

**TRAVERTEN TOZU İLE STABİLİZE EDİLMİŞ BİR
ZEMİNİN MUKAVEMET ÖZELLİKLERİNDEKİ
DEĞİŞİMLER İLE HİDROLİK GEÇİRGENLİĞİNİN
LABARATUVAR BOYUTLARINDA
BELİRLENMESİ**

**2019
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

Ömer ARSLAN

**TRAVERTEN TOZU İLE STABİLİZE EDİLMİŞ BİR ZEMİNİN
MUKAVEMET ÖZELLİKLERİNDEKİ DEĞİŞİMLER İLE HİDROLİK
GEÇİRGENLİĞİNİN LABARATUVAR BOYUTLARINDA BELİRLENMESİ**

Ömer ARSLAN

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Haziran 2019**

Ömer ARSLAN tarafından hazırlanan “TRAVERTEN TOZU İLE STABİLİZE EDİLMİŞ BİR ZEMİNİN MUKAVEMET ÖZELLİKLERİNDEKİ DEĞİŞİMLER İLE HİDROLİK GEÇİRGENLİĞİNİN LABARATUVAR BOYUTLARINDA BELİRLENMESİ” 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. 26.06.2019


Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Ali ATEŞ (Düzce Ü.)

Üye : Doç. Dr. İnan KESKİN (KBÜ)

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

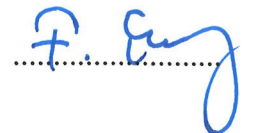


...../...../2019

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Filiz ERSÖZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdür V.





“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.”

Ömer ARSLAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TRAVERTEN TOZU İLE STABİLİZE EDİLMİŞ BİR ZEMİNİN MUKAVEMET ÖZELLİKLERİNDEKİ DEĞİŞİMLER İLE HİDROLİK GEÇİRGENLİĞİNİN LABARATUVAR BOYUTLARINDA BELİRLENMESİ

Ömer ARSLAN

Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. İnan KESKİN

Haziran 2019, 79 sayfa

Bu tez kapsamında zayıf ve şişebilen zeminlerin şişme, mukavemet ve geçirimsizlik özelliklerinin traverten tozu ile iyileştirilebilirliğinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca bu amaç doğrultusunda zemin iyileştirme aracı olarak kullanılacak traverten tozunun performansı detaylı olarak analiz edilmiş ve aynı zamanda traverten tozunun zeminin hidrolik özelliklerine etkisi de tartışılmıştır. Buna ek olarak çalışmanın bir çıktısı olarak zeminlerin hidrolik özelliklerindeki değişimin mekanik özelliklerine olan katkısı karşılaştırmalı olarak tartışılmıştır. Bu çalışmada Tokat bölgesinden alınan ve yüksek şişme potansiyeline sahip bentonit kili ve Karabük ili Eskipazar ilçesi traverten ocaklarının atığı olan traverten tozu kullanılmıştır. Çalışma kapsamında kil zemine ağırlığınca % 10, % 20, %30 ve %40 oranlarında traverten tozu eklenilerek numuneler oluşturulmuş ve hazırlanan bu karışımlar 0 - 7 - 14 - 21 - 28 - 35 ve 42 gün sürelerinde kürlenilerek her kür süresinde numunelere serbest basınç, kesme kutusu, şişme

basıncı ve geçirimsilik deneyleri uygulanmıştır. Bulgular sonucunda traverten tozu katkısının bentonite kilinin mühendislik özelliklerini iyileştirdiği, şişme potansiyelini azaltırken, geçirimsilik katsayısını ise artırdığı değerlendirilmiştir. Aynı kr süresinde artan oranlara katkı maddesi eklenmiş bentonit numunelerinin geçirimsilik katsayısı artarken; serbest basıncı dayanımı, kohezyon ve içsel sürtünme açısının arttığı, şişme basıncı değerinin ise azaldığı grlmştır.

Anahtar Sözcükler: Zemin iyileştirme, bentonit, traverten, hidrolik geçirimsilik, v.b.

Bilim Kodu : 911.1.186



ABSTRACT

M. Sc. Thesis

DETERMINATION OF HYDRAULIC PERFORMANCE IN LABORATORY DIMENSIONS BY CHANGES IN THE STRENGTH OF THE STABILIZED FLOOR WITH TRAVERTINE POWDER

Ömer ARSLAN

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

Thesis Advisor:

Assist. Prof. Dr. İnan KESKİN

June 2019, 79 pages

In this thesis, it is aimed to determine the swelling, strength and permeability properties of the weak and swellable soils with travertine powder. In addition, the performance of traverse dust, which can be used as a soil improvement tool for this purpose, has been analyzed in detail and also the effect of travertine powder on the hydraulic properties of the ground is also discussed. In addition, as an outcome of the study, the contribution of the changes in hydraulic properties of soils to mechanical properties is discussed. In this study, travertine powder, which is taken from Tokat region and has high swelling potential and waste of travertine quarries of Bentonite clay and Eskipazar district of Karabük province, has been used. Within the scope of the study, 10%, 20%, 30% and 40% by weight of travertine powder were added to the clay floor and samples were prepared and prepared. These mixtures were cured at 0 - 7 - 14 - 21 - 28 - 35 and 42 days periods. Nonconfined, direct shear box, swelling

pressure and permeability tests were applied. As a result of the findings, it was evaluated that travertine powder additive improves engineering properties of bentonite clay, decreases swelling potential and increases permeability coefficient. While the permeability coefficient of bentonite samples with additive additive increased in the same curing time increased; free compressive strength, cohesion and internal friction angle increased, swelling pressure value decreased.

Key Word : Soil improvement, bentonite, travertine, hydraulic permeability, etc.

Science Code : 911.1.186



TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle alıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren sayın hocam Doç. Dr. İnan KESKİN'e sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Sevgili aileme maddi ve manevi hiçbir yardımı esirgemedен yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

Sevgili arkadaşım inşaat mühendisi Semih APUL'a laboratuvar çalışmalarında gösterdiği destek için teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

| | <u>Sayfa</u> |
|---|---------------------|
| ÖZET..... | iv |
| ABSTRACT..... | vi |
| TEŞEKKÜR..... | viii |
| ŞEKİLLER DİZİNİ..... | xi |
| ÇİZELGELER DİZİNİ..... | xv |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ..... | xvi |
| | |
| BÖLÜM 1. | 19 |
| GİRİŞ..... | 19 |
| 1.1. AMAÇ VE KAPSAM..... | 19 |
| 1.2. KURAMSAL TEMELLER VE ÇALIŞMA KONUSUYLA İLİŞKİLİ LİTERATÜR ÖZETLERİ..... | 21 |
| | |
| BÖLÜM 2. | 28 |
| MATERYAL VE YÖNTEM..... | 28 |
| 2.1. DENEYLERDE KULLANILAN MALZEMELER VE ÖZELLİKLERİ..... | 28 |
| 2.1.1. Zemin Özellikleri..... | 28 |
| 2.1.2. Katkı Malzemesinin özellikleri..... | 30 |
| 2.2. DENEY MODELLERİNİN OLUŞTURULMASI..... | 32 |
| 2.3. ÇALIŞMA KAPSAMINDA GERÇEKLEŞTİRİLEN DENEYLER..... | 33 |
| 2.3.1. Kıvam Limiti Deneyleri..... | 33 |
| 2.3.1.1. Likit Limit Deneyi..... | 33 |
| 2.3.1.2. Plastik Limit Deneyi..... | 34 |
| 2.3.2. Kompaksiyon (Standart Proctor) Deneyi..... | 34 |
| 2.3.3. Serbest Basınç Deneyi..... | 34 |
| 2.3.4. Kesme Kutusu Deneyi..... | 37 |
| 2.3.5. Şişme Basıncı Deneyi..... | 40 |
| 2.3.6. Geçirimsizlik (Düşen Seviyeli Permeabilite) Deneyi..... | 41 |
| 2.3.5.1. Deneyde Kullanılan Araçlar..... | 42 |

| | <u>Sayfa</u> |
|--|---------------------|
| 2.3.5.2. Deneyin Yapılışı | 42 |
| BÖLÜM 3. | 44 |
| ARAŞTIRMA BULGULARI | 44 |
| 3.1. KIVAM LIMITLERİ DENEY SONUÇLARI | 44 |
| 3.2. KOMPAKSIYON DENEYİ SONUÇLARI..... | 45 |
| 3.3. SERBEST BASINÇ DENEY SONUÇLARI..... | 46 |
| 3.4. KESME KUTUSU DENEY SONUÇLARI..... | 54 |
| 3.5. ŞİŞME BASINCI DENEY SONUÇLARI..... | 69 |
| 3.6. GEÇİRİMLİLİK (Düşen Seviyeli Permeabilite) DENEYİ SONUÇLARI | 80 |
| BÖLÜM 4. | |
| SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR | |
| KAYNAKLAR | 94 |
| ÖZGEÇMİŞ | 97 |

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

| | |
|--|----|
| Şekil 2.1. Standart proctor deneyi deney aleti ve malzemeleri..... | 30 |
| Şekil 2.2. Ham bentonit kompaksiyon grafiği. | 30 |
| Şekil 2.3. Ham traverten kompaksiyon grafiği. | 32 |
| Şekil 2.4. Serbest basınç deneyinin basit şeması. | 35 |
| Şekil 2.5. Serbest basınç deneyinde deformasyon–gerilme ilişkileri..... | 36 |
| Şekil 2.6. Serbest basınç deneyi düzeneği. | 38 |
| Şekil 2.7. Kesme kutusu deney düzeneği..... | 40 |
| Şekil 2.8. Şişme basıncı düzeneği şematik görüntüsü..... | 41 |
| Şekil 3.1. Bentonite traverten tozu katkısının kıvam limitlerine etkisi..... | 44 |
| Şekil 3.2. Kompaksiyon eğrileri. | 45 |
| Şekil 3.3. Bentonitin optimum su içeriğine traverten tozunun etkisi..... | 46 |
| Şekil 3.4. Bentonitin maksimum kuru birim hacim ağırlığına traverten tozunun etkisi..... | 46 |
| Şekil 3.5. Traverten tozu oranının bentonitin serbest basınç dayanımına 0. günde etkisi..... | 47 |
| Şekil 3.6. Traverten tozu oranının bentonitin serbest basınç dayanımına 7. günde etkisi..... | 48 |
| Şekil 3.7. Traverten tozu oranının bentonitin serbest basınç dayanımına 14. günde etkisi..... | 48 |
| Şekil 3.8. Traverten tozu oranının bentonitin serbest basınç dayanımına 21. günde etkisi..... | 49 |
| Şekil 3.9. Traverten tozu oranının bentonitin serbest basınç dayanımına 28. günde etkisi..... | 50 |
| Şekil 3.10. Traverten tozu oranının bentonitin serbest basınç dayanımına 35. günde etkisi..... | 50 |
| Şekil 3.11. Traverten tozu oranının bentonitin serbest basınç dayanımına 42. günde etkisi..... | 51 |
| Şekil 3.12. Kür süresinin N1 numunesinin serbest basınç dayanımına etkisi..... | 51 |
| Şekil 3.13. Kür süresinin N2 numunesinin serbest basınç dayanımına etkisi..... | 52 |
| Şekil 3.14. Kür süresinin N3 numunesinin serbest basınç dayanımına etkisi..... | 52 |
| Şekil 3.15. Kür süresinin N4 numunesinin serbest basınç dayanımına etkisi..... | 53 |

| | |
|---|----|
| Şekil 3.16. Traverten tozunun bentonitin serbasınç dayanımına kür sürelerinin etkisi..... | 53 |
| Şekil 3.17. N1, N2, N3, N4 numunelerinin serbest basınç dayanımına kür süresinin etkisi. | 54 |
| Şekil 3.18. Traverten tozu oranının bentonitin kohezyon değerine 0. günde etkisi... 56 | |
| Şekil 3.19. Traverten tozu oranının bentonitin içsel sürtünme açısı değerine 0. günde etkisi..... | 56 |
| Şekil 3.20. Traverten tozu oranının bentonitin kohezyon değerine 7. günde etkisi... 57 | |
| Şekil 3.21. Traverten tozu oranının bentonitin içsel sürtünme açısı değerine 7. günde etkisi..... | 57 |
| Şekil 3.22. Traverten tozu oranının bentonitin kohezyon değerine 14. günde etkisi. 58 | |
| Şekil 3.23. Traverten tozu oranının bentonitin içsel sürtünme açısı değerine 14. günde etkisi..... | 58 |
| Şekil 3.24. Traverten tozu oranının bentonitin kohezyon değerine 21. günde etkisi. 59 | |
| Şekil 3.25. Traverten tozu oranının bentonitin içsel sürtünme açısı değerine 21. günde etkisi..... | 59 |
| Şekil 3.26. Traverten tozu oranının bentonitin kohezyon değerine 28. günde etkisi. 60 | |
| Şekil 3.27. Traverten tozu oranının bentonitin içsel sürtünme açısı değerine 28. günde etkisi..... | 60 |
| Şekil 3.28. Traverten tozu oranının bentonitin kohezyon değerine 35. günde etkisi. 61 | |
| Şekil 3.29. Traverten tozu oranının bentonitin içsel sürtünme açısı değerine 35. günde etkisi..... | 61 |
| Şekil 3.30. Traverten tozu oranının bentonitin kohezyon değerine 42. günde etkisi. 62 | |
| Şekil 3.31. Traverten tozu oranının bentonitin içsel sürtünme açısı değerine 42. günde etkisi..... | 62 |
| Şekil 3.32. Kür süresinin N1 numunesinin kohezyonuna etkisi | 63 |
| Şekil 3.33. Kür süresinin N1 numunesinin içsel sürtünme açısına etkisi | 63 |
| Şekil 3.34. Kür süresinin N2 numunesinin kohezyonuna etkisi | 64 |
| Şekil 3.35. Kür süresinin N2 numunesinin içsel sürtünme açısına etkisi | 64 |
| Şekil 3.36. Kür süresinin N3 numunesinin kohezyonuna etkisi | 65 |
| Şekil 3.37. Kür süresinin N3 numunesinin içsel sürtünme açısına etkisi | 65 |
| Şekil 3.38. Kür süresinin N4 numunesinin kohezyonuna etkisi | 66 |
| Şekil 3.39. Kür süresinin N4 numunesinin içsel sürtünme açısına etkisi. | 66 |
| Şekil 3.40. 0, 7, 14, 21, 28, 35 ve 42 gün kür sürelerinde bentonitin kohezyonuna traverten oranının etkisi. | 67 |
| Şekil 3.41. N1, N2, N3, N4 numunelerinin kohezyonuna kür sürelerinin etkisi. | 68 |

| | |
|---|----|
| Şekil 3.42. 0, 7, 14, 21, 28, 35 ve 42 gün kür sürelerinde bentonitin içsel sürtünme açısı değerine traverten oranının etkisi. | 68 |
| Şekil 3.43. N1, N2, N3, N4 numunelerinin içsel sürtünme açısına kür sürelerinin etkisi..... | 69 |
| Şekil 3.44. Traverten tozu oranının bentonitin şişme basıncına 0. günde etkisi..... | 70 |
| Şekil 3.45. 0. günde deney süresince şişme basıncı değişimleri (kg/cm ²)..... | 71 |
| Şekil 3.46. Traverten tozu oranının bentonitin şişme basıncına 7. günde etkisi..... | 71 |
| Şekil 3.47. 7. günde deney süresince şişme basıncı değişimleri (kg/cm ²)..... | 72 |
| Şekil 3.48. Traverten tozu oranının bentonitin şişme basıncına 14. günde etkisi..... | 72 |
| Şekil 3.49. 14. günde deney süresince şişme basıncı değişimleri (kg/cm ²)..... | 73 |
| Şekil 3.50. Traverten tozu oranının bentonitin şişme basıncına 21. günde etkisi..... | 73 |
| Şekil 3.51. 21. günde deney süresince şişme basıncı değişimleri (kg/cm ²)..... | 74 |
| Şekil 3.52. Traverten tozu oranının bentonitin şişme basıncına 28. günde etkisi..... | 74 |
| Şekil 3.53. 28. günde deney süresince şişme basıncı değişimleri (kg/cm ²)..... | 75 |
| Şekil 3.54. Traverten tozu oranının bentonitin şişme basıncına 35. günde etkisi..... | 75 |
| Şekil 3.55. 35. günde deney süresince şişme basıncı değişimleri (kg/cm ²)..... | 76 |
| Şekil 3.56. Traverten tozu oranının bentonitin şişme basıncına 42. günde etkisi..... | 76 |
| Şekil 3.57. 42. günde deney süresince şişme basıncı değişimleri (kg/cm ²)..... | 77 |
| Şekil 3.58. Kür süresinin N1 numunesinin şişme basıncına etkisi. | 77 |
| Şekil 3.59. Kür süresinin N2 numunesinin şişme basıncına etkisi. | 78 |
| Şekil 3.60. Kür süresinin N3 numunesinin şişme basıncına etkisi. | 78 |
| Şekil 3.61. Kür süresinin N4 numunesinin şişme basıncına etkisi. | 79 |
| Şekil 3.62. 0, 7, 14, 21, 28, 35 ve 42 gün kür sürelerinde bentonitin şişme basıncı değerine traverten oranının etkisi | 79 |
| Şekil 3.63. N1, N2, N3, N4 numunelerinin şişme basıncına kür sürelerinin etkisi ... | 80 |
| Şekil 3.64. Traverten tozu oranının bentonitin geçirimliliğine 0. günde etkisi..... | 81 |
| Şekil 3.65. Traverten tozu oranının bentonitin geçirimliliğine 7. günde etkisi..... | 82 |
| Şekil 3.66. Traverten tozu oranının bentonitin geçirimliliğine 14. günde etkisi..... | 83 |
| Şekil 3.67. Traverten tozu oranının bentonitin geçirimliliğine 21. günde etkisi..... | 83 |
| Şekil 3.68. Traverten tozu oranının bentonitin geçirimliliğine 28. günde etkisi..... | 84 |
| Şekil 3.69. Traverten tozu oranının bentonitin geçirimliliğine 35. günde etkisi..... | 85 |
| Şekil 3.70. Traverten tozu oranının bentonitin geçirimliliğine 42. günde etkisi..... | 85 |
| Şekil 3.71. Kür süresinin N1 numunesinin geçirimliliğine etkisi. | 86 |
| Şekil 3.72. Kür süresinin N3 numunesinin geçirimliliğine etkisi. | 87 |

Sayfa

| | |
|---|----|
| Şekil 3.73. Kür süresinin N4 numunesinin geçirimliliğine etkisi | 87 |
| Şekil 3.74. 0, 7, 14, 21, 28, 35 ve 42 gün kür sürelerinde bentonitin geçirimlilik değerine traverten oranının etkisi | 88 |
| Şekil 3.75. N1, N3, N4 numunelerinin geçirimlilik değerine kür sürelerinin etkisi .. | 88 |



ÇİZELGELER DİZİNİ

| | <u>Sayfa</u> |
|---|---------------------|
| Çizelge 2.1. Ham bentonit özellikleri [4]..... | 29 |
| Çizelge 2.2. Ham bentonit kıvam limitleri..... | 29 |
| Çizelge 2.3. Traverten tozu kıvam limitleri..... | 31 |
| Çizelge 2.4. Deneyleerde kullanılan numunelerin karışım oranları..... | 32 |
| Çizelge 2.5. Deney programı..... | 33 |
| Çizelge 2.6. Serbest basınç mukavemetine göre killerin sınıflandırılması..... | 36 |
| Çizelge 3.1. Numunelerin kıvam limiti deney sonuçları..... | 44 |
| Çizelge 3.2. Kompaksiyon deneyi sonuçları..... | 45 |
| Çizelge 3.3. Serbest basınç deneylerinin sonuçları (q_u değerleri kg/cm^2)..... | 47 |
| Çizelge 3.4. Kesme kutusu deneyi sonuçları (c değerleri (kg/cm^2))..... | 55 |
| Çizelge 3.5. Kesme kutusu deneyi sonuçları (ϕ değerleri ($^\circ$))..... | 55 |
| Çizelge 3.6. Şişme basıncı deneylerinin sonuçları (kg/cm^2)..... | 70 |
| Çizelge 3.7. Geçirimsizlik deneylerinin sonuçları (k katsayısı cm/dk)..... | 81 |

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

| | |
|--|---------------------------------------|
| Si | : silisyum |
| O | : oksijen |
| SiO ₂ | : silisyum dioksit veya silika |
| Al | : alüminyum |
| Al ₂ O ₃ | : alüminyum oksit |
| Fe | : demir |
| Fe ₂ O ₃ | : demir (III) oksit veya ferrik oksit |
| Ca | : kalsiyum |
| CaO | : kalsiyum oksit |
| MgO | : magnezyum oksit |
| K | : potasyum |
| K ₂ O | : potasyum oksit |
| Na | : sodyum |
| Na ₂ O | : sodyum oksit |
| CaCO ₃ | : kalsiyum karbonat |
| CO ₂ | : karbondioksit |
| (CaCO ₃) ₃ | : kalsit |
| (CaCO ₃) | : aragonit |
| (CaMg(CO ₃) ₂) | : delomit |
| H | : hidrojen |
| Ca(HCO ₃) ₂ | : kalsiyum bikarbonat |
| W _L | : likit limit |
| W _P | : plastik limit |
| I _P | : plastite indisi |
| W _{opt} | : optimum su içeriği |
| γ _{kmax} | : maksimum kuru birim hacim ağırlık |

| | |
|----------------|---------------------------|
| kN | : kilonewton |
| m | : metre |
| m ³ | : metreküp |
| w | : su içeriği |
| °C | : sanitgrat derece |
| Ø | : içsel sürtünme açısı |
| C | : kohezyon |
| mm | : milimetre |
| cm | : santimetre |
| gr | : gram |
| ΔH | : yükseklik değişimi |
| H | : yükseklik |
| P | : basınç |
| A | : alan |
| qu | : serbest basınç dayanımı |
| dk | : dakika |
| D | : çap |
| L | : uzunluk |
| % | : yüzde |
| ° - (der) | : derece |
| k | : geçirimlilik katsayısı |
| E | : 10 üzeri |
| AV | : görünür viskozite |
| PV | : plastik viskozite |
| YP | : verim noktası |
| PH | : potansiyel hidrojen |

KISALTMALAR

ASTM: American Society for Testing and Materials

TS : Türk Standardı

TSE : Türk Standartları Enstitüsü



BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1. AMAÇ VE KAPSAM

Dünyada ve ülkemizde yumuşak zeminlerin iyileştirilebilmesi için birçok yöntem kullanılmaktadır. Ancak bunlardan çoğu oldukça maliyetli ve imalatı meşakkatli yöntemlerdir. Günümüzde zemin iyileştirmesinde hem kimyasal yöntemler hemde fiziksel yöntemler oldukça fazla bir şekilde kullanılmaktadır. Teknolojinin gelişmesi ve ülkelerin nüfuslarındaki artış ile birlikte, atıkların zararsız bir şekilde depolanması ve tekrar ürün olarak kullanılması ile ilgili problemler giderek artmaktadır. Bu sorunlara ek olarak çevre kirliliği ve sorunun önüne geçilmesi için yapılan çalışmaların önemi de giderek artmaktadır.

Artan şehirleşmeyle birlikte zayıf ve şişebilen zeminler temel zemini olamaya başlamış ve buna bağlı olarak da bir çok sorun baş göstermiştir. Bu durum yalnızca günümüzde değil tarihin bir çok döneminde bir çok şehir için sorun teşkil etmiş olup çeşitli stabilizasyon yöntemleri ile zeminlerin özellikleri değiştirilerek bu sorunların önüne geçilmeye çalışılmıştır.

Bu çalışmanın amacı, bentonit kiline belirli oranlarda traverten tozu karıştırıp kürlendirerek zemini iyileştirmek ve traverten katkısı ile iyileştirilmiş bu zeminlerin deneysel çalışmalarla bentonit kilinin şişme, mukavemet ve hidrolik geçirimsizlik özelliklerini araştırmaktır. Zeminlerin özelliklerini iyileştirmeye yönelik olarak Geoteknik mühendisliğinde en çok kullanılan malzemelerin başında saf Kalsiyum (Ca) yada Ca içerikli ürünler gelmektedir. Kalsiyumun killerin mukavemet, hacim stabilitesi, durabilite gibi özelliklerini iyileştirdiği bir çok çalışma ile ortaya konulmuştur. Ancak zeminlerin hidrolik geçirimsizliklerine olan etkileri konusunda çeşitli karşıt görüşler mevcuttur. Bu görüşlerden ilki, kireç ilavesi ile oluşan

flokülasyon sebebiyle zeminin boşluk oranının ve hidrolik geçirimsizlik değerinin artacağıdır. İkincisi ise, zemine yeteri kadar kireç ilave edilmesi durumunda oluşacak olan pozolanik reaksiyonlar sebebiyle, zemindeki boşlukların tıkanacağı ve bu nedenle hidrolik geçirimsizliğin düşeceği şeklindedir.

Bu tez kapsamında bu konuyla ilgili olarak deneyler yaparak traverten tozunun zemin geçirimsizliğine olan etkisi irdelenmiş olacaktır. Bu amaçla ilk olarak konu ile ilgili yapılan çalışmalar ve yayınlar araştırılmış, konunun daha iyi anlaşılması amacıyla kaynaklar taranmıştır. Daha sonra bentonit kili ve ve karışımlarda kullanılacak olan traverten tozunun mühendislik özellikleri belirlenmiştir.

Laboratuvar çalışmalarında ilk olarak deneylerde kullanılacak olan bentonit kili ve traverten tozunun mühendislik özellikleri bulunmuştur. Daha sonra birbirinden farklı karışım oranlarında hazırlanmış olan numunelerin, Proktor deneyleri yapılmış, maksimum kuru birim ağırlık ve optimum su içeriği değerleri bulunmuştur. Bentonit kiline kütlece artan oranlarda traverten tozu eklenerek optimum su içeriğinde numuneler hazırlanmış ve kürlenmiştir. Hazırlanan numunelerin, serbest basınç dayanımı, şişme basıncı, içsel sürtünme açısı, kohezyon ve hidrolik geçirimsizlik değerlerinin bulunması amacıyla her kür süresinde deneyler yapılmıştır. Bu deneylerin sonucunda numunelerin, traverten tozu oranı ve kür sürelerine göre şişme basınçlarının, serbest basınç dayanımlarının, içsel sürtünme açılarının, kohezyonlarının ve hidrolik geçirimsizlik değişimleri incelenmiştir.

Katkı malzemesi olarak kullanılan travertenler işletmelerden açığa çıkan atıklar olup kısmen dolgu malzemesi olarak kullanılsa da, genellikle fabrika çevresinde görünümü bozuk büyük yığınlar oluşturmaktadır. Türkiye genelinde ise benzer fabrikalardan çıkan atıkların büyük ölçekli fabrikalarında göz önünde bulundurduğunda oldukça fazla olduğunu söylemek yanlış bir tespit olmayacaktır. Söz konusu bu malzemenin zemin iyileştirmede kullanılabilirliğinin tespiti hem zemin mühendiliği hemde çevre sorunlarının azaltılmasında önemli bir katkı değer oluşturacaktır. Bu anlamda tez kapsamında elde edilen verilerin önemli olduğu düşünülmektedir.

1.2. KURAMSAL TEMELLER VE ÇALIŞMA KONUSUYLA İLİŞKİLİ LİTERATÜR ÖZETLERİ

İnşaat mühendisliği uygulamalarında proje sahası zemin koşullarının mühendislik tasarımları ve yapım yöntemleri seçimi üzerinde önemli etkileri olduğu bilinmektedir. Bazı inşaat alanlarında karşılaşılan zemin koşulları projenin yapılabilirliğini tayin edecek boyutlarda sorunlar yaratabilmektedir. Bu durumlarda arazi zemin koşullarının iyileştirilmesi mühendislik seçenekleri arasında yer almaktadır. Zemin iyileştirilmesi, zeminlerin belirli özelliklerinin, amaçlanan bir mühendislik uygulamasına yönelik olarak, değişik fiziksel, kimyasal veya biyolojik yöntemler kullanılarak iyileştirilmesi olarak tarif edilebilir [1].

Zeminlerin iyileştirmesinde hedeflenen başlıca amaçlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

- Mukavemet taşıma gücü artışı.
- Yük altında sıkışmaların (oturmaların) azaltılması.
- Gerilmelerin altında şekil değiştirmelerin azaltılması.
- Şişme, büzülme potansiyelinin azaltılması.
- Çevresel etkiler (donma/çözülme, ısınma/kuruma) sonucu olumsuz fiziksel ve kimyasal değişimlerin önlenmesi.
- Durabilitenin artırılması.
- Su geçirgenliği, su basınçları oluşumu ve sızıntı suyu kontrolü.
- Erozyon direncinin artırılması.
- Depremler ve tekrarlı yükler altında sıvılaşma, mukavemet ve rijitlik kaybı potansiyelinin azaltılması.
- Temel zemini ve dolgu malzemelerinde değişkenliğin azaltılması.
- Yüzey bozulmalarına karşı direncin artırılması [1].

Zemin iyileştirme yöntemleri aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir.

- Mekanik Yöntemler - Değişik kompaksiyon (sıkıştırma) tekniklerinin uygulanması.
- Hidrolik Yöntemler - Zemin suyunun çıkarılması, kontrolü ve yönlendirilmesi.
- Fiziksel ve Kimyasal Yöntemler – Isıtma/dondurma, katkı malzemeleri eklenmesi, enjeksiyon teknikleri.
- Donatılı Zemin - Zemin içinde donatı elemanlarının kullanılması [1].

Mekanik iyileştirmede kısa süreli mekanik kuvvetlerin etkisi ile zemin yoğunluğunun artırılması amaçlanmaktadır. Patlatma ile sıkıştırma, sıkıştırma kazıkları, titreşimli veya darbeli silindir ile sıkıştırma, titreşimli tablalarla sıkıştırma ve derinde titreşimle sıkıştırma bu grup altında toplanabilir [2].

Hidrolik iyileştirme drenler ve kuyular yardımı ile boşluk suyu basıncının düşürülerek kayma dayanımını artırmayı hedefleyen iyileştirme yöntemidir. Kaba daneli zeminlerde kuyu veya hendeklerden pompalama ile yeraltı suyu seviyesinin indirilmesi, ince daneli zeminlerde düşey drenlerin yardımı ile de ön yüklem yapılması, elektriksiz yüklerle boşluk suyunun uzaklaştırılması türünden iyileştirmeler bu grup altında toplanabilir [2].

Fiziksel ve kimyasal iyileştirme; yüzeysel zemin tabakalarında katkıların fiziksel olarak karıştırılması, katkıların derinlerde kolonlar teşkil edecek şekilde karıştırılması yolu ile yapılabilir. Katkılar; doğal zeminler, endüstriyel artık ürünleri veya atıklar, birbiriyle veya zeminle reaksiyona giren çimento ve kimyasal maddelerden oluşabilir. Katkı zemin boşluklarına veya yapı elemanı ile zemin arasındaki boşluğa basınçla verilirse bu uygulama enjeksiyon adını almaktadır. Isıtma ve dondurma yolu ile yapılan iyileştirmeler ile son yıllarda yurdumuzda geniş uygulama alanı bulan jet grout kolonu uygulaması bu grup içerisinde sayılabilir [2].

Donatı ile iyileştirme ise zemin içerisine değişik donatı türleri (geogrid, şerit vb.) katılarak iyileştirme olarak tanımlanabilir [2].

Zeminlerin katkı maddeleri ile iyileştirilmesi işleminde, iyileştirilecek zemine eklenecek katkı maddesinin ucuz ve kolay temin edilebilir bir malzeme olması esastır.

Kum, kireç, çimento, çimento- kireç karışımı, uçucu kül, uçucu kül – kireç karışımı, bitüm, tuz ve bazı kimyasal bileşikler katkı maddesi olarak sayılabilir.

Şişen zeminlerin iyileştirilmesi için %5 kireç içeren, karışım çoğu zaman elverişlidir. Kireç veya çimento - su karışımı şişen zeminin üst tabakası ile karıştırılır. Kireç veya çimentonun zemine eklenmesi zeminin, likit limit, plastisite indisi ve şişme özelliğini düşürür. Bu tür bir iyileştirme 1-1,5 m derinliklerde uygulanabilir. Yüksek kalsiyumlu sönmüş kireç veya dolomitik kireç iyileştirmede kullanılabilir. Şişen zeminlerin iyileştirilmesinde diğer bir yöntem de, zemin içerisine basınçlı kireç karışımı veya kireç-uçucu kül karışımı enjeksiyonudur. Bu yöntem genellikle 4-5 m derinliklerde kullanılır. Sahanın zemin şartlarına bağlı olarak tekli veya çoklu enjeksiyon yöntemleri uygulanabilir [3].

Uçucu kül; silika, alümina, değişik oksitler ve alkalilerden oluşan ince daneli bir faz olup, bir fabrika atığıdır. Hidrate kireç ile reaksiyona girerek çimentolanma etkisi gösterir. Bu nedenle kireç – uçucu kül karışımları yol alt temellerinde kullanılırlar. %10-35 kül + %20-10 kireç karışımları genelde uygun karışımlardır [2].

Zeminlerin tuzla iyileştirilmesi yöntemi özellikle kalsiyum klorit ve sodyum klorit şişen zeminlerin iyileştirilmesinde çoğunlukla kullanılmaktadır. Tuzların zemin üzerindeki etkisi zemin özelliğine bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. Genelleme yapmak gerekirse; özellikle yüksek limit değerlerine sahip olan zeminlerde etkili olmaktadır. Zeminlerin su içeriklerinin korunmasını, büzülme limitinin ve kayma dayanımının artmasını sağlarlar. Suyun donma derecesini düşürdüklerinden donmadan kaynaklanan şişme probleminin çözümünde başarılı olarak kullanılmışlardır. Ancak zaman içerisinde zeminden ayrılmaları problem oluşturmaktadır. Bu nedene stabilizasyonun belirli sürelerde tekrarlanması gerekmektedir. Bu da yöntemin ekonomik olmamasına neden olmaktadır [4].

