biçiminde uygulanmaktadır (Önalp ve Sert, 2010).

Derin karıştırma yöntemi genellikle ince daneli zeminlerde orta kısmına delik açılmış burgular veya kanatlı karıştırıcı vasıtasıyla çimento veya kirecin problemlili zeminle karışması sağlanarak kompozit kolonlar oluşturulması işlemidir. Zemin malzemesi ile karıştırılan bağlayıcı malzeme belirli bir süreç içerisinde prizini alıp mukavemet kazanmaktadır. Kireç kolonları uygulamasında sönmüş kireç veya sönmemiş kireç toz halinde uygulanabileceği gibi sönmüş kireç bulamaç halinde de kullanılabilir (Ayan ve Aksoy, 2009).

Kireç kolonlarında kuru zemine oranla % 5 ila %15 oranında kireç kullanılmaktadır. Kirecin kil ile karıştırılmasıyla 80 kata kadar mukavemet artışı ve 40 misli de deformasyon modül değerlerinde artma görülmüş olup bir diğer yandan Portland çimentosu ve kafi bir oranda uçucu kül katılarak birçok zeminin derin karıştırma metodu ile daha yararlı bir şekilde ıslah edilebileceği kanaatine varılmıştır (Ergun, 1996).

2.2.14. Elektro-osmoz

Elektro-osmoz yöntemi, son elli yıldır gevşek, ince daneli ve yumuşak zeminlerin dayanım ve deformasyon niteliklerinin güçlendirilmesi amacıyla uygulanmaktadır. İnce daneli, siltli ve siltli kil vb. zeminlere elektiriksel olarak doğru akım uygulanarak zemindeki boşluk suyunun anottan katot'a doğru ilerlemesine elektro-osmoz denir. Silindir şeklindeki katot tarafında biriken su pompa ile çekilerek oturma elde edilir. Zemine anot ucundan zemin tarafından emilebilecek özellikli sıvılar yollar ise problemlili zemin için ek bir iyileşme elde edilebilir. Zeminde anot tarafından katot tarafına yönelik su iletimi ile beraber zemin içinde negatif boşluk suyu basıncı oluşur. Bununla beraber zemin içindeki toplam gerilme sabit kaldığı için efektif gerilme yükselerek zeminde oturmalara sebebiyet verir. Bu yöntemle zeminin oturma eğilimi kontrol altına alınıp bir miktar sıkılaşması sağlanarak zeminin taşıma performansı da arttırılmış olur (Ayan ve Aksoy, 2009).

2.2.15. Mini kazıklar

Mini kazıklar küçük çaplardaki zemin kazıkları olup, proje tasarım yüklerinin 3 ton ile 500 ton arasında olduğu bütün problemlili zemin uygulamalarında kullanılabilir. Bu zemin kazıkları, kök kazıklar veya iğne kazıklar olarak da bilinirler. Mini kazıklar çoğunlukla ulaşım kısıtlılığı olduğu sorunlu yerlerde bilinen kazık yöntemlerine uygun bir seçenek oluştururlar (Liew ve Fong, 2003).

Mini kazıklar, küçük genişlikte olmaları nedeniyle bütün zemin şartlarında destek yapılarına çakılabilir ve enjekte edilebilirler. Mini kazıklar, yaklaşık 60 m'ye varan derinliklerde uygulanıp 300 tona varabilen çalışma yüküne ulaşabilirler. Mini kazıklar, 30 cm çapından küçük genişliklerde tasarlanan hesap yükünü üstlenecek donatının yerleştirilmesiyle birlikte zemine yapılan enjeksiyon neticesinde fore kazık olarak da isimlendirilebilir. Mini kazıklar genellikle çeşitli genişliklerde çelikten imal edilmiş muhafaza borusu içerisine çimento harcı doldurarak donatısız olarak imal edilebildiği gibi donatılı olarak da imal edilebilirler. Yalnız çelikten veya çoğunlukla betonarme olarak imal edilen kazıklar bir hayli ağırdırlar ve uygulanabilmeleri için büyük ekipmanlara ve geniş çalışma sahalarına ihtiyaç duyarlar. Çoğunlukla mini kazık sistemleri diğer kazık sistemlerinin uygulanmasının güç olduğu durumlarda kullanılmaktadır (Sarı ve Aksoy, 2008).

Mini kazıklar, zemin oturmalarını önlemede, zeminin taşıma gücünü arttırmada ve genellikle zemin yapılarının güçlenmesini sağlayarak zemin iyileştirme problemlerinde etkili bir uygulama metodu olduklarını kanıtlamışlardır (Witt ve Smolczyk, 2002).

2.2.16. Diğer alternatif zemin iyileştirme yöntemleri

Mevcut ve alışlagelmiş zemin iyileştirme metotlarının maliyetlerinin bir hayli yüksek olması ve var olan iyileştirme tekniklerinin sağladıkları yararları daha yükseklerle çıkarması amacı ile son zamanlarda alternatif ürünlerin zemin iyileştirilmesi üstündeki etkileri incelenmektedir. Özel olarak ise son yıllarda atık malzemelerin alternatif inşaat malzemesi olarak üst yapılarda ve zeminlerde uygulanabilirliğine yönelik olarak birçok araştırma ve çalışma yapılmaktadır. Bu araştırmaları ve çalışmalarını cazip kılan önemli iki ana amacından ilki inşaat maliyetlerini düşürmek ve bir diğer amacı ise değişik türdeki sanayi atıklarını ve kirliliklerini çevreye duyarlı bir şekilde ortadan kaldırıp işe yarar bir hale getirmektir.

2.2.16.1. Geosentetik malzemeler ile zemin iyileştirilmesi

Geosentetik ASTM'ye göre "bir inşaat projesi, yapı veya sistemin parçası olarak zemin, kaya, toprak veya diğer geoteknik mühendisliği ile ilgili bir malzeme ile beraber kullanılan, polimerik malzemelerden üretilen düzlemsel ürünlerdir" şeklinde tanımlanmaktadır.

Birçok çeşitte geosentetik ürün bulunmaktadır. Geoteknik alanında en fazla kullanılan geosentetik ürünler geotekstil, geogrid ve geomembranlardır.

Geotekstiller, tekstil ürünü geçirimli geosentetik olarak ifade edilmektedir. Geogridler yüksek mukavemetli, yüksek moleküler ağırlıklı bir malzeme olup zemin takviyesi uygulamaları için kullanılırlar. Geotekstil ürünler, polyester bazlı ipliklerin örülmesi ve akabinde uygulama esnasında doğabilecek hasarlara yönelik malzemenin dayanıklılığını artırma amaçlı olarak polimer bir malzeme ile kaplaması yapılarak üretilir. Geomembranlar ise, kimyasal maddelerin kötü etkilerine karşı dirençleri yüksek olan, bunun yanında fiziksel olarak çekme dayanımları yüksek, suya ve tüm kimyasal sıvılara karşı geçirgenlik özellikleri çok düşük olan malzemelerdir. Ayrıca geomembranlar, delinme ve çatlama gibi hasar sönümlenme özellikleri bakımından dayanıklı bir malzeme olduklarından sızma ve sızdırmaya karşı koruma amaçlı

kullanılabilen geosentetik bir malzemedir. Geosentetiklerin farklı yapılarıdaki her bir çeşit ürününün en yararlı özelliklerinden faydalanılacak şekilde, çeşitli geometrik ve fiziksel yapıdaki ürünlerin geomembranlar gibi diğer sentetik malzemelerle beraber kullanılmasından meydana gelen geosentetik ürüne geokompozit malzeme denir. Geokompozitler farklı sentetik malzemelerin birlikteliğinden oluşarak, geotekstil-geogrid, geotekstil-geonet, geomembran-geonet veya geotekstil-geomembran gibi ve ayrıca üç boyutlu olarak polimerik hücre ürünlerinden meydana gelebilir (Ayan ve Aksoy, 2009).

Geosentetiklerin inşaat sanayinde uygulamada yalıtım, drenaj, filtrasyon, güçlendirme, koruma ve ayırma olmak kaydıyla altı temel fonksiyonu vardır. Uygulama biçimi olarak kullanılan geosentetik ürünler bu işlevlerden kimi zaman bir tanesini, genellikle de aynı anda birçoğunu yerine getirmektedirler. Bu nedenle tasarım sürecinde geosentetiklerin hem asıl hem de yan işlevleri göz önünde tutularak tasarım yapılması başlıca ekonomik ve birçok nedenden ötürü önem arz etmektedir (Ayan ve Aksoy, 2009).

2.2.16.2. Atık lastikler ile zemin iyileştirmesi

Kauçuk ve plastik gibi atık malzemeler çevre açısından önemli derecede problemler oluşturmaktadır. Ayrıca atık malzemelerin saklanma ihtiyacı yüksek maliyetleri beraberinde getirir. Bu malzemelerin hafif malzeme olarak mühendislik çalışmalarında kullanılması bu tarz sorunların azalmasını sağlamaktadır. Atık lastikler, bir bütün halinde istinat yapılarında kullanılmaktadır. Kullanılmış araç lastikleri parçalanarak maksimum 50 mm ila 300 mm boyutlarında hafif agrega oluşturulmaktadır. Atık lastikler farklı metotlarla işlemden geçirilerek, kıyılmış lastik, granül lastik, parçalanmış lastik, kırpıntı lastik olarak farklı özellik ve şekillerde olabilmektedir. Kırpıntı lastiğin, parçalanmış lastik, granül lastik ve kıyılmış lastiğe göre farkı, kırpıntı lastiğin atık endüstrisinin yan ürünü olmasıdır. Kırpıntı lastik, aşınmış lastiklerin temas yüzeylerinin soyulması esnasında meydana gelir. Atık lastik parçaları zemin için, hafif, serbest drene olabilen ve sıkışabilen malzeme özelliğindedir. Atık lastiklerin bu özelliklerinden dolayı, zayıf temel zemini

üzerine inşa edilen yol dolgularında hafif dolgu malzemesi olarak kullanılabilir (Edil ve Bosscher, 1992; Humphrey, 1999; Dickson vd., 2001; Humphrey, 2007).

Dayanımı düşük problemlili zeminlerde kısa ve uzun vadede bazı stabilite sorunları yaşanmaktadır. Bu tür zeminlerin stabilizasyonu için günümüzde uygulanan birçok zemin iyileştirme yöntemi bulunabilir. Atık lastik gibi hafif yol dolgusu malzemelerinin kullanılması ile beraber temel zemininin maruz kaldığı yük azaltılarak, temel zeminindeki fazla oturmalar önenebilmektedir. Dayanım gücü zayıf olan zeminlerde hafif yol dolgusu malzemesi olarak atık lastik kullanılması taşıma gücü açısından oldukça faydalı bir çözüm olabilmektedir (Mitchell, 1981; Hausmann, 1990; Terashi ve Juran, 2000).

