

BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ❖ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**SÖĞÜT BÖLGESİ ORGANİK ZEMİNİNİN SÜPER BEYAZ ÇİMENTO VE
PUZOLANİK ÇİMENTO İLE STABİLİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Muhammed Ali TOPRAK

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

ŞUBAT 2022

BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ❖ LİSANÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**SÖĞÜT BÖLGESİ ORGANİK ZEMİNİNİN SÜPER BEYAZ ÇİMENTO VE
PUZOLANİK ÇİMENTO İLE STABİLİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Muhammed Ali TOPRAK
(181262821006)**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Eyübhan AVCI

ŞUBAT 2022



20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, Bursa Teknik Üniversitesi’nin aboneli olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

İNTİHAL BEYANI

Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belgelediğimi, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

Öğrencinin Adı Soyadı: Muhammed Ali TOPRAK

İmzası :

X X X X

ÖNSÖZ

Tez çalışmalarım boyunca, Her konuda yardımcı olan çok değerli danışman hocam Doç. Dr. Eyübhan AVCI'ya teşekkürlerimi sunuyorum. Ayrıca deneysel çalışmalarım esnasında bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım Ar. Gör. Emre Deveci'ye, son olarak da hep yanımda olan aileme şükranlarımı sunarım.

ŞUBAT 2022

MUHAMMED ALİ TOPRAK



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	x
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xii
SUMMARY	xiv
1. GİRİŞ.....	16
1.1 Amaç Ve Kapsam.....	17
2. ORGANİK ZEMİNLER	19
2.1 Organik Zeminlerin Tanıtılması.....	19
2.2 Organik Zeminlerin Mühendislik Özellikleri.....	20
2.3 Organik Zeminlerin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	21
2.4 Organik Zeminlerin Sınıflandırılması	21
3. ZEMİNLERİN STABİLİZASYONU.....	24
3.1 Zemin Stabilizasyonuna Giriş	24
3.2 Stabilizasyon Tanımı ve Kullanım Alanları.....	25
3.3 Stabilizasyon Türleri	25
3.3.1 Derin zemin stabilizasyonu.....	26
3.3.2 Ön yükleme ve düşey drenler.....	26
3.3.3 Vibro yerdeğiştirme (taş kolonlar).....	27
3.3.4 Enjeksiyon.....	27
3.3.5 Vibrokompaksiyon.....	27
3.3.6 Kompaksiyon kazıkları	27
3.4 Yüzeysel Zemin Stabilizasyonu	28
3.4.1 Katkısız zemin stabilizasyonu.....	28
3.5 Katkılı Zemin stabilizasyonu.....	29
3.5.1 Çimento ile stabilizasyon	30
3.5.1.1 Zemin - çimento stabilizasyonunda temel kavramlar	31
3.5.2 Stabilize edilmiş zeminler ile ilgili daha önce yapılmış çalışmalar	33
3.5.3 Organik zeminlerin stabilize edilmesi ile ilgili daha önce yapılmış çalışmalar	34
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	36
4.1 Deneylede Kullanılan Organik Zeminin Özellikleri.....	36
4.2 Doğal Su Muhtevasının Tayini	36
4.3 Organik Madde Tayini	37
4.4 Organik Zeminin Özgül Ağırlığı.....	38
4.5 Deneylede Kullanılan Organik Zeminin Dane Boyu Dağılım Analizi	40
4.6 Deneylede Kullanılan Organik Zeminin Atterberg Limitleri	42
4.7 Stabilizasyon Sonrası Organik Zeminlerin Atterberg Limitleri.....	44

4.8 Standart Proctor Deneyi	45
4.9 Stabilizasyon Deneyinde Kullanılan Çimentoların Özellikleri	48
4.10 Stabilizasyon Sonrası Organik Zeminlerin Proctor Deneyleri	50
4.11 Serbest Basınç Deneyi.....	52
4.12 Üç Eksenli Basınç Deneyi.....	58
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	63
KAYNAKÇA	67



KISALTMALAR

ASTM	:American Society for Testing Materials
CH	:Yüksek Plastisiteli Kil
D	:Örselenmiş Numune
FHWA	:Federal Karayolu İdaresi
PÇ	:Puzolanik Çimento (Cem IV)
SBÇ	:Süper Beyaz Çimento (CEM I 52.5R)
SBD	:Serbest Basınç Dayanımı
UD	:Örselenmemiş Numune
USACE	:United States Army Corps of Engineers
UU	:Konsolidasyonsuz Drenajsız

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1 : Deney verileri.	39
Çizelge 4.2 : Atterberg limitleri deney verileri.	44
Çizelge 4.3 : Stabilizasyon sonrası Atterberg limitleri deney verileri.	45
Çizelge 4.4 : Kullanılan çimentoların fiziksel özellikleri.	48
Çizelge 4.5 : Kullanılan çimentoların kimyasal özellikleri.	49
Çizelge 4.6 : Deney numunelerine ait notasyon bilgileri.	51
Çizelge 4.7 : Standart proctor deneyi sonuçları.	51
Çizelge 4.8 : Açık ve streçe sarılı halde bekletilmiş olan numunelerin serbest basınç dayanımlarının zaman bağı olarak değişimi.	57
Çizelge 4.9 : Üç eksenli basınç deneyi sonuçları.	61



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 4.1 : Organik zemin numunesinin su muhtevası değerinin bulunması.....	37
Şekil 4.2 : Kütle ölçümü ve etüv sıcaklığı.....	38
Şekil 4.3 : Vakum yardımı ile hava alma işlemleri.	39
Şekil 4.4 : Numunenin huni yardımı ile piknometreye yerleştirilmesi.....	39
Şekil 4.5 : Solüsyon içinde 24 saat bekleyen numunenin mikser yardımı ile karıştırılması.....	41
Şekil 4.6 : Numunenin mezürlere yerleştirilmesi.	41
Şekil 4.7 : Dane çapı dağılım eğrisi.....	42
Şekil 4.8 : 24 saat boyunca bekletilen numunenin casagrande cihazına yerleştirilmesi.....	43
Şekil 4.9 : Casagrande 5 nokta yöntemine göre çizilen grafik.	44
Şekil 4.10 : Stabilizasyon sonrası Atterberg limitleri deney verileri.....	45
Şekil 4.11 : Numunenin homojen olarak karıştırılma işlemi.	46
Şekil 4.12 : Organik zeminin sıkıştırılması işlemi.	47
Şekil 4.13 : Sıkıştırılan numunenin tıraşlanma ve kalıptan çıkarılma işlemleri.	47
Şekil 4.14 : Organik zemin numunesine ait proctor eğrisi.	48
Şekil 4.15 : Süper Beyaz Çimento (CEM I 52.5R) ve Puzolanik Çimento (Cem IV).	50
Şekil 4.16 : Stabilize edilmiş organik zeminlerin standart proctor eğrileri (a) PC ile stabilize edilmiş, b)SBC ile stabilize edilmiş.....	52
Şekil 4.17 : Numune hazırlama moldunun resmi ve teknik çizimi.....	52
Şekil 4.18 : Numunenin sıkıştırılması ve kriko yardımıyla molddan çıkarılması işlemi.....	53
Şekil 4.19 : Numunelerin açık ortam, streçe sarılı olarak bekletilmesi.	53
Şekil 4.20 :Kür havuzunda bekletilen numunelerin parçalanması.	53
Şekil 4.21 : Serbest basınç dayanımı testlerinin yapılması.	54
Şekil 4.22 : Katkisız organik zeminin kırılma biçimi.....	54
Şekil 4.23 : Puzolanik Çimento ile stabilize edilmiş zemininin gösterdiği 90° derecelik kırılma açısı.	55
Şekil 4.24 : Süper Beyaz Çimento ile stabilize edilmiş zemininin gösterdiği 45° derecelik kırılma açısı.	55
Şekil 4.25 : Açık ortamda bekletilmiş olan numunelerin serbest basınç dayanımlarının zamana bağlı olarak değişimi.	57
Şekil 4.26 : Streçe sarılı halde bekletilmiş olan numunelerin serbest basınç dayanımlarının zamana bağlı olarak değişimi.	57
Şekil 4.27 : 28 ve 56 günlük numunelerin açık ve kapalı kür koşullarında bekletilmesi.	58
Şekil 4.28 : Üç eksenli basınç deneylerinde kullanılan cihaz ve yükleme halkası...	58
Şekil 4.29 : Numunenin cihaza yerleştirilmesi ve hücrenin takılması.....	59
Şekil 4.30 : Çevre basıncı verildikten sonra yükleme yapılması ve değerlerin okunması.	60

SÖĞÜT BÖLGESİ ORGANİK ZEMİNİNİN SÜPER BEYAZ ÇİMENTO VE PUZOLANİK ÇİMENTO İLE STABİLİZASYONU

ÖZET

Hızla artan dünya nüfusuyla birlikte kentleşme, sanayileşme beraberinde yapı alanlarının hızla azalmasına neden olmuştur. Yapılar için kullanılabilir temel zemini özelliği gösteren uygun alanların azalması sonucu uygun olmayan zeminler üzerinde yapılaşma mecburiyetini getirmiştir. Diğer bir deyişle üzerlerine inşa edilen mühendislik yapılarında taşıma gücü yetersizliği, oturma, şev/yamaç duraysızlıkları ve dolgularda zemine batma gibi önemli mühendislik sorunlarına neden olan ve geoteknik açıdan bilinen en problemlili zeminlerden biride alansal olarak yeryüzünün yaklaşık % 8'ini kaplayan organik zeminlerdir. Bu tez kapsamında yapılan çalışmada Süper Beyaz Çimentosunun Söğüt bölgesi organik zemininin stabilizasyonunda etkinliği araştırılmıştır.

Tez çalışması kapsamında ilk olarak Söğüt Bölgesinden alınan organik zeminin fiziksel özellikleri belirleme deneyleri kapsamında elek analizi, hidrometre, özgül ağırlık ve kıvam limit ve proctor testleri yapılmıştır. Süper Beyaz Çimentosunun etkinliğinin karşılaştırılabilmesi için organik zemin ayrıca Puzolanik Çimento ile de stabilize edilmiştir. Stabilizasyon deneylerinde organik zeminler içine ağırlıkça %10, %15, %20 oranlarında Süper Beyaz Çimento ve Puzolanik Çimento katılmıştır. Bahsedilen karışım oranlarında Atterberg limitleri tayin edilip katkısız zemin, Süper Beyaz Çimento ve Puzolanik Çimentoların karşılaştırılmaları yapılmıştır. Stabilizasyon sonrası numunelerin proctor eğrileri çizilerek optimum su muhtevaları ve maksimum kuru birim hacim ağırlık değerleri belirlenmiştir. Optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlık değerlerine göre hazırlanan numuneler açık ortam ve streçe sarılı halde bekletilerek 7, 28, 56 ve 90 günlerde serbest basınç ve 56, 90. günlerde üç eksenli basınç deneylerine tabi tutulmuştur.

Atterberg limitleri incelendiğinde ise katkısız organik zemine Süper Beyaz Çimento ve Puzolanik Çimento katılınca likit limit ve plastik limitin arttığı görülmüştür. Plastisite indisi ise organik zemine Puzolanik Çimento katıldığında artış gösterirken Süper Beyaz Çimento katılınca düştüğü görülmüştür.

Stabilizasyon sonrası yapılan proctor deneylerinde sonuçlar incelendiğinde Hem PC ile stabilize edilmiş organik zeminde hemde SBC ile stabilize edilmiş zeminde çimento oranının artması ile optimum su muhtevaları ve maksimum kuru birim hacim ağırlıklarının arttığı görülmektedir. SBC ile stabilize edilmiş zeminin maksimum kuru birim hacim ağırlık ve optimum su muhtevası değerleri PC ile stabilize edilmiş zeminin maksimum kuru birim hacim ağırlık ve optimum su muhtevasından yüksek çıkmıştır.

Serbest basınç deneyleri sonucunda açık ortamda bekletilmiş, Süper Beyaz Çimento ve Puzolanik Çimento ile stabilize edilmiş organik zemininin serbest basınç dayanımı

streçe sarılı halde bekletilmiş Süper Beyaz ve Puzolanik çimento ile stabilize edilmiş organik zemininin basınç dayanımından yüksek çıkmıştır.

Üç eksenli basınç deneyleri sonucunda Süper Beyaz çimento ile stabilize edilmiş organik zeminin kayma mukavemeti parametreleri Puzolanik çimento ile stabilize edilmiş organik zeminin kayma mukavemetinden yüksek çıkmıştır. Organik zeminin Süper Beyaz çimento ve Puzolanik çimento ile stabilize edilmesiyle kayma mukavemeti parametreleri iyileşmiştir.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda organik zemine ilave edilen SBC ve PC katkılarının zeminin mühendislik özelliklerini iyileştirdiği görülmüştür. SBC'nun PC'ya göre daha etkili bir kimyasal stabilizasyon malzemesi olduğu ve organik zeminin mukavemet değerlerinde daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Organik Zemin, Stabilizasyon, Süper Beyaz Çimento, Serbest Basınç Dayanımı, Üç Eksenli Basınç Dayanımı, Atterberg limitleri

STABILIZATION OF SÖĞÜT REGION ORGANIC SOIL WITH SUPER WHITE CEMENT AND POZZOLANIC CEMENT

SUMMARY

With the rapidly increasing world population, urbanization and industrialization have led to a rapid decrease in building areas. As a result of the decrease in suitable areas that have the characteristics of usable foundation for buildings, it has brought the obligation to build on unsuitable soils. In other words, one of the most problematic geotechnically known soils, which cause important engineering problems such as insufficient bearing capacity, settlement, slope/slope instabilities and sinking into the ground in the engineering structures built on them, are organic soils covering approximately 8% of the earth's surface. In this study, it was aimed to stabilize problematic organic soils with complex contents with cement.

Within the scope of the thesis study, sieve analysis, hydrometer, specific gravity and consistency limit and proctor tests were carried out within the scope of the physical properties determination experiments of the organic soil taken from the Söğüt Region. In order to compare the effectiveness of the super white cement, the organic ground was also stabilized with pozzolanic cement. In the stabilization experiments, Super White cement and pozzolanic cement were added at the rates of 10%, 15% and 20% by weight into the organic soils. At the mentioned mixing ratios, the Atterberg limits were determined and the comparison of pure ground, Super White Cement and Pozzolanic Cement was made. Optimum water content and maximum dry unit volume weight values were determined by plotting the proctor curves of the samples after stabilization. Samples prepared according to optimum water content and maximum dry unit volume weight values were subjected to free pressure and triaxial pressure tests at 7, 28, 56 and 90 days by keeping them in open environment and stretch wrapped.

When the Atterberg limits were examined, it was observed that the liquid limit and plastic limit increased when Super White Cement and Pozzolanic Cement were added to the organic soil without additives. It was observed that the plasticity index increased when Pozzolanic Cement was added to the organic ground, while it decreased when Super White Cement was added.

When the results of the proctor tests performed after stabilization are examined, it is seen that the optimum water content and maximum dry unit volume weights increase with the increase in the cement ratio in both the organic soil stabilized with PC and the soil stabilized with SBC. The maximum dry unit weight and optimum water content of the soil stabilized with SBC were higher than the maximum dry unit weight and optimum water content of the soil stabilized with PC.

As a result of the Uniaxial compressive strength tests, the Uniaxial compressive strength of the organic soil stabilized with Super White and Pozzolanic cement, which was kept in an open environment, was higher than the compressive strength of the

organic soil stabilized with Super White and Pozzolanic cement, which was kept in a stretch-wrapped state.

As a result of triaxial compressive strength tests, the shear strength parameters of organic soil stabilized with Super White cement were higher than the shear strength of organic soil stabilized with pozzolanic cement. Shear strength parameters were improved by stabilizing the organic soil with Super White cement and Pozzolanic cement.

As a result of the experimental studies, it was seen that the sbc and pc additives added to the organic soil improved the engineering properties of the soil. It has been observed that sbc is a more effective chemical stabilization material than pc and gives better results in the strength values of organic soil.

Keywords: Organic Soils, Stabilization, Super White Cement, Uniaxial compressive strength, Triaxial Compressive Strength, Atterberg Limits

1. GİRİŞ

Hızla artan dünya nüfusuyla birlikte kentleşme, sanayileşme beraberinde yapı alanlarının hızla azalmasına neden olmuştur. Yapılar için kullanılabilir temel zemini özelliği gösteren uygun alanların azalması sonucu uygun olmayan zeminler üzerinde yapılaşma mecburiyetini getirmiştir. Diğer bir deyişle üzerlerine inşa edilen mühendislik yapılarında taşıma gücü yetersizliği, oturma, şev/yamaç duraysızlıkları ve dolgularda zemine batma gibi önemli mühendislik sorunlarına neden olan ve geoteknik açıdan bilinen en problemlili zeminlerden biride alansal olarak yeryüzünün yaklaşık %8'ini kaplayan organik zeminlerdir. Organik zeminler sergiledikleri düşük dayanım değerleri sebebiyle problemlili zemin grupları içerisinde yer almaktadır. Bu tip zeminlerin üzerine yapı inşaa edilmesi zorunluluğu zeminlerde iyileştirme ihtiyacı doğurmuştur. Organik zeminlerin iyileştirilmesinde birçok teknik kullanılmaktadır. Stabilizasyonda bu tekniklerden biridir. Organik zeminlerin stabilizasyonunda çimentolar yaygın olarak kullanılmaktadır.

Kireç, çimento, uçucu kül ve asfalt gibi katkı maddeleri kimyasal katkı olarak bilinir. Bu yöntemler, dayanım artışı, sıkıştırılabilirliğin azalması, şişme veya sıkışma özelliklerinin iyileştirilmesi ve zeminin dayanıklılığının arttırılması gibi zeminin doğal özelliklerini iyileştirmek için kullanılmıştır[1].

Çimentonun, zemin stabilizasyon yöntemlerinde kimyasal katkı olarak yaygın bir kullanım alanı vardır. Aynı zamanda hem yüzey hem de derin stabilizasyon yöntemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemler eski zamanlardan beri zeminin geoteknik özelliklerini iyileştirmek için kullanılmaktadır[2].

