



**GERİLME VE ISLANMA KOŞULLARININ  
ÇEŞİTLİ ZEMİNLERİN HAFIZASINDA  
SAKLANABİLİRLİĞİ**

**Eylem Özge ATAYŞEN**

**2020  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı  
Doç. Dr. İnan KESKİN**

**GERİLME VE ISLANMA KOŞULLARININ ÇEŞİTLİ ZEMİNLERİN  
HAFIZASINDA SAKLANABİLİRLİĞİ**

**Eylem Özge ATAYŞEN**

**T.C.  
Karabük Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında  
Yüksek Lisans Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı  
Doç. Dr. İnan KESKİN**

**KARABÜK  
Haziran 2020**

Eylem Özge ATAYŞEN tarafından hazırlanan “GERİLME VE ISLANMA KOŞULLARININ ÇEŞİTLİ ZEMİNLERİN HAFIZASINDA SAKLANABİLİRLİĞİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. İnan KESKİN

.....

Tez Danışmanı, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 22/06/2020

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Dr. Öğr. Üyesi Ermedin TOTİÇ (BÜ)

.....

Üye : Doç. Dr. İnan KESKİN (KBÜ)

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Halil İbrahim YUMRUTAŞ (KBÜ)

.....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

*“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”*

Eylem Özge ATAYŞEN

## **ÖZET**

**Yüksek Lisans Tezi**

### **GERİLME VE ISLANMA KOŞULLARININ ÇEŞİTLİ ZEMİNLERİN HAFIZASINDA SAKLANABİLİRLİĞİ**

**Eylem Özge ATAYŞEN**

**Karabük Üniversitesi**

**Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**TezDanışmanı:**

**Doç. Dr. İnan KESKİN**

**Haziran 2020, 73 sayfa**

Bu çalışmanın amacı zeminlerin maruz kaldığı gerilme ve ıslanma koşullarının zemin mühendislik özelliklerine etkisinin araştırılarak bu özelliklerin zemin hafızasına etkisini irdelemektir. Bu kapsamda laboratuvarında zeminlerin tüm özelliklerinin aynı koşullarda olmasını sağlamak amacıyla numuneler hazırlanmıştır. Deneylede kullanılan zemin numuneleri kil ve kum zeminlerin etkilerinin de kıyaslaması amacıyla %70 kil-%30 kum ve %70 kum-%30 kil oranlarında olacak şekilde hazırlanmıştır. Çalışmaya başlamadan önce deneye tabi tutulacak zeminlerin optimum su içeriği belirlenmiş ve deneylede kullanılacak numuneler optimum su içeriği baz alınarak hazırlanmıştır. Bu doğrultuda %70 kil-%30 kum içeriğindeki zeminler %18, %28 ve %38 su içeriğinde, %70 kum-%30 kil içeriğindeki zeminler ise %10, %20 ve %30 su içeriğinde hazırlanmıştır. Gerilme koşullarının etkisinin belirlenmesi amacıyla belirtilen numuneler 8, 16 ve 24 kg yükler ile 15, 25 ve 35 gün süreyle bekletilmiştir. Belirlenen deney programları dahilinde toplamda oluşturulan

54 numuneye kesme kutusu ve serbest basınç deneyi yapılarak gerilme ve ıslanma koşullarının yükleme süresiyle birlikte zemin hafızasında saklanabilirliği araştırılmıştır.

**Anahtar Sözcükler :** Bentonit, kum, gerilme, su içeriği, zemin hafızası.

**Bilim Kodu** : 91105

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **KEEPING ABILITY OF STRAIN AND WETTING CONDITIONS IN THE MEMORY OF VARIOUS SOILS**

**Eylem Özge ATAYŞEN**

**Karabük University  
Institute of Graduate Programs  
Department of Civil Engineering**

**Thesis Advisor:**

**Assoc. Prof. Dr. İnan KESKİN**

**June 2020, 73 pages**

In the scope of this thesis, the effects of the strain and wetting conditions exposed to the strength and the effects of these factors were discussed to the soil memory. For this purpose, samples were prepared in the laboratory to ensure that all the properties of the soils are in the same conditions. The soils samples used in the experiments were prepared to be 70% clay-30% sand and 70% sand-30% clay in order to compare the amount of clay and sand soils. Before starting the study, the optimum water content of the soils to be tested was determined and the samples to be used in the experiments were prepared based on the optimum water content. Accordingly, soils with 70% clay-30% sand content were prepared in 18%, 28% and 38% water content and soils with 70% sand-30% clay content were prepared in 10%, 20% and 30% water content. The specified samples were kept for 15, 25 and 35 days with 8, 16 and 24 kg in order to determine the effect of the strain conditions. Within the determined experimental programs, a total of 54 samples formed in the direct shear test and

unconfined compressive test were carried out and the strain and wetting conditions were stored in the soil memory together with the loading time.

**Key Word** : Bentonite, sand, strain, water content, soil memory.

**Science Code** : 91105



## TEŞEKKÜR

Bu tez, Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'nce **FYL-2019-2118** Proje numarasıyla desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Doç. Dr. İnan KESKİN'e sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Bana sonsuz desteğini ve yardımını hiç bir zaman esirgemedi yanımda olan annem Ünzile ATAYŞEN'e, babam Ahmet ATAYŞEN'e ve kardeşim Eftelya ATAYŞEN'e tüm kalbimle teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xvii
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
1.1. AMAÇ VE KAPSAM .....	1
1.2. LİTERATÜR ÖZETLERİ.....	2
BÖLÜM 2 .....	10
MATERYAL VE YÖNTEM.....	10
2.1. DENEYLERDE KULLANILAN MALZEMELER VE ÖZELLİKLERİ .....	10
2.1.1. Kil Zemin Özellikleri.....	10
2.1.2. Kum Zemin Özellikleri.....	12
2.2. DENEY MODELLERİNİN OLUŞTURULMASI .....	12
2.3. ÇALIŞMA KAPSAMINDA GERÇEKLEŞTİRİLEN DENEYLER.....	18
2.3.1. Kıvam Limiti Deneyleri.....	18
2.3.1.1. Likit Limit Deneyi .....	18
2.3.1.2. Plastik Limit Deneyi .....	20
2.3.2. Kompaksiyon (Standart Proctor) Deneyi.....	20
2.3.3. Serbest Basınç Deneyi .....	23
2.3.4. Kesme Kutusu Deneyi .....	25

	<b><u>Sayfa</u></b>
BÖLÜM 3 .....	27
BULGULAR.....	27
3.1. ISLANMA KOŞULLARININ ETKİSİ .....	27
3.1.1. Serbest Basınç Deneyi .....	28
3.1.2. Kesme Kutusu Deneyi .....	34
3.1.2.1. İçsel Sürtünme Açısı Değerleri.....	34
3.1.2.2. Kohezyon Değerleri .....	40
3.2. GERİLME KOŞULLARININ ETKİSİ.....	46
3.2.1. Serbest Basınç Deneyi .....	46
3.2.2. Kesme Kutusu Deneyi .....	52
3.2.2.1. İçsel Sürtünme Açısı Değerleri.....	52
3.2.2.2. Kohezyon Değerleri .....	58
BÖLÜM 4 .....	65
SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	65
KAYNAKLAR .....	70
ÖZGEÇMİŞ .....	73

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 2.1.	Numune kaplarının hazırlanması. ....	13
Şekil 2.2.	Numunelerin sıkıştırılması. ....	13
Şekil 2.3.	Hazırlanan karışım. ....	14
Şekil 2.4.	Kür süresindeki numuneler. ....	15
Şekil 2.5.	Numunelerin kalıptan çıkarılması. ....	15
Şekil 2.6.	%70 kil-%30 kum karışımının likit limit değeri. ....	19
Şekil 2.7.	%70 kum-%30 kil karışımının likit limit değeri. ....	19
Şekil 2.8.	%70 kum- %30 kil karışımının optimum su içeriği. ....	22
Şekil 2.9.	%70 kil- %30 kum karışımının optimum su içeriği. ....	22
Şekil 2.10.	Serbest basınç deney aleti. ....	25
Şekil 2.11.	Kesme kutusu deney aleti.....	26
Şekil 3.1.	Su içeriğine bağlı olarak (qu)'daki değişim (8 kg yük altında 15, 25 ve 35 gün bekleyen %70 kum %30 kil numuneler). ....	28
Şekil 3.2.	Su içeriğine bağlı olarak (qu)'daki değişim (16 kg yük altında 15, 25 ve 35 gün bekleyen %70 kum %30 kil numuneler). ....	29
Şekil 3.3.	Su içeriğine bağlı olarak (qu)'daki değişim (24 kg yük altında 15, 25 ve 35 gün bekleyen %70 kum %30 kil numuneler). ....	29
Şekil 3.4.	Su içeriğine bağlı olarak (qu)'daki değişim (8 kg yük altında 15, 25 ve 35 gün bekleyen %70 kil %30 kum numuneler). ....	30
Şekil 3.5.	Su içeriğine bağlı olarak (qu)'daki değişim (16 kg yük altında 15, 25 ve 35 gün bekleyen %70 kil %30 kum numuneler). ....	30
Şekil 3.6.	Su içeriğine bağlı olarak (qu)'daki değişim (24 kg yük altında 15, 25 ve 35 gün bekleyen %70 kil %30 kum numuneler). ....	31
Şekil 3.7.	Zamana bağlı olarak (qu)'daki değişim (8 kg yük altında 10,20 ve 30 su içeriğinde bekleyen %70 kum %30 kil numuneler). ....	31
Şekil 3.8.	Zamana bağlı olarak (qu)'daki değişim (16 kg yük altında 10,20 ve 30 su içeriğinde bekleyen %70 kum %30 kil numuneler). ....	32
Şekil 3.9.	Zamana bağlı olarak (qu)'daki değişim (24 kg yük altında 10,20 ve 30 su içeriğinde bekleyen %70 kum %30 kil numuneler). ....	32
Şekil 3.10.	Zamana bağlı olarak (qu)'daki değişim (8 kg yük altında 18, 28 ve 38 su içeriğinde bekleyen %70 kil %30 kum numuneler). ....	33
Şekil 3.11.	Zamana bağlı olarak (qu)'daki değişim (16 kg yük altında 18, 28 ve 38 su içeriğinde bekleyen %70 kil %30 kum numuneler). ....	33

Şekil 3.12. Zamana bağlı olarak (qu)'daki değişim (24 kg yük altında 18, 28 ve 38 su içeriğinde bekleyen %70 kil %30 kum numuneler). .....	34
Şekil 3.13. Su içeriğine bağlı olarak içsel sürtünme açısındaki değişim (8 kg yük altında 15, 25 ve 35 gün bekleyen %70 kum %30 kil numuneler). .....	35
Şekil 3.14. Su içeriğine bağlı olarak içsel sürtünme açısındaki değişim (16 kg yük altında 15, 25 ve 35 gün bekleyen %70 kum %30 kil numuneler). .....	35
Şekil 3.15. Su içeriğine bağlı olarak içsel sürtünme açısındaki değişim (24 kg yük altında 15, 25 ve 35 gün bekleyen %70 kum %30 kil numuneler). .....	36
Şekil 3.16. Su içeriğine bağlı olarak içsel sürtünme açısındaki değişim (8 kg yük altında 15, 25 ve 35 gün bekleyen %70 kil %30 kum numuneler). .....	36
Şekil 3.17. Su içeriğine bağlı olarak içsel sürtünme açısındaki değişim (16 kg yük altında 15, 25 ve 35 gün bekleyen %70 kil %30 kum numuneler). .....	37
Şekil 3.18. Su içeriğine bağlı olarak içsel sürtünme açısındaki değişim (24 kg yük altında 15, 25 ve 35 gün bekleyen %70 kil %30 kum numuneler). .....	37
Şekil 3.19. Zamana bağlı olarak içsel sürtünme açısındaki değişim (8 kg yük altında 10, 20 ve 30 su içeriklerinde bekleyen %70 kum %30 kil numuneler). .	38
Şekil 3.20. Zamana bağlı olarak içsel sürtünme açısındaki değişim (16 kg yük altında 10, 20 ve 30 su içeriklerinde bekleyen %70 kum %30 kil numuneler). .	38
Şekil 3.21. Zamana bağlı olarak içsel sürtünme açısındaki değişim (24 kg yük altında 10, 20 ve 30 su içeriklerinde bekleyen %70 kum %30 kil numuneler). .	39
Şekil 3.22. Zamana bağlı olarak içsel sürtünme açısındaki değişim (8 kg yük altında 18, 28 ve 38 su içeriklerinde bekleyen %70 kil %30 kum numuneler). .	39
Şekil 3.23. Zamana bağlı olarak içsel sürtünme açısındaki değişim (16 kg yük altında 18, 28 ve 38 su içeriklerinde bekleyen %70 kil %30 kum numuneler). .	40
Şekil 3.24. Zamana bağlı olarak içsel sürtünme açısındaki değişim (24 kg yük altında 18, 28 ve 38 su içeriklerinde bekleyen %70 kil %30 kum numuneler). .	40
Şekil 3.25. Su içeriğine bağlı olarak kohezyondaki değişim (8 kg yük altında 15, 25 ve 35 gün bekleyen %70 kum %30 kil numuneler). .....	41
Şekil 3.26. Su içeriğine bağlı olarak kohezyondaki değişim (16 kg yük altında 15, 25 ve 35 gün bekleyen %70 kum %30 kil numuneler). .....	41
Şekil 3.27. Su içeriğine bağlı olarak kohezyondaki değişim (24 kg yük altında 15, 25 ve 35 gün bekleyen %70 kum %30 kil numuneler). .....	42
Şekil 3.28. Su içeriğine bağlı olarak kohezyondaki değişim (8 kg yük altında 15, 25 ve 35 gün bekleyen %70 kil %30 kum numuneler). .....	42
Şekil 3.29. Su içeriğine bağlı olarak kohezyondaki değişim (16 kg yük altında 15, 25 ve 35 gün bekleyen %70 kil %30 kum numuneler). .....	43
Şekil 3.30. Su içeriğine bağlı olarak kohezyondaki değişim (24 kg yük altında 15, 25 ve 35 gün bekleyen %70 kil %30 kum numuneler). .....	43
Şekil 3.31. Zamana bağlı olarak kohezyondaki değişim (8 kg yük altında 10, 20 ve 30 su içeriklerinde bekleyen %70 kum %30 kil numuneler). .....	44

Şekil 3.32. Zamana bağlı olarak kohezyondaki değişim (16 kg yük altında 10, 20 ve 30 su içeriklerinde bekleyen %70 kum %30 kil numuneler). .....	44
Şekil 3.33. Zamana bağlı olarak kohezyondaki değişim (24 kg yük altında 10, 20 ve 30 su içeriklerinde bekleyen %70 kum %30 kil numuneler). .....	45
Şekil 3.34. Zamana bağlı olarak kohezyondaki değişim (8 kg yük altında 18, 28 ve 38 su içeriklerinde bekleyen %70 kil %30 kum numuneler). .....	45
Şekil 3.35. Zamana bağlı olarak kohezyondaki değişim (16 kg yük altında 18, 28 ve 38 su içeriklerinde bekleyen %70 kil %30 kum numuneler). .....	46
Şekil 3.36. Zamana bağlı olarak kohezyondaki değişim (24 kg yük altında 18, 28 ve 38 su içeriklerinde bekleyen %70 kil %30 kum numuneler). .....	46
Şekil 3.37. Gerilmeye bağlı olarak (qu)'daki değişim (%10 su içeriğinde 15, 25 ve 35 gün bekleyen %70 kum %30 kil numuneler). .....	47
Şekil 3.38. Gerilmeye bağlı olarak (qu)'daki değişim (%20 su içeriğinde 15, 25 ve 35 gün bekleyen %70 kum %30 kil numuneler). .....	47
Şekil 3.39. Gerilmeye bağlı olarak (qu)'daki değişim (%30 su içeriğinde 15, 25 ve 35 gün bekleyen %70 kum %30 kil numuneler). .....	48
Şekil 3.40. Gerilmeye bağlı olarak (qu)'daki değişim (%18 su içeriğinde 15, 25 ve 35 gün bekleyen %70 kil %30 kum numuneler). .....	48
Şekil 3.41. Gerilmeye bağlı olarak (qu)'daki değişim (%28 su içeriğinde 15, 25 ve 35 gün bekleyen %70 kil %30 kum numuneler). .....	49
Şekil 3.42. Gerilmeye bağlı olarak (qu)'daki değişim (%38 su içeriğinde 15, 25 ve 35 gün bekleyen %70 kil %30 kum numuneler). .....	49
Şekil 3.43. Zamana bağlı olarak (qu)'daki değişim (%10 su içeriğinde 8, 16 ve 24 kg yük altında bekleyen %70 kum %30 kil numuneler). .....	50
Şekil 3.44. Zamana bağlı olarak (qu)'daki değişim (%20 su içeriğinde 8, 16 ve 24 kg yük altında bekleyen %70 kum %30 kil numuneler). .....	50
Şekil 3.45. Zamana bağlı olarak (qu)'daki değişim (%30 su içeriğinde 8, 16 ve 24 kg yük altında bekleyen %70 kum %30 kil numuneler). .....	51
Şekil 3.46. Zamana bağlı olarak (qu)'daki değişim (%18 su içeriğinde 8, 16 ve 24 kg yük altında bekleyen %70 kil %30 kum numuneler). .....	51
Şekil 3.47. Zamana bağlı olarak (qu)'daki değişim (%28 su içeriğinde 8, 16 ve 24 kg yük altında bekleyen %70 kil %30 kum numuneler). .....	52
Şekil 3.48. Zamana bağlı olarak (qu)'daki değişim (%38 su içeriğinde 8, 16 ve 24 kg yük altında bekleyen %70 kil %30 kum numuneler). .....	52
Şekil 3.49. Gerilmeye bağlı olarak içsel sürtünme açısındaki değişim (%10 su içeriğinde 15, 25 ve 35 gün bekleyen %70 kum %30 kil numuneler). ...	53
Şekil 3.50. Gerilmeye bağlı olarak içsel sürtünme açısındaki değişim (%20 su içeriğinde 15, 25 ve 35 gün bekleyen %70 kum %30 kil numuneler). ...	53
Şekil 3.51. Gerilmeye bağlı olarak içsel sürtünme açısındaki değişim (%30 su içeriğinde 15, 25 ve 35 gün bekleyen %70 kum %30 kil numuneler). ...	54

Şekil 3.52. Gerilmeye bağlı olarak içsel sürtünme açısındaki değişim (%18 su içeriğinde 15, 25 ve 35 gün bekleyen %70 kil %30 kum numuneler). ...	54
Şekil 3.53. Gerilmeye bağlı olarak içsel sürtünme açısındaki değişim (%28 su içeriğinde 15, 25 ve 35 gün bekleyen %70 kil %30 kum numuneler). ...	55
Şekil 3.54. Gerilmeye bağlı olarak içsel sürtünme açısındaki değişim (%38 su içeriğinde 15, 25 ve 35 gün bekleyen %70 kil %30 kum numuneler). ...	55
Şekil 3.55. Zamana bağlı olarak içsel sürtünme açısındaki değişim (%10 su içeriğinde 8, 16 ve 24 kg yük altında bekleyen %70 kum %30 kil numuneler). .....	56
Şekil 3.56. Zamana bağlı olarak içsel sürtünme açısındaki değişim (%20 su içeriğinde 8, 16 ve 24 kg yük altında bekleyen %70 kum %30 kil numuneler). .....	56
Şekil 3.57. Zamana bağlı olarak içsel sürtünme açısındaki değişim (%30 su içeriğinde 8, 16 ve 24 kg yük altında bekleyen %70 kum %30 kil numuneler). .....	57
Şekil 3.58. Zamana bağlı olarak içsel sürtünme açısındaki değişim (%18 su içeriğinde 8, 16 ve 24 kg yük altında bekleyen %70 kil %30 kum numuneler). .....	57
Şekil 3.59. Zamana bağlı olarak içsel sürtünme açısındaki değişim (%28 su içeriğinde 8, 16 ve 24 kg yük altında bekleyen %70 kil %30 kum numuneler). .....	58
Şekil 3.60. Zamana bağlı olarak içsel sürtünme açısındaki değişim (%38 su içeriğinde 8, 16 ve 24 kg yük altında bekleyen %70 kil %30 kum numuneler). .....	58
Şekil 3.61. Gerilmeye bağlı olarak kohezyondaki değişim (%10 su içeriğinde 15, 25 ve 35 gün bekleyen %70 kum %30 kil numuneler). .....	59
Şekil 3.62. Gerilmeye bağlı olarak kohezyondaki değişim (%20 su içeriğinde 15, 25 ve 35 gün bekleyen %70 kum %30 kil numuneler). .....	59
Şekil 3.63. Gerilmeye bağlı olarak kohezyondaki değişim (%30 su içeriğinde 15, 25 ve 35 gün bekleyen %70 kum %30 kil numuneler). .....	60
Şekil 3.64. Gerilmeye bağlı olarak kohezyondaki değişim (%18 su içeriğinde 15, 25 ve 35 gün bekleyen %70 kil %30 kum numuneler). .....	60
Şekil 3.65. Gerilmeye bağlı olarak kohezyondaki değişim (%28 su içeriğinde 15, 25 ve 35 gün bekleyen %70 kil %30 kum numuneler). .....	61
Şekil 3.66. Gerilmeye bağlı olarak kohezyondaki değişim (%38 su içeriğinde 15, 25 ve 35 gün bekleyen %70 kil %30 kum numuneler). .....	61
Şekil 3.67. Zamana bağlı olarak kohezyondaki değişim (%10 su içeriğinde 8, 16 ve 24 kg yük altında bekleyen %70 kum %30 kil numuneler). .....	62
Şekil 3.68. Zamana bağlı olarak kohezyondaki değişim (%20 su içeriğinde 8, 16 ve 24 kg yük altında bekleyen %70 kum %30 kil numuneler). .....	62

**Sayfa**

- Şekil 3.69. Zamana bağlı olarak kohezyondaki değişim (%30 su içeriğinde 8, 16 ve 24 kg yük altında bekleyen %70 kum %30 kil numuneler). ..... 63
- Şekil 3.70. Zamana bağlı olarak kohezyondaki değişim (%18 su içeriğinde 8, 16 ve 24 kg yük altında bekleyen %70 kil %30 kum numuneler). ..... 63
- Şekil 3.71. Zamana bağlı olarak kohezyondaki değişim (%28 su içeriğinde 8, 16 ve 24 kg yük altında bekleyen %70 kil %30 kum numuneler). ..... 64
- Şekil 3.72. Zamana bağlı olarak kohezyondaki değişim (%38 su içeriğinde 8, 16 ve 24 kg yük altında bekleyen %70 kil %30 kum numuneler). ..... 64



## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Çizelge 2.1. Bentonit kiline ait özellikler.....	11
Çizelge 2.2. %70 kil- %30 kum numunelerine ait deney programı.....	16
Çizelge 2.3. %70 kum- %30 kil numunelerine ait deney programı.....	17
Çizelge 2.4. Kıvam limit değerleri.....	20
Çizelge 2.5. Kompaksiyon deney özellikleri.....	21
Çizelge 2.6. Kompaksiyon deney sonuçları.....	23
Çizelge 4.1. Islanma koşullarına ait grafik özetleri.....	67
Çizelge 4.2. Gerilme koşullarına ait grafik özetleri.....	68

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

kg	: kilogram
%	: yüzde
SW	: iyi derecelenmiş kum
SP	: kötü derecelenmiş kum
c	: kohezyon
Ø	: içsel sürtünme açısı
γ <sub>k</sub>	: kuru birim hacim ağırlık
°C	: santigrat derece
t	: ton
m <sup>3</sup>	: metreküp
cm	: santimetre
sn	: saniye
cm <sup>2</sup>	: santimetrekare
cm <sup>3</sup>	: santimetreküp
SiO <sub>2</sub>	: silisyum dioksit
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	: alüminyum oksit
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	: ferrik oksit
CaO	: kalsiyum oksit
MgO	: magnezyum oksit
Na <sub>2</sub> O	: sodiyum oksit
N	: vuruş sayısı
mm	: milimetre
LL	: likit limit
LP	: plastik limit
cm <sup>3</sup>	: santimetreküp
gr	: gram

kN	: kilonewton
dk	: dakika
$\Delta H$	: eksenel boy değişimi
$H_0$	: numunenin ilk boyu
$\epsilon$	: dūřey yōndeki eksenel birim Őekil deęiřtirme
P	: numunenin gōçmeden taşıyabildiği maksimum eksenel kuvvet
A	: kesit alanı
$A_0$	: numunenin deney başındaki kesit alanı
qu	: serbest basınc dayanımı
kPa	: kilopaskal

### **KISALTMALAR**

TS	: Tūrk Standartı
SWCC	: Soil-Water Characteristic Curve (Zemin-Su Karakteristik Eğrisi)

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

#### 1.1. AMAÇ VE KAPSAM

İnşaat mühendisliğinin alt dalı olan geoteknik anabilim dalı, incelediği konular ve çeşitli problemler için sunduğu çözüm önerileri ile mühendislik yapılarının güvenli şekilde inşaatı ve kullanılabilirliği açısından oldukça önemli bir yer kapsamaktadır. Özellikle son yıllarda bu bilim dalı özelinde üretilen çalışmalar ve çeşitli mühendislik problemlerine karşı çözüm önerileri önem kazanmaya başlamıştır. Geoteknik mühendisliği kapsamında yapılan çalışmaların belirli bir kısmı, üzerine herhangi bir mühendislik projesi inşa edilecek zeminlerin, farklı çevre koşulları ve yüklemelerden nasıl etkileceğini de kapsayacak çalışmalar üretmektedir. Zemin üzerindeki yüklemelerden kaynaklı olarak birçok problem meydana gelmekte ve yapılar tehlikeye girmektedir. Zeminler jeolojik oluşumlardır ve çok karmaşık bir yapıya sahiplerdir. Bu sebepten dolayı en zor mühendislik malzemeleri arasında yer almaktadır. Ayrıca zeminler üzerine yapılan yüklemeler farklı zeminlerde değişik boyutlarda olmak üzere zeminin mühendislik özelliklerini de etkilemektedir. Gerilmelere bağlı olarak zeminlerin mühendislik özelliklerindeki değişikliklerin kestirilmesi bu anlamda oldukça önemli olmaktadır.

Bahsedildiği gibi zeminler bir çok yüklere maruz kalabilmektedir. Bu yüklemeler statik veya dinamik yükler olabilir. Statik yükler üst yapıdan gelen yükler, zemin kendi ağırlıkları olabilir. Dinamik yükler ise titreşim patlama ve en önemlisi deprem yükleridir. Bu yüklerin zemine olan etkisi arazi yada laboratuvar ortamında yapılan deneylerle incelenmektedir.

Bu çalışmanın amacı, farklı su içeriklerine sahip kum ve kil oranı farklı ağırlıkta olan iki tür numunenin statik yüklemelere maruz bırakılarak mühendislik özelliklerindeki

değişimin nasıl olacağını belirlemesidir. Ayrıca bu çalışma ile zeminlerin çevresel ve fiziksel koşullarındaki değişikliği hafızasında nasıl sakladığı ile ilgili tartışma da yürütülmüş olacaktır. Bu hedef doğrultusunda laboratuvar ortamında hazırlanan numunelere kesme kutusu ve serbest basınç deneyleri yapılarak değerlendirmeler yapılmıştır.

Bu kapsamda laboratuvar ortamında %70 kil-%30 kum ve %70 kum-%30 kil oranında karışımlar hazırlanmıştır. Hazırlanan karışımların optimum su içeriğini belirlemek için ilk olarak kıvam limitleri belirlenmiş olup sonrasında da bu verilerle kompaksiyon deneyi yapılmıştır. Numunelerin optimum su içeriği bulunduğundan sonra optimum su içeriğinin altında ve optimum su içeriği üstünde değerler belirlenmiştir. 3 farklı su içeriğinde hazırlanan karışımlar kaplara kompaksiyon deneyinde olduğu gibi 3 kademede sıkıştırılmıştır. Daha sonra her birinin üstüne 8 kg, 16 kg ve 24 kg ağırlıklar konularak numuneler sırayla 15 gün, 25 gün ve 35 gün bekletilmiştir. Zeminlerde suyun varlığının ve maruz kaldıkları gerilmelerin mühendislik davranışlarına etkisinin nasıl olduğunu belirlemek için farklı su içeriklerinde ve farklı yüklemelerde numuneler hazırlanmıştır. Ayrıca zaman faktöründe bizim belirlediğimiz şartlardaki zemine etkisi de araştırılmıştır. Zamanı gelen numunelerden örnekler alarak ilk önce serbest basınç deneyi yapılarak mukavemetteki değişimler, sonrada kesme kutusu deneyi yapılarak kohezyon ve içsel sürtünme açılarındaki değişimler gözlemlenmiştir.

Son olarak, deneysel çalışmalar sonucu elde edilen bulgularla grafikler çizilip yorumlanmış, gerilme ve su içeriği değişkenlerinin zemin dayanımına olan etkisinin zemin hafızasında saklanabilirliği ele alınmıştır.

