

**BURUNDİ ZEMİNLERİNİN
KİREÇ VE TALAŞ TOZUYLA
İYİLEŞTİRİLMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

Janvier HABONIMANA

Eskişehir 2018

**BURUNDİ ZEMİNLERİNİN KİREÇ VE TALAŞ TOZUYLA
İYİLEŞTİRİLMESİ**

Janvier HABONIMANA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mehmet İnanç ONUR**

**Eskişehir
Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Haziran 2018**

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Janvier HABONIMANA'nın "Burundi Zeminlerinin Kireç ve Talaş Tozuyla İyileştirilmesi" başlıklı tezi 20/06/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek "Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri uyarınca, İnşaat Mühendisliği Anabilim dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

	<u>Unvanı Adı Soyadı</u>	<u>İmza</u>
Üye (Tez Danışmanı)	: Dr. Öğr. Üyesi M. İnanç ONUR
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi Kamil Bekir AFACAN
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi Kıvanç TAŞKIN

Prof. Dr. Ersin YÜCEL
Fen Bilimleri Enstitü Müdürü

ÖZET

BURUNDİ ZEMİNLERİNİN KİREÇ VE TALAŞ TOZUYLA İYİLEŞTİRİLMESİ

Janvier HABONIMANA

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Geoteknik Bilim Dalı

Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Haziran 2018

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mehmet İnanç Onur

Nüfus artışı, hızlı sanayileşme gibi nedenlerle inşaat sahalarının varlığı her geçen gün azalmaktadır. Geçmişte ulaştırma veya yapı projeleri için uygun görülmeyen araziler, yeni yatırımların kullanımına açılmaktadır. Bu durumda sıkça karşılaşılan problemler ise düşük taşıma kapasitesi, düşük kayma mukavemeti ve konsolidasyon oturmalarıdır. Böyle durumlarda problemlili zeminlerin değişik atık malzemeleri eklenerek iyileştirilmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca, günümüzde atık malzemelerle bilimsel çalışmalar yapılarak bu atık malzemenin değerlendirilmesi ve ekonomiye katkı sağlanması hedeflenmektedir. İlave olarak uygun atık imhası hem kırsal hem de kentsel alanlarda büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, Orta-Afrika'nın yeni gelişmekte olan ülkelerinden Burundi'nin zeminlerinin iyileştirilmesi için kolay elde edilebilen kireç ve talaş tozunun kullanımının uygunluğunu tartışılmıştır. Laboratuvar çalışmalarında talaş ve kireç kullanımının zemin özelliklerine etkileri incelenmiştir. Özellikle zemin taşıma gücü ve konsolidasyon problemi için çözüm önerileri sunulmuştur.

Anahtar Sözcükler: Kireç, Talaş tozu, Zemin iyileştirme.

ABSTRACT

IMPROVEMENT OF BURUNDI SOILS BY USING LIME AND WOOD SHAVINGS

Janvier HABONIMANA

Department of Civil Engineering

Programme in Geotechnical

Anadolu University, Graduate School of Sciences, June 2018

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Mehmet İnanç Onur

Due to population growth and rapid industrialization, the presence of construction sites is decreasing day by day. In the past, land that is not considered suitable for transportation or construction projects opens up to the use of new investments. Frequent problems in this case are low transport capacity, low shear strength and consolidation seats. In such cases, it is aimed to improve the problematic soils by adding different waste materials. Besides, it is aimed to evaluate the waste material and contribute to the economy by making scientific studies with waste materials. In addition, proper waste disposal is of great importance both in rural and urban areas.

In this study, the appropriateness of the use of easily obtainable lime and wood shavings to treat Burundi's soils, one of the newly developing countries of Central-Africa, has been discussed. The effects of wood shavings and lime on the soil properties were investigated in laboratory studies. Especially, proposed solutions are presented for the soil bearing capacity and consolidation problems.

Keywords: Lime, Wood shavings, Soil improvement.

TEŞEKKÜR

Hayatımın her anında desteklerini bana hissettiren aileme, ayrıca bu tez için yaptığım laboratuvar çalışmalarını ile analizler sırasında ve yazım aşamasında desteğini esirgemeyen arkadaşlarıma çok teşekkür ederim.

Bu çalışma sırasında elinden gelen her türlü yardımcı yapan değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Mehmet İnanç Onur'a teşekkürü bir borç bilmekteyim.

Ayrıca bu çalışmanın son aşaması olan tez savunması sırasında çok değerli katkılarını sunan jüri üyelerine de çok teşekkür ederim.

Janvier HABONIMANA

20/06/2018

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Anadolu Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programıyla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

.....

Janvier HABONIMANA

İÇİNDEKİLER

Sayfa

BAŞLIK SAYFASI.....	i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
TABLolar DİZİNİ.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. GEÇMİŞTE YAPILAN ÇALIŞMALAR	2
3. ZEMİN İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ	8
3.1. Ön Yükleme ve Düşey Drenler	9
3.2. Yüzeysel ve Derin Kompaksiyon	10
3.3. Kompaksiyon Enjeksiyonu	10
3.4. Titreşimli Sıkıştırma (Vibroflatasyon)	10
3.5. Jet-Grout.....	10
3.6. Taş Kolon	11
3.7. Geotextil Uygulaması	11
3.8. Permeasyon Enjeksiyonu.....	11
3.9. Katkı Maddeleri ile iyileştirme	11
3.9.1. Kireçle stabilizasyon	12
3.9.2. Çimento ile stabilizasyon	13
3.9.3. Uçucu kül ile stabilizasyon	13
3.9.4. Bitüm ile stabilizasyon	14
3.9.5. Atık malzeme ile stabilizasyon	14
4. BURUNDİ'NİN GENEL BİLGİLERİ.....	15
4.1. Burundi Fiziki Özellikleri.....	15
5. BURUNDİ ZEMİNLERİ İÇİN ZEMİN İYİLEŞTİRME ÇALIŞMASI.....	18
5.1. Zemin Özellikleri Belirlenmesi İçin Yapılan Deneyler	18
5.1.1. Su muhtevası deneyi.....	18

5.1.2. Likit limit deneyi	20
5.1.3. Plastik limit deneyi.....	22
5.1.4. Özgül ağırlık deneyi	22
5.1.5. Dane çapı dağılımı.....	23
5.1.6. Kompaksiyon deneyi.....	25
5.1.7. Serbest basınç deneyi	27
5.1.8. Konsolidasyon deneyi.....	29
5.2. Zemin Özelliklerinin Karşılaştırılması.....	31
6. KİREÇ VE TALAŞ İLE ZEMİN İYİLEŞTİRME ÇALIŞMALARI.....	34
6.1. Serbest basınç deneyi.....	34
6.2. Konsolidasyon deneyi	37
7. DEĞERLENDİRME	41
KAYNAKÇA	43
ÖZGEÇMİŞ.....	47

TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 5.1. Beşevler mahallesi su muhtevası deneyi sonuçları.....	18
Tablo 5.2. Fabrikalar bölgesi su muhtevası deneyi sonuçları	18
Tablo 5.3. Fatih mahallesi su muhtevası deneyi sonuçları	19
Tablo 5.4. Hoşnudiye mahallesi su muhtevası deneyi sonuçları.....	19
Tablo 5.5. Osmangazi mahallesi su muhtevası deneyi sonuçları.....	19
Tablo 5.6. Likit limit deneyi sonuçları	21
Tablo 5.7. Plastik limit deneyi sonuçları	22
Tablo 5.8. Özgür ağırlık deneyi sonuçları.....	22
Tablo 5.9. Zeminlerin özelliklere göre sonuç karşılaştırması	33
Tablo 6.1. Beşevler zemini konsolidasyon deneyi işlem yapısı.....	37
Tablo 6.2. Fatih zemini konsolidasyon deneyi işlem yapısı	38

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. Zemin iyileştirme gerekliliği örnekleri.....	8
Şekil 3.2. Karayollarında zemin iyileştirme gerekliliği	9
Şekil 3.3. Kireç ile stabilizasyonu.....	12
Şekil 4.1. Burundi'nin büyük jeolojik birimleri	16
Şekil 5.1. Zemin numuneleri	19
Şekil 5.2. Tartılan zemin numunelerin etüve konulması.....	20
Şekil 5.3. Beşevler mahallesi zemin numunesi likt limit deneyi grafiği.....	20
Şekil 5.4. Fabrikalar bölgesi zemin numunesi likt limit deneyi grafiği	20
Şekil 5.5. Fatih mahallesi zemin numunesi likt limit deneyi grafiği	21
Şekil 5.6. Hoşnudiye mahallesi zemin numunesi likt limit deneyi grafiği.....	21
Şekil 5.7. Osmangazi mahallesi zemin numunesi likt limit deneyi grafiği	21
Şekil 5.8. Plastik limit deneyinde numunelerin çatlama anındaki çapları.....	22
Şekil 5.9. Beşevler mahallesi zemin numunesi granülometre eğrisi	23
Şekil 5.10. Fabrikalar bölgesi zemin numunesi granülometre eğrisi.....	23
Şekil 5.11. Fatih mahallesi zemin numunesi granülometre eğrisi	24
Şekil 5.12. Hoşnudiye mahallesi zemin numunesi granülometre eğrisi	24
Şekil 5.13. Osmangazi mahallesi zemin numunesi granülometre eğrisi.....	24
Şekil 5.14. Beşevler mahallesi zemin numunesi kompaksiyon deneyi grafiği	25
Şekil 5.15. Fabrikalar bölgesi zemin numunesi kompaksiyon deneyi grafiği	25
Şekil 5.16. Fatih mahallesi zemin numunesi kompaksiyon deneyi grafiği	26
Şekil 5.17. Hoşnudiye mahallesi zemin numunesi kompaksiyon deneyi grafiği	26
Şekil 5.18. Osmangazi mahallesi zemin numunesi kompaksiyon deneyi grafiği.....	26
Şekil 5.19. Serbest basınç deney sistemi.....	27
Şekil 5.20. Serbest basınç deneyi.....	27
Şekil 5.21. Beşevler serbest basınç deneyi sonuçları.....	28
Şekil 5.22. Fabrikalar bölgesi serbest basınç deneyi sonuçları	28
Şekil 5.23. Fatih serbest basınç deneyi sonuçları	28
Şekil 5.24. Hoşnudiye serbest basınç deneyi sonuçları.....	29
Şekil 5.25. Osmangazi serbest basınç deneyi sonuçları	29
Şekil 5.26. Beşevler mahallesi zemin numunesi konsolidasyon deneyi grafiği	30

Şekil 5.27. Fabrikalar bölgesi zemin numunesi konsolidasyon deneyi grafiği	30
Şekil 5.28. Fatih mahallesi zemin numunesi konsolidasyon deneyi grafiği.....	30
Şekil 5.29. Hoşnudiye mahallesi zemin numunesi konsolidasyon deneyi grafiği	31
Şekil 5.30. Osmangzi mahallesi zemin numunesi konsolidasyon deneyi grafiği.....	31
Şekil 5.31. Burundi zeminlerinin 15 m kadar tabakalaşması	31
Şekil 6.1. Beşevler zeminleri serbest basınç deneyi sonuçları-1	34
Şekil 6.2. Beşevler zeminleri serbest basınç deneyi sonuçları-2	34
Şekil 6.3. Beşevler zeminleri serbest basınç deneyi sonuçları-3	34
Şekil 6.4. Beşevler zeminleri serbest basınç deneyi sonuçları-4	35
Şekil 6.5. Fatih zeminleri serbest basınç deneyi sonuçları-1	36
Şekil 6.6. Fatih zeminleri serbest basınç deneyi sonuçları-2.....	36
Şekil 6.7. Fatih zeminleri serbest basınç deneyi sonuçları-3.....	37
Şekil 6.8. Fatih zeminleri serbest basınç deneyi sonuçları-4.....	37
Şekil 6.9. Beşevler zeminleri konsolidasyon deneyi sonuçları-1	38
Şekil 6.10. Beşevler zeminleri serbest basınç deneyi sonuçları-2	39
Şekil 6.11. Beşevler zeminleri konsolidasyon deneyi sonuçları-3	39
Şekil 6.12. Fatih zeminleri konsolidasyon deneyi sonuçları-1	40
Şekil 6.13. Fatih zeminleri serbest basınç deneyi sonuçları-2.....	40
Şekil 6.14. Fatih zeminleri konsolidasyon deneyi sonuçları-3	41

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

- c : Kohezyon
- c_u : Drenajsız Kohezyon
- E : Elastisite Modülü
- e : Boşluk Oranı
- e_0 : Birim Basınç Altındaki Boşluk Oranı
- I_p : Plastisite İndeksi
- ν : Poisson Oranı
- ϕ : İçsel Sürtünme Açısı

1. GİRİŞ

Tüm dünyada olduğu gibi Burundi nüfusu da hızla artmaktadır. Nüfus artışı, hızlı sanayileşme gibi nedenlerle inşaat sahalarının varlığı her geçen gün azalmaktadır. Geçmişte ulaştırma veya yapı projeleri için uygun görülmeyen araziler, yeni yatırımların kullanımına açılmaktadır. Bu durumda sıkça karşılaşılan problemler ise düşük taşıma kapasitesi ve konsolidasyon oturmalarıdır. Böyle durumlarda problemlerli zeminlerin değişik atık malzemeleri eklenerek iyileştirilmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca, günümüzde atık malzemelerle bilimsel çalışmalar yapılarak bu atık malzemenin değerlendirilmesi ve ekonomiye katkı sağlanması hedeflenmektedir. İlave olarak uygun atık imhası hem kırsal hem de kentsel alanlarda büyük önem taşımaktadır.

Özellikle yol dolgularında, farklı üretim tesislerinden çıkan atık malzemeler sıkça kullanılmaktadır. İnşa edilen dolgunun taşıma kapasitesinin yeterli olmaması veya zamanla farklı oturma potansiyelinin bulunması önemli sonuçları neden olabilmektedir. Özellikle proje işletmeye alındığında can ve mal kayıplarının yanı sıra, ekonomik olarak büyük kayıplar da meydana gelmektedir. Bu nedenle istenilmeyen sonuçlardan kaçınmak için genellikle aşağıdaki önlemler alınmaktadır.

- ❖ Dolgunun kademeli bir şekilde inşa edilmesi.
- ❖ Konsolidasyon oturmasını hızlandırmak için düşey drenler yapılması
- ❖ Dolgu malzemesinin uygun bir malzeme ile karıştırılarak kullanılması

Genellikle zeminin iyileştirilebilmesi için çimento esaslı malzemeler kullanılması önerilmektedir. Ancak az gelişmiş ülkelerde ekonomik sebeplerden çimento yerine kolay bulunabilen atık malzemelerin kullanımı daha uygun görünmektedir.

Bu çalışmada, Orta-Afrika'nın yeni gelişmekte olan ülkelerinden Burundi'nin zeminlerinin iyileştirilmesi için kolay elde edilebilen kireç ve talaş tozunun kullanımının uygunluğunu tartışılmıştır. Laboratuvar çalışmalarında talaş ve kireç kullanımının zemin taşıma gücü ve konsolidasyon probleminin giderilmesi üzerine etkileri incelenmiştir.

Bu iki malzemenin zemin iyileştirilmesi için seçilmesinin nedeni; Kireç tozunun Burundi de ucuz ve ulaşılabilir olmasıdır. Talaş ise Burundi'de genellikle ahşap işleme faaliyetinin yaygın olması ve bir atık malzemesi olarak yığınlarına her yerde rastlanmasıdır. Burundi ekonomik olarak yeni gelişmekte ve finansal imkanları sınırlı olduğu için yeni yapılaşma sırasında ekonomik nedenler öne çıkmaktadır.

2. GEÇMİŞTE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Boulanger ve Hayden [1] gevşek ve derin dolgu zeminlerin kompaksiyon enjeksiyonuyla sıvılaşma dirençlerinin artırıldığı geniş bir vaka analiz raporunu incelemiştir; Baker [2] ise mevcut iki baraj dolgusu altındaki gevşek sıvılaşabilir zeminin, Orense vd. [3] ise mevcut bina temelleri altında sıvılaşma riski taşıyan zeminlerin kompaksiyon enjeksiyonuyla iyileştirilmesini araştırmışlardır. Zemin tipi, su muhtevası, rölatif sıklık, geostatik gerilmeler, mevcut yapısal elemanlar vb. gibi faktörler enjeksiyon malzemesinin zemin içerisine yerleşme şeklini ve dolayısıyla elde edilen nihai iyileştirmeyi etkilemektedir. Enjeksiyon noktaları arasındaki yatay aralıklarda yüksek geostatik gerilmelerin olması durumunda daha yüksek enjeksiyon hacmi ve basınçları gerektirmektedir. Vaka analizlerinde bu enjeksiyon tekniğinin siltli zeminlerin SPT ve CPT penetrasyon direnç değerlerini önemli ölçüde artırdığı belirtilmiştir. Deney sonuçlarından kompaksiyon enjeksiyonunun silt ve kumların SPT ve CPT dirençlerini artırmada başarılı olduğu sonucuna varılmaktadır. Zemin iyileştirme (sıkıştırma) tekniklerinden kompaksiyon enjeksiyonu üzerine teorik ve pratik yaklaşımlarda bulunulmuş, tekniğin uygulama alanlarından ve özellikle son 10-15 yıl bir süre içerisinde sıvılaşma riskini azaltma yöntemi olarak kullanıldığından bahsedilmiş, zemin ve enjeksiyon parametreleri üzerinde kısaca durulmuştur. Tekniğin yumuşak killerde uygulanması durumunda aşırı boşluk suyu basınçlarını sönmeyecek özel önlemlerin alınması gerektiği ve yanal gerilmelerin uzun vadede azalmasından ötürü iyileştirilmiş zeminin penetrasyon dirençlerinde zamanla azalma meydana gelebileceği vurgulanmıştır.