BÖLÜM 3. BAZALT VE BAZALT FİBER KATKISI İLE ZEMİN İYİLEŞTİRİLMESİ

3.1. Bazalt

Bazalt, çoğumuzun günlük yaşantısı sırasında üzerinde yürüdüğü cadde, sokak ve köprülerde, çeşitli binalarda yapı malzemesi olarak da kullanılan yanardağların püskürtmesi sonucu oluşan volkanik bir kaya çeşididir. En belirgin özelliği siyah renkli ve çok sert bir yapıya sahip olmasıdır. Bu sert yapısıyla beraber aşınmaya ve iklim koşullarına karşı dayanıklılığıyla da ön plana çıkan bir taştır.

Bazalt, çeşitli kalınlık ve ölçülerde, zemin kaplaması olarak alt yapılarda, cephe kaplaması olarak üst yapılarda, sokak ve caddelerde, bahçelerde peyzaj çalışmalarında velhasıl fiziksel, kimyasal, mekanik ve görsel özellikleri sayesinde mimari proje yapıları ve mühendislik yapılarında sıkça kullanılmaktadır. Bunlara ek olarak bazalt, kalkerin yerine balast taşı olarak demir yollarında, kırma taş haline getirilip değişik oranlarda agrega olarak beton içeriğinde, her türlü ısı ve ses yalıtımı malzemesi olarak kullanılan taş yünü yapımında kullanılmaktadır. Ayrıca bazalt yapısında serbest silis içermeyişi nedeniyle, önceden silis ve kuvars kumu kullanılan birçok iş sektöründe alternatif ve doğal bir hammadde olarak kullanılmaktadır (Swink, 2002). Bazalt, polimer ve düşük yoğunluklu polietilen örneğinde de olduğu gibi kompozit malzeme üretiminde kullanılabilir (Çalışkan vd., 2011).

Bazalt yerkabuğunun üçte birini oluşturan bol miktarda bulunabilen bir kaya türüdür. Kimyasal içeriği bulunduğu coğrafyaya bağlı olarak değişiklik gösterebilir. İçinde kimyasal olarak plajyoklas, olivin, piroksen ve klinopiroksen minerallerini barındırır. Bazalt alümina izi ile birlikte, magnezyum, kalsiyum, sodyum, potasyum, silikon ve demir oksitleri ile kimyasal olarak zengin bir taştır. Bazalt sodyum açısından zengin

ve silis açısından fakir ise toleyitik bazalt, bileşimde silis eksik ise alkali bazalt olarak sınıflandırılmaktadır (Ndepete ve Sert, 2017).

3.2. Bazalt Fiber

Bazalt fiber veya bazalt elyaf üretim tekniği ilk olarak ABD'de yaşayan bir Fransız bilim insanı tarafından 1923 yılında açıklanarak patent altına alınmıştır (Saravanan, 2006). Bazalt lif üretimi teknolojisi, üstün nitelikte kompozit malzemeler üreterek savunma sanayi alanında ihtiyaçların giderilmesi amacıyla bu çalışmalara bağlı olarak SSCB'de geliştirilmiştir (Parnas vd., 2007).

Bazalttan büyük miktarda ve sürekli bir şekilde lif, elyaf üretebilme yeteneği, bazaltın üretim aşamasında kademeli kristalleşme ve düzensiz erime gibi olumsuzlukları nedeniyle, bu olumsuzlukların çözüme kavuştuğu 1980'lerin sonlarına doğru ancak mümkün olabilmıştır. İlk bazalt elyafı tesisleri SSCB'ye bağlı olarak Ukrayna ve Gürcistan'da kurulmuştur (Parnas vd., 2007).

3.2.1. Bazalt Fiberlerin Üretimi

Bazalt teknolojisi üzerindeki araştırmaların gizliliği 90'ların başından itibaren SSCB'nin dağılması ile birlikte ortadan kalkmıştır. Son yirmi senedir artan ticarileşme faaliyetleri ve üretim maliyetlerinin düşmesiyle beraber, bazalt elyaf dünyadaki diğer kompozit üreticileri tarafından da tanınmaya başlanmıştır. Günümüzde Rusya, Ukrayna ve Çin olmak üzere üç üretici ülke bulunmaktadır (Parnas vd., 2007).

Bazalt, yer kabuğunda bol miktarda bulunması sebebiyle ham madde olarak pahalı bir ürün değildir. Bununla beraber üretimi yapılacak bazalt lifinin performans özelliklerinin iyileştirilebilmesi için üretimde kullanılacak bazalt kaynağının niteliği önem arz etmektedir. Bazaltın yanardağ lavlarından oluşması, kimyevi bileşimi, katılaşma sürecinde hava ile etkileşimi ve bazaltın soğuma hızı gibi parametrelerinin

iyi bir bazalt elyafı üretmek için oldukça önemli olduğu görülmektedir (Parnas vd., 2007).

Bazalt elyafları ve bazalt fiberler, 1300 – 1700 °C de eritilen bazalt taşlarından elde edilir. Eritme işlemi için gerekli enerji miktarı E camından yüksek ve S camına eşdeğer seviyededir. Üretim için yüksek enerji gerektiren bu durum maliyete direkt olarak etki eder. Bununla beraber bazalt liflerini çekme işlemi yapılabilmesi için kullanılacak çekme ağızlarının platin alaşımli olması gerekmektedir. Maliyeti doğrudan etkileyen bu sebeplerden bazalt fiberi fiyatları dünya genelinde E ve S cam fiberi arasındadır (Parnas vd., 2007).

Bazalt fiberler ve cam fiberlerin üretim metotları birbirine benzemektedir. Bazalt fiber ve cam fiberlerin üretiminde kullanılan teknoloji birbirine benzerken sıcaklık ve viskozite parametreleri değişkenlik göstermektedir. Bazalt fiberlerin üretiminde ilave olarak dışarıdan herhangi bir katkı malzemesine ihtiyaç duyulmaz. Bazalt kayaları kırılıp daha küçük parçalar haline getirilip yıkandıktan sonra kurutma işlemi gerçekleştirilir. Kurutma işlemi sonrasında doğrudan fırınlanır ve eritilirler. Erimiş bazalt hızla soğuyarak kısmi kristal yapıdan tamamen amorf bir yapıya dönüşür. Daha sonra erimiş bazaltın üzerinde çokça mikro delikler bulunan platin alaşımli çekme ağızlarından akışı sağlanarak lif olarak çekilme işlemi yapılır. Üretilen liflerin çapları platin ağızdaki delik çapları ve bazaltın viskozitesi ile sağlanır. Çekilen lifler su ile soğutulur ve katılaşmaları sağlanır. Üretilen fiber çapları 7 ile 20 µ arasında değişebilir (Swink, 2002).

3.3. Bazalt Fiberlerin Özellikleri

Bazalt fiberler çok iyi derecede mekanik özellikleri ile kompozit malzemeler için takviye malzemesi olarak, mükemmel kimyasal direnç göstermeleri nedeniyle korozyona maruz kalan ortam uygulamalarında, yanıcı olmadığından ve yüksek sıcaklıkta özelliklerini kaybetmediği için yangın güvenliği ve teknolojilerinde, ısı ve ses yalıtımı özelliği ile de izolasyon malzemesi olarak kullanılmaktadır. Bazalt

fiberler bu özellikleriyle birçok sektörde hammadde olarak kullanılmaktadır (Gümülcine vd., 2013).

3.3.1. Mekanik özellikleri ve dayanıklılığı

E-cam ve S-cam fiberin çekme mukavemetleri 3100-4650 MPa aralığında iken bazalt fiberin çekme mukavemeti 3000-4840 MPa aralığındadır ve çekme mukavemeti daha yüksektir. E-cam ve S-cam fiberlerine göre özgül ağırlığı daha yüksek olup 2,65-2,80 gr/cm³ arasındadır.

Bazalt yaklaşık olarak -230°C/700°C aralığındaki uygulamalarda kullanılabilirken, E-cam yaklaşık olarak -60/450°C aralığında kullanılabilirdiğinden, bazalt daha geniş bir uygulama sıcaklığı aralığına sahiptir. Bazalt, E camından on kat daha yüksek elektrik yalıtımı yeteneğine sahiptir.

3.3.2. Kimyasal özellikleri ve direnci

Bazalt fiberlerin 13-14 pH değerlerine ulaşabilmesi sayesinde kimyasal maddelere, özellikle güçlü alkalilere karşı direnci E-camı ve S-camından çok daha yüksektir. Tablo 3.1.'de bazalt ve E-camının kimyasal bileşenleri karşılaştırmalı bir şekilde incelenebilir (Ndepete ve Sert, 2017).

Tablo 3.1. Bazalt ve E-camı kimyasal bileşenleri (URL-5)

Kimyevi Bileşim	Bazalt	E- Camı
Silikon Dioksit, SiO ₂	%49-51	%52-56
Alüminyum Oksit, Al ₂ O ₃	%14-15,6	%12-16
Demiroksit, FeO - Fe ₂ O ₃	%7,3-13,3	%0,05-0,4
Kalsiyum Oksit, CaO	%10	%16-25
Magnezyum Oksit, MgO	%6,2-16	%0-5
Sodyum ve Potasyum Oksit, Na ₂ O + K ₂ O	%1,9-2,2	%0-2
Titanyum Oksit, TiO ₂	%0,9-1,6	%0-0,8
Mangan Oksit, MnO	%0,1-0,16	-
Bor Oksit, B ₂ O ₃	-	%5-10
Floritler	-	%0-1

3.3.3. Korozyon ve mantar direnci

Bazalt fiber geçirimsizliği sayesinde yüksek korozyon direncine sahiptir. Bazalt fiberlerin nem içeriği %1'den daha az değerlerde bulunmaktadır. Bununla beraber bazalt fiberler hava ve su ile zehirli bir reaksiyona girmezler. Bazalt malzemeler mantar ve mikro organizmaların etkisine karşı da oldukça dirençlidir (Ndepete ve Sert, 2017).

3.3.4. Ekolojik etkisi ve çevreye duyarlılığı

Bazalt doğal bir malzeme olduğu için üretilen fiberler çevrecidirler ve insan sağlığı açısından hiçbir zararlı madde içermezler. Bazalt fiber üretiminde, cam fiber üretimine benzer bir şekilde cam yakma sırasında oluşun fırın tıkanıklıkları gibi bir durum oluşmaz. Bazalt fiber imalatında cam fiber üretiminde olduğu gibi borik asit katkısı kullanılmaz. Bu durum her ne kadar bazalt fiber imalatını zorlaştırsa da mekanik özellik bakımından cam fiberlerden oldukça daha iyi bir performans gösterirler. Doğal bir malzeme olması ve herhangi bir katkı içermemesi bazalt fiberlerin çevre dostu olarak anılmasını sağlamaktadır (Parnas vd., 2007). Bazalt fiberler kimyasal maddelerle temasta zararlı bir tepkime oluşturmadıklarından çevre ve insan sağlığı açısından herhangi bir tehlike oluşturmamaktadır. Ayrıca ısı ve ses yalıtım malzemesi olarak bazalt, yanmazlığı ve yalıtım performansı bakımından üstün olmasının yanında doğal bir malzeme oluşu ile insan sağlığı açısından tehlikeli bir madde olan asbeste göre tercih edilmesi kaçınılmazdır. Tablo 3.2.'te Bazalt elyafı ile diğer elyaf türlerinin temel niteliklerinin karşılaştırması gösterilmiştir.

