

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

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**DONMA VE ÇÖZÜLMEMEYE MARUZ KALAN
ZEMİNLERİN BAZI MÜHENDİSLİK
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Songül ERTÜRK

YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

**OCAK 2012
DÜZCE**



**DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**DONMA VE ÇÖZÜLMEME MARUZ KALAN
ZEMİNLERİN BAZI MÜHENDİSLİK
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Songül ERTÜRK

YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

**OCAK 2012
DÜZCE**

Songül ERTÜRK tarafından hazırlanan DONMA VE ÇÖZÜLMEMEYE MARUZ KALAN ZEMİNLERİN BAZI MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Ercan ÖZGAN
Tez Danışmanı, Yapı Eğitimi ABD

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Yapı Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Ahmet Celal APAY
(İnşaat Mühendisliği, Sakarya Üniversitesi)

Doç. Dr. Ercan ÖZGAN
(Yapı Eğitimi, Düzce Üniversitesi)

Yrd. Doç. Dr. Yılmaz KOÇAK
(İnşaat Mühendisliği , Düzce Üniversitesi)

Tarih: 16 / 01 / 2012

Bu tez ile Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Doç. Dr. Haldun MÜDERRİSOĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Songül Ertürk

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmamda beni destekleyen ve yönlendiren danışman hocam Sayın Doç. Dr. Ercan ÖZGAN' a teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Çalışmamın uygulama kısmına yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Sercan SERİN' e ve Arş. Gör. Şebnem SARGIN' a, ayrıca arazi çalışmalarına yardımcı olan Özyapıcı Mühendislik ve çalışanlarına teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmam boyunca maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen ailem ve arkadaşlarım Betül İŞBİLİR ve Suna NAS' a çok teşekkür ederim.

Yüksek Lisans eğitimim boyunca değerli katkılarından dolayı Yapı Eğitimi Anabilim dalı öğretim üyelerine ve çalışmamı destekleyen Düzce Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi Komisyon Başkanlığı'na (DÜBAP) teşekkür ederim.

Ocak 2012

Songül ERTÜRK

ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİL LİSTESİ	v
ÇİZELGE LİSTESİ.....	vii
SEMBOL LİSTESİ	ix
ÖZ	x
ABSTRACT	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL KISIMLAR	4
2.1. DONMA VE ÇÖZÜLMENİN ZEMİNE ETKİLERİ	4
2.2. DONMA VE ÇÖZÜLMENİN TOPRAK VE AGREGA STABİLİTESİ ÜZERİNE ETKİSİ.....	9
2.3. DONMA VE ÇÖZÜLMENİN ZEMİNİN HACİM ARTIŞINA ETKİSİ	12
2.4. ZEMİNLERDE OTURMA (ÇÖKME) KAVRAMI	14
2.4.1. Farklı Oturma Kavramı.....	15
2.4.1.4. Zemin Profilindeki Değişmeler.....	16
2.4.1.5. Yapısal Yüklerdeki Değişimler.....	16
2.4.1.6. Taşıma Gücü İle Kontrol Edilen Tasarım	17
2.4.1.7. Yapım Toleransı	17
3. ZEMİN NUMUNELERİNİN YAPISAL ANALİZLERİ	18
3.4. TARAMALI ELEKTRON MİKROSKOBU (SCANNING ELEKTRON MICROSCOPE-SEM) ANALİZLERİ	18
3.4.1. SEM İçin Numune Hazırlanması	18
3.4.2. SEM' in Çalışma Prensipleri.....	19

3.5.	ENERJİ AÇILIMLI X-IŞINI SPEKTROMETRESİ (ENERGY DISPERSİVE X-RAY-EDX) ANALİZİ	19
4.	MATERYAL VE YÖNTEM.....	21
4.4.	MATERYAL	21
4.4.1.	Zemin Numunelerinin Alınması	21
4.4.2.	Numunelerin Alındığı Bölgenin Jeolojisi Ve Yer Altı Suyu Durumu	21
4.5.	YÖNTEM	22
4.5.1.	Zemin Örneklerinin Alınması ve Deneye Hazırlanması.....	22
4.5.2.	Laboratuar Deneyleri.....	22
4.5.2.4.	<i>Koni Düşürme (Penetrasyon) İle Likit Limitin Tayini.....</i>	23
4.5.2.5.	<i>Plastik Limit Deneyi</i>	26
4.5.2.6.	<i>Rötre (Büzülme) Deneyi.....</i>	26
4.5.2.7.	<i>Özgül Ağırlık Deneyi.....</i>	26
4.5.2.8.	<i>Elek Analizi Deneyi</i>	27
4.5.2.9.	<i>Hidrometre Deneyi</i>	27
4.5.2.10.	<i>Zeminlerin sınıflandırılması</i>	28
4.5.2.11.	<i>Konsolidasyon Özelliklerinin Tayini.....</i>	28
4.5.2.12.	<i>Üç Eksenli Basınç Dayanımı Tayini</i>	28
4.5.2.13.	<i>Donma Çözülme Deneyi</i>	30
4.5.3.	Zemin Numunelerinin Yapısal Analizleri	32
4.5.3.4.	<i>SEM Analizleri</i>	32
4.5.3.5.	<i>EDX Analizi</i>	32
4.5.3.6.	<i>İstatistiksel Analiz</i>	34
5.	BULGULAR VE DEĞERLENDİRME	34
5.4.	LİKİT LİMİT DENEYLERİ	34
5.5.	PLASTİK LİMİT DENEYİ	37

5.6. RÖTRE (BÜZÜLME) DENEYİ	38
5.7. ÖZGÜL AĞIRLIK DENEYİ	38
5.8. ELEK ANALİZİ DENEYİ.....	39
5.9. HİDROMETRE DENEYİ	42
5.10. KONSOLİDASYON DENEYİ	44
5.11. ÜÇ EKSENLİ BASINÇ DAYANIMI TAYİNİ	48
5.12. ZEMİNLERİN SINIFLANDIRILMASI	51
5.13. SEM ANALİZLERİ	59
5.14. EDX ANALİZLERİ.....	63
5.15. DENEY SONUÇLARININ İSTATİSTİKSEL ANALİZLERİ.....	66
5.15.1. Koni Penetrasyon Deneyi	67
5.15.2. Plastik Limit Deneyi.....	71
5.15.3. Rötire (Büzülme) Limiti Deneyi.....	73
5.15.4. Özgül Ağırlık.....	77
5.15.5. Elek Analizi	80
5.15.6. Hidrometre Deneyi.....	83
5.15.7. Üç Eksenli Basınç Dayanımı Deneyi.....	87
5.15.8. Konsolidasyon Deneyi	90
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	94
KAYNAKLAR	98
ÖZGEÇMİŞ	102

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1	: Don etkisi nedeniyle zarar görmüş olan bir yol kaplaması	12
Şekil 2.2	: Donmuş zeminde farklı buz tabakaları arasındaki ilişkiyi gösteren diyagram	12
Şekil 2.3	: Pisa Kulesi	13
Şekil 2.4	: Farklı oturma parametrelerinin tanımı	13
Şekil 2.5	: Taramalı elektron mikroskobu	15
Şekil 2.6	: Demirin EDX spekturumu	16
Şekil 2.7	: Ni bazlı alaşımın EDX spektrumu.....	19
Şekil 3.1	: Taramalı elektron mikroskobu	20
Şekil 3.2	: Demirin EDX spektrumu	20
Şekil 3.3	: Ni bazlı alaşımın EDX spektrumu	24
Şekil 4.1	: Arazide yapılan sondaj çalışması	24
Şekil 4.2	: Arazide zeminden numunenin çıkartılması	25
Şekil 4.3	: Arazide zeminden çıkarılan numunenin parafınle kaplanması	25
Şekil 4.4	: Arazide zeminden çıkarılan silindirik tüpün başlıktan ayrılması	35
Şekil 5.1	: 1 m derinlikten alınan numunelerin DÇÖ likit limit grafiği	35
Şekil 5.2	: 1 m derinlikten alınan numunelerin DÇS likit limit grafiği	36
Şekil 5.3	: 2 m derinlikten alınan numunelerin DÇÖ likit limit grafiği	36
Şekil 5.4	: 2 m derinlikten alınan numunelerin DÇS likit limit grafiği	41
Şekil 5.5	: 1 m derinlikten alınan numunelerin DÇÖ ve sonrası granülometri eğrisi	41
Şekil 5.6	: 2 m derinlikten alınan numunelerin DÇÖ ve sonrası granülometri eğrisi	43
Şekil 5.7	: 1 m derinlikten alınan numunelerin DÇÖ ve sonrası için granülometri eğrisi	43
Şekil 5.8	: 2 m derinlikten alınan numunelerin DÇÖ ve sonrası için granülometri eğrisi	46
Şekil 5.9	: 1 m derinlikten alınan zemin numuneleri için DÇÖ konsolidasyon grafiği.....	47
Şekil 5.10	: 1 m derinlikte DÇS üç eksenli basınç dayanımı grafiği	47
Şekil 5.11	: 2 m derinlikten alınan zemin numuneleri için DÇ öncesi konsolidasyon grafiği	48
Şekil 5.12	: 2 m derinlikte DÇS üç eksenli basınç dayanımı grafiği	49
Şekil 5.13	: 1 m derinlikten alınan numuneler için DÇÖ üç eksenli basınç dayanımı grafiği	50
Şekil 5.14	: 1 m derinlikten alınan numuneler için DÇS üç eksenli basınç dayanımı grafiği	50
Şekil 5.15	: 2 m derinlikten alınan numuneler için DÇÖ üç eksenli basınç dayanımı grafiği	50

Şekil 5.16	: 2 m derinlikten alınan numuneler için DÇS üç eksenli basınç dayanımı grafiği	53
Şekil 5.17	: 1 m derinlikten alınan numuneler için DÇ öncesi ve sonrası için üçgen sınıflandırma	59
Şekil 5.18	: 2 m derinlikten alınan numuneler için DÇÖ ve sonrası için üçgen sınıflandırma	54
Şekil 5.19	: AASHO sınıflandırması	57
Şekil 5.20	: Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi (USCS)'nin ana şeması	58
Şekil 5.21	: Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi (USCS)'nin akış şeması	59
Şekil 5.22	: 100 kat büyütülmüş zemin numunelerinin görünümü (derinlik: 1 m)	60
Şekil 5.23	: 1000 kat büyütülmüş zemin numunelerinin görünümü (derinlik: 1 m)...	60
Şekil 5.24	: 10000 kat büyütülmüş zemin numunelerinin görünümü (derinlik: 1 m).	61
Şekil 5.25	: 50000 kat büyütülmüş zemin numunelerinin görünümü (derinlik: 1 m).	61
Şekil 5.26	: 100 kat büyütülmüş zemin numunelerinin görünümü (derinlik: 2 m)	62
Şekil 5.27	: 1000 kat büyütülmüş zemin numunelerinin görünümü (derinlik: 2 m)...	62
Şekil 5.28	: 10000 kat büyütülmüş zemin numunelerinin görünümü (derinlik: 2 m).	62
Şekil 5.29	: 50000 kat büyütülmüş zemin numunelerinin görünümü (derinlik: 2 m).	63
Şekil 5.30	: 1 metre derinlikten alınan numuneler için DÇ öncesi EDX spektrumu	64
Şekil 5.31	: 1 metre derinlikten alınan numuneler için DÇS EDX spektrumu.....	64
Şekil 5.32	: 2 metre derinlikten alınan numuneler için DÇ öncesi EDX spekturumu	65
Şekil 5.33	: 2 metre derinlikten alınan numuneler için DÇ sonrası EDX spekturumu	66
Şekil 5.34	: Koni penetrasyon deneyi su muhtevaları değerleri	69
Şekil 5.35	: Plastik limit deneyi su muhtevaları değerleri	72
Şekil 5.36	: Rötire limiti büzülme oranı değerleri	76
Şekil 5.37	: Özgül ağırlık deneyi değerleri	79
Şekil 5.38	: Elek analizi toplam (%) geçen değerleri ortalaması	82
Şekil 5.39	: Hidrometre deneyi toplam (%) geçen değerleri	86
Şekil 5.40	: Üç eksenli basınç dayanımı gerilme değerleri ortalaması	89
Şekil 5.41	: Konsolidasyon deneyinden elde edilen çökme miktarlarının ortalama değerleri	93

Çizelge 2.1 : Zemin türlerinin dona karşı olan hassasiyeti	14
Çizelge 4.1 : DÇ döngüsü	31
Çizelge 5.1 : Koni penetrasyon su muhtevası ve koni derinliği değerleri	34
Çizelge 5.2 : Plastik limit deneyi için su içeriği değerleri	37
Çizelge 5.3 : Büzülme limiti için su muhtevası ve büzülme oranları değerleri	38
Çizelge 5.4 : Özgül ağırlık değerleri	39
Çizelge 5.5 : Elek analizi toplam geçen değerleri.....	40
Çizelge 5.6 : Hidrometre tane çapları ve toplam geçen değerleri	42
Çizelge 5.7 : Konsolidasyon deneyinde ölçülen çökme miktarları	45
Çizelge 5.8 : Üç eksenli basınçta gerilme değerleri	49
Çizelge 5.9 : DÇÖ ve sonrası için 1 m derinlikten alınan zeminin tane çapına göre sınıflandırılması.....	51
Çizelge 5.10 : DÇÖ ve sonrası için 2 m derinlikten alınan zeminin tane çapına göre sınıflandırılması	52
Çizelge 5.11 : DÇÖ ve sonrası için 1 m derinlikten alınan numunelerin düzeltilmiş yüzdeleri	53
Çizelge 5.12 : DÇÖ ve sonrası için 2 m derinlikten alınan numunelerin düzeltilmiş yüzdeleri	54
Çizelge 5.13 : Elek analizi toplam geçen değerleri.....	55
Çizelge 5.14 : DÇÖ ve sonrasına ait değerler.....	56
Çizelge 5.15 : DÇÖ ve sonrasına ait değerler.....	57
Çizelge 5.16 : Elek analizi toplam (%) geçen değerleri.....	58
Çizelge 5.17 : Koni penetrasyon deneyi su muhtevaları için tanımlayıcı istatistik değerleri	67
Çizelge 5.18 : Koni penetrasyon deneyi için Varyans homojenlik test analizi	68
Çizelge 5.19 : Koni penetrasyon deneyi için Varyans analiz sonucu	68
Çizelge 5.20 : Duncan çoklu karşılaştırma testi	69
Çizelge 5.21 : Koni penetrasyon deneyi için korelasyon analizi	70
Çizelge 5.22 : Plastik limit deneyi su muhtevaları için tanımlayıcı istatistik değerleri..	71
Çizelge 5.23 : Plastik limit deneyi için Varyans homojenlik test analizi	71
Çizelge 5.24 : Plastik limit deneyi için Tamhane T2 çoklu karşılaştırma testi	72
Çizelge 5.25 : Plastik limit deneyi için korelasyon analizi sonuçları	73
Çizelge 5.26 : Rötire limiti büzülme oranları için tanımlayıcı istatistik değerleri.....	74
Çizelge 5.27 : Rötire limiti için Varyans homojenlik test analizi	74
Çizelge 5.28 : Rötire limiti için Varyans analiz sonucu	75
Çizelge 5.29 : Rötire limiti için Duncan çoklu karşılaştırma testi	75
Çizelge 5.30 : Rötire limiti için korelasyon analizi sonuçları	76
Çizelge 5.31 : Özgül ağırlık deneyi sonuçları için tanımlayıcı istatistik değerleri.....	77
Çizelge 5.32 : Özgül ağırlık için Varyanslik homojen test analizi	77
Çizelge 5.33 : Özgül ağırlık için Varyans analiz sonuçları	77
Çizelge 5.34 : Özgül ağırlık için korelasyon analizi.....	79
Çizelge 5.35 : Elek analizi toplam (%) geçen değerleri için tanımlayıcı istatistikler	80
Çizelge 5.36 : Elek analizi için Varyans homojenlik testi	81
Çizelge 5.37 : Elek analizi için Varyans analizi	81
Çizelge 5.38 : Elek analizi için korelasyon analizi	82

Çizelge 5.39 : Hidrometre deneyi toplam (%) geçen için tanımlayıcı istatistik değerleri	83
Çizelge 5.40 : Hidrometre deneyi için Varyans homojenlik test analizi	84
Çizelge 5.41 : Hidrometre deneyi Varyans analizi sonucu.....	84
Çizelge 5.42 : Hidrometre deneyi için Tamhane T2 çoklu karşılaştırma test sonucu	88
Çizelge 5.43 : Hidrometre deneyi için korelasyon analiz sonuçları	86
Çizelge 5.44 : Üç eksenli basınç dayanımı gerilme değerleri için tanımlayıcı istatistikler	87
Çizelge 5.45 : Üç eksenli basınç Varyans homojenlik test analizi	88
Çizelge 5.46 : Üç eksenli basınç Varyans analiz sonucu	88
Çizelge 5.47 : Üç eksenli basınç için korelasyon analizi	89
Çizelge 5.48 : Konsolidasyon deneyi çökme miktarları için tanımlayıcı istatistikler	90
Çizelge 5.49 : Konsolidasyon deneyi için Varyans homojenlik test analizi.....	91
Çizelge 5.50 : Konsolidasyon deneyi için Varyans analizi sonucu	91
Çizelge 5.51 : Konsolidasyon deneyi için Tamhane T2 çoklu karşılaştırma test sonuçları.....	92
Çizelge 5.52 : Konsolidasyon deneyi için için korelasyon analizi sonucu	93

KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Kısaltmalar	Açıklama
c	Kohezyon katsayısı
Cc	Eğrilik katsayısı
Cu	Üniformluk katsayısı
DÇ	Donma-çözülme
DÇÖ	Donma-çözülme öncesi
DÇS	Donma-çözülme sonrası
EDX	Enerji Açılımlı X-ışını Spektrometresi
NaPO₃	Sodyum heksametafosfat
NP	Non-plastik
SEM	Taramalı elektron mikroskop
W_L	Likit limit

**DONMA VE ÇÖZÜLMEME MARUZ KALAN ZEMİNLERİN BAZI
MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Songül ERTÜRK

**DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Ocak 2012

ÖZ

Bir yapının inşasında göz önünde bulundurulması gereken en önemli hususlardan biri de yapının inşa edileceği zeminin durumu hakkında yeterli ve doğru bilgi elde edebilmektir. Yeryüzü sürekli olarak farklı etkiler altında kaldığından zeminlerin yapısında değişimler meydana gelmektedir. Bu değişimlerin sebeplerinden birisi de özellikle kış aylarında, gece ve gündüz sıcaklık farklarından dolayı zeminde don olayının yaşanmasıdır. Don olayının ardından zeminin tekrar çözülmesi ve bu durumun bir döngü halinde devam etmesi, özellikle donma-çözülme (DÇ) olayının yaşandığı bölgelerdeki yapılarda zaman içinde birtakım problemlere neden olabilmektedir.

Bu çalışmada, DÇ etkisine maruz kalan zeminlerin bazı mühendislik özellikleri incelenmiştir. Bu kapsamda; zeminin su muhtevası, özgül ağırlığı, limit değerleri, konsolidasyon (oturma) özellikleri, elek analizi, üç eksenli basınç dayanımı gibi parametrelerde meydana gelen değişimler laboratuvar ortamında yapılan deneylerle incelenmiştir. Bu amaçla, TS 1901'e göre zeminden yaklaşık 1 m ve 2 m derinliklerinden örnekler alınarak bu numunelerin DÇ'ye maruz kalmadan önceki özellikleri belirlenmiş ve TS EN 1367-1'e göre de aynı numunelerin donma çözülme maruz kaldıktan sonraki özellikleri belirlenmiştir.

Elde edilen sonuçlar birbiri ile karşılaştırılarak yapı-zemin etkileşiminin DÇ koşullarındaki durumu yukarıda belirtilen parametreler açısından çok yönlü olarak incelenmiştir. Sonuç olarak; zeminin DÇ'den sonra limit değerdeki su muhtevalarında düşüş göstererek zeminin plastik özelliğini kaybettiği ve bunun sonucu olarak ta zeminin büzülmediği gözlemlenmiştir ve yapılan zemin sınıflandırmalarında tane çaplarına göre 1 m'de DÇÖ siltli, killi kumlu iken DÇS çakıllı kumlu bir zemin, 2 m'de çakıllı kumlu iken DÇS siltli-killi, çakıllı kumlu olarak sınıflanmıştır. Üçgen sınıflandırmaya göre; DÇÖ 1 m'de zemin çakıllı kumlu siltli kil iken DÇS çakıllı kum olarak, 2 m' de DÇÖ çakıllı kum DÇS çakıllı, siltli kum olarak sınıflanmıştır. AASHO methoduna göre de 1 m'de zemin DÇÖ siltli kum iken DÇS siltli kumlu çakıl ve 2 m'de zemin DÇÖ kumlu çakıl iken DÇS siltli kum olarak tanımlanmıştır. Birleştirilmiş zemin sınıflandırmasına göre ise 1 m'de DÇÖ kötü derecelendirilmiş siltli kum iken DÇS kötü derecelendirilmiş killi siltli kum, 2 m'de DÇÖ iyi derecelendirilmiş kum iken DÇS iyi derecelendirilmiş killi kum sınıfı olarak belirlenmiştir. Konsolidasyon deneyine göre; DÇS zamana bağlı olarak 1 m derinlikten alınan numuneler için çökme % 15 oranında artarkenken DÇS 2 m derinlikten alınan numuneler için % 38 oranında bir artış görülmüştür. Üç eksenli basınç dayanımından elde edilmiş olan gerilme değerleri DÇS 1 m' de sırasıyla % 3, % 1,07, % 0,55 ve 2m'de DÇS % 2,68, % 1,27, % 1,86 değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Kohezyon katsayısı (c) değerlerinde DÇS 1 m'de % 41,24 ve DÇS 2 m'de % 42,86 azalma ve yine içsel sürtünme açısı (ϕ) DÇS 1 m'de % 1,51 ve DÇS 2 metre derinlikten alınan numuneler için % 0,34 oranlarında azalma göstermiştir.

Bilim Kodu :

Anahtar Kelimeler :Zemin mekaniği, donma-çözülme, indeks değerler, konsolidasyon, Taşıma gücü

Sayfa Adedi : 102

Tez Yöneticisi : Doç. Dr. Ercan ÖZGAN

**INVESTIGATING SOME ENGINEERING PROPERTIES OF SOIL
EXPOSED TO FREEZING THAWING
(Mater Thesis)**

Songül ERTÜRK

**DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
INSTITUTE of SCIENCE and TECHNOLOGY**

January 2012

ABSTRACT

The most important point on the construction of a building is the obtaining enough and true information about soil which was used to construction of a building. The earth has been exposed to different permanent effects so that the changes have been occurred on the structure of soils. One of the reasons of these changes especially in the winter seasons is freezing based on the different of the night and day's temperatures. After the freezing stage the melting of soil and continuing this situation in a cycle position based on the time especially in the cold regions that are experiencing the freeze thaw event could be caused some problems on the buildings.

In this study, some engineering properties of soil exposed freezing thawing has been investigated. In this concept, the changes of some soil parameters such as water content of soil, specific gravity, limit values, properties of consolidation, analysis of sieve, and three axis compressive strength were experimentally investigated in laboratory. For this aim, examples has been taken from soil about 1m and 2 m depth according to TS 1901 and the properties of samples, without any exposure to freezing and thawing, has been determined and also the properties of these sample have been determined according to TS EN 1367-1 after exposed to freezing and thawing

By comparing of the obtained results with each one, the situation of the interaction between building and soil in the freezing thawing conditions have been as multi variety investigated for some parameters pointed out above. As a result, it was seen that the decrease occurred on the water contests of the limit values of soil and the

soil lost of the plastics properties and based on this situation there is no any crouch observed on the soil. On the soil classification, according to the grain sizes; before freezing thawing while the class of soil was silty-clay, gravel and sand for 1 m depth, and for 2 m dept the class of soil was gravel-sand after the freezing thawing the class of soil turned to silt-clay for 1 m dept and gravel-sand for 2 m dept. According to the triangle classification of soil, while the class of soil was grave-sand-silt-clay for 1 m dept after the freezing thawing the soil class turned to gravel-sand. However, while the soil class was gravel-sand for 2 m dept after the freezing thawing the soil class turned to gravel-silt-sand. According to the AASHO classification method of soil, while the class of soil was silt-sand for 1 m dept after the freezing thawing the soil class turned to silt-sand-gravel. However, while the soil class was sand-gravel for 2 m dept after the freezing thawing the soil class turned to silt-sand. According to the USCS classification method of soil, while the class of soil was bad-graded silt-sand for 1 m dept after the freezing thawing the class of soil turned to bad-graded clay-silt-sand. However, while the soil class was well-graded sand for 2 m dept after the freezing thawing the soil class turned to well-graded clay-sand. According to the consolidation experiments, while the settlement has been increased about 15 % for 1 m dept this ratio has been released as 38 % after the freezing thawing for 2 m dept. On the three axis pressure strength experiment, while the coefficient of cohesion (c) has been decreased about 41,24 % for 1 m dept after freezing thawing this ratio has been decreased as 42,86 % after the freezing thawing for 2 m dept and again while the internal friction angle has been decreased about 1,51 % for 1 m dept after freezing thawing this ratio has been decreased as 0,34 % after the freezing thawing for 2 m dept.

Science Code :

Key Words : Soil mechanics, freeze-thaw, index values, consolidation, bearing capacity

Page Number : 102

Adviser : Assoc. Prof. Dr. Ercan ÖZGAN

1. GİRİŞ

Yer kabuğu kaya ve zemin olmak üzere iki gruba ayrılabilir. Bu iki grup arasındaki sınır hakkında farklı yorumlar olmasına rağmen, “zemin” genellikle elle kolayca ayrılabilen toprak olarak tanımlanır ve sıvı, gaz ve katı parçacıklardan oluşur. Bu üç bileşenin birbirleriyle olan ilişkisi kaya ve zeminin mühendislik özelliklerini etkiler. Ancak zemin davranışlarını yalnız bu üç eleman arasındaki ilişki ile tamamen anlamak mümkün gözükmemektedir. Örneğin, jeolojik zaman süresince daha önce zemin numunelerinin maruz kaldığı gerilme, numunelerin bugünkü yapısını etkileyebilir, bu ise o zeminlerin davranışı üzerinde etkilidir (Collins ve McGown, 1974; Cotecchia ve Chandler, 1995; Chandler, 2000).

Zeminin mühendislik özellikleri üzerinde etkili olan faktörlerden biri de iklimdir. İklim; zeminin tipini, yapısını ve agregasyon derecesini önemli ölçüde etkilemektedir. Zemin-su içeriğinin değişmesiyle meydana gelen ıslanma-kuruma ve hava sıcaklığının değişmesiyle meydana gelen DÇ olayları zeminin şekillenmesi ve/veya bozulmasında etkilidir. Zeminler mevsimsel değişimlere bağlı olarak farklı sıcaklık ve nem rejimlerine maruz kalmaktadırlar. Bu değişimler zeminlerin fiziksel durumlarını ve birçok özelliğini etkilemektedir. Zeminin nem durumundaki değişimler; yağış, sulama, kapiler yükselme, güneşlenme ve rüzgâra bağlı olarak ıslanma ve kuruma ile sonuçlanmaktadır. Tüm bu süreçlerde sıcaklıkla beraber DÇ olayları da etkili olmaktadır (Utomo ve Dexter, 1982; Rajaram ve Erbach, 1998; Six ve diğ., 2004; Lipson ve Schmidt, 2004; De Oliveira ve diğ., 2005; Sjurssen ve diğ., 2005).

Zemin için iklim koşullarına bağlı olarak meydana gelen ve toprağın dinamik yapısı üzerinde etkili olan en önemli olaylardan biri de DÇ’dir. Yapılan araştırmalar DÇ süreçlerinin toprağın fiziksel durumunu, özellikle zeminin ve agreganın yapısını etkilediğini göstermektedir (Benoit, 1973; Bullock ve diğ., 1988; Mostaghimi ve diğ., 1988; Sönmez, 1994; Şahin ve diğ., 1999; Cruse ve diğ., 2001; Bronick ve Lal, 2005;

Kvaerno ve Oygarden, 2006). Toprağın yapısal özellikleri ve agrega yapısının etkilenmesi, zeminde gözenek büyüklüğü dağılımı, hidrolik iletkenlik, infiltrasyon hızı ve yüzey akışı gibi özelliklerin değişmesi ile sonuçlanmaktadır (Lehrsch ve diğ., 1991; Kvaerno ve Oygarden, 2006).

Bullock ve diğerleri (1988)'da yaptıkları çalışmalarında agrega parçalanmasının artması nedeniyle zeminlerin rüzgar erozyonuna uğrama risklerinin arttığını belirtmektedirler. Benoit (1973) tarafından yapılan çalışmada, DÇ etkisiyle büyük agregaların parçalandığını, hidrolik iletkenliğin azaldığını belirterek, zeminin yapısında oluşan bozulmaların donma anındaki su içeriğinin artmasına, agrega büyüklüğünün artmasına ve daha düşük donma derecelerine bağlı olarak arttığını ifade etmişlerdir. Bu özelliklerin sonucu olarak DÇ olaylarının gerçekleştiği bölgelerdeki ıslak zeminlerde drenaj problemlerinin de arttığını belirtmişlerdir.

DÇ'nin zeminin yapısal dayanıklılığı ve erozyona duyarlılığı üzerine yapmış oldukları çalışmada, DÇ sayısındaki artışa bağlı olarak zeminlerin yapısal dayanıklılıklarının azaldığını ve erozyona duyarlılıklarının arttığını kaydetmişlerdir (Aksakal, 2009).

Kim ve Daniel (1922), zeminin permeabilitesi üzerinde DÇ'nin etkisini belirlemek için, sıkıştırılmış zemin numunelerini 35 kPa'lık nispeten düşük efektif gerilme altında esnek duvarlı permametrelerde permasyona tabi tutmuşlar ve optimum su muhtevasının kuru tarafında sıkıştırılmış zeminler için donmadan sonraki permeabilitenin donmadan önceye göre 2 ile 6 kat daha büyük olduğunu belirlemişlerdir. Optimum su muhtevasında sıkıştırılmış zemin için permeabilitenin, DÇ evreleri sonrası yaklaşık olarak 100 kat arttığı ifade edilmiştir. Araştırmacılar donmanın, zeminin boşluk oranını, yapısını ve dokusunu değiştirdiğini, bunun da permeabilitede artışlara yol açtığını belirtmişlerdir (Soğancı, 2004).

Yapılar zemin hareketlerine aşırı duyarlı olduklarından temellerin oturması konusu taşıma gücüne oranla daha kapsamlı bir problem olarak algılanmalıdır. Oturma problemlerine sağlıklı çözümler getirebilmek için öncelikle muhtelif oturma nedenleri iyice saptanmalı ve uygun çözümler bulunmalıdır (Günay, 2008).

Yapıdan gelen yükler nedeniyle zeminde oluşan farklı oturmalar; yapıda çökmelere, çatlamalara ve hatta kırılmalara yol açabilir. Ayrıca, komşu binalardan (yandan) gelen taban basıncı nedeniyle, temelde ek oturmalar ve bunun sonucu olarak da yapıda hasarlar oluşabilir. Büyük yüzeyli ve yüksek taban basınçlı ağır yapılarda zemin araştırmaları aşağıdaki hususları kapsayacak şekilde yapılmalıdır.

-Yapının oturacağı temel zeminin taşıma kapasitesi, yapı yükünden doğacak zorlanmaları tolere etmelidir.

-Yapı yükünden dolayı zeminde oluşabilecek oturmaların kabul edilebilir limitler içinde kalması sağlanmalıdır.

-Yeraltı suyunun varlığı durumunda zeminde meydana gelebilecek hareketlerin doğurduğu gerilmelerin dış yüklerle dengelenmesi gereklidir.

-Zemin içerisindeki su değişimleri nedeniyle, zeminin taşıma gücünün ne ölçüde etkilenebileceği belirlenmelidir.

-Temel kazısı nedeniyle yer altı ve yerüstü sularının durumlarının değişmesiyle stabilitenin bozulmaması için gerekli önlemler alınmalıdır.

-Özellikle eğimli arazilerde yapılan yapılarda, yapıdan gelen yüklerin (statik+dinamik) etkisiyle zeminin stabilitesinin bozulması ihtimali göz önünde bulundurulmalıdır.

-Mevcut yapılardan gelebilecek ek gerilmelerden dolayı yapıdaki oturmalar, kabul edilebilir sınırlarda tutulmalıdır.

- Mevcut yapının yanına yapılacak yeni yapının temel derinliğinin daha aşağıda olması durumunda yapı temelinde herhangi bir göçmenin olmaması için önlem alınmalıdır (Erbulak ve Bayça, 2001).

Bu çalışmada, farklı DÇ döngüsüne maruz kalan zeminlerin temel mühendislik özellikleri ile taşıma gücü parametreleri ve konsolidasyon özellikleri gibi parametreleri incelenmiş olup DÇ etkisine maruz kalan zeminlerin mühendislik özelliklerinin iyileştirilmesine yönelik çözüm önerilerinde bulunulmuştur.

2. GENEL KISIMLAR

Donma ve çözümlenin zemine etkisi genel olarak; donma ve çözümlenin toprak ve agrega stabilitesine üzerine etkisi, zeminin permeabilite ve mukavemetine etkisi, zeminin hacim artışına etkisi başlıkları altında değerlendirilmiştir.

2.1. DONMA VE ÇÖZÜLMENİN TOPRAK VE AGREGA STABİLİTESİ ÜZERİNE ETKİSİ

Toprağın erozyon potansiyelinin en fazla olduğu, çevresel şartlar tarafından strüktürel özellikleri ile agrega yapısının en fazla değişebileceği dönemler, bir bitki örtüsü tarafından korunmadığı geç sonbahar, kış ve erken ilkbahar dönemleridir. Bu dönemlerde çevresel şartlar toprağın DÇ sayısını ve donma anındaki su içeriğini etkilemektedir (Staricka ve Benoit, 1995).

DÇ ile toprağın strüktürel yapısı ve agrega stabilitesi arasındaki ilişkiyi toprak tipi, başlangıç agrega büyüklüğü ile agrega stabilitesi, donma hızı, donma anındaki toprak nem içeriği ve DÇ sayısı etkilemektedir (Benoit 1973; Mostaghimi *ve diğ.* 1988; Lehrs *ve diğ.* 1991; Edwards 1991; Oztas ve Fayetorbay 2003).