## **1.2. LİTERATÜR ÖZETLERİ**

Bir zemin dokusu ile mühendislik özellikleri arasında sıkı bir ilişki olduğu bilinen bir gerçektir. Bununla birlikte zeminlerin tane dağılımları mühendislik özelliklerini etkileyen önemli faktörlerden bir tanesidir. Ayrıca, zeminlerdeki kil yüzdesinin artmasına bağlı olarak uzun süreli oturmaların, kum yüzdesinin artmasına bağlı olarak ani oturmaların mühendislik yapılarının güvenliğini etkilemesi, siltli ve

kumlu zeminlerin deprem faktörüyle dayanımlarını kaybederek taşıma gücü değerlerindeki azalmalarda olduğu gibi zeminlerin tane dağılımları da mühendislik özellikleri bakımından önemlidir. Bir zemini meydana getiren bileşenlerin dokusal ve kimyasal özelliklerinin anlaşılabilmesi için, zeminlerin nasıl oluştuğu, geçmişte ne gibi gerilmelere maruz kaldığı ve bu gerilmelerin zeminler üzerindeki etkilerini bilmeye bağlıdır. O nedenle ki zeminlerin geçmişte nasıl bir yüke maruz kaldıkları ve bu süreçlerin zeminleri nasıl etkilediklerinin ortaya konulması oldukça önemlidir. Bu anlamda bu tez çalışması ile söz konusu parametrenin zemin dayanıma olan etkisinin detaylıca irdelenmesi ve araştırma bulgularının tartışılması oldukça önemli olacaktır.

Casagrande (1932)'de yaptığı çalışmalarda zeminlerin hafızaya sahip olduğunu ve oluşmaya başlamasından beri geçirdiği zamanda maksimum efektif gerilmelere maruz kalarak bunu dokularında tuttuğunu söylemiştir. Bu çalışmada ise farklı yüklemelere maruz bırakılan zeminlerin dayanımlarındaki değişiklikler irdelenerek konuyla ilgili tartışma devam ettirilmiş buna ek olarak zemin dayanımında gerilme koşullarına ek olarak su içeriğinin etkisinde araştırılmıştır.

Lambe (1958a), kompaksiyon deneyinde sıkıştırma sırasında ortaya çıkan enerji zeminde su içeriği arttıkça tane yönelmesinde artışa sebep olduğunu ortaya çıkarmıştır. Lambe (1958b), eşit birim hacim ağırlık değerine sahip optimumdan kuru bölgede sıkıştırılan kilin sıkıştırılabilirliğinin optimumdan ıslak bölgede sıkıştırılan kilden daha az sıkıştırılabilir olduğu gözlemlemiştir.

Seed ve Chan 1959'da yaptıkları çalışmada su içeriğinin kilin yapısını, gerilme-şekil değiştirme grafiklerini etkilediği gözlemlemiştir.

Johnson ve Sallberg (1960) yaptığı çalışma kapsamında 8 farklı türdeki zemini aynı kompaksiyon yöntemi ile sıkıştırmış ve kompaksiyon eğrilerini çizmişlerdir. Bu eğrilerden SW türündeki zeminlerin kuru birim hacim ağırlıklarının SP türündeki zeminlere kıyasla kuru birim hacim ağırlıklarının daha yüksek olduğu ortaya çıkmıştır. Kil zeminlerin kuru birim hacim ağırlığının ise plastisiteye bağlı olarak artma eğiliminde olduğu tespit edilmiştir.

Su içeriğinin şeyller ve kuvars kumtaşlarının tek eksenli basınç dayanımlarına etkisini araştıran Colback ve Wild (1965), kuru ve suya doymuş koşullarda kuvarsitik şeyl numunelerinde gerçekleştirilen üç eksenli sıkışma deneylerinde elde edilen kohezyon (c) değerlerinde belirgin bir fark olduğu tespit etmişlerdir. Ayrıca suya doymuş şeylin tek eksenli sıkışma dayanımının, fırında kurutulmuş örneklerle göre dayanımının yalnızca %50'si kadar olduğu belirtmişlerdir.

Ingles ve Lafeber (1967) zeminin içindeki gözeneklerin konumlarının ve dağılımlarının değişiminin daha önce maruz kaldıkları bir gerilmeye bağlı olduğunu söylemiştir.

Matyas ve Radhakrishna (1968) yaptıkları çalışmalarda taneli doymuş zeminlerin hacim değişimlerinin karakteristiğinin, zeminlerin fiziksel durumuna bağlı olduğunu ve bununda zeminlerin sıkışabilirliğini etkilediğini öne sürmüşlerdir. Yapılan çalışmalarda efektif gerilme değerleri aynı, gerilme geçmişleri ve doymuşluk dereceleri farklı aynı iki elemanın hacim değişimlerinde gözle görülür büyük farklar meydana gelmiştir. Zemin davranışı sadece efektif gerilme olarak değil, gerilme ve emme gerilmesi cinsinden de iki farklı gerilme unsuru şeklinde yorumlanmalıdır.

Islanma-kuruma süreçleri sonunda kil içeren kayaların dayanımlarında ve deformabilite özelliklerinde azalmalar meydana gelmektedir. Bu ıslanma-kuruma süreci kayalarda 'suda dağılma' olarak adlandırılır. Bu özellik genelde çok çabuk parçalanmış ve ince dilimlere ayrılan kil içeren kayalarda daha fazla görülmektedir. Bu konuda yapılan ilk araştırmalardan biri Hermann vd. (1973; Van Eeckhout ve 1975; Peng)'ne aittir.

Zeminin gerilmeye uğraması; üzerine bir bina inşaa edilmesi veya kıvrımlanma, faylanma ve sünme gibi jeolojik olaylar sonucunda herhangi bir yönde olabilir (Voight, 1966; Hobbs vd., 1976; Feda, 1978). Bu çalışmayla söz konusu etkilere benzer etkiler laboratuvar koşullarında oluşturularak zeminlerin tarihsel dönemde maruz kaldığı basınç koşulları ile ıslanma kuruma döngüsünün zeminlerin dayanımları üzerindeki etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır.

Hemen hemen her jeolojik birim bünyesinde iki çeşitli bilgiyi muhafaza eder. Birincisi oluştuğu ortamla ilgili bilgiler, ikincisi ise oluştuğu andan itibaren geçirdiği deformasyonlarla ilgili bilgilerdir (Nagaraj, 1993). Voight (1974), jeolojik birimlerin deformasyonlar sırasında tektonik gerilmeleri bünyelerine hapis veya kaydedeceğini belirtmektedir.

Karig ve Hou (1922), yaptıkları çalışmada jeolojik zamanın zemin mekaniğinde toprak basıncı katsayısı üzerindeki etkisini konu edinmiş ve killi zeminlerde en az  $10^6$  yıl ve daha fazla zamanda korunduğunu söylemişlerdir.

Çetin (1997), Meers fayı üzerinde yaptığı çalışmalarda Paleosismolojik kazıda asal gerilme değerlerinin buradaki zeminlerin hafızasına kaydedildiğini ve yönlerini bulduğunu belirtmiştir. Çetin, gerilme sebebiyle oluşan kırılma zarfı ile fay kribi sonucu oluşacak kırılma zarfını karşılaştırarak fayın sismik mi asismik mi hareket etmiş olacağını incelemiştir.

Zemin arazide daha önce etkisi altında kaldığı gerilmelerden daha fazla gerilmeye maruz kalırsa, zemin dokusu bu yeni gerilmenin etkisiyle bozulabilir, tanecikler ve gözenekler sıkışarak değişebilir ve daha sağlam bir hale gelebilir (Holtz ve Kovacs, 1981).

Zemin davranışları yakın mesafelerde bile farklılık gösterebilir. Zeminlerin genellikle gerilme-şekil değiştirme eğrileri doğrusal değildir. Yani zeminler lineer davranış göstermemektedir. Bu durumu daha çok karmaşık hale getiren ise zeminlerin bir hafızaya sahip olmaları ve geçmişteki tüm olayları hatırlamalarıdır. Başka bir yönü ise mühendislik özelliklerinin tüm yönüyle aynı olmayışı yani anizotrop olmasıdır (Holtz ve Kovacs 1981).

Zeminlerde gerilme, deformasyon ve zaman arasındaki karışık bir ilişki vardır. Zemin problemlerini daha karışık hale getiren ise onların hafızalarının olmasıdır. Tüm malzemelerdeki gibi zeminlerde gerilme altında deformasyona uğrarlar. Ama diğer malzemelerden farklı olarak, zeminlerde gerilme etkisinin kalkması bile kalıcı deformasyonlara neden olur. Deformasyonlar genelde şekil değişikliği ve hacim



değişikliği halinde olabilir. Eğer bir zemin yükleniyorsa ve sonradan yük boşaltılıyorsa, “basınç tarihi” nin bir kısmını korur. Daha sonra tekrar yükleme yapılırsa bu durum zemin davranışını etkilemektedir (Holtz ve Kovacs, 1981).

Holtz ve Kovacs (1981), kompaksiyon deneyinin optimumdan daha ıslak şartlarda gerçekleşmesi zeminin yapısında ve mühendislik özellikleri üzerinde etkili olduğunu belirtmektedirler. Araştırmacılar, dayanım özelliklerinin sıkıştırılmış killerde zor anlaşılacağını ifade ederek ve optimumdan kuru bölgede sıkıştırılan zeminlerin dayanımının, optimumdan ıslak bölgede sıkıştırılan zeminlere kıyasla daha fazla olduğunu vurgulamışlardır.

Zeminler çekmeye karşı dayanımı olmayan sünek malzemelerdir. Zemin dayanımı, uygulanan gerilmelere karşı dayanma yeteneği olarak tanımlanmaktadır. Zemin dayanımı boşluk oranı, jeolojik geçmiş, gerilme koşulları, yükleme hızı, su içeriği gibi birçok faktörden etkilenmektedir. Zemin mühendislik özellikleri mukavemet, kohezyon (c) ve içsel sürtünme açısına ( $\phi$ ) bağlı olarak tanımlanmaktadır (Özaydın, 2000). Ek olarak boşluk suyu basıncının zemin dayanımına etkisi olduğu için efektif gerilme kavramı ortaya çıkmıştır ve zemin dayanımını irdelerken zeminin cinsi, yükleme hızı ve drenaj koşulları da göz önünde bulundurulmalıdır (Laman ve Tekinsoy, 2000).

Farklı malzemelerin yük altında şekil değişimine baktığımızda, bu şekil değişimlerinin bir kısmının yük ortadan kalktığı zaman eski haline geri döndüğünü, bir kısmının ise kalıcı olduğu gözlemlenmektedir. Geri dönenlere elastik şekil değiştirme, kalıcı olanlara ise plastik şekil değiştirme denilmektedir. Elastik davranış gösteren bazı malzemelerde şekil değişimi ile uygulanan yük arasında lineer bir ilişki varken bazı malzemelerde bu lineer ilişki olmayabilir. Zeminlerde meydana gelen şekil değiştirmeler genelde uygulanan yük ile doğrusal olarak artmayacağı gibi yükün kalkmasıyla da geri gelen şekil değiştirmeler toplam şekil değiştirmelerin sadece küçük bir bölümünü oluşturur. Zeminlerin gerilme etkisiyle şekil değiştirmesinin yanı sıra zemin üzerinde daha önceden uygulanmış gerilmelerden etkilenmektedir. Tüm bu özellikler sebebiyle, zeminlerin yük altındaki davranışlarını

incelemek karmaşıktır ve zeminlerin bu davranışlarını matematiksel olarak ifade etmek mümkün değildir (Özaydın, 2000).

Çetin (2000), Meers fayı yakınındaki zeminlerin faylanma sırasındaki maruz kaldıkları efektif gerilmeleri hafızasında kaydedip kaydetmediğini belirlemeye yönelik deneysel bir çalışma gerçekleştirmiştir. Araştırmacı bu kapsamda fay blokları üzerinden aldığı farklı tane boylarına sahip zeminleri (B, C) 2 sn ile 5 dk arasında toplam  $4,11\text{kg/cm}^2$ 'lik yüklemeye maruz bırakarak standart konsolidasyon deneyi ve Casagrande yöntemiyle ön konsolidasyon basınçlarını belirlemiştir. Çalışmanın sonucu olarak her iki zeminin de 2 sn'lik ön yükleme süresi içinde toplam gerilmelerin %60'dan fazlasını konsolidasyon basıncı olarak hafızasına kaydettiğini belirlemiş ve bu ön konsolidasyon basıncının 1100 yıl önceki faylanmadan kaynaklandığını değerlendirmiştir. C (kumlu kil) biriminin toplam efektif gerilmeyi hafızasına kaydetmesi için gereken zamanın 4 dakikadan az, daha ince taneli olan B zemini (siltli kil) için ise 5 dakika olduğunu belirtmiştir. Araştırmacı, her iki zemin için ortaya çıkan bu zaman farkının ise permeabilite kaynaklı olduğunu ifade etmiştir.

Mitchell ve Soga (2005), su-kil sistemlerinin değişken karakterde olduğunu ve çevre koşullarının değişmesi durumunda zemin özelliklerinde önemli değişimler olabileceğini ifade etmişlerdir. Bu çalışma ile değişen koşullar ile zemin özelliklerindeki muhtemel değişimler detaylıca irdelenerek tartışılmıştır.

Palalı (2006), yaptığı çalışmada kompaksiyon deneyinde belli bir su muhtevasında kuru birim hacim ağırlık maksimum olduğunda bu değer için uygulanan enerji ile arttığını gözlemlemiştir. 25 vuruşta optimum su içeriği %33,  $\gamma_k = 1.37\text{ g/cm}^3$ , 40 vuruş için optimum su içeriği %33,  $\gamma_k = 1.38\text{ g/cm}^3$ , 50 vuruş için optimum su içeriği %32,5  $\gamma_k = 1.40\text{ g/cm}^3$  olarak belirlenmiştir. Buradan yola çıkarak vuruş arttıkça kuru birim hacim ağırlığın arttığı gözükmektedir.

Palalı (2006), yaptığı çalışmada sıkıştırma enerjisi için su içeriği arttığında kohezyonun arttığı ancak optimum su değerinden sonra ise azaldığını gözlemlemiştir. Normalde kil zeminin su muhtevası artarsa kohezyonun artması

beklenir. Optimum su içeriğinden fazla su içeriklerinde bu durum gözlenirken, optimum su içeriği altında ise bu durumun gözükmemesi birim hacimdeki tane miktarının az olmasından kaynaklıdır. Optimum içeriği sonrasında ise boşluklardaki su zemin taneleri arasında daha sıkı halde yerleşmeyi engelleyerek zemindeki tane miktarının az olmasına neden olur.

Çetin ve Fener (2006), yaptıkları çalışma ile kum ve kil zeminleri farklı oranlarda karıştırılarak elde ettikleri 11 numunenin ön konsolidasyon basıncının zemin hafızasını etkilediğini incelemişler ve numunelerdeki kil yüzdesinin artmasına bağlı olarak uygulanan toplam sürenin hafızaya kaydedilme süresini arttığını gözlemlemişlerdir.

Ghosh (2013), yüksek deformasyon ve düşük kayma mukavemet özelliğine sahip killerin, kökeninden dolayı su muhtevsından diğer zeminlere kıyasla daha fazla etkilendiğini ve su muhtevası arttıkça kil tanelerinin birbirinden uzaklaştığını sonuç olarak da kohezyonunun azaldığını belirtmiştir. Bu çalışmadan elde edilen veriler de araştırmacının sonuçlarını destekler niteliktedir.

Zemin su karakteristik eğrisi (SWCC, Soil-Water Characteristic Curve), zemin su içeriği ve emme arasındaki ilişki olarak tanımlanır. Doymun olmayan zeminlerdeki en önemli kavramlardan biri olan bu eğri, zeminlerin kayma mukavemetinin, boşluk ve tane dağılımının, su içeriğinin, hacimsel değişiminin, permabilitesinin ve gerilmenin belirlenmesinde rol oynar (Önalp ve Arel, 2013).

Zumrawi ve Mohammed (2016), Kohezif Zeminlerin Makaslama Dayanımları ile Zemin Birincil Özellikleri ve Su İçeriğinin Korelasyonu başlıklı çalışmasında su muhtevasının optimum su muhtevasına ulaşana kadar kohezyon değerinin arttığını, optimum su muhtevsından sonraki su muhtevsında ise kohezyon değerinin azaldığı tespit etmiştir. İçsel sürtünme açısının ise artan su içeriğine bağlı olarak azaldığını, optimum su içeriği sınırlarında ise sabit bir değere ulaştığını ortaya koymuştur. Araştırma bulgularımız ile söz konusu çalışma karşılaştırıldığında benzer sonuçların elde edildiği değerlendirilmiştir.

Akan ve Keskin (2018) Kompaksiyon Yönteminin Kohezyonlu Zeminlerin Serbest Basınç Mukavemetine Etkisi başlıklı çalışmalarında plastik limit su içeriğinde hem statik hem de dinamik olarak sıkıştırılan numunelerin birbirine yakın serbest basınç dayanımlarına sahip olduğunu ancak su muhtevası plastik limit değerinden ıslak ya da kuru tarafa ilerledikçe statik ve dinamik olarak sıkıştırılan numunelerin serbest basınç değerlerinin birbirlerinden uzaklaştığı belirlemişlerdir. Bu çalışmada göstermektedir ki zeminler hem çevre koşullarındaki değişikliği hemde fiziksel koşullarındaki değişikliği mekanik özelliklerine yansıtmaktadır.

## BÖLÜM 2

### MATERYAL VE YÖNTEM

#### 2.1. DENEYLERDE KULLANILAN MALZEMELER VE ÖZELLİKLERİ

##### 2.1.1. Kil Zemin Özellikleri

Çalışma kapsamında zemin özelliklerinin tüm numunelerde aynı olmasını sağlamak için homojen bir yapıda olan doğal bentonit kili kullanılmıştır. Deneyleerde kullanılan bentonit Tokat bölgesinde bulunan KarBen Bentonit Endüstriyel Madencilik Kimya Ar-Ge Nano Teknolojileri Sanayi ve Ticaret A.Ş. Firması aracılığıyla temin edilmiştir.

Bentonit killer alüminyum ve magnezyum içeriği açısından yüksek volkanik kül, tuf ve lavların kimyasal ayrışması sonucu oluşur. Bentonit ilk defa 1888 yılında ABD'nin Wyoming eyaletinde Fort Benton yakınlarında bulunmuş ve 1898 yılında Knight tarafından bu isimle adlandırılmıştır.

İpekoğlu vd. (1997) yaptıkları çalışmada; bentonitin ticari tanımını yapısında su aldığı taktirde şişebilen, asit olarak aktifleştirilebilen ve sondaj çamurlarını koyulaştırabilen, yüzey alanı geniş bir kil olarak yapmışlardır.

Bir bentonitin ticari olabilmesi için, kendi hacminin 5 katı kadar şişme özelliğine sahip olması gerekir.10-20 kat şişen bentonitler, iyi özellikte sayılmaktadır. Bentonitlerin şişme özelliği, 200° C'nin üstüne kadar muhafaza edilirken 600° C'nin üzerinde tamamen yok olur (Eruslu, 1991).

Hancıoğlu, (2015) göre bentonitlerin yapılarına su katıldığı zaman şişme özelliği göstermektedirler. Bentonitler sınıflandırılırken şişme ve değişebilen iyon özelliklerine göre üç gruba ayrılmaktadırlar. Bunlar sodyum bentonit, sodyum

kalsiyum bentonit, kalsiyum bentonit olarak bilinmektedir. Şişme özelliklerine bakıldığında sodyum bentonitler su ile çok fazla şişme özelliği göstermektedirler, sodyum kalsiyum bentonitler orta derecede, kalsiyum bentonit ise çok az su ile şişmektedir.

Doğal halde oldukça yumuşak ve suda kendiliğinden dağılan bir yapıya sahiptir. Çok küçük tane boyutu ve buna bağlı yüzey alanının fazla olmasına bağlı olarak su tutma kapasitesi fazladır. Su ile karıştırıldığında yüksek yapışkanlık özelliği kazanan bentonit, bu özelliği nedeniyle sondaj çamuru olarak kullanılmaktadır. Yüksek plastise ve koloidal özelliği sayesinde kumları bağlayıcı özelliği bulunmaktadır. İnşaat mühendisliğinde baraj ve temellerde kullanılarak su veya herhangi bir sıvının sızmasını engeller.

Çalışma kapsamında kullanılan bentonit kiline ait bazı özellikler Çizelge 2.1’de verilmektedir.

Çizelge 2.1. Bentonit kiline ait özellikler.

<b>Parametre</b>	<b>Değer</b>
SiO <sub>2</sub>	58
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,5
CaO+MgO	5,2
K <sub>2</sub> O	1,1
Na <sub>2</sub> O	1
Elek Analizi	10
Ateşte Zahiyat	6,2
Ensilin Değeri (45 dk)	313
Ensilin Değeri (24 saat)	876
Rutubet	9

### **2.1.2. Kum Zemin Özellikleri**

Çalışma kapsamında Karabük Safranbolu’da inşaat malzemeleri satan bir firmadan temin edilen dere kumu kullanılmıştır. Kum zeminlerin taneleri birbirinden ayırık olması amacıyla yıkanmış kurutulmuş ve 40 nolu elek altından elenerek kullanılmaya hazır hale getirilmiştir.

Kuruyken elle sıkılıp bırakıldığında parçalanarak parçalanarak kum zeminler ıslakken sıkıldığında bir şekil alır ama dokunulduğu zaman dağılır. Genellikle granüler ve kohezyon miktarları

az, drenajlı ve taşıma gücü kapasiteleri içeriğine göre değişkenlik gösterirler. Kum zeminlerin taşıma gücü kapasitesi içsel sürtünme açısına bağlıdır.

Suya doymuş kumlu zeminler ani yüklemeler altında içerisindeki suyu dışarı atamadıkları için drenajsız koşullarda kayma gerilmelerine maruz kalırlar. Böyle bir yükleme ile kum zeminde büyük şekil değiştirmeler oluşmakta ve hatta sürtünme kuvvetleri yenilerek zemin sıvı davranış özellikleri gösterebilmektedir. Deprem gibi tekrarlı yüklemeler veya hızlı statik yüklemeler altında kum içerisindeki suyun pratik olarak dışarı çıkması mümkün olmayacağından, zeminde drenajsız kayma davranışları gözlenebilir.

Suya doymuş kum zeminlerin gerilme–şekil değiştirme davranışlarının kumun fiziksel özelliklerine ve yüklemenin türüne göre farklılık gösterdiği, birçok araştırmacı tarafından ortaya konmuştur.

### **2.2. DENEY MODELLERİNİN OLUŞTURULMASI**

Çalışmaya ilk olarak ham bentonitin ve kumun serilerek kurutulmasıyla ve 40 nolu elekten elenmesiyle başlanmıştır. Sonrasında içerikleri %70 kum-%30 kil ve %70 kil-%30 kum oranlarında karışımlar hazırlanmıştır. Oranların bu şekilde belirlenmesinde kilin ve kumun baskın özelliklerinin karışım numunelerinin mühendislik özelliklerine etkisinin tartışılması amaçlanmıştır. Hazırlanan karışımlara likit limit ve plastik limit deneyleri yapılmıştır. Atterberg limit değerleri bulunan

karışımlara kompaksiyon deneyleri yapılarak her bir karışımın optimum su içerikleri belirlenmiştir. Deneyler de optimum su içeriğinin altında ve optimum su içeriğinin üstünde olacak şekilde hazırlanan karışımlar kullanılmıştır. Deney sırasında örneklere ait su içeriğinin değişmemesi oldukça önemlidir. Bu yüzden hazırlanan tüm örnekler naylon poşetlere sarılarak deney süreleri gelene kadar beton numune kaplarında saklanmıştır (Şekil 2.1). Numuneler kompaksiyon deneyinde olduğu gibi 2,5 kg ağırlığındaki tokmakla 30 cm yükseklikten 25 vuruş halinde 3 kademe sıkıştırılmıştır (Şekil 2.2).



Şekil 2.1. Numune kaplarının hazırlanması.



Şekil 2.2. Numunelerin sıkıştırılması.



Belirlenen su içeriklerinde beton numune kaplarında sıkıştırılan örnekler Şekil 2.3’de verilmektedir. Daha sonra bu örneklerin herbirinin üzerine 8 kg-16 kg-24 kg ağırlıklar konularak 15 gün, 25 gün ve 35 gün süreyle beklemeye bırakılmıştır (Şekil 2.4). Bekleyen numuneler günü geldikçe Şekil 2.5’de görüldüğü üzere örselenmeden deney kalıplarına alınarak çıkarılmış, kesme kutusu ve serbest basınç deneyleri yapılarak yükleme şartlarının zeminlerin dayanımına olan etkileri tartışılmıştır. Çalışma kapsamında %70 kil- %30 kum ve %70 kum- %30 kil numunelere ait deney programları sırasıyla Çizelge 2.2 ve Çizelge 2.3’de verilmektedir.



Şekil 2.3. Hazırlanan karışım.



Şekil 2.4. Kür süresindeki numuneler.



Şekil 2.5. Numunelerin kalıptan çıkarılması.

Çizelge 2.2. %70 kil- %30 kum numunelerine ait deney programı.

	TANIMLAMA DENEYLERİ		ANALİZLER				
	<b>%70 KİL- %30 KUM</b>	<b>ATTERBERG (KIVAM) LİMLİLERİ</b>	<b>KOMPAKSİYON</b>	<b>%38 SU İÇERİĞİ</b>	15 Gün	8 Kg	Serbest Basınç Deneyi
16 Kg						Kesme Kutusu Deneyi	
24 Kg						Serbest Basınç Deneyi	
25 Gün					8 Kg	Serbest Basınç Deneyi	
					16 Kg	Kesme Kutusu Deneyi	
					24 Kg	Serbest Basınç Deneyi	
35 Gün					8 Kg	Serbest Basınç Deneyi	
					16 Kg	Kesme Kutusu Deneyi	
					24 Kg	Serbest Basınç Deneyi	
<b>%28 SU İÇERİĞİ</b>					15 Gün	8 Kg	Serbest Basınç Deneyi
						16 Kg	Kesme Kutusu Deneyi
						24 Kg	Serbest Basınç Deneyi
				25 Gün	8 Kg	Serbest Basınç Deneyi	
					16 Kg	Kesme Kutusu Deneyi	
					24 Kg	Serbest Basınç Deneyi	
				35 Gün	8 Kg	Serbest Basınç Deneyi	
					16 Kg	Kesme Kutusu Deneyi	
					24 Kg	Serbest Basınç Deneyi	
				<b>%18 SU İÇERİĞİ</b>	15 Gün	8 Kg	Serbest Basınç Deneyi
						16 Kg	Kesme Kutusu Deneyi
						24 Kg	Serbest Basınç Deneyi
25 Gün					8 Kg	Serbest Basınç Deneyi	
					16 Kg	Kesme Kutusu Deneyi	
					24 Kg	Serbest Basınç Deneyi	
35 Gün	8 Kg	Serbest Basınç Deneyi					
	16 Kg	Kesme Kutusu Deneyi					
	24 Kg	Serbest Basınç Deneyi					

Çizelge 2.3. %70 kum- %30 kil numunelerine ait deney programı.

	TANIMLAMA DENEYLERİ		ANALİZLER				
	<b>%70 KUM- %30 KİL</b>	<b>ATTERBERG (KIVAM) LİMLİLERİ</b>	<b>KOMPAKSİYON</b>	<b>%30 SU İÇERİĞİ</b>	15 Gün	8 Kg	Serbest Basınç Deneyi
16 Kg						Kesme Kutusu Deneyi	
24 Kg						Serbest Basınç Deneyi	
25 Gün					8 Kg	Serbest Basınç Deneyi	
					16 Kg	Kesme Kutusu Deneyi	
					24 Kg	Serbest Basınç Deneyi	
35 Gün					8 Kg	Serbest Basınç Deneyi	
					16 Kg	Kesme Kutusu Deneyi	
					24 Kg	Serbest Basınç Deneyi	
<b>%20 SU İÇERİĞİ</b>					15 Gün	8 Kg	Serbest Basınç Deneyi
						16 Kg	Kesme Kutusu Deneyi
						24 Kg	Serbest Basınç Deneyi
				25 Gün	8 Kg	Serbest Basınç Deneyi	
					16 Kg	Kesme Kutusu Deneyi	
					24 Kg	Serbest Basınç Deneyi	
				35 Gün	8 Kg	Serbest Basınç Deneyi	
					16 Kg	Kesme Kutusu Deneyi	
					24 Kg	Serbest Basınç Deneyi	
				<b>%10 SU İÇERİĞİ</b>	15 Gün	8 Kg	Serbest Basınç Deneyi
						16 Kg	Kesme Kutusu Deneyi
						24 Kg	Serbest Basınç Deneyi
25 Gün					8 Kg	Serbest Basınç Deneyi	
					16 Kg	Kesme Kutusu Deneyi	
					24 Kg	Serbest Basınç Deneyi	
35 Gün	8 Kg	Serbest Basınç Deneyi					
	16 Kg	Kesme Kutusu Deneyi					
	24 Kg	Serbest Basınç Deneyi					

## **2.3. ÇALIŞMA KAPSAMINDA GERÇEKLEŞTİRİLEN DENEYLER**

### **2.3.1. Kıvam Limiti Deneyleri**

İnce daneli zeminlerin su miktarına bağlı olarak kuru durumdan sıvı duruma kadar şekil değiştirme özelliğini belirlemek amacıyla kıvam limit deneyleri yapılmaktadır. İsveçli bilim adamı Atterberg tarafından bu durumlar likit limit, plastik limit ve rötre limiti olarak tanımlanmıştır.