Tablo 3.2. Bazalt elyafı ile diğer elyaf türlerinin temel niteliklerinin karşılaştırması (Kumbhar, 2014)

Uygunluk	Bazalt Fiber	E- Camı Fiber	S-Camı Fiber	Polyamid Fiber	Karbon Fiber
Gerilme Direnci, (MPa)	3000-4840	3100-3800	4020-4650	2900-3450	3500-6000
Elastite Modülü, (GPa)	79,3-93,1	72,5-75,5	83-86	70-140	230-600
Kopmada Uzama, (%)	3,1-6,0	4,7	5,3	2,80-3,60	1,50-2,00
Özgül Ağırlık	2,65-2,80	2,50-2,62	2,46	1,44	1,75-1,95
Lif çapı, (μm)	6-21	6-21	6-21	-	5-15
Uygulama Sıcaklığı, ($^{\circ}\text{C}$)	-260-500	-50-380	-50 - 300	-50 - +290	-50 - +700
Erime Sıcaklığı, ($^{\circ}\text{C}$)	1450	1120	1550	erimez!	erimez!

3.4. Bazalt Lif Ürünler

Bazalt lif ürünleri, birçok sanayi sektöründe genel olarak kıyılmış bazalt lifler, bazalt ip ve bazalt çubuklar şeklinde çeşitli uzunluk ve çaplarda kullanılmaktadırlar.

Kıyılmış bazalt lifler, farklı boy ve çaplarda birçok ülkede ve ülkemizde de yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Son yıllarda, 7 ila 20 mikron arasındaki çapa ve 5 ila 100 mm aralığındaki boylara sahip bazalt fiberler beton teknolojilerinde, betonun yorulma/aşınma direncini arttırmak için beton katkı malzemesi olarak işlem görmektedirler (Şekil 3.1.).



Şekil 3.1. Kıyılmış bazalt fiberler

Bazalt ip, sentetik elyaf malzemelere ve sentetik kumaşa alternatif olarak kimya endüstrisinde, petrokimya sanayinde ve havacılık, otomotiv, inşaat sektörlerinde kullanılmaktadır (Şekil 3.2.).



Şekil 3.2. Bazalt ip (Çevik ve Haldenbilen, 2014)

Yapılan araştırmaların neticesinde, epoksi reçinesiyle üretilmiş bazalt lifli donatı çubukları, betonarme yapıların korozyon riski bulunan yapı elemanlarında kullanılmak üzere çelik donatıya alternatif bir üründür. Bazalt lifli donatı çubukları, çelikten üretilmiş olan geleneksel donatı çubuğundan yaklaşık olarak üç kat daha hafif olmalarına rağmen, çelikten üretilmiş donatılara göre daha iyi bir çekme dayanımına sahiptirler. Ayrıca aderans açısından, bazalt lifli donatı çubuklarının termal genişleme katsayısı ile betonun genişleme katsayısının birbirlerine oldukça yakın olmasından ötürü betonun performansında artış olduğu görülmüştür (Beycioğlu ve Aruntaş, 2014). Bazalt donatı çubukları Şekil 3.3.'te gösterilmektedir.



Şekil 3.3. Bazalt donatı çubuğu (Çevik ve Haldenbilen, 2014)

3.5. Bazalt Fiberlerin Betonda Kullanımı

Betonun yapı malzemesi olarak kullanılması uzun senelere dayanmaktadır. Betonun yaygın bir şekilde kullanıma başlamasından bu yana zaman içerisinde doğal afetlerin mühendislik bilimi açısından sonuçları incelenmiş ve mühendislik yapılarında büyük gelişmeler meydana gelmiştir. Bunun neticesinde beton teknolojileri ve beton standartlarında büyük değişimlerin ve güncellemelerin ortaya çıkması zorunluluk halini almıştır.

İlerleyen beton teknolojisi ile birlikte betonun gevreklik özelliğini iyileştirip, betona süneklilik özelliği kazandırmaya yönelik bir çare olarak geliştirilen bazalt fiber katkılı beton üretilmiştir. Bazalt fiberler belli oranlarda betona katılmasıyla betonun gevrek yapısına bir çare olmakla kalmamış, bununla beraber betonun basınç dayanımını az da olsa arttırmış, ayrıca betonun durabilitesi açısından da yararlı olduğu gözlemlenmiştir (Sarı ve Akkaya, 2013).

Beycioğlu ve Aruntaş (2014) tarafından yapılan çalışmada bazalt lifli donatının yüksek dayanımlı beton ile olan aderans ilişkisi, Belçika mafsalı kiriş numuneleri kullanılarak klasik çelik donatılı yüksek dayanımlı betonlarla mukayese edilip incelenmiştir. Bu çalışmada kullanılan betonun 28 günlük basınç dayanımı 75,38 MPa ve 90 günlük basınç dayanımı da 79,84 MPa olarak ölçülmüştür. Çalışmada kullanılan donatılar ise Ø12 çapında çelik çubuk standart S420a nervürlü donatı ve

Ø12 çapında epoksi reçine kullanılarak üretilen bir çeşit yapay bazalt lifli donatı çubuğudur. Bazalt lifli donatılar kullanılarak üretilen yüksek performanslı betonların 28 günlük ve 90 günlük kür süreleri sonunda bazalt lifli donatının çekme gerilmesine ulaştığı yük değerine kadar donatıda hiçbir sıyrılma emaresi görülmemiş ve bazalt lifli donatının çekme dayanım değerine vardığı sırada gevrek bir biçimde koptuğu görülmüştür. 28 günlük numunede yapılan deneyde bazalt lifli donatının koptuğu sıradaki en büyük gerilme değeri 788,98 MPa ve 90 günlük numunede aldığı en büyük gerilme değeri ise 811,78 MPa olarak not edilmiştir. Gözlemlenen bu gerilme değerleri sonuçları yalnızca bazalt lifli donatının özelliği ile ilgili olarak düşünülse de bazalt lifli donatının, çelik donatı için verilen çekme gerilmeleri sınır değerlerinin bir hayli üzerinde bile yüksek performanslı beton ile arasındaki aderans özelliğini yitirmediği gözlemlenmiştir.

Çevik ve Haldenbilen (2014) çalışmalarında bazalt fiberin beton yollarda uygulanabilirliği araştırılmış ve beton karışımı içerisine bazalt fiber ilavesiyle betonun eğilme gerilmesine karşı direncini ve basınç dayanımını arttırmayı amaçlamışlardır. Yaptıkları çalışmada değişik oranlarda ve farklı tür ve boydaki fiberler ilave edilerek betonun mekanik özelliklerindeki iyileşmeler birbirleri ile mukayese edilerek incelenmiştir. 28 günlük beton numuneler üzerinde yapılan basınç dayanımı test sonuçlarına göre deneye tabi tüm beton karışımları arasında en yüksek basınç dayanımı 35,73 MPa ile 24 mm uzunluktaki 4 kg/m³'lük bazalt fiber katkılı beton karışımdan elde edilmiştir. Bazalt fiber ilaveli beton karışımıyla katkısız şahit numuneye oranla %30'luk bir iyileşme olduğu belirlenmiştir. Bazalt fiber katkılı betonların 28 günlük eğilme dayanımları incelendiğinde dayanım artış hızında düşüş gözlemlenmiştir. Bazalt fiber katkılı beton karışımları kendi içinde karşılaştırıldığında, 24 mm boyunda m³'te 4 kg olarak hazırlanan beton numunelerinden hem basınç hem de eğilme dayanımı açısından en yüksek değerler elde edilmiştir. 12 mm boyunda m³'te 2 kg olarak hazırlanan küp numuneler 35,18 MPa ve kirişler 5,68 MPa ile ikinci en yüksek değerleri vermiştir.

Kızılkant vd. (2014) yaptıkları çalışmada betonda farklı oranlarda bazalt lif kullanarak, lif katkısız ve farklı oranlarda cam lif katkılı numunelerle ilgili mekanik

ve geçirimsizlik özelliklerini karşılaştırmışlardır. Betonların basınç dayanımlarında, %0,50 oranında bazalt lif kullanılan numunede 1,05 kat, %0,75 oranında bazalt lif kullanılan numunede 1,04 kat ve %1,00 oranında bazalt lif kullanılan numunede ise 1,04 kat artma olduğu görülmüştür. Cam ve bazalt lif katkılı numunelerin basınç dayanımları üzerindeki etkileri göz önünde tutulduğunda iki lif türü içinde basınç dayanımları aynı düzeyde olduğunun gözlemlendiğinden bahsedilmiştir. Bazalt veya cam lif katılmasıyla betonun elastisite modülü değerinde %3 ila %6 oranları arasında düşüş meydana gelmiştir. Bazalt ve cam liflerinin betonun çekme dayanımında oldukça iyi bir gelişme sergilediği görülmüş olup hacimce %1 oranında bazalt lif kullanılmasıyla bu olumlu etkinin cam lifine oranla daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Lif katksız betona kıyasla bazalt lif kullanımı kırılma enerjisinde en az 1,03 kat, en fazla 1,51 kat artış meydana getirmiştir. Bu sonuçlarla birlikte basınçlı su altında yapılan su geçirimsizliği deneyinde özellikle hacimce %0,50 ve 0,75 oranlarında bazalt lif kullanılmasıyla betonun su geçirimsizliğinin referans numunesine göre oldukça azaldığının tespit edildiği ifade edilmektedir.