DÇnin zeminin fiziksel özellikleri üzerindeki etkisi bütün zeminlerde aynı düzeyde olmayıp zeminin yapısına bağlı olarak değişim göstermektedir. Bu etki, kaba bünyeli zeminlerde az olurken diğer zeminlerde ise daha fazla olmaktadır (Demiralay, 1977; Pikul ve Allmaras, 1985; Mbagwu ve Bazzoffi, 1989).

Lehrs *ve diğ.* (1991), tarafından altı farklı tekstürdeki toprakta yapılan çalışmada, ince ve orta bünyeli topraklarda donma anındaki nem içeriği artışıyla agrega stabilitesinin doğrusal olarak azaldığı, DÇ sayısının agregasyon üzerindeki etkisinin toprak tekstürüne bağlı olarak farklılık gösterdiği tespit edilmiştir.

Donma esnasında gözeneklerde oluşan buz kristalleri gözenek çapını genişleterek toprak kütle yoğunluğunun azalmasına sebep olmasına rağmen bu olay, doğal olarak stabil olmayan gözeneklerin ortaya çıkmasına neden olmakta, buz kristallerinin erimesi ve toprağın drenajı ile gözenek geometrisinde tekrar bir değişim izlenmektedir (Kay ve diğ., 1985).

Yavaş donmada büyük kristaller oluşurken, hızlı donmada agregaların kırılmasına neden olan çok sayıda küçük kristaller oluşmaktadır (Demiralay, 1977; Henry, 2007). Yavaş donma, bir taraftan topraktaki suyun donması esnasında oluşan kristallerin etrafına basınç yapıp keseklerin kırılmasını sağlaması, diğer taraftan da buz kristallerinin etrafından su moleküllerinin çekilmesine ortam hazırlaması sebebiyle yeni agregaların oluşumunda etkin rol oynamaktadır (Ergene, 1993).

Toprak nem içeriğinin düşük olması, DÇnin agregasyon üzerine etkisinin az veya önemsiz olmasına neden olmaktadır. Don olayı başlangıcında toprağın aşırı su içermesi ve çözülme anında da yağışın varlığı agregalaşmış materyali dahi dispers edebilmektedir (Demiralay, 1977).

Donma anında daha ıslak olan topraklarda donun etkisi daha belirgin olmaktadır. Bazı araştırmacılar yaptıkları çalışmada, donma anındaki nem seviyesi ile agrega stabilitesi arasında negatif bir ilişki olduğunu belirlemişlerdir (Voorhees, 1983).

DÇ sayısı ile agrega stabilitesi arasındaki ilişki ile ilgili değişik sonuçlar, farklı araştırmacılar tarafından saptanmıştır. Lehrsch ve diğ. (1991) ilk birkaç DÇ döngüsü ile agrega stabilitesinin arttığını belirtirlerken pek çok araştırmacı ise (Bullock ve diğ., 1988; Benoit, 1970; Edwards, 1991; Staricka ve Benoit, 1995; Oztas ve Fayetorbay, 2003; Kvaerno ve Oygarden, 2006) DÇ sayısı arttıkça agrega stabilitesi değerinin azaldığını ifade etmektedir. Özdemir ve Akgül (1995) tarafından yapılan çalışmalarda, DÇ olaylarının toprakların suya stabil agregalar miktarı ile strüktürel stabilite ölçütü değerini önemli ölçüde azalttığını, dispersiyon oranı ile erozyon oranı değerlerini ise önemli ölçüde arttırdığı ve bu azalış ile artışların DÇ sayısı tarafından önemli ölçüde

etkilendiği bildirilmektedir. Ayrıca, DÇ olaylarının toprakların strüktürel dayanıklılığını azaltarak erozyona karşı duyarlılığını artırdığı vurgulanmaktadır.

Mostaghimi ve diğ. (1988), toprak tipinin (tınlı, siltli tın ve killi tın) donma anında toprağın sahip olduğu nem içeriğinin, donma hızının ve DÇ olayları sayısının agrega stabilitesi üzerindeki etkilerini incelemiş; donma hızının agrega stabilitesi üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığını, donma olayının genelde toprak agregalarını parçaladığını ve DÇ olayı sayısının ise toprak tipine bağlı olarak etkisinin değiştiğini bildirmişlerdir. Donma anında toprağın sahip olduğu nem içeriği ile agrega stabilitesi arasında ters ilişki olmasına karşı zayıf agregalaşmış toprakların DÇ sürecinde daha stabil olduklarını belirtmişlerdir. Bu araştırıcılar, DÇ süreç sayısı arttıka killi-tınlı toprağın agrega stabilitesinin azaldığını, siltli-tınlı toprakta ise 1-3 arasında oluşan DÇ olaylarının agrega stabilitesini artırdığını ancak 6'dan fazla DÇden sonra agrega stabilitesinin azaldığını belirtmektedirler.

Benoit and Bornstein (1970) tarafından yapılan çalışmada, DÇ etkisiyle büyük agregaların parçalandığı ve hidrolik iletkenliğin azaldığı, strüktürün bozulma derecesinin donma anındaki su içeriği artışıyla, agrega büyüklüğü artışıyla ve daha düşük donma derecelerinde arttığı belirlenmiştir. Bundan dolayı da DÇ olaylarının gerçekleştiği bölgelerin ıslak topraklarında drenaj problemlerinin arttığı ifade edilmektedir.

Benoit (1973) tarafından, genel olarak maksimum su tutma kapasitesinde suya dayanıklı agregalarda dağılmanın istatistiksel olarak daha fazla olduğu, daha düşük donma derecesinde, yüksek su içeriğinde ve agrega büyüklüğünün fazla olduğu durumlarda DÇ' nin düşey infiltrasyon hızında en fazla azalmaya neden olduğu bildirilmektedir.

şahin ve diğ. (1999), orta bünyeli bir toprakta farklı nem içeriklerinde (0.01, 0.33 ve 0.65 atm) farklı DÇ döngüleri (3, 6, 9, 12 ve 15) uyguladıkları çalışmalarında, nem düzeyindeki azalma porozite ve hidrolik iletkenlik değerlerini artırırken, kuru elemeye ait ortalama ağırlık çapı, kütle yoğunluğu ve yarayışlı nem değerlerini azalttığını bulmuşlardır. Ayrıca, DÇ sayısındaki artışa bağlı olarak agrega stabilitesi, ıslak elemeye ait ortalama ağırlık çap, kütle yoğunluğu, tarla kapasitesi ve yarayışlı nem değerlerinde

genel olarak bir azalma, porozite ve hidrolik iletkenlik değerlerinde ise genel olarak bir artışın olduğunu bildirmektedirler.

Oztas ve Fayetörbay (2003), farklı ana materyallerden oluşmuş 4 toprak örneğinde 3 farklı agrega büyüklüğü (0-1, 1-2 ve 2-4 mm), 3 farklı nem seviyesi (HK, TK ve 0,9xSN), 2 farklı donma sıcaklığı (-4 ve -18°C) ve 3 farklı DÇ sayısı (3, 6, 9 kez) uyguladıkları çalışmalarında, DÇ süreçlerinin agrega stabilitesi üzerinde genellikle bozucu etki yaptığını belirtmektedirler. Ayrıca, DÇnin agrega stabilitesi üzerine etkisinin toprağın başlangıç agregasyon durumu, donma anında toprağın sahip olduğu nem içeriği, DÇ süreç sayısı ve donma sıcaklığı tarafından önemli derecede etkilendiğini vurgulamaktadırlar.

DÇ süreçleri erozyon açısından son derece önemlidir. Erken ilkbaharda bir birini takip eden DÇ süreçleri toprak üst katmanında özellikle makro agregaların parçalanmasına neden olarak agrega büyüklüğünü önemli ölçüde azaltmakta ve zaten doygun durumda olan yüzey topraklarının erozyona uğrama eğilimlerini ve yüzey akışla kayıplarını artırmaktadır (Benoit, 1973; Mostaghimi ve diğ. 1988).

Wischmeier ve Smith (1978), donmuş katman üzerinde uzanan hemen hemen doygun haldeki çözülmüş katmanın erozyona uğrama potansiyelinin çok daha büyük olduğunu bildirmektedirler. Ayrıca, çözülmeye başlamış katman üzerine düşen yağış veya mevcut karın erimesinin daha şiddetli erozyona yol açacağını belirtmektedirler.

Özdemir ve Akgül (1995), DÇnin toprağın strüktürel dayanıklılığı ve erozyona duyarlılığı üzerine yapmış oldukları bir çalışmada, DÇ sayısındaki artışa bağlı olarak toprakların strüktürel dayanıklılıklarının azaldığını ve erozyona duyarlılıklarının arttığını kaydetmişlerdir. Bullock ve diğ. (1999)'da yaptıkları çalışmalarında agrega parçalanmasının arttığını ve dolayısıyla toprakların rüzgar erozyonuna uğrama risklerinin arttığını belirtmektedirler.

Bajracharya ve Lal (1992), siltli tın tekstürdeki bir toprakta mevsimsel toprak kayıpları ile toprağın aşınmaya karşı duyarlılığındaki değişimi incelemişler ve DÇ ile ıslak

şartların hakim olduğu kış-ilkbahar aylarında toprak kayıplarının ve toprakların aşınmaya karşı duyarlılıklarının en yüksek düzeyde olduğunu ortaya koymuşlardır.

Froese ve Cruse (1997), çözünme süreci boyunca yüzey toprağın strüktür ve hidrolojik özelliklerinin değiştiğini ve yağışın erozyona uğrama hassasiyetini daha da arttırabileceğini bildirmektedirler.

Pikul ve Allmaras (1985), siltli-tınlı topraklarda bir birini takip eden ıslanma-kuruma ve DÇ süreçlerinin agregaların parçalanmasına ve bunun bir sonucu olarak kaymak tabakası oluşumuna ve infiltrasyonun azalmasına neden olduğunu rapor etmişlerdir.

Toprakta donma ve çözülme olaylarının etkinliğini azaltan her hangi bir toprak ve bitki koruma önlemi (bitki artıklı tarım gibi) infiltrasyonun artmasına ve dolayısıyla erozyonun azalmasına yol açar. Pikul ve Almaras (1985), yüzey örtüsünün son kış dönemindeki donma ve çözülme süreçlerini azaltan önemli bir faktör olduğunu belirtmektedirler. Bu araştırmacılar çalışmalarında, mart ayında 7 kez donma olayının yaşandığını, bitki artıklarıyla örtülmüş durumda toprak yüzeyinin donmadığını, buna karşılık çıplak toprak yüzeyinin her seferinde yaklaşık 1,5 cm donduğunu kaydetmektedirler.

2.2. DONMA VE ÇÖZÜLMENİN ZEMİNİN PERMEABİLİTE VE MUKAVEMETİNE ETKİSİ

Donmaya karşı en yatkın olan zemin silttir. Silt boşlukları, emmeyi ilerletmek için yeterince küçüktür ve aynı zamanda uygun nem miktarını donma noktasına iletmek için yeterince büyüktür. Casagrande şunu gözlemlemiştir: Buz segregasyonunun, danelerin %1'inden daha azı 0,02 mm boyutundan daha küçük olan zeminlerde oluşmadığını gözlemlemiştir (Casagrande, 1931). Dirksen ve Miller yaptıkları çalışmada, suyun zeminin donmuş kısmına doğru yönelmesi sonucu, zemin içindeki su içeriğinde bir azalma olduğu ve donma düzlemi altında dikey sızıntı çatlakları şeklinde kendini gösterdiğini belirtmişlerdir (Dirksen ve Miller, 1966).

Kaplar, yaptığı çalışmada donma süresinde komşu boşluklardaki suyun, donma cephesi içerisine doğru yönelmesinden dolayı zeminde büzülme çatlaklarının oluştuğunu ifade etmiştir (Kaplar, 1970).

Benoit ve Bornstein, laboratuvar ortamında DÇ sayısının kumun permeabilitesine etkisini incelemişler sonuçta açık-sistem DÇ devrelerine maruz kumlardaki permeabilitede çok az bir azalma olduğunu tespit etmişlerdir (Benoit ve Bornstein 1970).

Andersland ve Anderson, tarafından yapılan araştırmada; suyun buza dönüştüğünde hacminin, kendi altıgen kristal yapılı kafesinin açılmasına bağlı olarak yaklaşık %9 büyüdüğünü belirtip, buz kristalleri büyüdüğünde birbirleriyle ve zemin daneleri ile etkileştiğini belirtmişlerdir (Andersland ve Anderson 1978).

Chamberlain ve Gow yaptıkları çalışmada, donmaya bağlı olarak kilin permeabilitesindeki artışın nedenini çokgen tipinde büzüşme çatlaklarının oluşmasına bağlamıştır (Chamberlain ve Gow, 1979). Büzülme çatlaklarının oluşmasını açıklayan Kaplar'a göre su molekülleri donma boyunca bitişik boşluk suyundan donma noktasına hareket eder. Bu kuruma olayı, düşey büzülme çatlakları ile sonuçlanan hacim değişimine sebep olur. (Kaplar, 1970).

Yong ve diğ., Boonsinsuk ve Yın, DÇ devrelerine maruz bırakılmış saf sodyum bentonitin mekanik özelliklerini incelemiştir. Sonuçta DÇ nedeniyle likit limit, özgül yüzey ve katyon değiştirme kapasitesinin yaklaşık olarak %10 düştüğünü belirlemişlerdir (Yong ve diğ., 1985). Boynton ve Daniel, yaptıkları çalışmada su muhtevasının azalması sonucu büzülme özelliğine sahip zeminlerin DÇ sonucu permeabilitesindeki değişimde düşey efektif gerilmenin etkili olduğunu tespit etmişlerdir (Boynton ve Daniel, 1985).

Wallace, permeabilite deneyinden önce çeşitli sayıda DÇ devrelerine maruz bırakılmış zemin-bentonit örneklerinin performansını incelemiştir. Bentonit ilave edilmiş (0-%6) zeminin permeabilitesi 70 kPa'lık efektif hücre basıncı altında ölçülmüştür. Deney sonuçları, bu yüksek efektif gerilme koşulları altında DÇ sayısını arttırmak ile permeabilitede artış olmadığını göstermiştir (Wallace, 1987).

Broderick ve Daniel, modifiye edilmiş proktor deneyi ile sıkıştırmanın, standart proktor sıkıştırmasına oranla daha çok zeminin geçirgenliğini daha da azalttığını ifade etmişlerdir (Broderick ve Daniel, 1990). Chamberlain, Iskandar ve Hunsicker, donmuş zemin numuneleri üzerinde yaptıkları çalışmada zeminden alınan ince kesit üzerinde çatlakları açıkça görmüşler ve taramalı elektron fotomigrografla yaptıkları incelemede donma olayından sonra zemin dokusunda önemli değişimlerin olduğunu ortaya koymuşlardır (Chamberlain, Iskandar ve Hunsicker, 1990).

Wong ve Haug, yaptıkları çalışmada kapalı sistem DÇ çevrimlerinin kil, silt ve kum-bentonit karışımlarının permeabilite üzerindeki etkisini bir laboratuvar programında incelemişlerdir. Kum-bentonit karışımlarında bentonit içeriğini %4,5'dan %25'e kadar değiştirmişlerdir. Deney esnasında numunelerin başlangıç permeabilitesi sabit bir değere eriştiğinde ara verilerek numuneler su girişsiz olarak permeametre içerisinde dondurulmuştur. Donmadan sonra, ikinci bir permeabilite deneyine devam edilmeden önce numuneler çözülmeye bırakılmıştır. Araştırmacılar permeabilite deneylerini DÇ çevrimlerinin permeabilite üzerindeki etkisi olumsuz oluncaya kadar sürdürmüşlerdir. Bu deney programının sonuçlarına göre, hem kil hemde silt numunelerinin permeabiliteleri DÇ çevrimlerinden dolayı artmıştır (Wong ve Haug, 1991).

Kim ve Daniel, zemin permeabilitesi üzerinde DÇnin etkisini belirlemek için, sıkıştırılmış zemin numunelerini 35 kPa'lık nispeten düşük efektif gerilme altında esnek duvarlı permeametrelerde permasyona tabi tutmuşlardır. Optimum su muhtevasının kuru tarafında sıkıştırılmış zeminler için donmadan sonraki permeabilite donmadan önceye göre iki ile altı kat kadar daha büyük olduğunu belirlemişlerdir. Optimum su muhtevasında sıkıştırılmış zemin için ise permeabilitenin, donma çözülme evreleri sonrası yaklaşık olarak 100 kat daha arttığı ifade edilmiştir. Araştırmacılar donmanın zeminin boşluk oranının, yapısını ve dokusunu değiştirdiğini, bunun da permeabilitede artışlara yol açtığını belirtmişlerdir. Araştırmada, optimum su muhtevasında sıkıştırılan numunelerin boşluk oranının, DÇnin sonucu olarak azaldığı buna karşılık ama DÇden sonraki permeabilitesinin öncekine göre iki kat daha büyük olduğu tespit edilmiştir. Permeabilite artarken boşluk oranının azalmasına dair makul açıklama ise DÇ boyunca mikro çatlakların, makro gözeneklerin ve diğer sekonder gözeneklilik biçimlerine ait bir

ağın gelişmiş olmasından kaynaklandığı ifade edilmiştir. Hemen hemen tüm deney sonuçlarına göre; DÇden sonraki hidrolik iletkenliğin 1×10^{-7} cm/s'den büyük olduğunu belirtilmiştir (Kim ve Daniel, 1992). Benson ve Othman 1993, yaptıkları çalışmada sıkıştırılmış büyük bir kil numunesini (çap=298 mm; yükseklik=914 mm) arazide 60 gün boyunca DÇye tabi tutmuşlardır. Sonra, permeabilitesini ölçmüş ve numunenin en üst kısmındaki permeabilitenin en fazla olduğunu ve oluşan derinliğe bağlı olarak bir azalma meydana geldiği tespit edilmiştir. Suyun temas etmemesinden dolayı oluşan kurumanın olduğu yerlerde permeabilitedeki değişimler donma düzeyinin 150 mm altındaki bölgelerde de oluşmuştur. Zemindeki donma düzleminin maksimum derinliği altında dikey çatlaklar gözlenirken, permeabilitenin donmamış zeminin iletkenliğinden bir derece daha büyük olduğunu, aynı bölgede suyun donma düzlemine yönelmesi sonucu zemin içindeki su muhtevasının %7 kadar azaldığını ve gözlenen dikey çatlakların muhtemelen kurumadan dolayı meydana geldiğini gözlemlemişlerdir. Deneyler çeşitli DÇ çevrimlerine, sıcaklık gradyanlarına, gerilme durumlarına bağlı olarak değişik numuneler üzerinde yürütülmüştür (Benson ve Othman, 1993).

2.3. DONMA VE ÇÖZÜLMENİN ZEMİNİN HACİM ARTIŞINA ETKİSİ

Hava sıcaklığının donma ısısının altına düştüğü durumlarda özellikle de bu durumun birkaç günden fazla sürmesi halinde zemindeki boşluk suyunun donması mümkündür. Zemindeki don etkisinin mühendislik açısından iki farklı önemi bulunmaktadır. Bunlardan birincisi; suyun donmasıyla birlikte meydana gelen hacim artışından dolayı zeminin hacmi çok kısa bir süre içerisinde yaklaşık %10 oranında artabilmektedir. ikinci ve mühendislik açısından daha önemli olarak nitelendirilebilen olay ise; buz kristallerinin oluşması ve zeminde mercekler meydana getirmesidir. Bu merceklerin kalınlığı birkaç santimetreye kadar çıkabilmekte ve meydana gelen kabarma nedeniyle küçük yapılar ve yol gibi hafif yüzey yapılarına zarar verebilmektedir. Don etkisi nedeniyle zarar görmüş olan bir yol kaplaması Şekil 2,1'de gösterilmiştir.

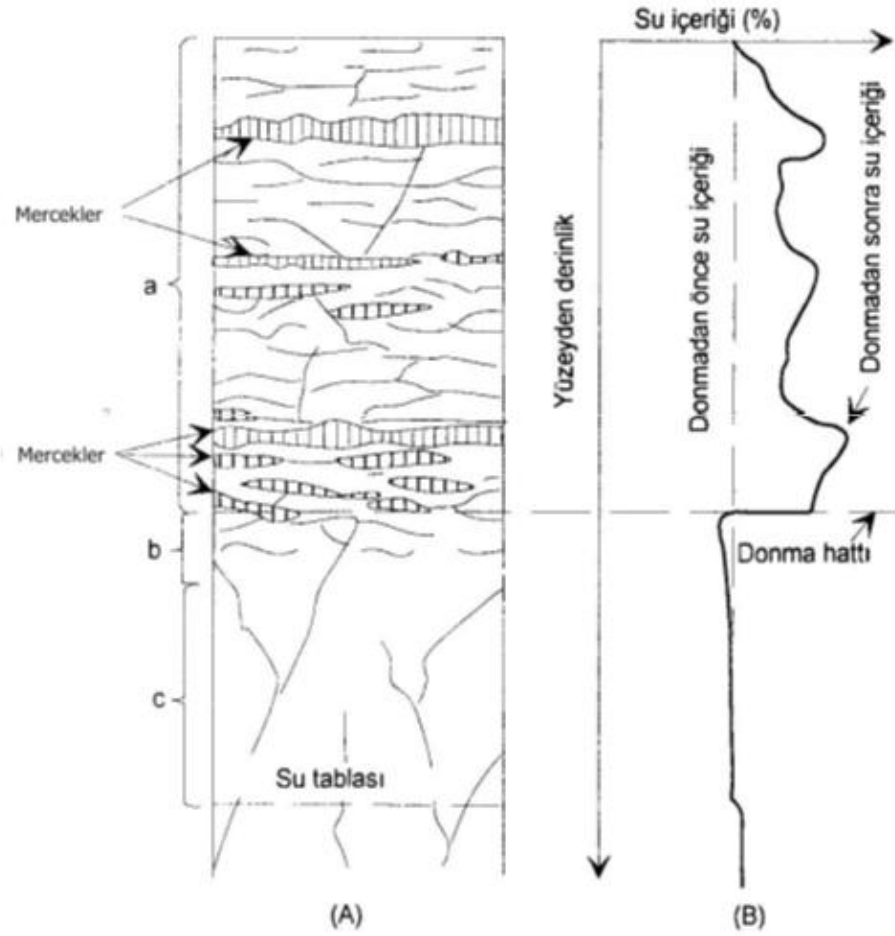


Şekil 2.1: Don etkisi nedeniyle zarar görmüş olan bir yol kaplaması (Günay, 2008)

Don etkisinin meydana getirebileceği zararlar, havaların tekrar ısınması ve buzların erimesiyle devam etmektedir. Özellikle karayolu kaplamaları ilkbahar erimelerinden dolayı ciddi hasarlara uğramaktadır (Günay, 2008). Zeminlerde don etkisinin ve merceklerin meydana gelmesi için aşağıdaki üç şartın mevcut olması gerekmektedir:

- Donma derecesi altında hava sıcaklığı.
- Donma hattına doğru kılcal su akışı oluşması için yeteri kadar yakın bir su kaynağı
- Dona karşı hassas bir zemin ve dane boyu dağılımı (Günay, 2008).

Zeminde, genel olarak don olayının sonucunda meydana gelen değişiklikler, Şekil 2.2’de gösterilmiştir.



Şekil 2.2: Donmuş zeminde farklı buz tabakaları arasındaki ilişkiyi diyagramı (Erol, 2002)

Donmuş zemin katmanının ilk tabakasında (a) çok sık olmayan mercekler gözlemlenmiş, bir alt tabakada (b) bu mercekler artmış ve en alt tabakada (c) su tablasına rastlanılmıştır. Yine donma hattının üst kısmındaki su muhtevasının, hattın alt kısmına göre arttığı gözlemlenmiştir.

Pratikte, iri daneli zeminlerde kılcallık olayının gerçekleşmemesinden dolayı mercek oluşumunun gözlenmeyeceği düşünülmektedir. Bununla birlikte Casagrande (1931) ince daneli zeminlerde buz merçeği oluşumlarının kritik dane boyu ile dane boyu dağılımlarının her ikisine de bağlı olduğunu bulmuştur. Casagrande, kritik dane çapını 0.02 mm olarak vermiş ve çakılların dahi bu çap değerine sahip %5–10 oranında silt içermeleri halinde dona karşı hassas olabileceğini savunmuştur. Zemin çeşitlerinin dona karşı olan hassasiyeti üç ana grupta ifade edilmiş ve Çizelge 2.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1: Zemin türlerinin dona karşı olan hassasiyeti (Erol, 2002)

Grup Don hassasiyeti	Don hassasiyeti	Zeminler
I	Yok	Çakıl, kum
II	Orta	İnce kil (kil içeriği >%40)
II	Yüksek	Silt, iri kil(kil içeriği % 15-25)

2.4. ZEMİNLERDE OTURMA (ÇÖKME) KAVRAMI

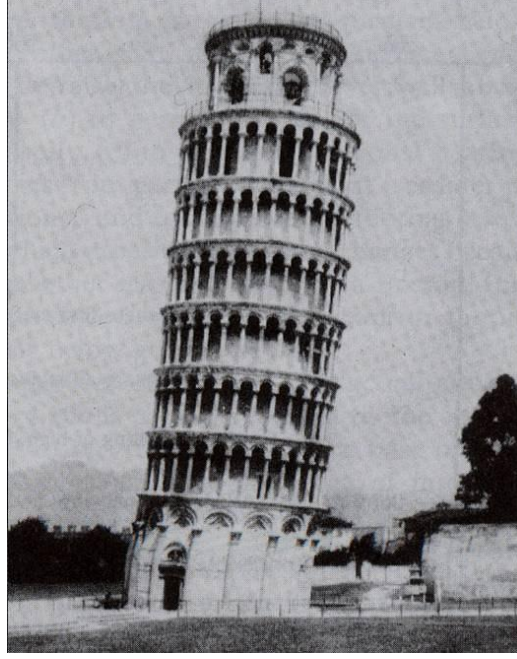
Oturma, ani oturma (elastik oturma) (si) ve zamana bağlı oturma (sc) olmak üzere iki bileşenden oluşur. Elastik oturma temelin yüklenmesi ile çok kısa zamanda oluşur, bu yükleme sırasında boşluk suyu basıncı artar. Elastik oturma sırasında bir zemin elemanının hacmi değişmez. Bu elemanda yalnızca şekil deformasyonu ve bu deformasyona ilişkin düşey oturma görülür. Granüler zeminlerde su geçirgenliği killi zeminlere kıyasla çok yüksektir. Bu nedenle boşluk suyu basıncı hemen yüklemenin yer aldığı süre içinde söner ve sıfırlanır. Killi zeminlerde ise su geçirgenliği granüler zeminlere kıyasla çok düşüktür. Bu nedenle elastik oturma sırasında zemin elemanından su drenajı olmaz. Bundan dolayı elastik oturma analizlerinde kumlarda drenajlı ve killerde ise drenajsız zemin parametreleri kullanılmaktadır (Günay, 2008).

Killerde yüklemekten sonra boşluk suyu basıncının sönmesi uzun zaman boyunca devam eder. Bu olaya konsolidasyon (oturma-çökme) adı verilir. Konsolidasyon zamana bağlı oturma (sc) iki kısımda izlenir; Primer (birincil) konsolidasyon (sc) ve sekonder (ikincil) konsolidasyon (ss). Primer konsolidasyon yükün sıkıştırıldığı zeminde bu sıkışma nedeni ile meydana gelen aşırı boşluk suyu basıncının sönmesi ile görülür. Bu sönmenin hızı, zeminin geçirgenliğine bağlıdır. Sekonder konsolidasyon oturması ise zemin daneciklerinin yerleşmesinden ileri gelir. Bu olgu zamana bağlıdır ve organik killerde önem kazanır (Günay, 2008).

2.4.1. Farklı Oturma Kavramı

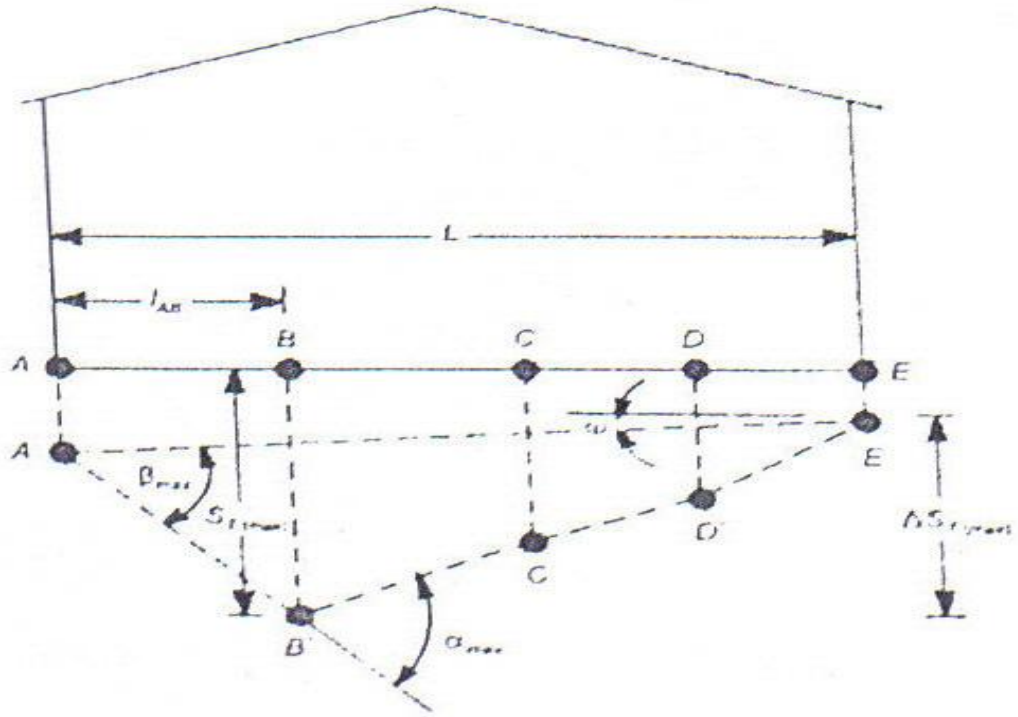
Temelin iki noktası arasındaki farklı oturmaların yol açtığı kesme kuvvetleri ve momentler yapısal olarak temeli zorlar. Bu nedenle temellerin değişik noktalarında oturma miktarlarının hesaplanması gerekmektedir. Çoğu kez temeli taşıyan zemin

homojen olmadığı için temelin altındaki sıkışabilirliği değişkendir. Kimi hallerde sıkışabilir tabakanın kalınlığı değişir ya da değişik temel tiplerinin zemine aktardıkları gerilmeler farklı miktarlarda olabilir. Farklı oturma sorunu denince akla ilk gelen örnek, Şekil 2.3'te gösterilen dünyaca ünlü Pisa Kulesidir.



Şekil 2.3: Pisa Kulesi (Lambe, 1969)

Farklı oturmalarla karşılaşılan yapıların davranışlarını belirleyen önemli parametreleri ortaya koymuştur. Şekil 3.11, A, B, C, D ve E noktalarında farklı oturma yapmış bir binayı göstermektedir. Bu şekilde A noktasındaki oturma AA', B noktasındaki oturma BB', ... vb Şekil 2.4'te gösterilmektedir.



Şekil 2.4: Farklı oturma parametrelerinin tanımı (Önalp ve Sert, 2006)

Farklı oturma kavramının meydana gelmesine neden olan birçok faktör bulunmakta olup bunlardan bazıları aşağıda sıralanmıştır:

2.4.1.1. Zemin Profilindeki Değişmeler

Zemin profilindeki değişmelere örnek olarak, yapının bir kısmının altında sert doğal zeminler olabilir buna karşılık diğer kısmının altında gevşek ve sıkıştırılmamış dolgu bulunabilir. Böyle bir yapı, bu zemin türlerinin farklı sıkışabilirliği nedeniyle ve muhtemelen dolgunun ağırlığı nedeniyle oluşan oturmalarından dolayı, farklı oturmalarla maruz kalabilir. Temelin oturduğu zemin profilindeki değişmeler yapıda görülen farklı oturmaların en önemli nedenlerindedir (Önalp ve Sert, 2006).

2.4.1.2. Yapısal Yüklerdeki Değişimler

Bir yapıdaki değişik temeller, destekledikleri yapının kısmına göre farklı oturmaları karşılayacak şekilde tasarlanır. Bu yüzden, teoride farklı oturma sıfır olmalıdır. Ancak, gerçek yükün tasarım yüküne oranı tüm temeller için aynı olmayabilir. Bu nedenle, gerçek yükün tasarım yüküne oranı yüksek olanlarda düşük oranlı olanlara göre daha fazla oturma olacağı beklenir (Önalp ve Sert, 2006)

2.4.1.3. Taşıma Gücü İle Kontrol Edilen Tasarım

Bazı temellerin tasarımı, oturma ile değil; taşıma gücü ile kontrol edilir. Bu yüzden, tasarım oturması bile aynı yapıdaki temellerin her birinde diğer temellerdekinden daha az olabilir (Önalp ve Sert, 2006).

2.4.1.4. Yapım Toleransı

Temellerin inşa edildiği boyutlar tasarım boyutlarından farklı olabilir. Bu yüzden oturma davranışları da ona göre değişecektir (Önalp ve Sert, 2006).

3. ZEMİN NUMUNELERİNİN YAPISAL ANALİZLERİ

Araziden farklı derinliklerden alınarak DÇ etkisine maruz bırakılan ve donma çözülmeden önceki özellikleri ile donma çözülmeden sonraki özelliklerinin incelendiği numunelerin mikro yapıları da ortaya konularak deney sonuçlarının numunelerin mikro yapılarına bağlı olarak değerlendirilebilmesi için zemin numuneleri üzerinde “Taramalı Elektron Mikroskobu (Scanning Elektron Microscobe-SEM) ve zemindeki elementlerin tespiti ile elementlerin ağırlıkça yüzdelerinin bulunabilmesi için Enerji Açılımlı X-ışını Spektrometresi (Energy Dispersive X-ray-EDX) analizleri yapılmıştır.

3.1. TARAMALI ELEKTRON MİKROSKOBU (SCANNİNG ELEKTRON MİCROSCOBE-SEM) ANALİZLERİ

SEM’ de sıvı olmayan ve sıvı özellik taşımayan her türlü iletken olan ya da olmayan numune incelenebilir. İletken olmayan numuneler çok ince bir film tabakası halinde, iletken bir malzemeyle kaplanarak incelenebilir hale getirilir. SEM’ de incelenecek numuneler temiz olmalıdır; tozlu ve yağlı olmamalıdır. Toz halinde ki numuneler uygun koşullarla palet haline getirilerek incelenebilir. SEM analizinin yapılabilmesi için numunelerin hazırlanması gerekmektedir.

