

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KİLİN KİREÇ VE ÇİMENTO İLE STABİLİZASYON
KARŞILAŞTIRMALARI**

ENSAR AYAN

KOCAELİ 2021

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KİLİN KİREÇ VE ÇİMENTO İLE STABİLİZASYON
KARŞILAŞTIRMALARI

ENSAR AYAN

Doç.Dr. Aydın KAVAK

Danışman, Kocaeli Üniv.

.....

Prof.Dr. Sami ARSOY

Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.

.....

Dr.Öğr. Üyesi Gamze BİLGEN

Jüri Üyesi, Zonguldak Bülent Ecevit Üniv.

.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 24.06.2021

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Günümüzde zayıf zeminleri değiştirmek uygulanabilirlik ve ekonomik açıdan ciddi sıkıntılar arz ettiğinden zemin iyileştirmenin önemi çok büyüktür. Bu çalışmada ise kil örneğinin öncelikle laboratuvar ortamında mühendislik özellikleri belirlenmiştir. İlgili kilin kireç ve çimento kullanılarak iyileştirilip iyileştirilemeyeceği Geoteknik deneylerle irdelenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda kirecin kil mukavemetinde çok daha iyi performans sergilediği ve daha ekonomik olduğu gözlemlenmiştir.

Bu tez çalışmasının amacı ise kilin kireç ve çimento ile iyileştirilmesini gözlemek ve deneysel verilerle ekonomik açıdan kıyaslayıp uygun olanı bulmaktır.

Öncelikle çalışmalarım sırasında bana göstermiş olduğu her türlü destek ve yardımlarından dolayı saygı değer danışman hocam Doç. Dr. Aydın KAVAK'a teşekkürlerimi sunarım.

Her zaman beni destekleyen ve bugünlere gelmemde en büyük paya sahip olan anneme, babama, kardeşlerim Fatmanur ve Ruken AYAN'a, ablam Süheyla AYAN'a; tez çalışma süresi boyunca bilgisiyle ve gayretiyle desteğini esirgemeyen meslektaşım Ümit KUT'a; hiçbir zaman eksikliğini hissettirmeyen yeğenim Muttalip AYAN'a en içten sevgilerimi, saygılarımı ve sonsuz teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Haziran – 2021

Ensar AYAN

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLOLAR DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ABSTRACT.....	x
GİRİŞ	1
1. GENEL BİLGİLER	4
1.1. Killerin Genel Yapısı ve Özellikleri.....	4
1.1.1. Kil mineralleri	4
1.1.2. Killerin yapısı ve sınıflandırması	5
1.1.3. Killerin özellikleri	7
1.2. Kireç	8
1.2.1. Kirecin çeşitleri	9
1.2.2. Kireç kullanım alanları.....	11
1.2.3. Kirecin kullanımının avantajları.....	12
1.3. Çimento	13
1.3.1. Çimento stabilizasyonu ve mekanizması	14
1.3.2. Çimento stabilizasyonunu etkileyen faktörler.....	17
2. KİMYASAL STABİLİZASYON YÖNTEMİ.....	18
2.1. Zemin Stabilizasyonuna Genel Bakış.....	18
2.2. Zemin Stabilizasyon Yöntemleri.....	19
2.3. Katkı Malzemesi ile Zemin Stabilizasyonu.....	22
2.3.1. Kireç stabilizasyonu	23
2.3.2. Çimento stabilizasyonu	26
2.4. Önceki Çalışmalar	26
3. MATERYAL VE YÖNTEM	29
3.1. Kullanılan Materyal.....	29
3.1.1. Zeminin özellikleri	29
3.1.2. Kireç	30
3.1.2. Çimento	31
3.2. Stabilizasyonda Kullanılan Deneyler	31
3.2.1. Kıvam limitleri (LL,PL deneyleri)	32
3.2.2. Elek analizi	34
3.2.3. Hidrometre deneyi.....	35
3.2.4. Piknometre deneyi.....	35
3.2.5. pH deneyi	36
3.2.6. Kompaksiyon deneyi.....	37
3.2.7. Serbest basınç (Tek eksenli) deneyi	38
3.2.8. CBR deneyi	39
3.2.9. Plaka yükleme deneyi.....	39
4. DENEYSEL SONUÇLAR	41

4.1. Doğal Su Muhtevasının Bulunması.....	41
4.2. Yıkamalı Elek Analizi	42
4.3. Hidrometre Deneyi	43
4.4. Piknometre Deneyi	44
4.5. Atterberg Kıvam Limitleri Deneyi (LL,PL).....	45
4.6. Ph Deneyi	48
4.7. Kompaksiyon (Sıkıştırma) Deneyi	49
4.8. Serbest Basınç (Tek Eksenli) Deneyi.....	53
4.8.1. %3 kireç katkılı zeminin serbest basınç grafiği	55
4.8.1. %3 çimento katkılı zeminin serbest basınç grafiği.....	58
4.8.1. %4 çimento katkılı zeminin serbest basınç grafiği.....	61
4.9. CBR Deneyi	65
4.10. Plaka Yükleme Deneyi.....	68
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	72
KAYNAKLAR	74
EKLER	76
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER	110
ÖZGEÇMİŞ	111

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Killerin mikroskopik görüntüleri	4
Şekil 1.2. Killerin su vermiş ve su almış halı.....	5
Şekil 1.3. Kil minerallerinin tabakamsı yapısı	6
Şekil 1.4. Kireçtaşının oluşumu	9
Şekil 1.5. Sönmemiş kireçte hidrasyon hızının su miktarıyla değişimi	10
Şekil 1.6. Türkiye’de kireçtaşının tüketimi.....	12
Şekil 1.7. Portland çimentosu üretiminin şematik görünümü	14
Şekil 1.8. Çimento stabilizasyonu mekanizması.....	15
Şekil 1.9. Çimentonun zemin ile etkileşimi	16
Şekil 1.10. Stabilizasyonu etkileyen faktörler.....	17
Şekil 2.1. Zemin parametrelerinin kireç ile değişimi	25
Şekil 3.1. Kullanılan killi zemin	30
Şekil 3.2. Likit limit aleti	32
Şekil 3.3. Plastik limit seti	33
Şekil 3.4. Sınıflandırma sistemi	33
Şekil 3.5. Hidrometre deneyi aletleri	35
Şekil 3.6. Piknometre deneyi şişesi.....	36
Şekil 3.7. Ph aleti	36
Şekil 3.8. Kompaksiyon aletleri	37
Şekil 3.9. Numune kesiti ve deney grafiği	38
Şekil 3.10. CBR düzeneği	39
Şekil 4.1. Yakılmış numune ve deney düzeneği	44
Şekil 4.2. Killi zeminin likit limit grafiği.....	46
Şekil 4.3. Plastik limit deneyi örnek numune	47
Şekil 4.4. Ph deneyi numuneleri	48
Şekil 4.5. Standart proktor deneyi.....	50
Şekil 4.6. Katkısız kilin su muhtevası.....	50
Şekil 4.7. Minyatür proktor aleti ve örnek numune	52
Şekil 4.8. Tek eksenli basınç deneyi	54
Şekil 4.9. Beklemeye alınan numuneler.....	55
Şekil 4.10. %3 kireç katkılı zeminin anlık serbest basınç grafiği	56
Şekil 4.11. %3 kireç katkılı zeminin 1 günlük serbest basınç grafiği.....	56
Şekil 4.12. %3 kireç katkılı zeminin 7 günlük serbest basınç grafiği	57
Şekil 4.13. %3 kireç katkılı zeminin 28 günlük serbest basınç grafiği	57
Şekil 4.14. %3 kireç katkılı zemin dayanımlarının ortalamaları.....	58
Şekil 4.15. %3 çimento katkılı zeminin anlık serbest basınç grafiği	59
Şekil 4.16. %3 çimento katkılı zeminin 1 günlük serbest basınç grafiği	59
Şekil 4.17. %3 çimento katkılı zeminin 7 günlük serbest basınç grafiği	60
Şekil 4.18. %3 çimento katkılı zeminin 28 günlük serbest basınç grafiği	60
Şekil 4.19. %3 çimento katkılı zemin dayanımlarının ortalamaları.....	61
Şekil 4.20. %4 çimento katkılı zeminin anlık serbest basınç grafiği	62
Şekil 4.21. %4 çimento katkılı zeminin 1 günlük serbest basınç grafiği	62

Şekil 4.22. %4 çimento katkılı zeminin 7 günlük serbest basınç grafiği	63
Şekil 4.23. %4 çimento katkılı zeminin 28 günlük serbest basınç grafiği	63
Şekil 4.24. %4 çimento katkılı zemin dayanımlarının ortalamaları	64
Şekil 4.25. Katkılı ve katkısız bütün deneylerin mukavemet değerleri	64
Şekil 4.26. Doğal zeminin CBR deneyi	65
Şekil 4.27. %3 kireçli zeminin birinci tabaka CBR deneyi.....	66
Şekil 4.28. %3 kireçli zeminin ikinci tabaka CBR deneyi.....	66
Şekil 4.29. CBR deneyi yükleme sonuçları (kgf)	67
Şekil 4.30. Kireç oranına göre CBR değerleri (%)	67
Şekil 4.31. CBR deneyi şişme değerleri(%).....	68
Şekil 4.32. Plaka yükleme deneyi yük-oturma grafiği-1	70
Şekil 4.33. Plaka yükleme deneyi yük-oturma grafiği-2	70
Şekil A.1. %3 kireç katkılı zeminin likit limit grafiği.....	77
Şekil A.2. %3 çimento katkılı zeminin likit limit grafiği.....	78
Şekil A.3. %4 çimento katkılı zeminin likit limit grafiği.....	79
Şekil B.1. %3 kireç katkılı zeminin su muhtevası	80
Şekil B.2. %3 kireç katkılı zeminin su muhtevası	81
Şekil B.3. %4 çimento katkılı zeminin su muhtevası	82
Şekil C.1. Doğal zeminin anlık serbest basınç deneyi-1	83
Şekil C.2. Doğal zeminin anlık serbest basınç deneyi-2.....	83
Şekil C.3. Doğal zeminin anlık serbest basınç deneyi-3.....	84
Şekil C.4. Doğal zeminin 1 günlük serbest basınç deneyi-1.....	84
Şekil C.5. Doğal zeminin 1 günlük serbest basınç deneyi-2.....	85
Şekil C.6. Doğal zeminin 1 günlük serbest basınç deneyi-3.....	85
Şekil C.7. %3 kireçli zeminin anlık serbest basınç deneyi-1	86
Şekil C.8. %3 kireçli zeminin anlık serbest basınç deneyi-2	86
Şekil C.9. %3 kireçli zeminin anlık serbest basınç deneyi-3	87
Şekil C.10. %3 kireçli zeminin anlık serbest basınç grafik kıyaslaması.....	87
Şekil C.11. %3 kireçli zeminin 1 günlük serbest basınç deneyi-1	88
Şekil C.12. %3 kireçli zeminin 1 günlük serbest basınç deneyi-2	88
Şekil C.13. %3 kireçli zeminin 1 günlük serbest basınç deneyi-3	89
Şekil C.14. %3 kireçli zeminin 1 günlük serbest basınç grafikleri	89
Şekil C.15. %3 kireçli zeminin 7 günlük serbest basınç deneyi-1	90
Şekil C.16. %3 kireçli zeminin 7 günlük serbest basınç deneyi-2.....	90
Şekil C.17. %3 kireçli zeminin 7 günlük serbest basınç deneyi-3.....	91
Şekil C.18. %3 kireçli zeminin 7 günlük serbest basınç grafikleri	91
Şekil C.19. %3 kireçli zeminin 28 günlük serbest basınç deneyi-1	92
Şekil C.20. %3 kireçli zeminin 28 günlük serbest basınç deneyi-2.....	92
Şekil C.21. %3 kireçli zeminin 28 günlük serbest basınç deneyi-3.....	93
Şekil C.22. %3 kireçli zeminin 28 günlük serbest basınç grafikleri	93
Şekil C.23. %3 çimentolu zeminin anlık serbest basınç deneyi-1	94
Şekil C.24. %3 çimentolu zeminin anlık serbest basınç deneyi-2	94
Şekil C.25. %3 çimentolu zeminin anlık serbest basınç deneyi-3	95
Şekil C.26. %3 çimentolu zeminin anlık serbest basınç grafikleri	95
Şekil C.27. %3 çimentolu zeminin 1 günlük serbest basınç deneyi-1	96
Şekil C.28. %3 çimentolu zeminin 1 günlük serbest basınç deneyi-2	96
Şekil C.29. %3 çimentolu zeminin 1 günlük serbest basınç deneyi-3	97
Şekil C.30. %3 çimentolu zeminin 1 günlük serbest basınç grafikleri	97

Şekil C.31. %3 çimentolu zeminin 7 günlük serbest basınç deneyi-1	98
Şekil C.32. %3 çimentolu zeminin 7 günlük serbest basınç deneyi-2	98
Şekil C.33. %3 çimentolu zeminin 7 günlük serbest basınç deneyi-3	99
Şekil C.34. %3 çimentolu zeminin 7 günlük serbest basınç grafikleri	99
Şekil C.35. %3 çimentolu zeminin 28 günlük serbest basınç deneyi-1	100
Şekil C.36. %3 çimentolu zeminin 28 günlük serbest basınç deneyi-2	100
Şekil C.37. %3 çimentolu zeminin 28 günlük serbest basınç deneyi-3	101
Şekil C.38. %3 çimentolu zeminin 28 günlük serbest basınç grafikleri	101
Şekil C.39. %4 çimentolu zeminin anlık serbest basınç deneyi-1	102
Şekil C.40. %4 çimentolu zeminin anlık serbest basınç deneyi-2	102
Şekil C.41. %4 çimentolu zeminin anlık serbest basınç deneyi-3	103
Şekil C.42. %4 çimentolu zeminin anlık serbest basınç grafikleri	103
Şekil C.43. %4 çimentolu zeminin 1 günlük serbest basınç deneyi-1	104
Şekil C.44. %4 çimentolu zeminin 1 günlük serbest basınç deneyi-2	104
Şekil C.45. %4 çimentolu zeminin 1 günlük serbest basınç deneyi-3	105
Şekil C.46. %4 çimentolu zeminin 1 günlük serbest basınç grafikleri	105
Şekil C.47. %4 çimentolu zeminin 7 günlük serbest basınç deneyi-1	106
Şekil C.48. %4 çimentolu zeminin 7 günlük serbest basınç deneyi-2	106
Şekil C.49. %4 çimentolu zeminin 7 günlük serbest basınç deneyi-3	107
Şekil C.50. %4 çimentolu zeminin 7 günlük serbest basınç grafikleri	107
Şekil C.51. %4 çimentolu zeminin 28 günlük serbest basınç deneyi-1	108
Şekil C.52. %4 çimentolu zeminin 28 günlük serbest basınç deneyi-2	108
Şekil C.53. %4 çimentolu zeminin 28 günlük serbest basınç deneyi-3	109
Şekil C.54. %4 çimentolu zeminin 28 günlük serbest basınç grafikleri	109

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1.1. Kil minerallerinin ağırlığa göre kimyasal bileşimi (%)	6
Tablo 1.2. Portland çimentosunun kimyasal bileşenleri	13
Tablo 2.1. Stabilizasyon yöntemleri	20
Tablo 2.2. Tavsiye edilen stabilizasyon metotları	21
Tablo 2.3. Kirecin kimyasal ve fiziksel özellikleri	24
Tablo 2.4. Zemin cinsine göre yaklaşık kireç miktarı	25
Tablo 2.5. Zemin tiplerine göre optimum çimento oranları	26
Tablo 3.1. Sönmüş kirecin kimyasal özellikleri	30
Tablo 3.2. Sönmüş kirecin fiziksel özellikleri	31
Tablo 4.1. Killi zeminin doğal su muhtevası(%)	42
Tablo 4.2. Elek analizi sonuç tablosu.....	43
Tablo 4.3. Piknometre deney sonuçları.....	45
Tablo 4.4. Kıvam limitleri (LL, PL, PI).....	48
Tablo 4.5. Ph deneyi okuma tablosu	49
Tablo 4.6. Kilin geoteknik özellikleri	51
Tablo 4.7. Kompaksiyon deney sonuçları.....	52
Tablo 4.8. Tek eksenli basınç deneyi bilgileri	53
Tablo 4.9. Plaka test yükleme sonuçları-1	69
Tablo 4.10. Plaka test yükleme sonuçları-2	71
Tablo A.1. %3 kireç katkılı zeminin likit limit değeri	77
Tablo A.2. %3 kireç katkılı zeminin plastik limit değeri.....	77
Tablo A.3. %3 çimento katkılı zeminin likit limit değeri	78
Tablo A.4. %3 çimento katkılı zeminin plastik limit değeri	78
Tablo A.5. %4 çimento katkılı zeminin likit limit değeri	79
Tablo A.6. %4 çimento katkılı zeminin plastik limit değeri	79
Tablo B.1. %3 kireç katkılı zeminin kompaksiyon deneyi	80
Tablo B.2. %3 çimento katkılı zeminin kompaksiyon deneyi	81
Tablo B.3. %4 çimento katkılı zeminin kompaksiyon deneyi	82

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Al	: Alüminyum
Al ₂ O ₃	: Alüminyum oksit
CaO	: Kalsiyum oksit
Ca(OH) ₂	: Sönmüş kireç
CH	: Yüksek plastisiteli kil
CL	: Düşük plastisiteli kil
d	: Genişlik, (cm)
D	: Numune çapı, (cm)
Fe	: Demir
h	: Yükseklik
K	: Potasyum
kPa	: Kilopascal
Mg	: Magnezyum
MPa	: Megapascal
P	: Düzgün yayılı yük
q _u	: Serbest basınç dayanımı
Si	: Silisyum
SiO ₂	: Silisyum oksit
t	: Kür Süresi
W	: Su muhtevası, (%)
W _{doğal}	: Doğal su muhtevası, (%)
W _{opt}	: Optimum su muhtevası, (%)
W _L	: Likit limit
W _P	: Plastik limit

Kısaltmalar

CBR	: California Bearing Ratio (Kaliforniya Taşıma Oranı)
K.B.H.A.	: Kuru Birim Hacim Ağırlık
KTŞ	: Karayolları Teknik Şartnamesi
M.K.B.H.A.	: Maksimum Kuru Birim Hacim Ağırlık
LL	: Likit Limit
PÇ	: Portland Çimentosu
PI	: Plastisite İndisi
PL	: Plastik Limit
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
UK	: Uçucu Kül

KİLİN KİREÇ VE ÇİMENTO İLE STABİLİZASYON KARŞILAŞTIRMALARI

ÖZET

Günümüzde, nüfusun artmasıyla birlikte yapılaşmaya olan talep de gün geçtikçe artmaktadır. Yapılaşmaya elverişli arazilerin azalması, taşıma gücü düşük zeminlere de inşaat yapma zorunluluğunu beraberinde getirmiştir. Bu sebeple, inşaat mühendisliğinde zemin stabilizasyonu büyük bir önem arz etmektedir. Önceki çalışmalara baktığımızda, kireç ve çimento katkı malzemeleri zemin stabilizasyonunda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu çalışmamızda, %3 kirece ilaveten %3 ve %4 çimento oranındaki zeminlerin serbest basınç değerleri kıyaslanmıştır. Mukavemet değerlerine göre stabilizasyonda kullanılan katkı malzemesi ve oranı uygunluk ve ekonomik açıdan kıyas edilmiştir. Çalışma, kilin sınıflandırılmasıyla başlamıştır. Doğal kil, %3 oranındaki kireç katkılı ve farklı oranlardaki çimento katkılı CH kilinin, kuru birim hacim ağırlığı ve su muhtevası değerleri bulunmuştur. Daha sonra, %3 oranında kireç ve %3, %4 oranında çimento eklenerek oluşturulan numunelerin anlık, 1 günlük, 7 günlük ve 28 günlük tek eksenli basınç deneyleri yapılmıştır ve serbest basınç mukavemet değerleri karşılaştırılmıştır. Serbest basınç deneyi, CBR deneyi ve plaka yükleme deneyi ile desteklenmiştir. Laboratuvar deneyleri sonucunda, kireç katkılı ve çimento katkılı kilin katkısız kile göre maksimum kuru birim hacim ağırlık değerlerinde artış olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca %3 kireç katkılı numunelerin, %3 ve %4 çimento katkılı numunelere göre serbest basınç mukavemet değerlerinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu durum, killi zeminlerin serbest basınç mukavemetini artırması bakımından, kirecin çimentoya göre tercih edilmesinin daha ekonomik olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Çimento, Kireç, Serbest Basınç Mukavemeti, Zemin İyileştirme.

STABILIZATION COMPARISONS OF CLAY WITH LIME AND CEMENT

ABSTRACT

Nowadays, depending on the increase of the population, the demand for construction is increasing greatly. The reduction of land suitable for construction has led to the necessity of construction on soil which has low carrying capacity. For this reason, soil stabilization in civil engineering is very importance. When we look at previous studies, lime and cement additives are also widely used in soil stabilization. In this study, unconfined compression test values of the soil of 3% and 4% cement were compared in addition to 3% lime. According to strength values the additive material and ratio used in stabilization were compared according to suitability and economic conditions. The study began with the classification of clay. Natural clay, 3% lime-added and cement-added CH clay in different ratios, dry unit weight and water content values were found. Then, 0-day, 1-day, 7-day and 28-day unconfined compressive test were performed on samples prepared by adding 3% lime and 3%, %4 cement and unconfined compressive strength values were compared. Unconfined compressive test was supported with CBR test and plate loading experiment. As a result of laboratory experiments, it was observed that the lime-additive and cement-additive clay increased the maximum dry unit volume weight values compared to unadditive clay. Also, it was observed that the unconfined compressive strength values of 3% lime additive samples were higher than those with 3% and 4% cement additives. This case indicates that lime is more economical according to cement in terms of increasing the unconfined compressive strength of clay soils.

Keywords: Cement, Lime, Unconfined Compressive Strength, Soil Improvement.

GİRİŞ

Günümüzde, nüfusun artmasına bağlı olarak yapılara olan talep de paralel olarak artmaktadır. Bu da yapılaşmaya açılabilir alanların kullanılma talebini arttırmaktadır. Taleplerin artmasıyla bazı alanların yapılaşmaya açılması gerekliliğini ortaya koymuştur. Fakat gün geçtikçe yapılaşmanın artması nedeniyle verimli ve kullanılabilir arazilerin sayısı bir hayli azalmaktadır. Bu durum mühendislik özellikleri elverişli olmayan arazilerin kullanıma açılma zorunluluğunu beraberinde getirmiştir. Bu zorunlu durum, başta ulaşım yapıları olmak üzere mühendislik özellikleri kullanıma uygun olmayan zeminlerin iyileştirilmesine veya mühendislik özelliklerinin değiştirilmesine yol açmaktadır.

Zemin iyileştirme, mühendislik özellikleri elverişli olmayan zeminleri farklı katkı malzemeleri kullanarak veya mekanik iyileştirme yöntemlerini kullanarak gelecek dış kuvvetlere karşı daha dayanıklı ve kullanılabilir bir hale getirmektir [1]. Yapılacak bir ulaşım veya inşaat projelerinde kullanılan arazilerde zeminin elverişliliği noktasında karşılaşılabilecek problemler kapsamlı olarak araştırılmalıdır. Çünkü yapılar için gösterilen araziler zeminin cinsine ve arazi koşullarına bağlı olarak mühendislik özellikleri açısından her zaman beklenen verime sahip olmayabilir. Bu gibi durumlarda istenilen mühendislik özelliklerini elde edebilmek için zemini tamamen kaldırıp yeni zemin ile doldurmak veya proje sahasını değiştirmek uygulanabilirlik ve ekonomik açıdan çözüm olarak önerilmemektedir. Böylelikle Zemin Mekaniği, yapılaşmaya elverişli olmayan zeminlerin taşıma gücünün istenilen duruma getirilmesi için zeminin iyileştirilmesine veya mühendislik özelliklerinin geliştirilmesine başvurmaktadır [2].

Literatüre bakıldığında birçok zemin iyileştirme yöntemi ile karşılaşılmaktadır. Farklı faktörler göz önünde bulundurularak uygulanan bu yöntemlerden bir tanesi de katkı maddelerin ilavesi ile yapılan stabilizasyon yöntemidir. Bu çalışmada da katkı malzemesi olarak kireç ve çimento kullanılarak iyileştirme yöntemi yapılmıştır.

Ayrıca kireç ile iyileştirme ve çimento ile iyileştirme mukavemet değerleri karşılaştırılmıştır. Laboratuvar ortamında yapılan bu çalışmada farklı oranlarda çimento ve kirecin kil ile karışımıyla iyileştirme yapılması amaçlanmıştır. Katkı maddesi eklenerek yapılan iyileştirme yöntemi maliyet ve uygulanabilirlik açısından son yıllarda en çok tercih edilen yöntemlerin başında gelir. Bu yöntemde de katkı maddesi olarak da kireç ve çimento açık ara en çok tercih edilmektedir [2].

Kireç ve çimento ile zemin iyileştirme yöntemi zeminin mühendislik özelliklerini daha verimli hale getirmek için kullanılan katkı malzemelerin en önde gelenleridir. Kullanılan yöntemlere bakıldığında kireç çimentoya nazaren daha fazla kullanılmış olsa da çimento kireçten sonra en çok kullanılan malzeme olduğu söylenebilir. Kireç ile iyileştirme yöntemi, başta ulaşım yapıları olmak üzere birçok yapıda yapının taşıma gücü kapasitesini artırmak için kullanılan bir yöntemdir. Son yıllarda özellikle karayollarında zeminin mühendislik özelliklerini iyileştirmesinde yaygınlaşmıştır. Çimento ile zemin stabilizasyonu, zeminlerin mukavemet artışında ve dayanımının artmasında çok önemli faktör olmuştur. Diğer katkı malzemelerinde de olduğu gibi çimento da zeminin geçirimsizliği ciddi oranda azaltmakta etkili olmuştur. Bu çalışmayla beraber farklı çimento oranlarından hangisinin daha iyi dayanıma sahip olduğunu araştırmaktır. Çalışmanın genel amacına bakıldığında kireç ve çimentonun birbirlerine kıyasen farklı kür sürelerinde ve farklı su oranları kullanılarak zeminin yapısındaki mukavemet artışlarına bakmaktır.

Yapılan yüksek lisans tez çalışmasında Yalova'dan getirilen renk olarak sarı kil numunesinin %3 oranında sönmüş kireç ile ve 2 farklı oranda çimento ile karıştırılıp laboratuvar ortamında deneysel çalışmalarla malzemelerin mühendislik özellikleri üzerinde araştırmalar yapıp devamında kıyaslama yapılmıştır. %3 kireç oranı ile birlikte %3 ve %4 çimento içeriği olarak belirlenmiştir. Daha sonra sarı kil numuneleri üzerinde likit limit ve plastik limit deneyleri, kompaksiyon, piknometre, elek analizi, hidrometre, ph deneyleri yapılmıştır. Ayrıca serbest basınç testi(UC) yapılarak numunelerin mukavemet değerlerinde karşılaştırma yapılmıştır. Serbest basınç deneyleri hem katkısız hem kireç katkılı hem de çimento katkılı şekilde yapılmıştır ve grafiksel olarak kıyaslanmıştır. Katkısız numuneler anlık ve 1 günlük, Kireç ve çimento katkılı numuneler için ise anlık, 1, 7 ve 28 günlük kür süreleri esas

alınarak serbest basmalar yapılmıştır. Çalışma TSE standartlarına ve Karayolları Teknik Şartnamesine(KTŞ) uygun olması göz önünde bulundurulmuştur [3].



1. GENEL BİLGİLER

1.1. Killerin Genel Yapısı ve Özellikleri

1.1.1. Kil mineralleri

Kil minerallerinin yapısıyla ilgili araştırmalar yaklaşık 100 sene öncesine dayanmaktadır. Killer geoteknik mühendisliği için büyük önem arz etmektedir. Bu nedenle yapısı ve davranış özelliklerinin belirlenmesi mühendislik uygulamaları için önemlidir. Hem kimyasal hem de fiziksel özellikleri bakımından zemin türleri içerisinde farklılık göstermektedir. Kimyasal yapısını hidratlaşmış alüminosilikatlar oluşturmaktadır. Fiziksel olarak da iri danelilerden küçük ama küp ve küre yapısına sahip danelilerden de büyük ve 0,002mm'den daha küçük daneleri içeren bir yapıya sahiptir malzemelerdir. Şekil 1.1'de mikroskop altında büyütölmüş kil zeminine ait görüntü görölmektedir. Düşük sıcaklıkta oluşan kil mneralleri pulcuklar halindedir. Ayrıca yapıları yaprakçıklıdır [1,2].



Şekil 1.1. Killerin mikroskopik göröntüleri [1]

Kil mineralleri düşük sıcaklıkta oluştukları için Şekilde de gösterildiği gibi tabakalı bir yapıya sahipler ve pulçukludurlar. Killer doğada miktarı fazla olan malzemedir. Fakat saf kil olarak bulunması oldukça zordur. Kil malzemesi, su aldığında şişen ama kaybettiğinde hemen büzülen ve sıkıştırıldığında da suyunu dışarı atabilen bir yapıya

sahiptir. Bu özelliklerden de görüldüğü gibi kil malzemesi su çeken bir malzemedir. Bu nedenle killeri doğada sürekli olarak nemli görmek mümkün. Su kaybettiklerinde sertleşip çatlamaları, su aldıklarında cıvık olmaları kaçınılmaz bir durumdur. Ayrıca killeri yassı şekle sahip olmaları nedeniyle içerdikleri su oranına bağlı olarak plastik davranış gösteren kohezif özelliğe sahiptir. Killerin sertleşmiş ve cıvık hali Şekil 1.2’de gösterilmektedir. [4].



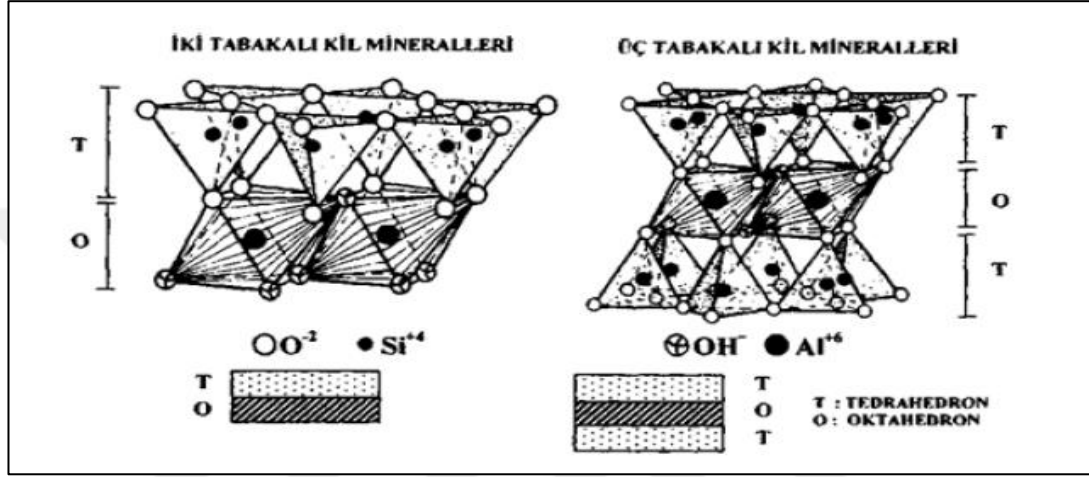
Şekil 1.2. Killerin su vermiş ve su almış hali [4]

Killerin kıvam değişimleri daneler arasındaki boşluklara ve kilin yapısına bağlı olarak değişim göstermektedir. O yüzden killeri su muhtevasına göre farklı kıvamda olabilirler. Mühendislik özellikleri bakımından killeri genelde sorunlu zemin türü olduğundan karşılaşılması istenmeyen bir malzemedir. Ayrıca daneler arası boşluğun az olması killerin permabilitesinin düşük olmasına neden olmaktadır. Permabilitesinin düşüklüğü doygun kilin suyu dışarı atmasını zorlaştırmaktadır. Herhangi bir zeminde kil oranı arttıkça zemin davranışı kil tarafından kontrol edilmektedir. Zeminin killi zemin olabilmesi için kil dışındaki diğer malzeme içeriklerinin genel zeminin 4’te 1’ini geçmemesi gerekir. Bir zeminin içerisinde kil miktarı az olsa bile zeminin davranışı etkilenmektedir [3].