Arslan (2016) çalışmasında 24 mm uzunluğunda, ağırlıkça 0,5, 1, 2 ve 3 kg/m³ bazalt lif katkılı ve lif katksız betonların kırılma değerlerini ve betonların birtakım mekanik özelliklerini irdelemiştir. Ağırlıkça farklı oranlarda kullanılan bazalt lif katksızın deneye tabi beton numunelerinin basınç dayanımlarında kayda değer bir etkisinin olmadığı, ancak bazalt lif katksız betonlara göre basınç dayanımı değerlerinde bir miktar artış olduğu kanaatine varmıştır. Bazalt lif katkılı betonların katksız betonlara nispeten yarmada çekme deneylerine tabi tutulduklarında ilk çatlak oluşumundan sonra dağılmadığı gözlemlenmiş, betonların yarmada çekme dayanımları için ise en uygun bazalt lif oranının ağırlıkça 2 kg/m³ olduğu sonucuna varmıştır. Bazalt lif katkılı betonların kırılma enerjilerinin katksız betonlara göre yaklaşık %29 daha fazla olduğunu ve ulaşılan en yüksek kırılma enerjisi değerinin 87,79 N/mm olarak tespit edildiğini belirtmiş ve ayrıca ağırlıkça 3 kg/m³'lük bazalt lif oranında betondaki kırılma enerjisinde düşüşler başladığı gözleminde bulunmuştur.

3.6. Bazalt Fiber Katkısı İle Zemin İyileştirilmesi Örnekleri

Ndepete ve Sert (2017) bazalt fiber katkılı olarak hazırlanan doymun ve doymun olmayan silt numunelerin kullanıldığı çalışmalarında konsolidasyonsuz drenajsız üç eksenli hücre kesme deneyleri (UU) gerçekleştirmişlerdir. Araştırmacılar, bazalt fiber takviyeli zemin karışımlarında farklı boy ve oranlarda fiber kullanılarak, fiber boyu ve oranının doymun olan ve doymun olmayan zeminlerin kayma direncini arttırıcı etkisini gözlemlemişlerdir. 6 mm ve 12 mm uzunluktaki bazalt fiber katkısıyla elde edilen doymun olmayan numuneler üzerinde yürütülen konsolidasyonsuz drenajsız üç eksenli hücre kesme deneyleri sonucunda tüm karışımlar arasında en yüksek dayanım artışı 100 kPa hücre basıncı altında ağırlıkça %1,5 bazalt fiberli karışımdan elde edilmiş, bazalt fiberli karışımda şahit numuneye oranla %75,11'lik bir iyileşme olduğu saptanmıştır. Aynı işlemler 24 mm uzunluktaki bazalt fiber katkısıyla yapıldığında ise tekraren en yüksek dayanım artışı 100 kPa hücre basıncı altında ağırlıkça %1,5 bazalt fiberli karışımda elde edilmiş, bazalt fiberli karışımda şahit numuneye oranla %160,12'lik bir iyileşme olduğu belirtilmiştir. Çalışmalarının ikinci aşamasında ise doymun olan numuneler üzerinde UU deneyleri yapılmış olup 100, 200, 300, 400 kPa hücre basınçları altında 6, 12, 24 mm uzunluklardaki bazalt fiber katkılı zeminlerin her seferinde en yüksek dayanım artışının ağırlıkça %1,5 bazalt fiber katkılı zemin oranından elde edildiğini gözlemlemişler ve şahit numuneye kıyasla yüksek oranlarda iyileşme tespit etmişlerdir.

Özdemir vd. (2016) yaptıkları çalışmada bazalt fiber ile kirecin katkısının kaolin kilin dayanımı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Deneysel çalışmalarında katkısız ve %9 kireç ilaveli kaolin kil zeminin dayanımına 6 mm uzunluğundaki bazalt fiberin %0,5 ve %1 oranında eklenmesinin etkisini kür süresine bağlı olarak incelemişlerdir. Bu çalışma ile bazalt fiberin kireç ilaveli ve kireç ilavesiz numunelerin tamamında dayanımı arttırdığı tespit edilmiştir. En yüksek dayanım artışlarının 28 günlük kür süresiyle elde edilmesinin nedeni olarak kil mineralleri ile kirecin reaksiyonları ile oluşan silikat jelinin boşlukları doldurarak daneleri birbirine bağlaması olarak açıklanmıştır. 28 günlük kür süresi sonrasında %9 kireç ve %1

bazalt fiber katkılı zemin numunesinin şahit numune ile kıyaslandığında dayanımında 5,5 kat artış sağladığı ve bunun çalışmada elde edilen en büyük değer olduğu gözlemlenmiştir.

Gisymol ve Ramya (2017) çalışmalarında doğal bazalt fiberin yüksek plastisiteli silt zeminin geoteknik özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Üç farklı boy halinde 10 mm, 20 mm ve 30 mm uzunluktaki bazalt fiberler doğal zemine ağırlıkça %0,05, %0,10 ve %0,15'i oranlarında katılmış ve zeminler sıkıştırıldıktan sonra her bir zemin için serbest basma deneyi uygulanmıştır. Deneysel çalışmaların sonucunda, bazalt fiberin zeminin dayanımı üzerinde etkisi olduğu anlaşılmış, bazalt fiber boylarındaki artışın dayanımı %26 oranında yükselttiği ancak 30 mm boy için ise dayanım artış oranının azaldığı görülmüştür. Fiber ilavesindeki oran artışının ise dayanımı %94'e kadar artırdığı tespit edilmiştir.

Gao vd. (2015) çalışmalarında düşük plastisiteli kil zemine bazalt fiber ekleyerek serbest basma dayanımındaki değişimleri incelemişlerdir. Deneysel çalışmalarında 4 mm, 8 mm, 12 mm ve 15 mm boylarındaki bazalt fiberler kil numunelerine sırasıyla ağırlıkça %0,05, %0,10, %0,15, %0,20, %0,25, %0,30 ve %0,35 oranında ilave edilmiştir. Sonuç olarak 12 mm uzunluğundaki bazalt fiberin düşük plastisiteli kile ağırlıkça %0,25 oranında ilave edildiğinde zemin dayanımının en yüksek değere ulaştığı görülmüştür.

BÖLÜM 4. MALZEMELER VE YÖNTEM

Bu bölümde, yapılan araştırmada kullanılan malzemelerin özellikleri, zemine ilave edilen katkı maddesinin karışım oranları ve deney numunelerinin hazırlanışı hakkında bilgiler verilmiştir. Yapılan çalışmada kullanılan deney düzenekleri ve deney yöntemleri tanıtılmış, deney sonuçları tablolar ve grafikler halinde sunulmuştur.

4.1. Malzemeler

4.1.1. Silt zemin

Bu çalışmada, Adapazarı Yeniğün Mahallesiindeki Tacettin Sert arsasından 3 m ila 4 m arasındaki kazı derinliğinden alınan silt zemin numuneleri kullanılmıştır (Şekil 4.1.). Deneylerde kullanılmak üzere yeteri kadar siltli zemin, depo yerinden el arabası yardımıyla Sakarya Üniversitesi Geoteknik Laboratuvarı'na taşınmıştır (Şekil 4.2.). Silt zemin laboratuvarında katman halinde yere serilerek zeminin havada kuruması sağlanmıştır. Zemin kurutulduktan sonra zemindeki topaklanmalar tokmakla ezilerek zeminin daha ince bir hal alması sağlanmış ve tekraren biraz daha kurutulmuştur. Kurutulma işleminde sonra silt zemin, gözenek açıklığı 2,36 mm olan elekten birkaç defa geçirilerek içindeki organik veya inorganik maddelerden arındırılmıştır (Şekil 4.3.). Bu çalışmada öncelikli olarak zemin sınıfını belirlemek üzere laboratuvarında TS 1900-1 uyarınca likit limit, plastik limit ve elek analizi deneyleri yapılmıştır. Sonrasında silt zemindeki kil yüzdesinin belirlenmesi için hidrometre ve pipet analizi deneyleri yapılmıştır. Yapılan zemin sınıflandırma deneyleri sonucu olarak Tablo 4.1. de silt zeminin fiziksel özellikleri gösterilmektedir.



Şekil 4.1. Numunenin alındığı çalışma sahası



Şekil 4.2. Numunelerin geoteknik laboratuvarına taşınması



Şekil 4.3. Kurutulup elekten geçirilmiş elenmiş silt

Tablo 4.1. Silt zeminin fiziksel özellikleri

Özellik	Değer	Simge ve Birim
- No200	83 - 85	FC (%)
Likit limit	31	LL (%)
Plastik limit	26	PL (%)
Plastisite indisi	5	IP (%)
Kil oranı	13 - 14	C (%)

Zemin Sınıfı: Düşük Plastisiteli Silt (ML)

4.1.1. Bazalt fiber

Yapılan çalışmada kullanılan bazalt fiberler Spinteks Tekstil İnşaat Sanayi ve Ticaret A.Ş (Denizli / Türkiye) şirketinden tedarik edilmiş olup, firma bazalt fiberleri 6 mm, 12 mm ve 24 mm uzunlukta çeşitlendirip torbalar halinde tüketicinin kullanımına sunmaktadır. Farklı uzunluklardaki bazalt fiberlerin görünüşleri Şekil 4.4'te gösterilmektedir. Bu çalışmada kullanılan bazalt fiberlerin fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 4.2.'de gösterilmektedir.



Şekil 4.4. Bazalt fiberler (a) torbalanmış bazalt fiberler, (b ve c) değişik uzunluklardaki bazalt fiberler (Ndepete ve Sert, 2017)

Tablo 4.2. Bazalt fiberin fiziksel ve mekanik özellikleri (Ndepete ve Sert, 2017)

Bazalt fiber		
Özellik	Değer	Birim
Özgül ağırlık	2,60-2,65	kN/m ³
Elastisite modülü	70-90	GPa
Çekme dayanımı	2800-3000	MPa
Kopma uzaması	3,1 - 6	%
Çapı	6 - 25	µm
Uygulamanın sıcaklığı	(-250) - (550)	°C
Erime noktası	1350	°C
Fiyat	6	USD/Kg

4.2. Yöntem

Bu çalışmadaki deney numuneleri doğal zeminin suya doyurulması ile elde edileceği için, silt zemin numuneleri likit limit deneyi değerindeki su oranının yaklaşık 1,50 katı kadar su ile doymuş hale getirilmiştir. Ayrıca bu çalışmada kullanılan bazalt fiberlerin boyları 24 mm olup, her bir 1500 gr'lık doğal silt numuneye ağırlıkça %0, %1,0, %1,5, %2,0, %2,5 ve %3,0 oranlarında bazalt fiberler ilave edilip karıştırılarak numuneler bulamaç haline getirilmiştir. Bulamaç haline getirilen numuneler silindirik deney kabı içerisine alınmış ve 75 kPa'lık yük altında ön konsolidasyona tabi tutulmuşlardır. Ön konsolidasyona tabi tutulan numunelere her biri için 75, 150 ve 225 kPa'lık normal gerilme altında kesme kutusu deneyi uygulanmıştır. Tablo 4.3.'de hazırlanan numunelerde silt ve bazalt fiber ağırlıkları ve bazalt fiber oranları gösterilmiştir.