3.1.1. SEM İçin Numune Hazırlanması

Kesme cihazıyla büyüklüğü uygun olmayan numuneler Alüminyum ve Elmas uçlu bıçakla büyüklüğü uygun hale getirilir. Kalıplama cihazıyla (Numune tutucu) parlatma işleminde veya mikroskoba monte etme işleminde zorluk çekilecek küçük numuneler kalıplanarak hem otomatik parlatma diskine sığacak hale getirilir hem de daha kolay monte işlemi sağlanır. Parlatma cihazı ile analizi yapılacak numunelerin yüzeyleri 1 mm mertebesinde parlatılabilir ve daha pürüzsüz bir yüzey elde edilebilir (www.aku.edu.tr).

Püskürtme cihazı ile iletken olmayan numuneler iletken bir tabaka altın-paladyum (Au-Pd) ile kaplanır. Numune bu aşamada vakum altına alınır. “Kritik nokta kurutucusu” (Critical point drier) cihazı ile biyolojik numunelerin şeklini ve yapısını bozmadan ve kurutularak SEM’ de incelenecek hale getirilir (www.aku.edu.tr).

3.1.2. SEM’ in Çalışma Prensibi

SEM cihazının optik kolon kısmında; elektron demetinin kaynağı olan elektron tabancası, elektronları numuneye doğru hızlandırmak için yüksek gerilimin uygulandığı anot plakası, ince elektron demeti elde etmek için kondenser mercekleri, demeti numune üzerinde odaklamak için objektif merceği, bu merceğe bağlı çeşitli çapta apatürler ve elektron demetinin numune yüzeyini taraması için tarama bobinleri yer almaktadır. Mercek sistemleri elektromanyetik alan ile elektron demetini inceltmekte veya numune üzerine odaklamaktadır. Tüm optik kolon ve numune 10-40 Pa gibi bir vakumda tutulmaktadır (www.aku.edu.tr).

Görüntü sisteminde, elektron demeti ile numune girişimi sonucunda oluşan çeşitli elektron ve ışınları toplayan detektörler, bunların sinyal çoğaltıcıları ve numune yüzeyinde elektron demetini görüntü ekranıyla senkronize tarayan manyetik bobinler bulunmaktadır. SEM cihazının genel görüntüsü Şekil 3.1’de verilmiştir.

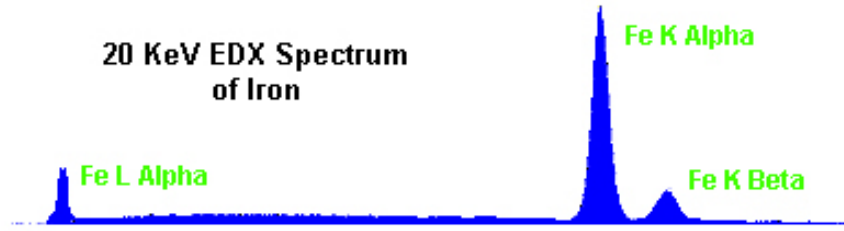


Şekil 3.1: Taramalı elektron mikroskobu (www.aku.edu.tr).

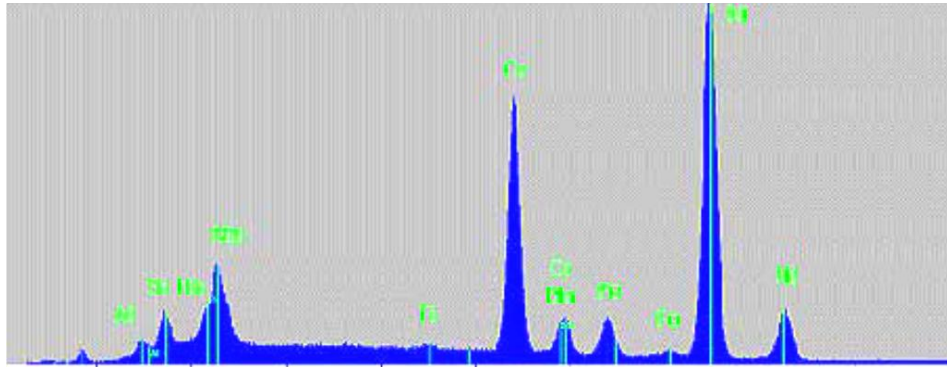
3.2. ENERJİ AÇILIMLI X-IŞINI SPEKTROMETRESİ (ENERGY DISPERSİVE X-RAY-EDX) ANALİZİ

Numunenin yüzeyine yüksek enerjili elektronlar çarptığında bu çarpışmalardan dolayı, numune yüzeyinden bazı elektronlar kopar. Eğer bu elektronlar içteki (çekirdeğe yakın) orbitallerden kopartılmışlarsa atomlar kararlıklarını kaybederler. Tekrar kararlı hale gelebilmek için dış orbitallerdeki elektronlar iç orbitallerdeki boşlukları doldururlar. Dış orbitallerdeki elektronların enerjileri iç orbitallerdeki elektronların enerjilerinden daha yüksek olduğu için, dış orbital elektronları iç orbitalleri doldururken belli bir miktar enerji kaybetmek zorundadırlar. Bu kaybedilen enerji X-ışını şeklinde ortaya çıkar (www.aku.edu.tr)..

Ortaya çıkan X-ışınlarının enerjisi ve dalga boyu sadece atomla ilgili olmayıp o atomun alışverişte bulunan orbitalleri ile ilgili karakteristik bir özelliktir (www.aku.edu.tr).. (Şekil 3.2 ve Şekil 3.3).



Şekil 3.2: Demirin EDX spektrumu



Şekil 3.3 : Ni bazlı alaşımın EDX spektrumu

Demir (Fe) ve Ni bazlı alaşımın EDX spekturumunda ortaya çıkan elementler gözlenebilmektedir. Numune içindeki elementlerin yüzdeleri, elementlerin piklerinin altındaki alanlarla orantılıdır. Bu alanlar ile elementlerin ağırlıkça yüzdeleri tespit edilebilmektedir.

4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. MATERYAL

Deneysel çalışmayı yapabilmek için ihtiyaç olan zemin numunelerinin araziden alınması ve numunelerin alındığı bölgenin jeolojisi ile yer altı suyu durumunun incelenmesi yapılmış olup bu bilgiler başlıklar halinde açıklanmıştır.

4.1.1. Zemin Numunelerinin Alınması

Bu çalışmada, kullanılan örselenmemiş silindirik zemin örnekleri Düzce ili Metek mahallesinden “TS 1901 Sondaj Yolları ile Örselenmemiş Numune Alma Yöntemine” göre alınmıştır. Zemin örnekleri, yüzeyden itibaren 1 ve 2 m derinlikte olmak üzere iki farklı derinlikten alınmıştır. Örneklerin alınmasında dış çapı 104 mm ve yüksekliği 40 cm olan silindirlerden 10 adet silindirik tüp kullanılmış ve yaklaşık 20 – 25 cm’ lik toprağın zemine girmesiyle geri çıkarılarak örselenmemiş zemin örnekleri alımı gerçekleştirilmiştir.

4.1.2. Numunelerin Alındığı Bölgenin Jeolojisi Ve Yer Altı Suyu Durumu

İnceleme alanında, kuvaterner yaşlı alüvyonlar olduğu gözlemlenmiştir. Açılan sondajdan alınan bozulmamış örneklerin gözle yapılan tanımlamalarından yukarıdan aşağıya doğru (sığdan derine doğru) az kumlu siltli kil, siltli kil kum, siltli iri kumlu kil çakıl, iri kum çakıl serilerinden oluştuğu görülmüştür (Özyapıcı Müh., 2011).

İnceleme alanında yapılan sondajlarda yer altı su seviyesi 5- 6 m olarak ölçülmüştür. Yeraltı su seviyesi mevsimlere bağlı olarak değişimler gösterebilir. MTA Genel Müdürlüğü ve Ankara Üniversitesinin hazırladıkları; “17 Ağustos 1999 Depremi Sonrası Düzce’nin Alternatif Yerleşim Alanlarının Jeolojik İncelenmesi” raporunda yer altı su seviyesinin Düzce ovasında genel olarak farklı lokasyonlarda 0,80 ile 3,40m

arasında mevsimlere bağlı olarak değişimler göstereceği belirtilmiştir (Özyapıcı Müh., 2011).

4.2. YÖNTEM

Bu çalışmada, “TS 1901 Sondaj Yolları ile Örselenmemiş Numune Alma Yöntemine” göre 1 m ve 2 m derinliklerinden alınan örselenmemiş zemin numunelerin doğal haldeki su muhtevası, özgül ağırlığı, atterberg limitleri (likit limit, plastik limit, rötire limiti), elek analizi, hidrometre deneyi, konsolidasyon (oturma) özellikleri, üç eksenli basınç dayanımına ait özellikleri incelenmiştir. Zemin numunelerinin doğal durumdaki özellikleri incelendikten sonra aynı yerden alınan diğer numunelerde ise donma çözülme etkisini belirleyebilmek için “TS EN 1367-1 Agregaların Donma Çözülme Karşı Direncinin Tayini Yöntemine” göre donma çözülme maruz bırakılmışlardır. Zemin numunelerinden DÇye maruz kalmayan numuneler üzerinde yapılan tüm deneyler donma çözülme maruz kalan zeminler içinde yapılmıştır.

Zeminden alınan örselenmemiş doğal durumdaki numuneler tartılarak kütleleri belirlenmiş ve silindirik tüpün hacmi numunelerin hacmine eşit kabul edilerek zemin numunelerinin doğal yoğunlukları hesaplanmıştır. Numunelerin kıvam limitlerini belirlemek için likit limit, plastik limit ve rötire limiti deneyleri yapılarak numunelerin bu limit değerlerindeki su muhtevaları hesaplanmıştır. Zemin numunelerinin DÇ etkisinden önceki ve sonraki konsolidasyon (oturma) özelliklerinin belirlenebilmesi amacıyla konsolidasyon deneyleri yapılmıştır. Böylece, hem donma çözülmeden önce hem de donma çözülmeden sonra meydana gelen oturma parametreleri hesaplanarak sonuçlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Zemini oluşturan danelerin zemin içerisindeki dağılımının tespit edilmesi amacı ile elek analizi ve hidrometre yöntemiyle de ıslak analiz yapılmıştır. Zemin numunelerinin taşıma gücü parametreleri olan kohezyon katsayısı (c) ve içsel sürtünme açıları (ϕ) deneylerle tespit edilmiş olup bu kapsamda hem DÇ’den önce hem de DÇ işleminden sonra numuneler üzerinde üç eksenli basınç deneyleri yapılarak taşıma gücü parametrelerinde meydana gelen farklılıklar tespit edilmiştir.

DÇ'nin zemin numunelerinin mikro yapısında herhangi bir değişiklik meydana getirip getirmediğinin belirlenmesi amacıyla hem donmamış zemin numuneleri hem de donmuş zemin numuneleri üzerinde SEM analizleri ile birlikte kimyasal analizler de yapılmıştır.

Bu çalışmada, zeminlerin farklı DÇ döngüsüne maruz kalmadan önce ve maruz kaldıktan sonra bazı mühendislik özelliklerinde beklenen değişimler deneysel olarak incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda zemin numunelerinin;

- Elek analizi (kuru+ıslak analiz)
- Yoğunluğu
- Özgöl ağırlığı
- Limit değerlerindeki su muhtevaları
- Konsolidasyon özellikleri
- Mikro yapıları ve EDX analizleri
- Kimyasal özellikleri gibi parametreleri belirlenmiştir.

Deneysel sonuçlarda elde edilen veriler istatistiksel analize tabi tutularak deney sonuçları donma çözülmeden önceki ve sonraki özellikler açısından karşılaştırmalı olarak analiz edilmiş ve deneyler arasında ki olası farklılıkların anlamlılık düzeyleri belirlenerek karşılaştırmalı yorumlar yapılmıştır.

İstatistiksel olarak anlamlı farklılığa sahip olan deney sonuçlarının yapı-zemin etkileşimi açısından incelenebilmesi amacıyla örnekler üzerinde hesaplamalar yapılmış böylece deneysel çalışmaların uygulamaları da gösterilmiştir. Yapı açısından zeminin DÇ etkisine maruz kalmasından sonra temellerde meydana gelebilecek oturma miktarı, taşıma gücü parametrelerindeki değişimler temel derinliğinin belirlenmesin vb. özellikler açısından yaklaşımlarda bulunulmuştur.

4.2.1. Zemin Örneklerinin Alınması ve Deneye Hazırlanması

Zemin örnekleri Düzce ili Metek mahallesinden "TS 1901 Sondaj Yolları ile Örselenmemiş Numune Alma Yöntemine" göre 1 ve 2 m olmak üzere iki farklı derinlikten alınmıştır. Bu amaçla sondaj deliği, numune alınacak düzeye kadar uygun

bir sondaj yöntemi ile açılarak örselenmemiş numune almak üzere Şekil 4.1'deki gibi hazırlanmıştır.



Şekil 4.1: Arazide yapılan sondaj çalışması

Zemin numuneleri 104 mm çapında ve 45 cm uzunluğundaki silindirik metal tüp ile alınmış olup, numune alıcının ucuna takılarak sondaj tabanına kadar indirilmiştir. Numune tüpü, hidrolik basınç kullanılarak, çabuk ve sürekli bir hareketle, döndürülmeden zemine itilip silindirik tüpün içine numune alındıktan sonra tüp Şekil 4.2 'de gösterildiği gibi tekrar yukarı çıkartılmıştır.



Şekil 4.2: Arazide zeminden numunenin çıkartılması

Numune tüpü, başlıktan ayrılarak tüpteki numunenin alt ucundan 2 cm ve üst ucundan da örselenmiş olan zemin atılarak temizlenmiştir. Silindirik metal numunenin üstüne hangi derinlikte ve hangi noktadan alındığını gösteren bir etiket konularak tüpün her iki ucu erime noktası Şekil 4.3'teki yaklaşık 10°C olan parafın mumu ile kaplanmıştır. Bu Şekilde alınan zemin numuneleri doğal durumları korunmuş halde laboratuvar ortamına getirilmiştir.



Şekil 4.3: Arazide zeminden çıkarılan numunenin parafınle kaplanması

Bu Şekilde alınan zemin numuneleri doğal durumları korunmuş halde laboratuvar ortamına getirilmiştir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4: Arazide zeminden çıkarılan silindirik tüpün başlıktan ayrılması

4.2.2. Laboratuvar Deneyleri

Araziden alınan örselenmemiş zemin numuneleri laboratuara getirildikten sonra numuneler üzerinde; atterberg limitleri (likit limit, plastik limit, rötre limiti), özgül ağırlığı, elek analizi, hidrometre deneyi, konsolidasyon (oturma) özellikleri, üç eksenli basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır.

4.2.2.1. Koni Düşürme (Penetrasyon) İle Likit Limitin Tayini

Bu deney, TS 1900 Zemin Laboratuvar Deneylerinde belirtilen Koni düşürme (penetrasyon) ile likit limitin tayini yöntemine uygun olarak yapılmıştır. Deney için 40 no' lu (0,425 mm)'lik elekten geçirilen 200 g kadar numune cam plâkanın üstüne veya porselen potaya konup damıtık su katılarak, homojen bir hamur durumuna gelene kadar, palet bıçağıyla iyice karıştırılmıştır. Hazırlanan numune metal deney kabına sıkıca yerleştirildikten sonra yüzeyi çelik cetvelle tesviye edilmiş ve penetrometre tabanına konulmuştur. Koni, zeminin yüzeyini belirsizce çizecek seviyeye indirilmiş ve komparatör saatinin sıfır okuması alınmıştır. Sonra düğmeye 5 ± 1 saniye süre ile basılıp bu süre sonunda son mikrometre okuması yapılmıştır. Su muhtevasını belirlemek için koninin battığı noktanın etrafından yaklaşık 10 g kadar numune alınıp ve su muhtevası ölçülmüştür. Bu şekilde üç örnek üzerinde yapılan koni penetrasyon deneyinde hesaplanan su muhtevalarına karşılık gelen koni derinliği bir grafik üzerinde gösterilmiş ve 20 mm batma miktarına karşılık gelen su muhtevası numunenin likit limiti olarak kaydedilmiştir.

4.2.2.2. Plastik Limit Deneyi

Bu deney, TS 1900 Zemin Laboratuvar Deneylerinde belirtilen plastik limitin belirlenmesi yöntemine uygun olarak yapılmıştır. Bu amaçla numuneler likit limit deneyinde olduğu gibi etüvde kurutulduktan sonra 40 no' lu (0,425 mm) elekten geçirilmiş ve 20 g civarında alınmıştır. Bir miktar su ilave edilerek karıştırılıp hamur kıvamına gelecek şekilde yoğrulmuştur. Böylece hazırlanan zeminden bir miktar alınmış ve el altında yuvarlanmıştır. El altında yuvarlanan ve çubuk haline gelen zemin numunesinin çapı 3 mm olduğunda çubukta kopmalar olmuş ve kopan noktalardan en az 5 g ağırlığında numune alınarak etüvde 110 ± 5 °C ' de kurutulmuş ve su muhtevaları belirlenmiştir. Belirlenen su muhtevaları doğrudan plastik limit değeri olarak kaydedilmiştir.

4.2.2.3. Rötire (Büzülme) Deneyi

Bu deney, TS 1900 Zemin Laboratuvar Deneylerinde belirtilen büzülme limitin belirlenmesi yöntemine uygun olarak yapılmıştır. Bu amaçla likit limit deneyinde olduğu gibi hazırlanan örnekten 150 g civarında alınarak bir miktar su ilave edilip macun kıvamında karıştırılmıştır. Hazırlanan zemin rötire kalıbına doldurularak hafifçe sarsılmış ve üzeri palet bıçağıyla düzeltilmiştir. Bu şekilde açıkta biraz kurutulduktan sonra önce 60 °C’de sonrada 110 °C’ deki etüvde kurutulmuştur. Numunenin başlangıçtaki uzunluğu da kullanılarak deney sonrası uzunluğuyla büzülme değeri belirlenmiştir.

4.2.2.4. Özgül Ağırlık Deneyi

Bu deney, TS 1900 Zemin Laboratuvar Deneylerinde belirtilen zemin danelerinin bağlı yoğunluğunun (özgül ağırlık) tayini yöntemine uygun olarak yapılmıştır. Deney etüvde kurularak 4 nolu (4,75 mm) elekten elenen numuneden 150 g alınarak yapılmıştır. Sırasıyla hacim şişesi+kapak, hacim şişesi+su+kapak ağırlıkları tartılarak kaydedilmiştir. Hacim şişesi ağzına kadar damıtık su ile doluyken sıcaklığı ölçülmüştür. Şişenin içi boşken alınan numunenin 50 gramı şişenin içerisine boşaltılmış, zemin numunesinin üstünü örtecek kadar su ile doldurularak biraz çalkalanmış ve daha sonra tamamı su ile doldurulmuştur. Hazırlanan bu karışımın içinde hava kabarcıklarının kalmaması için vakum uygulanmıştır. Bu işlemden sonra, şişe+zemin örneği+su+kapak ağırlığı tartılmış ve bu durumdaki sıcaklığı ölçülmüştür. Elde edilen verilerle gerekli hesaplamalar yapıldıktan sonra zemin numunelerinin özgül ağırlık değeri belirlenmiştir.

4.2.2.5. Elek Analizi Deneyi (Dane Çapı Dağılımının Bulunması)

Bu deney, “TS 1900 Zemin Laboratuvar Deneylerinde belirtilen dane çapı dağılımının bulunması yöntemine” uygun olarak yapılmıştır. Deneyde 80 mm, 63 mm, 50 mm, 40 mm, 25 mm, 20 mm, 12,5 mm, 10 mm, 6,3 mm, 5 mm, 2,5 mm, 12,5 mm, 630 µm, 400 µm, 315 µm, 200 µm, 100 µm, 160 µm, 80 µm göz açıklığına sahip eleklerden zeminin elenmesi sonucu elek üzerinde kalan malzemeler tartılmıştır. Toplam numune ağırlığı esas alınarak, her elek üzerinde kalan zemin numunesinin ağırlığı ve buna bağlı olarak da yüzde cinsinden her elekten geçen zemin miktarı “% “ olarak hesaplanır. Böylece zeminin tane çapı ve elekten geçen % oranlarına göre dane dağılımı eğrisi (granülometri eğrisi) çizilmiştir. Granülometri eğrisi çizildikten sonra kritik çaplar olan

D10, D30 ve D60 değerlerine karşılık gelen tane çapları eğriden okunarak zemin numunesinin efektif çapı belirlenir buna bağlı olarak da üniformluk katsayısı ve eğrilik katsayıları hesaplanmıştır.

4.2.2.6. Hidrometre Deneyi

Bu deney, TS 1900 Zemin Laboratuvar Deneylerinde belirtilen ince daneli zeminlerin dane çapı dağılımının bulunması için hidrometre yöntemine göre deney 151H tipi hidrometre kullanılarak yapılmıştır. Deney için gerekli zemin miktarı killi zeminler için 50 g olarak alınmıştır. Numune, 0,01 g doğrulukla tartılmış ve geniş ağızlı konik şişeye konulmuştur. Porselen pota 0,01 g hassasiyetle tartılmış ve konik şişedeki karışım bu potaya aktarılmıştır. Porselen potanın içindeki numuneye yapışık tanelerin birbirinden ayrışması için 100 ml sodyum heksametafosfat (NaPO_3) çözeltisi katılıp 16 saat süreyle bekletilmiştir. Hazırlanan bu süspansiyon bundan sonra 1 dakika süreyle mekanik karıştırıcı yardımıyla karıştırılmıştır. Karışım 1000 ml'lik cam mezüre konulmuş ve karışımın üstüne cam mezürün 1000 ml seviyesine kadar damıtık su ilave edilerek 1000 ml'lik bir süspansiyon elde edilmiştir. Cam mezürün ağzı lâstik bir tıpa ile kapatılıp ve homojen bir süspansiyon oluşana kadar sert bir biçimde çalkalanmış, en sonunda baş aşağı çevrilmiştir. Çalkalama işlemi durdurulur durdurulmaz mezür, düz bir yüzey üzerine oturtulup kronometre çalıştırılmıştır. Hidrometre yüzme durumunun az altına gelene kadar süspansiyona daldırılmış ve serbestçe yüzmeye bırakılmıştır. Kronometreye bakılarak 1, 2, 5, 10, 15, 30, 60, 120, 250, 600, 1440 'ıncı dakikalarda hidrometre okumaları alınmıştır. Bundan sonra hidrometre, yavaşça süspansiyondan çıkarılıp, damıtık suyla yıkanmış ve zemin süspansiyonu ile aynı sıcaklıkta tutulan damıtık su dolu diğer bir mezür içinde bekletilmiş ve 10'uncu dakikadan sonraki sıcaklık değerleri ölçülerek kaydedilmiştir.

4.2.2.7. Zeminlerin sınıflandırılması

Zeminlerin sınıflandırılmasında tane çapına göre sınıflandırma, üçgen sınıflandırma, AASHO (American Association of State Highway Officials) sınıflandırması, birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemi (Unified Soil Classification System-USCS) kullanılmıştır.

Tane çapına göre sınıflandırmada, zeminin tane çapı dağılım eğrisi çizilerek, her bir grubun zemin içindeki ağırlıkça yüzdesi bulunmuş ve bunlar içinde, hangi grup veya gruplar büyükse, zemin bunlara göre adlandırılmıştır.

Üçgen sınıflandırma sisteminde; zeminin, kum, silt ve kil yüzdeleri kullanılmıştır. Zeminin granülometri eğrisi çizilerek, bu üç bileşenin ağırlıkça yüzdeleri belirlenmiştir. Çakıl yüzdesi çıkarılarak, anılan 3 grubun yüzdelerinin toplamı 100 olacak şekilde, her bir grubun düzeltilmiş yüzdeleri hesaplanmıştır. Hesaplanan yüzdeler, hazır üçgen bir diyagramda, ilgili kenarlarda işaretlenerek, belirtilen yönlerde doğrular çizilerek, üçgen içinde bir nokta elde edilmiştir. Zemin, bu noktanın düştüğü bölgeye göre adlandırılmıştır.

AASHO zemin sınıflandırması için zeminin granülometri eğrisinden elde edilen 10, 40 ve 200 no' lu eleklerle ait yüzdeler, likit limit, plastisite indisi, grup indisi kullanılarak, soldan sağa doğru eleme ile gidilerek, sınıf belirlenmiştir. İlk sağlayan sınıf, zeminin sınıfı olarak adlandırılmıştır.

Birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemine göre zeminin granülometri eğrisi çizildikten sonra; 200 No. ve 4 No.'lu eleklerle ait geçen yüzdeleri, üniformaluluk sayısı (C_U), eğrilik katsayısı (C_C), likit limiti (w_L), plastisite (plastiklik) indisi I_P bilgileri kullanılarak, zemin sınıflandırılmıştır.

4.2.2.8. *Konsolidasyon Özelliklerinin Tayini*

Bu deney, “TS 1900 Zemin Laboratuvar Deneylerinde” belirtilen tek yönlü konsolidasyon özelliklerinin tayini yöntemine uygun olarak yapılmıştır. Standartlara uygun bir konsolidasyon halkaları iyice temizlenip kurulanmış ve 0,01 g hassasiyetle ayrı ayrı tartılmıştır. Halkanın içi silikon gresiyle hafifçe yağlandıktan sonra numune, halkanın içine alınarak numunenin halkadan taşan kısmı, ince ağızlı bir bıçakla halkanın ağızıyla aynı düzeyde olacak şekilde kesilerek düzeltilmiştir. Geçirimli poroz taş, kuru olarak, konsolidasyon hücresi içine yerleştirilmiştir. Halka içindeki numunenin, altına ve üstüne birer süzgeç kâğıdı konarak geçirimli poroz taşın üzerine yerleştirilmiştir. Üstte bulunan poroz taş ve yükleme plâkası numunenin üzerine yerleştirilmiş bundan sonra konsolidasyon hücresi yükleme cihazındaki yerine oturtulup dengelenmiş, yükleme kolu ise düzeci dikkate alınarak, yatay duruma getirilip yükü numuneye aktaran parçası yükleme plâkasına temas edecek şekilde ayarlanmıştır.

Komparatör saati, konsolidasyon hücresinin tabanı ile yükleme plâkası arasındaki bağılı hareketi ölçecek biçimde yerleştirilmiş olup deneye başladıktan sonra 0; 6; 18; 30 saniye; 1; 2,25; 4; 6,25; 9; 16; 25; 36; 49; 64; 81; 100; 121 dakika; 4, 9 ve 24 saat ilk süreler için okuma yapılmak üzere, konsolidasyon hücresi suyla doldurulmuş ve yük uygulanmıştır. Deneyde uygulanan yükler 12,5; 25 50; 100; 200; 400; 800; 1600; 3200 kPa dizisini takip etmiştir.

Deneyde her bir yükleme kademesi için oturma (çökme) sona erene kadar devam edilmiş ve okumalar yapılmıştır. Herhangi bir yük kademesinde oturma (çökme) durduktan sonra bir üst yük uygulanarak bu şekilde okumaya devam edilmiştir. Deneyde, yeterli sayıda (en az 4) yükleme basamağı kullanılmış ve boşaltma, etkiyen basıncın dörtte biri olmak üzere yapılmıştır.

4.2.2.9. Üç Eksenli Basınç Dayanımı Tayini

Bu deney, TS 1900 Zemin Laboratuvar Deneylerinde belirtilen kayma direncinin üç eksenli hücrede (konsolidasyonsuz - drenajsız) boşluk suyu basıncı ölçülmeden tayini yöntemine uygun olarak yapılmıştır. Numune tüpü iç çapının, hazırlanacak deney numunesinin çapından büyük olduğu durumlar için, istenilen çapta ince çeperli tüplere itilerek hazırlanan deney numunesi, üç eksenli basma hücresi tabanına oturtulmuştur. Hücrenin parçaları yerlerine takılıp, yükleme pistonunun bu işlem sırasında deney numunesinin üst başlığına değmemesi sağlanmıştır. Bundan sonra hücre, eksenel yüklemeye hazır duruma getirilmiş ve çevre basıncı için kullanılacak akışkan hücreye doldurulmuştur. Hücre basıncı istenilen değere yükseltildikten sonra yükleme cihazı, pistonun ucu numunenin üst başlık yatağından çok az yukarıda kalacak biçimde ayarlanıp uygulanan yükten dolayı "O" ringinde meydana gelen deplasmanı gösteren komparatörün ilk değeri kaydedilip komparatör sıfırlanmıştır. Bundan sonra ölçülecek değer deviatör gerilme eşdeğeridir. Yükleme cihazı, pistonunun ucu numunenin üst başlık yatağına degecek şekilde ayarlanmış ve numunenin boy kısalmasını ölçen göstergenin ilk değeri kaydedilmiştir. Eksenel boy kısalma hızı, numunenin yaklaşık olarak 5 - 10 dakikalık bir sürede göçeceği biçimde seçilmiştir. Bundan sonra, yüklemeye başlanmış ve gerilme - eksenel birim şekil değiştirmesi bağıntısını belirlemeye yetecek sayıda yük göstergesi okuması ve bunlara karşılık olan kısalma (çökme) okumaları alınmıştır. Deney, en büyük eksenel gerilme değeri aşılan veya

birim boy kısalması % 20'ye ulaşınca kadar sürdürülmüştür. Bundan sonra numune üzerindeki yük kaldırılmış ve yükleme çerçevesinde “O” ringinde uygulanan yükten dolayı oluşan deplasman miktarı göstergenin son okuması ilk okumasıyla karşılaştırılarak aradaki farkı belirlemek amacıyla kaydedilmiştir.

Numunede göçme olduktan sonra hücredeki su boşaltılmış ve hücre açılarak deney numunesi yerinden alınmıştır. Numunenin üzerindeki kılıf çıkarılmış ve numunenin deney sonunda aldığı son hali şekil olarak çizilmiştir. Deney numunesi tartılmış ve su muhtevasının belirlenmesi için numuneler alınarak su muhtevaları belirlenmiştir (TS 1900-1 Deney 1).

4.2.2.10. Donma Çözülme Deneyi

Zemin örnekleri “TS EN 1367-1 Agregaların Donma Çözölmeye Karşı Direncinin Tayini Yöntemine” göre donma çözölmeye deneyine tabi tutulmuştur. Donma çözölmeye işlemi aşağıdaki tabloda belirtilen prosedüre uygun olarak yapılmış ve Çizelge 4.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1: DÇ Döngüsü

İşlem Sırası	Dondurma İşlemi		Maruz bırakma süresi (dk)	Tolerans (dk)
	İlk Sıcaklık (°C)	Son Sıcaklık (°C)		
1. İşlem: Soğutma	$(20 \pm 3) \text{ }^{\circ}\text{C}$	$0 \text{ }^{\circ}\text{C}$	150	± 30
2. İşlem: Bekletme	$0 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$0 \text{ }^{\circ}\text{C}$	210	± 30
3. İşlem: Soğutma	$0 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$(-17,5 \pm 2,5) \text{ }^{\circ}\text{C}$	180	± 30
4. İşlem: Bekletme	$(-17,5 \pm 2,5) \text{ }^{\circ}\text{C}$	$(-17,5 \pm 2,5) \text{ }^{\circ}\text{C}$	240 (en az)	–

Donma çözölmeye işlemi için hazırlanmış olan numunenin ilk sıcaklığı $20 \pm 3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye getirilmiş ve 1. işlem olan soğutma işlemi için numunenin sıcaklığı $150 \pm 30 \text{ dk}$ 'da $20 \pm 3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 'den $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar düşürülmüştür. Numunenin sıcaklığı $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye düşürüldükten sonra 2. işlem için numune $210 \pm 30 \text{ dk}$ bekleme süresinde mevcut sıcaklıkta bekletilmiştir. Zemin numuneleri $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de $210 \pm 30 \text{ dk}$ bekletildikten sonra numunenin sıcaklığı $180 \pm 30 \text{ dk}$ 'da $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 'den $17,5 \pm 2,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar düşürülmüştür. Numune bu

sıcaklıkta en az 240 dk'ka bekletildikten sonra tekrar 1. işlem uygulanarak donma çözülme döngüsüne devam ettirilmiştir.

Her bir çözme aşaması tamamlandıktan sonra zemin numunelerinin bulunduğu kutular 20 ± 3 °C' deki suda en fazla 10 saat süreyle tutulmuş ve her bir DÇ döngüsü 24 saat içinde tamamlanmıştır.

4.2.3. Zemin Numunelerinin Yapısal Analizleri

Araziden farklı derinliklerden alınarak DÇ etkisine maruz bırakılan ve donma çözülmeden önceki özellikleri ile donma çözülmeden sonraki özelliklerinin incelendiği numunelerin mikro yapıları da ortaya konularak deney sonuçlarının numunelerin mikro yapılarına bağlı olarak da değerlendirilebilmesi için zemin numuneleri üzerinde "Taramalı Elektron Mikroskobu (Scanning Elektron Microscobe-SEM) ve Enerji Açılımlı X-ışını Spektrometresi (Energy Dispersive X-ray-EDX) analizleri yapılmıştır.

4.2.3.1. SEM Analizleri

Zemin numunelerinin mikro yapı analizleri; ODTÜ Merkez Laboratuvarında, 2,5 mm kalınlığında altın - paladyum (Au-Pd) kaplanarak yüksek vakum uygulamasıyla FEI QUANTA 400F taramalı elektron mikroskobu kullanılarak yapılmıştır.

4.2.3.2.EDX Analizi

Zemin numuneleri ODTÜ Merkez Laboratuvarında FEI QUANTA 400F taramalı elektron mikroskobu kullanılarak seçili bölgelerin EDX analizleri yapılmış ve zemin numuneleri içindeki element miktarlarının ağırlıkça yüzdeleri belirlenmiştir.

4.2.3.3. İstatiksel Analiz

Zemin numunelerinin doğal haldeki koni penetrasyonla likit limit deneyi, plastik limit deneyi, rötre (büzülme) limiti deneyi, hidrometre deneyi, özgül ağırlık deneyi, elek analizi deneyi, konsolidasyon (oturma) deneyi, üç eksenli basınç deneyleri gerçekleştirilmiştir. Zemin numunelerinin doğal durumdaki özellikleri incelendikten sonra aynı yerden alınan diğer numuneler ise donma çözülmeye maruz bırakılmışlardır. DÇye maruz bırakılmayan doğal haldeki zemin numuneleri üzerinde yapılan deneyler farklı donma çözülme döngüsüne maruz kalan zemin numuneleri üzerinde de yapılmıştır.