Salley vd. [4] zemin sıvılaşma riskinin düşük basınçlı çimento enjeksiyonu ile azaltılmasını araştırmışlardır. Bu çalışmada, zemin sıvılaşma riskini azaltmak amacı ile kumlu zeminde düşük basınçlı çimento enjeksiyonu uygulanmıştır. Enjeksiyon öncesinde sahada standart penetrasyon deneyi ve koni penetrasyon deneyi yapılmıştır. Deneyler sonrasında geoteknik özellikleri belirlenen zeminde derinliğe bağlı olarak 100 kPa ve 150 kPa basınçla çimento enjeksiyonu uygulanmıştır. Enjeksiyonda su/çimento oranı 1 olan harç kullanılmıştır. Enjeksiyon uygulamasından 28 gün sonra sahalarda tekrar standart penetrasyon ve koni penetrasyon deneyleri yapılmıştır. Enjeksiyon sonrasında standart penetrasyon deneyi sonuçları ortalama % 30 oranında artmıştır; Enjeksiyon uygulanmış olan bölgede, enjeksiyon sonrasında koni penetrasyon deneyinde elde edilen uç direnci değerleri 4,5 m ile 8 m arasında yakın değerler alınmışken, 8 m'den sonra %50 civarında artmıştır; Standart penetrasyon deneyi sonucunda elde edilen sıvılaşmaya karşı güvenlik

sayısı değerleri 4,5 m ile 9 m arasında ortalama %200 oranında artmış, daha derinlerde ise %50 oranında artmıştır, Koni penetrasyon deneyi sonuçlarına göre elde edilen sıvılaşmaya karşı güvenlik sayısı değerleri 6 m ile 8 m arasında yakın elde edilmiş, 8 m derinlikten itibaren % 50 oranında artmıştır.

Lunardi [5] çalışmasında zemin iyileştirmesi için jet grouting yönteminin mühendislik problemleri çözümünde ki etkisini incelemiştir. Yöntemin farklı zemin çeşitlerine göre uygunluğu, dizayn kriterleri, inşaat sırasında gözetleme, teknolojik gelişmeler, çevre duyarlılığı açısından değerlendirme yapılmıştır. Uygulamanın zemin ıslahı problemlerinde oldukça ekonomik ve etkili olduğu ancak daha etkin kullanımı için uygulama ile ilgili deneysel araştırmaların yapılması gerektiği belirtilmiştir.

Omine ve Ohno [6] derin karıştırma veya kum kompaksiyon kazığı metotlarıyla iyileştirilen kompozit ve heterojen yapıdaki zeminleri incelemiştir. Çalışmada kompozit zeminlerin deformasyon analizi için iki farklı karışım modeli önerilmiştir. Karışımların elastik modülü belirlenmiştir. İki boyutlu sonlu elemanlar analiz sonuçları ile üç boyutlu sonlu elemanlar analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Öte yandan kazık şeklinde katkılar ile oluşturulan kompozit zemin üzerinde laboratuvar model testleri gerçekleştirilmiş, hesaplanan sonuçlar ile test sonuçları kıyaslanarak irdelenmiştir.

Kirsch ve Sondermann [7] düşey iyileştirme kolonlarının analizleri için farklı teknikleri araştırmışlardır. Analiz ve dizayn için metodoloji basit ampirik yaklaşımlardan daha sofistike analitik yaklaşımlara geçmektedir. Deformasyon davranışının sayısal simülasyonu zeminin mekanik davranışını anlamakta önemli rol oynamaktadır. Bu çalışmada farklı yaklaşımlarda sayısal analizler bulunmakta ve sayısal modellemenin, iyileştirmenin güvenli ve ekonomik dizaynında oldukça etkili olduğu gösterilmiştir.

Durgunoğlu vd. [8] zemin iyileştirilmesi yapılmış bir vaka analizini incelemiştir. Arazi ve laboratuvar deneyleri esas alınarak yapılan hesaplamalarda sığ temellerin üst yapı yükleri altında aşırı oturma yapacağı belirlendiği belirtilmiştir. Bu durum karşısında, kazıklı temel ve jet grouting uygulaması olarak iki alternatif sistem önerilmiş, düşük maliyeti ve kısa inşaat süresi bakımından jet grout kolon uygulaması tercih edilmiştir. Jet grouting teknolojisi ile ilgili olarak, uygulama türü, prosedürü ve parametreleri ortaya konulmuştur. Uygulamanın kalite kontrolü amacıyla kolon çapları uygulamadan sonra kazı yapılarak yerinde ölçülmüş ve kolonlardan karot örnekleri alınarak basınç dayanımları tespit edilmiştir. Kolonların yük taşıma kapasiteleri seri yükleme deneyleri ile belirlenmiştir.

Özsoy ve Durgunoğlu [9] jet grouting ve deep mixing zemin ıslahı tekniklerinin karşılaştırmışlardır. Deprem sebebiyle oluşan kayma gerilmelerinin tanımlanan birim alanlar üzerine dağılımı, zemin-çimento karışımı kolonlar ve çevrelerindeki zemin arasındaki kayma modüllü farkı kullanılarak modellenmiştir. Çalışmada deprem sırasında oluşacak kayma gerilmelerinin birim alan içerisinde üniform olarak, yüksek kayma modüllü kolonlar ve bunları çevreleyen zemin arasında kayma modülleri oranında dağılacığı kabulüne dayanan bir hesap yöntemi önerilmiştir. Çalışmada yapılan kabullerin iki veya üç boyutlu Sonlu Elemanlar Metodu veya Sonlu Farklar Metodu modelleri ile kontrolünün yapılması önerilmiştir.

Durgunoğlu [10] tarafından çeşitli inşaat mühendisliği yapılarının geoteknik ve sismik risklerinin değerlendirilmesi sonucu gerekli görülen zeminin iyileştirilmesi için kullanılan yöntemler irdelenmiştir. Bu metotlardan ülkemizde yaygın bir kullanımı bulunan yüksek modüllü jet grout kolonların temel mühendisliğinde çeşitli kullanımları, imalat parametreleri, kalite kontrol ve proje kriterlerinin tahkik deneyleri açıklanmıştır. Zemin içerisine yüksek basınçlı çimento enjeksiyonuna dayanan bu yöntemin kullanımı detaylı olarak konu edilmiş, yeni bir tasarım metodu özetlenmiştir.

Pinto vd. [11] Portekiz’de yapılan zemin iyileştirme uygulamasını incelemişlerdir. Araştırmacılar uygulamaya alternatif çözüm olarak taş kolon yöntemini önermişler ve çeşitli solisyonların jet-grout ile kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Hassas binalar ve altyapıları, rıhtım duvarları, metro tüneline tüneli gibi durumlarda jet enjeksiyon solüsyonlarının avantajlarını vurgulamışlardır.

Ghabaee [12], Han [13], Alpyürür vd. [14], Bell [15,] zemin iyileştirmesinde öğütülmüş gazbetonun kullanımının killerin CBR değerine etkisini araştırılmıştır. Bu amaçla, gazbeton 40 nolu elekten geçecek şekilde öğütülmüş, düşük plastisiteli kil (CL) ve yüksek plastisiteli bentonit (CH) içerisine çeşitli oranlarda karıştırılarak numuneler oluşturulmuş ve laboratuvar deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneyler, saf kil numunelerine ek olarak ağırlıkça %5, %10, %15, %20 ve %25 oranında öğütülmüş gazbeton katkısı içeren numuneleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın amacı bir inşaat atığı olarak gazbetonun, zemin iyileştirmesinde kullanılabilirliğini ve ekonomik faydalarının araştırılmasıdır. Deneysel çalışma sonucunda, öğütülmüş gazbetonun problemlili zeminlerin iyileştirmesinde alternatif bir katkı maddesi olarak kullanılabileceği belirlenmiştir. Kireç, çimento, uçucu kül gibi puzzolanik katkı malzemeleriyle birlikte kullanılmasının daha etkili zemin iyileştirmesi sağlayacağı önerilmiştir. Bu malzemenin,

çakıl gibi iri daneler halinde, sahip olduğu gözenekler muhafaza edilerek kullanılması durumunda iyi bir hafif dolgu malzemesi olacağı belirtilmiştir. Ayrıca gazbeton atıklarının ince daneli zeminlerin permeabilitesine etkisinin de araştırılması tavsiye edilmiştir.

Çadır vd. [16], Zorluer [17] zeminlerin atık mermer tozu ile iyileştirilmesini incelenmiştir. Killi zeminlere ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranlarında mermer tozu eklenerek çeşitli deneyler uygulanmıştır. Yapılan çalışmalar sonucu mermer tozunun killi zeminlerin fiziksel ve dayanım özelliklerinde iyileştirme meydana getirdiği görülmüştür.

Abboud vd. [18], Bell [19], Kılıç [20] tarafından çimento ile zemin stabilizasyonu oranının belirlenmesi deneysel olarak araştırılmıştır. Zayıf zeminlerin iyileştirilmesi ve belirli zemin özelliklerin sağlanması karayolu uygulamalarında önemli bir yer tutmaktadır. Çimento stabilizasyonunda, taneler arası boşluklar doldurulmakta ve zeminin mukavemeti arttırılmaktadır. Böylelikle, sağlam, hizmet ömrü uzun ve bakım maliyeti düşük stabilize dolgu tabakası elde edilmektedir. Çalışmalarda çimento kullanılmasında dikkat edilmesi gereken en önemli faktörler; zemin cinsi, su içeriği ve çimento oranı olarak verilmiştir. Çimento katkısı ile zayıf zeminin yerine istenilen zemin özelliklerine sahip stabilize temel tabakasının elde edilmesinin mümkün olduğu gösterilmiştir. Daha ekonomik, bakım masrafları düşük ve hizmet ömrü uzun yol inşası için deneylerin kapsamının genişletilmesi önerilmiştir.

Bouazza vd. [21], Chang vd [22] tarafından biyopolimer Xanthan gum katkısı içeren kaolin kilinin dayanım özellikleri incelenmiştir. Deneysel çalışmalar neticesinde şu sonuçlar elde edilmiştir. Biyopolimer içeriği arttıkça boşluk suyunun viskozitesinin artması nedeniyle kaolin kilinin likit limit değeri belirgin olarak artmaktadır. Ancak, plastik limit ve plastisite üzerinde gözle görülür bir etkisi bulunmamaktadır. Yüksek su içeriğine sahip örneklerin daha sünek davranış gösterdiği dolayısıyla yüksek deformasyonlara ulaştığı gözlemlenmiştir. Serbest basınç dayanımının artması ile birlikte deformasyon değerlerinde azalma görülmektedir. Xanthan gum içeren killerin serbest basınç dayanımı ile elastisite modülü arasında bir korelasyon elde edilmiştir.

Akbulut vd. [23], Yarbası vd. [24], Kalkan [25,26] ve Zaimoğlu [27] yaptıkları çalışmalarda, atık malzemeler ile (sentetik fiber, atık lastik, silis dumanı, kireç vb.) güçlendirilen ince ve iri taneli zeminlerin geoteknik özelliklerin iyileştirdiğini belirtmektedirler. Ghazavi ve Sakhi [28] ise fiber ile güçlendirilen ince taneli zeminlerin mukavemetinin donma-çözülme etkisi ile düştüğünü belirtmiştir.

Sharma ve Phanikumar [29] taş kolonların şişen zeminlerin iyileştirilmesi üzerindeki etkisini araştırmıştır. Modifiye CBR kalıplarıyla gerçekleştirilen ödometre deneylerinde, farklı şişme potansiyeline sahip zeminlerde serbest şişme koşullarında %10'luk, %20'lik ve %30'luk alan yer değiştirme oranlarında sırasıyla % 22, % 45, ve % 61 iyileştirme yüzdeleri elde edilmiştir. İyileştirme yüzdesinin arttırılmasıyla şişme yüzdelerinde kayda değer azalmalar olduğu saptanmıştır.

Ilknur vd. [30] kireç ile stabilize edilen killi bir zeminin elastisite modülü değerlerini incelemiştir. Kireç ile stabilize edilmiş zeminlerin elastisite modülü ve mukavemeti; kireç yüzdesi, ufalanma seviyesi, kür süresi bakımından detaylı olarak incelenmiştir. Çalışma sonucunda yüksek plastiseli kilin, sönmüş kireç ile stabilize edilmesi sonucunda elastisite modülü değerlerinde önemli artışlar gözlenmiştir. Ayrıca, ufalanma seviyesinin kireç yüzdesi kadar önemli olduğu, ince ufalamanın iri ufalamaya göre daha yüksek modül değerleri verdiği belirtilmiştir.

Little vd. [31] tarafından yüzde beş kireçle zenginleştirilmiş kil numunelerinin silis dumanı ve sentetik liflerle iyileştirilmesinin araştırılması amacı ile serbest basınç testleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmada serbest basınç dayanımını maksimize edecek miktarlarda silis dumanı ve sentetik lif katkısı araştırılmıştır. Kil numunelerde kireç ve silis dumanı katkısı ile puzzolanik reaksiyonlar oluşmuş, kür süresince oluşan mineraller mukavemet değerlerinin artmasına yardımcı olmuştur. Kil numunelere kireç, silis dumanının yanında polipropilen liflerin katılması donatı vazifesi görmüş ve elde edilen serbest basınç mukavemeti değerlerinde 10 kata varan oranlarda artış tespit edilmiştir. Bu sonuçlar ışığında çalışmanın ekonomik bir alternatif olacağı belirtilmiştir.

Harichane vd. [32] kireç ve puzzolan kombinasyonunun yumuşak killi zeminlerin sıkışma ve mukavemetine etkisini incelemiştir. Araştırmacılar Papua Yeni Gine'nin doğal kaynaklarından volkanik kül kullanmışlardır. Volkanik kül, doğal kireç ve çimento kombinasyonlarının iki farklı kil zemin ile karıştırılmasıyla elde edilen numuneler üzerinde gerçekleştirilen testlerden şu sonuçlar çıkarılmıştır. Doğal puzzolan-kireç kombinasyonu gri renkli kil zeminin maksimum kuru yoğunluğunda artışa, kırmızı kil zeminde azalmaya neden olmaktadır. Her iki kil için, artan sertleşme süresi ile mukavemeti artırmaktadır.

Tosun ve Türköz [33] odun külü ve kireç katkısının şişen zeminin mühendislik özelliklerine etkisini araştırmıştır. Bu çalışmada, odun külü ve kireç (kalsiyum oksit) ile doğal zeminin serbest şişme potansiyelinde azalma, sıkıştırma özelliklerinde iyileşme ve 28 günlük kürlenmeden sonra dayanımında artış gözlenmiştir. Endüstriyel kalsiyum oksit

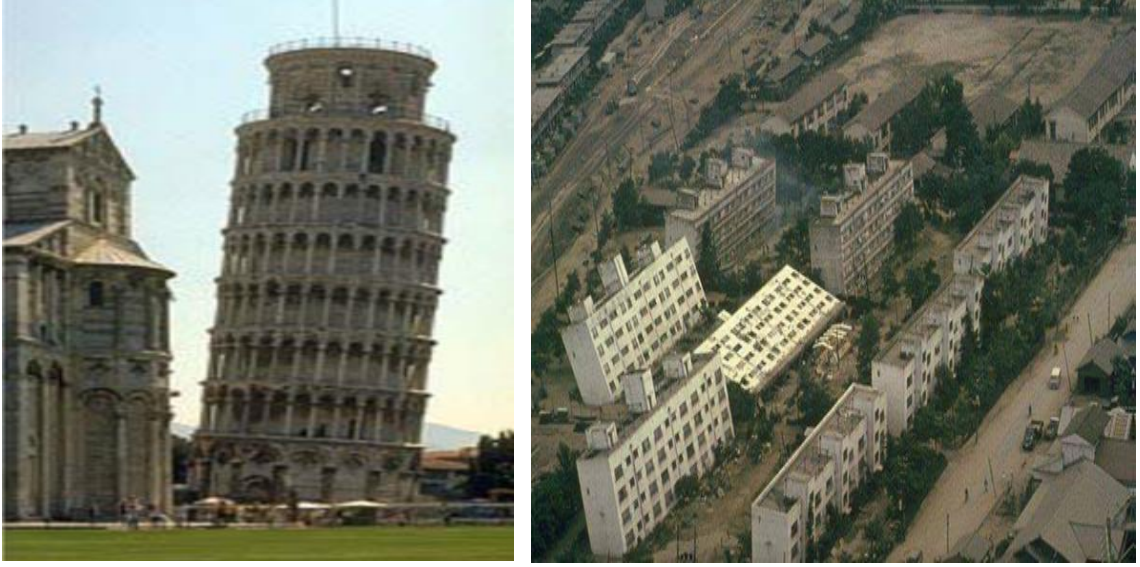
(CaO)' nun odun külüne doğru oranda eklenmesi odun külü stabilizasyon yeteneğini geliştirmektedir. Odun külü bir atık malzeme olarak kabul edildiğinden ve ucuz olduğu için, geniş topraklar için stabilize edici bir malzeme olarak kullanılması maliyeti azaltacak ve aynı zamanda odun külü ile ilgili çevresel problemleri de azaltacaktır.

Moseley [34] atık boyalı kireç karışımının zeminlerin sıkışabilirlik özelliklerine etkisi incelemiştir. Ayrıca, kür süresinin iki farklı kilin sıkışma özellikleri üzerindeki etkisi karşılaştırılmıştır. Kireç ilavesi, her iki zeminin sıkışma davranışını önemli ölçüde etkilemiştir. Kireç içeriği ve kürlenme süresi arttıkça, serbest basınç mukavemeti artmaktadır.