1.1.2. Killerin yapısı ve sınıflandırması

Kil mineralleri levhamsı ve tabakamsı yani yaprakçıklı bir yapıya sahiptir. Çok küçük danelere sahip olduklarından dolayı elektron mikroskopuyla incelenen killeri, düşünülenin aksine küre şeklindeki bir yapıya sahip olmadığı görülmüştür.

Yaprakçıklı yapısında Al ve Si mineralleri bulunmaktadır. Bu yapı tetrahedron ve oktahedronlardan oluşmuştur. Tabakamsı yapıya sahip killer Şekil 1.3'te gösterilmektedir. Tetrahedron yapısının ortasında silisyum oktahedronunda ise merkezde alüminyum katyonları bulunmaktadır. Her iki yapı tipinde de Al ve Si katyonlarının etrafında eşit uzaklıkta oksijen anyonu bulunmaktadır. Kil mineralleri ise bu iki yapının üst üste gelmesi ardaki oksijen bağıyla oluşmaktadır. [3,5]



Şekil 1.3. Kil minerallerinin tabakamsı yapısı [5]

Killerin sınıflandırılması, içerdiği kilin mineralojik birleşimine ve kristal yapılarına göre yapılmaktadır. Kil minerallerinin ağırlıklara göre birleşimleri Tablo 1.1' de gösterilmektedir [1].

Tablo 1.1. Kil minerallerinin ağırlığa göre kimyasal bileşimi (%) [6]

Kil Mineralleri	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
Kaolinit	45-48	38-40	-	-	-	-	-	-
İllit	50-56	18-31	2-5	0-0,8	0-2	1-4	4-7	0-1
Klorit	22-35	12-24	0-15	-	0-2	12-34	0-1	0-1
Montmorillonit	42-55	0-28	0-30	0-0,5	0-3	0-2,5	0-0,5	0-3
Nontronit								

1.1.3. Killerin özellikleri

Killerin başlıca dört özelliği bulunmaktadır. Bunlar; kohezyon, plastisite, rötre ve renktir.

Kohezyon özelliği kil malzemesinin kuruduktan sonra verilmiş son şekli koruma potansiyelidir. Kilin kohezyon özelliğine sahip olabilmesi için mutlaka su ile etkileşime girmelidir. Çünkü kil diğer sıvılarla kohezyon kazanamaz. Şekil olarak örneğin kum kil gibi şekil alamaz. Su ile temasa geçtikten sonra verilen şekli alması için kurumaya bırakıldığında çok küçük bir darbe ile dağılabilmektedir. Bunun sebebi de kumun kohezyon özelliğine sahip olmamasıdır [1,7].

Plastisite özelliği bütün killerde farklı potansiyelde bulunmaktadır. Bu özellik sayesinde kil malzemesine belirli miktarda su katıldığında kilin şekil alma özelliği ve işlenebilirliği kolay olur. Ancak kumun kil gibi su ile karıştırıldığında plastisite özelliği kazanma durumu yoktur. Kohezyon özelliğinde de olduğu gibi kil malzemesi su dışında diğer hiçbir sıvıyla plastisite özelliğini kazanamaz [1,7].

Rötre özelliğinde kile su katıp şekil verildikten sonra kurumaya bırakıldığında aldığı şeklin boyutlarında küçülme olmaktadır. Yani su katılan kil malzemesinde hacimce küçülme gerçekleşmektedir. Ayrıca kilin rötre özelliği kuruduğu zaman da devam etmektedir ve rötre kurduğunda plastisite özelliğine bağlı olarak gerçekleşir [1,7].

Son olarak renk özelliği sayesinde killer kolaylıkla ayırt edilebilir. Killer doğal halde renklenmiş bulunmaktadır. Kilin beyaz haline kaolin denir ve bu doğada saf halde bulunan killere denir. Bunun dışında killer mavimsi, sarı, pembe, kahverengi, yeşil vb. renklerde bulunabilir. Kilin pişmeden önceki rengiyle aynı olması beklenmez. Çünkü yapısında oksit bulunan malzemeler sıcaklık derecelerinde renk değiştirmektedir. Killerin rengi içerisindeki maddeler hakkında bilgi verir [1,7].

Killer, başlıca içerdiği minerallere ve minerallerin birbirleriyle bileşimlerine bağlı olarak farklı renk tonlarında bulunmaktadır. Ayrıca killer çok küçük danelere sahip olmasından dolayı rahat bir şekilde ayırt edilebilirler. Başlıca kil mineralleri iki tabakalı, üç tabakalı ve dört tabakalı olmak üzere üç çeşittir. Kil minerallerin tabakamsı yapısında bir tetrahedron bir de oktahedronun oksijen ile bağlanması

sonucunda iki tabakalı kil mineralleri oluşur. Bunun da en yaygın örnekleri kaolinit ve halloysittir [3].

Kaolinit kil minerallerinde hidrojen bağları çok sıkı olması nedeniyle tabakalar arasında elektriksel çekim kuvveti güçlüdür. Tabakaların yapıları bu sebeple sıkı bağlanmış vaziyettedir. Bu zemin türünün cıvık olmasının sebebi de tabakalar arasına suyun girmemesidir. Bu durum kaolinit mineralini stabil yapmaktadır. Mühendislik özellikleri açısından sorunlu zeminler olarak bilinmektedir. Halloysit grubu ise su alma özelliklerinden kaolinit kil minerallerinden ayrılır. Bu özelliği şişen bir mineral çeşidi yapmaktadır [1].

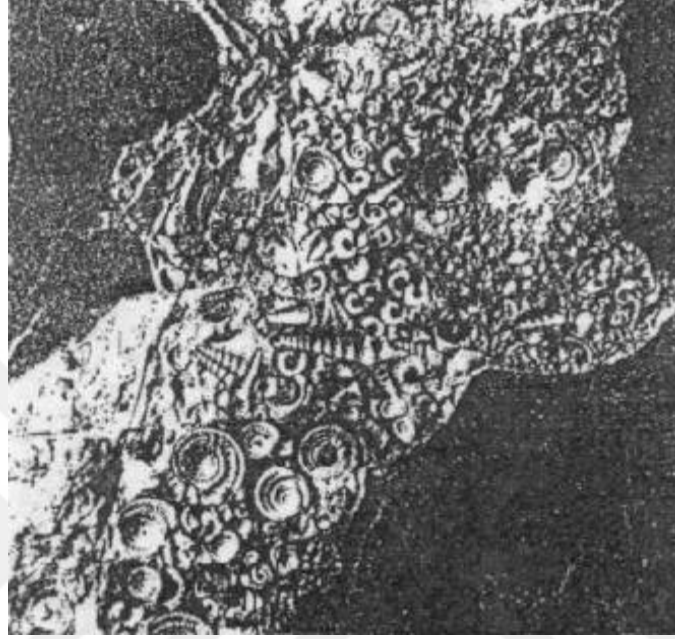
Üç tabakalı yapıya sahip killerin yapısında iki tetrahedron ve bir oktahedron tabakaları bulunmaktadır ve oktahedron tabakası iki tetrahedron tabakası arasına birleşmesiyle oluşmaktadır. Üç tabakalı yapıya sahip killere örnek olarak montmorillonit, illit ve vermikulit kil minerallerini söyleyebiliriz. Bu kil grupları su aldıklarında şişme özelliğine sahiptirler. Tabakamsı yapılar arasındaki elektriksel bağ aralarına giren katyonlardan sağlanmaktadır. Üç tabakalı kil gruplarında montmorillonit, diğer kil minerallerine göre su alınca şişme potansiyeli en yüksek olan mineraldir. Doygun haldeyken kurduğunda da en kırılğan mineral olduğu söylenebilir. Hem karmaşık yapıya sahip olması açısından hem de dane çapının daha küçük olması açısından illit diğer iki mineralden ayrılmaktadır [3].

Dört tabakalı kil mineralleri tet/okt/tet/okt olacak şekilde tetrahedron ve oktahedron üst üste sıralanması ile oluşmaktadır. Tetrahedronlara ait tabakalarının alt kısmında oksijenle, oktahedronlara ait tabakaların üst kısmında ise hidrojen ile bağlıdır. Klorit dört tabakalı kil minerallerine örnek olarak gösterilmektedir. Bu mineraller su alıp şişmediklerinden iç kısımları genişlemez [5].

1.2. Kireç

Kireçtaşı kimyasında yüksek oranda kalsiyum karbonat bulunduran doğada farklı bölgelerde bulunan bir malzemedir. Aynı zamanda kimyasal yapısında kalsiyum karbonat (CaCO_3) ve magnezyum karbonat (MgCO_3) bileşikleri bulunmaktadır. Kireç ise kireç taşının kalsine edilmesi sonucunda elde edilmektedir. Ayrıca kireç

taşının çeşitli derecelerde (850-1450°C) fırınlanması ile elde edilir. Kireç aynı zamanda kalsiyum içeriğine sahip inorganik bir maddedir. Yapısında ilaveten değişik oranlarda kükürt, demir, alüminyum, silisyum gibi elementler de bulunmaktadır. Şekil 1.4' te kireçtaşının oluşumu gösterilmektedir [8].



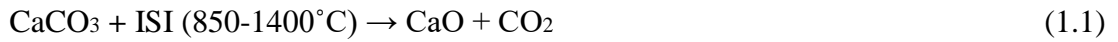
Şekil 1.4. Kireçtaşının oluşumu [5]

Kireç bilinen en eski bağlayıcı malzemesidir. Kireç aynı zamanda suyla karıştırıldığında tipine göre havada ve suda sertleşme özelliği gösteren inorganik bağlayıcı bir malzemedir. Doğada kireçtaşı veya kalker olarak bulunan kayaların saflık derecesi ve boyutları, kullanılan yakıt çeşidi ve fırının çeşidi kirecin üretiminde en etkili faktörlerdir. Özellikle stabilizasyon yöntemlerinde önemli role sahip olmasıyla beraber arazide uygulanabilir bir malzemedir. Fakat olumsuz dış faktörlerden dolayı laboratuvaradaki kadar arazide yararı görülmemektedir [1].

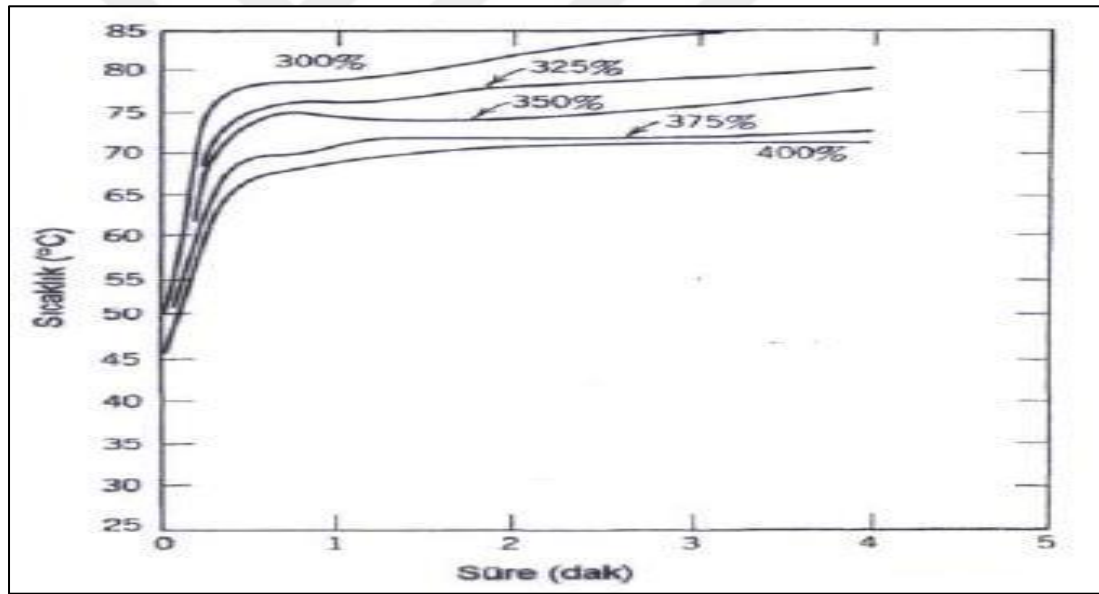
1.2.1. Kirecin çeşitleri

Kireçtaşının fırında pişirilmesine kalsinasyon denir. Kirecin elde edişi ise kireçtaşı veya kalkerin fırınlarda yüksek sıcaklıklarda yakılmasıyla yani kalsinasyon olayıyla gerçekleşir. Bu olay sonra elde edilen kireç sönmemiş kireçtir. Sönmemiş kirecin de su ile etkileşimi sonucunda sönmüş kireç meydana gelir. Bu işlemler pişirilme söndürülme işlemleri olarak geçer.

Kirecin kimyasal işleme olmuş ilk hali kalkerdir. Ufaltılmış doğal kireçtaşının özel fırınlarda ve yaklaşık 1000°C’ de yukardaki tepkime sonucunda sönmemiş kireç elde edilir. Tepkime sonucunda oluşan kalsiyum oksite (CaO) sönmemiş kireç denir. Başka dolomit taşlarında bulunan MgCO₃ ile de kireç oluşabilir. CaCO₃ ve MgCO₃ birlikte 1000 dereceleri bulan ısıya girerek pişirildiğinde kireç oluşur. CaO ve MgO ile dolomit kireç oluşmaktadır. Sönmemiş kireç formülü Denklem 1.1’ de gösterilmiştir [2].



Eğer pişirme işleminde sıcaklık 1000°C’ yi görmezse istenilen kireç elde edilmeyebilir. Sönmemiş kireç, birçok alanda kullanılmaktadır. Şekil 1.5’de sönmemiş kireçte hidratasyon hızının su miktarıyla değişimi gösterilmiştir [5].



Şekil 1.5. Sönmemiş kireçte hidratasyon hızının su miktarıyla değişimi [5]

Kireçler saf kalsiyum oksit halinde kullanılmazlar. Kalsiyum oksitin su ile işlenerek söndürme işlemi gerçekleştirmesi gerekir. Bu olaya hidratasyon adı verilir. Kalsiyum oksit yani sönmemiş kirecin üzerine su eklenerek bu işlem yapılır. Devamında kireçtaşı çatlayarak dağılır ve sıcaklık artışıyla beraber buharlaşma gerçekleşir. Bütün bu olaylar sonunda ortaya çıkan kirece sönmüş kireç (Ca(OH)₂) denir. Kalsiyum hidroksitin (sönmüş kireç) oluşum formülü Denklem 1.2’ de gösterilmiştir. Reaksiyon için kirecin 1/3’ ü kadar suya ihtiyaç vardır.



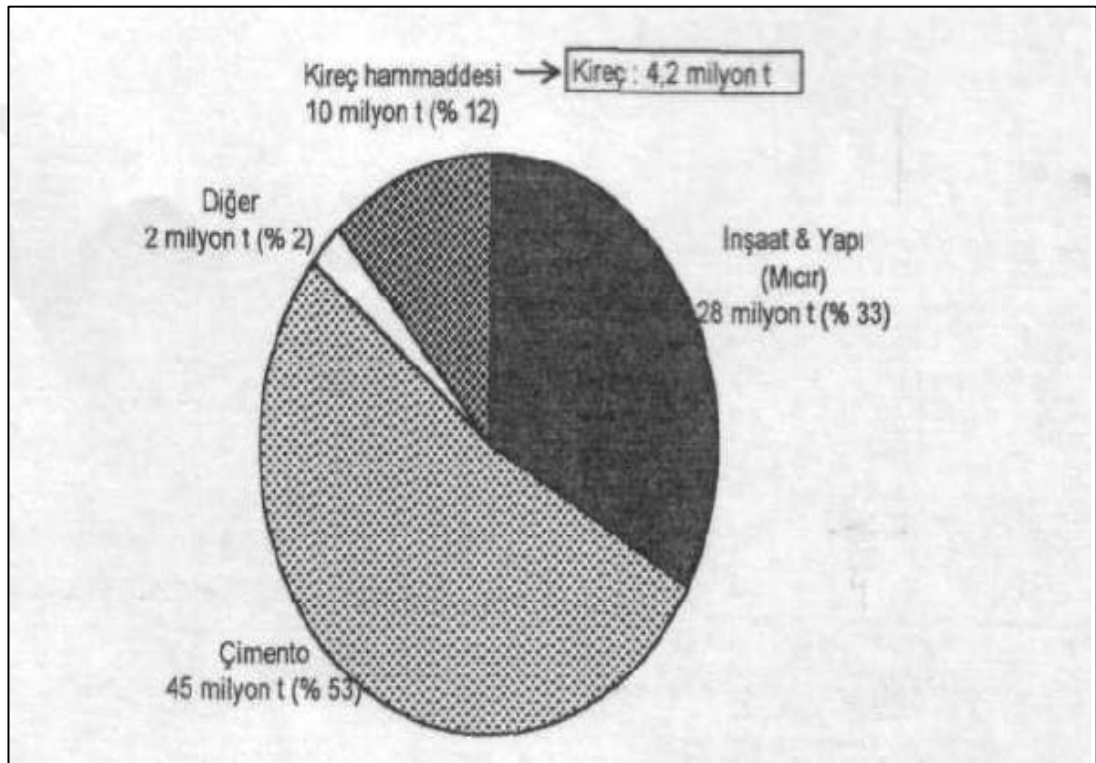
1.2.2. Kireç kullanım alanları

- Malzemenin bağlayıcılığında ve dayanıklılığında,
- Gaz beton ve tuğla üretiminde,
- Yolların zemin iyileştirmelerinde,
- Zeminin mühendislik özelliklerini değiştirmede,
- Tarıma elverişli zeminlerin kazanımında,
- Su ortamlarının ve çeşitli kimyasal içeren yerlerin geri kazanımında,
- Demir, çelik, alüminyum ve kromun üretiminde,
- Çöplük, bataklık ve göllerin temizlenmesinde,
- Nikel ve bakırın safsızlaştırılmasında,
- Cam ve kağıt endüstrisinde ,
- Toprakların pH dengeleyicisinde,
- Atık suların arıtılmasında ve çevredeki zehirli gazların filtrelenmesinde vb. birçok alanda kullanılmaktadır.

Kirecin kullanımı hem dünyada hem de Türkiye’de özellikle inşaat sektöründe yaygın olarak görülmektedir. Kirecin inşaat sektöründeki kullanımı dünyada %30-40 civarındayken ülkemizde bu oranda %60’ı bulmaktadır. Kireçtaşı sektörde agrega veya dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır. Karayollarında veya üst yapılarda zeminlerin stabilize edilmesi, yolların güvenliği ve yapım teknikleri kadar önemlidir. Ulaşım yapılarının zeminlerini iklim ve çevre gibi faktörler etkilememelidir. Ayrıca zeminin emniyetinden üst düzeyde faydalanmak isteniliyorsa ilave gerilmelerden ve zeminin mühendislik özelliklerini değiştirecek zararlı faktörlere engel olmak gerekir. Bu aynı zamanda ulaşım yapılarının zeminlerinden, ekonomik açıdan da istenilen elde edilebilir [5].

Ulaşım ve diğer inşaat yapılarında elverişli olmayan zeminler için bilimsel birçok çözüm önerisi sunulması çok önemli bir gelişmedir. Zemin uygun olmadığı takdirde çeşitli yöntemler uygulanmaktadır. Zeminin özellikleri, araştırmalar sonunda riskleri ve problemleri belirlenip çözümler öneriliyor [5].

Bu önerilerden birincisi mühendislik özellikleri elverişsiz zemini kaldırıp yerine yeni zeminden doldurmaktır. Bu yöntem yeni bir malzeme ocağı bulmak probleminden dolayı hem ekonomik hem uygulanabilirlik açısından uygulanması uygun olmaz. İkinci öneri ise zeminin olumsuz yönünü kabul etmektir. Bu yöntem de uzun vadeli bir yapı durumunda onarımı ve bakımı ekonomik olmamaktadır. Üçüncü ve son olarak da zemin stabilizasyon yöntemi ile iyileştirmektir. Zemin iyileştirme yönteminin en uygun çözüm olduğu belirtilebilir. Katkı malzemeleri içinde en yaygın kullanılanı kireçtir. Şekil 1.6’ da Türkiye’ de kireçtaşı tüketimi gösterilmektedir [5].



Şekil 1.6. Türkiye’de kireçtaşının tüketimi

1.2.3. Kirecin kullanımının avantajları

Kireç kullanımının farklı alanlarda avantajları aşağıda gösterilmektedir [5]:

- Birçok kimyasal prosesin (nötralizasyon, absorpsiyon, kostikleştirme gibi) ana girdisi olması,
- Kimyasallarla çabuk reaksiyona girerek istenmeyen maddeleri bünyeden uzaklaştırması,
- Pahalı kimyasalların geri kazanılmasındaki rolü,

- Organik canlılar için besi maddesi olması,
- Ucuzluğu ve kolay bulunması gibi nedenler, bu malzemenin yaygın biçimde kullanılmasında önemli rol oynamıştır.

1.3. Çimento

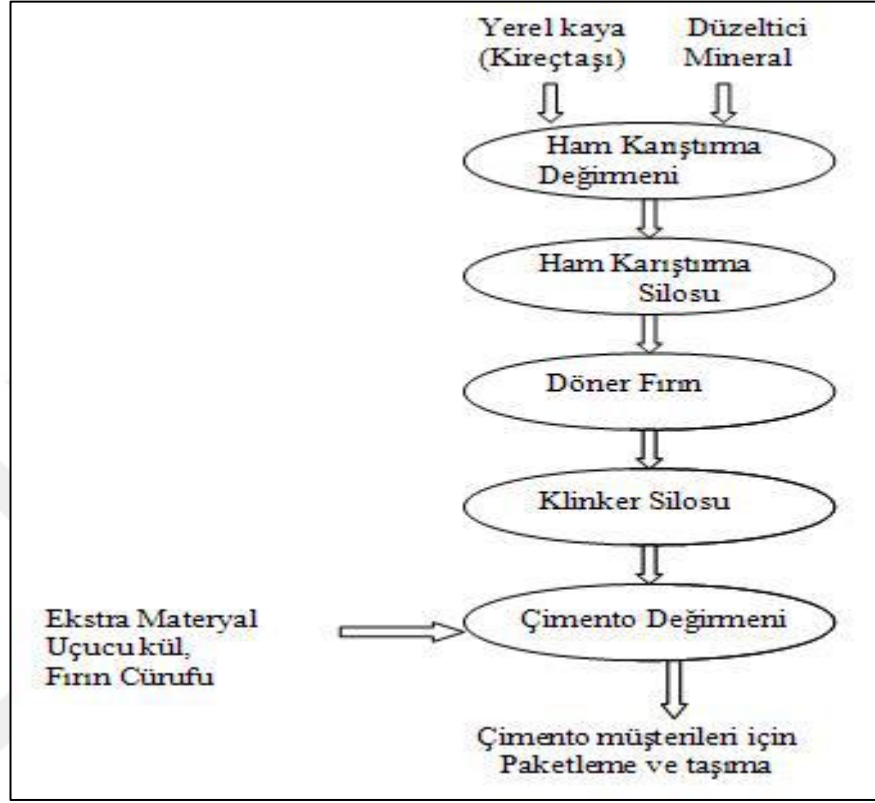
Kalkerli kil, demir ve kumun öğütülerek toz haline getirildikten sonra 1400 °C' den yüksek sıcaklıklarda pişirilerek klinker oluşmaktadır. Klinkere çok az miktarda alçı eklenerek toz haline getirilmesiyle Portland Çimentosu elde edilmektedir. Çimento; kum, briket, tuğla gibi ana maddesi kalkerli kil olan malzemeleri yapıştırmada kullanılır. Aynı zamanda çimento yapıştırıcı özelliğini gösterebilmesi için suyla reaksiyona girmelidir. Çimento su ile etkileşiminde bağlayıcı özelliğini gösterir. Birçok amaç için kullanılan malzemedir. Bu nedenle üretimi için birçok fabrika faaliyettedir [9].

Zemin stabilizasyonu için 100 yıldan bu yana çimento kullanımı fikri vardır. Yıllardır bu amaçla kullanılmakta olan çimento içerisinde en yaygın olarak Portland çimentosu kullanılmaktadır. Portland çimentosunun kimyasal içeriği Tablo 1.2' de gösterilmektedir.

Tablo 1.2. Portland çimentosunun kimyasal bileşenleri [2]

Oksit	Ağırlık %
CaO	61-67
SiO ₂	17-24
Al ₂ O ₃	3-8
Fe ₂ O ₃	1-6
MgO	0.1-4
Na ₂ O+K ₂ O	0.5-1.5
SO ₃	1-3

Çimentonun toz halini kullanılarak düşük sıcaklıkta içerisine alçı ve anhidrit eklenerek telde edilen malzemeye Portland çimentosu denir. Portland çimentosu üretiminin şematik görünümü Şekil 1.7' de gösterilmektedir.



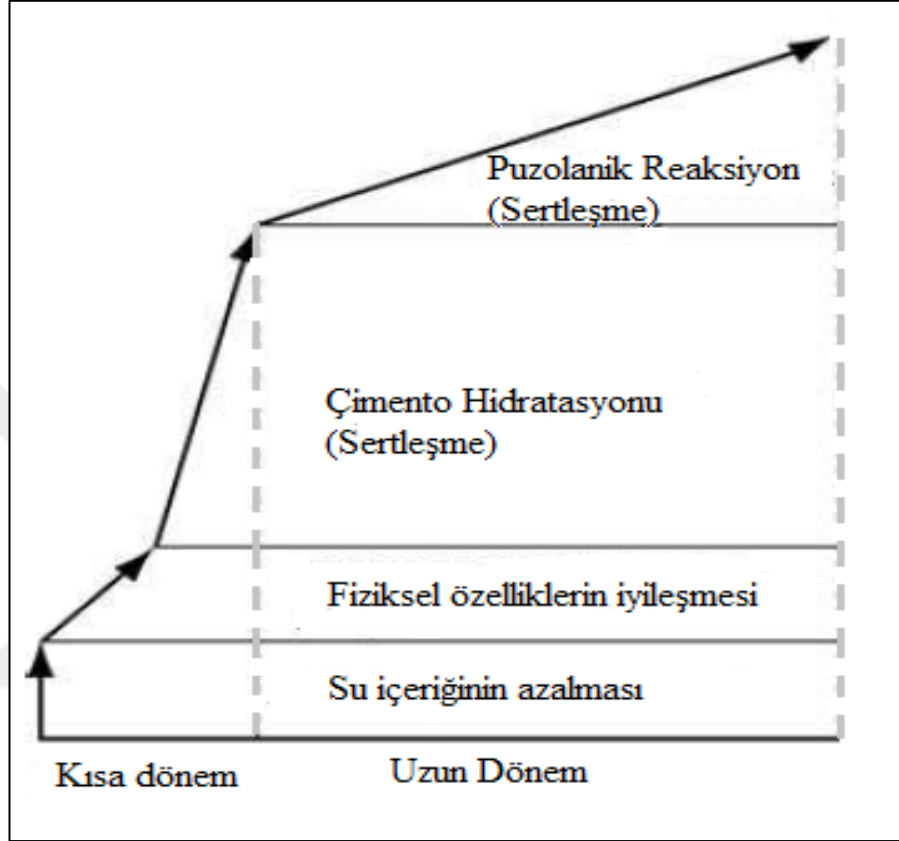
Şekil 1.7. Portland çimentosu üretiminin şematik görünümü [2]

1.3.1. Çimento stabilizasyonu ve mekanizması

Zemin stabilizasyonu çalışmalarında Portland çimentosu, yüksek mukavemet değerleri, kolay elde edilmesi ve ucuz olması nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Çimentodaki su oranı ve zeminin cinsi çimento kullanımında dikkat edilmesi gereken faktörlerdir. Su/çimento oranı zeminin mukavemetini ve plastisitesini etkiler [2].

Çimento stabilizasyonunda zeminin özellikleri açısından birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Bununla beraber çimento stabilizasyonunun mekanizması üzerine de ihtiyacından fazlasıyla araştırmalar yapılmıştır. Çimento stabilizasyonun mekanizması genel olarak Schaefer (1997) tarafından çıkarılmıştır. Bu mekanizma dört farklı aşamadan oluşmaktadır. Çimento stabilizasyonu mekanizması

bağlayıcıların hidratasyonu ile başlar. Ardından iyon değişimi olayının gerçekleşmesiyle çimento hidratasyon ürünleri ile puzolanik reaksiyon sonucu ürünleri oluşmaktadır. Çimento stabilizasyon mekanizması Şekil 1.8'de gösterilmektedir [10].



Şekil 1.8. Çimento stabilizasyonu mekanizması [10]

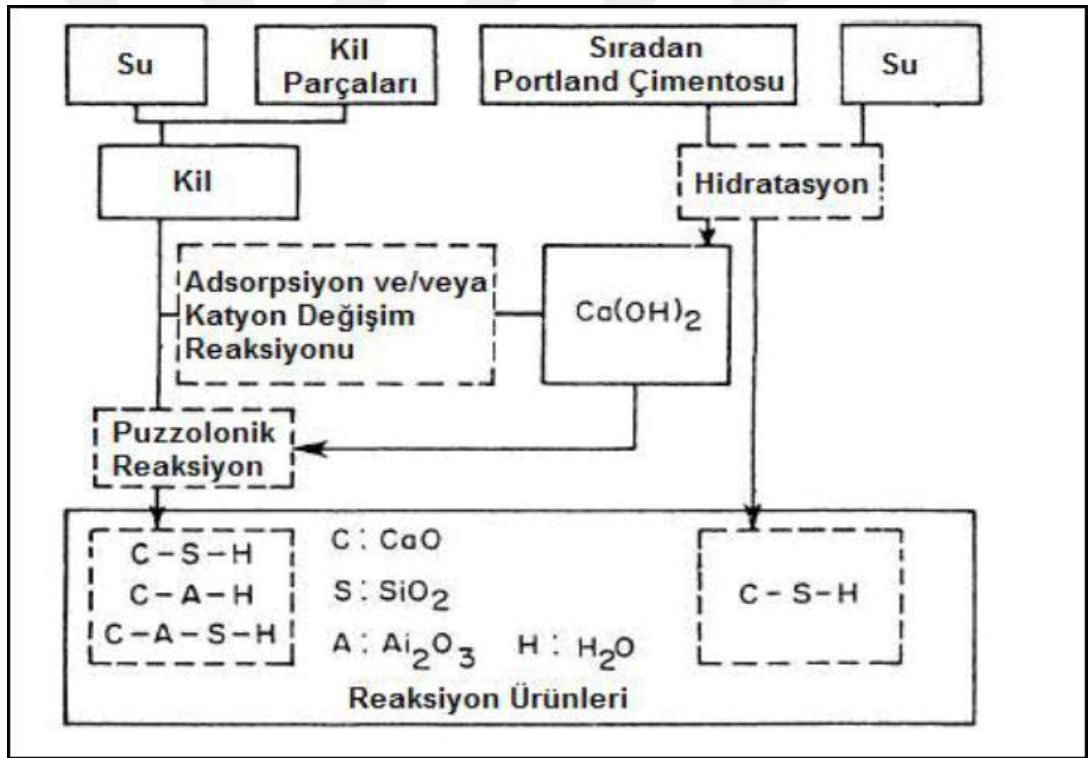
Çimento, literatür kısmında da belirttiğimiz gibi bilinen en etkili ve en eski katkı malzemelerden biridir. Katkı malzemesi olarak kullanılmasının asıl amaçlarında bir tanesi su geçirgenliğini azaltmaktır. Bu sebeple su sızıntısını önlemek için en çok tercih edilen katkı malzemesi çimentodur [2].

Kilin çimento ile iyileştirmesinde farklı değerlerde mukavemetler elde edilmektedir. Ayrıca katkı oranına dikkat edilecek şekilde bazı katkıları farklı zemin özellikleri üzerinde etki etmektedir. Bunları şu şekilde sıralayabiliriz [3].

- Su tutucu malzemeler.
- Priz önleyici malzemeler.

- Ayrışma önleyici malzemeler.
- Akışkanlaştırıcı malzemeler.
- Büzülme önleyici şişen malzemeler.

Çimento ile iyileştirme yöntemi daha çok ulaşım yapılarında kullanılır. Bunlar içinde de hava meydanlarının pistleri uzun süre kullanıma sahip olmaları nedeniyle çok uygulanan bir yerdir. Çimento yapısında çok miktarda kalsiyum ve silisyum bulundurduğu için zeminin stabilizasyonunda etkili bir katkı malzemesidir ve bu nedenle tercih edilmektedir. Çimento iyileştirme yapılacak zemin ile etkileşime girdiğinde çimento hidratlaşması gerçekleşir. Katyonların değişimiyle de puzolanik reaksiyon olayı meydana gelir. Çimentonun hidratlaşması ile başlayan bu reaksiyonun mekanizması Şekil 1.9’ da gösterilmektedir [3].