Yapılan literatür çalışmalarında görüldüğü gibi zemin özellikleri zayıf olan organik zeminlerin iyileştirilmesinde birçok farklı metod vardır. Bu tez kapsamında ise kimyasal stabilizasyon çeşitlerinden biri olan çimento ile stabilizasyon yapılmıştır ve organik zemin üzerindeki temel mühendislik özelliklerine etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır

1.1 Amaç Ve Kapsam

Bu tez kapsamındaki deneysel çalışmalarda Süper Beyaz Çimentosunun Söğüt bölgesi organik zeminin stabilizasyonunda etkinliği araştırılmıştır. Süper Beyaz Çimentosunun etkinliğinin araştırılması için ayrıca Puzolanik Çimento ile de stabilizasyon çalışmaları yapılmıştır.

Söğüt Bölgesi Organik zemininin Süper Beyaz ve Puzolanik Çimento ile stabilizasyonu kapsamında planlanan ve gerçekleştirilen çalışmalar şöyle sıralanabilir;

- Söğüt bölgesinden alınan örselenmiş organik zemin numunelerinin deneylerde kullanılmak üzere daha küçük kütlelere homojen ayrılması için yarılama uygulaması yapılmıştır.
- Organik zemin numunesinin su içeriğinin belirlenmesi amacıyla doğal su muhtevası tayini yapılmıştır.
- Organik zemin numunesi 80 °C de kurutularak yıkamalı eleme metoduyla organik madde tayini yapılmıştır.
- 4 no'lu elekten geçirilerek piknometre vasıtasıyla 6 farklı organik zemin numunesinin ortalaması alınıp özgül ağırlık bulunmuştur.
- Hidrometre ve elek analizi deneyleri yapılarak dane boyu dağılımı bulunmuştur.
- Casagrande ve plastik limit deneyleri yapılarak sırasıyla likit limit ve plastik limit bulunmuştur. Likit limit ve plastik limite bağlı olarak organik zeminin plastisite indisi belirlenmiştir.
- Organik zemin numunesine %10, %15, %20 oranlarında Süper Beyaz Çimento ve puzolanik çimentoyla homojen bir şekilde karıştırılarak Atterberg limitleri deneyleri yapılmıştır.
- Optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlığının belirlenmesi amacıyla organik zemin numunesi hem katkısız olarak hem de %10, %15, %20 oranlarında Süper Beyaz Çimento ve puzolanik çimentoyla homojen bir şekilde karıştırılarak proctor deneyleri yapılmıştır.
- Hem katkısız hem de %10, %15 ve %20 katkı oranlarında stabilize edilmiş Süper Beyaz Çimento ve Puzolanik Çimento ile stabilize edilmiş ve proctor deneylerinde belirlenen optimum su muhtevası ile kuru birim hacim ağırlıkta hazırlanmış farklı kür koşullarında (açıkta, streçte ve kür tankında)

bekletilmiş ve numunelere 7., 28., 56., ve 90. günlerde serbest basınç dayanım testleri yapılmıştır. Kür tankında bekletilen numuneler parçalandığı için deneylerde kullanılmamıştır.

- Yine aynı oranlarda hazırlanmış numuneler 28 ve 56 gün bekletilerek konsolidasyonsuz – drenajsız (UU) yükleme koşullarında üç eksenli basınç deneyleri yapılmıştır.



2. ORGANİK ZEMİNLER

İçerisinde yüksek oranda organik madde bulunduran zeminlere organik zeminler denir. Bitki kökleri içeren ve tarım arazilerinde bulunan yüzeydeki zeminler organik zemin sınıfında yer alır ve genellikle sıyırma kazısıyla atılır. Bunun dışında daha derin bölgelerde de organik zeminler ile karşılaşmaktadır. Organik zeminlerin taşıma gücü değerleri çok düşüktür ve üzerine yerleştirilen temellerde yüksek oturma değerleri gösterirler. Dünyanın farklı coğrafyalarında oluşum gösteren organik zeminler sıkıştırabilirliklerinin yüksek olması sonucunda birincil ve ikincil konsolidasyon oturmaları meydana gelir. Bu nedenle bu tip zeminlerde iyileştirme yapılmadan üzerine yapı inşaa edilmesi yukarıda belirtilen problemlerin oluşmasına sebep olmaktadır[3].

Bu tez kapsamında yapılan çalışmada Süper Beyaz Çimentosunun Söğüt bölgesi organik zemininin stabilizasyonunda etkinliği araştırılmış olup karşılaştırılma yapılabilmesi için organik zemin ayrıca Puzolanik Çimento ile de stabilize edilmiştir.

2.1 Organik Zeminlerin Tanıtılması

Organik zeminler içindeki organik madde miktarında göre organik ve turba zeminler olarak iki ana alt grupta incelenebilir. Organik madde miktarının %75'ten büyük olması durumunda zeminler turba olarak isimlendirilirler. Organik zemin ve turba zeminler, minerallerinin farklı bileşimleri ve yapısı nedeniyle temel zemini olarak kullanılmaya uygun değildir. Organik zemin, bitki kalıntılarında oluşan önemli miktarda organik materyal içeren bir zemindir. Teknik olarak karbon içeren herhangi bir malzemeye "organik" denir. Bu, "taze" olması ve hala ayrışma sürecinde olması ve böylece kendine özgü bir doku, renk ve koku tutması gerektiği anlamına gelir. Bazı zeminler karbon içerir, ancak yakın zamanda türetilmiş bitkiler değildir ve bu bağlamda organik olarak kabul edilmezler. Örneğin, bazı kumlar kimyasal çökelti olarak gelen kalsiyum karbonat (kalsit) içerir[4].

Yaşlarının 1.000 ila 10.000 yaşında olduğu tahmin edilen büyük çoğunluğu buzul devrinde oluşmuş organik zeminler sınırlı bölgelerde ve ince tabakalanmış olarak bulunurlar. Dünya genelinde organik zeminlerin kapladığı alanlara bakacak olursak Abd'de 30 milyon hektar, Kanada'da 170 milyon hektar, Rusya'da 150 milyon hektar,

Malezya'da 3 milyon hektar ve Endonezya'da 17 milyon hektarlık alan kapladığı görülmektedir. Türkiye'de ise organik zeminlerin kapladığı alanlar ise 25 bin hektar civarındadır.[5]

2.2 Organik Zeminlerin Mühendislik Özellikleri

ASTM D2974 standartına göre kuru kütlelerinin % 75' inden fazlası organik madde olan zeminler turba olarak adlandırırken, organik içeriği %75'den az olan zeminleri bataklık ya da organik zemin olarak sınıflandırmaktadır. Uluslararası turba topluluğuna göre zeminin %20'den fazlası organikse turba %20'den az ise organik zemin olarak tanımlamıştır. Organik zeminlerin geoteknik özellikleri organik içerik, organik maddenin türü, organik maddenin ayrışma derecesi ve boşluk oranına bağlı olarak değişmektedir. Zeminin organik içeriği arttıkça su muhtevası, kıvam limitleri, katyon değişim kapasitesi ve asitlik derecesi genel olarak artarken, özgül ağırlığı, birim hacim ağırlığı, plastisite indeksi ve kompaksiyon verimliliği azalmaktadır. Organik madde içeriğine ek olarak, organik maddenin tipi ve organik maddenin ayrışma derecesi de organik zeminlerin mukavemetini, geçirgenliğini ve sıkışabilirliğini etkileyen iki kritik faktördür. Organik zeminin daha fazla lifli yapıya sahip olması ve daha az ayrışma derecesi genellikle daha yüksek geçirgenlik ve sıkışabilirliğe neden olmaktadır. Organik madde içeriği, türü ve ayrışma derecesinin sonucu olan boşluk oranı; başta sıkışabilirlik olmak üzere organik zeminlerin önemli özelliklerini kontrol eden bir parametredir[6].

Turba zeminin, karbon bileşikleri ve yüksek boşluklar göstermesi nedeniyle üzerlerine gelen büyük yapı yüklerini taşıyamazlar. Özellikleri ile ilgili olarak, turba zemin "yüksek sıkıştırılabilirlik, yüksek lif içeriği, düşük kesme mukavemeti, düşük stabilite, yüksek nem içeriği, düşük taşıma kapasitesi, yüksek likit limit, düşük özgül ağırlık, düşük serbest basınç dayanımı ve yüksek oturma değerine sahiptir.

Bu nedenle, turba ve organik zeminlere temellerin direk oturtulması önerilmez ve kullanılmadan önce iyileştirilmesi gerekir. İnşaat yapılarında tüm yükleri zemin aldığı için zeminin sağlam olması gerekir [7].

2.3 Organik Zeminlerin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Organik zeminler lif içermelerinden dolayı büyük boşluk oranlarına sahiptirler buda konsolidasyon oturmalarına neden olur. Liflerin getirdiği diğer bir özellik ise organik zeminin kation değişim kapasitenin yüksek olması ve bu sebeple su moleküllerini çekmesidir. Bu sebeplerden dolayı organik zemin yapısında yüksek oranda lif içerirse sonuç olarak sıkışma oranı ve su içeriği artar[8]. Organik zeminin içerisindeki suyun çok büyük bir kısmını lifler tutmaktadır. Suyun geri kalan kısmı ise organik zeminini oluşturan parçalar arasındaki boşlukta, bitki, hayvan kalıntılarında ve organik zeminin içinde tutulur. Yüksek su tutma kapasitesine sahip organik zeminler bu özellikleri nedeniyle su içerikleri bakımından organik zeminler için %500, turba zeminler %700, silt ve killerde %70'in üstüne çıkan değerlere sahiptirler[9].

Organik zeminlerin birim hacim ağırlıkları incelendiğinde ise ana etken olarak 3 parametre karşımıza çıkar. Bunlar organik içerik, içerdiği boşluk oranı ve son olarak özgül ağırlıktır. Organik zemindeki liflerin oluşturduğu yüksek boşluk oranı birim hacim ağırlık değerini etkileyen ana parametrelerden biridir. Yüksek lif oranına sahip ve ayrışma derecesi düşük olan organik zeminler düşük birim hacim ağırlık sergilerler. İnorganik zeminlerle organik zeminlerin özgül ağırlıkları kıyaslandığında inorganik zeminlerin daha yüksek özgül ağırlık değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Zeminlerin organik içerikleri arttıkça özgül ağırlık değerlerinin azaldığı belirlenmiştir. Brawner ve arkadaşları (1996), organik içeriği %80'den fazla olan organik zeminlerin özgül ağırlıklarını incelemişler. Sonuç olarak çok farklı dağılım gösteren özgül ağırlık değerlerinin sebebini organik zeminin içerdiği hava boşluklarından kaynaklandığını tesbit etmişlerdir[10].

Organik zeminlerin liflerden kaynaklanan yüksek su tutma ve organik maddelerin tek bir yerde kümüle olması gibi özelliklere sahip olması kıvam limitleri parametlerini etkilemektedir. Organik zeminlerdeki Liflerin yüksek su tutma kapasitesi kıvam limitlerini arttırırken organik maddelerin bir yerde yığılması ise kıvam limitlerini azaltır[11].

2.4 Organik Zeminlerin Sınıflandırılması

Organik Zeminleri sınıflandırmak için çeşitli yöntemler mevcuttur. Genel olarak, nitel değerlendirmeler ve nicel ölçümler olmak üzere bu yöntemler iki kategoriye ayrılır.

İnşaat mühendisliği uygulamalarında nicel ölçüm kategorisine dahil olup yaygın olarak kullanılan ve bir zeminin organik olarak kabul edilip edilemeyeceğini belirlemeye yönelik yaklaşım, Atterberg limit testleridir.

ASTM D2487'de partikül boyutları dağılımı ve kıvam limitlerini baz alınarak oluşturulan Birleşik Zemin Sınıflandırması Sisteminde (USCS), zeminler ince taneli ve kaba daneli olarak 2 gruba ayrılmıştır. Zeminin etüvde kurutmadan önce ve sonra ölçülen likit limit değerleri oranı %75'den az ise organik zemin olarak sınıflandırılırken %75'ten fazla ise zemin silt ve kil olarak sınıflandırılmıştır[12].

ASTM D4427'de ise turba zeminler botanik içerik, lif içeriği, asit derecesi, kül içeriği ve su tutma kapasitesine göre sınıflandırılır[13].

ASTM D5715'te turba zeminler humuşlaşma oranına göre sınıflandırılırlar[14].

ASTM D'1997'de Lif içeriğine bağlı olarak turbalar, fibrik (%67'den fazla lif), hemrik (%33 ila %67 lif içeriği) ve saprik (%33'ten az lif) olarak sınıflandırılmıştır[15].

Organik zemini yüksek sıcaklıklar etüvde yakmak ise organik zemin içeriğini bulmak için mühendislik uygulamalarında kullanılan en yaygın nicel ölçüm tekniklerinden biridir Ancak bu teknikle ilgili olası hatalar birçok araştırmacı tarafından belirtilmiştir. Isıtma sıcaklığı ve ısıtma süresi, sonuçları önemli ölçüde etkileyebilir ve seçilmiş inorganik bileşenlerin varlığı da organik içeriğin fazla tahmin edilmesine yol açabilir[16].

Organik zeminler için mevcut sınıflandırma sistemleri oldukça çeşitlidir ve farklı amaçlara ve kriterlere göre değişiklik göstermektedir. Zemin sınıflandırma sistemleri üç ana grupta toplanır;

tarımsal sınıflandırma sistemleri

botaniksel sınıflandırma sistemleri

mühendislik sınıflandırma sistemleridir.

Tarımsal sınıflandırma sistemleri, organik zeminlere organik maddenin ayrışma derecesine göre farklı isimler verir.

Daha yaygın olarak kullanılan botanik sınıflandırma sistemlerinden biri olan Vonpost sınıflandırma sistemi, organik zeminleri gruplamak için yedi parametre kullanmıştır. Bu parametler: numunenin bulunduğu derinlik, turba türü, nemlenme derecesi, nem

içeriği, lif içeriği, odunsu kalıntılarının varlığı, kömür ve bitki kalıntılarının varlığı gibi ilgili diğer bilgilerdir.

Botanik sınıflandırma sistemlerinden diğeri ise Radforth sınıflandırma sistemidir. Bu sistem Vonpost sınıflandırma sisteminin aksine, daha çok mühendislerin kullanımı için geliştirilen bir sistemdir. Vonpostta'ki ana amaç organik zeminlerde bitki yetiştirmeyi sağlamak üzerinedir. Bu nedenle Radforth sınıflandırma sistemi daha çok mühendislerin kullanımı için geliştirilmiş ve daha az botanik bilgi içermektedir. Radforth sınıflandırma sistemi zemini turba içeriğine göre amorf granüler turbalar, ince lifli turbalar ve kaba lifli olmak üzere 3'e ayırmıştır. Bunlar arasında ise granüler turbalar düşük kayma mukavemetine sahipken kaba lifli turbalar ise en yüksek boşluk oranı ve sıkışabilirliğe sahiptirler[17].



3. ZEMİNLERİN STABİLİZASYONU

Zeminlerin stabilizasyonu bir zemin iyileştirme yöntemidir. Zemin stabilizasyonunda zeminin kesme dayanımı parametreleri ve yük taşıma kapasitesi artırılır. Organik Zeminler genellikle istenmeyen mühendislik özellikleri sergiler. Stabilizasyon, bir zeminin kesme mukavemetini artırır ve büzülme-şişme özelliklerini kontrol eder. Zemin stabilizasyonu, zemin yapılarında zemin kütlelerinin geçirgenliğini ve sıkıştırılabilirliğini azaltmak ve kesme mukavemetini artırmak için kullanılır.

Stabilizasyon ve bunun zemin üzerindeki etkisi, katkı maddeleri ile reaksiyon mekanizmasına, zemin nem içeriğine ve yapı sistemlerine bağlıdır.

3.1 Zemin Stabilizasyonuna Giriş

Zemin stabilizasyonu, bir zeminin geoteknik mühendislik özelliklerini iyileştirmek ve performansını artırmak için bir veya daha fazla zemin özelliğinin değiştirilmesi ve korunması olarak tanımlanabilir. Geniş anlamda stabilizasyon, zeminlerin mühendislik performansını geliştirmek ve özelliklerini pozitif yönde değiştirmek için kullanılan çeşitli yöntemlerden oluşur.

Zemin stabilizasyonu, zeminin bir veya daha fazla özelliğini iyileştirmek için doğal bir zemine özel bir zemin, çimento malzemesi veya diğer kimyasal malzemelerin eklendiği prosedürü ifade eder. Stabilizasyon, homojen bir karışım elde etmek için doğal zemin ve stabilize edici malzemeyi mekanik olarak karıştırarak veya bozulmamış bir zemin içine stabilizatörü ekleyerek ve zemin boşluklarından geçmesini sağlayarak elde edilir.

Zeminlerin özelliklerini iyileştirmek için çeşitli stabilizatörler katkı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Zemin içine eklenen stabilizatörler ile zeminin mukavemeti artarken geçirimsizliği azalmaktadır.

Çeşitli katkı maddeleri kullanılarak organik zeminlerin stabilizasyonu konusunda birçok araştırma yapılmış olup, üstyapı işlerinde organik zeminlerin stabilizasyonu için kullanılan en yaygın ve ekonomik yöntemlerden bahsetmek gerekirse bunlar çimento ve kireç ile stabilizasyondur. Bununla birlikte, çimento ve kireç stabilizasyonundan elde edilen yüksek dayanımlar her zaman gerekli olmayabilir ve

zemin özelliklerini değiştirmek için kullanılacak daha ucuz katkı maddeleri kullanmak daha ekonomik olabilir. Kireç veya kalsiyum karbonat, zemin stabilizasyonu için kullanılan en eski geleneksel kimyasal stabilizatörlerdir[18].

3.2 Stabilizasyon Tanımı ve Kullanım Alanları

Zemin stabilizasyonu, zemin partiküllerini birbirine bağlayarak, partikülleri su geçirmez hale getirerek veya ikisinin kombinasyonu yoluyla zemin mukavemetini ve arttırma işlemidir. Genellikle teknoloji, pratik bir soruna alternatif bir tedarik yapısal çözümü sağlar[19].

Zemin stabilizasyonu için stabilizatörler kullanılmaktadır. Kireç veya çimento gibi önceden hazırlanmış bağlayıcı maddeleri yetersiz taşıma kapasitesine sahip mevcut zemine karıştırmak için güçlü öğütme ve karıştırma rotorları kullanılır ve bu sayede yerinde yüksek kaliteli bir yapı malzemesi elde edilir. Elde edilen homojen zemin ve bağlayıcı madde karışımı, yüksek taşıma kapasitesinin yanı sıra suya ve dona karşı kalıcı direnç ve hacim kararlılığı sağlar. Zemin stabilizasyonunun tipik uygulama alanları;

- Pistler
- Yollar ve otoyollar,
- Parklar ve spor sahaları,
- Ticari bölge tesisleri
- Endüstri tesisleri
- Hava limanları,
- Barajlar,
- Dolgu ve Çöp sahalarıdır[20].

