

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

**CAM ELYAF TAKVİYELİ POLYESTER (CTP) KATKISININ İNCE
DANELİ ZEMİN ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Murat SÜMBÜL

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Geoteknik Bilim Dalı

HAZİRAN 2023

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

**CAM ELYAF TAKVİYELİ POLYESTER (CTP) KATKISININ İNCE
DANELİ ZEMİN ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Murat SÜMBÜL

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Geoteknik Bilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof.Dr.Aşkın ÖZOCAK

HAZİRAN 2023

Murat SÜMBÜL tarafından hazırlanan “CAM ELYAF TAKVİYELİ POLYESTER (CTP) KATKISININ İNCE DANELİ ZEMİN ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ” adlı tez çalışması 23.06.2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Geoteknik Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Jüri Başkanı : **Prof. Dr. Aşkın ÖZOCAK (Danışman)**
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Doç. Dr. Ertan BOL**
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Dr. Öğr. Üyesi Kurban ÖNTÜRK**
Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “CAM ELYAF TAKVİYELİ POLYESTER (CTP) KATKISININ İNCE DANELİ ZEMİN ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(...../...../20.....).

(imza)

Murat SÜMBÜL

Sevgili Aileme

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Prof.Dr.Aşkın ÖZOCAK'a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bu çalışmanın ortaya çıkmasına vesile olan, beni yetiştirip büyüten ve sözlerime kıymet verip eğitimim için emek veren değerli annem Fadime SÜMBÜL'e ve değerli babam Yusuf SÜMBÜL'e, hayat yoldaşım Sevim'e ve canım kardeşlerime teşekkür ederim.

Son olarak, bu çalışmanın başından beri destek olan değerli arkadaşım İrfan Odabaş'a ve kişisel gelişimime yardımcı olup her türlü maddi ve manevi desteği yapmaktan çekinmeyen büyüğüm Oğuz AVCI'ya teşekkürü borç bilirim.

Murat SÜMBÜL

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	v
TEŞEKKÜR	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR	xiii
SİMGELER	xv
TABLO LİSTESİ	xvii
ŞEKİL LİSTESİ	xix
ÖZET	xxi
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
2. ZEMİNLERİN İYİLEŞTİRİLMESİ	3
2.1. Zemin İyileştirme	3
2.2. Zemin İyileştirme Yöntemleri	4
2.2.1. Taş kolon yöntemi.....	4
2.2.2. Jet grout yöntemi.....	5
2.2.3. Derin karıştırma yöntemi	7
2.2.4. Katkı maddeleri ve atıklar	8
3. MATERYAL VE YÖNTEM	9
3.1. Cam Elyaf Takviyeli Polyester (CTP) Boru Kesme Atığı	9
3.2. Siltli Zemin.....	10
3.3. Derin Karıştırma Yöntemi (DSM)	10
3.3.1. DSM uygulama aşamaları	11
3.3.2. DSM yönteminde kullanılan makine ve ekipmanlar uygulama aşamaları	15
4. LABORATUVAR ÇALIŞMASI	19
4.1. Fiziksel Deneyler.....	19
4.1.1. Kıvam limit deneyleri	20
4.1.2. Hidrometre ve elek analizi	23
4.1.3. Özgül ağırlık deneyleri.....	26
4.1.4. Kompaksiyon deneyi.....	29
4.2. Mekanik Deneyler	31
4.2.1. Kesme kutusu deneyi	31
4.2.2. Üç eksenli hücre kesme deneyleri (UU)	35
5. ARAZİ DENEYLERİ	45
5.1. Arazi Zemin Bilgisi	45
5.2. Arazi Deneyi Uygulaması ve Sonuçları	48
6. SONUÇLAR	53
KAYNAKLAR	55
EKLER	59
ÖZGEÇMİŞ	71

KISALTMALAR

ASTM	:American Society for Testing and Materials
Bg	:Beygir gücü
CH	:Yüksek plastisiteli kil
CTP	:Cam elyaf takviyeli polyester
DSM	:Deepsoil mixing
ML	:Düşük plastisiteli silt
NP	:Non-plastic
Rpm	:Revolutions per minute
TS	:Türk standartları
UU	:Üç eksenli hücre kesme deneyi
PL	:Plastik limit
LL	:Likit limit

SİMGELER

%	:Yüzde
σ_a	:Devilatör gerilme
μm	:Mikrometre
c	:Kohezyon
cm	:Santimetre
cm^3	:Santimetreküp
dk	:Dakika
gr	:Gram
kPa	:Kilopascal
m^3	:Metreküp
ml	:Mililitre
mm	:Milimetre
MPa	:Megapascal
$\tan \beta$:Tanjant
ϵ_a	:Eksenel deformasyon
\emptyset	:Kayma direnci açısı
τ	:Kesme kuvveti

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1. Delici makine teknik özellikleri.	16
Tablo 4.1. Silt numune koni düşürme deney verileri.	21
Tablo 4.2. CTP boru kesme atığı koni düşürme deney verileri.	22
Tablo 4.3. Kıvam deneyleri toplu sonuçlar ve sınıflandırma sonuçları.	23
Tablo 4.4. Numunelerin saf su kullanılarak yapılan piknometre deney sonuçları.	27
Tablo 4.5. Numunelerin mazot kullanılarak yapılan piknometre deney sonuçları.	28
Tablo 4.6. Piknometre deneyi sonucu numunelerin özgül ağırlıkları.	28
Tablo 4.7. Siltli zemine CTP boru kesme atığı ilavesi yapılarak oluşturulan numunelerin kompaksiyon deneyi sonuçları.	30
Tablo 4.8. Siltli zemine ağırlıkça CTP boru kesme atığı ilavesi yapılan numunelerde normal gerilmeler altında elde edilen max kayma dayanımları.	33
Tablo 4.9. Kesme kutusu deney sonuçları.	34
Tablo 4.10. UU deney sonuçları.	43
Tablo 5.1. Kıvam limiti tayini deney sonuçları.	46
Tablo 5.2. Kıvam limiti tayini deney sonuçları.	46
Tablo 5.3. Arazi numunesi elek analizi deney sonuçları.	46

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Dane boyutuna göre zemin iyileştirme yöntemleri [13].	4
Şekil 2.2. Düzce Çilimli’de granüler malzeme ile taş kolon imalatı.	5
Şekil 2.3. Jet grout imalatında zeminin gelen basınç ile parçalanması.	6
Şekil 2.4. Yeni Foça limanı ön delgili jet grout imalatı.	6
Şekil 2.5. İstanbul’da yapılan kesişen DSM imalatı delgi işlemi.	7
Şekil 2.6. Yalova ili DSM imalatı uygulaması.	8
Şekil 3.1. CTP boru kesme atığının fabrikadan öğütülerek çıkmış hali.	9
Şekil 3.2. Siltli numunenin hazırlanması.	10
Şekil 3.3. DSM makinesi saha pozisyonu alma ve etkin kullanılması.	12
Şekil 3.4. DSM makinesi saha pozisyonu alma ve etkin kullanılması.	12
Şekil 3.5. İş makinesi delgi ekranı.	13
Şekil 3.6. Derin karışım yöntemi ile delgi yapıldıktan sonra terse dönerek takımın çekilmesi aşaması.	14
Şekil 3.7. DSM ile zemin iyileştirilmesi yapılan alanlarda yapı inşası.	15
Şekil 3.8. DSM imalatı tipleri (a)tekli, (b)blok, (c)duvar, (d)ızgara [23].	15
Şekil 3.9. Delici makine.	16
Şekil 3.10. Santral ve pompa ünitesi.	17
Şekil 3.11. DSM delici matkabı.	18
Şekil 4.1. Laboratuvar ortamında kurumaya bırakılan CTP boru kesme atığı ve siltli numuneler.	19
Şekil 4.2. CTP boru kesme atığı ile siltli numunenin kap içinde karıştırılması.	20
Şekil 4.3. Plastik limit yapılan siltli zemin ve CTP boru kesme atığının dağılmasına ait görsel.	21
Şekil 4.4. Siltli zemin koni düşürme deneyi.	21
Şekil 4.5. Siltli numune koni düşürme analizi.	22
Şekil 4.6. CTP boru kesme atığı likit limit deneyi grafiği.	22
Şekil 4.7. Deney numunelerinin bünyesindeki organik maddelerin yakımı ve homojen olarak karışması için mikser ile çırpılması işlemi.	24
Şekil 4.8. TS 1900/2006-1’e göre uygulanan hidrometre deneyine ait görsel.	24
Şekil 4.9. Hidrometre deneyi sonrası numunelerin yıkanması ve elek takımından geçirilmesi.	25
Şekil 4.10. Deneyde kullanılan siltli zemine ağırlığınca yüzdesel olarak CTP boru kesme atığı ilave edildiği numunenin dane dağılımı eğrisi.	25
Şekil 4.11. Piknometre deneyine ait görsel.	26
Şekil 4.12. Vakum ünitesine konulan deney numuneleri.	26
Şekil 4.13. Deney numuneleri.	27
Şekil 4.14. Siltli zemine CTP boru kesme atığı ilavesi ile özgül ağırlık değişimi. ...	28
Şekil 4.15. Kompaksiyon deneyi uygulanması.	29
Şekil 4.16. Numunelerin kompaksiyon deneyi sonucu toplu grafiği.	30
Şekil 4.17. Kesme kutusu deneyi aleti.	31
Şekil 4.18. Sıkıştırılan zeminden numune alınması işlemi.	32

Şekil 4.19. Kesme kutusundan çıkarılan numunenin potaya alınması.....	32
Şekil 4.20. Kesme kutusunda kesilen numunelere ait görsel.....	33
Şekil 4.21. Siltli zemine ağırlıkça yüzdesel olarak CTP boru kesme atığı ilavesi yapılan numunelerin kesme kutusu deney sonuçları.....	34
Şekil 4.22. Deney numunelerinin kohezyon değerlerindeki değişime ait grafik.....	35
Şekil 4.23. Deney numunelerinin kayma direnci açısındanki değişim.....	35
Şekil 4.24. Kompaksiyonu yapılan zeminden numune çıkarılması.....	36
Şekil 4.25. Üç eksenli hücre kesme deneyi aleti ve uygulamasına ait görsel.....	36
Şekil 4.26. Üç eksenli hücre kesme deneyi okuması yapılmasına ait görsel.....	36
Şekil 4.27. UU deneyi yapılmış numuneleri yenilme şekilleri.....	37
Şekil 4.28. Deney numunelerine farklı çevre basınçları uygulanması sonucu elde edilen gerilme – eksenel deformasyon grafiği. (a)50kPa, (b)100kPa, (c)150kPa, (d)200kPa.....	39
Şekil 4.29. CTP boru kesme atığı katılarak oluşturulan numunenin Mohr-Coulomb kırılma zarfı (a)%0, (b)%1, (c)%2, (d)%3, (e)%4, (f)%5.....	40
Şekil 4.30. UU deney numunelerinin kohezyon değerlerindeki değişim.....	43
Şekil 4.31. UU deney numunelerinin kayma direnci açısındanki değişim.....	44
Şekil 5.1. DSM yöntemi ile oluşturulan numune kolonları.....	45
Şekil 5.2. Arazi zemini dane dağılım eğrisi.....	47
Şekil 5.3. Doğal haldeki saha zemininden numune alınımı ve serbest basma deneyi uygulanması.....	47
Şekil 5.4. Şantiye sahasına ait bir görüntü.....	48
Şekil 5.5. Karışımın hazırlandığı tam otomatik dijital ünite.....	48
Şekil 5.6. Çimentoya ağırlıkça farklı oranlarda katılmış CTP boru kesme atığı ilavesi ile elde edilen karotlar (a) %0 (b) %3 (c) %6 (d) %9.....	49
Şekil 5.7. Oluşturulan deney kolonlarına ait karot sandıklarının toplu fotoğrafı.....	50
Şekil 5.8. DSM kolonu karot numunesi kırımı.....	50
Şekil 5.9. Karot numunelerinin basma dayanımlarına ait grafik.....	51
Şekil 5.10. Karot numunelerinin ortalama basma dayanımları.....	51

CAM ELYAF TAKVİYELİ POLYESTER (CTP) KATKISININ İNCE DANELİ ZEMİN ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

ÖZET

İnşaat mühendisliği uygulamalarında temel zemini özellikleri, tasarım ve imalat aşamalarında önemli bir role sahiptir. Bununla birlikte inşası planlanan yapıların heyelan riski bulunan alanlara, dolgu sahalarına ve kayma direnci düşük zeminlere yapılması gerekebilmektedir. Günümüzde bu problemin önüne geçebilmek adına birçok zemin iyileştirme yöntemi geliştirilmiştir. Zemin iyileştirme yöntemleri artan maliyetler nedeniyle kimi zaman üst yapı projesinden bile daha maliyetli olabilmektedir. Artan nüfus ve hızla yayılan kentselleşme yapılarına yönelik talepleri arttırmakta beraberinde çevre kirliliğine neden olmakta ve atıklar oluşturmaktadır. Ülkemizde de imalatı yapılan ürünlerden hatırı sayılır oranda atıklar çıkmaktadır. Atık malzemelerin çevremize ve dolaylı olarak da insanlığa zararlı yanları vardır. Günümüzde atık vb. gibi katkı malzemeleri ile zemin iyileştirilmesi popüler olan yöntemlerden biridir.

Bu çalışmada, Cam Elyaf Takviyeli Polyester (CTP) boru kesme atıklarının zemin iyileştirme yöntemlerinden biri olan derin karıştırma yöntemi (DSM) ile kullanılarak ince daneli zeminin taşıma gücüne olan etkisi araştırılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar laboratuvar ve saha olmak üzere iki grupta gerçekleştirilmiştir. Laboratuvar deneylerinde Sakarya ili Adapazarı ilçesinden 3 ila 4 metre derinliğinden alınan doğal siltli zeminin CTP ile karıştırılmasıyla elde edilen numuneler kullanılmıştır. Saha deneyleri kapsamında da Yalova ilinde bulunan bir şantiyede derin karıştırma metodu ile doğal zeminde çimento ağırlığının % 0, 3, 6, 9 oranında CTP boru kesme atığı ilave edilerek DSM kolonları oluşturulmuştur. Laboratuvar ve saha çalışması dayanım deney sonuçlarının bir uyum içinde olduğu gözlemlenmiştir. Laboratuvar deneylerinde siltli zemin birimine ağırlığınca %3 oranında CTP boru kesme atığı ilavesi yapılan numunenin maksimum kuru birim hacim ağırlığı verdiği tespit edilmiştir. Saha deneylerinde ise çimento ağırlığınca %3 oranında CTP boru kesme atığı kil zemine ilave edildiğinde maksimum dayanım elde edilmiştir.

Deneyler sonucunda, CTP atığının ince daneli zeminlerin dayanımına olumlu katkı yaptığı, derin karıştırma yönteminde kullanılması durumunda ise imalatı yapılan zemin karışımında homojenlik sağladığı, harcın yoğunluğunu düşürerek uygulamada delgi ve geri çekim aşamasında kolaylık sağladığı gözlemlenmiştir. Ayrıca uzaklaştırma ve depolama maliyeti olan bir atığın zeminlerde iyileştirme malzemesi olarak kullanılması ile tekrar kazanımı ve atık bertarafı konusunda fayda sağlanacağı anlaşılmıştır. Sonuç olarak CTP boru kesme atıklarının zemin iyileştirilmesi yönteminde alternatif bir katkı olarak kullanılabileceği kanaatine varılmıştır.

EFFECT OF GLASS FIBER REINFORCED POLYESTER (GRP) ADDITIVE ON FINE GRAIN SOIL PROPERTIES

SUMMARY

Basic soil properties in civil engineering applications have an important role in the design and manufacturing stages. However, the structures planned for construction may need to be built on creek beds, areas with landslide risk, embankments and soils with low bearing capacity. Today, many methods have been derived for soil improvement to ensure the highest achievable strength and least compressibility in soils. While the method to be applied on soils is expected to improve the mentioned geotechnical properties of the soil, it must also have the capacity to satisfy economically. Increasing population also causes waste accumulation and environmental pollution. Recycling and disposal of wastes without causing environmental pollution is an important issue that shall not be underestimated in today's world.

That's why it is regulated within the scope of Environmental Legislation. Besides, the reduction of natural materials used in the construction has increased the importance of waste recycling, and the recycled wastes provide significant raw material and energy savings.

The recycling of waste materials for soil improvement is almost the first to appear with fly ash. Studies with fly ash show that this material both has a positive effect on soil strength and helps to improve some geotechnical problems of soils. However, this material, which is a calcium-based stabilizer such as lime, can also allow the formation of detrimental substances as a result of chemical reactions which may be caused by the chemical and mineralogical structure of the soil. For this reason, it is becoming more and more important to try different wastes in order to utilize them into the different soils.

A large amount of waste is generated as a result of cutting the Glass Fiber Reinforced Polyester (GRP) pipes by grinding in the production of sleeves for bringing the pipes to appropriate sizes and joining them together. Accumulating enormous amount of waste generated during pipe manufacturing has recently become a very important problem. The need to dispose of these high amounts of waste raises the questions of what kind of advantages it can bring if it is used on construction materials such as soils.

This material, which has been almost never tried to improve the geotechnical properties of fine-grained soils, will be an important step in the literature as both an economical and a new soil improvement method if it can be used to provide improvement in sites with problematic and collapsible soils. Bagriçik et al. studied on the utilizing GRP pipe waste in the form of powder into the soils to question its effectiveness on bearing capacity of only sandy soils. On this context, after mixing pipe powder with sand at different rates, shear strength parameters were determined by direct shear tests. It was concluded from the tests, for this kind of soil the shear

strength can be enhanced up to almost 31 % of its initial strength. The use of this waste, which was mostly used as an additive in concrete and improves its properties in a positive way, needs to be investigated and tested further in the soils.

Deep Soil Mixing (DSM) is one of the soil improvement methods in which soil improvement with different materials is allowed to be applied in the field environment. The method enables to the additives which mixed with the soil and provides the formation of continuous column with the soil. It was first applied in the USA in 1954 with a single drill bit. In Europe, it was first used to create lime columns on soft clay soils in Sweden in 1967, and then this method became widespread and continued to be used. In the 1990s, applications similar to today's construction method started to be applied.

When the DSM method is analyzed compared to other soil improvement methods, it has advantages in terms of economic, environmental, geotechnical, logistics and applicability. In general, the DSM method is used more in clayey soils than in coarse-grained soils and stands out as it is practical and economical. It has been determined by past studies that many engineering parameters such as the shear strength of the soils, compressibility properties, consolidation parameters, elasticity modulus are improved in the columns formed by this method. In this environmentally friendly method, columns consisting of materials such as lime, cement, fly ash, fibers can be formed.

Columns formed by the DSM method are applied as one of the soil improvement methods for purposes such as reducing the liquefaction potential, creating a support system in deep excavations, increasing the foundation bearing capacity by increasing the soil strength parameters and controlling the settlements. However, ensuring the homogeneity and sufficient rigidity of the columns formed is one of the primary objectives and this situation can be affected by many parameters such as contribution rate, retraction and rotational speed. Therefore, it is an important point to be able to adjust the consistency of the soil in order to ensure sufficient progress on the soils where the mixing will be applied.

In this study, the effect of Glass Fiber Reinforced Polyester (GRP) pipe cutting waste on the shear strength of fine-grained soils was investigated by using the deep soil mixing (DSM) method, which is one of the soil improvement methods. The experimental studies were carried out in two groups, laboratory and field. In laboratory experiments, samples obtained by mixing natural silty soil taken from Adapazari district of Sakarya province from a depth of 3 to 4 meters with GRP were used. Within the scope of field experiments, DSM columns were formed by adding GRP pipe cutting waste at the rates of 0, 3, 6, 9% of cement weight on natural soil by deep mixing method. It has been observed that the laboratory and field strength test results are in harmony. In laboratory experiments it has been detected that maximum value of dry unit weight of silty soil was obtained by 3% GRP addition. On the other hand, in field the maximum strength was gained by adding 3 percentages of GRP by cement weight to the clayey soil.

It has been observed that the GRP waste additive to the fine-grained soil contributes positively to the strength, provides homogeneity in the soil mixture produced by using the deep mixture method, and reduces the density of the mortar and provides convenience in the drilling and withdrawal stages in the application. In addition, it has been understood that a waste that has a cost of removal and storage will benefit from

its recovery and disposal. As a result, it has been concluded that GRP pipe cutting wastes can be used as an alternative contribution to the soil improvement method.

1. GİRİŞ

İnşaat mühendisliği uygulamalarında temel zemini özellikleri, tasarım ve imalat aşamalarında önemli bir role sahiptir. Artan nüfus ve buna doğru orantılı olarak hızla yayılan kentselleşme yapılarına yönelik talepleri arttırmaktadır. Bununla birlikte inşası planlanan yapıların dere yatağı, heyelan riski bulunan alanlara, dolgu sahalarına ve kayma direnci düşük zeminlere yapılması gerekebilmektedir. Mevcut zemini değiştirmek veya proje alanını değiştirmek genellikle uygun ve ekonomik olamamaktadır. Ayrıca mevcut yapıdan gelecek zati ve hareketli yüklerin zemine aktarılıp taşınması, deprem esnasında zeminin sıvılaşmaması, eksantrik oturmalar, şev stabilizesi gibi hususlara karşın zeminin kendisinden beklenen özellikleri karşılması gerekmektedir.