Tablo 4.3 Hazırlanan karışımlarda silt ve bazalt fiber ağırlığı, bazalt fiber boy ve oranları

Karışım No	Numune tanımı	Silt ağırlığı (gr)	Bazalt fiber ağırlığı (gr)	Bazalt fiber uzunluğu (mm)	Bazalt fiber oranı (%)
1	Doğal zemin (Silt)	1500	0,0	0	0
2	%1,0 Fiber katkılı silt	1500	15,0	24	1,0
3	%1,5 Fiber katkılı silt	1500	22,5	24	1,5
4	%2,0 Fiber katkılı silt	1500	30,0	24	2,0
5	%2,5 Fiber katkılı silt	1500	37,5	24	2,5
6	%3,0 Fiber katkılı silt	1500	45,0	24	3,0

4.2.1. Fiziksel deneyler

Bu çalışmada zemin sınıflama deneyleri TS 1900/2006-1 uyarınca doğal numuneler üzerinde uygulanmıştır. Zeminin Casagrande ve Konik penetrometre yöntemleri ile karşılaştırmalı olarak likit limit değeri bulunmuş olup, beraberinde zemin plastik limit deneyleri ve elek analizi deneylerine de tabi tutulmuştur. Zemindeki kil oranını bulmak amacıyla ilave olarak hidrometre ve pipet deneyleri yapılmıştır.

4.2.1.1. Kıvam limit deneyleri

Kıvam, toz durumundaki bir maddenin su veya herhangi bir sıvı ile karıştırılmasıyla oluşan reaksiyon değişimine denir. Bu çalışmada ince daneli bir zemin olan siltin kıvam limit özelliklerini belirlemek amacıyla TS1900/2006-1 uyarınca kıvam limiti deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçları TS 1500/2000 standardı uyarınca yorumlanmış sınıflandırma bu standarda göre yapılmıştır.

Casagrande yönteminde yaklaşık olarak 200-300 gr kuru numuneye damıtık su kabı yardımı ile az miktarda su ilave edilip karışım homojen hale gelene kadar spatula ile karılır. Sonrasında bir miktar yaş numune Casagrande aletinin kabı içine yaklaşık olarak 1 cm kalınlığında olmak üzere yerleştirilir. Kabın içindeki numunenin yüzeyi spatula yardımı ile düzeltilir. Ardından oluk açma bıçağı ile kaptaki numuneye taban genişliği 2 mm olan bir oluk açılır. Bu işlemlerden sonra makinenin kolu saniyede 2 tur olmak üzere 1 cm yüksekliğe çıkarılıp düşürülür ve yaklaşık 13 mm'lik bir

uzunlukta oluğun kapanması ile deney sonlandırılır. Su muhtevasının ölçümü için numuneden bir miktar alınıp tartılır ve etüve konulur. Deneyi tamamlamak için bu işlemler damıtık suyun azar azar arttırılması ile dört kez tekrarlanır. Bu deneyde en dikkat edilecek husus numuneye eklenen su miktarları neticesinde makinedeki düşüş sayılarını eşit aralıklarla 10 ila 50 vuruş arasında dağılma elde edilebilecek biçimde ayarlamaktır. Bu deneyin sonunda 25 vuruşa karşılık gelen su muhtevası likit limit (w_L) değeri olarak bulunur. Şekil 4.5.'de siltli zemin için Casagrande deneyine ait resimler görülebilir.



Şekil 4.5. Siltli zemin için Casagrande deneyine ait görüntüler

Koni penetrometre deney makinesinin çalışma prensibi konik şekilli bir metalin kendi ağırlığı ile hazırlanan homojen zemin numunesinin içine batırılması esasına dayanmaktadır. Casagrande yönteminde olduğu gibi zemin numunesine bir miktar su ilave edilerek homojen bir zemin-su karışımı elde edilir. Karışım numune deney için uygun bir kap içerisine alınır ve yüzeyi spatula ile düzeltilir. Deney numunesi koni penetrometre deney makinesine konulur ve koninin zemin numunesine batması için 5 sn'lik bir süre koninin serbest düşme yapması beklenir. Süre tamamlandıktan sonra batma miktarı ölçülmektedir. Üçgen çizecek biçimde numune için batırma işlemi 3 kez tekrarlanır ve 3 batma miktarı toplanır ve ortalama batma değeri dikkate alınır. Bu işlem arttırılan su miktarlarıyla 3 defa tekrarlanır ve ortalama ölçüm değerleri alındıktan sonra numuneden bir miktar alınarak etüve konulur. Bu deneyde koninin

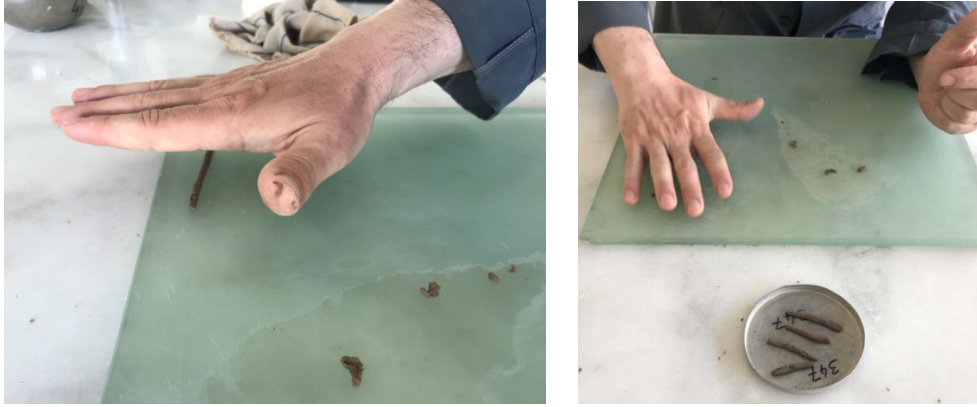
batma miktarının 15 mm ile 25 mm arasında ölçülmesini sağlanacak şekilde numuneye su ilave edilmesi gerekmektedir. Bu deneyde ortalama 20 mm batma ölçümüne denk gelen su muhtevası değeri likit limit (w_L) olarak alınmaktadır. Şekil 4.6.'da konik penetrometre deneyi yapılırken çekilen fotoğraflar görülmektedir.



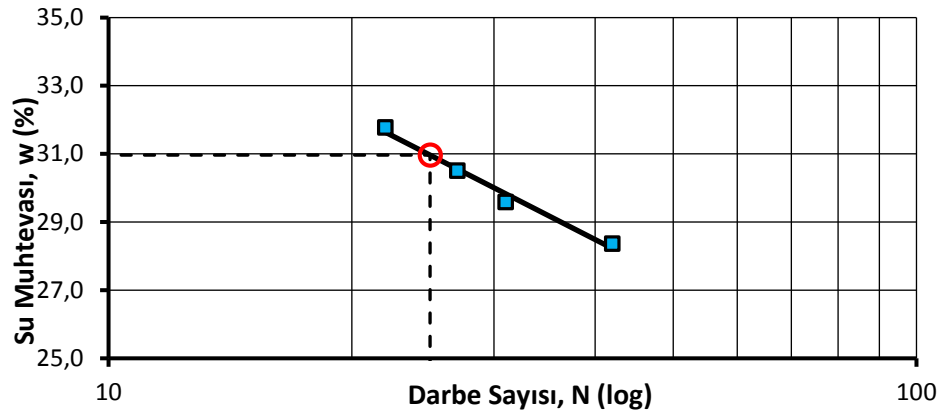
Şekil 4.6. Konik penetrometre deneyi yapılışı

Plastik limit (w_p) deneyinde ise bir miktar su katılarak hamur haline getirilen zemin numunesinin, bir buzlu cam üzerinde elle yoğrulmasıyla numunenin yaklaşık 3 mm kalınlığa ulaşması ve yüzeyinde çatlakların belirmesi ile deney sonlandırılır. Bu numuneler darası belli kaplara konulmak suretiyle etüve konulur. Bu deneyde plastik kıvamdaki zeminin yarı katı kıvama geçiş şartlarında, içeriğindeki su muhtevası ölçülerek plastik limit değeri belirlenmektedir. Şekil 4.7.'de plastik limit deneyi sırasında çekilen fotoğraflar görülmektedir.

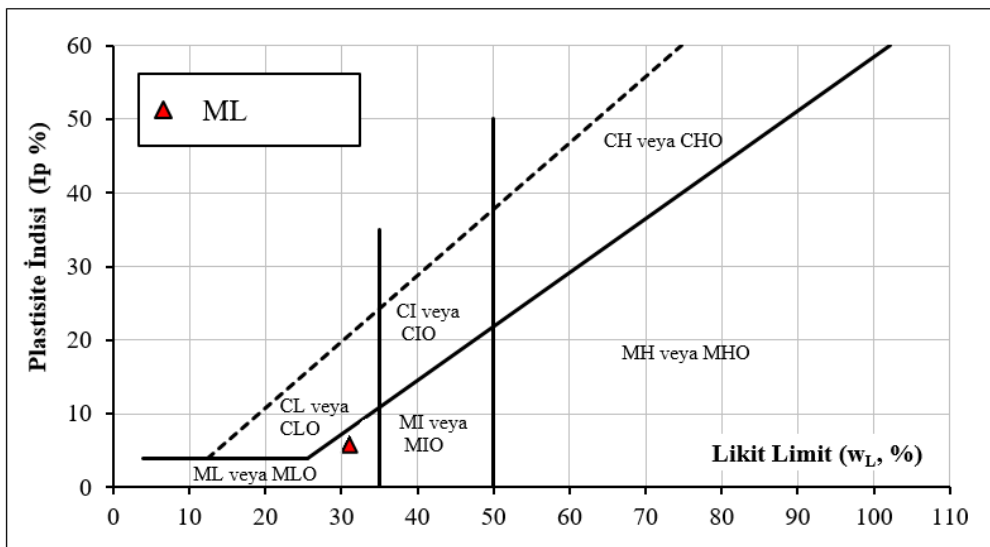
TS 1500/2000 uyarınca; İnce daneli zemin A doğrusu altında kalıyorsa siltli zemin (M) olarak sınıflandırılmaktadır. Doğal zemin numunesinin likit limit değeri 31 olduğundan, likit limiti 35'den az olan siltli zemin de düşük plastisiteli olarak değerlendirilir ve ML simgesini alır. Şekil 4.8., Şekil 4.9. ve Tablo 4.4.'de de incelenebileceği üzere yapılan deneylerin sonuçlarına göre bu çalışmada kullanılan siltin likit limit değeri 31, plastik limit değeri 26 ve plastisite indisi de 5 olduğundan TS1500/2000'e göre simgesi ML (düşük plastisiteli silt) olarak bulunmuştur.