Şener vd. [35] kireç perlit ile stabilize edilen killi zeminlerin kesme dayanımı ve mukavemetini araştırmıştır. Bu çalışmada perlit ve perlit-kireç katkıları ile hazırlanan kil zemin üzerinde deneyler gerçekleştirilmiştir. Yüksek plastisiteli kilin, kireç ve perlit eklenmesinin neden olduğu mikro yapıda puzzolanik reaksiyona bağlı olarak kum ve silt davranışını göstermiştir. Kirecin eklenmesi, görünür bütünlüğün artmasına ve perlit içeriğinin arttırılması, kesme direncinde iyileşmeye neden olmuştur. Sadece perlit ile stabilize edilen numuneler, yeterli mukavemet gösterememiş kireç ilavesinin gerekliliği görülmüştür.

3. ZEMİN İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

Zeminler; yapıların temellerinin üzerine oturduğu taşıyıcı ve inşaat malzemesi olarak tanımlanmaktadır. Zeminlerin mühendislik özellikleri; zeminin cinsi, sıklık derecesi, su muhtevası, konsolidasyon basıncı, yükleme ve drenaj koşulları vb. gibi birçok faktör ile geniş bir aralık içerisinde değişmektedir. Zemin iyileştirilmesinin amacı genel olarak zeminin kayma mukavemetinin artırılması ve böylece taşıma gücünün artırılması, oturma miktarlarının azaltılması, zeminin büzülme/kabarma ve sıvılaşma özelliklerinin azaltılması, dolgu ve yamaçların stabilitesinin artırılması olarak sıralanabilir [36]. Ayrıca, depremler nedeniyle meydana gelebilecek olumsuz etkileri en aza indirmek amacıyla zemin iyileştirme yöntemleri uygulanmaktadır (Şekil 3.1). Zemin iyileştirme metotlarının seçiminde ise yerel zemin koşullarının iyi tanımlanmış olması ve doğal zemin davranışının mutlaka incelenmiş olması gereklidir (Şekil 3.2).



Şekil 3.1. Zemin iyileştirme gerekliliği örnekleri



Şekil 3.2. Karayollarında zemin iyileştirme gerekliliği

Zemin belirli bir enerji ile sıkıştırılması işlemine kompaksiyon, zemin titreşim ve ilave malzemelerle iyileştirilmesi işlemine titreşimli sıkıştırma, yumuşak zeminlerin ilave yüklerle yüklenerek konsolide edilmesi işlemine ön yükleme, yumuşak suya doymun kohezyonlu zeminlerin ilave yüklerle oturmasının sağlanması işlemine kum direnler, ortama ilave edilen malzemelerle zeminin iyileştirilmesi işlemine ilave malzemelerle iyileştirme, petrol ürünü maddelerle yapılmış kumaşların kullanılması ile yapılan iyileştirme işlemine geotextile kullanımı tanımı yapılmaktadır.

Tabii zemin tabakalarının yerinde iyileştirme amacı ile kullanılacak yöntemler şu şekilde gruplandırılabilir [36]:

- ❖ Mekanik yöntemler – değişik sıkıştırma (kompaksiyon) teknikleri
- ❖ Hidrolik yöntemler – yeraltı suyu kontrolü, drenaj, zemin suyunun uzaklaştırılması (konsolidasyon), önyükleme
- ❖ Fiziko-kimyasal yöntemler – katkı malzemeleri, enjeksiyon yöntemleri, elektro stabilizasyon, ısıtma/soğutma (dondurma)
- ❖ Donatılı zemin – zemin içinde donatı elemanları kullanılması
- ❖ Zemin içinde rijit kolonlar oluşturulması (jet grout kolon, taş kolon vb.)

Aşağıda sıkça kullanılan yöntemler genel olarak özetlenmiştir.

3.1. Ön Yükleme ve Düşey Drenler

Yapının inşasından önce inşaat sahası geçici olarak bir toprak dolgu ile kaplanır; Bir süre beklenerek temel zeminini oluşturan tabakaların bu dolgu ağırlığı altında konsolide olması sağlanır; Daha sonra bu dolgu kaldırılarak yerine yapı inşa edilir;

Sonuçta, kil zemin ön konsolidasyona uğradığı için yapıdan aktarılan yükler altında meydana gelecek oturmalar da azalmış olacaktır.

3.2. Yüzeysel ve Derin Kompaksiyon

Statik, vibrasyonlu veya darbeli aletlerle zeminin mekanik olarak sıkıştırılması, böylece zeminin kayma mukavemetinin artırılması, permeabilitesinin azaltılması, sıkışabilirliğinin azaltılması, sıvılaşma riskinin düşürülmesi işlemidir. Doygunluk derecesi az, permeabilitesi yüksek ve drenaj şartları iyi olan gevşek granüller zeminler için çok ideal bir yöntemdir. Permeabilitesi düşük ve suya doymuş killer için ise tavsiye edilmez.

3.3. Kompaksiyon Enjeksiyonu

Zemin deplase ederek katı enjeksiyon malzemesinin zemin içine yerleştirilmesidir. Zemin hem enjekte edilen malzemenin etrafında hacim değişikliğine uğrayıp sıkışacak hem de enjeksiyon malzemesinin (genellikle beton) desteğini alacaktır. Enjeksiyon malzemeleri katı veya düşük kıvamlı çimento şerbetidir.

3.4. Titreşimli Sıkıştırma (Vibroflatasyon)

Bu yöntem tabaka kalınlığı büyük gevşek granüler zemin depozitlerin arazide sıkıştırılmasında kullanılmaktadır. Yöntemde titreştirici ünite içinde eksantrik bir ağırlık vardır ve santrifüj bir kuvvet doğurarak titreşim meydana getirir. Açılan çukurun içine üstten granüler malzeme dökülürken deliklerden su çıkışı yapılarak granüler malzemenin çukurun içinde aşağıya doğru hareketi sağlanır. Zeminin sıkıştırılması zeminin tane çapı dağılımına ve kullanılan dolgu malzemesinin özellikleri gibi bazı faktörlere bağlıdır.

3.5. Jet-Grout

Jet grout yöntemi ile zemin kısmi olarak taşlaştırarak çimentolu zemine dönüştürülür. Zemine çimento+su karışımı yüksek basınçla püskürtülür ve çimento ile zemin karışarak kolonlar elde edilir. Zemin jet grout'un uygulanacağı derinliğe kadar delinir. Su jeti takılı olan boru jet grout yapılacak derinliğe indirilir. Boru yukarı çekilirken çimento+su karışımı yüksek hızla püskürtülür. Püskürtmenin etkisini arttırmak için boru yukarı çekilirken döndürülür. Böylece zemin içinde silindirik bir çimentolu zemin kütlesi elde edilir.

3.6. Taş Kolon

Taş kolonlar zeminin taşıma kapasitesini artırmak, toplam ve farklı oturumları azaltmak, oturumları hızlandırmak, dolguların ve doğal şevlerin stabilitesini artırmak ve sıvılaşma potansiyelini azaltmak amacı ile titreşimle sıkıştırılmış agregadan oluşan düşey kolonlardır. Fazla miktarda atık veya ayrışabilir organik madde içeren zeminlerde tavsiye edilmez. Aynı şekilde suya doygu siltli zeminlerde yapılan uygulamalarda mukavemet kaybı gözlenebilir. Taş kolon yapılan kohezyonlu zeminlerde, taş kolon inşasından sonra ön yükleme ile zeminin oturmasının hızlandırılması gerekir.

3.7. Geotextil Uygulaması

Geotextil zemini kuvvetlendirmek için kullanılan petrol ürünü polyester, polietilen ve polipropilen kumaşlardır. Drenaj amaçlı, ince ve kaba taneli zeminler arasına yerleştirilerek filtrasyon amaçlı ve geotextil malzemenin çekme mukavemeti olduğu için zeminin taşıma gücünü artırma amaçlı kullanılabilir.

3.8. Permeasyon Enjeksiyonu

Zemin ıslahı derecesi uygulanan enerjinin büyüklüğüne bağlıdır. Zeminlerin enjeksiyon tekniğiyle iyileştirilmesi tanımı: akışkan, yarı akışkan veya katı kıvamda malzemelerin basınç altında zemine enjekte edilmesidir. Buradaki amaç zemin ya da kaya kütesinin mühendislik özelliklerini iyileştirmektedir.

3.9. Katkı Maddeleri ile İyileştirme

Zeminleri değişik katkı maddeleri karıştırarak bazı fiziksel özelliklerini iyileştirmek mümkün olmaktadır. Katkı maddeleri genel olarak atık malzemeler ile iyileştirme, kireç ile iyileştirme, çimento ile iyileştirme, uçucu kül ile iyileştirme, talaş ile iyileştirme, bitüm ile iyileştirme şeklinde olmaktadır. Katkı malzemesi seçiminde ise zemin cinsi, zeminin hangi özelliğinin iyileştirilmesi, katkı malzemesi ile iyileştirilmiş zeminin özelliklerinin laboratuvar deneyleri ile araştırılması, maliyet analizi, gibi hususlara dikkat edilmelidir.

Zemin iyileştirme çalışmalarında temel amaçlar zeminin plastisitesini azaltmak, geçirgenliğini düşürmek, şişme ve kabarmalarını azaltmak, oturumlarını azaltmak, sıkışabilirliğini azaltmak ve mukavemetini arttırmaktır. Böylece zemin daneleri

arasındaki bağlar kuvvetlendirilerek taşıma gücü artırılır ve zeminde stabilite yani deformasyonlara karşı direnç sağlanır.

Genel olarak, kireç katkısının plastisite indisinde düşüş oluşturarak zeminin plastik halden katı geçtiği, çimento katkısının iri daneler arasındaki boşlukların dolmasını sağladığı, uçucu kül katkısının ise plastisite indeksini düşürücü etki yaptığı, böylece zeminin özelliklerine bağlı olarak mukavemet artışı elde edildiği bilinmektedir. Diğer yandan zeminin permeabilitesini azaltmak veya şişme özelliği olan zeminlerde kabarmayı önlemek içinde katkıları kullanılmaktadır.

3.9.1. Kireçle stabilizasyon

Kil zeminlerde kireç katkısıyla plastisite indisi düşürülür ve kuru birim hacim ağırlık artırılır. Şişebilen kil zeminler su ile temas ettiklerinde su alıp hacimlerini artırmakta, üzerlerinde bulunan yapılara basınç uygulamaktadır, hafif yapıların bu şişme basıncını karşılayamadığı durumlarda deformasyonlar görülmektedir. Şişen kil zeminler kireç kullanılarak iyileştirilmektedir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Kireç ile stabilizasyon

Killi bir zemine kireç katılması sonucu çeşitli kimyasal reaksiyonlar meydana gelmektedir. Killi zeminlere kireç ilavesi ile kireçteki tek değerli Ca^{+2} ve Mg^{+2} iyonları ile kilin içindeki Na^{+} veya K^{+} ile yer değiştirir. Bu olaya katyon değişimi denir. Katyon değişimi reaksiyonu sonucunda, çökeltme-yığışma ile kil parçacıkları birbirlerine yönelerek, kil mineralleri ile kireç arasında oluşan adezyon (yapışma) sayesinde kilin

mikro yapısı değişerek ve daha büyük parçacıklar oluşturarak killi zeminlerin yapısında bir değişiklik meydana gelir. Böylece, zemin kil özelliğini kaybederek silt gibi davranmaya başlar ve sertleşerek plastik kıvamdan katı kıvama geçer. Bu durum, kireç ilavesi ile kalsiyum iyonu almış olan kilin çevresi kireç ile sarıldığı için suyu emme ve şişme özelliğini kaybettiği şeklinde açıklanmaktadır. Bu sayede zemine katılan kireç, zeminin mukavemetini ve elastisite modülünü arttırarak dayanıklılığının artmasını sağlamaktadır. Genel olarak, kireç zeminin kuru birim hacim ağırlığında bir azalmaya, plastik özelliklerinde bir değişmeye ve taşıma kapasitesinde bir yükselmeye sebebiyet verir. Kireç stabilizasyonu, daha yaygın olarak killi zeminlerden yapılan dolgularda özellikle yol inşaatlarında kullanılmaktadır.

Kireç stabilizasyonu ile zemin özelliklerinin iyileştirilmesinde amaç, PI değerini ve şişme potansiyelini azaltmak, mukavemeti ve durabiliteyi arttırmaktır. Kireç stabilizasyonu için hidrata kireç (sönmüş kireç, Ca(OH)_2 yani kalsiyum hidroksit) kullanılmaktadır. Sönmemiş kireç (CaO) ise yakıcı ve tehlikeli olması nedeniyle çoğunlukla kullanılmamaktadır.

3.9.2. Çimento ile stabilizasyon

Çimento ile stabilizasyon Amerika Birleşik Devleti'nde Eyalet Karayollarının 1920'li yıllardaki uygulamalarına dayanmaktadır. Günümüzde artan trafik nedeni ile yaygın hale gelmiştir. Özellikle, killi zeminler için; 200 No.lu elekten geçen malzeme miktarı % 40 dan az ise, likit limit değer 45~50 den düşükse ve Plastisite indisi 25 den küçükse çimento stabilizasyonu etkili sonuçlar vermektedir. Kumlu ve düşük plastisiteli killi zeminler için uygun bir yöntemdir. Zemine ilave edilen çimento likit limiti azaltır, plastisite indisini ve killerde işlenebilirliği artırır. Bu sonuçlara bağlı olarak zeminin dayanımı artar.

3.9.3. Uçucu kül ile stabilizasyon

Dünyada artan enerji ihtiyacı ile beraber uçucu kül üretimi de giderek büyük miktarlara ulaşmaktadır. Termik santrallerde üretilen külün yaklaşık %75-85'i uçucu kül olarak elde edilmektedir. Bu kadar fazla üretilen bir malzeme beraberinde istenmeyen bazı çevre ve ekonomik sorunlar meydana getirmiştir. Kimyasal özellikleri, kolay ve ucuz temin edilmesi, çevreye verilen zararların azaltılması ve ekonomik çözümler üretilmesi nedeni ile uçucu küllerin mühendislik uygulamalarında kullanımını artmıştır. Uçucu kül silt

boyutlu bir malzemedir ve kireç veya su ile karıştırıldıklarında katılaşıma özelliğine sahiptir. Zemin içerisine karıştırılan uçucu kül oranı arttıkça zeminin kayma mukavemeti de artmaktadır. Uçucu kül inşaat sektöründe yol yapım çalışmalarında sıkça kullanılmaktadır. Uçucu küller, kendi başlarına bağlayıcı özelliği olmayan ancak sulu ortamda kireçle birleştiklerinde bağlayıcı özellik kazanan puzolanik malzemelerdir. Kireç ve su ile karıştırıldıktan sonra artan süre ile birlikte uçucu küllerin puzolanik özellikleri nedeniyle uçucu kül katkılı zemin belirli bir süre sonunda dayanım kazanır.

3.9.4. Bitüm ile stabilizasyon

Yapılan stabilizasyon çalışmalarında, yol altyapısının likit asfaltlarla stabilize edildiklerinde sağlam bir temel meydana geldiği görülmüştür. Altyapının üst kısmında zeminde bir bağlayıcılık temin etmek ve zemini sudan koruyarak her türlü hava artlarında dayanımı artırmak için zemin-asfalt stabilizasyonu yapılmaktadır. Zemin-asfalt stabilizasyonuna etki eden faktörlerden biri de likit asfaltların zemin daneleri arasındaki dağılımıdır. Bu dağılım homojen olmalıdır. Zemin-asfalt karışımının stabilitesi karıştırma süresine bağlıdır. Uygun bir karıştırma süresinde stabilite yüksek olacaktır.

Çeşitli zeminler bitümlü malzemeler ile stabilize edilebilirler. İnce yapılı zeminlerin plastisite indeksinin en fazla %12 olması uygun görülmektedir. Plastisitesi yüksek olan zeminler için hızlı ve orta kür eden asfaltlar tercih edilir. Asfalt-kum stabilizasyonu özellikle sahil bölgelerde başarı ile kullanılmıştır. Burada asfaltın fonksiyonu kumlar arasındaki kil birimleri arasında yapı mayı sağlamak ve böylece su geçirgenliğini en alt düzeye indirmektir.

3.9.5. Atık malzeme ile stabilizasyon

Atık malzeme ile stabilizasyonda sıkça tercih edilen malzemelerden birisi öğütülmüş atık lastiktir. Öğütülmüş lastik kullanımı ile zemin direncinin artması, süneklik düzeyinde artış, kohezyon (c) ve içsel sürtünme açısının (ϕ) artması gibi olumlu etkiler gözlenmiştir. Ayrıca, alçıtaşı, kireç veya çimento gibi bir bağlayıcının optimum bir yüzdesi ile takviye ederek önemli ölçüde mukavemet değerlerine ulaşılabilir. Ayrıca, alçıtaşı, kireç veya çimento gibi bir bağlayıcının optimum bir yüzdesi ile takviye ederek önemli ölçüde mukavemet değerlerine ulaşılabilir.

Diğer bir atık malzeme olarak da talaş tozunun kullanılmasıdır. Talaş tozunun çimento, uçucu kül, kireç gibi bir bağlayıcı malzeme mukavemet artışına sebep olduğu bilinmektedir. Ayrıca, zeminlerin diğer mühendislik özelliklerinde etkisi üzerinde çalışmalar devam etmektedir.