Şişen zeminlerin iyileştirilmesinde çok yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biride şişen bir zeminin, şişmeyen bir zeminle karıştırılmasıdır [5]. Kum, katkı malzemeleri arasında hem uygulaması kolay olan hem de etkili ve ucuz bir malzemedir. [5-10]

konuya ilişkin yaptıkları çalışmalarında şişme özelliklerini iyileştirmek amacıyla %20 ile %80 arasında değişen oranlarda kum kullanılarak, etkili sonuçlar almışlardır.

Problemlili zeminlerin en yaygını, genellikle nehir ağızları yakınlarında, körfezlerin çevresi boyunca ve bataklıkların altında bulunan, yumuşak suya doymuş killer ve siltlerdir. Bu zeminler çok zayıf ve sıkışabilir, şişebilir olup, bu nedenle taşıma gücü ve oturma problemlerine maruz kalırlar. Genellikle, bu problemleri daha da kötüleştiren organik malzeme içerirler [11].

Zorluer (2003) [12] “zeminlerin atık mermer tozu ile iyileştirilmesi” adlı çalışmada, zemin iyileştirilmesi için katkı maddesi olarak mermer endüstrisinin atığı olan mermer tozu incelenmiş; ana zemin malzemesi olarak Meşelik kili kullanmıştır. Numuneler, Meşelik kiline kütlece farklı oranlarda atık mermer tozu eklenerek ve standart proktor sıkıştırma enerjisinde sıkıştırılarak hazırlanmıştır. Numunelerin şişme değerleri odometre deneyi ile belirlenmiştir. Deneylerde, atık mermer tozu katkısının killerin şişme potansiyelini etkilediği görülmüştür. Çalışmanın sonucunda, atık mermer tozu katkısının zemin iyileştirmesinde kullanılabilir olduğu görülmüştür. Ancak atık mermer tozunun; kilin mukavemet ve geçirimsizlik özelliklerine etkisi tartışılmamıştır.

İkizler vd. (2008) [13] yüksek şişme yüzdesine sahip bentonit kiline artan oranlarda çimento, uçucu kül ve kum karıştırarak dane dağılımları, özgül yoğunlukları, kıvam limitleri, maksimum kuru birim hacim ağırlıkları, optimum su içerikleri ve şişme yüzdeleri belirlenerek farklı oranlarda katılan katkı malzemelerinin bu özellikler üzerindeki etkileri incelenmiştir. Ancak katkı malzemelerinin bentonit kilinin mukavemet ve geçirimsizlik özelliklerine etkisi tartışılmamıştır.

Başer vd. (2010) [14] şişen zeminlerin iyileştirilmesinde mermer fabrikalarının atığı olan kireçtaşı ve mermer tozu kullanmışlardır. Zemin olarak kaolin ve bentonit kullanmışlardır. Kireçtaşı ve mermer tozu zemine %0 - %30 arasında değişen oranlarda eklenmiştir. Numunelere dane dağılımı, kıvam limitleri, kimyasal ve mineralojik bileşim, şişme yüzdesi ve şişme hızı deneyleri yapılmıştır. Katkı yüzdesi arttıkça şişme yüzdesi düşmüş ve şişme hızı artmıştır. Ayrıca numunelere 7 günlük ve

28 günlük kür uygulanmıştır. Kür numunelerin şişme yüzdesinin düşmesine ve şişme hızının artmasına olumlu yönde katkısı sağlamıştır. Ancak kireç tozu ve mermer tozunun; kaolin ve bentonit kilinin mukavemet ve geçirimsizlik özelliklerine etkisi tartışılmamıştır.

Çimen vd. (2010) [15] Çalışmalarında mermer tozu ile pomza tozunun, yüksek plastisiteli bir kile karıştırılmasıyla, kilin mühendislik özelliklerine olan etkisini araştırmışlardır. İlk olarak kilin, pomza ve mermer tozunun fiziksel ve kimyasal özellikleri bulunmuştur. Kile artan oranlarda pomza ve mermer tozu ilave edilerek, kıvam limitleri, standart kompaksiyon ve serbest basınç deneyleri yapılmıştır ve pomza ve mermer tozu ile yapılan zemin iyileştirme sonuçları karşılaştırılmıştır. Bulgular sonucunda değerlendirilerek kilin mühendislik özelliklerinin iyileştirilmesi için, pomza ve mermer tozunun optimum katkı miktarları tespit edilmiştir. Bu atık malzemelerin zemin iyileştirilmesinde kullanılabilirliği gösterilmiştir. Ancak mermer tozu ve pomza tozunun kayma drenaj ve geçirimsizlik özellikleri tartışılmamıştır.

Çabalar vd. (2013) [16] “Gaziantep’teki kil zeminlerin kırmataş ile iyileştirilmesi ve artık lastik – kırmataş karışımları üzerine bir çalışma” isimli çalışmada iyileştirme malzemesi olarak kırmataş ve artık lastik – kırmataş karışımları kullanılmıştır. Çalışma kapsamında karışımların hem dayanım performansı hem de geçirimsizliği incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda killere artan oranlarda kırmataş eklendiğinde dayanım performansının artarken geçirimsizliğinin ise azaldığı görülmektedir. Ancak kür süresinin bu etkileşimi nasıl değiştirdiği hakkında bir inceleme yapılmamıştır.

Özhan (2017) [17] “Anyonik polimerin kaolin kilinin mühendislik özelliklerine etkileri” isimli çalışmada kaolin kiline kütlece artan oranlarda anyonik polimer eklenerek kaolinin geçirimsizlik ve şişme potansiyelleri incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda kaolin kiline artan oranlarda anyonik polimer katkısının geçirimsizlik katsayısını düşürürken şişme potansiyelini ise arttırdığı görülmüştür. Ancak bu çalışmada da kür süreleri ile ilgili herhangi bir inceleme yapılmamıştır.

Alpyürür (2016) [18] “Zemin iyileştirmesinde öğütülmüş gazbeton kullanımı” isimli çalışmada Potansiyel inşaat yıkıntı atığı olarak düşünülen gazbetonun (GB) zemin

iyileştirmesinde kullanılabilirliğini laboratuvar deneyleri ile araştırmıştır. Gazbeton öğütülerek kullanılmış ve farklı zemin tiplerine etkisini araştırmak amacı ile yüksek plastisiteli bentonit kili (CH), düşük plastisiteli kil (CL) ve kum zeminler ile karıştırılarak elek analizi ve hidrometre deneyleri, Harvard minyatür kompaksiyon, serbest basınç, kesme kutusu, Kaliforniya taşıma oranı ve şişme basıncı deneyleri gerçekleştirmiştir. Deneyleri yalın CH, CL ve kum numunelerine ek olarak kuru ağırlıkça % 5, % 10, % 15, % 20 ve % 25 oranında öğütülmüş gazbeton içeren CH-GB, CL-GB ve Kum-GB numuneleri üzerinde gerçekleştirmiştir. Çalışma sonucunda, öğütülmüş gazbetonun problemlili zeminlerin yüzeysel iyileştirmesinde alternatif bir katkı maddesi olarak kullanılabilirdiği, özellikle düşük mukavemet ve yüksek şişme potansiyeline sahip zeminlerde oldukça etkili olabileceği belirlenmiştir demıştır. Ancak zeminin geçirimsizlik parametrelerine etkisi tartışılmamıştır.

Öntürk (2011) [19] “Zemin iyileştirmesinde polisaj, kireç ve uçucu külün kullanımı” isimli çalışmasında Seyitömer uçucu külü (UK), yapay granit atığı (polisaj) ve bağlayıcı malzeme olarak kireç kullanılarak, mevcut olan zayıf zeminlerin iyileştirmesi üzerine etkilerini araştırmıştır. Esas zemin numunesi olarak kullanılan kaolen kiline UK, polisaj ve kireç belirli oranlarda katarak homojen karışımli numuneler oluşturmuştur. Hazırlanan yapay numunelere kireç ve uçucu kül miktarı %15 oranında sabit tutularak, %10, %15 ve %20 oranlarında polisaj malzemesi ilave edilerek özgül ağırlık değerleri, zemin sınıflandırma deneyleri, kompaksiyon ve 1 gün, 7 gün, 14 gün, 28 gün ve 56 gün kür sürelerinde California Taşıma Oranı deneyleri yapmıştır. Çalışma sonucunda kaolen kiline ilave edilen katkı maddeleri ile hazırlanan zemin numunesinin mevcut durumdaki zeminin mukavemet değerlerini arttırdığı gözlemlenmiştir. Ancak zeminin şişme ve geçirimsizlik parametrelerine etkisi tartışılmamıştır.

Bozbey (2004) [20] çalışmasında Kireç katkısının siltli zeminin mukavemetinde ve işlenilebilirliğinde artış meydana getirdiğini tespit etmiştir. Araştırmacı çalışmasında Laboratuvarda yapılan hidrolik geçirgenlik deneylerinde, zemin kuru ağırlığının yüzde ikisi, beşi ve sekizi kadar kireç ilave edilmiş olan numunelerde, hidrolik geçirimsizliğin arttığı görülmüş ve uygulanan enerjilerin artması ile hidrolik geçirgenlik değerlerinde düşüş olduğunu ölçmüştür. Arazide yapılan infiltrasyon deneylerinin ise, kireç

ilavesinin infiltrasyon hızını, dolayısıyla da hidrolik geçirimsiliği artırdığını gösterdiğini tespit etmiştir. Araştırmacı bu durumun, laboratuvarda elde edilen sonuçlarla uyumlu olduğunu belirtmektedir.



BÖLÜM 2

MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. DENEYLERDE KULLANILAN MALZEMELER VE ÖZELLİKLERİ

2.1.1. Zemin Özellikleri

Deneyleerde Tokat bölgesinden KarBen Bentonit Endüstriyel Madencilik Kimya Ar-Ge Nano Teknolojileri Sanayi ve Ticaret A.Ş. Firması aracılığıyla temin edilen doğal bentonit kullanılmış olup çeşitli fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 2.1'deki gibidir. Bentonitin, kristal yapısı son derece küçük ve plastisite indisi son derece yüksektir. Aynı zamanda çok yüksek su çekim gücüne sahiptir. Bentonit için zeminler, özellikle artan su içeriklerinde şişmeye karşı son derece duyarlıdır. Bentonitler yüksek miktarda montmorlonit mineralleri içermektedir. Yüksek katyon değişirme kapasitesi, düşük hidrolik iletkenlik, yüksek şişme potansiyeli ve büyük yüzey alanına sahip olma montmorillonit mineralinin karakteristik yapısını meydana getirir [23]. Montmorillonit tabakaları arasındaki bağların çok zayıf olması nedeniyle su aldıkları zaman, bu minerali içeren killerde fazla hacim değişimleri gözlenir. Bu yüzden bu minerali içeren bentonitlerin şişme potansiyeli yüksektir. Montmorillonit minerali içermesi sebebiyle bentonit kili yüksek su emme kapasitesi ve düşük hidrolik geçirgenliğe sahiptir. Ayrıca bentonit danelerini çevreleyen boşluk suyu ve daneler etkileşim bentonite davranışını oldukça etkiler [22].

Deneyleerde kullanılan bentonitlerin kıvam sınırlarını belirlemek için Karabük Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Laboratuvarında Likit Limit (Cassagrande) ve Plastik Limit deneyleri yapılmıştır. Deneyleerden elde edilen sonuçlar Çizelge 2.2'de gösterilmiş olup bentonite yüksek plastisiteli olarak değerlendirilmiştir.

Çizelge 2.1. Ham bentonit özellikleri [10].

| TANIM | SONUÇ |
|--------------------------------|-------|
| Viskozite 600 Rpm | 35 |
| Viskozite 300 Rpm | 21 |
| AV | 17,5 |
| PV | 14 |
| YP | 7 |
| YP/PV | 0,5 |
| Nem | 9,1 |
| PH (% 10 su) | 6,3 |
| Parçacık Dağılımı 75 mikron | 16 |
| Metilen Mavisi | 310 |
| SiO ₂ | 60,99 |
| Al ₂ O ₃ | 17,27 |
| Fe ₂ O ₃ | 3,68 |
| CaO + MgO | 4,91 |
| K ₂ O | 1,05 |
| Na ₂ O | 2,2 |

Çizelge 2.2. Ham bentonit kıvam limitleri.

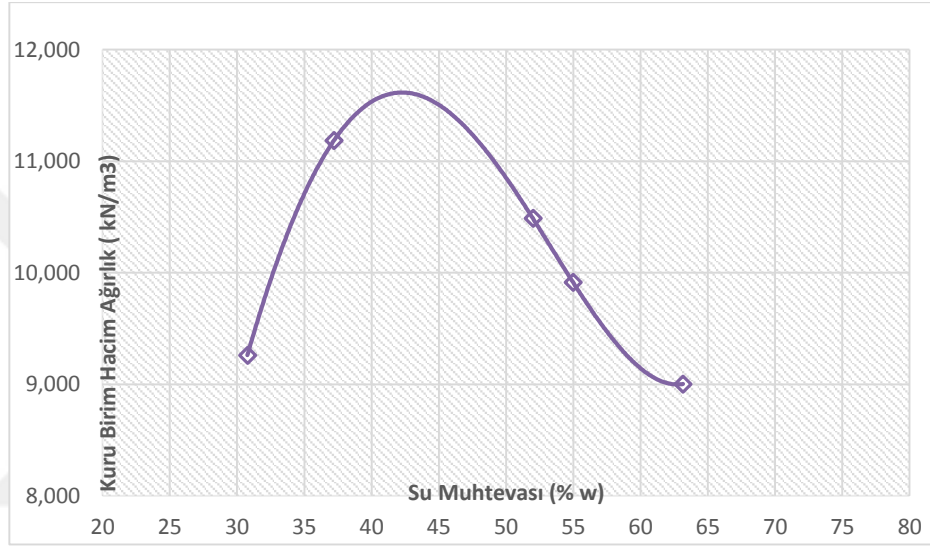
| Likit Limit (W _L) (%) | Plastik Limit (W _P) (%) | Plastiste İndisi (I _P) (%) |
|-----------------------------------|-------------------------------------|--|
| 312 | 67 | 245 |

Kıvam sınırlarının belirlenmesine ek olarak bentonitin kompaksiyon özelliklerinin belirlenmesi amacıyla Standart Proctor deneyleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.1).

Yapılan deneyler sonucunda ham bentonit için optimum su içeriği (ω_{opt}) % 42 ve maksimum kuru birim hacim ağırlık değeri ise ($\gamma_{k max}$) 11,61 kN/m³ olarak bulunmuştur (Şekil 2.2).



Şekil 2.1. Standart proctor deneyi deney aleti ve malzemeleri.



Şekil 2.2. Ham bentonit kompaksiyon grafiği.

2.1.2. Katkı Malzemesinin Özellikleri

Travertenler kalsiyum bikarbonat içeren sıcak suların, kaynaklardan çıkış noktalarından itibaren, CaCO_3 olarak amorf veya kriptokristaller halinde çökelmeleri sonucunda oluşurlar. Traverten oluşumuna neden olan kalsiyum (Ca^{++}) ve karbonatlı (CO_3^{-}) çözeltilerin zenginleşmesinde, karbonatlı kayalar içerisinde su dolaşımı, sıcaklık, basınç, pH ve suda çözülmüş CO_2 gazı önemli rol oynamaktadır. Söz konusu kayaçlardaki yavaş su dolaşımı çözünürlülüğü artırır ve yeraltında suyunun iyonlar bakımından zenginleşmesini sağlar. Traverteni oluşturan sıcak su kaynaklarının sıcaklıkları genelde $25^\circ - 40^\circ\text{C}$ arasındadır. Bu da çözünürlülüğü arttıran bir diğer etkidir. Söz konusu iyonlar kalsit (CaCO_3), aragonit (CaCO_3) ve dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) gibi karbonat minerallerinin çözülmesi ile ortaya çıkar. (Ca^{++}) ve (CO_3^{-})

iyonlarını içeren sıcak yer altı sularının mağara içlerinde, kırıklarda, çatlaklarda veya kırık ve çatlaklar yardımıyla yeryüzünde ulaştıklarında CO₂ basıncının azalmasına bağlı olarak hızlı bir biçimde çökmesi sonucunda iri gözenekli, ince taneli ve bantlı yapı sunan travertenler oluşur [21]. Ca (HCO₃)₂'li sulardan CO₂'in hızlı bir biçimde ayrılması hızlı çökmeye ve iri gözenek oluşumuna; yavaş ayrılması ise yavaş çökmeye ve dolayısıyla küçük gözenekliliğe neden olur. Travertenlerin çökmesinde topoğrafyada önemli bir etken olarak rol oynamaktadır. Fazla eğimli yüzeylerde CO₂ kaybının daha fazla olmasına rağmen su daha uzak mesafelere taşındığı için daha az traverten depolanır. Bunun tersi olarak da düz veya eğimi az olan bölgelerde traverten çökelim miktarı yükselmektedir [24].

Çalışmada katkı maddesi olarak kullanılan traverten numuneleri Karabük ili Eskipazar ilçesinde bulunan İmanlar formasyonu traverten ocaklarından alınmıştır. Traverten numuneleri üzerinde yapılan deneyler ile ortalama doğal birim hacim ağırlıkları (γ) 25,05 kN/m³ olarak belirlenmiştir.

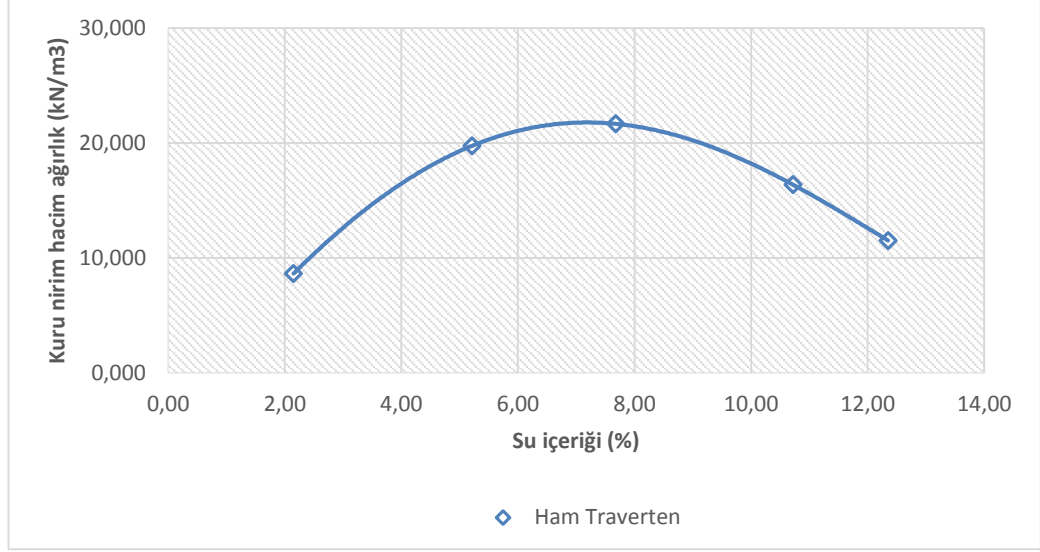
Traverten tozu numuneleri üzerinde Cassagrande Deneyi uygulanmış olup deney sonuçları Çizelge 2.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 2.3. Traverten tozu kıvam limitleri.

| | Likit Limit (%) | Plastik Limit (%) | Plastiste İndisi (%) |
|----------------|-----------------|-------------------|----------------------|
| Traverten Tozu | 21,54 | 15,12 | 6,42 |

Traverten tozu numuneleri üzerinde Standart Proctor Deneyi uygulanmış olup deney sonuçları Şekil 2.3'te gösterilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda optimum su içeriği (ω_{opt}) % 7,1 ve maksimum kuru birim hacim ağırlık değeri ise ($\gamma_{k max}$) 20,89 kN/m³ olarak bulunmuştur.

Traverten tozu numuneleri üzerinde optimum su içeriğinde kesme kutusu deneyleri uygulanmıştır. Yapılan deneyler sonucunda içsel sürtünme açısı değeri (ϕ) 28,15° ve kohezyon değeri ise (c) 0,1917 kg/cm² olarak bulunmuştur.



Şekil 2.3. Ham traverten kompaksiyon grafiği.

2.2. DENEY MODELLERİNİN OLUŞTURULMASI

Ham bentonit numuneleri serbestleştirilmiş, kurutulmuş ve 40 nolu elekten elendikten sonra deneye hazır hale getirilmiştir. Bentonit numunesine ağırlıkça %10, %20, %30 ve %40 oranlarında öğütülmüş ve 40 nolu elekten elenmiş traverten tozu eklenerek, optimum su içeriği değerlerinin bulunması amacıyla kompaksiyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Kompaksiyon deneyleri sonucunda her bir karışım için bulunan optimum su içeriklerinde numuneler hazırlanıp kürlendirilmeye bırakılarak deneylere hazır hale getirilmiştir. Hazırlanan numunelere 7, 14, 21, 28, 35 ve 42 gün süreyle kür uygulanmıştır. Karışım oranları Çizelge 2.4'te, deney programı ise Çizelge 2.5'te gösterilmiştir.

Çizelge 2.4. Deneylerde kullanılan numunelerin karışım oranları.

| Numune Adı | Bentonit Oranı (%) | Traverten Oranı (%) |
|------------|--------------------|---------------------|
| N0 | 100 | 0 |
| N1 | 90 | 10 |
| N2 | 80 | 20 |
| N3 | 70 | 30 |
| N4 | 60 | 40 |

Çizelge 2.5. Deney programı.

| Çalışma kapsamında yapılan deneyler | Kür süresi | | | | | | |
|---|------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | Kür uygulanmadan | 7.gün | 14.gün | 21.gün | 28.gün | 35.gün | 42.gün |
| Kompaksiyon deneyleri ve numunelerin sıkıştırılması (N0, N1, N2, N3, N4) | | | | | | | |
| Kıvam Limiti Deneyleri | | | | | | | |
| N0, N1, N2, N3, N4 | × | | | | | | |
| Serbest Basınç Deneyleri | | | | | | | |
| N0, N1, N2, N3, N4 | × | × | × | × | × | × | × |
| Kesme Kutusu Deneyleri | | | | | | | |
| N0, N1, N2, N3, N4 | × | × | × | × | × | × | × |
| Şişme Basıncı Deneyleri | | | | | | | |
| N0, N1, N2, N3, N4 | × | × | × | × | × | × | × |
| Geçirimsizlik (Düşen Seviyeli Permabilite) Deneyleri | | | | | | | |
| N0, N2, N4 | × | | | | | | |
| N1, N3, N4 | | × | × | × | × | × | × |

2.3. ÇALIŞMA KAPSAMINDA GERÇEKLEŞTİRİLEN DENEYLER

2.3.1. Kıvam Limiti Deneyleri

Zeminlerin su içeriği zeminin bir sıvı gibi davrandığı bir uç durumdan, zeminlerin kuru olduğu diğer uç gibi çok geniş bir aralıkta değişebilmektedir. Bu aralıkta belirli geçiş noktalarındaki su içerikleri likid, plastik ve büzülme limiti olarak adlandırılmaktadır. [25]

2.3.1.1. Likit Limit Deneyi

Bu limit, standart deneyde (ASTM) Cassagrande aletinde Zemin örneği içinde açılan standart bir oyğunun 25 vuruşta kapanması için gereken su içeriği olarak tanımlanır. [26]

2.3.1.2. Plastik Limit Deneyi

Bu deney zeminin henüz plastik kıvamda bulunduğu en düşük su içeriğinin ölçülmesi ile ilgilidir. Plastik limit deneyinde amaç; zeminin henüz plastik kıvamda bulunduğu en düşük su içeriğinin belirlenmesidir. Plastik limitin laboratuvar tanımı; kırılma olmaksızın zeminin 3 mm çapında silindirik bir makarna şeklini aldığı andaki su içeriğidir. [26]

2.3.2. Kompaksiyon (Standart Proctor) Deneyi

Bir zeminin sıkıştırılarak optimum su muhtevasının saptanmasında aşağıdaki yöntemlerden yararlanılır.

- Standart kompaksiyon (Proktor) deneyi
- Modifiye kompaksiyon (Proktor) deneyi

Bu çalışma kapsamında standart kompaksiyon deneyi uygulandığından yalnızca standart kompaksiyon deneyi anlatılmıştır.

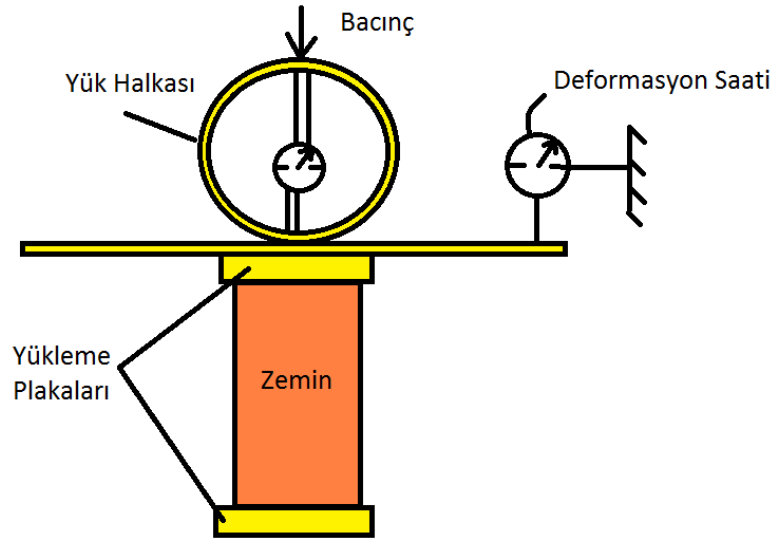
Kalıp, taban plâkası takılmış olarak 1 gr doğrulukla tartılır. Kalıp, beton döşeme gibi sert bir yüzey üzerine oturtulur ve nemli zemin, mümkün olduğu kadar eşit küttelede üç tabaka halinde, her birine 305 mm serbest düşüş yapan tokmakla 25 darbe uygulanarak, üst ucuna yakası takılmış kalıbın içine sıkıştırılır. Yaka çıkarılır ve sıkıştırılmış zemin, çelik cetvelle, kalıbın üst kenarı düzeyinde dikkatle düzlenir. Kalıp ve zemin, 1 gr duyarlılıkla tartılır. Sıkıştırılmış zemin, kalıptan çıkarılıp büyükçe bir metal kaba konur. Bu zeminini temsil eden bir numune alınarak su muhtevası ölçülür. Zeminin geriye kalanı, ufalanıp ilgili elekten geçirilir ve deneyin başında hazırlanan numuneden artmış oranla karıştırılır [27].

2.3.3. Serbest Basınç Deneyi

Serbest basınç deneyinde silindirik zemin numunesi üzerine sadece eksenel yönde yükleme yapılmaktadır. Eksenel yükün artmasıyla numunenin boyundaki kısalma

(deformasyon) ölçülerek gerilme-deformasyon eğrileri elde edilmektedir. En büyük aksenal gerilmenin değeri zeminin serbest basınç dayanımı değerini temsil etmektedir. Numunede meydana gelen kayma düzleminin, alt ve üst yükleme başlıkları ile kesişmesini engellemek için, boy uzunluğunun çapa oranının iki veya ikiden büyük olarak seçilmesi önerilmektedir [28].

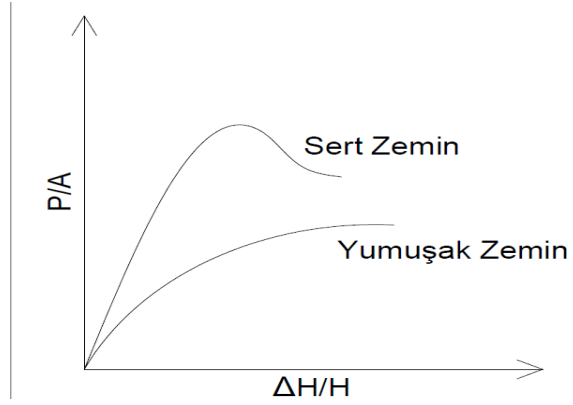
Serbest basınç deney aleti, biri sabit diğeri düşey yönde hareketli iki plaka, yük halkası ve 2 adet deformasyon saatinden oluşur. Deneyin basit şeması Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Serbest basınç deneyinin basit şeması.

Serbest basınç deneyi yanal desteğe gerek kalmadan kendi kendini ayakta dik olarak tutabilecek özelliklere sahip olan zeminlerin üzerinde uygulanabilmektedir. Bundan dolayı bu deneyin kum zeminlerde uygulanması mümkün olmayıp, kohezyonlu zeminlerde uygulanabilir. Deney sırasında numunenin drenaj şartları kontrol edilmemektedir. Bu yüzden yüklemenin hızlı yapılması ile zeminin drenajsız kayma mukavemeti elde edilir. Serbest basınç deneyi, killerin drenajsız kayma mukavemetini belirlemede yaygın olarak kullanılmaktadır [11].

Zeminler için deney sonucunda iki tür deformasyon- gerilme ilişkisi söz konusudur. Bu eğriler Şekil 2.5'te verilmektedir.



Şekil 2.5. Serbest basınç deneyinde deformasyon–gerilme ilişkileri.

Şekilde görüldüğü gibi sert zeminlerin serbest basınç mukavemetleri buna bağlı olarak da kohezyonları yumuşak zeminlere göre daha yüksek, kırılma anındaki deformasyonları yumuşak zeminlere göre daha düşüktür.

Kohezyonlu zeminler, serbest basınç mukavemetlerine göre sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırma Çizelge 2.6’da gösterilmektedir.

Çizelge 2.6. Serbest basınç mukavemetine göre killerin sınıflandırılması.

| Kıvam (Ayrıntılı) | Serbest Basınç Mukavemeti (q_u) kN/m^2 | Kıvam (Basit) |
|---------------------|---|--------------------|
| Çok yumuşak | < 25 | Yumuşak < 50 |
| Yumuşak | 25 - 50 | |
| Yumuşak – orta sert | 50 - 100 | Orta sert 50 - 200 |
| Orta sert | 100 - 200 | |
| Sert | 200 - 400 | Sert > 200 |
| Çok sert | > 400 | |

Serbest basınç deneyi üç eksenli kesme deneyinin özel bir halidir. Genellikle doymuş kil zeminlerde ($f=0$) kayma direncinin belirlenmesinde kullanılır. Serbest basınç deneyi gerilme kontrollü ya da birim boy kısalması kontrollü olarak iki biçimde yapılmaktadır. Birim boy kısalması kontrollü deney basit olduğu için yaygın olarak kullanılmaktadır.

Serbest basınç (tek eksenli) deneyi ASTM D 2166-00 (2000) standardına göre yapılmış olup deneyin yapılışı aşağıda anlatılmıştır.

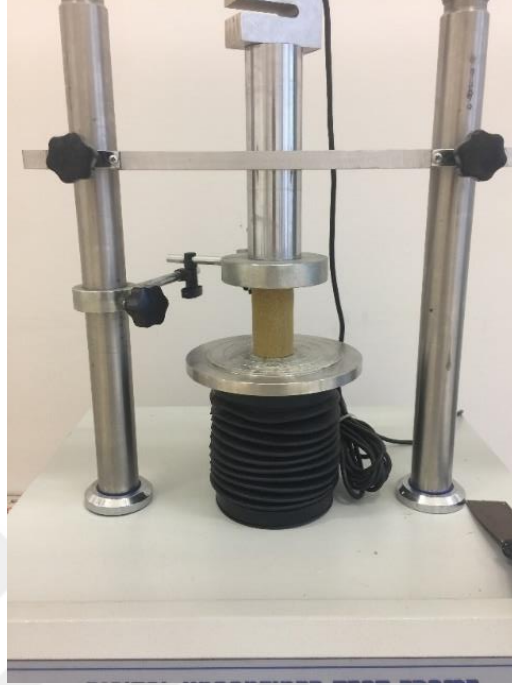
- Örnek deney aygıtının alt tablasının ortasına yerleştirilir. Örneğin alt ve üst yüzeyleri deney aygıtının alt ve üst tablalarının merkezlerine gelecek şekilde ayarlanır. Aygıt çalıştırılarak örneğin üst tablaya hafifçe temas etmesi sağlanır.
- Deformasyon okuması ve kuvvet halkası saatleri sıfırlanır.
- Yükleme hızı örnek boyunun mm cinsinden %0,5-2'si arasında bir değer olacak şekilde ayarlanır. Örneğin yüklenmesine başlanır ve deformasyon saati ve kuvvet halkası saatinden okumalar alınır. Yükleme hızı örneğin en çok 15-20 dk içinde kırılmasını sağlayacak şekilde seçilmelidir.
- Kırılmanın gözle görülebilir olması halinde; yüklemeler örnekte kırılma düzlemi görülünceye kadar devam ettirilir. Bu durumda yükler önce artar ve bir maksimum değere ulaşır. Okumalardan birkaç tanesi sabit kalabilir. Sonraki okumalarda genelde ani azalmalar görülür ve kırılma oluşur.
- Bazı durumlarda ise kırılma düzlemi görmek mümkün değildir. Birkaç tane kırılma düzlemi ve örneğin ortasında bir genişleme meydana gelir. Kırılmanın bu şekilde olması halinde; örnek boyunun %15 kısılmasına kadar yüklemeye devam edilir. %15 kısılmanın gerçekleştiği durumda kırılmanın olduğu kabul edilir.
- Örneğin kırılma şekli çizilir veya fotoğrafı çekilir. Örnekte belirgin bir kırılma düzlemi oluşmuşsa bu düzlemin yatayla yaptığı açı ölçülür (q).
- Deney sonunda örnek 0,01 gr duyarlılıklı tartıda tartılır.
- Deney sonu su içeriği belirlenir [29].

Serbest basınç deneyi düzeneği Şekil 2.6'da gösterilmektedir.

2.3.4. Kesme Kutusu Deneyi

Zeminlerin kayma direnci; zemine uygulanan sürekli deplasmanlar altında zemin danelerinin birbirine göre rölatif hareketlerine karşı gösterdikleri dirençtir. Kesme kutusu deneyi kohezyonlu ya da kohezyonsuz zeminlerin kayma dirençlerini belirlemek için kullanılan bir deneydir. Kesme kutusunun üst başlığı sağa doğru

kaydırılarak zorlanmaktadır. Bu şekilde zemin numunesi yatay zorlanmayla kesilerek kayma parametreleri bulunabilmektedir [30].