#### **2.3.1.1. Likit Limit Deneyi**

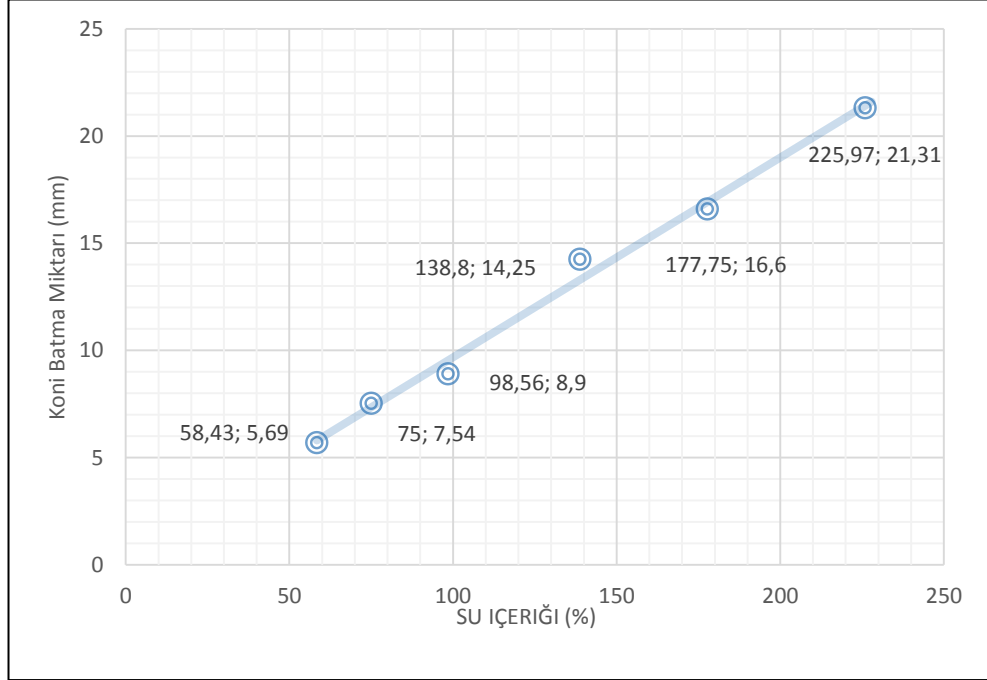
Likit limit, ince daneli zemin ve su karışımının akıcı bir sıvı halden plastik hale dönüştüğü andaki su muhtevasıdır.

Likit limit deneyi Casagrande ve Düşen Koni Penetrasyon Yöntemi olmak üzere iki şekilde gerçekleştirilmektedir. Bu deney kapsamında ise Düşen Koni Penetrasyon Yöntemi kullanılmıştır.

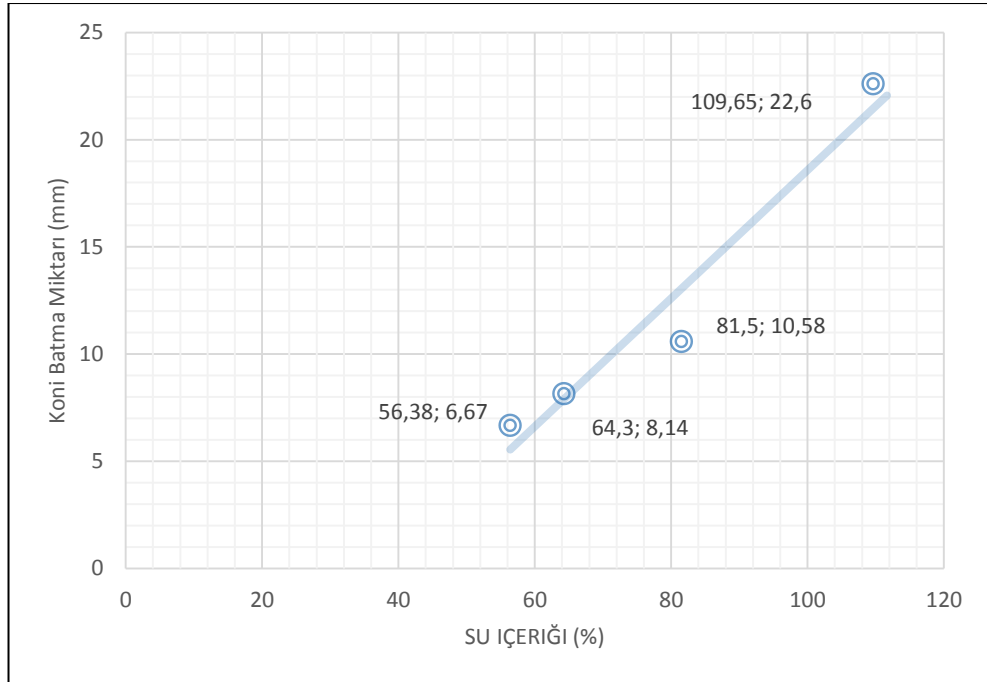
Casagrande Yönteminde, 40 nolu elekten elenmiş ve etüvde kurutulmuş zemin bir miktar su eklenerek homojen şekilde karıştırılır. Karışan zemin pirinç bir tas içine yerleştirilir ve en kalın yerinin 1 cm olmasına özen gösterilir. Özel bir kaşık yardımıyla ortadan bir yarık açılır. Aletin kolu saniyede 1 dönüş yapacak şekilde ayarlanıp vuruş sayıları (N) sayılır. Tas lastik tabana 10 mm yüksekten düşülür. Yarık yaklaşık 13 mm uzunluğunda kapanmaya başlarsa deneye son verilir. Deneyler ikisi 25'den küçük vuruşa, ikisi 25'den büyük vuruşa denk gelecek şekilde en az 4 tane olmak üzere tekrarlanır. En sonunda ise 25 düşüğe karşılık gelen su muhtevası ölçülür (TS 1900-1).

Düşen Koni Yönteminde ise, Casagrande Yönteminde olduğu gibi zemin 40 nolu elekten elenir ve etüvde kurutulur. Kurutulan zemine bir miktar su katılarak karıştırılır ve kaba konur. 5 saniyede konik uç kap içine konulan zemine batmaya bırakılır. Aynı işlem farklı su içeriklerinde gerçekleştirilir. Batma miktarları mikrometre ile ölçülür ve 20 mm lik batmaya karşılık gelen su muhtevası ölçülür.

Yapılan çalışmada %70 kil-%30 kum ve %70kum-%30 kil numunelerinin su içerikleri sırayla Şekil 2.4 ve Şekil 2.5’de verilmiştir (TS 1900-1).



Şekil 2.6. %70 kil-%30 kum karışımının likit limit değeri.



Şekil 2.7. %70 kum-%30 kil karışımının likit limit değeri.

### 2.3.1.2. Plastik Limit Deneyi

Plastik limit, ince daneli zemin ve su karışımının plastik halden yarı plastik hale dönüştüğü andaki en düşük su muhtevasıdır.

Bu deney yönteminde likit limit için hazırlanan numuneden bir parça alınır. Cam bir yüzey üzerinde elin iç tarafıyla 3 mm kalınlığında 3-10 mm arası uzunlukta parçalar elde edilene kadar yuvarlanarak su muhtevası belirlenir. Eğer zemin 2 mm kalınlığa kadar düşüp hala kopmalar meydana gelmiyorsa, numuneye bir miktar daha su katılarak deney tekrarlanır (TS 1900-1). Yapılan çalışmada %70 kil-%30 kum karışımının plastik limit değeri % 43,65 ve %70 kum-%30 kil numunelerinin plastik limit değeri de % 39,64 olarak bulunmuştur.

Kıvam limit değerleri bir tablo olarak aşağıda Çizelge 2.4'da verilmiştir.

Çizelge 2.4. Kıvam limit değerleri.

Karışım	LL	PL
% 70 kum- %30 kil	105	39,64
% 70 kil- %30 kum	210	43,65

### 2.3.2. Kompaksiyon (Standart Proctor) Deneyi

Zeminin tabaka halinde serilerek, silindirme, vibrasyon ve tokmaktama gibi işlemlerle sıkıştırılmasına kompaksiyon denir. Böylece zemin taneleri daha az boşluklu yerleşerek, zeminin boşluk oranını azaltır.

Kompaksiyonla beraber zeminin taşıma gücü artırılır, zeminin geçirimsizliği azaltılır, zemine daha kararlı bir yapı kazandırılır ve zeminin su alarak, hacim değişikliklerine uğraması azaltılır. Zeminin sabit hareketli dinamik yükler altında yapacağı oturmalar azaltılır.

Zeminlerin kuru birim hacim ağırlığını ve optimum su içeriğini belirlemek için kompaksiyon deneyi yapılmaktadır. Kompaksiyon deneyleri Standart Proctor ve Modifiye Proctor olmak üzere iki çeşittir. Uygulama olarak aynı olan bu iki deneyin birbirinden farklı özellikleri aşağıda Çizelge 2.5’de verilmiştir.

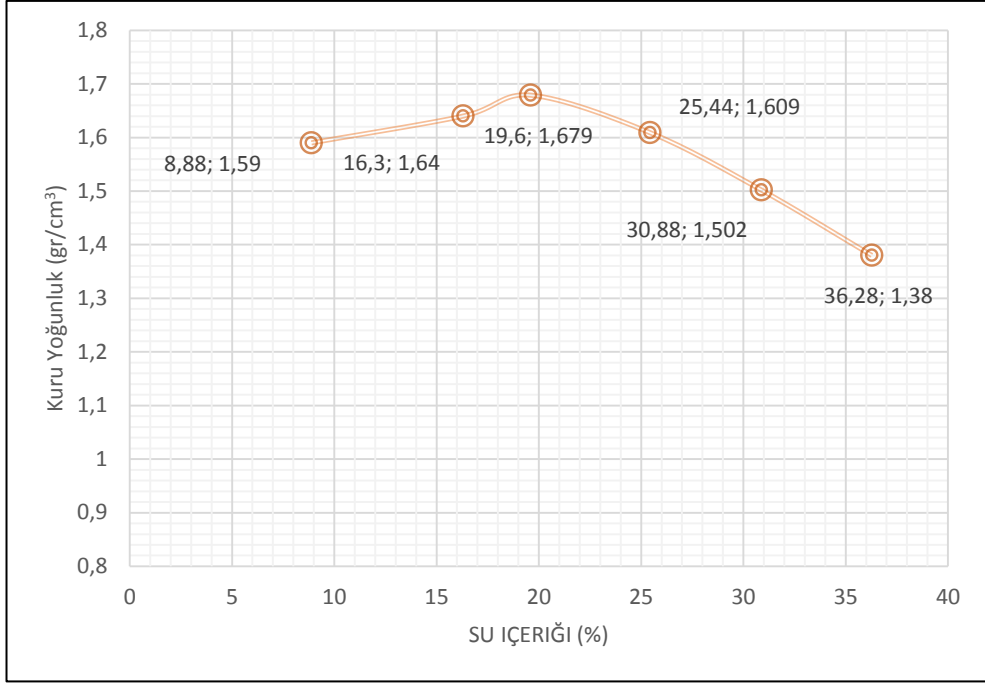
Çizelge 2.5. Kompaksiyon deney özellikleri.

<b>Standart Proktor Testi</b>	<b>Modifiye Proktor Testi</b>
30 cm düşme yüksekliği	45 cm düşme yüksekliği
2,5 kg çekiç kütlesi	4,5 kg çekiç kütlesi
25 düşme/katman	25 düşme/katman
3 katman	5 katman
Mold hacmi 1/30 ft <sup>3</sup>	Mold hacmi 1/30 ft <sup>3</sup>
Enerji 12,375 ft·lb/ft <sup>3</sup>	Enerji 56,250 ft·lb/ft <sup>3</sup>

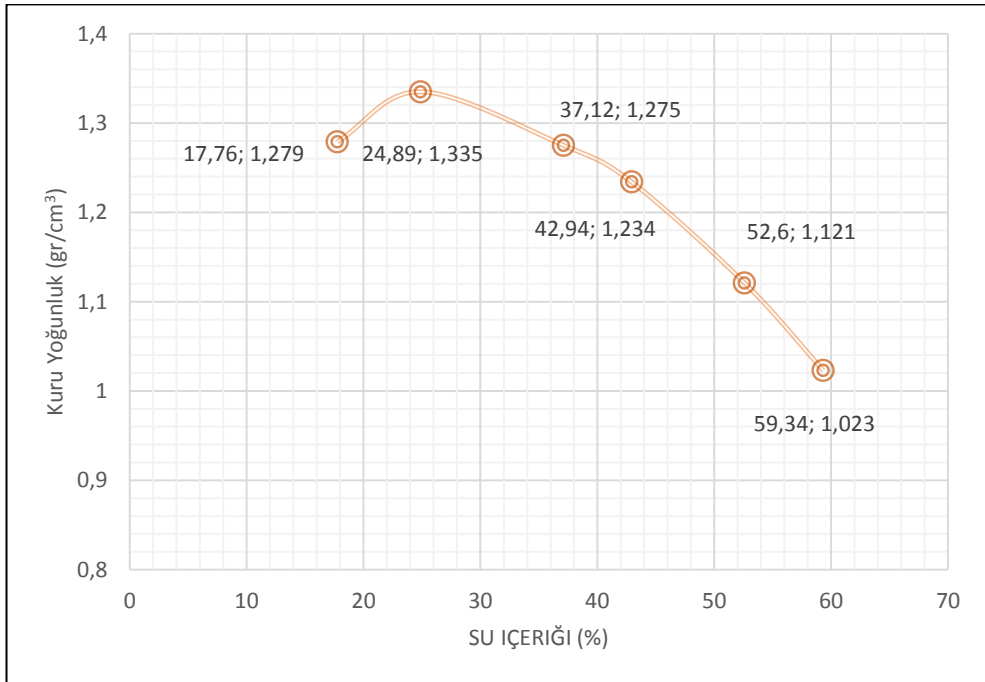
Bu tez kapsamında Standart Proctor deneyi yapıldığından yalnızca bu deney anlatılmıştır ve iki ayrı numune için bulunan optimum su içerikleri Çizelge 2.6’da verilmiş olup Şekil 2.6 ve Şekil 2.7’de ise grafikleri çizilmiştir.

Standart Proctor deneyinde iç çapı 102 mm ve yüksekliği 117 mm ve iç hacmi 943 cm<sup>3</sup> olan silindir kap kullanılır. Takıp çıkarılan alt tabakası ve 5 cm yüksekliğinde yakası vardır. Bu kap alt tabakası ile 0.1 gr duyarlılıktaki terazi ile ölçülür. Deney numunesi kabın içine 3 katman halinde sıkıştırılır. Her katman 30.5 cm yüksekliğinde 2.5 kg ağırlığındaki tokmakla 25 vuruş olacak şekilde sıkıştırılır. Vuruş tamamlandıktan sonra kabın üst kısmı çıkartılıp, metal cetvel ile numune düzlenir. Fazla zemin yüksekliğinin 6 mm’yi geçmemesine özen gösterilmelidir. Numune ve kap birlikte tekrar tartılır. Kabın içindeki numune krika yardımıyla çıkartılır ve numuneden bir parça alınarak etüve konulur. Aynı işlem su içeriği artırılarak en az 5 değer elde edinceye kadar tekrarlanır. En son hesaplamalar yapılarak kompaksiyon grafiği çizilir ve optimum su içeriği belirlenir (TS 1900-1).





Şekil 2.8. %70 kum- %30 kil karışımının optimum su içeriği.



Şekil 2.9. %70 kil- %30 kum karışımının optimum su içeriği.

Çizelge 2.6. Kompaksiyon deney sonuçları.

<b>Karışım</b>	<b>Optimum Su İçeriği (%)</b>	<b>Maksimum Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m<sup>3</sup>)</b>
% 70 kil- % 30 kum	28	1,3
% 70 kum- % 30 kil	20	1,7

### 2.3.3. Serbest Basınç Deneyi

Silindirik zemin numunesine ait serbest basınç mukavemetinin belirlenmesi amacıyla bu deney yapılmaktadır. Ayrıca deformasyon-yük değişimi belirlenmektedir.

Sadece eksenel yönde bir yükleme yapılarak ve bu yükün zamanla artmasından kaynaklı numune boyundaki kısılma ölçülerek gerilme-şekil değiştirme eğrileri elde edilmektedir. Eksenel gerilmenin göçme kabul edilebilecek şekil değiştirme seviyesine karşılık gelen en büyük değeri zeminin serbest basınç mukavemetini vermektedir. Kayma düzleminin alt ve üst yükleme başlıklarının kesişmemesi için numune boyunun çapa oranı 2 yada daha fazla seçilmelidir. Serbest basınç deneyi herhangi bir yanal destek olmadan kendini tutabilen zeminlerde uygulanmaktadır. Kum zeminler üzerinde uygulanmayıp, killi zeminler üzerinde uygulanan bir deney yöntemidir. Çalışmamızda kil-kum karışımı numuneler üzerinde bu deney uygulanmıştır. Deney sırasında numunenin drenaj koşulları kontrol edilemediğinden hızlı yükleme yapılarak zeminin drenajsız kayma mukavemeti elde edilmektedir.

Deneye başlarken ilk olarak numune silindirik çelik bir kabın içindeki numune çıkartılır ve ilk boyu ölçülür. Ardından deney aygıtının alt tablasına orta merkezde olacak şekilde yerleştirilir (Şekil 2.8). Deney aygıtı çalıştırılıp numunenin üst tablaya hafifçe değmesi sağlanır. Yük ve akma değerleri sıfırlanır. Yükleme hızı ayarlanır. Yapılan çalışmada yükleme hızı 1 mm/dk olarak ayarlanmıştır. Yükleme hızı en çok 15-20 dk içinde kırılmasını sağlayacak şekilde olmalıdır. Kırılmaların gözle görülür olması ve kırılma düzleminin net bir şekilde görülmesi haline haline kadar deney devam ettirilir. Bu durumda yüklemeler önce artar ve sonra max değer sabit kalıp

diğer yük okuma değerleri düşmeye başladığında deney durdurulur. Numunenin son boyu ve kırılma açısı ölçülür (TS 1900-2).

Aşağıdaki formüller sayesinde serbest basınç dayanımı bulunur.

Numunede aksenal birim şekil değiştirme (%):

$$\varepsilon = \frac{\Delta H}{H_0} \times 100 \quad (2.1)$$

Yenilme anında numunenin kesit alanı ise aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır:

$$A = \frac{A_0}{1 - \varepsilon} \quad (2.2)$$

Numunenin serbest basınç dayanımı aşağıdaki eşitlik ile ifade edilir:

$$q_u = \frac{P}{A} \text{ (kPa)} \quad (2.3)$$

Burada;

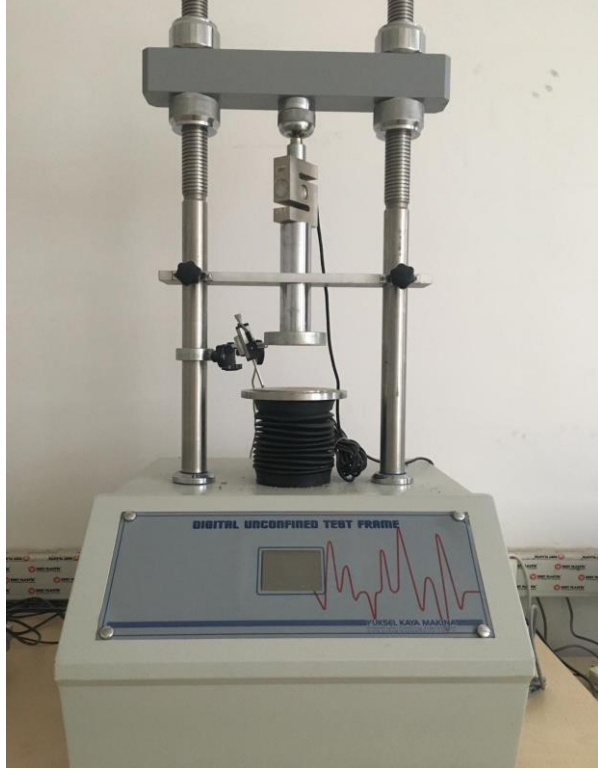
$\Delta H$  : Numunede ölçülen aksenal boy değişimi (mm),

$H_0$  : Numunenin ilk boyu (mm),

$\varepsilon$  : Düşey yöndeki aksenal birim şekil değiştirmesi,

$A_0$  : Numunenin deney başındaki kesit alanı ( $m^2$ ),

$P$  : Numunenin geçmeden taşıyabileceği maksimum aksenal kuvvettir.



Şekil 2.10. Serbest basınç deney aleti.

#### 2.3.4. Kesme Kutusu Deneyi

Kesme kutusu deneyi, numunelerin kesme etkisine maruz bırakılarak kayma direncinin ve kayma açısının belirlenmesi amacıyla yapılır. Genellikle kumlu zeminlere yapılan bir deney olmasına rağmen çalışmamızda ise kum-kil karışımı olan zeminlere yapılmıştır.

Bu deney yönteminde, zemin numunesi dikdörtgen veya dairesel kesitli iki parçadan oluşan rijit bir kutu içine yerleştirilir. Kutunun üst kısmı sabit tutulurken alt kısmı uygulanan kesme kuvveti etkisiyle yatay bir düzlem boyunca hareket eder ve böylece zemin kaymaya zorlanır. Deney aleti Şekil 2.9'da verilmiş olup çalışma kapsamında 6cm\*6cm dikdörtgen kesitli kesme kutusu cihazı kullanılmıştır.



Şekil 2.11. Kesme kutusu deney aleti.

Zemin numunesi 6x6 cm boyundaki ve 2 cm yükseliğindeki çelik kutu içine en az 3 adet olacak şekilde doldurulur. Numuneler düz yüzeyli bir spatula yardımıyla düzeltilir. Ardından en altta gözenekli levha ardından poroz taş olacak şekilde numune itici ile deney düzeneğinin içine yerleştirilir. Üstüne tekrar sırayla poroz taş ve gözenekli levha yerleştirilir. En üste başlık konularak deney düzeneği hücreye oturtulur ve üstüne kuvvet halkası bağlanır. Deney programı açılarak tüm veriler sıfırlanır. İlk olarak 2 kg'lık yük kola asılarak deney yapılır. Numune kesme hızı ayarlanır ve deneye başlanır. Grafiklerde deformasyon belli bir süre artış meydana gelirken sonrasında bir düşüş meydana gelir ve deney sonlandırılır. Aynı işlem 4 kg ve 8 kg içinde gerçekleştirilir. 3 deneyin sonunda içsel sürtünme açısı ve kohezyon bulunur (TS 1900-2).

## **BÖLÜM 3**

### **BULGULAR**

Çalışma kapsamında kurgulanan deneyler Çizelge 2.2 ve Çizelge 2.3’de ayrıntısı verildiği üzere farklı su içerikleri ve gerilme koşulları ön plana çıkartılarak oluşturulmuştur. Bu kapsamda yapılan deneylerde ana amaç gerilme ve ıslanma koşullarının zemin dayanımına olan etkisi iki farklı özellikteki zemin karışımı ön planda tutularak araştırılmıştır. Bu bölümde elde edilen verilerin tartışması yapılarak gerilme ıslanma koşullarının zemin dayanımındaki etkileri detaylı olarak tartışılacaktır.

Çoğu zeminler örselendiğinde ve yoğrulduğunda, doğal yapısı bozulmakta ve bu sebeple de davranışları değişmektedir (Liu, 2011). Arazide örselenmemiş numune elde etmek çok zor olduğundan, ve çeşitli nedenlerle farklı gerilme koşullarına maruz kalacaklarından dolayı gerçek durumlarının temsil edilebilmesi için örselenen numunelerin davranışlarının ortaya konulması geoteknik mühendisliği açısından çalışılması gereken önemli konuların başında gelmektedir. Bu çalışma ile özellikle farklı gerilmelere maruz kalan zeminler için laboratuvar deney metotları ile arazi koşullarını laboratuvarın kontrollü şartlarında simule ederek, zeminlerin belirli yüklere maruz kaldıklarındaki mekanik davranışlarını laboratuvar şartlarında araştırılmıştır. Bu çalışma söz konusu etkilerin hem kil ağırlıklı hemde kum ağırlıklı zeminlerdeki etkisi de ön plana çıkartılacak şekilde kurgulanmış ve iki farklı bölüm olarak elde edilen veriler irdelenmiştir.

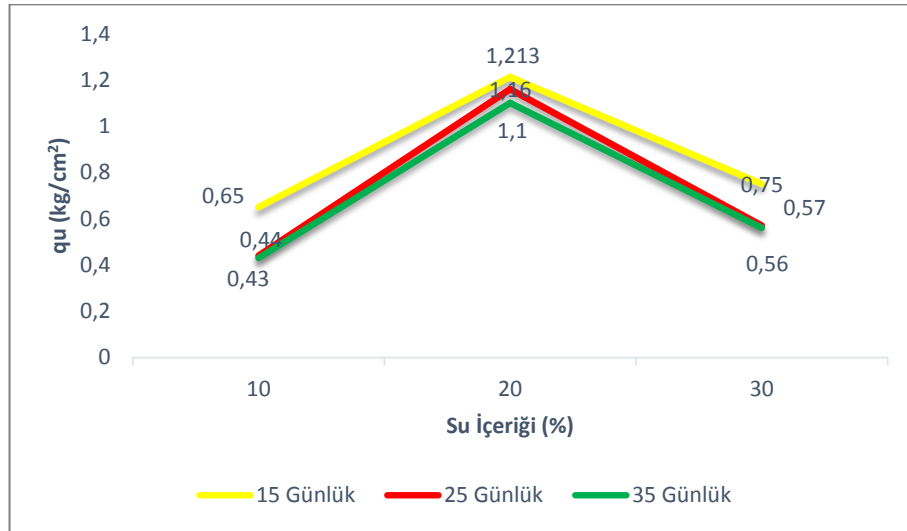
#### **3.1. ISLANMA KOŞULLARININ ETKİSİ**

Çalışma kapsamında su içeriğinin zemin dayanımına etkisi farklı gerilme koşullarında araştırılmıştır. Bu kapsamda ayrıntısına Çizelge 2.2 ve Çizelge 2.4’de değinildiği üzere her bir karışımın öncelikle optimum su içeriği belirlenerek

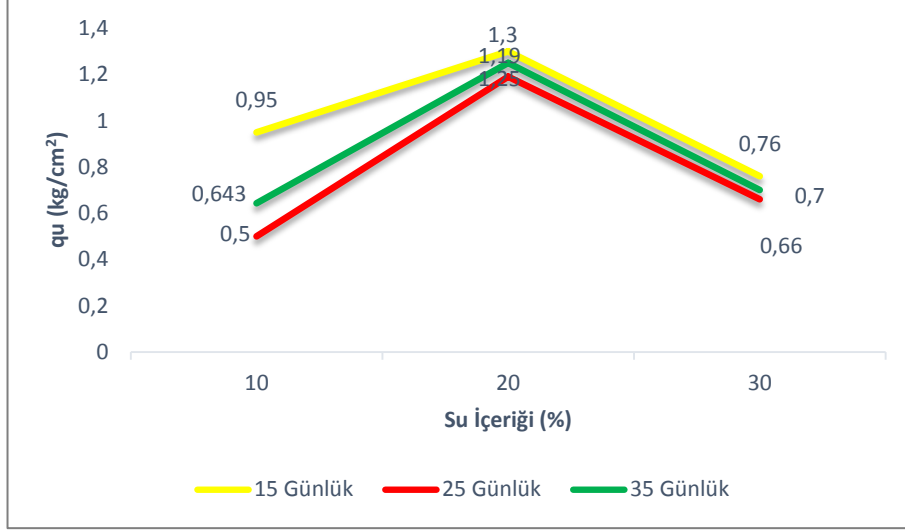
optimum su içeriği altında, üstünde ve optimum bölgede hazırlanan örnekler 8 kg, 16 kg ve 24 kg ağırlığındaki yüklere 15, 25, 35 gün maruz bırakılarak numuneler üzerinde hem serbest basınç hemde kesme kutusu deneyleri yapılmıştır. Deneylerden elde edilen veriler tartışılarak bu faktörlerin zeminlerin serbest basınç dayanımı, kohezyon ve içsel sürtünme açılarındaki etkileri ilgili bölümlerde tartışılmıştır.

### 3.1.1. Serbest Basınç Deneyi

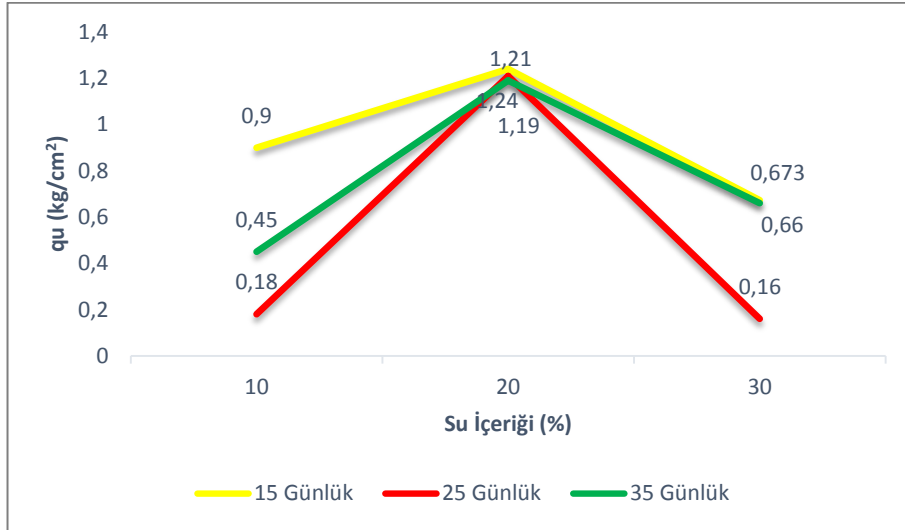
8, 16 ve 24 kg yük altında sırayla 15, 25 ve 35 gün bekletilen %70 kum %30 kil karışımların su içeriklerine bağlı olarak dayanımlarında önce artış sonrasında ise düşüş meydana gelmiştir (Şekil 3.1, Şekil 3.2 ve Şekil 3.3). Kum zemin ağırlıklı karışımda en yüksek dayanım değerlerinin optimum su içeriğinde olduğu gözlenirken, su içeriğinin optimum su içeriğine kadar artmasıyla dayanımda artış optimum su içeriğinden daha fazla su içeriğinde ise tüm kür sürelerinde dayanımlarda düşüşlerin olduğu gözlenmektedir.