Zemin numunelerinin doğal halde buldukları derinliklerin DÇÖnde ve sonrasında yapılan deney sonuçları üzerinde bir etkisinin olup olmadığını tespit etmek amacıyla zemin numuneleri yüzeyden itibaren 1 m ve 2 m derinliklerden alınarak aynı deneylere ve aynı DÇ şartlarına maruz bırakılarak elde edilen deney sonuçları çok yönlü olarak değerlendirilmiştir. Deney sonuçlarının DÇÖ ve sonrası ile ilgili değerleri zemin numunelerinin alındıkları derinliklere göre (1m ve 2 m) istatistiksel metotlarla karşılaştırılmalı olarak incelenmiştir. Bu kapsamda deneyler için tanımlayıcı istatistikler, tek yönlü varyans analizleri yapılarak sonuçları birbirleriyle ilişkilendirilmiştir.

5. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

Araziden alınan örselenmemiş zemin numuneleri laboratuara getirildikten sonra numuneler üzerinde; atterberg limitleri (likit limit, plastik limit, rötre limiti), özgül ağırlığı, elek analizi, hidrometre deneyi, konsolidasyon (oturma) özellikleri, üç eksenli basınç dayanımı deneyleri yapılmış olup her bir deney sonuçları numunenin alındığı derinliğe bağlı olarak DÇ'den önceki ve sonraki şekilde tablolar halinde gösterilmiştir.

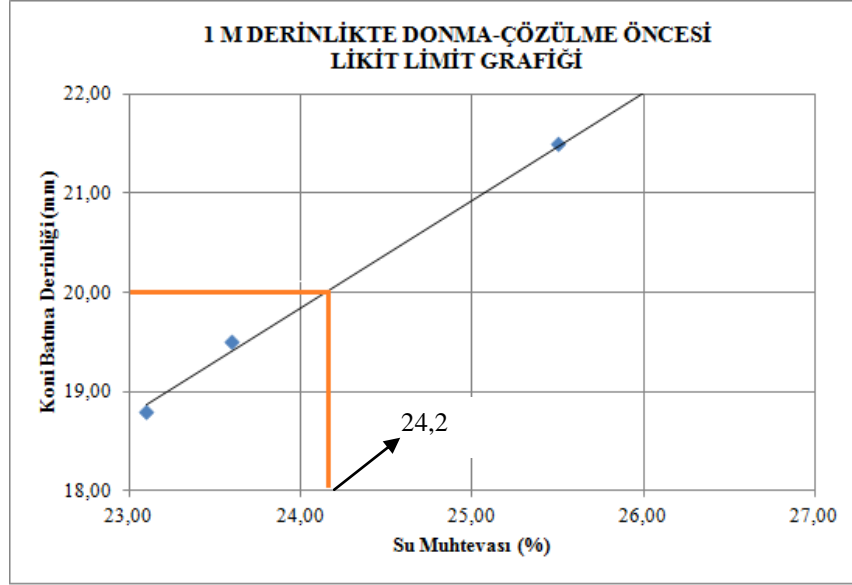
5.1. LİKİT LİMİT DENEYLERİ

TS 1901 Sondaj Yolları ile Örselenmemiş Numune Alma Yöntemine göre yaklaşık 1 ve 2 m derinliklerinden alınan zemin örneklerinde, DÇ deneyine tabi tutulmadan önce ve DÇ'ye tabi tutulduktan sonra TS 1900 Zemin Laboratuar Deneylelerinde belirtilen koni düşürme (penetrasyon) ile likit limitin tayini yöntemine uygun olarak koni penetrasyon deneyleri yapılmıştır. Zeminden alınan farklı iki derinlik (yaklaşık 1 ve 2 m) için zemin örneklerinin DÇÖ ve sonrasında koni düşürme (penetrasyon) ile likit limit deneyine tabi tutulmasıyla elde edilen deney sonuçları Çizelge 5.1'de verilmiştir.

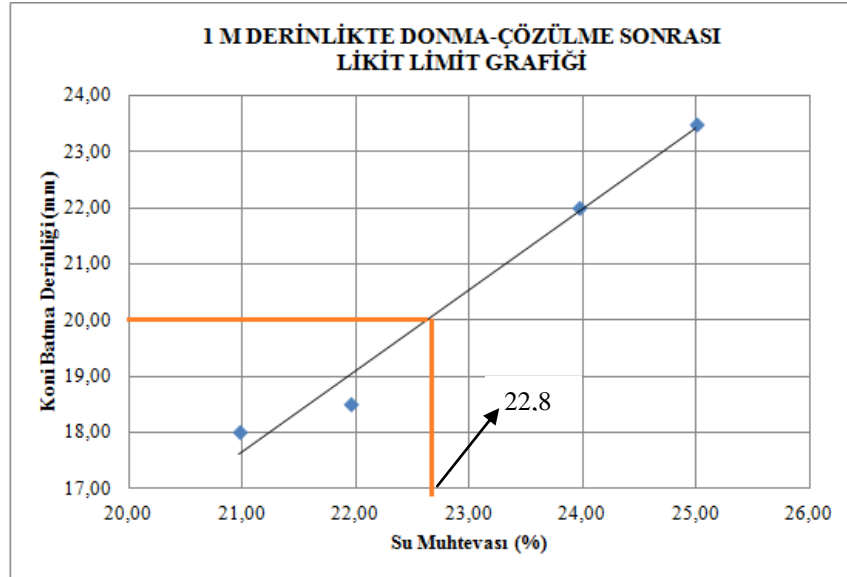
Çizelge 5.1: Koni penetrasyon su muhtevası ve koni derinliği değerleri

Derinlik (m)	DÇÖ		DÇS	
	Su Muhtevası (%)	Koni Derinliği (mm)	Su Muhtevası (%)	Koni Derinliği (mm)
1	23,10	18,80	20,97	18,00
1	23,60	19,50	21,95	18,50
1	25,50	21,50	23,97	22,00
1	26,10	22,10	25,00	23,50
2	19,60	18,90	20,20	19,70
2	19,80	19,00	20,40	19,90
2	21,00	20,30	20,90	20,40
2	22,30	21,50	21,50	21,00

Tablodaki veriler kullanılarak her bir deney için su muhtevası değeri hesaplanmış ve koni batma derinlikleri kaydedilerek su muhtevası-batma derinliklerine göre 1 m ve 2 m derinlikten alınan numuneler için DÇÖ ve DÇS için grafikler ayrı ayrı çizilerek gösterilmiştir (Şekil 5.1, Şekil 5.2, Şekil 5.3, Şekil 5.4).

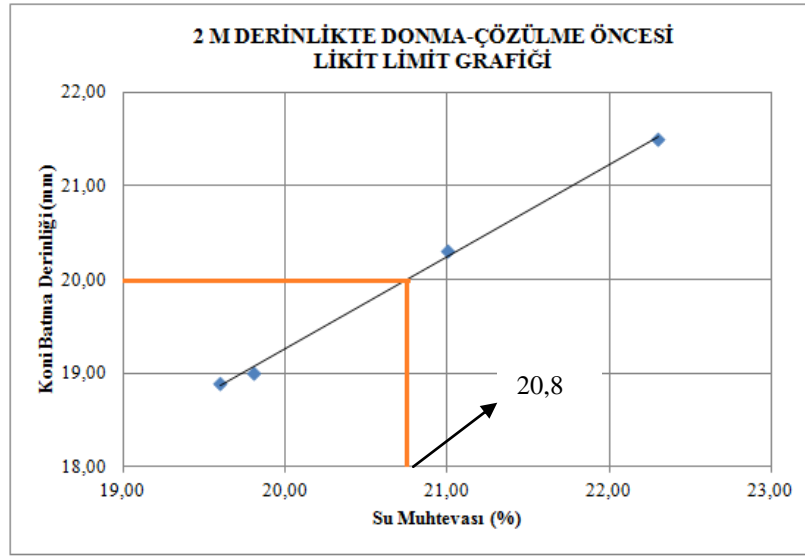


Şekil 5.1: 1 m derinlikten alınan numunelerin DÇÖ likit limit grafiği

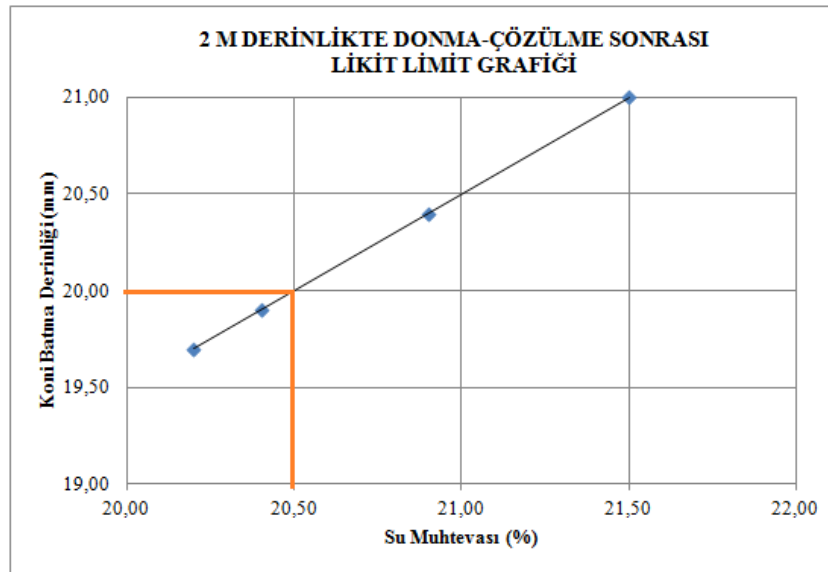


Şekil 5.2: 1 m derinlikten alınan numunelerin DÇS likit limit grafiği

Çizilen grafiklerdeki likit limit değerlerinin bulunması için; doğru “y” eksenindeki 20 mm batma derinliğinin olduğu yerden yatay gidilerek kesilmiş ve bu noktadan da “x” eksenine dik inilmiş olup bulunan nokta 20 mm batma derinliğine denk gelen su muhtevası değeri likit limit değeri olarak ifade edilmektedir. Belirlenen bu su muhtevası değeri “1 m” derinlikte “DÇ” öncesi için yaklaşık %24,2 yine 1 m derinlikte “DÇ” sonrası için yaklaşık % 22,8’dir bu değerler aynı zamanda zemin örneğinin likit limit değeri olarak kaydedilmiştir.



Şekil 5.3: 2 m derinlikten alınan numunelerin DÇÖ likit limit grafiği



Şekil 5.4: 2 m derinlikten alınan numunelerin DÇS likit limit grafiği

Belirlenen bu su muhtevası değeri “2 m” derinlikte “DÇ” öncesi için yaklaşık % 20,8 yine 2 m derinlikte “DÇ” sonrası için yaklaşık % 20,50’ dir ve bu değerler aynı zamanda zemin örneğinin likit limit değeri olarak kaydedilmiştir.

5.2. PLASTİK LİMİT DENEYİ

Araziden 1 ve 2 m derinliklerinden alınan zemin örneklerinde DÇ deneyine tabi tutulmadan önce ve DÇye tabi tutulduktan sonra TS 1900 Zemin Laboratuar Deneyleri’nde belirtilen plastik limitin belirlenmesi yöntemine uygun olarak plastik limit deneyi yapılmıştır. Zeminden alınan farklı iki derinlik (1 m ve 2 m) için zemin örneklerinin DÇÖ ve sonrasında plastik limit deneyine tabi tutulmasıyla elde edilen deney sonuçları Çizelge 5,2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2: Plastik limit deneyi için su içeriği değerleri

Derinlik (m)	Su İçeriği (%)	
	DÇÖ	DÇS
1	13,90	NP
1	14,40	NP
1	14,20	NP
2	14,90	NP
2	15,10	NP
2	15,20	NP

Alınan zemin örnekleri üç kere plastik limit deneyine tabi tutulduktan sonra elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması alınmış ve “1 m” derinlikte DÇÖ plastik kıvamdaki en düşük su içeriği % 14,16 ve “2 m” derinlikte DÇÖ plastik kıvamdaki en düşük su içeriği % 15,06 olarak belirlenmiştir. DÇS her iki derinlik için zemin plastiklik özelliğini kaybetmiş ve non-plastik (NP) olduğu gözlemlenmiştir.

5.3. RÖTRE (BÜZÜLME) DENEYİ

TS 1901 Sondaj Yolları ile Örselenmemiş Numune Alma Yöntemine göre yaklaşık 1 ve 2 m derinliklerinden alınan zemin örneklerinde, DÇ deneyine tabi tutulmadan önce ve DÇS TS 1900 Zemin Laboratuar Deneyleri'nde belirtilen rötre limitin belirlenmesi yöntemine uygun olarak rötre (büzülme) deneyi yapılmıştır. Zeminden alınan farklı iki derinlik (1 m ve 2 m) için zemin örneklerinin DÇÖ ve sonrasında rötre limit deneyine tabi tutulmasıyla elde edilen deney sonuçları Çizelge 5.3 verilmiştir.

Çizelge 5.3: Büzülme limiti için su muhtevası ve büzülme oranları değerleri

Derinlik (m)	DÇÖ		DÇS	
	Su Muhtevası (%)	Büzülme Oranı (%)	Su Muhtevası (%)	Büzülme Oranı (%)
1	48,40	10,00	25,26	7,14
1	47,70	10,70	25,80	6,90
1	48,90	9,50	24,70	7,40
2	39,80	11,10	21,43	7,14
2	39,60	11,60	21,50	7,10
2	40,10	10,70	21,40	7,20

Alınan zemin örnekleri üç kere büzülme limiti deneyine tabi tutulduktan sonra elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması alınarak yapılan hesaplamalar sonucunda DÇÖ 1 m derinlikte su içeriği % 48,33 ve büzülme oranı % 10,06 ve DÇS 1 m derinlikte su içeriği % 25,25 ve büzülme oranı % 7,15 yine DÇÖ 2 m derinlikte su içeriği % 39,83 ve büzülme oranı % 11,13 ve DÇS 2 m derinlikte su içeriği % 21,44 ve büzülme oranı % 7,15 olarak bulunmuştur.

5.4. ÖZGÜL AĞIRLIK DENEYİ

Araziden 1 ve 2 m derinliklerinden alınan zemin örneklerinde, donma çözülme deneyine tabi tutulmadan önce ve DÇ deneyine tabi tutulduktan sonra TS 1900 Zemin Laboratuar Deneylerinde belirtilen zemin danelerinin bağıl yoğunluğunun (özellik ağırlık) tayini yöntemine göre özgül ağırlık deneyleri yapılmıştır. Zeminden alınan farklı iki derinlik

(1 m ve 2 m) için zemin örneklerinin DÇÖ ve sonrasında özgül ağırlık deneyine tabi tutulmasıyla elde edilen deney sonuçları Çizelge 5.4’de verilmiştir.

Çizelge 5.4: Özgül ağırlık değerleri

Derinlik (m)	Özgül Ağırlık (g/cm ³)		Rölatif oran (DÇÖ/DÇS)
	DÇÖ	DÇS	
1	2,15	2,32	0,93
1	3,23	3,24	1,00
1	2,60	2,79	0,93
2	2,16	2,82	0,77
2	2,55	2,76	1,22
2	2,77	2,73	1,01

Alınan zemin örnekleri üç kere özgül ağırlık deneyine tabi tutulduktan sonra elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması alınarak yapılan hesaplamalar sonucunda 1 m derinlikte DÇÖ özgül ağırlık 2,66 g / cm³ ve 1 m derinlikte DÇS özgül ağırlık 2,78 g / cm³ yine 2 m derinlikte DÇÖ özgül ağırlık 2,76 g / cm³ ve 2 m derinlikte DÇS özgül ağırlık 2,77 g / cm³ olarak tespit edilmiştir.

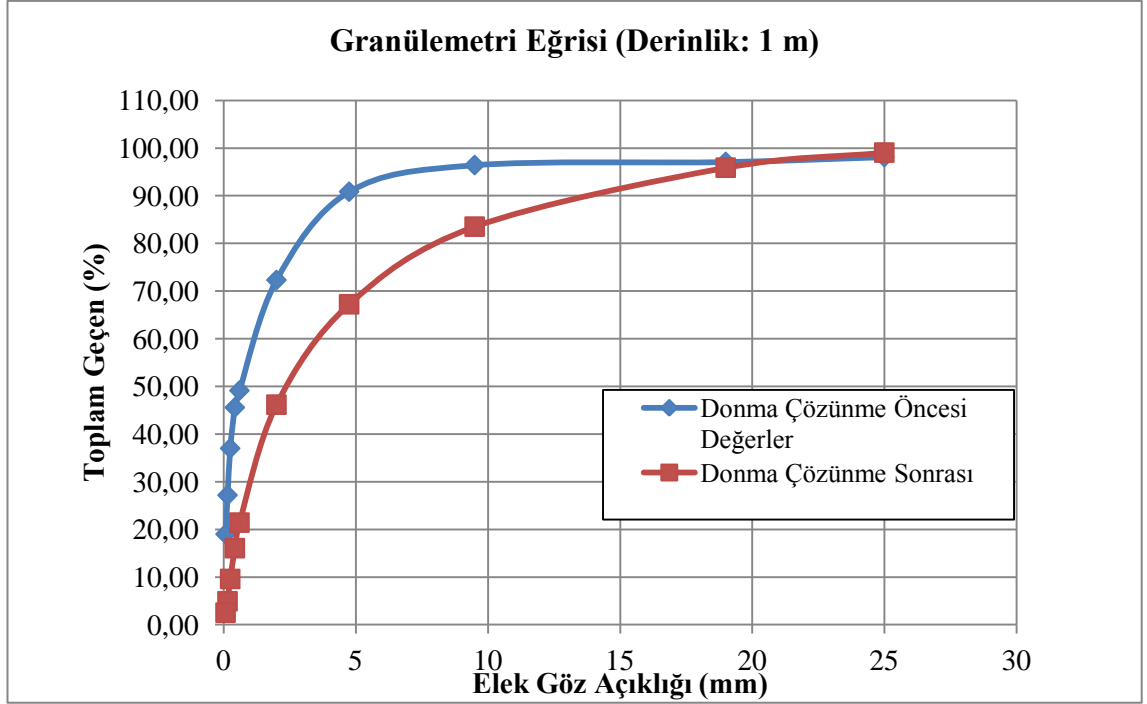
5.5. ELEK ANALİZİ DENEYİ

Araziden 1 ve 2 m derinliklerinden alınan zemin örneklerinde, donma çözülme deneyine tabi tutulmadan önce ve DÇ deneyine tabi tutulduktan sonra TS 1900 Zemin Laboratuvar Deneylerinde belirtilen dane çapı dağılımının bulunması yöntemine uygun olarak elek analizi yapılmıştır. Zeminden alınan farklı iki derinlik (yaklaşık 1 ve 2 m) için zemin örneklerinin DÇÖ ve sonrasında elek analizi deneyine tabi tutulmasıyla elde edilen deney sonuçları Çizelge 5.5’te verilmiştir.

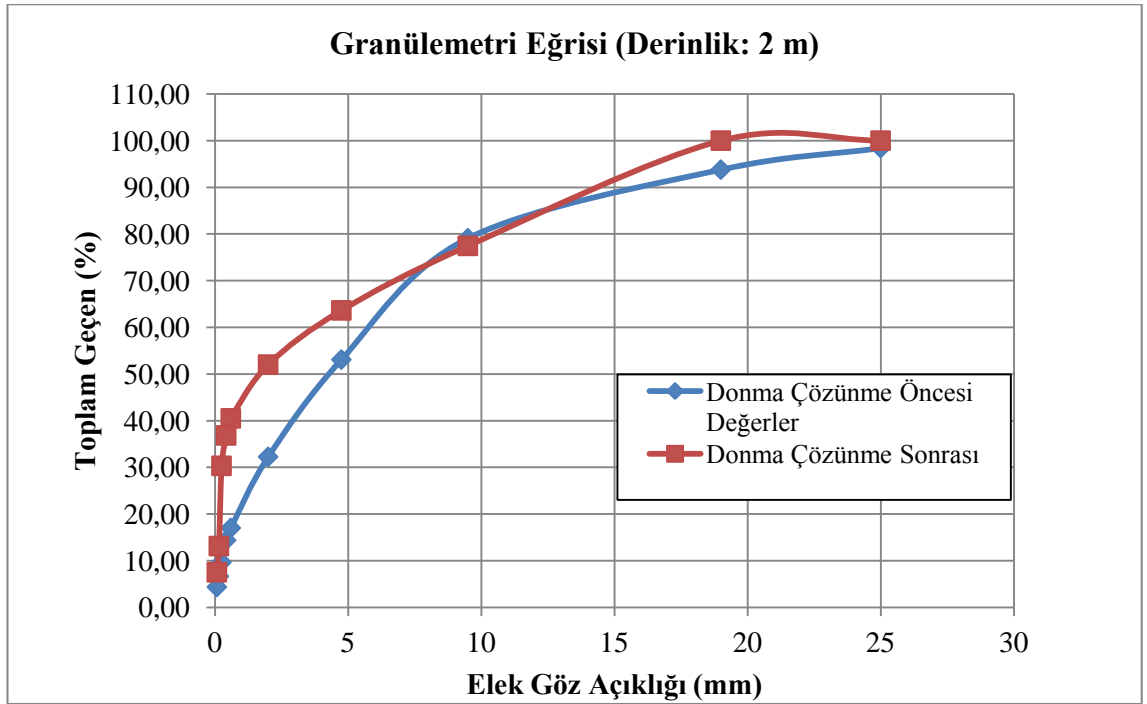
Çizelge 5.5: Elek analizi toplam geçen değerleri

Derinlik (m)	Elek Göz Açıklığı (mm)	DÇÖ	DÇS	Rölatif Oran (DÇÖ/DÇS)
		Toplam Geçen (%)	Toplam Geçen (%)	
1	25	98,11	99,04	0,99
1	19	97,08	95,87	1,01
1	9,5	96,42	83,50	1,15
1	4,75	90,83	67,21	1,35
1	2	72,30	46,16	1,57
1	0,6	49,12	21,41	2,29
1	0,425	45,56	16,05	2,84
1	0,25	36,99	9,58	3,86
1	0,15	27,16	4,90	5,54
1	0,075	19,00	2,51	7,57
1	Tava	0,00	0,00	0,00
2	25	98,42	100,00	0,98
2	19	93,79	100,00	0,94
2	9,5	79,08	77,45	1,02
2	4,75	53,08	63,62	0,83
2	2	32,24	52,00	0,62
2	0,6	16,99	40,48	0,42
2	0,425	14,35	36,82	0,39
2	0,25	9,63	30,31	0,32
2	0,15	6,63	13,11	0,51
2	0,075	4,34	7,50	0,58
2	Tava	0,00	0,00	0,00

Tablodaki veriler kullanılarak her iki derinlik ve DÇÖ ve sonrası için elek göz açıklığı (mm) ve toplam geçen (%) değerleri kullanılarak aşağıdaki grafikler çizilmiştir (Şekil 5.5, Şekil 5.6).



Şekil 5.5 : 1 m derinlikten alınan numunelerin DÇÖ ve sonrası granülemetri eğrisi



Şekil 5.6 : 2 m derinlikten alınan numunelerin DÇÖ ve sonrası granülemetri eğrisi

Çizilen grafiklerde “x” ekseninde elek göz açıklığı (mm) ve “y” ekseninde toplam geçen % P değerleri verilmiştir. Grafiklerde 1 m derinlikte DÇÖ ve sonrası eğrileriyle, 2 m derinlikte DÇÖ ve sonrası eğrileri bir arada gösterilmiştir.

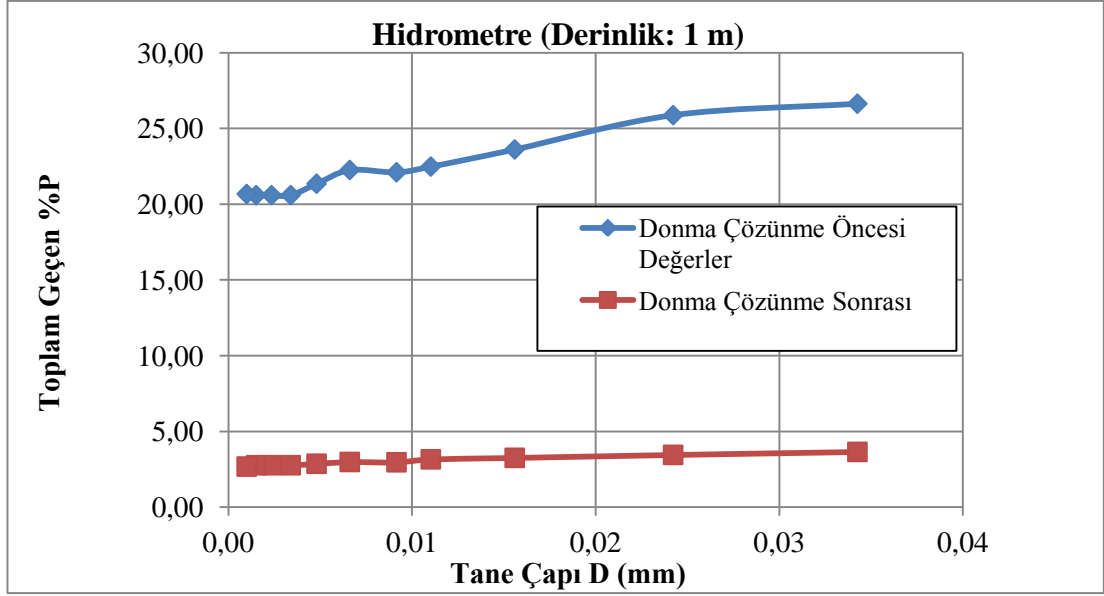
5.6. HİDROMETRE DENEYİ

Araziden 1 ve 2 m derinliklerinden alınan zemin örneklerinde, donma çözülme deneyine tabi tutulmadan önce ve DÇ deneyine tabi tutulduktan sonra TS 1900 Zemin Laboratuar Deneylerinde belirtilen ince daneli zeminlerin dane çapı dağılımının belirlenebilmesi için hidrometre metodu yöntemine göre hidrometre deneyi yapılmıştır. Zeminden alınan farklı iki derinlik (1 m ve 2 m) için zemin örneklerinin DÇÖ ve sonrasında hidrometre deneyine tabi tutulmasıyla elde edilen deney sonuçları Çizelge 5.6’da verilmiştir.

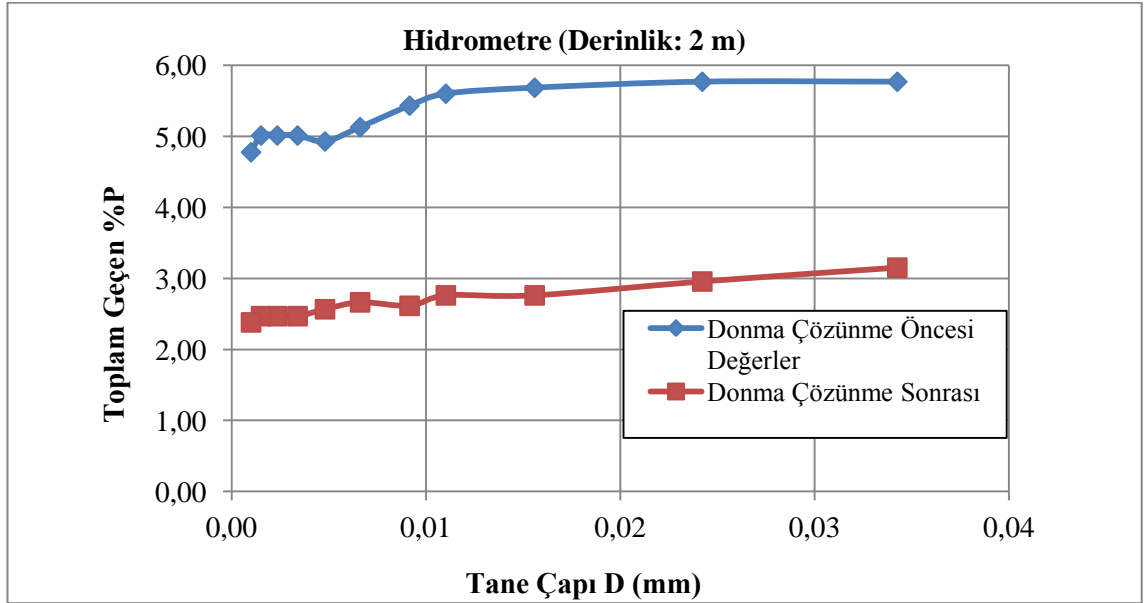
Çizelge 5.6: Hidrometre tane çapları ve toplam geçen (%) değerleri

Derinlik (m)	DÇÖ		DÇS		Rölatif Oran (DÇÖ/DÇS)
	Tane Çapı D (mm)	Toplam Geçen %P	Tane Çapı D (mm)	Toplam Geçen %P	
1	0,034	26,63	0,034	3,64	7,32
1	0,024	25,88	0,024	3,45	7,50
1	0,016	23,61	0,016	3,25	7,26
1	0,011	22,48	0,011	3,15	7,14
1	0,009	22,10	0,009	2,96	7,47
1	0,007	22,26	0,007	2,98	7,47
1	0,005	21,35	0,005	2,86	7,47
1	0,003	20,60	0,003	2,76	7,46
1	0,002	20,60	0,002	2,76	7,46
1	0,002	20,60	0,002	2,76	7,46
1	0,001	20,67	0,001	2,67	7,74
2	0,034	5,77	0,034	3,15	1,83
2	0,024	5,77	0,024	2,96	1,95
2	0,016	5,69	0,016	2,76	2,06
2	0,011	5,60	0,011	2,76	2,03
2	0,009	5,43	0,009	2,62	2,07
2	0,007	5,13	0,007	2,66	1,93
2	0,005	4,93	0,005	2,57	1,92
2	0,003	5,01	0,003	2,47	2,03
2	0,002	5,01	0,002	2,47	2,03
2	0,002	5,01	0,002	2,47	2,03
2	0,001	4,78	0,001	2,38	2,01

Tablodaki veriler kullanılarak 1m ve 2 m derinlikler için; DÇÖ ve sonrası için tane çapı değeri D (mm) ile toplam geçen % P değerleri kullanılarak aşağıdaki grafikler çizilmiştir (Şekil 5.7, Şekil 5.8).



Şekil 5.7 : 1 m derinlikten alınan numunelerin DÇÖ ve sonrası için granülometri eğrisi



Şekil 5.8: 2 m derinlikten alınan numunelerin DÇÖ ve sonrası için granülometri eğrisi

Çizilen grafiklerde x ekseninde tane çapı D (mm) ve y ekseninde toplam geçen % P değerleri verilmiştir. Grafiklerde 1 m derinlikte DÇÖ ve sonrası, 2 m derinlikte DÇÖ ve sonrası eğrileri bir arada gösterilmiştir.

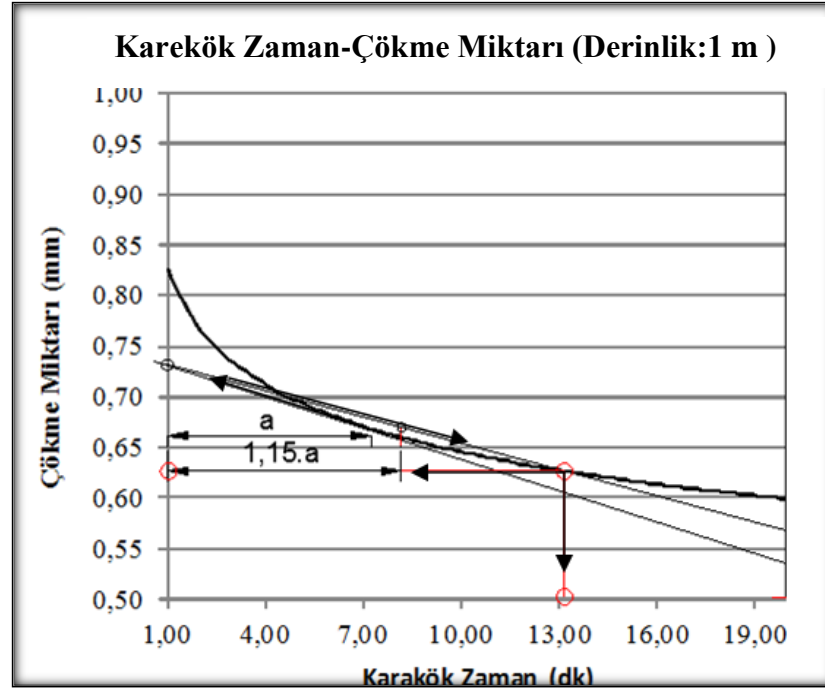
5.7. KONSOLİDASYON DENEYİ

TS 1901 Sondaj Yolları ile Örselenmemiş Numune Alma Yöntemine göre yaklaşık 1 ve 2 m derinliklerinden alınan zemin örneklerinde, donma çözülme deneyine tabi tutulmadan önce ve DÇ deneyine tabi tutulduktan sonra TS 1900 Zemin Laboratuar Deneyleri'nde belirtilen konsolidasyon özelliklerinin belirlenmesine uygun olarak konsolidasyon deneyi yapılmıştır. Zeminden alınan farklı iki derinlik (yaklaşık 1 ve 2 m) için zemin örneklerinin konsolidasyon deneyine tabi tutulmasıyla elde edilen deney sonuçları Çizelge 5.7'de verilmiştir.