Şekil 2.6. Serbest basınç deneyi düzeneği.

Kesme kutusu deneyi iri ve ince daneli zeminlerin örselenmemiş veya sıkıştırılmış numunelerinde, en büyük yumuşamış ve kalıntı direnç parametrelerinin, numunelerin önceden belirli yatay bir düzlem boyunca kesilmesi suretiyle ölçülmesine dairdir. Zeminin kayma parametrelerinin belirlenmesi için yapılır. Numunenin kenar boyutu; 60 mm olan kare biçimindeki, yüksekliği ise 20 mm veya fazla olmalıdır. Deney en az üç numune ile farklı normal gerilmelerde numuneler konsolide edilerek yapılır.

Kullanılan cihazlar;

- Kesme kutusu
- Yatay kuvvet uygulama sistemi
- Gözenekli taşlar
- Çelik numune alıcılar
- Numune itici
- Düşey hareketi ölçen mikrometre

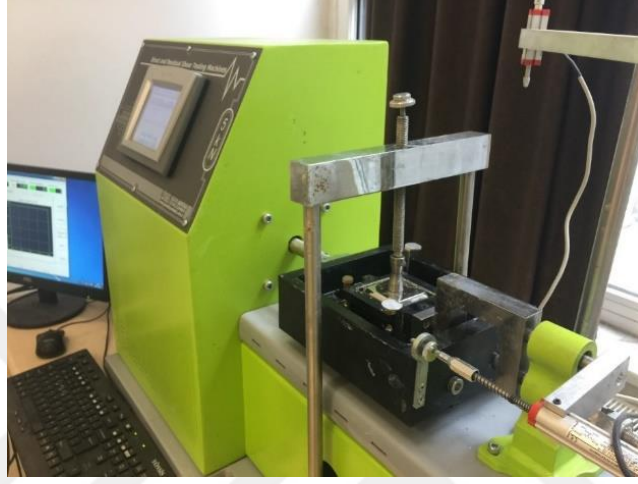
- Yatay hareketi ölçen mikrometre
- Terazî
- Kronometre
- Etüv
- Su
- Palet bıçağı
- Numune kabı

Çelik numune alıcı zemine batırılarak numune tüpünden numune alınır. Numunenin alt ve üst kısmı palet bıçağı ile hiç yük uygulamadan düzeltilir. Halka + numune ağırlığı terazide tartılarak bulunur. Ardından kesme kutusu cihazına gözenekli taş ve üstüne filtre kağıdı konularak, numune itici kullanılarak numune alıcıdan numune itilerek filtre ve gözenekli taşın üstüne oturtulur. Bu sırada numuneye fazla kuvvet uygulayıp numunenin konsolide olmasına izin verilmemelidir. Numunenin üstüne filtre kağıdı ve gözenekli taş konular ve üzerine baslık oturtulur. Numuneyi koyduğumuz iki parçalı hücrenin alt parçası ana hücreye sabitlenir, üst parçası da kuvvet halkasına bağlanır. Düşey yük özengi çelik başlığın üzerindeki çelik bilyeye oturtulur. Yatay hareketi, düşey oturmayı ölçen mikrometreler sıfırlanır. Numune artık deneye hazırdır.

Deneyin yapılışı; Sol ve sağ keseye ağırlıklar konulduktan sonra havuza su konur numune konsolidasyona maruz bırakılır. Numune kum ise ani sıkışma göstereceğinden konsolidasyon süresi, mikrometre belli bir yerde durduğunda veya çok yavaş ilerlediğinde konsolidasyona son verilir. Kil gibi ince deneli zeminlerde bu konsolidasyon süresi en az 24 saattir. Konsolidasyonda sonra numuneyi kesme işlemine geçilir. Kuvvet halkasını ve yatay ötelenmeyi ölçen mikrometreler sıfırlanarak kesme kutusu çalıştırılır. Numune belirlenen hızla (0,5mm/dk) kesme işlemi başlatılır. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16.... dakika zaman aralıklarında kuvvet halkası mikrometresinden kuvvet halkası değeri ve bu değere karşılık gelen yatay ötelenmede diğer mikrometreden okunarak bu değerle düzenli bir şekilde kaydedilir. Kuvvet halkası değerleri belli bir noktadan sonra sabitlenince (gevşek kum) veya belli bir noktadan sonra düşerse (sıkı kum) deneye son verilir. İşlem tamamlandıktan sonra numunenin alt ve üst taraflarında yatay ötelenme yaptığı

görülür. Numune hassas terazide tartılarak ağırlığı kaydedilir. Ardından numune, numune kabına konularak etüve atılır ve kuru ağırlığı bulunur. Kesme kutusu deneyi ikinci ve üçüncü numune için de tekrarlanır [31].

Kesme kutusu deney düzeneği Şekil 2.7’de gösterilmektedir.



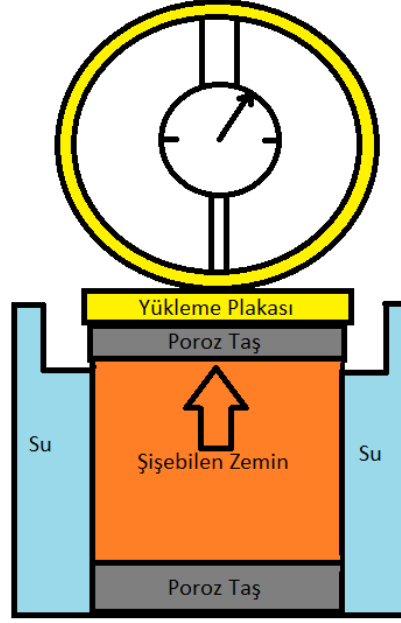
Şekil 2.7. Kesme kutusu deney düzeneği.

2.3.5. Şişme Basıncı Deneyi

Optimum su içeriğinde kompaksiyon uygulanan zemin numunesinin ortasından konsolidasyon deney yüzüğü kullanılarak numune alınır. Numune alınırken sıkışıklık oranının kaybolmamasına dikkat edilir. Konsolidasyon deney yüzüğüne numune alınırken yüzük içindeki numunenin etrafında herhangi bir boşluk olmamasına dikkat edilmelidir. Eğer boşluk olursa zemin numunesi ile doldurulmalıdır.

Konsolidasyon yüzüğünün yüksekliği 20 mm, çapı ise 50 mm dir. Zemin örneği yüzüğün içine yerleştirildikten sonra konsolidasyon yüzüğü altına bir adet poroz taş koyulması kaydıyla konsolidasyon hücresinin içine yerleştirilir. Yüzüğün üzerine de bir adet poroz taş koyulduktan sonra sabitleme aparatı ile yüzük konsolidasyon hücresinin içine sabitlenir. Sabitlenen konsolidasyon yüzüğünün üzerine yükleme plakası konur. Yükleme plakasının üzerine de yük hücresi konulduktan sonra düzeneğe sabitlenir. İlk suyun hücreye verilmesinden itibaren 7 gün boyunca her saat

başı basınç okumaları alınarak kaydedilir. Düzeneğin şematik görüntüsü Şekil 2.8’de gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Şişme basıncı düzeneği şematik görüntüsü.

Şişme basıncı deneyleri Karabük Üniversitesi Zemin Mekaniği Laboratuvarı’nda bulunan ve 4 farklı numunede ölçüm yapılmasına imkan tanıyan şişme basıncı ölçüm cihazıyla yapılmıştır. Cihaz S tipi yük hücresi ve odeometre hücresinden oluşmakta olup bir yazılım ile anlık şişme basıncı ölçüm alma kapasitesine sahiptir. Şişen killi bir zeminin su içeriğinin artması sonucunda oluşacak hacim değişikliğine engel olan basınç, şişme basıncı olarak adlandırılır. Bu çalışma kapsamında yukarıda ayrıntısı anlatılan cihaz ile şişmenin oluşmadığı durumda ulaşılan basınç bulunmuştur.

2.3.6. Geçirimsizlik (Düşen Seviyeli Permeabilite) Deneyi

Deneyde zemin içinden t zamanda geçen Q su miktarı ölçülerek geçirimsizlik kat sayısı bulunur. Bu yöntem ince taneli, orta ve düşük derecede geçirimsizliğe sahip (geçirimsizlik kat sayısı $< 10^{-2}$ cm/dk) zeminlerde uygulanır. Bu yöntemde kesit alanı ve yüksekliği belli bir mold içerisine yerleştirilmiş zemine kesit alanı belli bir cam tüp aracılığı ile su verilir. Belirli bir zaman aralığında zeminden geçen su miktarından zeminin geçirimsizlik kat sayısı bulunur. Laboratuvarda teste tabii tutulacak olan

numune çapı büyük önem kazanmaktadır. Arazi şartlarını temsil kabiliyetine sahip olan numune çapı 20-60 cm [29-30] nolu çalışmalarda da en az 30 cm olarak bulunmuştur. Çalışma kapsamında geçirimsizlik deneyleri ASTM D5084' e uygun olarak yapılmıştır. Ancak deneylerde kullanılan zeminin oldukça düşük geçirimsizliğe sahip olması nedeniyle numune kalınlığı tüm deneylerde 10 cm olarak tutulmuştur.

2.3.5.1. Deneyde Kullanılan Araçlar

- Geçirimsizlik hücresi ve geçirimsizlik paneli; çapları 2.3mm, 6.0mm ve 10mm olan 1m camdan kılcal tüpler tahtadan bir panele monte edilmiş. Tüplerin uçları musluklu plastic hortumlara takılıdır. Panel üzerinde düşen suyun miktarını belirlemek için 1 metrelik ölçek ile ayrıca panel üzerinde su tankı da montelidir.
- Damıtılmış su ve su tankı
- Termometre ve kronometre
- Vakum gresi
- Terazi (0.1 gr hassasiyete sahip)

2.3.5.2. Deneyin Yapılışı

- Düşük geçirimsizliğe sahip için sürekli havası alınmış su sistemine ihtiyaç duyulmamasına rağmen tüplere su ileten tanka havası alınmış su konulması gereklidir.
- Deneye başlamadan önce cam tüpler kalibrasyon edilmelidir. Eğer tüplerin kesit alanları bilinmiyorsa tüpler tek tek kalibre edilmelidir.
- Bu işlem birkaç kez tekrarlanarak “a” alanı bulunur.
- Hücre sökülerek lastik contalar temizlenip vakum gresi ile yağlanır. Hücre temizlendikten ve kurutulduktan sonra 0.1 gr hassasiyetle tartılarak hücrenin çapı (D) ve boyu (L) dikkatlice ölçülür.
- Numune alıcılarla alınmış olan örselenmiş numuneler, altı ve üstü kesilerek hücreye yerleştirilir.
- Hücre içine numune yerleştirildikten sonra alt ve üst filtre kağıtları yerleştirilerek alt ve üst plakalar vidalanır. Numune su tankına konulup, tank deşarj seviyesine kadar havası alınmış su doldurulur. Numunenin doymuş hale

gelmesi için cinsine bağı olarak 12 veya 24 saat yada daha uzun süre bekletilir. Bazen 50 mm civa basıncına eşit basınç hücreye uygulanarak numunenin içindeki havanın atılması ve doygun hale getirilmesi işleminin kolaylaştırılması sağlanır. Deşarj ağzından su damlamaya başladığında numunenin doygun hale geldiği anlaşılır.

- Numune doygunluğa ulaşır ulaşmaz, cam borular tamamen sui le doldurulur ve borudaki su düzeyi işaretlenir. Kronometre kullanılarak belli bir zaman aralığında tüplerdeki düşüş miktarı işaretlenir. Bu işlem birkaç dakikadan birkaç sate kadar uzayabilir [26].
- Elde edilen veriler Denklem 4.1'de yerine konularak hidrolik iletkenlik katsayıları hesaplanmıştır. [33].

$$k = 2.3x \left(\frac{axL}{Axt_1} \right) x \ln \frac{h_1}{h_2} \quad (4.1)$$

BÖLÜM 3

ARAŞTIRMA BULGULARI

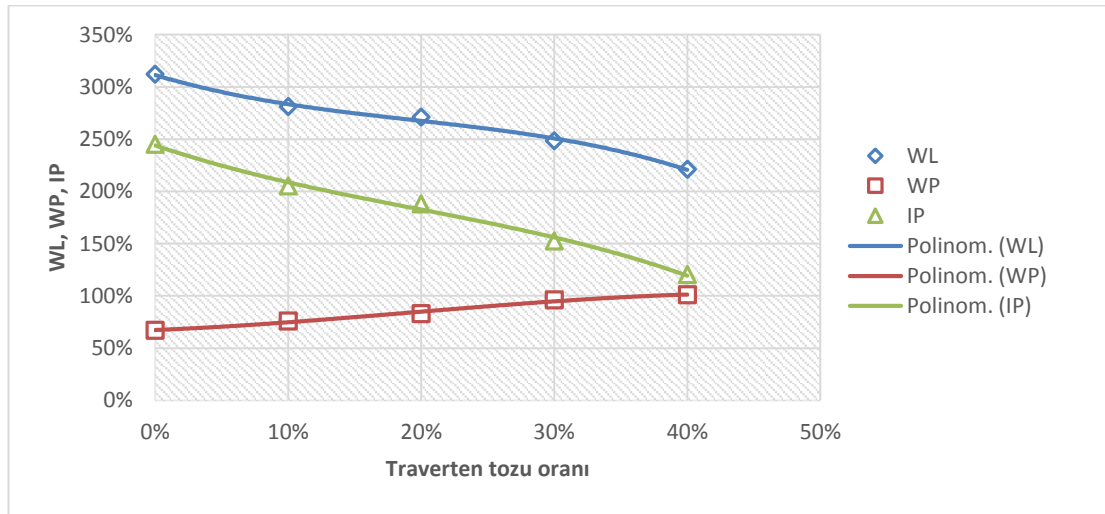
Deney programında belirtilen ve ilgili standartlara uygun şekilde yapılan deneylerin bulguları aşağıda verilmiştir.

3.1. KIVAM LİMITLERİ DENEY SONUÇLARI

N0, N1, N2, N3, N4 numunelerine likit limit ve plastik limit deneyleri yapılmıştır. Numunelerin likit limit ve plastik limit deney sonuçları Çizelge 3.1’de, traverten tozu katkısının kıvam limitlerine etkisi ise Şekil 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Numunelerin kıvam limiti deney sonuçları.

| Numune Adı | N0 | N1 | N2 | N3 | N4 |
|-------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| Likit Limit (W_L) (%) | 312 | 281 | 271 | 248 | 221 |
| Plastik Limit (W_P) (%) | 67 | 76 | 83 | 96 | 101 |
| Plastite İndisi (I_P) (%) | 245 | 205 | 188 | 152 | 120 |



Şekil 3.1. Bentonite traverten tozu katkısının kıvam limitlerine etkisi.

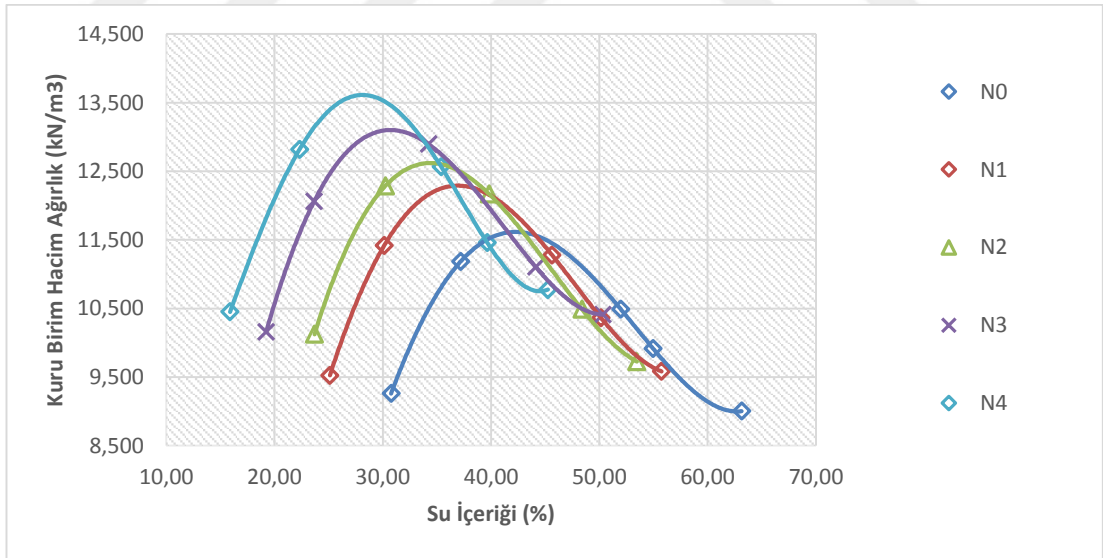
Bentonite ağırlıkça %10, %20, %30, %40 traverten tozu katkısının likit limit ve plastiste indisini düşürürken, plastik limiti artırdığı görülmüştür.

3.2. KOMPAKSİYON DENEYİ SONUÇLARI

Öğütölüp hazırlanmış bentonit numunesine artan oranlarda traverten tozu katılarak kompaksiyon deneyleri yapılmıştır. Kompaksiyon eğrileri Şekil 3.2’de, kompaksiyon deneyi sonuçları da Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Kompaksiyon deneyi sonuçları.

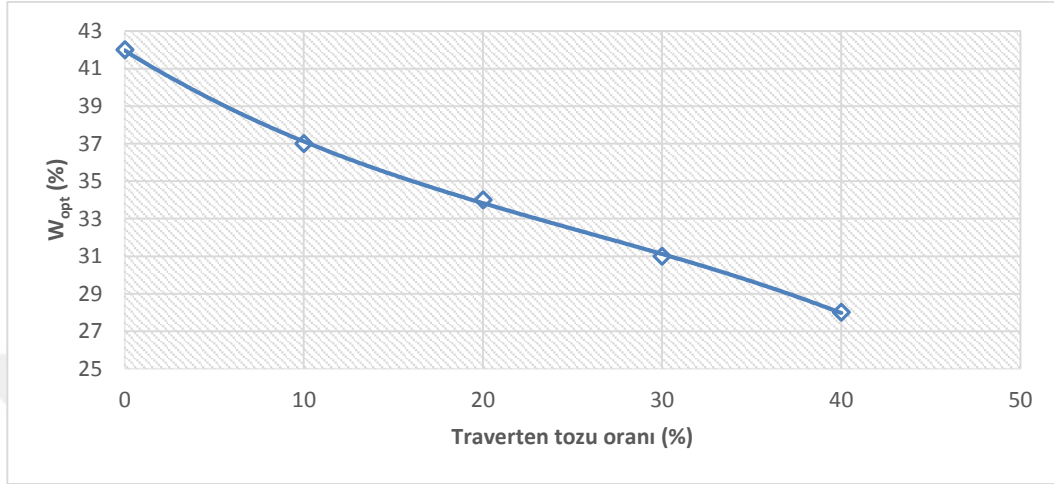
| Numune Adı | Optimum Su İçeriği (%) | Maksimum Kuru Birim Hacim ağırlık (kN/m ³) |
|------------|------------------------|--|
| N0 | 42 | 11,611 |
| N1 | 37 | 12,268 |
| N2 | 34 | 12,621 |
| N3 | 31 | 13,111 |
| N4 | 28 | 13,602 |



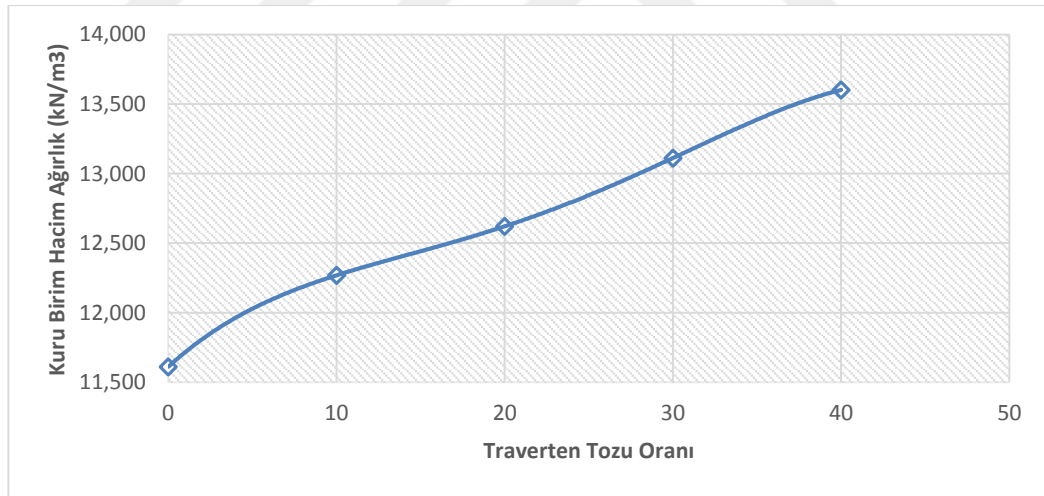
Şekil 3.2. Kompaksiyon eğrileri.

Çizelge 3.2 incelendiğinde bentonite ağırlıkça %10, %20, %30, %40 traverten tozu katkısının numunenin maksimum kuru birim hacim ağırlığını artırdığı, optimum su muhtevasını düşürdüğü görülmüştür.

Bentonite artan miktarda traverten tozu katıldığı zaman, optimum su muhtevsındaki değişim Şekil 3.3'te, maksimum kuru birim hacim ağırlıktaki değişim ise Şekil 3.4'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Bentonitin optimum su içeriğine traverten tozunun etkisi.



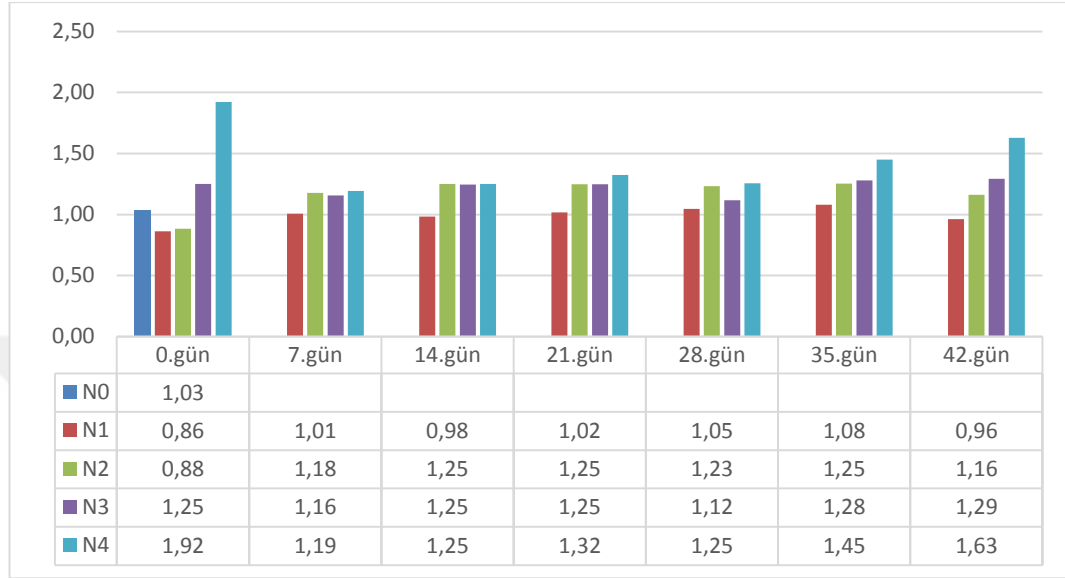
Şekil 3.4. Bentonitin maksimum kuru birim hacim ağırlığına traverten tozunun etkisi.

3.3. SERBEST BASINÇ DENEY SONUÇLARI

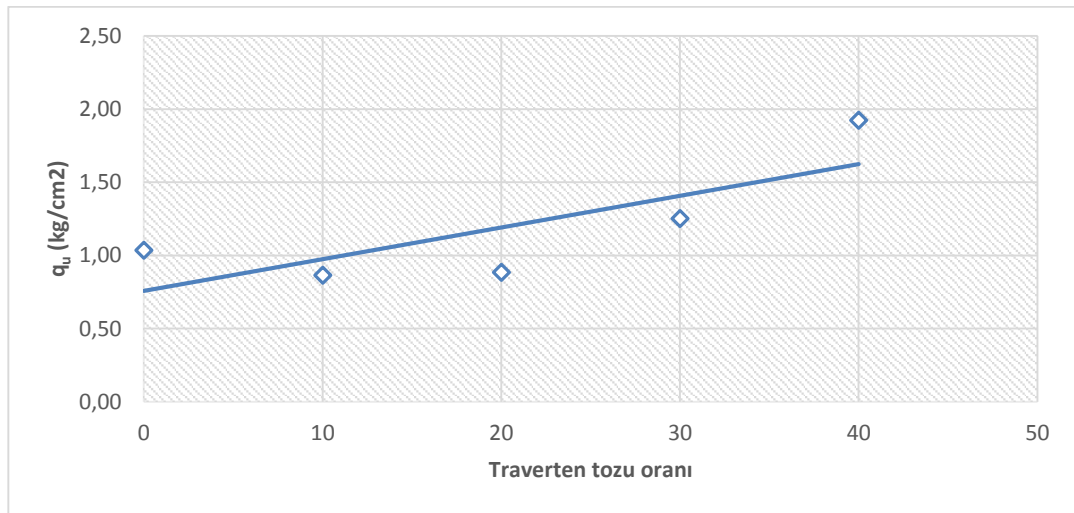
N0, N1, N2, N3 ve N4 numunelerine 0, 7, 14, 21, 28, 35 ve 42 gün kür sürelerinde serbest basınç deneyleri uygulanmıştır. Yapılan deneylerin sonuçları Çizelge 3.3'te gösterilmiştir. Deney sonuçları incelendiğinde traverten tozu oranı arttıkça serbest basınç değerinin arttığı görülmektedir. Ayrıca karışımlar kürlendirildikçe N1 ve N2

numunelerinin serbest basınç dayanımı doğrusal olarak artma eğiliminde N3 ve N4 numuneleri ise doğrusal olarak azalma eğiliminde olduğu görülmektedir.

Çizelge 3.3. Serbest basınç deneylerinin sonuçları (q_u değerleri kg/cm^2).



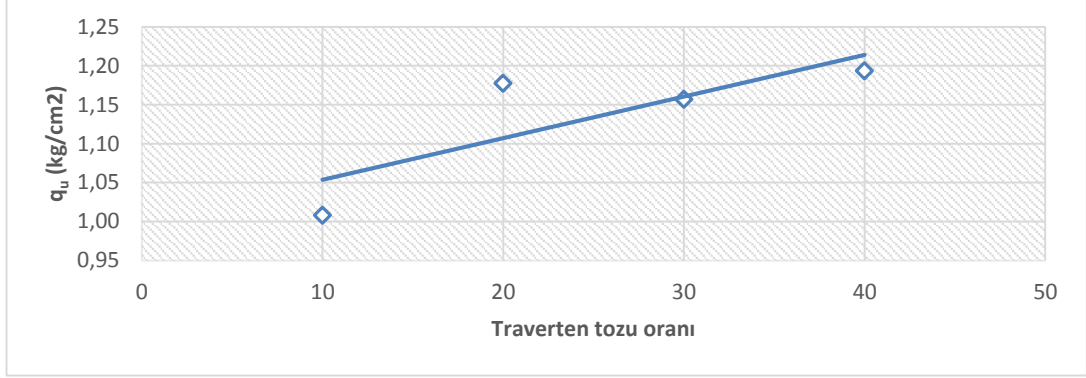
Bentonite artan oranlarda traverten tozu katıldığında 0. gün kür süresi için serbest basınç dayanımı değişimi Şekil 3.5'te gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Traverten tozu oranının bentonitin serbest basınç dayanımına 0. günde etkisi.

Şekil 3.5 incelendiğinde 0. günde bentonite artan oranlarda traverten tozu eklendiğinde doğrusal olarak serbest basınç dayanımının artma eğiliminde olduğu görülmektedir.

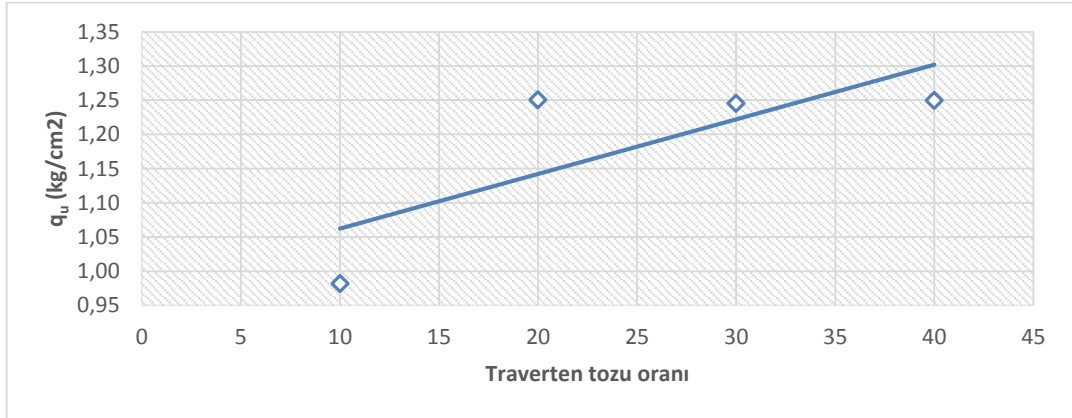
Bentonite artan oranlarda traverten tozu katıldığında 7. gün kür süresi için serbest basınç dayanımı değişimi Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Traverten tozu oranının bentonitin serbest basınç dayanımına 7. günde etkisi.

Şekil 3.6 incelendiğinde artan oranlarda traverten tozu eklenip 7 gün bekletilmiş bentonit numunelerinin serbest basınç dayanımının doğrusal olarak artma eğilimde olduğu görülmektedir.

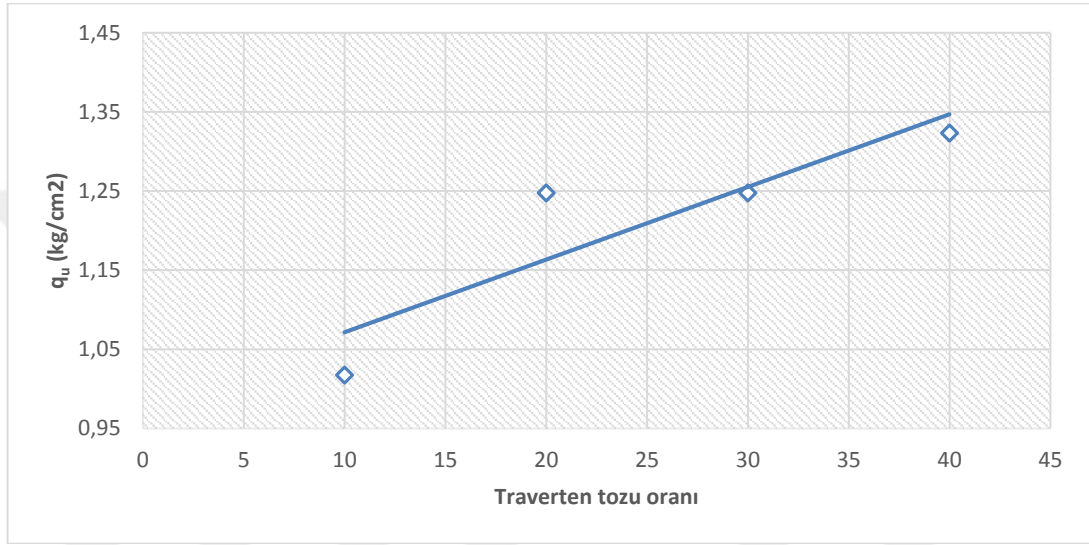
Bentonite artan oranlarda traverten tozu katıldığında 14. gün kür süresi için serbest basınç dayanımı değişimi Şekil 3.7'de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Traverten tozu oranının bentonitin serbest basınç dayanımına 14. günde etkisi.

Şekil 3.7 incelendiğinde artan oranlarda traverten tozu eklenip 14 gün bekletilmiş bentonit numunelerinin serbest basınç dayanımının doğrusal olarak artma eğilimde olduğu görülmektedir.

Bentonite artan oranlarda traverten tozu katıldığında 21. gün kür süresi için serbest basınç dayanımı değişimi Şekil 3.8’de gösterilmiştir.



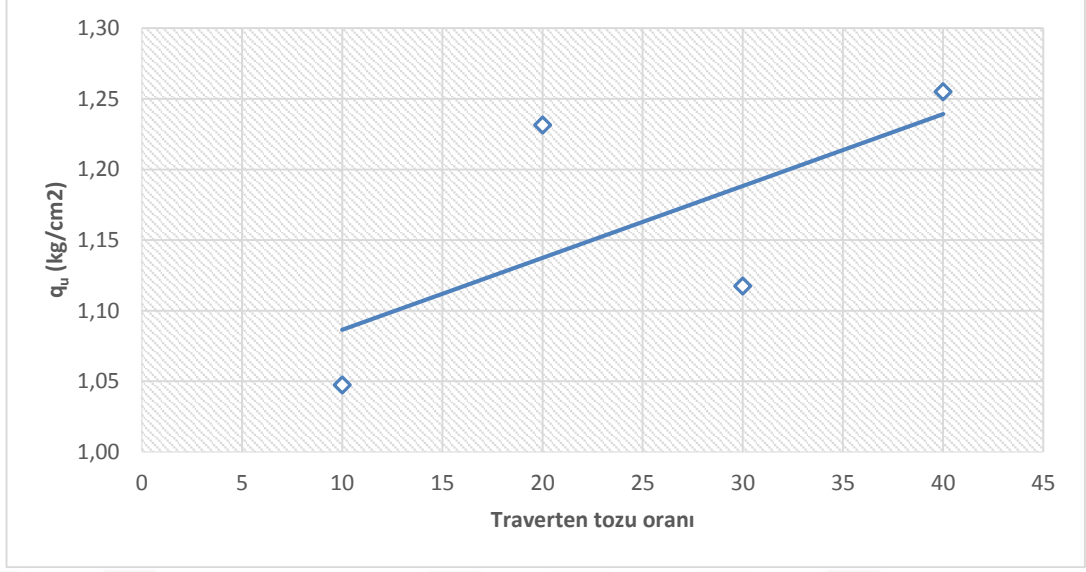
Şekil 3.8. Traverten tozu oranının bentonitin serbest basınç dayanımına 21. günde etkisi.