Şekil 3.1. Su içeriğine bağlı olarak ( $q_u$ )'daki değişim (8 kg yük altında 15, 25 ve 35 gün bekleyen %70 kum %30 kil numuneler).



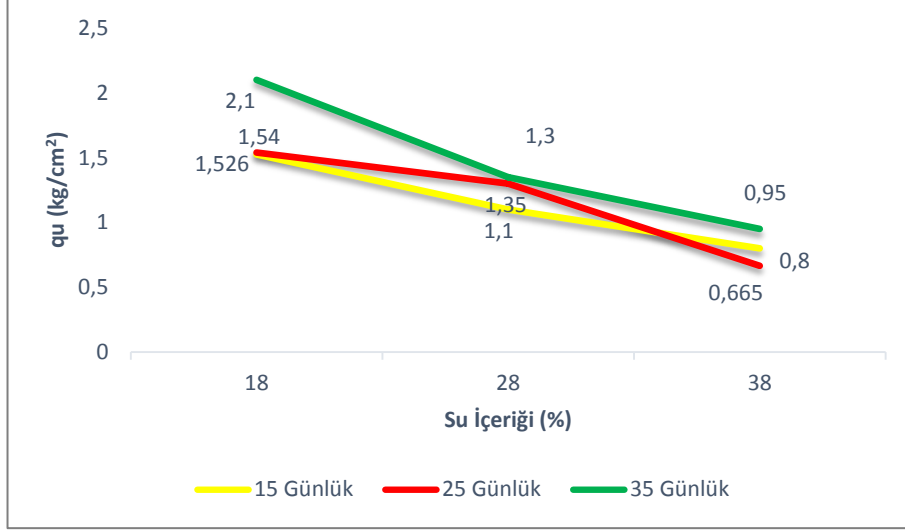
Şekil 3.2. Su içeriğine bağlı olarak ( $q_u$ )'daki değişim (16 kg yük altında 15, 25 ve 35 gün bekleyen %70 kum %30 kil numuneler).



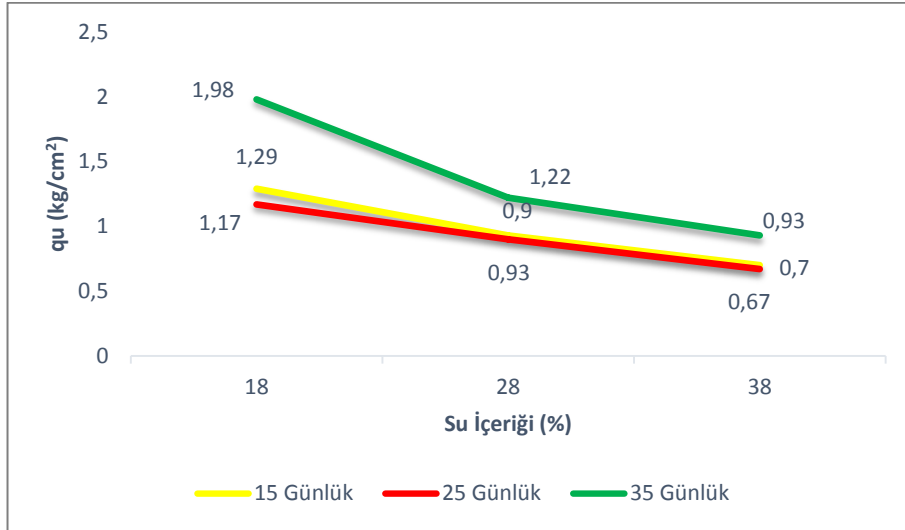
Şekil 3.3. Su içeriğine bağlı olarak ( $q_u$ )'daki değişim (24 kg yük altında 15, 25 ve 35 gün bekleyen %70 kum %30 kil numuneler).

%70 kil %30 kum karışımların su içeriklerine bağlı olarak dayanımları değerlendirildiğinde sürekli bir düşüş meydana geldiğini ve burdan yola çıkarakta su içeriğinin artmasının dayanımı olumsuz olarak etkilediğini açık şekilde söyleyebiliriz (Şekil 3.4, Şekil 3.5 ve Şekil 3.6).

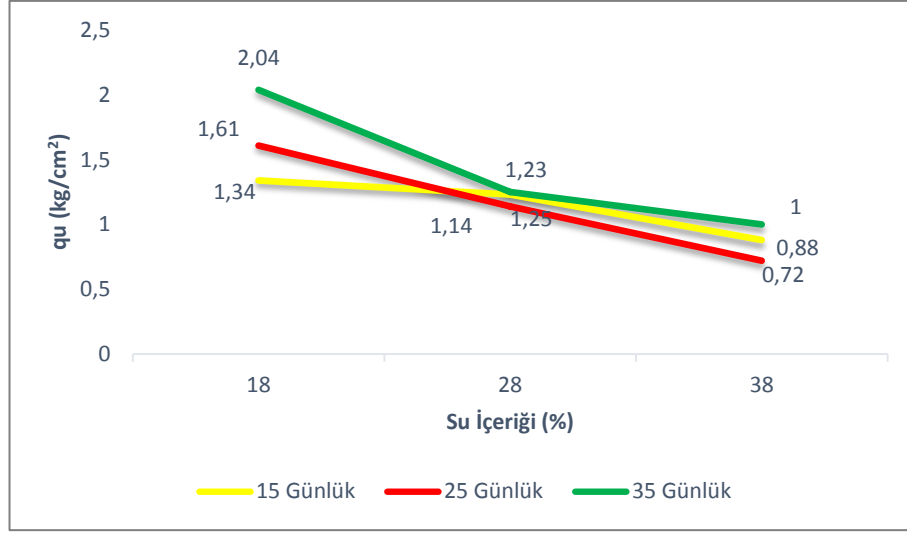




Şekil 3.4. Su içeriğine bağlı olarak ( $q_u$ )'daki değişim (8 kg yük altında 15, 25 ve 35 gün bekleyen %70 kil %30 kum numuneler).

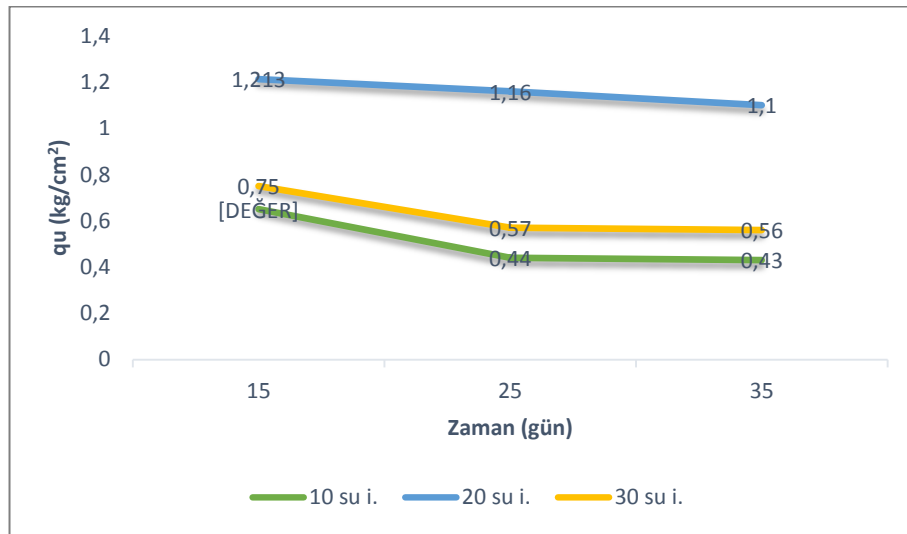


Şekil 3.5. Su içeriğine bağlı olarak ( $q_u$ )'daki değişim (16 kg yük altında 15, 25 ve 35 gün bekleyen %70 kil %30 kum numuneler).

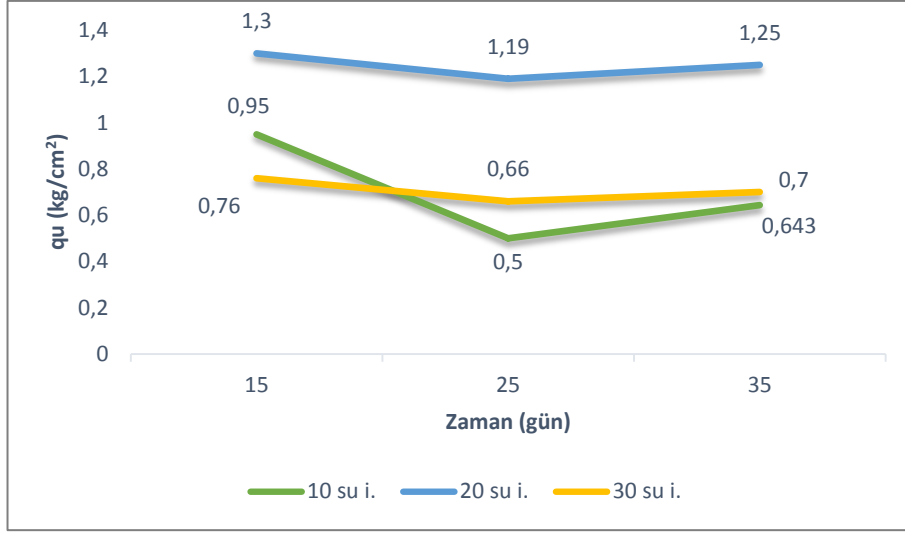


Şekil 3.6. Su içeriğine bağlı olarak ( $q_u$ )'daki değişim (24 kg yük altında 15, 25 ve 35 gün bekleyen %70 kil %30 kum numuneler).

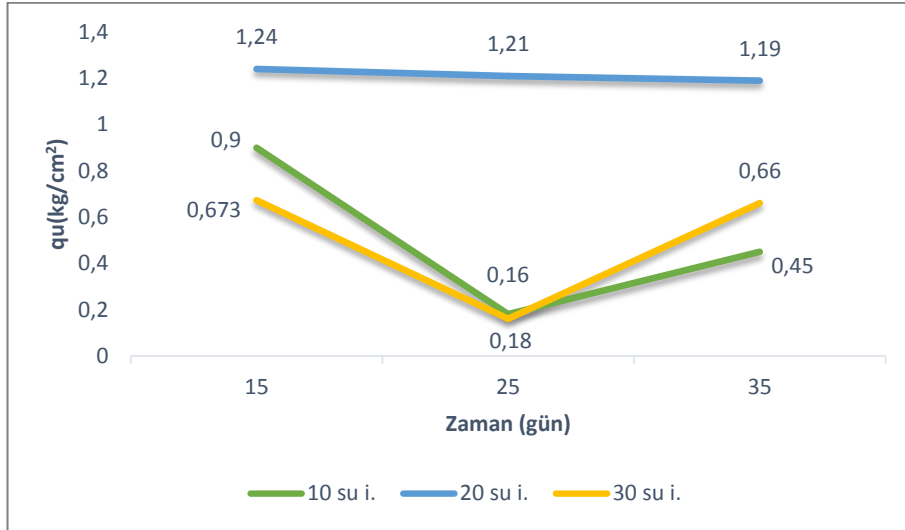
Farklı su içeriklerindeki numunelere 8,16 ve 24 kg olarak uygulanan yükün süresine bağlı olarak numunelerin dayanımlarındaki değişim incelenmiştir. Buna göre %70 kum %30 kil karışımlarındaki değişiklikler Şekil 3.7, Şekil 3.8 ve Şekil 3.9'da verilmiştir. Şekiller incelendiğinde %70 kum %30 kil karışımı zemin numunelerinde her ne kadar 25. güne kadar keskin bir azalma olup sonrasında gerilmelerde artışlar söz konusu olsa da bu artış 15. gün değerlerine ulaşmamaktadır. Serbest basınç dayanımının en yüksek değerini 15. günde aldığını söyleyebiliriz.



Şekil 3.7. Zamana bağlı olarak ( $q_u$ )'daki değişim (8 kg yük altında 10,20 ve 30 su içeriğinde bekleyen %70 kum %30 kil numuneler).

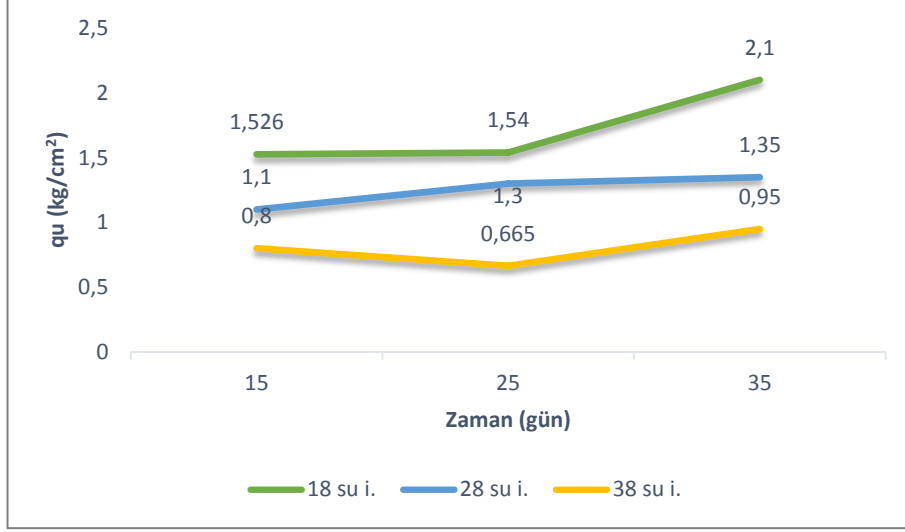


Şekil 3.8. Zamana bağlı olarak ( $q_u$ )’daki değişim (16 kg yük altında 10,20 ve 30 su içeriğinde bekleyen %70 kum %30 kil numuneler).

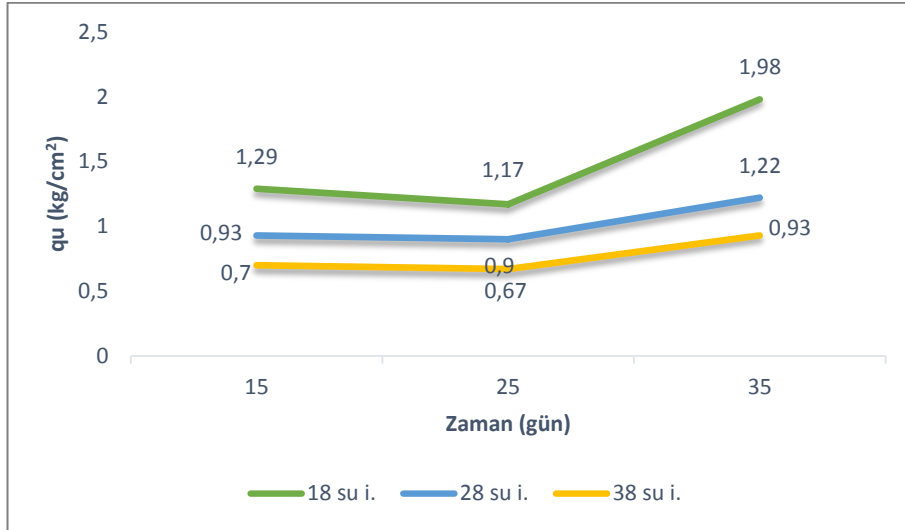


Şekil 3.9. Zamana bağlı olarak ( $q_u$ )’daki değişim (24 kg yük altında 10,20 ve 30 su içeriğinde bekleyen %70 kum %30 kil numuneler).

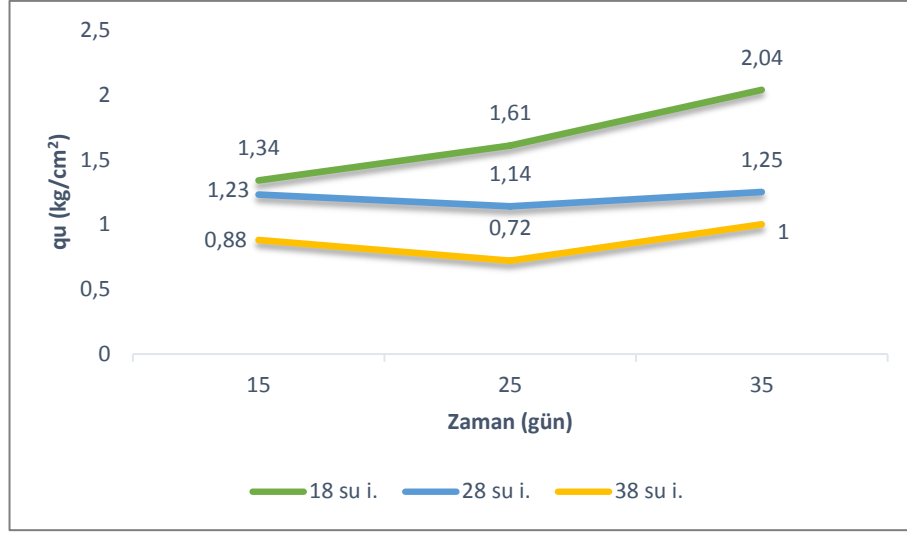
%70 kil %30 kum karışım zeminleri için elde edilen veriler ise değişikler Şekil 3.10, Şekil 3.11 ve Şekil 3.12’de verilmiştir. %70 kil %30 kum karışım örneklerinin deney sonuçlarını gösteren şekiller detaylı incelendiğinde ise kum ağırlıklı zeminlerin aksine uygulanan gerilme süresi dayanımı bariz bir şekilde artmıştır. Şekillerden yola çıkarak tüm gerilme koşullarında ve bütün su içeriklerinde uygulanan sürenin zeminlerin dayanımında olumlu bir etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 3.10. Zamana bağlı olarak (qu)'daki değişim (8 kg yük altında 18, 28 ve 38 su içeriğinde bekleyen %70 kil %30 kum numuneler).



Şekil 3.11. Zamana bağlı olarak (qu)'daki değişim (16 kg yük altında 18, 28 ve 38 su içeriğinde bekleyen %70 kil %30 kum numuneler).



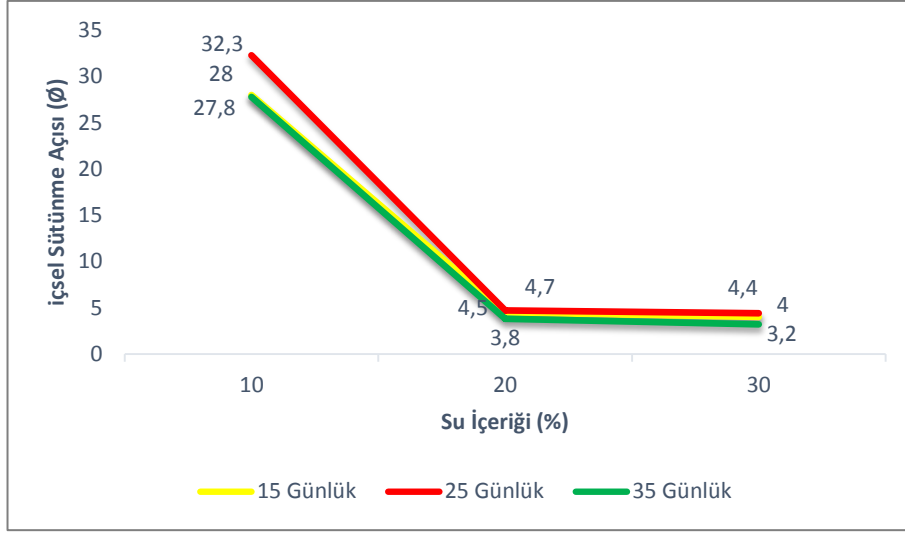
Şekil 3.12. Zamana bağlı olarak ( $q_u$ )’daki değişim (24 kg yük altında 18, 28 ve 38 su içeriğinde bekleyen %70 kil %30 kum numuneler).

### 3.1.2. Kesme Kutusu Deneyi

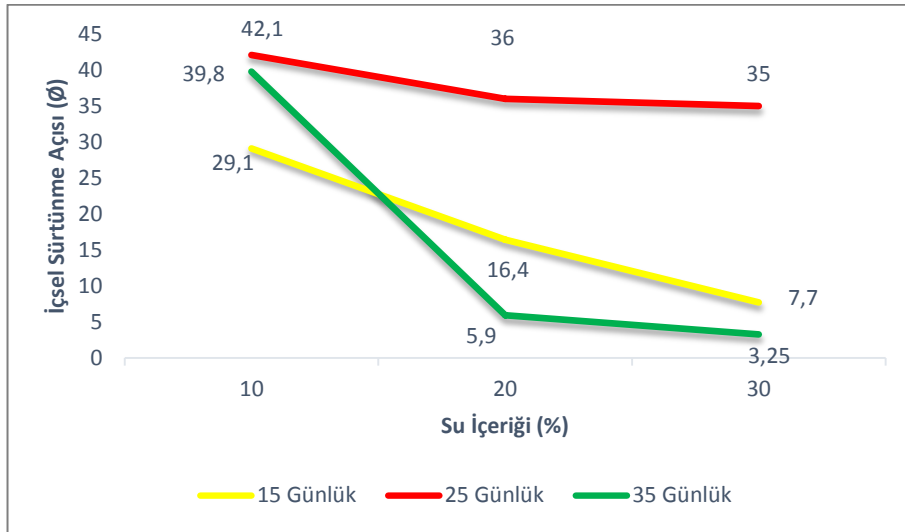
Bu tez kapsamında irdenilen faktörlerin farklı özelliklerdeki zeminlerin kohezyon ve içsel sürtünme açılarına olan etkilerinin nasıl olacağı konusunda değerlendirmeler yapılmış ve elde edilen bulgular aşağıdaki başlıklarda verilmiştir.

#### 3.1.2.1. İçsel Sürtünme Açısı Değerleri

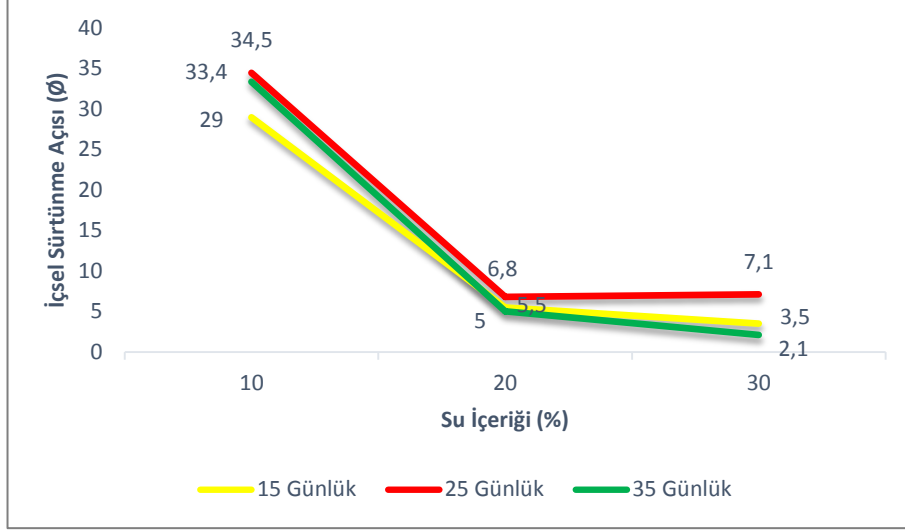
Öncelikle 8, 16 ve 24 kg yük altında sırayla 15, 25 ve 35 gün bekletilen %70 kum %30 kil karışımların su içeriklerine bağlı olarak içsel sürtünme açılarındaki değişiklikler Şekil 3.13, Şekil 3.14 ve Şekil 3.15’de verilmektedir. Bu şekillere bakıldığında tüm gerilme şartlarında %10 su içeriğindeki değerler %20 ve %30 su içeriklerine göre daha fazladır. Şekiller genel itibariyle yorumlandığında içsel sürtünme açılarının su içeriğinden olumsuz etkilenerek önce keskin bir azalma gösterdiği ve sonrasında sabitlendiği görülmektedir. Elde edilen sonuçların literatürdeki içsel sürtünme açısı ile yapılan çalışmalarla benzerlik gösterdiğini söyleyebiliriz.



Şekil 3.13. Su içeriğine bağlı olarak içsel sürtünme açısındaki değişim (8 kg yük altında 15, 25 ve 35 gün bekleyen %70 kum %30 kil numuneler).

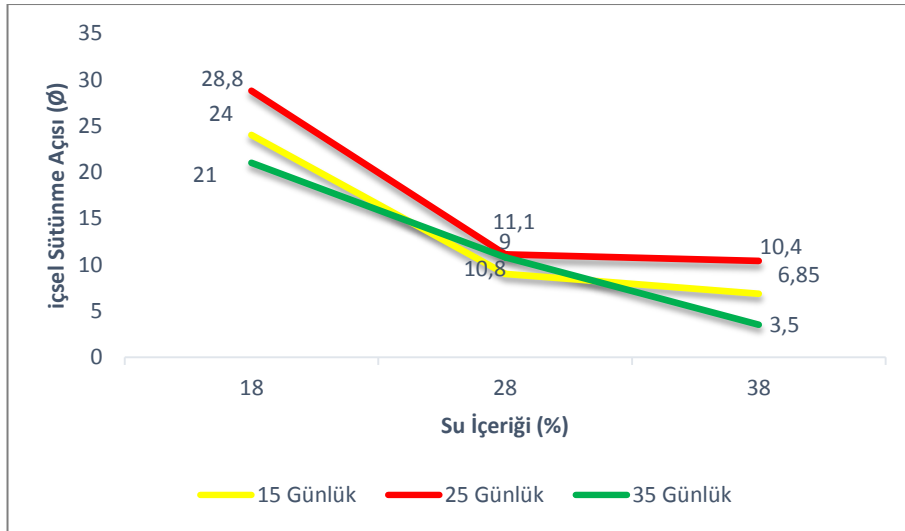


Şekil 3.14. Su içeriğine bağlı olarak içsel sürtünme açısındaki değişim (16 kg yük altında 15, 25 ve 35 gün bekleyen %70 kum %30 kil numuneler).

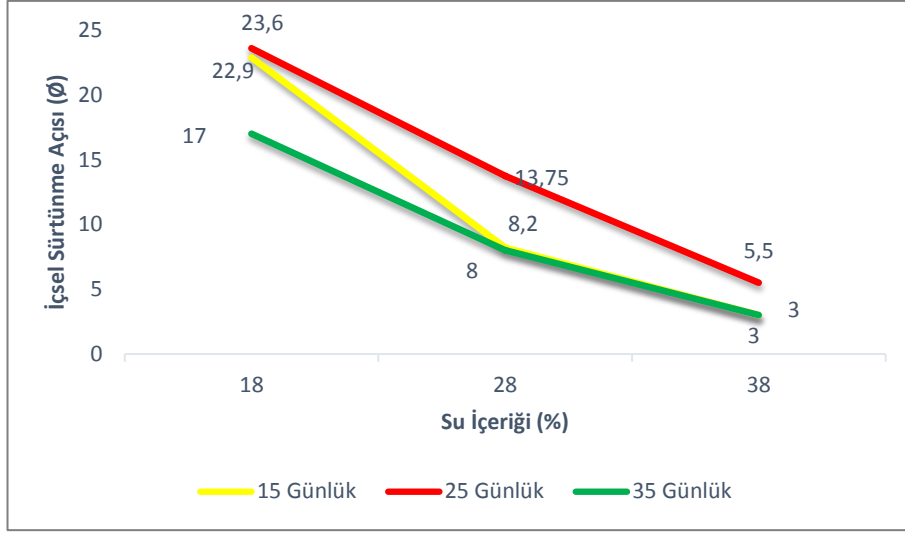


Şekil 3.15. Su içeriğine bağlı olarak içsel sürtünme açısındaki değişim (24 kg yük altında 15, 25 ve 35 gün bekleyen %70 kum %30 kil numuneler).

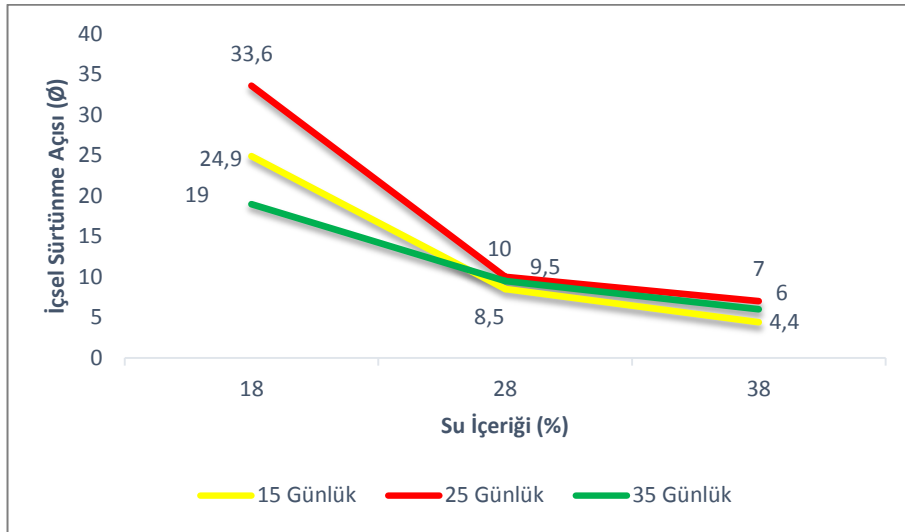
%70 kil %30 kum karışımlar içinde deneyler yapılarak elde edilen veriler Şekil 3.16, Şekil 3.17 ve Şekil 3.18’de sunulmuştur. Şekillere toplu olarak baktığımızda kum ağırlıklı karışımlarda görüldüğü gibi kil ağırlıklı karışımlarda da içsel sürtünme açısı değerlerinde tüm gerilme koşullarında optimum su içeriğine kadar keskin bir azalma olduğu, optimum su içeriğinden sonra da sabit bir değer aldığı görülmektedir.