3.3 Stabilizasyon Türleri

Zemin, bir yapı için en önemli ve birincil bileşenlerden biridir. Herhangi bir yapının sağlamlığı ve dayanıklılığı başta zeminin mukavemet özelliklerine bağlıdır. Bu sebeplerden ötürü bir yapının zeminini gerekli mühendislik özelliklerini karşılamıyorsa bu tür durumlarda olası farklı çözümler uygulanabilir:

- Proje için farklı bir bölge seçilebilir.

- Sorunlu zemin kaldırılır ve iyi kalitede bir zemin ile değiştirilebilir.

Bahsedilen çözümlerin teknik ve ekonomik açıdan mümkün olmadığı durumlarda daha efektif zemin stabilizasyon yöntemleri uygulanır. Aynı zamanda zemin stabilizasyon yöntemleri süre avantajı da sağlamasından dolayı daha çok tercih edilmektedir.

Zemin stabilizasyonu problemlili zeminlere uygulanır ve genel olarak bu zeminlerin sınıvlaşma potansiyeli, geçirimliliği, sıkışabilirliği, azaltılırken kayma dayanımı ve elastisitesinin ise artırılması amaçlanır. Zemin stabilizasyon türleri farklı şekilde sınıflandırılabilir bunlar araştırmacıların dikkate aldığı parametrelere (iyileştirecek zeminin sınıfı, iyileştirmede katkı kullanılması, zemin stabilizasyon yönteminin zemin üzerinde veya içindeki yaptığı etkiye) göre değişmektedir. Zemin stabilizasyon türlerinde en önemli parametrelere biri de uygulama derinliğidir. Zemin Stabilizasyon türleri uygulama derinliğine göre 2 ana başlıkta incelenir:

- Derin zemin stabilizasyonu
- Yüzeysel zemin stabilizasyonu[21].

3.3.1 Derin zemin stabilizasyonu

Yüzeysel zemin stabilizasyonu iyileştirilmesi gereken zemin tabakalarının çok kalın olduğu durumlarda yetersiz kalır. Bu tür durumlarda derin zemin stabilizasyonu tekniklerinin kullanılması gerekir. Bu tekniklerden bazıları şunlardır:

- Ön yükleme ve düşey drenler
- Vibro yerdeğiştirme (taş kolonlar)
- Enjeksiyon
- Vibroompaksiyon
- Kompaksiyon kazıkları[22].

3.3.2 Ön yükleme ve düşey drenler

Kohezyonlu zeminler düşük taşıma gücüne sahip olduklarından dolayı üzerlerine gelen yapı yükleri sonucunda konsolidasyon oturmasına uğrarlar. Bu tarz zeminlerin kayma mukavemetini arttırmak ve oturma süresini azaltmak amacıyla zemine ön yükleme yapılabilir. Zemin üzerine yapılacak üst yapının yapımından önce zemine ön yükleme yapılması durumunda zemin su içeriği ve boşluk oranı azaltılıp kayma

mukavemeti arttırılmış olur. Bu zemin iyileştirme yöntemi için uygun zeminler siltler yumuşak killer ve organik zemin tabakalarıdır. Ön yükleme metodunda sürenin kısıtlı olması halinde düşey drenler kullanılarak boşluk suyu basınçları hızlıca drene edilebilir bu iki yöntemin beraber kullanılması daha etkili sonuçlar vermektedir[23].

3.3.3 Vibro yerdeğiştirme (taş kolonlar)

Vibrokompaksiyon uygulamasının ince dane oranı yüzde 25'ten fazla olan zeminlerde etkili olmaması nedeniyle vibro yerdeğiştirme daha uygun bir zemin iyileştirme yöntemi olmaktadır. Taş kolon uygulamasında zemin granüler materyal ile yerdeğiştirilir. Vibro yerdeğiştirme uygulaması turba zeminlerde, alüvyal zeminlerde ve suya doymuş sitlerde kullanılabilir[24].

3.3.4 Enjeksiyon

Zemindeki boşlukların basınç altında enjeksiyon malzemesiyle doldurulmasına ve mühendislik özelliklerinde iyileştirme işlemine enjeksiyon denir. Enjeksiyonun başlıca amacı zeminin mukavemeti arttırmak ve permeabilitesini azaltmaktır. Enjeksiyonun etkili olduğu zeminler ise çakıl, kum ve siltlerdir. Enjeksiyon türleri ise permeasyon enjeksiyonu, çatlatma enjeksiyonu, kompaksiyon enjeksiyonu ve jet enjeksiyonudur[25].

3.3.5 Vibrokompaksiyon

Vibrokompaksiyon uygulanacak zeminler kohezyonsuz iri daneli ve gevşek zeminlerdir. Bu Zemin iyileştirme yönteminde bir vibroflot yardımıyla düşük enerjili titreşimle beraber sondanın ucundaki deliklerden yüksek basınçlı su jeti ile istenilen derinliği indirildikten sonra kuyunun içi granüler malzemele ile doldurulur. Vibroflot yüksek enerjiyle çalıştırılır böylece hem sıkışma gerçekleşmiş olur hemde vibroflot geri çekilirken sonda çapından daha büyük bir kolon oluşmuş olur. İnce daneli ve organik zeminlerde vibrokompaksiyon çok verimli bir teknik değildir[26].

3.3.6 Kompaksiyon kazıkları

Gevşek kum zeminleri sıkıştırarak uygulanan bu zemin iyileştirme yöntemindeki ana amaç konsolidasyon süresini azaltmaktır. Aynı zamanda sıkıştırma sağlandığı için zeminin taşıma gücünde artış meydana gelirken sıvılaşma potansiyeli azaltılmış olur. Zemine ucu kapalı bir kaplama borusu indirilerek yapılan bu yöntem daha sonra

kaplama borusu içinden granüler malzeme sıkıştırılarak dökülürken kaplama borusu geri çekilir. Arazideki uygulamaya aralığı çoğunlukla 1-1.5 m. Arası olmaktadır. Bu yöntemde en iyi sonuç ince malzemeleri zeminlerde alınmaktadır[27].

3.4 Yüzeysel Zemin Stabilizasyonu

Derin zemin stabilizasyonu etkili bir zemin iyileştirme yöntemi olmasına karşın yüzeyde olan iyileştirmelerde yüzeysel zemin stabilizasyonu kullanılır. Genelde demiryolu, karayolu gibi üst yapı yüklerinin az olduğu yerlerde uygulanır. Yüzeysel zemin stabilizasyonu derin zemin stabilizasyonuna göre maliyeti daha düşük ve mühendislik yönünden problemler zeminlerde kullanımında daha etkilidir. Yüzeysel Zemin stabilizasyonlarında stabilizatör kullanılan ve kullanılmayan yöntemler olarak 2'ye ayrılır.

- Katkısız zemin stabilizasyonu
- Katkılı zemin stabilizasyonu[23]

3.4.1 Katkısız zemin stabilizasyonu

Katkı kullanılmadan temelde mekanik ve statik etkilerle iyileştirme amaçlanan bu zemin iyileştirme yönteminde zeminde var olan hava boşlukları ve suyu uzaklaştırmak suretiyle zemin danelerinin arasındaki boşluk azalır ve zeminin sıkışması sağlanır. Bu yöntemlerde sonuç olarak zemin birim hacim ağırlığı ve kayma mukavemeti artarken zeminin geçirgenliği ve sıkışabilirliği azalır. Zeminin mekanik stabilitesini etkileyen faktörler şunlardır:

- Bileşen malzemelerin mekanik mukavemeti ve saflığı
- Karışımdaki malzemelerin yüzdesi
- Zemin bağlama derecesi
- Sahada benimsenen karıştırma, haddeleme ve sıkıştırma prosedürleri
- Çevre ve iklim koşulları

Aşağıda birkaç katkısız zemin stabilizasyonundan kısaca bahsedilecektir:

Dinamik sıkıştırma: Kompaksiyon zemin stabilizasyonunun başlıca türlerinden biridir. Bu prosedürde, deformasyonları ortadan kaldırmak ve düzgün bir yüzey sağlamak için düzenli aralıklarla zemine tekrar tekrar ağırlık uygulanır. Zemindeki optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlığı elde etmeyi amaçlayan bu zemin iyileştirme yönteminde zemin sıkışır, sıvılaşma riski azalır, kayma mukavemeti azalır. Titreşimli vibro sıkıştırma ise aynı amaca ulaşmak için kinetik ağırlık yoluyla deformasyon yerine, titreşime dayansa da benzer prensipler üzerinde çalışan başka bir tekniktir.

Drenaj yöntemi: Zemindeki yer altı suyu delikler açılarak uzaklaştırılmak istenir. Açılan bu eğimli delikler vasıtasıyla yeraltı suyu hendeklere toplanarak ordanda sistemden motorlu su pompalarıyla ya da doğal yollarla uzaklaştırılır.

Mekanik stabilizasyon: Zeminin karıştırılması yerinde veya malzeme ocağında yapıldıktan sonra karışım yola serilerek yapılır. Burdaki ana amaç üzerine gelen yükler altında deformasyon yapmayan ve taşıma gücünün yüksek olan zeminler elde etmektir[28].

3.5 Katkılı Zemin stabilizasyonu

Katkı maddeleri ile stabilizasyon stabilize edilecek zemin içerisine homojen şekilde karıştırılarak bir stabilizatör (Uçucu kül, bitümlü malzemeler, çimento, kireç) eklemek suretiyle zemin kütlesi içerisinde kimyasal reaksiyon oluşturup zeminin istenen mühendislik değerlerine getirilmesidir. Zemin plastisitesini azaltıp kullanılabilir hale getirmek için kullanılan stabilizatörün efektif olması isteniyorsa temelinde yeterli miktarda Ca^{++} iyonları bulunmalıdır. Puzolanik reaksiyonun en efektif şekilde gerçekleşmesi ise alümin ve silis'in yüksek çözünürlüğü ile olur bunlar sayesinde kalsiyum-silikat-hidrat ve kalsiyum-alüminat-hidrat formları oluşur ve istenilen sonuca varılır.

Kimyasal stabilizasyon uygularken ve stabilizatörleri seçerken şu faktörleri göz önünde bulundurulur.

- Stabilize edilecek zemin tipi,
- Stabilizasyonun amacı,

- İstenen zemin iyileştirme tipi,
- Stabilize edilecek zeminin mukavemeti ve dayanıklılığı,
- Maliyet,
- Çevre koşulları.

Geleneksel kimyasal stabilizatörler şunlardır:

- Çimento,
- Kireç,
- Uçucu kül,
- Bitümlü malzemeler,
- Ve yukarıdaki malzemelerin kombinasyonları.

Geleneksel bir stabilizatör seçim süreci için zemin testi gerekmektedir. İstenen özelliği elde etmek ve maliyeti en aza indirmek için gereken stabilizatör tipini ve miktarını optimize etmek için DSI'nin de kullandığı USACE prosedürünü izlemek uygundur. Bunun nedeni, genellikle herhangi bir zemin tipi için geçerli olan birden fazla stabilizatör bulunmasıdır. Bununla birlikte, zemin tanecikliliği, plastisitesi veya dokusu gibi özelliklere dayalı olarak, bazı stabilizatörler belirli zeminlere diğerlerinden daha fazla uygulanabilir. USACE prosedürü, belirli bir zemin için doğru stabilizatörün optimal seçimini sağlar ve istenen mukavemeti elde etmek için gereken minimum stabilizatör miktarını belirleyerek maliyeti optimize eder. USACE prosedürü ayrıca değişiklik için kullanılacak miktarları da göstermektedir. Zemine çimento eklenmesi zemin mukavemetini artırır, sıkıştırılabilirliği ve şişme potansiyelini azaltır ve dayanıklılığı artırır[29]

3.5.1 Çimento ile stabilizasyon

Çimento, 1960'larda zemin stabilizasyon teknolojisinin icadından bu yana en eski bağlayıcı maddedir. Birincil stabilize edici madde veya hidrolik bağlayıcı olarak düşünülebilir, çünkü gerekli stabilize edici eylemi sağlamak için tek başına kullanılabilir. Çimento stabilizasyonu, organik zeminlerin mühendislik özelliklerini

iyileştirdiği ve çok çeşitli zeminleri stabilize edebildiği için yaygın olarak kullanılmaktadır. Piyasada çok sayıda çimento türü mevcuttur; sıradan Portland çimentosu, puzolanik çimento, yüksek dayanımlı süper beyaz çimento, sülfata dirençli çimento ve yüksek alümina çimentosu vardır. Farklı tipteki çimentolar, sülfatın zararlı etkilerine karşı koymaya, yüksek erken mukavemet elde etmeye, hidrasyon sıcaklıklarını kontrol etmeye vb. yardımcı olmak için kimyasal bileşenleri kontrol etmiştir. Genellikle çimento seçimi, stabilize edilecek zemin türüne ve istenen son mukavemet değerine bağlı olarak değişmektedir.[30].

FHWA'ya (Federal Karayolu İdaresi) göre çimento stabilizasyonu için aşağıdaki tanımlar türetilmiştir:

- 1- Portland çimentosu: Temel olarak hidrolik kalsiyum silikattan oluşan ve zeminler arası bir prametre olarak genellikle bir veya daha fazla kalsiyum sülfat formunu içeren klinkerin toz haline getirilmesiyle üretilen bir hidrolik çimento türüdür.
- 2- Çimento katkılı stabilize zemin: İyice karıştırılmış, yüksek yoğunlukta sıkıştırılmış ve belirli bir kürlenme süresi boyunca nem kaybına karşı korunan Zemin, belirlenen miktarlarda Portland çimentosu ve su karışımından oluşur. Yol dolguları ve iksa arkası dolgularında kullanılır.
- 3- Zemin – çimento karışımı: Toz haline getirilmiş zemin, Portland çimentosu ve suyun yakın bir karışımı olan mekanik olarak sıkıştırılarak kürlenerek oluşturulan sertleştirilmiş bir malzemedir.
- 4- Çimento katkılı modifiye edilmiş zemin: toz haline getirilmiş zemin, Portland çimentosu ve suyun sertleşmemiş yakın bir karışımıdır.
- 5- Plastik zemin çimento karışımları : Malzemenin pompalanabilmesi için zemin ve çimentonun yüksek su içeriğinde karıştırıldığı, toz haline getirilmiş zemin, Portland çimentosu ve suyun yarı sertleştirilmiş özel karışımıdır. Bu karışım genellikle sıkıştırılmadan yerleştirilir. Killi veya organik zeminler hariç çoğu zemin için kullanılması en uygun karışımlardan biridir.[31].

3.5.1.1 Zemin - çimento stabilizasyonunda temel kavramlar

Portland çimentosu, klinker ve alçıtaşının birlikte öğütülmesiyle elde edilen ince bir malzemedir[32].

Portland çimentosu , trikalsiyum silika (C₃S), dikalsiyum silika (C₂S), trikalsiyum alümina (C₃A) ve tetrakalsiyum alumino-ferrit (C₄A) olarak tanımlanan katı bir çözelti

içeren heterojen bir maddedir. Bu dört bileşen, portland çimentosunun temel parametleridir[33].

Bergado vd, zemine çimento eklenmesiyle indüklenen ve zemin-çimento stabilizasyon sürecini yöneten iki ana kimyasal reaksiyon vardır: çimento ve suyun birincil hidrasyon reaksiyonu ve çimento tarafından salınan kireçler ile kil mineralleri arasındaki ikincil puzolanik reaksiyonlardır.

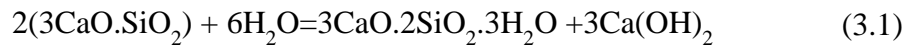
Temel hidrasyon ürünleri hidrate kalsiyum silikalar (C_2SH_x , $C_3S_2H_x$), hidratlı kalsiyum alüminalar (C_3AH_x , C_4AH_x) ve hidrate kireç ($Ca(OH)_2$)'dir. Bu reaksiyonda oluşan ilk iki ürün çimentolaşan ana parametlerdir, artık ürün olarak ise hidrate kireç oluşur. Bahsi geçen çimento parametleri komşu parçacıklara bağlanıp birleşerek iskelet formu oluştururlar. Bu oluşan form zemin danelerini içine alır ve tüm daneler birbirine bağlanmış olur. [34].

Doğal olarak asidik olan silika ve alümin fazları birbirine karışırlar fakat hiçbir zaman kristalize olmazlar. Hidrasyon reaksiyonu ise suyun ph'ını yükseltmek suretiyle hidrate olmuş kireç parçalarının ayrılmasını sağlar. Bu reaksiyon sonucunda zeminin kimyasal yapısı da bozulmaktadır.[35].

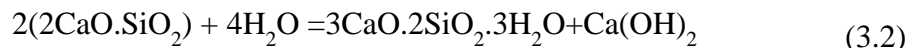
Hidrasyonun diğer aşaması ise hidroz silika ve alümin daha sonra çimentonun bağımsız kalsiyum iyonları ile kürlendiğinde sertleşir. Sertleşmenin olduğu süre zarfı, kürlenme süresi ve hidratasyonun ikinci aşaması da puzolanik reaksiyon olarak tanımlanabilir.

Portland çimentosu su ile karıştırıldığında hidratasyon başlar ve zeminlerde kalsiyum konsantrasyonu oldukça hızlı bir şekilde yükselir.[36].

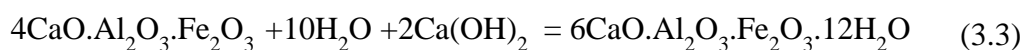
Portland çimentosuna su ilavesi ile başlayan hidrasyon dönüşümü kimyasal olarak aşağıdaki gibi gösterilebilir:



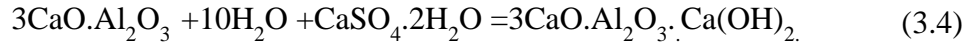
Denklem 3.1'de $2(3CaO.SiO_2)$, Trikalsiyum Silikatı, $6H_2O$, suyu, $3CaO.2SiO_2.3H_2O$, Tobermorit jeli, $3Ca(OH)_2$ Kalsiyum hidroksiti ifade eder.