4. BURUNDİ'NİN GENEL BİLGİLERİ

Burundi, 1962'de bağımsızlığını kazanmış bir Orta-Afrika ülkesidir. Burundi önceleri bir monarşi iken, 1966'da Cumhuriyet kurulmuştur. Burundi'de Twa, Hutu ve Tutsi olmak üzere üç kabile bulunmaktadır. Burundi'nin tarihi olarak 1680'e kadar herhangi bir bilgi bulunmamaktadır. 1890-1914 yıllarında Burundi'nin Alman sömürgesi 1914-1962 Belçika sömürgesi altında kaldığı bilinmektedir.

Resmi adı: Burundi Cumhuriyeti

Kıta: Afrika (Orta-Doğu Afrika)

Sınır Komşuları: Demokratik Kongo Cumhuriyeti, Ruanda, Tanzanya

Başkent: Bujumbura

Alan: 27,830 km²

Nüfus: 10,55 milyon

Ana dili: Kirundice (İkirundi)

Resmi dili: Fransızca ve İngilizce

Din(ler): Katolik %52, Protestan %10, Yerel İnançlar %23, Müslüman %15

Para birimi: Franc Burundi

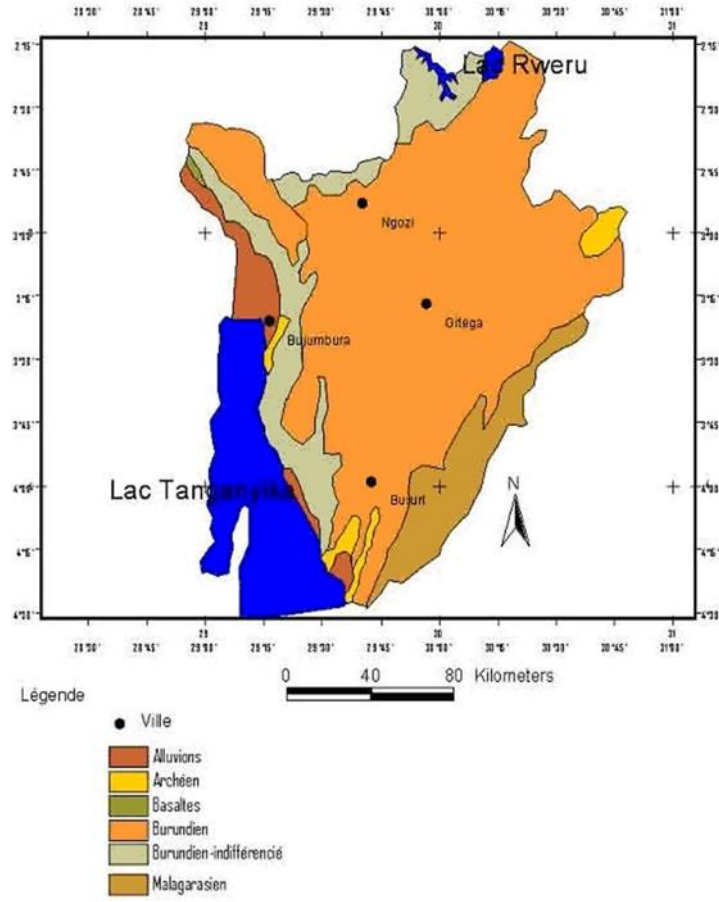
4.1. Burundi Fiziki Özellikleri

Burundi (resmi olarak Burundi Cumhuriyeti), Büyük Göller bölgesinin göbeğinde Kongo-Nil su ayrımında bulunan Orta Afrika'daki bir yayla ülkesidir. Çok sayıda milli park bulunmaktadır. Platolar, ormanlar ve yüksek olmayan dağlar bulunmaktadır. Burundi'de aylık ortalama maksimum sıcaklıklar kuru mevsim sonunda 21,4 ° C ile en yüksek iken, kuru mevsim boyunca <10 ° C asgari sıcaklık ortalamasıdır. Burundi'nin yeraltı kaynakları olarak nikel, koltan, uranyum ve altın varlığı bilinmektedir. Özellikle nikel miktarı dünyada çapında önemli bir yer tutmaktadır.

Burundi'nin topraklarının rengi bölge bölge koyu sarı, gri-kahverengi ve koyu kırmızıdır. Bununla birlikte, eski volkanik toz yığınları bulunmaktadır. Zemin yapısı içerisinde amorf malzemeler, serbest alümina ve alkalın tuzların varlığı tespit edilmiştir. Jeolojik alt tabaka oldukça metamorfize olmuş ve muskovit mika içermektedir.

Burundi'nin çoğu, Prekambriyen kayalarla kaplıdır. En son kayalar Senozoik yaşlıdır ve Imbo ovasının alüvyon çökellerine ve ülkenin batı ucuna akan bazaltik

akıntılara karşılık gelir. Şekildeki gibi Burundi'nin Prekambriyum, Archean, Burundien ve Malagarazien olmak üzere 3 büyük jeolojik kümeden oluşmaktadır.



Şekil 4.1. Burundi'nin büyük jeolojik birimleri [37]

Yaklaşık 2600 milyon yıl öncesine dayanan Archean, ülkenin kuzey doğusunda ve Bujumbura'nın güneyinde, güneybatı Burundi'de tespit edilmiştir. Esas olarak amfibolit ve metakartzitlerin yerel olarak yer aldığı gnays ve granitlerden oluşur. Yaşları 1400 ila 950 milyon yıl arasında değişen Burundien, Doğu'nun ve Güney'in kuzeyindeki Merkez bölgesinin çoğunu kapsamaktadır. Doğu ve granitik gnayslarda kuvarsitlerin, şistlerin ve fillitlerin varlığı, granitlerin çoğunlukla porfir ve amfibolitlerin varlığı, batıda metakumjirit ve mikaşistlerin interkalasyonları ile karakterizedir.

Malagarazien, Burundien 'den daha genç ve ülkenin Güney Doğu'sunu kaplamaktadır. Kuvarsit, şeyl, konglomera, bazalt, dolomitik ve silisleşmiş kireçtaşları, kumtaşları ve amigdaloid lavlar ile karakterizedir.

Imbo Ovası gölsel çökeller veya akarsu alüvyonu üzerine kurulmuştur. Kumlu formasyonlar, interfluvaları domine eden tuzlu topraklar ve yetersiz drenajlı çöküntülerin vertisolleri ayırt edilir. Vertisoller(Vertisols) alüvyon birikintilerinin bir sonucudur.

Vertisollerin siyah rengi (tropik kil) killer ve organik madde arasındaki ilişkiye gelir. Bu nedenle önemli bir organik madde bileşimi vardır.

Vadilerde yaygın olarak Burundi köylüsü için önemli bir tarım rezervi olan bataklıklara rastlanılmaktadır. Bataklık toprakları çoğunlukla organik madde bakımından zengindir ve orta ve yüksek irtifada turbadır.

5. BURUNDİ ZEMİNLERİ İÇİN ZEMİN İYİLEŞTİRME ÇALIŞMASI

Burundi zeminleri üzerine iyileştirme çalışmasının seçilme amacı, ülkede başlayan kalkınma ve buna bağlı yapılaşma ile ulaşım faaliyetleri için ekonomik bir yöntem önerilmek istenmesidir. Geoteknik araştırmalara verilen önem yeni yeni başlamakta ve buna bağlı olarak da birçok yeni zemin mekaniği laboratuvarları kurulmaktadır.

Burundi doğal zemin örneklerinin getirilmesinin zaman ve maliyet açısından büyük zorluklara neden olacağı açıktır. Bu sebeple Eskişehir’de 5 farklı bölgeden zemin numunesi alınıp özellikleri belirlenmiştir. Alınan zemin örneklerinin lokasyonları ise Beşevler mahallesi, Fabrikalar bölgesi, Fatih mahallesi, Hoşnudiye mahallesi, ve Osmangazi mahallesidir. Çalışma boyunca alındıkları yerler ile isimlendirilmişlerdir. Zemin özelliklerinin belirlenmesi için yapılan deneyler ise, zemin indeks deneyleri, kompaksiyon, serbest basınç ve konsolidasyon testidir. Burundi zemin özellikleri ile bu zemin numuneleri karşılaştırılmıştır.

5.1. Zemin Özellikleri Belirlenmesi İçin Yapılan Deneyler

5.1.1. Su muhtevası deneyi

Geoteknik mühendisliğinde zeminin su muhtevası (w) zemin içerisindeki su kütlesinin katı parçacıkların kütlesine oranı olarak ifade edilir. Aşağıda zemin numunelerinin su muhtevası deney sonuçları verilmiştir. Ayrıca örnek deney resimleri Şekil 5.1 ve Şekil 5.2 de gösterilmiştir.

Tablo 5.1. Beşevler mahallesi su muhtevası deneyi sonuçları

Test No	W	Ortalama
1	16,25	16,40
2	16,60	
3	16,34	

Tablo 5.2. Fabrikalar bölgesi su muhtevası deneyi sonuçları

Test No	W	Ortalama
1	17,88	19,59
2	22,20	
3	18,68	

Tablo 5.3. *Fatih mahallesi su muhtevası deneyi sonuçları*

Test No	W	Ortalama
1	23,27	23,81
2	24,55	
3	23,61	

Tablo 5.4. *Hoşnudiye mahallesi su muhtevası deneyi sonuçları*

Test No	W	Ortalama
1	25,60	25,64
2	25,80	
3	25,53	

Tablo 5.5. *Osmangazi mahallesi su muhtevası deneyi sonuçları*

Test No	W	Ortalama
1	21,17	21,30
2	21,65	
3	21,07	



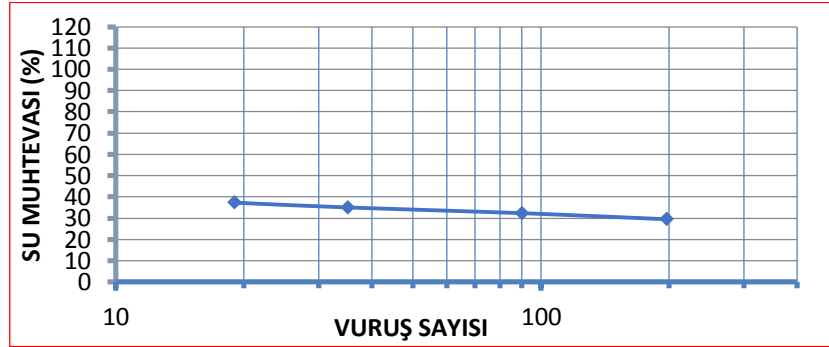
Şekil 5.1. *Zemin numuneleri*



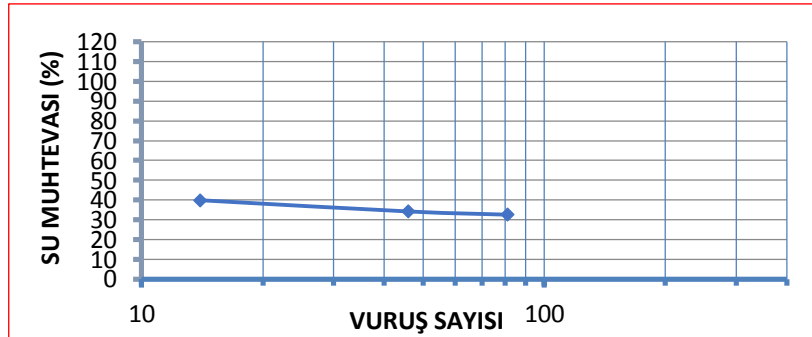
Şekil 5.2. Tartılan zemin numunelerinin etüve konulması

5.1.2. Likit limit deneyi

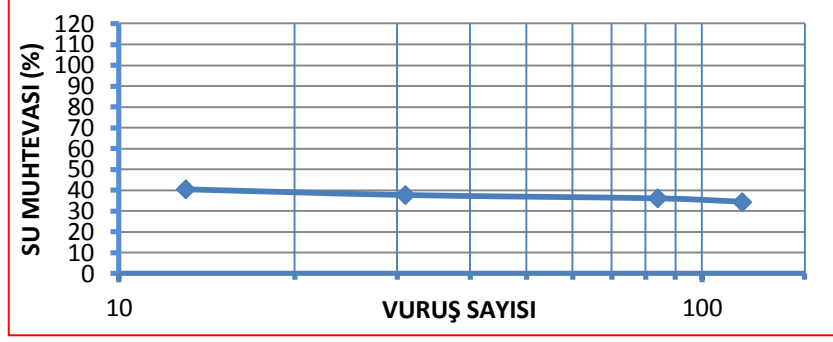
Likit limit, viskozitesi yüksek bir sıvı gibi, akıcı durumdaki zeminin plastik duruma dönüştüğü andaki su muhtevasıdır. Aşağıda zemin numunelerinin likit limit deney sonuçları verilmiştir.



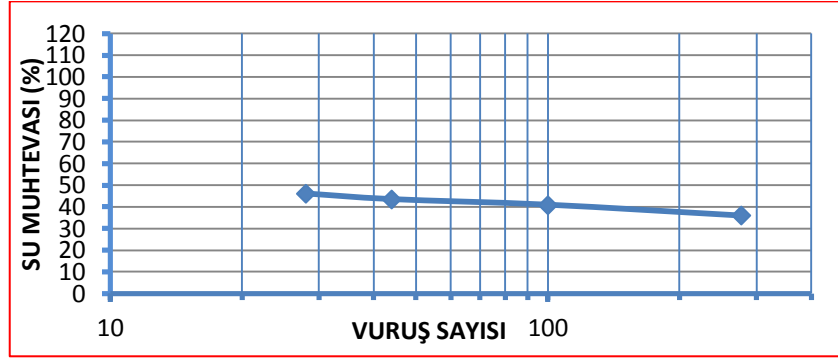
Şekil 5.3. Beşevler mahallesi zemin numunesi likit limit deneyi grafiği



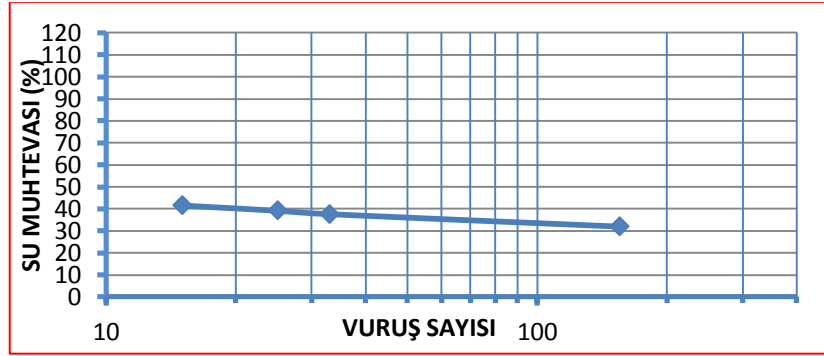
Şekil 5.4. Fabrikalar bölgesi zemin numunesi likit limit deneyi grafiği



Şekil 5.5. Fatih mahallesi zemin numunesi likit limit deneyi grafiği



Şekil 5.6. Hoşnudiye mahallesi zemin numunesi likit limit deneyi grafiği



Şekil 5.7. Osmanağazi mahallesi zemin numunesi likit limit deneyi grafiği

Tablo 5.6. Likit limit deneyi sonuçları

Zemin Numunesi	LL
Beşevler	37
Fabrikalar	38
Fatih	39
Hoşnudiye	45
Osmanağazi	39

5.1.3. Plastik limit deneyi

Plastik limit, ıslak zeminin yoğrulma sırasında yüzeyinde çatlakların belirdiği andaki su içeriği olarak tanımlanır. Aşağıda zemin numunelerinin plastik limit deney sonuçları verilmiştir. Ayrıca örnek deney resmi Şekil 5.8 de gösterilmiştir.

Tablo 5.7. Plastik limit deneyi sonuçları

Zemin Numunesi	PL
Beşevler	24
Fabrikalar	26
Fatih	25
Hoşnudiye	25
Osmanгази	21



Şekil 5.8. Plastik limit deneyinde numunelerin çatlama anındaki çapları

5.1.4. Özgül ağırlık deneyi

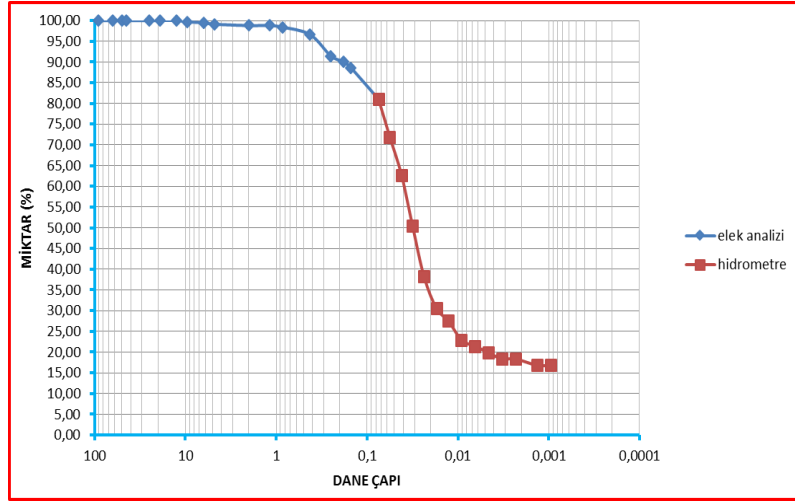
Dane birim hacim ağırlığının suyun birim hacim ağırlığına oranı olarak tanımlanır. Aşağıda zemin numunelerinin özgül ağırlık deney sonuçları verilmiştir.