Şekil 3.16. Su içeriğine bağlı olarak içsel sürtünme açısındaki değişim (8 kg yük altında 15, 25 ve 35 gün bekleyen %70 kil %30 kum numuneler).



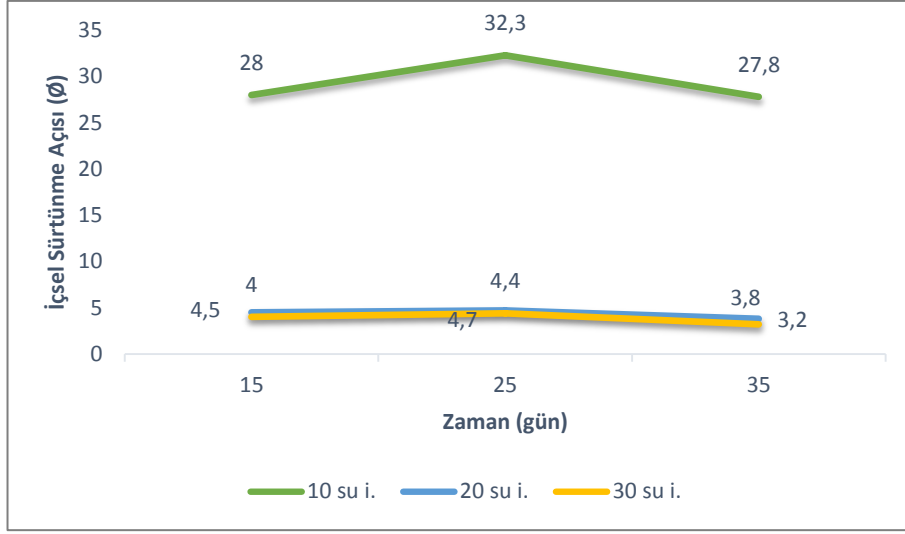
Şekil 3.17. Su içeriğine bağlı olarak içsel sürtünme açısındaki değişim (16 kg yük altında 15, 25 ve 35 gün bekleyen %70 kil %30 kum numuneler).



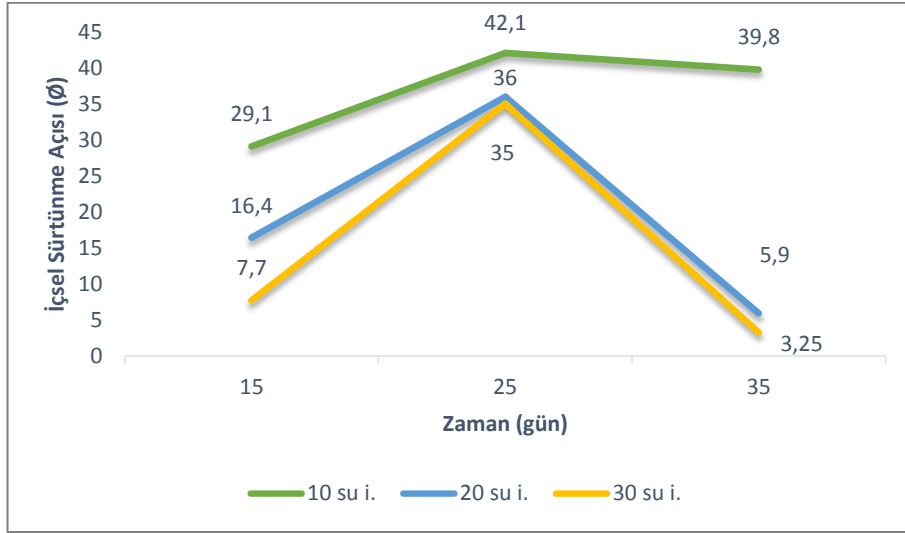
Şekil 3.18. Su içeriğine bağlı olarak içsel sürtünme açısındaki değişim (24 kg yük altında 15, 25 ve 35 gün bekleyen %70 kil %30 kum numuneler).

8, 16 ve 24 kg ağırlıklar ile yüklenmiş farklı su içeriklerindeki %70 kum %30 kil karışımların içsel sürtünme açılarına zaman faktörünün etkisi incelenerek değişimler Şekil 3.19, Şekil 3.20 ve Şekil 3.21’de verilmiştir. Bu değişimlere bakıldığında en yüksek içsel sürtünme açısı değeri 25. güne kadar yüklenen koşul için ortaya çıkmıştır. 25. günden daha fazla bekletildiğinde ise içsel sürtünme açısı değerlerinde bir düşüş meydana geldiği görülmektedir.

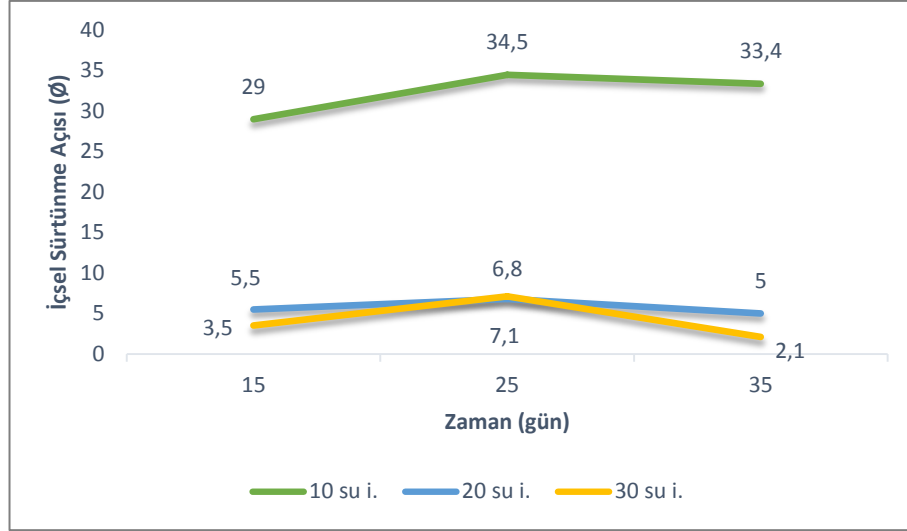




Şekil 3.19. Zamana bağlı olarak içsel sürtünme açısındaki değişim (8 kg yük altında 10, 20 ve 30 su içeriklerinde bekleyen %70 kum %30 kil numuneler).

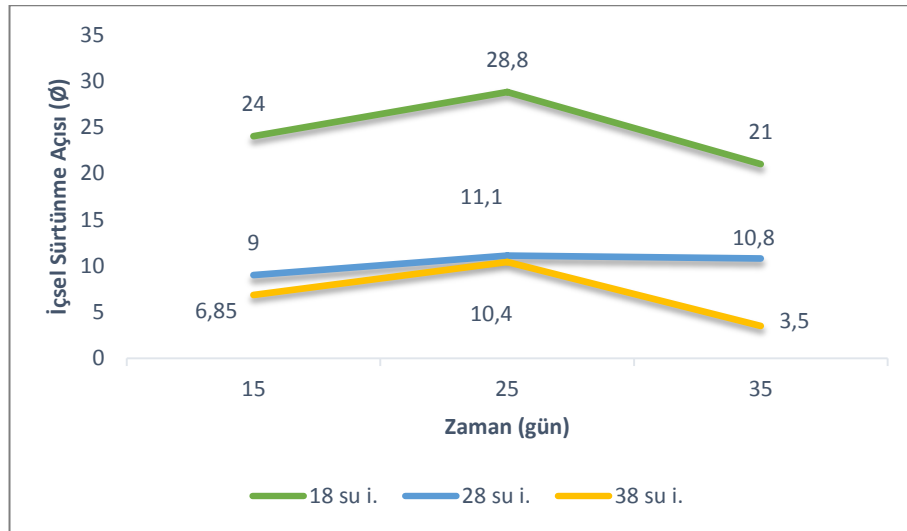


Şekil 3.20. Zamana bağlı olarak içsel sürtünme açısındaki değişim (16 kg yük altında 10, 20 ve 30 su içeriklerinde bekleyen %70 kum %30 kil numuneler).

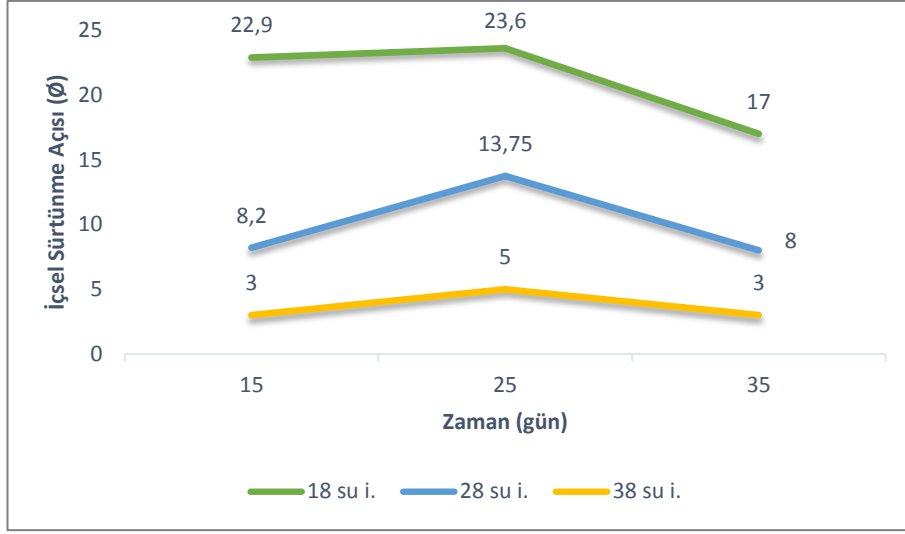


Şekil 3.21. Zamana bağlı olarak içsel sürtünme açısındaki değişim (24 kg yük altında 10, 20 ve 30 su içeriklerinde bekleyen %70 kum %30 kil numuneler).

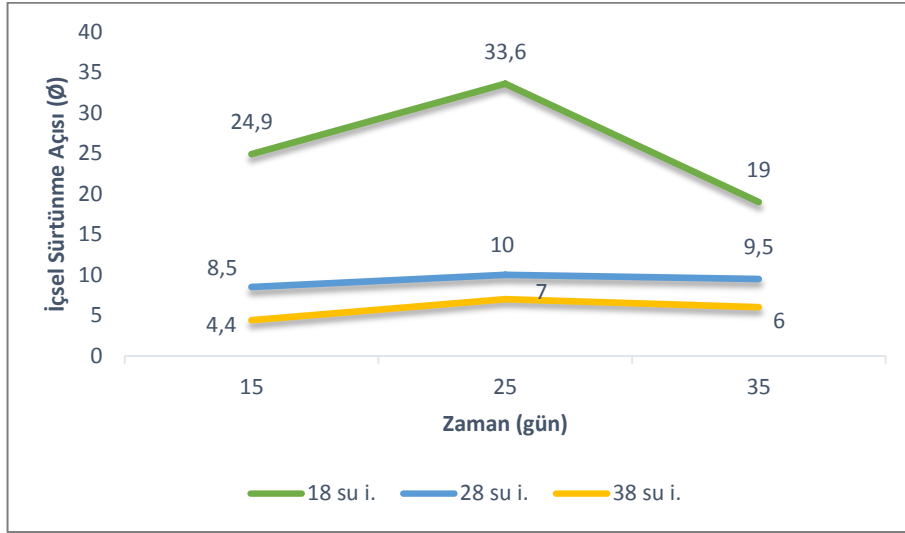
%70 kil %30 kum numuneleri benzer koşullarda deneye tutularak elde edilen veriler Şekil 3.22, Şekil 3.23 ve Şekil 3.24’de sunulmuştur. Bu şekiller incelendiğinde kum ağırlıklı zeminlerdekine benzer olarak en yüksek değeri 25. günde aldığı gözlenmiştir. Aynı yük altında farklı su içeriklerindeki numunelerin içsel sürtünme açısı değerleri incelendiğinde ise optimum değer in %18 su içeriğinde olduğu görülmektedir.



Şekil 3.22. Zamana bağlı olarak içsel sürtünme açısındaki değişim (8 kg yük altında 18, 28 ve 38 su içeriklerinde bekleyen %70 kil %30 kum numuneler).



Şekil 3.23. Zamana bağlı olarak içsel sürtünme açısındaki değişim (16 kg yük altında 18, 28 ve 38 su içeriklerinde bekleyen %70 kil %30 kum numuneler).

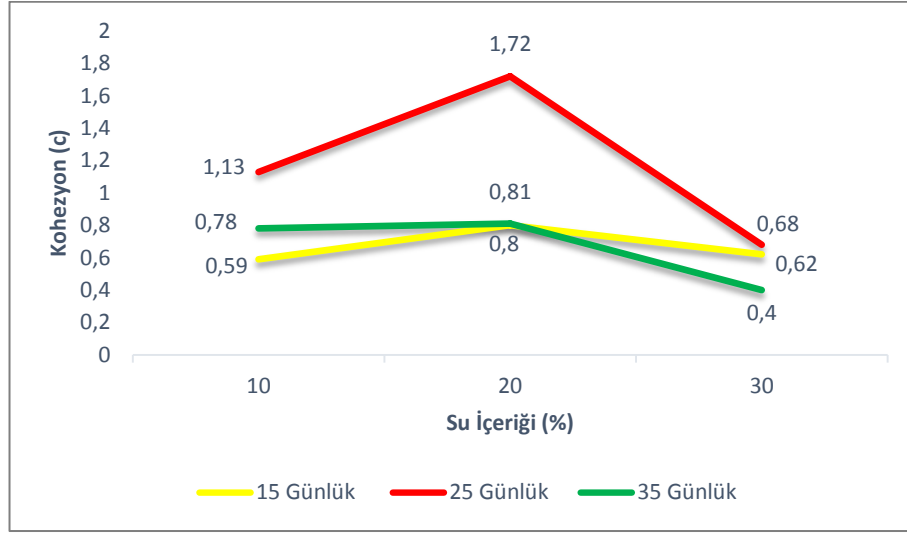


Şekil 3.24. Zamana bağlı olarak içsel sürtünme açısındaki değişim (24 kg yük altında 18, 28 ve 38 su içeriklerinde bekleyen %70 kil %30 kum numuneler).

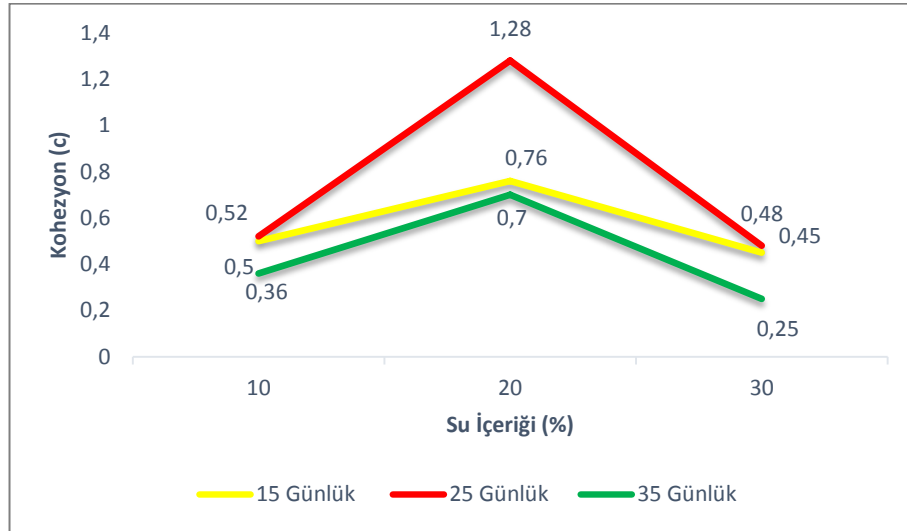
### 3.1.2.2. Kohezyon Değerleri

Kohezyon zemin dayanımı açısından oldukça önemli bir parametre olup zeminlerin maruz kaldığı gerilme şartlarının bu parametreye etkilerinin belirlenmesi önemlidir. Laboratuvar koşullarındaki 8, 16 ve 24 kg yük altında sırayla 15, 25 ve 35 gün bekletilen %70 kum %30 kil zemin karışımlarının su içeriklerine bağlı olarak kohezyonlarındaki değişiklikler Şekil 3.25, Şekil 3.26 ve Şekil 3.27'deki grafikler ile

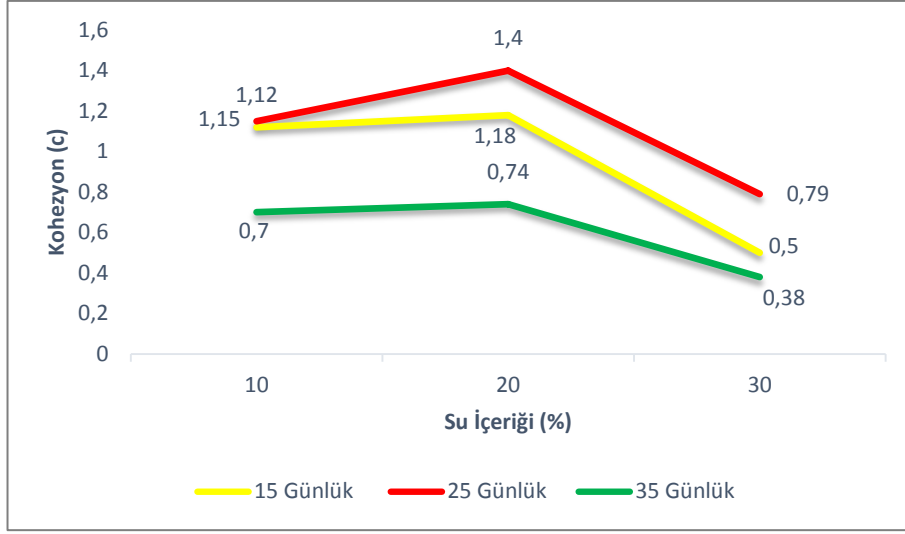
irdelenmiştir. Bu şekiller yorumlandığında gerilme altındaki zeminler tüm bekleme sürelerinde optimum su içeriğine kadar kohezyonunu arttırmakta, optimumdan yüksek su içeriğinde ise kohezyonunu azaltmaktadır.



Şekil 3.25. Su içeriğine bağlı olarak kohezyondaki değişim (8 kg yük altında 15, 25 ve 35 gün bekleyen %70 kum %30 kil numuneler).

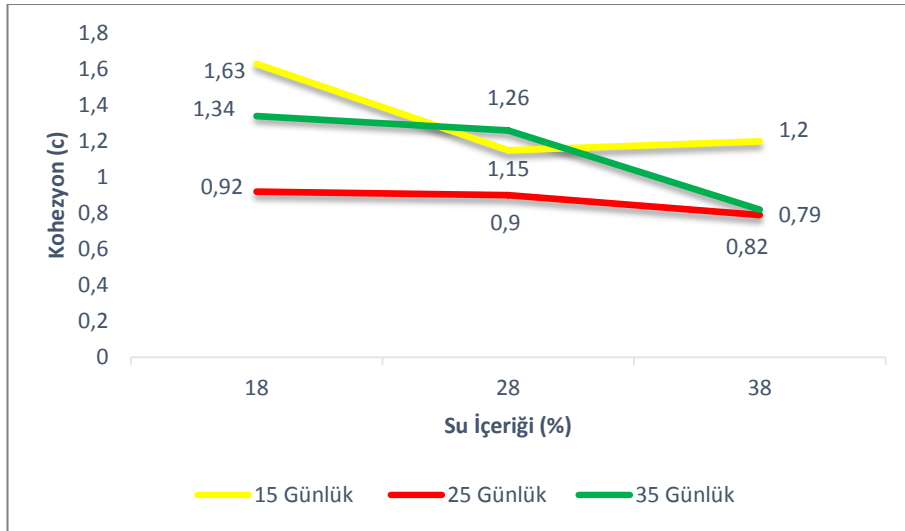


Şekil 3.26. Su içeriğine bağlı olarak kohezyondaki değişim (16 kg yük altında 15, 25 ve 35 gün bekleyen %70 kum %30 kil numuneler).

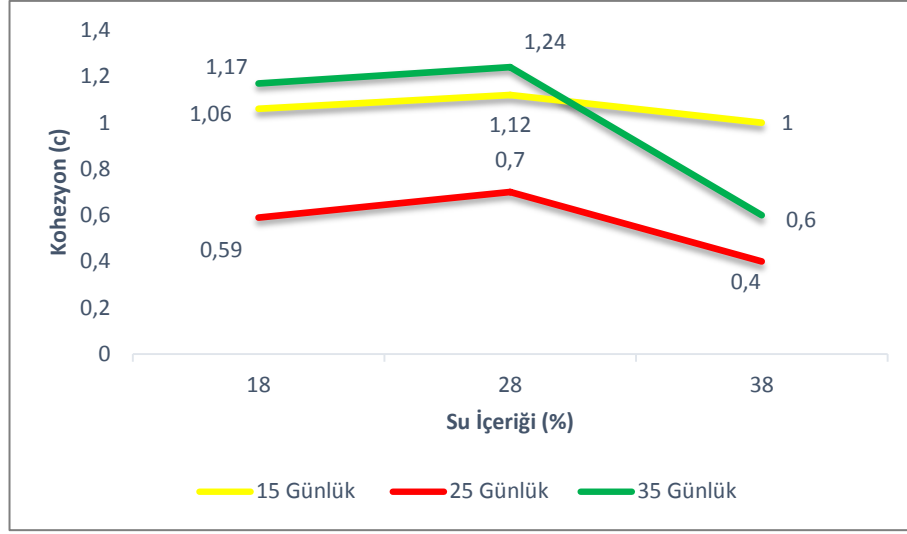


Şekil 3.27. Su içeriğine bağlı olarak kohezyondaki değişim (24 kg yük altında 15, 25 ve 35 gün bekleyen %70 kum %30 kil numuneler).

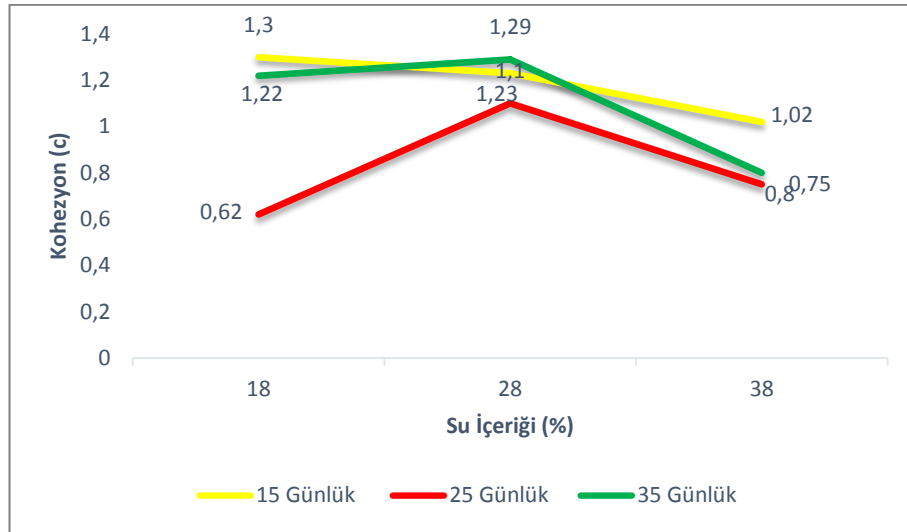
8, 16 ve 24 kg yük altında farklı su içeriklerine sırayla 15, 25 ve 35 gün bekletilen %70 kil %30 kum karışımlarının kohezyonlarındaki değişiklikler Şekil 3.28, Şekil 3.29 ve Şekil 3.30'daki grafiklerde verilmektedir. Bu grafiklerin çoğunluğunda kohezyonun %28 su içeriğine kadar artıp sonra azaldığı ve %18 su içeriğindeki kohezyon değerlerinin daima %38 su içeriklerinden fazla olduğunu söyleyebiliriz.



Şekil 3.28. Su içeriğine bağlı olarak kohezyondaki değişim (8 kg yük altında 15, 25 ve 35 gün bekleyen %70 kil %30 kum numuneler).

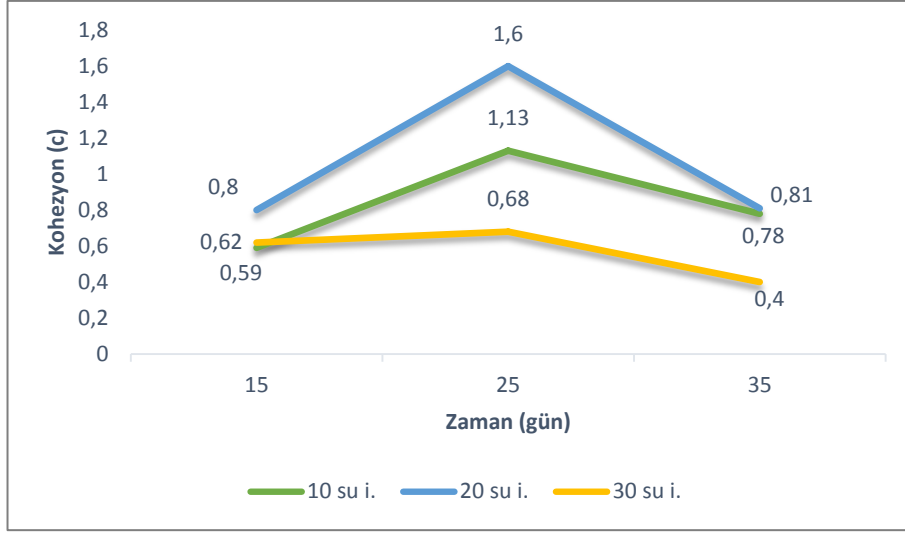


Şekil 3.29. Su içeriğine bağlı olarak kohezyondaki değişim (16 kg yük altında 15, 25 ve 35 gün bekleyen %70 kil %30 kum numuneler).

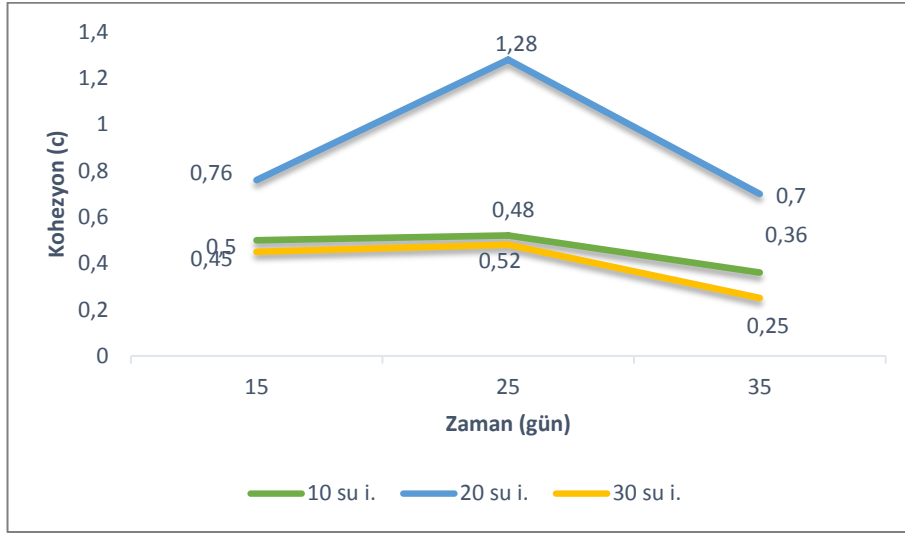


Şekil 3.30. Su içeriğine bağlı olarak kohezyondaki değişim (24 kg yük altında 15, 25 ve 35 gün bekleyen %70 kil %30 kum numuneler).

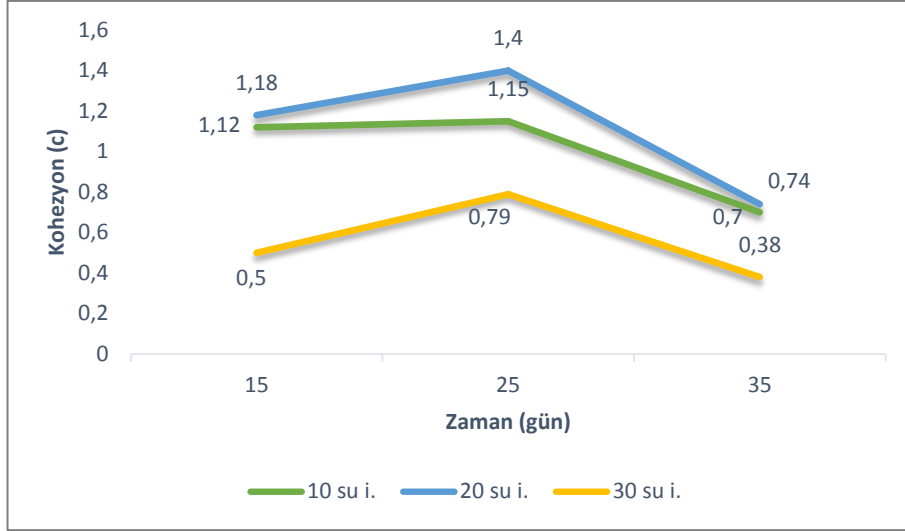
%10, %20 ve %30 su içeriğindeki %70 kum %30 kil numunelerinin zamana bağlı olarak kohezyon üzerindeki etkisi Şekil 3.31, Şekil 3.32 ve Şekil 3.33’de verilmiştir. Şekiller detaylıca incelendiğinde kohezyonda tüm yüklemelerde 25. güne kadar genel bir artış söz konusu iken sonrasında azalmalar meydana gelmektedir. Bu durumun sebebi zeminin 25 güne kadar sıkıştığı sonrasında ise yük altında yoğrulma ile dayanımını kaybetmiş olmasıdır.