Şekil 3.8 incelendiğinde artan oranlarda traverten tozu eklenip 21 gün bekletilmiş bentonit numunelerinin serbest basınç dayanımının doğrusal olarak artma eğilimde olduğu görülmektedir.

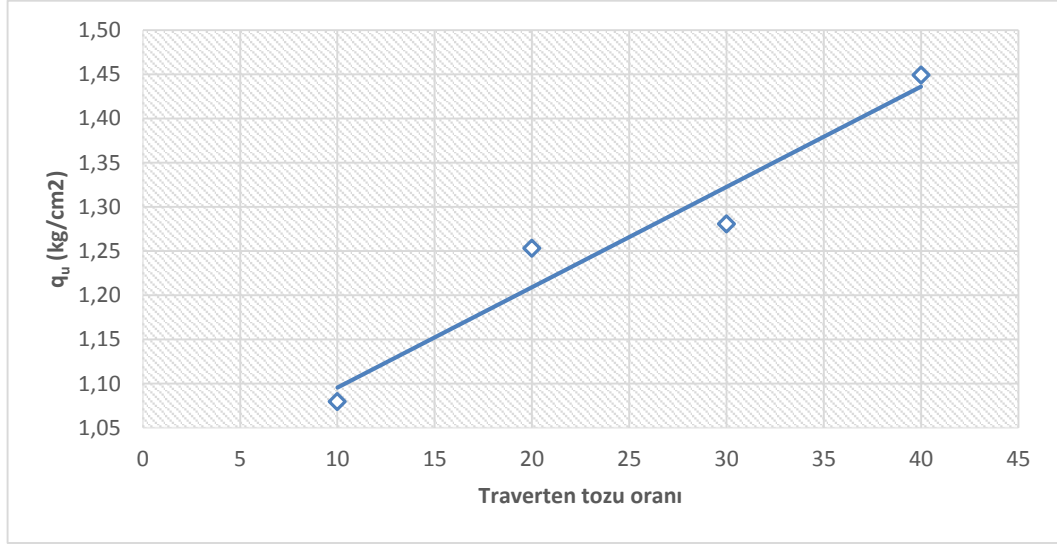
Bentonite artan oranlarda traverten tozu katıldığında 28. gün kür süresi için serbest basınç dayanımı değişimi Şekil 3.9’da gösterilmiştir.

Şekil 3.9 incelendiğinde artan oranlarda traverten tozu eklenip 28 gün bekletilmiş bentonit numunelerinin serbest basınç dayanımının doğrusal olarak artma eğilimde olduğu görülmektedir.

Bentonite artan oranlarda traverten tozu katıldığında 35. gün kür süresi için serbest basınç dayanımı değişimi Şekil 3.10’da gösterilmiştir.



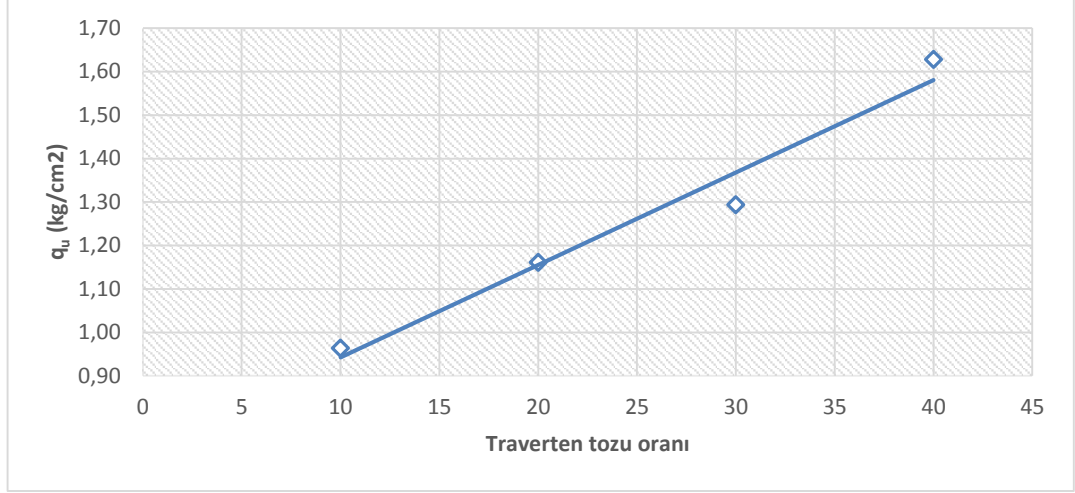
Şekil 3.9. Traverten tozu oranının bentonitin serbest basınç dayanımına 28. günde etkisi.



Şekil 3.10. Traverten tozu oranının bentonitin serbest basınç dayanımına 35. günde etkisi.

Şekil 3.10 incelendiğinde artan oranlarda traverten tozu eklenip 35 gün bekletilmiş bentonit numunelerinin serbest basınç dayanımının doğrusal olarak artma eğiliminde olduğu görülmektedir.

Bentonite artan oranlarda traverten tozu katıldığında 42. gün kür süresi için serbest basınç dayanımı değişimi Şekil 3.11'de gösterilmiştir.

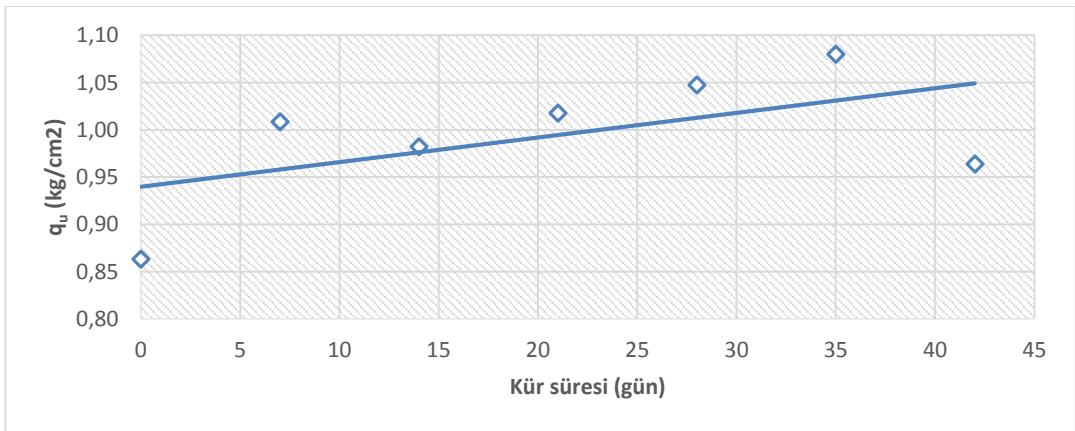


Şekil 3.11. Traverten tozu oranının bentonitin serbest basınç dayanımına 42. günde etkisi.

Şekil 3.11 incelendiğinde artan oranlarda traverten tozu eklenip 42 gün bekletilmiş bentonit numunelerinin serbest basınç dayanımının doğrusal olarak artma eğiliminde olduğu görülmektedir.

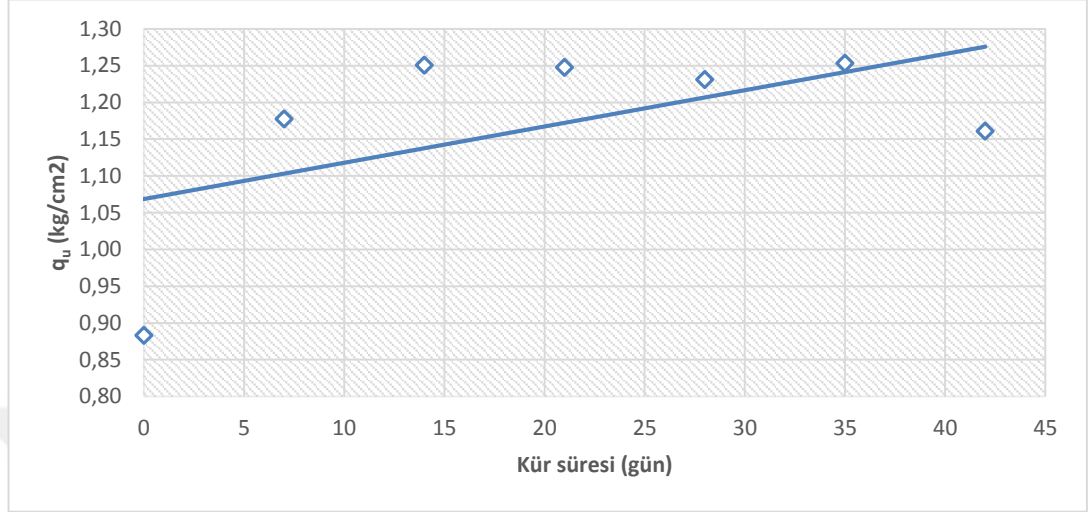
N1 numunesinin 0, 7, 14, 28, 35 ve 42 gün sürelerinde serbest basınç dayanımı değişimi Şekil 3.12'de gösterilmiştir.

Şekil 3.12 incelendiğinde N1 numunesinin serbest basınç dayanımının; kür süresi arttıkça doğrusal olarak artma eğiliminde olduğu görülmüştür.



Şekil 3.12. Kür süresinin N1 numunesinin serbest basınç dayanımına etkisi.

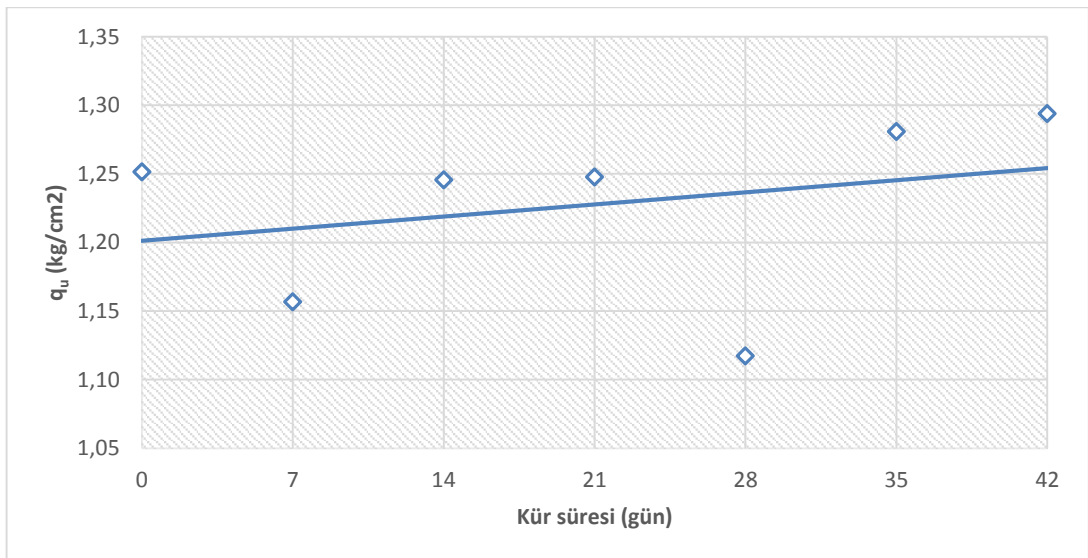
N2 numunesinin 0, 7, 14, 28, 35 ve 42 gün sürelerinde serbest basınç dayanımı değişimi Şekil 3.13'te gösterilmiştir.



Şekil 3.13. Kür süresinin N2 numunesinin serbest basınç dayanımına etkisi.

Şekil 3.13 incelendiğinde N2 numunesinin serbest basınç dayanımının; kür süresi arttıkça doğrusal olarak artma eğiliminde olduğu görülmüştür.

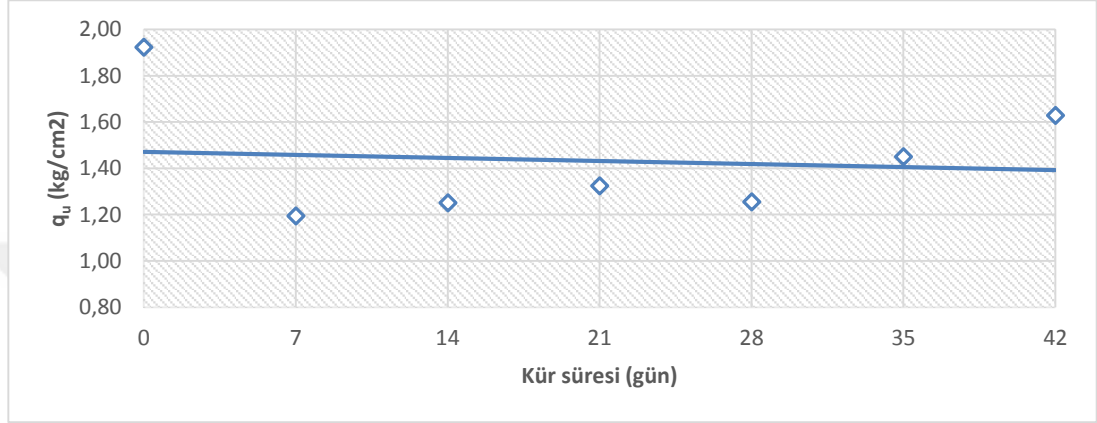
N3 numunesinin 0, 7, 14, 28, 35 ve 42 gün sürelerinde serbest basınç dayanımı değişimi Şekil 3.14'te gösterilmiştir.



Şekil 3.14. Kür süresinin N3 numunesinin serbest basınç dayanımına etkisi.

Şekil 3.14 incelendiğinde N3 numunesinin serbest basınç dayanımının; kür süresi arttıkça doğrusal olarak artma eğiliminde olduğu görülmüştür.

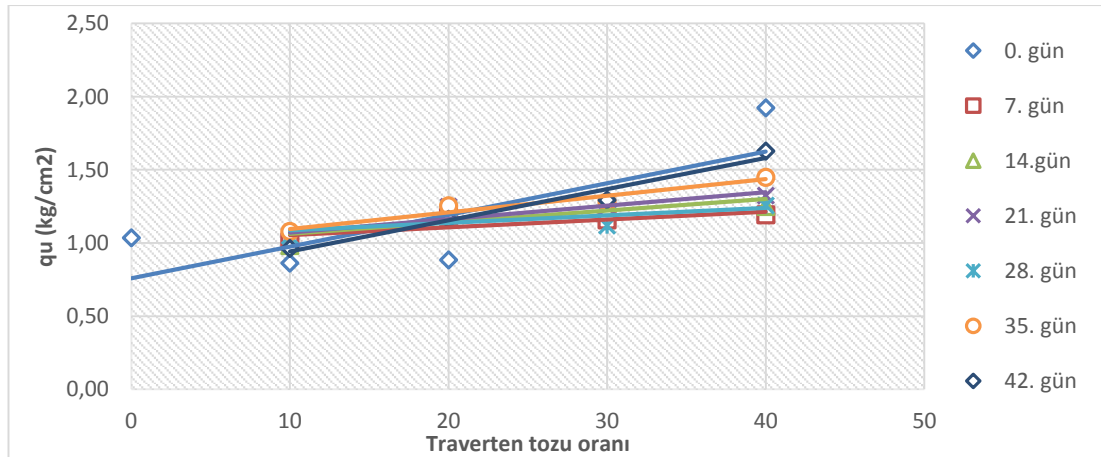
N4 numunesinin 0, 7, 14, 28, 35 ve 42 gün sürelerinde serbest basınç dayanımı değişimi Şekil 3.15'te gösterilmiştir.



Şekil 3.15. Kür süresinin N4 numunesinin serbest basınç dayanımına etkisi.

Şekil 3.15 incelendiğinde N4 numunesinin serbest basınç dayanımının; kür süresi arttıkça doğrusal olarak azalma eğiliminde olduğu görülmüştür.

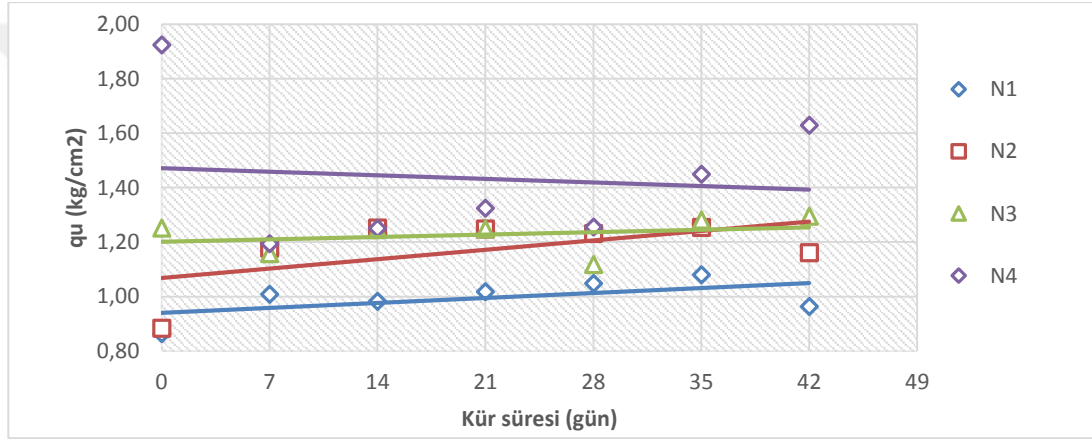
Yapılan deneyler sonucunda 0, 7, 14, 21, 28, 35 ve 42 gün kür sürelerinde bentonitin serbest basınç dayanımına traverten oranının etkisi birleşik grafik olarak Şekil 3.16'da gösterilmiştir.



Şekil 3.16. Traverten tozunun bentonitin serbest basınç dayanımına kür sürelerinin etkisi.

Şekil 3.16 incelendiğinde %10 traverten tozu katkılı bentonitte en yüksek serbest basınç dayanımının 35. gün kür süresinde, %20 traverten tozu katkılı bentonitte en yüksek serbest basınç dayanımının 14, 21 ve 35. gün kür sürelerinde, %30 traverten tozu katkılı bentonitte en yüksek serbest basınç dayanımının 42. gün kür süresinde, %40 traverten tozu katkılı bentonitte en yüksek serbest basınç dayanımının kür uygulanmadan, gerçekleştiği görülmektedir.

Yapılan deneyler sonucunda N1, N2, N3, N4 numunelerinin serbest basınç dayanımına kür sürelerinin etkisi birleşik grafik olarak Şekil 3.17' de gösterilmiştir.



Şekil 3.17. N1, N2, N3, N4 numunelerinin serbest basınç dayanımına kür süresinin etkisi.

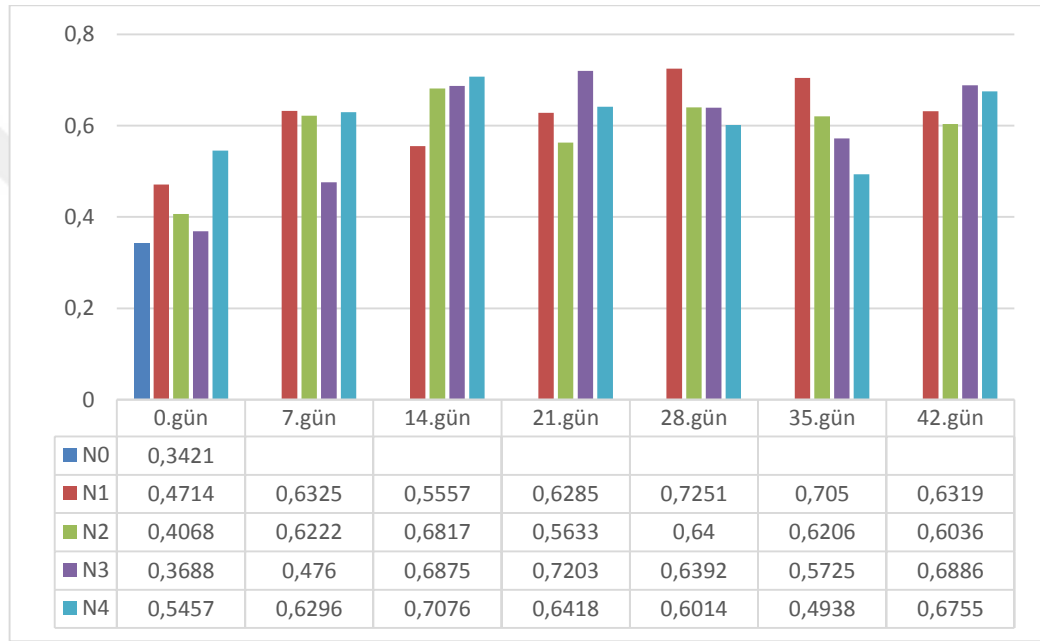
Şekil 3.17 incelendiğinde tüm kür sürelerinde en yüksek serbest basınç dayanımının N4 numunesinde olduğu görülmektedir. Her ne kadar serbest basınç değerini traverten katkısı düşürsede, kür süresinin serbest basınç değerini arttırdığı Şekil 25 açıkça görülmektedir. Bu nedenle traverten katkısı ile malzeme dayanımında artış gözlemlenebilmesi için % 30 katkı ve 35 günlük bir kür süresinin optimum olacağı düşünülmektedir.

3.4. KESME KUTUSU DENEY SONUÇLARI

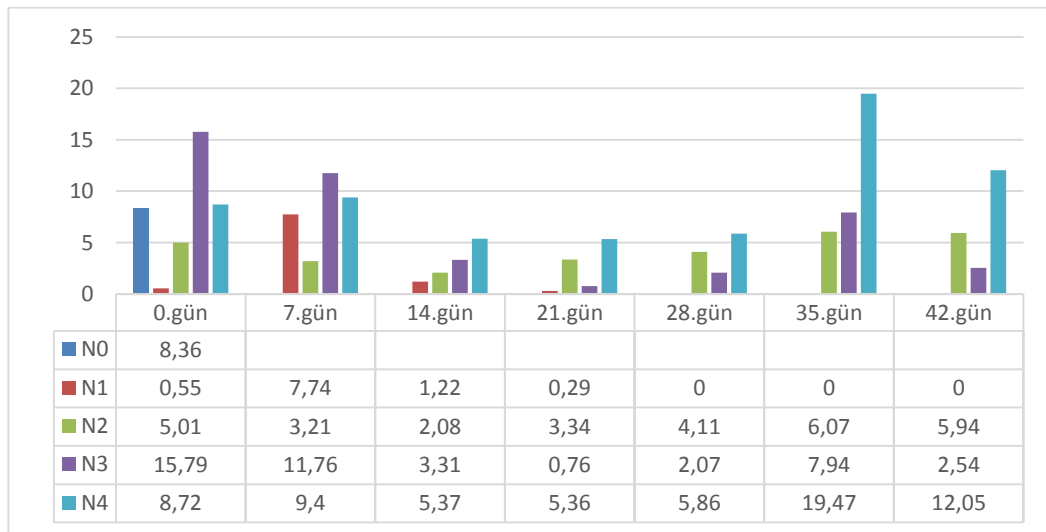
N0, N1, N2, N3 ve N4 numunelerine 0, 7, 14, 21, 28, 35 ve 42 gün kür sürelerinde kesme kutusu deneyleri uygulanmıştır. Yapılan deneylerin sonuçları Çizelge 3.4 ve Çizelge 3.5'te gösterilmiştir. Deney sonuçları incelendiğinde traverten tozu oranı

arttıkça kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerinin genel olarak arttığı görülmektedir. Ayrıca karışımlar kürlendirildikçe numunelerin kohezyon değerinin doğrusal olarak artma eğiliminde olduğu ancak içsel sürtünme açısı değeri N1, N2, N3 ve N4 numunelerinin kürlendirilmesi özelinde incelendiğinde N1 ve N3 numunelerinin içsel sürtünme açısı değerini kür süresinin azalttığı, N2 ve N4 numunesinin içsel sürtünme açısını kür süresinin artırdığı görülmüştür.

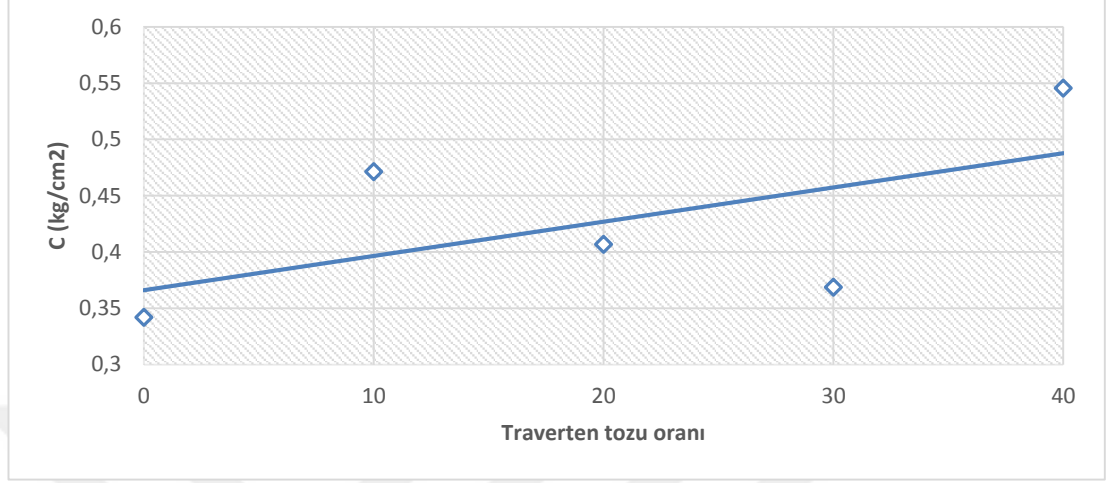
Çizelge 3.4. Kesme kutusu deneyi sonuçları (c değerleri (kg/cm²)).



Çizelge 3.5. Kesme kutusu deneyi sonuçları (ϕ değerleri (°)).



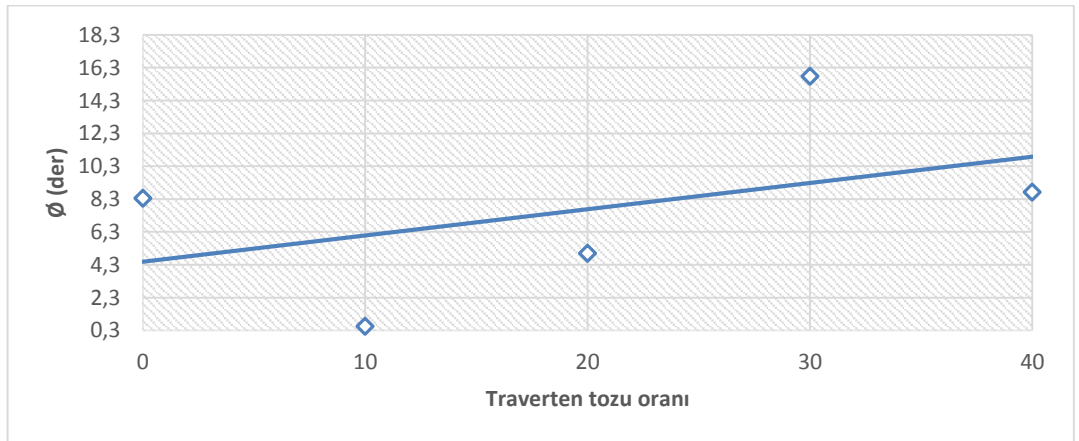
Bentonite artan oranlarda traverten tozu katıldığında 0. gün kür süresi için kohezyon değeri değişimi Şekil 3.18’de gösterilmiştir.



Şekil 3.18. Traverten tozu oranının bentonitin kohezyon değerine 0. günde etkisi.

Şekil 3.18 incelendiğinde 0. günde bentonite artan oranlarda traverten tozu eklendiğinde kohezyon değerinin doğrusal olarak artma eğiliminde olduğu görülmektedir.

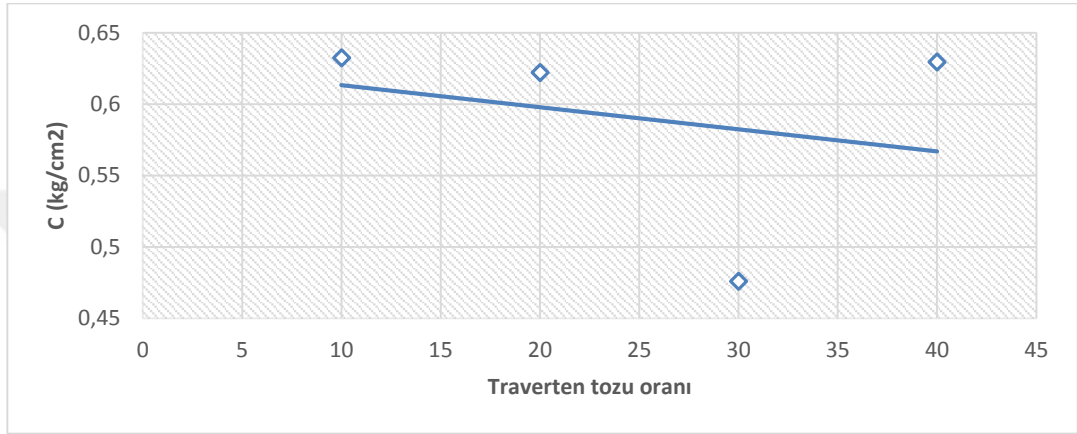
Bentonite artan oranlarda traverten tozu katıldığında 0. gün kür süresi için içsel sürtünme açısı değeri değişimi Şekil 3.19’da gösterilmiştir.



Şekil 3.19. Traverten tozu oranının bentonitin içsel sürtünme açısı değerine 0. günde etkisi.

Şekil 3.19 incelendiğinde 0. günde bentonite artan oranlarda traverten tozu eklendiğinde içsel sürtünme açısı değerinin doğrusal olarak artma eğiliminde olduğu görülmektedir.

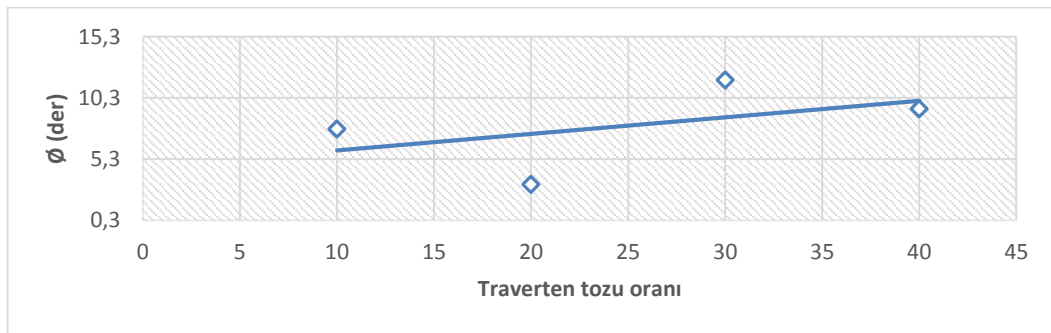
Bentonite artan oranlarda traverten tozu katıldığında 7. gün kür süresi için kohezyon değeri değişimi Şekil 3.20’de gösterilmiştir.



Şekil 3.20. Traverten tozu oranının bentonitin kohezyon değerine 7. günde etkisi.

Şekil 3.20 incelendiğinde artan oranlarda traverten tozu eklenip 7 gün bekletilmiş bentonit numunelerinin kohezyonunun doğrusal olarak azalma eğiliminde olduğu görülmektedir.

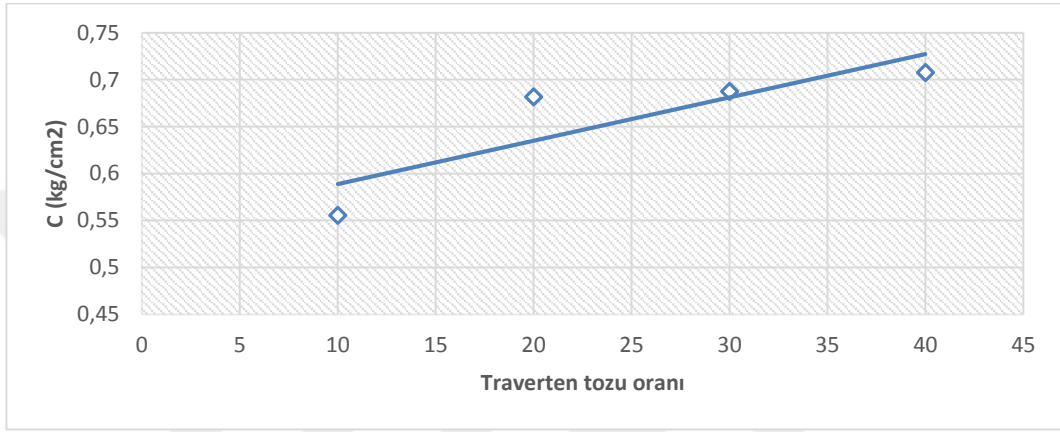
Bentonite artan oranlarda traverten tozu katıldığında 7. gün kür süresi için içsel sürtünme açısı değeri değişimi Şekil 3.21’de gösterilmiştir.



Şekil 3.21. Traverten tozu oranının bentonitin içsel sürtünme açısı değerine 7. günde etkisi.

Şekil 3.21 incelendiğinde artan oranlarda traverten tozu eklenip 7 gün bekletilmiş bentonit numunelerinin içsel sürtünme açısı değerinin doğrusal olarak artma eğiliminde olduğu görülmektedir.