Denklem 3.2'de $2(2CaO.SiO_2)$, Bikalsiyum Silikatı, $4H_2O$, suyu, $3CaO.2SiO_2$ Tobermorit jeli, $Ca(OH)_2$, Kalsiyum hidroksiti ifade eder.



Denklem 3.3'de $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ Tetrakalsiyum Alüminoferriti, $6\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot 12\text{H}_2\text{O}$, Kalsiyum alümiyorit hidratı ifade eder.



Denklem 3.4'de $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$, Trikalsiyum alüminatı, $\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ alçıyı, $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot \text{Ca}(\text{OH})_2\cdot 12\text{H}_2\text{O}$, Kalsiyum monosulfaluminatı ifade eder.

Kalsiyum iyonları (Ca^{+2}) çözelti içinde reaksiyona uğrar ve killi zemini stabilize etmek için kullanılırlar. Puzolanik reaksiyonun en efektif şekilde gerçekleşmesi ise alümin ve silis'in yüksek çözünürlüğü ile olur bunlar sayesinde kalsiyum-silikat-hidrat ve kalsiyum-alüminat-hidrat formları oluşur ve istenilen sonuca varılır. Bu kimyasal reaksiyonlardan sonra zemin ve çimento karışımından ortaya çıkan ve portland çimentosunun en önemli bileşenlerinden olan trikalsiyumsilikat (C3S) ile ilgili reaksiyonlardır. Sonuç olarak bu oluşan hidrasyon ve puzolanik reaksiyonlar arasında en önemli reaksiyonlar puzolanik reaksiyonlar olup reaksiyon sonlanana kadar karışımın mukavemeti artar[34].

3.5.2 Stabilize edilmiş zeminler ile ilgili daha önce yapılmış çalışmalar

Khemissa ve Mahamedi çimento ile stabilize edilmiş organik zemin numunelerinde stabilizatör içeriği arttıkça şişme basıncının düştüğünü bulmuşlardır[37].

Al Kiki vd. zamanla, stabilizasyon yapılmış zemin özelliklerinin dayanım kazanımını etkilediğini belirlemiştir. Zemin pH'ı, sodyum miktarı, kil mineralojisi, doğal drenaj, hava koşulları, karbonatlar ve silis-alümin oranı, mukavemet kazanımını etkileyen özelliklerden bazılarıdır. Asitli zeminin kireç kullanılarak stabilizasyonu, alkali zemine göre daha düşük basınç dayanımı ile sonuçlanmıştır[38].

Haraguchi v.d suda ve 0,2 N asit çözeltisinde kürlenmiş taze çimento ile stabilize edilmiş ayrılmış granit zeminin mühendislik özelliklerinin değişimini araştırmış ve 0,2 N asit çözeltisinde kürlenmiş numunelerden elde edilen California taşıma oranının (CBR) suda kürlenenden daha düşük olduğunu belirtmiştir[39].

Zulkifley vd. Hawaii'den gelen organik zeminlerin mühendislik özellikleri üzerinde uçucu külün etkisini değerlendirmiştir. Uçucu külün likit limiti ve plastisite indeksini

azalttığını ve California taşıma oranını (CBR) ve tek eksenli basınç dayanımını arttırdığını gözlemlemiştir[40].

Radhakrishnan vd. uçucu kül ile değiştirilmiş zemin-kireç karışımları üzerinde tek eksenli basınç dayanımı (UCS) ve tek boyutlu serbest şişme testleri gerçekleştirmiştir. Gözlemler, kireç ve uçucu külün siltli ve kumlu zeminleri stabilize etmek için iyi bir kombinasyon olduğunu göstermiştir. Nihai ürünün sertliğini büyük ölçüde arttırmıştır[41].

Rupnow vd. yol kaplamasının mukavemetini arttırmak amacıyla kireçli C Sınıfı uçucu külle stabilizasyon çalışması yapmışlardır. Her iki katkı maddesinin eklenmesiyle puzolanik reaksiyon gerçekleşmiş ve zamana bağlı olarak yol kaplamasının mukavemetinin arttığını gözlemlemiştir. [42].

3.5.3 Organik zeminlerin stabilize edilmesi ile ilgili daha önce yapılmış çalışmalar

Son 50 yılı aşkın mühendislik literatürünün gözden geçirilmesi, organik madde taşıyan zeminlerde çimento bazlı stabilizatör performansı ile ilgili olarak farklı sonuçlar vermektedir. İlk olarak incelemesi yapılan ve tüm literatürün büyük kısmını oluşturan çalışmalar çimento ve çimentoyla birlikte kullanılan diğer stabilizatörler ile ilgilidir.

Broderick ve Daniel kireç ve çimento ile stabilize edilmiş organik zeminlerin, işlenmemiş organik zeminlere kıyasla zemin dayanımlarının daha yüksek olduğu sonucuna varmışlardır.[43]

Clare ve Sherwood organik zeminin çimento ile stabilizasyonu üzerindeki etkilerinin ilk sistematik çalışmasını gerçekleştirmiştir. Kumla karıştırılmış ve %10 çimento ile stabilize edilmiş farklı organik Zemin fraksiyonlarının 7 günlük kimyasal tablosunu değerlendirmiş ve organik zemin fraksiyonlarının bu stabilizasyon sonucunda mühendislik özelliklerinin iyileştiğini belirlemiştir[44].

Clare ve Sherwood, organik madde içeren, çimento ile stabilize edilmiş doğal zeminlerin kimyasal içerik ölçümünü yapmış ve çimentonun zeminleri stabilize etme yeteneğinin, organiklerin kimyasal aktivitesine bağlı olarak zeminden zemine değişeceği sonucuna varmıştır. İkinci araştırmada, kireçtaşı üzerinde gelişen bir zemini analiz etmiş ve aktif bileşenin kalsiyum iyonları ile doygunluğu nedeniyle organik maddenin çimentonun prizini hızlandırdığını belirlemiştir[45].

Haan, cüruf çimento ve anhidrit karışımı kullanıldığında organik zeminlerde yüksek dayanımların elde edilebileceğini göstermiştir[46].

Hebib ve Farrell zemine yeterli miktarda stabilizatör eklendiğinde organik zeminlerin etkili bir şekilde stabilize edilebileceği sonucuna varmışlardır[47].

Hampton ve Edil, stabilize edilmiş organik zeminin geoteknik özelliklerindeki değişikliklere katkıda bulunan temel kimyasal reaksiyonlar üzerinde araştırma yapılması gerektiği sonucuna varmışlardır[48].

2005 yılında, Aron, Jonho Hwang, Antonio Bobet, Maria Santaga, Indiana Purdue Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Okulu'nda deneysel bir araştırma yürütmüşlerdir. Araştırma, Amerika West Lafayette, Lindberg Road bölgesinden alınan bir zeminin çimento stabilizasyonu ile ilgilidir. Zeminin organik içeriği, likit limiti, plastik limiti, katıların özgül ağırlığını, lif içeriğini ve kil fraksiyonunu listelemiş akabinde işlenmiş ve işlenmemiş zeminlerin farklı özelliklerini ele almak için Sabit deformasyon hızlı konsolidasyon davranışı, uzun vadeli kayma direnci ve stabilizatörün etkinliğini değerlendirmek için tek eksenli basınç testleri uygulamışlardır. Çalışmanın ilk adımı, farklı stabilizatörlerin kullanılması ve serbest basınç deneylerinin yapılması ve söz konusu zemin için en etkili stabilizatör katkı maddesinin belirlenmesidir. Kullanılan katkı maddeleri sırasıyla portland çimentosu, kireç, mermer tozu ve bentonittir. Elde edilen sonuçlar, zeminin içeriğindeki kimyasal bileşenler için en etkili stabilizasyonu sağlayan katkı maddesinin çimento olduğunu göstermiştir. Gerçekleştirilen farklı testler için, katıların kuru ağırlığına bağlı olarak %8 ila %100 arasında değişen pratikte kullanılan tipik dozajlarda çimento yüzdeleri eklenmiştir. Bağlayıcı dozajlarının stabilizasyon sürecindeki etkilerinin yanı sıra kütleme sırasında uygulanan sürşarj ve kütleme aşamasının süresi ile de ilgili olduğu gözlemlenmiştir. Çimento içeriği arttıkça şişme potansiyelinde ciddi bir düşüş olduğunu bildirmişlerdir. Bu davranışın, işlenmiş zeminin sürekli yükler altında deforme olma eğiliminin azalmasıyla ilişkili olduğunu, ayrıca, elde edilen test sonuçlarına göre çimento işleminin kuru ağırlık bazında %50'nin üzerindeki dozajlarda daha etkili görüldüğünü belirtmişlerdir. Sonuç olarak artan çimento miktarlarının organik zeminin mühendislik özelliklerine pozitif bir katkı sağladığı görülmüştür[49].

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu deneysel çalışmanın amacı, Portland kökenli bir çimento olan Süper Beyaz Çimento (SBC) ve Puzolanik Çimento (PC) ile yapılan stabilizasyonun zeminin geoteknik özelliklerine olan etkisinin araştırılmasıdır. Bu deneysel çalışmada SBC ve PÇ ile yapılan stabilizasyon deney sonuçları karşılaştırılarak, zeminin geoteknik özellikleri üzerindeki etkisi araştırılacaktır.

Tez çalışması kapsamında ilk olarak Söğüt Bölgesinden alınan organik zeminin fiziksel özellikleri belirleme deneyleri kapsamında elek analizi, hidrometre, özgül ağırlık ve kıvam limit ve proctor testleri yapılmıştır. Süper Beyaz Çimentosunun etkinliğinin karşılaştırılabilmesi için organik zemin ayrıca Puzolanik Çimento ile de stabilize edilmiştir. Stabilizasyon deneylerinde organik zeminlerin içine ağırlıkça %10, %15, %20 oranlarında Süper Beyaz Çimento ve Puzolanik Çimento katılmıştır. Stabilizasyon sonrası numunelerin proctor eğrileri çizilerek optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlık değerleri belirlenmiştir. Optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlık değerlerine göre hazırlanan numuneler açık ortam, streçe sarılı halde ve kür havuzunda suda bekletilerek 7, 28, 56 ve 90 günlerde serbest basınç ve 28, 56 günlerde üç eksenli basınç deneylerine tabi tutulmuştur.

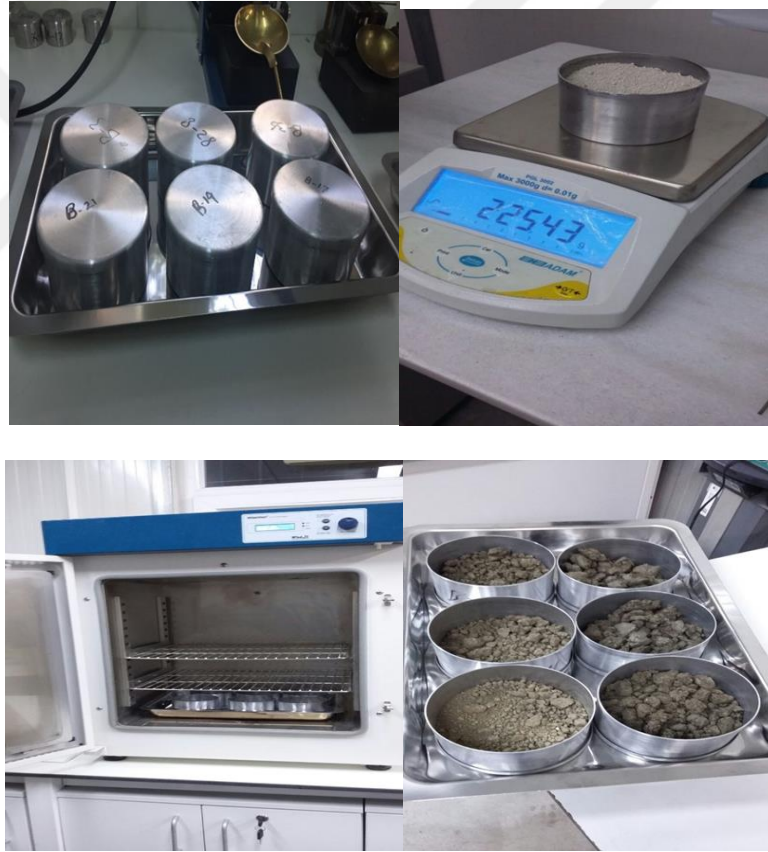
4.1 Deneylerde Kullanılan Organik Zeminin Özellikleri

Bileciğin Söğüt ilçesinde, jeolojik formasyonlar incelenerek belirlenen lokasyondan stabilizasyon deneylerini gerçekleştirmek üzere örselenmiş zemin numuneleri alınmıştır.

4.2 Doğal Su Muhtevasının Tayini

Zemindeki su içeriğinin belirlenmesi amacıyla yapılmaktadır. Zemin laboratuvar deneyleri içinde en sık kullanılan ve belirlenmesi en kolay olan su içeriği; bir zeminin içerdiği su ağırlığının, yine aynı zeminin kuru ağırlığına oranı olarak tanımlanır ve yüzde olarak ifade edilir. Deneyler yapılırken ASTM D-2216 ve TS 1900-1 de belirtilen hususlar dikkate alınmıştır.

Organik zemin numunelerinin doğal su muhtevası ASTM D 2216 standartların uygun olarak gerçekleştirilmiştir. İlk olarak numunelerin konulacağı kap 0.01 g doğruluk ile tartılarak not edilir. Sonrasında numune kabının içerisine organik zemin numunesi konularak tartılır ve not edilir . Organik zemin numunesi ile doldurulan kap etüvde ağzı açık şekilde kurumaya bırakılır. Kurutma işlemi (80 ± 5) °C sıcaklıkta 24 saat (bir gün boyunca) süre ile yapılır. 80 °C’de kurutulmasının sebebi numunenin organik malzeme içermesidir. Bu süre sonunda numune etüvden çıkarılarak desikatöre konur ve oda sıcaklığına kadar kurumaya bırakılır. Kurutulan numune kütlesi tartılır. Ölçümler arasındaki fark %0.1’den az ise numune değişmez kütleye ulaşmış olarak kabul edilir ve tartılarak not edilir. Ölçümler arasındaki fark %0.1’den fazla ise kurutma işlemi minimum 2 saat olmak üzere tekrarlanır. Aşağıda Şekil 4.1’de organik zemin numunesinin su muhtevası değerinin bulunması gösterilmiştir.



Şekil 4.1 : Organik zemin numunesinin su muhtevası değerinin bulunması.

4.3 Organik Madde Tayini

Deney prosedürü ASTM D2974 standartına uygun olarak 80 °C’de kurutulan ham numune elek analizi (yıkamalı eleme metodu) sonrasında #200(0.075 mm) nolu eleğin

üstünde kalan malzemeye yürütülmüştür. Isıya dayanıklı porselen kapların kütleleri kaydedildikten sonra kapların içerisine ayrı ayrı kuru numuneler konularak tartılmıştır. Numuneler 440°C'lik fırına konulmuştur. Her 2 saatte bir kütleleri kaydedilmiştir. Bu işlem numune miktarları sabitleninceye kadar sürmüştür. 24 saat sonrası numunelerin kütlelerinin sabit kaldığı görülerek deney sonlandırılmış ve organik madde miktarları bu değerlere göre hesaplanmıştır. Şekil 4.2'de kütle ölçüm işlemi ve etüv sıcaklığı gösterilmiştir[7].



Şekil 4.2 : Kütle ölçümü ve etüv sıcaklığı.

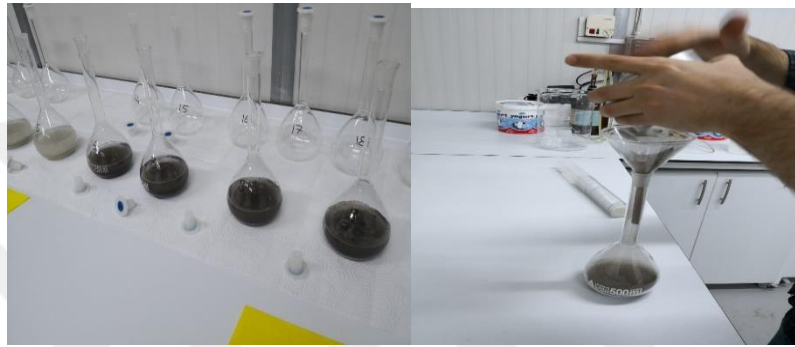
Hesaplamalar sonrasında ham numunenin organik madde yüzdesi %51, elek analizi sonrasında #200 nolu eleğin üstünde kalan malzemelerin organik madde yüzdesi ise %54 olarak bulunmuştur. Organik malzeme miktarının %75'den küçük olması sebebiyle Söğüt bölgesinden elde edilen zemin organik zemin sınıfına girmektedir. Deney sonuçları değerlendirildiğinde zemin içindeki organik malzemenin büyük kısmını #200 nolu elek üzerinde kalan malzemelerin oluşturulduğu görülmüştür.

4.4 Organik Zeminin Özgül Ağırlığı

Zeminin tane birim hacim ağırlığının 20°C sıcaklığındaki suyun birim hacim ağırlığa oranı özgül ağırlık olarak ifade edilir. G_s sembolü ile gösterilir. Özgül ağırlığın birimi yoktur. Başka bir ifadeyle boyutsuzdur. Deneylerde kullanılacak organik zeminin özgül ağırlığı ASTM D854'de belirtilen standartlara göre bulunmuştur[50]. Zemin numuneleri 4 no'lu elekten geçirilerek piknometre vasıtasıyla özgül ağırlığı hesaplanır. Şekil 4.3'te vakum yardımı ile hava alma işlemleri gösterilmiştir. Şekil 4.4'te ise Numunenin huni yardımı ile piknometreye yerleştirilmesi gösterilmiştir.



Şekil 4.3 : Vakum yardımı ile hava alma işlemleri.



Şekil 4.4 : Numunenin huni yardımı ile piknometreye yerleştirilmesi.

ASTM D854'e göre yürütülen deney sonrasında 6 adet numunenin özgül ağırlıkları hesaplanmış ve ortalamaları alınarak özgül ağırlık (G_s) 2.16 olarak belirlenmiştir. Çizelge 4.1'de deney verileri gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 : Deney verileri.