Tablo 5.8. Özgül ağırlık deneyi sonuçları

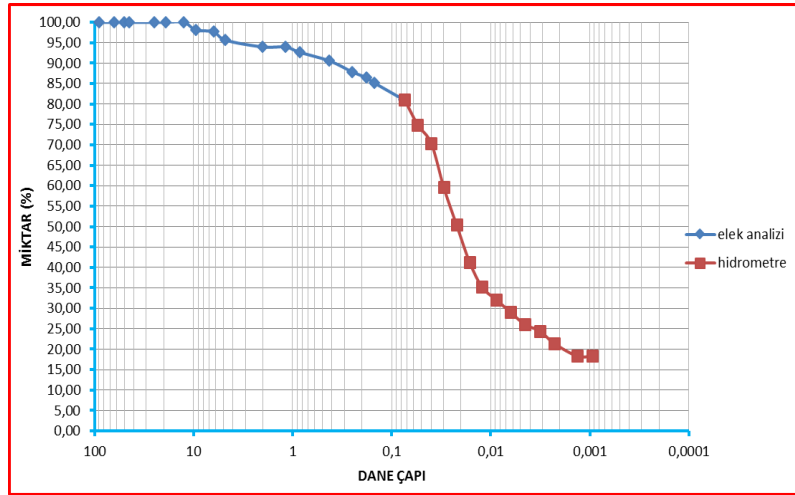
Zemin Numunesi	Gs
Beşevler	2,55
Fabrikalar	2,55
Fatih	2,50
Hoşnudiye	2,40
Osmanгази	2,47

5.1.5. Dane çapı dağılımı

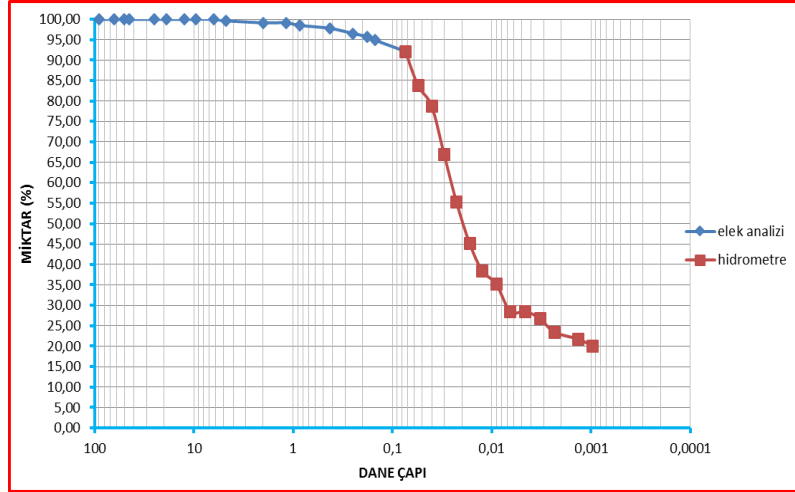
Elek ve hidrometre deneyleri sonucunda zemin numunesini oluşturan değişik boylardaki tanelerin ağırlık olarak yüzde miktarları belirlenir ve dane çapı dağılım eğrisi çizilir. Aşağıda zemin numunelerinin dane çapı dağılımı grafikleri verilmiştir.



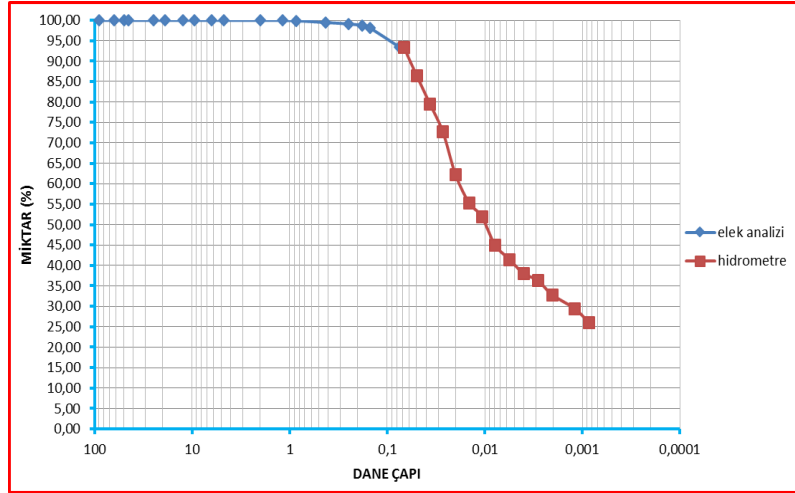
Şekil 5.9. Beşevler mahallesi zemin numunesi granülometri eğrisi



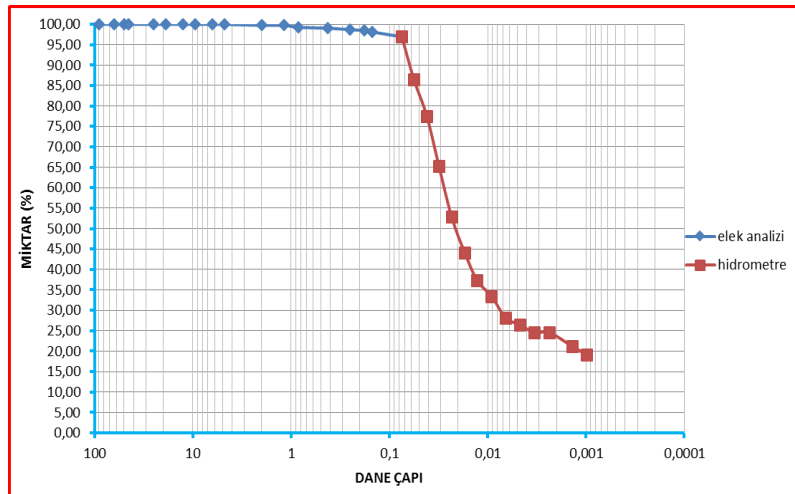
Şekil 5.10. Fabrikalar Bölgesi zemin numunesi granülometri eğrisi



Şekil 5.11. Fatih mahallesi zemin numunesi granülometri eğrisi



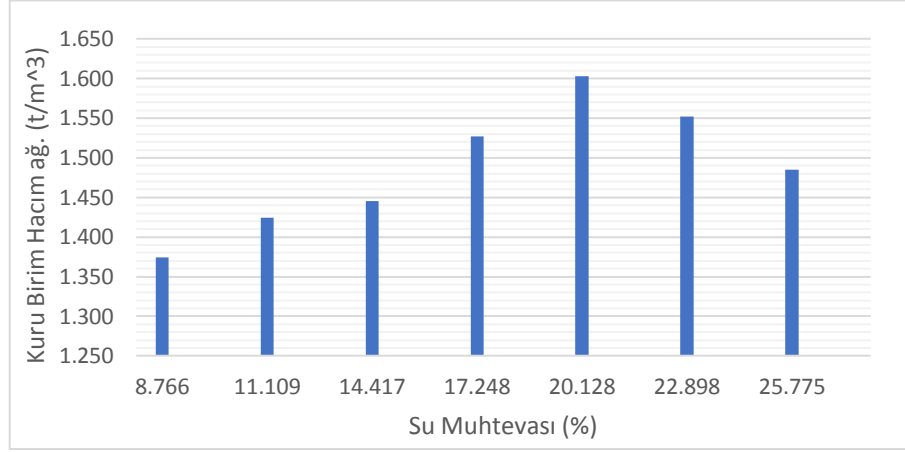
Şekil 5.12. Hoşnudiye mahallesi zemin numunesi granülometri eğrisi



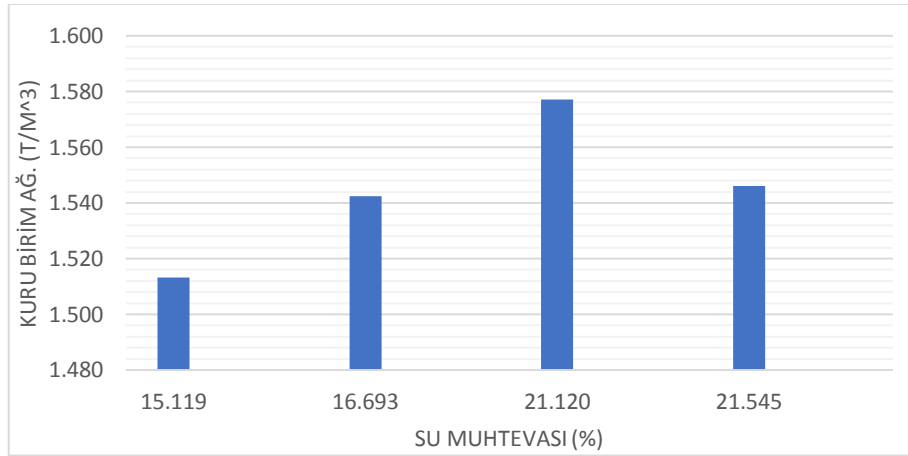
Şekil 5.13. Osmangazi mahallesi zemin numunesi granülometri eğrisi

5.1.6. Kompaksiyon deneyi

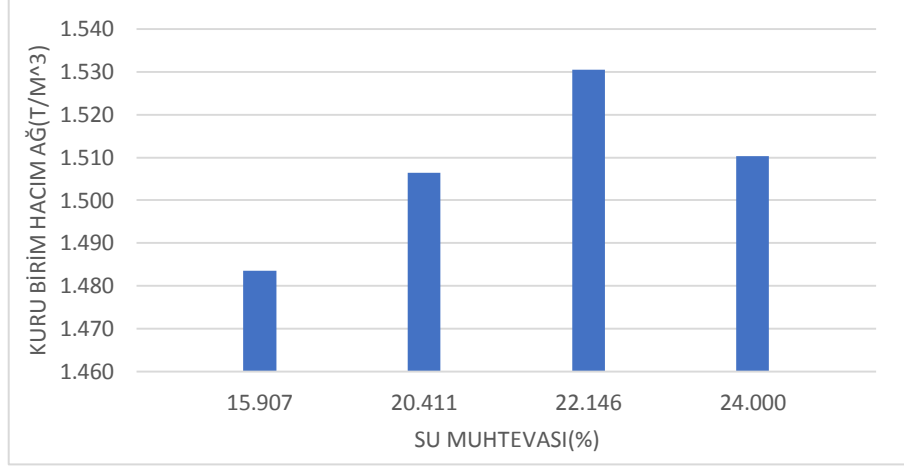
Kompaksiyon; zeminin, tabaka tabaka serilerek, silindirileme, vibrasyon (titreşim) uygulama, tokmaktama gibi işlemlerle sıkıştırılmasına denilir. Aşağıda zemin numunelerinin kompaksiyon deneyi grafikleri verilmiştir.



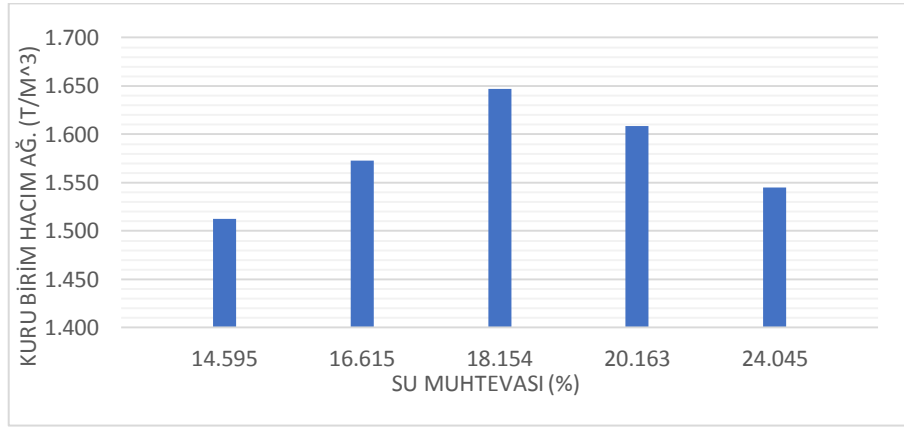
Şekil 5.14. Beşevler mahallesi zemin numunesi kompaksiyon deneyi grafiği



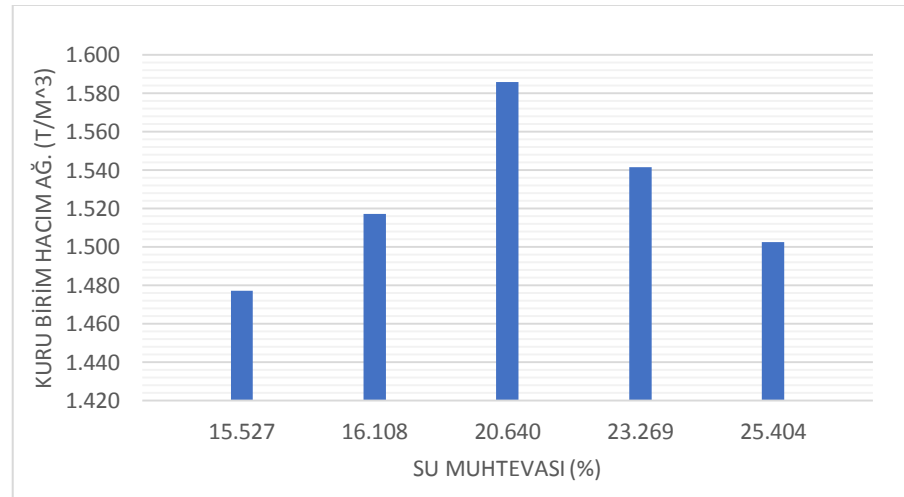
Şekil 5.15. Fabrikalar bölgesi zemin numunesi kompaksiyon deneyi grafiği



Şekil 5.16. Fatih mahallesi zemin numunesi kompaksiyon deneyi grafiği



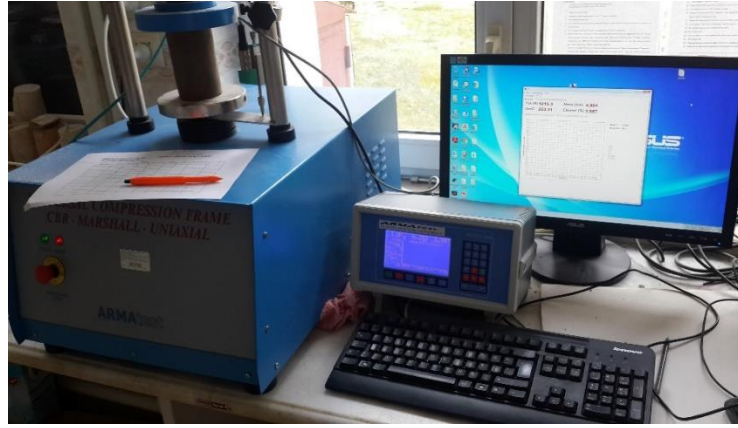
Şekil 5.17. Hoşnudiye mahallesi zemin numunesi kompaksiyon deneyi grafiği



Şekil 5.18. Osmangazi mahallesi zemin numunesi kompaksiyon deneyi grafiği

5.1.7. Serbest basınç deneyi

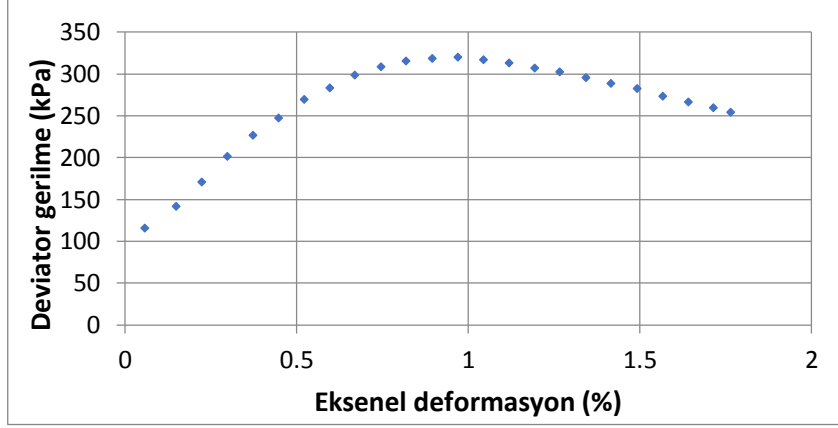
Serbest basınç deneyi herhangi bir yanıl destek olmaksızın kendi kendini dik olarak ayakta tutabilecek özelliklere sahip killi zeminler için kullanılan bir deney yöntemidir. Aşağıda kompaksiyon deneyi sonuçlarına göre hazırlanan zemin numunelerinin serbest basınç deney sonuçları verilmiştir. Ayrıca örnek deney resmi Şekil 5.19 ve 5.20 de gösterilmiştir.