Günümüzde zemin iyileştirmelerinde birçok yöntem mevcuttur. Gerek duyulduğunda amaca yönelik olarak tercih edilecek yöntemin aynı zamanda ekonomik olması da gözetilmektedir. Artan nüfus beraberinde atık birikimi ve çevre kirliliğine de neden olmaktadır. Atıkların çevre kirliliğine neden olmadan tekrar kazanımı ve bertaraf edilmesi Çevre Mevzuatı kapsamında düzenlenmiştir [1]. Geri kazanılan atıklar önemli oranda ham madde ve enerji tasarrufu sağlamaktadır. Atık malzemeler en yaygın inşaat malzemesi olan betonda kullanılsa da zemin iyileştirme yöntemlerinden biri olarak literatürde sıklıkla araştırılan bir konu haline gelmiştir [2-4]. Zemin ıslahı için atık malzemelerin geri dönüşümü, uçucu kül ile hemen hemen ilk ortaya çıkandır [5-8]. Uçucu kül ile yapılan çalışmalar, bu malzemenin hem zemin dayanımı üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğunu hem de zeminlerin bazı geoteknik problemlerinin iyileştirilmesine yardımcı olduğunu göstermektedir. Ancak kireç gibi kalsiyum bazlı bir dengeleyici olan bu malzeme, toprağın kimyasal ve mineralojik yapısından kaynaklanabilecek kimyasal reaksiyonlar sonucunda zararlı maddelerin oluşumuna da olanak sağlayabilir [9-11].

Bu tez kapsamında, CTP boru kesme atıklarının zemin iyileştirme yöntemlerinden biri olan derin karıştırma yöntemi ile ince daneli zeminlerde zeminin kayma direncini ve yapılan imalatla kullanılan harcın uygulama sahasında işlenebilirliğinin artırılması

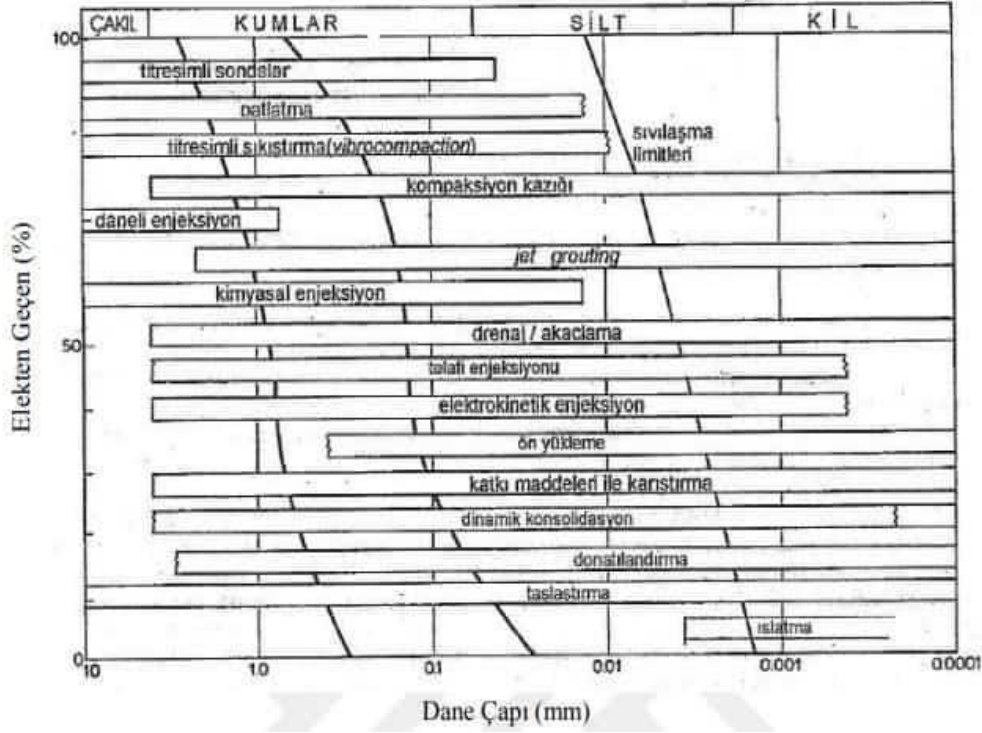
hedeflenmiştir. İnce daneli zeminlerin geoteknik özelliklerini iyileştirmek için neredeyse hiç denenmemiş olan bu malzeme problemleri sahalarında iyileştirme sağlamak için kullanılabilirse hem ekonomik hem de yeni bir zemin iyileştirme yöntemi olarak literatürde önemli bir katkı sağlayacaktır. Yapılan deneysel çalışmalar laboratuvar ve saha olmak üzere iki ana başlıkta oluşturulmuştur. Çalışmada laboratuvar ve saha da yapılan deneyler birbiri ile kıyaslanarak değerlendirilmiştir.

2. ZEMİNLERİN İYİLEŞTİRİLMESİ

2.1. Zemin İyileştirme

Zemin iyileştirme, mühendislik performansını hedeflenen doğrultuya yönlendirmek için bir zeminin herhangi bir veya birkaç özelliğinin değiştirilmesidir. Tüm zemin iyileştirme yöntemleri, zeminin karakteristik özelliklerini iyileştirmeye çalışır. Mühendislik uygulamalarında zemine göre değişkenlik gösteren fiziksel, biyolojik veya kimyasal yöntemler kullanılır. Zemin iyileştirmesinin ana amacı kayma direncini arttırmak, geçirgenliği kontrol altına alıp sıkışabilirliği azaltmaktır [12]. Modern zemin iyileştirme yöntemleri, teknolojik gelişmelerle birlikte ilerlemekte ve çevresel düşünceye ilişkin farkındalığın artması ile ekonomik avantajlar sağlamaktadır. Bu gelişmeler sayesinde çeşitli standartlaştırmalar ve teknik öneriler her geçen gün artmaktadır.

Zemin iyileştirilmesi seçiminde birçok önemli parametre mevcuttur. İlk olarak temel türünün değerlendirilmesi, daha sonraki aşamalarda da çevredeki yapılaşma, yeraltı suyu, deprem riski, izin verilen oturma büyüklüğü gibi değerler dikkate alınmalıdır. Zemin iyileştirme yöntemlerinin dane büyüklüğüne göre değerlendirilmesi Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Dane boyutuna göre zemin iyileştirme yöntemleri [13].

2.2. Zemin İyileştirme Yöntemleri

2.2.1. Taş kolon yöntemi

Taş kolon imalatı temel taşıma kapasitesi ve şev stabilizesini arttırmak, potansiyel sıvılaşma riskini, oturma büyüklüğünü azaltmak ve konsolidasyon hızını arttırmak gibi amaçlar ile her türlü zeminde uygulanabilmekle beraber daha çok silt, kil ve gevşek siltli kumlu zeminler için uygun bir yöntemdir [14].

Taş kolon imalatı delgi ve kolon oluşturma olmak üzere iki aşamadan oluşur. İstenilen derinliğe ulaşılması aşamasında vibroflot, auger vb. aletler kullanılmaktadır. Taş kolon kuyusundan vibroflot vb. alet çıkarıldıktan sonra granüler malzeme yerleştirilir ve sıkıştırılır. Granüler malzeme olarak kırma taş, kaba çakıl taşları ve ya kumla karışık çakıllı taşlar kullanılmaktadır. Şekil 2.2’de su ile taş kolonda istenilen derinliğe ulaşılma ve granüler malzeme doldurulmasına ait imalat görseli verilmiştir.



Şekil 2.2. Düzce Çilimli’de granüler malzeme ile taş kolon imalatı.

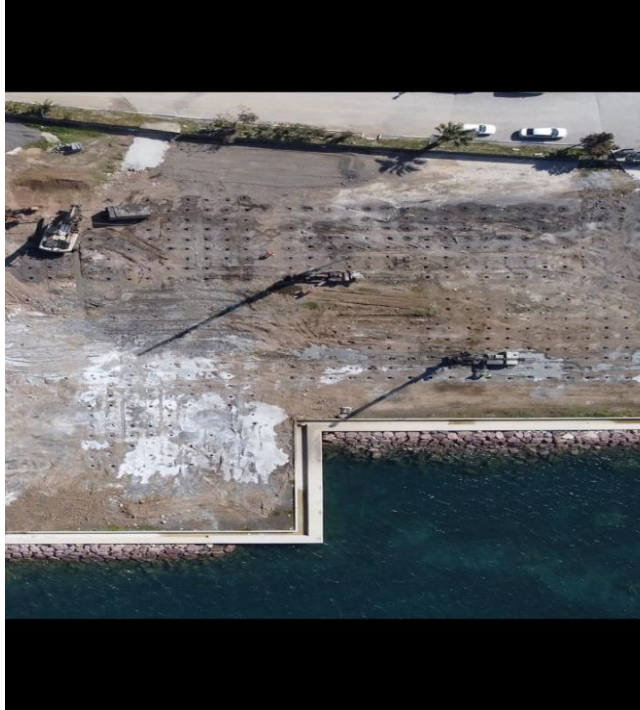
2.2.2. Jet grout yöntemi

Jet grout yöntemi çok yüksek basınç ile sağlanan yüksek bir enerji ile zemini parçalayarak ve enjeksiyon karışımını göndererek kolon oluşturulmasına dayalı ve çoğu zemin türünde uygulanan bir yöntemdir. Jet grout yöntemi düşük geçirgenlik veya yüksek dayanım elde etmek için uygulanır. Jet grout yönteminde kolon çaplarını 1 metreye kadar oluşturmak mümkündür. Bu yöntemde oluşturulacak kolon çapları delici makine pilotundaki ağız kısmına, gönderilen enjeksiyon basıncı ve dakikada delici makine takımının çekiş ve dönme hızı ile doğru orantılıdır. Oluşturulacak kolonlar düz veya eğimli olabilmektedir. Aşağıdaki Şekil 2.3’te jet grout imalatında zeminin gelen basınç ile parçalanması anına ait görsel verilmiştir.



Şekil 2.3. Jet grout imalatında zeminin gelen basınç ile parçalanması.

Jet grout kolonları yapıların temellerinde, kendini tutamayan veya göçük olma riski olan tünel imalatlarında, otoyollarda şev stabilitesi alanında, iksa amaçlı derin kazıların yapılacağı sahalar vb. birçok alanda kullanılmaktadır [15]. Şekil 2.4'te zemin sert olduğu bir yerde çürütme delgisi yapılarak jet grout imalatının yapılmasına ait görsel verilmiştir.



Şekil 2.4. Yeni Foça limanı ön delgisi jet grout imalatı.

2.2.3. Derin karıştırma yöntemi

Derin karıştırma yöntemi (DSM) yaklaşık olarak 50-150 bar arasında gönderilen enjeksiyonun delici makine üzerinde bulunan karıştırıcı bıçaklar yardımıyla zeminde mekanik bir güç ile karıştırılarak zeminin iyileştirilmesini amaçlayan yöntemdir. Derin karıştırma yönteminin uygulanmasında, üzerinde enjeksiyon ağızlıkları (*nozzle*) bulunan özel şekilde imal edilmiş, karıştırıcı bıçak çapı hedef kolon çapında olan, kesici bıçakların en uçta olduğu, üzerinde ise delgi için gereken gücü dönüştüren (*rotary*) kesici bıçaklara aktaran ve ortasındaki boşluktan çimento/su karışımını kesici uçlar üzerindeki ağızlar aracılığıyla intikal ettiren bir delgi takımı kullanılmaktadır. Delgi ve kesme, yukarı çekme işlemleri esnasında çimento karışımının yolanmasına devam edilir. Şekil 2.5'te DSM imalatı delgi işlemine ait görsel verilmiştir.



Şekil 2.5. İstanbul'da yapılan kesişen DSM imalatı delgi işlemi.

Bu yöntemde mekanik karıştırma kesici bıçaklar ile yapılmaktadır, bu nedenle kesintisiz enjeksiyon akışının temin edilmesi gerekmektedir. Bu şekilde, enjeksiyon ve zeminin belirli sabit/üniform bir dozajda, sınırlı bir çap ve hacimde karışımı temin edilerek iyileştirilmiş zemin-çimento karışımı kolon elde edilir [16]. Şekil 2.6'da derin karıştırma ile oluşturulan kolonlara ait görsel verilmiştir. Derin karıştırma yönteminde

kolon içerisindeki boşluk oranını azaltmak ve bununla doğru orantılı olarak da iyi bir karıştırma yapmak dayanımın artması için gerekmektedir [17].



Şekil 2.6. Yalova ili DSM imalatı uygulaması.

2.2.4. Katkı maddeleri ve atıklar

Gelişen dünyamızda sanayi devriminin başlaması ile başta ekonomik olarak siyasal ve toplumsal olarak da gelişmeler yaşanmıştır. Sanayi ile ham madde arayışları artmış ve işlenen hammaddelerden de ürünler ortaya çıkarılmıştır. Bu ürünlerin gerek işlenmesi esnasında gerekse de kullanıl ömrünü yitirdikten sonra bir atık olarak varlığının sürdürmektedir. Bu atıklar yakılarak, toprağa gömülerek vb. yöntemlerle imha edilmekte kimi zaman ise tekrar ısıl işlem vb. yöntemlerle tekrardan işlenip yeni ürünler oluşturulmaktadır.

Ülkemizde de imalatı yapılan ürünlerden hatırı sayılır oranda atıklar çıkmaktadır. Atık malzemeler içinde bulunduğumuz çevremize ve dolaylı olarak da insanlığa zararlı yanları vardır. Çıkarılan atıklar depolanıp çeşitli vasıtalar ile uzaklaştırılsa bile herhangi bir sorun ile karşılaşılmasında çevreyi tehdit edecek bir zarar unsuru olabilmektedir [18].

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Cam Elyaf Takviyeli Polyester (CTP) Boru Kesme Atığı

Kompozit malzemeler, iki veya daha fazla malzemenin özelliklerini tek bir malzemede toparlayarak ya da yeni bir özelliği ortaya çıkarmak amacıyla makro düzeyde birleştirilmeleri ile oluşturulan malzemelerdir [19]. CTP boru kesme atığı ülkemizde atık ve temiz su taşımacılığı için üretimi yapılan CTP boruların ek manşonları ve özel üretim olan dirseklerin imalatında ortaya çıkan tozlardır. Şekil 3.1’de CTP boru kesme atığının fabrikadan öğütülerek çıkmış haline ait görsel verilmiştir.



Şekil 3.1. CTP boru kesme atığının fabrikadan öğütülerek çıkmış hali.

Sakarya ilinde üretim yapan Subor Boru San. Tic. A.Ş. firmasında CTP boru üretimi için borular uygun boyutlarda birbirlerine eklenmekte ve maşon üretiminde taşlama yoluyla kesilmektedir. Bu esnada çok fazla miktarda ince daneli atık ortaya çıkmaktadır. Subor firmasının ürettiği CTP borularında çeşitli oranda polyester, reçine, kum ve elyaf kullanılmaktadır [20]. CTP borular kuvars kumu, cam elyafı ve polyester reçineleri kullanılarak elyaf sarma yöntemi ile üretilmektedir [21]. Firma bu

atığı su ile çökelterek uygun filtrelerde arıtıp bir yerde toplamakta ve toplanan atığı ücret karşılığında çimento üretim fabrikalarından imha ettirmektedir.

3.2. Siltli Zemin

Laboratuvar çalışmasında Sakarya ili Yenigün mahallesindeki 3 ila 4 metre derinlikten çıkarılan siltli zemin kullanılmıştır. Belirli periyodik süreçlerde topaklanan zemin parçaları ezilip daha ince hale getirilmiştir. Havada kurutulması sağlanan zeminden, organik ve inorganik maddeler ayıklanmıştır. Laboratuvarda 2.0 mm'lik elekten geçirilen numune, tekrardan organik ve inorganik malzemelerden ayıklanmıştır. Şekil 3.2'de siltli numunenin laboratuvara taşınmasına ait bir görsel verilmiştir.



Şekil 3.2. Siltli numunenin hazırlanması.

3.3. Derin Karıştırma Yöntemi (DSM)

DSM yöntemi ilk olarak tekli delici matkap ile 1954 yılında Amerika'da uygulanmıştır. 1960'lı ve 1970'li yıllarda Japonya'da daha yaygın olarak kullanılmıştır. Avrupa'da ise ilk olarak 1967 yılında İsveç'te yumuşak killi zeminde kireç kolonları oluşturulmuştur ve daha sonra yaygınlaşarak devam etmiştir. 1990'larda günümüzdeki yapım yöntemine benzer uygulamalar yapılmaya başlanılmıştır [22].

DSM yöntemi diğer zemin iyileştirme yöntemlerine göre ekonomik, çevresel, lojistik ve uygulanabilirlik açısından birçok avantaj ve dezavantaja sahiptir. Genel olarak DSM yöntemi killi zeminlerde iri daneli zeminlere nazaran daha fazla kullanılmasıyla beraber pratik ve ekonomik olmasıyla ön plana çıkmaktadır. Zemin mukavemetinin 5 MPa'dan az olduğu, iri daneli olmayan zeminlerin bulunduğu alanlarda avantaj sağlamaktadır. DSM yönteminin emsal imalatlara göre avantajları şunlardır:

-Diyafraim duvar vb. imalatına göre; atık malzeme pasası azdır, maliyeti düşüktür, imalat kalitesi için yapılan yükleme, karot vs. testlerinin yapımı kolaydır.

-Jet grout vb. imalatlara göre; düşük basınçta imalat yapıldığı için malzeme deformasyonu düşüktür, gürültüsü azdır, heterojen zeminleri karıştırarak homojen kolonlar oluşturur, geçirgenliği azaltır ve imalat birim maliyetini düşürür.

-Kesişen kazık, kompaksiyon vb. imalatlara göre; çevreye az gürültü verir, maliyet olarak daha ekonomiktir, çevreye verilen zarar azdır, kalite kontrol testleri kolaylıkla ve birçok yöntemle yapılır.

DSM yönteminin emsal imalatlara göre dezavantajları şunlardır:

-Diyafraim duvar vb. imalatına göre; sıkı ve katı zeminlerde uygulanamaz, imalat yönü yalnızca düşeydedir, palplanş imalatına göre daha çok hafriyat ortaya çıkarır ve derinlik sınırları vardır.

-Jet grout vb. imalatlara göre; oluşturulan kolonların dayanımı jet grouta göre daha düşüktür, imal edilmesi için geniş bir saha alanı gerekmektedir.

3.3.1. DSM uygulama aşamaları

DSM yöntemi uygulama aşamasında yapılması gerekenler şu şekilde sıralanabilir; ilk olarak santral-pompa ile delici makine arasındaki bağlantıyı en elverişli şekilde oluşturmak için bu ikili arasındaki mesafe olabildiğince kısa tutulmalıdır. Santral-pompa ile delici makine arasındaki mesafe arttıkça pompadan gönderilen enjeksiyon debisini sabit tutmak için makine devri arttırılır ki bu da makinenin yağ azaltması, fazla yakıt tüketmesi, sarf malzeme deformasyonunun artması gibi nedenlere yol açmaktadır. Aynı zamanda mesafe arttıkça ikame edilen hortumların adedi de artmış olur ki bu da bir maliyet artışı yaratır. Şekil 3.3'de DSM makinesinin sahadaki pozisyon alma ve etkin kullanılmasına ait görsel verilmiştir.



Şekil 3.3. DSM makinesi saha pozisyonu alma ve etkin kullanılması.

Delici makinenin sahada en verimli imalatı yapabilmesi için saha platformu en iyi şekilde oluşturulmalı, makine çevresinde, manevra yapacağı alanlarda veya delici makinenin yürüyüş yolunda herhangi bir engel veya kusur olmamalıdır. Şekil 3.4’de DSM makinesi yürüyüş platformu ve güzergahının ıslahına ait görsel verilmiştir.



Şekil 3.4. DSM makinesi saha pozisyonu alma ve etkin kullanılması.

Delici makine ve santral-pompa hazır konuma geldiğinde delici makine oluşturulacak olan DSM kolonunu dik bir şekilde delmesi için kule koordinatını alır ve imalata başlar. Koordinata alınmadan delgiye başlanması halinde kolon eğik olarak gider ki zeminde olası sert bir birimle karşılaşılması halinde delici makine takımı sıkıştırabilir, eğebilir veya kesebilir. Delici makine karıştırıcı ucu zemini dikeyde parçalayarak istenilen derinliğe indirilir. Şekil 3.5'te istenilen derinliğin ekrandan takibi aşamasına ait görsel verilmiştir.



Şekil 3.5. İş makinesi delgi ekranı.

Delici matkap uç delgi esnasında kanatlarında ve gövdesinde bulunan ağızlar yardımı ile zemine enjeksiyon karışımını gönderir. Geri çekilmesi esnasında enjeksiyon verilmesinin yanı sıra delgi esnasında da enjeksiyon verilebilmektedir. Şekil 3.6'da derin karışım yöntemi ile delgi yapıldıktan sonra terse dönerek takımın çekilmesi aşamasına ait görsel verilmiştir.