Piknometre	Sıcaklık	Pik.	Pik.+Su	Pik.+Nu	Pik+Nu.	Gs	
Şişe No	t °C	kütlesi	Kütlesi	Mune	+su	Gs	Ortalama
		m0,g	m1,g	kütlesi	kütlesi		
					m3,g		
11	20	149,68	675,65	243,34	726,13	2,17	
6	20	147,17	672,66	240,79	723,13	2,17	
7	20	156,91	677,06	249,54	726,31	2,14	
8	20	146,46	672,97	240,48	723,88	2,18	2,16
9	20	148,73	674,85	242,16	725,05	2,16	
10	20	154,56	673,31	247,94	723,52	2,16	

4.5 DeneYlerde Kullanılan Organik Zeminin Dane Boyu Dağılım Analizi

DeneYlerde kullanılacak organik zemin numunesinin numunesinin dane boyu dağılımı ASTM D422'de belirtilen standartlara göre bulunmuştur[51]. Dane boyu dağılım analizi tane büyüklüğüne bağılı olarak yapılır. DeneYde kullanılacak Organik zemin'de #200 nolu elek üzerinde kalan numuneler için eleme yöntemiyle, #200 nolu elekten geçen malzemeler ise hidrometre ile yapılmıştır.

Çeyrekleme metodu ile malzeme istediğimiz grama düşürölür ve #10 nolu elekten elendikten sonra 50 gram malzeme kalacak şekilde numune hazırlanır. Hazırlanan numune 80°C'de 24 saat etüve atılır. 1 litre çözeltiye 40 gram sodyum hekza meta fosfat gelecek şekilde solüsyon hazırlanır. Etüvden çıkarılan malzeme tavaya serilir ve üzerine hazırladığımız solüsyondan 125 ml eklenir ve belirli aralıklarla karıştırılır. 24 saat beklenir. Hiç numune kaybı olmadan mikser yardımı ile en az 10 dakika olacak şekilde karıştırılır. Hazırlanan karışım mezüre (152 H) konur ve üzerine 1000 ml gelecek şekilde 20°C'de olan saf su eklenir, karıştırılır ve süre başlatılır (DeneY yapılacak ortam 20°C olmalıdır.) 2-5-15-30-60-250-1440 dakikalarda ki ölçümler kayıt edilir. #200 nolu ve #40(0,425 mm) nolu elekler üst üste konulur ve mezürün içindeki numuneler eleklerle dökölerek yıkanır. Elek üstlerinde kalan malzemeler hiç numune kaybetmeden bir tavaya konur ve etüve atılır. 24 saat 80°C'de bekletilir. 24 saat sonunda etüvden çıkarılan malzemelerin kütleleri ölçölür ve kaydedilir.

Şekil 4.5'de solüsyon içinde 24 saat bekleyen numunenin mikser yardımı ile karıştırılması gösterilmiştir. Şekil 4.6'da mikserden geçirilen numunenin mezürlere yerleştirilmesi ve gösterilmiştir.

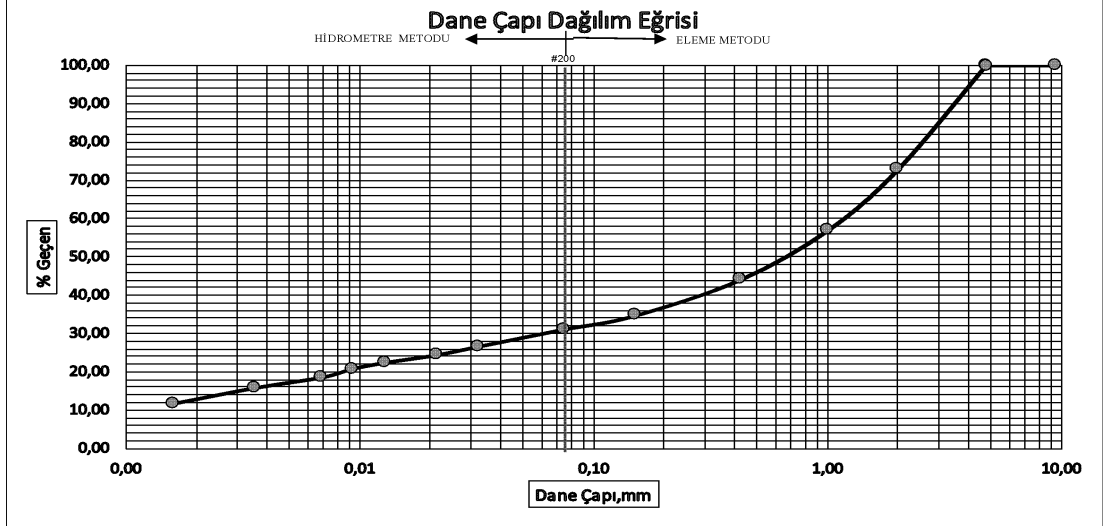


Şekil 4.5 : Solüsyon içinde 24 saat bekleyen numunenin mikser yardımı ile karıştırılması.



Şekil 4.6 : Numunenin mezürlere yerleştirilmesi.

#200 nolu eleğin üzerinde kalan kum ve çakıl malzemeler için elek analizi, #200 nolu eleğin altında kalan kil ve silt boyutunda zeminler için hidrometre deneyleri yapılmıştır. ASTM D422 ve TS 1900-1 standartlarına uygun olarak yürütülen hidrometre ve elek analizi deneylerine göre dane çapları ve % geçenleri hesaplanmıştır. Bu veriler ışığında organik zeminin dane çapı dağılım eğrisi çizilerek Şekil 4.7'de gösterilmiştir. Granülometri eğrisi incelendiğinde zemin numunesinin büyük kısmının kum boyutunda olduğu görülmektedir[52].



Şekil 4.7 : Dane çapı dağılım eğrisi.

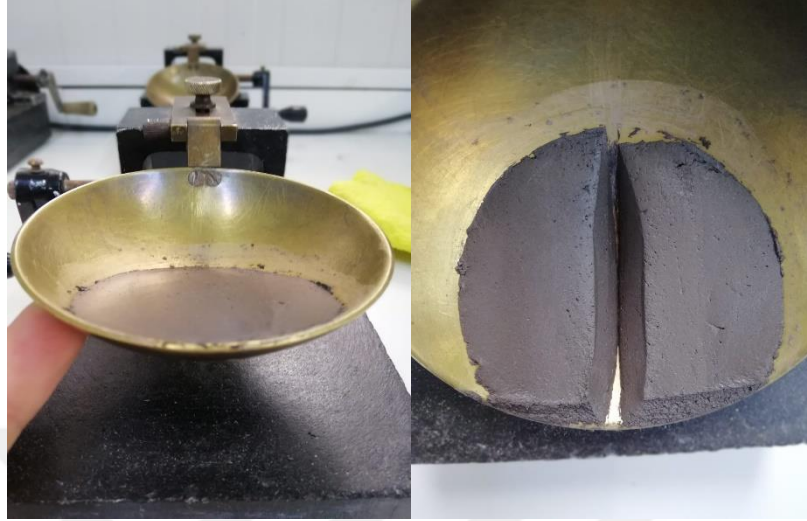
4.6 DeneYlerde Kullanılan Organik Zeminin Atterberg Limitleri

DeneYlerde kullanılacak organik zeminin Atterberg limitleri tayini ASTM D4318'de belirtilen standartlara göre bulunmuştur[53].

Likit limiti bulmak için casagrande likit limit deneyi (5 nokta) yapılmıştır.

Numune #40 nolu elekten elenerek 200 gram malzeme olacak şekilde hazırlanır. Hazırladığımız malzemeye likit kıvama gelmeyecek kadar su eklenip iyice karıştırılır ve eklenen suyun homojen olarak yayılması için kapağı sıkıca kapalı bir şekilde 24 saat beklenir. 24 saatin sonunda hazır olan malzeme en az 10 dakika olacak şekilde iyice karıştırılır. Ceviz büyüklüğünde bir malzeme 'plastik limit' için ayırarak ağız kapalı bir kapta beklemeye alınır. Hazırlanan malzemedan belli bir miktar alınarak Casagrande cihazına yerleştirilir ve saniyede 2 vuruş olacak şekilde 10-50 vuruş arasında çıkması amaçlanıp, her defasında belli bir miktar su eklenip kap+ yaş numune kütlesi tartılır ve kaydedilir. Kaydedilen numuneler 80°C'de 24 saat etüve atılır ve daha sonra kap + kuru numune değeri ölçülerek su içerikleri bulunur. Elde edilen veriler kullanılarak oluşturulan grafik yardımı ile 25. vuruşa karşılık gelen su içeriği belirlenir. Zemin örneğinin kıvamı, likit limit değerine oldukça yakın olacak şekilde ayarlanarak ve örnekte açılan oluk 20-30 düşüş arasında kapanacak şekilde 2 deney yapılarak likit limit değeri hesaplanır.

Organik zemin numunesinin #40 nolu elekten elendikten sonra numune belli bir miktar su eklenerek karıştırılır. Şekil 4.8’de ise 24 saat boyunca bekletilen numunenin casagrande cihazına yerleştirilmesi gösterilmiştir.



Şekil 4.8 : 24 saat boyunca bekletilen numunenin casagrande cihazına yerleştirilmesi.

Plastik Limit deneyi ise Zemin örneğinin plastik kıvamda ki en düşük su muhtevasını belirlemek için yapılır. Düzgün bir yüzey üzerinde elin iç kısmıyla veya parmaklarla düzgün bir şekilde yuvarlanan zemin örneği, 0,3 cm çapında ve yaklaşık 1 cm uzunluğundaki bir silindir şeklini kazandığında, su muhtevasından dolayı kırılıp çatlakların olduğu andaki su içeriği, zeminin plastik limiti olarak değerlendirilir.

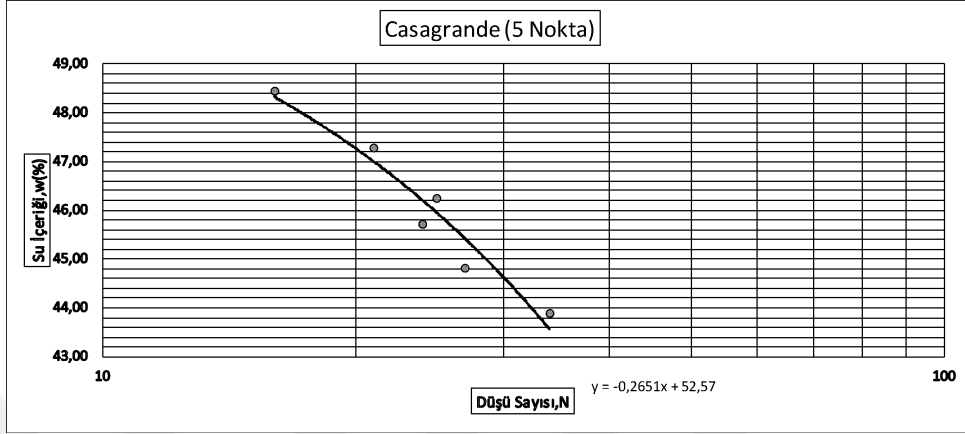
Casagrande likit limit deneyi yaparken ayırdığımız ceviz büyüklüğündeki numuneyi avucumuzun içinde homojen bir şekilde yoğurarak el ısıyla su kaybettirilir. Plastik kıvama geldiği anda düz, temiz bir zemin üzerinde elimizle yuvarlayarak 3mm kalınlığında bir silindir elde edilir. 3 mm kalınlığa geldiğinde yüzeyinde kılcal çatlaklar oluşunca numune alınıp kap+yaş numune ağırlığı ölçülür. Kaydedilen numuneler 80°C’de 24 saat etüve atılır ve daha sonra kap+kuru numune değeri ölçülerek su içerikleri bulunur.

Standartlara göre yürütülen deneyler sonrasında likit limit değeri 5 nokta yöntemine göre %37,9, olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.9’da Casagrande 5 nokta yöntemine göre çizilen grafik ve çizelge 4.2’de Atterberg limitleri deney verileri gösterilmiştir.

Plastik limit yapılan deneyler sonrasında organik zeminin plastik limit değeri 24,20 olarak belirlenmiştir.

Likit limite ve plastik limite bağı olarak hesaplanan plastisite indisi ise 13,70 olarak belirlenmiştir.

Deney sonuçları değerlendirildiğinde zemin numunesinin plastisite kartında düşük plastisiteli silt aralığına düştüğü görülmektedir.



Şekil 4.9 :Casagrande 5 nokta yöntemine göre çizilen grafik.

Çizelge 4.2 : Atterberg limitleri deney verileri.

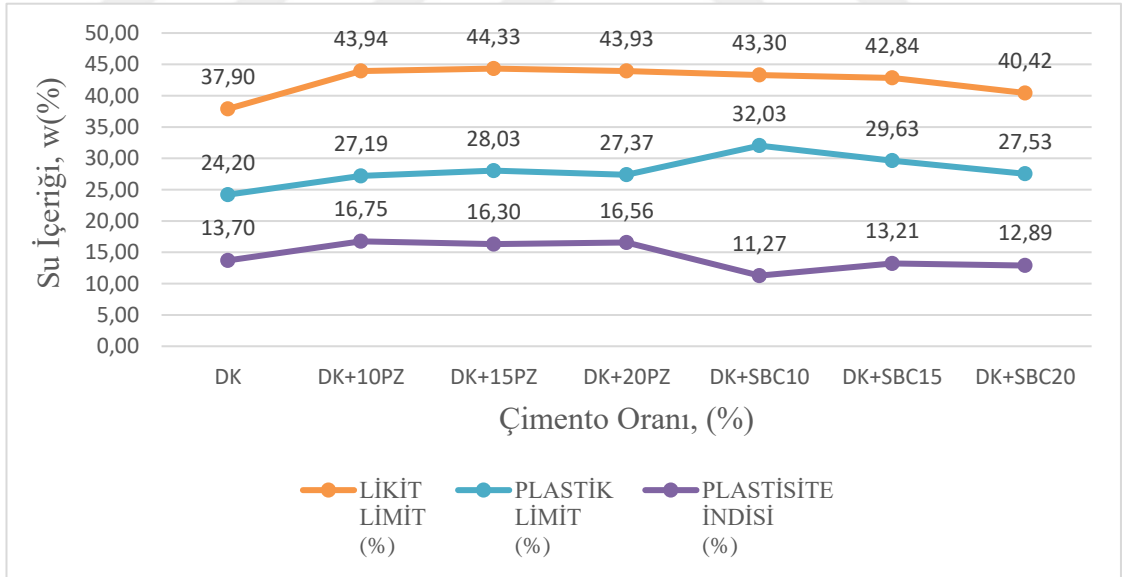
Atterberg limitleri	Likit limit (%)	Plastik limit (%)	Plastisite indisi (%)
Organik zemin	37,90	24,20	13,70

4.7 Stabilizasyon Sonrası Organik Zeminlerin Atterberg Limitleri

Deneylerde kullanılacak stabilize edilmiş organik zeminlerin Atterberg limitleri tayini ASTM D4318'de belirtilen standartlara göre bulunmuştur. Organik zemin içine %10, %15 ve %20 oranında Süper Beyaz ve Puzolanik Çimento Katılarak stabilizasyon çalışmaları yapılmıştır. Standartlara göre yürütülen deneyler sonrasında Atterberg limitleri incelendiğinde katkısız organik zemine Süper Beyaz Çimento ve Puzolanik Çimento katılınca likit limit ve plastik limitin arttığı görülmüştür. Plastisite indisi ise organik zemine Puzolanik Çimento katıldığında artış gösterirken Süper Beyaz Çimento katılınca düştüğü görülmüştür. Çizelge 4.3'de stabilizasyon sonrası Atterberg limitleri deney verileri, şekil 4.10'da ise deney verilerinin grafiği verilmiştir.

Çizelge 4.3 : Stabilizasyon sonrası Atterberg limitleri deney verileri.

Atterberg limitleri	Likit limit (%)	Plastik limit (%)	Plastisite indisi (%)
DK	37,9	24,20	13,70
DK+10PZ	43,94	27,19	16,75
DK+15PZ	44,33	28,03	16,30
DK+20PZ	43,93	27,37	16,56
DK+SBC10	43,30	32,03	11,27
DK+SBC15	42,84	29,63	13,21
DK+SBC20	40,42	27,53	12,89



Şekil 4.10 : Stabilizasyon sonrası Atterberg limitleri deney verileri.

4.8 Standart Proctor Deneyi

Numuneler için standart proctor deneyi ASTM D698’de belirtilen standartlara göre yapılmıştır[54]. 4.75 mm, 9.50 mm ve 20 mm göz açıklığına sahip eleklerde kalan malzeme oranına göre 4.75 mm elekte kalan oran %20 ve daha az olduğu için üç eşit

tabaka serilir ve her tabakaya 25 vuruş yapılarak sıkıştırma yapılır. Elekten geçirilen organik zemin belirli bir miktar su ile karıştırılır. Boş proctor kalıbı ve alt tablası 1 gram duyarlılıkla tartıldıktan sonra kalıbın üst yükleme halkası takılır. Her bir tabakaya 30.5 cm yükseklikten düşen tokmakla 25 vuruş yapılarak sıkıştırılır. Kalıp ve zemin tartılır. Her seferinde su içeriği artırılarak en az 5 kez tekrarlanır. Deney sonunda zeminin optimum su muhtevası ve grafik üzerinde buna karşılık gelen maksimum kuru birim hacim ağırlığı işaretlenerek kompaksiyon eğrisi çizilir. Bu eğrinin tepe noktası en büyük kuru birim hacim ağırlık, bu noktaya karşılık gelen su muhtevası ise optimum su muhtevası olarak belirlenir[52]. Aşağıda Şekil 4.11’de hazırlanan organik zeminin bir miktar su ilave edilerek homojen olarak karıştırılma işlemi gösterilmiştir.



Şekil 4.11 : Numunenin homojen olarak karıştırılma işlemi.

Şekil 4.12’de sıkıştırma işlemleri gösterilmiştir. Şekil 4.13’te sıkıştırılan numunenin traşlanma ve kalıptan çıkarılma işlemleri gösterilmiştir.