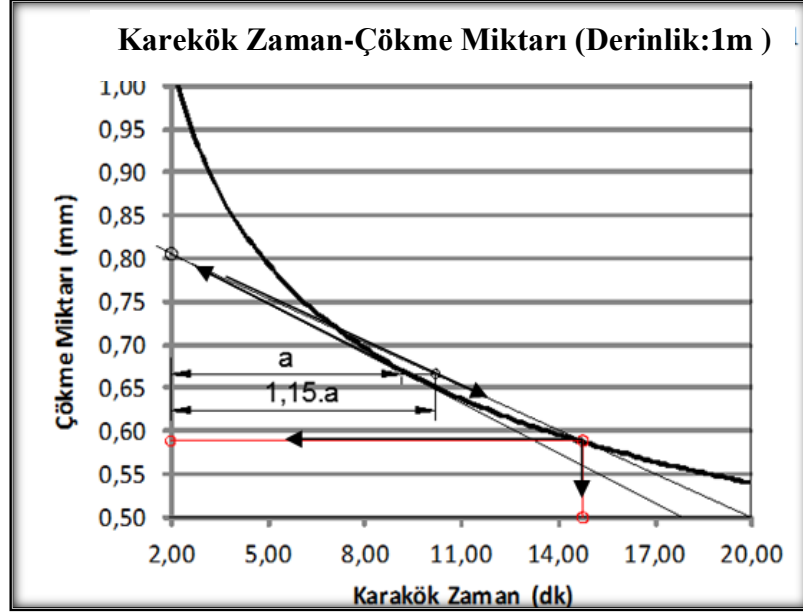
Çizelge 5.7: Konsolidasyon deneyinde ölçülen çökme miktarları

Derinlik (m)	Karekök Zaman (dk)	DÇ ÖNCESİ	DÇS
		Çökme Miktarı (mm)	Çökme Miktarı (mm)
1	1,00	0,89	1,20
1	1,41	0,83	1,19
1	2,24	0,81	1,19
1	3,16	0,79	1,18
1	3,87	0,78	1,07
1	5,48	0,77	1,06
1	7,75	0,72	1,04
1	10,95	0,71	0,89
1	15,81	0,70	0,84
1	24,49	0,68	0,73
1	37,95	0,67	0,71
1	1,00	0,66	0,71
1	1,41	0,65	0,65
1	2,24	0,64	0,65
1	3,16	0,64	0,58
1	3,87	0,63	0,57
1	5,48	0,61	0,55
1	7,75	0,60	0,54
1	10,95	0,58	0,53
2	1,00	0,885	1,39
2	1,41	0,84	1,36
2	2,24	0,82	1,34
2	3,16	0,8	1,32
2	3,87	0,79	1,30
2	5,48	0,775	1,28
2	7,75	0,77	1,28
2	10,95	0,765	1,26
2	15,81	0,72	1,25
2	24,49	0,71	1,24
2	37,95	0,7	1,22
2	1,00	0,68	1,20
2	1,41	0,66	1,09
2	2,24	0,65	1,07
2	3,16	0,645	0,96
2	3,87	0,63	0,95
2	5,48	0,625	0,94
2	7,75	0,61	0,83
2	10,95	0,58	0,82

Tablodaki veriler kullanılarak 1m ve 2m derinlikler için ve DÇÖ ve sonrası için \sqrt{t} (karekök zaman-dk) ve çökme miktarı (mm) değerleri kullanılarak aşağıdaki grafikler çizilmiştir. Çizilen grafiklerde x ekseninde \sqrt{t} (dk) ve y ekseninde çökme miktarları (mm) değerleri verilmiştir. Grafikte oluşan eğriye bir teğet çizgisi çizilerek y ekseninde kesiştirilir. Eğri ile teğet çizgisinin kesiştiği noktadan y eksenine olan uzaklık (a) ölçülür. Bu uzaklığın 1,15 katı alınarak elde edilen diğer bir uzaklık (1,15.a) belirlenip bu noktadan y ekseninde bulunan teğet çizgisi kesiştirilir. Kesiştirilen bu çizgi grafikteki eğriyi de kesecek şekilde uzatılır ve eğriyi kestiği noktadan x eksenine bir dik ve y eksenine doğru da bir doğru çizgi uzatılır. X ekseninde elde edilen bu değer $\sqrt{t_{90}}$ değeri ve y ekseninde elde edilen değer R_{90} değeridir (Şekil 5.9, Şekil 5.10, Şekil 5.11, Şekil 5.12).

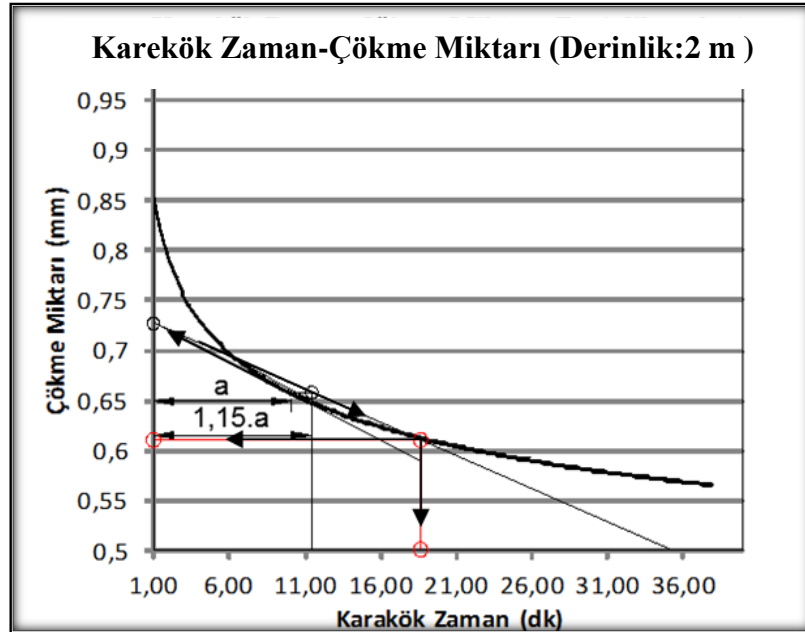


Şekil 5.9: 1 m derinlikten alınan zemin numuneleri için “DÇ” öncesi konsolidasyon grafiği

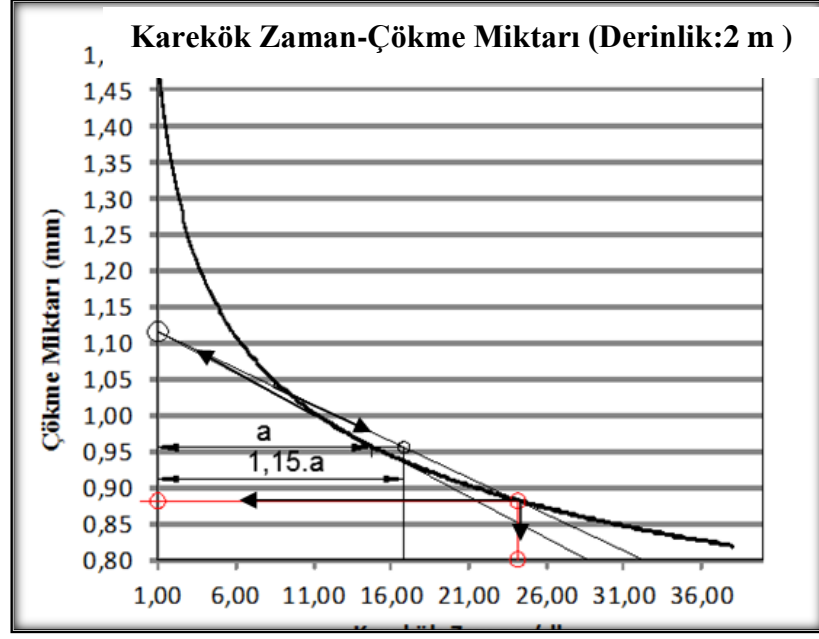


Şekil 5.10: 1 m derinlikten alınan zemin numuneleri için DÇS konsolidasyon grafiği

Karakök zaman ve çökme miktarlarına göre oluşturulan grafikte 1 m için DÇÖ $\sqrt{t_{90}}$ değeri 13.10 ve R_{90} değeri 0,625, 1 m derinlikte donma çözülme sonrası $\sqrt{t_{90}}$ değeri 14.90 ve R_{90} değeri ise 0,58 olarak bulunmuştur.



Şekil 5.11: 2 m derinlikten alınan zemin numuneleri için DÇÖ konsolidasyon grafiği



Şekil 5.12: 2 m derinlikten alınan zemin numuneleri için DÇS konsolidasyon grafiği

2 m derinlikte donma çözülme öncesi $\sqrt{t_{90}}$ değeri 18,50 ve R_{90} değeri 0,62, 2 m derinlikte donma çözülme sonrası $\sqrt{t_{90}}$ değeri 25,00 ve R_{90} değeri 0,88 olarak bulunmuştur.

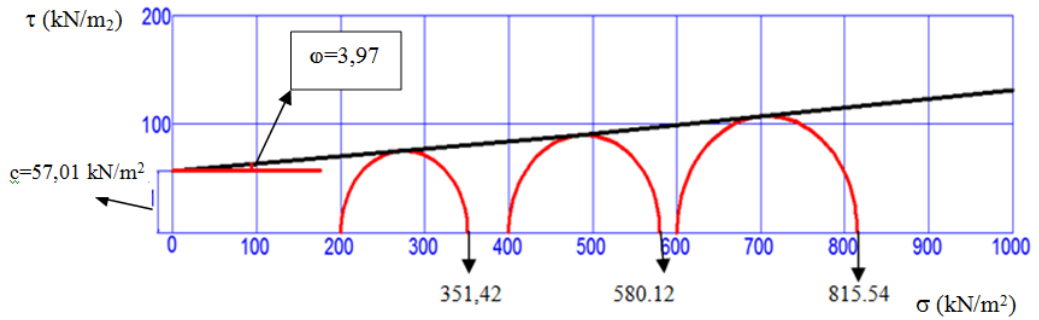
5.8. ÜÇ EKSENLİ BASINÇ DAYANIMI TAYİNİ

TS 1901 Sondaj Yolları ile Örselenmemiş Numune Alma Yöntemine göre yaklaşık 1 ve 2 m derinliklerinden alınan zemin örneklerinde, donma çözülme deneyine tabi tutulmadan önce ve DÇ deneyine tabi tutulduktan sonra TS 1900 Zemin Laboratuar Deneyleri'nde belirtilen üç eksenli basınç dayanımı tayini yöntemine uygun olarak üç eksenli basınç deneyi yapılmıştır. Zeminden alınan farklı iki derinlik (yaklaşık 1 ve 2 m) için zemin örneklerinin DÇÖ ve sonrasında üç eksenli basınç dayanımı deneyine tabi tutulmasıyla elde edilen deney sonuçları Çizelge 5.8'de verilmiştir.

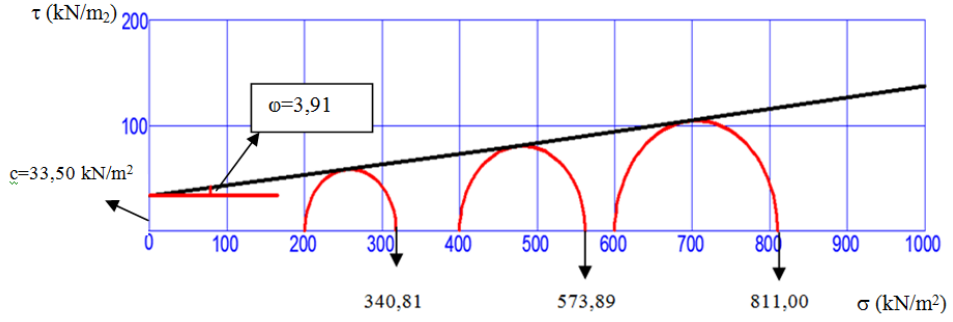
Çizelge 5.8: Üç eksenli basınçta gerilme değerleri

Derinlik (m)	σ_3 kN/m ²	DÇÖ	DÇS	Rölatif Oran (DÇÖ/DÇS)
		σ_1 kN/m ²	σ_1 kN/m ²	
1	200,00	351,42	340,81	1,03
1	400,00	580,12	573,89	1,01
1	600,00	815,54	811,00	1,01
2	200,00	318,27	309,74	1,03
2	400,00	562,41	555,23	1,01
2	600,00	810,43	795,30	1,02

Tablodaki veriler kullanılarak her iki derinlik ve DÇÖ ve sonrası için σ_3 değerlerine karşılık gelen σ_1 değerleri kullanılarak aşağıdaki grafikler çizilmiştir. Çizilen grafiklerde “x” ekseninde σ_3 ve buna karşılık gelen σ_1 değerleri verilmiştir. Mohr daireler kuralına göre; dairenin bir ucu σ_3 değeri ve diğer bir ucuda σ_1 değerleri işaretlenerek çizilir. Çizilen dairelere teğet olacak şekilde bir çizgi çizilip bu çizginin “y” eksenini kestiği noktadaki mesafe kohezyon katsayısı (c)’dir. Dairelere çizilen teğetle yatayda kalan açı arasındaki değer içsel sürtünme katsayısını “ ϕ ” verir (Şekil 5.13, Şekil 5.14, Şekil 5.15, Şekil 5.16).

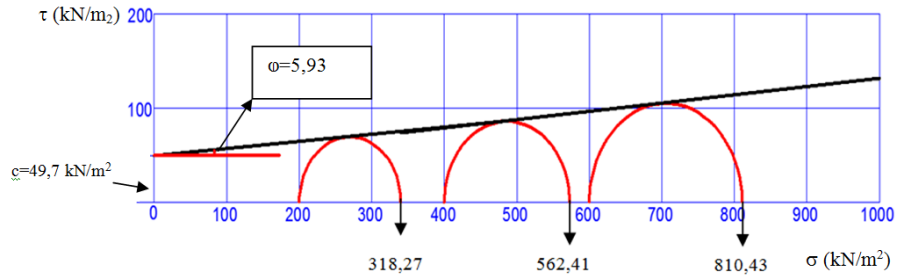


Şekil 5.13: 1 m derinlikten alınan numuneler için DÇÖ üç eksenli basınç dayanımı grafiği

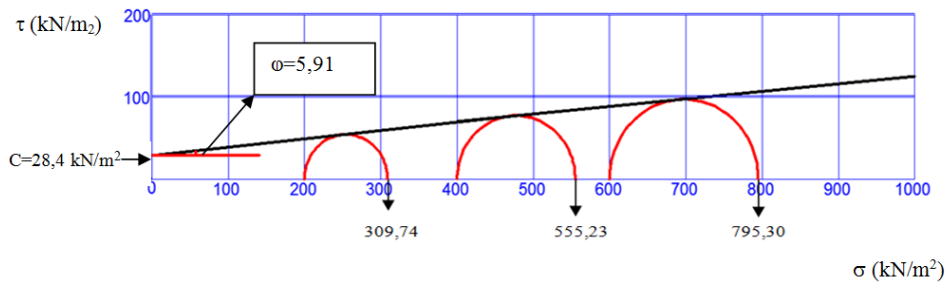


Şekil 5.14: 1 m derinlikten alınan numuneler için DÇS üç eksenli basınç dayanımı grafiği

Mohr daireleri kullanılarak çizilen grafiklerden elde edilen verilere göre “1” m için DÇÖ c değeri 57,01 kN/m², 1 m için DÇS c değeri 33,50 kN/m² olarak hesaplanmıştır. DÇÖ 1 m’de $\phi=3,97$ ve DÇS 1 m’de $\phi=3,91$ olarak bulunmuştur.



Şekil 5.15: 2 m derinlikten alınan numuneler için DÇÖ üç eksenli basınç dayanımı grafiği



Şekil 5.16: 2 m derinlikten alınan numuneler için DÇS üç eksenli basınç dayanımı grafiği

2 m için DÇÖ c değeri 49,57 kN/m², 2 m için DÇS c değeri 28,40 kN/m² olarak bulunmuştur. DÇÖ 2 m’de $\phi=5,93$ ve DÇS 1 m’de $\phi=5,91$ olarak bulunmuştur.

5.9. ZEMİNLERİN SINIFLANDIRILMASI

Araziden 1 m ve 2 m derinliklerinden alınan zemin örnekleri, elek analizi ve hidrometre deneylerindeki verilerden faydalanılarak tane çapına göre sınıflandırma, üçgen sınıflandırma, AASHO (American Association of State Highway Officials) sınıflandırması, birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemi (Unified Soil Classification System-USCS) kullanılarak sınıflandırılmış ve zemin sınıfı tanımlanmıştır.

Zeminde tane çapına göre sınıflandırma için elek analizi ve hidrometre deneyindeki ağırlıkça toplam geçen yüzdeler dikkate alınarak 1 m derinlikten alınan zemin numunelerinin DÇÖ ve sonrası için tane çapına göre zemin sınıflandırılması yapılmıştır (Çizelge 5.9).

Çizelge 5.9: DÇÖ ve sonrası için 1 m derinlikten alınan zeminin tane çapına göre sınıflandırılması

Zemin cinsi	Tane çapı (mm)	1 m DÇÖ (%)	1 m DÇS (%)	Rölatif Oran (DÇÖ/DÇS)
TAŞ	200-60	-	-	
ÇAKIL	İRİ 60 - 20	1,89	0,96	1,97
	ORTA 20 - 6	0,86	2,64	0,33
	İNCE 6 - 2	4,95	24,90	0,20
KUM	İRİ 2 - 0,6	20,00	25,34	0,79
	ORTA 0,6 - 0,2	23,19	24,75	0,94
	İNCE 0,2 - 0,06	17,04	14,16	1,20
SİLT	0,06 - 0,002	10,27	4,32	2,38
KİL	< 0,002	21,81	3,45	6,32

DÇÖ 1 m derinlikten alınan zemin sınıflandırmasında egemen grup kil-silt ve kumdur. Zemin için kabaca siltli, killi kumlu bir zemin olarak adlandırılmıştır. DÇS 1 m derinlikten alınan numune için ise egemen grup kum ve ince çakıldır. Zemin kabaca çakıllı kumlu bir zemin olarak sınıflandırılmıştır.

DÇÖ ve sonrası için 2 m derinlikten alınan zemin numunelerinin elek analizi ve hidrometre deneyindeki ağırlıkça toplam geçen yüzdelere dikkate alınarak tane çapına göre zemin sınıflandırılması yapılmıştır (Çizelge 5.10).

Çizelge 5.10: DÇÖ ve sonrası için 2 m derinlikten alınan zeminin tane çapına göre sınıflandırılması

Zemin cinsi	Tane çapı (mm)	2 m DÇÖ (%)	2 m DÇS (%)	Relatif Oran (DÇÖ/DÇS)
TAŞ	200-60	-	-	
ÇAKIL	İRİ 60 - 20	1,58	0,00	0,00
	ORTA 20 - 6	3,86	0,00	0,00
	İNCE 6 - 2	34,64	32,74	1,06
KUM	İRİ 2 - 0,6	27,68	15,26	1,81
	ORTA 0,6 - 0,2	15,24	11,52	1,32
	İNCE 0,2 - 0,06	8,86	18,77	0,47
SİLT	0,06 - 0,002	3,27	15,81	0,21
KİL	< 0,002	4,87	5,90	0,83

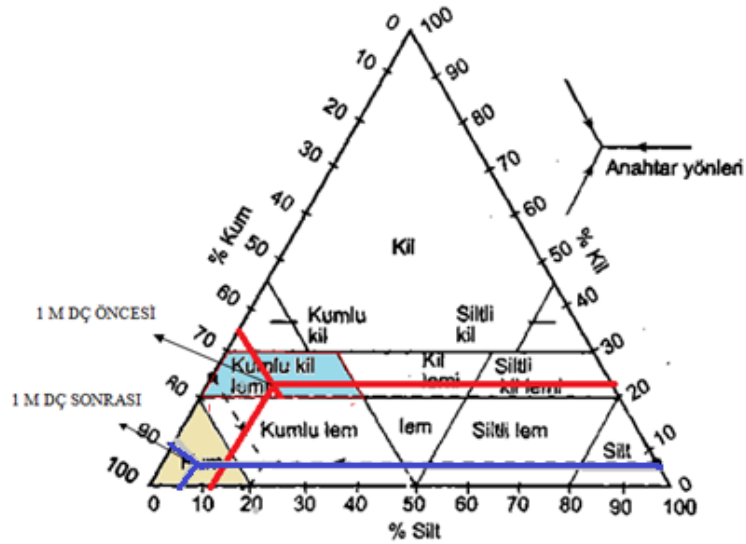
DÇÖ 2 m derinlikten alınan zemin sınıflandırmasında egemen grup kum ve ince çakıldır. Zemin için kabaca çakıllı kumlu bir zemin olarak sınıflandırılmıştır. DÇS 2 m derinlikten alınan numune için ise egemen grup ince çakıl, silt, kil ve kumdur. Zemin kabaca siltli-killi, çakıllı kumlu bir zemin olarak sınıflandırılmıştır.

Üçgen sınıflandırma için DÇÖ ve sonrası için 1 m' de üçgen sınıflandırmaya göre, çakıl yüzdeleri çıkarılarak, geriye kalan kum, silt ve kil yüzdeleri 100'e tamamlanacak şekilde düzeltilir (Çizelge 5.11).

Çizelge 5.11: DÇÖ ve sonrası için 1 m derinlikten alınan numunelerin düzeltilmiş yüzdeleri

Zemin Cinsi	Düzeltilmiş Yüzdeler (%)		Rölatif Oran (DÇÖ/DÇS)
	DÇ ÖNCESİ 1 M	DÇS 1 M	
Kum	65,25	89,22	0,73
Silt	11,12	6,00	1,85
Kil	23,63	4,78	4,94

Hesaplanan yüzdeler, hazır üçgen bir diyagramda, ilgili kenarlarda işaretlenerek, belirtilen yönlerde doğrular çizilerek, üçgen içinde bir nokta elde edilir (Şekil 5.17, Şekil 5.18).



Şekil 5.17: 1 m derinlikten alınan numuneler için DÇÖ ve sonrası için üçgen sınıflandırma

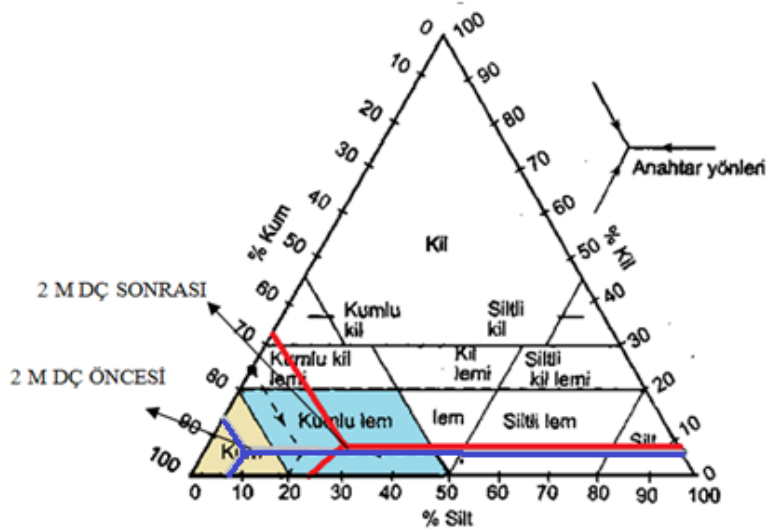
Düzeltilmiş yüzdeler, ilgili kenarlar üzerinde işaretlenerek, anahtardaki yönlere paralel çizilirse bulunan nokta; 1 m' de DÇÖ kumlu kil lem, yine 1 m' de DÇS kum bölgesine düşer. DÇÖ 1 m' de zeminin çakıl yüzdesi görece olarak büyük olduğu için, zeminin adı; çakıllı, siltli kumlu kil olarak tanımlanmıştır. DÇS 1 m' de zeminin çakıl yüzdesi görece olarak büyük olduğu için, zeminin adı; çakıllı, kum olarak tanımlanmıştır.

DÇÖ ve sonrası için 2 m' de üçgen sınıflandırmaya göre, çakıl yüzdeleri çıkarılarak, geriye kalan kum, silt ve kil yüzdeleri 100'e tamamlanacak şekilde düzeltilir (Çizelge 5.12).

Çizelge 5.12: DÇÖ ve sonrası için 2 m derinlikten alınan numunelerin düzeltilmiş yüzdeleri

Zemin Cinsi	Düzeltilmiş Yüzdeler (%)		Rölatif Oran (DÇÖ/DÇS)
	DÇÖ 2 M		
Kum	86,43	67,73	1,28
Silt	5,45	23,50	0,23
Kil	8,12	8,77	0,93

Hesaplanan yüzdeler, hazır üçgen bir diyagramda, ilgili kenarlarda işaretlenerek, belirtilen yönlere doğrular çizilerek, üçgen içinde bir nokta elde edilir(Şekil1.4).



Şekil 5.18: 2 m derinlikten alınan numuneler için DÇÖ ve sonrası için üçgen sınıflandırma

Düzeltilmiş yüzdeler, Şekil 3.19'da ilgili kenarlar üzerinde işaretlenerek, anahtardaki yönlere paralel çizilirse bulunan nokta; 2 m'de DÇÖ kumlu, yine 2 m'de DÇS kumlu lem (siltli kum) bölgesine düşer. DÇÖ 2 m'de zeminin çakıl yüzdesi görelî olarak büyük olduğu için, zeminin adı; çakıllı kum olarak tanımlanmıştır. DÇS 2 m'de zeminin

çakıl yüzdesi görelî olarak büyük olduğu için, zeminin adı; çakıllı, siltli kum olarak tanımlanmıştır.

AASHO yöntemine göre zeminin granülometri eğrisinden elde edilen 10, 40 ve 200 no.'lu eleklerle ait yüzdeler kullanılır (Çizelge 5.13).

Çizelge 5.13: Elek analizi toplam geçen değerleri

Derinlik (m)	Elek Göz Açıklığı (mm)	DÇÖ		DÇS		Relatif Oran (DÇÖ/DÇS)
		Toplam Geçen (%)	Toplam Geçen (%)	Toplam Geçen (%)	Toplam Geçen (%)	
1	2	72,30	46,16	1,57		
1	0,425	45,56	16,05	2,84		
1	0,075	19,00	2,51	7,57		
1	Tava	0,00	0,00	0,00		
2	2	32,24	52,00	0,62		
2	0,425	14,35	36,82	0,39		
2	0,075	4,34	7,50	0,58		
2	Tava	0,00	0,00	0,00		

Zemin numunelerine ait likit limit (WL), plastik limit (PL), plastisite indisi (PI) ve grup indisi hesaplanmıştır (Çizelge 5.14).

Çizelge 5.14: DÇÖ ve sonrasına ait değerler

Derinlik (m)	DÇÖ				DÇS			
	WL (%)	PL (%)	PI (%)	Grup İndisi	WL (%)	PL (%)	PI (%)	Grup İndisi
1	24,20	14,17	10,03	0,00	22,80	0,00	22,80	0,00
2	20,80	15,07	5,73	0,00	20,50	0,00	20,50	0,00

Tüm bu hesaplamalar kullanılarak Şekil 5.19'da, soldan sağa doğru eliminasyon ile gidilerek, sınıf belirlenir. İlk sağlayan sınıf, zeminin sınıfıdır.

AASHO methoduna göre de 1 m’de zemin DÇÖ siltli kum iken DÇS siltli kumlu çakıl ve 2 m’de zemin DÇÖ kumlu çakıl iken DÇS siltli kum olarak tanımlanmıştır.

Genel Sınıflandırma	Taneli Malzeme (200 No. Elekten geçen en çok % 35)							Silt-Kil Malzemesi (200 No. Elekten geçen en çok % 35)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Grup sınıflandırması	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Elek Analizi (Geçen Tanelerin %'si) No.10 Elek No.40 Elek No.200 Elek	50Max. 30 Max. 15 Max.	50 Max. 25 Max.	51 Max. 10 Max.	35 Max.	35 Max.	35 Max.	35 Max.	36 Min.	36 Min.	36 Min.	36 Min.
No. 40 elekten geçen kısmın karakteristiği Likit Limit % Plastisite İndisi	6 Max.		N.P.	40 Max. 10 Max.	41 Min. 10 Max.	40 Max. 11 Min.	41 Min. 11 Min.	40 Max. 10 Max.	41 Min. 10 Max.	40 Max. 11 Min.	41 Min. 11 Min.
Grup İndeksi	0		0	0		4 Max.		8 Max.	12 Max.	16 Max.	20 Max.
Başlıca bileşenlerinin isimleri	Taş Parçaları Çakıl ve Kum		İnce Kum	Siltli veya Killi Çakıl ve Kum				Siltli Zemimler		Killi Zeminler	
Temel zemini olarak genel hali	Çok iyi ile iyi					Orta ile zayıf					

Şekil 5.19: AASHO sınıflandırması

AASHO yöntemine göre zeminin granülometri eğrisi çizildikten sonra; 200 No. ve 4 No.'lu eleklerle ait geçen yüzdeleri, C_U , C_C , w_L , I_P , bilgileri kullanılır (Çizelge 5.15, , Çizelge 5.16).

Çizelge 5.15: DÇÖ ve sonrasına ait değerler

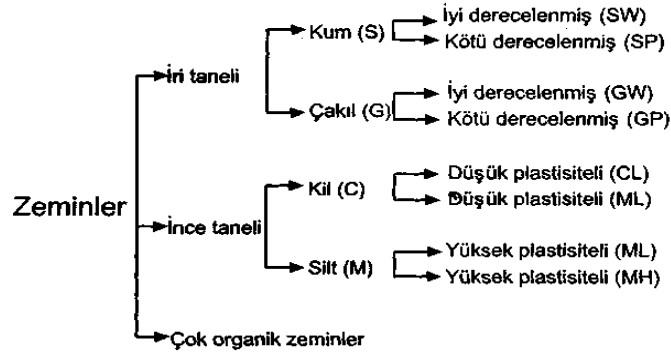
Derinlik (m)	DÇÖ					DÇS				
	WL (%)	Cu	Cc	PI (%)	Grup İndisi	WL (%)	Cu	Cc	PI (%)	Grup İndisi
1	24,20	20,86	0,47	3,34	0,19	22,80	12,23	0,61	10,57	0,19
2	20,80	14,75	0,71	5,73	0,00	20,50	18,60	0,04	20,50	0,00

Çizelge 5.16: Elek analizi toplam geçen değerleri

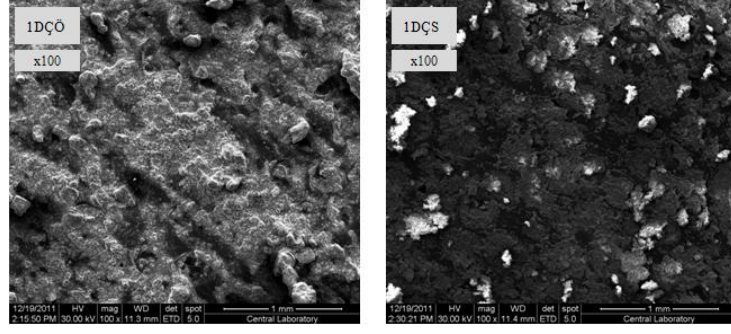
Derinlik (m)	Elek Göz Açıklığı (mm)	DÇÖ		Rölatif Oran (DÇÖ/DÇS)
		Toplam Geçen (%)	DÇS Toplam Geçen (%)	
1	4,75	90,83	67,21	1,35
1	0,075	19,00	2,51	7,57
1	Tava	0,00	0,00	0,00
2	4,75	53,08	63,62	0,83
2	0,075	4,34	7,50	0,58
2	Tava	0,00	0,00	0,00

Birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemine göre Şekil 5.21'deki akış diyagramı izlenirse, donma çözülme öncesi 1 m ve 2 m'de 200 nolu elekten zeminin % 50' den fazlası geçemediği için iri taneli zemine 4 No.'lu elekten % 50 'den fazlası geçtiği için kumlu zemine ve yine 200 nolu elekten % 12'den azı geçtiği için Cu ve Cc değerlerine bakılır. Cu>6 fakat Cc değerleri 1-3 arasında olmadığından PI<4 olan zeminler kötü derecelendirilmiş kum, siltli, killi (SP-SM) zemin sınıfındadır.

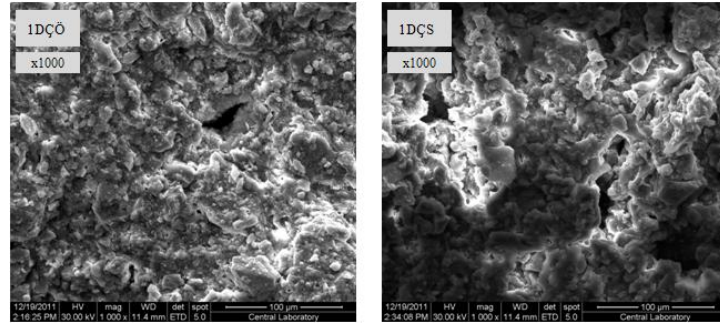
Donma çözülme sonrası 1 m ve 2 m' de 200 nolu elekten zeminin % 50' den fazlası geçemediği için iri taneli zemine 4 No.'lu elekten % 50 'den fazlası geçtiği için kumlu zemine ve yine 200 nolu elekten % 12'den azı geçtiği için Cu ve Cc değerlerine bakılır. Cu>6 fakat Cc değerleri 1-3 arasında olmadığından PI>7 olan zeminler iyi derecelendirilmiş kum, killi kum (SW-SC) sınıfındadır.