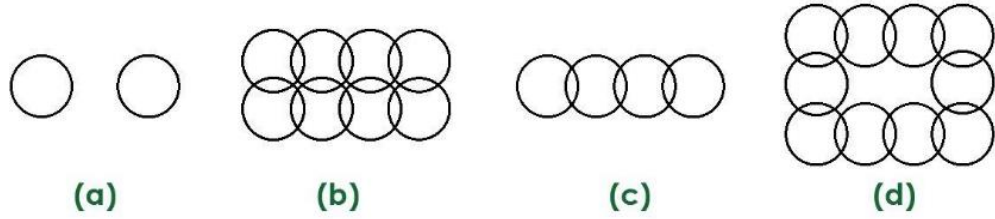
Şekil 3.6. Derin karışım yöntemi ile delgi yapıldıktan sonra terse dönerek takımın çekilmesi aşaması.

DSM imalatı mekanik bir etki ile karıştırmaya yönelik bir imalat olduğu için zeminin iyice karıştırılıp homojenleştirilmesi oluşturulan kolonun dayanımını arttırmaktadır. Derin karıştırma yöntemi uygulanabilirliği açısından geniş bir alana sahiptir. Kolon imalatı münferiden uygulanmakla beraber kesişen kolon olarak da uygulanması mümkündür. Bu imalatta oluşturulan kolonlar sıvılaşmayı azaltmak, destek kazıkları, açılacak olan bir zemin alanın mukavemetini sağlayıp stabilize sağlamak, yapının üzerine oturacağı alanda zemin iyileştirmesi sağlamak gibi amaçlarla yapılmaktadır. Aşağıdaki Şekil 3.7’de derin karışım yöntemi ile zemin iyileştirilmesi yapılan bir yapı inşasına ait görsel verilmiştir.



Şekil 3.7. DSM ile zemin iyileştirilmesi yapılan alanlarda yapı inşası.

DSM imalat tipleri olarak karelaj, blok tipi, kafes, papatya vb. tarzda uygulanabilmektedir. Aşağıdaki Şekil 3.8’de derin karışım yöntemi imalat tiplerine ait görsel verilmiştir.



Şekil 3.8. DSM imalatı tipleri (a)tekli, (b)blok, (c)duvar, (d)ızgara [23].

3.3.2. DSM yönteminde kullanılan makine ve ekipmanlar uygulama aşamaları

Derin karıştırma yönteminin uygulanabilmesi için gerekli makineler; delici makine ve santral-pompadan oluşmakta olup gerekli ekipmanlar da delici bıçak (*auger*), tij, delici matkap ucu, meme (*nozzle*), su tankı, çimento silosu vs. den oluşmaktadır.

3.3.2.1. Delici makine

DSM imalatında zemine mekanik bir enerji verilerek kolon oluşturulduğu için delici makinenin de güçlü olması gerekmektedir. Bu nedenle imalatta kullanılan örnek makine teknik özellikleri Tablo 3.1’de verilmiştir. Şekil 3.9’da delici makineye ait görsel verilmiştir.

Tablo 3.1. Delici makine teknik özellikleri.

Delici Makine Özellikleri	
Motor Gücü (bg)	550
Hidrolik Gücü (bar)	350
Palet Geniřliđi (cm)	90
Palet Uzunluđu (cm)	500
Tırmanma Mesafesi (cm)	700
Ağırlığı (ton)	140
Dönüş Hızı (rpm)	80



Şekil 3.9. Delici makine.

3.3.2.2. Santral ve pompa ünitesi

DSM imalatında imalatın da her kolona eşit oranda enjeksiyon gitmesi için santralde hassas bir çalışma yapmak gerekmektedir. Hata oranını en aza indirmek için tamamen otomatik sistem seçilmekte ve gerekli oranda su - çimento hassas olarak karışıma katılmaktadır. Karıştırıcı kazanının altında bulunan yük hücresi (*loadcell*) yardımı ile alınan çimento ve su miktarı görünmektedir.

Mikserde hazırlanan karışım dinlendirici kazanına alınır ve burada da sabit hızla karıştırılarak çimentonun kazanın dibine çökmesi engellenmiş olur. Dinlendiricideki enjeksiyon ara bağlantı hortumu sayesinde pompaya alınır ve buradan da pistonlar yardımı ile delici makineye gönderilir. Şekil 3.10'da santral ve pompa ünitesine ait görsel verilmiştir.



Şekil 3.10. Santral ve pompa ünitesi.

3.3.2.3. Silo, su tankı, delici matkap ve sarf malzemeler

DSM imalatlarında duraksama olmaması için hazırda çimento, su ve delici matkap gibi malzeme stoku bulunmalıdır. DSM uygulamasında sular tanka depolanıp bir su pompası yardımı ile santrale çekilmektedir. Kullanılan su tankı 40 ton kapasitesinde olup su tankına sürekli çekilen hat ile suyun devir daimi sağlanmaktadır. Genellikle çimento depolasında 100 ton kapasitesiteli silolar kullanılmaktadır. Bu tarz bir silo kullanılmasının nedeni çimento sevkiyatının gecikmesinden dolayı çalışmanın yarıda kalmasının önüne geçmektir.

Zemin delgisinde en önemli faktörlerden biri seçilen delici matkaplardır. Mevcut zemin parametrelerine en uygun bıçak tasarımı ve özellikleri seçilmesi delgide sarf malzeme giderini azaltır aynı zamanda en kısa sürede istenilen derinliğe inilmesini sağlamaktadır. Şekil 3.11’de çimento delici matkaba ait görsel verilmiştir.



Şekil 3.11. DSM delici matkabı.

4. LABORATUVAR ÇALIŞMASI

Çalışmada öncelikle CTP boru kesme atığının ve daha önceden temin edilip laboratuvara serilmiş olan siltli numunenin zemin sınıflandırma deneyleri yapılmıştır. Bu safhada plastik limit, likit limit, özgül ağırlık, elek analizi ve hidrometre deneyleri yapılmıştır. Sınıflandırma deneyleri tamamlanan malzemeler kompaksiyon ile sıkıştırılıp kuru birim hacim ağırlığı ve optimum su muhtevası değeri elde edilmiştir. Elde edilen bu bilgiler ile hazırlanan numuneler üzerinde kesme kutusu ve üç eksenli hücre kesme (UU) deneyleri yapılarak laboratuvar ortamındaki en ideal CTP karışım oranı ve dayanımın belirlenmesi hedeflenmiştir. Şekil 4.1’de laboratuvar ortamında kurumaya bırakılan CTP boru kesme atığı ve siltli numunelere ait görsel verilmiştir.



Şekil 4.1. Laboratuvar ortamında kurumaya bırakılan CTP boru kesme atığı ve siltli numuneler.

4.1. Fiziksel Deneyler

Fiziksel deneyler kapsamında ilk olarak kıvam limitleri deneyleri yapılmış olup daha sonra elek analizi ve ince dane dağılımını belirlemek için hidrometre deneyi gerçekleştirilmiştir. Malzemelerin özgül ağırlıkları ise piknometre deneyi ile tespit

edilmiştir. Fiziksel deneyler TS 1900/2006-1 uyarınca yürütülmüş, TS 1500/2000 standardınca sınıflandırılmıştır [24-25]. Fiziksel deneyler kapsamında oluşturulan deney numuneleri şu şekildedir; CTP boru kesme atığı, doğal silt, ve silte ağırlığınca yüzdesel olarak 1, 2, 3, 4, 5 oranında CTP boru kesme atığı ilave edilerek karışımlar oluşturulmuştur. Aşağıdaki Şekil 4.2’de CTP boru kesme atığı ile siltli numunenin kap içinde karıştırılmasına ait görsel verilmiştir.



Şekil 4.2. CTP boru kesme atığı ile siltli numunenin kap içinde karıştırılması.

4.1.1. Kıvam limit deneyleri

Toz halinde bulunan malzemeler su veya bir sıvı aracılığı ile karıştırılması sonucunda ortaya çıkan değişime kıvam denilmektedir. Silt ve CTP boru kesme atıkları kıvam limit deneyleri kapsamında plastik limit ve likit limitler deneyleri TS 1900/2006-1 uyarınca yapılmıştır. Silt ve CTP boru kesme atığında yapılan plastik limit deneylerinde numuneler cam üzerinde dağılmış olup 3 mm kalınlığına yuvarlanamamıştır. Dolayısıyla malzemenin NP (*Non-plastic*) olduğu anlaşılmıştır. Plastik limit deneyine ait fotoğraflar Şekil 4.3’te verilmiştir.



Şekil 4.3. Plastik limit yapılan siltli zemin ve CTP boru kesme atığının dağılmasına ait görsel.

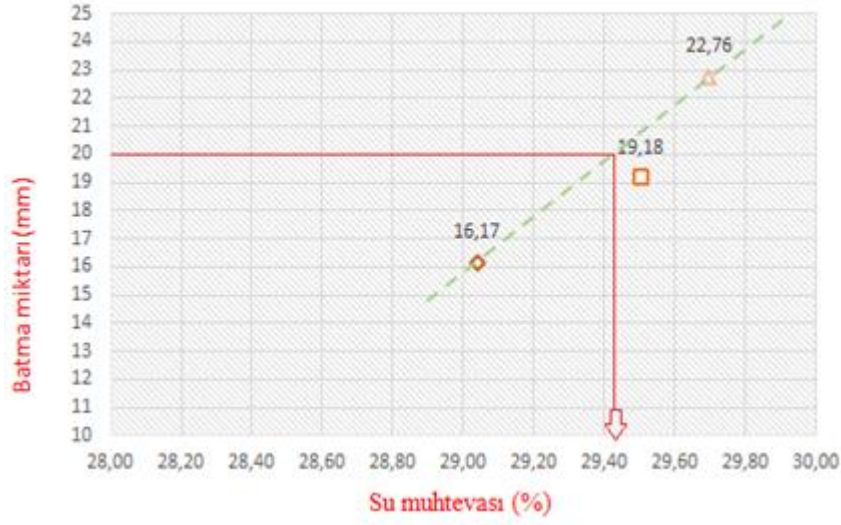
Likit limitin belirlenmesinde çarpmalı (Casagrande) ve koni düşürme yöntemleri uygulanmıştır. Deneye ait görseller Şekil 4.4- Şekil 4.6’da verilmiş olup, sonuçları Tablo 4.1- Tablo 4.2’de sunulmuştur. Siltli numunede likit limit değerinin % 29,41 olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.4. Siltli zemin koni düşürme deneyi.

Tablo 4.1. Silt numune koni düşürme deney verileri.

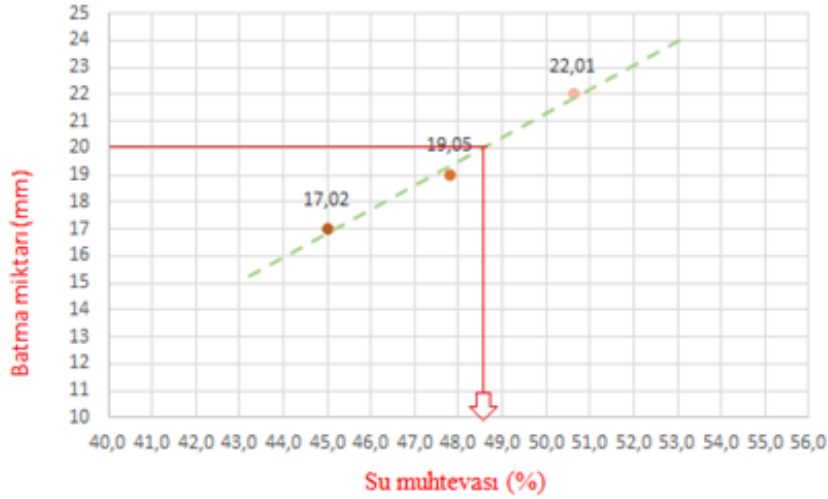
Silt	Kap No	Kap + Örnek	Kap + Örnek Kuru	Kap Ağırlığı	Batma (mm)
1	210	106,723	97,536	65,9	16,17
2	574	87,03	79,261	52,927	19,18
3	440	75,189	68,76	47,1	22,76



Şekil 4.5. Siltli numune koni düşürme analizi.

Tablo 4.2. CTP boru kesme atığı koni düşürme deney verileri.

CTP boru kesme atığı	Kap No	Kap + Örnek	Kap + Örnek Kuru	Kap Ağırlık	Batma (mm)
1	726	95,139	82,531	54,47	17,02
2	37	116,573	96,621	54,881	19,65
3	1	97,426	83,21	55,133	22,01



Şekil 4.6. CTP boru kesme atığı likit limit deneyi grafiği.

CTP boru kesme atığı numunesinin likit limit değerinin % 48,52 olduğu belirlenmiştir. Yapılan fiziksel deneylerin sonucu Tablo 4.3'te toplu olarak verilmiştir. Elde edilen

veriler ışığında deney numuneleri TS 1500/2000 zemin sınıflandırılması sistemine göre sınıflandırılmış ve sonuçlar Tablo 4.3'e eklenmiştir.

Tablo 4.3. Kıvam deneyleri toplu sonuçlar ve sınıflandırma sonuçları.

Numune Adı	Likit Limit (konik pentrometre)	Plastik Limit	Plastisite İndisi	Sınıf (TS 1500/2000)
Silt	29,41	NP	NP	ML
Silt + %1 CTP	29,18	NP	NP	ML
Silt + %2 CTP	29,2	NP	NP	ML
Silt + %3 CTP	29,75	NP	NP	ML
Silt + %4 CTP	29,8	NP	NP	ML
Silt + %5 CTP	30,6	NP	NP	ML
CTP Boru Kesme Atığı	48,52	NP	NP	ML

Yapılan deney serilerinin siltli zemin numunesi ve siltli zemin numunesine ağırlıkça %1, 2, 3, 4, 5 oranlarında ilave edilen CTP boru kesme atıklarından oluşan numunelerde likit limit değerleri % 35'in altındadır. Bununla birlikte tüm numuneler plastik özellik göstermemiş, plastik limit deneyleri gerçekleştirilememiştir. Bu durumda tüm numuneler için NP ve ML simgesini kullanmak mümkündür.

4.1.2. Hidrometre ve elek analizi

Numunelerin dane çapı dağılımının belirlenmesi için TS 1900/2006-1 uyarınca elek analizi ve hidrometre deneyi yapılmıştır. Şekil 4.8'de hidrometre deneyine ait görsel verilmiştir. Buna göre dane çapı 75 µm'dan büyük olan zeminler için yıkamalı elek analizi, 75 µm'dan küçük olan zeminler için ise çöktürme analizi (hidrometre deneyi) uygulanmıştır. Yapılan hidrometre deneyinde, deney esnasında sıcaklığın değişkenlik göstermemesi için 1 gün önceden sıcaklığı ayarlanmış su havuzuna cam mezurlar ile su konulmuştur. Deney gününden önce 200 nolu elekten geçirilen ve 50 gr olarak ayarlanan zemin numuneleri sodyum hegzametafosfat ile tepkiye sokularak bünyesinde bulunan organik malzemelerin yakılması sağlanmıştır. Şekil 4.7'de deney numunelerinin bünyesindeki organik maddelerin yakımı ve homojen olarak karışması için mikser ile çırılması işlemi, Şekil 4.8'de ise hidrometre deneyine ait görsel verilmiştir.



Şekil 4.7. Deney numunelerinin bünyesindeki organik maddelerin yakımı ve homojen olarak karışması için mikser ile çırılması işlemi.



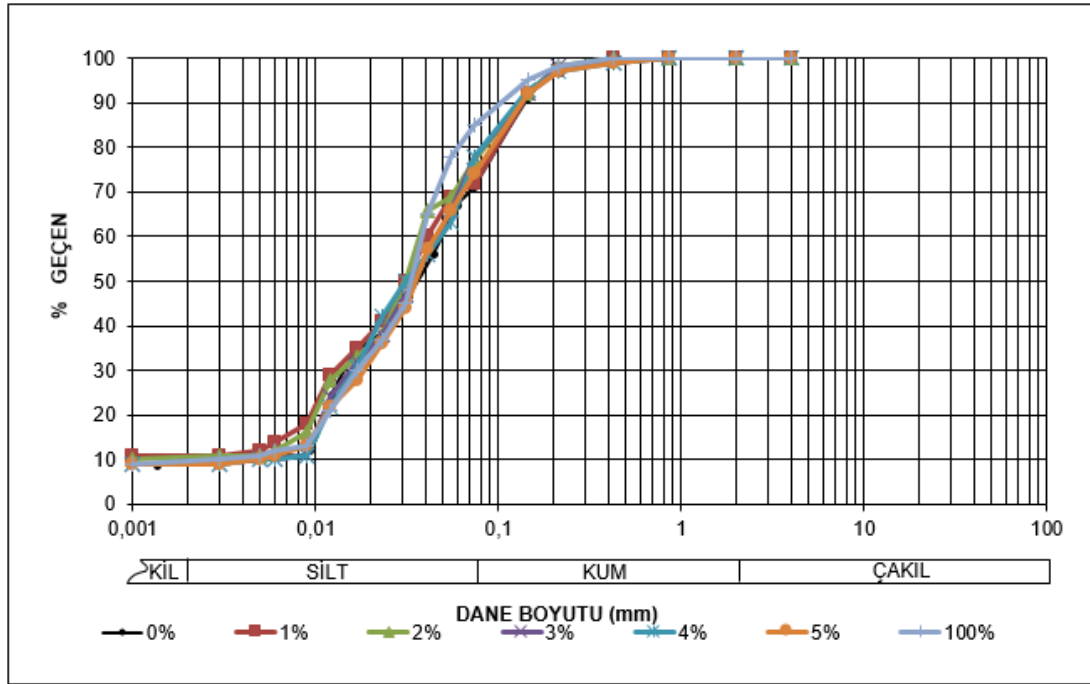
Şekil 4.8. TS 1900/2006-1'e göre uygulanan hidrometre deneyine ait görsel.

Aşağıdaki Şekil 4.9'da hidrometre deneyi sonrası numunelerin yıkanması ve elek analizinden geçirilmesine ait görsel verilmiştir.



Şekil 4.9. Hidrometre deneyi sonrası numunelerin yıkanması ve elek takımından geçirilmesi.

Hidrometre ve elek analizine ait deney sonuçları ve grafiği Şekil 4.10'da verilmiştir.



Şekil 4.10. Deneyde kullanılan siltli zemine ağırlığınca yüzdesel olarak CTP boru kesme atığı ilave edildiği numunenin dane dağılımı eğrisi.

TS 1900/2006-1'e göre yapılan hidrometre ve yıkamalı elek analizi deneylerine göre; siltli zemin numunesinde kil oranı %9, silt oranı %61 ve kum oranı ise %30 olduğu, CTP boru kesme atığında ise kil oranı %9, silt oranı %81 ve kum oranı ise %10 olduğu dane dağılım eğrisinde gözlemlenmektedir. Siltli zemin numunesine CTP boru kesme

atığı ilave edildiğinde kil oranı $\pm\%2$ oranında değişmekle beraber silt oranı artıp, kum oranı azalmaktadır.

4.1.3. Özgöl ağırlık deneyleri

Bu çalışmada zemin danelerinin yoğunluklarının belirlenmesinde TS 1900/2006-1'e göre zemin biriminin ince daneli olmasından dolayı küçük hacimli (50- 100 ml), piknometre adındaki cam şişeler kullanılmıştır. Deney numunelerine ait görsel Şekil 4.11'de verilmiştir.



Şekil 4.11. Piknometre deneyine ait görsel.

Deney için 0.001 gr hassasiyetindeki terazi kullanılmıştır. Karışımın içinde hava kalmaması için vakum ünitesinden yararlanılmıştır. Şekil 4.12'de piknometre içerisinde bulunan havanın vakum ile çekilmesine ait görsel verilmiştir.



Şekil 4.12. Vakum ünitesine konulan deney numuneleri.

CTP boru kesme atığının su ile yapılan deneylerde sürekli kabarcık oluşturması, su içerisinde yüzeye çıkıp numune kayıplarına yol açması, sürekli olarak piknometre

içerinde homojenleşmemesinden dolayı sıvı olarak mazot kullanarak deneyler tekrarlanmıştır. Aşağıdaki Şekil 4.13’de farklı sıvılar konulan deney numunelerine ait görsel verilmiştir.



Şekil 4.13. Deney numuneleri.

Kullanılan mazot hacmi belli olan bir kaba koyulup tartılarak özgül ağırlığı hesaplanmıştır. Kullanılan mazotun özgül ağırlığı 0,85 olarak bulunmuştur [26]. Tablo 4.4 ve Tablo 4.5’de numunelerin farklı sıvılar kullanılarak yapılan piknometre deneyine ait sonuçları verilmiştir.

Tablo 4.4. Numunelerin saf su kullanılarak yapılan piknometre deney sonuçları.