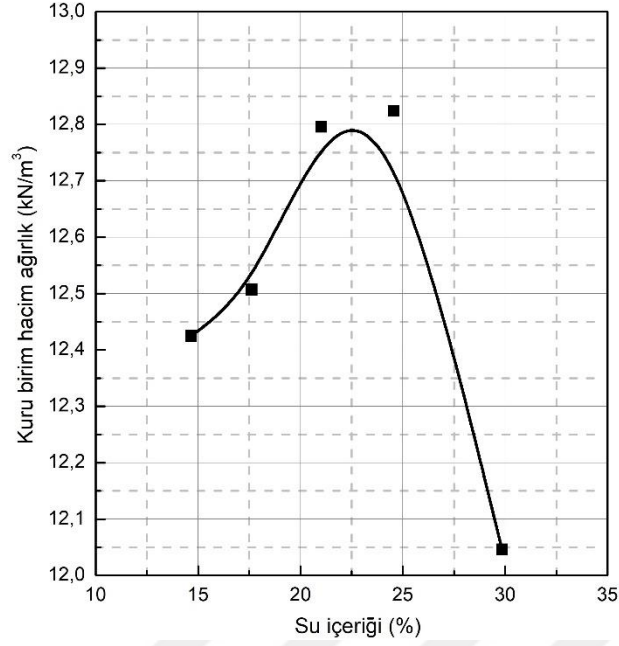


Şekil 4.12 : Organik zeminin sıkıştırılması işlemi.



Şekil 4.13 : Sıkıştırılan numunenin tıraşlanma ve kalıptan çıkarılma işlemleri.

ASTM D698 standartına göre yürütülen deneyler sonucunda organik zemin numunesinin optimum su muhtevası değeri %22,50, maksimum kuru birim hacim ağırlığı ise $12,78 \text{ kN/m}^3$ olarak belirlenmiştir. Şekil 4.14'de organik zemin numunesine ait proctor eğrisi verilmiştir.



Şekil 4.14 : Organik zemin numunesine ait proctor eğrisi.

4.9 Stabilizasyon Deneyinde Kullanılan Çimentoların Özellikleri

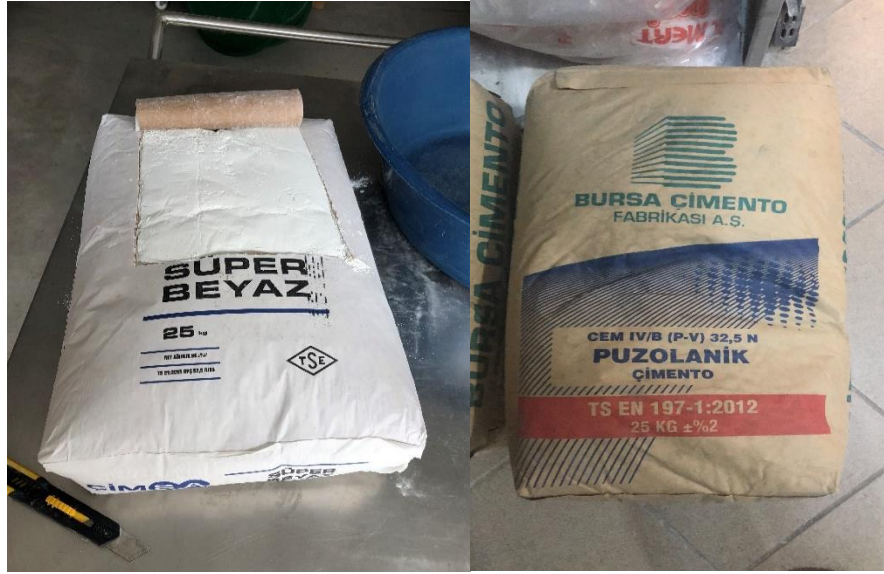
Bu deneysel çalışmada TS En 197-1 çimento standardında yer alan Puzolanik Çimento (Cem IV/B 32.5 N) ve Süper Beyaz Çimento (CEM I 52.5 R) kullanılmıştır. Puzolanik Çimento içerik olarak %55 Portland Çimento klinkeri, %22 Uçucu Kül, %18 Tras, %5 Alçıtaşı'ndan oluşurken Süper Beyaz Çimento ise oranlar değişiklik göstermekle birlikte %95-100 oranında Portland Çimento klinkeri, %0-5 oranında Kalker ve %3-5 oranında Kalsiyum Sülfat kullanılmıştır. Puzolanik Çimento ve Süper Beyaz Çimento'ya ait fiziksel özellikleri çizelge 4.4'de kimyasal özellikler ise çizelge 4.5'de gösterilmiştir. İki Çimentoya ait resimler ise Şekil 4.15'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.4 : Kullanılan çimentoların fiziksel özellikleri.

Çimento Türleri	Yüzey Alanı (cm ² /g)	Yoğunluk (gr/cm ³)	7 günlük basınç dayanımı min (Mpa)	28 günlük basınç dayanımı Maks.-min.(Mpa)
Puzolanik Çimento	5500-5800	2,80	16	32,5-52,5
SüperBeyaz Çimento	4600	3,06	50	52,5-60

Çizelge 4.5 : Kullanılan çimentoların kimyasal özellikleri.

Kimyasal bileşen	Birim	Süper Beyaz Çimento	Puzolanik Çimento
SiO ₂	%	21,6	33,75
Al ₂ O ₃	%	4,05	9,47
Fe ₂ O ₃	%	0,26	4,86
CaO	%	85,7	40,35
MgO	%	1,30	1,62
SO ₃	%	3,50	2,72
Na ₂ O	%	0,3	0,79
K ₂ O	%	0,35	1,22
Kızdırma Kaybı	%	3,5-5,0	5,1



Şekil 4.15 : Süper Beyaz Çimento (CEM I 52.5R) ve Puzolanik Çimento (Cem IV).

4.10 Stabilizasyon Sonrası Organik Zeminlerin Proctor Deneyleri

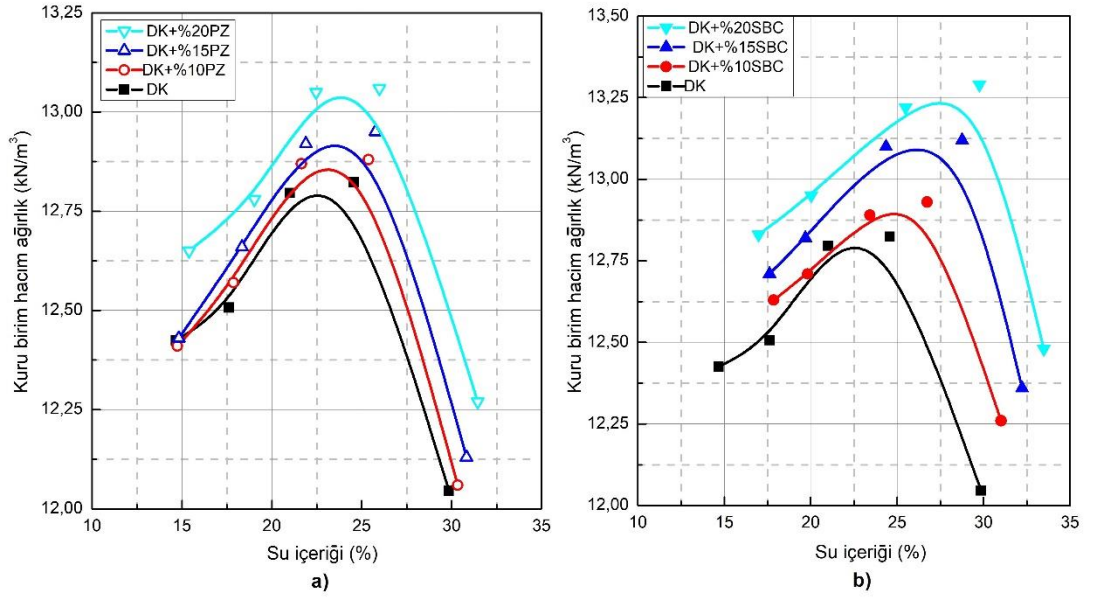
Organik zemin içine %10, %15 ve %20 oranında Süper Beyaz Çimento ve Puzolanik Çimento Katılarak stabilizasyon çalışmaları yapılmıştır. Çizelge 4.5’de Deney numunelerine ait notasyon bilgileri verilmiştir. Stabilizasyon sonrası organik zeminler üzerinde Proctor Testleri yapılarak stabilize edilmiş numunelerin maksimum kuru birim hacim ağırlık ve optimum su muhtevaları bulunmuştur. Çizelge 4.6’da stabilize edilmiş organik zeminlerin standart proctor deneyi sonuçları verilmiştir. Şekil 4.16’da stabilize edilmiş organik zeminlerin standart Proctor eğrileri verilmiştir. Şekil 4.16 incelendiğinde Hem PC ile stabilize edilmiş organik zeminde hemde SBC ile stabilize edilmiş zeminde çimento oranının artması ile optimum su muhtevaları ve maksimum kuru birim hacim ağırlıklarının arttığı görülmektedir. SBC ile stabilize edilmiş zeminin maksimum kuru birim hacim ağırlık ve optimum su muhtevası değerleri PC ile stabilize edilmiş zeminin maksimum kuru birim hacim ağırlık ve optimum su muhtevasından yüksek çıkmıştır.

Çizelge 4.6 : Deney numunelerine ait notasyon bilgileri.

Karışım Oranları	Notasyon
Organik Zemin	DK
Organik Zemin+STREÇLİ	DKS
Organik Zemin +% 10 Puzolanik Çimento	DK+10PZ
Organik Zemin +% 10 Puzolanik Çimento+Streçli	DK +10PZS
Organik Zemin +% 15 Puzolanik Çimento	DK +15PZ
Organik Zemin +% 15 Puzolanik Çimento+Streçli	DK +15PZS
Organik Zemin +% 20 Puzolanik Çimento	DK +20PZ
Organik Zemin +% 20 Puzolanik Çimento+Streçli	DK +20PZS
Organik Zemin +% 10 Süper Beyaz Çimento	DK +10SBC
Organik Zemin +% 10 Süper Beyaz Çimento+Streçli	DK +10SBCS
Organik Zemin +% 15 Süper Beyaz Çimento	DK +15SBC
Organik Zemin +% 15 Süper Beyaz Çimento+Streçli	DK +15SBCS
Organik Zemin +% 20 Süper Beyaz Çimento	DK +20SBC
Organik Zemin +% 20 Süper Beyaz Çimento+Streçli	DK +20SBCS

Çizelge 4.7 : Standart proctor deneyi sonuçları.

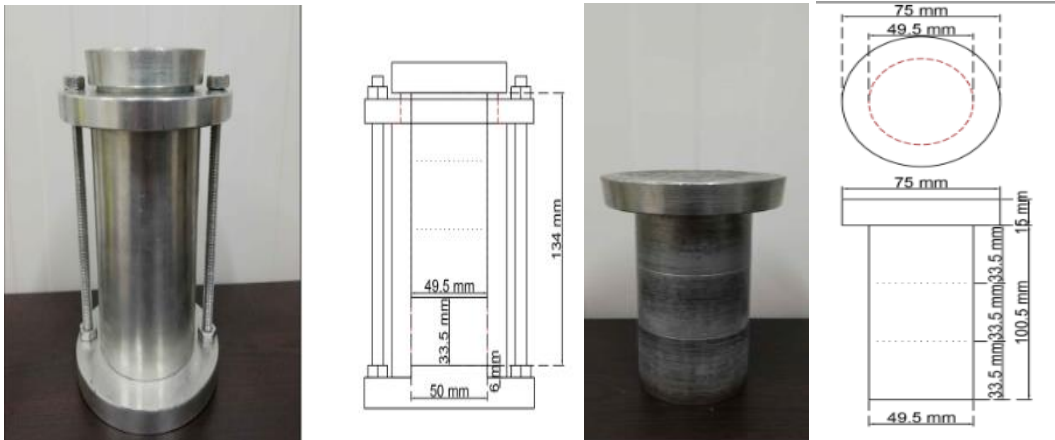
Organik Zemin+Çimento Oranı	Optimum Su İçeriği, w %	Maksimum Kuru Birim Hacim Ağırlık, gr/cm ³
DK	22,50	12,78
DK +10PZ	23,85	12,84
DK +15PZ	24,23	12,89
DK +15PZ	24,76	13,09
DK +10SBC	25,01	12,89
DK +15SBC	26,32	13,11
DK +20SBC	27,61	13,23



Şekil 4.16 : Stabilize edilmiş organik zeminlerin standart proctor eğrileri (a) PC ile stabilize edilmiş, b)SBC ile stabilize edilmiş.

4.11 Serbest Basınç Deneyi

Hem katkısız hem de %10, %15 ve %20 katkı oranlarında stabilize edilmiş Süper Beyaz Çimento ve Pozolanik Çimento ile stabilize edilmiş ve optimum su muhtevası ile kuru birim hacim ağırlıkta hazırlanmış numuneler üzerinde serbest basınç deneyleri yapılmıştır. Numunelerin hazırlanmasında özel hazırlanmış numune hazırlama moldu kullanılmıştır. Şekil 4.17’de numune hazırlama moldunun resmi ve teknik çizimi verilmiştir. Numunelerin moldan çıkartılmasında hidrolik numune çıkarma krikosundan yararlanılmıştır (Şekil 4.18).



Şekil 4.17 :Numune hazırlama moldunun resmi ve teknik çizimi.



Şekil 4.18 : Numunenin sıkıştırılması ve kriko yardımıyla molddan çıkarılması işlemi.

Serbest Basınç Deneyleri zamana bağlı olarak 7., 28., 56., ve 90. günlerde yapılmıştır. Serbest Basınç Deneyleri Yapılırken ASTM C 4219 standartlarına uyulmuştur. Deneylerde yükleme hızı 1,00 mm/dk alınmıştır. Serbest Basınç Deneyleri Bursa Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Geoteknik Laboratuvarında yapılmıştır. Optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlıkta sıkıştırılmış numuneler (katkısız ve katkılı organik zemin) molddan çıkartılmış açık ortam, streçe sarılı ve kür tankında (3 farklı kür koşulu) +20 °C bekletilmiştir (Şekil 4.19). Kür tankında suda bekletilmiş olan numuneler kür süreleri sonunda bütünlüklerini koruyamamıştır. (Şekil 4.20).

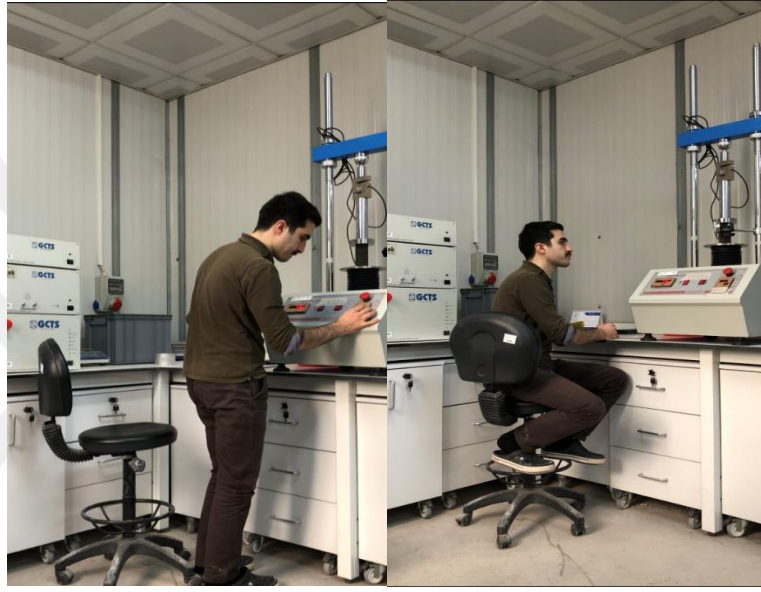


Şekil 4.19 : Numunelerin açık ortam, streçe sarılı olarak bekletilmesi.



Şekil 4.20 : Kür havuzunda bekletilen numunelerin parçalanması.

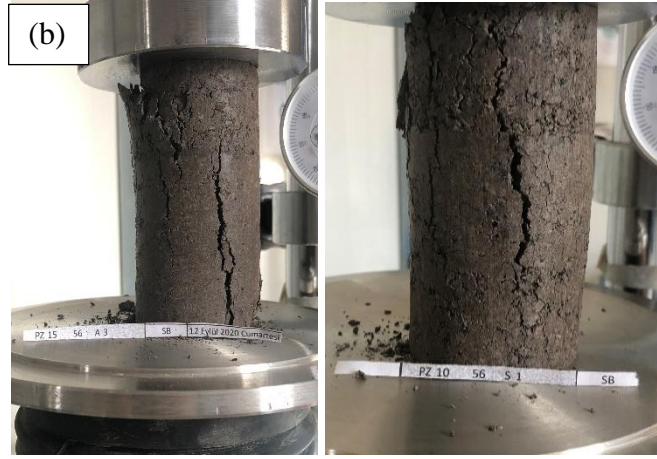
Serbest basınç deneyleri için toplam 210 adet numune hazırlanmıştır. Şekil 4.21’de serbest basınç dayanımı testlerinin yapılması gösterilmiştir. Serbest basınç deneyleri her numune (her kür koşulu ve kür süresi) için üç kez tekrarlanıp ortalaması alınmıştır. Numunelerin kırılma biçimleri ise katkısız organik zeminin boyunda kısılma meydana gelirken herhangi bir kırılma açısı görülmemiştir(a). Puzolanik Çimento ile stabilize edilmiş zemin zeminin 90° derecelik bir kırılma açısı(b) ve Süper Beyaz Çimento ile stabilize edilmiş zeminin ise 45° derecelik bir kırılma açısı(c) sergilediği görülmüştür (Şekil 4.22, 4.23, 4.24)



Şekil 4.21 : Serbest basınç dayanımı testlerinin yapılması.



Şekil 4.22 : Katkısız organik zeminin kırılma biçimi.



Şekil 4.23 : Puzolanik Çimento ile stabilize edilmiş zeminin gösterdiği 90° derecelik kırılma açısı.



Şekil 4.24 : Süper Beyaz Çimento ile stabilize edilmiş zeminin gösterdiği 45° derecelik kırılma açısı.

Çizelge 4.7’de serbest basınç dayanım testine tabi tutulan numunelerin Süper Beyaz Çimento ve Puzolanik Çimentoyla farklı çimento oranları, kür süreleri, kür ortamları farklı numunelerin deney sonuçları gösterilmiştir.

Şekil 4.25, 4.26 ve Çizelge 4.7 incelendiğinde açık ortamda bekletilmiş olan katkısız organik zeminin serbest basınç dayanımlarının 5,27 kg/cm² ile 6,53 kg/cm² arasında, streçe sarılı halde bekletilmiş olan organik zeminin serbest basınç dayanımı 3 kg/cm² ile 5,05 kg/cm² arasında değişmektedir. Hem açık ortamda hem streçe sarılı halde bekletilmiş olan organik zeminin serbest basınç dayanımı 56. güne kadar artış göstermiş, 56. günden sonra serbest basınç dayanım değerleri azalmıştır. Açık ortamda bekletilmiş olan organik zeminin serbest basınç dayanımı streçe sarılı halde bekletilmiş olan organik zeminin serbest basınç dayanımından %40 daha fazla çıkmıştır.