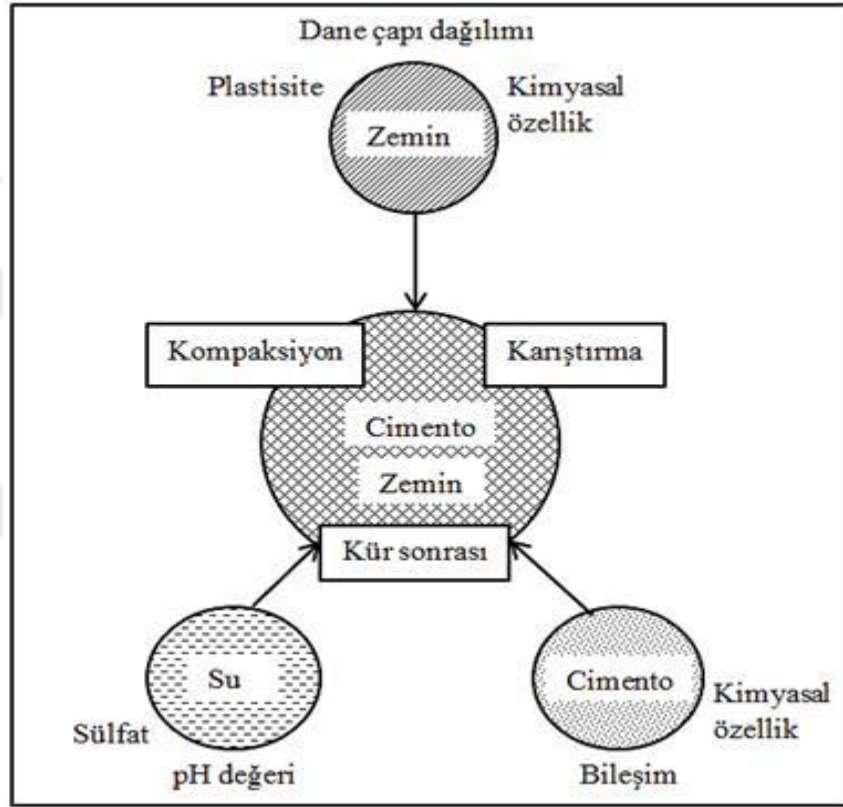


Şekil 1.9. Çimentonun zemin ile etkileşimi [2]

Çimento stabilizasyonu, kurutulup toz haline getirilen zemine belli oranda çimento ve su eklendikten sonra karıştırılmasıyla olay tamamlanır. Stabilizasyonda zeminin mukavemeti, dayanımı ve plastisite artarken likit limit ve plastik limit azalır. Kür süresi de mukavemet açısından önemli bir etken olmaktadır.

1.3.2. Çimento stabilizasyonu etkileyen faktörler

Çimento stabilizasyonunda, iyileştirmede kullanılan çimento oranına, zemin-çimento karışım tekniğine, kür sürelerine ve zemini sıkıştırma yöntemine bağlı olarak stabilize edilen zeminlerin mukavemeti, plasitesi, sıkışılabilirliği, işlenebilirliği, dayanımı, hacimdeki değişimi, su geçirmezliliği ve deformasyonu etkilenmektedir. Stabilizasyonda etkili olan faktörler Şekil 1.10' da gösterilmektedir [10].



Şekil 1.10. Stabilizasyonu etkileyen faktörler [10]

Yukarıdaki şekilde de gösterildiği gibi çimento içerisindeki bileşimler mukavemeti etkilemektedir. Çimento oranı için literatüre bakıldığında stabilizasyon için etkili oranın genellikle %5'den fazla olduğu görülmektedir. Bu oranda başlayıp artan çimento oranı dayanımı da arttırmaktadır.

Çimento ile iyileştirme yapılan zeminlerde kür süresinin etkisi tek eksenli basınç deneyinde görülmektedir. Ayrıca minerallerin dane büyüklüğü, su miktarı, plastik limit, likit limit ve zeminin tipi de stabilizasyonda zeminin mühendislik özelliklerini etkileyen faktörlerdir.

2. KİMYASAL STABİLİZASYON YÖNTEMİ

2.1. Zemin Stabilizasyonuna Genel Bakış

Günümüzde nüfusun artmasıyla birlikte çok katlı binaların yaygın hale geldiğini görmekteyiz. Bu durum, yapıları taşıma gücü yüksek zeminlere yapmayı zorunlu hale getirmektedir. Ancak taşıma gücü yüksek zeminlerin her zaman bulunmamasına bağlı olarak taşıma gücü düşük olan zeminlere de yapıların yapılması zorunlu olmuştur. Bu yüzden taşıma gücü düşük olan zeminlerin bazı yöntemlerle mühendislik özelliklerinin iyileştirilmesi gerekmektedir. Zeminlerin mühendislik özelliklerinin belirli yöntemlerle iyileştirilip yapıları güvenli bir şekilde taşıyacak hale getirmeye zeminlerin stabilizasyonu denir.

Ülkemizde zeminlerin mühendislik özelliklerini iyileştirmek için bir çok stabilizasyon metodu uygulanmaktadır. Ülkemizde kireç ve çimentonun hem fazla hem de ekonomik olmasından dolayı kireç ve çimento başta karayolları olmak üzere zeminlerin stabilizasyonunda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Mühendislik özellikleri zayıf olan zeminlerin farklı stabilizasyon yöntemleri ile mühendislik özelliklerinin iyileştirilmesi mümkündür. Zemin stabilizasyonunda temel hedef zeminlerin boşluk oranının, çeşitli karışımlar kullanılarak azaltılmasıdır. Zemin stabilizasyon yöntemlerinin başlıca hedeflerini şu şekilde sıralayabiliriz [11].

- Taşıma gücü düşük zeminlerin taşıma gücünü arttırmak,
- Zeminlerin deformasyonunu azaltmak,
- Konsolidasyonu hızlandırmak,
- Dolgu ve şevlerin stabilitesini arttırmak,
- Kayma mukavemetini arttırmak,
- Doğal afetler gibi dış etkenlere karşı önlem almak,
- Zeminlerin permabilitesini azaltmak,
- Zeminin olası sıvılaşma riskini azaltmak,

- İklim ve çevre koşullarının olumsuz etkisini azaltmak,
- Boşluk suyu basıncını azaltmak,
- Dayanımı arttırmak,
- Boşluk oranlarını önemli ölçüde azaltmak.

Stabilizasyon son yüzyılda uygulanmaya başlamıştır. Özellikle son yıllarda taşıma gücü düşük zeminlere de inşaat yapma ihtiyacının artmasına bağlı olarak zemin stabilizasyonu çokça tercih edilmeye başlamıştır [11].

Zeminin cinsi, zemin tabakasının kalınlığı gibi faktörlere bağlı olarak maliyet ve uygulanabilirlik zemine uygulanmak istenen stabilizasyon yöntemini belirlemektedir.

Uygulama bakımından zemin iyileştirme yöntemleri başlıca üç ana grupta toplanabilir.

1. Geçici iyileştirme yöntemleri (inşaat sırasında)
2. Malzeme katkısı olmadan uygulana kalıcı iyileştirme yöntemleri
3. Malzeme katkısıyla birlikte uygulana kalıcı iyileştirme yöntemleri

2.2. Zemin Stabilizasyon Yöntemleri

Ülkemizde son zamanlarda çeşitli sebeplerden dolayı kırsal alanlardan kentsel alanlara göç oldukça artmaktadır. Bu durum yüksek katlı yapıların yapılmasını aynı zamanda bu yapıların gerektiğinde problemlili zeminlere de yapılmasını beraberinde getirmiştir. Yapıdan gelen yüklerin zemin tarafından güvenli bir şekilde taşınmaması durumunda elverişsiz zemine yine de yapı yapmak, inşaat sahasını değiştirmek, problemlili zemini kaldırıp yerine taşıma gücü yüksek zemin koymak ya da katkı maddeleri ile zeminlerin mühendislik özelliklerini iyileştirmektir. İlk üç tercih hem ekonomik olmaması hem de uygulanabilirliğinin zor olması bakımından tercih edilmemektedir. Son zamanlarda katkı maddelerinin belli oranlarda zeminlerle karıştırılarak mühendislik özelliklerinin iyileştirilmesi daha çok tercih edilmektedir [12].

Zemin stabilizasyonu, mekanik ve kimyasal olmak üzere ikiye ayrılır. Mekanik stabilizasyon, zemine herhangi bir katkı maddesi (çimento, kireç gibi) eklemekten ve

zemin kitesinde herhangi bir kimyasal reaksiyona meydan vermeden sıkıştırmak (kompaksiyon), başka zeminlerle karıştırılarak uygun bir dane dağılımı elde etmek için uygulanan bir stabilizasyon yöntemidir. Kimyasal stabilizasyon ise zeminin mühendislik özelliklerini iyileştirmek için zemine herhangi bir katkı maddesi ekleyerek kimyasal reaksiyon sonucunda zeminin amaca uygun hale getirilmesidir [13].

Zeminlerin sınıfına ve diğer birçok özelliklerine göre farklı katkı maddeleri ile mühendislik özellikleri iyileştirilebilir. Stabilizasyon yöntemi seçilirken zeminlerin dane boyutuna ve kıvam limitlerine bakılır. Zemin cinsine göre çeşitli amaçlar için uygulanan zemin iyileştirme yöntemleri Tablo 2.1' de gösterilmiştir. [13].

Tablo 2.1. Stabilizasyon yöntemleri [13]

Amaç	Zemin cinsi	Stabilizasyon metodu
Yük taşıma ve deformasyon direnci arttırmak	İnce granüller	Asfalt, çimento, mekanik karıştırma, kompaksiyon
	Kaba granüller	Asfalt, çimento, mekanik karıştırma, kompaksiyon
	Düşük PI killer	Kompaksiyon, çimento, kireç
	Yüksek PI killer	Kireç
Don duyarlılığını azaltmak	İnce granüller	Çimento, asfalt, uçucu kül
	Düşük PI killer	Çimento, kireç
Su geçirimsizliği	Düşük PI killer	Çimento, asfalt, kireç
Kabarma büzülme kontrolü	Düşük PI killer	Çimento, kompaksiyon kireç
	Yüksek PI killer	Kireç
Esnekliği azaltmak	Yüksek PI killer	Kireç
	Elastik kil veya siltler	Çimento

Tablo 2.2’ de gösterildiği gibi zeminin dane çapı dağılımı ile stabilizasyon yöntemi arasında önemli bir ilişki vardır. Kum zeminler için hedeflenen amaçlar kil ve silt gibi ince daneli zeminlerde aynı olamayabilir.

Tablo 2.2. Tavsiye edilen stabilizasyon metotları [13]

Zemin içeriği	Tavsiye edilen stabilizasyon	Amaç
Kum	Mekanik stabilizasyon Çimento Asfalt	-İnce plastik olmayan malzeme karıştırarak stabiliteyi arttırmak -mukavemeti arttırmak -kohezyonu sağlamak
Silt	Mekanik ve kimyasal stabilizasyon	-Zemin özelliklerini iyileştirmek
Killer; -aolinler -kaolin -ilit -montmorillenit	Kireç veya kireç- uçucu kül karışımı Kum ile mekanik stabilizasyon Çimento Kireç Çimento Kireç	-mukavemeti arttırmak -stabiliteyi arttırmak -kısa süreli mukavemeti arttırmak -işlenebilirlik ve uzun süreli mukavemeti arttırmak -kısa süreli mukavemet artışı -işlenebilirlik ve uzun süreli mukavemeti arttırmak -işlenebilirlik ve uzun süreli mukavemeti arttırmak

Yüzeysel zemin iyileştirmede kullanılan yöntemler şu şekilde sıralanabilir [14].

Yüzey Stabilizasyonu

1. Katkısız Zemin İyileştirme

- Kompaksiyon
- Mekanik iyileştirme
- Drenaj

2. Katkılı Zemin İyileştirme

- Kireç
- Çimento
- Bitüm
- Uçucu kül, jips vb.

Zemin iyileştirme yönteminin uygun olup olmadığı önceden detaylı bir şekilde araştırılmalıdır. Zemin iyileştirme yönteminin zeminin cinsine ve özelliklerine bağlı olduğu unutulmamalıdır [12].

2.3. Katkı Malzemesi ile Zemin Stabilizasyonu

Mekanik stabilizasyonun uygulanamadığı veya yetersiz kaldığı durumlarda zemine çeşitli katkı maddeleri eklenerek zeminin mühendislik özelliklerinin iyileştirilmesine kimyasal stabilizasyon (katkı maddeleri ile stabilizasyon) denir [15].

Zeminlerin bünyesinde farklı kil mineralleri olduğu için uygun katkı maddesini seçmek oldukça önemlidir. Bu sebepten dolayı dikkate alınması lazım gelen faktörleri şu şekilde sıralayabiliriz [14].

- Kullanılan katkı malzemesi zemine kolayca nüfuz etmelidir (kilde yüksek nem içeriği ve yüksek plastiklik bunu engeller).
- Zemin iyileştirmesi için seçilen katkı maddesi zeminle güzel bir şekilde karıştırılmalıdır.
- Tüm zemin iyileştirme uygulamaları ekonomik olmalıdır.
- İyileştirme için seçilen katkı maddesi maliyet açısından ekonomik olmalıdır.

- İyileştirme için kullanılacak katkı maddesi dış faktörlerden mümkün olduğu kadar en az miktarda etkilenmelidir.
- Kür zamanı dikkate alınmalıdır.
- Katkı maddesi zemine mümkün olduğu kadar homojen bir şekilde ilave edilmelidir
- İyileştirilecek kilin yapısındaki mineral yüzdelere bakılmalıdır.

Ayrıca zemin iyileştirmede kullanılacak katkı malzemesi seçilirken dikkat edilmesi gereken hususlar şunlardır [16].

- Zemin iyileştirmenin ne amaçla yapıldığı,
- Zeminin hangi mühendislik özelliğinin iyileştireceği,
- Özelliklerinin iyileştirilecek olan zeminin cinsi,
- Maliyet ve uygulanabilirlik,
- Zeminden beklenen mukavemet ve deformasyon,
- Seçilecek maddenin uygulanabilirliği.

2.3.1. Kireç stabilizasyonu

Kireç çok eski zamanlardan beri kullanılmıştır. Romalılar ve Çinliler kireci yol yapımında kullanmışlardır [15].

Kirecin killi zeminlere katılmasıyla birlikte kimyasal tepkime meydana gelir. Bu kimyasal tepkimede kireçteki kalsiyum iyonları ile kildeki katyonlar yer değiştirerek katyon değişimi meydana gelir. Bazı reaksiyonlar kısa zamanda başlar. Puzzolonik reaksiyon gibi olanları ise uygun sıcaklık ve su muhtevasında uzun zamanda meydana gelir. Katyon değişimi sonucunda çökelmeyle birlikte kil tanecikleri birbirine doğru yönelir. Kil taneciklerinin kireç taneciklerine yapışmasıyla kilin yapısı değişir. Kilin kireç ile birleşmesi sonucunda killi zemin su emme özelliğini kaybettiği için sertleşerek plastik kıvamdan katı kıvama geçer. Kimyasal reaksiyonlar ortamın nem ve sıcaklığı gibi çevre şartlarına göre zamanla devam eder. Bu yüzden zemine eklenen kireç zeminin mukavemet ve elastisite modülü değerini arttırarak zeminin taşıma gücünü arttırır [13,17].

Puzzolonik reaksiyonlar killi zeminlerin yapısında değişiklikler meydana getirir. Bu reaksiyonlar sonucunda killi zeminlerin şu özellikleri değişir.

- Likit limit azalır
- Plastik limit artar
- Dayanıklılık artar
- Zeminin taşıma gücü artar

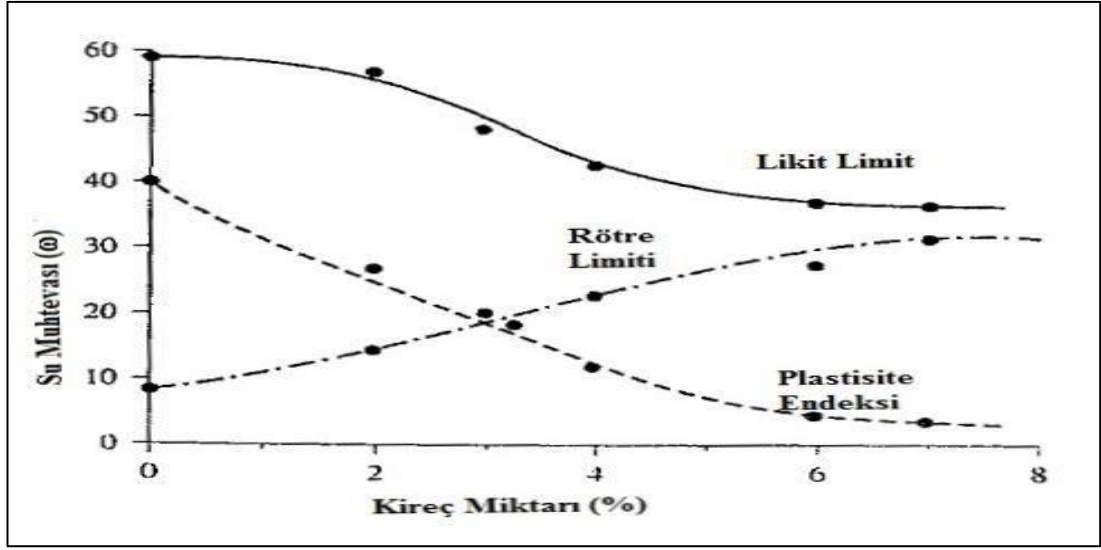
Killi zeminlerin iyileştirilmesinde hidrate kireç (sönmüş kireç, Ca(OH)_2 (yani kalsiyum hidroksit) kullanılmaktadır. Sönmemiş kireç CaO ise yakıcı ve tehlikeli olması nedeniyle çoğunlukla kullanılmamaktadır [14].

Tablo 2.3. Kirecin kimyasal ve fiziksel özellikleri [13]

Özellik(TS EN 459-2)	Sönmemiş kireç	Sönmüş kireç
CO_2 , %	<7	<7
Toplam ($\text{CO}_2 + \text{MgO}$), %	>80	>80
SO_3 , %	<2	<2
MgO , %	<10	<10
$\text{SOI}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{SO}_3$, %	<5	<5
Ağırlıkça elekte kalan, %		0,09mm<7 0,02mm<2

Kara yolları teknik şartnamesine göre zemin iyileştirmesinde kullanılacak sönmüş ve sönmemiş kirecin özellikleri Tablo 2.3'te verilmiştir. Bu şartnameye göre kireç stabilizasyonunda kullanılacak zeminin; CBR değeri >10, serbest basınç mukavemeti (q_u) > 5 kg/cm^2 , plastisite indisi < 10 olmalıdır [13].

Zemin iyileştirmesi yapılacak zeminin bünyesindeki kireç oranının artmasıyla zemin parametrelerindeki değişimler Şekil 2.1'de gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Zemin parametrelerinin kireç ile değişimi [18]

Ayrıca zemin iyileştirmede zeminin cinsine göre kullanılacak kireç yüzdeleri Tablo 2.4'te belirtilmiştir.

Tablo 2.4. Zemin cinsine göre yaklaşık kireç miktarı [13]

Zemin cinsi	Kuru zemin ağırlıkça yüzdesi
İyi derecelenmiş killi çakıl	3
Kumlu kil	5
Kumlar	Tavsiye edilmez
Siltli kil	2-4
Plastik kil	3-8
Yüksek plastisiteli kil	3-10
Organik zeminler	Tavsiye edilmez

2.3.2. Çimento stabilizasyonu

Çimento ile zemin iyileştirme son yıllarda kireç gibi yaygın bir şekilde uygulanmaktadır. Çimento su ile tepkimeye girdiği zaman sertleşir. Çimento özellikle yol yapılarında kireç gibi yaygın olarak kullanılmaktadır [14,18].

Plastisitesi düşük killi zeminler ve granüler zeminler çimento ile zemin iyileştirme için en uygun zeminlerdir. Killi zeminlerin mühendislik özelliklerinin iyileştirilmesi için çimento kullanıldığında zeminin plastisite indisi, mukavemet değeri artar ve likit limiti düşer. Zemine katılması gereken çimento yüzdeleri zemin cinsine göre Tablo 2.5'te gösterilmiştir.

Tablo 2.5. Zemin tiplerine göre optimum çimento oranları [18]

Sınıflandırılması		Hacimsel Oran (%)
Zemin	Birleşik Zemin Sınıflandırılması	
AASHTO		
A-2 ve A-3	GP, SP ve SW	6-10
A-4 ve A-5	CL, ML ve MH	8-12
A-6 ve A-7	CL ve CH	10-14

Çimento ile zemin iyileştirme arazide uygulanması kireçteki gibi uygulanan bir yöntemdir ve kireçteki ile hemen hemen aynı işlem uygulanır. Var olan zemin istenilen derinliğe kadar gevşetilir ve laboratuvarında belirlenen yüzdede zemine çimento karıştırılır. Ayrıca belirlenen optimum su muhtevasının da karışıma eklenmesi gerekir. Zeminin karışımını tam olarak gerçekleştirdikten sonra iş makinalarıyla yerleştirilir ve silindir ile sıkıştırılır [18].

2.4. Önceki Çalışmalar

Dinçer ve Berilgen çalışmalarında, yüksek plastisiteye sahip killi silt zeminlerin iyileştirilmesi neticesinde davranışlarını araştırmıştır. Araştırmacılar, hacimsel olarak %4 ve %6,5 miktarında kireç karıştırarak oluşturdukları zemin numunelerini, 7 ve 28

günlük kür uygulandıktan sonra CBR deneylerine tabi tutmuşlardır. Deney sonuçlarına bakıldığında, CBR değeri %11,63'den %29,75'e kadar yükselmiştir. Ayrıca deformasyon değişimini gözlemlemek amacıyla yapılan konsolidasyon deney sonuçlarına göre, kireç oranı arttıkça konsolidasyon oturmalarının azaldığı, şişme miktarlarında ise önemli derecede azalmaların olduğu görülmüştür [19].

Kavak yaptığı çalışmada, katkısız bentonit ve kaolin killerini kireçle karıştırarak serbest basınç mukavemetlerini araştırmıştır. Deney sonuçlarına göre, kilin serbest basınç mukavemetinde, bentonit kili için 1 ayda 6 kat, kaolin kili için ise 12 kata kadar yükselmeler olduğunu ifade etmiştir [20].

Yıldız ve arkadaşları, yüksek ve düşük plastisiteye sahip iki ayrı kil zemin kullanıp kireçle karıştırarak, iki kil için de mukavemet değerlerindeki değişimleri araştırmıştır. Deney sonuçlarına göre, yüksek plastisiteye sahip Aksaray kilinin serbest basınç mukavemeti 28 gün kür uygulandıktan sonra yaklaşık olarak 15 kat arttığını, düşük plastisiteye sahip Doğanhisar kilinde ise mukavemet değerinin yirmi sekiz gün kür uygulandıktan sonra yaklaşık 3 arttığını ortaya koymuşlardır [21].

Kavak ve arkadaşları, kireç ile zemin iyileştirmesinin gerçek bir yol üzerinde etkisini gözlemlemek için araştırmalar yapmışlardır. Bu çalışma kapsamında, arazinin kireç stabilizasyonuna uygunluğu laboratuvarında zemin mekaniği deneyleri yapılarak ortaya konmuştur. Bu çalışmalar sonucunda, yapılan CBR (Kaliforniya Taşıma Oranı) deneylerinde normalde 6 olan CBR değerinin %2 kireç ile 80'li değerlere ulaştığı ortaya konmuştur [22].

Bozkurt, arazide yüksek su muhtevası içeren bir kilin kireç ile mühendislik özelliklerinin iyileştirilmesi kapsamında yüksek lisans tez çalışması yapmıştır. Bu kapsamda, CH sınıfına ait killi bir zemine %2, %3 ve %4 oranlarında sönmüş kireç ve %3 oranında sönmemiş kireç ekleyerek anlık, 1 günlük, 7 günlük ve 28 günlük kür süresinden sonra serbest basınç mukavemet değerlerini karşılaştırmıştır. Araştırmacı, sönmüş kireç karıştırılarak yapılan serbest basınç deney sonuçlarına göre optimum oranın %3 olduğunu ve 28 günlük kür süresinin ardından %3 katkılı sönmüş kirecin katkısız kile göre yaklaşık olarak serbest basınç mukavemetinde %300 oranında artış olduğunu ortaya koymuştur. Araştırmacı ayrıca, %3 oranında

sönmemiş kireç karıştırılarak yapılan serbest basınç deney sonuçlarına göre 28 günlük kür süresinin ardından sönmemiş kireç katkılı numunenin katkısız kile göre serbest basınç mukavemet değerinde %200 oranında artış olduğunu ortaya koymuştur. Yapılan çalışmaya bakıldığında, sönmüş kirecin sönmemiş kirece göre daha iyi sonuçlar verdiği, %3 oranında kirecin 28 günlük kür süresinin ardından killi zeminlerin serbest basınç mukavemetini ciddi oranlarda arttırdığı görülmektedir. Bu kapsamda belli oranlarda kirecin killi zeminlerin mühendislik özelliklerinin iyileştirilmesinde kullanılabileceği anlaşılmaktadır [23].



3. MATERYAL VE YÖNTEM

Yapılan bu araştırmada, farklı katkı malzemeleri ile laboratuvar ortamında killi zeminin iyileştirilmesi için deneysel çalışmalar yapılmıştır. Bu deneysel çalışmalarda Yalova ilinin zemininde sorunlu olan bir bölgedeki killi araziden getirilen zemin kullanılmıştır.

Bu zeminler özellikle ulaşım veya st yapılarada ciddi sorunlara sebep olmalarından dolayı çalışmada kireç ve imento katkı malzemeleri ile stabilize sonucunda zeminin özelliklerinde herhangi bir düzelme olup olmadığını ve ne oranda başarı sağlandığı araştırılmıştır.

3.1. Kullanılan Materyal

Laboratuvar ortamında yapılan deneysel çalışmalarda öncelikle zemin malzeme olarak killi zemin kullanılmıştır. Katkı malzemeleri ise snm kireç ve fabrikadan getirilen Portland imentosudur.

3.1.1. Zeminin zellikleri

Gerçekleştirilen laboratuvar deneylerinde, çalışmanın amacına yönelik olarak Yalova bölgesinden getirilen zemin kullanılmıştır. Bütün deneysel alışmalar Kocaeli niversitesi'nin mevcut laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada kullanılan zemin öncelikle yakın mevkide bulunan bir bölgenin sorunlu zemini olması nedeniyle ve üzerinde yapılacak st yapının sorunsuz bir şekilde yapılması için zemini kullanılacak bir vaziyete getirilmesi amacıyla tercih edilmiştir.

Deney için bölgeden ihtiyaç doğrultusunda zemin ihtiyacı eksiksiz bir şekilde bölgeden alındığı gibi torbalara konularak laboratuvar ortamına getirilmiştir. Kullanılacak killi zemin öncelikle içerisindeki suyu kurutmak ve bu işlemlerle doğal su muhtevasını belirlemek için 24 saat boyunca fırında bekletilmiştir. 108 C fırında

kurutulan killi zemin malzemesi daha sonra diğer deneylerde kullanılması için 40 numaralı elekten geçecek duruma gelene kadar ufaltılmıştır. Kıırma işleminden sonra deneyler sırasıyla gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan killi zemin ŞEKİL 3.1' de gösterilmiştir. Zemin görünüş itibariyle sarı bir renge sahiptir. Kullanılan zeminin geoteknik özellikleri sonraki bölüm olan deneysel çalışmalar kısmında yapılan deneyler sonrasında tablo halinde verilecektir.

yapılmıştır. Kııvam limitleri ve ph deneyleri ile kullanılacak kireç miktarı belirlenmiştir. Standart kompaksiyon deneyleri ile de optimum su muhtevaları ve maksimum kuru birim hacim ağırlıkları bulunmuştur.



Şekil 3.1. Kullanılan killi zemin

3.1.2. Kireç

Deneysel çalışmalarda sadece sönmüş kireç kullanılmıştır. Sönmüş kireç fabrikadan tahsil edilmiştir. Bu kirecin kimyasal özellikleri Tablo 3.1' de gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Sönmüş kirecin kimyasal özellikleri [5]

Sönmüş Kirecin Kimyasal Analizi	
Ca(OH) ₂	80-86
CaO + MgO (%)	Min. 88
MgO	1-2
Çözünmeyen Madde (%)	Maks. 1
SO ₃	Maks. 1.5
R ₂ O ₃ (Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃)	Maks. 1

Sönmüş kirecin fiziksel özellikleri Tablo 3.2' de gösterilmiştir.

Tablo 3.2. Sönmüş kirecin fiziksel özellikleri [5]

Sönmüş Kireç Fiziksel Analiz	
Kimyasal Adı	Kimyasal hidroksit
Fiziksel Görünüşü	Kuru beyaz toz
Kaynama Sıcaklığı °C	100
Erime Sıcaklığı °C	580
200 µ elek üstü (%)	Maks. 0.5
90 µ elek üstü (%)	Maks. 4
Birim Hacim Kütlesi (kg/dm ³)	Maks. 0.5

3.1.2. Çimento

Deneysel çalışmalarda, Nuh Çimento fabrikasından tahsil edilen CEM 1 42.5 R Portland Çimentosu(PC) kullanılmıştır. Genellikle yüksek dayanım gerektiren yapılarda, soğuk havada dökülen betonlarda, tünel uygulamalarında ve temel beton uygulamalarında kullanılır. Kullanılan çimentonun özgül ağırlığı 3.15 g/cm³'tür. Ayrıca özgül yüzey alanı ise 418 /g olarak belirlenmektedir. Portland çimentosunun kimyasal özelliklerine bakıldığında kızdırma oranı %2.87, çözünmeyen kalıntı ise maksimum %5 olarak verilmiştir. Kimyasal bileşenlerden SO₃ bileşenin oranı %2,81 ve MgO bileşenin oranı ise %2.05 verilmiştir [3].

3.2. Stabilizasyonda Kullanılan Deneyler

Yapılan bu tez çalışmasında ilk olarak Yalova'dan getirilen sarı renge sahip killi zeminin iyileştirmeye başlamadan önce mühendislik özellikleri belirlenmesi için birkaç sınıflandırma deneyleri yapılmıştır. Daha sonra zeminin ve katkı malzemeleri olan kireç ve çimento ilaveli zemin numunelerinin optimum su muhtevaları belirlenmiştir.

Killi zeminin optimum su muhtevası dışında başlangıçta getirilen numunelerin doğru su muhtevaları da belirlenmiştir. Sınıflandırma deneyleri tamamlandıktan sonra

bulunan su muhtevalarıyla katkısız, kireç katkılı ve çimento katkılı numuneler hazırlanarak mukavemet değerlerinde değişimi görmek için serbest basma gerçekleştirilmiştir. Laboratuvar ortamında ve arazide uygulanan deneyler aşağıda belirtilmiştir [1].

- Doğal su muhtevası deneyi
- Elek analizi
- Likit limit, Plastik limit deneyleri
- Hidrometre
- Piknometre
- pH deneyi
- Kompaksiyon deneyi
- Tek eksenli basınç deneyi
- CBR deneyi

3.2.1. Kıvam limitleri (LL,PL deneyleri)

Deneyler belirli standartlarına göre belirlenmiştir. İlk olarak likit limit deneyi gerçekleştirilir. Likit limit, ince daneli zeminlerde plastik durumda olan zeminin sıvı kıvamına geçtiği andaki su muhtevasıdır. Likit limit deneyi aleti Şekil 3.2' de gösterilmiştir.