CTP Oranı (%)	Pikno metre No	Piknom etre Ağırlığı	Piknometre + Numune Ağırlığı	Piknometre + Numune + Su Ağırlığı.	Piknometre + Su Ağırlığı	Su Özgül Ağırlığı	Numune Özgül ağırlığı
0	8	26,743	36,777	86,747	80,428	1,00	2,70
1	11	25,679	35,648	85,418	79,142	1,00	2,70
2	2	28,115	38,145	86,335	80,036	1,00	2,68
3	13	28,533	38,512	85,351	79,142	1,00	2,65
4	7	26,536	36,517	85,141	78,949	1,00	2,63
5	1	26,394	36,555	84,89	78,661	1,00	2,58

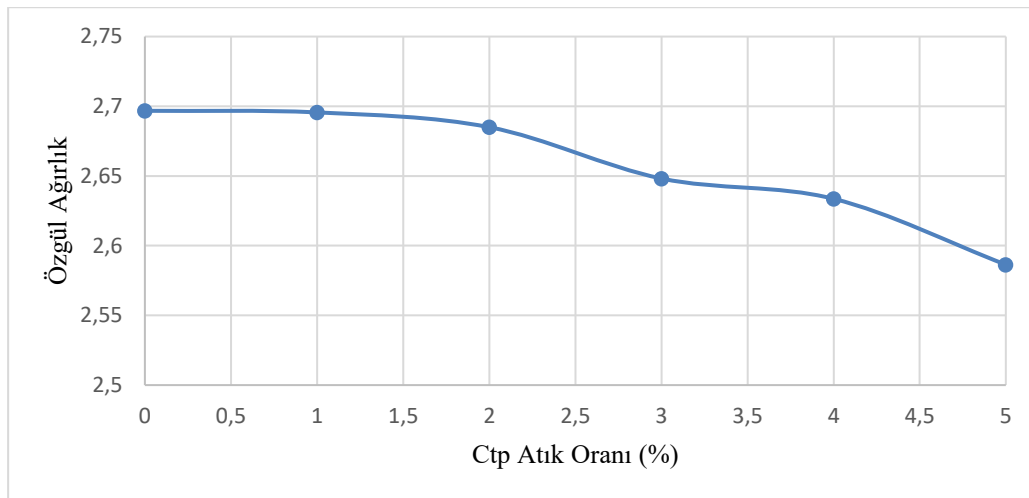
Tablo 4.5. Numunelerin mazot kullanılarak yapılan piknometre deney sonuçları.

CTP Oranı (%)	Piknometre No	Piknometre Ağırlığı	Piknometre + Numune Ağırlığı	Piknometre + Numune + Mazot Ağırlığı	Piknometre + Mazot Ağırlığı	Mazot Özgül Ağırlığı	Numune Özgül ağırlığı
0	6	26,747	36,342	76,845	70,279	0,85	2,69
1	3	26,784	36,791	75,47	68,623	0,85	2,69
2	4	28,149	38,147	76,82	69,991	0,85	2,68
3	9	25,164	35,16	75,168	68,379	0,85	2,65
4	7	26,536	36,715	75,153	68,26	0,85	2,63
5	13	28,533	38,51	77,76	71,059	0,85	2,58
100	12	28,535	33,253	73,816	71,10	0,85	2,00

Piknometre deneyinde elde edilen özgül ağırlık sonuçları Tablo 4.6’da ve Şekil 4.14’de toplu olarak verilmiştir.

Tablo 4.6. Piknometre deneyi sonucu numunelerin özgül ağırlıkları.

CTP Boru Kesme Atığı	Numune Özgül Ağırlığı
0	2,70
1	2,69
2	2,68
3	2,65
4	2,63
5	2,58
100	2,00



Şekil 4.14. Siltli zemine CTP boru kesme atığı ilavesi ile özgül ağırlık değişimi.

Yapılan deney sonucunda özgül ağırlık; siltli zeminde 2,70, CTP boru kesme atığının da ise 2,00 olarak belirlenmiştir. Oluşturulan deney serilerinde CTP boru kesme atığının oranının artırılması ile beklendiği gibi numunelerin özgül ağırlık değeri azalmaktadır.

4.1.4. Kompaksiyon deneyi

Bu deneyde amaç en uygun sıkıştırmanın yapılabileceği optimum su muhtevasını (W_{opt}) ve maksimum birim hacim ağırlığı belirlemektir [24]. Deneyde iç çapı 10 cm, yüksekliği 11,5 cm olan metal bir silindir kap kullanılmıştır. CTP boru kesme atığı, siltli zemin ağırlıkça % 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8 oranlarında ilave edilmiş, oluşturulan karışımların kuru birim hacim ağırlığı ve optimum su muhtevaları tespit edilmiştir. Şekil 4.15'te hazırlanan deney numunelerinin sıkıştırılmasına ait görsel verilmiştir.

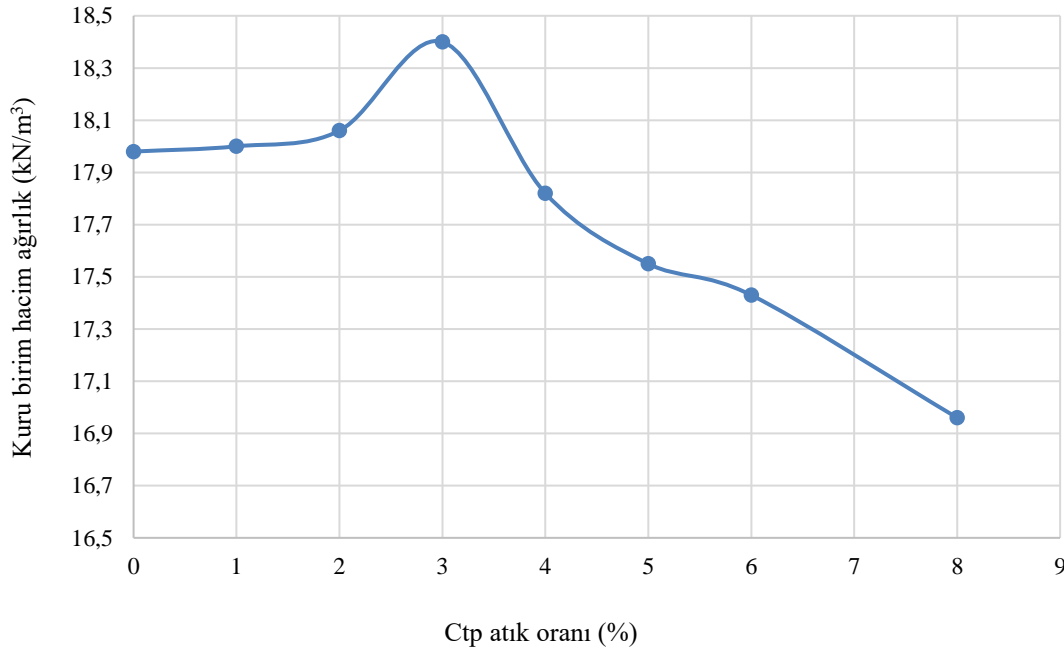


Şekil 4.15. Kompaksiyon deneyi uygulanması.

Tablo 4.7 ve Şekil 4.16'da siltli zemin ve siltli zemine CTP boru kesme atığı ilavesi yapılarak oluşturulan numunelerin kompaksiyon deneyi sonuçları verilmiştir.

Tablo 4.7. Siltli zemine CTP boru kesme atığı ilavesi yapılarak oluşturulan numunelerin kompaksiyon deneyi sonuçları.

	CTP Boru Kesme Atığı	Silt	Silt + (%1 CTP Boru Kesme Atığı)	Silt + (%2 CTP Boru Kesme Atığı)	Silt + (%3 CTP Boru Kesme Atığı)	Silt + (%4 CTP Boru Kesme Atığı)	Silt + (%5 CTP Boru Kesme Atığı)	Silt + (%6 CTP Boru Kesme Atığı)	Silt + (%8 CTP Boru Kesme Atığı)
Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	12,84	17,9 8	18	18,06	18,4	17,82	17,55	17,43	16,96
Optimum Su Muhtevası (%)	25,2	12,1	13,7	13,8	13,5	14,51	14	13,78	13,78



Şekil 4.16. Numunelerin kompaksiyon deneyi sonucu toplu grafiği.

TS 1900-1'e göre optimum su muhtevalarında yapılan kompaksiyon deneyinin sonuçlarına göre siltli zemine ağırlığınca %3 oranına kadar CTP boru kesme atığı ilave edildiğinde kuru birim hacim ağırlığın arttığı gözlemlenmektedir. CTP boru kesme atığının ilavesi %3'den daha fazla arttırıldığında ise kuru birim hacim ağırlık değeri azalmıştır. Deneyde siltli zemine ağırlığınca %3 oranına kadar CTP boru kesme atığı ilavesi yapılan numune kuru birim hacim ağırlığı olarak en yüksek değere sahip olması bu oranda daha iyi sıkıştırılabildiğini göstermektedir [27-28].

4.2. Mekanik Deneyler

4.2.1. Kesme kutusu deneyi

Numunelerin kayma direnci parametrelerini belirlemek için kesme kutusu deneyleri gerçekleştirilmiştir. Silt numunesi ve silt numunesine ağırlıkça %1, 2, 3, 4, 5 CTP boru kesme atığı ilave edilerek karışımlar oluşturulmuş ve bu karışımlar optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlıklarına göre hazırlanıp kompaksiyon yardımı ile sıkıştırılarak kesme kutusu deneyleri için numuneler hazırlanmıştır. Şekil 4.17'de kesme kutusu deney aletine ait görsel verilmiştir.



Şekil 4.17. Kesme kutusu deneyi aleti.

Sıkıştırılan zeminden numune alınma işlemine ait görsel Şekil 4.18'de verilmiştir.



Şekil 4.18. Sıkıştırılan zeminden numune alınması işlemi.

60*60*25 mm boyutlarında hazırlanan numuneler 50, 100, 200 kPa normal gerilme altında, 0.5 mm/dk hız ile kesilmiştir. Kesme kutusu deney aleti dijital olduğundan hız ayarlaması yapıldıktan sonra yatay ve düşey yer değiştirmeler mikrometre ile ölçülmüştür. Şekil 4.19 ve Şekil 4.20’de numunelere ait görseller verilmiştir.



Şekil 4.19. Kesme kutusundan çıkarılan numunenin potaya alınması.

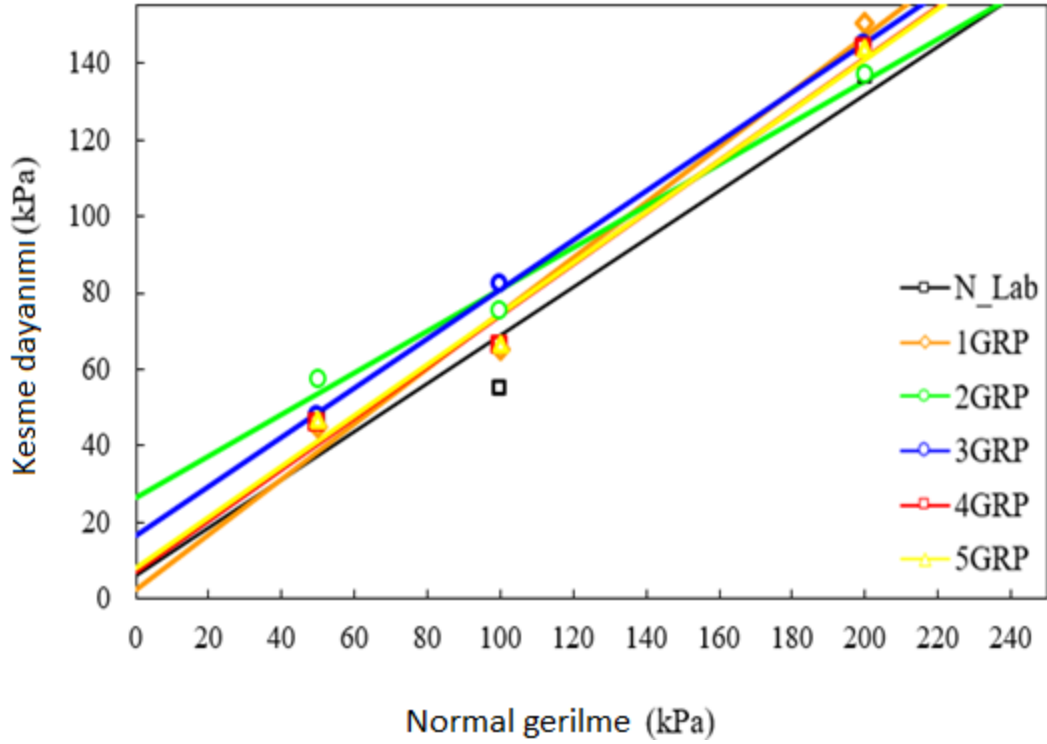


Şekil 4.20. Kesme kutusunda kesilen numunelere ait görsel.

Kesme kutusu deneyine ait sonuçlar Tablo 4.8, 4.9 ve Şekil 21-23'de verilmiştir. %2 CTP boru kesme atığı ilave edildiğinde kohezyon değeri 26 kPa'a kadar yükselirken, kayma direnci açısının en düşük değerini (29°) aldığı tespit edilmiştir. Benzer şekilde, kayma direnci açısı %1 CTP içeriğinde maksimum değerine (36°) sahipken, kohezyon aynı içerikte minimum sınırında azalma eğilimindedir. Doğal duruma göre kohezyon CTP atık ile ortalama 4 kat artış göstermiş, kayma direnci açısındaki artış hızının düşük olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 4.21'de karışımların isimlendirilmesinde; siltin kuru ağırlığına göre 1 (1GRP), 2 (2GRP), 3 (3GRP), 4 (4GRP) ve 5 (5GRP) oranlarında doğal silt (N_lab) CTP atığı (GRP) ilave edilmiştir.

Tablo 4.8. Siltli zemine ağırlıkça CTP boru kesme atığı ilavesi yapılan numunelerde normal gerilmeler altında elde edilen max kayma dayanımları.

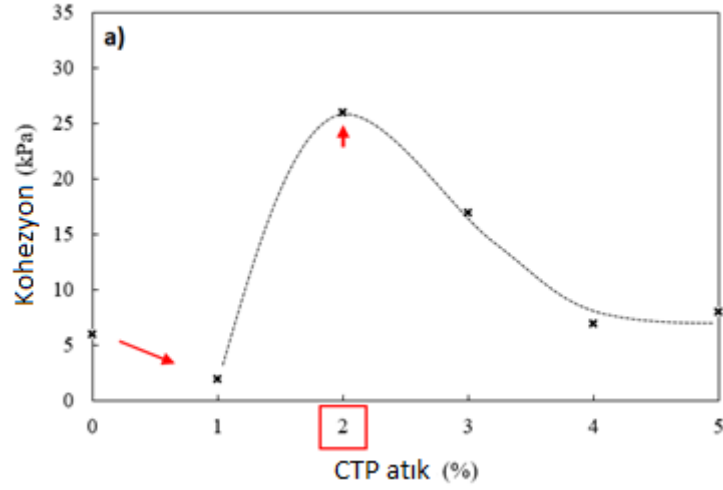
Normal gerilme (kPa)	Siltli Zemin	Silt + Ağırlıkça %1 CTP	Silt + Ağırlıkça %2 CTP	Silt + Ağırlıkça %3 CTP	Silt + Ağırlıkça %4 CTP	Silt + Ağırlıkça %5 CTP
	Kayma gerilmesi, τ_{max} (kPa)	Kayma gerilmesi, τ_{max} (kPa)	Kayma gerilmesi, τ_{max} (kPa)	Kayma gerilmesi, τ_{max} (kPa)	Kayma gerilmesi, τ_{max} (kPa)	Kayma gerilmesi, τ_{max} (kPa)
50	47,00	45,31	57,89	47,97	46,91	47,00
100	54,47	65,06	75,54	82,25	66,78	66,58
200	136,44	150,32	137,04	144,93	143,40	143,93



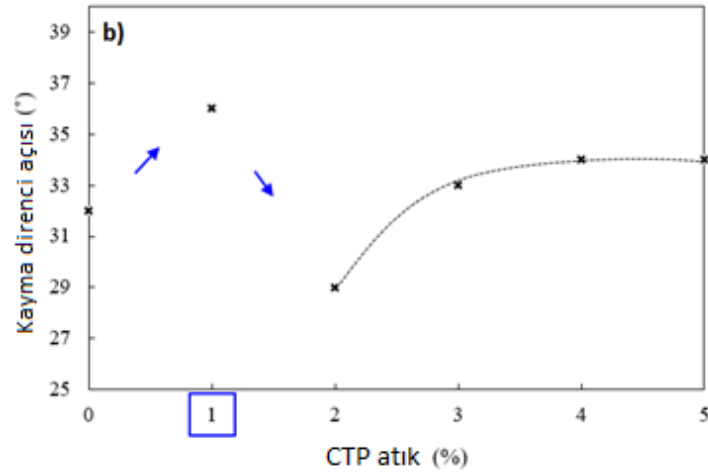
Şekil 4.21. Siltli zemine ağırlıkça yüzdesel olarak CTP boru kesme atığı ilavesi yapılan numunelerin kesme kutusu deney sonuçları.

Tablo 4.9. Kesme kutusu deney sonuçları.

Numune Adı	c (kPa)	ϕ (°)
Silt	6	32
Silt + %1 CTP	2	36
Silt + %2 CTP	26	29
Silt + %3 CTP	17	33
Silt + %4 CTP	7	34
Silt + %5 CTP	8	34



Şekil 4.22. Deney numunelerinin kohezyon değerlerindeki değişime ait grafik.



Şekil 4.23. Deney numunelerinin kayma direnci açısındaki değişim.

4.2.2. Üç eksenli hücre kesme deneyleri (UU)

Üç eksenli hücre kesme deneyleri için numuneler kesme kutusu numunelerine benzer şekilde hazırlanan sıkıştırılmış gereçten 3.5 mm çapında 70 mm yüksekliğinde oluşturulmuştur. Numuneler 50, 100, 150, 200 kPa çevre basınçları altında kesilmiştir. Şekil 4.24'te deney numunelerinin hazırlanışına, Şekil 4.25- 4.27'de ise üç eksenli hücre kesme deneyinin uygulamasına ait görseller verilmiştir.



Şekil 4.24. Kompaksiyonu yapılan zeminden numune çıkarılması.



Şekil 4.25. Üç eksenli hücre kesme deneyi aleti ve uygulamasına ait görsel.

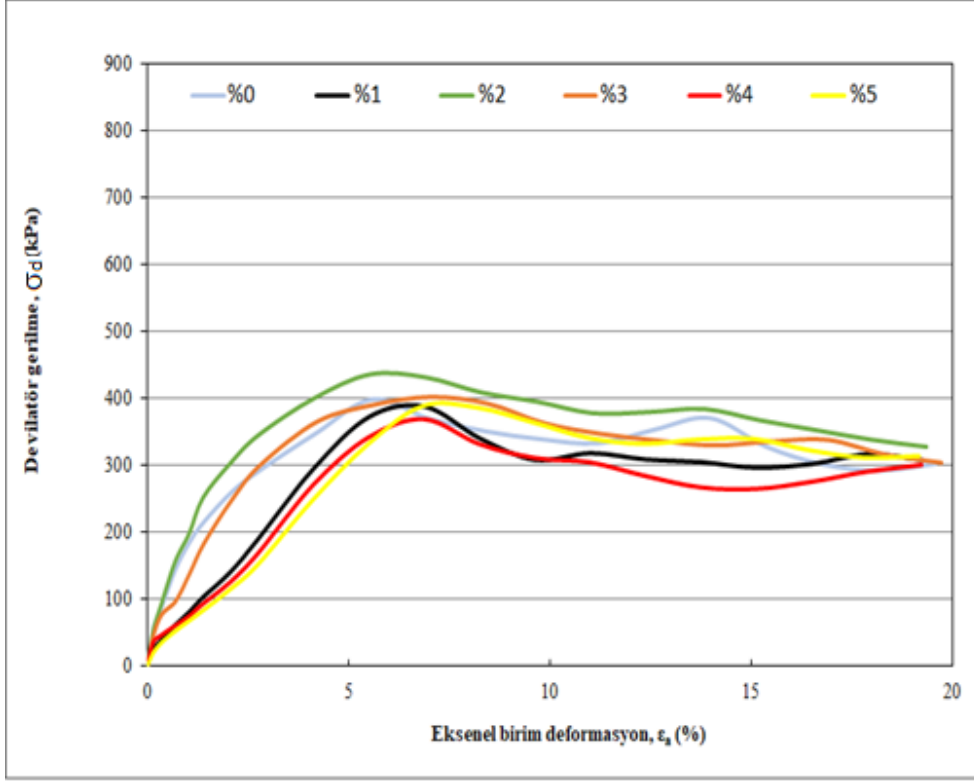


Şekil 4.26. Üç eksenli hücre kesme deneyi okuması yapılmasına ait görsel.