Şekil 3.31. Zamana bağlı olarak kohezyondaki değişim (8 kg yük altında 10, 20 ve 30 su içeriklerinde bekleyen %70 kum %30 kil numuneler).

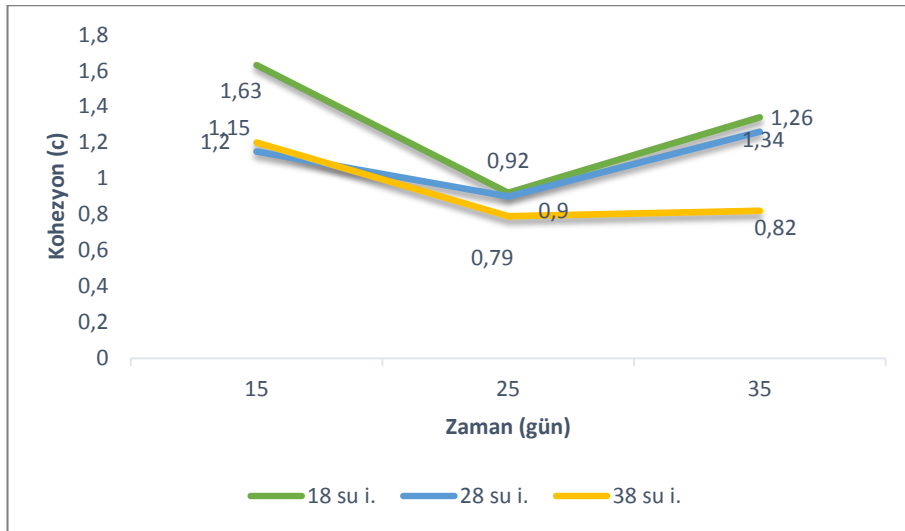


Şekil 3.32. Zamana bağlı olarak kohezyondaki değişim (16 kg yük altında 10, 20 ve 30 su içeriklerinde bekleyen %70 kum %30 kil numuneler).



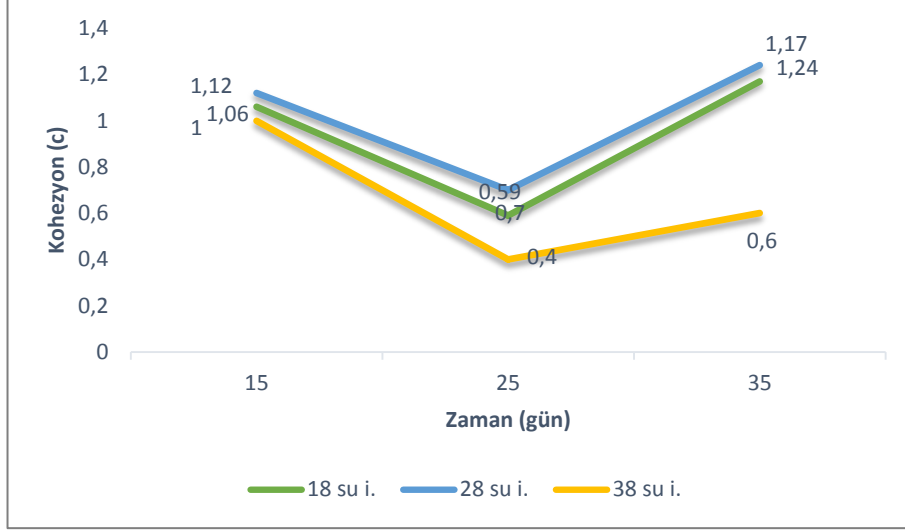
Şekil 3.33. Zamana bağlı olarak kohezyondaki değişim (24 kg yük altında 10, 20 ve 30 su içeriklerinde bekleyen %70 kum %30 kil numuneler).

Farklı yükleme durumlarındaki %70 kil %30 kum numunelerin tüm su içeriklerine baktığımızda zaman etkisinin kohezyon değerlerini 25. güne kadar azalttığını sonrasında ise arttığını söyleyebiliriz (Şekil 3.34, Şekil 3.35 ve Şekil 3.36). Bu incelemelerden yola çıkarak kum ağırlıklı zemin numuneleri ile kil ağırlıklı zemin numunelerinde kohezyonunun farklı değişimler gösterdiği ve zemin türünde mühendislik özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu gözlenmiştir.

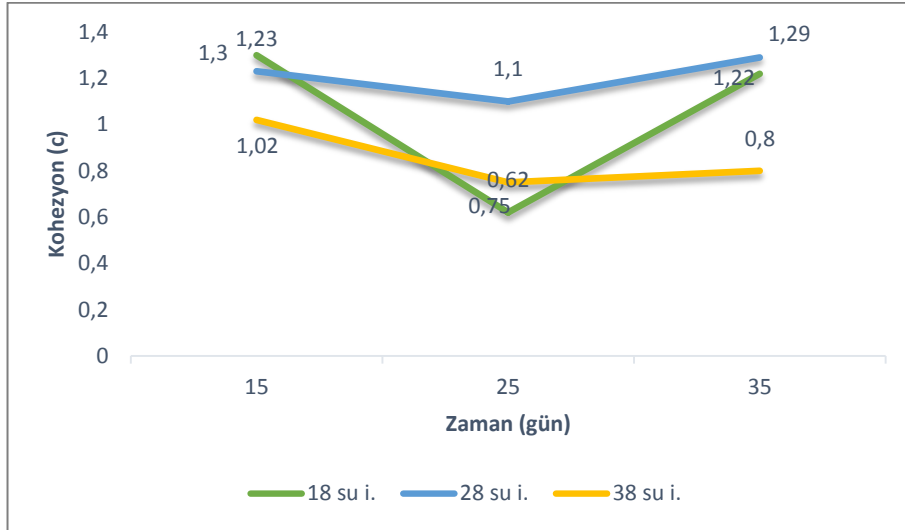


Şekil 3.34. Zamana bağlı olarak kohezyondaki değişim (8 kg yük altında 18, 28 ve 38 su içeriklerinde bekleyen %70 kil %30 kum numuneler).





Şekil 3.35. Zamana bağlı olarak kohezyondaki değişim (16 kg yük altında 18, 28 ve 38 su içeriklerinde bekleyen %70 kil %30 kum numuneler).



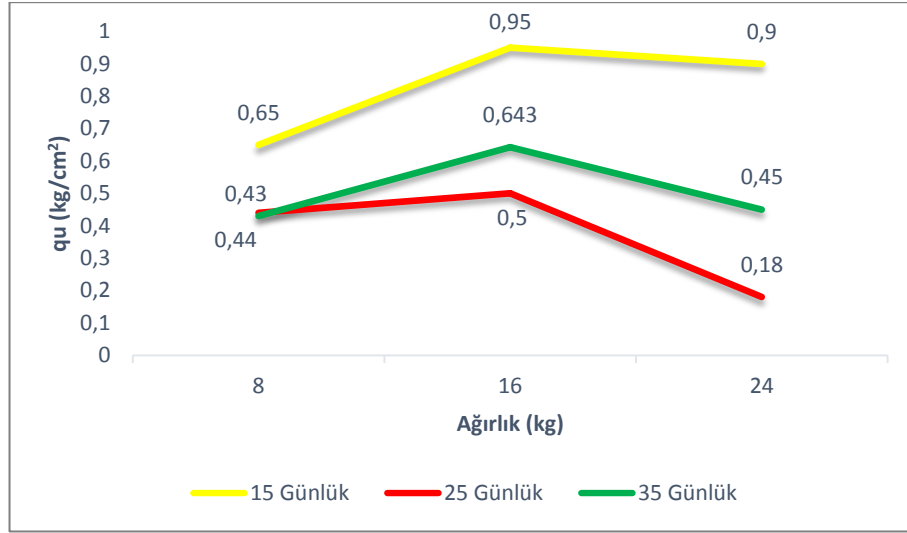
Şekil 3.36. Zamana bağlı olarak kohezyondaki değişim (24 kg yük altında 18, 28 ve 38 su içeriklerinde bekleyen %70 kil %30 kum numuneler).

## 3.2. GERİLME KOŞULLARININ ETKİSİ

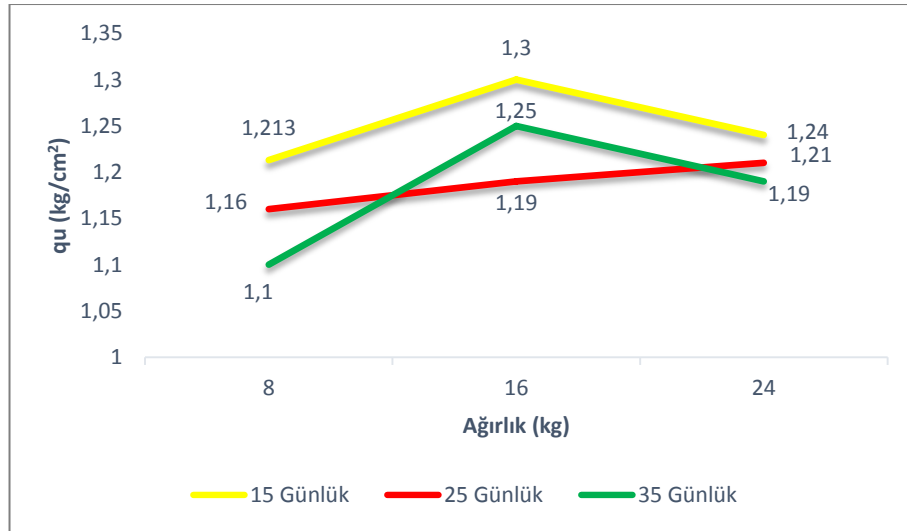
### 3.2.1. Serbest Basınç Deneyi

Gerilme koşullarının zemin dayanımına etkisi öncelikle % 70 kum %30 kil karışımli numuneler için tartışılmıştır. Bu kapsamda aynı su içeriğinde farklı zamanlarda sırasıyla 8, 16 ve 24 kg yük altında bekleyen numunelerin dayanımlarındaki

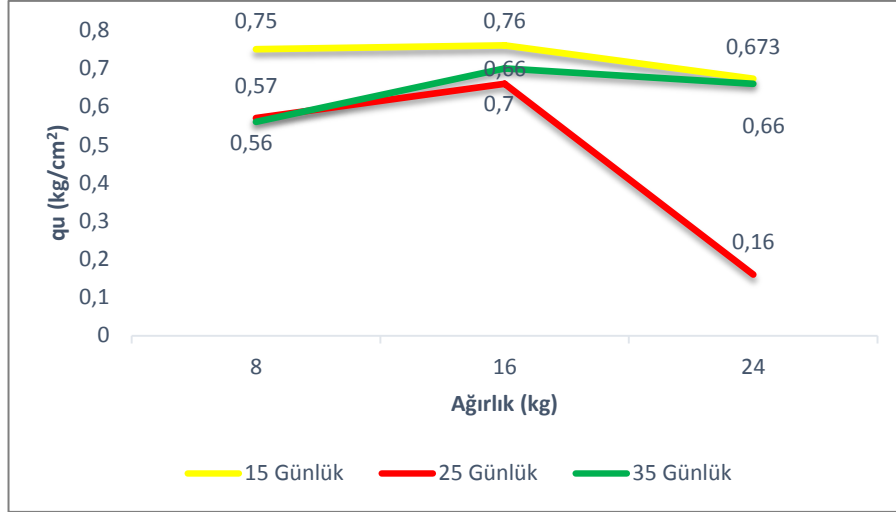
değişiklikler Şekil 3.37, Şekil 3.38 ve Şekil 3.39’da sunulmuş olup bu şekiller genel olarak gerilmelerin 16 kg’a artması  $q_u$  değerlerinde artmaya sebep olduğunu, ancak 16 kg ağırlıktan sonra  $q_u$  değerlerinde azalmaya sebep olduğunu göstermektedir. Ayrıca en yüksek serbest basınç dayanım değerini 16 kg ağırlıkta aldığını söyleyebiliriz.



Şekil 3.37. Gerilmeye bağlı olarak ( $q_u$ )’daki değişim (%10 su içeriğinde 15, 25 ve 35 gün bekleyen %70 kum %30 kil numuneler).

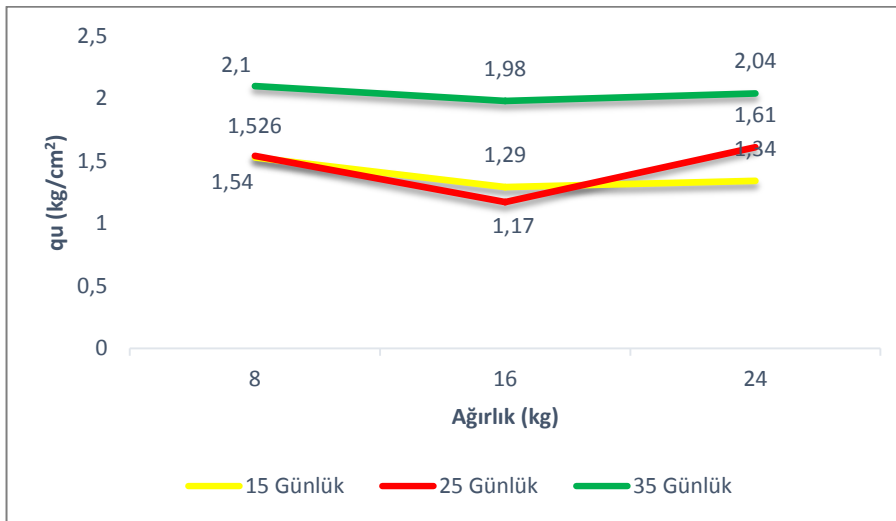


Şekil 3.38. Gerilmeye bağlı olarak ( $q_u$ )’daki değişim (%20 su içeriğinde 15, 25 ve 35 gün bekleyen %70 kum %30 kil numuneler).

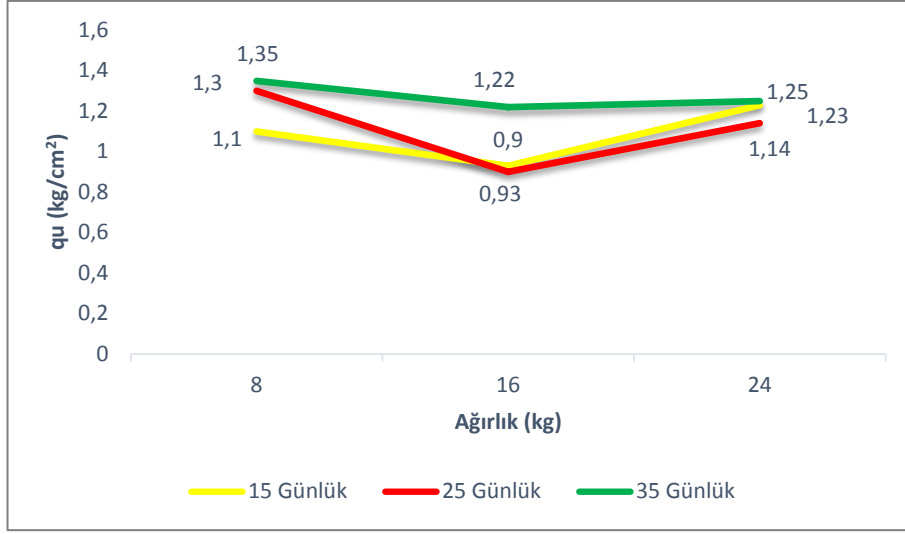


Şekil 3.39. Gerilmeye bağlı olarak ( $q_u$ )'daki değişim (%30 su içeriğinde 15, 25 ve 35 gün bekleyen %70 kum %30 kil numuneler).

%70 kil %30 kum karışımlarının %18, %28 ve %38 su içeriğinde farklı zamanlarda farklı gerilme altındaki dayanımlarındaki değişiklikler aşağıda Şekil 3.40, Şekil 3.41 ve Şekil 3.42'de verilmiştir. Bu şekilleri yorumladığımızda genel olarak 16 kg ağırlığına kadar dayanımlarında belirli bir azalış meydana geldiği bu ağırlıktan sonra ise yeniden artışlar meydana geldiği görülmektedir. Kum ağırlıklı numunelerde 16 kg'da en yüksek serbest basınç dayanım değerine rastlanırken kil ağırlıklı numunelerde bu durumdan farklı olarak 16 kg'da en düşük serbest basınç değerine rastlanmaktadır.



Şekil 3.40. Gerilmeye bağlı olarak ( $q_u$ )'daki değişim (%18 su içeriğinde 15, 25 ve 35 gün bekleyen %70 kil %30 kum numuneler).

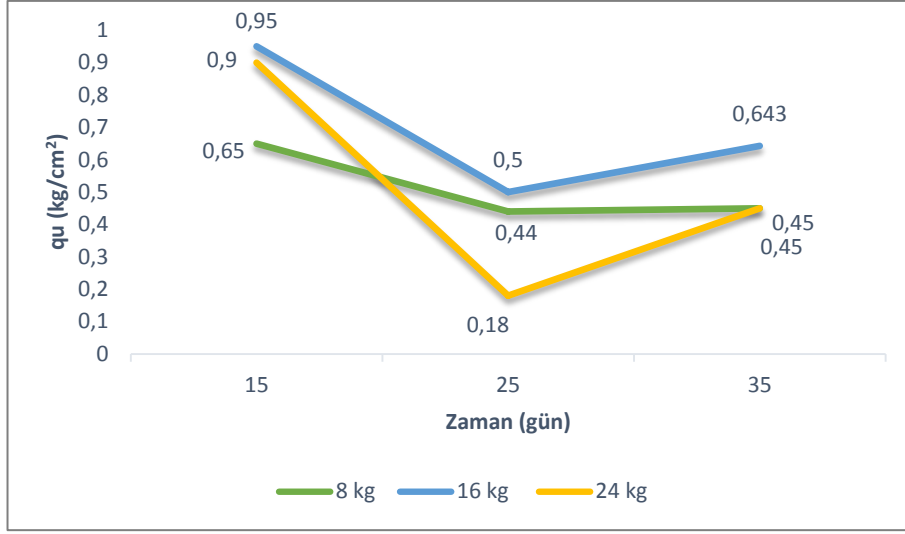


Şekil 3.41. Gerilmeye bağlı olarak ( $q_u$ )'daki değişim (%28 su içeriğinde 15, 25 ve 35 gün bekleyen %70 kil %30 kum numuneler).

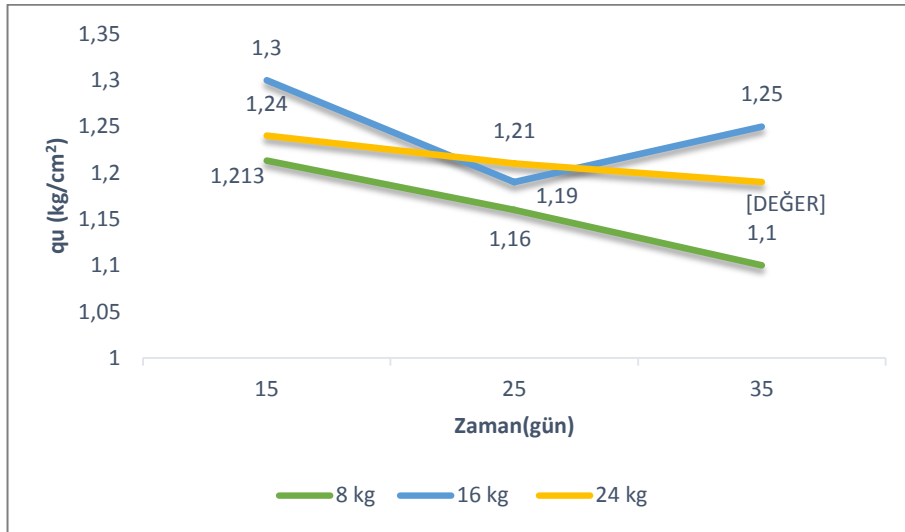


Şekil 3.42. Gerilmeye bağlı olarak ( $q_u$ )'daki değişim (%38 su içeriğinde 15, 25 ve 35 gün bekleyen %70 kil %30 kum numuneler).

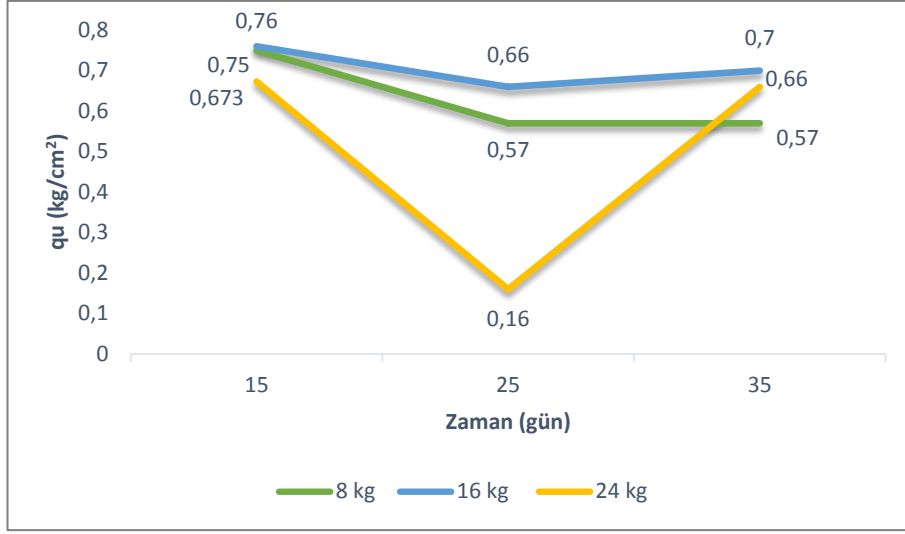
8, 16 ve 24 kg yük altında sırasıyla 15 ,25 ve 35 gün boyunca aynı su içeriğinde bekletilen %70 kum %30 kil karışımlarına baktığımızda dayanımlarında 25. güne kadar önce bir düşüş sonra ise bir artma olduğu yada 25. günden sonra değerlerin sabitlendiği incelenmiştir. Bu dayanım durumlarındaki değişim tüm su içeriklerindeki karışımlar için aynı şekilde gerçekleşmiştir (Şekil 3.43, Şekil 3.44 ve Şekil 45).



Şekil 3.43. Zamana bağlı olarak (qu)'daki değişim (%10 su içeriğinde 8, 16 ve 24 kg yük altında bekleyen %70 kum %30 kil numuneler).

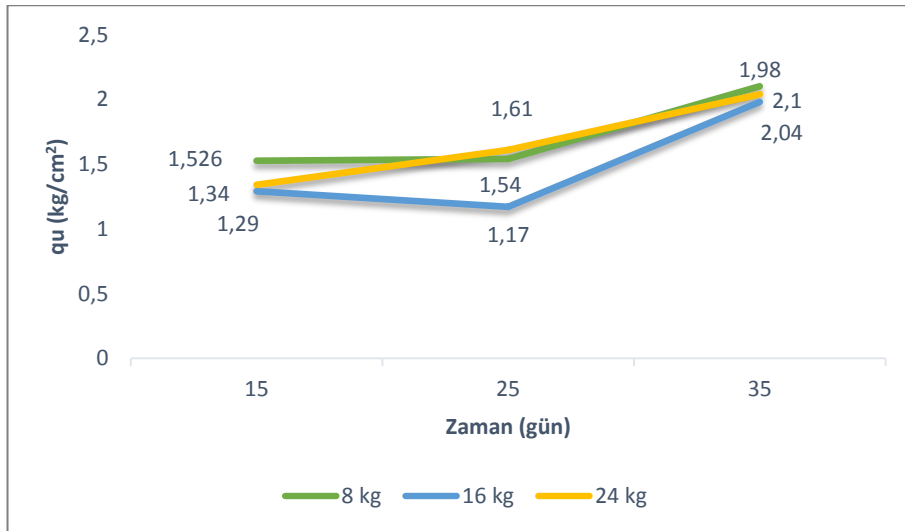


Şekil 3.44. Zamana bağlı olarak (qu)'daki değişim (%20 su içeriğinde 8, 16 ve 24 kg yük altında bekleyen %70 kum %30 kil numuneler).

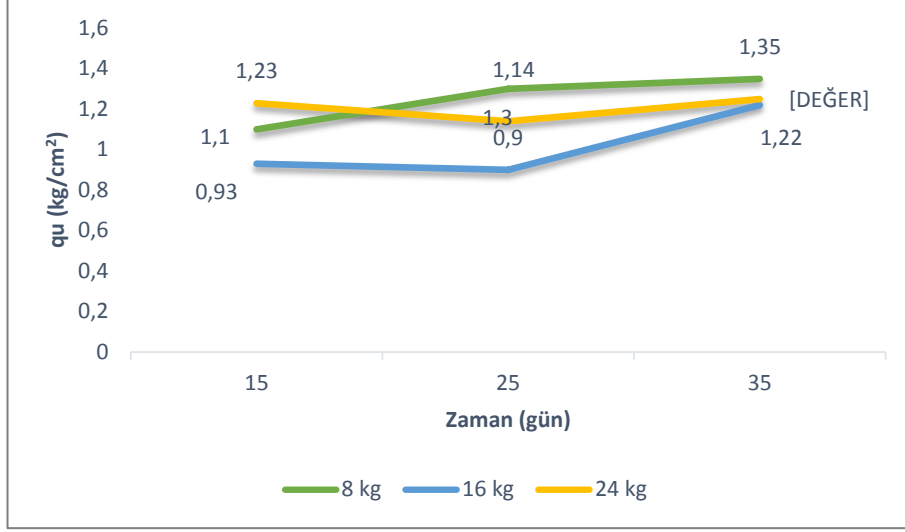


Şekil 3.45. Zamana bağlı olarak ( $q_u$ )'daki değişim (%30 su içeriğinde 8, 16 ve 24 kg yük altında bekleyen %70 kum %30 kil numuneler).

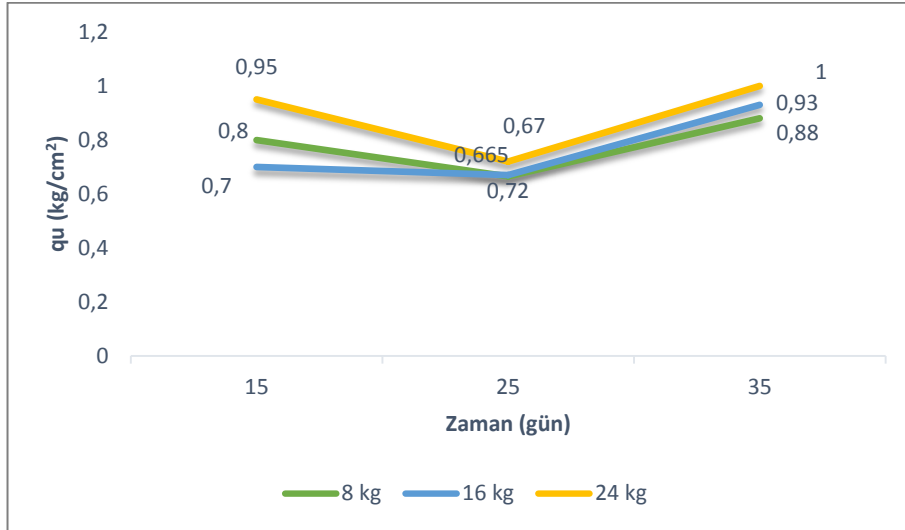
%18, %28 ve %38 su içeriklerindeki farklı yükleme koşulları altında 15, 25 ve 35 gün bekleme süresine maruz kalan %70 kil %30 kum zemin karışımlarının dayanımlarındaki değişiklikler aşağıda Şekil 3.46, Şekil 3.47 ve Şekil 3.48'de verilmiştir. Bu şekilleri yorumladığımızda çoğunlukla 25. güne kadar numunelerin dayanımları azalmış, bu günden sonra artmış gözükse de genel olarak ilk bekleme süresindeki durumuna göre dayanımları son bekleme süresinde hep daha fazladır.



Şekil 3.46. Zamana bağlı olarak ( $q_u$ )'daki değişim (%18 su içeriğinde 8, 16 ve 24 kg yük altında bekleyen %70 kil %30 kum numuneler).



Şekil 3.47. Zamana bağlı olarak ( $q_u$ )'daki değişim (%28 su içeriğinde 8, 16 ve 24 kg yük altında bekleyen %70 kil %30 kum numuneler).



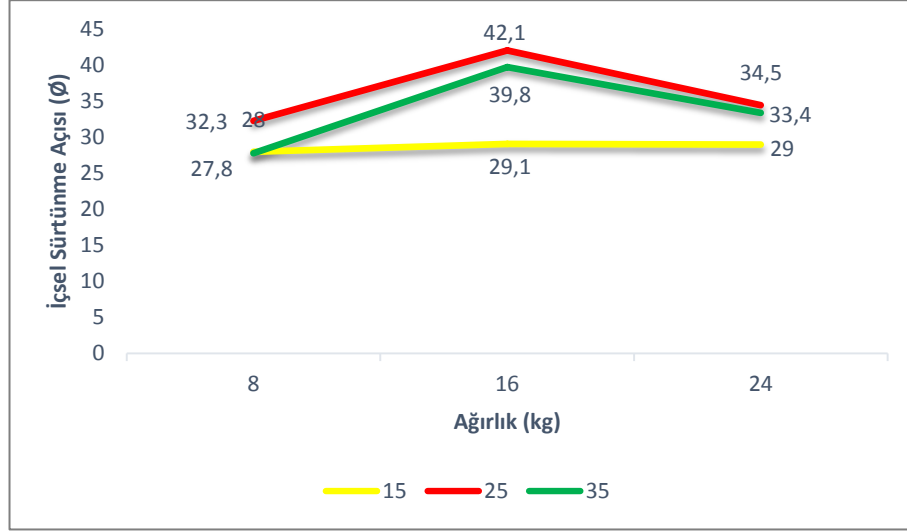
Şekil 3.48. Zamana bağlı olarak ( $q_u$ )'daki değişim (%38 su içeriğinde 8, 16 ve 24 kg yük altında bekleyen %70 kil %30 kum numuneler).