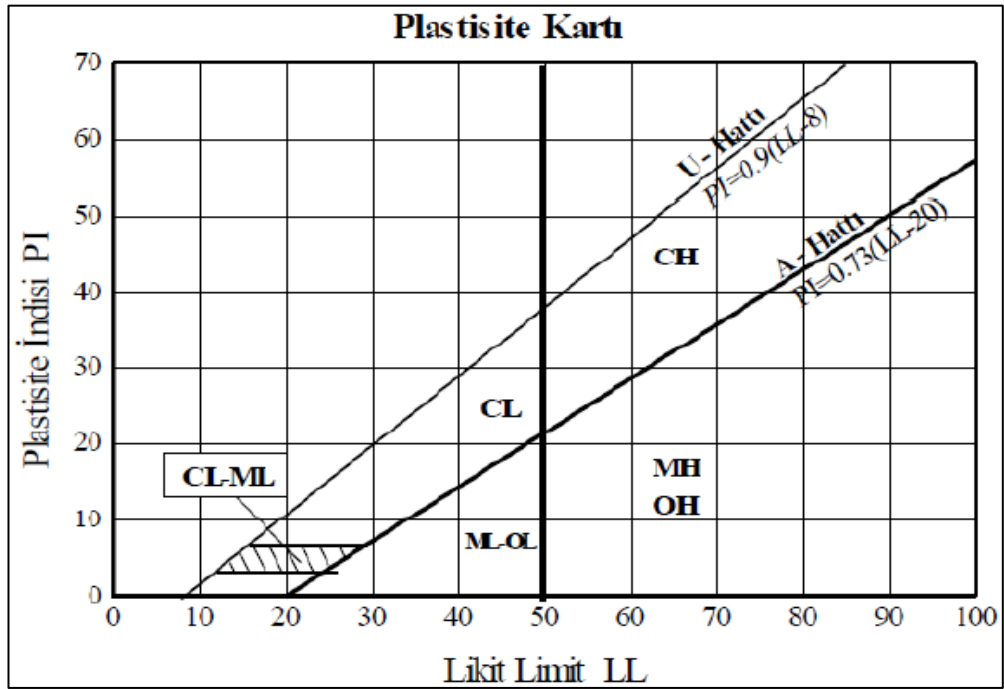
Şekil 3.2. Likit limit aleti

Zeminin likit limiti belirlemek için Casagrande yöntemi kullanılmaktadır. Deneyde kullanılan alet de Casagrande aleti olarak geçmektedir. Bu alette belirli yükseklikte

bırakılarak yapılan çalışmada 25 vuruşa denk gelen değer deneysel çalışmamızın likit limiti olarak belirlenir. Öncelikle saf kil üzerinde yapılan deney ardında katkılı zemin ile yapılmaktadır. Plastik limit, ince daneli zeminlerin kırılmaya neden olmadan son hali plastik kıvam halindeki koruduğu zamandır. Zemin numunesinin kopmadan önceki su içeriğidir denilebilir. Deneyde kullanılan aletler Şekil 3.3' te gösterilmiştir. Birleştirilmiş zemin sistemi de Şekil 3.4' te gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Plastik limit seti [4]



Şekil 3.4. Sınıflandırma sistemi

Plastik limit ve likit limitin bulunması ortaya çıkan değerler Atterberg kıvam limitleri olarak geçmektedir. Bu deneylerin sonucuyla yani likit limitin plastik limitten farkıyla plastisite indisi ortaya çıkar. Son olarak bulunan bu sonuçlardan LL ve PI değerleri kullanılarak yukarıdaki Şekilde gösterildiği gibi sınıflandırma sistemi oluŐturulur [4].

3.2.2. Elek analizi

Zeminin sınıflandırma deneyleri içerisinde en önemlilerinden biri de elek analizi deneyidir. Elek analizi deneyi farklı yönetmeliklere bağlı olarak yıkamalı ve kuru olmak üzere iki Şekilde yapılmaktadır. Bir zeminde iri danelilerin boyutlarını sınıflandırmak ve ağırlık yüzdelerini belirlemek amaçlanır.

Kuru elek analizi, kum gibi daha büyük daneliler için kullanılır. Kil ve silt gibi ince daneliler için de yıkamalı elek analizi kullanılır. Deneyde kullanılan eleklerin boyutları Şekil 3.4' te gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Elek analizi takımı

3.2.3. Hidrometre deneyi

Bu deneyde amaç silt ve kil gibi ince daneli zeminlerin dane çaplarını belirlemektir. İstenilen amaçta kullanılmak istenen zemin numunesi 200 numaralı elekten geçecek şekilde gelene kadar ufaltılır.

Deney çalışmasında kullanılacak zemin belli oranda su ile karıştırılarak homojen hale getirilir. Birkaç defa karıştırılıp tam süspansiyon karışım olduktan sonra belli zaman aralıklarıyla çökmesini belirlemek için suyun yoğunluğu ölçülmektedir. Bu olayın gerçekleşmesiyle zemin dane dağılımı ortaya çıkmaktadır ardında sınıflandırması gerçekleştirilmektedir. Deneyde kullanılan aletler Şekil 3.5' te gösterilmektedir.

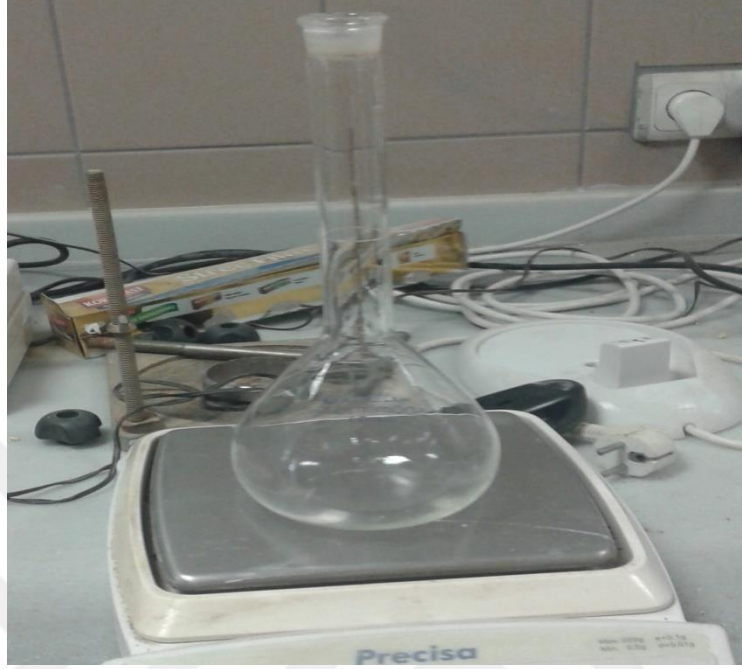


Şekil 3.5. Hidrometre deneyi aletleri

3.2.4. Piknometre deneyi

Bu deneyde birçok deneyde olduğu gibi zemin numunesi 40 numaralı elekten geçirilir. Hazırlanan numune ince daneli zeminin özgül ağırlığını belirlemek amacıyla kullanılmaktadır. Piknometre deneyinde numune, deneyde kullanılacak

Özel ŐiŐeye konularak gerçekleşir. Deney genellikle 250 veya 500 ml ŐiŐelerde gerçekleştirilir. Deneyde kullanılan ŐiŐe Şekil 3.6'da gösterilmektedir.



Şekil 3.6. Piknometre deneyi Şişesi

3.2.5. pH deneyi

Deney Eades ve Grim tarafından gerçekleştirilmiştir. Ph deneyi kullanılan katkı malzemesinin optimum oranını belirlemek amacıyla yapılır. Deneyde yaklaşık 1 saat içerisinde iyileştirme için kullanılacak uygun katkı malzemesi oranı belirlenmektedir. Deney kullanılan pH aleti Şekil 3.7' de gösterilmektedir.



Şekil 3.7. Ph aleti

Deneyde uygun katkı malzemesi oranı pH ölçer aletinde 12.4 oranı okunduğu orandır.

3.2.6. Kompaksiyon deneyi

Kompaksiyon deneyi, kurutulmuş zemin numunelerinin 40 numaralı elekten geçirilmiş haliyle gerçekleştirilen bir deneydir. Deneyde amaç; yapılan en iyi sıkıştırma işleminin hangi su muhtevasında olduğunu belirlemektir. Kompaksiyon işleminin bir başka adı da proktor deneyidir. Killi zeminin su muhtevası belirlenmesiyle birlikte zeminin maksimum kuru birim hacim ağırlığı da belirlenmektedir. Deneyde kullanılan kompaksiyon aletleri Şekil 3.8' de gösterilmektedir.



Şekil 3.8. Kompaksiyon aletleri

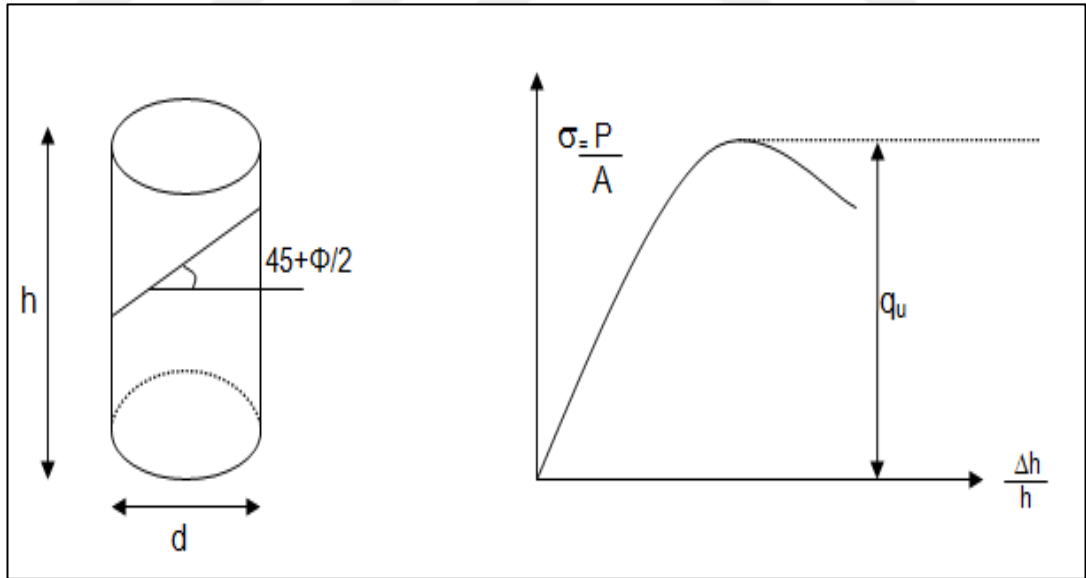
Katkısız zeminin su muhtevasını belirlemek için normal proktor deneyi kullanılmıştır. Katkılı zeminin sıkıştırma deneyleri ise minyatür kompaksiyon aleti ile deneyler gerçekleştirilmiştir. İki alet arasında tek fark kullanılan su miktarlarıdır. Minyatür kompaksiyon aletinde kullanılan su oranları maksimum 30 ml bulmaktadır. Normal proktor deneyinde ise bu miktar ise en fazla 750 ml olmaktadır.

Normal kompaksiyon aletiyle zeminin su muhtevası belirlendikten sonra katkı malzemelerin eklenmesiyle minyatür kompaksiyon aletiyle katkıların da su muhtevaları ve kuru birim hacim ağırlıkları belirlenmektedir.

3.2.7. Serbest basınç (Tek eksenli) deneyi

Saf zemin ve katkı zeminin kompaksiyon deneyinde bulunan su muhtevaları kullanılarak serbest basınç deneyi için numuneler hazırlanır. Silindirik olarak hazırlanan numunelere uygulanan eksenel kuvvet sonucunda birim şekil değiştirmeye bağlı olarak elde edilen serbest basınç mukavemet değerleri serbest basınç deneyini tanımlar.

Eksenel kuvvet uygulanırken eksenel şekil değiştirmeye maruz kalır. Bu kuvvetler altında kırılmadan önceki deformasyona karşılık gelen maksimum mukavemet değeri belirlenir ve kuvvet-deformasyon grafiği çizilir. Serbest basınç deneyinin amacı bu şekilde gerçekleşir. Serbest basınç deneyinde kullanılan numune ve deney sonucunda çizilecek grafik Şekil 3.9’da gösterilmiştir [1].



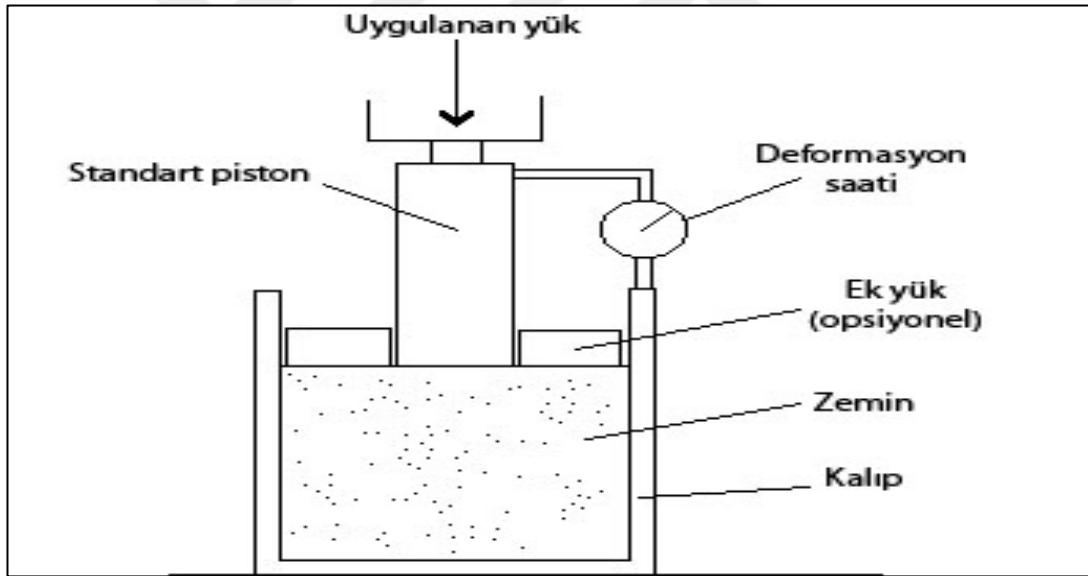
Şekil 3.9. Numune kesiti ve deney grafiği

Deneyde kullanılan numunenin dik durması önemli bir faktördür. Bu yüzden tek eksenli basınç deneyi yanal bir kuvvet almayan ince daneli zeminlerde uygulanabilir. Kumlu zeminlerde de bu sebepten dolayı uygulanamamaktadır. Şekildeki grafiğin

çizilmesi için artan yüklerle beraber oluşan deformasyonlar ölçülür. 20 mm'lik kısalmalarda yük değeri okunup grafiğe yansıtılır.

3.2.8. CBR deneyi

Deney için kullanılacak numuneler sıkıştırma deneyinde bulunan optimum su oranlarıyla hazırlanmaktadır. Deney ıslak ve kuru olmak üzere iki şekilde gerçekleşir. CBR deneyinin kuru halinde numuneler sıkıştırılmamış haliyle bir saat beklemeye alınır. Diğer CBR deneyi yönteminde, yaş CBR' da ise numuneler hazırlandıktan sonra mikrometre ile belirli aralıklarda ölçümler yapılacak şekilde 4 gün boyunca suda bekletilir. Bekletme süreleri sonunda numuneler istenilen kür sürelerinde dikey şekilde kuvvet uygulanarak kırılır. Okumalar yapılır ve boy kısaltmaları not edilir. Bu değerler grafiğe yansıtılır. CBR düzeneği Şekil 3.10' da gösterilmiştir [24].



Şekil 3.10. CBR düzeneği [1]

3.2.9. Plaka yükleme deneyi

Bu deney, zeminin taşıma gücünü tespit eden bir başka yöntem olup, dairesel bir plaka vasıtasıyla zemine tatbik edilen basınçla çökme (oturmalar) miktarının ölçülmesi esasına dayanır. Zeminin taşıma gücünün ölçülmesinde kullanılan diğer deneylerde olduğu gibi, plaka yükleme deneyinde kg/cm^2 veya ton/m^2 gibi doğrudan bir mukavemet değeri ile tanımlanamaz. Taşıma gücünün belirlenmesinde kullanılan

diğer deneylerden farkı arazide yapılan tek deney olmasıdır. Bu deney, zeminin olduğu gibi alt temel, temel ve hatta kaplamanın taşıma gücünün ölçülmesinde kullanılabilir. Bu deneyin sonuçları, zeminin yoğunluk ve rutubet miktarına bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle, deney sırasında zemin sıkışmış ve optimum su içeriğinde olmalıdır [1,25].



4. DENEYSEL SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında Yalova iline ait bir mevkiinden getirilen sarıyı anımsatan bir renge sahip kil üzerinde laboratuvar ortamında deneysel çalışmalar yapılmıştır. Getirilen killi zemin dayanım açısından sıkıntılı zemin olması nedeniyle yol çalışmalarını ve üzerinde herhangi bir yapının yapılmasını önemli derecede olumsuz yönde etkilemektedir. Yaptığımız çalışmalarda kullanılan zeminin hem kireç hem de çimento katkılarıyla stabilize yapıp hem ekonomik açıdan kıyaslanmış hem de dayanımındaki değişimleri incelenmiştir. Deneyde asıl olarak iki şey amaçlanmıştır. Birinci amaç, killi zemine katkı malzemesi eklenerek su muhtevasını düşürüp dayanımını artırmaktır. İkincisi, aynı orandaki katkı malzemelerini ekonomik açıdan kıyaslamaktır.

Yalova ilinden getirilen killi numeneler ile laboratuvar deneyleri ile başlanılmıştır. Deneysel çalışmalar öncelikle killi zemin üzerinde yapılmıştır. Killi zeminin yapısı, içeriği ve dayanımları belirlenmiştir. Devamında zemine katkı malzemeleri ilave edilerek bulunan değerlerdeki değişimler incelenmiştir.

Çalışmada ilk olarak zeminin geoteknik özelliklerini belirlemek için killi zeminin optimum su muhtevası bulunmuştur. Hidrometre deneyi sonrasında elek analizi de yapılarak zeminin sınıflandırılması yapılmıştır. Daha sonra kıvam limiti deneyleriyle likit limiti, plastik limiti ve plastisite indisi bulunmuştur. Saf kilin özellikleri belirlendikten sonra kireç ve çimento katkılı numunelerin optimum su muhtevaları bulunmuştur. Uygun kireç ve çimento değerleri için pH deneyi yapılmıştır. Daha sonra serbest basınç deneyi ile optimum su muhtevalarıyla hazırlanan numunelerin dayanımlarına bakılmıştır.

4.1. Doğal Su Muhtevasının Bulunması

Yalova ilinden getirilen sarı killi zemin, bekletilmeden 10 farklı yerinden alınan numuneler hemen etüve atılmıştır. Numuneler fırında 24 saat bekletildikten sonra çıkartılıp başlangıçtaki gibi tartılmıştır. Killi zemin numunelerinin tek tek doğal su

muhtevaları bulunmuştur. Daha sonra 10 adet numunenin bir ortalama su muhtevası bulunmuştur. Bulunan ortalama su muhtevası yaklaşık değeri %25,76' dır. Diğer 10 adet numunenin su muhtevaları değerleri de Tablo 4.1' de gösterilmiştir.

Tablo 4.1. Killi zeminin doğal su muhtevası(%)

Numune No	1	2	3	4	5
Su Muhtevası (%)	25.36	25,22	24,82	26,72	26,88
Numune No	6	7	8	9	10
Su Muhtevası (%)	25,97	26,13	24,75	25,79	25,93

4.2. Yıkamalı Elek Analizi

Yıkamalı elek analizi deneyi, dane boyutlarının yüzdelik dağılımını belirlemekte kullanılmaktadır. Deneyde elek çapları 8 mm-0,074mm arası olan elekler kullanılmıştır. Killi zeminin dane çapı dağılımını belirlemek için öncelikle belli bir miktarda numune alınıp etüve atılmıştır. Numune etüvde 1 gün boyunca bekletildikten sonra çıkarılıp tartılmıştır. Daha sonra killi zeminin bütününlü ıslatacak şekilde su konmuştur. Su ile numune yaklaşık 1 saat boyunca karıştırılmıştır.

Elekten geçirilmek için hazır olan numune, 10 numaralı elekten süzme işlemene başlanılmıştır. İlk olarak 2 mm'lik elekte kalan numune tekrar suyla karıştırılıp elekten geçirme işlemine birkaç defa tekrarlanarak gerçekleştirilmiştir. En son kalan numune başka bir kaba alınıp kurutmak için etüve atılmıştır. Etüvde 24 saat bekletilerek kurutulan numune 0,074 mm çaplı eleğe kadara geçirme işlemi yapılmıştır. Her elekte kalan killi zemin numunesi tartılmıştır.

Elekten geçen ağırlığı da bulmak için toplam numune ağırlığını her elekte kalan numune ağırlıklarından sırasıyla çıkartarak bulunmuştur. Bulunan ağırlıklar yüzdeliklere çevrilerek Tablo 4.2' de gösterilmiştir. Elek analizi deneyi birkaç defa gerçekleştirilmiştir. Hidrometre deneyinde benzer yöntem uygulanmıştır, kalan malzeme elekten geçirildikten sonra kurutulup tekrar eleklerden geçirilmiştir ve sonuç olarak yaklaşık aynı değerler bulunmuştur.

Tablo 4.2. Elek analizi sonuç tablosu

ELEK NO	ELEK AÇIKLIĞI	KALAN AĞIRLIK	GEÇEN AĞIRLIK	GEÇEN(%)
5/16"	8.000	0	48,21	100
No 4	4.760	0	48,21	100
No 10	2.000	0,02	48,19	99,97
No 18	1.000	0,03	47,16	99,90
No 40	0,425	0,03	48,13	99,83
No 120	0,250	0,68	47,45	98,42
No 200	0,125	0,81	46,64	96,74
PAN	0,074	1,2	45,44	94,25
PAN		45,44		

Tabloda gösterildiği gibi elek analizi sonucunda kil+silt oranı %94,25 çıkmıştır. Bu oran aynı zamanda ince daneli malzemenin oranını da göstermektedir ve kullandığımız zeminin ince daneli bir zemin olduğu sonucuna varılmıştır. Zemin sınıflandırmasına da baktığımızda, AASHTO zemin sınıflandırmasına göre, A-7-6 sınıfına dahil olmaktadır. Ayrıca yüksek plasiteli kil olarak da sınıflandırabiliriz.

4.3. Hidrometre Deneyi

Sınıflandırma deneylerinden biri olan hidrometre deneyi, elek analizi yerine de yapılabilir. Çünkü bu deneyde de kil ve silt gibi ince daneli zeminlerin dane çapları bulunmuştur. Deneyde kullanılacak zemin öncesinden etüvde kurulmuştur. Daha sonra 200 numaralı elekten geçecek kıvama gelecek şekilde kırılmıştır. Bu deneyde diğer sınıflandırma deneylerinden farklı olarak 200 numaralı elek kullanılmıştır.

Deney için kırılan malzeme 200 numaralı elekten geçirilip 50 gramı alınmıştır. Alınan killi zemin üzerine hidrojen peroksit dökülerek yakma işlemi başlatılmıştır. Daha sonra numune bir bezle kapatılıp 24 saat beklemeye alınmıştır.

Deney için beklemeye alınan numuneye çözelti hazırlanmıştır. Hazırlanan çözelti için 1 litre suya 40 gr hidrojen peroksit kullanılmıştır. Her bir hidrometre kabı için hazırlanan çözülden 125 ml kullanılmıştır. Yakma işlemi biten killi zemin çözelti ile birlikte hidrometre kabına konmuştur. Daha sonra hidrometre kabı 1 l' yi gösterene kadar su ilavesi gerçekleştirilmiştir. Deneydeki numune ve deney düzeneği Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Yakılmış numune ve deney düzeneği

Deneye başlamak için hidrometre kabına koyulmuş numune ve çözelti kür odasına alınmıştır. Daha sonra kabın ağız kısmı elle kapatılıp homojen kıvama gelene kadar karıştırılmıştır. Çözelti istenilen şekilde karıştıktan sonra durulması beklenmiştir. Durulduktan sonra hidrometre okumaları başlamıştır. Okumalar 0,25 dk' dan başlayarak 48 saate kadar yapılmıştır. Okumanın yapıldığı düzenek 8. dakikadan sonra her okuma aralığında saf su ile temizlenmiştir. Ayrıca deney ortamı, kür odasının sıcaklığı da 2°C' den fazla değişmemesine dikkat edilmiştir. Deney süresi boyunca sıcaklığın 1-1,5 °C arası değişim gösterdiği gözlemlenmiştir. Deney birkaç kez tekrarlanmıştır ve elek analizi sonucuna yakın bir değer bulunmuştur. İnce daneli zemin çıkan numunenin oranı %94 olarak bulunmuştur.

4.4. Piknometre Deneyi

Elek analizi sonucunda malzememizin ince daneli zemin olduğu belirlendikten sonra ince daneli zeminlerin özgül ağırlığını belirleyen piknometre deneyi yapılmıştır. Deney gerekli standartlara (TS 1900-1) uygun şekilde yapılmıştır. Öncelikle deney için kullanılan 250 ml'lik şişeler etüve konularak kurutulmuştur.

Deney için kullanılan killi zemin ilk olarak etüvde kurutulup daha sonra 40 numaralı elekten geçirilmiştir. 10 gr killi zemin kullanılmıştır. Ardından zemini kapatacak kadar damıtık su ilave edilmiş ve numune homojen hale getirilmiş. Hacim şişesi ve kullanılan zemin tartılmıştır. Hacim şişesi vakum desikatörüne konulup zemin içerisinde hava alınmıştır.

Killi zemin ile hazırlanan numunenin havası alınmıştır. Ardından işaret çizgisini geçmeyecek kadar su ilavesi yapılmıştır ve tüpe konmuştur. Daha sonra tüpte kaynamaya başlayan numunede görülecek kadar su çıkışı gözlemlenmiştir. Son olay gerçekleşikten sonra kaplar tekrar tartılmıştır. Piknometre deneyinin sonuçları Tablo 4.3' te gösterilmiştir.

Tablo 4.3. Piknometre deney sonuçları

Piknometre ağırlığı (A)	gr	168,20	168,20	168,20	168,20	168,20
Piknometre + Numune ağırlığı (B)	gr	178,20	178,20	178,20	178,20	178,20
Piknometre + Numune + Su ağırlığı (C)	gr	731,45	731,52	731,5	731,55	731,48
Piknometre + Su ağırlığı	gr	668,2	668,2	668,2	668,2	668,2
Numune ağırlığı	gr	10	10	10	10	10
Hesaplamalar	$\text{Özgül Ağırlık} = (B-A) / [(D-A)-(C-B)] \times \rho$					
Özgül Ağırlık		2,721	2,726	2,723	2,729	2,722
Özgül Ağırlık Aritmetik Ortalama				2,724		

Piknometre deneyi sonucunda özgül ağırlık değeri 2,65-2,75 arasında olması beklenir. Yaptığımız deneyde tabloda gösterildiği gibi 5 deneyin ortalama değeri 2,724 çıkmıştır. Killi zemin özgül ağırlığı da bulunmuştur.

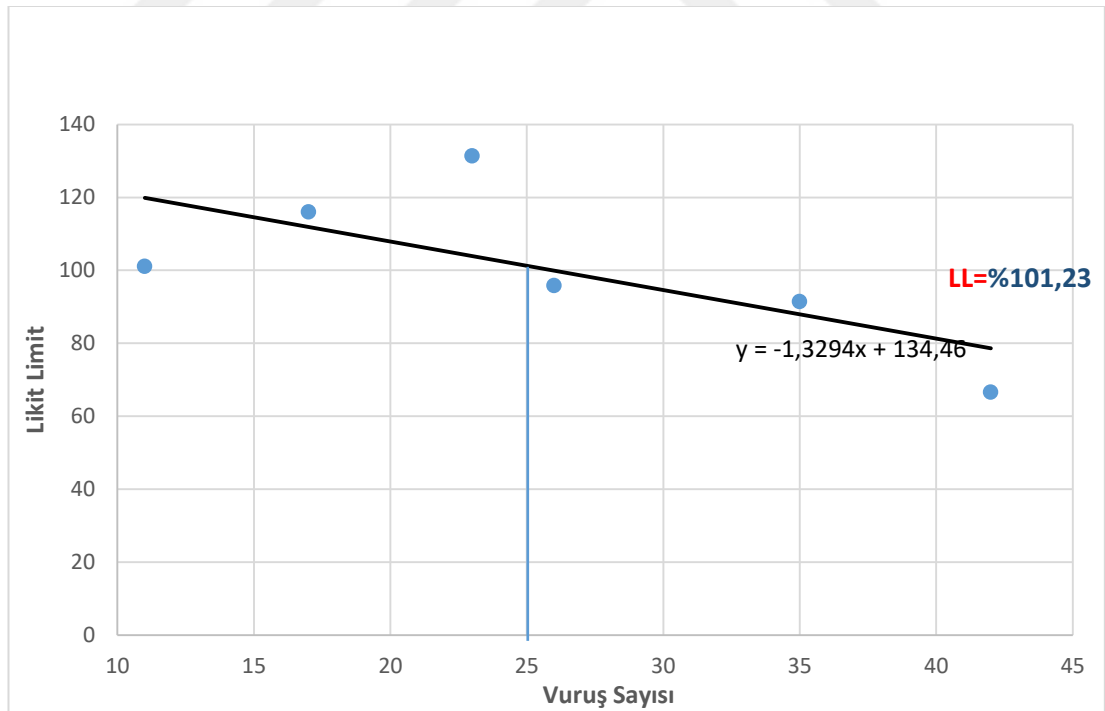
4.5. Atterberg Kıvam Limitleri Deneyi (LL,PL)

Likit limit deneyi için 1 gün önceden etüve atılan killi zemin tokmakla hafifçe kırıldıktan sonra 40 numaralı elekten geçirilmiştir. İlk olarak saf kilin kıvam limitleri deneyi yapılmıştır. Deney için hazırlanan zemine krema kıvamına gelene kadar su

ilave edilmiştir ve homojen karışım olmasına da dikkat edilmiştir. İstenilen kıvama gelen numune Casagrande aletine yaklaşık üçte birini dolduracak şekilde yerleştirilmiştir. Konulan malzemeye düzleştirmek için silecek çekilmiştir. Daha sonra oluk açma bıçağı ile 45 derecelik açığa dikkat ederek orta kısımda bir yarık açılmıştır.

Deney için hazır olan düzende sonraki adım olarak Casagrande aletini saniyede yaklaşık iki vuruş yaparak açılan yarık kapanana kadar devam etmiştir. Yarığın iki tarafının birleşmesiyle deney tamamlanmıştır. Her kademedeki yapılan vuruş sayısı not alındıktan sonra numuneden örnek alınıp 24 saat etüvde beklemeye koyulmuştur.

Deney, vuruş sayısı en az 4 aralıkta (10-20, 20-30, 30-40, 40-50) olacak şekilde yapılmıştır. Her kademe için ayrıca su ilavesi yapılmıştır. Düzgün bir grafik elde etmek için ve 25 vuruşa tekabül eden vuruş sayısını bulabilmek için belirlenen aralıklardaki vuruş sayılarından en az birer numune alınmıştır. Saf kilin likit limit grafiğı örnek olarak Şekil 4.2' de gösterilmiştir.

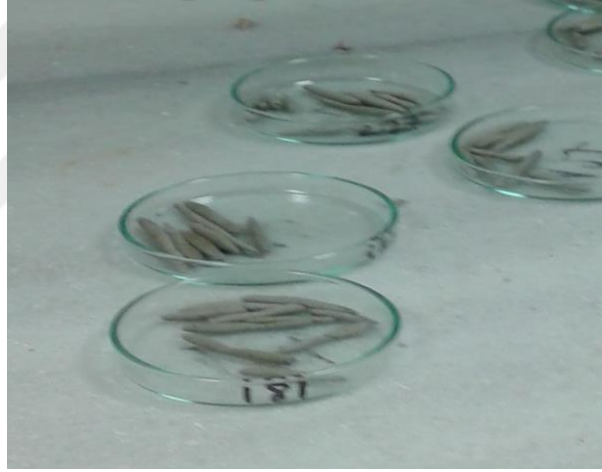


Şekil 4.2. Killi zeminin likit limit grafiğı

Grafikte de gösterildiğı gibi 25 vuruşa tekabül eden değeri katkısız kilin likit limit değeri göstermektedir. Saf kilin likit limiti $\%101,23$ olarak bulunmuştur. Daha

sonra sırasıyla %3 kireç katkı ve %3,%4 çimento katkıları için de aynı şekilde likit limit deneyleri yapılmıştır. Malzemenin kuru ağırlığına katılardan istenilen oranda eklenerek deney yapılmıştır. Plastik limit deneyi de yapıldıktan sonra değerler kıyaslanmıştır.