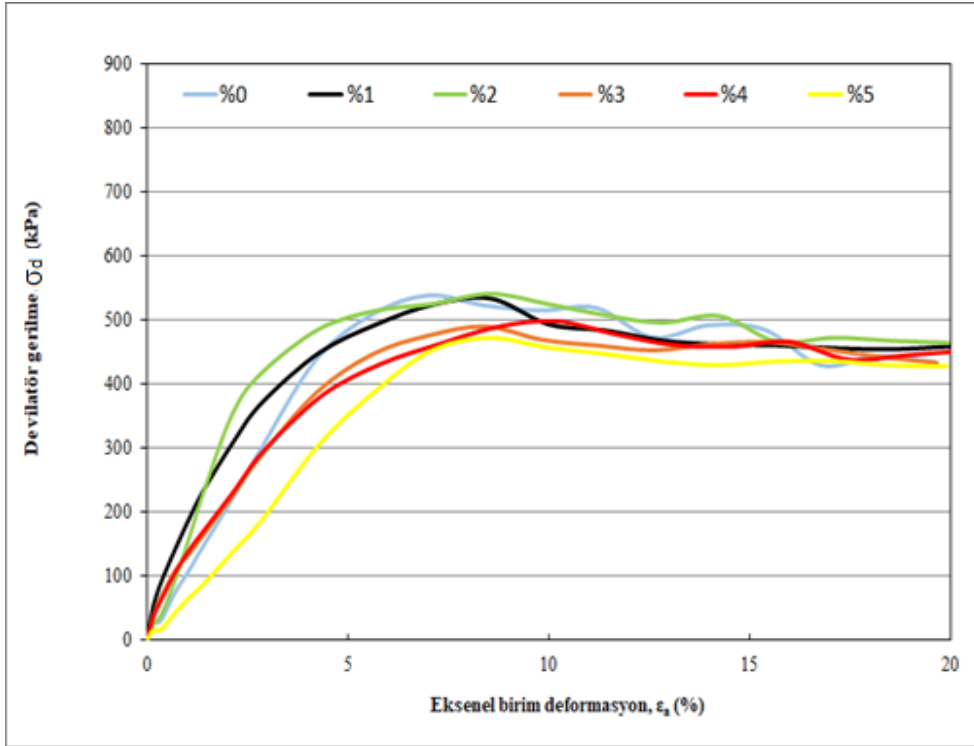


Şekil 4.27. UU deneyi yapılmış numuneleri yenilme şekilleri

UU deneyi yapılan numunelerin sonuçları Şekil 4.28 ve Şekil 4.29’da verilmiştir.

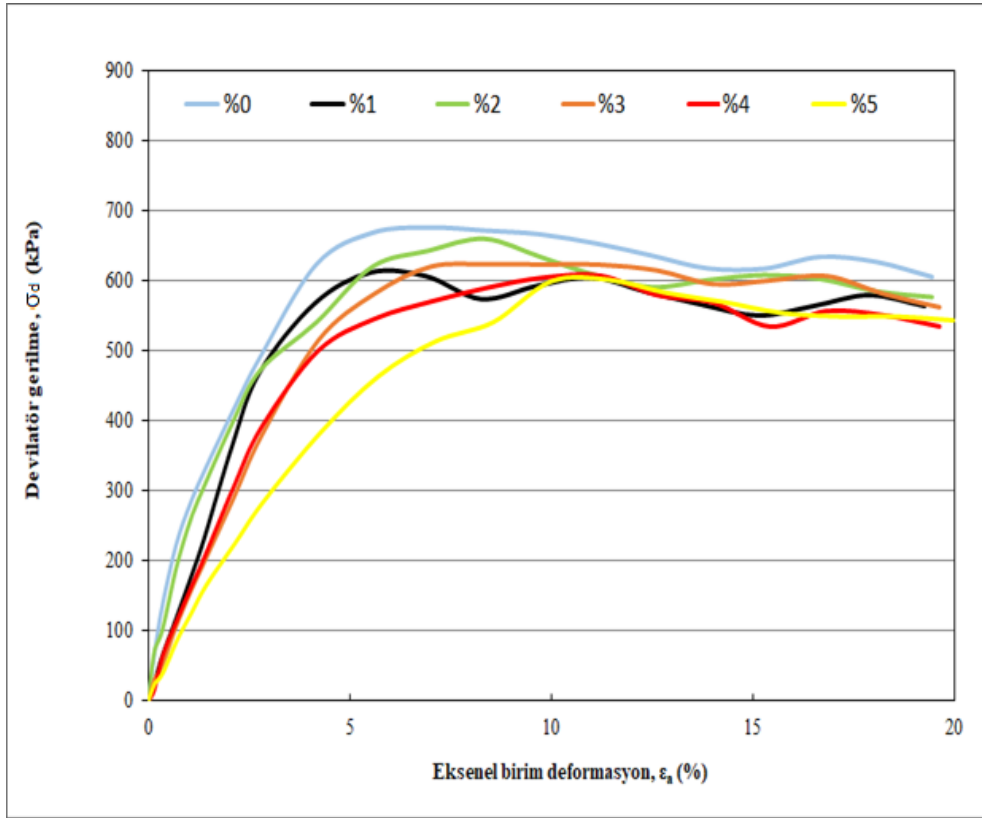


(a)

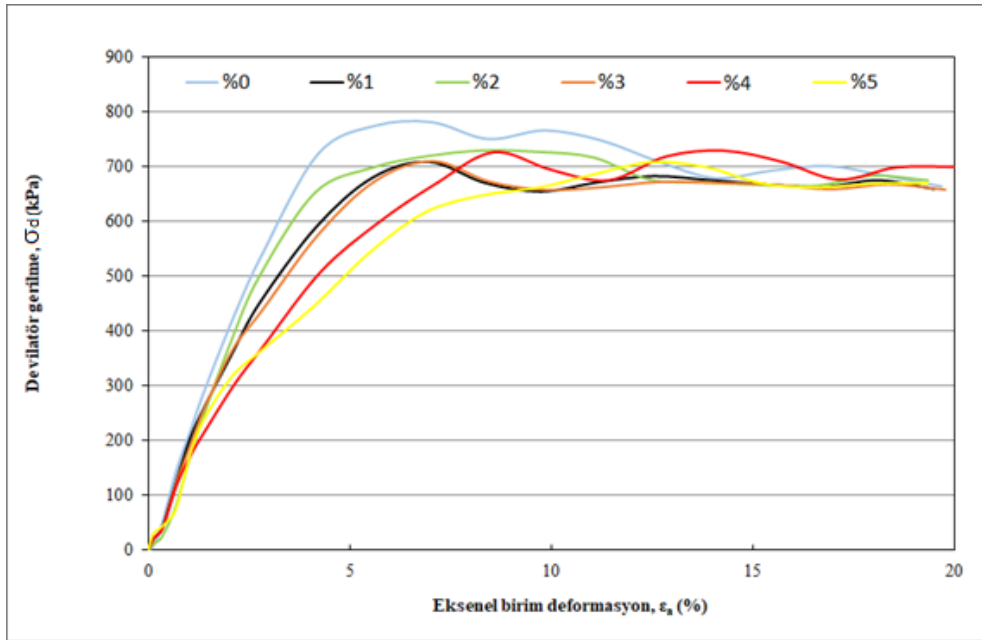


(b)

Şekil 4.28. Deney numunelerine farklı çevre basınçları uygulanması sonucu elde edilen gerilme – eksenel deformasyon grafiği. (a)50kPa, (b)100kPa, (c)150kPa, (d)200kPa

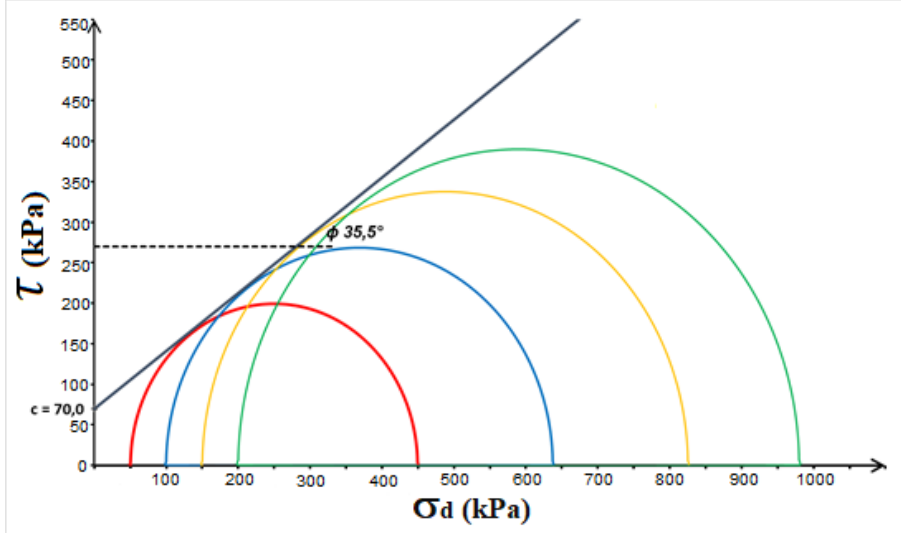


(c)

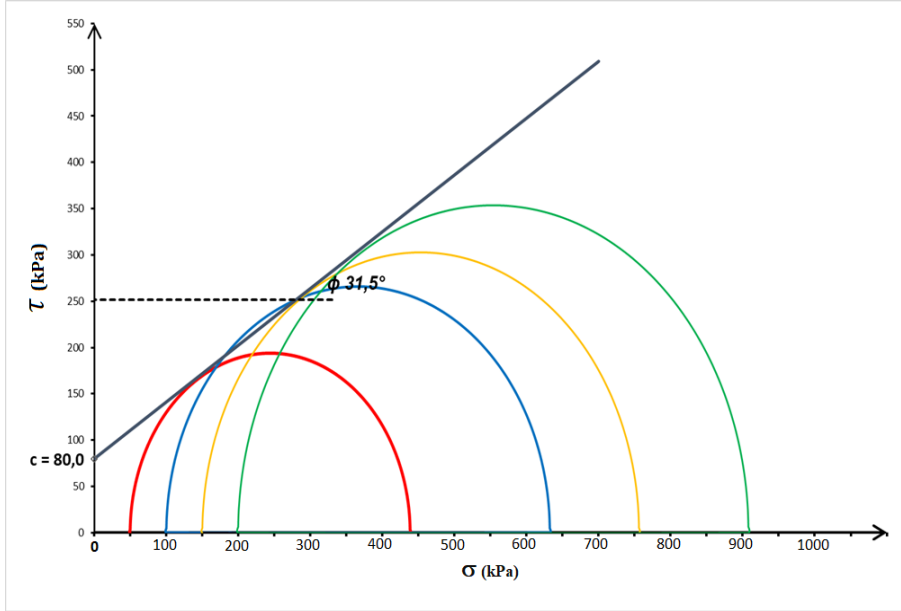


(d)

Şekil 4.28. (Devamı) Deney numunelerine farklı çevre basınçları uygulanması sonucu elde edilen gerilme – aksenal deformasyon grafiği. (a)50kPa, (b)100kPa, (c)150kPa, (d)200kPa

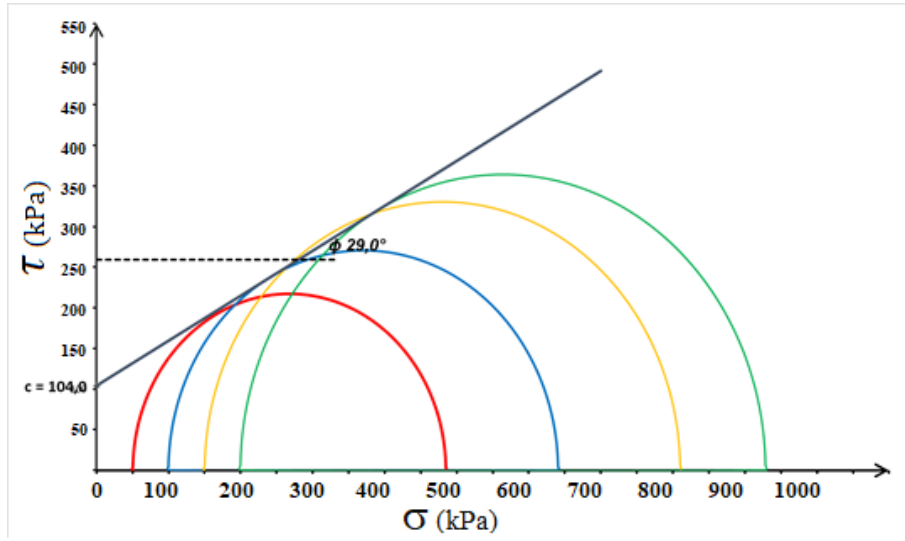


(a)

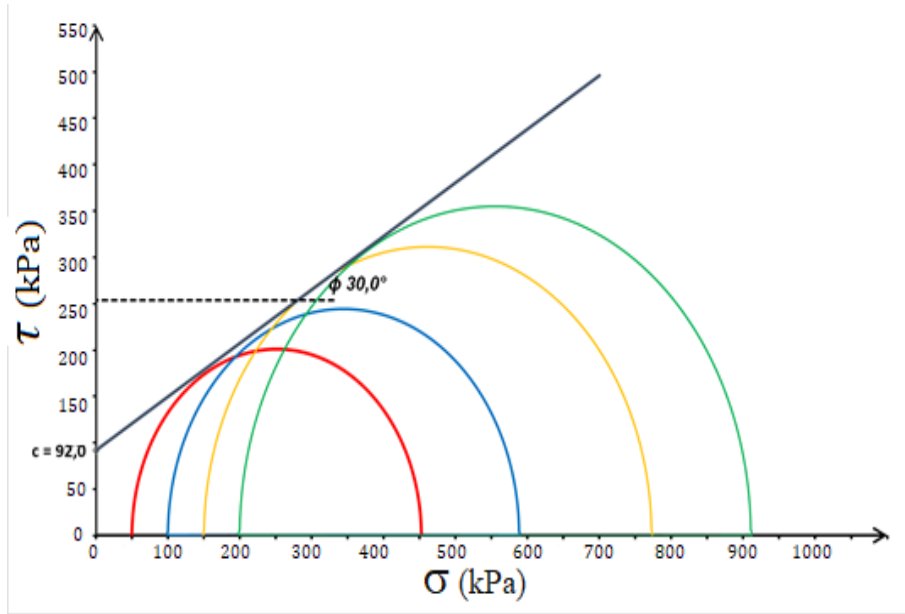


(b)

Şekil 4.29. CTP boru kesme atığı katılarak oluşturulan numunenin Mohr-Coulomb kırılma zarfı (a)%0, (b)%1, (c)%2, (d)%3, (e)%4, (f)%5.

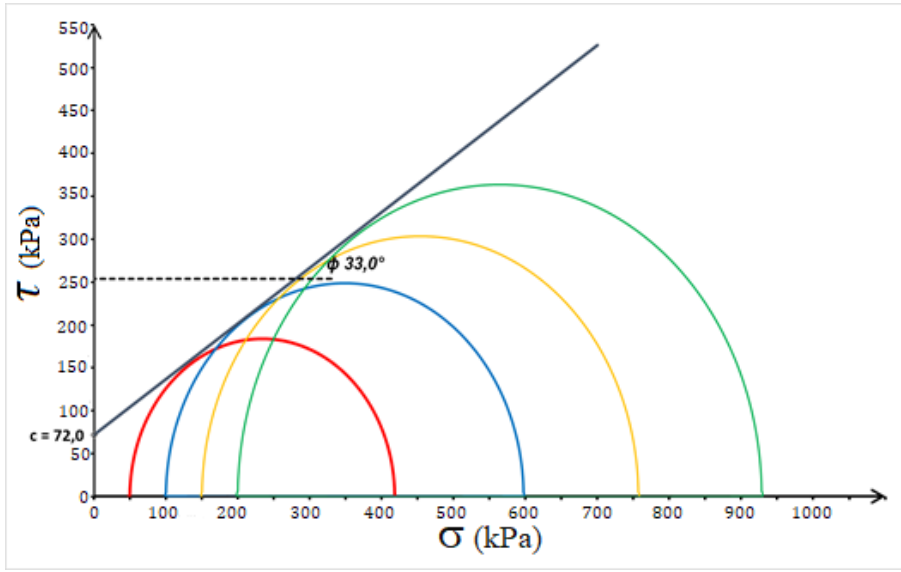


(c)

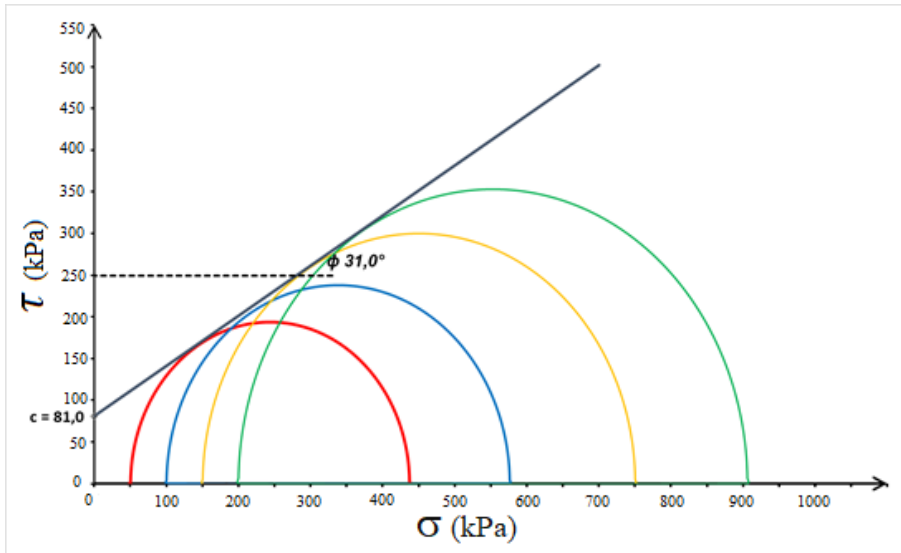


(d)

Şekil 4.29. (Devamı) CTP boru kesme atığı katılarak oluşturulan numunenin Mohr-Coulomb kırılma zarfı (a)%0, (b)%1, (c)%2, (d)%3, (e)%4, (f)%5.



(e)



(f)

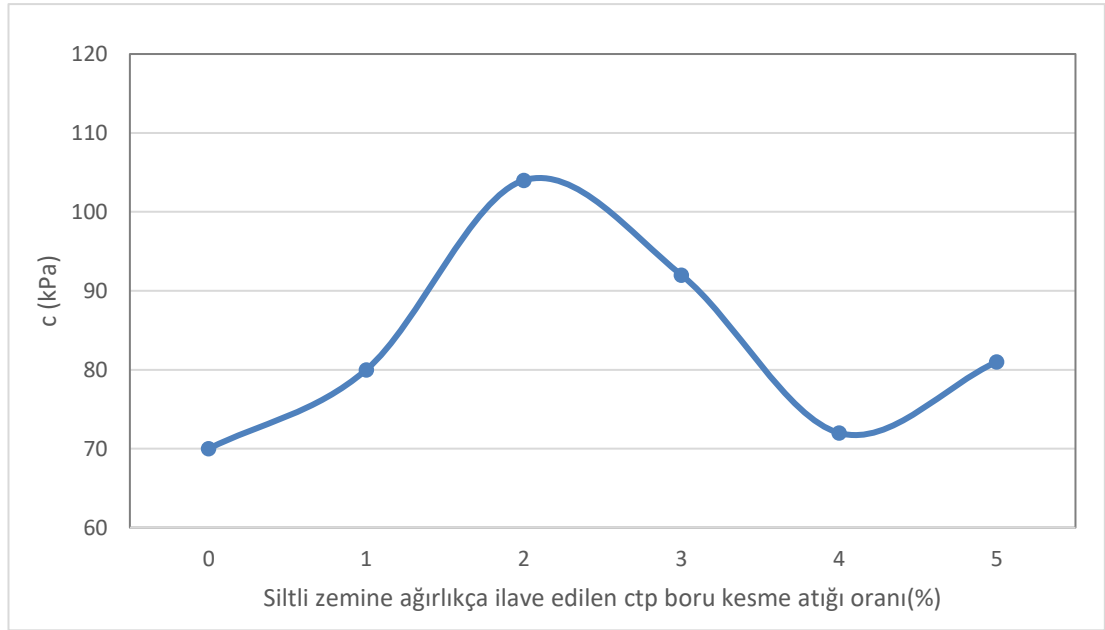
Şekil 4.29. (Devamı) CTP boru kesme atığı katılarak oluşturulan numunenin Mohr-Coulomb kırılma zarfı (a)%0, (b)%1, (c)%2, (d)%3, (e)%4, (f)%5.