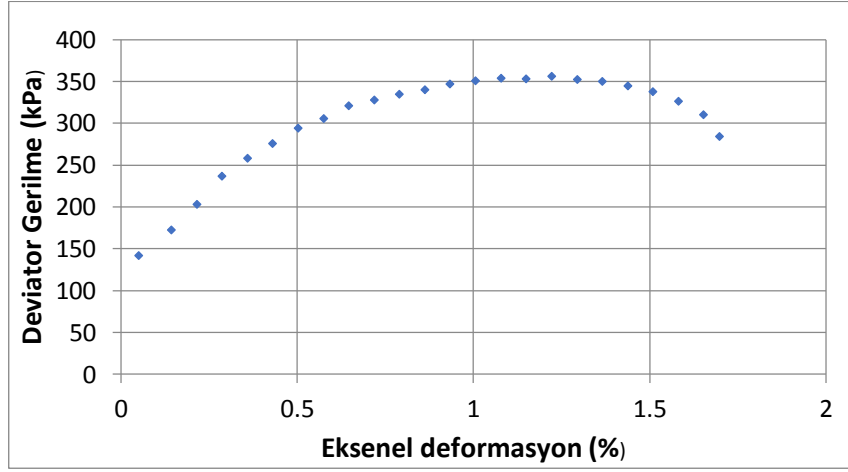
Şekil 5.19. Serbest basınç deney sistemi



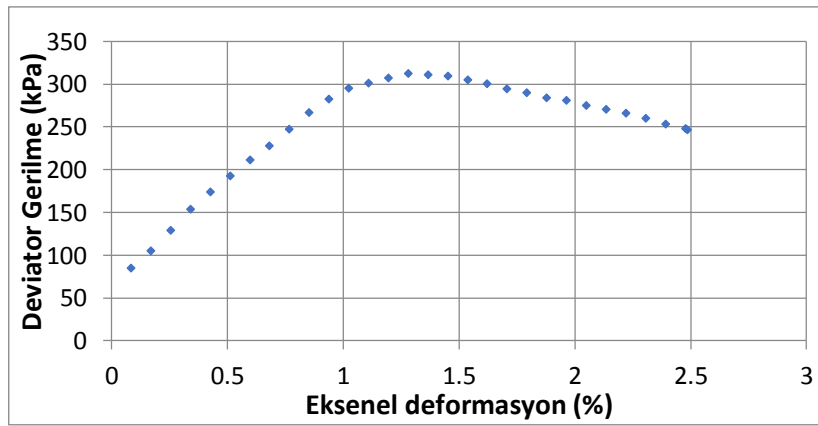
Şekil 5.20. Serbest basınç deneyi



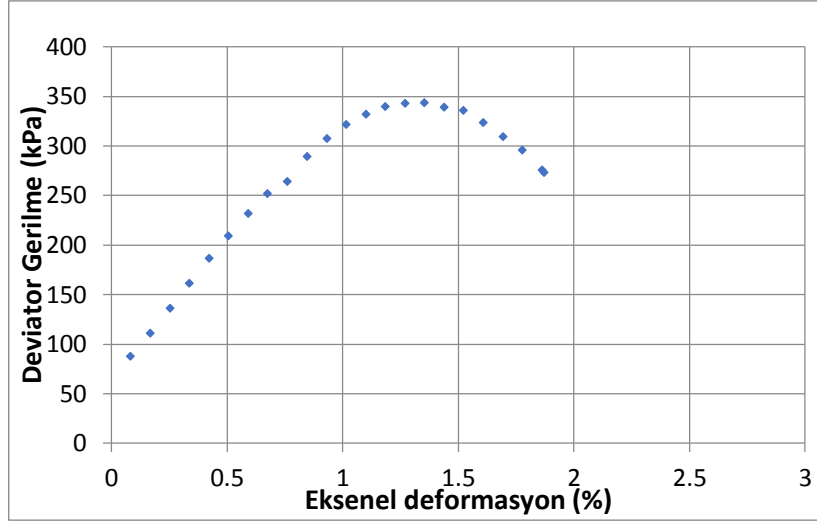
Şekil 5.21. Beşevler serbest basınç deney sonuçları



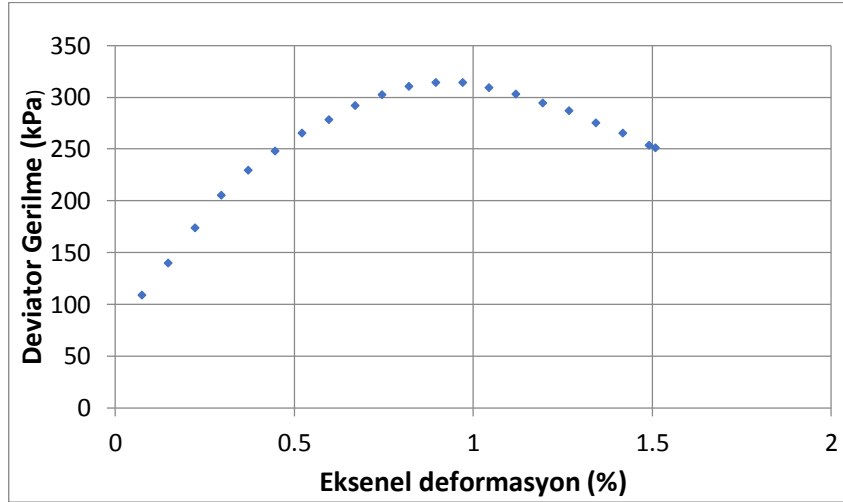
Şekil 5.22. Fabrikalar serbest basınç deney sonuçları



Şekil 5.23. Fatih serbest basınç deney sonuçları



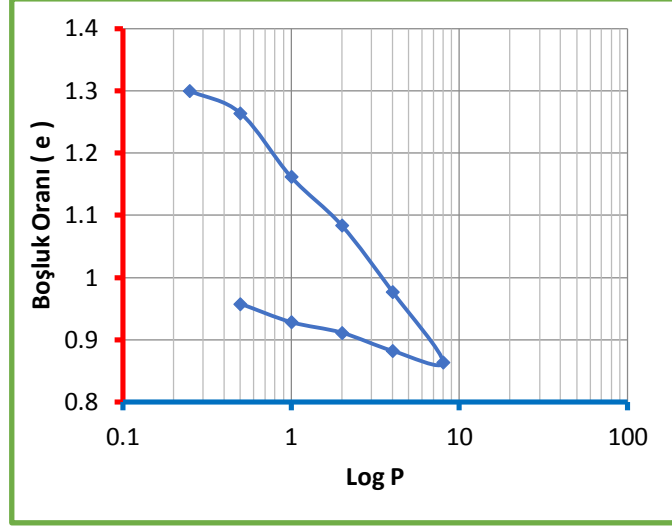
Şekil 5.24. Hoşnudiye serbest basınç deney sonuçları



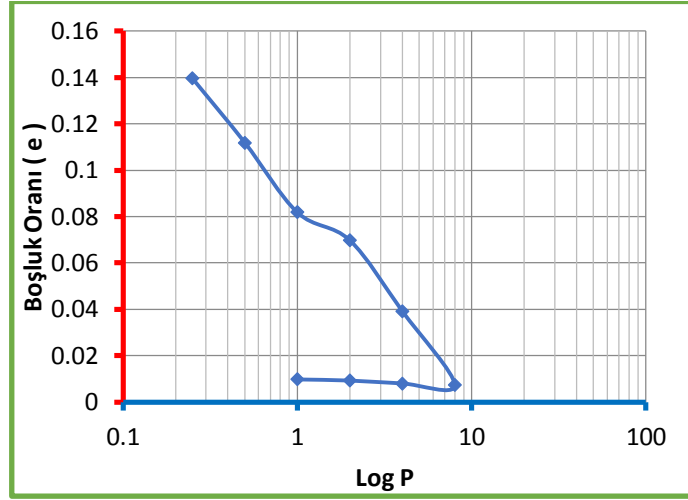
Şekil 5.25. Osmangazi serbest basınç deney sonuçları

5.1.8. Konsolidasyon deneyi

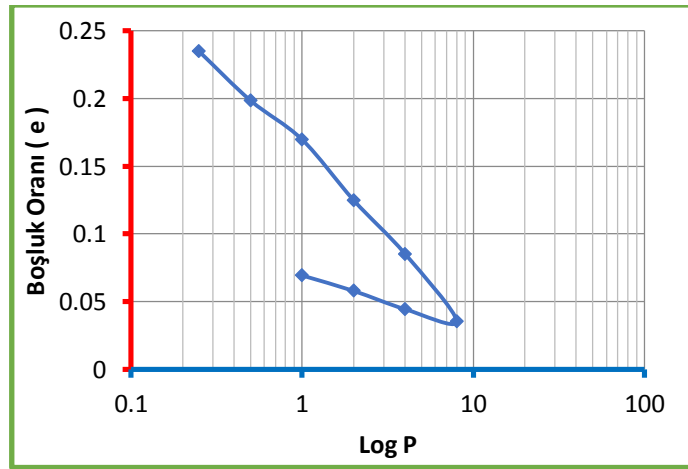
İnce daneli zeminlerde gerilme artışı nedeniyle oluşan zamana bağlı oturma süreci konsolidasyon olarak tanımlanmaktadır. Aşağıda zemin numunelerinin konsolidasyon deneyi grafikleri verilmiştir.



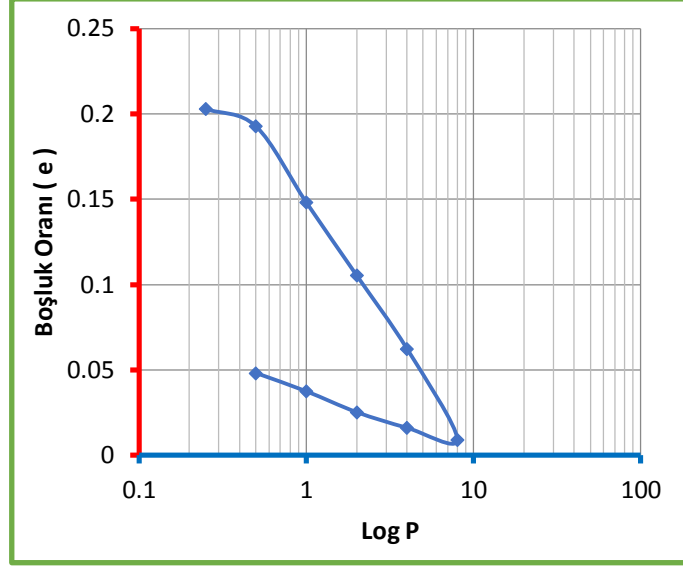
Şekil 5.26. Beşevler mahallesi zemin numunesi konsolidasyon deneyi grafiği



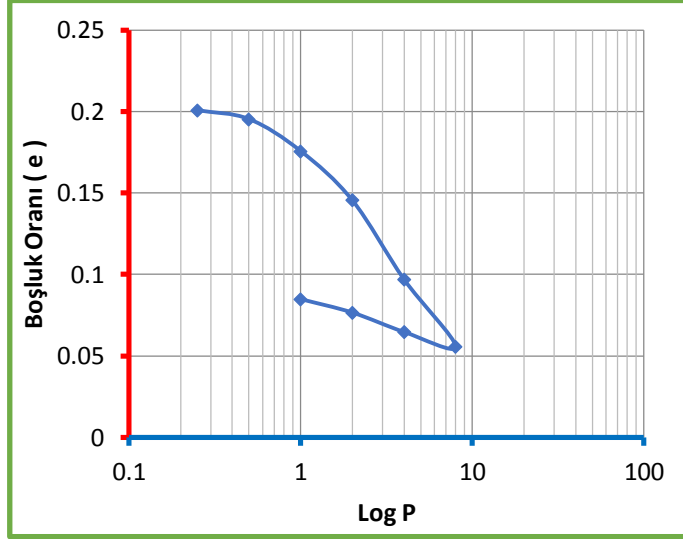
Şekil 5.27. Fabrikalar bölgesi zemin numunesi konsolidasyon deneyi grafiği



Şekil 5.28. Fatih mahallesi zemin numunesi konsolidasyon deneyi grafiği



Şekil 5.29. Hoşnudiye mahallesi zemin numunesi konsolidasyon deneyi grafiği



Şekil 5.30. Osmangazi mahallesi zemin numunesi konsolidasyon deneyi grafiği

5.2. Zemin Özelliklerinin Karşılaştırılması

Eskişehir'deki 5 farklı bölgeden alınan zemin numunelerinin fiziksel özellikleri belirlendikten sonra, Burundi zeminlerinin özellikleri ile karşılaştırılmıştır. Tablo 5.9 da bu karşılaştırma verilmiştir. Beşevler ve Fatih mahallerinden alınan zeminler iyileştirme çalışması deneyleri için uygun görülmüştür. Ayrıca; Beşevler mahallesi ile Fabrikalar Bölgesi zemin numuneleri ağırlıkça %50-50 oranında ve Fatih mahallesi ile Osmangazi mahallesi zemin numuneleri ağırlıkça %50-50 oranında karıştırılmıştır.

Elde edilen veriler ışığında Burundi şehir merkezlerinde yüzey tabakalarının bölgesel olarak iki zemin tipinden oluştuğu belirlenmiştir. Taşıma gücü ve oturma problemi yaratan bu zeminlerden ilki için az çakıllı, kum yüzdesi %10'dan fazla olmayan ve silt-kil oranı %90' den fazla olduğu öğrenilmiştir. Diğer tip ise kısmen %50 ile %70 arası ince malzeme yüzdesi olan, ve kum yüzdesi % 20 civarı olan zeminlerdir. Şekil 5.31 de Burundi'deki zeminlerin 15 metreye kadar profili verilmiştir.



Şekil 5.31. Burundi zeminlerinin 15 m ye kadar tabakalaşması

Tablo 5.9. Zeminlerin özelliklere göre sonuç karşılaştırması

Bölge	W (%)	Gs (g/cm³)	Çakıl (%)	Kum (%)	Silt + Kil (%)
Burundi Zemin-1	16-20	2,52-2,55	0-5	10-20	60-80
Burundi Zemin-2	20-23	2,48-2,50	0	5-10	90-95
Beşevler	16,40	2,55	3	13	84
Fabrikalar	19,59	2,55	5	11	84
Fatih	23,81	2,50	1	7	92
Hoşnudiye	25,64	2,40	2	17	81
Osmangazi	21,30	2,47	0	3	97

6. KİREÇ VE TALAŞ İLE ZEMİN İYİLEŞTİRME ÇALIŞMALARI

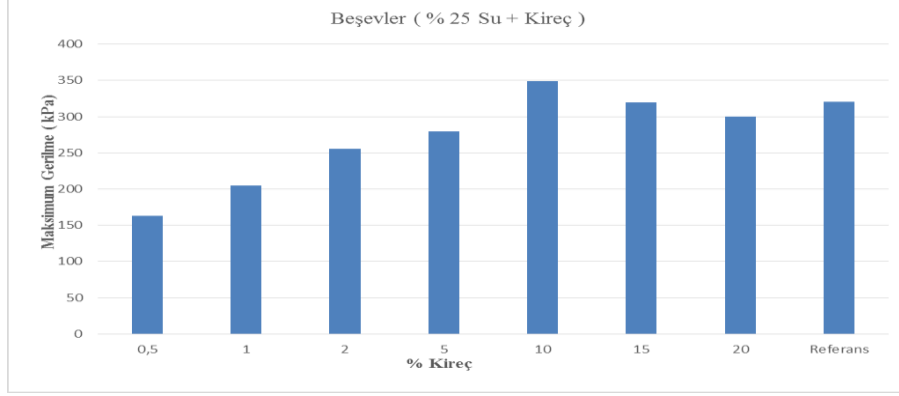
Kireç ve talaş ile zemin iyileştirme mevcut zemin ile kireç-talaş tozu ya da kireç-talaş çamurunun karıştırılması ve zeminin sıkıştırılması ile gerçekleşmektedir. Kireç ve talaş, yüksek plastisiteli ve kohezyonlu zeminler için iyi bir iyileştirme malzemesidir. Kireç ve talaş katkısı kısa vadeli ve uzun vadeli iyileşmeler sağlar.

Kısa vadeli iyileşmeler talaş ilavesi ve flokülasyon-aglomerasyon sonucu, uzun vadeli iyileşmeler ise kireç ve kireç-talaş reaksiyonları sonucu olmaktadır. Hızlı bir şekilde gelişen talaş değişimi ve flokülasyon-aglomerasyon sonucu mukavemette ani bir artış, plastisitede düşüş, işlenebilirlikte artış ve şişme potansiyelinde düşüş görülür. Yavaş ilerleyen kireçle reaksiyonlar sonucu ise mukavemette artış görülür. Kireç katkısı zeminin sıkışma karakteristiklerinde değişimlere yol açar. Maksimum kuru birim hacim ağırlık azalırken, optimum su muhtevası artar.

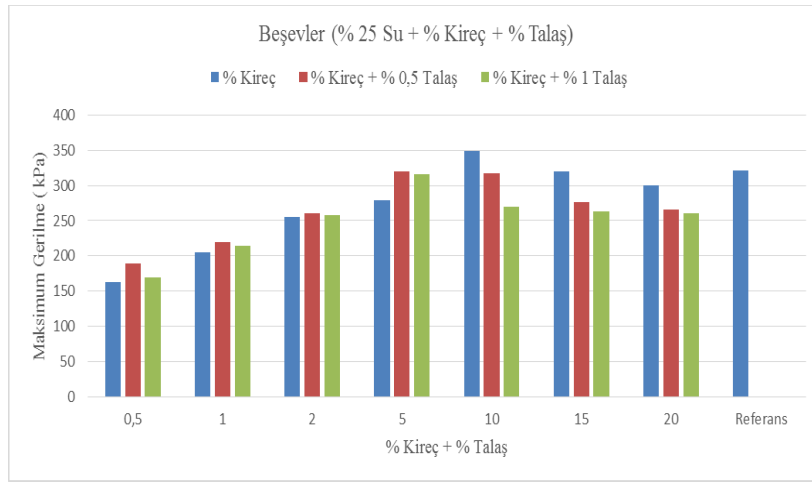
Bu çalışmada Eskişehir il merkezinden ahşap fabrikasından elde edilen atık talaş tozu ve kireç fabrikasından elde edilen torba kireç kullanılmıştır. Hazırlanan karışımlar için uygulanan tüm deneyler 5 kez tekrar edilmiş ve bu 5 deneyin ortalaması alınarak sonuçlar elde edilmiştir. Çalışmada talaş değerleri %0,5 ve % 1 oranında sabit tutulmuş, kireç oranı % 0,5, % 1, % 2, % 5, % 10, % 15, % 20 olarak katılmış ve bu değerler arasındaki farkın gözlenmesi amaçlanmıştır. Her deney için su yüzdesi %25 ve %30 olarak belirlenmiştir. Bunun sebebi kompaksiyon deneylerinde optimum su muhtevasının %20 ve %22 olarak belirlenmiş olması ve zeminin yumuşak kıvamdan iyileşmenin gerçekleşip gerçekleşmediğinin tespitinin amaçlanmasıdır. Gerçekleştirilen serbest basınç ve konsolidasyon deney sonuçları karşılaştırmalı olarak aşağıda sunulmuştur. Zemin numuneleri karışımlar için Beşevler ve Fatih olarak adlandırılmıştır. Referans olarak isimlendirilen numuneler kompaksiyon karakteristiklerinde hazırlanan numunelerdir.