Plastik limit deneyinde de likit limit deneyinde olduğu gibi 40 numaralı elekten elenen malzeme kullanılmıştır. Bu deneyde her bir deneme için yaklaşık 30 gr kullanılmıştır. Kullanılan malzemeye az miktarda su eklenerek cam yüzeyde silindirik şekilde numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelerin 3 mm çapından fazla olmaması istenilmiştir. İstenilen çapa gelmeden kırılan numuneye su ilavesi yapılırken içerisinde fazla su olması durumunda da kuru malzeme ilavesi yapılmıştır. Hazırlanan numuneler kaplara konup etüve atılmıştır ve 24 saat bekletilmiştir. Plastik limit deneyi için hazırlanan numunelerden örnek olarak Şekil 4.3' te gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Plastik limit deneyi örnek numune

Öncelikle killi zeminin katkısız durumunun plastik limit değeri bulunmuştur. Daha sonra likit limitte olduğu gibi katkıların da plastik limit değerleri bulunmuştur. Katkısız killi zeminin plastik limit değeri %21,48' dir. Böylelikle saf kilin plastisite indisini, likit limit değerini plastik limit değerinden çıkararak bulabiliriz. Saaf kilin plastisite indisi %79,75 olarak bulunmuştur.

Kireç ve çimento katkıli zeminler için de plastisite indisleri bulunmuştur. Saf kilin, %3 kireç katkıli, %3 ve %4 çimento katkıli numunelerin plastik limit, likit limit ve plastisite indisi Tablo 4.4' te verilmiştir.

Tablo 4.4. Kıvam limitleri (LL, PL, PI)

Katkı oranı(%)	LL(%)	PL(%)	PI(%)
0	101,23	21,48	79,75
%3K	69,43	47,74	21,69
%3Ç	83,13	42,79	40,34
%4Ç	81,25	41,48	39,77

Tabloya bakıp kıyaslama yaptığımızda katkılı zeminlerde saf kile göre likit limit ve plastisite indisinde azalma görülürken plastik limitte ise artma görülmüştür. Ayrıca bu oranlar kireç katkılılarda çimento katkılılara göre daha fazla oynama göstermektedir. Kıvam limitleri değerlerinden zeminin yüksek plastisiteli bir kil olduğu sonucuna da varılmıştır.

4.6. Ph Deneyi

Kıvam limitleriyle belirlenen optimum katkı malzemesi oranı ph deneyiyle de bulunmaktadır. Bu çalışmamızda daha önceki çalışmalar referans alınarak optimum kireç oranı direk alınmıştır ama bu oranı teyit etmek için ph deneyi yine de yapılmıştır. Deneyde ph aletinin 12,4' ü gösterdiği oran, optimum katkı malzemesi oranımızdır. Deney için hazırlanan numuneler Şekil 4.4' te gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Ph deneyi numuneleri

Deney etüvde kurutulup 40 numaralı elekten geçirilen malzemeyle yapılmıştır. Şekilde de gösterildiği gibi her bir pet bardağa malzeme kuru ağırlığının %1' i kadar artıracak şekilde katkı malzemesi konmuştur. Gerekli su miktarı da konduktan sonra numuneler 1 saat boyunca 10 dk aralıklarla karıştırılmıştır. Karışma işlemi durduktan sonra ph aletiyle okumalar yapılmıştır. Yapılan okumalar Tablo 4.5' te gösterilmiştir.

Tablo 4.5. Ph deneyi okuma tablosu

Kireç(%)	pH	C
1	12,1	20,5
2	12,2	20,5
3	12,4	20,4
4	12,5	20,5
5	12,7	20,6
6	12,8	20,7
7	12,8	20,8

Tabloda da gösterildiği gibi deney için kabul edilen optimum kireç oranı %3 olarak ph deneyi ile teyit edilmiştir. Çalışmada kullanılan çimento oranı, optimum kireç oranına göre belirlendiği için ph deneyi yapma gereği duyulmamıştır.

4.7. Kompaksiyon (Sıkıştırma) Deneyi

Sıkıştırma deneyi ve proktor deneyi de olarak bilinen bu deneyde amaç optimum su muhtevasını bulmaktır yani en iyi sıkıştırmanın yapıldığı su oranını belirlemektir. Katkısız malzemenin su muhtevasını belirlemek için standart proktor aleti kullanılmıştır. Standart proktorun iç hacmi 68,1 cm³'tür.

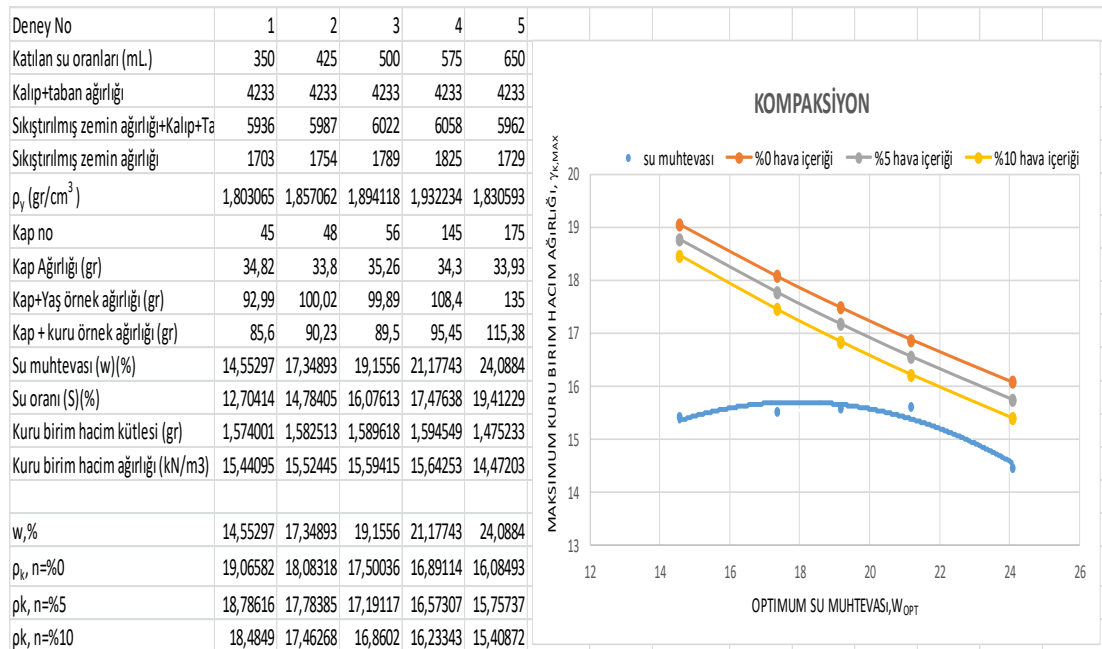
Saf kilin su muhtevasını belirlemek için etüvde kurutulan malzeme 40 numaralı elekten geçirilmiştir ve farklı 5 su oranı için 3'er kilo zemin hazırlanmıştır. Katkısız kil için yapılan deney 350ml, 425ml, 500ml, 575ml, 650ml olmak üzere 5 farklı su oranları ile yapılmıştır. Zemin üzerine dökülen su oranları iyice yedirilmiştir ve numune homojen olacak şekilde karıştırılmıştır. Daha sonra standart proktor aletine 3 aşamalı şekilde zemin yerleştirilmiştir. Her aşamada tokmak ile 25 vuruş yapılarak

sıkıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Son işlemde sonra proktor aletinin üst kısmı çıkarılmıştır ve fazlalıklar alındıktan sonra zemin kalıpla beraber tartılmıştır. Zeminin orta kısımlarından örnek numune alınıp tartıldıktan sonra etüve atılmıştır. 24 saat etüve kalan numune çıkarırken de tartıp bütün değerler grafiğe yansıtılmıştır. Kompaksiyon deneyinin yapılış aşamaları Şekil 4.5’ te gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Standart proktor deneyi

İstenilen bütün veriler elde edildikten sonra Şekil 4.6’ da gösterilen grafik ortaya çıkmıştır. Saf kilin optimum su muhtevası %18,14 maksimum kuru hacim ağırlığı da 15,63 kN/m³ olarak bulunmuştur.



Şekil 4.6. Katkısız kilin su muhtevası

Katkısız zeminin optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlığı da bulunduğundan sonra killi zeminin geoteknik özellikleri belirlenmiştir. Zeminin geoteknik özellikleri Tablo 4.6' da gösterilmiştir.

Tablo 4.6. Kilin geoteknik özellikleri

Zemin sınıflandırma	
USCS	CH
AASHTO	A-7-6
Atterberg limit değerleri	
LL(%)	101,23
PL(%)	21,48
PI(%)	79,45
Elek analizi	
Kum (%) (4,76mm-0,074mm)	5,75
Kil ve Silt (%) (<0,074mm)	94,25
Özgül ağırlık (gr/ cm ³)	2,724
Standart proktor	
K.B.H.A (kN/m ³)	15,63
Su muhtevası (%)	18,14
Doğal su muhtevası (%)	25,76
CBR yaş değeri (%)	2,94

Doğal zeminin geoteknik özellikleri belirlendikten sonra katkılı zeminlerin su muhtevası bulunmuştur. Kireç ve çimento katkılı zeminlerin kompaksiyon deneyi minyatür proktor aletinde yapılmıştır. Deneyin yapılışı ve minyatür proktor aleti Şekil 4.7' de gösterilmiştir.

Kompaksiyon deneyi katkılı zeminlerde %3 kireç, %3 çimento ve %4 çimento için yapılmıştır. Minyatür proktor aletinin kalıbı belirlendikten sonra her bir numune için yaklaşık 100 gr zemin hazırlanmıştır. Zeminlerin kuru ağırlığına göre yüzdesi kadar katkı malzemesi ilave edilmiştir. Her bir katkı malzemesi için %13, %16, %19, %22, %25 oranlarında su ilave edilerek 5 farklı deney yapılmıştır. Standart proktor

aletinde olduğu gibi hazırlanan numuneler 3 aşamalı olacak şekilde proktor aletine koyulmuştur. Her aşamada tokmakla ilk 4 vuruşu köşelere gelecek şekilde toplamda 25 vuruş yapılmıştır. Böylelikle sıkıştırma işlemi tamamlanmıştır.



Şekil 4.7. Minyatür proktor aleti ve örnek numune

Numune kalıpla birlikte tartıldıktan sonra şekilde gösterildiği gibi kalıptan çıkarılıp orta kısmından örnek numune alınarak etüve atılır. 24 saat sonra etüvden alınan numuneler tekrar tartılıp bilgiler grafiğe geçirilmiştir. Kireç katkılı ve çimento katkılıların su muhtevaları ve maksimum kuru birim hacim ağırlıkları bulunmuştur. Bütün sonuçlar Tablo 4.7’ de gösterilmiştir. Her yüzdenin grafiklerine ve değerlerin girildiği tablolara eklerde yer verilmiştir.

Tablo 4.7. Kompaksiyon deney sonuçları

	Optimum su muhtevası (%)	Maks. K.B.H.A. (kN/m³)
Saf Kil	18,14	15,18
%3 Kireç	21,85	12,92
%3 Çimento	18,91	13,22
%4 Çimento	19,54	13,05

Tabloda görüldüğü üzere kireç ve çimento katkılı zeminin katkısız, saf kile göre optimum su muhtevalarında artış görülmektedir. Aynı zamanda maksimum kuru birim hacim ağırlıklarında da azalma görülmüştür. Su muhtevalarında artış ve kuru

birim hacim ağırlığındaki azalma en çok kireç katkıli zeminde görülmüştür. Kireç katkıli de çimento katkıli lara göre de ayı durum gözlemlenmiştir. Kompaksiyon deneyi sonucunda bulunan su muhtevaları serbest basınç deneyinde hazırlanan numunelerde kullanılmıştır.

4.8. Serbest Basınç (Tek Eksenli) Deneyi

Tek eksenli basınç deneyinde kompaksiyon deneyi sonunda bulunan su muhtevalarıyla katkısiz, %3 kireç katkıli, %3 ve %4 çimento katkıli lara ile hazırlanan numunelerin kırılmadan önceki en yüksek mukavemet değerlerine bakılmıştır. Deneyde amaç, kullanılan numunenin dayanımını adım adım gözlemlemektir.

Deney için numuneler, optimum su muhtevalarında %1 ile %2 arasında bir artış yapılarak hazırlanmıştır. Saf killi zeminin numunesi hazırlanırken optimum su muhtevaları kullanılmıştır. Katkıli zeminler için anlık, 1 günlük, 1 haftalık ve 28 günlük serbest basınç deneyleri yapılmıştır. Katkısiz zemin için ise uzun süreli reaksiyon gerçekleşmeyeceği için sadece anlık ve 1 günlük yapılmıştır. Bütün deneyler için minyatür kompaksiyon aletiyle boyu çapının yaklaşık 3 katı olan üçer numune hazırlanmıştır. Her aşamada yapılan deneylerin sayısı ve kullanılan su muhtevaları tablo şeklinde Tablo 4.8' de gösterilmiştir.

Tablo 4.8. Tek eksenli basınç deneyi bilgileri

Kullanılan malzeme	W(%)	Deney sayısı			
		Anlık	1 günlük	7 günlük	28 günlük
Saf kil	18,14	3	3	-	-
%3 kireç katkıli	23	3	3	3	3
%3 çimento katkıli	19,5	3	3	3	3
%4 çimento katkıli	20,5	3	3	3	3

Deney 40 numaralı elekten geçirilmiş zeminle gerçekleştirilmiştir. Elekten geçirilen zeminde her bir aşama için yaklaşık 300 gr kullanılmıştır. Katkısiz zeminin serbest basınç deneyleri ile başlanmıştır.

Serbest basınç deneyi için numune hazırlanışında zemine belirlenen su muhtevaları kadar su ilave edilmiştir. Eşit dağılması için iyice karıştırılan numune minyatür kompaksiyon aletine kompaksiyon deneyinde olduğu gibi üç aşamalı konmuştur. Her

aşamada tokmak ile 24 vuruşla kalıba tam olarak yerleştirilmiştir. Hazırlanan numune kalıpla birlikte tartılır ve deneye başlamak için kalıptan çıkarılıp serbest basınç deneyi aletine yerleştirilmiştir. Deneyin yapılışı Şekil 4.8’ de gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Tek eksenli basınç deneyi

Basınç aletine yerleştirilmiş numune su muhtevasında kayıp olmaması için iyice kapatılmıştır. Düzenek dikkatlice hazırlandıktan sonra deplasman ölçer aleti yerleştirilmiştir ve deney hızı ayarlanarak deneye başlanmıştır. Deney esnasında deplasman ölçer aletinde her 20 mm bir karşılık gelen kuvvet not edilmiştir. Deney numunenin kırılmasıyla beraber maksimum yüke ulaştıktan sonra tamamlanmıştır. Her numune için bu aşamalar aynı şekilde gerçekleştirilmiştir. Aynı numunelerde yapılan 3 deneyin ortalaması alınmıştır. Deney tamamlandıktan sonra numunenin alt ve üst kısmından biraz örnek alınmıştır ve tartılıp etüve konulmuştur. 24 saat bekletildikten sonra çıkarılıp tekrar tartılmıştır ve grafiği yansıtılmıştır. Bütün aşamalardaki her numunenin deney hesaplamaları ve grafikler ekler kısmında gösterilmiştir.

Doğal zeminin anlık deneyleri tamamlandıktan sonra 1 günlük deneyler için numuneler hazırlanmış ve beklemeye alınmıştır. Deneye başlama kısmına kadar

numune hazırlanışında anlık numunelerle aynı şekilde hazırlanmıştır. Numune kompaksiyon aletinden çıkarıldıktan sonra streç ve alüminyum folyoyla sarılıp deney bekleme süresi kadar yani 1 gün boyunca cam fanusta bekletilmiştir. 1 gün sonra numune deneye tabi tutulmuştur. Numunenin sarılması ve cam kavanozdaki hali Şekil 4.9’ da gösterilmiştir.



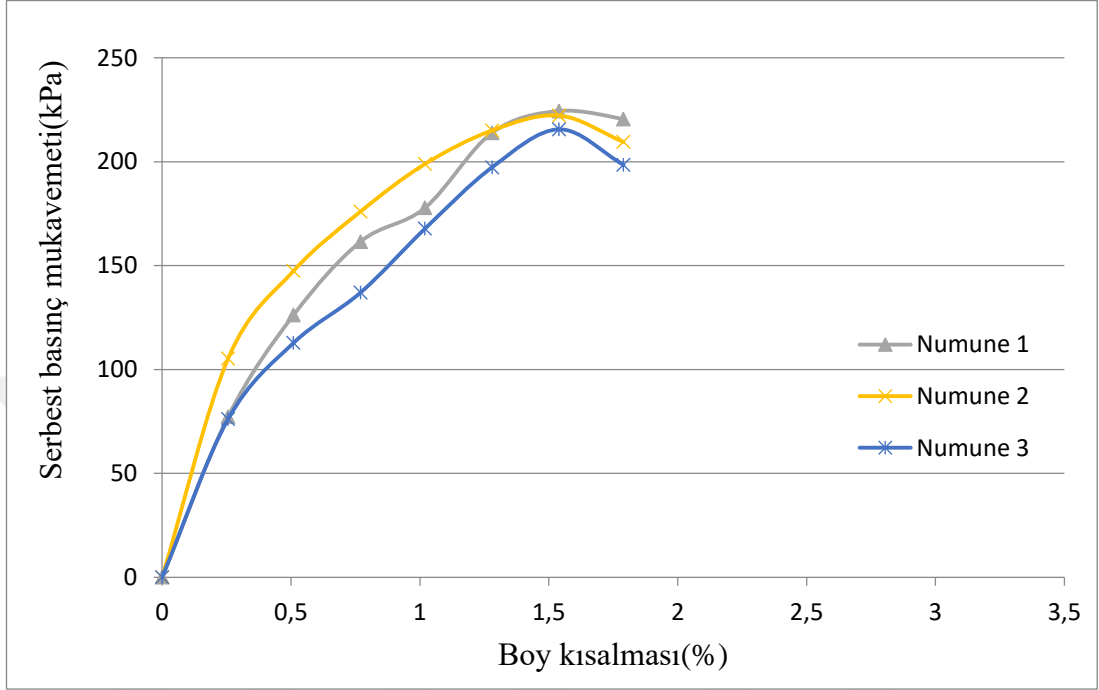
Şekil 4.9. Beklemeye alınan numuneler

Doğal zeminin basınç deneyi tamamlandıktan sonra katkılılara geçilmiştir. Saf kil için anlık serbest basınç mukavemet değerinin ortalaması 116,82 kPa olarak bulunmuştur. 1 günlük mukavemet değerinin ortalaması ise 140,72 kPa olarak bulunmuştur.

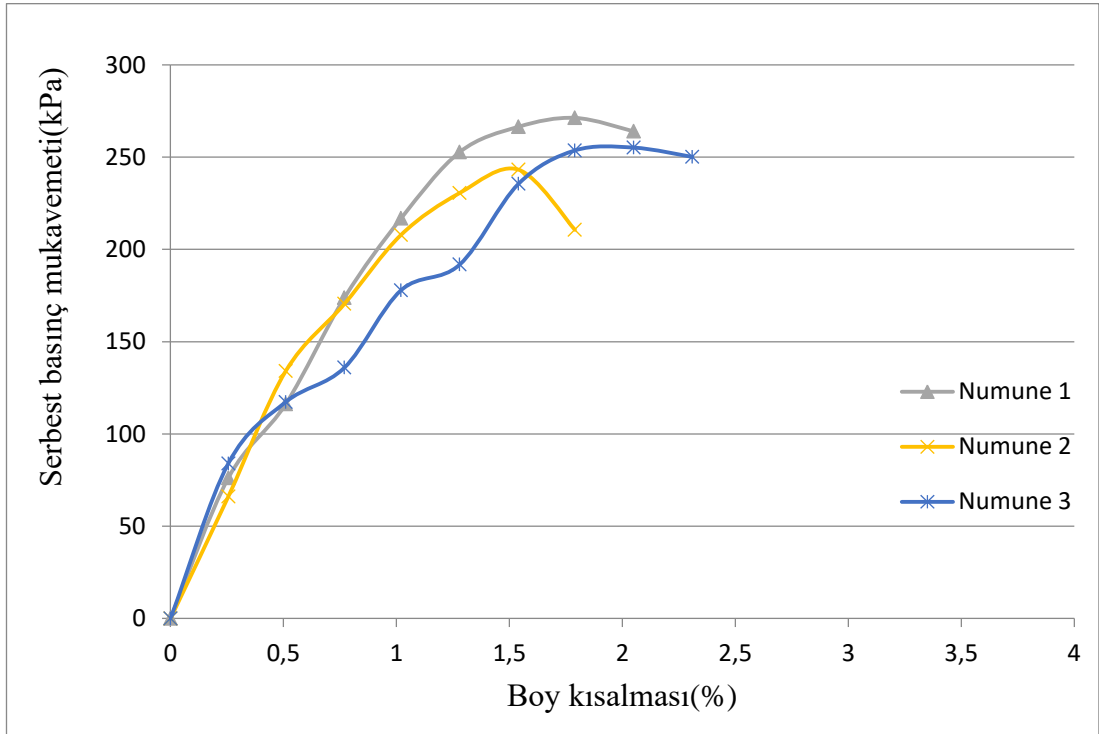
4.8.1. %3 kireç katkılı zeminin serbest basınç grafiği

Deney katkısız zeminde yapılan deneyle aynı şekilde yapılmıştır. Deneyde her bir kür süresi için üçer numune hazırlanmıştır. Kullanılacak malzeme 40 numaralı elekten geçirilip o şekilde deneye tabi tutulmuştur. Elekten geçen malzemeden her kür süresi için yaklaşık 300 gr alınmıştır. Malzeme oranına göre %23 oranında su ve %3 oranında da kireç kullanılmıştır. Malzemeler karıştırılıp kompaksiyon aletinde numune hazırlandıktan sonra serbest basınç deneyi gerçekleştirilmiştir. Deney sonrasında elde edilen veriler grafiklere yansıtılmıştır. Şekil 4.10’ da anlık, Şekil

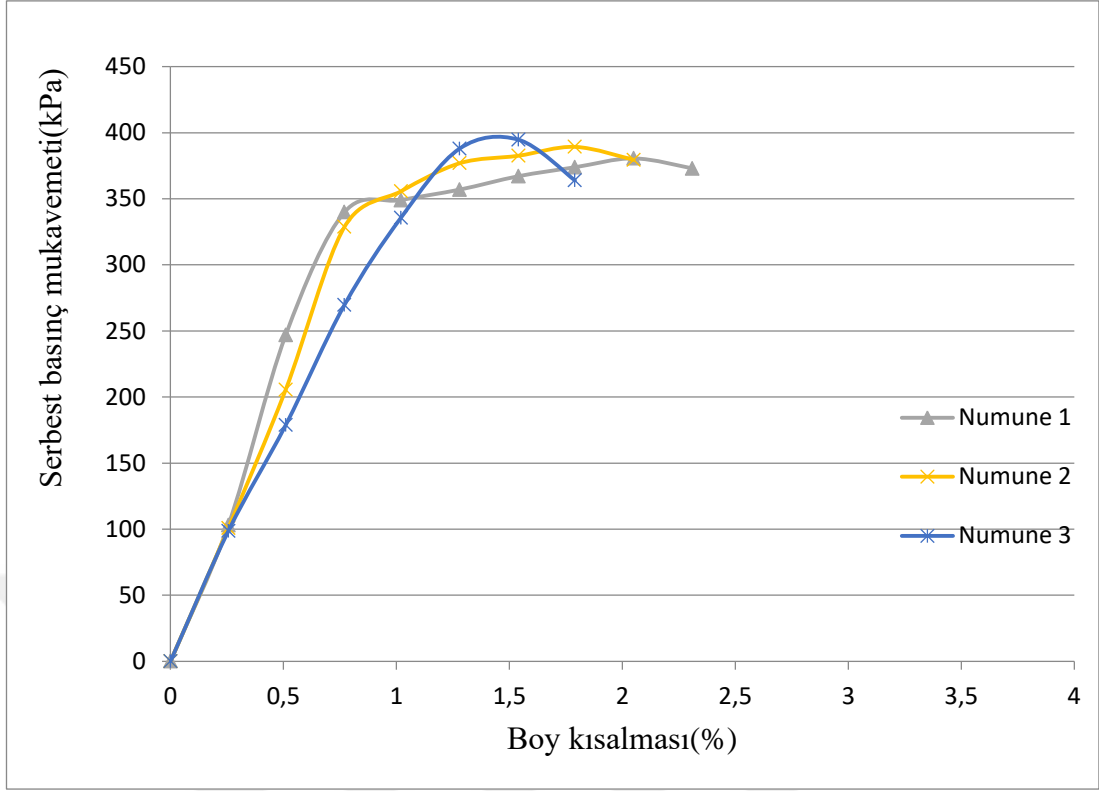
4.11' de 1 günlük, Şekil 4.12' de 7 günlük, Şekil 4.13' te 28 günlük deneylerin serbest basınç deneyi sonucunda dayanımlar grafik şeklinde verilmiştir. Ayrıca kür sürelerinde mukavemet değerlerinin ortalaması da Şekil 4.14' te gösterilmiştir.



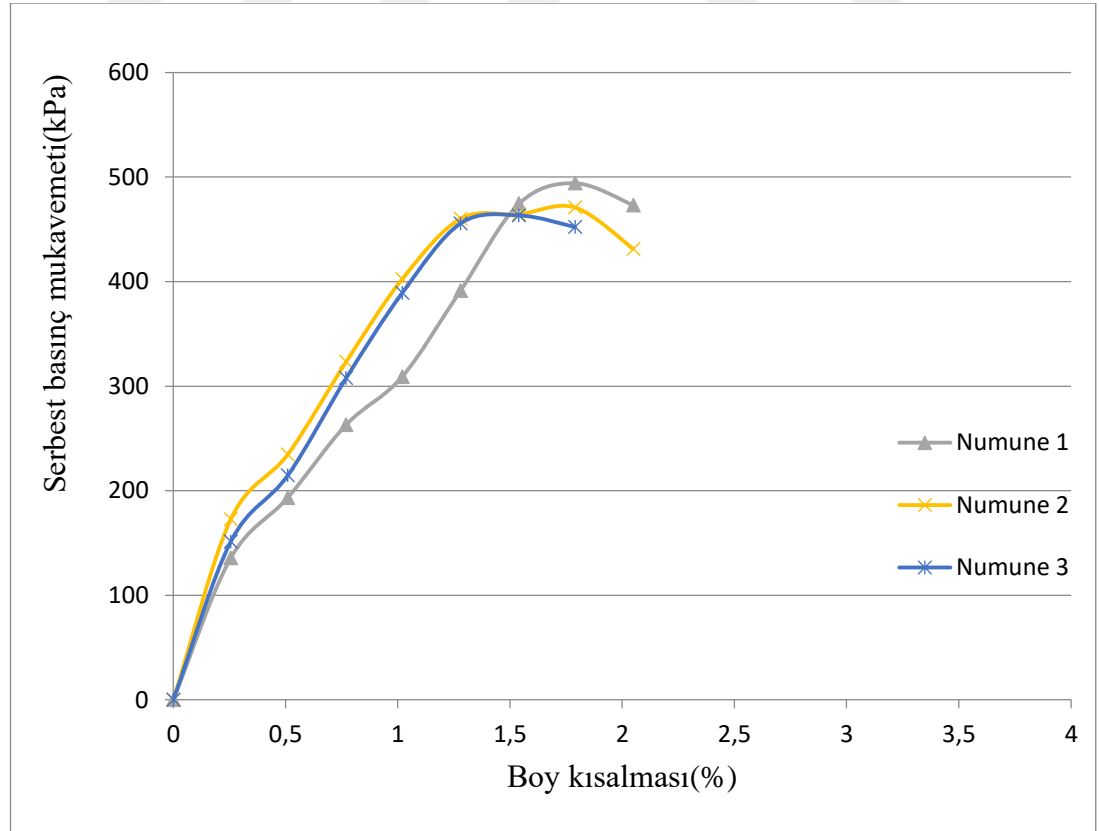
Şekil 4.10. %3 kireç katkılı zeminin anlık serbest basınç grafiği



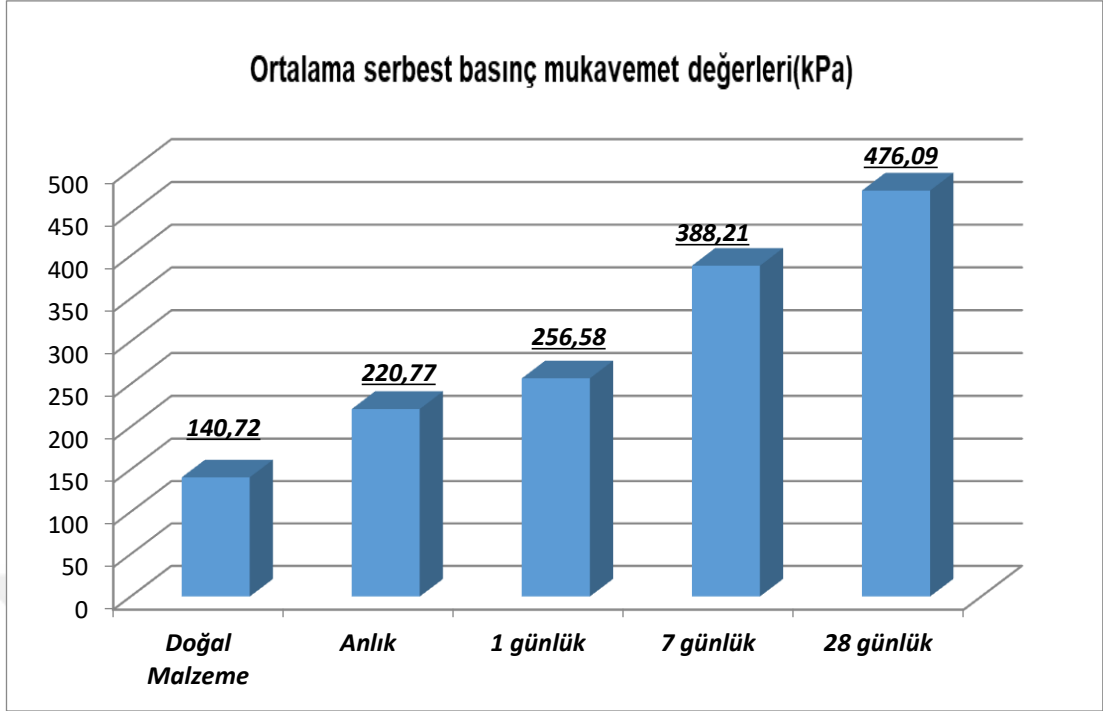
Şekil 4.11. %3 kireç katkılı zeminin 1 günlük serbest basınç grafiği