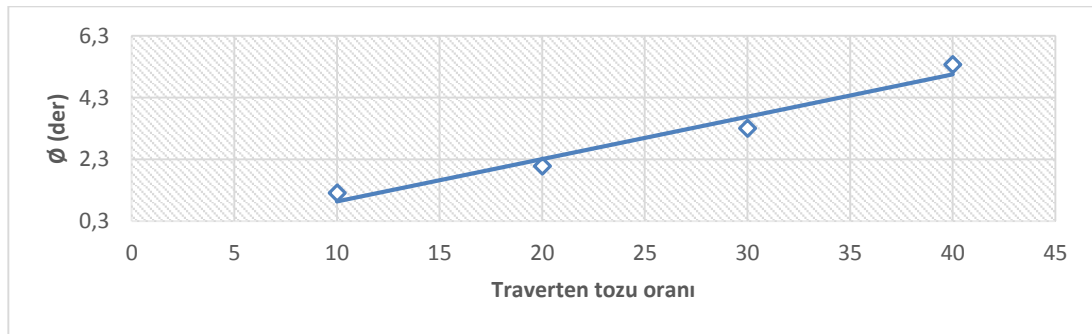
Bentonite artan oranlarda traverten tozu katıldığında 14. gün kür süresi için kohezyon değeri değişimi Şekil 3.22’de gösterilmiştir.



Şekil 3.22. Traverten tozu oranının bentonitin kohezyon değerine 14. günde etkisi.

Şekil 3.22 incelendiğinde artan oranlarda traverten tozu eklenip 14 gün bekletilmiş bentonit numunelerinin kohezyonunun doğrusal olarak artma eğiliminde olduğu görülmektedir.

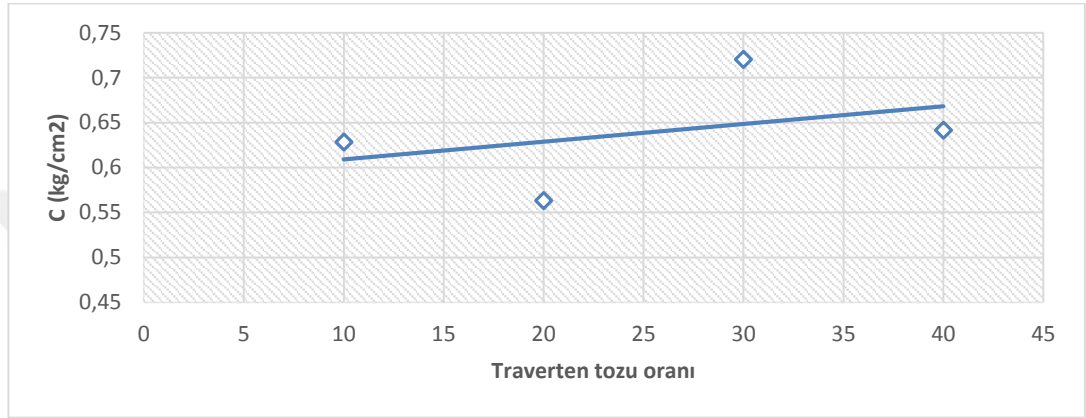
Bentonite artan oranlarda traverten tozu katıldığında 14. gün kür süresi için içsel sürtünme açısı değeri değişimi Şekil 3.23’te gösterilmiştir.



Şekil 3.23. Traverten tozu oranının bentonitin içsel sürtünme açısı değerine 14. günde etkisi.

Şekil 3.23 incelendiğinde artan oranlarda traverten tozu eklenip 14 gün bekletilmiş bentonit numunelerinin içsel sürtünme açısı değerinin doğrusal olarak artma eğilimde olduğu görülmektedir.

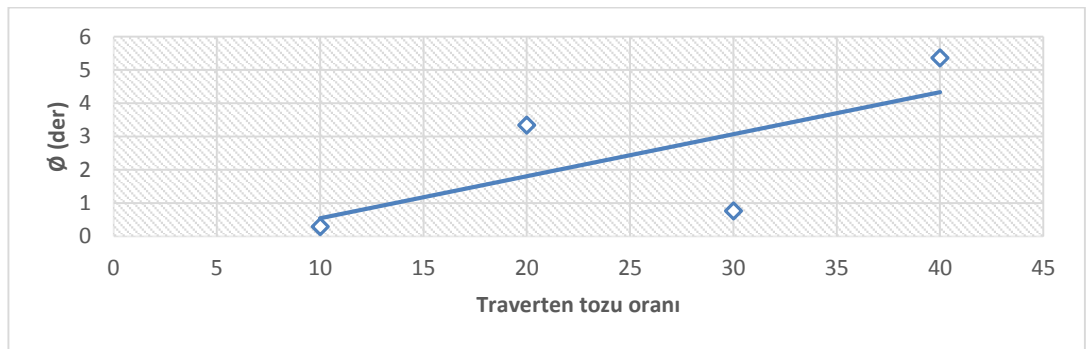
Bentonite artan oranlarda traverten tozu katıldığında 21. gün kür süresi için kohezyon değeri değişimi Şekil 3.24'te gösterilmiştir.



Şekil 3.24. Traverten tozu oranının bentonitin kohezyon değerine 21. günde etkisi.

Şekil 3.24 incelendiğinde artan oranlarda traverten tozu eklenip 21 gün bekletilmiş bentonit numunelerinin kohezyonunun doğrusal olarak artma eğilimde olduğu görülmektedir.

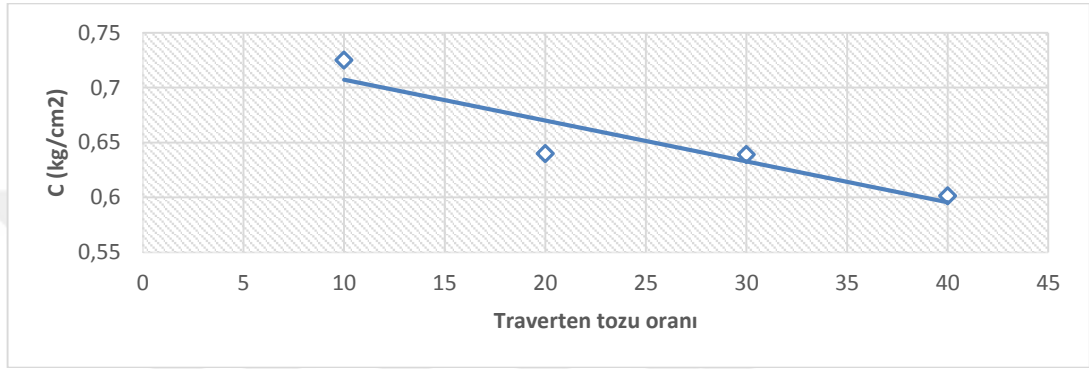
Bentonite artan oranlarda traverten tozu katıldığında 21. gün kür süresi için içsel sürtünme açısı değeri değişimi Şekil 3.25'te gösterilmiştir.



Şekil 3.25. Traverten tozu oranının bentonitin içsel sürtünme açısı değerine 21. günde etkisi.

Şekil 3.25 incelendiğinde artan oranlarda traverten tozu eklenip 21 gün bekletilmiş bentonit numunelerinin içsel sürtünme açısı değerinin doğrusal olarak artma eğiliminde olduğu görülmektedir.

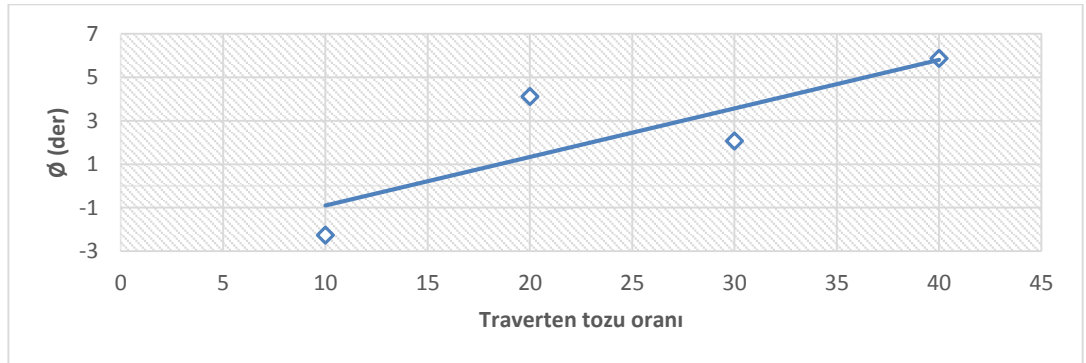
Bentonite artan oranlarda traverten tozu katıldığında 28. gün kür süresi için kohezyon değeri değişimi Şekil 3.26'da gösterilmiştir.



Şekil 3.26. Traverten tozu oranının bentonitin kohezyon değerine 28. günde etkisi.

Şekil 3.26 incelendiğinde artan oranlarda traverten tozu eklenip 28 gün bekletilmiş bentonit numunelerinin kohezyonunun doğrusal olarak azalma eğiliminde olduğu görülmektedir.

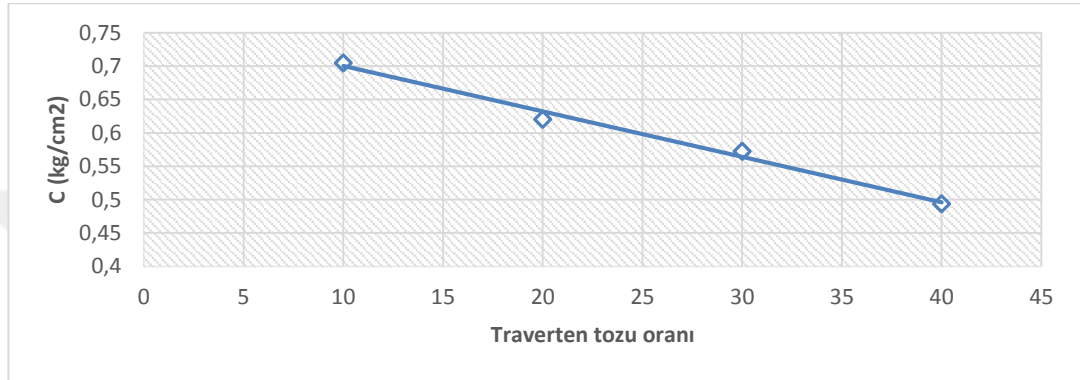
Bentonite artan oranlarda traverten tozu katıldığında 28. gün kür süresi için içsel sürtünme açısı değeri değişimi Şekil 3.27'de gösterilmiştir.



Şekil 3.27. Traverten tozu oranının bentonitin içsel sürtünme açısı değerine 28. günde etkisi.

Şekil 3.27 incelendiğinde artan oranlarda traverten tozu eklenip 28 gün bekletilmiş bentonit numunelerinin içsel sürtünme açısı değerinin doğrusal olarak artma eğiliminde olduğu görülmektedir.

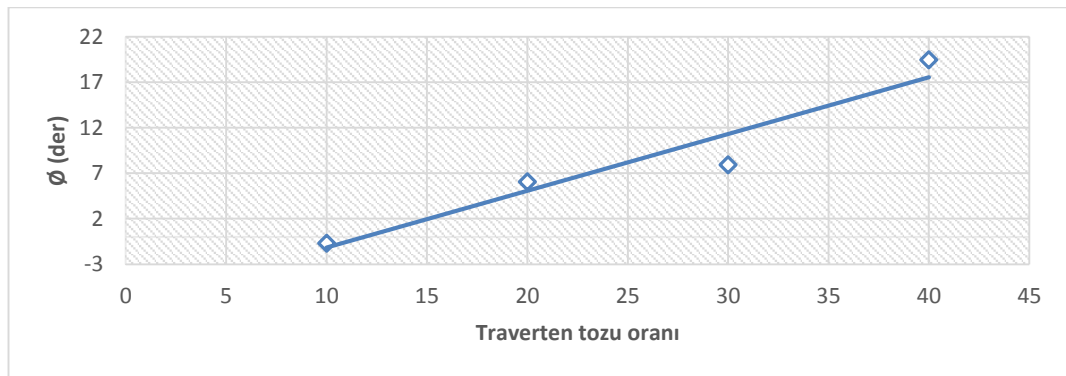
Bentonite artan oranlarda traverten tozu katıldığında 35. gün kür süresi için kohezyon değeri değişimi Şekil 3.28’de gösterilmiştir.



Şekil 3.28. Traverten tozu oranının bentonitin kohezyon değerine 35. günde etkisi.

Şekil 3.28 incelendiğinde artan oranlarda traverten tozu eklenip 35 gün bekletilmiş bentonit numunelerinin kohezyonunun doğrusal olarak azalma eğiliminde olduğu görülmektedir.

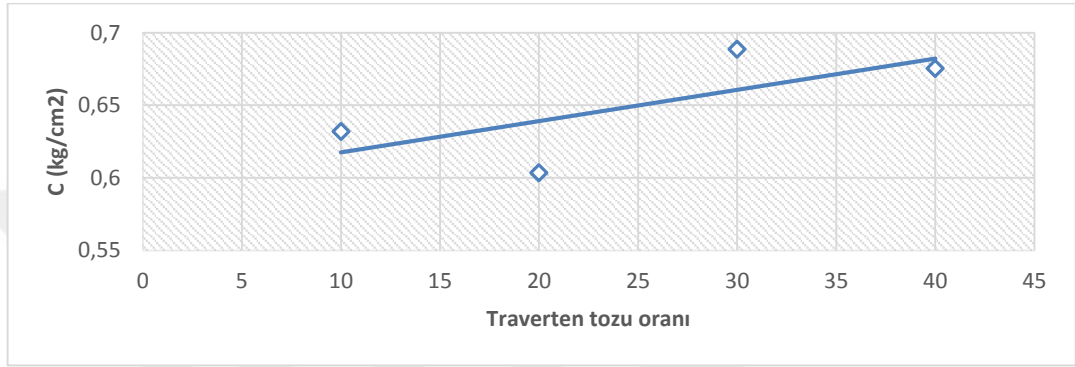
Bentonite artan oranlarda traverten tozu katıldığında 35. gün kür süresi için içsel sürtünme açısı değeri değişimi Şekil 3.29’da gösterilmiştir.



Şekil 3.29. Traverten tozu oranının bentonitin içsel sürtünme açısı değerine 35. günde etkisi.

Şekil 3.29 incelendiğinde artan oranlarda traverten tozu eklenip 35 gün bekletilmiş bentonit numunelerinin içsel sürtünme açısı değerinin doğrusal olarak artma eğiliminde olduğu görülmektedir.

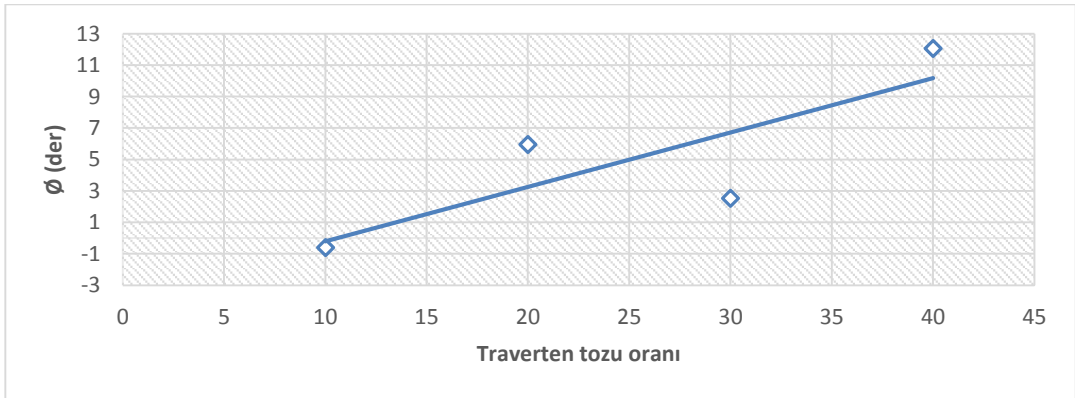
Bentonite artan oranlarda traverten tozu katıldığında 42. gün kür süresi için kohezyon değeri değişimi Şekil 3.30'da gösterilmiştir.



Şekil 3.30. Traverten tozu oranının bentonitin kohezyon değerine 42. günde etkisi.

Şekil 3.30 incelendiğinde artan oranlarda traverten tozu eklenip 42 gün bekletilmiş bentonit numunelerinin kohezyonunun doğrusal olarak artma eğiliminde olduğu görülmektedir.

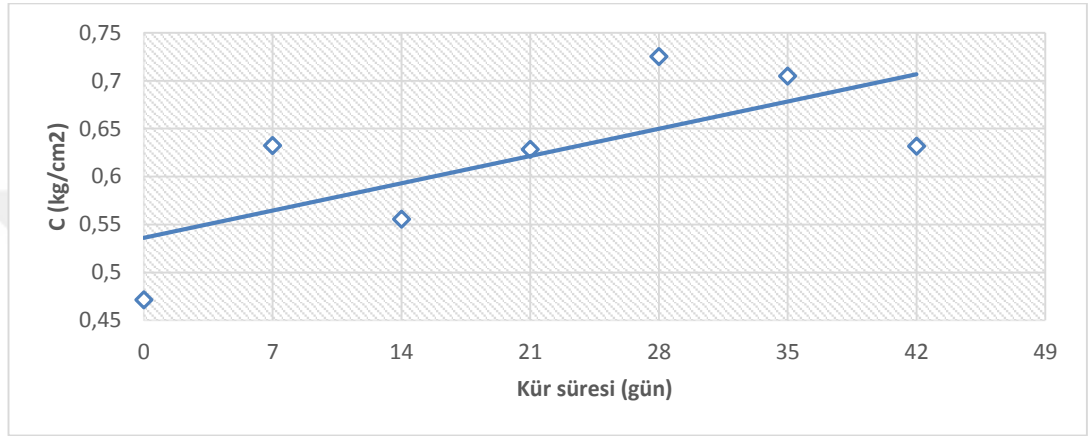
Bentonite artan oranlarda traverten tozu katıldığında 42. gün kür süresi için içsel sürtünme açısı değeri değişimi Şekil 3.31'de gösterilmiştir.



Şekil 3.31. Traverten tozu oranının bentonitin içsel sürtünme açısı değerine 42. günde etkisi.

Şekil 3.31 incelendiğinde artan oranlarda traverten tozu eklenip 42 gün bekletilmiş bentonit numunelerinin içsel sürtünme açısı değerinin doğrusal olarak artma eğiliminde olduğu görülmektedir.

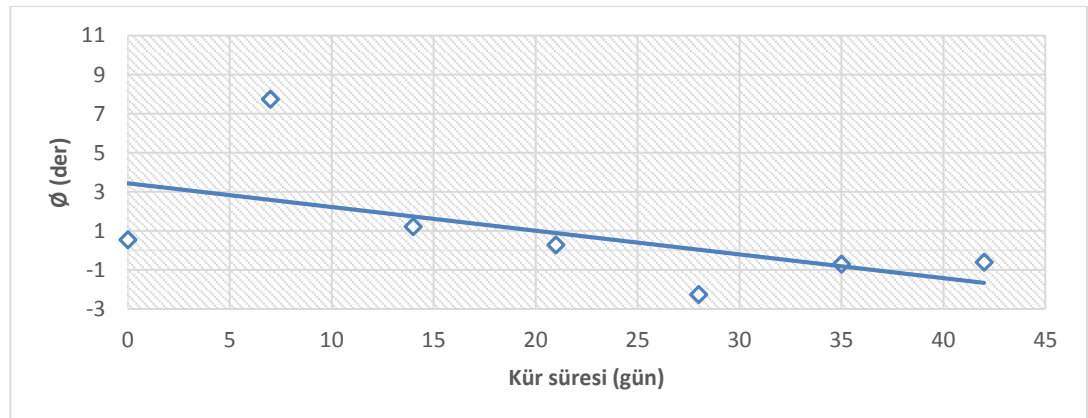
N1 numunesinin 0, 7, 14, 28, 35 ve 42 gün sürelerinde kohezyon değişimi Şekil 3.32’de gösterilmiştir.



Şekil 3.32. Kür süresinin N1 numunesinin kohezyonuna etkisi.

Şekil 3.32 incelendiğinde N1 numunesinin kohezyonunun kür süresi arttıkça doğrusal olarak artma eğiliminde olduğu görülmektedir.

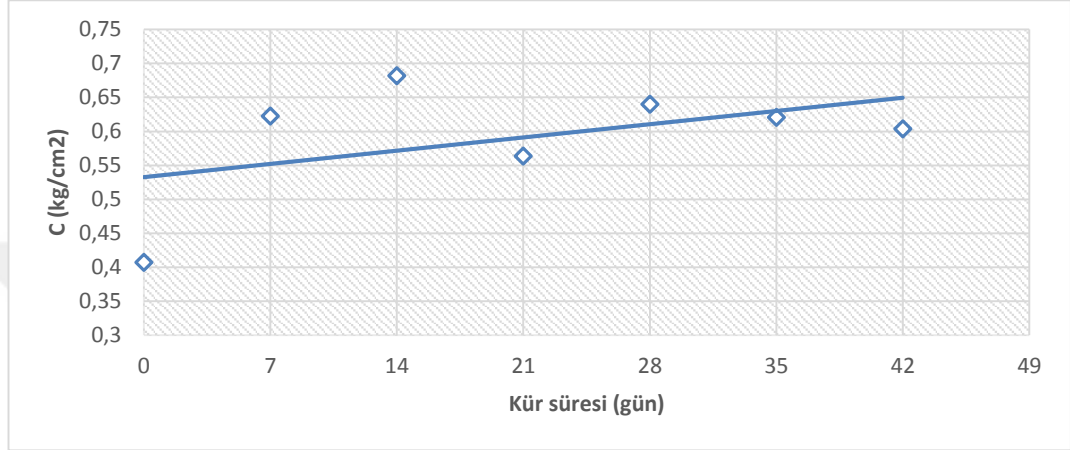
N1 numunesinin 0, 7, 14, 28, 35 ve 42 gün sürelerinde içsel sürtünme açısı değişimi Şekil 3.33’te gösterilmiştir.



Şekil 3.33. Kür süresinin N1 numunesinin içsel sürtünme açısına etkisi.

Şekil 3.33 incelendiğinde N1 numunesinin içsel sürtünme açısının kür süresi arttıkça doğrusal olarak azalma eğiliminde olduğu görülmektedir

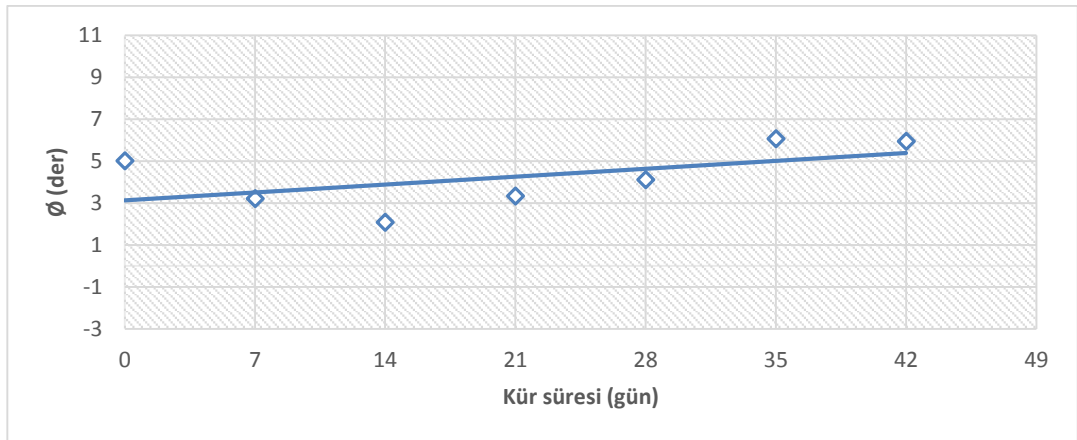
N2 numunesinin 0, 7, 14, 28, 35 ve 42 gün sürelerinde kohezyon değişimi Şekil 3.34'te gösterilmiştir.



Şekil 3.34. Kür süresinin N2 numunesinin kohezyonuna etkisi.

Şekil 3.34 incelendiğinde N2 numunesinin kohezyonunun kür süresi arttıkça doğrusal olarak artma eğiliminde olduğu görülmektedir

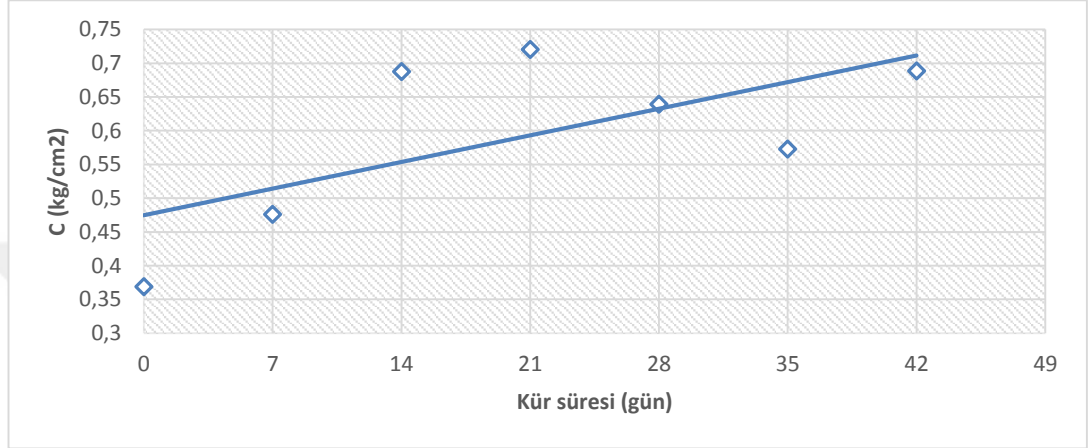
N2 numunesinin 0, 7, 14, 28, 35 ve 42 gün sürelerinde içsel sürtünme açısı değişimi Şekil 3.35'te gösterilmiştir.



Şekil 3.35. Kür süresinin N2 numunesinin içsel sürtünme açısına etkisi.

Şekil 3.35 incelendiğinde N2 numunesinin içsel sürtünme açısının kür süresi arttıkça doğrusal olarak artma eğiliminde olduğu görülmektedir

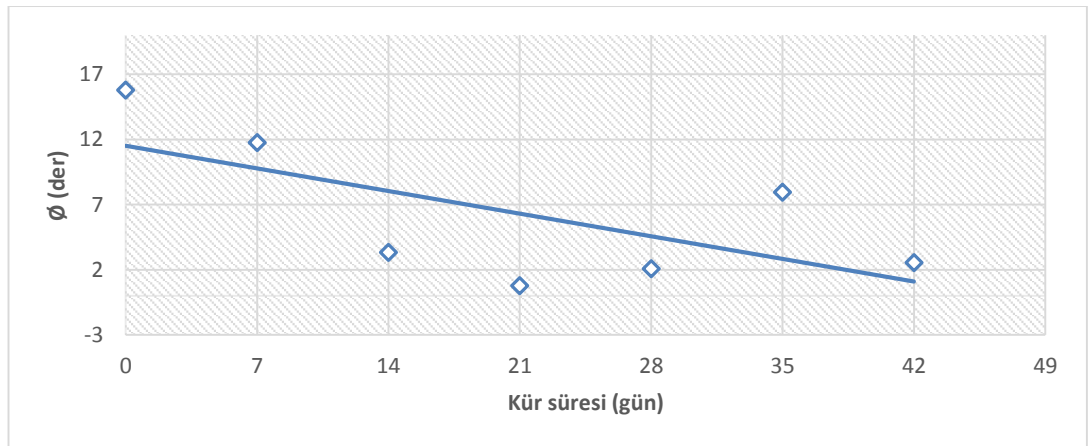
N3 numunesinin 0, 7, 14, 28, 35 ve 42 gün sürelerinde kohezyon değişimi Şekil 3.36'da gösterilmiştir.



Şekil 3.36. Kür süresinin N3 numunesinin kohezyonuna etkisi.

Şekil 3.36 incelendiğinde N3 numunesinin kohezyonunun kür süresi arttıkça doğrusal olarak artma eğiliminde olduğu görülmektedir

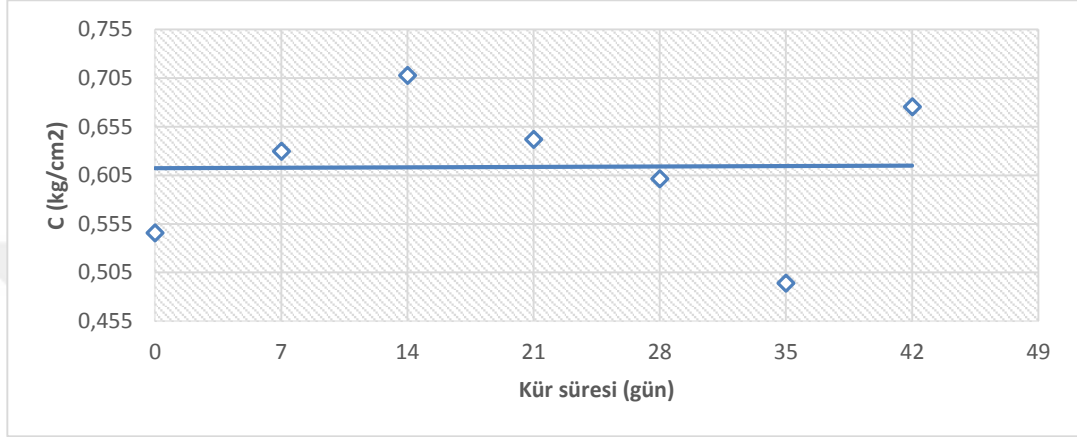
N3 numunesinin 0, 7, 14, 28, 35 ve 42 gün sürelerinde içsel sürtünme açısı değişimi Şekil 3.37'de gösterilmiştir.



Şekil 3.37. Kür süresinin N3 numunesinin içsel sürtünme açısına etkisi.

Şekil 3.37 incelendiğinde N3 numunesinin içsel sürtünme açısının kür süresi arttıkça doğrusal olarak azalma eğiliminde olduğu görülmektedir.

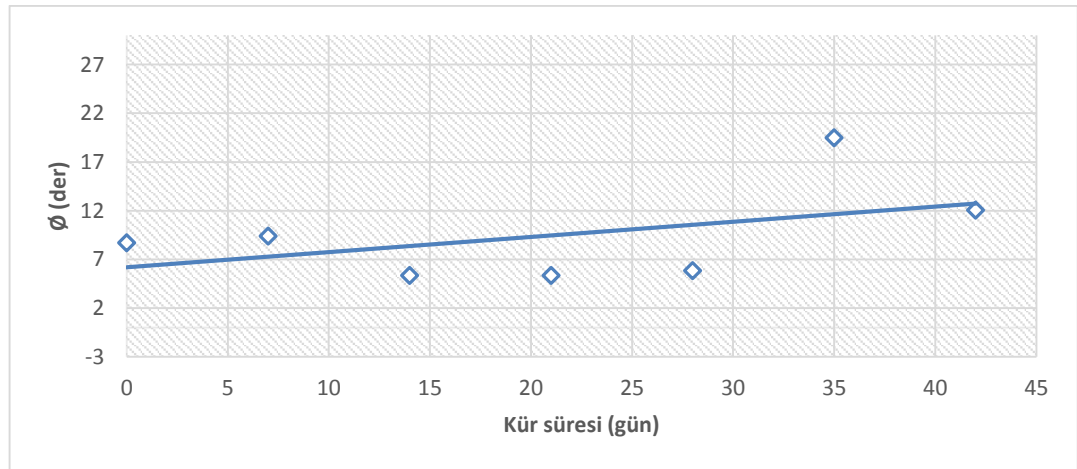
N4 numunesinin 0, 7, 14, 28, 35 ve 42 gün sürelerinde kohezyon değişimi Şekil 3.38'de gösterilmiştir.



Şekil 3.38. Kür süresinin N4 numunesinin kohezyonuna etkisi.

Şekil 3.38 incelendiğinde N4 numunesinin kohezyonunun kür süresi arttıkça doğrusal olarak artma eğiliminde olduğu görülmektedir

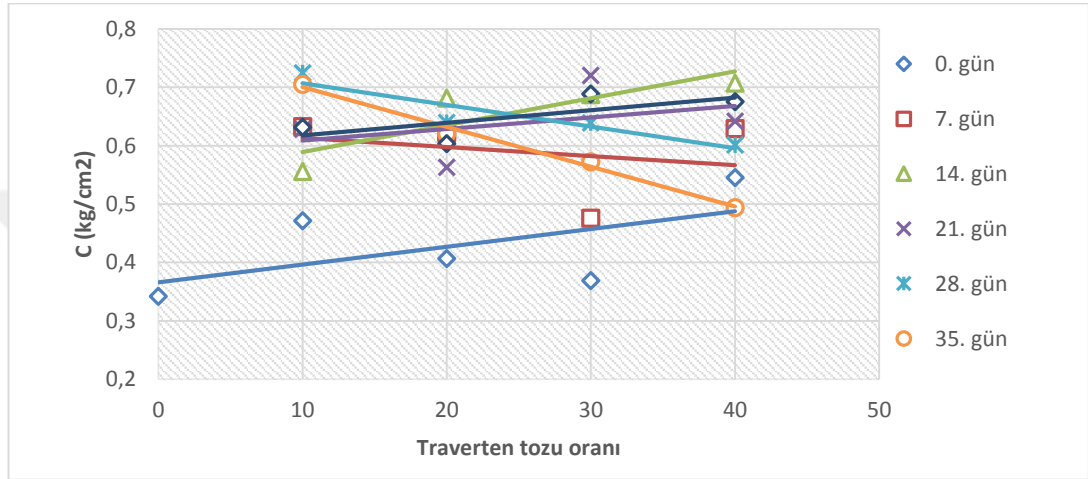
N4 numunesinin 0, 7, 14, 28, 35 ve 42 gün sürelerinde içsel sürtünme açısı değişimi Şekil 3.39'da gösterilmiştir.



Şekil 3.39. Kür süresinin N4 numunesinin içsel sürtünme açısına etkisi.

Şekil 3.39 incelendiğinde N4 numunesinin içsel sürtünme açısının kür süresi arttıkça doğrusal olarak artma eğiliminde olduğu görülmektedir

Yapılan deneyler sonucunda 0, 7, 14, 21, 28, 35 ve 42 gün kür sürelerinde bentonitin kohezyonuna traverten oranının etkisi birleşik grafik olarak Şekil 3.40'ta gösterilmiştir.