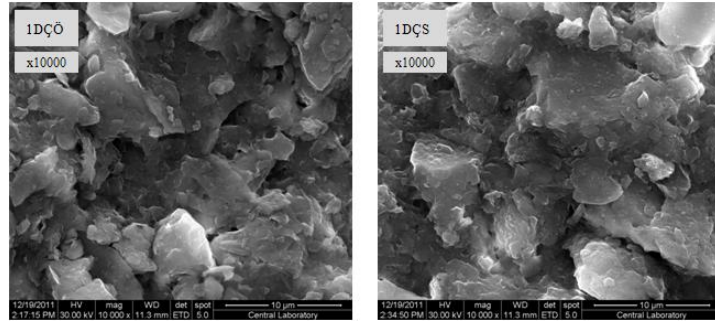
Şekil 5.20: Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi (USCS)'nin ana şeması



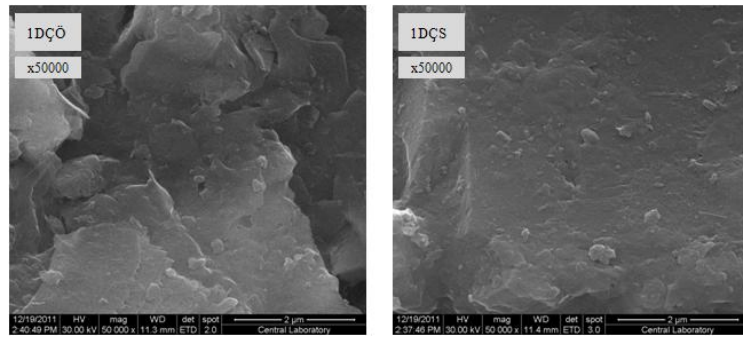
Şekil 5.22: 100 kat büyütülmüş zemin numunelerinin görünümü (derinlik: 1 m)



Şekil 5.23: 1000 kat büyütülmüş zemin numunelerinin görünümü (derinlik: 1 m)



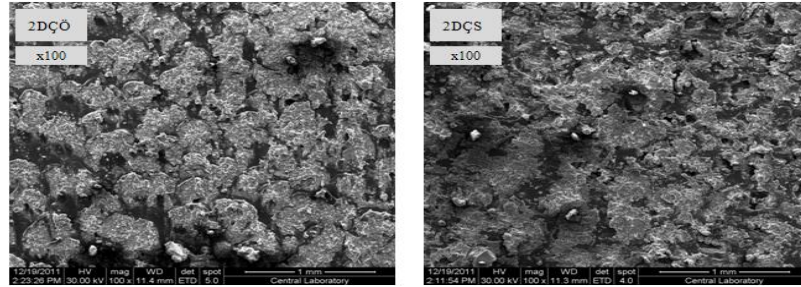
Şekil 5.24: 10000 kat büyütülmüş zemin numunelerinin görünümü (derinlik: 1 m)



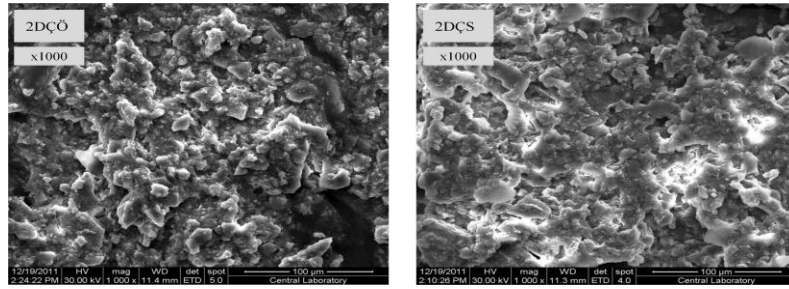
Şekil 5.25: 50000 kat büyütülmüş zemin numunelerinin görünümü (derinlik: 1 m)

SEM analizlerinde 1 m derinlikten alınan numunelerin DÇSnda daha kümeleşmiş ve yoğun bir yapı bütünlüğü gösterdiği görülmüştür. Nihai olarak elek analizi ve hidrometre deneylerinde yapılan analizlerde de zemin tanelerinin tane çaplarında bir büyüme ve toplam geçen yüzdelerinde de DÇÖne göre azalma meydana geldiği bulunmuştu. DÇ döngüsü sırasında tanelerin yeniden düzenlenerek nispeten yapı bütünlüğünü artırdığı ve tanelerin birbirlerine yaklaşarak topaklandığı gözlemlenmiştir.

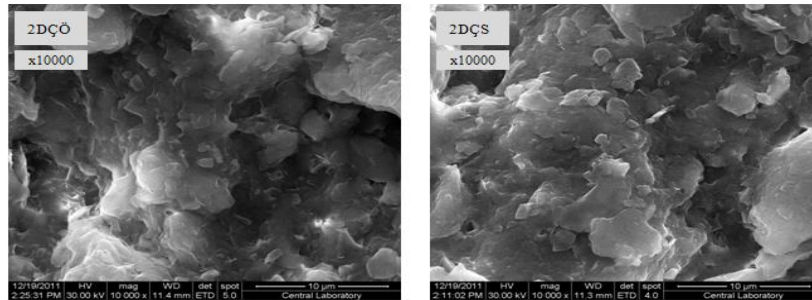
DÇÖ ve sonrasında ait 1 m derinlikten alınan zemin numunelerinin mikro yapılarıyla ilgili görüntüler Şekil 5.26, Şekil 5. 27, Şekil 5.28, Şekil 5.29’da gösterilmiştir.



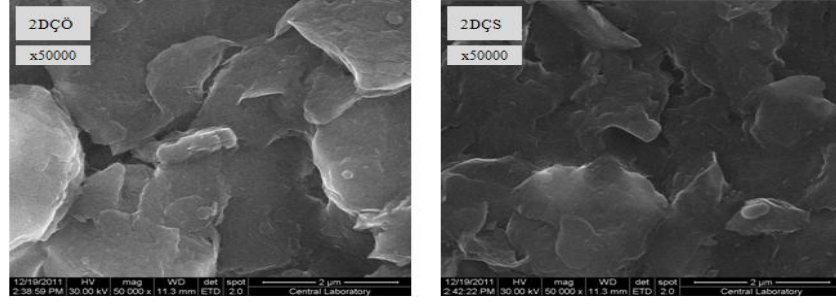
Şekil 5.26: 100 kat büyütülmüş zemin numunelerinin görünümü (derinlik: 2 m)



Şekil 5.27: 1000 kat büyütülmüş zemin numunelerinin görünümü (derinlik: 2 m)



Şekil 5.28: 10000 kat büyütülmüş zemin numunelerinin görünümü (derinlik: 2 m)



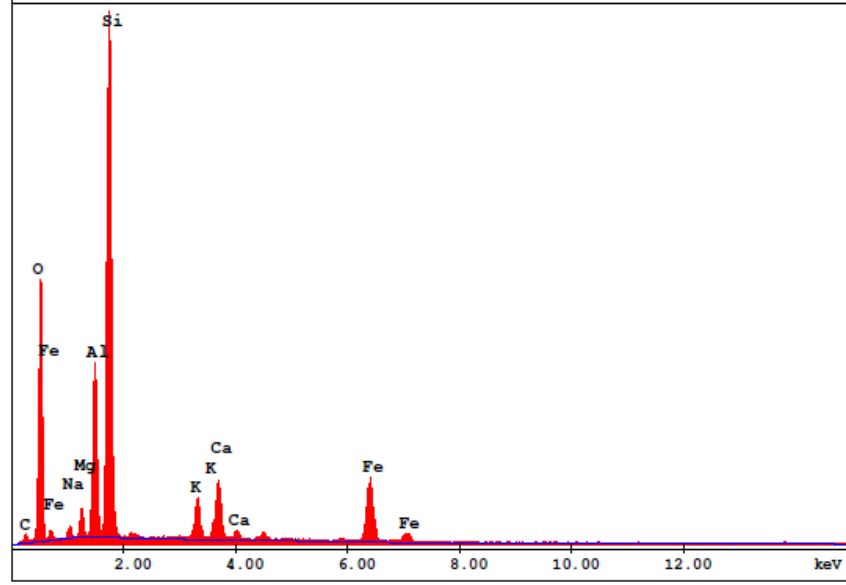
Şekil 5.29: 50000 kat büyütülmüş zemin numunelerinin görünümü (derinlik: 2 m)

SEM analizlerinde 2 m derinlikten alınan numunelerinde DÇSnda daha kümeleşmiş ve yoğun bir yapı bütünlüğü gösterdiği görülmüştür. Yine elek analizi ve hidrometre deneylerinde yapılan analizlerde de zemin tanelerinin tane çaplarında bir büyüme ve toplam geçen yüzdelerinde de DÇÖne göre azalma meydana geldiği bulunmuştu. DÇ döngüsü sırasında tanelerin yeniden düzenlenerek nispeten yapı bütünlüğünü artırdığı ve tanelerin birbirlerine yaklaşarak topaklandığı gözlemlenmiştir.

5.11. EDX ANALİZLERİ

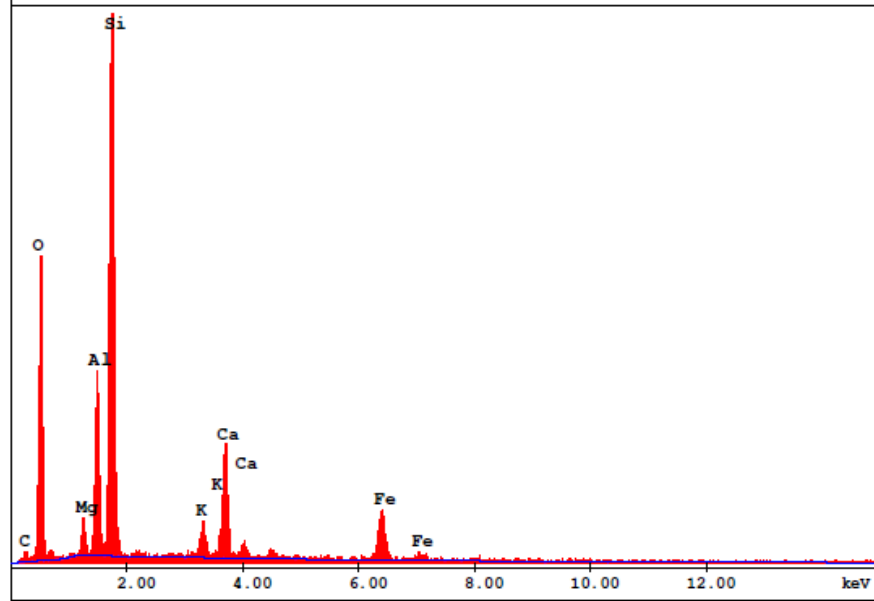
DÇÖ ve DÇS için 1 m ve 2 m derinlikten alınmış zemin numuneleri üzerinde EDX analizleri yapılarak zemindeki elementleri belirlenebilmesi ve elementlerin DÇSnda ağırlıkça yüzdelerinde bir değişim olup olmadığını varsa bu değişimin gözlenmesi amaçlanmıştır. Bu değişimi görmek için özellikle karşılaştırmaya esas olması amacıyla 1 m derinlikten alınan zemin numunelerinin DÇÖ ve sonrasında 2 m derinlikten alınan zemin numunelerinin DÇÖ ve sonrası ayrı ayrı olarak ele alınmıştır.

DÇÖ ve sonrasına ait 1 m derinlikten alınan zemin numunelerinin ortaya çıkışına ait ışın kırınımları ve elementlerin ağırlıkça yüzdeleri Şekil 5.30 ve Şekil 5.31'de verilmiştir.



	C	O	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
Ağırlıkça (%)	7,40	42,34	1,84	8,76	26,85	2,03	3,16	6,53

Şekil 5.30: 1 metre derinlikten alınan numuneler için DÇÖ EDX spektrumu



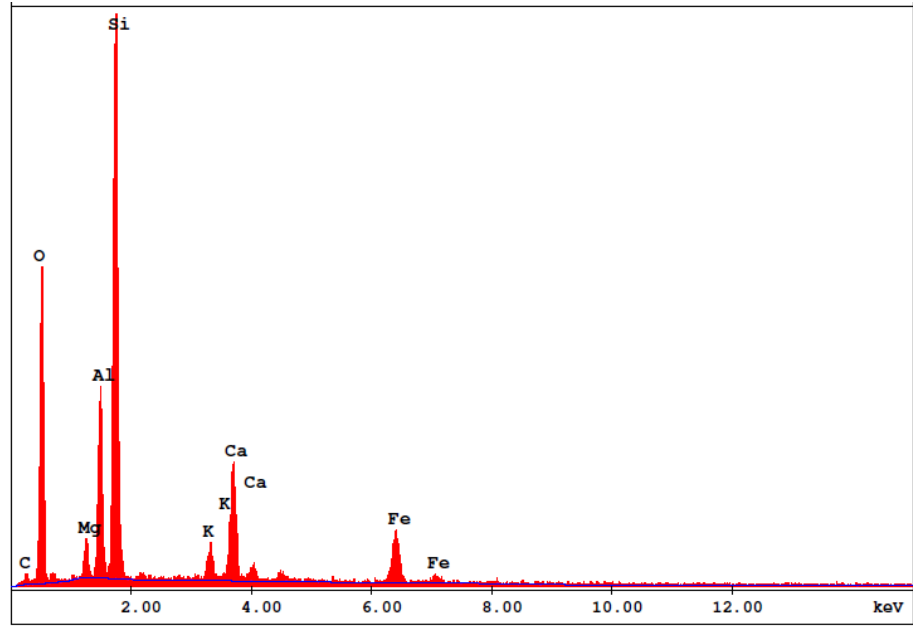
	C	O	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
Ağırlıkça (%)	8,27	44,69	2,05	7,93	25,36	1,49	5,35	4,86

Şekil 5.31: 1 metre derinlikten alınan numuneler için DÇS EDX spektrumu

EDX analizlerinde 1 metre derinlikten alınan zeminde DÇÖ ve sonrası karbon (C), oksijen (O), demir (Fe), magnezyum (Mg), alüminyum (Al), silisyum (Si), potasyum (K), kalsiyum (Ca) elementleri tespit edilmiş ve bu elementlerin ağırlıkça yüzdelerinin

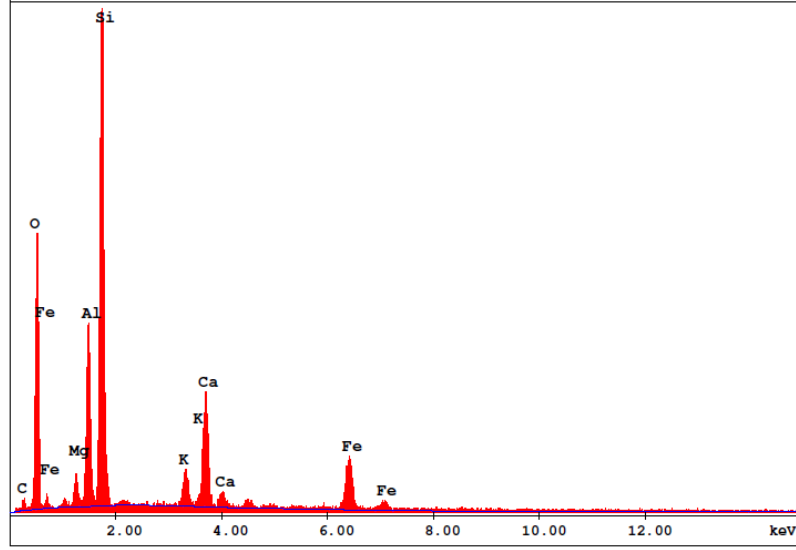
DÇS azaldığı görülmüştür. DÇS alüminyum (Al), silisyum (Si), potasyum (K), demir (Fe) elementlerinin ağırlıkça %' delerinde azalma diğer elementlerin ağırlıkça %' delerinde artış gözlenmiştir.

DÇÖ ve sonrasında ait 2 m derinlikten alınan zemin numunelerinin ortaya çıkışına ait ışın kırınımları ve elementlerin ağırlıkça yüzdeleri Şekil 5.32 ve Şekil 5.33'de verilmiştir.



	C	O	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
Ağırlıkça (%)	8,27	44,69	2,05	7,93	25,36	1,49	5,35	4,86

Şekil 5.32: 2 metre derinlikten alınan numuneler için DÇÖ EDX spektrumu



	C	O	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
Ağırlıkça (%)	8,27	43,46	1,84	8,68	24,90	1,84	5,49	5,52

Şekil 5.33: 2 metre derinlikten alınan numuneler için DÇS EDX spektrumu

EDX analizlerinde 2 metre derinlikten alınan zeminde DÇÖ ve sonrası zeminde karbon (C), oksijen (O), demir (Fe), sodyum (Na), magnezyum (Mg), alüminyum (Al), silisyum (Si), potasyum (K), demir (Fe) ve elementleri tespit edilmiş ve bu elementlerin ağırlıkça yüzdelerinin DÇS azaldığı görülmüştür. DÇS oksijen (O), magnezyum (Mg), silisyum (Si), elementlerinin ağırlıkça %'delerinde azalma diğer elementlerin ağırlıkça %'delerinde artış gözlenmiştir.

5.12. DENEY SONUÇLARININ İSTATİSTİKSEL ANALİZLERİ

Bu çalışmada, 1 m ve 2 m derinliklerden alınan zemin numunelerinin doğal haldeki koni penetrasyonla likit limit deneyi, plastik limit deneyi, rötire (büzülme) limiti deneyi, hidrometre deneyi, özgül ağırlık deneyi, elek analizi deneyi, konsolidasyon (oturma) deneyi ve üç eksenli basınç deneyleri gerçekleştirilmiştir. Zemin numunelerinin doğal durumdaki özellikleri incelendikten sonra aynı yerden alınan diğer numuneler TS EN 1367-1 Agregaların Donma Çözülme Karşı Direncinin Tayini Yöntemine göre donma çözülme maruz bırakılmışlardır. DÇ'ye maruz kalmayan numuneler üzerinde yapılan tüm deneyler farklı donma çözülme döngüsüne maruz kalan numuneler içinde yapılmıştır. Yapılan deneylerden sonra elde edilen veriler kullanılarak zemin numunelerinin doğal halde buldukları derinliklerin DÇÖ'nde ve sonrasında yapılan

deney sonuçları üzerinde bir etkisinin olup olmadığını tespit etmek amacıyla zemin numuneleri yüzeyden itibaren 1 m ve 2 m derinliklerden alınarak aynı deneylere ve aynı DÇ şartlarına maruz bırakılarak elde edilen deney sonuçları çok yönlü olarak değerlendirilmiştir. Deney sonuçlarının DÇÖ ve sonrası ile ilgili değerleri zemin numunelerinin alındıkları derinliklere göre (1 m ve 2 m) istatistiksel metotlarla karşılaştırılmalı olarak incelenmiştir. Bu kapsamda deneyler için tanımlayıcı istatistikler, tek yönlü varyans analizleri ve korelasyon analizleri yapılarak sonuçlar birbirleriyle ilişkilendirilmiştir.

5.12.1. Koni Penetrasyon Deneyi

Koni penetrasyon deneyi sonucu elde edilen tüm veriler; 1 m DÇÖ, 2 m DÇÖ, 1 m DÇS, 2 m DÇS, 1 m ve 2 m için donma çözülmeden önce elde edilen tüm su muhtevası değerleri ortalaması yine 1 m ve 2 m için donma çözülmeden sonra elde edilen tüm su muhtevası değerleri ortalaması kullanılarak toplam 6 grup oluşturulmuştur. Gruplar bazında koni penetrasyon deneyi için su muhtevasına ait deney sonuçlarının tanımlayıcı istatistikleri belirlenmiş ve bu gruplar tek yönlü Varyans analizine tabi tutulmuşlardır (Çizelge 5.17).

Çizelge 5.17: Koni penetrasyon deneyi su muhtevaları için tanımlayıcı istatistik değerleri

Gruplar	Numune sayısı	Ortalama	Standart sapma	Standart hata	95% Güven Aralığı		Min	Maks
					Alt sınır	Üst sınır		
1 m DÇÖ	4	24,5750	1,45000	,72500	22,2677	26,8823	23,10	26,10
2 m DÇÖ	4	20,6750	1,24733	,62367	18,6902	22,6598	19,60	22,30
1 m DÇS	4	22,9725	1,84041	,92020	20,0440	25,9010	20,97	25,00
2 m DÇS	4	20,7500	,58023	,29011	19,8267	21,6733	20,20	21,50
DÇÖ tümü	8	22,6250	2,43178	,85977	20,5920	24,6580	19,60	26,10
DÇS tümü	8	21,8613	1,73412	,61311	20,4115	23,3110	20,20	25,00
Toplam	32	22,2431	2,04432	,36139	21,5061	22,9802	19,60	26,10

Deneyde su muhtevası değerleri ortalaması 1 m’de DÇÖ fazla iken DÇS azaldığı gözlemlenmiş ve DÇÖ her iki derinlikten(1 m ve 2 m) elde edilen tüm su muhtevası değerleri ortalamasının, DÇS her iki derinlikten(1 m ve 2 m) elde edilen tüm su muhtevası değerleri ortalamasından fazla olduğu görülmüştür.

Koni penetrasyon deneyi su muhtevaları açısından gruplar arasındaki farklılığın homojen olup olmadığını tespit etmek amacıyla Varyans homojenlik testi yapılmış ve sonuçlar Çizelge 5.18’de sunulmuştur.

Çizelge 5.18: Koni penetrasyon deneyi için Varyans homojenlik test analizi

İstatistik	Sd1	Sd2	Önem derecesi
1,766	5	26	,155

Deney verilerine ait değerler için grupların güvenilirliği 0.05’ ten büyük olduğu için gruplar % 5 hata ile homojendir.

Koni penetrasyon deneyinde elde edilen su muhtevası değerlerinin gruplar bazında birbirinden farklı olup olmadığını belirlebilmesi amacıyla Varyans analizi yapılmış olup sonuçları Çizelge 5.19’da verilmiştir.

Çizelge 5.19: Koni penetrasyon deneyi için Varyans analizi

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler ortalaması	F	Önem derecesi
Gruplar arası	44,966	5	8,993	2,764	,039
Grup içi	84,592	26	3,254		
Toplam	129,557	31			

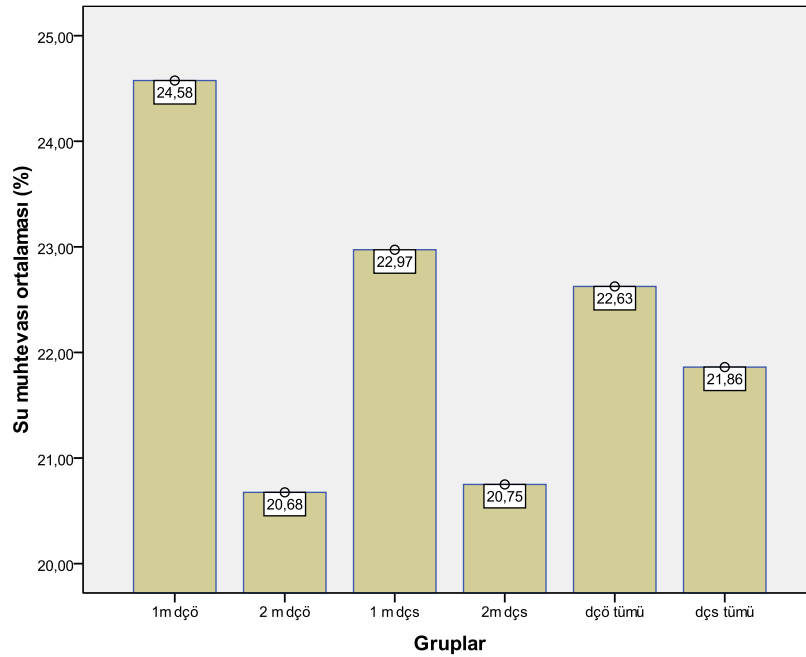
Varyans analizi önem derecesi: $0,039 < 0,05$ olduğu için gruplar arasında fark vardır. Gruplar arasındaki farklılığın hangi gruplardan kaynaklandığını anlamak için Duncan’ın çoklu karşılaştırma testi (grupların varyansı homojen olduğu için) yapılmıştır. Bu teste ait veriler Çizelge 5.20 ‘de sunulmuştur.

Çizelge 5.20: Duncan çoklu karşılaştırma testi

Grup	Numune Sayısı	Alfa için altküme =0.05	
		1	2
2 m DÇÖ	4	20,6750	
2m DÇS	4	20,7500	
DÇS tümü	8	21,8613	
DÇÖ tümü	8	22,6250	22,6250
1 m DÇS	4	22,9725	22,9725
1m DÇÖ	4		24,5750
Önem derecesi		,087	,125

Çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre koni penetrasyon deneyi su muhtevası değerlerinin ortalaması 2 grup olarak ayrılmış ve 2. grubun 1 m' deki DÇÖne ait su muhtevası değerlerinin ortalaması olduğu görülmüştür.

Koni penetrasyon deneyinden elde edilen su muhtevası değerlerinin ortalamasına ait veriler gruplar bazında gösterilmiştir (Şekil 5.34).



Şekil 5.34: Koni penetrasyon deneyi su muhtevaları değerleri

Sütun grafikte oluşturulan şekle göre su muhtevası değerleri ortalaması 1 m’de DÇÖ fazla iken DÇS azaldığı gözlemlenmiş ve DÇÖ her iki derinlikten (1 m ve 2 m) elde edilen tüm su muhtevası değerleri ortalamasının, DÇS her iki derinlikten (1 m ve 2 m) elde edilen tüm su muhtevası değerleri ortalamasından fazla olduğu görülmüştür.

Yapılan deneyler sonucu elde edilen veriler arasındaki ilişkiyi belirlemek için Pearson korelasyon analizi yapılmış ve bu analizin sonuçları Çizelge 5.21’de sunulmuştur.

Çizelge 5.21: Koni penetrasyon deneyi için korelasyon analizi

	1 m DÇÖ	1 m DÇS	2 m DÇÖ	2 m DÇS	DÇÖ tümü	DÇS tümü
1 m DÇÖ	1	,995**	,962*	,965*	1,000**	,995**
1 m DÇS	,995**	1	,968*	,977*	,995**	1,000**
2 m DÇÖ	,962*	,968*	1	,997**	,962*	,968*
2 m DÇS	,965*	,977*	,997**	1	,965*	,977*
DÇÖ tümü	1,000**	,995**	,962*	,965*	1	,930**
DÇS tümü	,995**	1,000**	,968*	,977*	,930**	1

Pearson korelasyon katsayısı (R) tüm gruplar arasında 1’e yakın ve pozitif değer almıştır. Bu durum DÇ süreçlerine ait oluşturulan tüm gruplar arasında pozitif bir ilişki olduğunu ve bu ilişkinin 1 ‘ e yakın bir değer alması ilişkinin güçlü olduğunu gösterir. Özellikle 1 m’de DÇÖ su muhtevası değerlerinin ortalaması ile her iki derinlik için (1 m ve 2 m) DÇÖ su muhtevası değerlerinin ortalaması arasında çok güçlü bir ilişki görülmüş yani 1 m’de DÇÖ su muhtevası değerlerinin ortalaması arttıkça her iki derinlik için (1 m ve 2 m) DÇÖ su muhtevası değerlerinin ortalamasının da arttığı söylenebilir. Yine 1 m’de DÇS su muhtevası değerlerinin ortalaması ve her iki derinlik için (1 m ve 2 m) DÇS su muhtevası değerlerinin ortalaması arasında çok güçlü bir ilişki görülmüş yani 1 m’de DÇS su muhtevası değerlerinin ortalaması arttıkça her iki derinlik için (1 m ve 2 m) DÇS su muhtevası değerlerinin ortalamasının da arttığı söylenebilir.

5.12.2. Plastik Limit Deneyi

Plastik limit deneyi için her iki derinlikten alınan numunelerin (1 ve 2 m) DÇÖne ait değerleri tespit edilebilmiştir. Ancak DÇS için plastik limit değerleri tespit edilememiş, zemin numuneleri DÇS plastiklik özelliğini kaybetmiş ve zemin non-plastik halini

almıştır. Bu nedenle karşılaştırma 1 m DÇÖ, 2 m DÇÖ, 1 m ve 2 m için donma çözülmeden önce elde edilen tüm su muhtevası değerleri ortalaması kullanılıp 3 grup oluşturulmuştur. Plastik limit deneyi su muhtevalarının gruplar bazında tanımlayıcı istatistikleri belirlenmiş ve bu gruplar tek yönlü varyans analizine tabi tutulmuşlardır (Çizelge 5.22).

Çizelge 5.22: Plastik limit deneyi su muhtevaları için tanımlayıcı istatistik değerleri

Gruplar	Numune sayısı	Ortalama	Standart sapma	Standart hata	95 % Güven		Min	Maks
					Aralığı			
					Alt sınır	Üst sınır		
1 m DÇÖ	3	14.1667	.25166	.14530	13.5415	14.7918	13.90	14.40
2 m DÇÖ	3	15.0667	.15275	.08819	14.6872	15.4461	14.90	15.20
DÇÖ tümü	6	14.6167	.52694	.21512	14.0637	15.1697	13.90	15.20
Toplam	12	14.6167	.50242	.14504	14.2974	14.9359	13.90	15.20

Deneyde su muhtevası değerleri ortalaması 2 m’de DÇÖ 1 m’de DÇÖ’ne göre çok az bir miktar artmıştır. DÇÖ her iki derinlikten (1 m ve 2 m) elde edilen tüm su muhtevası değerleri ortalaması da 1 m’de DÇÖ’ne çok yakın ve 2 m’de DÇÖ’ne su muhtevası değerleri ortalamasından daha az görülmüştür.

Plastik limit deneyi için grupların ortalamaları arasındaki farkların homojen olup olmadığını belirlemek için gruplar arasında Varyans homojenlik testi yapılmış ve sonuçlar Çizelge 5.23’te sunulmuştur.

Çizelge 5.23: Plastik limit deneyi için Varyans homojenlik test analizi

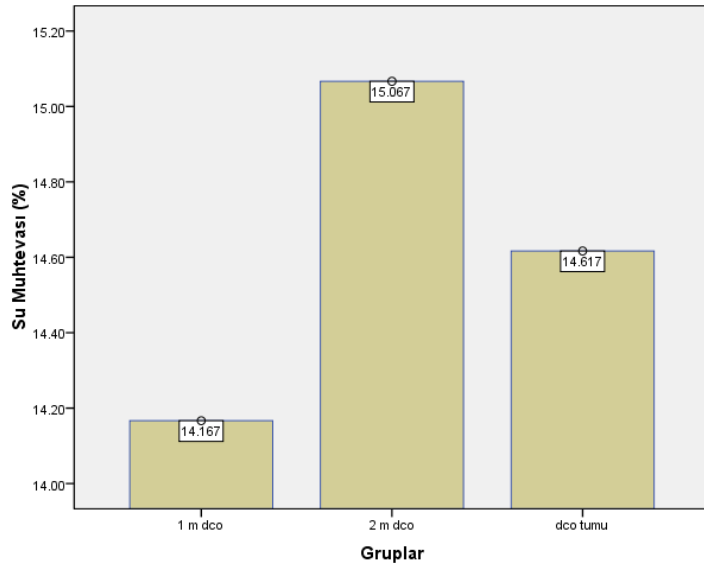
İstatistik	Sd1	Sd2	Önem derecesi
6.007	2	9	.022

Deney verilerine ait değerlerde grupların güvenilirliği 0.05’ ten küçük çıktığı için varyanslar homojen değildir, bu nedenle grupların karşılaştırılmasında Tamhane T2 testi kullanılmış ve Çizelge 5.24’te gösterilmiştir.

Çizelge 5.24: Plastik limit deneyi için Tamhane T2 çoklu karşılaştırma testi

(I) Gruplar	(J) Gruplar	Ortalama farkı (I-J)	Standart hata	Önem derecesi	95 % Güven Aralığı	
					Alt sınır	Üst sınır
1 m DÇÖ	2 m DÇÖ	-,90000*	,16997	,031	-1,6610	-,1390
	DÇÖ tümü	-,45000	,25959	,334	-1,2596	,3596
2 m DÇÖ	DÇÖ tümü	,45000	,23250	,267	-,2958	1,1958

Tamhane T2 testi sonuçlarına göre 1 m' de DÇÖ su muhtevası değerleri ortalaması ile 2 m'de donma çözülmeden önce elde edilen tüm su muhtevası değerleri ortalaması arasında anlamlı bir fark olduğu gözlemlenmiştir. Yine 2 m' de DÇÖ su muhtevası değerleri ortalaması ile 1 m'de donma çözülmeden önce elde edilen tüm su muhtevası değerleri ortalaması arasında anlamlı bir fark gözlemlenmiştir. Plastik limit deneyinden elde edilen su muhtevası değerlerinin ortalamasına ait veriler grafikte Şekil 5.35'te gösterilmiştir.



Şekil 5.35: Plastik limit deneyine ait su muhtevası değerleri

Grafikle oluşturulan şekle göre 2 m’de DÇÖ su muhtevası değerlerinin ortalaması fazla iken 1 m’de DÇÖ su muhtevası değerleri ortalamasının daha az olduğu gözlemlenmiştir.

Yapılan deneyler sonucu elde edilen veriler arasındaki ilişkiyi belirlemek için Pearson korelasyon analizi yapılmış ve bu analizin sonuçları Çizelge 5.25’te sunulmuştur.

Çizelge 5.25: Plastik limit deneyi için korelasyon analizi sonuçları

	1 m DÇÖ	2 m DÇÖ	DÇÖ tümü
1 m DÇÖ	1	,962*	1,000**
2 m DÇÖ	,962*	1	,962*
DÇÖ tümü	1,000**	,962*	1

Pearson korelasyon katsayısı (R) tüm gruplar arasında 1’e yakın ve pozitif değer almıştır. Bu durum DÇ süreçlerine ait oluşturulan tüm gruplar arasında pozitif bir ilişki olduğunu ve bu ilişkinin 1 ‘ e yakın bir değer alması ilişkinin güçlü olduğunu gösterir. İlişki 1 m’de DÇÖ su muhtevası değerlerinin ortalaması, 2 m’de DÇÖ su muhtevası değerlerinin ortalaması ve her iki derinlik için (1 m ve 2 m) DÇÖ su muhtevası değerlerinin ortalaması arasında oluşturulan grupların hepsinde aynı, çok güçlü ve pozitif düzeydedir.

5.12.3. Rötire (Büzülme) Limiti Deneyi

Rötire (büzülme) limiti deneyi sonucu elde edilen tüm veriler; 1 m DÇÖ, 2 m DÇÖ, 1 m DÇS, 2 m DÇS, 1 m ve 2 m için donma çözülmeden önce elde edilen tüm büzülme oranları değerlerinin ortalaması yine 1 m ve 2 m için donma çözülmeden sonra elde edilen tüm büzülme oranları değerlerinin ortalaması kullanılarak toplam 6 grup oluşturulmuştur. Gruplar bazında rötire (büzülme) limiti deneyi için büzülme oranlarına ait deney sonuçlarının tanımlayıcı istatistikleri belirlenmiş ve bu gruplar tek yönlü varyans analizine tabi tutulmuş ve Çizelge 5.26’da gösterilmiştir.

Çizelge 5.26 : Rötire limiti büzülme oranları için tanımlayıcı istatistik değerleri

Gruplar	Numune sayısı	Ortalama	Standart sapma	Standart hata	95% Güven Aralığı		Min	Maks
					Alt sınır	Üst sınır		
1m DÇÖ	3	10,0667	,60277	,34801	8,5693	11,5640	9,50	10,70
2 m DÇÖ	3	11,1333	,45092	,26034	10,0132	12,2535	10,70	11,60
1 m DÇS	3	7,1467	,25007	,14438	6,5255	7,7679	6,90	7,40
2m DÇS	3	7,1467	,05033	,02906	7,0216	7,2717	7,10	7,20
DÇÖ tümü	6	10,6000	,75366	,30768	9,8091	11,3909	9,50	11,60
DÇS tümü	6	7,1467	,16133	,06586	6,9774	7,3160	6,90	7,40
Toplam	24	8,8733	1,83556	,37468	8,0982	9,6484	6,90	11,60

Deneyde büzülme oranları değerlerinin ortalaması 1 m’de DÇÖ fazla iken DÇS azaldığı gözlemlenmiş ve yine 2 m’de DÇÖ fazla iken DÇS azaldığı gözlemlenmiştir. DÇÖ her iki derinlikten (1 m ve 2 m) elde edilen tüm büzülme oranları değerlerinin ortalaması, DÇS azaldığı görülmüştür.