Şekil 4.12. %3 kireç katkılı zeminin 7 günlük serbest basınç grafiği



Şekil 4.13. %3 kireç katkılı zeminin 28 günlük serbest basınç grafiği

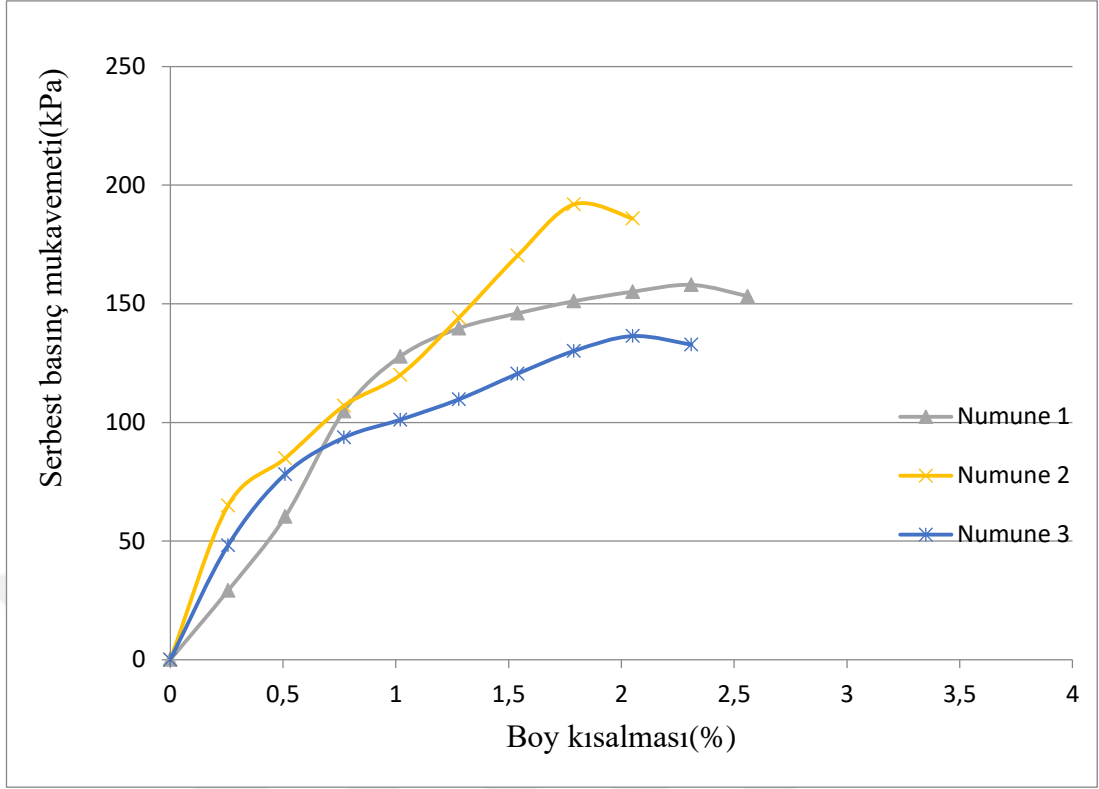


Şekil 4.14. %3 kireç katkılı zemin dayanımlarının ortalamaları

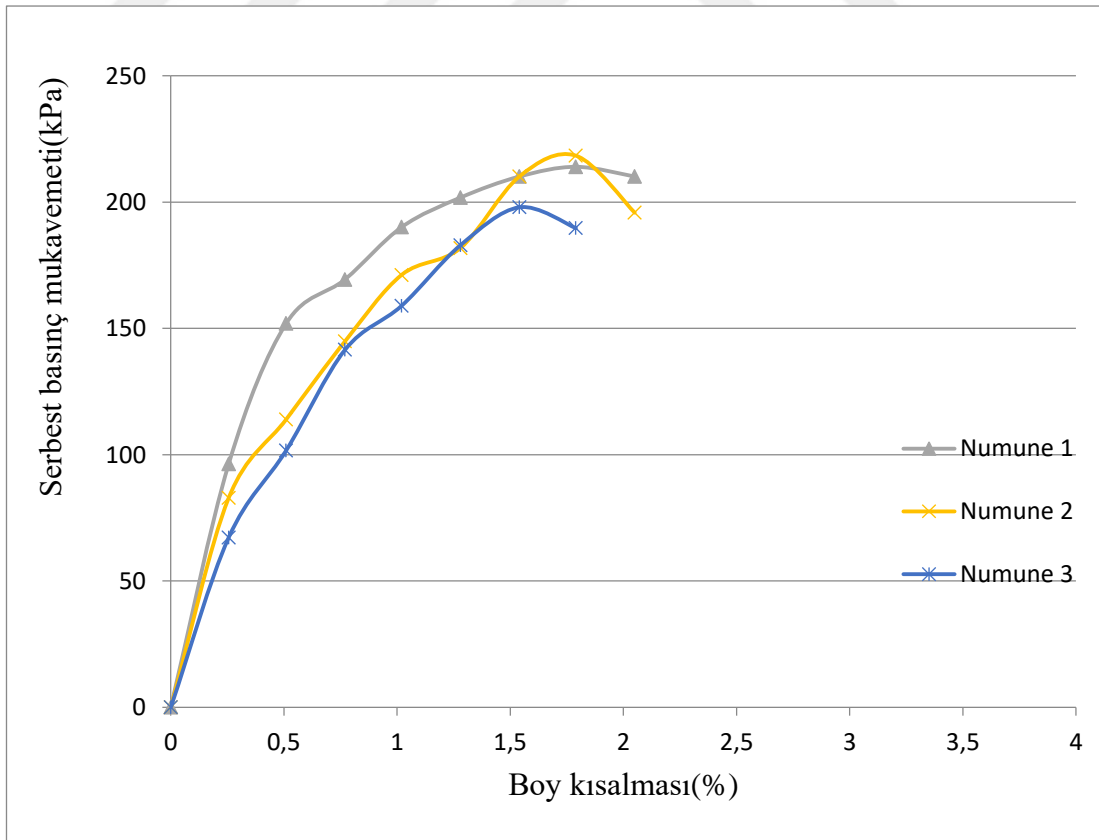
Daha önceki çalışmalarda da katkı malzemesinin iyileştirme yöntemlerinde mukavemet artışı için etkili bir yöntem olduğu belirtilmişti. Bu deney sonucunda da %23 su muhtevası kullanılarak hazırlanan %3 kireç katkılı zemin numunesinin yaklaşık %18 su muhtevasında hazırlanan saf kile göre, 28 gün sonunda mukavemet(dayanım) değerleri karşılaştırıldığında yaklaşık 3,5 kat arttığı yukarıdaki şekilde gösterilmiştir.

4.8.1. %3 çimento katkılı zeminin serbest basınç grafiği

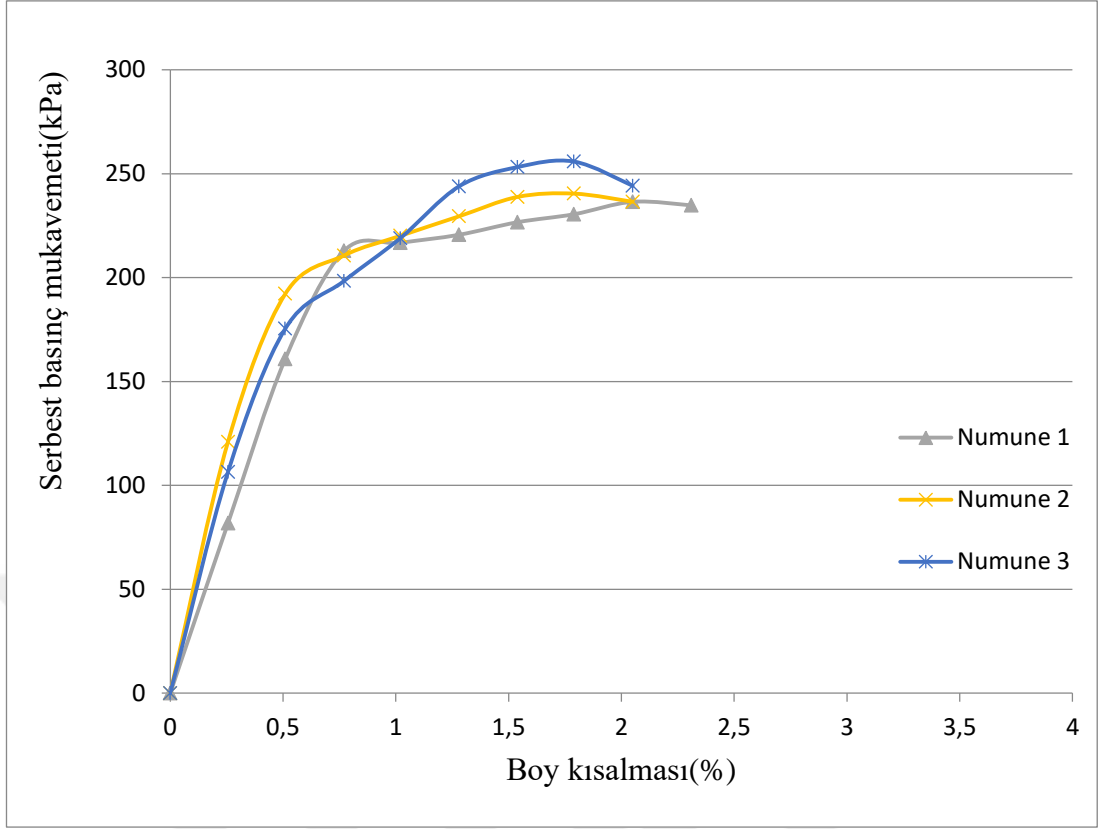
Çimento katkılı zemin deneyinde de kullanılacak malzeme 40 numaralı elekten geçirildikten sonra numuneler hazırlanmıştır. Elekten geçen malzemedен her kür süresi için yaklaşık 300 gr alınmıştır. Ayrıca deneyde her bir kür süresi için üçer numune hazırlanmıştır. Malzeme oranına göre %19,5 oranında su ve %3 oranında da çimento kullanılmıştır. Numuneler hazırlandıktan sonra serbest basınç deneyi gerçekleştirilmiştir. Deney sonrasında elde edilen veriler grafiklere yansıtılmıştır. Şekil 4.15' te anlık, Şekil 4.16' da 1 günlük, Şekil 4.17' de 7 günlük, Şekil 4.18' de 28 günlük deneylerin serbest basınç değerleri ayrıca kür sürelerinin mukavemet değerlerinin ortalaması da Şekil 4.19' da gösterilmiştir.



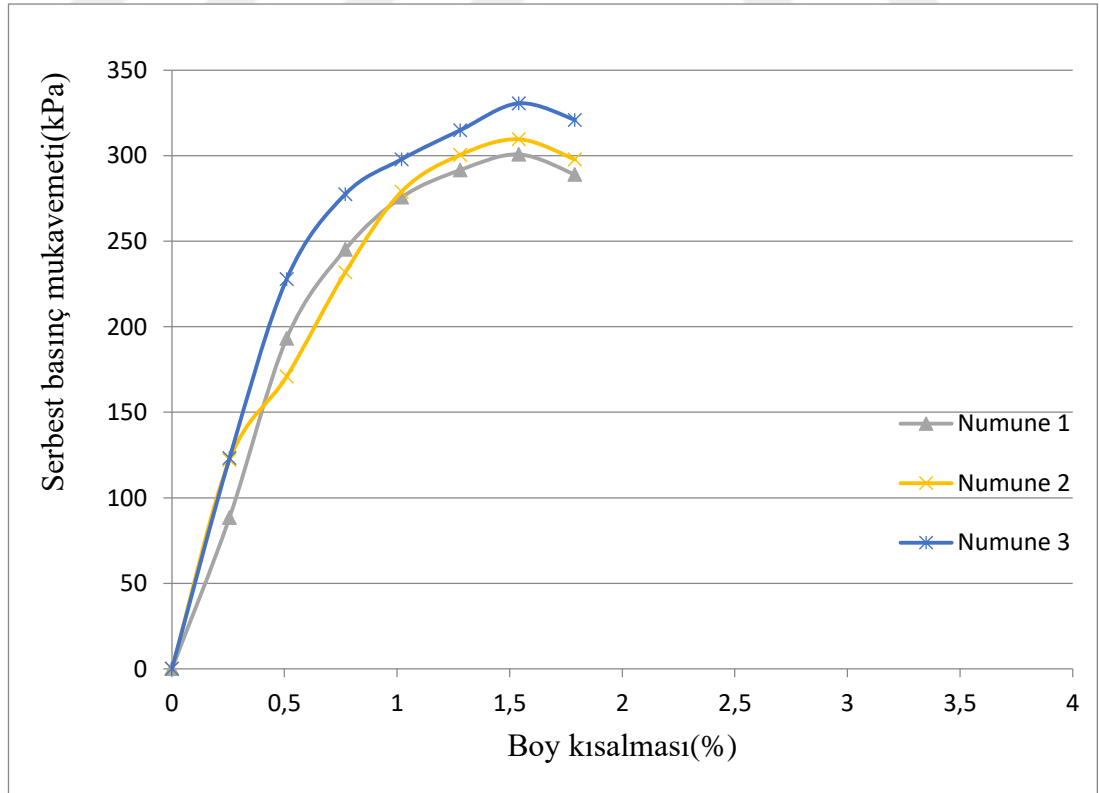
Şekil 4.15. %3 çimento katkılı zeminin anlık serbest basınç grafiği



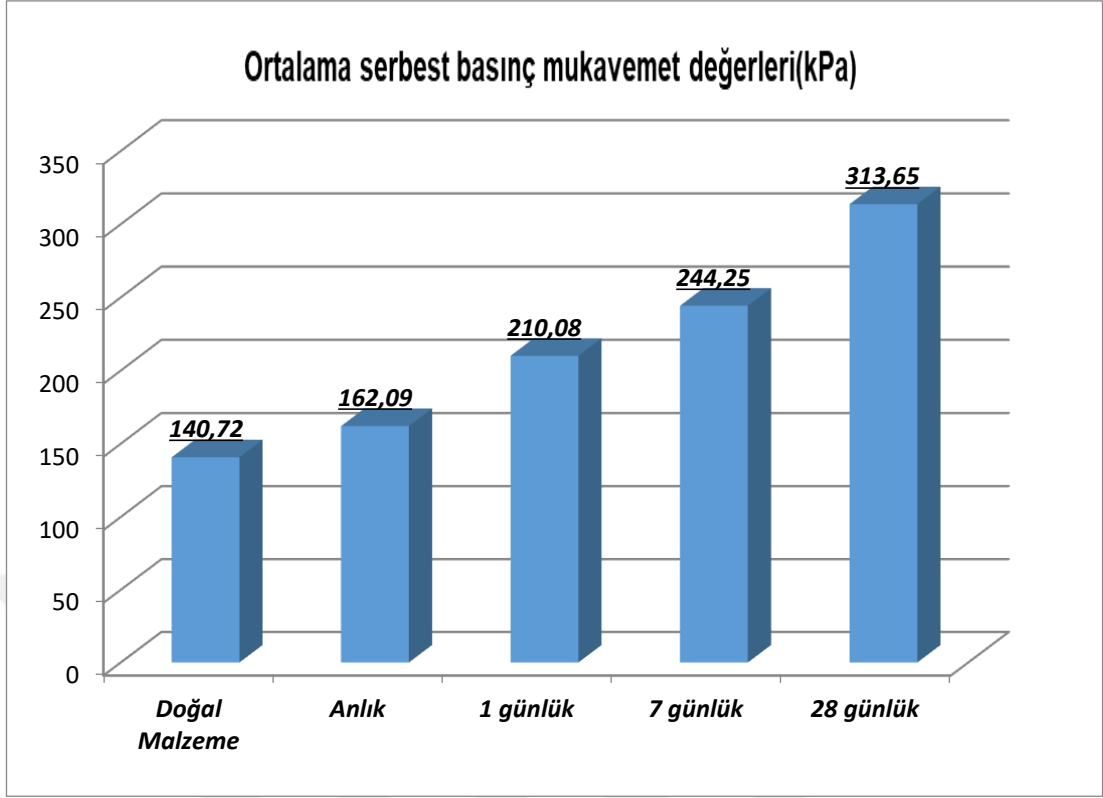
Şekil 4.16. %3 çimento katkılı zeminin 1 günlük serbest basınç grafiği



Şekil 4.17. %3 çimento katkılı zeminin 7 günlük serbest basınç grafiği



Şekil 4.18. %3 çimento katkılı zeminin 28 günlük serbest basınç grafiği

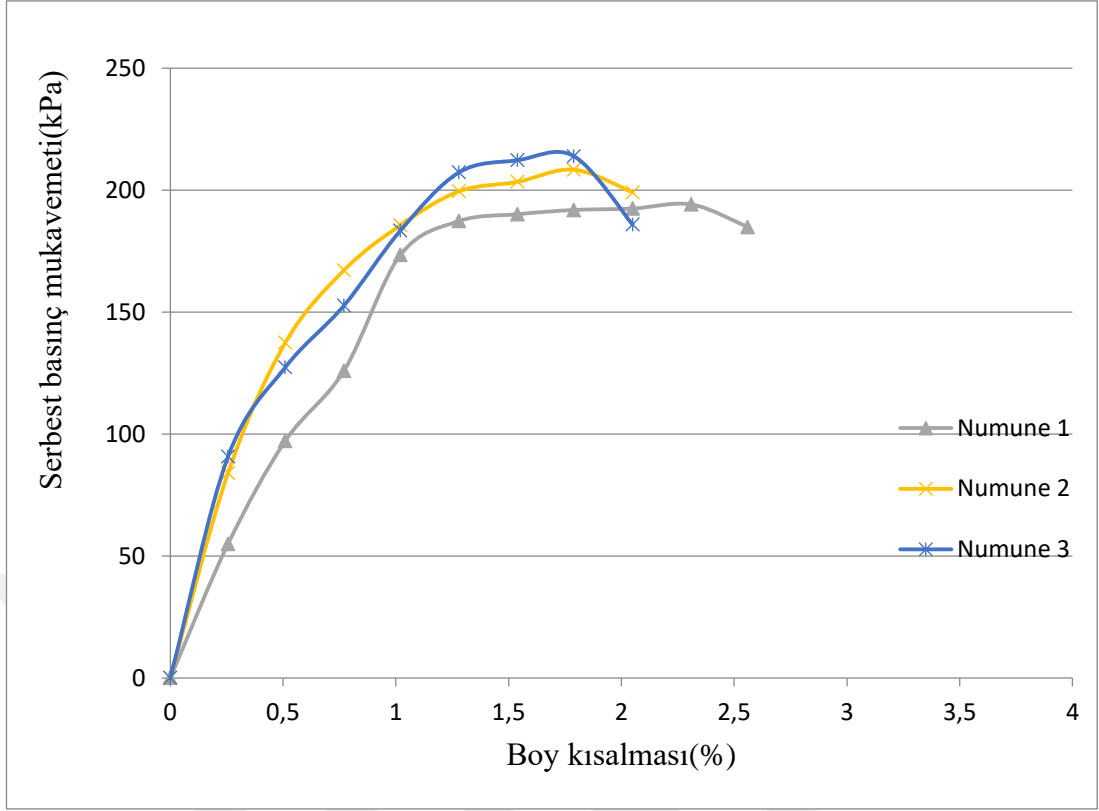


Şekil 4.19. %3 çimento katkılı zemin dayanımlarının ortalamaları

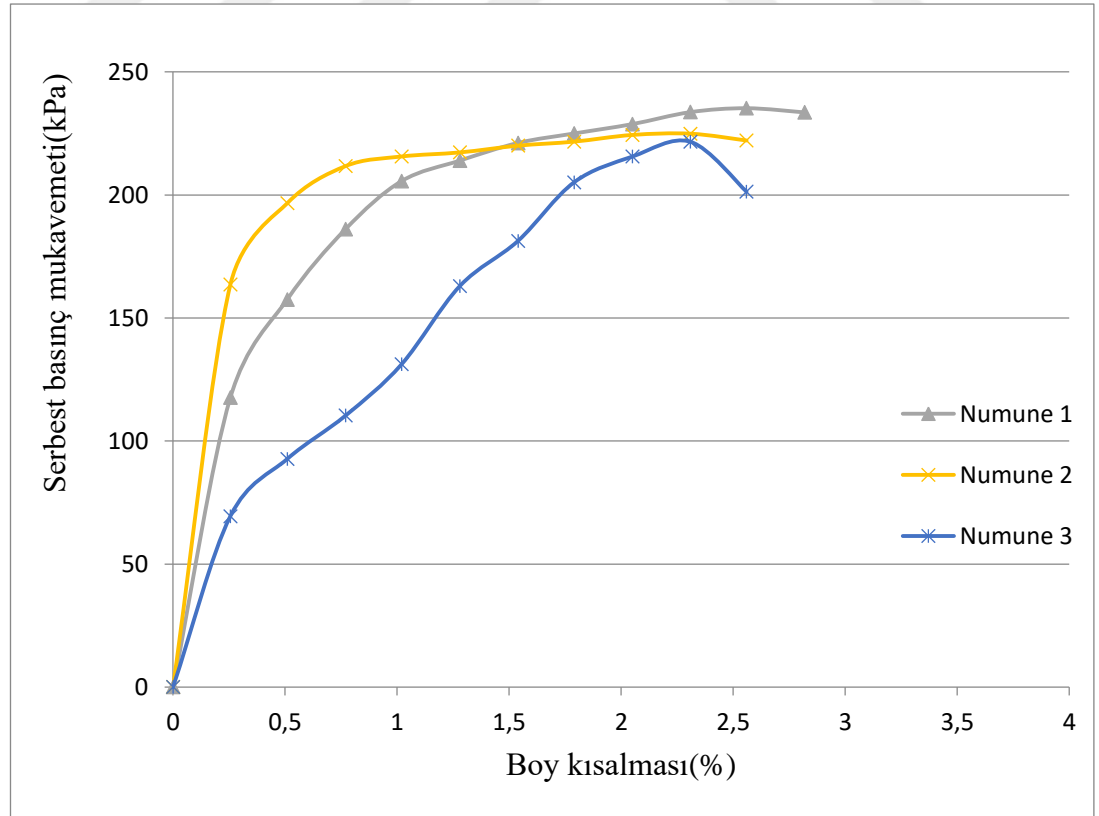
Bu deney sonucunda da %19,5 su muhtevası kullanılarak hazırlanan %3 çimento katkılı zemin numunesinin yaklaşık %18 su muhtevasında hazırlanan saf kile göre, 28 gün sonunda mukavemet(dayanım) değerleri karşılaştırıldığında yaklaşık 2 kat arttığı yukarıdaki şekilde gösterilmiştir. Boy kısaltmalarında da azama olduğu gözlemlenmiştir.

4.8.1. %4 çimento katkılı zeminin serbest basınç grafiği

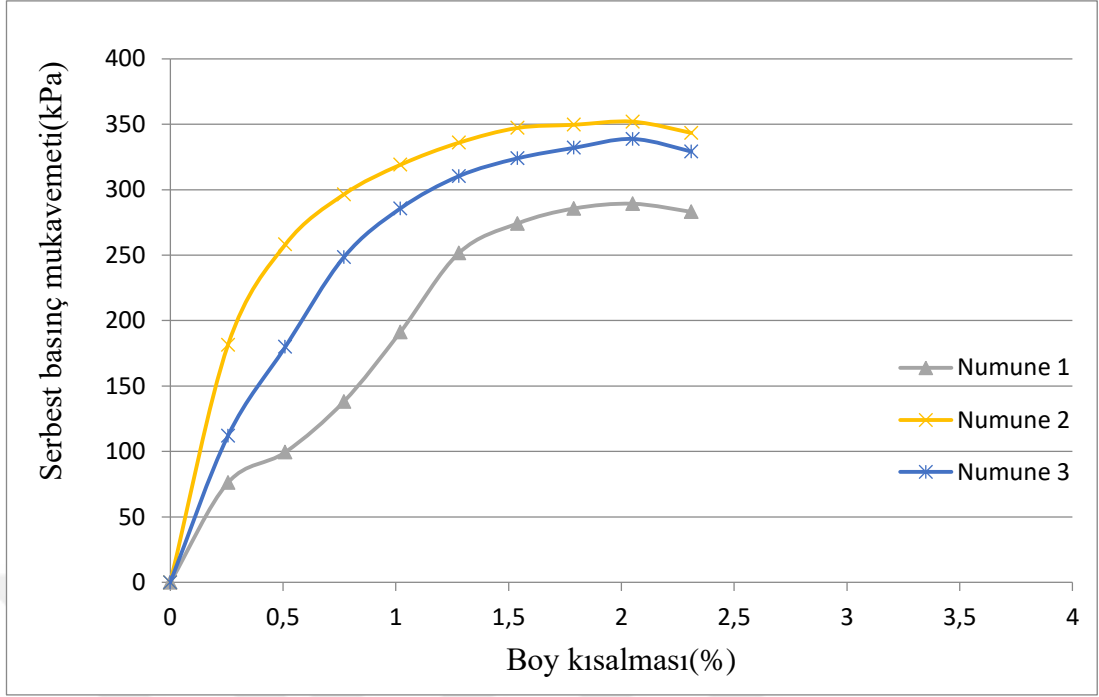
%4 çimento katkılı zemin deneyinde de kullanılacak malzeme 40 numaralı elekten geçirildikten sonra numuneler hazırlanmıştır. Elekten geçen malzemedan her kür süresi için yaklaşık 300 gr alınmıştır. Ayrıca deneyde her bir kür süresi için üçer numune hazırlanmıştır. Malzeme oranına göre %20,5 oranında su ve %4 oranında da çimento kullanılmıştır. Numuneler hazırlandıktan sonra serbest basınç deneyi gerçekleştirilmiştir. Deney sonrasında elde edilen veriler grafiklere yansıtılmıştır. Şekil 4.20' de anlık, Şekil 4.21' de 1 günlük, Şekil 4.22' de 7 günlük, Şekil 4.23' te 28 günlük deneylerin serbest basınç değerleri ayrıca kür sürelerinin mukavemet değerlerinin ortalaması da Şekil 4.19' da gösterilmiştir.



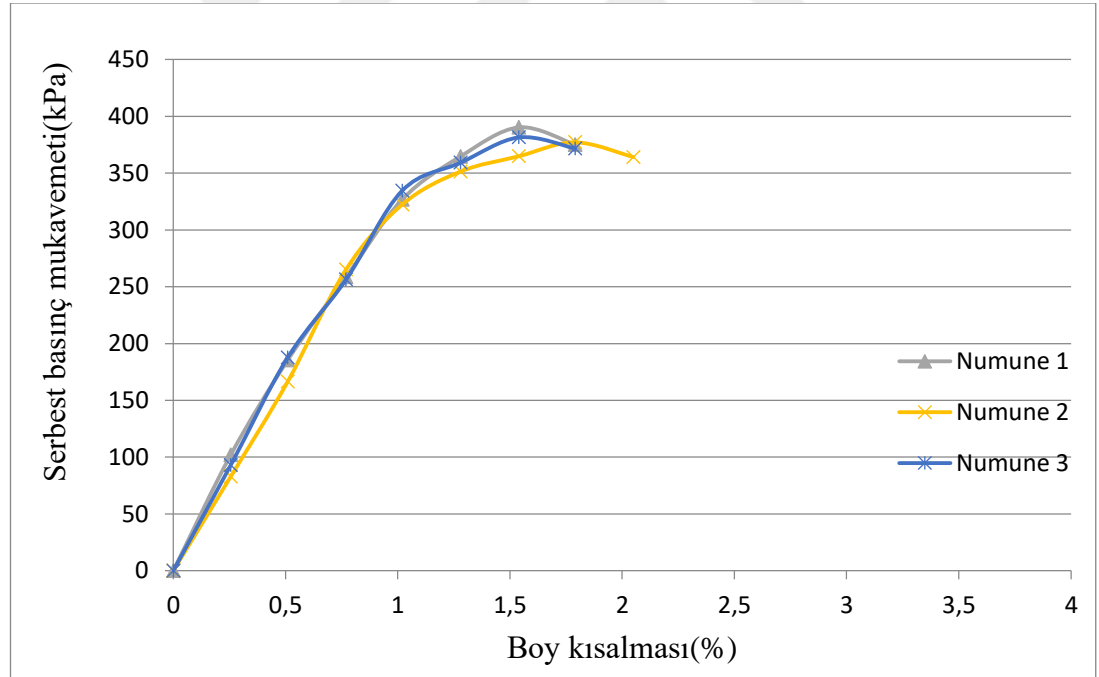
Şekil 4.20. %4 çimento katkılı zeminin anlık serbest basınç grafiği



Şekil 4.21. %4 çimento katkılı zeminin 1 günlük serbest basınç grafiği

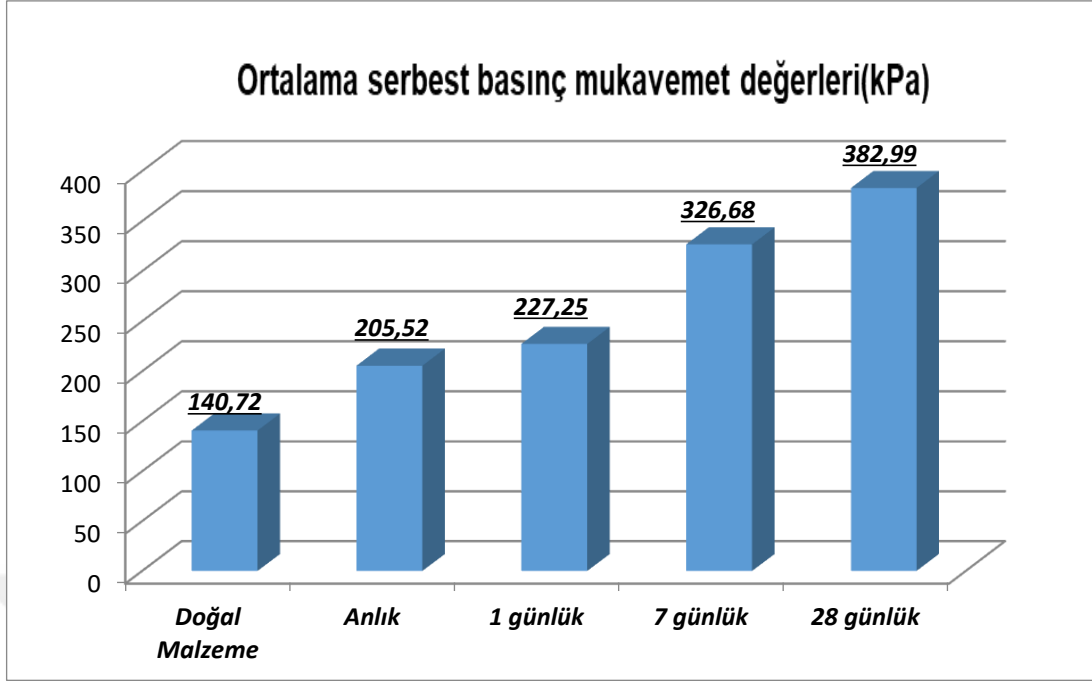


Şekil 4.22. %4 çimento katkılı zeminin 7 günlük serbest basınç grafiği



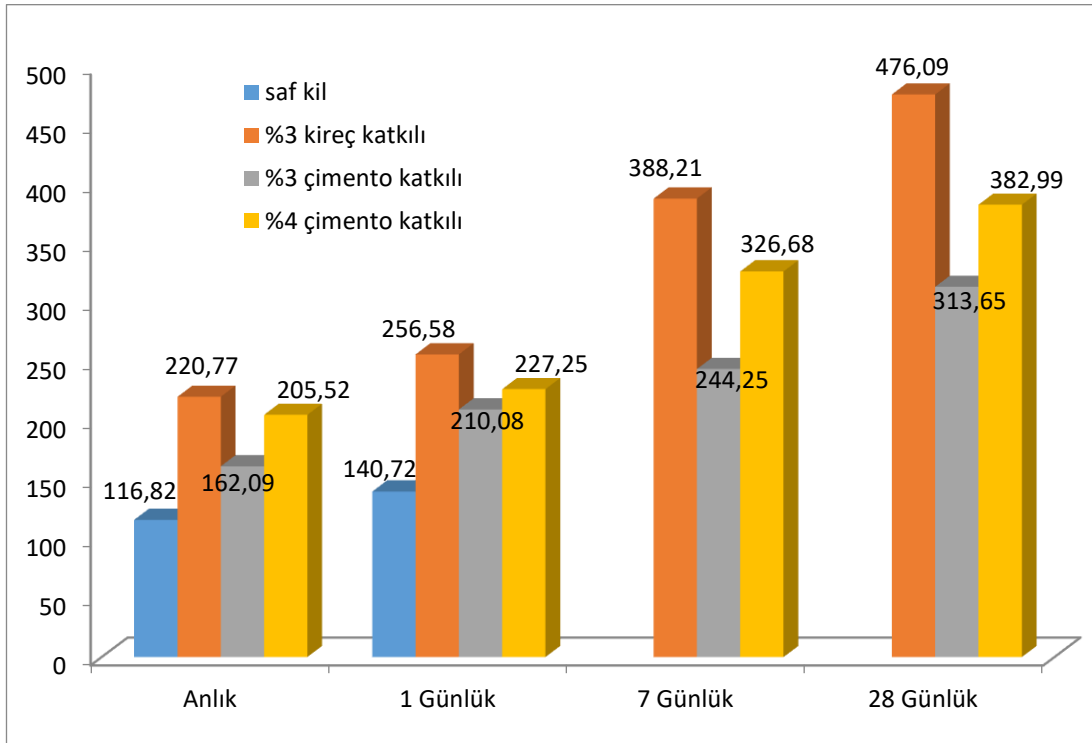
Şekil 4.23. %4 çimento katkılı zeminin 28 günlük serbest basınç grafiği

Bu deney sonucunda da %20,5 su muhtevası kullanılarak hazırlanan %4 çimento katkılı zemin numunesinin optimum su muhtevasında hazırlanan saf kile göre, 28 gün sonunda mukavemet(dayanım) değerleri karşılaştırıldığında yaklaşık 2,5 kat artış görülmüştür. Boy kısalmalarında da azama olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.24. %4 çimento katkılı zemin dayanımlarının ortalamaları

Katkılı ve katkısız bütün serbest basınç deneylerinin ortalamalarının kıyaslanması da Şekil 4.25’ te gösterilmiştir. %3 kireç, %3 çimento ve %4 çimento katkılılarının zamana göre zemin mukavemetine etkisi kıyaslanmıştır.