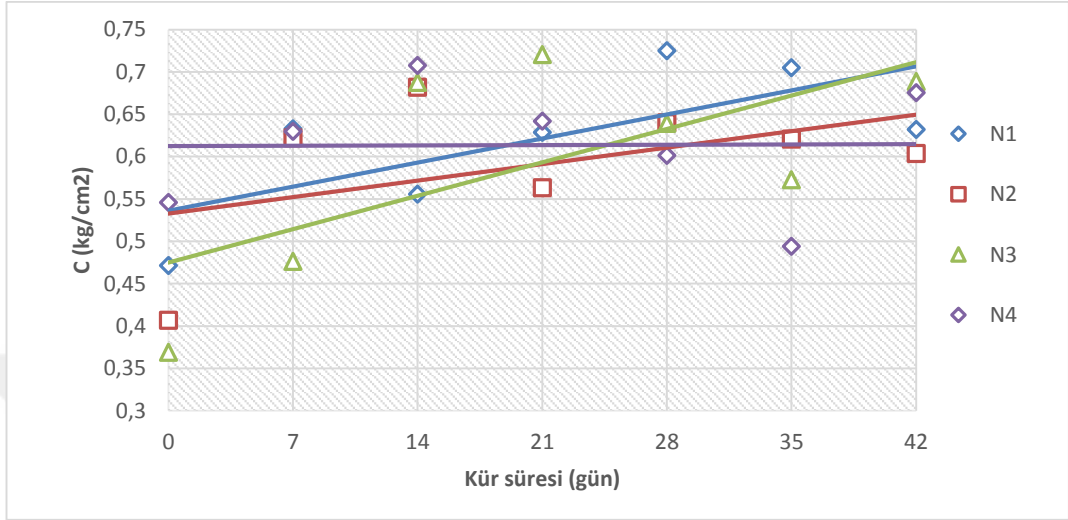
Şekil 3.40. 0, 7, 14, 21, 28, 35 ve 42 gün kür sürelerinde bentonitin kohezyonuna traverten oranının etkisi.

Şekil 3.40 incelendiğinde %10 traverten tozu katkılı bentonitte en yüksek kohezyon değerinin 28. gün kür süresinde, %20 traverten tozu katkılı bentonitte en yüksek kohezyon değerinin 14. gün kür süresinde, %30 traverten tozu katkılı bentonitte en yüksek kohezyon değerinin 21. gün kür süresinde, %40 traverten tozu katkılı bentonitte en yüksek kohezyon değerinin 14. gün kür süresinde olduğu görülmektedir.

Yapılan deneyler sonucunda N1, N2, N3, N4 numunelerinin kohezyonuna kür sürelerinin etkisi birleşik grafik olarak Şekil 3.41' de gösterilmiştir.

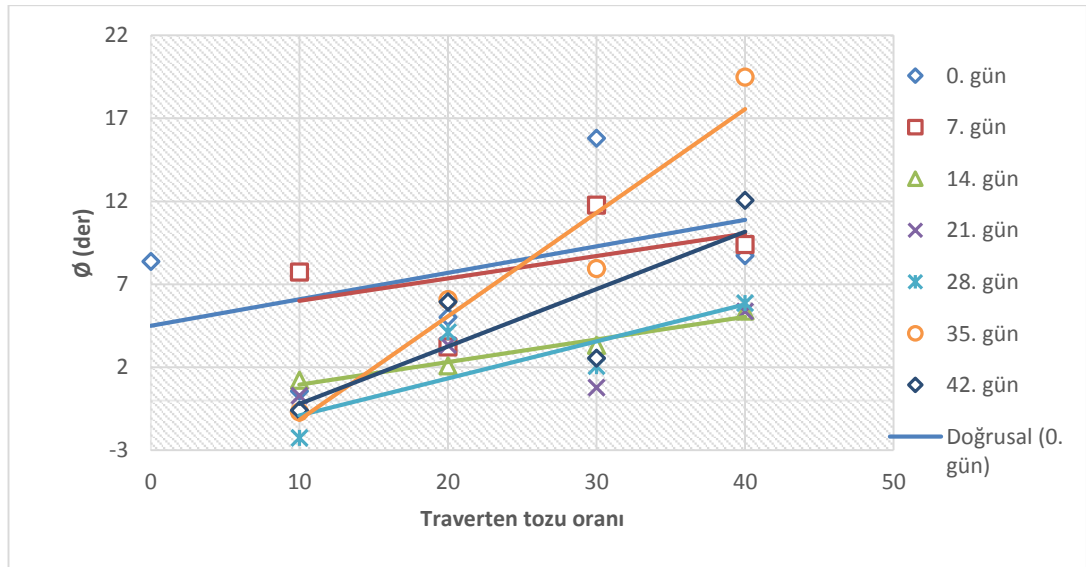
Şekil 3.41 incelendiğinde, kür süresi uygulanmadan en yüksek kohezyon değerinin N4 numunesinde, 7. gün kür süresinde en yüksek kohezyon değerinin N4 numunesinde, 14. Gün kür süresinde en yüksek kohezyon değerinin N4 numunesinde, 21. Gün kür süresinde en yüksek kohezyon değerinin N3 numunesinde, 28. Gün kür süresinde en

yüksek kohezyon değerinin N1 numunesinde, 35. Gün kür süresinde en yüksek kohezyon değerinin N1 numunesinde ve 42. Gün kür süresinde en yüksek kohezyon değerinin N3 numunesinde olduğu görülmektedir.



Şekil 3.41. N1, N2, N3, N4 numunelerinin kohezyonuna kür sürelerinin etkisi.

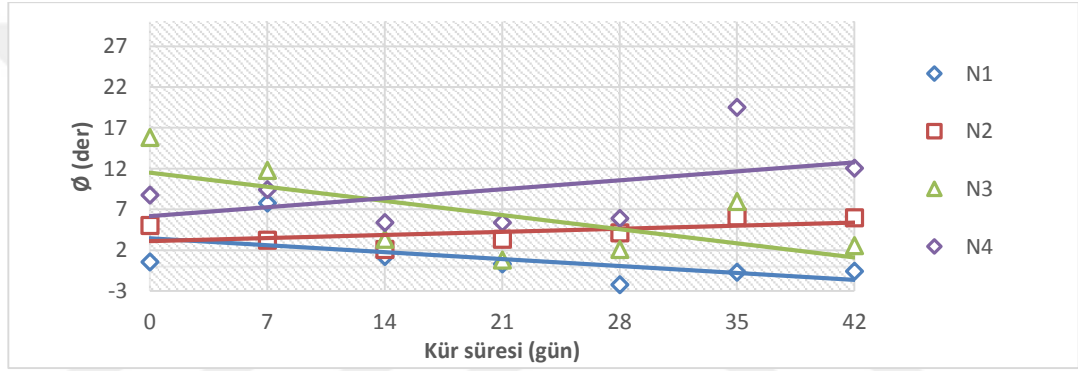
Yapılan deneyler sonucunda 0, 7, 14, 21, 28, 35 ve 42 gün kür sürelerinde bentonitin içsel sürtünme açısı değerine traverten oranının etkisi birleşik grafik olarak Şekil 5.42' de gösterilmiştir.



Şekil 3.42. 0, 7, 14, 21, 28, 35 ve 42 gün kür sürelerinde bentonitin içsel sürtünme açısı değerine traverten oranının etkisi.

Şekil 3.42 incelendiğinde %10 traverten tozu katkılı bentonitte en yüksek içsel sürtünme açısı değerinin 7. gün kür süresinde, %20 traverten tozu katkılı bentonitte en yüksek içsel sürtünme açısı değerinin 35. gün kür süresinde, %30 traverten tozu katkılı bentonitte en yüksek içsel sürtünme açısı değerinin kür uygulanmadan, %10 traverten tozu katkılı bentonitte en yüksek içsel sürtünme açısı değerinin 35. gün kür süresinde olduğu görülmektedir.

Yapılan deneyler sonucunda N1, N2, N3, N4 numunelerinin içsel sürtünme açısına kür sürelerinin etkisi birleşik grafik olarak Şekil 3.43' te gösterilmiştir.



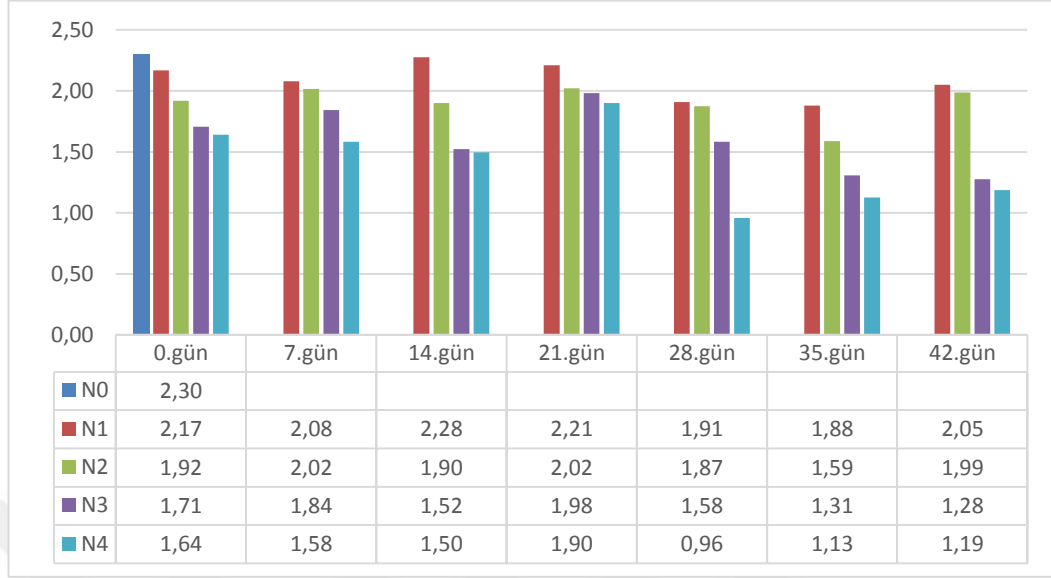
Şekil 3.43. N1, N2, N3, N4 numunelerinin içsel sürtünme açısına kür sürelerinin etkisi.

Şekil 3.43 incelendiğinde, kür süresi uygulanmadan en yüksek içsel sürtünme açısı değerinin N3 numunesinde, 7. ve 14. Gün kür süresinde en yüksek içsel sürtünme açısı değerinin N4 numunesinde, 21 - 42 Gün kür süreleri arasında en yüksek içsel sürtünme açısı değerinin N4 numunesinde olduğu görülmektedir.

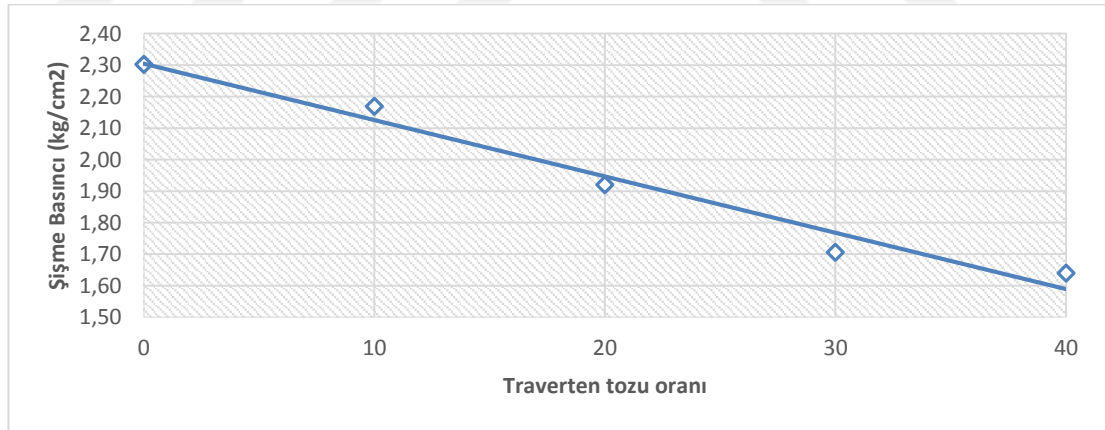
3.5. ŞİŞME BASINCI DENEY SONUÇLARI

N0, N1, N2, N3 ve N4 numunelerine 0, 7, 14, 21, 28, 35 ve 42 gün kür sürelerinde şişme basıncı deneyleri uygulanmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 3.6'da toplu olarak sunulmuştur. Deney sonuçları incelendiğinde traverten tozu oranı arttıkça şişme basıncı değerinin düştüğü görülmektedir. Kür süreleri incelendiğinde şişme yüzdesindeki en büyük düşüş 28. gün kür süresinde gerçekleşmiştir (%58,26). Ayrıca her bir numune için kür süresi arttıkça şişme basıncının doğrusal olarak azalma eğilimi gösterdiği görülmektedir.

Çizelge 3.6. Şişme basıncı deneylerinin sonuçları (kg/cm²).

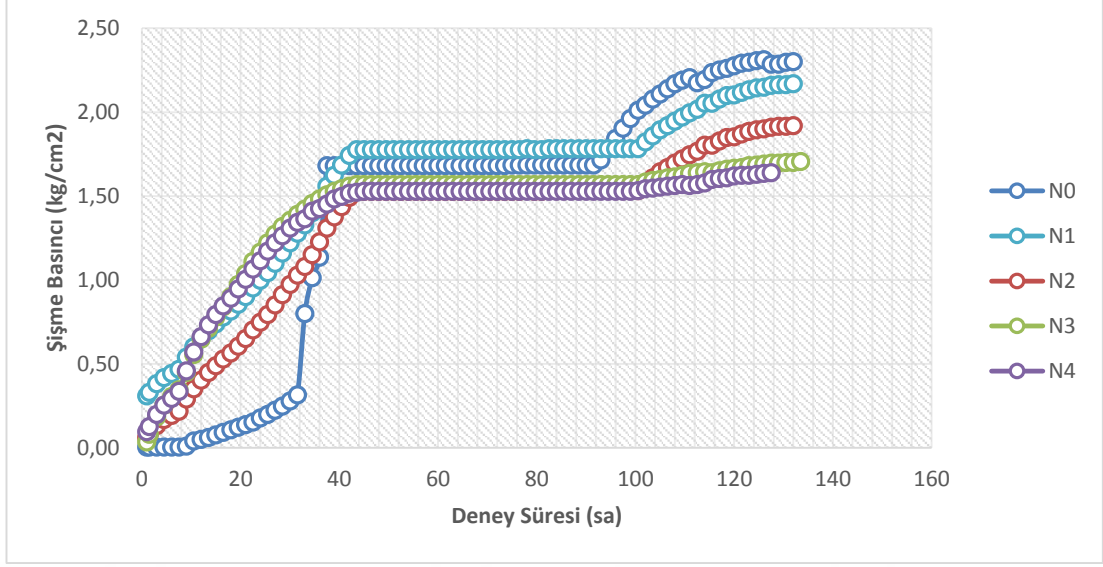


Bentonite artan oranlarda traverten tozu katıldığında 0. gün kür süresi için şişme basıncı değişimi Şekil 3.44'te, deney süresince şişme basıncı değişimi ise Şekil 3.45'te gösterilmiştir.



Şekil 3.44. Traverten tozu oranının bentonitin şişme basıncına 0. günde etkisi.

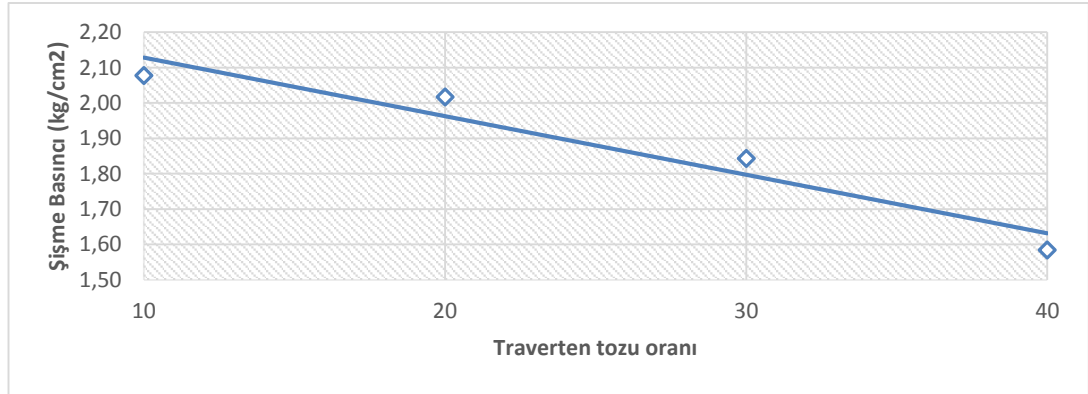
Şekil 3.44 incelendiğinde 0. günde bentonite artan oranlarda traverten tozu eklendiğinde şişme basıncının doğrusal olarak artma eğiliminde olduğu görülmektedir.



Şekil 3.45. 0. günde deney süresince şişme basıncı değişimleri (kg/cm²).

Şekil 3.45 incelendiğinde şişme basınçlarının 42. saate kadar doğrusal artış gösterdiği, 90. saate kadar sabit kaldığı sonrasında ise artmaya devam ettiği görülmektedir.

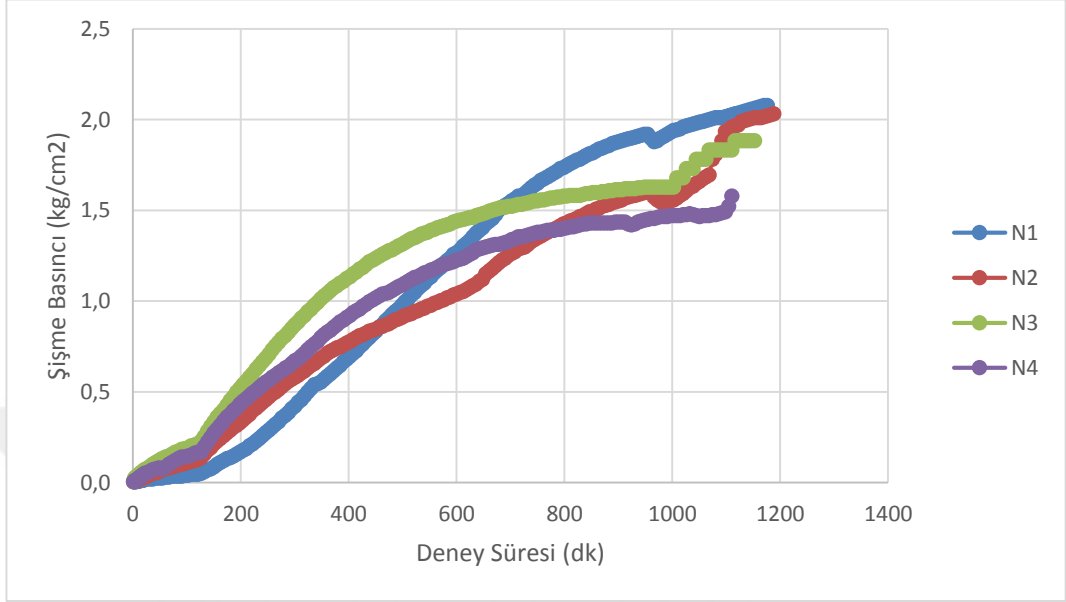
Bentonite artan oranlarda traverten tozu katıldığında 7. gün kür süresi için şişme basıncı değişimi Şekil 3.46'da, deney süresince şişme basıncı değişimi ise Şekil 3.47'de gösterilmiştir.



Şekil 3.46. Traverten tozu oranının bentonitin şişme basıncına 7. günde etkisi.

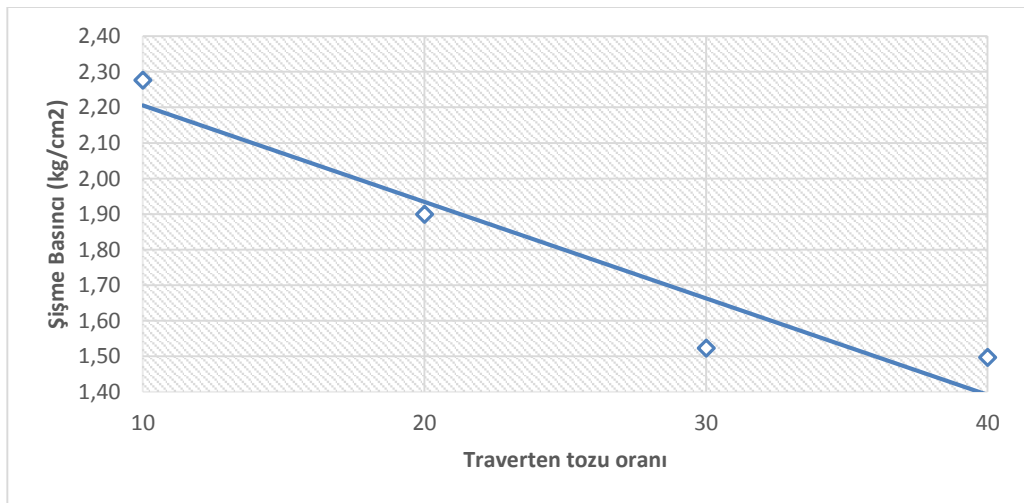
Şekil 3.46 incelendiğinde artan oranlarda traverten tozu eklenip 7 gün bekletilmiş bentonit numunelerinin şişme basıncının doğrusal olarak azalma eğiliminde olduğu görülmektedir.

Şekil 3.47 incelendiğinde ise şişme basınçlarının 546. dk dan sonra azalmaya başladığı görülmektedir.



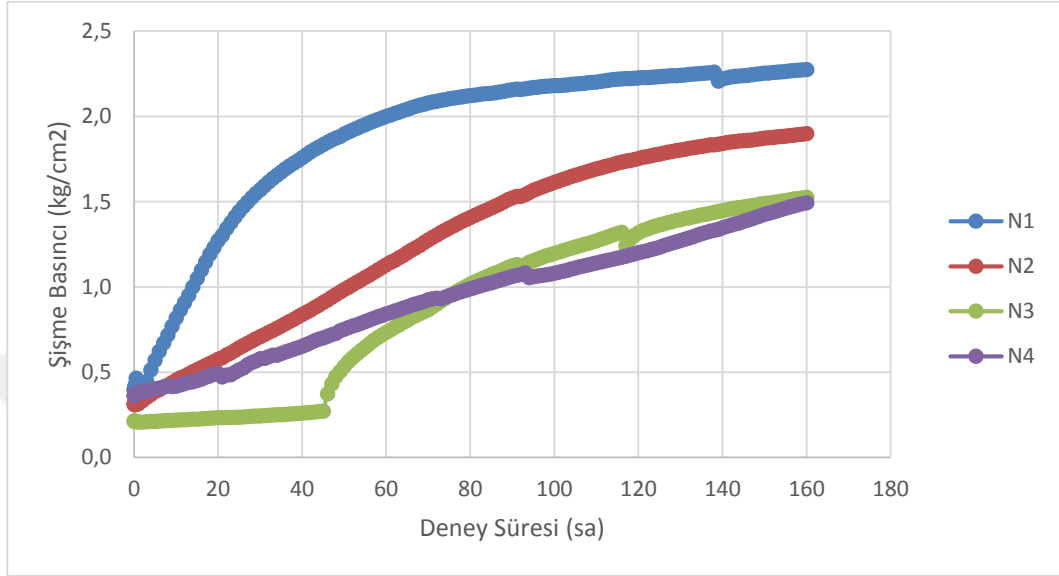
Şekil 3.47. 7. günde deney süresince şişme basıncı değişimleri (kg/cm²).

Bentonite artan oranlarda traverten tozu katıldığında 14. gün kür süresi için şişme basıncı değişimi Şekil 3.48’de, deney süresince şişme basıncı değişimi ise Şekil 5.49’de gösterilmiştir.



Şekil 3.48. Traverten tozu oranının bentonitin şişme basıncına 14. günde etkisi.

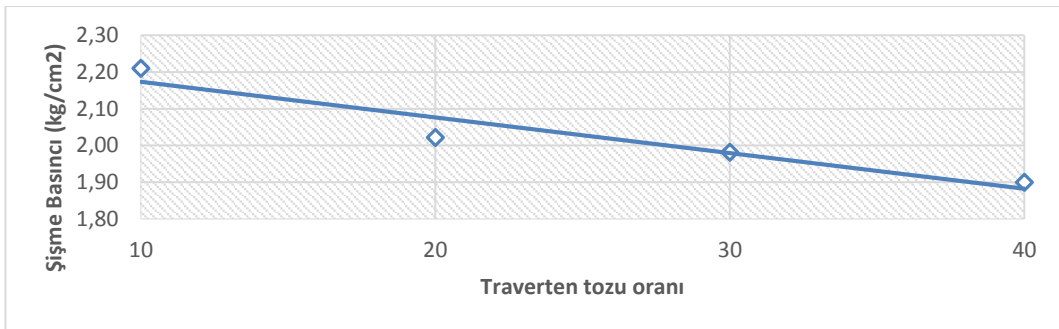
Şekil 3.48 incelendiğinde artan oranlarda traverten tozu eklenip 14 gün bekletilmiş bentonit numunelerinin şişme basıncının doğrusal olarak azalma eğiliminde olduğu görülmektedir.



Şekil 3.49. 14. günde deney süresince şişme basıncı değişimleri (kg/cm²).

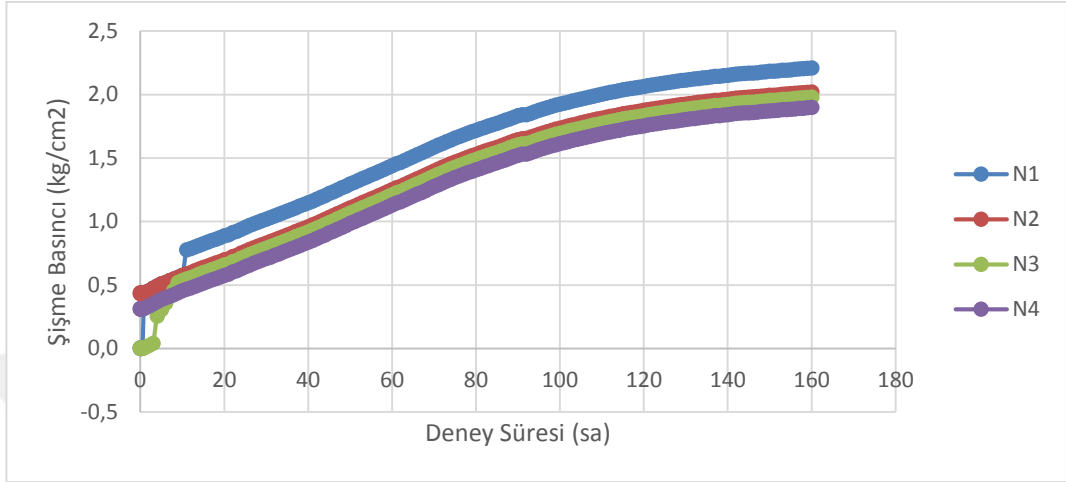
Şekil 3.49 incelendiğinde şişme basınçlarının 50. saatten sonra şişme basıncının giderek azalmaya başladığı 138. Saatten sonra ise sabit kalmaya başladığı görülmektedir.

Bentonite artan oranlarda traverten tozu katıldığında 21. gün kür süresi için şişme basıncı değişimi Şekil 3.50'de, deney süresince şişme basıncı değişimi ise Şekil 3.51'de gösterilmiştir.



Şekil 3.50. Traverten tozu oranının bentonitin şişme basıncına 21. günde etkisi.

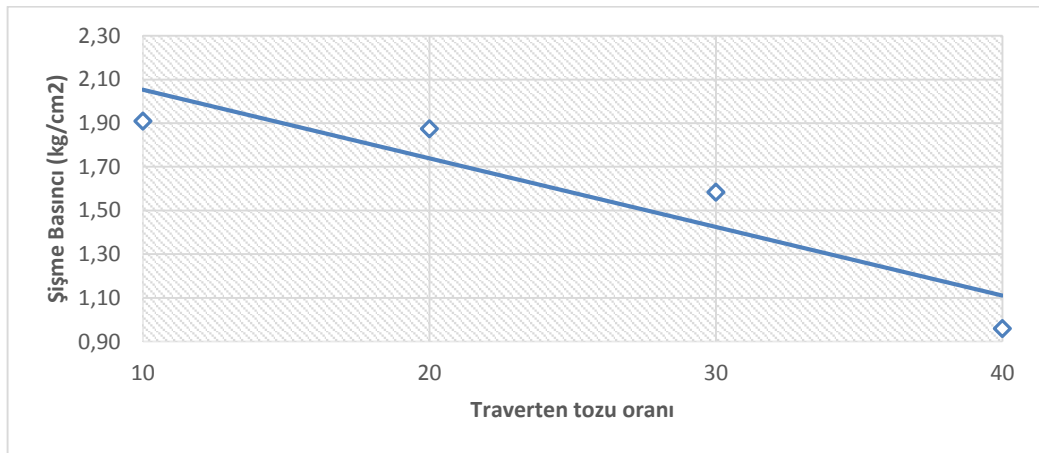
Şekil 3.50 incelendiğinde artan oranlarda traverten tozu eklenip 21 gün bekletilmiş bentonit numunelerinin şişme basıncının doğrusal olarak azalma eğiliminde olduğu görülmektedir.



Şekil 3.51. 21. günde deney süresince şişme basıncı değişimleri (kg/cm²).

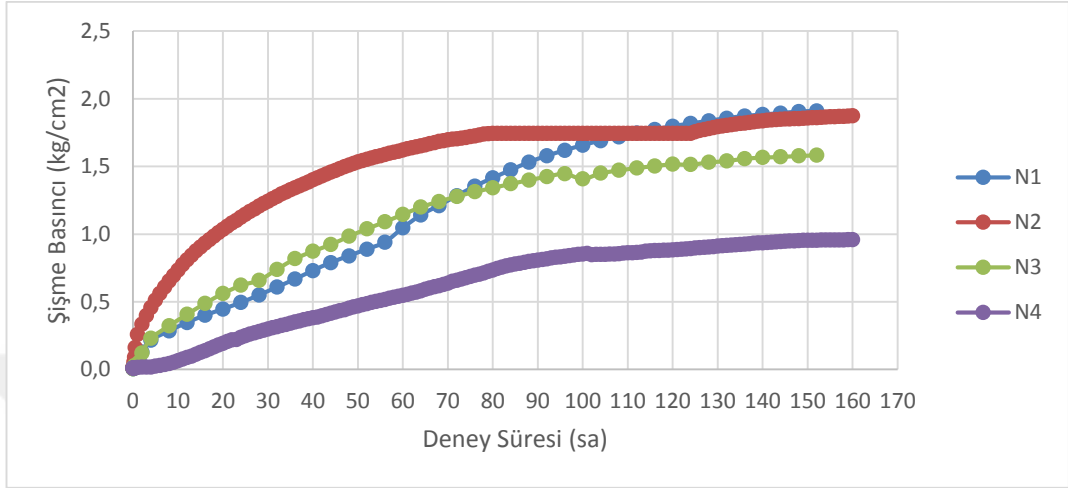
Şekil 3.51 incelendiğinde şişme basınçlarının 130. saatten sonra şişme basıncının giderek azalmaya başladığı görülmektedir.

Bentonite artan oranlarda traverten tozu katıldığında 28. gün kür süresi için şişme basıncı değişimi Şekil 3.52’de, deney süresince şişme basıncı değişimi ise Şekil 3.53’te gösterilmiştir.



Şekil 3.52. Traverten tozu oranının bentonitin şişme basıncına 28. günde etkisi.

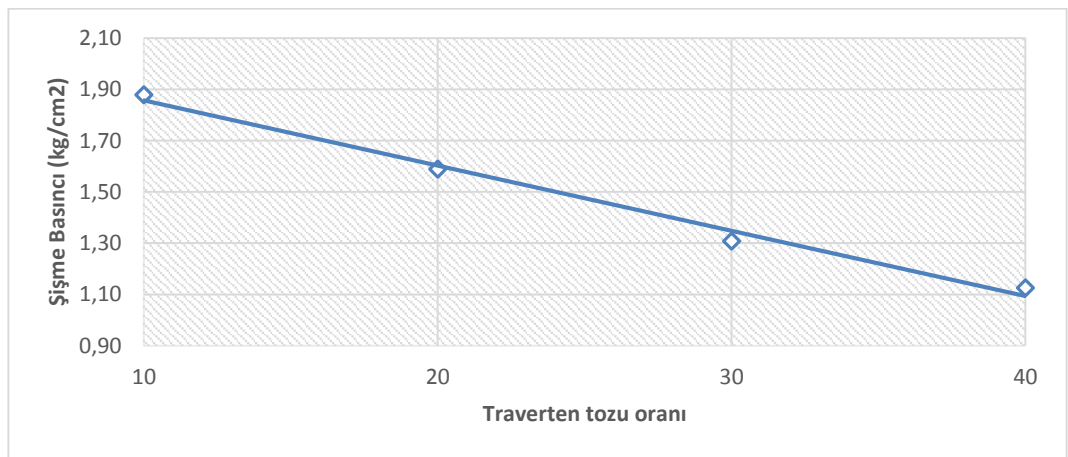
Şekil 3.52 incelendiğinde artan oranlarda traverten tozu eklenip 28 gün bekletilmiş bentonit numunelerinin şişme basıncının doğrusal olarak azalma eğiliminde olduğu görülmektedir.



Şekil 3.53. 28. günde deney süresince şişme basıncı değişimleri (kg/cm²).