6.1. Serbest Basınç Deneyi

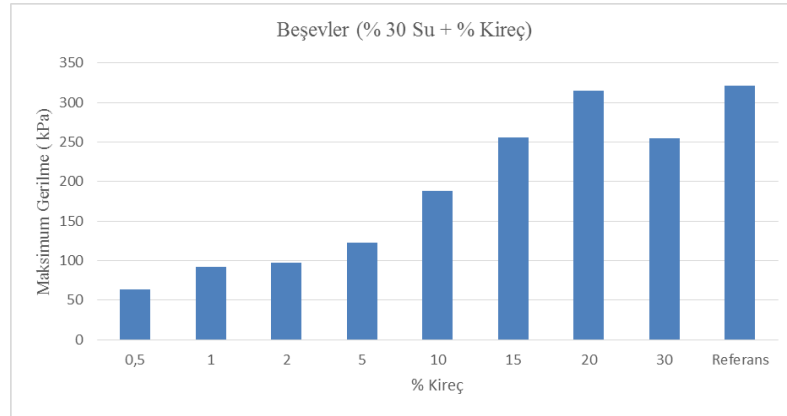
Serbest basınç deneyi sonuçlarına göre kullanılan kireç oranı, talaş ilavesi ile su içeriği arasındaki ilişkiyi gösteren grafikler Şekil 6.1 ile 6.8 arasında gösterilmiştir.



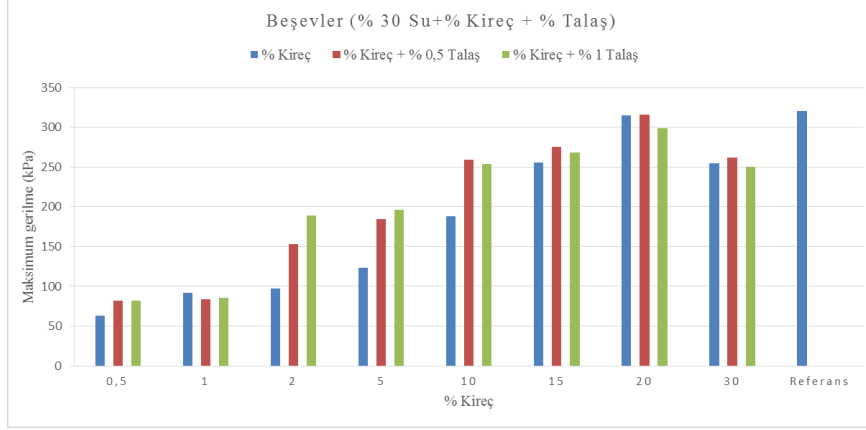
Şekil 6.1. Beşevler zeminleri serbest basınç deneyi sonuçları-1



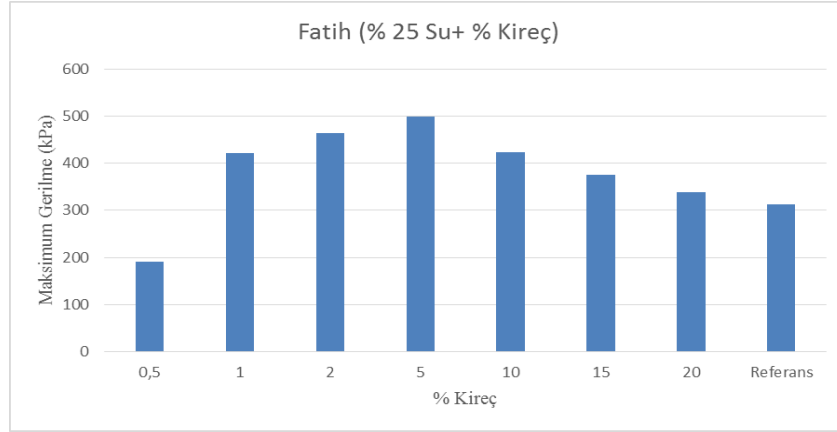
Şekil 6.2. Beşevler zeminleri serbest basınç deneyi sonuçları-2



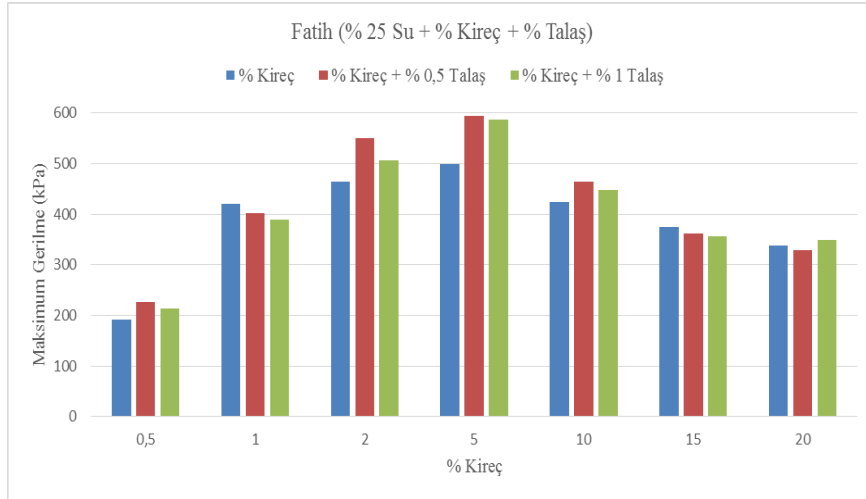
Şekil 6.3. Beşevler zeminleri serbest basınç deneyi sonuçları-3



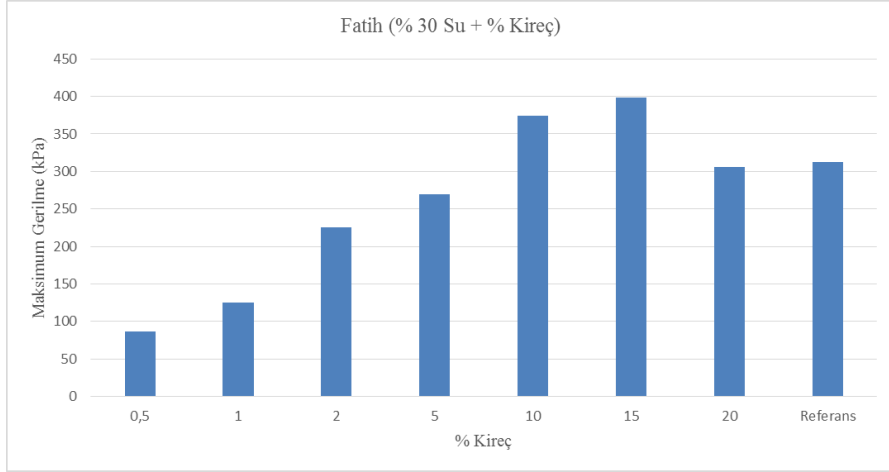
Şekil 6.4. Beşevler zeminleri serbest basınç deneyi sonuçları-4



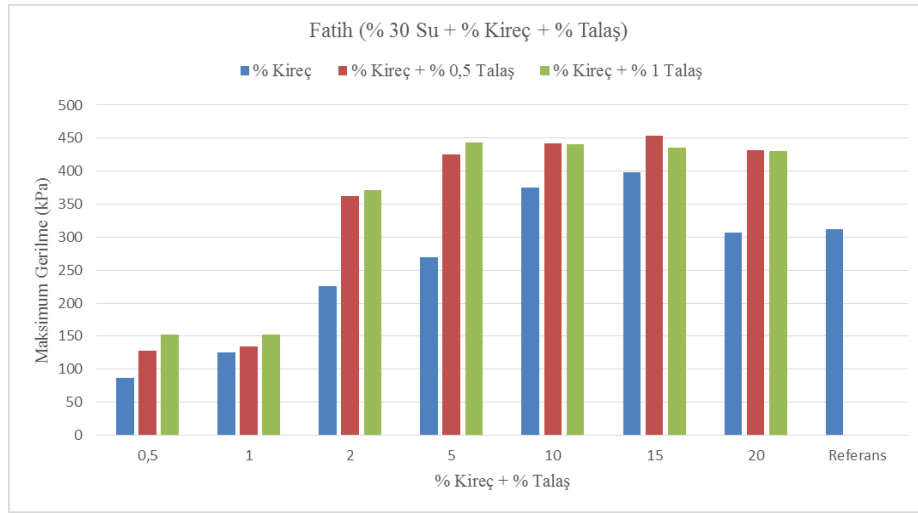
Şekil 6.5. Fatih zeminleri serbest basınç deneyi sonuçları-1



Şekil 6.6. Fatih zeminleri serbest basınç deneyi sonuçları-2



Şekil 6.7. Fatih zeminleri serbest basınç deneyi sonuçları-3



Şekil 6.8. Fatih zeminleri serbest basınç deneyi sonuçları-4

6.2. Konsolidasyon Deneyi

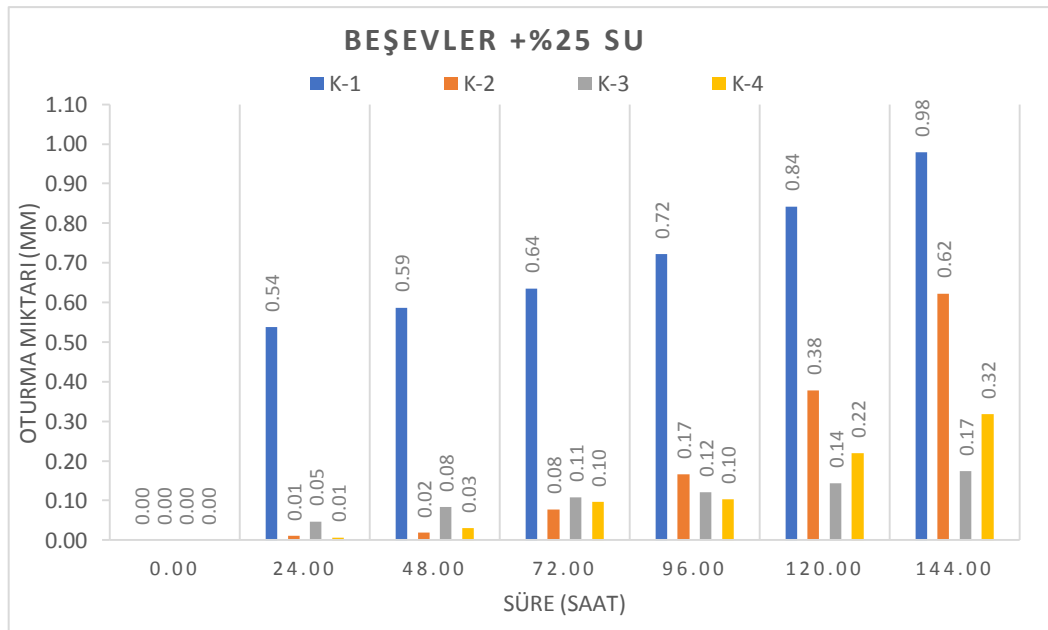
Konsolidasyon deneyi sonuçlarına göre kullanılan kireç oranı, talaş ilavesi ile su içeriği arasındaki ilişkiyi gösteren grafikler Şekil 6.1 ile 6.8 arasında gösterilmiştir. Ayrıca grafiklerde gösterilen notasyonlar Tablo 6.1 ve 6.2 de verilmiştir.

Tablo 6.1. Beşevler zeminleri Konsolidasyon deneyi işlem yapısı

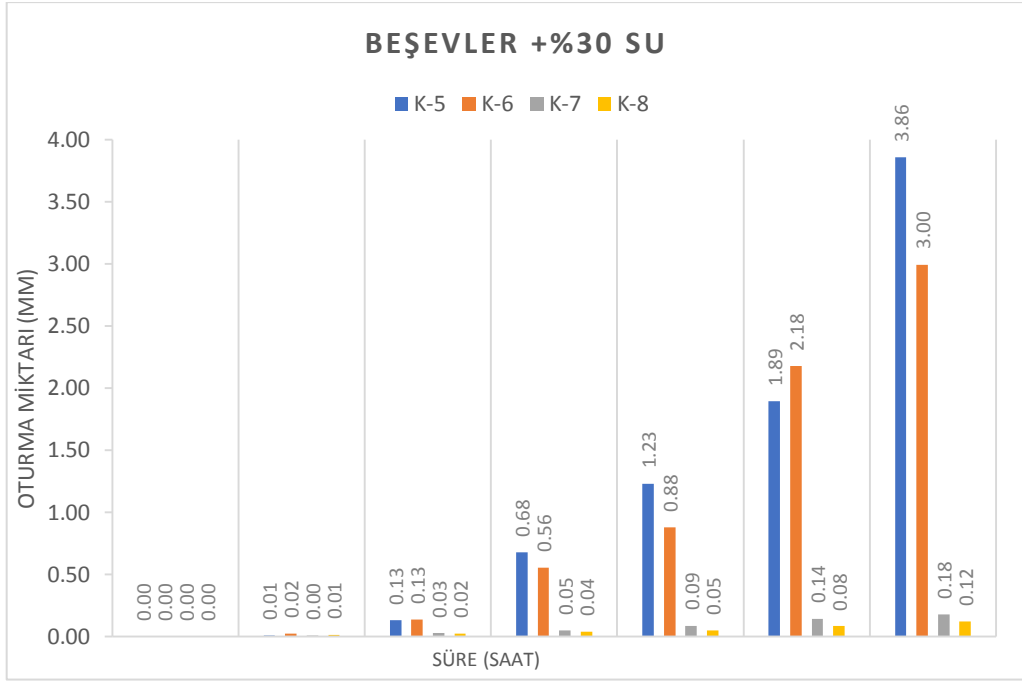
Notasyon	İçerik
K-1	Beşevler zemini + %25 su
K-2	Beşevler zemini + %25 su + %10 kireç
K-3	Beşevler zemini + %25 su + %10 kireç + % 0,5 Talaş
K-4	Beşevler zemini + %25 su + %10 kireç + %1 Talaş
K-5	Beşevler zemini + %30 su
K-6	Beşevler zemini + %30 su + %20 kireç
K-7	Beşevler zemini + %30 su + %20 kireç + %0,5 Talaş
K-8	Beşevler zemini + %30 su + %20 kireç + %1 Talaş

Tablo 6.2. Fatih zeminleri konsolidasyon deneyi işlem yapısı

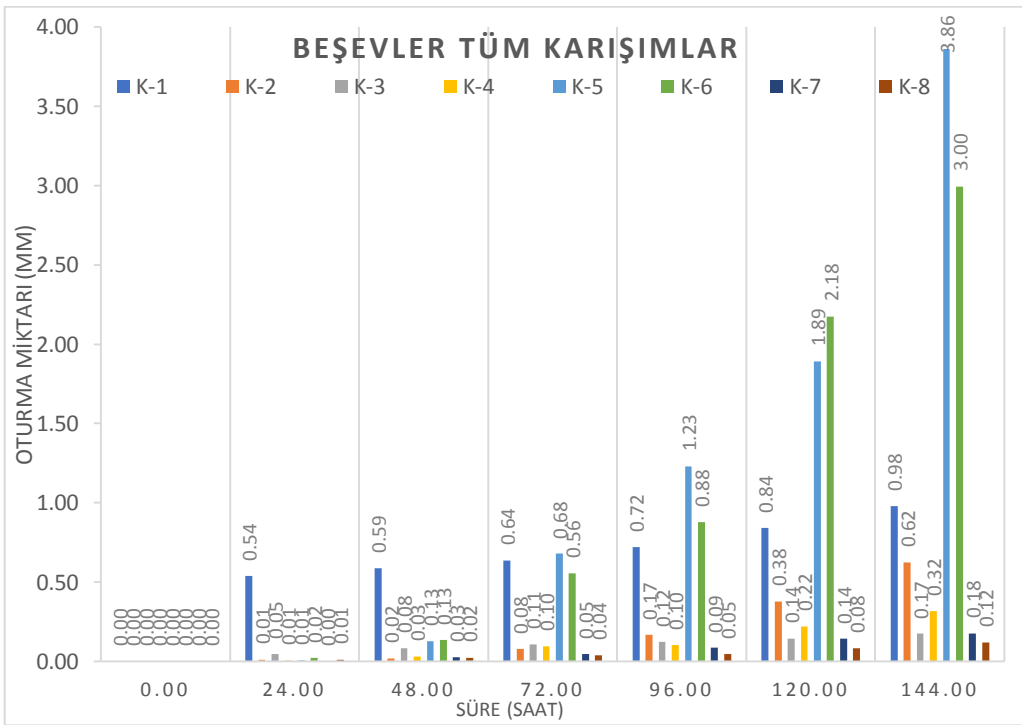
Notasyon	İçerik
K-1	Fatih zemini + %25 su
K-2	Fatih zemini + %25 su + %5 kireç
K-3	Fatih zemini + %25 su + %5 kireç + %05 Talaş
K-4	Fatih zemini + %25 su + %5 kireç + %1 Talaş
K-5	Fatih zemini + %30 su
K-6	Fatih zemini + %30 su + %15 kireç
K-7	Fatih zemini + %30 su + %15 kireç + %05 Talaş
K-8	Fatih zemin + %30 su + %15 kireç + %1 Talaş