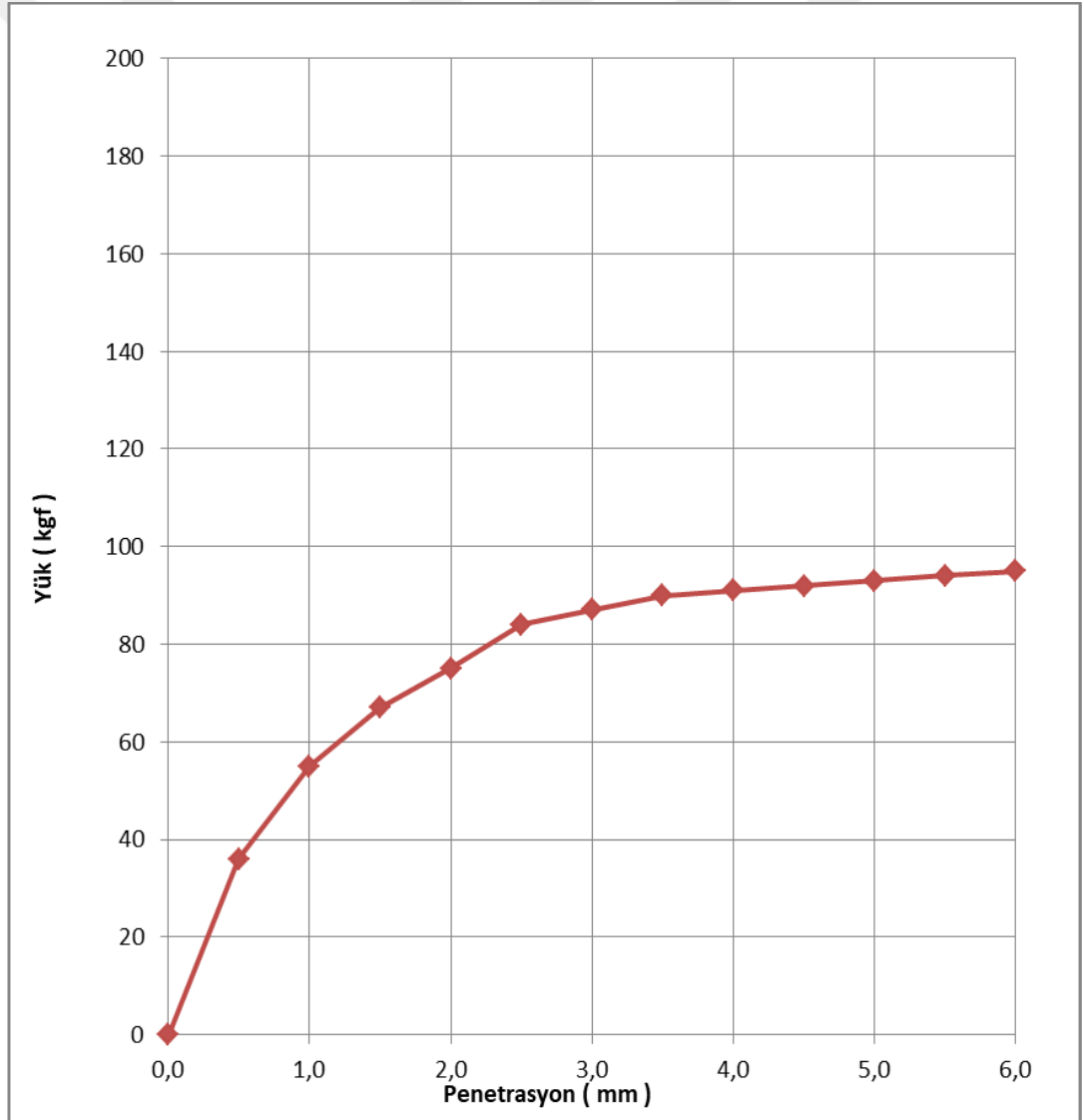


Şekil 4.25. Katkılı ve katkısız bütün deneylerin mukavemet değerleri

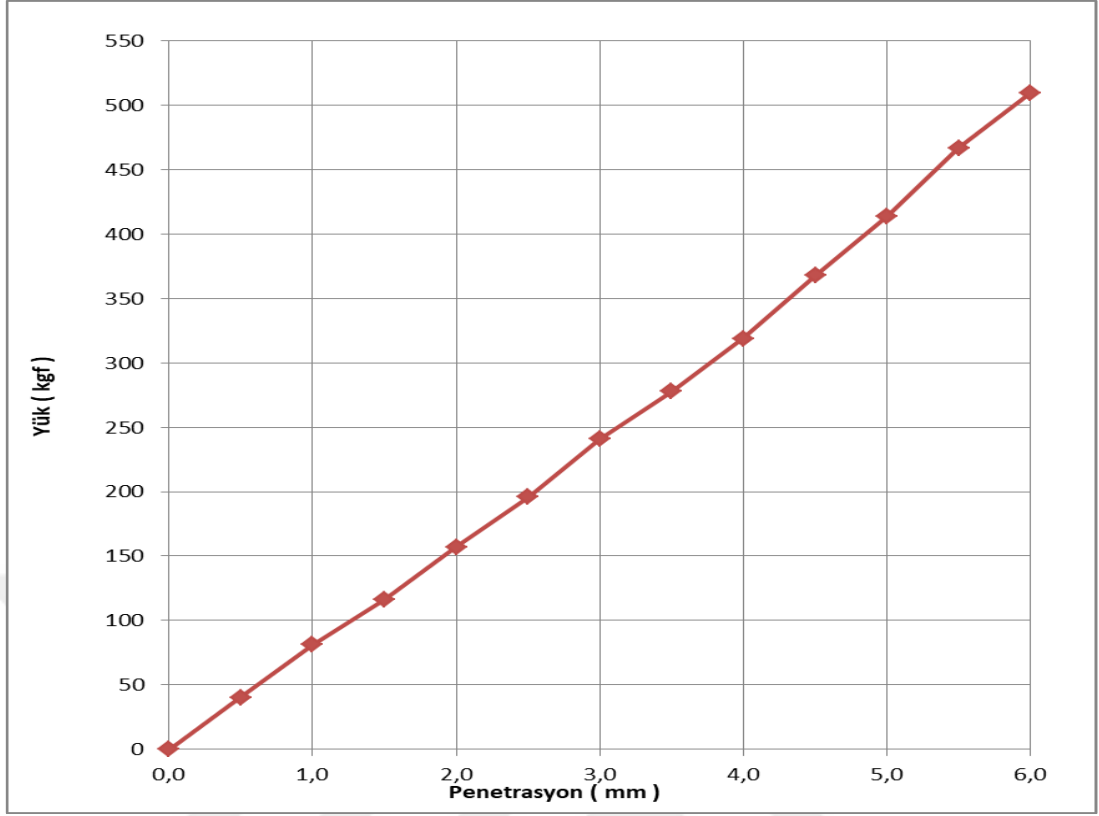
4.9. CBR Deneyi

CBR deneyi, serbest basınç deneyinde olduğu gibi mukavemet değerlerine bakılacağından bir nevi tek eksenli basınç deneyini doğrulamak için yapılmıştır. Deney doğal kil, %3 kireç katkılı ve %4 çimento katkılı numunelere uygulanmıştır.

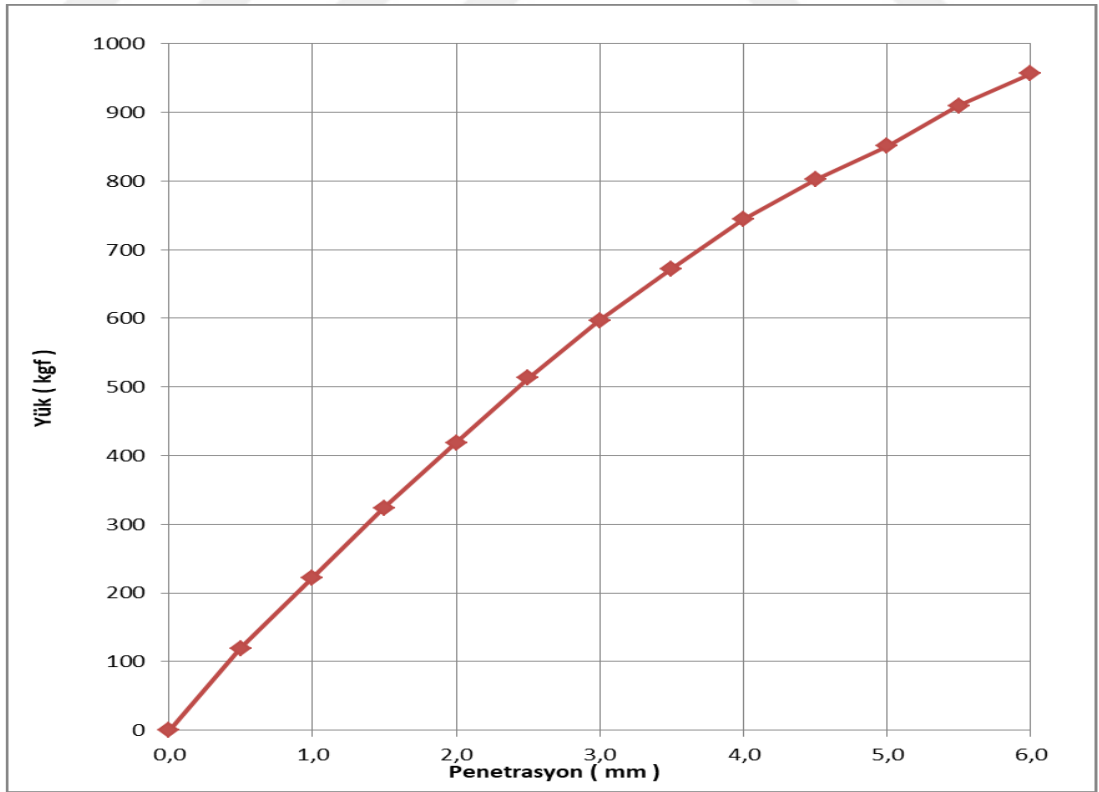
Deney 5 tabakalı olacak eşitlikte 61 vuruşa ayarlı şekilde gerçekleştirilmiştir. Deneyin sonunda alt ve üst olacak şekilde iki taraftan da her 0,5 mm' de bir okuma yapılmıştır. Yaş CBR deneyinin doğal malzeme ile yapılanının sonuçları Şekil 4.26' da, %3 kireç katkılı zeminin bir tabakası Şekil 4.27' de ve diğer bir tabakası Şekil 4.28' te gösterilmiştir.



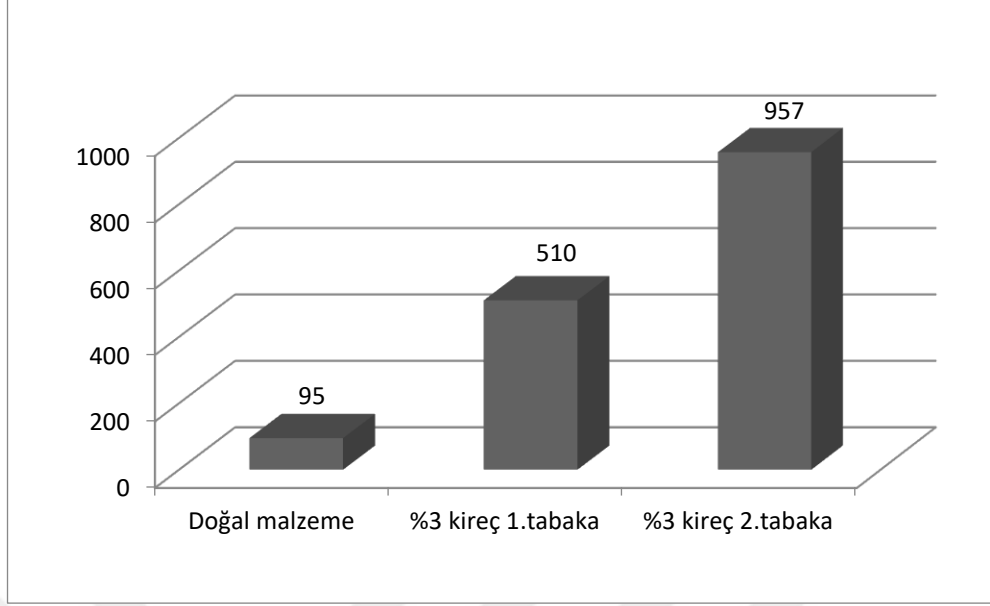
Şekil 4.26. Doğal zeminin CBR deneyi



Şekil 4.27. %3 kireçli zeminin birinci tabaka CBR deneyi



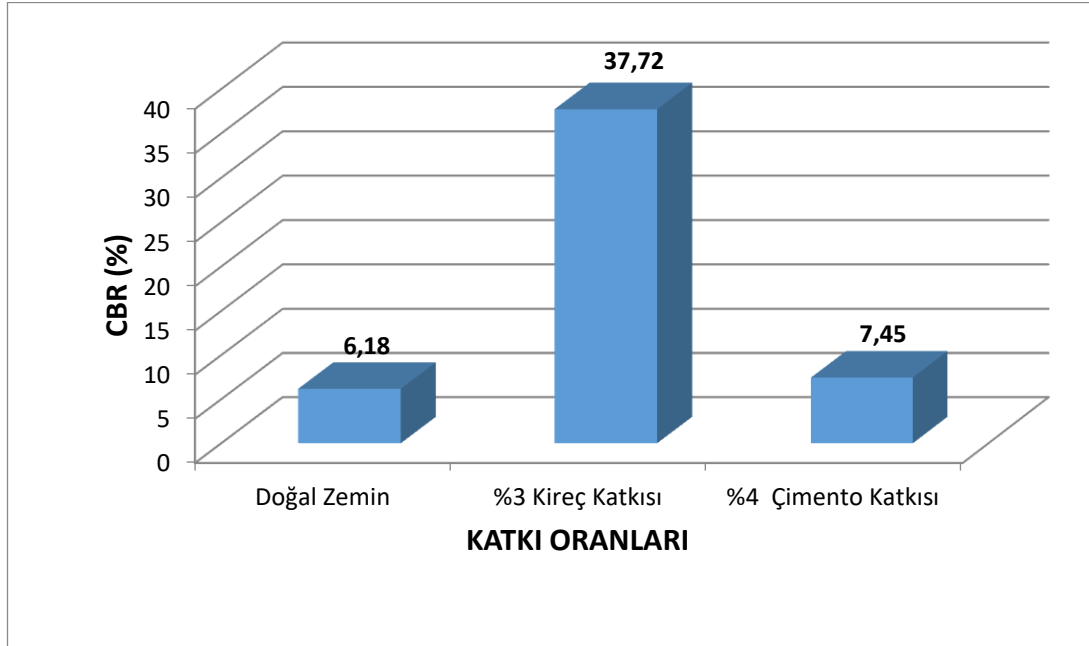
Şekil 4.28. %3 kireçli zeminin ikinci tabaka CBR deneyi



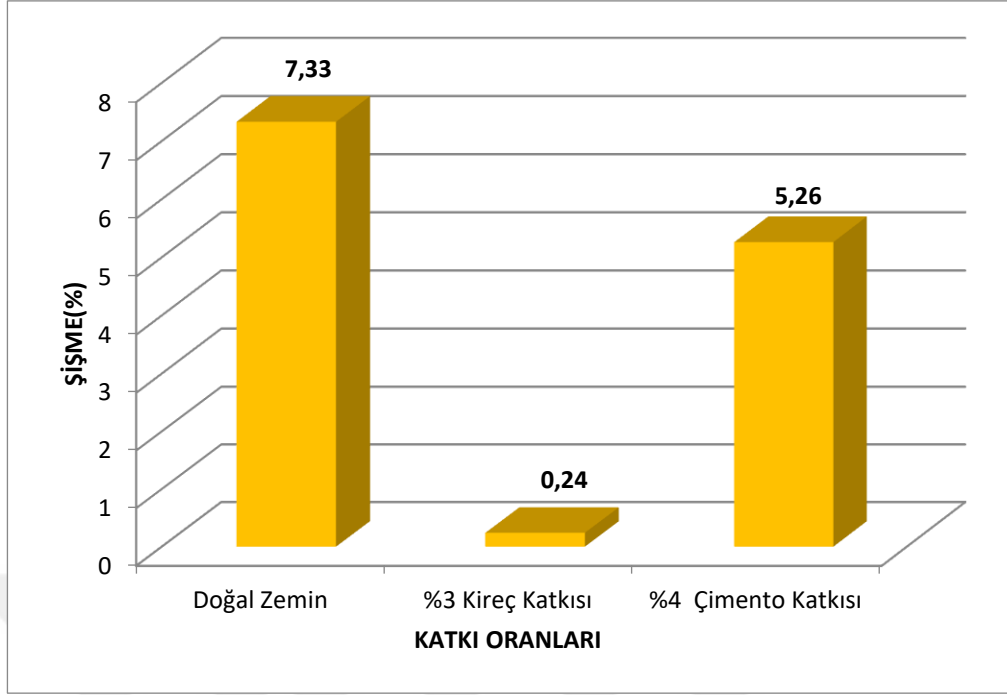
Şekil 4.29. CBR deneyi yükleme sonuçları (kgf)

Doğal killi zemin için yaş CBR değeri 6,18 iken %3 kireç malzemesinin ilavesiyle bu değer 37,72'ye yükselmiştir. Doğal malzeminin mukavemet değerinde 10 kat artış gözlemlenmiştir.

Şekil 4.30' da CBR deneyin yaş değerleri sonuçları gösterilmiştir. Şekil 4.31' de ise deneyin şişme eğrisi gösterilmiştir.



Şekil 4.30. Kireç oranına göre CBR değerleri (%)



Şekil 4.31. CBR deneyi şişme değerleri(%)

4.10. Plaka Yükleme Deneyi

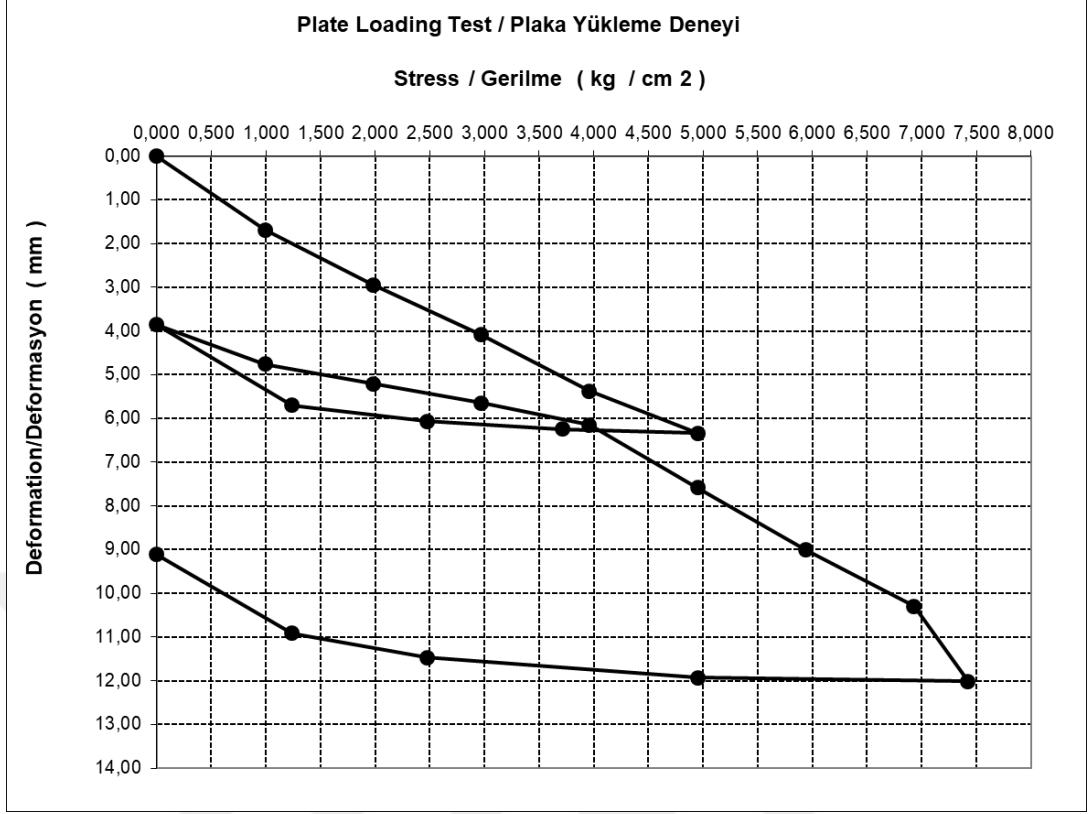
Zeminde taşıma gücünü kontrol etmek amacıyla yapılan arazi deneylerinden birisi de plaka yükleme deneyidir. Deneyde kullanılan plakaya uygulanan yüke bağlı olarak zeminde oluşabilecek göçmeler kontrol edilmiştir. Deneyin yapılışında 30 cm çapında ve 2,5 cm kalınlığında dairesel plaka kullanılmıştır. Deneysel çalışmada rijit plaka, oturmaları etkilememesi için düzgün bir şekilde yerleştirildikten sonra mesnetlenmiştir.

Deneyin uygulamasında deplasmanları ölçecek olan saat uygun şekilde konumlandırılmıştır. Deneye başlanır ve kademeli şekilde yükler plakaya uygulanmıştır. Daha sonra oturmalar sona erinceye kadar beklenmiştir. Deneyde gerilmeler istenilen seviyeye geldiğinde deney tamamlanmıştır.

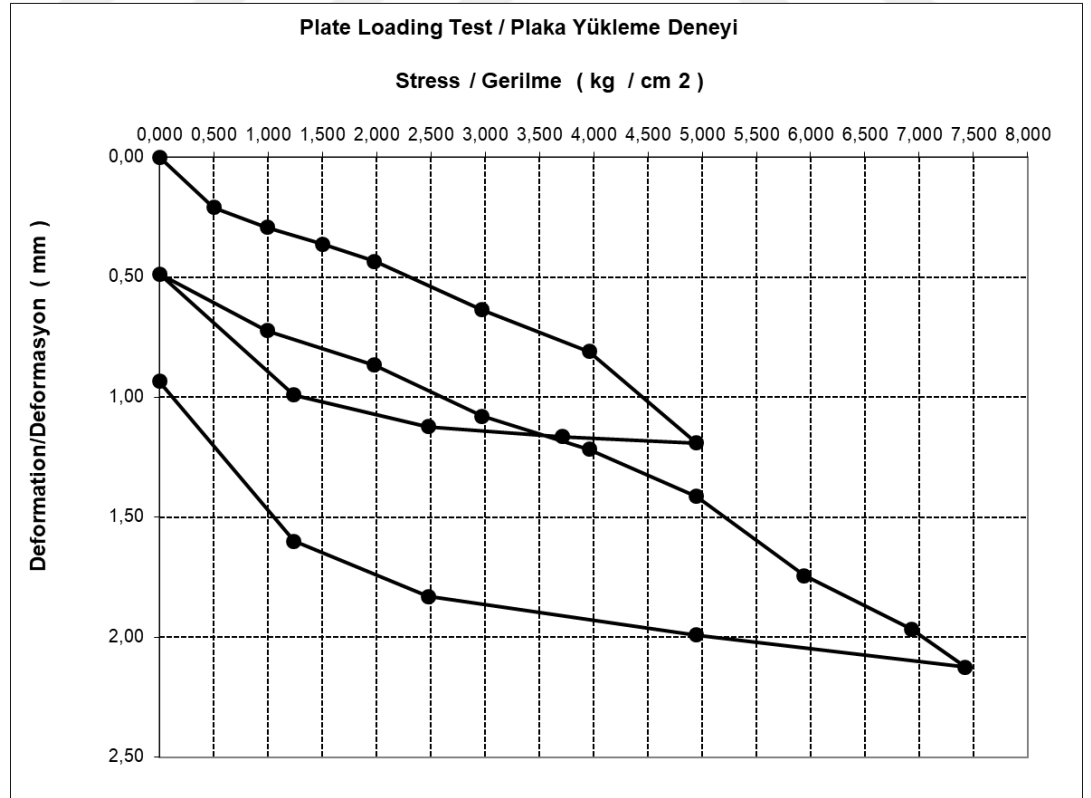
Plaka yükleme deneyinin sonuçları Tablo 4.9 ve Tablo 4.10'da verilmiştir. Şekil 4.32 ve Şekil 4.33'te plaka yükleme deneyine ait yük-oturma eğrileri verilmiştir. Zeminin sıklığı ve zemin tipi değişmesi plaka yükleme deneyinde sonuçların farklı olmasına neden olur. Bu durum plaka yükleme deneyinden elde edilen sonuçların zeminin özelliklerine bağlı olduğunu doğrulamaktadır.

Tablo 4.9. Plaka test yükleme sonuçları-1

Pressure Basınç (bar)	Force Corr. Kuvvet düz. (kg)	Dial Read. Defor. Oku. 1 (mm)	Dial Read. Defor. Oku. 2 (mm)	Dial Read. Defor. Oku. 3 (mm)	Dial Read. Defor. Oku. Avg. Ort.(mm)	Stress Gerilme (kg/cm ²)
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000
20	700	1,51	1,67	1,87	1,68	0,990
40	1400	2,84	2,92	3,06	2,94	1,980
60	2100	4,03	4,11	4,13	4,09	2,970
80	2800	5,36	5,38	5,37	5,37	3,960
100	3500	6,00	6,54	6,47	6,34	4,949
75	2625	5,92	6,44	6,36	6,24	3,712
50	1750	5,71	6,29	6,20	6,07	2,475
25	875	5,34	5,95	5,81	5,70	1,237
0	0	3,49	4,04	4,04	3,86	0,000
20	700	4,30	4,90	5,08	4,76	0,990
40	1400	4,75	5,33	5,53	5,20	1,980
60	2100	5,30	5,72	5,93	5,65	2,970
80	2800	5,84	6,20	6,40	6,15	3,960
100	3500	7,28	7,61	7,87	7,59	4,949
120	4200	9,00	8,63	9,40	9,01	5,939
140	4900	10,25	10,63	10,01	10,30	6,929
150	5250	11,98	12,00	12,06	12,01	7,424
100	3500	11,88	11,92	11,98	11,93	4,949
50	1750	11,30	11,50	11,60	11,47	2,475
25	875	10,85	10,92	10,97	10,91	1,237
0	0	9,02	9,11	9,20	9,11	0,000



Şekil 4.32. Plaka yükleme deneyi yük-oturma grafiği-1



Şekil 4.33. Plaka yükleme deneyi yük-oturma grafiği-2

Tablo 4.10. Plaka test yükleme sonuçları-2

Pressure Basınç (bar)	Force Corr. Kuvvet düz. (kg)	Dial Read. Defor. Oku. 1 (mm)	Dial Read. Defor. Oku. 2 (mm)	Dial Read. Defor. Oku. 3 (mm)	Dial Read. Defor. Oku. Avg. Ort.(mm)	Stress Gerilme (kg/cm ²)
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000
10	354	0,14	0,42	0,07	0,21	0,500
20	700	0,21	0,55	0,12	0,29	0,990
30	1061	0,28	0,63	0,18	0,36	1,500
40	1400	0,33	0,75	0,22	0,43	1,980
60	2100	0,50	1,03	0,38	0,64	2,970
80	2800	0,70	1,23	0,50	0,81	3,960
100	3500	1,18	1,62	0,77	1,19	4,949
75	2625	1,16	1,60	0,73	1,16	3,712
50	1750	1,12	1,56	0,69	1,12	2,475
25	875	1,00	1,41	0,56	0,99	1,237
0	0	0,52	0,67	0,27	0,49	0,000
20	700	0,60	1,04	0,53	0,72	0,990
40	1400	0,72	1,20	0,68	0,87	1,980
60	2100	0,92	1,40	0,92	1,08	2,970
80	2800	1,06	1,56	1,03	1,22	3,960
100	3500	1,20	1,78	1,26	1,41	4,949
120	4200	1,44	2,11	1,68	1,74	5,939
140	4900	1,62	2,33	1,95	1,97	6,929
150	5250	1,85	2,47	2,05	2,12	7,424
100	3500	1,78	2,26	1,93	1,99	4,949
50	1750	1,64	2,08	1,77	1,83	2,475
25	875	1,40	1,85	1,55	1,60	1,237
0	0	0,70	1,20	0,90	0,93	0,000

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu deneysel çalışmaları kapsamında, killi bir zemine aynı ve farklı oranlarda kireç ve çimento katkı malzemesi kullanılarak zemindeki stabilizasyon durumu araştırılmıştır. Yaş CBR deneyi ve plaka yükleme deneyleri arazide, diğer deneyler ise laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiştir. Ayrıca sönmüş kirecin ve portland çimentosunun kullanılan zemine dayanım ve taşıma gücü açısından etkileri gözlemlenmiştir. ve mühendislik özelliklerindeki değişimler incelenmiştir.

- ASHTO zemin sınıflandırmasına göre sınıfının A-7-6 ve zemin sınıfını yüksek kil olarak belirlenen zeminin katkı malzemesi kullanarak yapılan Atterberg deneyleri sonucunda, doğal zemine göre plastik limitte artma, likit limit ve plastisite indisinde ise azalma gözlemlenmiştir.
- Katkılı zeminlerde katkısız zeminlere göre su muhtevasında artış görülmüştür ayrıca kuru birim hacim ağırlıkta azalma görülmüştür.
- Katkılı zeminlerde kür sürelerine bağlı olarak doğal zemine göre mukavemet değerleri artmıştır ve yük artışına bağlı olarak zamanla deformasyonlar azalmıştır. Kireç ve çimento katkılıların serbest basınçlarında doğal malzemeye göre en iyi mukavemet artışı %3 oranındaki kireçli numunelerde görülmüştür. Dayanım açısından en iyi oranın %3 kireç katkılı olduğunu söyleyebiliriz.
- Doğal malzemenin kıvam limitleri değerleri ve dane boyut analizlerine göre yüksek plastisite özelliğine sahip bir kil malzemesi olduğu ve herhangi bir inşaat temel altyapısı olarak kullanılamayacağı ve zeminin iyileştirilmesi gerektiği kanaatine varılmıştır.
- Arazi ve laboratuvar çalışmaları neticesinde kullanılan zeminin %3 kireç katkı malzemesinin ilavesiyle gerçekleştirilen stabilizasyon sonucunda inşaat sahası için kullanılabilir bir hale gelebileceği gözlemlenmiştir.
- Doğal zemin, yüksek plastisiteli ve yüksek su muhtevasına sahip olduğundan şişme potansiyeli yüksek bir malzeme olduğu görülmüştür. Ancak kireç katkı malzemesinin ilavesiyle şişme potansiyelin düştüğü gözlemlenmiştir.