### 3.2.2. Kesme Kutusu Deneyi

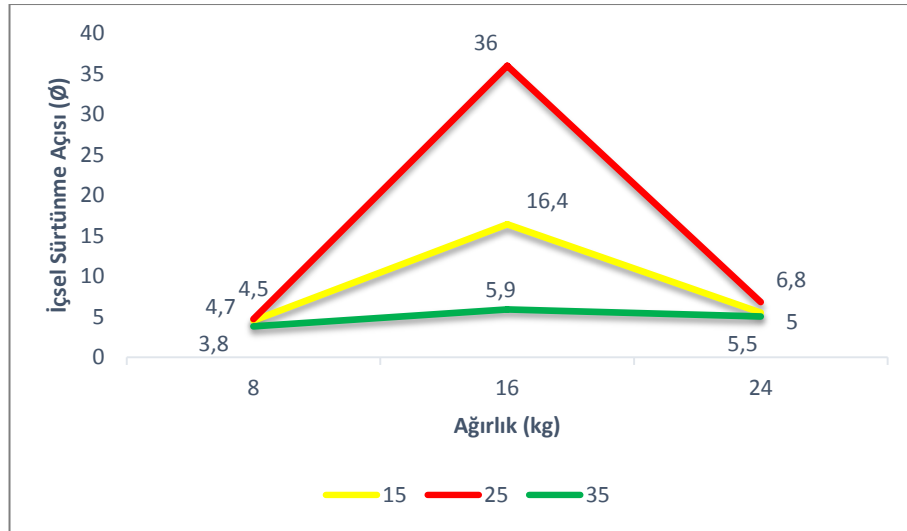
#### 3.2.2.1. İçsel Sürtünme Açısı Değerleri

8, 16 ve 24 kg yük altında aynı su içeriklerine sırayla 15, 25 ve 35 gün bekletilen %70 kum %30 kil zemin karışımların gerilmelere bağlı olarak içsel sürtünme açısındaki değişiklikler Şekil 3.49, Şekil 3.50 ve Şekil 3.51'deki grafikler ile

irdelenmiştir. Bu şekiller yorumlandığında %10, %20 ve %30 su içeriğindeki zemin, bütün bekleme sürelerinde 16 kg'a kadar kadar içsel sürtünme açısını arttırmakta 16 kg'dan fazla ağırlıkta ise bu değer azalmaktadır. Aynı su içeriğine sahip farklı yüklemelere maruz kalan numuneler ele alındığında ise en fazla içsel sürtünme açısı değeri 25 günlük numunelerde gözlemlenmektedir.

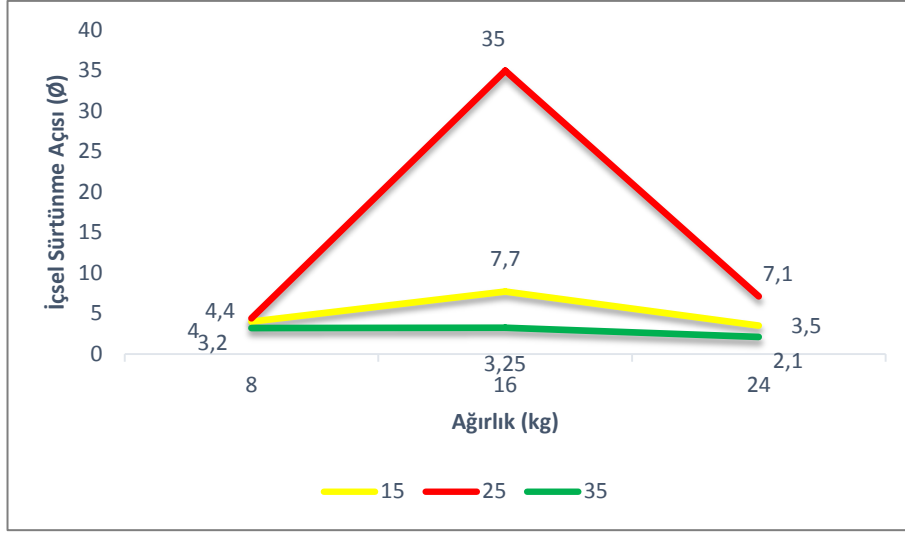


Şekil 3.49. Gerilmeye bağlı olarak içsel sürtünme açısındaki değişim (%10 su içeriğinde 15, 25 ve 35 gün bekleyen %70 kum %30 kil numuneler).



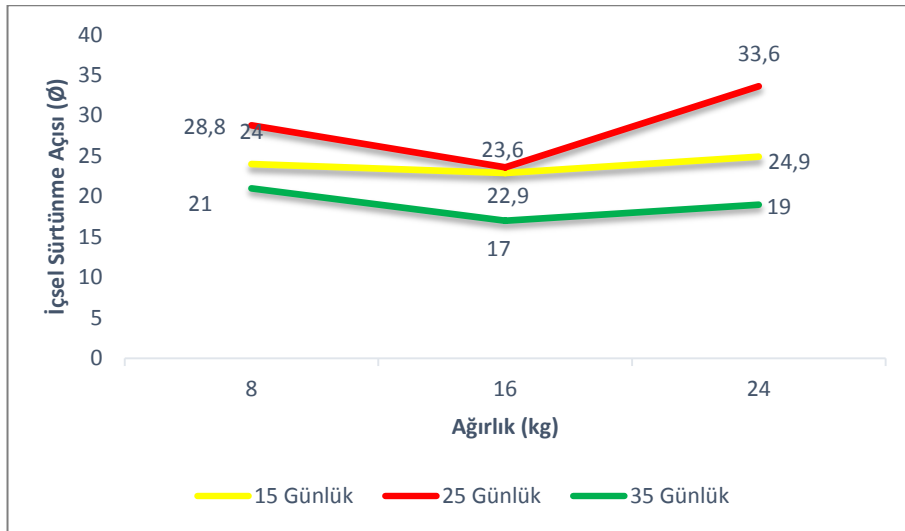
Şekil 3.50. Gerilmeye bağlı olarak içsel sürtünme açısındaki değişim (%20 su içeriğinde 15, 25 ve 35 gün bekleyen %70 kum %30 kil numuneler).



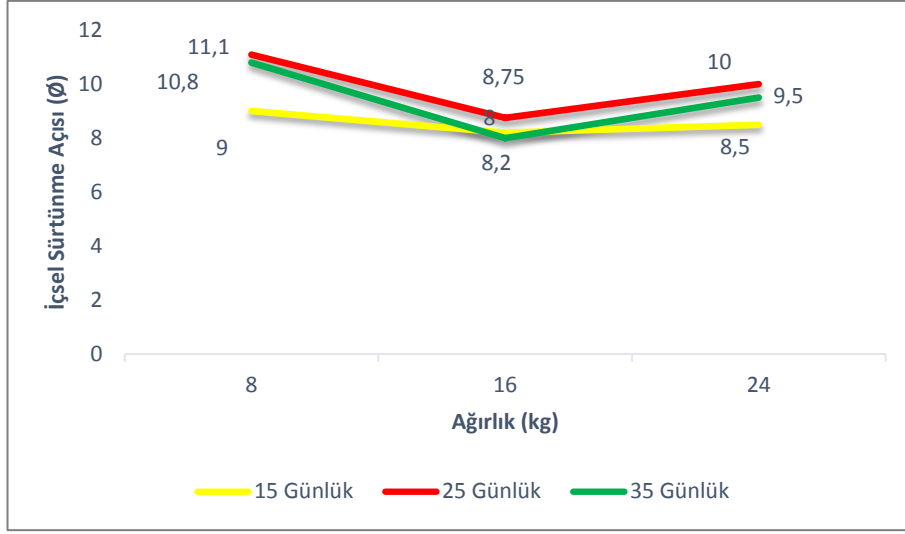


Şekil 3.51. Gerilmeye bağlı olarak içsel sürtünme açısındaki değişim (%30 su içeriğinde 15, 25 ve 35 gün bekleyen %70 kum %30 kil numuneler).

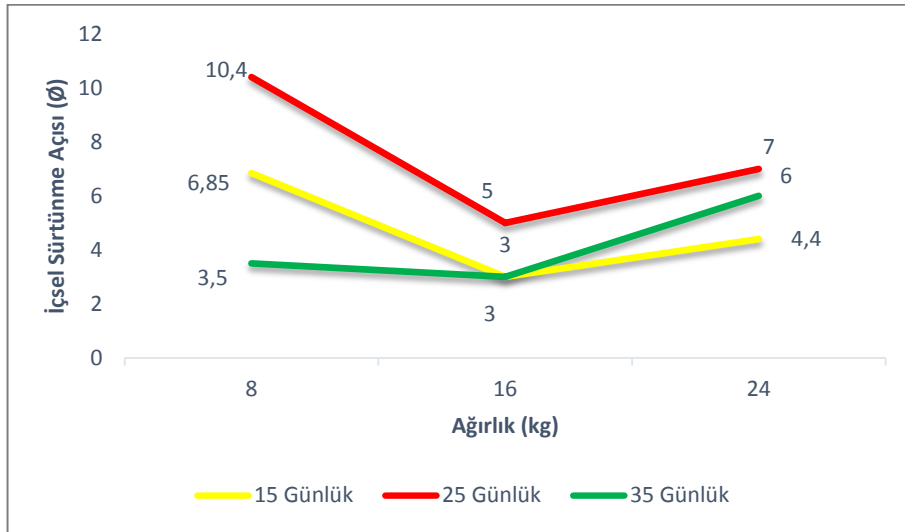
%70 kil %30 kum numuneleri 15, 25 ve 35 gün bekletilerek optimum altı, optimum ve optimum üstü su içeriklerinde hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelerin içsel sürtünme açısının ağırlığa bağlı değişimi grafiklerde sunulmuş olup, tüm grafiklerde 16 kg ağırlığa kadar azaldığı bu ağırlıktan sonra ise arttığı görülmektedir (Şekil 3.52, Şekil 3.53 ve Şekil 3.54). Buradan yola çıkılarak %70 kum %30 kil numunelerdeki içsel sürtünme açısındaki değişimin tam tersi olduğu söylenebilir.



Şekil 3.52. Gerilmeye bağlı olarak içsel sürtünme açısındaki değişim (%18 su içeriğinde 15, 25 ve 35 gün bekleyen %70 kil %30 kum numuneler).



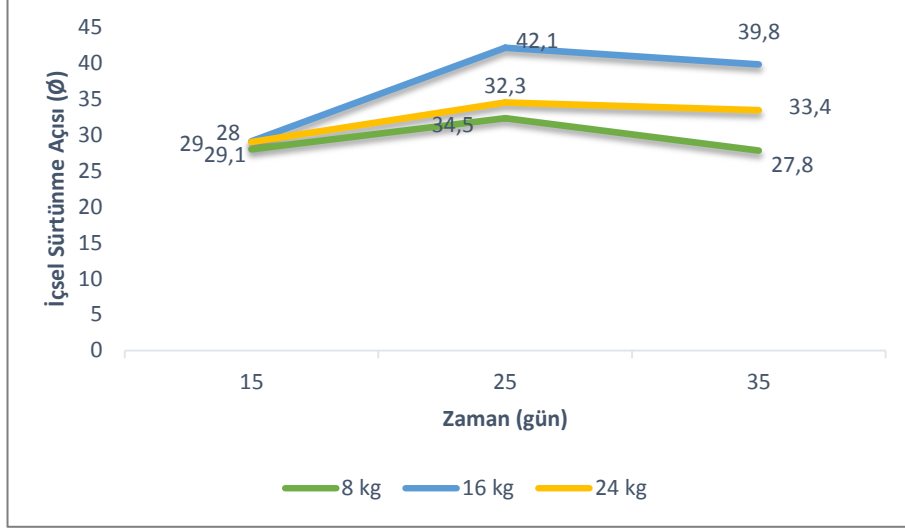
Şekil 3.53. Gerilmeye bağlı olarak içsel sürtünme açısındaki değişim (%28 su içeriğinde 15, 25 ve 35 gün bekleyen %70 kil %30 kum numuneler).



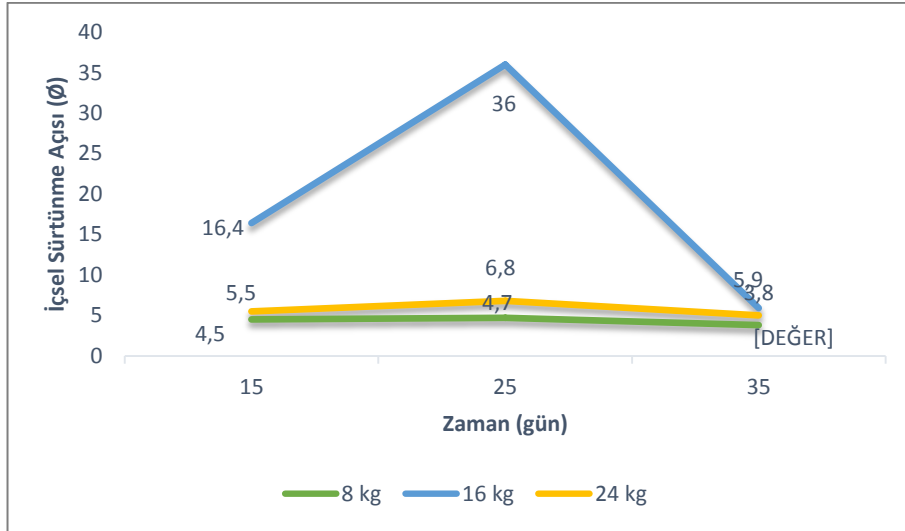
Şekil 3.54. Gerilmeye bağlı olarak içsel sürtünme açısındaki değişim (%38 su içeriğinde 15, 25 ve 35 gün bekleyen %70 kil %30 kum numuneler).

%70 kum %30 kil zemin numuneleri aynı su içeriklerinde hazırlanıp 8, 16 ve 24 kg olarak farklı yük altında gruplandırılarak 15 gün, 25 gün ve 35 gün bekletilerek zaman faktörünün etkisi tartışılmıştır. Üzerindeki gerilmelerin etkisiyle içsel sürtünme açısındaki değişikliklerin değerlendirilmesi için zeminler deneylere tabii tutularak Şekil 3.55, Şekil 3.56 ve Şekil 3.57’de verilen sonuçlar elde edilmiştir. Şekiller yorumlandığında içsel sürtünme açısında 25. güne artış ve 25. günden sonra azalış olduğu görülmektedir. Tüm şartlar değerlendirildiğinde ise içsel sürtünme

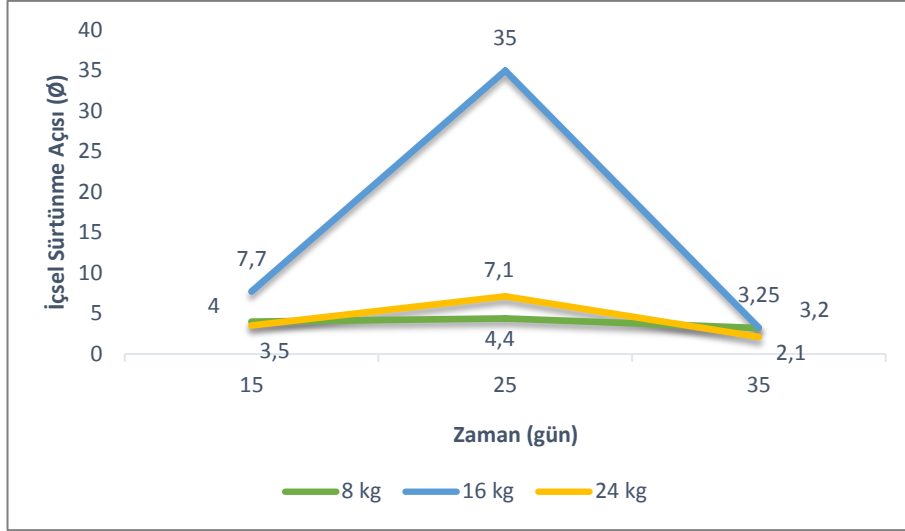
açısının 25. günde ve 16 kg gerilme ile birlikte en yüksek değere ulaştığını söylemek mümkündür.



Şekil 3.55. Zamana bağlı olarak içsel sürtünme açısındaki değişim (%10 su içeriğinde 8, 16 ve 24 kg yük altında bekleyen %70 kum %30 kil numuneler).

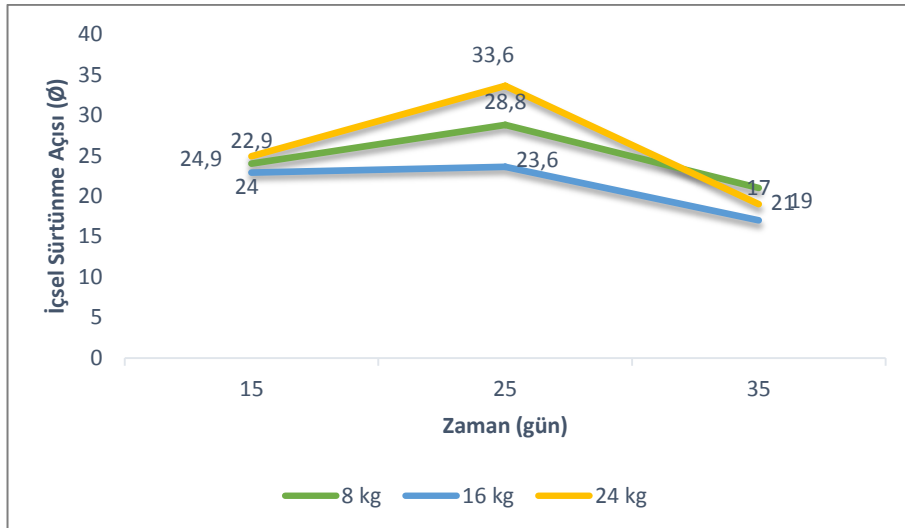


Şekil 3.56. Zamana bağlı olarak içsel sürtünme açısındaki değişim (%20 su içeriğinde 8, 16 ve 24 kg yük altında bekleyen %70 kum %30 kil numuneler).

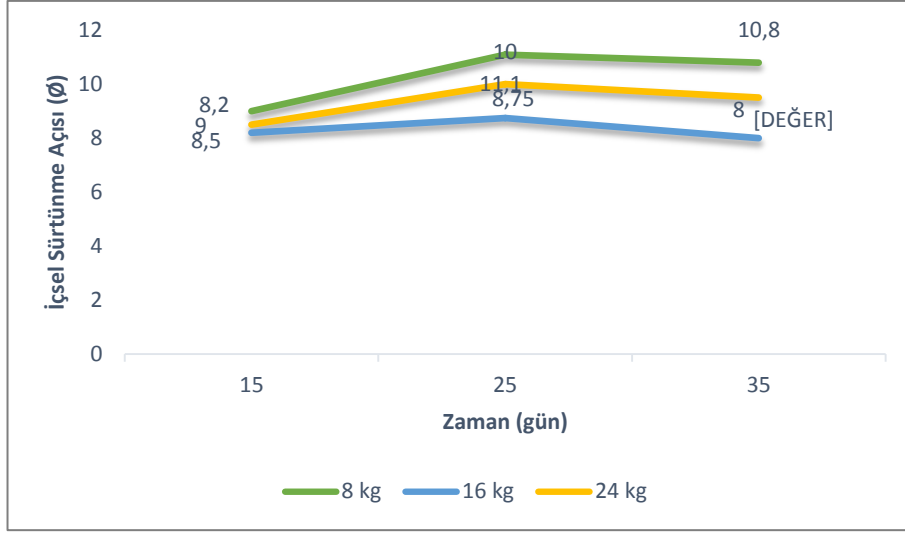


Şekil 3.57. Zamana bağlı olarak içsel sürtünme açısındaki değişim (%30 su içeriğinde 8, 16 ve 24 kg yük altında bekleyen %70 kum %30 kil numuneler).

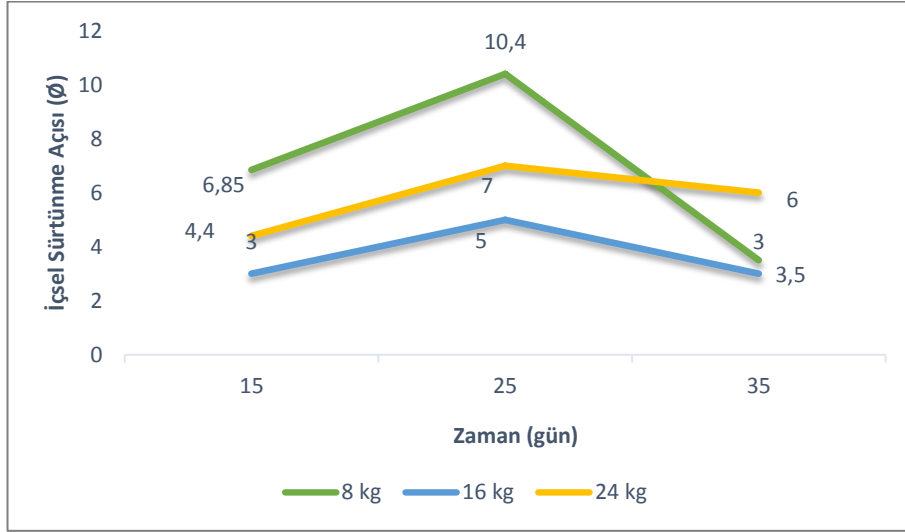
Aynı su içeriğinde 15 gün, 25 gün ve 35 gün bekleyen 8, 16 ve 24 kg yük altındaki %70 kil %30 kil karışımlarını incelediğimizde içsel sürtünme açılarının tüm gerilme koşullarında 25. güne önce artıp sonra tekrardan azaldığı optimum altı, optimum ve optimum üstü su içeriğindeki tüm durumlar için söyleyebiliriz (Şekil 3.58, Şekil 3.59 ve Şekil 3.60).



Şekil 3.58. Zamana bağlı olarak içsel sürtünme açısındaki değişim (%18 su içeriğinde 8, 16 ve 24 kg yük altında bekleyen %70 kil %30 kum numuneler).



Şekil 3.59. Zamana bağlı olarak içsel sürtünme açısındaki değişim (%28 su içeriğinde 8, 16 ve 24 kg yük altında bekleyen %70 kil %30 kum numuneler).

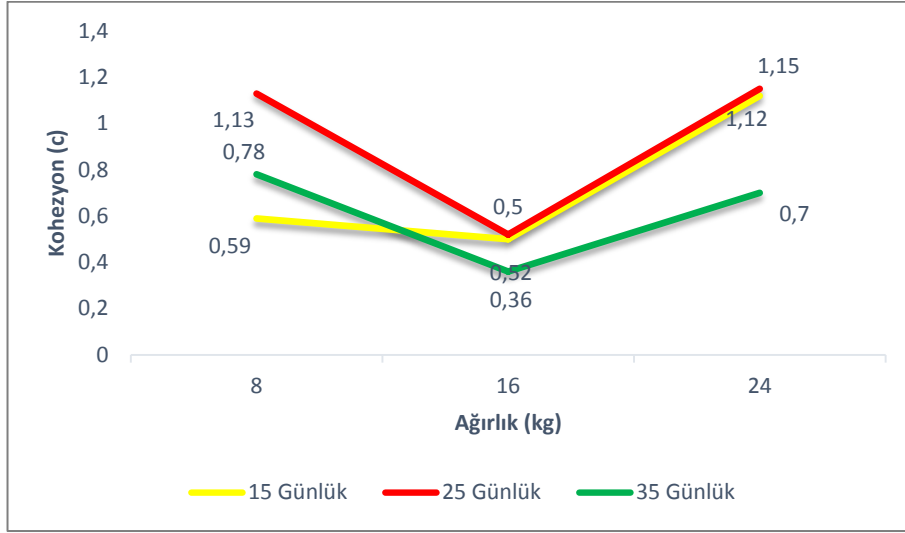


Şekil 3.60. Zamana bağlı olarak içsel sürtünme açısındaki değişim (%38 su içeriğinde 8, 16 ve 24 kg yük altında bekleyen %70 kil %30 kum numuneler).

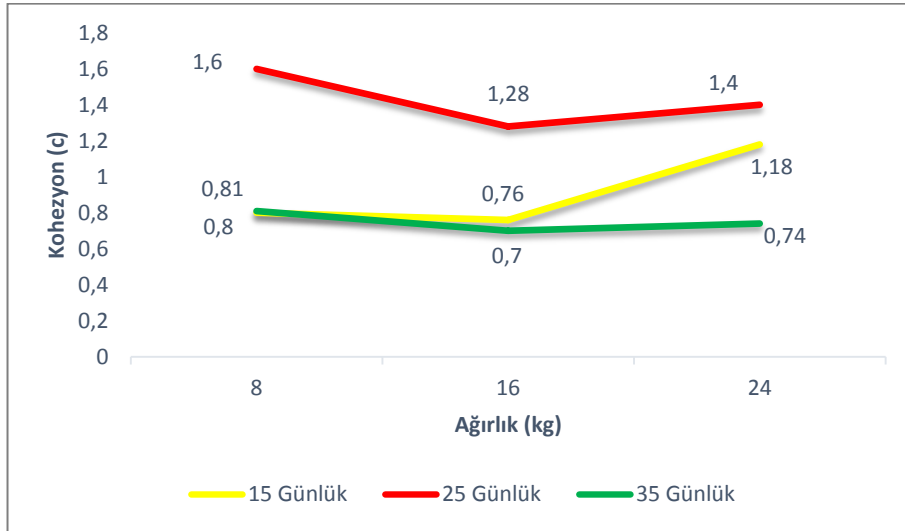
### 3.2.2.2. Kohezyon Değerleri

Aynı su içeriğinde 15 gün, 25 gün ve 35 gün bekleyen %70 kum %30 kil numunelerinin maruz kaldıkları ağırlıkların etkisiyle kohezyonlarında değişimler meydana gelmektedir (Şekil 3.61, Şekil 3.62 ve Şekil 3.63). Aşağıda verilen grafiklere

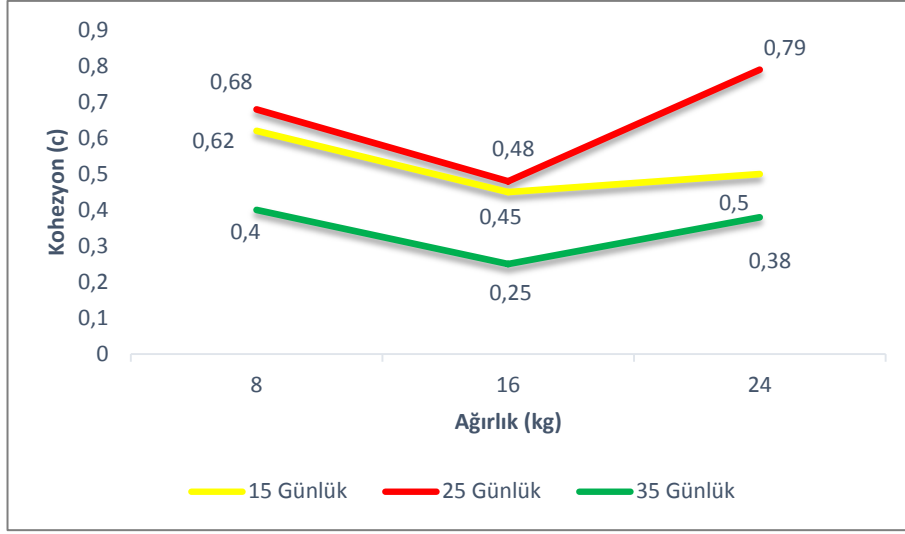
detaylıca bakıldığında kohezyonun %18, %28 ve %38 su içeriklerinde 16 kg ağırlığına kadar genel bir azalış gösterdiği bu ağırlıktan sonra ise artışlar gösterdiği anlaşılmaktadır.



Şekil 3.61. Gerilmeye bağlı olarak kohezyondaki değişim (%10 su içeriğinde 15, 25 ve 35 gün bekleyen %70 kum %30 kil numuneler).



Şekil 3.62. Gerilmeye bağlı olarak kohezyondaki değişim (%20 su içeriğinde 15, 25 ve 35 gün bekleyen %70 kum %30 kil numuneler).

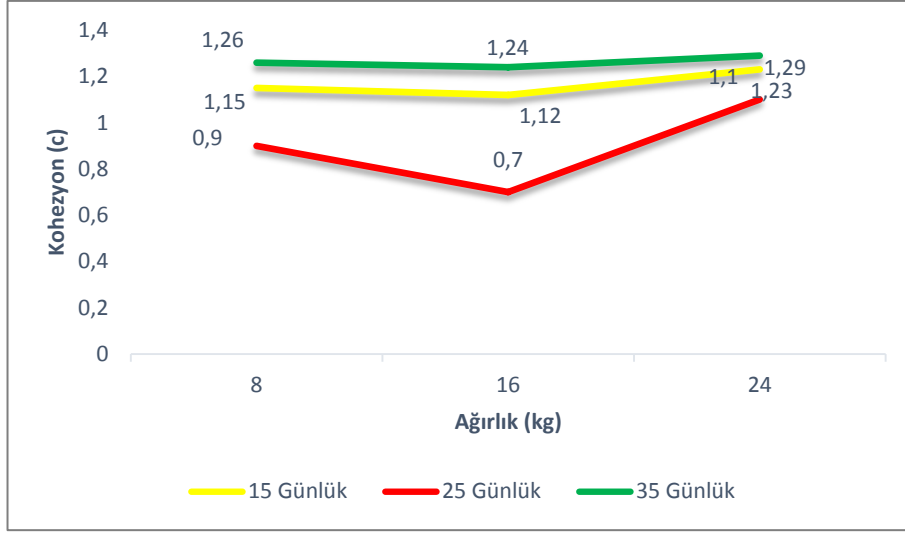


Şekil 3.63. Gerilmeye bağlı olarak kohezyondaki değişim (%30 su içeriğinde 15, 25 ve 35 gün bekleyen %70 kil %30 kum numuneler).