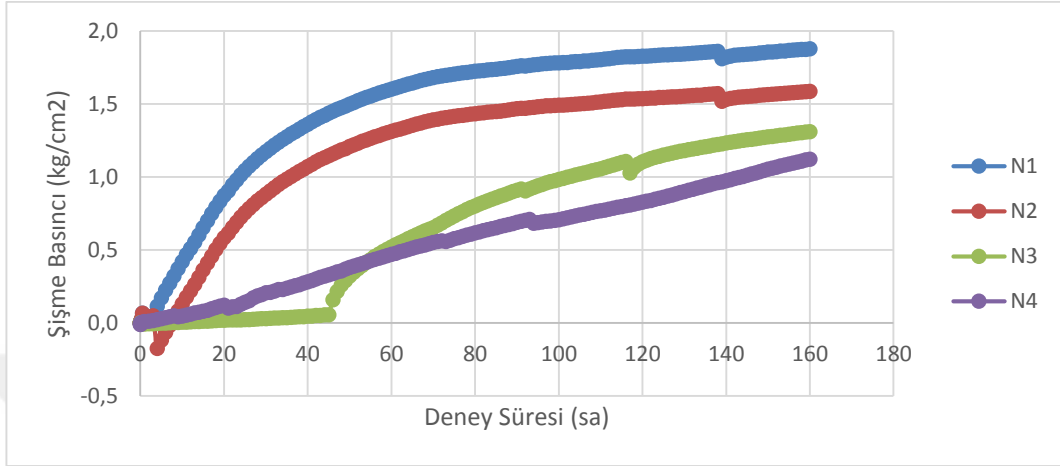
Şekil 3.53 incelendiğinde şişme basınçlarının 80. saatten sonra şişme basıncının giderek azalmaya başladığı görülmektedir.

Bentonite artan oranlarda traverten tozu katıldığında 35. gün kür süresi için şişme basıncı değişimi Şekil 3.54'te, deney süresince şişme basıncı değişimi ise Şekil 3.55'te gösterilmiştir.



Şekil 3.54. Traverten tozu oranının bentonitin şişme basıncına 35. günde etkisi.

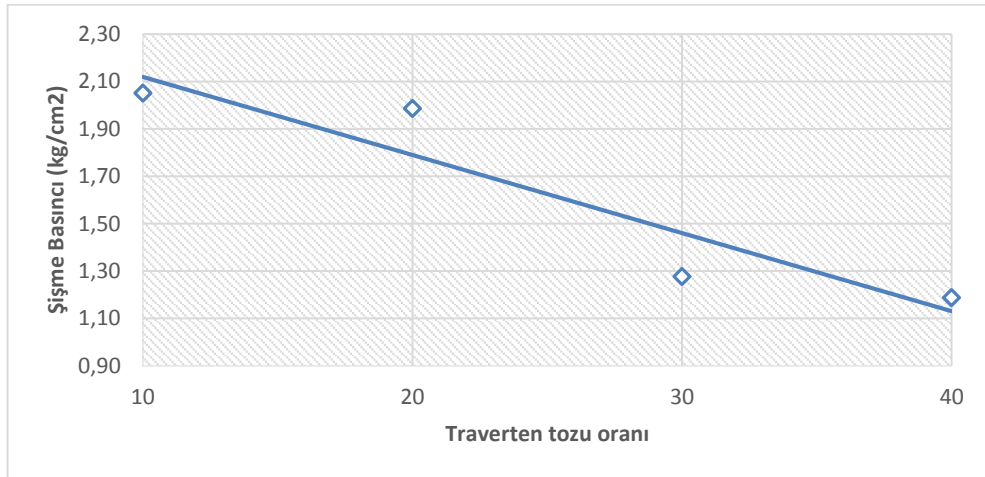
Şekil 3.54 incelendiğinde artan oranlarda traverten tozu eklenip 35 gün bekletilmiş bentonit numunelerinin şişme basıncının doğrusal olarak azalma eğiliminde olduğu görülmektedir.



Şekil 3.55. 35. günde deney süresince şişme basıncı değişimleri (kg/cm²).

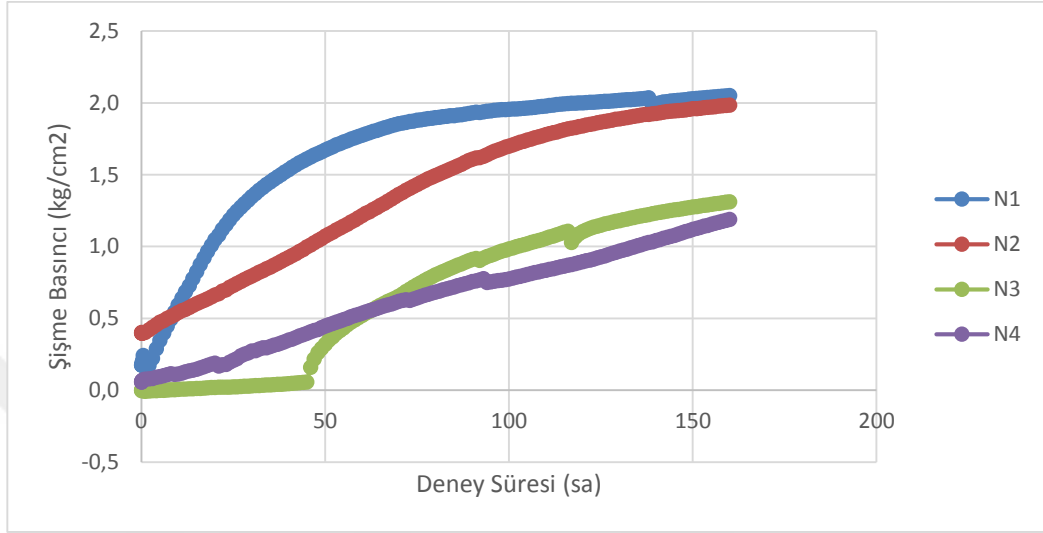
Şekil 3.55 incelendiğinde şişme basınçlarının 66. saatten sonra şişme basıncının giderek azalmaya başladığı görülmektedir.

Bentonite artan oranlarda traverten tozu katıldığında 42. gün kür süresi için şişme basıncı değişimi Şekil 3.56'de, deney süresince şişme basıncı değişimi ise Şekil 3.57'de gösterilmiştir.



Şekil 3.56. Traverten tozu oranının bentonitin şişme basıncına 42. günde etkisi.

Şekil 3.56 incelendiğinde artan oranlarda traverten tozu eklenip 42 gün bekletilmiş bentonit numunelerinin şişme basıncının doğrusal olarak azalma eğiliminde olduğu görülmektedir.



Şekil 3.57. 42. günde deney süresince şişme basıncı değişimleri (kg/cm²).

Şekil 3.57 incelendiğinde şişme basınçlarının 74. saatten sonra şişme basıncının giderek azalmaya başladığı ve neredeyse sabit kaldığı görülmektedir.

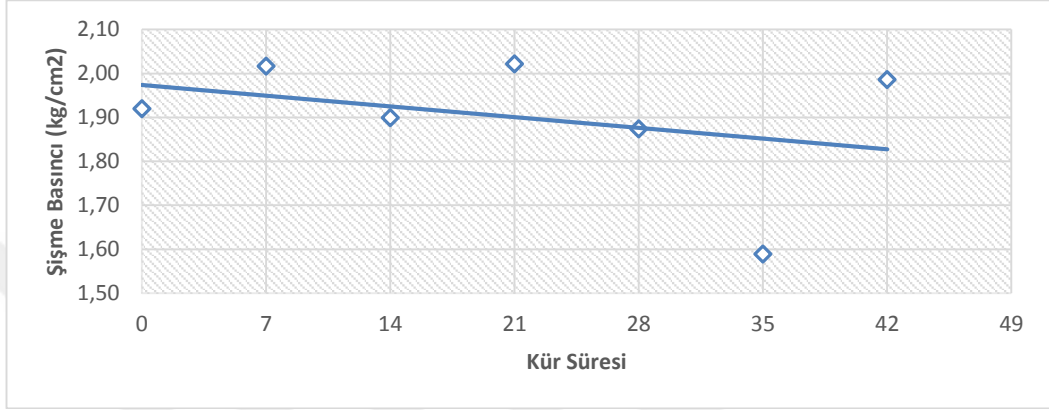
N1 numunesinin 0, 7, 14, 28, 35 ve 42 gün sürelerinde şişme basıncı değişimi Şekil 3.58'de gösterilmiştir.



Şekil 3.58. Kür süresinin N1 numunesinin şişme basıncına etkisi.

Şekil 3.58 incelendiğinde N1 numunesinin şişme basıncının kür süresi arttıkça doğrusal olarak azalma eğiliminde olduğu görülmektedir.

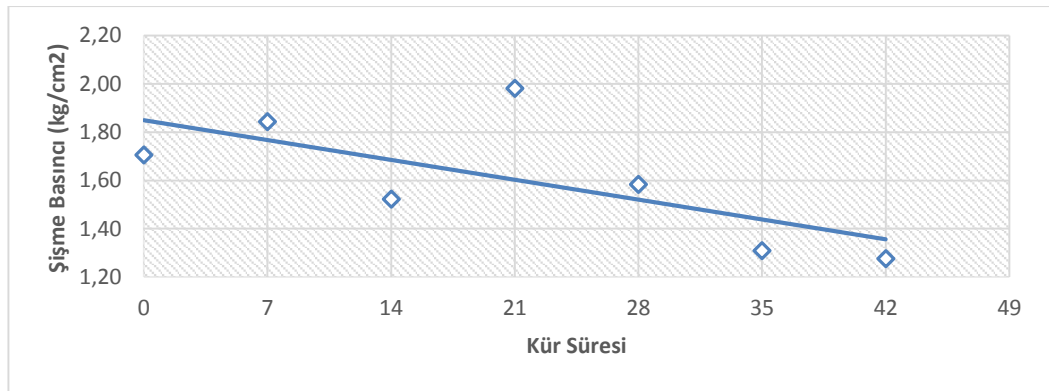
N2 numunesinin 0, 7, 14, 28, 35 ve 42 gün sürelerinde şişme basıncı değişimi Şekil 3.59'de gösterilmiştir.



Şekil 3.59. Kür süresinin N2 numunesinin şişme basıncına etkisi.

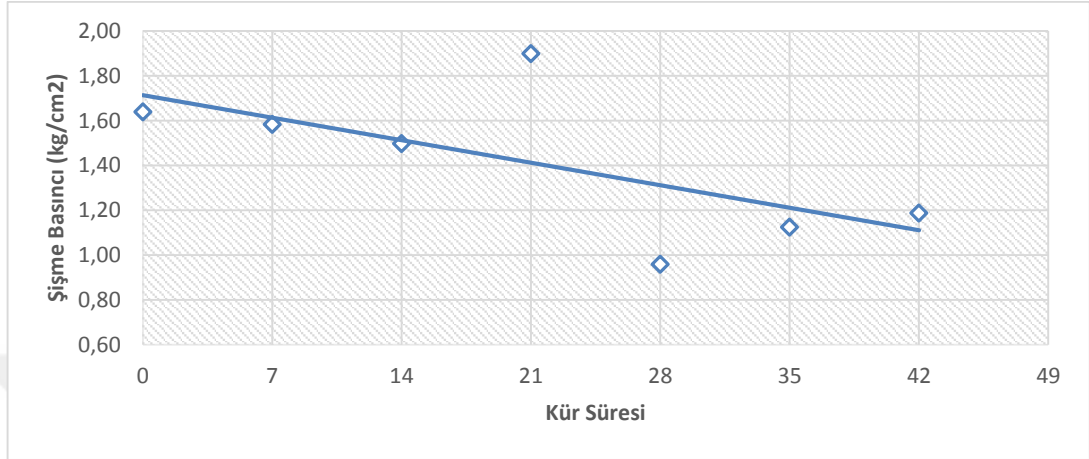
Şekil 3.59 incelendiğinde N2 numunesinin şişme basıncının kür süresi arttıkça doğrusal olarak azalma eğiliminde olduğu görülmektedir.

N3 numunesinin 0, 7, 14, 28, 35 ve 42 gün sürelerinde şişme basıncı değişimi Şekil 3.60'da gösterilmiştir. Şekil 3.60 incelendiğinde N3 numunesinin şişme basıncının kür süresi arttıkça doğrusal olarak azalma eğiliminde olduğu görülmektedir.



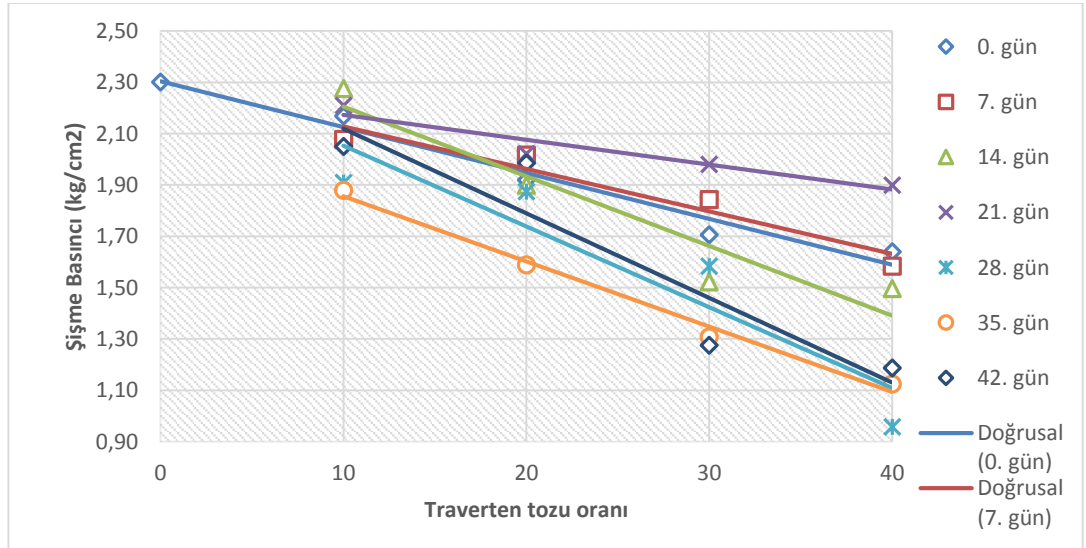
Şekil 3.60. Kür süresinin N3 numunesinin şişme basıncına etkisi.

N4 numunesinin 0, 7, 14, 28, 35 ve 42 gün sürelerinde şişme basıncı değişimi Şekil 3.61’de gösterilmiştir. Şekil 3.61 incelendiğinde N4 numunesinin şişme basıncının kür süresi arttıkça doğrusal olarak azalma eğiliminde olduğu görülmektedir.



Şekil 3.61. Kür süresinin N4 numunesinin şişme basıncına etkisi.

Yapılan deneyler sonucunda 0, 7, 14, 21, 28, 35 ve 42 gün kür sürelerinde bentonitin şişme basıncı değerine traverten oranının etkisi birleşik grafik olarak Şekil 3.62’de gösterilmiştir.

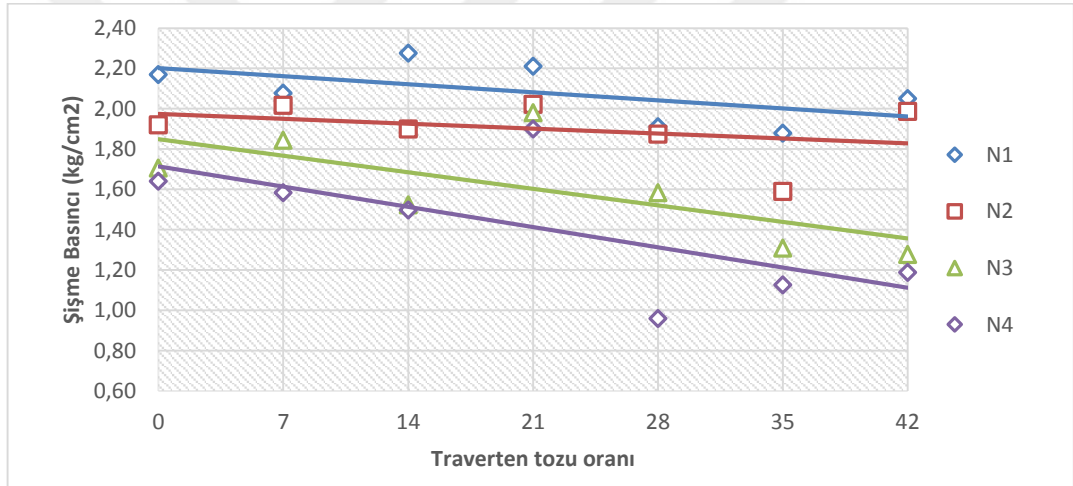


Şekil 3.62. 0, 7, 14, 21, 28, 35 ve 42 gün kür sürelerinde bentonitin şişme basıncı değerine traverten oranının etkisi.

Şekil 3.62 incelendiğinde %10 traverten tozu katkılı bentonitte en düşük şişme basıncı değerinin 35. gün kür süresinde, %20 traverten tozu katkılı bentonitte en düşük şişme basıncı değerinin 35. gün kür süresinde, %30 traverten tozu katkılı bentonitte en düşük şişme basıncı değerinin 42. gün kür süresinde, %40 traverten tozu katkılı bentonitte en düşük şişme basıncı değerinin kür uygulanmadan olduğu görülmektedir.

Yapılan deneyler sonucunda N1, N2, N3, N4 numunelerinin şişme basıncına kür sürelerinin etkisi birleşik grafik olarak Şekil 3.63'te gösterilmiştir.

Şekil 3.63 incelendiğinde, kür sürelerine göre en düşük şişme basıncı değerinin N4 numunesinde olduğu görülmektedir.

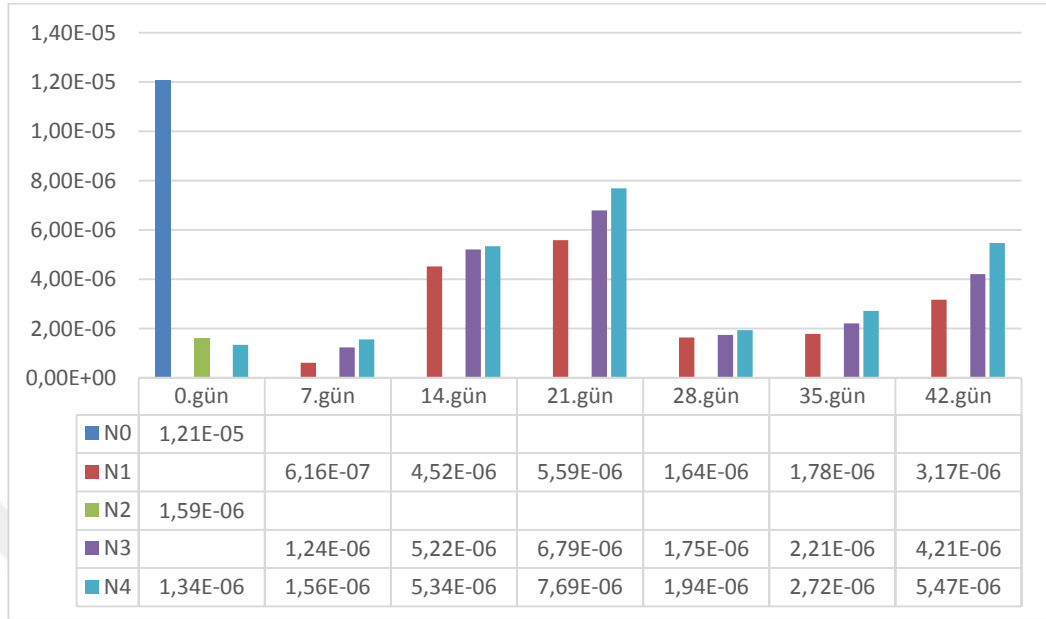


Şekil 3.63. N1, N2, N3, N4 numunelerinin şişme basıncına kür sürelerinin etkisi.

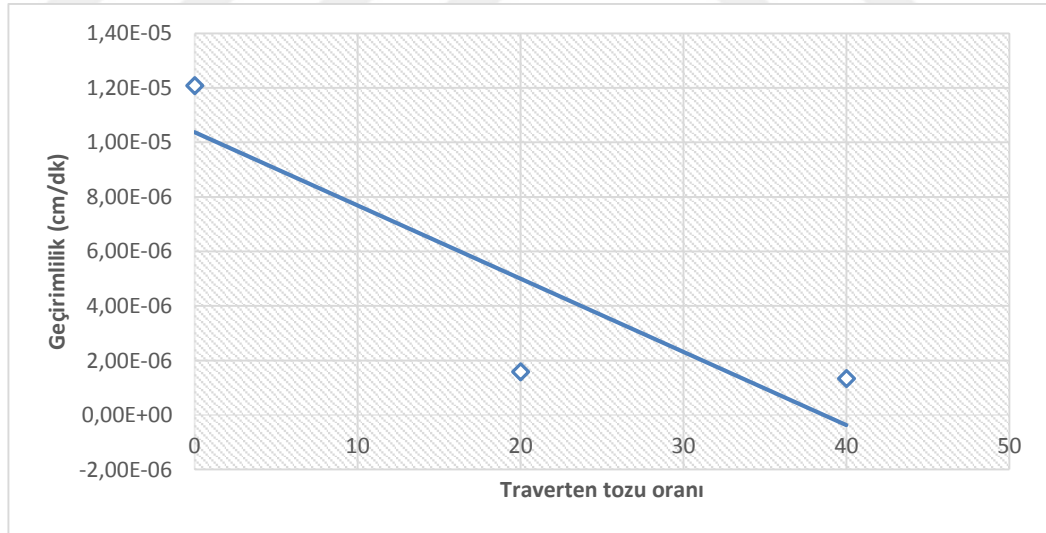
3.6. GEÇİRİMLİLİK (DÜŞEN SEVİYELİ PERMEBİLİTE) DENEYİ SONUÇLARI

N0, N1, N2, N3 ve N4 numunelerine 0, 7, 14, 21, 28, 35 ve 42 gün kür sürelerinde geçirimsizlik deneyleri uygulanmıştır. Yapılan deneylerin sonuçları Çizelge 3.7'de gösterilmiştir. Deney sonuçları incelendiğinde katkısız bentonite artan oranlarda traverten tozu eklendiğinde 0. gün için geçirimsizlik katsayısı değeri azalış göstermektedir ancak numuneler kürlendirildikçe geçirimsizlik katsayısı hem katkı oranına hemde kür süresine doğru orantılı olarak artma göstermiştir.

Çizelge 3.7. Geçirimsizlik deneylerinin sonuçları (k katsayısı cm/dk).



Bentonitte artan oranlarda traverten tozu katıldığında 0. gün kür süresi için geçirimsizlik değişimi Şekil 3.64'te gösterilmiştir.

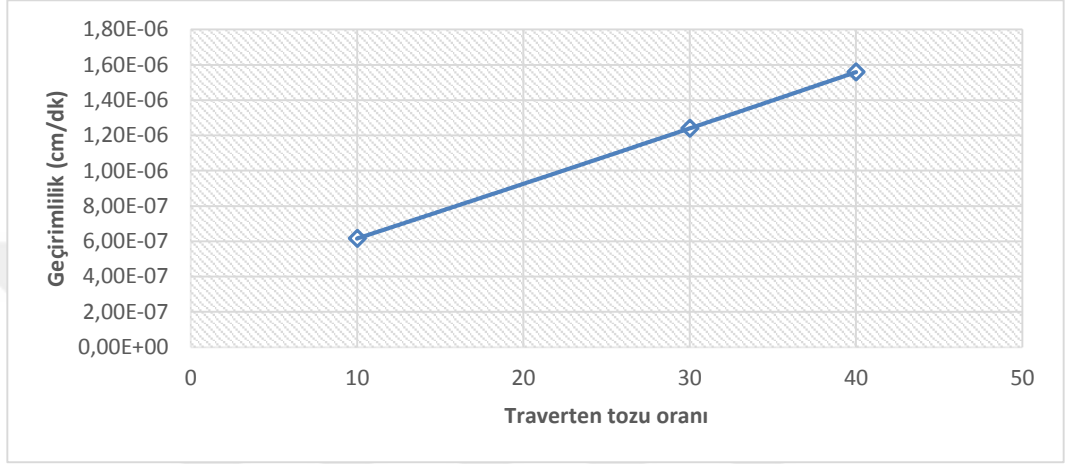


Şekil 3.64. Traverten tozu oranının bentonitin geçirimsizliğine 0. günde etkisi.

Şekil 3.64 incelendiğinde 0. günde bentonite artan oranlarda traverten tozu eklendiğinde geçirimsizliğinin doğrusal olarak azalma eğiliminde olduğu görülmektedir. Aynı kür süresinde artan oranlara katkı maddesi eklenmiş bentonit

numunelerinin geçirimsizlik katsayısı azalırken; serbest basınç dayanımı, kohezyon ve içsel sürtünme açısının arttığı, şişme basıncı değerinin ise azaldığı görülmüştür.

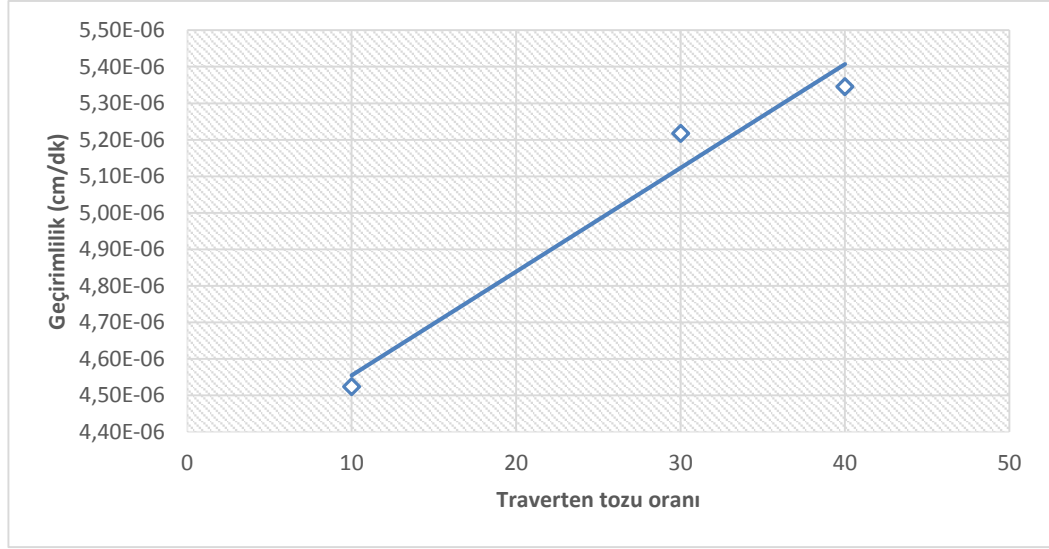
Bentonite artan oranlarda traverten tozu katıldığında 7. gün kür süresi için geçirimsizlik değişimi Şekil 3.65'te gösterilmiştir.



Şekil 3.65. Traverten tozu oranının bentonitin geçirimsizliğine 7. günde etkisi.

Şekil 3.65 incelendiğinde artan oranlarda traverten tozu eklenip 7 gün bekletilmiş bentonit numunelerinin geçirimsizliğinin doğrusal olarak artma eğiliminde olduğu görülmektedir. Aynı kür süresinde artan oranlara katkı maddesi eklenmiş bentonit numunelerinin geçirimsizlik katsayısı artarken; serbest basınç dayanımı ve içsel sürtünme açısının arttığı, şişme basıncı ve kohezyon değerinin ise azaldığı görülmüştür.

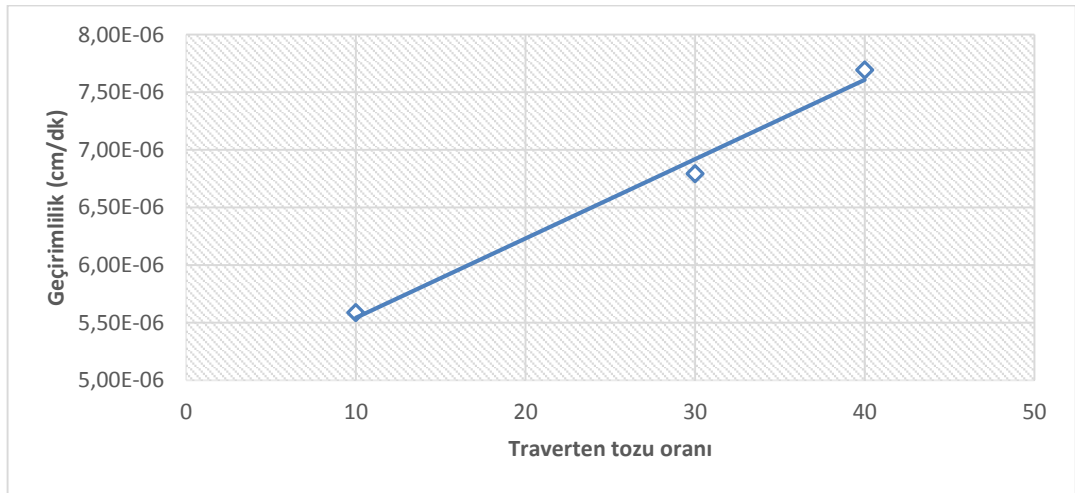
Bentonit numunelerine artan oranlarda traverten tozu katıldığında 14. gün kür süresi için geçirimsizlik değişimi Şekil 3.66'da gösterilmiştir.



Şekil 3.66. Traverten tozu oranının bentonitin geçirimsizliğine 14. günde etkisi.

Şekil 3.66 incelendiğinde artan oranlarda traverten tozu eklenip 14 gün bekletilmiş bentonit numunelerinin geçirimsizliğinin doğrusal olarak artma eğiliminde olduğu görülmektedir. Aynı kür süresinde artan oranlara katkı maddesi eklenmiş bentonit numunelerinin geçirimsizlik katsayısı artarken; serbest basınç dayanımı, kohezyon ve içsel sürtünme açısının arttığı, şişme basıncı değerinin ise azaldığı görülmüştür.

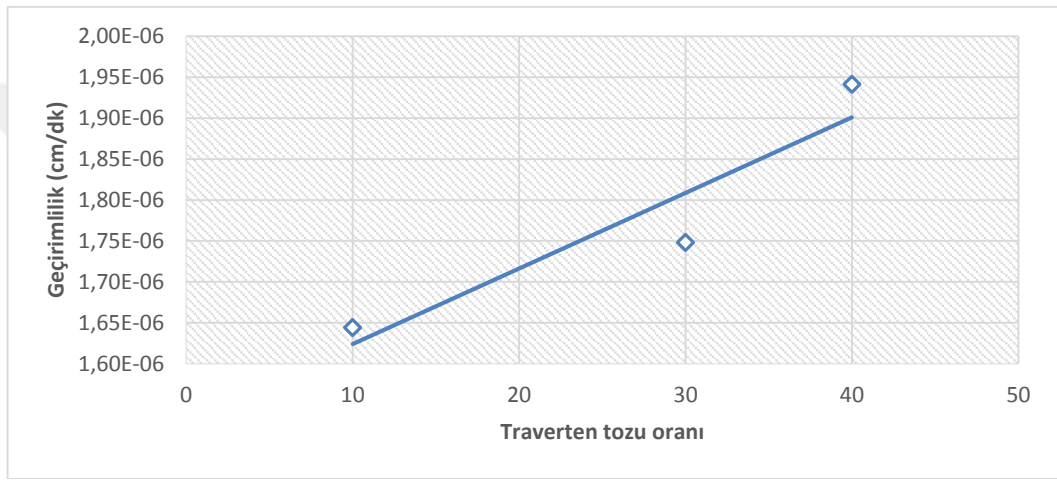
Bentonite artan oranlarda traverten tozu katıldığında 21. gün kür süresi için geçirimsizlik değişimi Şekil 3.67'de gösterilmiştir.



Şekil 3.67. Traverten tozu oranının bentonitin geçirimsizliğine 21. günde etkisi.

Şekil 3.67 incelendiğinde artan oranlarda traverten tozu eklenip 21 gün bekletilmiş bentonit numunelerinin geçirimsizliğinin doğrusal olarak artma eğiliminde olduğu görülmektedir. Aynı kür süresinde artan oranlara katkı maddesi eklenmiş bentonit numunelerinin geçirimsizlik katsayısı artarken; serbest basınç dayanımı, kohezyon ve içsel sürtünme açısının arttığı, şişme basıncı değerinin ise azaldığı görülmüştür.

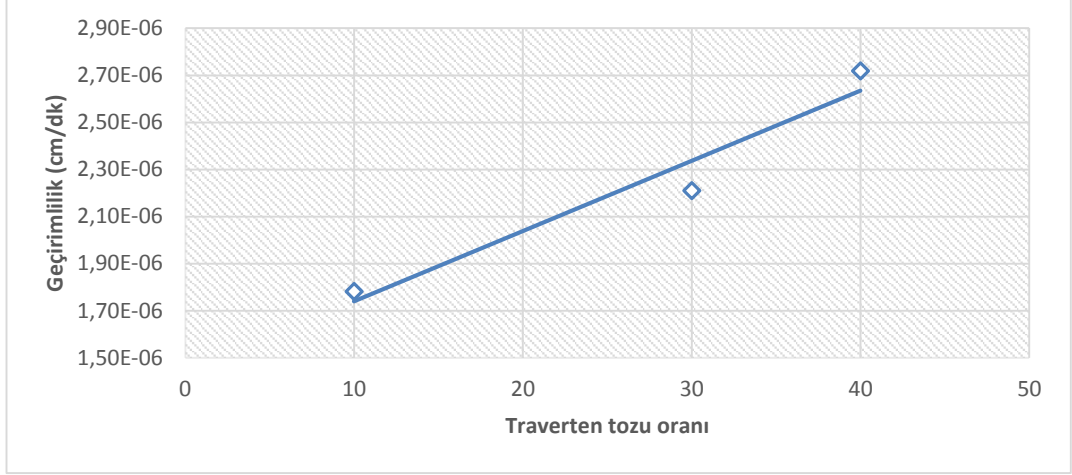
Bentonite artan oranlarda traverten tozu katıldığında 28. gün kür süresi için geçirimsizlik değişimi Şekil 3.68’de gösterilmiştir.



Şekil 3.68. Traverten tozu oranının bentonitin geçirimsizliğine 28. günde etkisi.

Şekil 3.68 incelendiğinde artan oranlarda traverten tozu eklenip 28 gün bekletilmiş bentonit numunelerinin geçirimsizliğinin doğrusal olarak artma eğiliminde olduğu görülmektedir. Aynı kür süresinde artan oranlara katkı maddesi eklenmiş bentonit numunelerinin geçirimsizlik katsayısı artarken; serbest basınç dayanımı ve içsel sürtünme açısının arttığı, şişme basıncı ve kohezyon değerinin ise azaldığı görülmüştür.