Çevre basıncının 50 ve 100 kPa olduğu durumda devilatör gerilme ctp atık oranı %2 olan deney numunesinde, 150 ve 200 kPa olduğu durumda ise ctp atık oranı %0 olan deney numunesinde en yüksek değere ulaşmıştır. Siltli zemin ve CTP katkılı numuneler üzerinde belirlenen toplam gerilme parametreleri olarak kohezyon ve kayma direnci açıları elde edilmiştir. Kesme kutusu deney sonuçları ile benzer olarak kohezyon değeri %2 CTP katkılı numuneye kadar artış sağlamaktadır. CTP boru

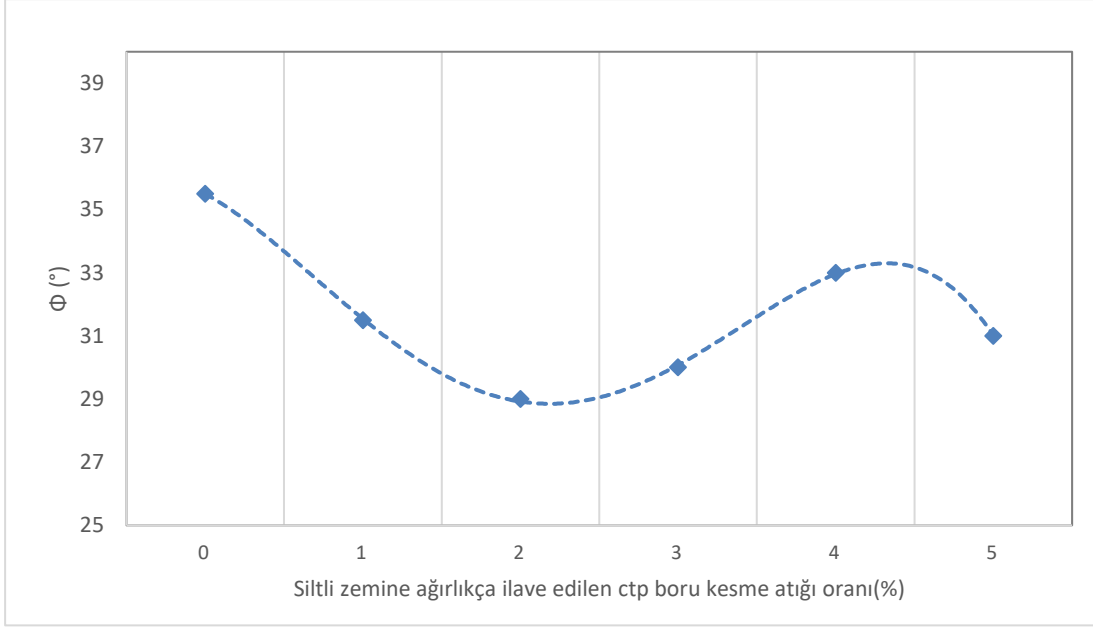
kesme atığının %2 sonrasında ilave edilen deney numunelerinde kohezyon değeri düşmekte olup %5 oranında ilave edilen deney numunesinde %4'e göre bir artış gözlemlenmiştir. %2 katkılı numunede ise kayma direnci açısı en düşük çıkmış, sonraki oranlarda bir miktar yükselme eğilimi göstermiştir. Elde edilen deney sonuçları Tablo 4.10'da düzenlenmiştir.

Tablo 4.10. UU deney sonuçları.

Numune Adı	c (kPa)	ϕ (°)
Silt	70	35,5
Silt + %1 CTP	80	31,5
Silt + %2 CTP	104	29
Silt + %3 CTP	92	30
Silt + %4 CTP	72	33
Silt + %5 CTP	81	31



Şekil 4.30. UU deney numunelerinin kohezyon değerlerindeki değişim



Şekil 4.31. UU deney numunelerinin kayma direnci açısındaki değişim.

5. ARAZİ DENEYLERİ

Arazi deneyleri İksa Mühendislik Yalova ili DSM imalatı şantiyesinde yapılmıştır. Bu çalışmada derin karıştırma yöntemi ile çimento enjeksiyonu ve çimento enjeksiyon ağırlığınca % 0, 3, 6, 9 olacak şekilde CTP boru kesme atıkları ilave edilerek kolonlar oluşturulmuştur. Zeminin doğal halde serbest basma sonuçları belirlenerek oluşan kolonların performansı değerlendirilmiştir.



Şekil 5.1. DSM yöntemi ile oluşturulan numune kolonları.

5.1. Arazi Zemin Bilgisi

Deneysel uygulamanın yapılacağı sahadan sondaj yöntemi ile numune alınımı yapılmıştır. Araziden alınan numune ASTM 4318-93'e göre tek nokta yöntemi ile kıvam limiti tayini, TS1500/2000'e göre zemin sınıflandırılması ve dane çapının belirlenmesinde TS 1900/2006-1 uyarınca elek analizi ve hidrometre deneyi

yapılmıştır [24]. Araziden alınan zeminde yapılan kıvam tayini deneyi veri ve sonuçları Tablo 5.1 ve Tablo 5.2’de verilmiştir.

Tablo 5.1. Kıvam limiti tayini deney sonuçları.

Deney	Doğal su içeriği, w_n	Likit Limit, w_L	Plastik Limit, w_p
Kap No	764	336	312
Vuruş sayısı, N	-	25	-
Kap + Örnek Ağırlığı, (g)	739,58	42,43	29,70
Kap + Kuru Örnek Ağırlığı, (g)	596,24	33,79	28,27
Kap Ağırlığı, (g)	67,95	21,35	22,36
Kuru Örnek Ağırlığı W_s , (g)	528,29	12,44	5,91
Su Ağırlığı W_w , (g)	143,34	8,64	1,43
Su İçeriği w , (%)	27	69	24
$\tan \beta$	-	0,12	-

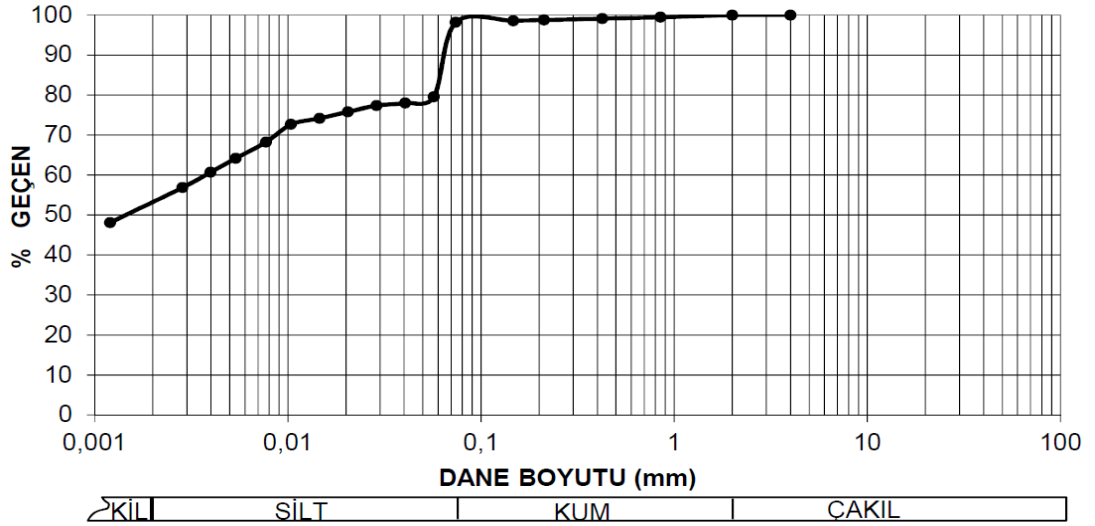
Tablo 5.2. Kıvam limiti tayini deney sonuçları.

Likit limit (W_L)	69
Plastik limit (W_p)	24
Plastisite İndisi	45
Sıvılık İndisi	0,06

Araziden alınan zemin numunesinde yapılan elek analizi deney sonuçları Tablo 5.3’de ve hidrometre deneyi dane boyutu dağılımı Şekil 5.2’de verilmiştir.

Tablo 5.3. Arazi numunesi elek analizi deney sonuçları.

Örnek Ağırlığı, (g)	50
No. 200'den kalan (g)	0,91
No. 200'den geçen (g)	49,09
% İnce	98



Şekil 5.2. Arazi zemini dane dağılım eğrisi.

Yapılan deneyler neticesinde araziden alınan zemin numunesi TS 1500/2000'e göre CH olarak sınıflandırılmış ve özgül ağırlığı 2.64 olarak hesaplanmıştır. Alınan zemin numunelerinin basınç dayanımı Demir Mühendislik Ve Zemin Etüt Laboratuvarı'nda test edilmiştir. Elde edilen tek eksenli basınç dayanımı ortalaması mevcut doğal zeminde 637 kPa olarak hesaplanmıştır. Aşağıdaki Şekil 5.3'de doğal haldeki saha zemininden numune alınımı ve serbest basma deneyi uygulanması ve Şekil 5.4'de şantiye sahasına ait bir görsel verilmiştir.



Şekil 5.3. Doğal haldeki saha zemininden numune alınımı ve serbest basma deneyi uygulanması.

Oluşturulan DSM kolonlarından 27. günde çift tüp yöntemi ile karot alınıp, kırım için laboratuvara gönderilmiştir. şekil 5.6 ve şekil 5.7’de alınan karotlara dair görseller verilmiştir.



(a)



(b)



(c)



(d)

şekil 5.6. imентoya ağırlıkça farklı oranlarda katılmış CTP boru kesme atığı ilavesi ile elde edilen karotlar (a) %0 (b) %3 (c) %6 (d) %9

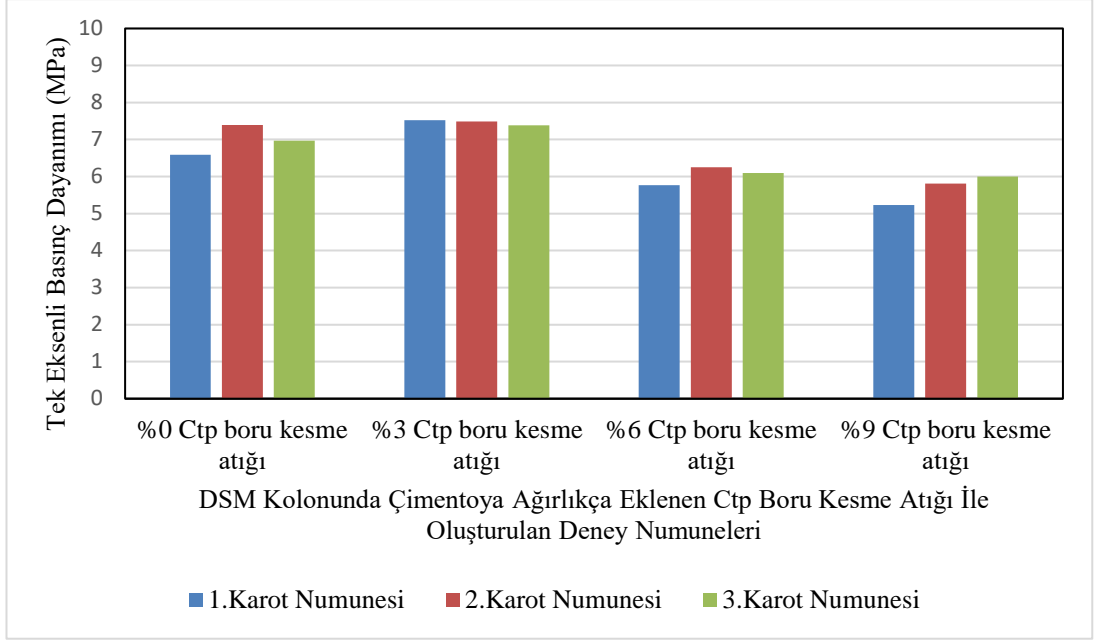


Şekil 5.7. Oluşturulan deney kolonlarına ait karot sandıklarının toplu fotoğrafı.

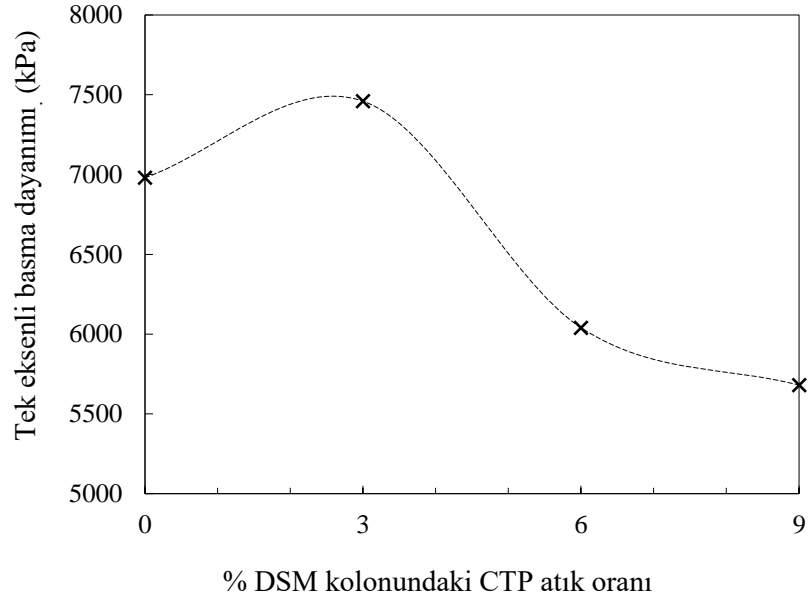
Numunelerin kırımının 28. günde yapılması için numuneler, alındığı gün laboratuvara gönderilmiştir. Karot kırımları yapılan numunelerin sonuçları aşağıdaki şekillerde verilmiştir.



Şekil 5.8. DSM kolonu karot numunesi kırımı.



Şekil 5.9. Karot numunelerinin basma dayanımlarına ait grafik.



Şekil 5.10. Karot numunelerinin ortalama basma dayanımları.

CTP katkılı kolonlarda çimento ağırlığının %3'ü oranında CTP ilave edilen kolonda dayanım en yüksek değerde olmuştur. Bu durumda dayanım CTP boru kesme atığı katılmadan oluşturulan DSM kolonuna göre de %6,88 oranında iyileşmiştir.

DSM yöntemi mekaniksel bir enerji ile karıştırma yöntemi olduğu için oluşturulan kolonlarda kullanılan enjeksiyon karışımının yoğunluğu azaltılıp ne kadar çok

karıştırılması sağlanır veya başka bir deyişle zemin parçalanıp enjeksiyon ile doyurulursa dayanımda da o denli bir artış sağlanmış olmaktadır [29]. Oluşturulan kolonlarda çimento enjeksiyonunda kullanılan çimento özgül ağırlığı 3,1 ve CTP boru kesme atığının ise 2,0 olduğundan karışıma ilave edildiğinde yoğunluğu düşürüp kolonu oluşturan delici matkabın daha iyi çalışabilmesini sağlamıştır.

6. SONUÇLAR

Dünyada ve ülkemizde inşası planlanan yapıların dere yatağına, heyelan riski bulunan alanlara, dolgu sahalarına ve kayma direnci zayıf zeminlere yapılması gerekebilmektedir. Günümüzde birçok zemin iyileştirme yöntemi mevcuttur. Bu zemin iyileştirme yöntemlerinden biri de derin karıştırma yöntemidir. Bu yöntemin kullanımını sürekli artmakta ve yapım sahası genişlemektedir.

Artan nüfus ve hızla yayılan kentselleşme, yapılara yönelik talepleri arttırmakta beraberinde çevre kirliliği neden olarak atıklar oluşturmaktadır. Atık malzemelerin çevremize ve insanlığa zararlı yanları vardır. Geri kazanılan atıklar önemli oranda ham madde ve enerji tasarrufu sağlamaktadır.

Bu çalışmada, CTP boru kesme atıklarının zemin iyileştirme yöntemlerinden derin karıştırma yönteminde kullanılarak ince daneli zeminin kayma direnci ve uygulamadaki işlenebilirliğine etkisi araştırılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar laboratuvar ve saha olmak üzere iki ana başlıkta oluşturulmuştur. Laboratuvar deney sonuçları incelendiğinde CTP boru kesme atıklarının ilavesinde sıkışmanın en yüksek olduğu numune siltli zemin birimine %3 oranında katıldığı numunede oluşmaktadır. Numunelerde sıkışma ve kohezyon değeri ilk önce artan daha sonra azalan bir yönelim göstermektedir. Kayma direnç açısı ise siltli zemin ve ona dahil edilen CTP boru kesme atığının yapısı incelendiğinde bünyesine su çekmesi ile bağlantılı olarak artış ve azalışlar gözlemlenmektedir [30]. Yapılan kompaksiyon deneyinde de gözlemlendiği gibi CTP boru kesme atığının siltli zemin numunesi ile karşılaştırıldığında optimum su muhtevasının yüksek olması bunu destekler niteliktedir. Laboratuvar deneyleri kapsamında CTP boru kesme atığının siltli zemin biriminde ağırlıkça %3 oranında CTP boru kesme atığı ilavesi yapılan numune kuru birim hacim ağırlığı olarak en yüksek değere sahip olması bu oranda daha iyi sıkıştırılabildiği tespit edilmiştir.

Arazide ise, CTP boru atıkları ikame edilerek oluşturulan kolonlarda çimento ağırlığının %3'ü oranında ilave edilen kolonda dayanım en yüksek değerine ulaşmış ve çimento enjeksiyonu ile oluşturulan DSM kolonuna göre de % 7 oranında

iyileştirme sağlandığı gözlemlenmiştir. CTP boru kesme atığı zemine göre daha düşük birim hacim ağırlıkta olduğundan oluşturulan karışımın yoğunluğu düşürüp gerecin daha iyi karışmasını sağlamıştır. Enjeksiyon karışımının yoğunluğunun düşmesi uygulamada delgi ve geri çekim aşamasında kolaylık sağlamaktadır.

Yapılan bu çalışma sonucunda CTP boru kesme atıklarının ince daneli zeminlerde iyileştirme yöntemlerine alternatif olarak katılabileceği kanaatine varılmıştır. CTP atığının DSM’de kullanılması, uzaklaştırılması yüksek maliyetli olan bu atığın tekrar kazanımı ve bertarafı ile çevre kirliliğinin önlenmesine katkı sağlayabilecektir. Bu malzemenin çimento yerine ikame edilmesi ise hem ekonomik hem de yeni bir zemin iyileştirme yöntemi olarak literatürde önemli bir katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Türkiye Cumhuriyeti Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (2015, 2 Nisan). Atık yönetimi yönetmeliği. <https://cygm.csb.gov.tr/yönetmelikler-i-440> adresinden 10 Haziran 2023 tarihinde alınmıştır.
- [2] Şengün, E. (2023). Farklı Kimyasal Katkıların Mineral Katkılı Taze ve Sertleşmiş Harç Özelliklerine Etkisi. *Politeknik Dergisi*, 1-1. DOI: 10.2339/politeknik.992277
- [3] Özçelik, Y. & Şimşek, O. (2023). Köpük Beton Üretiminde İnşaat Yıkıntı Atığı İnce Agregası Kullanımı ve Optimum Su/Çimento Oranının Belirlenmesi. *Politeknik Dergisi*, 1-1. DOI: 10.2339/politeknik.1122611
- [4] Bağcı, C., Karacif, K., Alkan, B. & Arık, H. (2023). Pirinç Kabuğu Külü Esaslı SiC Parçacıkların Geopolimer Kompozitlerde Takviye Elemanı Olarak Kullanımı. *Politeknik Dergisi*, 1-1. DOI: 10.2339/politeknik.1130886
- [5] Ferguson G. 1993. Use of self-cementing fly ashes as a soil stabilization agent, fly ash for soil improvement, *Geotechnical Special Publication*, 36, 1-15, Ed.: Sharp K.D., ASCE, New York.
- [6] Prabakar J, Dendorkar N, Morchhale RK. 2004. Influence of fly ash on strength behavior of typical soils. *Constr Build Material*, 18(4): 263-267.
- [7] Ünver E. 2015. Stabilization of problematic clay soils with fly ash. MSc Thesis, Eskişehir Osmangazi University, Institute of Natural and Applied Sciences, Eskişehir.
- [8] Ünsever, Y. S. & Diallo, M. L. (2019). Stabilization of Clay Soils Using Fly Ash. *Black Sea Journal of Engineering and Science*, 2 (3), 81-87. DOI: 10.34248/bsengineering.564166
- [9] McCarthy, G. J. and Solem-Tishmack, J. K., 1994, "Hydration Mineralogy of Cementitious Coal Combustion By-products," *Advances in Cement and Concrete*, Proceedings of an Engineering Foundation Conference, Materials Engineering Division, ASCE, Durham, NH, July 24–29
- [10] Tishmack, J. K., Olek, J., and Diamond, S., "Characterization of High-Calcium Fly Ashes and Their Potential Influence on Ettringite Formation in Cementitious Systems," *Cement, Concrete, and Aggregates*, CCAGDP, Vol. 21, No.1, June 1999, pp. 82–92.
- [11] Sivapullaiah, P. V., & Jha, A. K. (2014). Gypsum induced strength behaviour of fly ash-lime stabilized expansive soil. *Geotechnical and Geological Engineering*, 32, 1261-1273.
- [12] Sağlamer, A., 1985, "Zemin Islah Metotları, Dolgu Barajlar Yönünden Zemin Mekaniği Semineri", DSİ Genel Müdürlüğü, Adana.