Şekil 4.7. Plastik limit deneyine ait fotoğraflar



Şekil 4.8. Casagrande cihazı ile yapılan likit limit deney sonucu



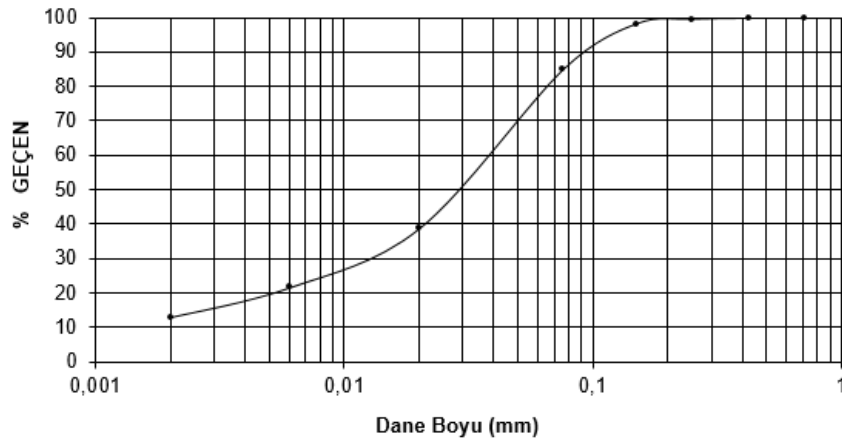
Şekil 4.9. Kullanılan silt zeminin TS1500 plastisite kartındaki konumu

Tablo 4.4. Siltli numunenin fiziksel özellikleri

LL_{Cas}	LL_{Koni}	PL	PI	$\%C_{Hid}$	$\%C_{Pipet}$	Sınıf (TS1500)
31	31	26	5	14	13	ML

4.2.1.2. Çöktürme deneyleri ve elek analizi

Siltli zeminin dane çapı dağılımı, TS 1900/2006-1'e göre yapılan elek analizi, hidrometre ve pipet deneyleriyle belirlenmiştir. Yıkamalı elek analizi deneyi 75 μm 'dan büyük danelerin dane çapı dağılımını, hidrometre ve pipet deneyleri de 75 μm 'dan küçük danelerin dane çapı dağılımını bulmak için yapılmıştır. Şekil 4.10.'de silt numunesinin dane dağılım eğrisi görülmektedir. Buna göre Tablo 4.4.'den de takip edilebileceği gibi deneylerde kullanılan zeminin % 85'i ince dane olup, kil oranı denenen farklı deneylerde %13 ile %14 arasında bulunmuştur. Deney aşamalarını gösteren fotoğraflar Şekil 4.11.'de görülebilir.



Şekil 4.10. Doğal numunenin dane dağılımı eğrisi



Şekil 4.11. TS 1900/2006-1'e göre yapılan elek analizi, hidrometre ve pipet deneylerine ait fotoğraflar

4.3. Doygun Numunelerin Konsolide Edilerek Hazırlanması

Çalışmanın bu aşamasında doğal silt ve bazalt fiber katkılı silt numuneler tek yönlü yükleme ile 75 kPa'lık gerilme altında konsolide edilerek doymun numuneler haline getirilmiştir. Bu çalışmada ilave gereç olarak 24 mm boyda lif halinde bazalt fiberler kullanılmış olup, ağırlıkça %0, %1,0, %1,5, %2,0, %2,5 ve %3,0 oranda bazalt fiber katkılı toplamda 6 adet konsolidasyon işlemi yürütülmüş ve her bir numuneden 3'er adet olmak kaydıyla toplamda 18 adet doymun numune elde edilerek, numuneler kesme kutusu deneyine tabi tutulmuştur.

Yapılan deneysel çalışmada ilk olarak lifler halinde olan bazalt malzemenin kendi içinde birbirinden ayrılma problemi nedeniyle kullanım öncesinde hava basıncı yardımıyla ayrıştırılmış, mümkün olduğu kadar elyaf haline getirilmiştir (Şekil 4.12.). Sonrasında katkılı ve katkısız tüm numuneler için doğal kuru numuneye likit limitinin 1,5 katına çıkartacak şekilde su eklenip karıştırılarak bulamaç haline getirilmiştir. Her bir karışım için 1500 gr kuru doğal zemin numunesine yaklaşık 600 gr kadar su ilave edilmiş ve bulamaç homojen hale gelmesi için bir müddet beklenmiştir. Bulamaç haline getirilen karışımın desikatör içinde vakum uygulamak suretiyle boşluklarında yer alan olası havanın boşalması sağlanmıştır (Şekil 4.13.)



Şekil 4. 12. Bazalt liflerinin ayrıştırılmadan önce ve ayrıştırıldıktan sonraki hali



(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 4. 13. (a) Fiberli zemin, (b) deney numunesinin bulamaç haline getirilmesi, (c) bulamaç içindeki hava kabarcıklarının çıkarılması, (d) desikatörden çıkmış zemin

Daha sonra bulamaç haline getirilen numuneler, 10 cm çaplı hürelere önce poroz taşı ardından filtre kağıdını takip ederek bir kaşık yardımıyla yavaşça yerleştirilmiştir. Sonrasında hücreye doldurulan numuneler şişlenerek üzerine önce filtre kağıdı ve sonrasında poroz taşı koyularak kapatılıp, üzeri numunenin kurumasını engellemek için su ile doldurulmuştur. Bulamaç numuneler önce kendi ağırlığı altında, sonra yavaş yavaş arttırılan düşey kuvvet ile 4-5 günlük bir süreç içinde 75 kPa altında konsolide edilmişlerdir (Şekil 4.14.). Yeniden oluşturulan her

bir numune 3'er adet 60*60*25 mm boyutlarındaki kesme kutusu çelik halkası içine alınarak deneye hazır hale getirilmişlerdir (Şekil 4.15.).



Şekil 4.14. Hücresine koyulan numunelerin 75 kPa düşey gerilme altında yeniden oluşturulması

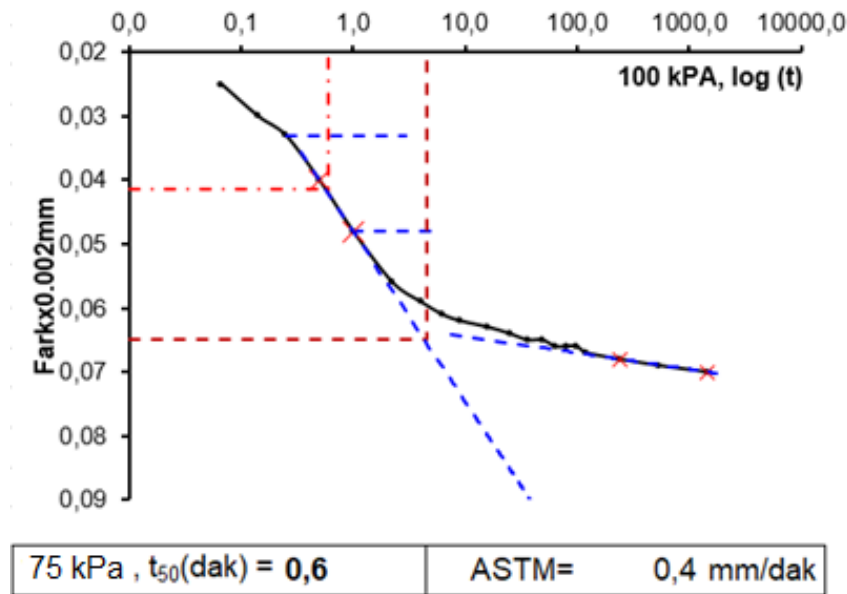


Şekil 4.15. Numunenin konsolidasyon hücresinden kesme kutusu halkasının içine alınması

4.4. Kesme Kutusu Deneyleri

Deneyisel çalışmada Adapazarı kent merkezinden alınan doğal silt numunesine farklı oranlarda 24 mm uzunluğundaki bazalt fiber gereç katılmak suretiyle bulamaçtan

konsolide ederek hazırlanan numuneler kullanılmıştır. Katılan fiber bazalt oranları ağırlıkça %0, %1,0, %1,5, %2,0, %2,5, %3,0 olarak seçilmiştir. Konsolide edilerek yeniden oluşturulmuş numuneler üzerinde kesme kutusu deneyleri tatbik edilmiştir. Kesme kutusu deneylerinde numunelerin drenajlı koşullarda kesilmesi amaçlandığından numune üzerinde öncelikle konsolidasyon deneyi yapılarak kesme hızı belirlenmiştir. Şekil 4.16.'da görüldüğü gibi konsolidasyon deneyi sonrasında kesme hızının 0,4 mm/dk olarak alınabileceği anlaşılmıştır (Kenan ve Özocak, 2018). Doğal numune üzerinde yapılan bu çalışma ile belirlenen kesme hızı tüm numuneler için aynı büyüklükte kullanılmıştır.



Şekil 4. 16. Konsolidasyon deneyi ile drenajlı kesme hızının belirlenmesi

Şekil 4.17.'de kullanılan kesme cihazı görülmektedir. Cihazda kesme hızı dijital olarak ayarlanabilmektedir. Konsolidasyon ve kesme aşamalarında hem düşey hem de yatay yer değiştirmeler ayrı mikrometreler yardımıyla okunabilmektedir. Kullanılan numune boyutları 60 mm * 60 mm * 25 mm değerindedir. Şekil 4.18.'de kesme kutusu numunelerinin deney sonrası görüntüleri toplu halde verilmiştir.