Açık ortamda bekletilmiş ve Puzolanik çimento ile stabilize edilmiş organik zeminin serbest basınç dayanımı 9,12 kg/cm² ile 14,41 kg/cm² arasında çıkmıştır. Puzolanik çimento ile stabilize edilmiş organik zeminin serbest basınç dayanımı 56. Güne kadar hızla artmış, 56. Günden sonra ise azalma eğilimi göstermiştir. %10 puzolanik çimento katkısı serbest basınç dayanımını ortalama %93, %15 puzolanik çimento katkısı serbest basınç dayanımını ortalama %114 ve %20 puzolanik çimento katkısı serbest basınç dayanımını ortalama %126 artırmıştır.

Açık ortamda bekletilmiş ve Süper Beyaz çimento ile stabilize edilmiş organik zeminin serbest basınç dayanımı 13,98 kg/cm² ile 23,18 kg/cm² arasında çıkmıştır. Süper Beyaz çimento ile stabilize edilmiş organik zeminin serbest basınç dayanımı 28. Güne kadar hızla artmış, 28. Günden sonra ise azalma eğilimi göstermiştir. %10 Süper Beyaz çimento katkısı serbest basınç dayanımını ortalama %187, %15 Süper Beyaz çimento katkısı serbest basınç dayanımını ortalama %233 ve %20 Süper Beyaz katkısı serbest basınç dayanımını ortalama %263 artırmıştır.

Streçe sarılı halde bekletilmiş ve Puzolanik çimento ile stabilize edilmiş organik zeminin serbest basınç dayanımı 4,50 kg/cm² ile 12,39 kg/cm² arasında çıkmıştır. Puzolanik çimento ile stabilize edilmiş ve streçe sarılı halde bekletilmiş organik zeminin serbest basınç dayanımı 56. Güne kadar hızla artmış, 56. Günden sonra ise azalma eğilimi göstermiştir. %10 puzolanik çimento katkısı serbest basınç dayanımını ortalama %64, %15 puzolanik çimento katkısı serbest basınç dayanımını ortalama %85 ve %20 puzolanik çimento katkısı serbest basınç dayanımını ortalama %145 artırmıştır.

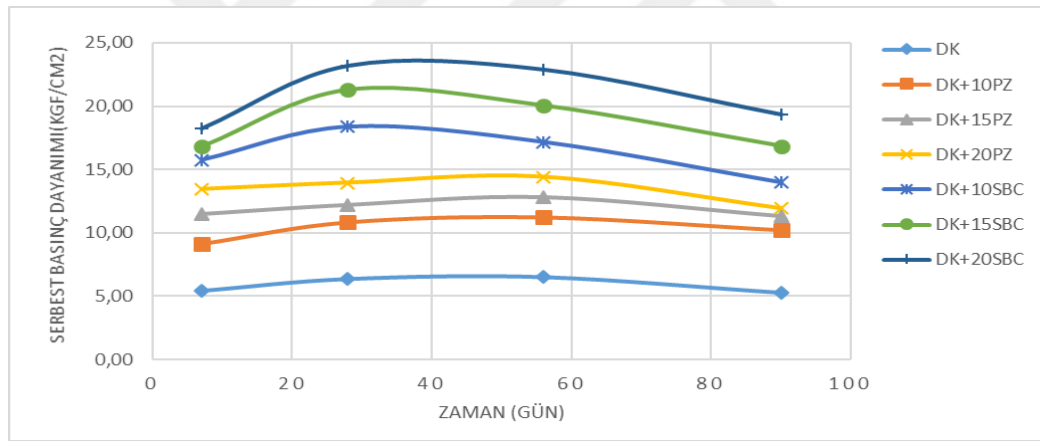
Streçe sarılı halde bekletilmiş ve Süper Beyaz çimento ile stabilize edilmiş organik zeminin serbest basınç dayanımı 8,39 kg/cm² ile 16,80 kg/cm² arasında çıkmıştır. Süper Beyaz çimento ile stabilize edilmiş ve streçe sarılı halde bekletilmiş organik zeminin serbest basınç dayanımı 28. Güne kadar hızla artmış, 28. günden sonra ise azalma eğilimi göstermiştir. %10 Süper Beyaz çimento katkısı serbest basınç dayanımını ortalama %191, %15 Süper Beyaz çimento katkısı serbest basınç dayanımını ortalama %233 ve %20 Süper Beyaz çimento katkısı serbest basınç dayanımını ortalama %257 artırmıştır.

Açık ortamda bekletilmiş, Süper Beyaz ve Puzolanik çimento ile stabilize edilmiş organik zemininin serbest basınç dayanımı streçe sarılı halde bekletilmiş Süper Beyaz Çimento ve Puzolanik çimento ile stabilize edilmiş organik zemininin basınç dayanımından yüksek çıkmıştır.

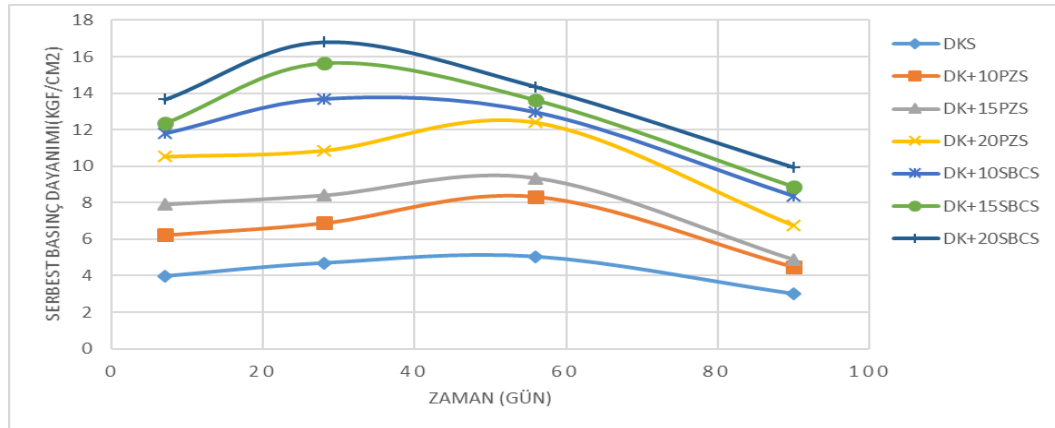
Süper Beyaz çimento ile stabilize edilmiş organik zeminin serbest basınç dayanımı, Puzolanik çimento ile stabilize edilmiş organik zeminin serbest basınç dayanımından açık ortamda bekletilmiş olan numunelerde ortalama %57, streçe sarılı numunelerde %72 fazla çıkmıştır.

Çizelge 4.8 : Açık ve streçe sarılı halde bekletilmiş olan numunelerin serbest basınç dayanımlarının zaman bağılı olarak değişimi.

		Serbest Basınç Dayanımları (kg/cm ²)							
		Kür süresi	DK	DK+10PZ	DK+15PZ	DK+20PZ	DK+10SBC	DK+15SBC	DK+20SBC
Açık ortamda bekletilmiş olan numuneler	7		5,43	9,12	11,49	13,45	15,75	16,8	18,22
	28		6,38	10,85	12,22	13,95	18,36	21,3	23,18
	56		6,53	11,24	12,84	14,41	17,15	20,05	22,87
	90		5,27	10,22	11,31	11,92	13,98	16,85	19,33
Streçe sarılı halde bekletilmiş olan numuneler	7		3,98	6,23	7,9	10,52	11,8	12,35	13,65
	28		4,7	6,89	8,4	10,85	13,68	15,66	16,8
	56		5,05	8,33	9,35	12,39	12,95	13,62	14,35
	90		3	4,5	4,87	6,74	8,39	8,85	9,95



Şekil 4.25 : Açık ortamda bekletilmiş olan numunelerin serbest basınç dayanımlarının zamana bağılı olarak değişimi.



Şekil 4.26 : Streçe sarılı halde bekletilmiş olan numunelerin serbest basınç dayanımlarının zamana bağılı olarak değişimi.

4.12 Üç Eksenli Basınç Deneyi

Hem katkısız hem de %10, %15 ve %20 katkı oranlarında Süper Beyaz Çimento ve Puzolanik Çimento ile stabilize edilmiş ve optimum su muhtevası ile maksimum kuru birim hacim ağırlıkta hazırlanmış numuneler üzerinde Üç Eksenli Basınç Deneyleri (UU) yapılmıştır. Üç Eksenli Basınç deneylerinde Serbest Basınç Deneylerinde olduğu gibi 3 farklı kür koşulunda (streçe sarılı, açık ortam ve kür tankı) bekletilmiş numuneler üzerinde yapılmıştır (Şekil 4.27).



Şekil 4.27 : 28 ve 56 günlük numelerin açık ve kapalı kür koşullarında bekletilmesi.

Üç Eksenli Basınç Deneyleri de zamana bağlı olarak 28 ve 56 gün kür ortamında bekletilmiş olan numuneler üzerinde yapılmıştır. Stabilize edilmiş ve edilmemiş numunelere Üç Eksenli Basınç Deneyleri kapsamında Konsolidasyonsuz – Drenajsız deney (UU) yükleme koşullarında testler yapılmıştır, kullanılan cihaz ve yükleme halkası Şekil 4.28’de gösterilmiştir.



Şekil 4.28 : Üç eksenli basınç deneylerinde kullanılan cihaz ve yükleme halkası.

Deneyler yapılırken ASTM D2850’de belirtilen standartlara uyulmuştur[55]. Optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlıkta sıkıştırılmış numuneler (Katkısız ve katkılı organik zemin) molddan çıkartılmış açık ortam, streçe sarılı ve kür tankında (3 farklı kür koşulu) +20 °C bekletilmiştir. Kür tankında bekletilmiş olan numuneler kür süreleri sonunda bütünlüklerini koruyamamıştır. Üç Eksenli Basınç (UU) deneyleri için toplam 84 adet numune hazırlanmıştır. Üç Eksenli Basınç (UU) deneyleri (her kür koşulu ve kür süresi) için 3 numune hazırlanmıştır. Üç eksenli basınç deneyi, kayma mukavemeti parametrelerini elde etmede kullanılmıştır. Deney kırılmaya kadar eksenel yüke maruz kalan ve üç eksenli bir bölmede sınırlayıcı bir sıvı basıncına tabi tutulmuştur. Uygulama sırasında numunenin drenajına izin verilmemiştir. Üç eksenli basınç testi ise Konsolidasyonlu – drenajlı deney (CD) , Konsolidasyonlu – drenajsız deney (CU) Konsolidasyonsuz – drenajsız deney (UU) olmak üzere 3’e ayrılır.

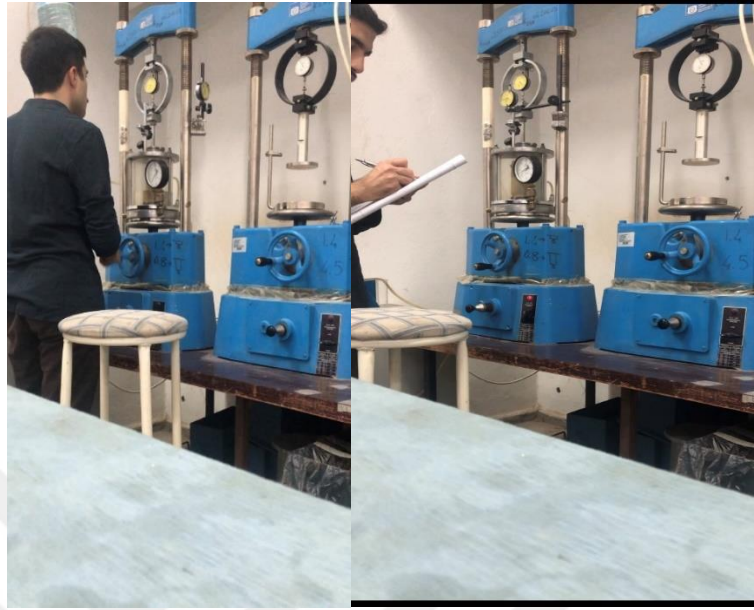
Deney yapımında kullanılan üç eksenli hücresi, uygulanan basınca dayanabilecek bir malzemeden yapılmalıdır. Üst plaka, doldurulurken üç eksenli hücreden dışarı atılabilmesi için bir havalandırma valfi ve taban plakasının, hazneyi doldurmak için bir girişi vardır. Numunenin konacağı membranı membran genişleticinin üzerine konulduktan sonra membran şişirilmiş daha sonra numune içine yerleştirilmiştir. Bundan sonra Numune hücre tabanına yerleştirilmiştir olup Şekil 4.29’da gösterilmiştir. Deney verilerine ait sonuçlar Çizelge 4.8’de verilmiştir.



Şekil 4.29 : Numunenin cihaza yerleştirilmesi ve hücrenin takılması.

Hücrenin haznesi kapatıldıktan sonra yanal basınç ünitesiyle çevre basıncı ayarlanmıştır. Yükleme cihazının piston ucu numunenin üst tabanından çok az

yukarıda kalacak şekilde ayarlandıktan sonra kuvvet ölçme göstergesinin ilk değeri kaydedilmiştir(Şekil 4.30).



Şekil 4.30 : Çevre basıncı verildikten sonra yükleme yapılması ve değerlerin okunması.

Bundan sonraki kuvvet ölçme göstergesinde görülen ilk değer deviator gerilme eşdeğeridir. Yükleme cihazının piston ucu numunenin üst tabanına degecek şekilde ayarlandıktan sonra numunenin boy kısalması ölçülmüştür. Yükleme başladıktan sonra gerilme-eksenel birim şekil değiştirme bağıntısını oluşturmaya yetecek kadar yük göstergesi okuması ve bunlara karşılık numunenin boyunda meydana gelen kısalma okumaları alınmıştır. Deney aksenal gerilme değeri maksimum değere gelene kadar sürdürülmüştür. Daha sonra yükleme cihazıyla uygulanan yük kaldırılmıştır. Hücredeki çevre basıncı boşaltıldıktan sonra deney numunesi hücre tabanından alınmış, üzerindeki membran çıkarılmıştır. Son olarak deney numunesi örneği alınıp tartıldıktan sonra etüve atılmış olup 24 saat sonra kuru kütle ölçümleri yapılmıştır ve su muhtevası tayin edilmiştir. Boşluk suyu basıncı hesabı yapılmadığından sonuçlar toplam gerilme parametleridir. Sonuç olarak üç farklı numune için gerilme miktarlarına tekabül eden düşey basınç eğrileri çizilmiştir. Kırılma anı olarak alınan en büyük ana gerilme değerinde mohr daireleri toplam gerilme olarak çizilmiştir. Mohr dairelerine teğet geçen kırılma zarfı çizilerek, kohezyon (c) ve içsel sürtünme açısı (ϕ) bulunur. Üç aksenal basınç deney sonuçları çizelge 4.8'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.9 : Üç eksenli basınç deneyi sonuçları.

Zemin+Çimento	28 Günlük		56 günlük	
	Kohezyon c(kPa)	İçsel Sürtünme Açısı $\phi =$	Kohezyon c(kPa)	İçsel Sürtünme Açısı $\phi =$
DK	148,77	47,93	173,61	42,62
DKS	116,68	40,59	127,43	43,82
DK +10PZ	265,16	51,74	212,24	51,94
DK +10PZS	158,32	47,71	158,32	49,17
DK +15PZ	242,02	54,56	166,47	56,49
DK +15PZS	179,08	53,51	161,04	54,45
DK +20PZ	298,38	53,21	207,09	57,32
OZ+20PZS	263,04	50,16	257,13	49,48
DK +10SBC	427,67	49,18	344,81	50,54
DK +10SBCS	310,84	48,23	226,59	53,95
DK +15SBC	419,11	56,26	392,37	53,12
DK +15SBCS	427,69	45,57	274,15	53,85
DK +20SBC	304,71	58,68	598,27	48,95
DK +20SBCS	415,71	48,04	297,54	55,42

Çizelge 4.8 incelendiğinde açık ortamda bekletilmiş olan katkısız organik zeminin kohezyon değeri 148,77 kPa ile 173,61 kPa arasında, içsel sürtünme açısı 47,93° ile 42,62° arasında, streçe sarılı halde bekletilmiş olan organik zeminin kohezyon değeri 116,68 kPa ile 127,43 kPa arasında, içsel sürtünme açısı 40,59° ile 43,82° arasında, çıkmıştır.

Açık ortamda bekletilmiş ve Puzolanik çimento ile stabilize edilmiş organik zeminin kohezyon değeri 166,47 kPa ile 298,38 kPa arasında, içsel sürtünme açısı 51,74° ile 57,32° arasında, streçe sarılı halde bekletilmiş olan Puzolanik çimento ile stabilize edilmiş organik zeminin kohezyon değeri 158,32 kPa ile 263,04 kPa arasında, içsel sürtünme açısı 47,71° ile 54,45° arasında, çıkmıştır.

Açık ortamda bekletilmiş ve Süper Beyaz çimento ile stabilize edilmiş organik zeminin kohezyon değeri 304,71 kPa ile 598,27 kPa arasında, içsel sürtünme açısı 48,95° ile 58,68° arasında, streçe sarılı halde bekletilmiş olan Süper Beyaz çimento ile stabilize edilmiş organik zeminin kohezyon değeri 226,59 kPa ile 427,69 kPa arasında, içsel sürtünme açısı 45,57° ile 55,42° arasında, çıkmıştır.

Süper Beyaz çimento ile stabilize edilmiş organik zeminin kayma mukavemeti parametreleri Puzolanik çimento ile stabilize edilmiş organik zeminin kayma mukavemetinden yüksek çıkmıştır.

Organik zeminin Süper Beyaz çimento ve Puzolanik çimento ile stabilize edilmesiyle kayma mukavemeti parametreleri iyileşmiştir.