Rötire (büzülme) limiti deneyi büzülme oranları açısından gruplar arasındaki farklılığın homojen olup olmadığını tespit etmek amacıyla Varyans homojenlik testi yapılmış ve sonuçlar Çizelge 5.27’de sunulmuştur.

Çizelge 5.27: Rötire limiti için varyans homojenlik test analizi

İstatistik	Sd1	Sd2	Önem derecesi
2,605	5	18	0,061

Deney verilerine ait değerler için grupların güvenirliliği 0.05’ ten büyük çıktığı için gruplar % 5 hata ile homojendir. Rötire (büzülme) limiti deneyi büzülme oranları değerlerinin gruplar bazında birbirinden farklı olup olmadığının belirlenebilmesi amacıyla Varyans analizi yapılmış olup sonuçları aşağıda verilmiştir (Çizelge 5.28).

Çizelge 5.28: Rötire limiti için grupların Varyans analizi

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler ortalaması	F	Önem derecesi
Gruplar arası	73,260	5	14,652	62,296	0,000
Grup içi	4,234	18	0,235		
Toplam	77,493	23			

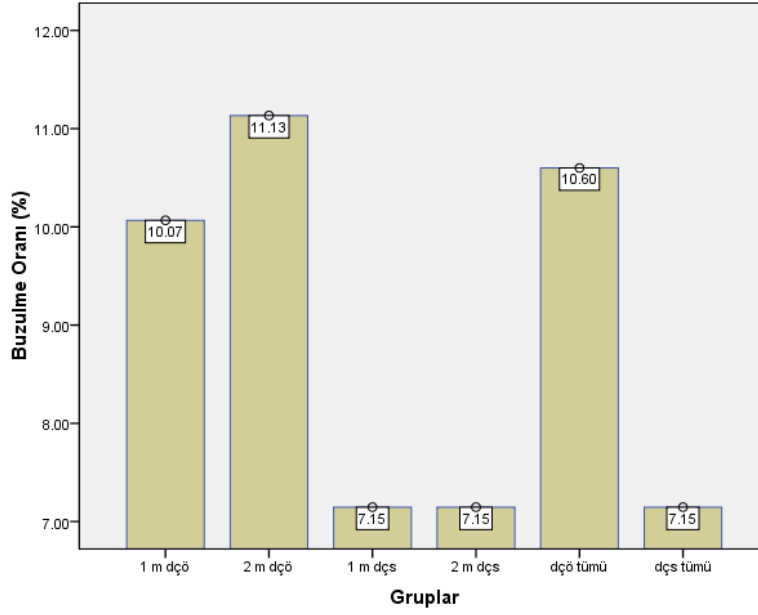
Varyans analizi önem derecesi: $0,00 < 0,05$ olduğu için gruplar arasında fark vardır. Gruplar arasındaki farklılığın hangi gruplardan kaynaklandığını anlamak için Duncan'ın çoklu karşılaştırma testi (grupların varyansı homojen olduğu için) yapılmıştır. Bu teste ait veriler Çizelge 5.29 'da sunulmuştur.

Çizelge 5.29: Rötire limiti için Duncan çoklu karşılaştırma testi

Grup	Numune Sayısı	Alfa için altküme = 0.05		
		1	2	3
1 m DÇS	3	7,1467		
2m DÇS	3	7,1467		
DÇS tümü	6	7,1467		
1m DÇÖ	3		10,0667	
DÇÖ tümü	6		10,6000	10,6000
2 m DÇÖ	3			11,1333
Önem derecesi		1,000	,157	,157

Çoklu karşılaştırma testine göre DÇÖ ve sonrasına ait oluşturulan veriler 3 farklı gruba ayrılmıştır. DÇSna ait 1 m , 2 m ve her iki derinlik (1 m ve 2 m) için büzülme oranları değerlerinin ortalaması aynı grupta DÇÖne ait 1 m ve her iki derinlik (1 m ve 2 m) için büzülme oranları değerlerinin ortalaması diğer bir grupta yer almıştır. DÇÖ 2 m derinlikten alınan numunler için yapılan deneylerden elde edilen büzülme oranları değerlerinin ortalaması farklı bir grup oluşturmuştur.

Rötire deneyinden elde edilen büzülme oranı değerlerinin ortalamasına ait veriler grafikte Şekil 5.36'da gösterilmiştir.



Şekil 5.36: Rötire limiti büzülme oranı değerleri

Rötire büzülme oranı değerlerinin ortalaması 2 m DÇÖ en fazla değerde ve 1 m, 2 m ve her iki derinlikte de aynı ve en az olduğu görülmüştür.

Yapılan deneyler sonucu elde edilen veriler arasındaki ilişkiyi belirlemek için Pearson korelasyon analizi yapılmış ve bu analizin sonuçları Çizelge 5.30’da sunulmuştur.

Çizelge 5.30: Rötire limiti için korelasyon analizi sonuçları

	1 m DÇÖ	1 m DÇS	2 m DÇÖ	2 m DÇS	DÇÖ tümü	DÇS tümü
1 m DÇÖ	1	,999*	-,993	-,978	1,000**	-,993
1 m DÇS	,999*	1	-,996	-,984	,999*	-,996
2 m DÇÖ	-,993	-,996	1	,996	-,993	1,000**
2 m DÇS	-,978	-,984	,996	1	-,978	,996
DÇÖ tümü	1,000**	,999*	-,993	-,978	1	-,566
DÇS tümü	-,993	-,996	1,000**	,996	-,566	1

Pearson korelasyon katsayısı (R) bazı gruplar arasında 1’e yakın ve pozitif değer, bazı gruplar arasında ise 1’e yakın ve negatif değer almıştır. Bu durum DÇ süreçlerine ait oluşturulan 1’e yakın ve pozitif değer alan bazı gruplar arasında pozitif bir ilişki olduğunu ve bu ilişkinin 1 ‘ e yakın bir değer alması ilişkinin güçlü olduğunu gösterir. DÇ süreçlerine ait oluşturulan 1’e yakın ve negatif değer alan bazı gruplar arasında ise negatif bir ilişki olduğunu ve bu ilişkinin 1 ‘ e yakın bir değer alması ilişkinin güçlü

olduğunu gösterir. Özellikle 1 m’de DÇÖ büzülme oranı değerlerinin ortalaması ile 1 m’de DÇS büzülme oranı değerlerinin ortalaması arasında çok önemli düzeyde pozitif bir ilişki görülmektedir. Yine 1 m’de DÇÖ büzülme oranı değerlerinin ortalaması ile her iki derinlik için (1 m ve 2 m) DÇÖ 1 m’de DÇÖ büzülme oranı değerlerinin ortalaması ile arasında pozitif yönde çok güçlü bir ilişki görülmüş ve DÇSna ait 2 m’deki ve her iki derinlikteki büzülme oranı değerlerinin ortalaması arasında da çok güçlü ve pozitif bir ilişki görülmektedir.

5.12.4. Özgül Ağırlık

Özgül ağırlık deneyi sonucu elde edilen tüm veriler; 1 m DÇÖ, 2 m DÇÖ, 1 m DÇS, 2 m DÇS, 1 m ve 2 m için donma çözülmeden önce elde edilen tüm özgül ağırlık değerlerinin ortalaması yine 1 m ve 2 m için donma çözülmeden sonra elde edilen tüm özgül ağırlık değerlerinin ortalaması kullanılarak toplam 6 grup oluşturulmuştur. Gruplar bazında özgül ağırlık deney sonuçlarının tanımlayıcı istatistikleri belirlenmiş ve bu gruplar tek yönlü varyans analizine tabi tutulmuşlardır (Çizelge 5.31).

Çizelge 5.31: Özgül ağırlık deneyi sonuçları için tanımlayıcı istatistik değerleri

Gruplar	Numune sayısı	Ortalama	Standart sapma	Standart hata	95% Güven Aralığı		Min	Maks
					Alt sınıır	Üst sınıır		
1 m DÇÖ	3	2,6600	,54249	,31321	1,3124	4,0076	2,15	3,23
2 m DÇÖ	3	2,7667	,60501	,34930	1,2637	4,2696	2,16	3,37
1 m DÇS	3	2,7833	,46004	,26560	1,6405	3,9261	2,32	3,24
2 m DÇS	3	2,7700	,04583	,02646	2,6562	2,8838	2,73	2,82
DÇÖ tümü	6	2,7133	,51725	,21117	2,1705	3,2562	2,15	3,37
DÇS tümü	6	2,7767	,29248	,11941	2,4697	3,0836	2,32	3,24
Toplam	24	2,7450	,39315	,08025	2,5790	2,9110	2,15	3,37

Deneyde özgül ağırlık değerlerinin ortalaması 1 m’de DÇÖ daha az iken DÇS arttığı gözlemlenmiş ve yine 2 m’de DÇÖ daha az iken DÇS arttığı görülmüştür. DÇÖ her iki derinlikten(1 m ve 2 m) elde edilen tüm özgül ağırlık değerlerinin ortalaması, DÇS arttığı görülmüştür.

Özgül ağırlık deneyine ait verilerin homojen olup olmadığını tespit etmek amacıyla Varyans homojenlik testi yapılmış ve sonuçlar Çizelge 5.32’de sunulmuştur.

Çizelge 5.32: Özgül ağırlık için Varyans homojenlik test analizi

İstatistik	Sd1	Sd2	Önem derecesi
1,393	5	18	,273

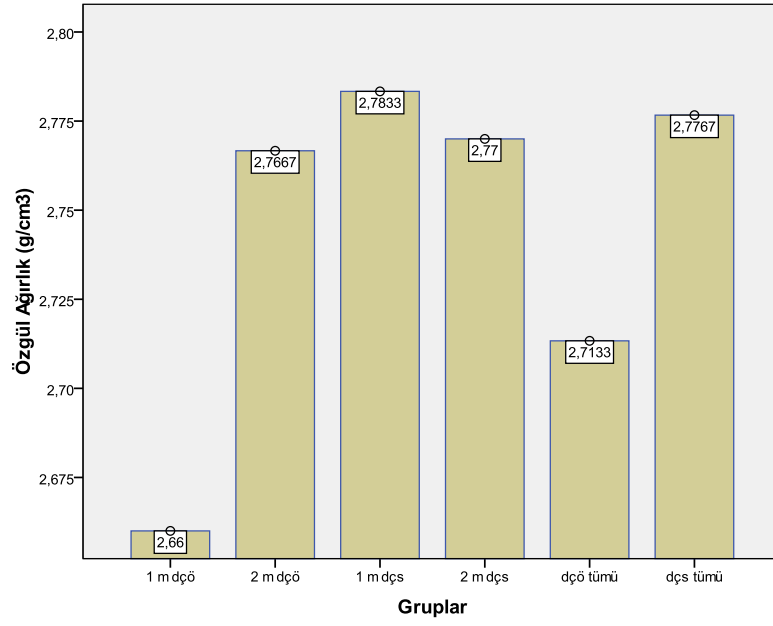
Elde edilen için özgül ağırlık değerlerinin ortalaması ait verilerin güvenirligi 0.05 ‘ ten büyük olduğundan gruplar % 5 hata ile homojendir.

Özgül ağırlık deney sonuçları açısından gruplar bazında birbirinden farklı olup olmadığının belirlenebilmesi amacıyla Varyans analizi yapılmış olup sonuçları Çizelge 5.33’de verilmiştir.

Çizelge 5.33: Özgül ağırlık için Varyans analiz sonuçları

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler ortalaması	F	Önem derecesi
Gruplar arası	,041	5	,008	,042	,999
Grup içi	3,514	18	,195		
Toplam	3,555	23			

Varyans analizi önem derecesi:0,999>0,05 olduğu için gruplar arasında farklılık yoktur. Özgül ağırlık değerleriyle oluşturulan gruplar arasında farklılık gözlenemediği için çoklu karşılaştırma testi yapılmamıştır. Özgül ağırlık deneyinden elde edilen değerlerin ortalamasına ait veriler Şekil 5.37’de gösterilmiştir.



Şekil 5.37: Özgül ağırlık deneyi değerleri

Özgül ağırlık değerlerinin ortalaması 1 m DÇS en fazla değerinde ve 1 m DÇÖ en az olduğu görülmüştür.

Yapılan deneyler sonucu elde edilen veriler arasındaki ilişkiyi belirlemek için Pearson korelasyon analizi yapılmış ve bu analizin sonuçları Çizelge 5.34’de sunulmuştur.

Çizelge 5.34: Özgül ağırlık için korelasyon analizi

	1 m DÇÖ	1 m DÇS	2 m DÇÖ	2 m DÇS	DÇÖ tümü	DÇS tümü
1 m DÇÖ	1	,994	,995	-,579	1,000**	,994
1 m DÇS	,994	1	1,000**	-,664	,994	1,000**
2 m DÇÖ	,995	1,000**	1	-,658	,995	1,000**
2 m DÇS	-,579	-,664	-,658	1	-,579	-,664
DÇÖ tümü	1,000**	,994	,995	-,579	1	,605
DÇS tümü	,994	1,000**	1,000**	-,664	,605	1

Pearson korelasyon katsayısı (R) bazı gruplar arasında 1’e yakın ve pozitif değer, bazı gruplar arasında ise 1’e çok yakın olmayan ve negatif değer almıştır. Bu durum DÇ süreçlerine ait oluşturulan 1’e yakın ve pozitif değer alan bazı gruplar arasında pozitif bir ilişki olduğunu ve bu ilişkinin 1 ‘ e yakın bir değer alması ilişkinin güçlü olduğunu gösterir. DÇ süreçlerine ait oluşturulan 1’e yakın ve negatif değer alan bazı gruplar

arasında ise negatif bir ilişki olduğunu ve bu ilişkinin 1 ' e yakın bir değer alması ilişkinin güçlü olduğunu gösterir. Özellikle 1 m'de DÇÖ özgül ağırlık değerlerinin ortalaması ile her iki derinlikteki DÇÖ özgül ağırlık değerlerinin ortalaması arasında çok önemli düzeyde pozitif bir ilişki görülmektedir. Yine her iki derinlik için (1 m ve 2 m) DÇÖ 1 m'de DÇÖ özgül ağırlık değerlerinin ortalaması ile arasında pozitif yönde çok güçlü bir ilişki görülmüş ve DÇSna ait her iki derinlikteki özgül ağırlık değerlerinin ortalaması ile 1 m DÇS ve 2 m DÇÖ arasında da çok güçlü ve pozitif bir ilişki görülmektedir.

5.12.5. Elek Analizi

Elek analizi deneyi sonucu elde edilen tüm veriler; 1 m DÇÖ, 2 m DÇÖ, 1 m DÇS, 2 m DÇS, 1 m ve 2 m için donma çözülmeden önce elde edilen tüm toplam geçen (%) değerlerinin ortalaması yine 1 m ve 2 m için donma çözülmeden sonra elde edilen tüm toplam (%) geçen değerlerinin ortalaması kullanılarak toplam 6 grup oluşturulmuştur. Gruplar bazında elek analizi deney sonuçlarının tanımlayıcı istatistikleri belirlenmiş ve bu gruplar tek yönlü varyans analizine tabi tutulmuşlardır (Çizelge 5.35).

Çizelge 5.35: Elek analizi toplam geçen (%) değerleri için tanımlayıcı istatistikler

Gruplar	Numune sayısı	Ortalama	Standart sapma	Standart hata	95% Güven Aralığı		Min	Maks
					Alt sınır	Üst sınır		
1 m DÇÖ	11	57,5064	35,21776	10,61855	33,8467	81,1660	0,00	98,11
2 m DÇÖ	11	37,1409	37,50974	11,30961	11,9415	62,3403	0,00	98,42
1 m DÇS	11	47,3900	34,91022	10,52583	23,9370	70,8430	0,00	100,00
2 m DÇS	11	57,5064	35,21776	10,61855	33,8467	81,1660	0,00	98,11
DÇÖ tümü	22	47,3236	37,00312	7,88909	30,9174	63,7299	0,00	98,42
DÇS tümü	22	43,9782	36,38395	7,75708	27,8464	60,1099	0,00	100,00
Toplam	88	47,7684	35,76213	3,81226	40,1911	55,3457	0,00	100,00

Deneyde toplam geçen (%) değerlerinin ortalaması 1 m'de DÇÖ daha fazla iken DÇS azaldığı gözlemlenmiş buna karşılık 2 m'de DÇÖ daha az iken DÇS arttığı görülmüştür. DÇÖ her iki derinlikten(1 m ve 2 m) elde edilen tüm toplam geçen (%) değerlerinin ortalaması, DÇS azaldığı görülmüştür.

Elek analizi toplam geçen (%) değerlerinin ortalamaları arasındaki farkın homojen olup olmadığını tespit etmek amacıyla Varyans homojenlik testi yapılmış ve sonuçlar Çizelge 5.36’da gösterilmiştir.

Çizelge 5.36: Elek analizi için Varyans homojenlik testi

İstatistik	Sd1	Sd2	Önem derecesi
0,095	5	82	0,993

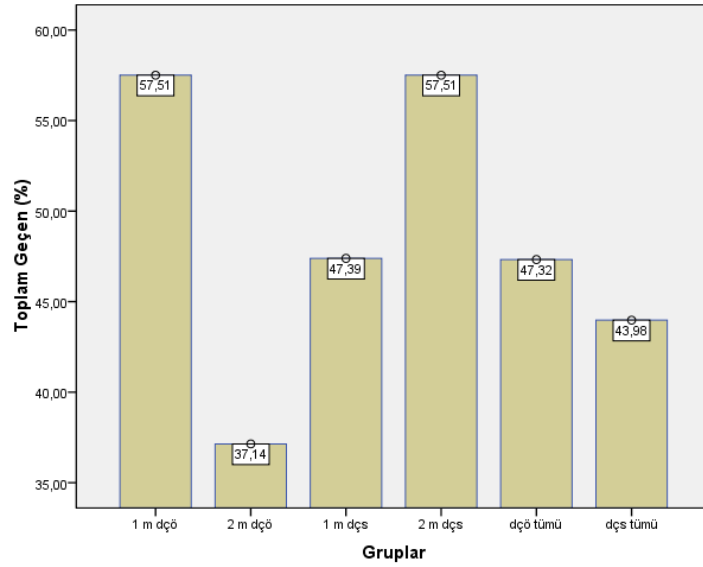
Deney verilerine ait her iki değer için de grupların güvenilirliği 0.05’ ten büyük çıktığı için gruplar % 5 hata ile homojendir.

Elek analizi toplam geçen (%) değerlerinin ortalamaları açısından gruplar bazında birbirinden farklı olup olmadığını belirlebilmesi amacıyla Varyans analizi yapılmış olup sonuçları Çizelge 5.37’de verilmiştir.

Çizelge 5.37: Elek analizi için Varyans analizi

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler ortalaması	F	Önem derecesi
Gruplar arası	3650,567	5	730,113	0,556	0,733
Grup içi	107616,332	82	1312,394		
Toplam	111266,900	87			

Varyans analizi önem derecesi:0,733>0,05 olduğu için gruplar arasında farklılık yoktur. Elek analizi toplam geçen (%) değerleriyle oluşturulan gruplar arasında farklılık gözlenemediği için çoklu karşılaştırma testi yapılmamıştır. Elek analizi deneyi toplam geçen (%) değerlerinin ortalamasına ait veriler gruplar bazında Şekil 5.38’de gösterilmiştir.



Şekil 5.38: Elek analizi toplam (%) geçen değerleri ortalaması

Elek analizi toplam geçen (%) değerlerinin ortalaması 2 m DÇS en fazla değerde ve 2 m DÇÖ en az değerde olduğu görülmüştür. Yapılan deneyler sonucu elde edilen veriler arasındaki ilişkiyi belirlemek için Pearson korelasyon analizi yapılmış ve bu analizin sonuçları Çizelge 5.38 sunulmuştur.

Çizelge 5.38: Elek analizi için korelasyon analizi

	1 m DÇÖ	1 m DÇS	2 m DÇÖ	2 m DÇS	DÇÖ tümü	DÇS tümü
1 m DÇÖ	1	0,920**	0,955**	0,962**	1,000**	0,955**
1 m DÇS	0,920**	1	0,990**	0,967**	0,920**	0,990**
2 m DÇÖ	0,955**	0,990**	1	0,974**	0,955**	1,000**
2 m DÇS	0,962**	0,967**	0,974**	1	0,962**	0,974**
DÇÖ tümü	1,000**	0,920**	0,955**	0,962**	1	0,887**
DÇS tümü	0,955**	0,990**	1,000**	0,974**	0,887**	1

Pearson korelasyon katsayısı (R) tüm gruplar arasında 1'e yakın ve pozitif değer almıştır. Bu durum DÇ süreçlerine ait oluşturulan tüm gruplar arasında pozitif bir ilişki olduğunu ve bu ilişkinin 1'e yakın bir değer alması ilişkinin güçlü olduğunu gösterir. Özellikle 1 m'de DÇÖ toplam geçen değerlerinin ortalaması ile her iki derinlik için (1

m ve 2 m) DÇÖ toplam geçen değerlerinin ortalaması arasında çok güçlü bir ilişki görülmüş yani 1 m’de DÇÖ toplam geçen değerlerinin ortalaması arttıkça her iki derinlik için (1 m ve 2 m) DÇÖ toplam geçen değerlerinin ortalamasının da arttığı söylenebilir. Yine 1 m’de DÇS toplam geçen değerlerinin ortalaması ve her iki derinlik için (1 m ve 2 m) DÇS toplam geçen değerlerinin ortalaması arasında çok güçlü bir ilişki görülmüş yani 1 m’de DÇS su muhtevası değerlerinin ortalaması arttıkça her iki derinlik için (1 m ve 2 m) DÇS toplan geçen değerlerinin ortalamasının da arttığı söylenebilir.

5.12.6. Hidrometre Deneyi

Hidrometre deneyi sonucu elde edilen tüm veriler; 1 m DÇÖ, 2 m DÇÖ, 1 m DÇS, 2 m DÇS, 1 m ve 2 m için donma çözülmeden önce elde edilen tüm toplam geçen (%) değerlerinin ortalaması yine 1 m ve 2 m için donma çözülmeden sonra elde edilen tüm toplam (%) geçen değerlerinin ortalaması kullanılarak toplam 6 grup oluşturulmuştur. Gruplar bazında hidrometre deney sonuçlarının tanımlayıcı istatistikleri belirlenmiş ve bu gruplar tek yönlü varyans analizine tabi tutulmuş ve Çizelge 5.39’da gösterilmiştir.

Çizelge 5.39: Hidrometre deneyi toplam (%) geçen için tanımlayıcı istatistik değerleri

Gruplar	Numune sayısı	Ortalama	Standart sapma	Standart hata	95% Güven Aralığı		Min	Maks
					Alt sınır	Üst sınır		
1 m DÇÖ	11	22,4345	2,13039	,64234	21,0033	23,8658	20,60	26,63
2 m DÇÖ	11	3,0218	,31546	,09512	2,8099	3,2337	2,67	3,64
1 m DÇS	11	5,2845	,37238	,11228	5,0344	5,5347	4,78	5,77
2 m DÇS	11	2,6609	,23377	,07048	2,5039	2,8180	2,38	3,15
DÇÖ tümü	22	13,8595	8,90277	1,89808	9,9123	17,8068	4,78	26,63
DÇS tümü	22	2,8414	,32791	,06991	2,6960	2,9868	2,38	3,64
Toplam	88	8,3505	8,30746	,88558	6,5903	10,1106	2,38	26,63

Deneyde toplam geçen değerlerinin ortalaması 1 m’de DÇÖ daha fazla iken DÇS azaldığı gözlemlenmiş ve yine 2 m’de DÇÖ daha fazla iken DÇS azaldığı görülmüştür. DÇÖ her iki derinlikten(1 m ve 2 m) elde edilen tüm toplam geçen değerlerinin ortalaması, DÇS azaldığı görülmüştür.

Hidrometre deneyi toplam geçen (%) değerlerinin ortalamaları arasındaki farkın homojen olup olmadığını tespit etmek amacıyla Varyans homojenlik testi yapılmış ve sonuçlar Çizelge 5.40'ta gösterilmiştir.

Çizelge 5.40: Hidrometre deneyi için Varyans homojenlik test analizi

İstatistik	Sd1	Sd2	Önem derecesi
276,769	5	82	0,000

Hidrometre deneyi toplam geçen (%) değerlerinin ortalamaları açısından gruplar bazında birbirinden farklı olup olmadığını belirlenebilmesi amacıyla Varyans analizi yapılmış olup sonuçları Çizelge 5.41'de verilmiştir.

Çizelge 5.41: Hidrometre deneyi sonuçları için Varyans analizi

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler ortalaması	F	Önem derecesi
Gruplar arası	4289,197	5	857,839	41,016	0,000
Grup içi	1715,018	82	20,915		
Toplam	6004,216	87			

Varyans analizi sonucuna göre önemlilik derecesi $0,000 < 0,05$ olduğu için hidrometre deney sonuçları açısından grupların ortalamalarında istatistiksel olarak önemli düzeyde fark olduğu belirlenmiştir.

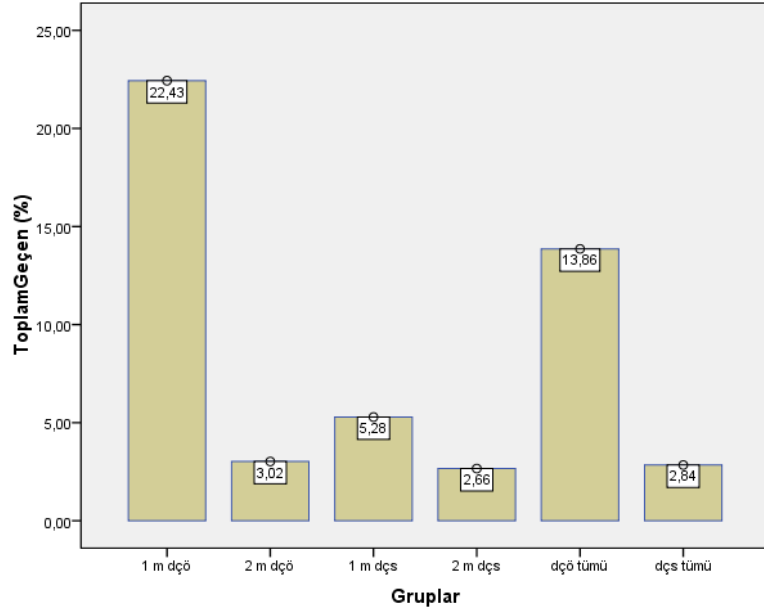
Elde edilen bu farkın tüm gruplar için mi yoksa belli gruplar için mi söz konusu olduğunu, diğer bir ifadeyle hangi gruplar arasında fark olduğunu tespit etmek amacıyla Tamhane T2 çoklu karşılaştırma testi yapılmış ve Çizelge 5.42'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.42: Hidrometre deneyi için Tamhane T2 çoklu karşılaştırma test sonucu

(I) Gruplar	(J) Gruplar	Ortalama farkı (I-J)	Standart hata	Önem derecesi	95 % Güven Aralığı	
					Alt sınır	Üst sınır
1 m DÇÖ	2 m DÇÖ	19,41273*	,64934	,000	16,9667	21,8587
	1 m DÇS	17,15000*	,65208	,000	14,7046	19,5954
	2 m DÇS	19,77364*	,64619	,000	17,3265	22,2208
	DÇÖ tümü	8,57500*	2,00382	,004	2,1037	15,0463
	DÇS tümü	19,59318*	,64613	,000	17,1461	22,0403
2 m DÇÖ	1 m DÇS	-2,26273*	,14715	,000	-2,7531	-1,7724
	2 m DÇS	,36091	,11839	,097	-,0366	,7584
	DÇÖ tümü	-10,83773*	1,90046	,000	-17,1044	-4,5711
	DÇS tümü	,18045	,11804	,898	-,2094	,5703
1 m DÇS	2 m DÇS	2,62364*	,13257	,000	2,1723	3,0750
	DÇÖ tümü	-8,57500*	1,90140	,003	-14,8432	-2,3068
	DÇS tümü	2,44318*	,13226	,000	1,9974	2,8890
2 m DÇS	DÇÖ tümü	-11,19864*	1,89939	,000	-17,4635	-4,9337
	DÇS tümü	-,18045	,09928	,715	-,4992	,1383
DÇÖ tümü	DÇS tümü	11,01818*	1,89936	,000	4,7533	17,2830

Tamhane T2 testi sonuçlarına göre 1 m' de DÇÖ su muhtevası değerleri ortalaması ile 1 m ve 2 m için donma çözülmeden önce elde edilen tüm su muhtevası değerleri ortalaması arasında anlamlı bir fark olduğu gözlemlenmiştir. Yine 2 m' de DÇÖ su muhtevası değerleri ortalaması ile 1 m ve 2 m için donma çözülmeden önce elde edilen tüm su muhtevası değerleri ortalaması arasında önemli bir fark olduğu gözlemlenmiştir.

Hidrometre deneyinden elde edilen toplam geçen (%) değerlerinin ortalamasına ait veriler Şekil 5.39'daki grafikte gösterilmiştir.



Şekil 5.39: Hidrometre deneyi toplam (%) geçen değerleri

Hidrometre deneyinde toplam geçen (%) değerlerinin ortalaması 2 m DÇS en fazla değerde ve 2 m DÇÖ en az değerde olduğu görülmüştür. Yapılan deneyler sonucu elde edilen veriler arasındaki ilişkiyi belirlemek için Pearson korelasyon analizi yapılmış ve bu analizin sonuçları Çizelge 5.43’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.43: Hidrometre deneyi için korelasyon analiz sonuçları

	1 m DÇÖ	1 m DÇS	2 m DÇÖ	2 m DÇS	DÇÖ tümü	DÇS tümü
1 m DÇÖ	1	0,878**	0,983**	0,976**	1,000**	0,983**
1 m DÇS	0,878**	1	0,927**	0,895**	0,878**	0,927**
2 m DÇÖ	0,983**	0,927**	1	0,992**	0,983**	1,000**
2 m DÇS	0,976**	0,895**	0,992**	1	0,976**	0,992**
DÇÖ tümü	1,000**	0,878**	0,983**	0,976**	1	0,676**
DÇS tümü	0,983**	0,927**	1,000**	0,992**	0,676**	1

Pearson korelasyon katsayısı (R) tüm gruplar arasında 1’e yakın ve pozitif değer almıştır. Bu durum DÇ süreçlerine ait oluşturulan tüm gruplar arasında pozitif bir ilişki olduğunu ve bu ilişkinin 1 ‘ e yakın bir değer alması ilişkinin güçlü olduğunu gösterir. Özellikle 1 m’de DÇÖ toplam geçen değerlerinin ortalaması ile her iki derinlik için (1

m ve 2 m) DÇÖ toplam geçen değerlerinin ortalaması arasında çok güçlü bir ilişki görülmüş yani 1 m’de DÇÖ toplam geçen değerlerinin ortalaması arttıkça her iki derinlik için (1 m ve 2 m) DÇÖ toplam geçen değerlerinin ortalamasının da arttığı söylenebilir.

5.12.7. Üç Eksenli Basınç Dayanımı Deneyi

Üç eksenli basınç dayanımı deneyi sonucu elde edilen tüm veriler; 1 m DÇÖ, 2 m DÇÖ, 1 m DÇS, 2 m DÇS, 1 m ve 2 m için donma çözülmeden önce elde edilen tüm gerilme değerlerinin ortalaması yine 1 m ve 2 m için donma çözülmeden sonra elde edilen tüm gerilme değerlerinin ortalaması kullanılarak toplam 6 grup oluşturulmuştur. Gruplar bazında üç eksenli basınç dayanımı deney sonuçlarının tanımlayıcı istatistikleri belirlenmiş ve bu gruplar tek yönlü varyans analizine tabi tutulmuş ve Çizelge 5.44’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.44: Üç eksenli basınç dayanımı gerilme değerleri için tanımlayıcı istatistikler

Gruplar	Numune sayısı	Ortalama	Standart sapma	Standart hata	95% Güven Aralığı		Min	Maks
					Alt sınır	Üst sınır		
1 m DÇÖ	3	582,3600	232,06811	133,98458	5,8709	1158,8491	351,42	815,54
2 m DÇÖ	3	563,7033	246,08255	142,07583	-47,5996	1175,0063	318,27	810,43
1 m DÇS	3	575,2333	235,09788	135,73382	-8,7822	1159,2488	340,81	811,00
2 m DÇS	3	553,4233	242,78504	140,17201	-49,6881	1156,5348	309,74	795,30
DÇÖ tümü	6	573,0317	214,17122	87,43504	348,2728	797,7906	318,27	815,54
DÇS tümü	6	564,3283	214,07694	87,39655	339,6684	788,9883	309,74	811,00
Toplam	24	568,6800	199,72122	40,76792	484,3451	653,0149	309,74	815,54

Deneyde gerilme değerlerinin ortalaması 1 m’de DÇÖ daha fazla iken DÇS azaldığı gözlemlenmiş ve yine 2 m’de DÇÖ daha fazla iken DÇS azaldığı görülmüştür. DÇÖ her iki derinlikten (1 m ve 2 m) elde edilen tüm gerilme değerlerinin ortalamasının, DÇS azaldığı görülmüştür.

Üç eksenli basınç dayanımı deneyi gerilme değerlerinin ortalamaları arasındaki farkın homojen olup olmadığını tespit etmek amacıyla Varyans homojenlik testi yapılmış ve sonuçlar Çizelge 5.45’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.45: Üç eksenli basınç Varyans homojenlik test analizi

İstatistik	Sd1	Sd2	Önem derecesi
0,002	5	18	1,000

Deney verilerine değer için de grupların güvenilirliği 0.05' ten büyük çıktığı için grupların Varyansı % 5 hata ile homojendir.