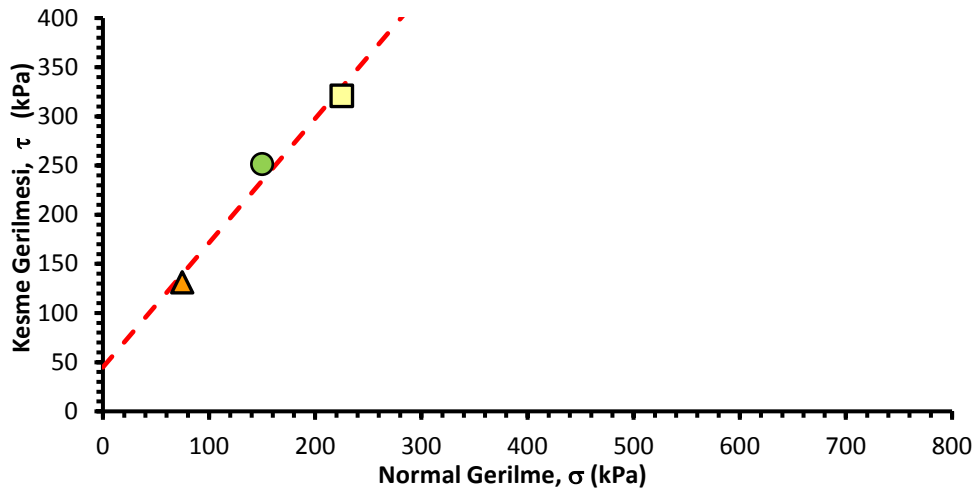
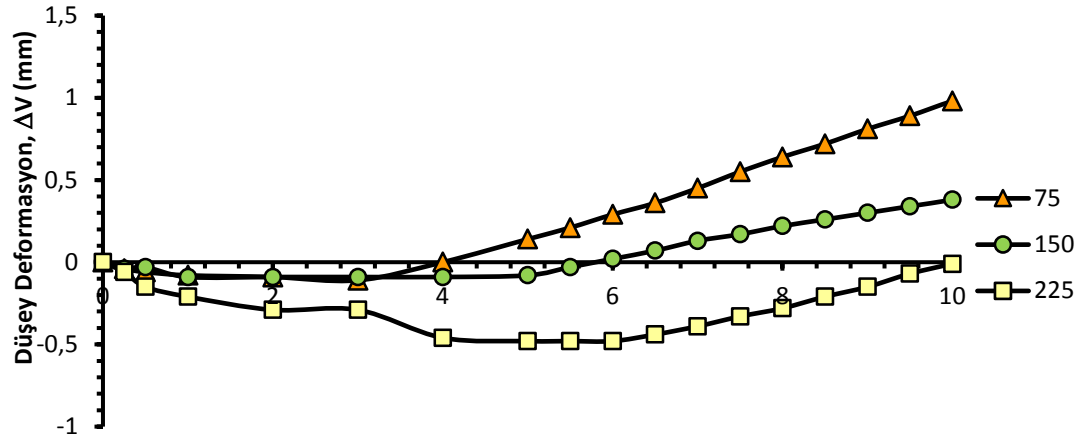
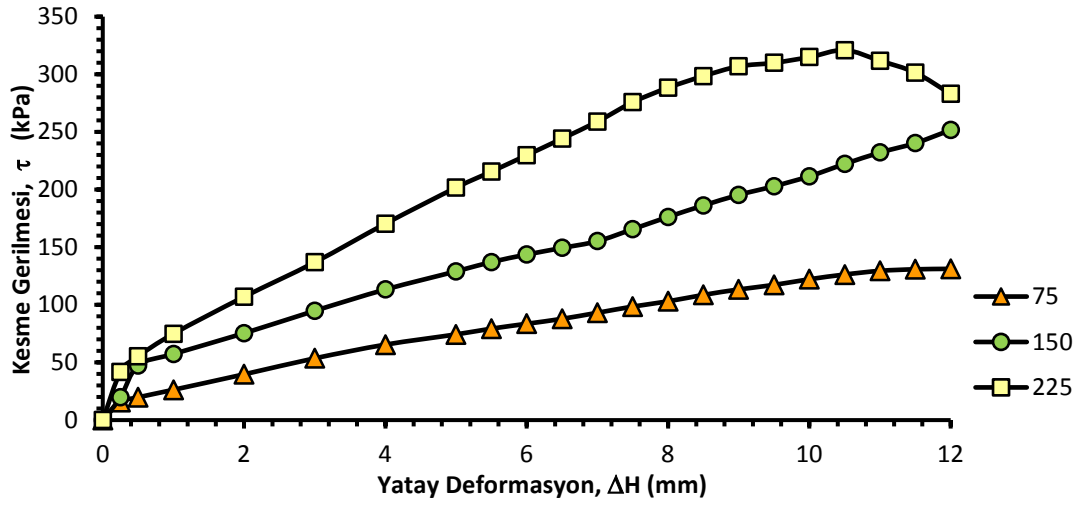
Şekil 4.17. Kesme kutusu cihazı



Şekil 4.18. Kesme kutusu deneyi sonrası deneye tabi tutulan tüm deney numuneleri

4.5. Kayma Direnci Deney Sonuçları

Numunelerin kayma direnci parametreleri kesme kutusu deneyleri vasıtasıyla belirlenmiştir. Şekil 4.19.'da örnek olarak B015 nolu numunenin kesme kutusu deney sonuçları verilmiştir.



Şekil 4.19. B015 nolu numunenin kesme kutusu deney sonuçları ($c=45$ kPa, $\phi=52^\circ$)

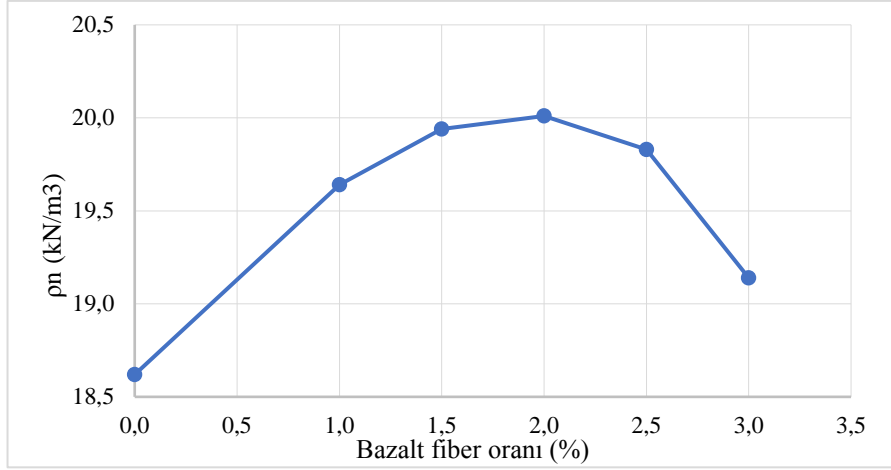
Tablo 4.5.'de kesme kutusu deneyleri yardımı ile elde edilen kayma direnci parametreleri özetlenmiştir.

Tablo 4.5. Kesme kutusu deney sonuçları özeti

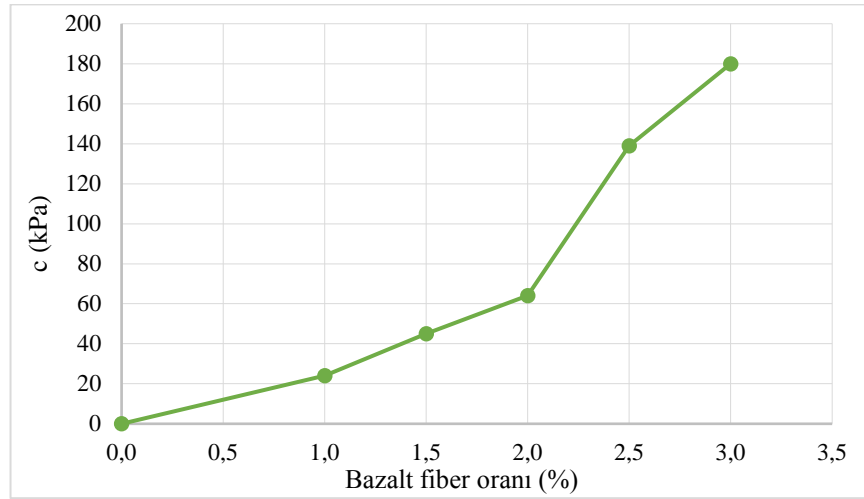
Numune no	Bazalt fiber (%)	ρ_n (kN/m ³)	c (kPa)	ϕ (°)
B000	0	18.62	0	37
B010	1.0	19.64	24	46
B015	1.5	19.94	45	52
B020	2.0	20.01	64	60
B025	2.5	19.83	139	38
B030	3.0	19.14	180	25

Tablo 4.5.'deki sonuçlar incelendiğinde bazalt fiber katkısının artması ile numunenin kohezyon değerinde sürekli bir artışın belirdiği anlaşılmaktadır (Şekil 4.20.b). Kayma direnci açısı değeri ise başlangıçta artış eğilimi göstermekle birlikte %2,0 oranını geçen bazalt fiber katkılı numunelerde azalım eğilimine girmiştir. Dolayısıyla gerecin ilavesinin zeminin kayma direnci parametreleri için bir iyileştirme görevi gördüğü anlaşılmıştır. Numune hazırlama safhası ve kesme kutusu deney verilerine göre siltli numunede bazalt fiber katkısının optimum değerinin ağırlıkça %1,5 olarak alınması uygun görülmektedir. Zira uygulama aşamasında bazalt fiber oranının artması ile silt numune ile yapılan karışımların homojenliğinin sağlanmasında sıkıntılar ile karşılaşıldığı görülmüştür.

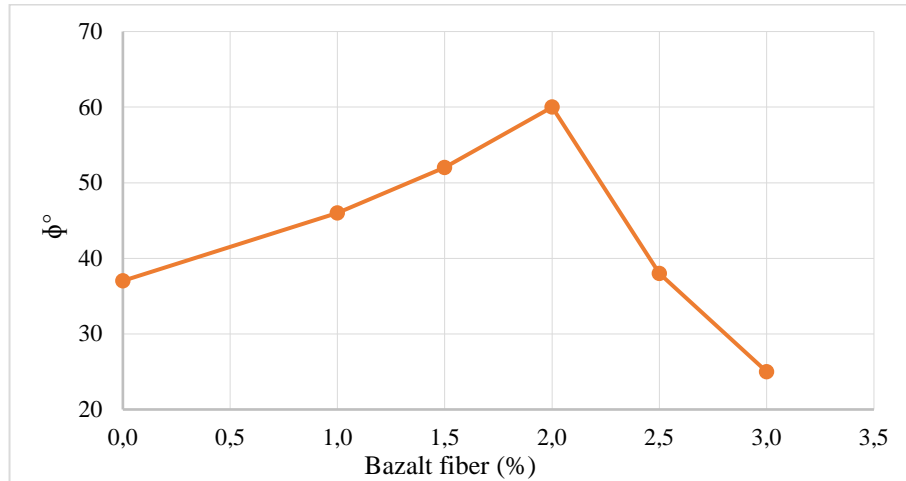
Tablo 4.5.'deki birim hacim ağırlık değerleri incelendiğinde ise, numune içindeki bazalt fiber yüzdesi arttığında birim hacim ağırlık değerlerinde önce bir artış meydana gelmekte, ancak %2 oranındaki bazalt fiber ilavesinden sonra ise birim hacim ağırlık değerleri için bir düşüş meydana gelmektedir (Şekil 4.20.a). Bu durum fiberin lifli yapısı göz önüne alındığında, numuneye ilave edilen bazalt fiber katkısının artması sonucu silt numunenin bünyesine daha fazla oranda su çekmesi ile açıklanabilir. Böylece numune içindeki bazalt fiber oranındaki artış, beraberinde su oranını da arttırmakta ve bu da doğal birim hacim ağırlıkta bir düşüşe sebep olmaktadır. Dolayısı ile birim hacim ağırlıktaki artış kayma direnci açısında artışa neden olmaktadır, tam tersi durumu yansıtan birim hacim ağırlıktaki düşüş ise kayma direnci açısında azalımına neden olmaktadır (Şekil 4.20.c).