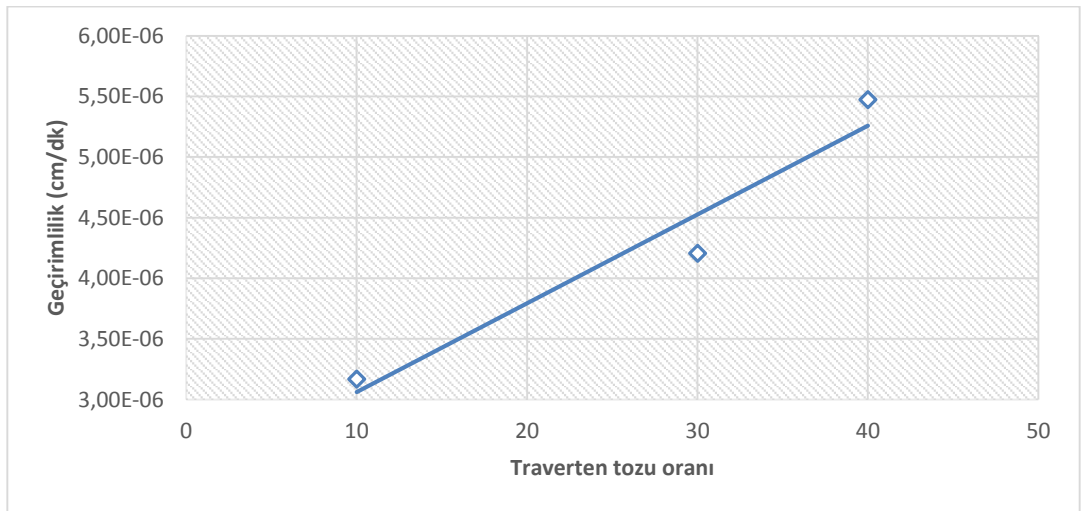
Bentonite artan oranlarda traverten tozu katıldığında 35. gün kür süresi için geçirimsizlik değişimi Şekil 3.69’da gösterilmiştir.



Şekil 3.69. Traverten tozu oranının bentonitin geçirimsizliğine 35. günde etkisi.

Şekil 3.69 incelendiğinde artan oranlarda traverten tozu eklenip 35 gün bekletilmiş bentonit numunelerinin geçirimsizliğinin doğrusal olarak artma eğiliminde olduğu görülmektedir. Aynı kür süresinde artan oranlara katkı maddesi eklenmiş bentonit numunelerinin geçirimsizlik katsayısı artarken; serbest basınç dayanımı ve içsel sürtünme açısının arttığı, şişme basıncı ve kohezyon değerinin ise azaldığı görülmüştür.

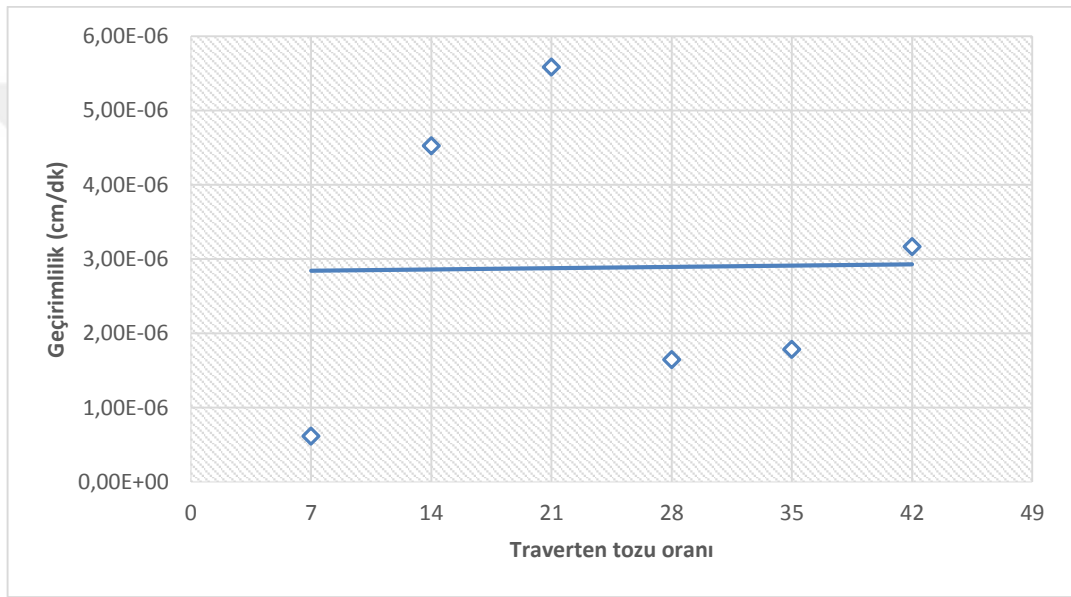
Bentonite artan oranlarda traverten tozu katıldığında 42. gün kür süresi için geçirimsizlik değişimi Şekil 3.70’te gösterilmiştir.



Şekil 3.70. Traverten tozu oranının bentonitin geçirimsizliğine 42. günde etkisi.

Şekil 3.70 incelendiğinde artan oranlarda traverten tozu eklenip 42 gün bekletilmiş bentonit numunelerinin geçirimsizliğinin doğrusal olarak artma eğiliminde olduğu görülmektedir. Aynı kür süresinde artan oranlara katkı maddesi eklenmiş bentonit numunelerinin geçirimsizlik katsayısı artarken; serbest basınç dayanımı, kohezyon ve içsel sürtünme açısının arttığı, şişme basıncı değerinin ise azaldığı görülmüştür.

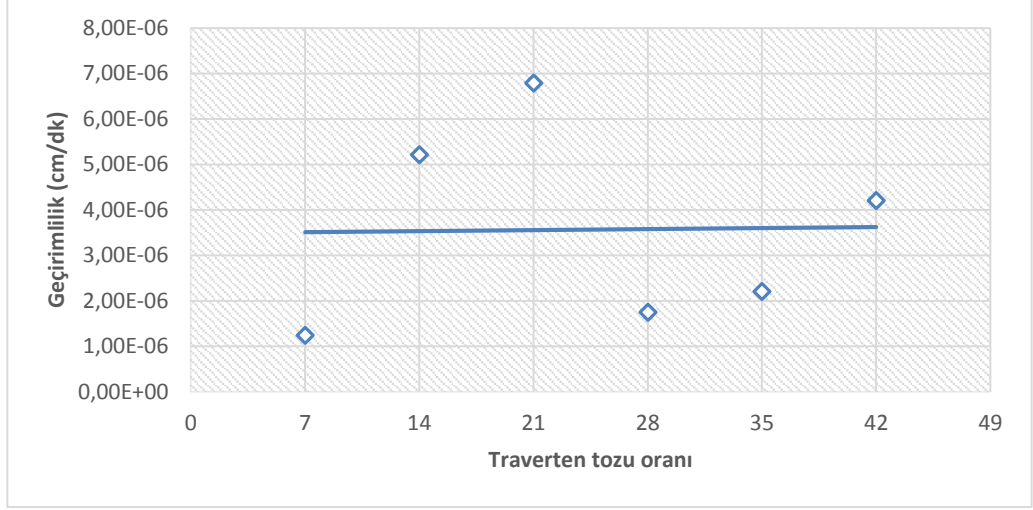
N1 numunesinin 7, 14, 28, 35 ve 42 gün sürelerinde geçirimsizlik değişimi Şekil 3.71’de gösterilmiştir.



Şekil 3.71. Kür süresinin N1 numunesinin geçirimsizliğine etkisi.

Şekil 3.71 incelendiğinde N1 numunesinin geçirimsizliğinin kür süresi arttıkça doğrusal olarak sabit kalma eğiliminde olduğu görülmektedir.

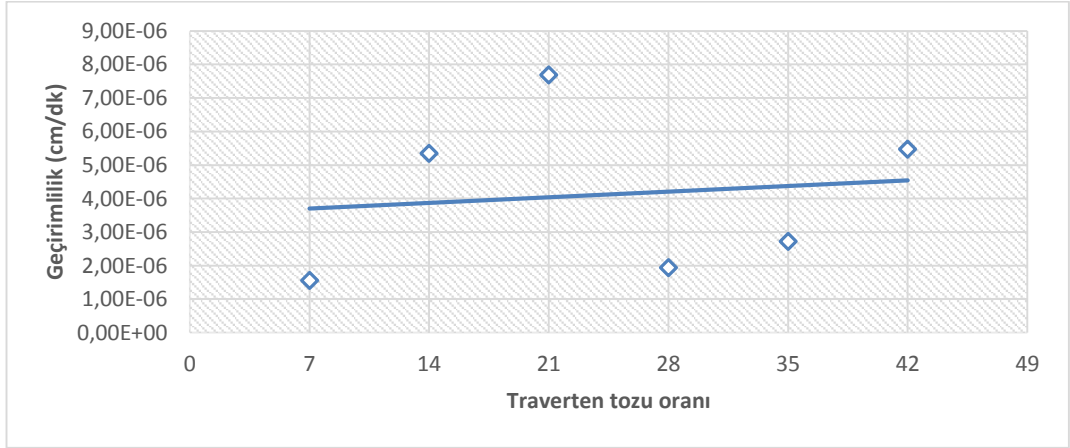
N3 numunesinin 7, 14, 28, 35 ve 42 gün sürelerinde geçirimsizlik değişimi Şekil 3.72’de gösterilmiştir.



Şekil 3.72. Kır süresinin N3 numunesinin geçirirnililiğine etkisi.

Şekil 3.72 incelendiğinde N3 numunesinin geçirirnililiğinin kır süresi arttıkça doğrusal olarak artma eğiliminde olduğu görülmektedir.

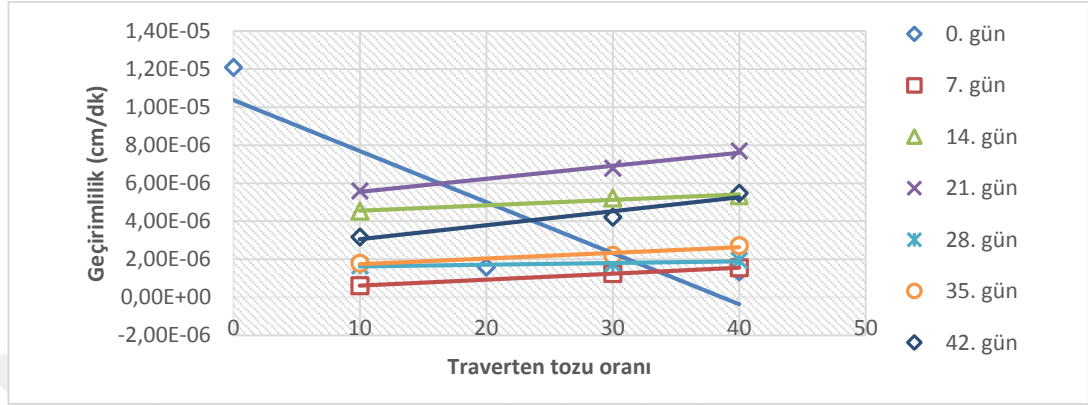
N4 numunesinin 7, 14, 28, 35 ve 42 gün sürelerinde geçirirnililik değişimi Şekil 3.73'te gösterilmiştir.



Şekil 3.73. Kır süresinin N4 numunesinin geçirirnililiğine etkisi.

Şekil 3.73 incelendiğinde N4 numunesinin geçirirnililiğinin kır süresi arttıkça doğrusal olarak artma eğiliminde olduğu görülmektedir.

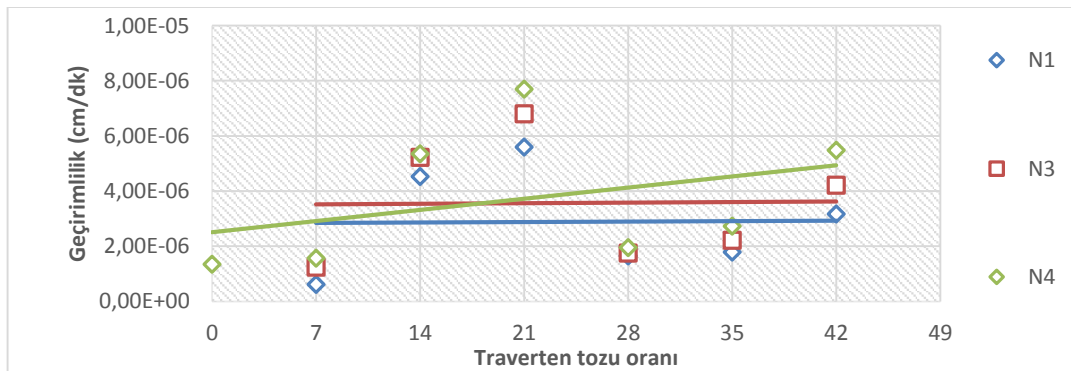
Yapılan deneyler sonucunda 0, 7, 14, 21, 28, 35 ve 42 gün kür sürelerinde bentonitin geçirimsilik değerine traverten oranının etkisi birleşik grafik olarak Şekil 3.74'te gösterilmiştir.



Şekil 3.74. 0, 7, 14, 21, 28, 35 ve 42 gün kür sürelerinde bentonitin geçirimsilik değerine traverten oranının etkisi

Şekil 3.74 incelendiğinde traverten tozu oranı arttıkça en yüksek geçirimsilik değerinin 14. Gün kür süresinde olduğu görülmüştür.

Yapılan deneyler sonucunda N1, N3, N4 numunelerinin geçirimsilik değerine kür sürelerinin etkisi birleşik grafik olarak Şekil 3.75'de gösterilmiştir.



Şekil 3.75. N1, N3, N4 numunelerinin geçirimsilik değerine kür sürelerinin etkisi

Şekil 3.75 incelendiğinde, kür sürelerine göre en yüksek geçirimsilik değerinin N4 numunesinde olduğu görülmektedir.

BÖLÜM 4

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu tez kapsamında, Tokat bölgesinden KarBen Bentonit Endüstriyel Madencilik Kimya Ar-Ge Nano Teknolojileri Sanayi ve Ticaret A.Ş. Firması aracılığıyla temin edilen doğal bentonit numuneleri ve Karabük ili Eskipazar ilçesi İmanlar formasyonu üzerinde bulunan traverten ocağından alınan traverten tozu numuneleri kullanılmıştır. Bentonit ve traverten numuneleri öğütülmüş, kurutulmuş ve 40 nolu elekten elendikten sonra deneye hazır hale getirilmiştir. Bentonit numunelerine ağırlıkça %10, %20, %30 ve %40 oranlarında traverten tozu eklenmiş, optimum su içeriği değerlerine göre hazırlanan karışımların geoteknik özelliklerini incelemek amacıyla kıvam limitleri, kompaksiyon, serbest basınç, kesme kutusu, şişme basıncı ve permeabilite deneyleri yapılmıştır.

Katkısız bentonitin likit limiti (w_L) %312 iken ağırlıkça %40 oranında traverten tozu katıldığında %221 olmuştur. Katkısız bentonitin plastik limit değeri ağırlıkça %40 oranında traverten tozu katıldığında (w_P) %67 den %101'e plastite indisi değeri (I_P) ise %245 den %120 ye düşmüştür. Genel olarak bir değerlendirme yapıldığında %10 traverten katkısından itibaren traverten katkısının bentonitin likit limit ve plastite indisini düşürdüğü, plastik limitini ise artırdığı görülmüştür.

Katkısız bentonitin optimum su içeriği %42 iken bentonite ağırlıkça %40 traverten tozu katıldığında optimum su içeriği %28 olmuştur. Maksimum kuru birim hacim ağırlık değeri ise katkısız bentonitte $11,611 \text{ kN/m}^3$ iken ağırlıkça %40 oranında traverten tozu katıldığı zaman $13,602 \text{ kN/m}^3$ olmuştur. Bentonit numunelerine ağırlıkça artan oranlarda traverten tozu katıldığında optimum su muhtevalarının düştüğü, maksimum kuru birim hacim ağırlıklarının ise arttığı görülmüştür.

Katkısız bentonitin serbest basınç dayanımı $1,03 \text{ kg/cm}^2$ olarak bulunmuştur. Kürlendirmeden bentonite ağırlıkça %40 oranında traverten tozu katıldığında serbest basınç dayanımı ise $1,92 \text{ kg/cm}^2$ olmuştur. Ağırlıkça %10 traverten tozu eklenip 7 gün kürlendirilen bentonit numunesinin serbest basınç dayanımı $1,01 \text{ kg/cm}^2$, 14 gün kürlendirildikten sonra $0,98 \text{ kg/cm}^2$ 28 gün kürlendirildikten sonra $1,05 \text{ kg/cm}^2$ ve 42 gün sonrasında ise $0,96 \text{ kg/cm}^2$ olarak belirlenmiş olup minimum ile maksimum kür süresi arasındaki değişim oranı %12 olarak bulunmuştur. Ağırlıkça %40 traverten tozu eklenip 7 gün kürlendirilen bentonit numunesinin serbest basınç dayanımı $1,19 \text{ kg/cm}^2$, 14 gün kürlendirildikten sonra $1,25 \text{ kg/cm}^2$, 28 gün kürlendirildikten sonra $1,25 \text{ kg/cm}^2$ ve 42 gün sonrasında ise $1,63 \text{ kg/cm}^2$ olarak belirlenmiş olup minimum ile maksimum kür süresi arasındaki değişim oranı %18 olarak bulunmuştur. N1 ve N4 numunelerinin serbest basınç değerleri arasındaki değişim 0. günde %100 den fazla artış, 14. günde %30 artış, 28. günde %19 artış, 42. günde ise %70 artış olarak bulunmuştur.

Bulgular sonucunda bentonite artan oranlarda traverten tozu eklendiğinde serbest basınç değerinin arttığı ancak ağırlıkça %30 dan fazla traverten tozu eklendiğinde bentonitin serbest basınç dayanımının karışım kürlendikçe düşürdüğü saptanmıştır.

Katkısız bentonitin kohezyon değeri $0,3421 \text{ kg/cm}^2$ olarak bulunmuştur, kürlendirmeden bentonite ağırlıkça %40 oranında traverten tozu katıldığında kohezyon değeri ise $0,5457 \text{ kg/cm}^2$ olmuştur. Ağırlıkça %10 traverten tozu eklenip 7 gün kürlendirilen bentonit numunesinin kohezyon değeri $0,6325 \text{ kg/cm}^2$, 14 gün kürlendirilen bentonit numunesinin kohezyon değeri $0,5557 \text{ kg/cm}^2$, 28 gün kürlendirilen bentonit numunesinin kohezyon değeri $0,6325 \text{ kg/cm}^2$, 42 gün kürlendirilen bentonit numunesinin kohezyon değeri $0,6319 \text{ kg/cm}^2$ olarak belirlenmiş olup minimum ile maksimum kür süresi arasındaki değişim oranı %34 olarak bulunmuştur. Ağırlıkça %40 oranında traverten tozu eklenip 7 gün kürlendirilen bentonit numunesinin kohezyon değeri $0,6296 \text{ kg/cm}^2$, 14 gün kürlendirilen bentonit numunesinin kohezyon değeri $0,7076 \text{ kg/cm}^2$, 28 gün kürlendirilen bentonit numunesinin kohezyon değeri ise $0,6296 \text{ kg/cm}^2$, 42 gün kürlendirilen bentonit numunesinin kohezyon değeri ise $0,6755 \text{ kg/cm}^2$ olarak belirlenmiş olup minimum ile maksimum kür süresi arasındaki değişim oranı %24 olarak bulunmuştur. N1 ve N4

numunelerinin kohezyon değerleri arasındaki değişim 0. günde %60 artış, 14. günde %27 artış, 28. günde %20 azalış, 42. günde ise %6 artış olarak bulunmuştur.

Bulgular sonucunda katkısız bentonite artan oranlarda traverten tozu ilave edildiğinde genel anlamda kohezyon değerinin arttığı görülmektedir. Ayrıca karışım numuneleri kürlendirildiğinde kohezyon değerinin bir miktar daha arttığı da görülmüştür.

Katkısız bentonitin içsel sürtünme açısı değeri $8,36^\circ$ olarak bulunmuştur, kürlendirmeden bentonite ağırlıkça %40 oranında traverten tozu katıldığında içsel sürtünme açısı değeri ise $8,72^\circ$ olmuştur. Ağırlıkça %10 traverten tozu eklenip 7 gün kürlendirilen bentonit numunesinin içsel sürtünme açısı değeri $7,74^\circ$ Ağırlıkça %10 traverten tozu eklenip 14 gün kürlendirilen bentonit numunesinin içsel sürtünme açısı değeri $1,22^\circ$ Ağırlıkça %10 traverten tozu eklenip 28 gün kürlendirilen bentonit numunesinin içsel sürtünme açısı değeri $0,00^\circ$ Ağırlıkça %10 traverten tozu eklenip 42 gün kürlendirilen bentonit numunesinin içsel sürtünme açısı değeri $0,00^\circ$ olarak belirlenmiştir. Ağırlıkça %40 oranında traverten tozu eklenip 7 gün kürlendirilen bentonit numunesinin içsel sürtünme açısı değeri ise $9,40^\circ$, 14 gün kürlendirilen bentonit numunesinin içsel sürtünme açısı değeri ise $5,37^\circ$, 28 gün kürlendirilen bentonit numunesinin içsel sürtünme açısı değeri ise $5,86^\circ$, 42 gün kürlendirilen bentonit numunesinin içsel sürtünme açısı değeri ise $12,05^\circ$ olarak belirlenmiştir. N1 ve N4 numunelerinin içsel sürtünme açısı değerleri arasındaki değişim 0. günde %4 artış, 14. günde %100 den fazla artış, 28. günde %100 den fazla artış, 42. günde ise %100 den fazla artış olarak belirlenmiştir.

Bulgular sonucunda tüm kür sürelerinde katkısız bentonite artan oranlarda traverten tozu eklendiğinde bentonite numunelerinin içsel sürtünme açısı değerlerinin arttığı görülmüştür. Ancak bulgular N1, N2, N3 ve N4 numunelerinin kürlendirilmesi özelinde incelendiğinde N1 ve N3 numunelerinin içsel sürtünme açısını kür süresinin azalttığı, N2 ve N4 numunesinin içsel sürtünme açısını kür süresinin artırdığı görülmüştür.

Katkısız bentonitin şişme basıncı değeri $2,30 \text{ kg/cm}^2$ olarak bulunmuştur, kürlendirmeden bentonite ağırlıkça %40 oranında traverten tozu katıldığında şişme

basıncı değeri ise $1,64 \text{ kg/cm}^2$ olmuştur. Ağırlıkça %10 traverten tozu eklenip 7 gün kürlenirilen bentonit numunesinin şişme basıncı değeri $2,08 \text{ kg/cm}^2$, 14 gün kürlenirilen bentonit numunesinin şişme basıncı değeri $2,28 \text{ kg/cm}^2$, 28 gün kürlenirilen bentonit numunesinin şişme basıncı değeri $1,91 \text{ kg/cm}^2$, 42 gün kürlenirilen bentonit numunesinin şişme basıncı değeri $2,05 \text{ kg/cm}^2$ olarak belirlenmiş olup minimum ile maksimum kür süresi arasındaki değişim oranı %6 olarak bulunmuştur. Ağırlıkça %40 oranında traverten tozu eklenip 7 gün kürlenirilen bentonit numunesinin şişme basıncı değeri $1,58 \text{ kg/cm}^2$, 14 gün kürlenirilen bentonit numunesinin şişme basıncı değeri $1,50 \text{ kg/cm}^2$, 28 gün kürlenirilen bentonit numunesinin şişme basıncı değeri ise $0,96 \text{ kg/cm}^2$, 42 gün kürlenirilen bentonit numunesinin şişme basıncı değeri ise $1,19 \text{ kg/cm}^2$ olarak belirlenmiş olup minimum ile maksimum kür süresi arasındaki değişim oranı %38 olarak bulunmuştur. N1 ve N4 numunelerinin şişme basıncı değerleri arasındaki değişim 0. günde %24 azalış, 14. günde %34 azalış, 28. günde %50 azalış, 42. günde ise %42 azalış olarak belirlenmiştir.

Bulgular sonucunda katkısız bentonite artan oranlarda traverten tozu katıldığında bentonitin şişme basıncını tüm kür sürelerinde azalttığı görülmüştür. Ayrıca N1, N2, N3 ve N4 numuneleri kürendikçe şişme basınçlarının dahada azaldığı görülmüştür.

Katkısız bentonitin geçirimlilik katsayısı değeri $1,21\text{E-}05 \text{ cm/dk}$ olarak bulunmuştur, kürendirmeden bentonite ağırlıkça %40 oranında traverten tozu katıldığında geçirimlilik katsayısı değeri ise $1,34\text{E-}06 \text{ cm/dk}$ olmuştur. Ağırlıkça %10 traverten tozu eklenip 7 gün kürlenirilen bentonit numunesinin geçirimlilik katsayısı değeri $6,16\text{E-}07 \text{ cm/dk}$, 14 gün kürlenirilen bentonit numunesinin geçirimlilik katsayısı değeri $4,52\text{E-}06 \text{ cm/dk}$, 28 gün kürlenirilen bentonit numunesinin geçirimlilik katsayısı değeri $1,64\text{E-}06 \text{ cm/dk}$, 42 gün kürlenirilen bentonit numunesinin geçirimlilik katsayısı değeri $3,17\text{E-}06 \text{ cm/dk}$ olarak belirlenmiş olup minimum ile maksimum kür süresi arasındaki değişim oranı %414 olarak bulunmuştur. Ağırlıkça %40 oranında traverten tozu eklenip 7 gün kürlenirilen bentonit numunesinin geçirimlilik katsayısı değeri ise $1,56\text{E-}06 \text{ cm/dk}$ 14 gün kürlenirilen bentonit numunesinin geçirimlilik katsayısı değeri ise $5,34\text{E-}06 \text{ cm/dk}$ 28 gün kürlenirilen bentonit numunesinin geçirimlilik katsayısı değeri ise $1,94\text{E-}06 \text{ cm/dk}$ 42 gün

kürlenendirilen bentonit numunesinin geçirimsizlik katsayısı değeri ise $5,47E-06$ cm/dk olarak belirlenmiş olup minimum ile maksimum kür süresi arasındaki değişim oranı %250 olarak bulunmuştur. N1 ve N4 numunelerinin geçirimsizlik katsayısı değerleri arasındaki değişim 7. günde %153 artış, 14. günde %20 artış, 28. günde %18 artış, 42. günde ise %72 artış olarak belirlenmiştir.

Araştırma bulguları sonucunda katkısız bentonite artan oranlarda traverten tozu eklendiğinde geçirimsizlik katsayısı değeri 0. günde azalış göstermiş ancak kür süresi arttıkça artış göstermiştir. Geçirimsizlik kat sayısı artarken; genel anlamda şişme basıncı değeri azalmış, serbest basınç, içsel sürtünme açısı ve kohezyon değeri ise artmıştır.

Çalışma sonucunda görülmüştür ki; traverten katkısı bentonitin mühendislik özelliklerini iyileştirmektedir. Ayrıca şişebilen ve mühendislik özellikleri düşük zeminlerin geçirimsizliği arttıkça şişme basıncının azaldığı ve dayanım özelliklerinin arttığı da görülmüştür.

KAYNAKLAR

1. Özaydın, K., “Zeminlerin İyileştirilmesi”, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Ondördüncü Ulusal Kongresi*, (2012).
2. Yıldırım, S., “Zemin İncelemesi ve Temel Tasarımı”, *Birsen Yayınevi*, İstanbul, 439, 453, (2004).
3. Das, B., M., “Principles of Foundation Engineering”, *PWS Publishing Company, a division of International Thomson Publishing Inc.* Boston, USA, 828 (1995).
4. Çetin, M., “Değişik çevresel koşullar altında, şisen zeminlerin özelliklerinin belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Dumlupınar Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü*, Kütahya, (2003).
5. Satyanarayana, B., “Behavior of Expansive Soil Treated or Cushioned with Sand, Proceedings”, *2nd International Conference on Expansive Clay Soils, Texas A&M University*, College Station, TX, 308-316 (1969).
6. Mollins, L.H., Stewart, D.I., Cousens, T.W., “Predicting the properties of bentonite– sand mixtures”, *Clay Miner.* 31, 243– 252 (1996).
7. Hudyma, N. ve Avar, B. B., “Changes in swell behavior of expansive clay soils from dilution with sand”, *Environmental & Engineering Geoscience*, 12 (2), 137-145 (2006).
8. Rao M. K., GiriBabu, G., Rani Suda, Ch., “Influence of Coarse Fraction on Swelling Characteristics”, *EJGE*, No:0627 (2006).
9. Studds, P.G., Stewart, D.I., Cousens, T.W., “The effects of salt solutions on the properties of bentonite– sand mixtures”. *Clay Miner.* 33, 651–661 (1998).
10. Xu, Y.F., Matsuoka, H., Sun, D. A., “Swelling characteristics of fractal-textured bentonite and its mixtures”, *Applied Clay Science* 22, 197– 209 (2003).
11. Coduto, P., “Geoteknik Mühendisliği İlkeler ve Uygulamalar”, Çev. *Mollamahmutoğlu, M.*, 39-80, 600-680 (2006).
12. Zorluer, İ., Usta, M., “Zeminlerin Atık Mermer Tozu İle İyileştirilmesi”, *Türkiye IV. Mermer Sempozyumu (Mersem '2003) Bildiriler Kitabı*, Afyon, (2003).
13. İkizler, S., B., Aytakin, B., Vekli, M., Yavuz, H., İ., Tandoğan, M., “Bentonitin Çimento, Uçucu Kül ve Kum ile Stabilizasyonu”, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onikinci Ulusal Kongresi*, Konya, s. 689-698 (2008).

14. Başer, O., Çokça, E., “Şişen Zeminlerin Atık Mermer Tozu Kullanılarak İyileştirilmesi”, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onüçüncü Ulusal Kongresi*, İstanbul, 143-152 (2010).
15. Çimen, Ö., Keskin, S., N., Şimşek, S., Kalay, E., “Yüksek Plastisiteli Bir Kilin Mühendislik Özelliklerine Pomza ve Mermer Tozunun Etkisi”, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onüçüncü Ulusal Kongresi*, İstanbul, 855-862 (2010).
16. Çabalar, A. F., Akbulut, N., Aydın, A., “Gaziantep’teki kil zeminlerin kırmataş ile iyileştirilmesi ve atık lastik – kırmataş karışımları üzerine bir çalışma” *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 28(2), 1-14n ss., (2013).
17. Özhan, H., O., “Anyonik polimerin kaolin kilinin mühendislik özelliklerine etkileri”, *Altınbaş Üniversitesi Mühendislik Sistemleri ve Mimarlık Dergisi*, C:1, S:1, (2017).
18. Alpyürür M., “Zemin iyileştirmesinde öğütülmüş gazbeton kullanımı”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2016).
19. Öntürk K., “Zemin iyileştirmesinde polisaj, kireç ve uçucu külün kullanımı”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2011).
20. Bozbey, İ., “Kireç ile stabilize edilmiş bir zeminin hidrolik geçirgenliğinin arazi boyutlarında belirlenmesi”, *Osmangazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi*, Cilt. XVII, S. 1, (2004).
21. Gleason, M. H., Daniel, D. E. and Eykhole, G. R. “Calcium and sodium bentonite forhydraulic contaminant applications,” *J. Geotech.*
22. Chalermyanont T., and Arrykul, S., “Compacted sand-bentonite mixtures for hydrauliccontainment liners”, *Songklanakarın J. Sci. Technol.*, vol. 27, no. 2, pp. 313–323, (2005).
23. Ayaz, M.E., “Travertenlerde gözlenen morfolojik yapılar ve tabiat varlığı olarak önemleri”, *Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, Seri AYerbilimleri C.19, S.2, s. 123-134 (2002).
24. Atabey, E., “Tufa ve Traverten”, *TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları*, No:75, 106 (2003).
25. Beşparmak, Ö., “Atteberg limitlerinin tayininde casagrande, düşen koni ve ekstrüzyon yöntemlerinin karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1 (2010).
26. Yılmaz, I., Yıldırım, M. ve Keskin, İ., 2016, “Zemin Mekaniği Laboratuvar Deneyleri ve Çözümlü Problemler”, *Seçkin Yayıncılık*, s. 42 - 44 ve s. 48 - 50 (2016).

27. TS 1900-1, "Methods of testing soils for civil engineering purposes in the laboratory part 1: determination of physical properties", *TSE*, Ankara, [in Turkish], 2006.
28. Tumluer, G., "Çimento Katkılı Kumlu Zeminlerin Mukavemeti", Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana (2006).
29. Aytekin, M., "Deneysel Zemin Mekaniği", *Teknik Yayınevi*, Ankara. (2004).
30. TS 1900-2, "İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri-Bölüm 1: Fiziksel Özelliklerin Tayini", *Türk Standartları Enstitüsü*, 55-63, Ankara, (2006).
31. Williams, C. E., "Facts About the Design and Construction of Earthen Containment Structures", *ASCE Güz Toplantısı*, Texas, Austin, College Station, TX, (1988).
32. Trautwein, S. J. ve C. E. Williams, "Performance evaluation of earthen liners", *Waste Containment Systems, Geotechnical Special Publication*, No. 26, ASCE, pp. 30-49, (1990).
33. ASTM, "American Society of Testing Materials", Philadelphia.

ÖZGEÇMİŞ

Ömer ARSLAN 1993 yılında Karabük'te doğdu. İlk ve orta öğrenimini Kayseri'de tamamladı. İzmir Buca Lisesinden mezun oldu. 2010 yılında Manisa Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'ne başladı. 2014 yılında mezun oldu. Mezun olduktan sonra Karabük'te çeşitli firmalarda inşaat mühendisi olarak görev yaptı. 2017 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği A.B.D. da yüksek lisans yapmaya başladı. Yüksek lisans eğitimi halen devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Kozağaç mah. 231/1 sok. No:12/16 Buca/İZMİR

Tel : (506) 691 6707

E-posta : omer_arslan@outlook.com.tr