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmada düşük plastisiteli silt olduğu bulunan organik zemin üzerinde Süper Beyaz Çimento ve Puzolanik Çimentonun zemin stabilizasyonu üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Organik zeminin fiziksel özellikleri belirleme deneyleri kapsamında elek analizi, hidrometre, özgül ağırlık ve kıvam limit ve proctor testleri yapılmıştır. Süper Beyaz Çimentosunun etkinliğinin karşılaştırılabilmesi için organik zemin ayrıca Puzolanik Çimento ile de stabilize edilmiştir. Stabilizasyon deneylerinde organik zeminler içine ağırlıkça %10, %15, %20 oranlarında Süper Beyaz Çimento ve Puzolanik Çimento katılmıştır. Stabilizasyon sonrası numunelerin proctor eğrileri çizilerek optimum su muhtevaları ve maksimum kuru birim hacim ağırlık değerleri belirlenmiştir. Optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlık değerlerine göre hazırlanan numuneler açık ortam ve streçe sarılı halde bekletilerek 7, 28, 56 ve 90 günlerde serbest basınç ve 56, 90. günlerde üç eksenli basınç deneylerine tabi tutulmuştur.

Atterberg limitleri incelendiğinde katkısız organik zemine Süper Beyaz Çimento ve Puzolanik Çimento katılınca likit limit ve plastik limit değerlerinin arttığı görülmüştür. Plastisite indisi ise organik zemine Puzolanik Çimento katıldığında artış gösterirken Süper Beyaz Çimento katılınca düştüğü görülmüştür

Stabilizasyon sonrası yapılan proctor deneylerinde sonuçlar incelendiğinde hem PC ile stabilize edilmiş organik zeminde hemde SBC ile stabilize edilmiş zeminde çimento oranının artması ile optimum su muhtevaları ve maksimum kuru birim hacim ağırlıklarının arttığı görülmektedir. SBC ile stabilize edilmiş zeminin maksimum kuru birim hacim ağırlık ve optimum su muhtevası değerleri PC ile stabilize edilmiş zeminin maksimum kuru birim hacim ağırlık ve optimum su muhtevasından yüksek çıkmıştır.

Serbest basınç deneylerine bakacak olursak olan katkısız organik zeminin serbest basınç dayanımlarının 5,27 kg/cm² ile 6,53 kg/cm² arasında, streçe sarılı halde bekletilmiş olan organik zeminin serbest basınç dayanımı 3 kg/cm² ile 5,05 kg/cm² arasında değişmektedir. Hem açık ortamda hem streçe sarılı halde bekletilmiş olan organik zeminin serbest basınç dayanımı 56. güne kadar artış göstermiş, 56. günden sonra serbest basınç dayanım değerleri azalmıştır. Açık ortamda bekletilmiş olan

organik zeminin serbest basınç dayanımı streçe sarılı halde bekletilmiş olan organik zeminin serbest basınç dayanımından %40 daha fazla çıkmıştır.

Açık ortamda bekletilmiş ve Puzolanik çimento ile stabilize edilmiş organik zeminin serbest basınç dayanımı 9,12 kg/cm² ile 14,41 kg/cm² arasında çıkmıştır. Puzolanik çimento ile stabilize edilmiş organik zeminin serbest basınç dayanımı 56. Güne kadar hızla artmış, 56. Günden sonra ise azalma eğilimi göstermiştir. %10 puzolanik çimento katkısı serbest basınç dayanımını ortalama %93, %15 puzolanik çimento katkısı serbest basınç dayanımını ortalama %114 ve %20 puzolanik çimento katkısı serbest basınç dayanımını ortalama %126 artırmıştır.

Açık ortamda bekletilmiş ve Süper Beyaz çimento ile stabilize edilmiş organik zeminin serbest basınç dayanımı 13,98 kg/cm² ile 23,18 kg/cm² arasında çıkmıştır. Süper Beyaz çimento ile stabilize edilmiş organik zeminin serbest basınç dayanımı 28. Güne kadar hızla artmış, 28. Günden sonra ise azalma eğilimi göstermiştir. %10 Süper Beyaz çimento katkısı serbest basınç dayanımını ortalama %187, %15 Süper Beyaz çimento katkısı serbest basınç dayanımını ortalama %233 ve %20 Süper Beyaz Çimento katkısı serbest basınç dayanımını ortalama %263 artırmıştır.

Streçe sarılı halde bekletilmiş ve Puzolanik çimento ile stabilize edilmiş organik zeminin serbest basınç dayanımı 4,50 kg/cm² ile 12,39 kg/cm² arasında çıkmıştır. Puzolanik çimento ile stabilize edilmiş ve streçe sarılı halde bekletilmiş organik zeminin serbest basınç dayanımı 56. Güne kadar hızla artmış, 56. Günden sonra ise azalma eğilimi göstermiştir. %10 puzolanik çimento katkısı serbest basınç dayanımını ortalama %64, %15 puzolanik çimento katkısı serbest basınç dayanımını ortalama %85 ve %20 puzolanik çimento katkısı serbest basınç dayanımını ortalama %145 artırmıştır.

Streçe sarılı halde bekletilmiş ve Süper Beyaz çimento ile stabilize edilmiş organik zeminin serbest basınç dayanımı 8,39 kg/cm² ile 16,80 kg/cm² arasında çıkmıştır. Süper Beyaz çimento ile stabilize edilmiş organik zeminin serbest basınç dayanımı 28. Güne kadar hızla artmış, 28. günden sonra ise azalma eğilimi göstermiştir. %10 Süper Beyaz çimento katkısı serbest basınç dayanımını ortalama %191, %15 Süper Beyaz çimento katkısı serbest basınç dayanımını ortalama %233 ve %20 Süper Beyaz katkısı serbest basınç dayanımını ortalama %257 artırmıştır.

Açık ortamda bekletilmiş, Süper Beyaz ve Puzolanik çimento ile stabilize edilmiş organik zemininin serbest basınç dayanımı streçe sarılı halde bekletilmiş Süper Beyaz

ve Puzolanik çimento ile stabilize edilmiş organik zemininin basınç dayanımından yüksek çıkmıştır.

Süper Beyaz çimento ile stabilize edilmiş organik zeminin serbest basınç dayanımı, Puzolanik çimento ile stabilize edilmiş organik zeminin serbest basınç dayanımından açık ortamda bekletilmiş olan numunelerde ortalama %57, streçe sarılı numunelerde %72 fazla çıkmıştır.

Üç eksenli basınç deneylerinde ise açık ortamda bekletilmiş olan katkısız organik zeminin kohezyon değeri 148,77 kPa ile 173,61 kPa arasında, içsel sürtünme açısı 47,93° ile 42,62° arasında, streçe sarılı halde bekletilmiş olan organik zeminin kohezyon değeri 116,68 kPa ile 127,43 kPa arasında, içsel sürtünme açısı 40,59° ile 43,82° arasında, çıkmıştır.

Açık ortamda bekletilmiş ve Puzolanik çimento ile stabilize edilmiş organik zeminin kohezyon değeri 166,47 kPa ile 298,38 kPa arasında, içsel sürtünme açısı 51,74° ile 57,32° arasında, streçe sarılı halde bekletilmiş olan Puzolanik çimento ile stabilize edilmiş organik zeminin kohezyon değeri 158,32 kPa ile 263,04 kPa arasında, içsel sürtünme açısı 47,71° ile 54,45° arasında, çıkmıştır.

Açık ortamda bekletilmiş ve Süper Beyaz çimento ile stabilize edilmiş organik zeminin kohezyon değeri 304,71 kPa ile 598,27 kPa arasında, içsel sürtünme açısı 48,95° ile 58,68° arasında, streçe sarılı halde bekletilmiş olan Süper Beyaz çimento ile stabilize edilmiş organik zeminin kohezyon değeri 226,59 kPa ile 427,69 kPa arasında, içsel sürtünme açısı 45,57° ile 55,42° arasında, çıkmıştır.

Süper Beyaz çimento ile stabilize edilmiş organik zeminin kayma mukavemeti parametreleri Puzolanik çimento ile stabilize edilmiş organik zeminin kayma mukavemetinden yüksek çıkmıştır.

Organik zeminin Süper Beyaz çimento ve Puzolanik çimento ile stabilize edilmesiyle kayma mukavemeti parametreleri iyileşmiştir

Sonuç olarak yapılan deneysel çalışmalarda Süper Beyaz Çimento ve Puzolanik Çimentonun organik zeminin mühendislik özelliklerine pozitif yönde etki ettiği belirlenmiştir.

Süper Beyaz Çimentonun, Puzolanik Çimento ile karşılaştırıldığında katkı maddesi olarak daha etkili olduğu belirlenmiştir.

Öneri olarak; teknolojinin gelişmesiyle birlikte daha az oranda çimento kullanılarak daha yüksek dayanımlar elde edilebilir. Bunun neticesinde ise hem malzemedен tasarruf edilmiş olur hem de çimentonun küresel CO₂ emisyonu yönünden negatif katkısı azaltılmış olur.



KAYNAKÇA

- [1] Tremblay, H., Duchesne, J., Locat, J., & Leroueil, S. (2002). Influence of the nature of organic compounds on fine soil stabilization with cement. *Canadian geotechnical journal*, 39(3), 535-546.
- [2] Moh, Z.-C. (1962). Soil stabilization with cement and sodium additives. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, 88(6), 81-105.
- [3] Karol, R. H. (2003). *Chemical grouting and soil stabilization*. Crc Press.
- [4] Hobbs, N. B. (1986). Mire morphology and the properties and behaviour of some British and foreign peats. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 19(1), 7-80.
- [5] Hartlén, J., & Wolski, W. (Eds.). (1996). *Embankments on organic soils*. Elsevier.
- [6] Andrews, D. C., & Martin, G. R. (2000). Criteria for liquefaction of silty soils.
- [7] ASTM D2974-14 **Standart Test Methods for Moisture, Ash, and Organic Matter of Peat and Other Organic Soils, (2014)** Pennsylvania/USA: ASTM International, 1-4.
- [8] Çanakçı, H., Çelik, F., (2011). Organik zemin içerisindeki kum oranının kompaksiyon parametreleri üzerine etkisinin incelenmesi. 4. Geoteknik Sempozyumu, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- [9] Huat, B. K. (2004). *Organic and peat soils engineering*. Penerbit Universiti Putra Malaysia.
- [10] Radforth, N. W., & Brawner, C. O. (1977). Muskeg and the northern environment in Canada. In *Muskeg Research Conference 1973: Edmonton, Alta.* University of Toronto Press.
- [11] Malkawi, A. I. H., Alawneh, A. S., & Abu-Safaqah, O. T. (1999). Effects of organic matter on the physical and the physicochemical properties of an illitic soil. *Applied Clay Science*, 14(5-6), 257-278.
- [12] ASTM D2487, - **Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (2017)**. (Unified Soil Classification System).
- [13] ASTM D4427, : **Standard classification of peat samples by laboratory testing**. American Society for Testing and Materials, (1992). ASTM International, West Conshohocken.
- [14] ASTM D5715 **Standard test method for estimating the degree of humification of peat and other organic soils (visual/manual method)**. (2000). ASTM International, West Conshohocken.

- [15] **ASTM D 1997-91.**, ‘**Standard Test Method for Laboratory Determination of the Fiber Content of Peat Samples by Dry Mass,**’. (1996). Annual Book of ASTM Standards. ASTM. Philadelphia, USA.
- [16] **Christensen, B. T., & Malmros, P. Å.** (1982). Loss-on-ignition and carbon content in a beech forest soil profile. *Ecography*, 5(4), 376-380.
- [17] **DeJongh, D. C., Radford, T., Hribar, J. D., Hanessian, S., Bieber, M., Dawson, G., & Sweeley, C. C.** (1969). Analysis of trimethylsilyl derivatives of carbohydrates by gas chromatography and mass spectrometry. *Journal of the American Chemical Society*, 91(7), 1728-1740.
- [18] **Afrin, H.** (2017). A review on different types soil stabilization techniques. *International Journal of Transportation Engineering and Technology*, 3(2), 19-24.
- [19] **Rogers, C., & Glendinning, S.** (1996). Modification of clay soils using lime. 99-114.
- [20] **Sherwood, P.** (1993). Soil stabilization with cement and lime.
- [21] **Sarsılmaz, O. M.** (2017). Zemin iyileştirme yöntemlerinin sınıflandırılması, incelenmesi, değerlendirilmesi ve anılan yöntemlerin seçilme kriterleri üzerine kapsamlı bir araştırma (Doctoral dissertation, Yüksek lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir).
- [22] **Ghabae, S.** (2015). Kireç ile stabilize edilmiş bentonitin kür süresinin mukavemet üzerindeki etkisi (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [23] **Çetin, A. Y.** (2011). Yüksek plastisiteli kil zeminlerin alternatif malzemeler ile yüzeyel zemin stabilizasyonu (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [24] **Osmanoğlu, U.** (1999). Yumuşak ve Gevşek Zeminlerin İyileştirilmesi: Yüksek Basıncılı Enjeksiyon Kolonları ve Taş Kolonlar (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [25] **Tunçdemir, F.** (2004). Temel Zeminlerinin Enjeksiyon Tekniğiyle İyileştirilmesi. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 430.
- [26] **Bowles, J.E.,** (2001), ‘*Foundation Analysis and Design*’, 5th Edition, McGraw-Hill Book Company, NY, USA.
- [27] **Özen, G.** (2018). Yapılarda uygulanan zemin iyileştirme ve geoteknik çalışmalarının değerlendirilmesi. Y. Lisans Tezi.
- [28] **Findik, F. S.** (2005). Karayolu esnek üst yapıları alt temel tabakasının stabilizasyonunda hafif agregaların kullanılabilirliği (Master’s thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).

- [29] **Onyelowe Ken, C., & Okafor, F.** (2006). A comparative review of soil modification methods.
- [30] **Shareef, A. H.** (2016). Investigation of Cement with Lime as Stabilized Materials for Soft Soils (Doctoral dissertation, MSc. thesis, Building and Construction Engineering Department University of Technology, Baghdad, Iraq).
- [31] **Carpenter, S. H., Crovetto, M. R., Smith, K. L., Rmeili, E., & Wilson, T.** (1992). Soil and Base Stabilization and Associated Drainage Considerations, Volume I, Pavement Design and Construction Considerations (No. FHWA-SA-93-004). United States. Federal Highway Administration. Office of Technology Applications.
- [32] **Prusinski, J. R., & Bhattacharja, S.** (1999). Effectiveness of Portland cement and lime in stabilizing clay soils. Transportation research record, 1652(1), 215-227.
- [33] **Lea, F. M.** (1970). The Chemistry of Cement and Concrete Edward Arnold (Publishers) Ltd. London, UK.
- [34] **Bergado, D. T., Anderson, L. R., Miura, N., & Balasubramaniam, A. S.** (1996, January). Soft ground improvement in lowland and other environments. AsCE.
- [35] **Herzog, A., & Mitchell, J. K.** (1963). Reactions accompanying stabilization of clay with cement. Highway Research Record, (36).
- [36] **Gartner, E. M., Tang, F. J., & Weiss, S. J.** (1985). Saturation factors for calcium hydroxide and calcium sulfates in fresh Portland cement pastes. Journal of the American Ceramic Society, 68(12), 667-673.
- [37] **Khemissa, M., & Mahamedi, A.** (2014). Cement and lime mixture stabilization of an expansive overconsolidated clay. Applied Clay Science, 95, 104-110.
- [38] **Al-Kiki, I. M., Al-Atalla, M. A., & Al-Zubaydi, A. H.** (2011). Long term strength and durability of clayey soil stabilized with lime. Eng. Technol. J, 29(4), 725-735.
- [39] **Haraguchi, M., Miyadera, K., Uemura, K., Sumizawa, T., Furukawa, T., Yamada, K., Akiyama, S., & Yamada, Y.** (1994). Angiogenic activity of enzymes. Nature, 368(6468), 198-198.
- [40] **Zulkifley, M. T. M., Ng, T. F., Raj, J. K., Hashim, R., Bakar, A. F. A., Paramanthan, S., & Ashraf, M. A.** (2014). A review of the stabilization of tropical lowland peats. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 73(3), 733-746.
- [41] **Radhakrishnan, G., Kumar, M. A., & Raju, G.** (2014). Swelling properties of expansive soils treated with chemicals and fly ash. Am J Eng Res, 3(4), 245-250.

- [42] **Rupnow, T. D., Franklin, B., & White, D. J.** (2015). Class C fly ash stabilization of recycled asphalt pavement and soil—A case study. Proc., 2015 World of Coal Ash Conf.
- [43] **Broderick, G. P., & Daniel, D. E.** (1990). Stabilizing compacted clay against chemical attack. *Journal of Geotechnical Engineering*, 116(10), 1549-1567.
- [44] **Clare, K., & Sherwood, P.** (1954). The effect of organic matter on the setting of soil-cement mixtures. *Journal of Applied Chemistry*, 4(11), 625-630.
- [45] **Clare, K., & Sherwood, P.** (1956). Further studies on the effect of organic matter on the setting of soil-cement mixtures. *Journal of applied chemistry*, 6(8), 317-324.
- [46] **Haan, E.J.** (1998). ‘Cement based stabilizers for Dutch soils’. *Problematic soils*. Balkema, Sendai. 53-56.
- [47] **Hebib, S., & Farrell, E.** (2017). Some experience of stabilising Irish organic soils. İçinde *Dry Mix Methods for Deep Soil Stabilization* (ss. 81-84). Routledge.
- [48] **Hampton, M. B., & Edil, T. B.** (1998). Strength gain of organic ground with cement-type binders. 135-148.
- [49] **Hwang, J., Humphrey, A., Bobet, A., & Santagata, M. C.** (2005). Stabilization and improvement of organic soils.
- [50] **ASTM D854-14. Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer.** (2010). Pennsylvania,USA: ASTM International.
- [51] **ASTM D422-63 Standard Test Methods for Particle Size Analysis of Soils** (2007). Pennsylvania/USA: ASTM International, 1-8,
- [52] **TS 1900-1 İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuar Deneyleri.** (2007). Ankara, TÜRKİYE: TSE.
- [53] **ASTM D4318-10e1. Standart Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit and Plasticity Index of Soils,** (2010). Pennsylvania/USA: ASTM International, 1-16.
- [54] **ASTM D698-12e2 Standart Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standad Effort (12400 ft-lbf/ft³- 600 kN-m/m³)** (2012). Pennsylvania/USA: ASTM International, 1-13.
- [55] **ASTM D2850-03a Standart Test Methods for Unconsolidated-Undrained Triaxial Compression Test on Cohesive Soils** (2007) Pennsylvania/USA: ASTM International, 1-6.