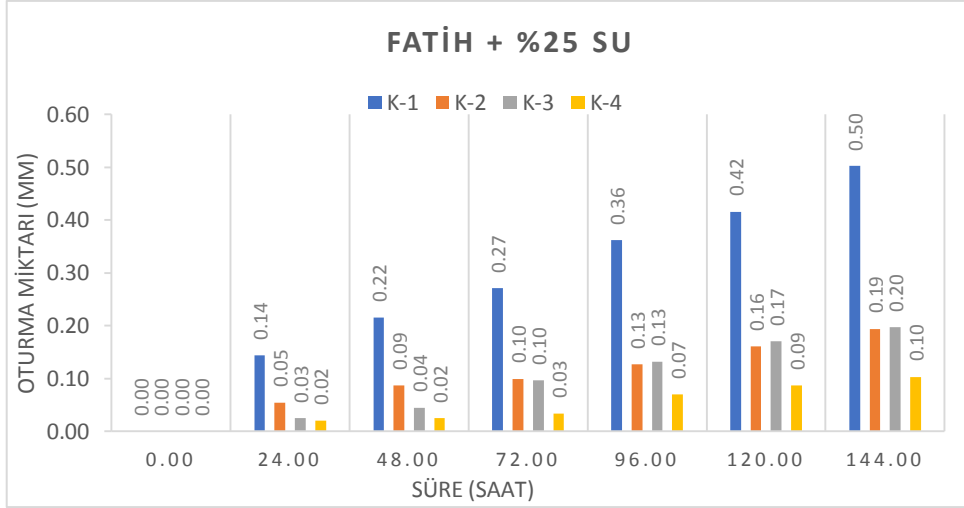
Şekil 6.9. Beşevler zeminleri konsolidasyon deneyi sonuçları-1



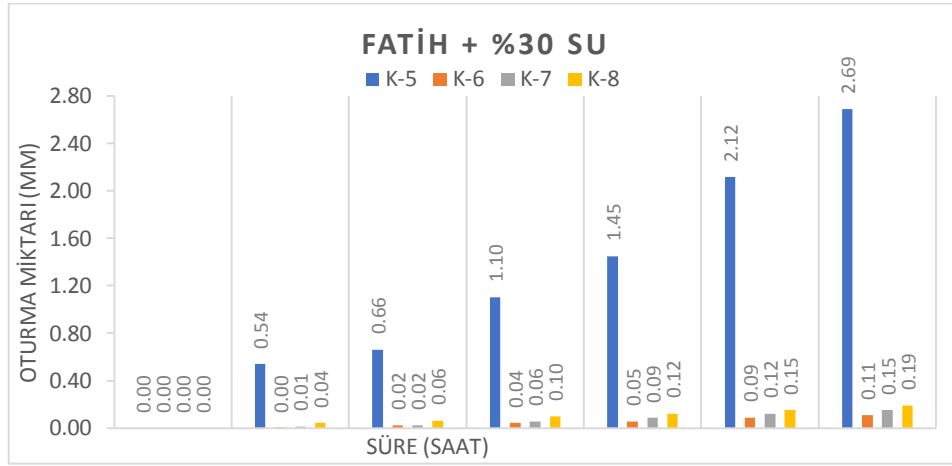
Şekil 6.10. Beşevler zeminleri konsolidasyon deneyi sonuçları-2



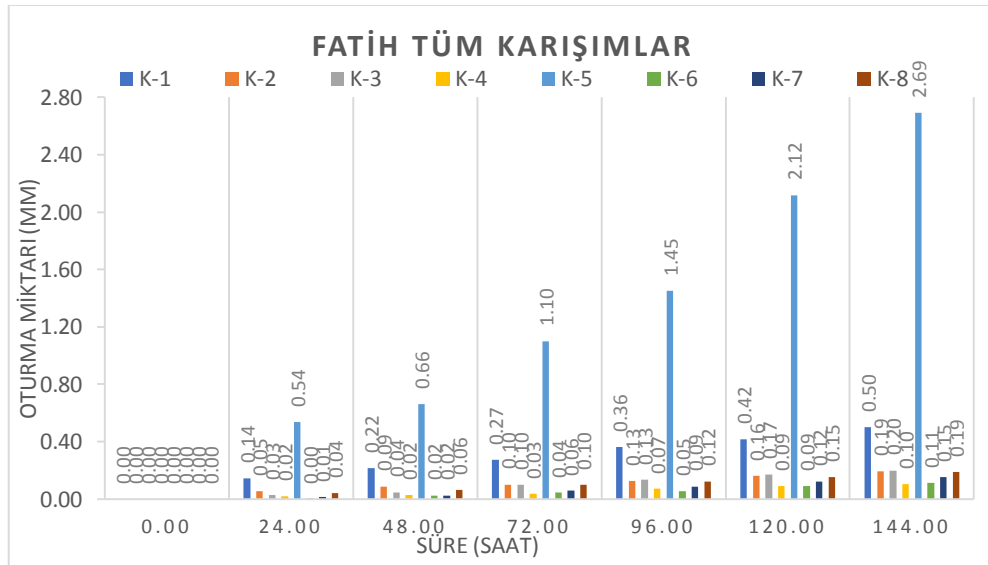
Şekil 6.11. Beşevler zeminleri konsolidasyon deneyi sonuçları-3



Şekil 6.12. Fatih zeminleri konsolidasyon deneyi sonuçları-1



Şekil 6.13. Fatih zeminleri konsolidasyon deneyi sonuçları-2



Şekil 6.14. Fatih zeminleri konsolidasyon deneyi sonuçları-3

7. DEĞERLENDİRME

Günümüzde geoteknik mühendisliği konuları içerisinde meydana gelen önemli gelişmelerden birisi zemin iyileştirme dir. Bunun nedeni ise, taşıma gücü zayıf olan zeminlerin üzerine yapı inşası zorunluluğu, artan nüfus ve gelişen teknoloji ile birlikte büyük yapıların inşası ve bu yapıların meydana getirdiği büyük gerilmeleri zeminin taşıyamayacak olmasıdır. Zemin iyileştirme çalışmalarının esasını, mevcut zeminde uygulanacak ilave çalışmalar ile yeterli taşıma gücünün sağlanmasıdır. Özellikle kolay bulunabilen, maliyeti düşük yöntemler üzerine araştırmalar yapılmaktadır.

Bu çalışmada talaş ve kireç katkısı ile zemin iyileştirme araştırması yapılmıştır. Bu araştırmanın temel amacı, Burundi zemin için taşıma gücü ve konsolidasyon problemine ülke şartlarında uygun bir çözüm bulmaktır. Burundi çok yağmurlu, zemin özellikleri doygun ve kohezyonludur. Zemin iyileştirmek için atık malzemeler olarak talaş ile beraber kireç kullanılmıştır. Çalışmada talaş oranı %0,5 ve %1, kireç oranı ise %0,5, %1, %2, %5, %10, %15, %20 olarak seçilmiştir. Zemin su yüzdesi %25 ve %30 olarak uygulanmıştır.

Zemine %30 Su + %15 Kireç + %0,5 ve 1 oranlarında talaş eklenerek elde edilen numuneler için serbest basınç deneyleri uygulanmıştır. Sadece kompaksiyon karakteristiklerinde hazırlanan Fatih zemin numunesi üzerine uygulanan serbest basınç deneyinde elde edilen 312 kPa'lık maksimum gerilme değeri; %30 su içeriğinde; kireç ilavesi ile 398,1 kPa, talaş + kireç ilavesi ile 435,4 kPa ve 453,5 kPa değerine kadar yükselmiştir. Aynı zemine %25 Su + %5 Kireç + %0,5 ve 1 oranlarında talaş eklenerek elde edilen numunelerde ise; 498,9 kPa kireçle, 586,4 kPa ve 594,2 kPa talaş ile gerilme değerleri elde edilmiştir.

Diğer zeminde ise; sadece kompaksiyon karakteristiklerinde hazırlanan Beşevler zemin numunesi üzerine uygulanan serbest basınç deneyinde elde edilen 321 kPa'lık maksimum gerilmesi değeri; %30 Su + %15 Kireç + %0,5 ve 1 oranlarında talaş eklenerek elde edilen numuneler için 315,3 kPa kireçle, 299,2 kPa ve 315,8 kPa talaşla elde edilmiştir. Aynı zemine %25 Su + %5 Kireç + %0,5 ve 1 oranlarında talaş eklenerek elde edilen numuneler için 349,1 kPa kireçle, 590,5 kPa ve 580,6 kPa talaşla elde edilmiştir.

Konsolidasyon deneyinde Beşevler zemin doğal halinde 3,9 mm oturma yaparken %30 su + %15 kireç + %0,5 ve %1 talaş ile hazırlanan zemin numunesinde en düşük oturma 6 gün (144 saat) sonunda 0,1 mm olarak elde edilmiştir. Aynı zeminde,

konsolidasyon deneyinde zemin doğal halinde 1 mm oturma yaparken % 25 su + % 10 kireç + % 0,5 ve % 1 talaş ile hazırlanan zemin numunesinde en düşük oturma 6 gün (144 saat) sonunda 0,3 mm olarak elde edilmiştir.

Diğer zemin konsolidasyon deneyinde Fatih zemin doğal halinde 2,7 mm oturma yaparken % 30 su + % 15 kireç + % 0,5 ve % 1 talaş atığı ile hazırlanan zemin 6 gün (144 saat) sonunda 0,2 mm olarak elde edilmiştir. Aynı zeminde konsolidasyon deneyinde zemin doğal halinde 1 mm oturma yaparken % 25 su + % 10 kireç + % 0,5 ve % 1 talaş ile hazırlanan zemin 6 gün (144 saat) sonunda 0,1 mm oturma elde edilmiştir

Serbest basınç ve konsolidasyon deneyleri sonucu elde edilen verilere göre talaş ve kireç ilavesi ile zemin özelliklerinde iyileşme meydana geldiği tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda, Burundi ve benzer özellikte ki zeminler için zemin iyileştirme çalışmalarında maliyeti düşük, kolay bulunabilir bir alternatif olarak önerilebilir.

KAYNAKÇA

- [1] Boulanger, R.W. and Hayden, R.F. (1995), 'Aspects of Compaction Grouting of Liquefiable Soil', Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 121, No. 12.
- [2] Baker, W.H. (1985). 'Embankment Foundation Densification by Compaction Grouting', Proceedings, Issues in Dam Grouting, ASCE, New York, NY, pp 104-122.
- [3] Orense, R.P., Morita, Y., and Masanori, I. (2000), 'Assessment and Mitigation of Liquefaction Risk for Existing Building Foundation', An International Conference on Geotechnical and Geological Engineering, Melbourne, Australia.
- [4] Salley, J., R., Foreman, B., Baker, W., H., and Henry, J., F., 1987, Compaction Grouting Test Program--Pinopolis West Dam, Proceedings, Soil Improvement--A Ten Year, Geotechnical Special Publication, 12, 245–269.
- [5] Lunardi P., 1977. "Ground Improvement by Means of Jet-Grouting", Ground Improvement, ISSMFE Thomas Telford, Vol 1 No:2, pp. 65 - 86.
- [6] Omine K., Ohno S., 1997. "Deformation Analysis of Composite Ground by Homogenization Method", Proc. of 14th International Conference on Soil Mechanics & Foundation Engineering, pp. 719 – 722.
- [7] Kirsch F., Sondermann W., 2001. "Ground improvement and its numerical analysis". Proc. 15th Int. Conf. Soil Mech. Found. Engg., Istanbul 2001, A.A. Balkema, S. 1775 - 1778
- [8] Durgunoglu H.T., Kulaç H.F., Oruç K., Yıldız R., Altugu T., Emrem C.A., 2002. "Sıvılaşmaya Karşı Jet Grout Yöntemi İle Zemin Islahına Ait Bir Vaka Analizi", Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Dokuzuncu Ulusal Kongresi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.
- [9] Özsoy B., Durgunoğlu H. T., 2003. "Sıvılaşma Etkilerinin Yüksek Kayma Modüllü Zemin-Çimento Karışımı Kolonlarla Azaltılması", 5. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul.

- [10] Durgunoğlu H. T., 2004. “Yüksek Modüllü Kolonların Temel Mühendisliğinde Kullanımı”, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onuncu Ulusal Kongresi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [11] Pinto, A.; Falcão, J.; Pinto, F.; Melo Ribeiro, J. (2005). “Ground Improvement Solutions using Jet Grouting Columns.” 16th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, September 2005, Osaka, Japan, pp. 1249 – 1252.
- [12] Ghabaee, S. (2015). Kireç ile Stabilize Edilmiş Bentonitin Kür Süresinin Mukavemet Üzerindeki Etkisi. (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [13] Han, J. (2015). Principles and Practice of Ground Improvement. New Jersey: Wiley.
- [14] Alpyürür Mehmet 1, Şenol Aykut, (2016). Effect Of Aerated Autoclaved Concrete Waste On Cbr Properties Of Clays, 1. Ulusal Genç Geoteknik Mühendisleri Sempozyumu 12 Ekim 2016, Atatürk Üniversitesi, cilt 1 pp 51-58.
- [15] Bell, F. G. (2000). Principles of Foundation Engineering Treatment of Soils. London : Taylor & Francis.
- [16] Çadır C. C., Şahinkaya F., Vekli M., (2016), “Soil Stabilization Through Marble Powder” 1. Ulusal Genç Geoteknik Mühendisleri Sempozyumu 12 Ekim 2016, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, cilt 1 pp 125-133
- [17] Zorluer İ., 2003, Toprak dolgu barajlar yönünden dispersif killer ve tanımlama yöntemlerinin karşılaştırılması, Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 183s.
- [18] Abboud G., Chen, H. & Wang, Q. (2006) The behaviour of organic matter in the process of soft soil stabilization using cement. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 65, 445–448.
- [19] Bell, F.G., (1994). “An assessment of Cement - PFA and Lime - PFA Used to stabilise Clay Size Materials”. In: Primel, L (ed), Bull. Of the International Ass. Of Eng. Geol., No. 49, April, 1994, pp.25 - 32. IAEG, Paris.

- [20] Kılıç G., 2008, Çimento ile zemin stabilizasyonu, Yüksek lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 102s.
- [21] Bouazza, A.; Gates, W.P.; Ranhith, P.G. Hydraulic conductivity of biopolymer-treated silty sand. *Geotechnique* 2009, 59, 71–72.
- [22] Chang, I.; Im, J.; Prasadhi, A.K.; Cho, G.C. Effects of Xanthan gum biopolymer on soil strengthening. *Constr. Build. Mater.* 2015, 74, 65–72.
- [23] Akbulut, S., Arasan, S. & Kalkan, E. (2007) Modification of clayey soils using scrap tyre rubber and synthetic fibers. *Applied Clay Science*, 38, 23–32.
- [24] Yarbaşı, N., Kalkan, E., Akbulut, S., 2007. Modification of freezing–thawing properties of granular soils with waste additives. *Cold Reg. Sci. Technol.* 48, 44–54.
- [26] Kalkan, E., 2009. Effects of silica fume on the geotechnical properties of fine-grained soils exposed to freeze and thaw. *Cold Reg. Sci. Technol.* 58, 130–135.
- [27] Kalkan, E. “Utilization of red mud as a stabilization material for the preparation of clay liners,” *Engineering Geology*, Vol. 87, pp. 220-229, 2006.
- [27] Zaimoglu, A.S. 2010, Freezing–thawing behavior of fine-grained soils reinforced with polypropylene fibers, *Cold Reg. Sci. Technol.*, 60 (1), 63–65
- [28] M. Ghazavi and M. A. Sakhi, “Influence of optimized tire shreds on shear strength parameters of sand,” *International Journal of Geomechanics*, vol. 5, no. 1, pp. 58–65, 2005.
- [29] Sharma, R.S. and Phanikumar, B.R. (2005), “Laboratory Study of Heave Behavior of Expansive Clay Reinforced with Geopiles”, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 131, No. 4, pp. 512-518.
- [30] Ilknur B., Birol D., Mh. Komut, A. Sağlık, S. Çömez², Aykan M., M. Kubilay Keleşoğlu³, Akın Gökgöz⁴, Resilient Modulus Values of a Lime Stabilized Soil, *Zemin Mekaniği Ve Geoteknik Mühendisliği 16. Ulusal Kongresi 13-14 Ekim 2016*, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, 891-900
- [31] Little D.N., (1995), “Handbook for Stabilization of Pavement Subgrades and Base Courses with Lime”, Kendall / Hunt Publishing Company.

- [32] Harichane K., Ghrici M., Kenai S., Grine K., 2011, Use of Natural Pozzolana and Lime for Stabilization of Cohesive Soils, Geotech Geol. Eng.
- [33] Tosun, H. ve Turköz, M. 2000. "Şişen Killerin Sönmüş Kireç Katkısı ile Stabilizasyonu",Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Sekizinci Ulusal Kongresi, İTÜ, İstanbul. 2000.
- [34] Moseley, M.P., 1993; Ground Improvement, Blackie A&P, Maryland, USA
- [35] Sener, S., Gedikoglu, I., Bilgin, N., Gungor, H., Ustun, H. (1994). The effects of irrigation water polluted by different ways on soil characteristics and plant yield. General Directorate of Rural Services. Soil and Water Research Institute, Publication No:8, Ankara, Turkey..
- [36] B.M. Das, Principles of Geotechnical Engineering, Pws-Kent Publishing Co., USA, 1990.
- [37] Nzigidahera (2012), Biruzu (2005),Cazenave-Piarrot (1979); Description du Burundi: aspects physiques du Burundi pp. 6-7