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.20. Farklı oranlardaki bazalt fiber katkısı ile (a) birim hacim ağırlıktaki değişim grafiği, (b) kohezyon değerindeki değişim grafiği, (c) kayma direnci açısındanki değişim grafiği

BÖLÜM 5. SONUÇLAR

Zemin iyileştirme çalışmaları geoteknik problemler için her zaman güncelliğini koruyan mühendislik uygulamaları olmaya devam etmektedir. Bu çalışmada son yıllarda beton katkı malzemesi olarak sıklıkla kullanılan bazalt fiberin siltli zeminlerin kayma direncine olan etkisi araştırılmıştır.

Deneysel çalışmada Adapazarı kent merkezinden alınan doğal silt numunesine farklı oranlarda 24 mm boyunda lif halinde bazalt fiber gereci katılarak hazırlanan numunelerin kayma direnci parametreleri ölçülmüştür.

Deney sonuçları incelendiğinde bazalt fiber katkısının artması ile numunelerin kohezyon değerinde sürekli bir artışın belirdiği anlaşılmaktadır.

Kayma direnci açısı değeri ise artan bazalt fiber oranı karşısında önce artan sonra azalan bir eğilime girmektedir. Bu durum fiberin lifli yapısı göz önüne alındığında, numuneye ilave edilen bazalt fiber katkısının artması sonucu silt numunenin bünyesine daha fazla oranda su çekmesi ile açıklanabilir. Böylece numune içindeki bazalt fiber oranındaki artış, beraberinde su oranını da arttırmakta ve bu da doğal birim hacim ağırlıkta bir düşüşe sebep olmaktadır. Dolayısı ile birim hacim ağırlıktaki artış kayma direnci açısından artışa neden olmaktadır, tam tersi durumu yansıtan birim hacim ağırlıktaki düşüm ise kayma direnci açısından azalımı neden olmaktadır.

Bazalt fiber ilavesinin zeminin kayma direnci parametreleri için bir iyileştirme görevi gördüğü anlaşılmıştır.

Kesme kutusu deney verilerine göre siltli numunede bazalt fiber katkı oranının optimum değerinin ağırlıkça % 1,5 olarak alınması uygun görülmektedir.

Uygulama aşamasında bazalt fiber oranının artması ile silt numune ile yapılan karışımların homojenliğinin sağlanmasında sıkıntılar ile karşılaşıldığı görülmüştür.

Farklı boyutta fiber bazalt kullanımıyla kesme kutusu deneylerinin tekrarlanması ileriki araştırmalar için önerilebilir.

KAYNAKLAR

- Akyarlı, A., Kavak, A., Atay, S., Alkaya, S., 2018, Killi Zeminlerin Kireç İle İyileştirilmesi, Kimtaş A.Ş.
- Alkaya, D., 2009, Uçucu Küllerin Zemin İyileştirmesinde Kullanılmasının İncelenmesi, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, Cilt:5 No:1.
- Arslan, M. E., 2016, Bazalt liflerin geleneksel betonların mekanik özellikleri ve kırılma enerjilerine etkilerinin incelenmesi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 23(3), 203-208.
- Ayan, E., Aksoy, İ.H., 2009, Derin Zemin İyileştirme Yöntemleri ve Uygulamadan Örnekler, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Beycioğlu, A., Aruntaş, Y., 2014, Bazalt lifli donatının yüksek dayanımlı betondaki aderans performansı. Mühendislik ve Bartın Üniversitesi Teknoloji Bilimleri Dergisi, 2(1): 83-96.
- Bowles, J. E., 2001, Foundation Analysis and Design, 5th Edition, McGraw-Hill Book Company, NY, USA.
- Çalışkan, M., Akıncı, A., Yılmaz, Ş., Şen, U., 2011, Assignment of mechanical properties of basalt-LDPE composite materials using experimental and computer aided simulation methods. Scientific Research and Essay, 6(11): 2315-2324.
- Çetin, Y.A., Şenol, A., 2011, Yüksek Plastisiteli Kil Zeminlerin Alternatif Malzemeler İle Yüzeysel Zemin Stabilizasyonu, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Çevik, N., Haldenbilen, S., 2014, Bazalt Elyafının Beton Yollarda Kullanılabilirliği, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ulaştırma Anabilim dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Das, B., 2007, Principles of Foundation Engineering, 6th Edition, Thomson Learning.

- Dickson, T.H., Dwyer D.F., Humphrey D.N., 2001, Prototypes Tire-shred Embankment Construction, Transportation Research Record 1755, TRB, National Research Council, Washington DC:160-167.
- Edil, T.B., Bosscher, P., 1992, Development of Engineering Criteria for Shredded Waste Tires in Highway Applications, Final report, Research report No. WI 14-92, Wisconsin Department of Transportation, Division of Highways.
- Ergun, U., 1996, Bir Önyükeme Uygulaması, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 5. Ulusal Kongresi, 3. Cilt, s: 834 - 835, Ankara.
- Erol, B., Şenol. A., 2008, Atık Maddelerin Yol İnşaatlarında Temel Malzemesi Olarak Kullanımı, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Gao, L., Hu, G., Xu, N., Fu, J., Xiang, C., Yang, C., 2015, Experimental study on unconfined compressive strength of basalt fiber reinforced clay soil. *Advances in Materials Science and Engineering*, Article ID 561293.
- Gisymol, P.G., Ramya, K., 2017, Enhancing the compressive strength of inorganic soil using basalt fiber. *International Conference on Geotechniques For Infrastructure Projects*, Thiruvananthapuram.
- Gümülçine, T., Bekem, A., Doğu, M., Gemici, Z., Ünal, A., 2013, İzotalik Polyester Matrisli Sürekli E-camı ve Bazalt Fiber Takviyeli Kompozitlerin Mekanik Özellikleri Üzerine Deneysel Bir Çalışma, *Sigma* 5; 104-115.
- Hausmann, M.R., 1990, *Engineering Principles of Ground Modification*. McGraw-Hill Publishing Company.
- Humphrey, D.N., 1999, Civil Engineering Applications of Tire Shreds, *Proceedings of the Tire Industry Conference*, Clemson University.
- Humphrey, D.N., 2007, Tire Derived Aggregate as Lightweight Fill for Embankments and Retaining Walls, *International workshop on scrap tire derived geomaterial opportunities and challenges*, Kanto Branch of Japanese Geotechnical Society:56-81.
- Kenan, A., Özocak, A., 2018, Bazalt Fiber Katkısının Siltli Zeminlerin Kayma Direncine Etkisi, *ISHAD 2018*, Sakarya Üniversitesi.
- Kızılkant, A.B., Kabay, N., Akyuncu, V., Erdoğan, G, 2014, Bazalt lifler ve bazalt lifli betonların mekanik özellikleri. *Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 32(4): 444-452.
- Kramer, S.L., 2003, *Geoteknik Deprem Mühendisliği*, Gazi Kitabevi.
- Kumbhar, V.P. 2014. Basalt rock fibers-new construction material. *Acta Engineering International*, 2(1): 11-18.

- Özaydın, K., 2011, Zemin Mekaniği, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Liew, S.S. & Fong, C.C., 2003. "Design & Construction of Micropiles", Geotechnical course lecture for Pile Foundation Design & Construction, Ipoh, 29-30 September 2003.
- Mitchell, J.K.&Katti, 1981, Soil Improvement –General Report Proc. X. ICSMFE 4::567.
- Mitchell, J.K., 1981, Soil Improvement: State-of-the-Art, Session 12, 10th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Stockholm, Sweden.
- Nalçakan, S., 2004, TMH - Türkiye Mühendislik Haberleri Sayı 430 - 2004/2.
- Ndepete, C.P., Sedat, S., 2017, Bazalt Fiber Katkısının Siltli Zeminlerde Kayma Direncine Etkisi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geoteknik Anabilim Dalı, Doktora Tezi.
- Önalp, A., Sert, S., 2010, Geoteknik Bilgisi III Bina Temelleri, Birsen Yayın Evi, İstanbul.
- Özdemir, T., Polat, G.E., Azdeniz, O., Boz, A., Sezer, A., 2016, Bazalt fiber ve kireç ile güçlendirilmiş kil zeminin dayanım özellikleri, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 16. Ulusal Kongresi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, 1025-1034.
- Parnas, R., Shaw, M., Liu, Q., 2007, Basalt fiber reinforced polymer composites. Report Prepared for The New England Transportation Consortium. NETCR63, Project No. 03-7.
- Saravanan, D., 2006, Spinning the rocks - basalt fibers. IE(I) Journal-TX., 86: 39-45.,
- Sarı, M., Akkaya, Y., 2013, Farklı Tipteki Liflerin Betonun Mekanik Davranışına Etkisi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Sarı, M.S., Aksoy, H., 2008, Temellerin Takviyesi ve Uygulamadan Örnekler, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Swink, M., 2002, Continuous filament basalt: a unique fiber capable of leadership in high temperature applications. Techtextil North America Symposium. Atlanta, GA, USA, 1-16.
- Terashi, M. & Juran, I., 2000, Ground Improvement-State of the Art, An International Conference on Geotechnical and Geological Engineering, 19-24 November 2000, Melbourne, Australia.
- Tunçdemir, F., 2004, TMH - Türkiye Mühendislik Haberleri Sayı 430 - 2004/2.

URL-1 <<https://bobcat.hamamcioglu.com/products/titresimli-silindir>>, Erişim Tarihi: 15.05.2018.

URL-2 <<http://formendergisi.com/icerik/detay/199/kirecli-sikistirma-yontemiyle-kis-aylarinda-asfaltlama-yapilabilecek>>, Erişim Tarihi:15.05.2018.

URL-3 < <http://www.zetas.com.tr/index.php?id=211000&dil=TR> >, Erişim Tarihi: 15.05.2018.

URL-4 <<http://www.railsystem.net/jet-grouting/>>, Erişim Tarihi:14.05.2018.

URL-5 <<http://uskudar.biz/malzeme-bilgisi/bazalt-elyaf%C4%B1>>, Erişim Tarihi: 17.05.2018.

Uzuner, B.A., 1995, Temel Mühendisliğine Giriş, Derya Kitapevi.

Witt, K.J., Smolczyk, U., 2002, Geotechnical Engineering Handbook, 1st edition, Vol.2, Chap.2.3, Ernst und Sohn, Berlin.

ÖZGEÇMİŞ

Ali KENAN, 12.02.1983 tarihinde İstanbul'da doğdu. İlköğretim ve lise eğitimini İstanbul'da tamamladı. 2005 yılında Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği bölümünden mezun oldu. 2007 yılında askerlik görevini bitirdi. 2007 yılından bu yana İstanbul'da AHS Yapı Denetim Ltd.Şti. firmasında uygulama denetçisi inşaat mühendisi ve yönetici olarak görev yapmaktadır.