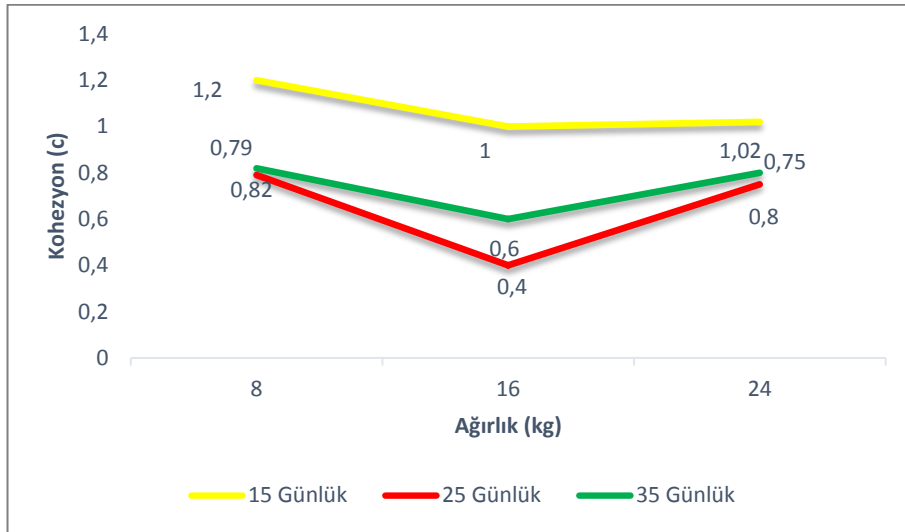
Yüklemiş durumlarda aynı su içeriklerinde bekleyen %70 kil %30 kum karışımların kohezyonunun zamana bağlı değişimleri irdelenmiştir. Bu değişimler genel olarak ele alındığında tüm su içeriklerinde 16 kg ağırlığa kadar bir azalış sonrasında ise bir artma vardır diyebiliriz (Şekil 3.64, Şekil 3.65 ve Şekil 3.66).



Şekil 3.64. Gerilmeye bağlı olarak kohezyondaki değişim (%18 su içeriğinde 15, 25 ve 35 gün bekleyen %70 kil %30 kum numuneler).



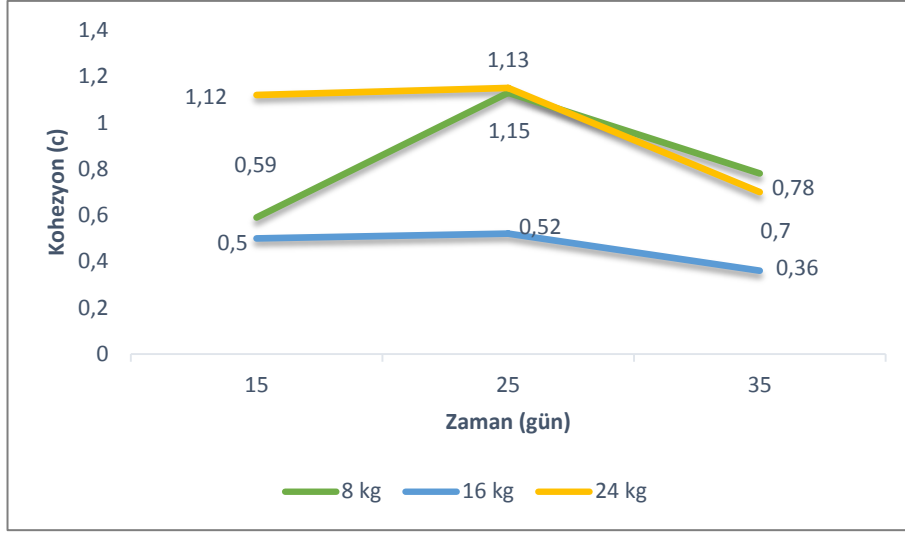
Şekil 3.65. Gerilmeye bağlı olarak kohezyondaki değişim (%28 su içeriğinde 15, 25 ve 35 gün bekleyen %70 kil %30 kum numuneler).



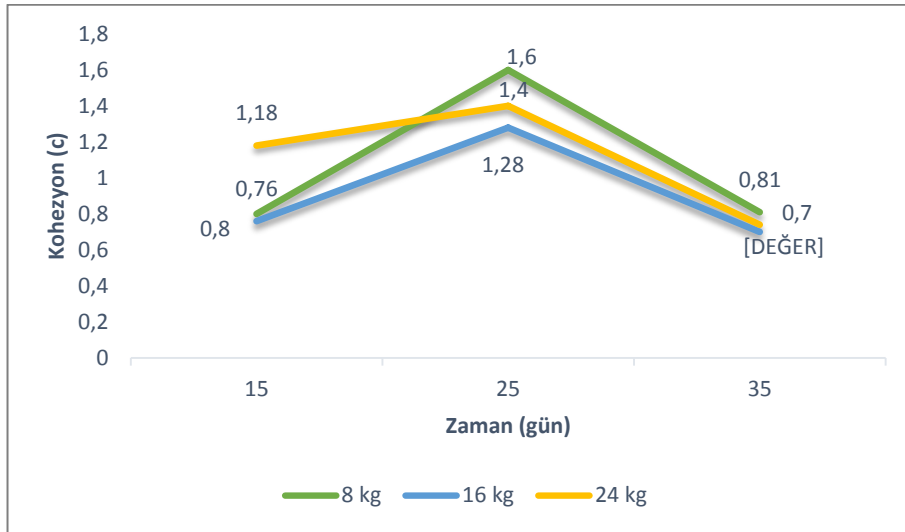
Şekil 3.66. Gerilmeye bağlı olarak kohezyondaki değişim (%38 su içeriğinde 15, 25 ve 35 gün bekleyen %70 kil %30 kum numuneler).

Kohezyonun aynı su içeriğinde farklı yükleme koşulları ve farklı zaman etkisindeki değişimleri değerlendirilerek elde edilen veriler Şekil 3.67, Şekil 3.68 ve Şekil 3.69'da grafiklerde halinde sunulmuştur. Şekiller incelendiğinde tüm su içeriklerinde zaman faktörüne bağlı olarak 25. güne kadar kohezyonlarının önce artmış sonra ise azalmış olduğu ve en yüksek değerini 25. günde aldığı gözlemlenmiştir.

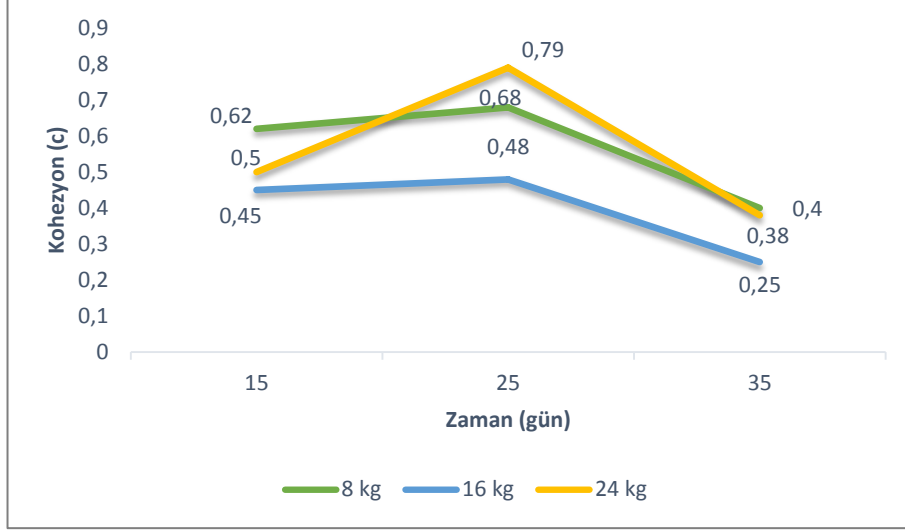




Şekil 3.67. Zamana bağlı olarak kohezyondaki değişim (%10 su içeriğinde 8, 16 ve 24 kg yük altında bekleyen %70 kum %30 kil numuneler).

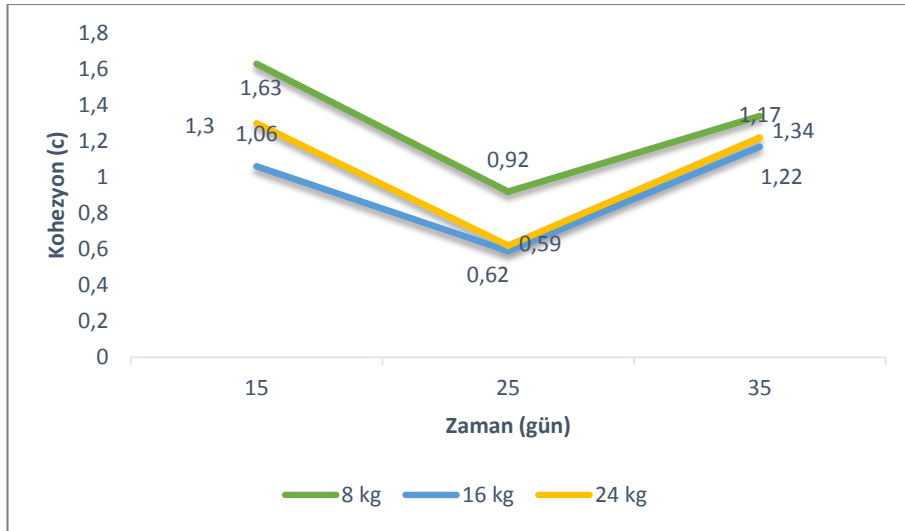


Şekil 3.68. Zamana bağlı olarak kohezyondaki değişim (%20 su içeriğinde 8, 16 ve 24 kg yük altında bekleyen %70 kum %30 kil numuneler).

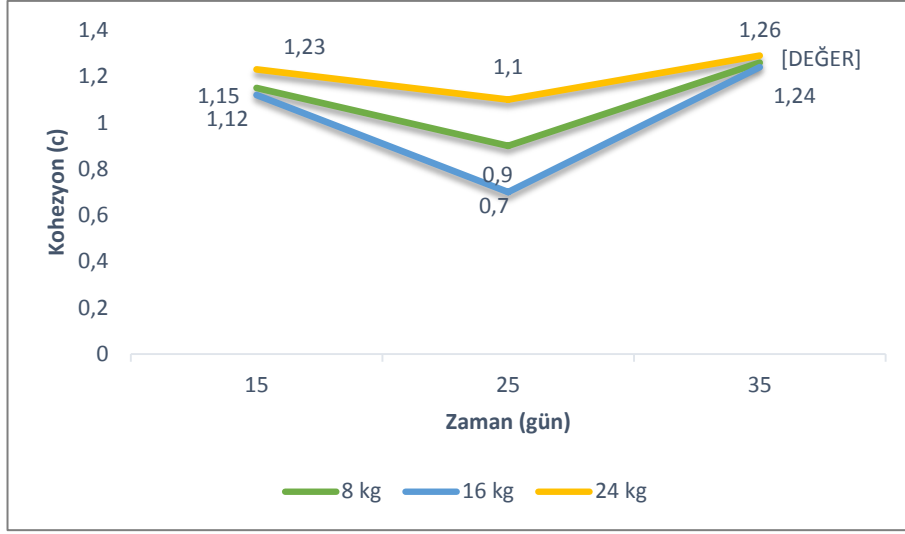


Şekil 3.69. Zamana bağlı olarak kohezyondaki değişim (%30 su içeriğinde 8, 16 ve 24 kg yük altında bekleyen %70 kum %30 kil numuneler).

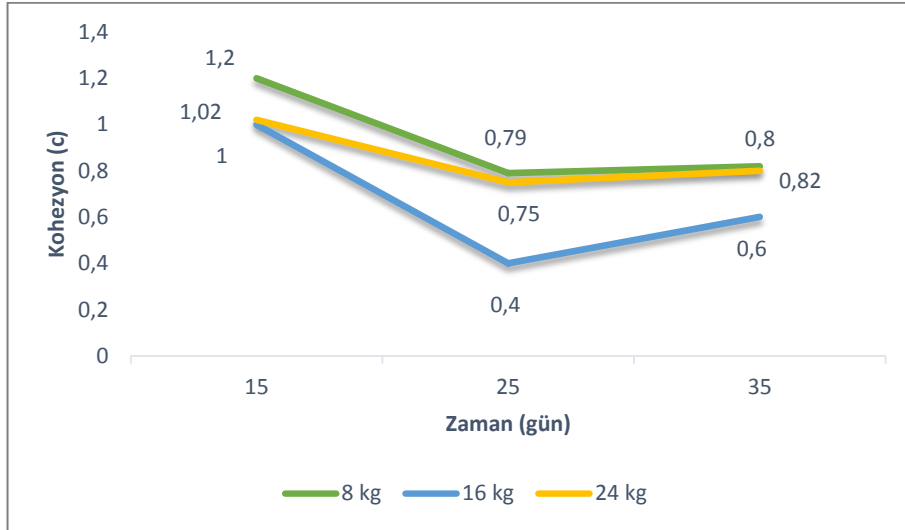
%70 kil %30 kum karışımlı numunelerin kohezyonunun zaman faktörüyle nasıl değiştiğine bakarsak 25. güne kadar bir azalma olduğunu ve bu zamandan sonra ise tekrar bir artma olduğu görülmektedir. (Şekil 3.70, Şekil 3.71 ve Şekil 3.72). Kum ağırlıklı numunelerden farklı değişim gösterdiğini ve bunun sebebinin ise karışımlardaki zemin türünün oranıyla ilgili olduğunu tekrardan söyleyebiliriz.



Şekil 3.70. Zamana bağlı olarak kohezyondaki değişim (%18 su içeriğinde 8, 16 ve 24 kg yük altında bekleyen %70 kil %30 kum numuneler).



Şekil 3.71. Zamana bağlı olarak kohezyondaki değişim (%28 su içeriğinde 8, 16 ve 24 kg yük altında bekleyen %70 kil %30 kum numuneler).



Şekil 3.72. Zamana bağlı olarak kohezyondaki değişim (%38 su içeriğinde 8, 16 ve 24 kg yük altında bekleyen %70 kil %30 kum numuneler).

## BÖLÜM 4

### SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışma kapsamında zaman faktörü de göz önüne alınarak, gerilme ve ıslanma koşullarının zeminlerin dayanımı üzerinde etkisi olduğu yapılan deneyler ile ortaya konmuştur.



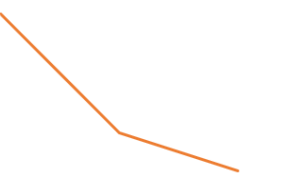

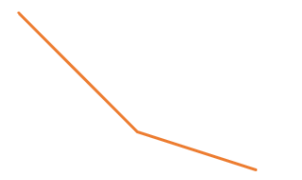

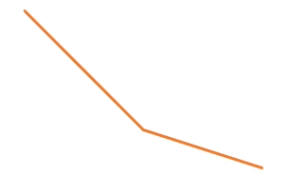





Deney sonuçları incelendiğinde;

1. Zeminlerin sahip olduğu su muhtevasının zeminlerin serbest basınç dayanımı, kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerlerine etkisi olduğu tespit edilmiştir. Deneysel çalışmalarda kum ve kil ağırlıklı numunelerin su içeriklerinden farklı şekilde etkilendiği görülmüştür. Bu kapsamda yapılan değerlendirmelerde kum ağırlıklı (%70 kum) numunelerin serbest basınç dayanımı optimum su içeriğine kadar artıp sonrasında ise azalma, kil ağırlıklı (%70 kil) numunelerde ise serbest basınç dayanım değerleri su içeriğinin artışından olumsuz etkilenerek sürekli azalma gösterdiği gözlenmiştir. %10, %20 ve %30 su içeriğinde hazırlanan %70 kum %30 kil numunelerinin ve %18, %28 ve %38 su içeriğinde hazırlanan %70 kil %30 kum numunelerinin içsel sürtünme açısı değerleri, optimum su içeriğine kadar keskin bir azalış, sonrasında ise çok büyük farklar olmadan aynı oranlarda kaldığı tespit edilmiştir. Her iki karışım için içsel sürtünme açısındaki genel değişim değerlendirildiğinde su içeriğinin artmasının içsel sürtünme açısını olumsuz etkilediği tespit edilmiştir. Farklı oranlardaki kum ve kil ile hazırlanan karışımların kohezyon değerleri, optimum su içeriğine kadar artmakta olup, bu değerden sonra ise azalmaktadır. En düşük kohezyon değerlerine ise optimum su içeriğinde ulaşılmaktadır.
2. %70 kum %30 kil ve %70 kil %30 kum oranlarında hazırlanan karışımların üzerindeki ağırlıklara (8 kg, 16 kg ve 24 kg) bağlı olarak serbest basınç



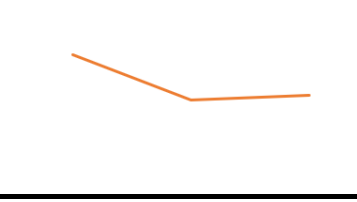
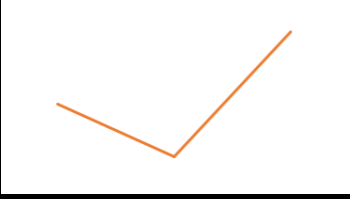
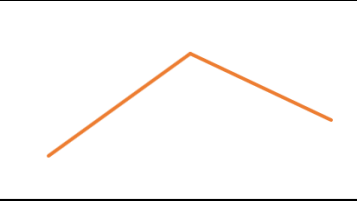
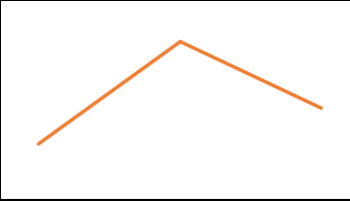


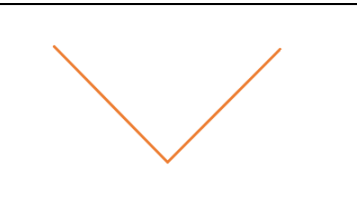
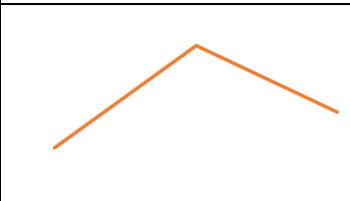
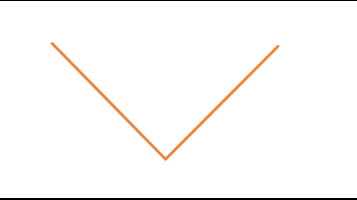
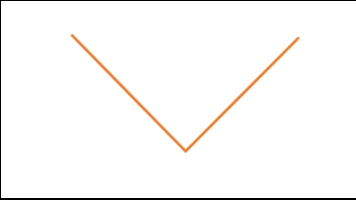
dayanımının, kohezyonunun ve içsel sürtünme açısının etkilendiği gözlemlenmiş olup bu bağlamda değerlendirmeler yapılmıştır. Kum ağırlıklı zeminlerde üzerindeki yükleme şartlarına bağlı olarak serbest basınç dayanım değerleri 16 kg'a kadar arttığı sonra ise azaldığı, kil ağırlıklı numunelerde ise tam tersi olarak 16 kg'a kadar önce azaldığı sonra arttığı görülmüştür. %70 kil %30 kum karışımlarının içsel sürtünme açısı 16 kg'a azalmakta, 16 kg'dan sonra ise artmaktadır. %70 kum %30 kil karışımlarının içsel sürtünme açısı kil ağırlıklı karışımların tam tersi 16 kg'a kadar artmakta sonra ise azalmaktadır. 8 kg, 16 kg ve 24 kg ağırlıklar altında bekleyen karışımların kohezyon değerlerinin 16 kg'a kadar azaldığı sonra ise arttığı yapılan deneyler sonucu gözlenmiştir.

3. İslanma ve gerilme koşullarıyla birlikte zaman faktörünün etkisinde tartışılmıştır. 15, 25 ve 35 gün bekleyen kum ve kil karışımlarında serbest basınç dayanım değerleri, tüm gerilme ve ıslanma koşullarında 25. güne kadar azalmakta sonrasında ise artmaktadır. İçsel sürtünme açıları tüm ıslanma ve gerilme koşullarında 25. güne kadar artıp bu günden sonra ise azalmaktadır. Tüm koşullar göz önüne alındığında %70 kum %30 kil karışımlarının kohezyonları zaman faktörünün etkisinde 25. güne kadar artıp sonra azalırken, %70 kil %30 kum karışımlarının kohezyonları ise 25. güne kadar azalıp sonra artmaktadır.
4. Bu çalışma kapsamında yapılan deneyler sonucunda aynı şartlardaki %70 kil %30 kum, %70 kum %30 kil karışımlarındaki zeminlerde elde edilen bu farklılıklar göstermektedir ki kil ve kum zeminler su içeriği ve maruz kaldığı gerilme koşullarından farklı şekilde etkilenmektedir.
5. Bu çalışma kapsamında yapılan deneylerden elde edilen bulgular genel değerlendirilme yapılabilmesi açısından özet grafikler halinde Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Islanma koşullarına ait grafik özetleri.

<b>ISLANMA KOŞULLARI</b>		
<b>SERBEST BASINÇ DENEYİ</b>		
	<b>Su İçeriği</b>	<b>Zaman</b>
% 70 Kum % 30 Kil		
% 70 Kil % 30 Kum		
<b>KESME KUTUSU DENEYİ</b>		
<b>İÇSEL SÜRTÜNME AÇISI</b>		
	<b>Su İçeriği</b>	<b>Zaman</b>
% 70 Kum % 30 Kil		
% 70 Kil % 30 Kum		
<b>KOHEZYON</b>		
	<b>Su İçeriği</b>	<b>Zaman</b>
% 70 Kum % 30 Kil		
% 70 Kil % 30 Kum		

Çizelge 4.2. Gerilme koşullarına ait grafik özetleri.

<b>GERİLME KOŞULLARI</b>		
<b>SERBEST BASINÇ DENEYİ</b>		
	<b>Gerilme</b>	<b>Zaman</b>
% 70 Kum % 30 Kil		
% 70 Kil % 30 Kum		
<b>KESME KUTUSU DENEYİ</b>		
<b>İÇSEL SÜRTÜNME AÇISI</b>		
	<b>Gerilme</b>	<b>Zaman</b>
% 70 Kum % 30 Kil		
% 70 Kil % 30 Kum		
<b>KOHEZYON</b>		
	<b>Gerilme</b>	<b>Zaman</b>
% 70 Kum % 30 Kil		
% 70 Kil % 30 Kum		

6. Bu çalışmada kum ve kil karışımı zeminler, optimum su içeriği baz alınarak hazırlanıp 8, 16 ve 24 kg ağırlıklar ile 15, 25 ve 35 gün sürelerde yüklemeye maruz bırakılmıştır. Çalışma sonucunda ise bu parametrelere bağlı kalınarak yorumlamalar yapılmıştır. İleride yapılacak başka çalışmalarda zeminlerin türü ve oranları, ağırlıklar, bekleme süresi ve su içeriği değiştirilip/genişletilip söz konusu parametrelerin zemin hafızasındaki etkisinin daha detaylıca tartışılabilceği değerlendirilmektedir.



## KAYNAKLAR

Akan, R. ve Keskin, S.N., “Kompaksiyon Yönteminin Kohezyonlu Zeminlerin Serbest Basınç Mukavemetine Etkisi”, *Mühendislik ve Tasarım Dergisi*, 250-256 (2018).

Casagrande, A., “The structure of clay and Its Impotance in Foundation Engineering”, *Journal of the Borton Society of Civil Engineers*, April; reprinted in Contributions to Soil Mechanics 1925-1940, BSCE, pp.72-113 (1932).

Colback, P.S.B., and Wild, B.L., “The influence of moisture content on the compressive strength of rocks”, *Proceedings of the 3rd Canadian Symposium of Rock Mechanics*, 65-83 (1965).

Çetin, H., *Zemin Mekaniği ve Aktif Tektonik Araştırma Grubu Birinci Toplantısı*, İTÜ, İstanbul, ss. 155-160 (1997).

Çetin, H., “An Experimental study of soil memory and Preconsolidation Adjacent to an Active Tectonic Structure: The Meers Fault, Oklahoma; USA”, *Eng. Geol.*, Vol. 57. pp. 169-178 (2000).

Fener M., “Zemin Granülometrisinin Ön Konsolidasyon Basıncı Ve Zemin Hafızasına Etkisi”, Doktora Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, 100 (2006).

Eruslu, N., “Döküm Kumunda Kullanılan Bentonit ve Diğer Katkı Maddeleri”, *Demir-Çelik Sanayiciler Derneği Semineri*, Tepebaşı (1991).

Feda, J., “Stress in Subsoil and Methods of Final Settlement Calculation”, *Elsevier*, Amsterdam (1978).

Ghosh, R., “Effect of soil moisture in the analysis of undrained shear strength of compacted clayey soil”, *Journal of Civil Engineering and Construction Technology*, 4,1, 23-31 (2013).

Grim R.E., “Applied Clay Mineralogy, 1st ed.”, *McGraw-Hill Book Company*, New York, (1962).

Hancıoğlu, Ç., "Kaolin ve Bentonit Türü Killerde Bulunan Silikaların Belirlenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-19 (2015).

Hobbs, B.E., Means, W.D. and Williams, P.F., “An Outline of Structural Geology” *John Wiley & Sons*, New York (1976).

Holtz, R.D. and Kovacs, W.D., “An introduction to Geotechnical Engineering 2 nd Edition”, **Pearson-Prentice-Hall**, Inc., Englewood Cliffs, NJ (1981).

Ingles, O. G. and Lafeber, D., “The initiation and development of crack and joint systems in granular masses”, **In: Proceedings of Symposium on Stress and Failure around Underground Openings**, Department of Mining Engineering. University of Sydney. Paper No. 7, pp. 7-1–7-26 (1967).

İpekoğlu B., Kurşun İ., Bilge Y., Barut A., “Türkiye Bentonit Potansiyeline Genel Bir Bakış”, **2. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu**, İzmir, Türkiye, 16-17 Ekim 1997).

Johnson, A.W., Sallberg, J.R., “Factors that influence Field Compaction of Soils”, **Highway Research Board**, ABD. 206 (1960).

Karig, D. E. and Hou, G., “High-Stress Consolidation Experiments and Their Geological Implication”, **J. Geophys. Res.**, Vol. 97, pp. 289-300 (1992).

Lambe, T. W., “The structure of compacted clay”, **Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division**, 84: (1654) 1-34 (1958a).

Lambe, T. W., “The structure of compacted clay”, **Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division**, 84: (1655) 1-34 (1958b).

Liu, M., “Sydney Soil Model I: Theoretical Formulation”, **International Journal of Geomechanics**, ASCE, pp. 211-224 (2011).

Matyas, E.L. and Radhakrishna H.S., “Volume Change Characteristics of Partially Saturated Soils”, **Geotechnique**, 18(4): 432-448 (1968).

Mitchell, J.K. ve Soga K., “Fundamentals of Soil Behavior, 3. Ed.”, **Wiley**, New York (2005).

Nagaraj, T.S., “Principles of Testing Soils, Rocks and Concrete”, **Elsevier**, Amsterdam (1993).

Önalp, A. & Arel, E.,” Geoteknik Bilgisi I Zeminler Mekaniği”, **Birsen Yayınevi**, (2013).

Özaydın, K., “Zemin Mekaniği”, **Birsen Yayın Evi**, İstanbul. s. 143-183 (2000).

Palalı, A., “Handere Kilinde Su İçeriği Değişimi Ve Kompaksiyon Enerjisinin Mukavemete Olan Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, **Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Adana, 92-92 (2006).

Seed, H. B., Chan, C. K., “Structure and strength characteristics of compacted clays”, **Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division**, 85: 87-128 (1959).

Tekinsoy, M.A., ve Laman, M.A., “Elastik Zemin Problemleri”, *Süleyman Demirel Üniversitesi Basımevi*, Isparta (2000).

TS 1900-1, “İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri-Bölüm 1: Fiziksel Özelliklerin Tayini”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2006).

TS 1900-2, “İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri-Bölüm 2: Mekanik Özelliklerin Tayini”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2006).

Van Eeckhout, E.M., and Peng, S.S., “The effect of humidity on the compliances of coal mines shales”, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts*, 12, 335-340 (1975).

Voight, B., “Interpretation of in situ measurements”, *Proc. Int. Soc. Rock Mech.*, Lisbon, Portugal, 3:332-348 (1966).

Voight, B., “A mechanism for "locking-in" orogenic stress”, *Am. J. Sci.*, 274:662-665 (1974).

## **ÖZGEÇMİŞ**

Eylem Özge ATAYŞEN 1993 yılında Kadıköy’de doğdu. İlk ve orta öğrenimini Gebze’de tamamladı. Gebze Sarkuysan Lisesinden mezun olduktan sonra 2012 yılında Karabük Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünü kazandı. 2017 yılında lisans eğitimini tamamladıktan hemen sonra Karabük Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Geoteknik Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. Aynı zamanda Karabük’te çeşitli firmalarda inşaat mühendisi olarak görev aldı. 2020 yılında Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans programına devam etmektedir.

### **ADRES BİLGİLERİ**

**Adres** : Osman Yılmaz Mah. Kızılay Cad. Atayşen Apt. D:8 Gebze/KOCAELİ

**Tel** : 0538 031 16 95

**E-posta** : eozgeataysen@gmail.com