- [13] Sanal şantiye. (2021, 27 Nisan). Geoteknik. <https://www.sanalsantiye.com/zemin-iyilestirme-yontemleri-2/> adresinden 12 Haziran 2023 tarihinde alınmıştır.
- [14] Tuncan, A., Yapı denetimi alanında hizmet veren yapı denetçileri ve yardımcı kontrol mühendisleri için hazırlanan meslek içi eğitim programı kurs notları, İnşaat Mühendisleri Odası, Eskişehir, 2007
- [15] Tunçdemir F. 2004. Türkiye Mühendislik Haberleri, İnşaat Mühendisleri Odası, 430- 2, Ankara
- [16] Orkun, H. O. 2013. Derin karıştırma yöntemi tasarım ve uygulaması. Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- [17] Mitchell, J.K., 1976, Stabilisation of soils for foundations of structures, Geot. Eng. Univ. California.
- [18] Beycioğlu, A., Baçyiğit, C., Subaşı, S. (2008). Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanımı ile Geri Kazanılması ve Çevresel Etkilerinin Azaltılması. Kocaeli Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümü Çevre Sorunları Sempozyumu
- [19] Pişkin, A. 2010. Polimer beton üretiminde cam tozu kullanılabilirliğinin araştırılması. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- [20] Subor. (2023, 12 Haziran). Subor ürünler. <https://www.subor.com.tr/tr/urunler> adresinden 12 Haziran 2023 tarihinde alınmıştır.
- [21] Subor. (2023, 12 Haziran). <https://www.subor.com.tr/tr> adresinden 12 Haziran 2023 tarihinde alınmıştır.
- [22] Anonim, An introduction to the deep soil mixing methods as used in geotechnical applications, U.S Federal Highway Administration, 2000
- [23] Obinna, U. (2022, 3 Ekim). Derin karıştırma yöntemi. <https://structville.com/deep-soil-mixing> adresinden 14 Haziran 2023 tarihinde alınmıştır.
- [24] TSE, TS1900-1. İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri- Bölüm 1: Fiziksel Özelliklerin Tayini, Ankara: TSE, 2006.
- [25] TSE, TS1500 “İnşaat Mühendisliğinde Zeminlerin Sınıflandırılması”, Ankara: TSE, (2000).
- [26] Kalemtaş, A. (2023, 10 Haziran). Malzeme bilimi. <https://docplayer.biz.tr/106718947-Mmm291-malzeme-bilimi.html> adresinden 15 Haziran 2023 tarihinde alınmıştır.
- [27] Genç, D., (2008). Zemin Mekaniği ve Temeller, Jeoloji Mühendisleri Odası, Ankara: TMMBO 349-770.
- [28] Şenkan, S. 2017. Cbr test sonuçlarının üç eksenli deney sonuçları ile korelasyonunun değerlendirilmesi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.

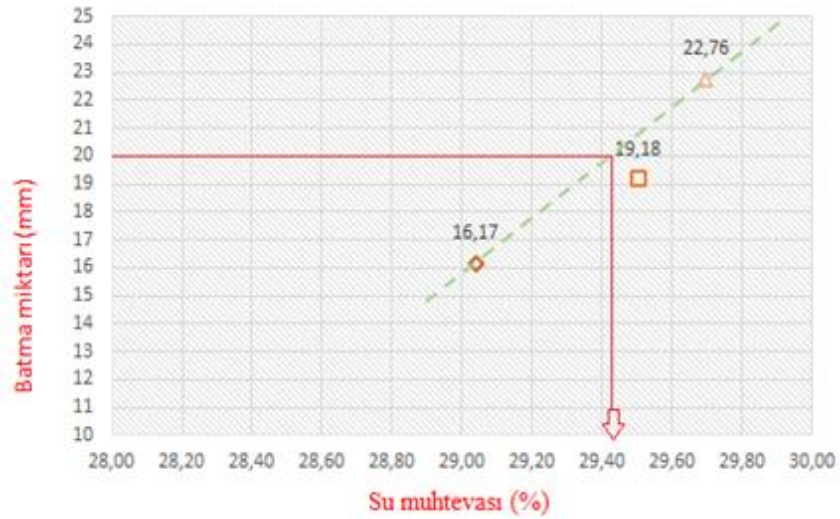
- [29] Tunçdemir F. 2004. Türkiye Mühendislik Haberleri, İnşaat Mühendisleri Odası, 430- 2, Ankara
- [30] Kenan, A. 2018. Bazalt fiber katkısının siltli zeminlerin kayma direnci parametrelerine etkisi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.

EKLER

Ek A. Numunelerde yapılan konik penetrometre sonuçları aşağıdaki gibidir:

Tablo A.1. Silt numune konik penetrometre deney verisi

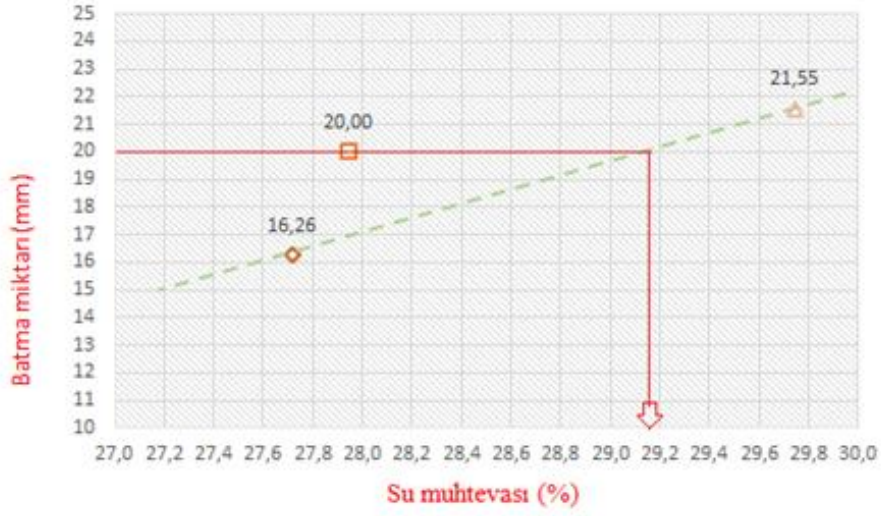
Silt	Kap No	Kap + Örnek	Kap + Örnek Kuru	Kap Ağırlığı	Batma (mm)
1	210	106,723	97,536	65,9	16,17
2	574	87,03	79,261	52,927	19,18
3	440	75,189	68,76	47,1	22,76



Şekil A.1. Siltli numune konik penetrometre sonucu

Tablo A.2. Silt numuneye ağırlığınca %1 oranında CTP boru kesme atığı eklendiği numune konik penetrometre verisi

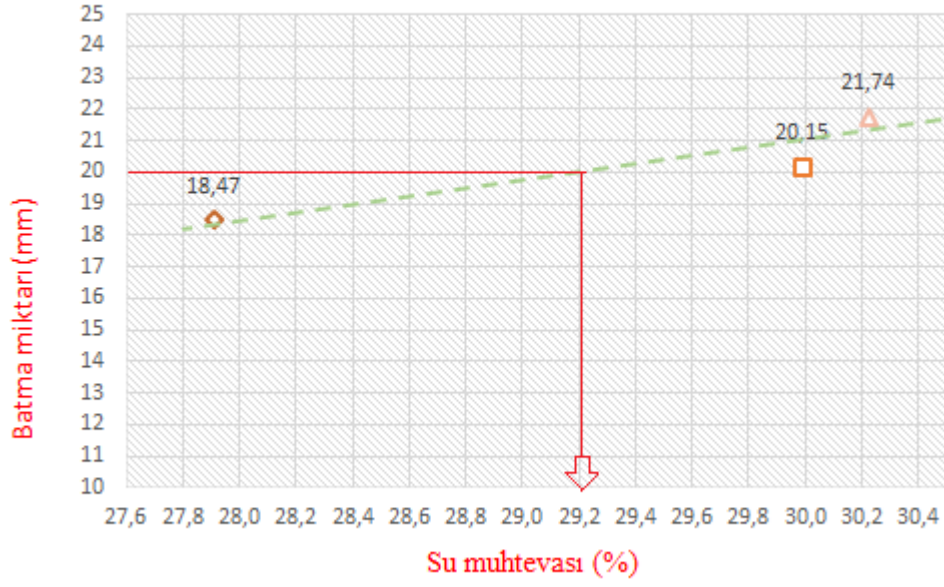
Silt + %1 CTP boru kesme atığı	Kap No	Kap + Örnek	Kap + Örnek Kuru	Kap Ağırlık	Batma(mm)
1	720	70,465	68,328	60,618	16,26
2	743	67,641	65,103	56,126	20
3	732	70,324	66,769	54,818	21,55



Şekil A.2. Silt numuneye ağırlığınca %1 oranında CTP boru kesme atığı ilave edilmiş numune konik penetrometre verisi

Tablo A.3. Silt numuneye ağırlığınca %2 oranında CTP boru kesme atığı eklendiği numune konik penetrometre verisi

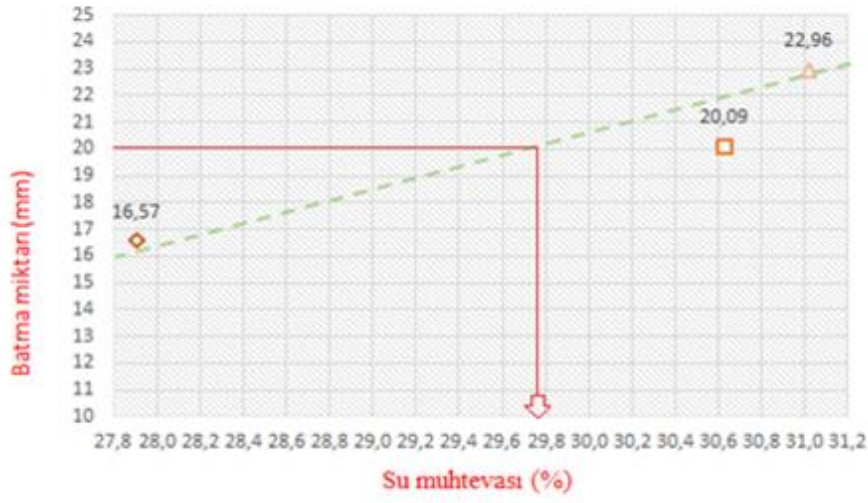
Silt + %2 CTP boru kesme atığı	Kap No	Kap + Örnek	Kap + Örnek Kuru	Kap Ağırlık	Batma (mm)
1	596	58,593	55,767	45,641	18,47
2	725	65,547	63,019	54,589	20,15
3	741	70,334	66,775	55	21,74



Şekil A.3. Silt numuneye ağırlığınca %2 oranında CTP boru kesme atığı ilave edilmiş numune konik penetrometre verisi

Tablo A.4. Silt numuneye ağırlığınca %3 oranında CTP boru kesme atığı eklendiği numune konik penetrometre verisi

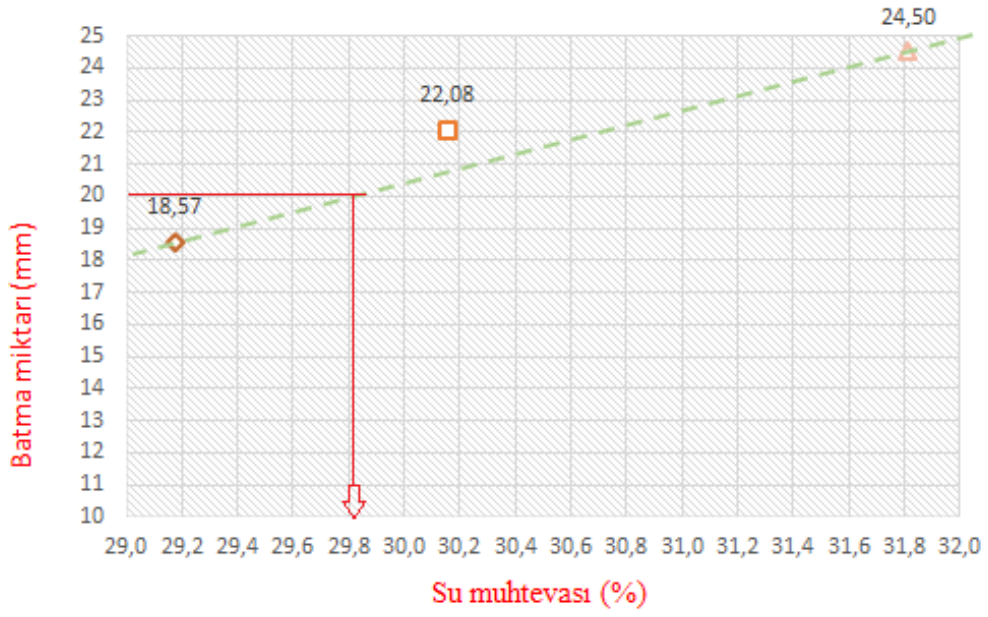
Silt + %3 CTP boru kesme atığı	Kap No	Kap + Örnek	Kap + Örnek Kuru	Kap Ağırlık	Batma (mm)
1	595	61,647	59,254	50,908	16,57
2	432	78,909	76,398	68,2	20,09
3	586	74,138	70,733	59,756	22,96



Şekil A.4. Silt numuneye ağırlığınca %3 oranında CTP boru kesme atığı ilave edilmiş numune konik penetrometre verisi

Tablo A.5. Silt numuneye ağırlığınca %4 oranında CTP boru kesme atığı eklendiği numune konik penetrometre verisi

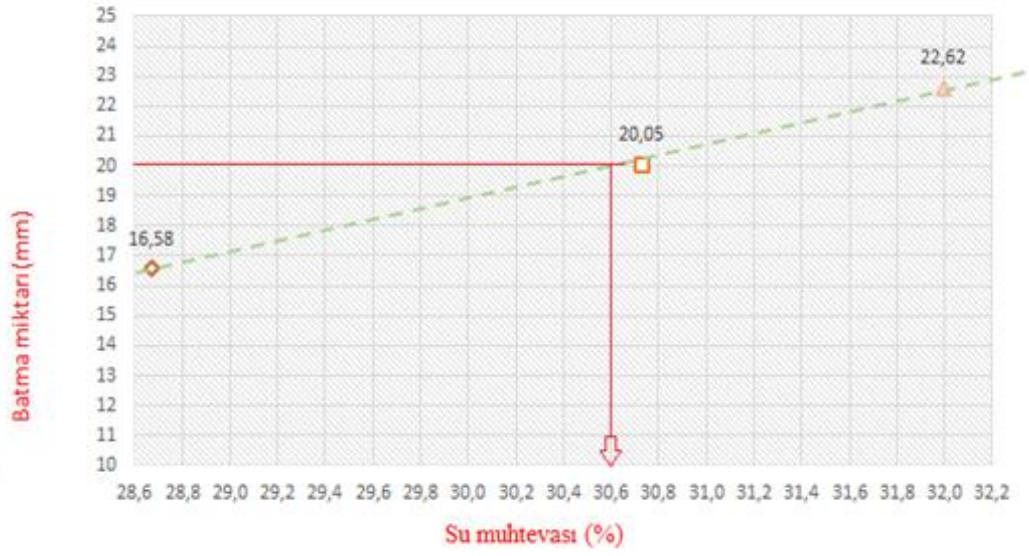
Silt + %4 CTP boru kesme atığı	Kap No	Kap + Örnek	Kap + Örnek Kuru	Kap Ağırlık	Batma (mm)
1	23	67,998	65,215	55,676	18,57
2	27	67,049	63,487	51,675	22,08
3	86	74,222	69,616	55,138	24,5



Şekil A.5. Silt numuneye ağırlığınca %4 oranında CTP boru kesme atığı ilave edilmiş numune konik penetrometre verisi

Tablo A.6. Silt numuneye ağırlığınca %5 oranında CTP boru kesme atığı eklendiği numune konik penetrometre verisi

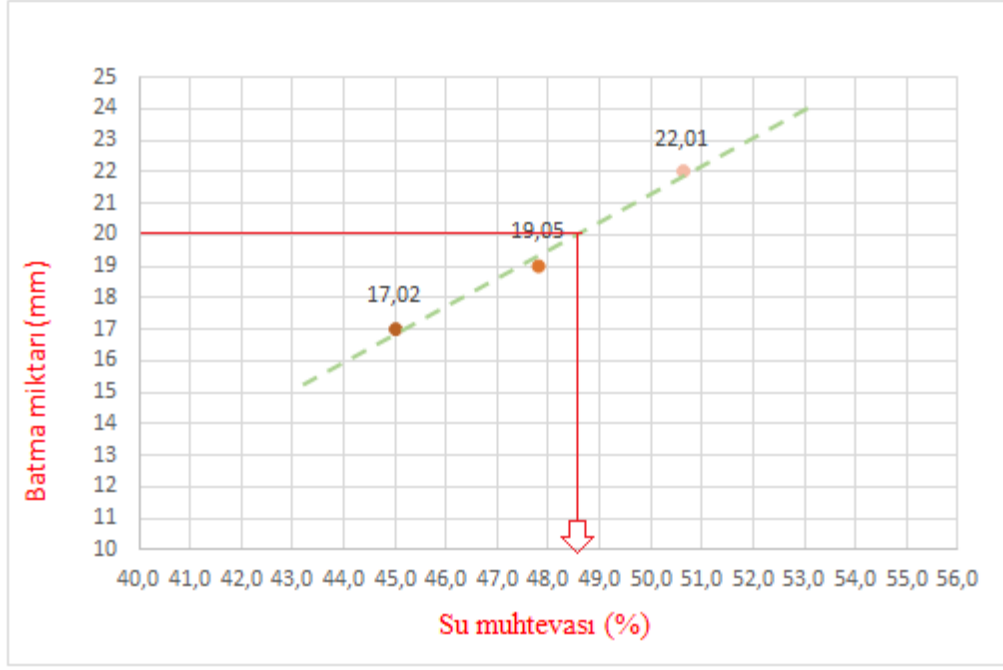
Silt + %5 CTP boru kesme atığı	Kap No	Kap + Örnek	Kap + Örnek Kuru	Kap Ağırlık	Batma (mm)
1	47	58,907	56,851	49,681	16,58
2	238	68,714	65,291	54,153	20,05
3	584	75,892	71,903	59,435	22,62



Şekil A.6. Silt numuneye ağırlığınca %5 oranında CTP boru kesme atığı ilave edilmiş numune konik penetrometre verisi

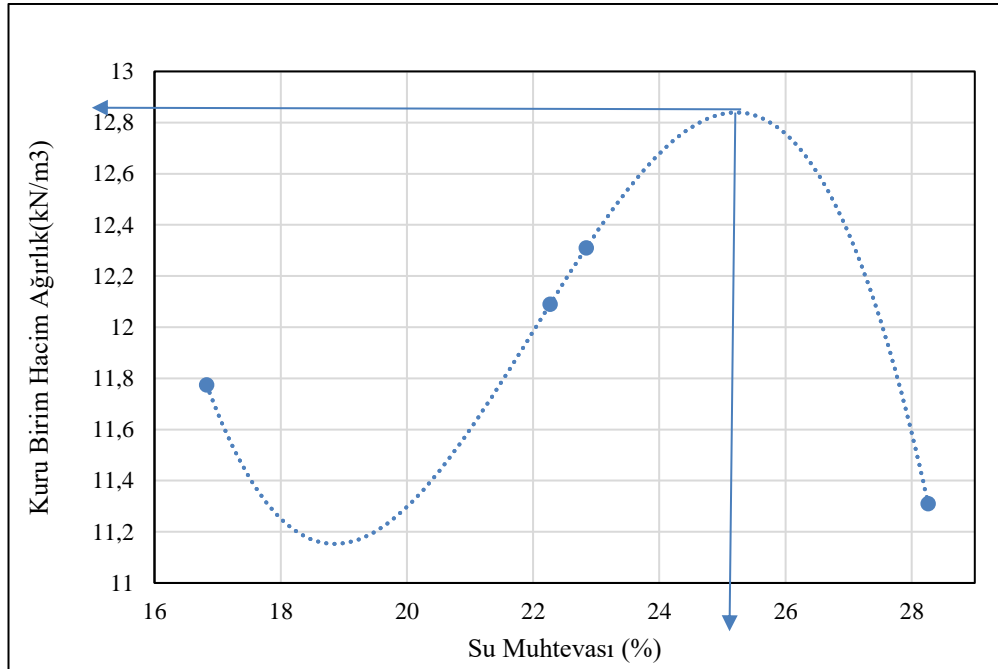
Tablo A.7. CTP boru kesme atığı konik penetrometre verisi

CTP boru kesme atığı	Kap No	Kap + Örnek	Kap + Örnek Kuru	Kap Ağırlık	Batma (mm)
1	726	95,139	82,531	54,47	17,02
2	37	116,573	96,621	54,881	19,65
3	1	97,426	83,21	55,133	22,01