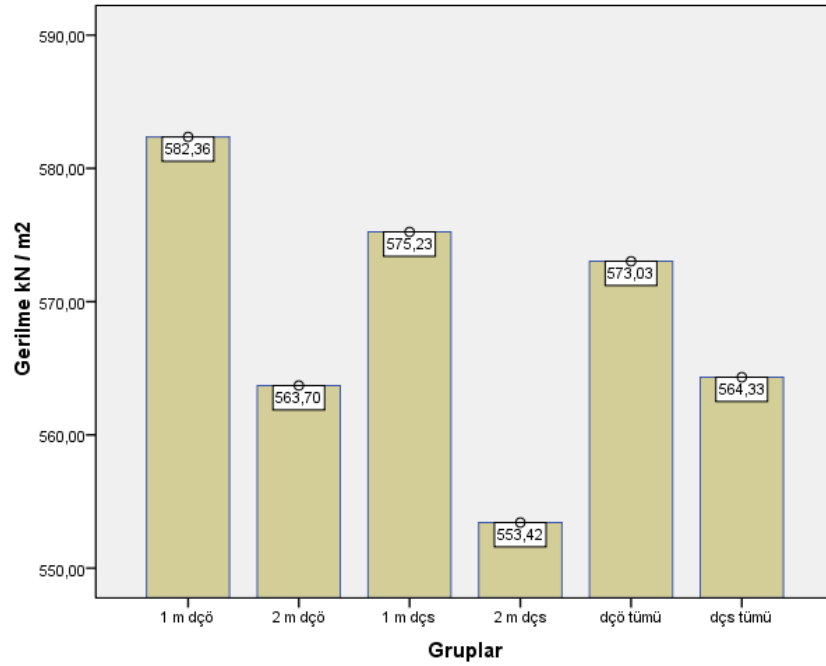
Üç eksenli basınç dayanımı deneyi gerilme değerlerinin ortalamaları açısından gruplar bazında birbirinden farklı olup olmadığının belirlenebilmesi amacıyla Varyans analizi yapılmış olup sonuçları Çizelge 5.46'da verilmiştir.

Çizelge 5.46: Üç eksenli basınç için Varyans analizi sonucu

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler ortalaması	F	Önem derecesi
Gruplar arası	1690,109	5	338,022	0,007	1,000
Grup içi	915746,887	18	50874,827		
Toplam	917436,996	23			

Elde edilen üç eksenli gerilme değerlerinin ortalaması ait verilerin güvenilirliği 0.05 ' ten büyük çıktığı için grupların üç eksenli basınç dayanımı deneyi gerilme değerlerinin ortalamaları birbirinden farklı değildir.

Üç eksenli basınç dayanımı açısından gruplar arasında farklılık gözlenemediği için çoklu karşılaştırma testi yapılmamıştır. Üç eksenli basınç dayanımı deneyinden elde edilen gerilme değerlerinin ortalamasına ait veriler Şekil 5.40'daki sütun grafikte gösterilmiştir.



Şekil 5.40: Üç eksenli basınç dayanımı gerilme değerleri ortalaması

Üç eksenli basınç deneyinde gerilme değerlerinin ortalaması 1 m DÇÖ en fazla değerde ve 2 m DÇS en az değerde olduğu görülmüştür. Yapılan deneyler sonucu gruplar bazında elde edilen veriler arasındaki ilişkiyi belirlemek için Pearson korelasyon analizi yapılmış ve bu analizin sonuçları Çizelge 5.47’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.47: Gruplar bazında üç eksenli basınç dayanımı için korelasyon analizi

	1 m DÇÖ	1 m DÇS	2 m DÇÖ	2 m DÇS	DÇÖ tümü	DÇS tümü
1 m DÇÖ	1	1,000**	1,000**	1,000**	1,000**	1,000**
1 m DÇS	1,000**	1	1,000**	1,000**	1,000**	1,000**
2 m DÇÖ	1,000**	1,000**	1	1,000**	1,000**	1,000**
2 m DÇS	1,000**	1,000**	1,000**	1	1,000**	1,000**
DÇÖ tümü	1,000**	1,000**	1,000**	1,000**	1	1,000**
DÇS tümü	1,000**	1,000**	1,000**	1,000**	1,000**	1

Pearson korelasyon katsayısının (R) değeri tüm gruplar arasında 1 ve pozitif değerdir. Bu durum DÇ süreçlerine ait oluşturulan tüm gruplar arasında pozitif bir ilişki olduğunu

ve bu ilişkinin 1 olarak değer alması ilişkinin mükemmel olduğunu gösterir. Tüm gruplar arasında pozitif ve mükemmel bir ilişki gözlemlenmiştir.

5.12.8. Konsolidasyon Deneyi

Konsolidasyon deneyi sonucu elde edilen tüm veriler; 1 m DÇÖ, 2 m DÇÖ, 1 m DÇS, 2 m DÇS, 1 m ve 2 m için donma çözülmeden önce elde edilen tüm çökme miktarları değerlerinin ortalaması yine 1 m ve 2 m için donma çözülmeden sonra elde edilen tüm çökme miktarları değerlerinin ortalaması kullanılarak 6 grup oluşturulmuştur. Gruplar bazında konsolidasyon deney sonuçlarının tanımlayıcı istatistikleri belirlenmiş ve bu gruplar tek yönlü varyans analizine tabi tutulmuş ve Çizelge 5.48’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.48: Konsolidasyon deneyi çökme miktarları için tanımlayıcı istatistikler

Gruplar	Numune sayısı	Ortalama	Standart sapma	Standart hata	95% Güven Aralığı		Min	Maks
					Alt sınır	Üst sınır		
1 m DÇÖ	19	0,7032	0,08654	,01985	,6614	,7449	0,58	0,89
2 m DÇÖ	19	0,7187	0,08676	,01990	,6769	,7605	0,58	0,89
1 m DÇS	19	0,8358	0,25413	,05830	,7133	,9583	0,53	1,20
2 m DÇS	19	1,1632	0,18239	,04184	1,0752	1,2511	0,82	1,39
DÇÖ tümü	38	0,7109	0,08583	,01392	,6827	,7391	0,58	0,89
DÇS tümü	38	0,9995	0,27408	,04446	,9094	1,0896	0,53	1,39
Toplam	152	0,8552	0,24774	,02009	,8155	,8949	0,53	1,39

Deneyde çökme miktarları değerlerinin ortalaması 1 m’de DÇÖ daha az iken DÇS arttığı gözlemlenmiş ve yine 2 m’de DÇÖ daha az iken DÇS arttığı görülmüştür. DÇÖ her iki derinlikten (1 m ve 2 m) elde edilen tüm çökme miktarları değerlerinin ortalamasının, DÇS arttığı gözlemlenmiştir (Çizelge 5.49).

Konsolidasyon deneyi çökme değerlerinin ortalamaları arasındaki farkın homojen olup olmadığını tespit etmek amacıyla Varyans homojenlik testi yapılmış ve sonuçlar aşağıda gösterilmiştir

Çizelge 5.49: Konsolidasyon deneyi için Varyans homojenlik test analizi

İstatistik	Sd1	Sd2	Önem derecesi
23,046	5	146	0,000

Deney verilerine değer için de grupların güvenilirliği 0.05' ten küçük çıktığı için çökme değerleri açısından grupların varyanslarının homojen olmadığı belirlenmiştir. Konsolidasyon deneyi çökme değerlerinin ortalamaları açısından gruplar bazında birbirinden farklı olup olmadığının belirlenebilmesi amacıyla Varyans analizi yapılmış olup sonuçları Çizelge 5.50'de verilmiştir.

Çizelge 5.50: Konsolidasyon deneyi için Varyans analizi sonucu

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler ortalaması	F	Önem derecesi
Gruplar arası	4,184	5	,837	24,035	0,000
Grup içi	5,084	146	,035		
Toplam	9,268	151			

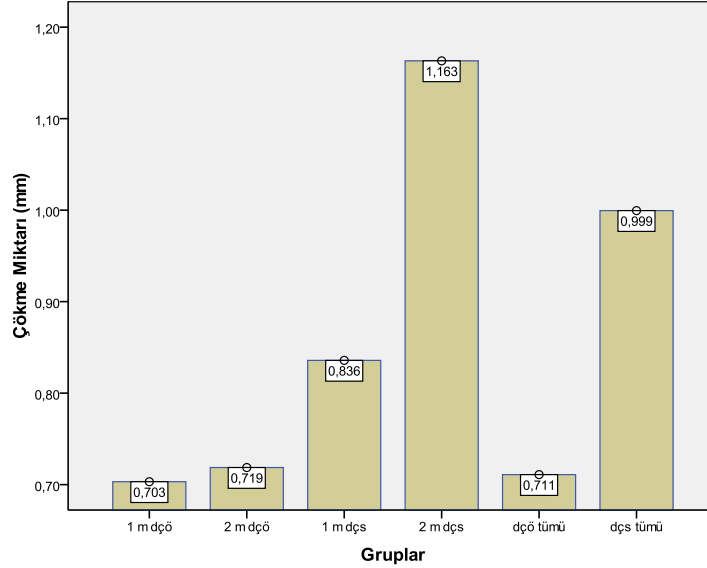
Konsolidasyon deneyi sonucu elde edilen çökme ortalama değerlerinin istatistiksel olarak hangi gruplar arasında farklı olduğunu anlayabilmek için çoklu karşılaştırma testlerinden Tamhane T2 çoklu karşılaştırma testi yapılmıştır. Test sonuçları Çizelge 5.51'de verilmiştir.

Çizelge 5.51: Konsolidasyon deneyi için Tamhane T2 çoklu karşılaştırma test sonuçları

(I) Gruplar	(J) Gruplar	Ortalama farkı (I-J)	Standart hata	Önem derecesi	95 % Güven Aralığı	
					Alt sınır	Üst sınır
1 m DÇÖ	2 m DÇÖ	-,01553	,02811	1,000	-,1037	,0726
	1 m DÇS	-,13263	,06159	,478	-,3346	,0693
	2 m DÇS	-,46000*	,04632	,000	-,6094	-,3106
	DÇÖ tümü	-,00776	,02425	1,000	-,0838	,0683
	DÇS tümü	-,29632*	,04869	,000	-,4461	-,1465
2 m DÇÖ	1 m DÇS	-,11711	,06161	,666	-,3191	,0849
	2 m DÇS	-,44447*	,04634	,000	-,5939	-,2950
	DÇÖ tümü	,00776	,02429	1,000	-,0684	,0839
	DÇS tümü	-,28079*	,04871	,000	-,4307	-,1309
1 m DÇS	2 m DÇS	-,32737*	,07176	,001	-,5540	-,1008
	DÇÖ tümü	,12487	,05994	,538	-,0740	,3238
	DÇS tümü	-,16368	,07332	,381	-,3924	,0651
2 m DÇS	DÇÖ tümü	,45224*	,04410	,000	,3076	,5969
	DÇS tümü	,16368	,06106	,139	-,0240	,3513
DÇÖ tümü	DÇS tümü	-,28855*	,04659	,000	-,4327	-,1444

Çoklu karşılaştırma test sonuçları incelendiğinde; 1 m derinlikten alınan numunelerin DÇden önceki çökme değerleri ile 2 m'den alınan numunelerin DÇSndaki çökme değerleri ve 1 m ile 2 m derinliğinde DÇS tümüne ait çökme değerleri arasında önemli farklar olduğu görülmektedir (1 m DÇÖ ile 2 m DÇSndaki ve DÇSndaki tüm değerler için önem dereceleri 0,000 olup bu değer 0,05'ten küçüktür). Yine 2 m'de DÇÖ ile 2 m'de DÇS ve DÇS tüm değerlere ait çökme değerleri arasındaki farkın önem derecesi 0,000<0,05 çıktığı için çökme değerleri arasında önemli farklar olduğu görülmektedir. DÇS 1 m'de ve 2 m'de ve DÇS tüm değerleri için çökme değerleri önem derecesi 0,001<0,05 olduğu için önemli bir fark görülmektedir. DÇS 2 m'de ve DÇÖ tüm değerleri için önem derecesi yine 0,000<0,05 olduğundan önemli bir fark vardır. DÇS tüm değerler ve DÇS tüm değerler arasında da önem derecesi 0,000<0,05 olduğundan önemli farklar görülmektedir.

Konsolidasyon deneyinden elde edilen çökme miktarları değerlerinin ortalamasına ait veriler aşağıdaki grafikte gösterilmiştir (Şekil 5.41).



Şekil 5.41:Gruplara göre konsolidasyon deneyinden elde edilen çökme miktarları ortalamaları

Sütun grafikte çökme miktarlarının en fazla 2 m DÇSna ait, en az değeri ise 1 m DÇÖne ait grupta olduğu görülmüştür. Yapılan deneyler sonucu elde edilen veriler arasındaki ilişkiyi belirlemek için Pearson korelasyon analizi yapılmış ve bu analizin sonuçları Çizelge 5.52’de sunulmuştur.

Çizelge 5.52: Konsolidasyon deneyi için korelasyon analizi sonucu

	1 m DÇÖ	1 m DÇS	2 m DÇÖ	2 m DÇS	DÇÖ tümü	DÇS tümü
1 m DÇÖ	1	,964**	,983**	,883**	1,000**	,964**
1 m DÇS	,964**	1	,971**	,891**	,964**	1,000**
2 m DÇÖ	,983**	,971**	1	,932**	,983**	,971**
2 m DÇS	,883**	,891**	,932**	1	,883**	,891**
DÇÖ tümü	1,000**	,964**	,983**	,883**	1	,799**
DÇS tümü	,964**	1,000**	,971**	,891**	,799**	1

Pearson korelasyon katsayısının (R) değeri tüm gruplar arasında 1’e yakın ve pozitif değerdir. Bu durum DÇ süreçlerine ait oluşturulan tüm gruplar arasında pozitif bir ilişki olduğunu ve bu ilişkinin 1 olarak değer alması ilişkinin çok güçlü olduğunu gösterir.

Tüm gruplar arasında pozitif ve çok güçlü bir ilişki gözlemlenmiştir. Özellikle 1 m DÇÖ ile her iki derinlikte DÇÖne ait çökme miktarları arasında çok güçlü bir ilişki gözlemlenmiştir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan deneylerle elde edilen sonuçlar için gerekli hesaplamalar yapılmış, yapılan bu hesaplar istatistiksel olarak analiz edilmiş, zemin numunelerinin SEM ve EDX analizlerine bakılmış ve bu işlemler sonucu bazı bulgular elde edilmiştir.

Yapılan deneyler ve analizler sonucunda elde edilen bulgular genel olarak aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Araziden alınan zeminde DÇÖ ve sonrası yapılan elek analizi ve hidrometre deneyi sonuçları kullanılarak zemin sınıflandırması yapılmıştır. Tane çaplarına göre 1 m'de DÇÖ siltli, killi kumlu iken DÇS çakıllı kumlu bir zemin, 2 m'de çakıllı kumlu iken DÇS siltli-killi, çakıllı kumlu olarak sınıflanmıştır. Üçgen sınıflandırmaya göre; DÇÖ 1 m'de zemin çakıllı kumlu siltli kil iken DÇS çakıllı kum olarak, 2 m' de DÇÖ çakıllı kum DÇS çakıllı, siltli kum olarak sınıflanmıştır. AASHO methoduna göre de 1 m'de zemin DÇÖ siltli kum iken DÇS siltli kumlu çakıl ve 2 m'de zemin DÇÖ kumlu çakıl iken DÇS siltli kum olarak tanımlanmıştır. Birleştirilmiş zemin sınıflandırmasına göre ise 1 m'de DÇÖ kötü derecelendirilmiş siltli kum iken DÇS kötü derecelendirilmiş killi siltli kum, 2 m'de DÇÖ iyi derecelendirilmiş kum iken DÇS iyi derecelendirilmiş killi kum sınıfı olarak belirlenmiştir.
- Zemin numunelerinde plastik limit değerleri DÇS hesaplanamamış ve DÇS zemin plastiklik özelliğini yitirmiş ve non-plastik (NP) halini almıştır.
- Rötire limiti ile elde edilen su muhtevaları değerleri 1 m derinlikten alınan numunelerde DÇden sonra % 47 değerinde ve büzülme oranı da % 28,6 oranında azalmıştır. DÇden sonra 2 m derinlikten alınan numuneler için % 46,15 değerinde ve büzülme oranı da % 35 değerinde azalmıştır.
- Özgül ağırlık deneyi ile elde edilen verilere göre; 1 m derinlikten alınan numunelerde DÇden sonra % 4,5 değerinde, 2 m derinlikten alınan numunelerde DÇden sonra % 0,36 değerinde bir artış gözlenmiştir.
- Elek analizi deneyi ile elde edilen verilere göre 4,75 mm, 2 mm, 0,6 mm, 0,425 mm, 0,25 mm, 0,15 mm, 0 075 mm göz açıklığına sahip eleklerde geçen toplam yüzde 1 m derinlikten alınan numuneler için DÇS sırasıyla; % 26, %36, % 56, %64, % 74, % 81 ve % 80 oranlarında azalış göstermiştir. DÇS 2 m derinlikten

alınan numunelerde; 4,75 mm, 2 mm, 0,6 mm, 0,425 mm, 0,25 mm, 0,15 mm, 0 075 mm göz açıklığına sahip eleklerde geçen toplam yüzde % 16, % 38, % 58, % 53, % 68, % 49, % 42 oranlarında artmıştır.

- DÇ döngüsü sonrasında incelenen mikro yapılarına göre tanelerin yeniden düzenlenerek nispeten yapı bütünlüğünü artırdığı ve tanelerin birbirlerine yaklaşarak topaklandığı gözlemlenmiştir.
- Konsolidasyon deneyine göre çökme miktarları; DÇS zamana bağlı olarak 1 m derinlikten alınan numuneler için % 15 oranında artarken DÇS 2 m derinlikten alınan numuneler için % 38 oranında bir artış görülmüştür.
- Üç eksenli basınç dayanımından elde edilmiş olan gerilme değerleri DÇS 1 m' de sırasıyla % 3, % 1,07, % 0,55 ve 2 m'de DÇS % 2,68, % 1,27, % 1,86 değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Kohezyon katsayısı (c) değerlerinde DÇS 1 m'de % 41,24 ve DÇS 2 m'de % 42,86 azalma ve yine içsel sürtünme açısı (ϕ) DÇS 1 m'de % 1,51 ve DÇS 2 metre derinlikten alınan numuneler için % 0,34 oranlarında azalma göstermiştir.
- Taramalı elektron mikroskopuyla yapılan SEM analizlerinde araziden alınan numunelerin DÇS'nde daha kümeleşmiş ve yoğun bir yapı bütünlüğü gösterdiği görülmüştür. DÇ döngüsü sırasında tanelerin yeniden düzenlenerek nispeten yapı bütünlüğünü artırdığı ve tanelerin birbirlerine yaklaşarak topaklandığı gözlemlenmiştir.
- EDX analizlerinde zeminde karbon (C), oksijen (O), demir (Fe), sodyum (Na), magnezyum (Mg), alüminyum (Al), silisyum (Si), potasyum (K) ve kalsiyum (Ca) elementleri tespit edilmiş ve bu elementleri ağırlıkça yüzdelerinin DÇS 1 m derinlikten alınan numuneler için karbon % 10 artmış, oksijen % 5,25 artmış, magnezyum % 10 artmış, alüminyum % 9,47 azalmış, kalsiyum % 40 artmış, demir %25,5 azalmış, silisyum % 5,5 azalmış, potasyum miktarının % 26 oranında azaldığı görülmüştür. DÇS 2 m derinlikten alınan numuneler için oksijen % 2,75 azalmış, magnezyum % 10 azalmış, alüminyum % 8,64 artmış, kalsiyum % 2,55 artmış, demir % 11 artmış, silisyum % 1,81 azalmış, potasyum miktarı % 26 oranında azalmıştır.
- Araziden alınan zemin numunelerinde deneysel, istatistiksel analizler ve SEM (mikro yapı) ile EDX analizleri yapılmış ve elde edilen tüm bulgular zeminin DÇ'den sonra limit değerdeki su muhtevalarında düşüş göstererek zeminin

plastik özelliğini kaybettiği ve bunun sonucu olarak ta zeminin büzülmediği gözlemlenmiştir.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre aşağıdaki öneriler sıralanabilir:

- Donma çözülme etkisiyle zeminlerde gözlenen bu değişimler mevcut veya yeni yapılacak olan yapılarda sorun teşkil edebilir. Nedenleri ne olursa olsun, yapılmış bir yatırımı geri almak ve yok etmemek için bilim çevreleri ve temel mühendisliği camiası yeni çareler üretmektedir. Bu kapsamda en etkin yöntem, özellikle enjeksiyon yöntemleridir. Son yıllarda temel problemleri ve temel güçlendirme çalışmalarında jet grout yöntemi ön plana çıkmıştır. Jet grout, zeminde 9-10 cm'lik delikler açılıp, içine harç püskürtülerek kolonlar oluşturulan ve zeminin stabilitesini arttırmayı amaçlayan bir yöntemdir.
- Killi zeminlerin mühendislik özelliklerini iyileştirmek için bunların kireç ve çimento ile karıştırılması yöntemi özellikle karayolları ve hava meydanları alt yapıları için uzun süredir başarı ile uygulanmaktadır. Uygulamaların başarılı olabilmesi zeminin cinsi, uygulama yöntemi, kür süresi, katkı malzemesi tip ve oranları, ekonomik koşulların uygunluğuna bağlıdır.
- Zeminlerin şişme potansiyeli üzerinde çevrimin etkisi değerlendirildiğinde; çevrim sayısındaki artışa bağlı olarak yüksek şişme potansiyeline sahip zeminin şişme yeteneği artan tane boyutuyla ilişkili olarak düşmüştür. Kilin düşey şişmesinin, numunenin başlangıç sıkıştırma durumuna ve ihtiva ettiği baskın kil mineral tipine bağlı olarak değiştiği sonucu çıkarılmaktadır. Killerin esas davranış mekanizmasını anlamak için nicel olarak killerin mikro yapısının değerlendirilmesi uygun olacaktır.

KAYNAKLAR

- ANDERSLAND, O.B., ANDERSON, D.M., 1978, *Geotechnical engineering for cold regions.*, McGraw-Hill Book Co., Inc., Newyork, 75.
- AKSAKAL, E.L., 2009, *Polimer (pva&pam) ve hüimik asit (ha) uygulamalarının DÇ süreçlerine maruz kalan toprakların stabilite ölçütleri üzerine etkileri*, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- BAJRACHARYA M., LAL R., 1992, Seasonal Soil Loss and Erodibility Variation on a Miamian Silt Loam Soil, *Soil Science Society of American Journal*, 56:1560-1565.
- BENSON C. H., OTHMAN, M.A., 1993, Hydraulic Conduntivity of Compacted Clay Frozen and Thawed in Situ, *Journal of Geotechnical Engineering.*, 119, 276-293.
- BENOIT, G.R., BORNSTEIN, J., 1970, Freezing and Thawing Effects on Drainage. *Soil Science Society of America Proceedings*, 34, 551-557.
- BENOIT, G.R., 1973. Effect of freze-thaw cycles on aggregate stability and hydraulic conductivity of three soil aggregate sizes. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.*, 37, 3-5.
- BRONICK, C.J., LAL, R., 2005. Soil structure and management: a review. *Geoderma*, 124(1-2), 3-22.
- BRODERICK, G.P., DANIEL, D.E., 1990, Stabilizing Compacted Clay Against Chemical Attack, *J. Geotech Engrg., ASCE*, 116(10), 1549-1597.
- BOYNTIN, S.S., DANIEL D.E., 1985, Hydraulic Conductivity Tests on Compacted Clay, *J. Geotech. Engrg., ASCE*, 116(10), 1549-1567.
- BULLOCK, M.S., KEMPER, W.D., NELSON, S.D., 1988, Soil cohesion as effected by freezing, water content, time and tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 52, 770-776.
- CASAGRANDE, A, 1931, Discussion of Frost Heaving. Highway, *Research Board Proceedings*, 11, 168-172.
- CHAMBERLAIN, E.J., GOW, A.J., 1979, Effect of Freezing and Thawing on the Permeability and Structure of Soils, *Engrg. Geology*, 13(1), 73-92.
- CHANDLER, R. J., 2000, Clay sediments in depositional basins: the geotechnical cycle, *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*. 33, 7-39.
- CRUSE, R.M., ROBERTO, M., MIZE, C.W., 2001. Surface residue effects on erosion of thawing soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 65, 178-184.
- COLLINS, K., MCGOWN, A., 1974. The form and function of microfabric features in a variety of natural soils, *Geotechnique*, 24 (2), 223-254.
- COTECCHIA, F., CHANDLER, R.J. 1995. Geotechnical properties of the Pleistocene clays of the Pappadai Valley, Taranto, Italy. *Quarterly Journal of Engineering Geology*. 28, 5-22.

- CHAMBERLAIN, E.J., ISKANDAR,I., HUNSICKER,S.E., 1990, On Frozen Soil Impacts on Agric. Range and forest Lands, *Effect of Freze-Thaw Cycles on the Permeability and Macrostructure of Soils. Proc.,Int. Symp*, CRREL Special Report , 90-1,145-155.
- ÇABALAR, A.F., Zeminlerin mikroyapıları üzerine, Gaziantep üniversitesi inşaat mühendisliği bölümü, <http://www.e-kutuphane.imo.org.tr/pdf/1502.pdf> [Ziyaret tarihi: 25 Aralık 2011].
- DEMİRALAY, İ., 1977, Toprak Fiziği Ders Notları, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü, 232.
- DE OLIVEIRA, T.S., DE COSTA, L.M., SCHAEFER, C.E., 2005, Water-dispersible clay after wetting and drying cycles in four Brazilian oxisols, *Soil and Tillage Research*, 83, 260-269.
- DİRKSEN, C., MİLLER, R.D., 1996, Closed-system freezing of unsaturated soil, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50, 1114-1122.
- EDWARDS, L.M., 1991. The effect of alternate freezing and thawing on aggregate stability and aggregate size distribution of some Prince Edward Island soils. *European Journal of Soil Science*, 42 (2), 193-204.
- ERBULAK, A., BAYÇA, S. U., 2001, Zemin araştırmalarında arazi alışmaları, Celal Bayar Üniversitesi, Turgutlu meslek yüksekokulu,Soma meslek yüksekokulu, Manisa.
- ERGENE, A., 1993, Toprak Biliminin Esasları, Atatürk Üniversitesi, *Ziraat Fakültesi Yayınları*, Erzurum, 267, 158-179.
- FROESE, J.C. and CRUSE, R.M.,1997. Erosion impact of the soil thawing process. p. 231–234. In I.K. Iskandar et al. (ed.) Proc. Intl. Symp. on Physics, Chemistry and Ecology of Seasonally Frozen Soil. U.S. Army Cold Region Res. Eng. Lab. Spec. Rep. 97-10. NTIS, Springfield, VA.
- GÜNAY, T., 2008, *Bostanlı yöresindeki oturma sorunlarının nedenleri, bugünkü durumu ve giderilmesi kapsamında bir geoteknik değerlendirme*, Yüksek Lisans Tezi , Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- HENRY, H.A.L., 2007, Soil freze-thaw cycle experiments: Trends, methodological weaknesses and suggested improvements, *Soil Biology and Biochemistry*, 39 (5), 977-986.
- [http://www2.aku.edu.tr/~hitit/DERSLER/GUZ/MALZEME%20\(MADEN%20MUH\)/MALZEME%20MUAYENESI%5B7%5D.pdf](http://www2.aku.edu.tr/~hitit/DERSLER/GUZ/MALZEME%20(MADEN%20MUH)/MALZEME%20MUAYENESI%5B7%5D.pdf) [Ziyaret Tarihi: 7 Kasım 2011].
- KAPLAR, C.W., 1970, Phenomenon and Mechanism of Frost Heaving, *Highway Research Record* , 304.
- KAY, B.D., GRANT, C.D., GROENEVELT, P.H., 1985. Significance of ground freezing on soil bulk density under zero tillage, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 49(4), 973-978.

- KIM, W., DANIEL E.D., 1992, Effects of Freezing on Hydraulic Conductivity of Compacted Clay, *Journal of Geotechnical Engineering*, 7, 1083-1097.
- KVAERNO, S.H., OYGARDEN, L., 2006. The influence of freeze-thaw cycles and soil moisture on aggregate stability of three soils in Norway, *Catena*, 67 (3),175 - 182.
- LAMBE , W.T., 1969, Soil Mechanics, *John Willey and Sons*, New York, 553.
- LEHRSCHE, G.A., SOJKA, R.E., CARTER, D.L., JOLLEY P.M., 1991, Freezing effects on aggregate stability affected by texture, mineralogy, and organic matter. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 55, 1401-1406.
- LIPSON, D.A., SCHMIDT, S.K., 2004, Seasonal changes in an alpine soil bacterial community in the Colorado Rocky Mountains, *Applied Environmental Microbiology*, 70(5), 2867-2879.
- LINELL, K.A., KAPLAR, C., 1959, The Factor of Soil and Material Type in Frost Action, *Highway Research Board Bulletin*, 225, 88-126.
- MBAGWU, J.S.C., BAZZOFFI, P., 1989. Effect of antecedent matric potential on the stability of soil aggregates subjected to cyclic freezing and thawing as evaluated by three structural indices, *Soil Technology*, 2 (1), 59-70.
- MOSTAGHIMI, S., YOUNG, R.A., WILTTS, A.R., KENIME, A.L., 1988. Effects of frost action on soil aggregate stability, *Trans of ASAE*, 31(2), 435-439.
- OZTAS, T., FAYETORBAY, F., 2003, Effect of freezing and thawing processes on soil aggregate stability, *Catena*, 52(1),1-8.
- ÖNALP , A., SERT , S., (2006), *Geoteknik Bilgisi III Bina Temelleri*, Birsen Yayınevi İstanbul, 375s.
- ÖZDEMİR N., AKGÜL M., 1995, Donma ve Çözülmenin Strüktürel Dayanıklılığı ve Erozyona Duyarlılığı Üzerine Etkisi, *Tr J. Of Agriculture and Forestry*, 19(6),429-435.
- ÖZYAPICI MÜH., 2011, Yahyaoğlu İletişim İnş. Mim. Loj. Hiz. A.Ş. Projesi, *Zemin Etüt Raporu*, Düzce, 4-5.
- PIKUL, J.L., ALLMARAS, R.R., 1985, Hydraulic potential in unfrozen soil in response to diurnal freezing on thawing of the soil surface, *Trans. of ASAE*, 28, 164-168.
- RAJARAM, G., ERBACH, D.C., 1998, Drying stress effect on mechanical behavior of a clay-loam soil. *Soil and Till. Res.*, 49(1-2), 147-158.
- SIX, J., BOSSUYT, H., DEGRYZE, S., DENEFF, K., 2004, A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics, *Soil and Tillage Research*, 79(1), 7-31.
- SOĞANCI, A.S., 2004, *Tekrarlı donma ve çözülmenin kireç ile stabilize edilmiş zeminlerin mukavemet ve permeabilitesine etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

- SÖNMEZ, K., 1994, Toprak Koruma. Atatürk Üniversitesi, *Ziraat Fakültesi Yayınları* , 169, 192.
- STARICKA, J.A., BENOIT, G.R., 1995. Freeze-drying effects on wet and dry soil aggregate stability. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 59(1), 218-223.
- ŞAHİN, Ü., CANBOLAT, M.Y., ANAPALI, Ö., 1999. DÇ koşullarının bazı toprak-su parametreleri üzerine etkisi, *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 30(1), 41-47.
- TS EN 1367-1, 2001, *Agregaların termal ve bozunma özellikleri için deneyler-Bölüm 1: Donma ve çözölmeye karşı direncinin tayini*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 4-5.
- TS 1900-1, 2006, İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri - Bölüm 1: Fiziksel özelliklerin tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 5-52.
- TS 1900-2, 2006, İnşaat mühendisliğinde zemin lâboratuvar deneyleri - Bölüm 2: Mekanik özelliklerin tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 15-51.
- TS 1901, 1975, İnşaat Mühendisliğinde Sondaj yolları ile Örselenmiş ve Örselenmemiş Numune Alma Yöntemleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 21-22.
- UTOMO, W.H., DEXTER, A.R., 1982, Changes in soil aggregate water stability induced by wetting and drying cycles in non-saturated soil, *J. Soil Sci.*, 33, 623-637.
- VOORHEES, W.B., 1983, Relative effectiveness of tillage and natural forces in alleviating wheel-induced soil compaction, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 47, 129-133.
- WALLACE, J.F., 1987, Laboratory Testing of Bentonite Amended Soil Mixtures Proposed for a Mine Waste Disposal Facility Liner, *In Geotechnical and Geohydrological Aspects of Waste Management*, Chelsea, 245-258.
- WISCHMEIER, W.H. and SMITH D. D., 1978, Predicting rainfall erosion losses, A guide to conversation planning, Agriculture Handbook No:537, USDA, Science and Education Administration, U.S Gov. Printing Office, Washington, DC.
- WONG, L.C., HAUG, M.D., 1991, Cyclical Closed-System Freze-Thaw Permeability Testing of Soil Liner and Cover Materials, *Canadian Geotechnical Journal*, 28, 784-793.
- YONG, R.N., BOOSINSUK, P., YIN, C.W.P, 1985, Alternation of Soil Behavior After Cyclic Freezing an Thawing Proceedings, *4 th International Symposium on Ground Freezing*, Sapporo, Japan, 187-195.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ERTÜRK, Songül
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve veri : 06.06.1984 Sivas
Medeni hali : Bekar
Telefon :
e-mail : songul_erturk84@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Abant İzzet Baysal Üniversitesi/Yapı Öğretmenliği	2007
Lise	STFA Anadolu Teknik Lisesi	2001

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2010-2011	Mustafa Necati İlköğretim Okulu (MEB) Kocaeli	Teknoloji ve Tasarım Öğretmeni
2008-2010	As Mimarlık İnş. Taah. San. Tic. Ltd. Şti. Kocaeli	Proje Koordinatör Yardımcısı
2007-2008	İstiklal İlköğretim Okulu (MEB) Kocaeli	Teknoloji ve Tasarım Öğretmeni

Yabancı Dil

İngilizce

Yayımlar

Özgan, E., Serin, S., **Ertürk, S.**, Hastürk, C., Metin, E., 2010, *Karayolu Esnek Üst Yapısının Projelendirilmesi D100-11 Karayolu Örneği*, Ulusal Meslek Yüksekokulları Öğrenci Sempozyumu, Düzce, Türkiye.

Hobiler

Bilim, Felsefe, Kişisel Gelişim, Seyahat, Basketbol, Tenis, Tiyatro, Sinema, Yüzme, Halk Oyunları.