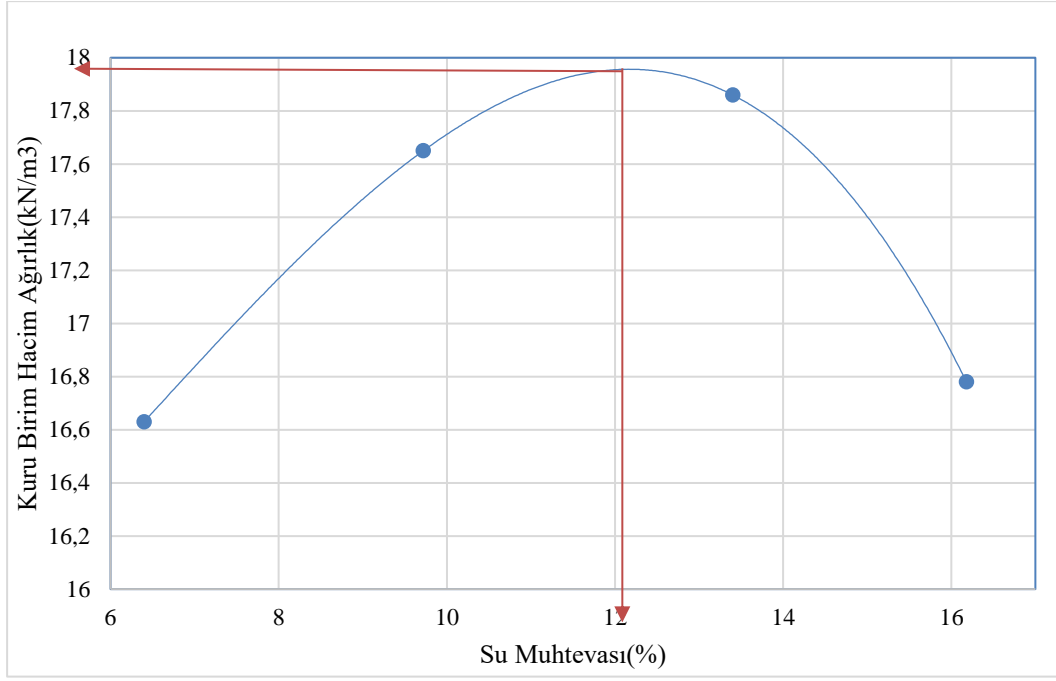


Şekil A.7. CTP boru kesme atığı konik penetrometre verisi

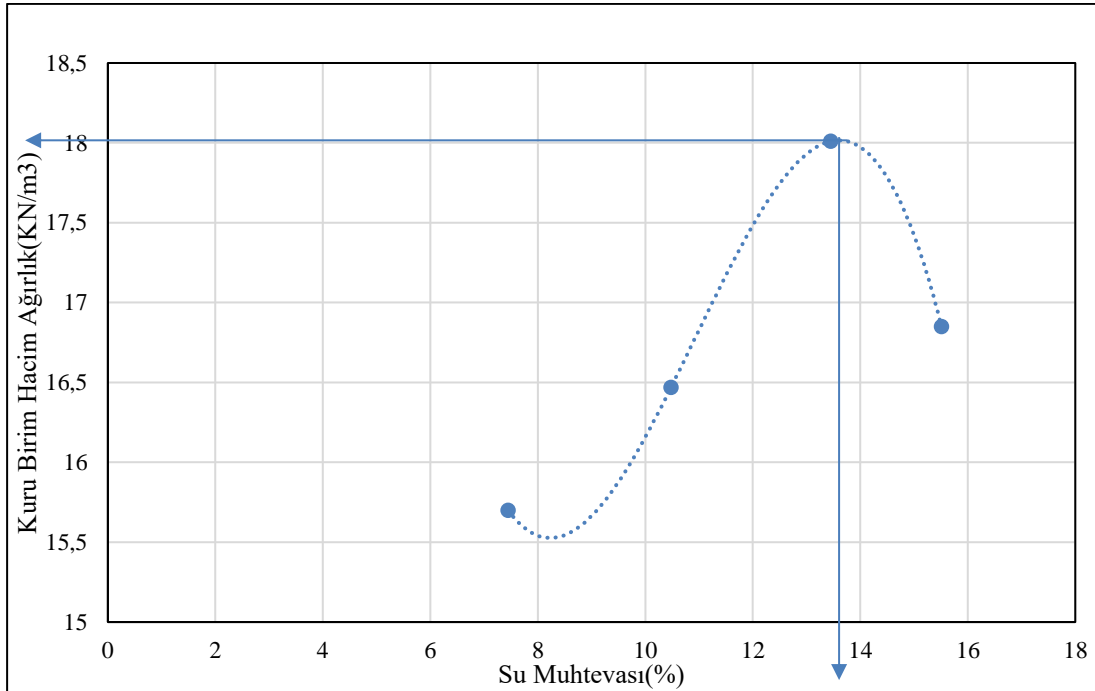
Numunelerde yapılan kompaksiyon deneyi sonucu kompaksiyon eğrileri aşağıdaki gibidir:



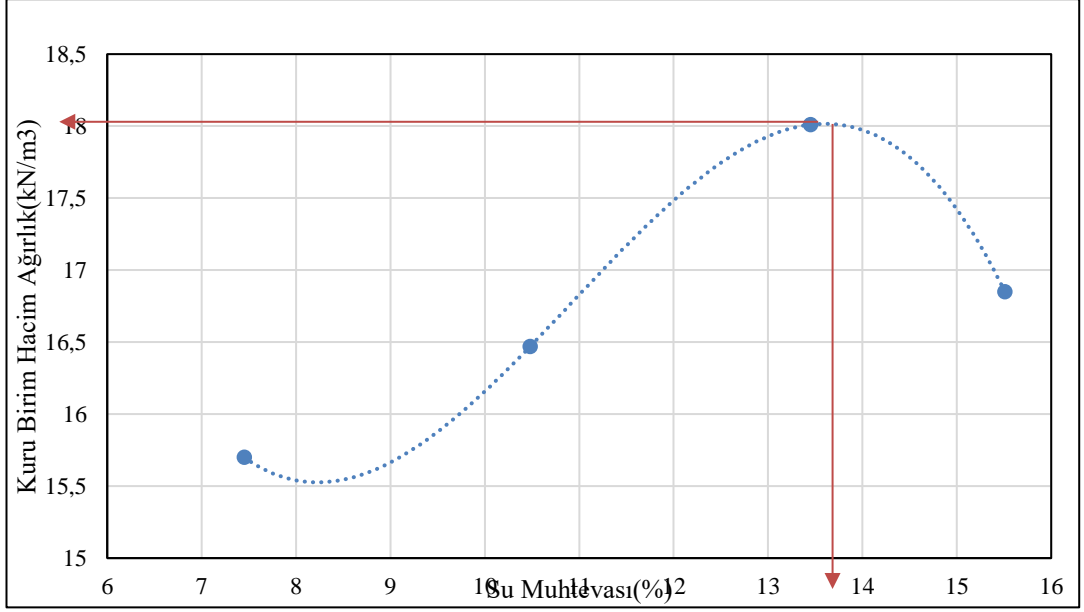
Şekil A.8. CTP boru kesme atığı kompaksiyon deney sonucu



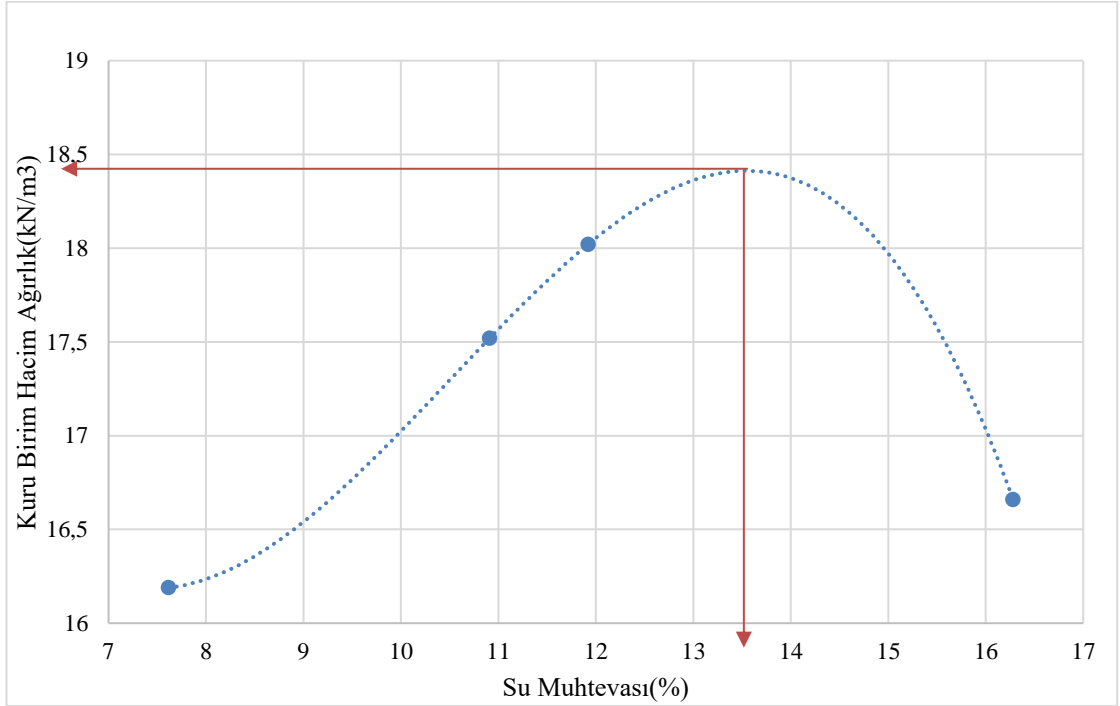
Şekil A.9. Siltli zeminin kompaksiyon deney sonucu



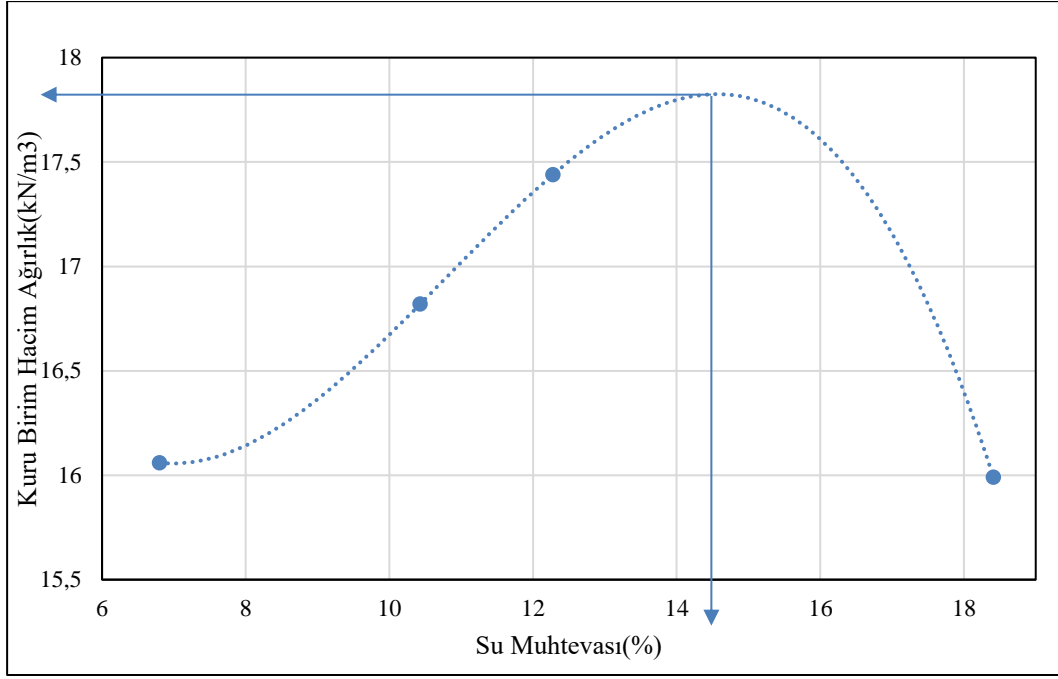
Şekil A.10. Silt numuneye ağırlığınca %1 oranında CTP boru kesme atığı ilave edilmiş kompaksiyon deney sonucu



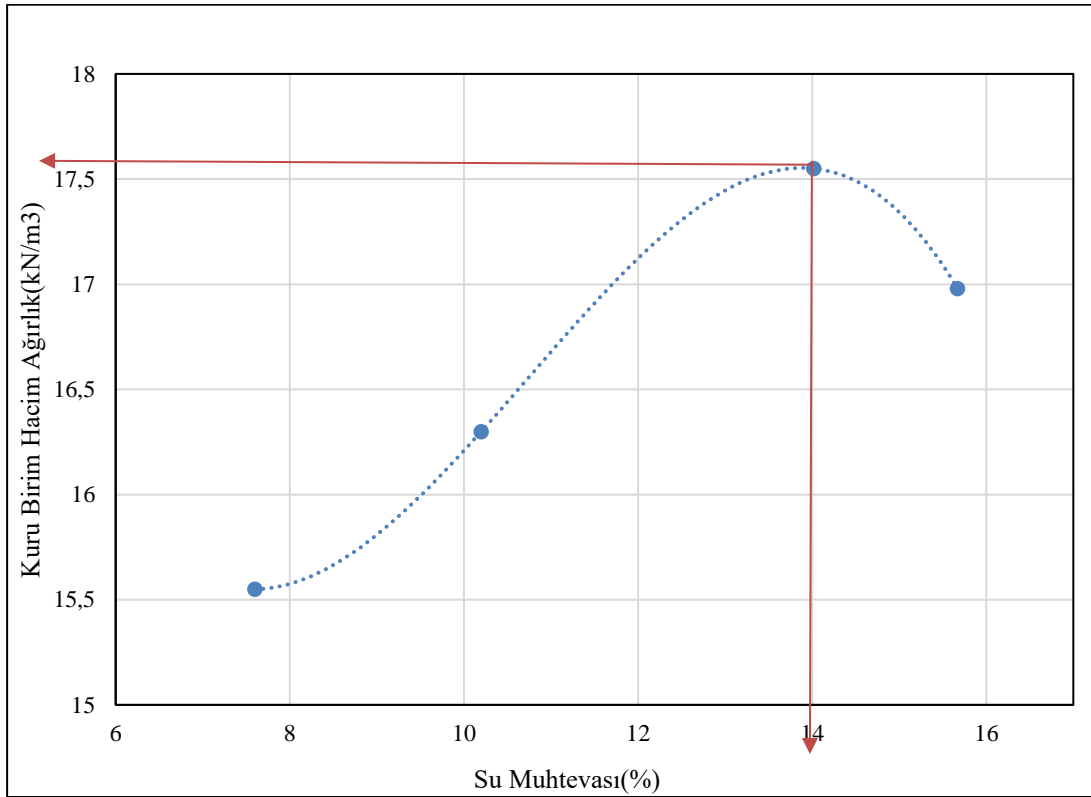
Şekil A.11. Silt numuneye ağırlığınca %2 oranında CTP boru kesme atığı ilave edilmiş kompaksiyon deney sonucu



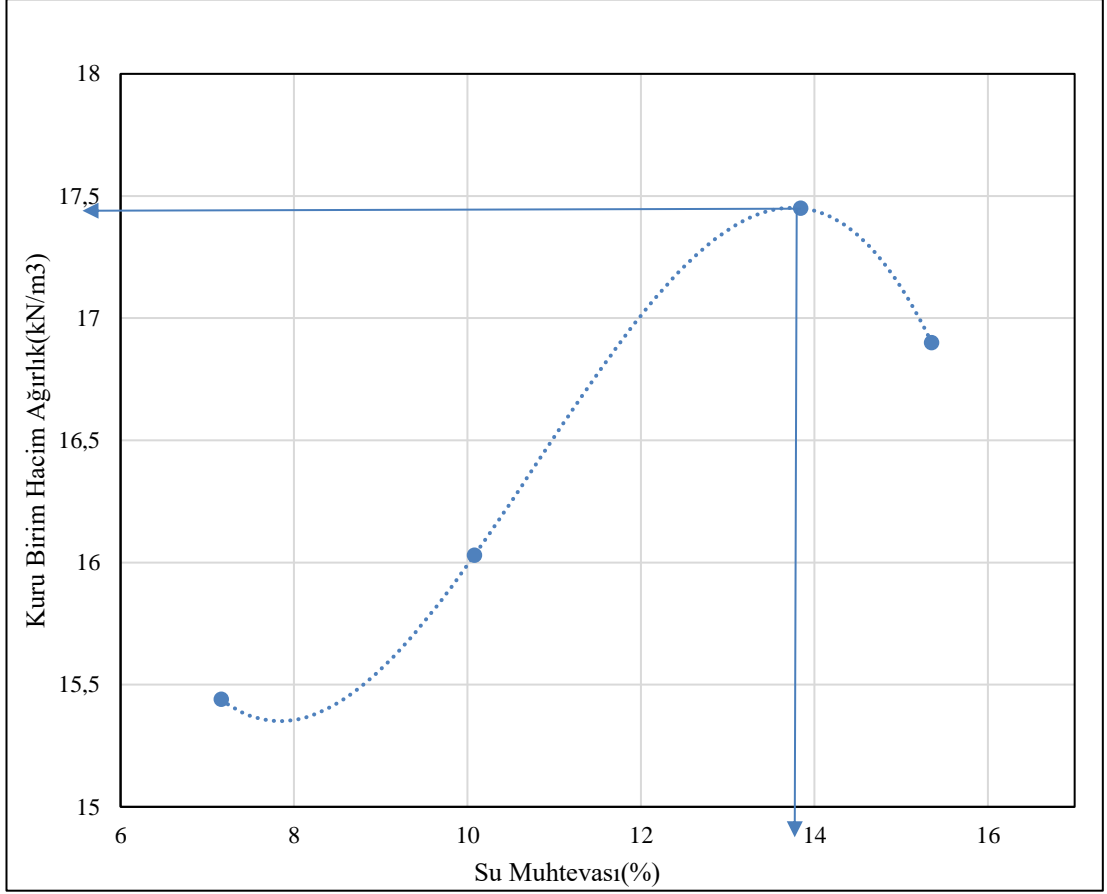
Şekil A.12. Silt numuneye ağırlığınca %3 oranında CTP boru kesme atığı ilave edilmiş kompaksiyon deney sonucu



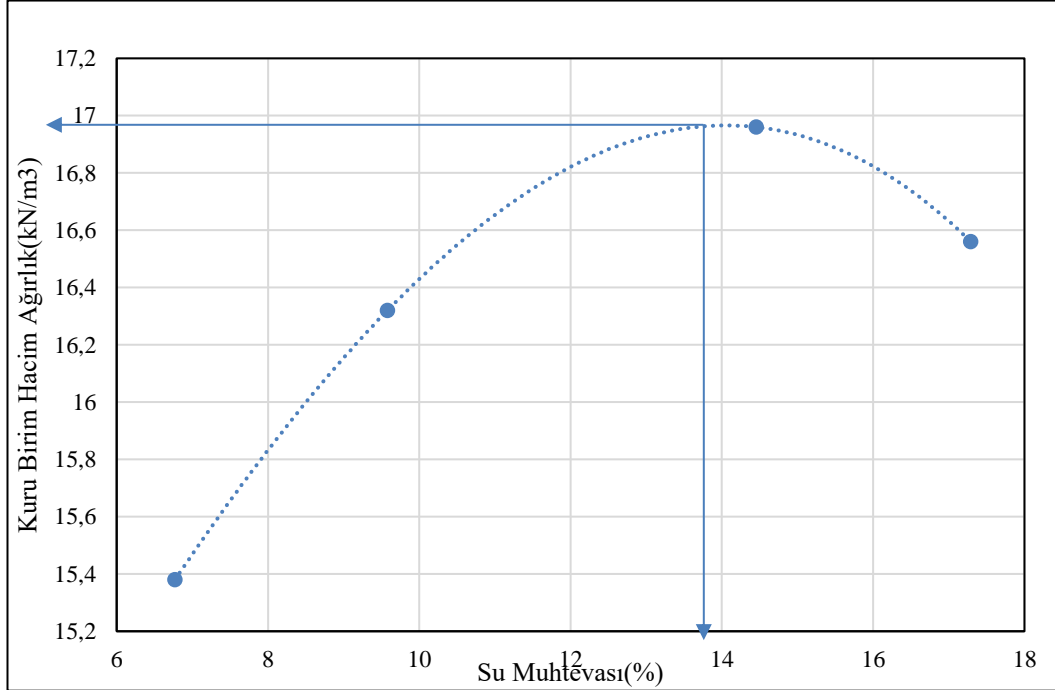
Şekil A.13. Silt numuneye ağırlığınca %4 oranında CTP boru kesme atığı ilave edilmiş kompaksiyon deney sonucu



Şekil A.14. Silt numuneye ağırlığınca %5 oranında CTP boru kesme atığı ilave edilmiş kompaksiyon deney sonucu



Şekil A.15. Silt numuneye ağırlığınca %6 oranında CTP boru kesme atığı ilave edilmiş kompaksiyon deney sonucu



Şekil A.16. Silt numuneye ağırlığınca %8 oranında CTP boru kesme atığı ilave edilmiş kompaksiyon deney sonucu

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad :Murat SÜMBÜL

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2019, Sakarya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü
- **Yüksek Lisans** :2019- Devam, Sakarya Üniversite, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Geoteknik Bilim Dalı

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2019-2021 yılları arasında Avrasya Zemin'de şantiye şefi olarak çalıştı.
- 2021-Devam İksa Mühendislikte şantiye şefi pozisyonunda çalışmakta.

DİĞER ESERLER:

- 2209-B SANAYİYE YÖNELİK LİSANS ARAŞTIRMA PROJELERİ DESTEKLEME PROGRAMI (CTP BORU KESME ATIKLARININ POLİMER BETON İÇERSİNDE KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI- MAYIS 2019)