- Özellikle serbest basınç ve CBR sonuçlarına bakıldığında killi zeminlerin iyileştirilmesinde kireç katkı malzemesinin kullanımı çimentoya göre daha ekonomik olduğu görülmektedir. İyileştirmede kullanılan kireç ve çimentonun optimum oranlarına bakıldığında kireç oranlarının daha düşük olduğu görülmektedir. Bu durum da, kirecin çimentoya göre kullanılmasının daha ekonomik olduğunu göstermektedir.
- Ayrıca petrol ürünlerinin pahalı olduğu ülkelerde inşaat imalat kalemlerinde nakliye masrafları ekonomik açıdan büyük önem arz ettiğinden; mekanik iyileştirmelerde yapılan zayıf zeminin kaldırılması, inşaat sahasından uzaklaştırılması, taş ocağından dolgu malzemesinin inşaat sahasına getirilmesi ve mekanik malzemenin serilmesi gibi bir çok işlem yerinde kireç katkısı ile yapılan iyileştirmelerde yapılmayacağı için inşaat masrafları açısından ciddi bir ekonomik avantaj sağlayacağı ve yerinde yapılan iyileştirmelerde daha az makine kullanıldığı için düşük seviyede yakıt tüketimi olacağı ve bu sebepten çevrenin daha az kirleneceği kanaatine varılmıştır.
- Laboratuvar ortamında serbest basınç deneyleri sonucunda her ne kadar uzun sürelerde sönmüş kireç sönmemiş kirece göre daha iyi mukavemet değerleri vermiş olsa da su muhtevası yüksek arazi şartlarında sönmemiş kirecin söndürme özelliğinden dolayı daha etkili olacağı kanaatine varılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Bozkurt E., Arazide Yüksek Su Muhtevası İçeren Bir Kilin Kireç İle Stabilizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2020, 629836.
- [2] Kızılçelik M.M., Yüksek Plastisiteli Kilin Kireç İle Stabilizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2010, 275771.
- [3] Yıldız Y., Killi Bir Zeminin Çimento ile Stabilizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2020, 629835.
- [4] Kızılçelik M.M., Yüksek Plastisiteli Kilin Kireç İle Stabilizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2010, 275771.
- [5] Tüylüce F., deniz Killerinin Kireç Stabilizasyonu İle İyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2010, 275774.
- [6] Scheffer F., Schachtschabel P., “Lehrbuch der Bodenkunde”, SSSAJ, 1970.
- [7] <http://tr.wikipedia.org/wiki/Kil>, (Ziyaret tarihi: 02 Ocak 2021).
- [8] Kamal A.N., Kireç ve Uçucu Kül İle Stabilize Edilmiş Killerin Yol Üstyapı Malzemesi Olarak Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2012, 325610.
- [9] <https://www.thbb.org/teknik-bilgiler/cimento/>, (Ziyaret tarihi: 25 Ocak 2021)
- [10] Kalıpcılar Ğ., Çimento Ğle Stabilize Edilen Killi Zeminin Sodyum Ve Magnezyum Sülfatlı Çözeltiler Etkisinde Davranışı, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2015, 405310.
- [11] Tumluer G., Çimento Katkılı Kumlu Zeminlerin Mukavemeti, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2006, 6001.
- [12] Öntürk K., Zemin İyileştirmesinde Polisaj, Kireç ve Uçucu Külün Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2011,287312.

- [13] Şengül E., Yüksek Su Muhtevalı Killi Yol Taban Zemininin Kireç Stabilizasyonu Ve Hücresel Dolgu Sistemiyle İyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2010, 270694.
- [14] Küçükali Ö., Kireç Ve Jipsin, Üst Pliyosen Yaşlı Yüksek Plastisiteli Killerin (Ankara) Şişme Ve Dayanım Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2011, 299630.
- [15] Özaydın K., *Zemin Mekaniği*, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2000.
- [16] Aytekin M., *Deneysel Zemin Mekaniği*, Teknik Yayınevi, Ankara, 2004.
- [17] Çakılcıoğlu İ., Yüksek Plastisiteli Killerin Stabilizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2007, 216270.
- [18] Çetin A.Y., Yüksek Plastisiteli Kil Zeminlerinin Alternatif Malzemeler İle Yüzeysel Zemin Stabilizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2011, 295471.
- [19] Dinçer, E., Belirgen, M. M., 1991. İnce Daneli Bir Zeminin Kireç Stabilizasyonu, Anadolu Üniversitesi V. Ulusal Kil Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, s. 280-291.
- [20] Kavak A., The Behavior of Lime Stabilized Clays Under Cyclic Loading, Doktora Tezi, Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1996, 50492.
- [21] Yıldız, M., Soğancı, A. S., Demiröz, A., Albayrak, V., 2004. Tekrarlı Donma ve Çözülmenin Kireç ile Stabilize Edilmiş Kil Zeminlerin Mukavemet ve Permeabilitesine Etkisi. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onuncu Ulusal Kongresi, s. 2-3.)
- [22] Kavak, A., Güngör, A. G., Avşar, C., Yönter, G., Tokgöz, M., Akyarlı, A., 2009. Kil Oranı Yüksek Bir Dolgu Malzemesinin Kireç ile Stabilizasyonu. 14. Ulusal Kil Sempozyumu, KTÜ, Trabzon, Türkiye..
- [23] Ayan E., Kavak A., Kut Ü., Kilin Kireç Ve Çimento İle Stabilizasyonu, Uluslararası Marmara Fen Bilimleri Kongresi, Kocaeli, Türkiye, 4-5 Aralık
- [24] Ingles O.G., Metcalf J.B., "Soil stabilization: principles and practice", *Ejge*, 1972.
- [25] Bağrıaçık B., Ulaşım Yapıları Temel/Alt Temel Zeminlerinin Kireçle Stabilizasyonu, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 2017, **32**(1), 39-47.
- [26] Yıldırım S., *Zemin İncelemesi ve Temel Tasarımı*, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2002.



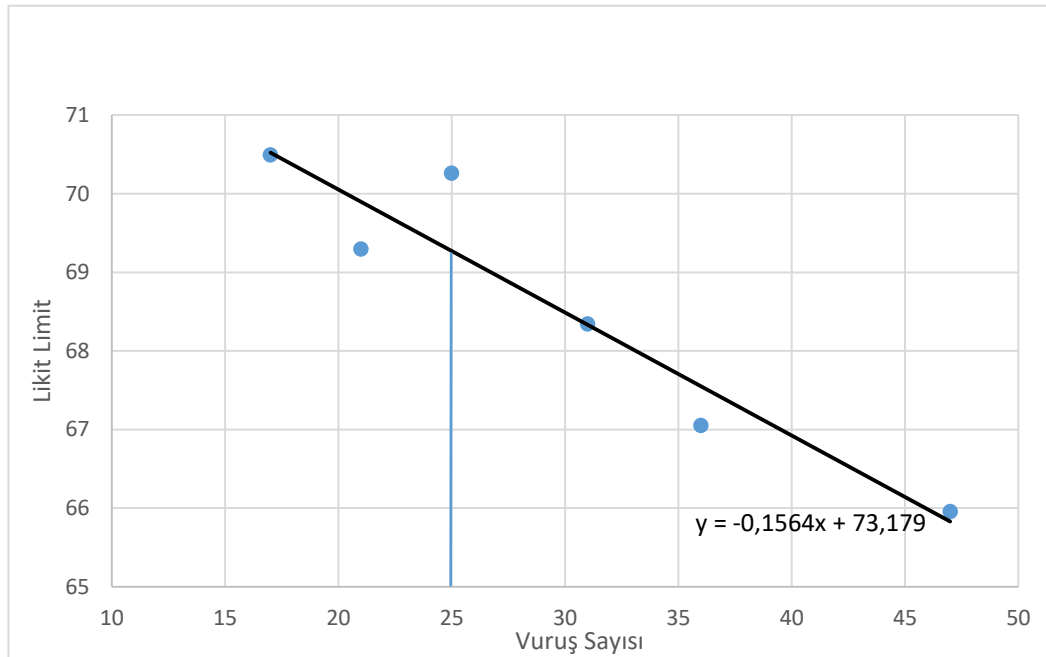
Ek-A Kıvam limitleri

Tablo A.1. %3 kireç katkılı zeminin likit limit değeri

Likit Limit								
Kap No	W_{kap}	Vuruş	$W_{yaş+kap}$	$W_{kuru+kap}$	W_{kuru}	$W_{yaş}$	W_w	W_L
1	37,33	17	50,85	45,26	7,93	13,52	5,59	70,49
1	36,63	25	49,74	44,33	7,70	13,11	5,41	70,26
1	34,64	21	49,25	43,27	8,63	14,61	5,98	69,29
1	34,13	36	48,63	42,81	8,68	14,50	5,82	67,05
1	35,11	47	52,22	45,42	10,31	17,11	6,80	65,96
1	35,00	31	50,74	44,35	9,35	15,74	6,39	68,34

Tablo A.2. %3 kireç katkılı zeminin plastik limit değeri

Plastik Limit							
Kap No	W_{kap}	$W_{yaş+kap}$	$W_{kuru+kap}$	W_{kuru}	$W_{yaş}$	W_w	W_p
98	34,55	39,79	38,10	3,55	5,24	1,69	47,61
138	34,20	39,44	37,77	3,57	5,24	1,67	46,78
228	34,85	40,64	38,74	3,89	5,79	1,90	48,84
						W_p	47,74



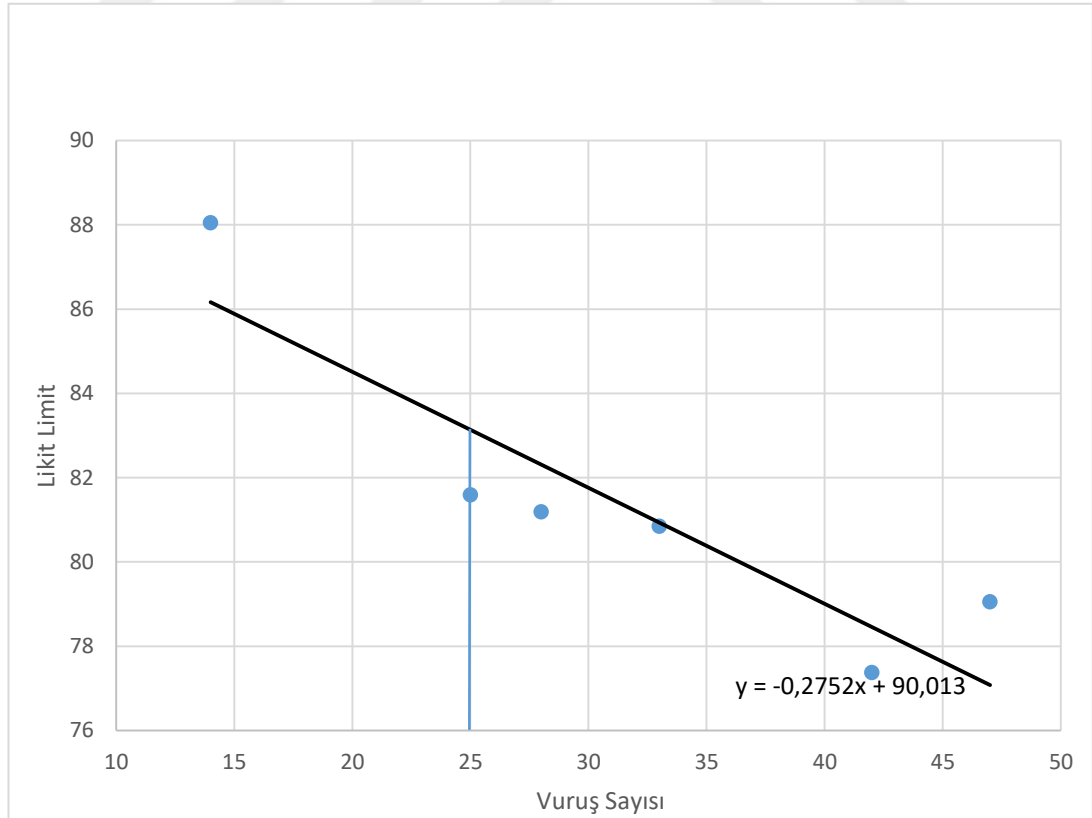
Şekil A.1. %3 kireç katkılı zeminin likit limit grafiği

Tablo A.3. %3 çimento katkılı zeminin likit limit değeri

Likit Limit								
Kap No	W_{kap}	Vuruş	$W_{yaş+kap}$	$W_{kuru+kap}$	W_{kuru}	$W_{yaş}$	W_w	W_L
1	34,13	42	49,49	42,79	8,66	15,36	6,70	77,37
1	34,87	47	50,34	43,51	8,64	15,47	6,83	79,05
1	34,96	25	51,23	43,92	8,96	16,27	7,31	81,58
1	35,46	28	50,48	43,75	8,29	15,02	6,73	81,18
1	33,65	33	50,45	42,94	9,29	16,80	7,51	80,84
1	34,19	14	48,82	41,97	7,78	14,63	6,85	88,05

Tablo A.4. %3 çimento katkılı zeminin plastik limit değeri

Plastik Limit							
Kap No	W_{kap}	$W_{yaş+kap}$	$W_{kuru+kap}$	W_{kuru}	$W_{yaş}$	W_w	W_p
98	35,02	39,84	38,40	3,38	4,82	1,44	42,60
138	33,66	37,74	36,52	2,86	4,08	1,22	42,66
228	34,20	39,71	38,05	3,85	5,51	1,66	43,12
						W_p	42,79



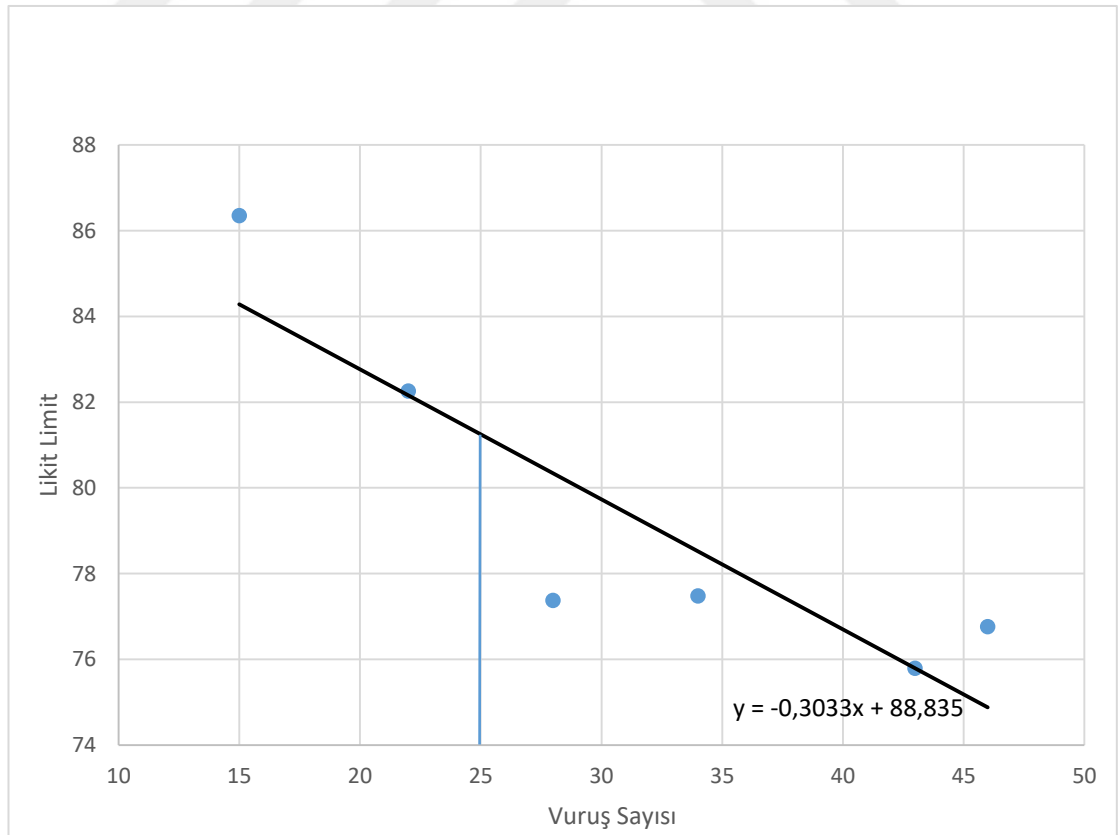
Şekil A.2. %3 çimento katkılı zeminin likit limit grafiği

Tablo A.5. %4 çimento katkılı zeminin likit limit değeri

Likit Limit								
Kap No	W_{kap}	Vuruş	$W_{yaş+kap}$	$W_{kuru+kap}$	W_{kuru}	$W_{yaş}$	W_w	W_L
1	34,34	43	47,19	41,65	7,31	12,85	5,54	75,79
1	33,37	28	47,79	41,50	8,13	14,42	6,29	77,37
1	35,82	46	48,14	42,79	6,97	12,32	5,35	76,76
1	34,31	34	49,20	42,70	8,39	14,89	6,50	77,47
1	34,38	22	49,89	42,89	8,51	15,51	7,00	82,26
1	33,96	15	48,70	41,87	7,91	14,74	6,83	86,35

Tablo A.6. %4 çimento katkılı zeminin plastik limit değeri

Plastik Limit								
Kap No	W_{kap}	$W_{yaş+kap}$	$W_{kuru+kap}$	W_{kuru}	$W_{yaş}$	W_w	W_p	
98	35,31	40,61	39,05	3,74	5,30	1,56	41,71	
138	33,75	38,42	37,05	3,30	4,67	1,37	41,52	
228	34,47	40,02	38,40	3,93	5,55	1,62	41,22	
							W_p	41,48

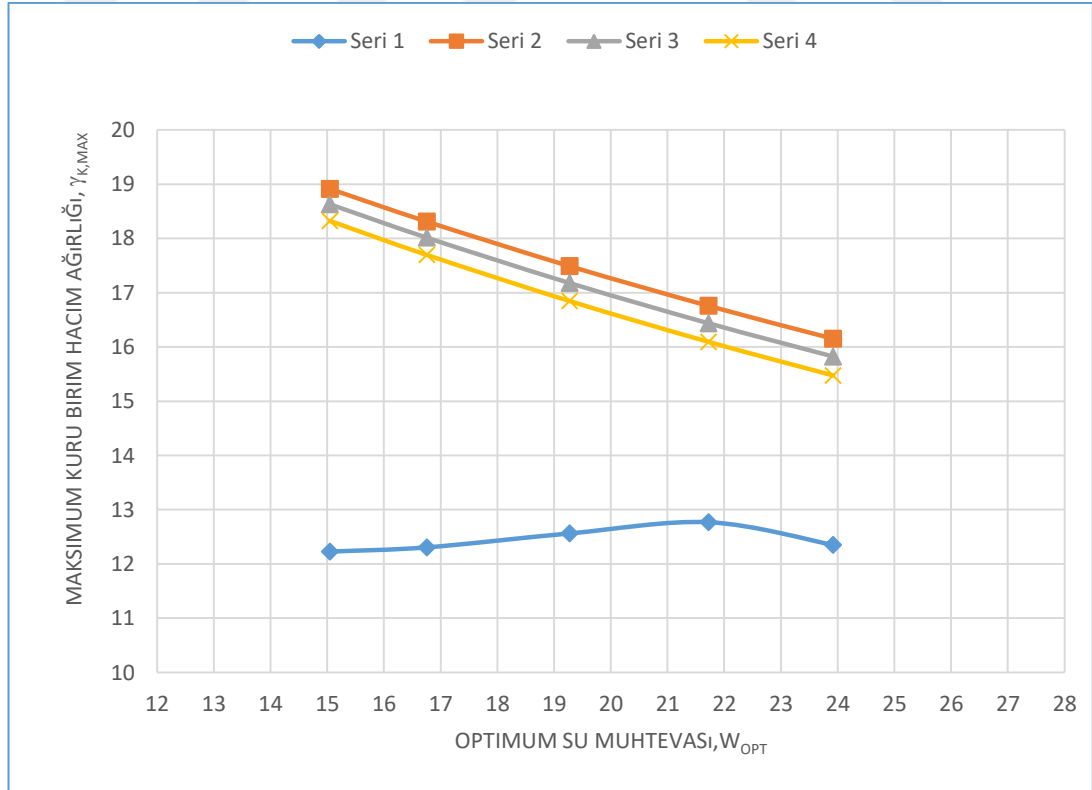


Şekil A.3. %4 çimento katkılı zeminin likit limit grafiği

Ek-B Kompaksiyon deneyleri

Tablo B.1. %3 kireç katkılı zeminin kompaksiyon deneyi

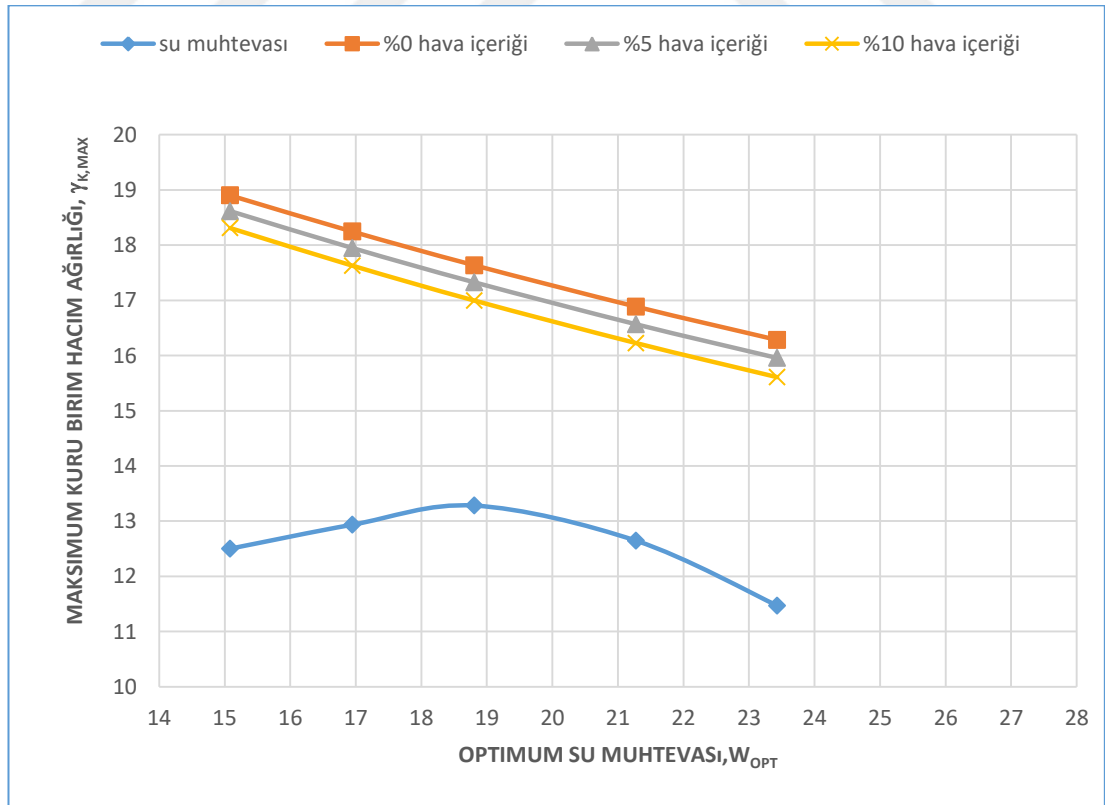
Deney No	1	2	3	4	5
Katılan Su Oranları (mL)	13	16	19	22	25
Kalıp Ağırlığı	473,81	473,81	473,81	473,81	473,81
Sıkıştırılmış Zemin + Kalıp Ağırlığı	570,98	574,55	578,03	581,33	579,11
Sıkıştırılmış Zemin	97,64	99,72	104	107,88	106,22
Islak birim hacim ağırlık (kN/m ³)	1,433942	1,464489	1,527345	1,584327	1,559948
Kap No	28	35	123	68	47
Kap Ağırlığı (gr)	35,8	35,88	34,89	34,28	34
Kap + Yaş Örnek Ağırlığı (gr)	69,82	77,48	75,36	69,13	70,73
Kap + Kuru Örnek Ağırlığı (gr)	65,37	71,51	68,82	62,91	63,64
Su Muhtevası (w)(%)	15,04904	16,75554	19,27498	21,72546	23,92038
Su Oranı (s)%	13,08054	14,35096	16,16012	17,84792	19,30302
Kuru Birim Hacim Ağırlığı (kN/m ³)	12,22694	12,30489	12,56195	12,76828	12,34913
Kap Hacmi	68,092	68,092	68,092	68,092	68,092
Su Muhtevası (w) (%)	15,04904	16,75554	19,27498	21,72546	23,92038
%0 Hava İçeriği	18,91344	18,31099	17,48855	16,75654	16,15101
%5 Hava İçeriği	18,62896	18,01446	17,17789	16,43553	15,82304



Şekil B.1. %3 kireç katkılı zeminin su muhtevası

Tablo B.2. %3 çimento katkılı zeminin kompaksiyon deneyi

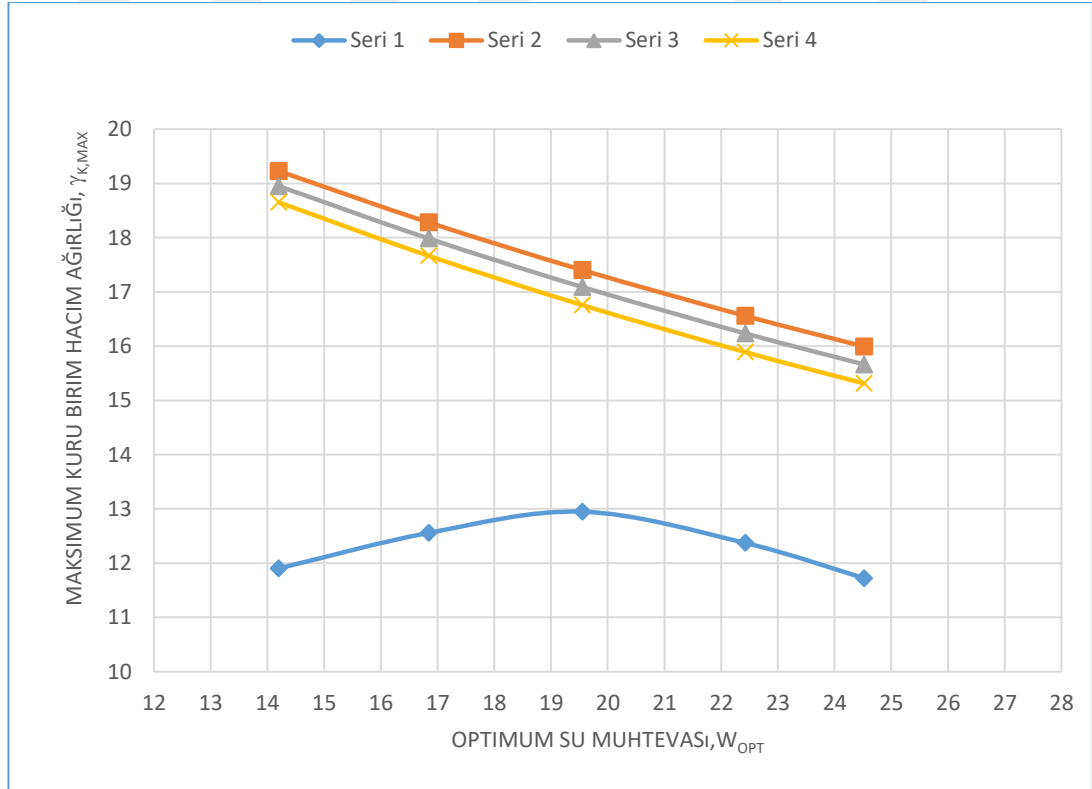
Deney No	1	2	3	4	5
Katılan Su Oranları (mL)	11	14	17	20	23
Kalıp Ağırlığı	473,81	473,81	473,81	473,81	473,81
Sıkıştırılmış Zemin + Kalıp Ağırlığı	574	579,12	583,97	578	571,51
Sıkıştırılmış Zemin	99,87	105	109,53	106,45	98,28
Islak birim hacim ağırlık (kN/m ³)	1,466692	1,542031	1,608559	1,563326	1,443341
Kap No	165	201	205	239	199
Kap Ağırlığı (gr)	34,55	34	34,11	36,89	34,18
Kap + Yaş Örnek Ağırlığı (gr)	71,78	70,92	70,62	73,71	72,69
Kap + Kuru Örnek Ağırlığı (gr)	66,9	65,57	64,84	67,25	65,38
Su Muhtevası (w)(%)	15,08501	16,94647	18,80898	21,278	23,42949
Su Oranı (s)%	13,10771	14,49079	15,83128	17,54481	18,98208
Kuru Birim Hacim Ağırlığı (kN/m ³)	12,50228	12,93526	13,28179	12,64552	11,47147
Kap Hacmi	68,092	68,092	68,092	68,092	68,092
Su Muhtevası (w) (%)	15,08501	16,94647	18,80898	21,278	23,42949
%0 Hava İçeriği	18,90033	18,24596	17,63506	16,8856	16,28261
%5 Hava İçeriği	18,61558	17,94822	17,32671	16,56626	15,95603
%10 Hava İçeriği	18,30908	17,62858	16,99651	16,22532	15,60819



Şekil B.2. %3 kireç katkılı zeminin su muhtevası

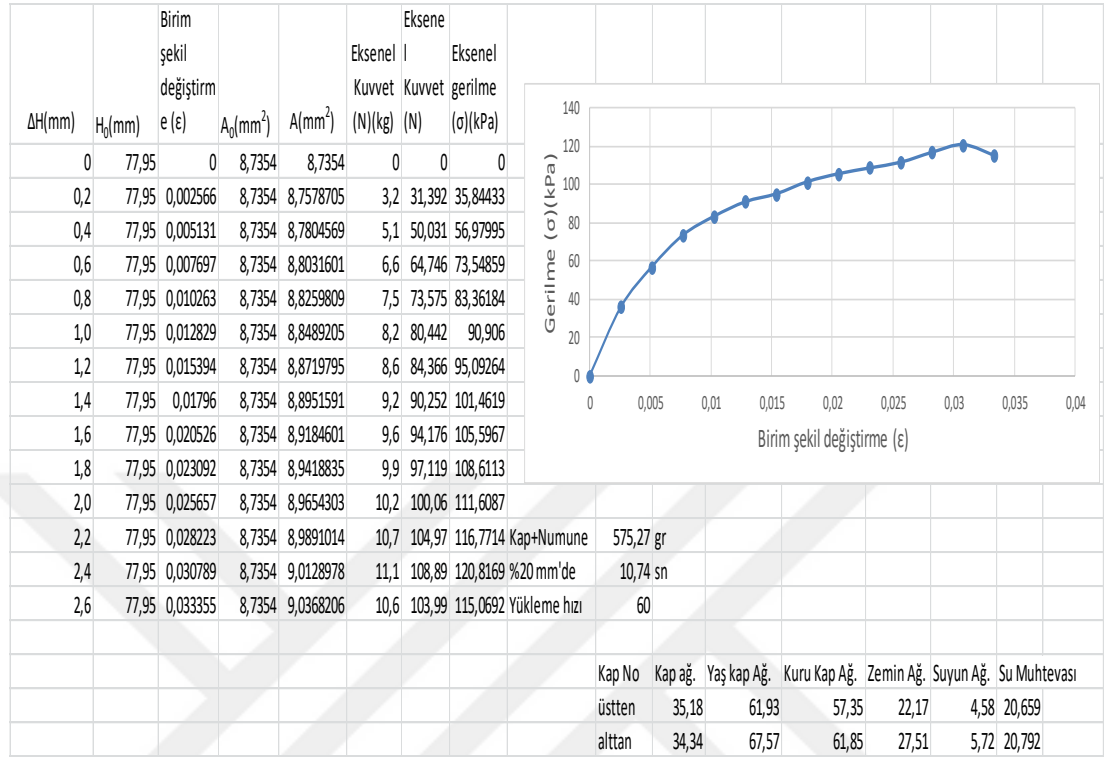
Tablo B.3. %4 çimento katkılı zeminin kompaksiyon deneyi

Deney No	1	2	3	4	5
Katılan Su Oranları (mL)	13	16	19	22	25
Kalıp Ağırlığı	473,81	473,81	473,81	473,81	473,81
Sıkıştırılmış Zemin + Kalıp Ağırlığı	568,49	572,26	575,97	575,58	573,07
Sıkıştırılmış Zemin	94,36	101,84	107,45	105,13	101,3
Islak birim hacim ağırlık (kN/m ³)	1,385772	1,495624	1,578012	1,543941	1,487693
Kap No	92	228	75	114	123
Kap Ağırlığı (gr)	34,91	34	34,12	34,65	36,82
Kap + Yaş Örnek Ağırlığı (gr)	71,42	73,75	70,56	71,5	76,63
Kap + Kuru Örnek Ağırlığı (gr)	66,88	68,02	64,6	64,75	68,79
Su Muhtevası (w)(%)	14,20081	16,84303	19,55381	22,42525	24,52299
Su Oranı (s)%	12,43495	14,41509	16,35565	18,3175	19,69354
Kuru Birim Hacim Ağırlığı (kN/m ³)	11,90397	12,55707	12,94839	12,37168	11,72014
Kap Hacmi	68,092	68,092	68,092	68,092	68,092
Su Muhtevası (w) (%)	14,20081	16,84303	19,55381	22,42525	24,52299
%0 Hava İçeriği	19,22788	18,28113	17,40205	16,55861	15,99235
%5 Hava İçeriği	18,95027	17,98404	17,09006	16,23517	15,66279
%10 Hava İçeriği	18,65106	17,66507	16,75625	15,8903	15,31219

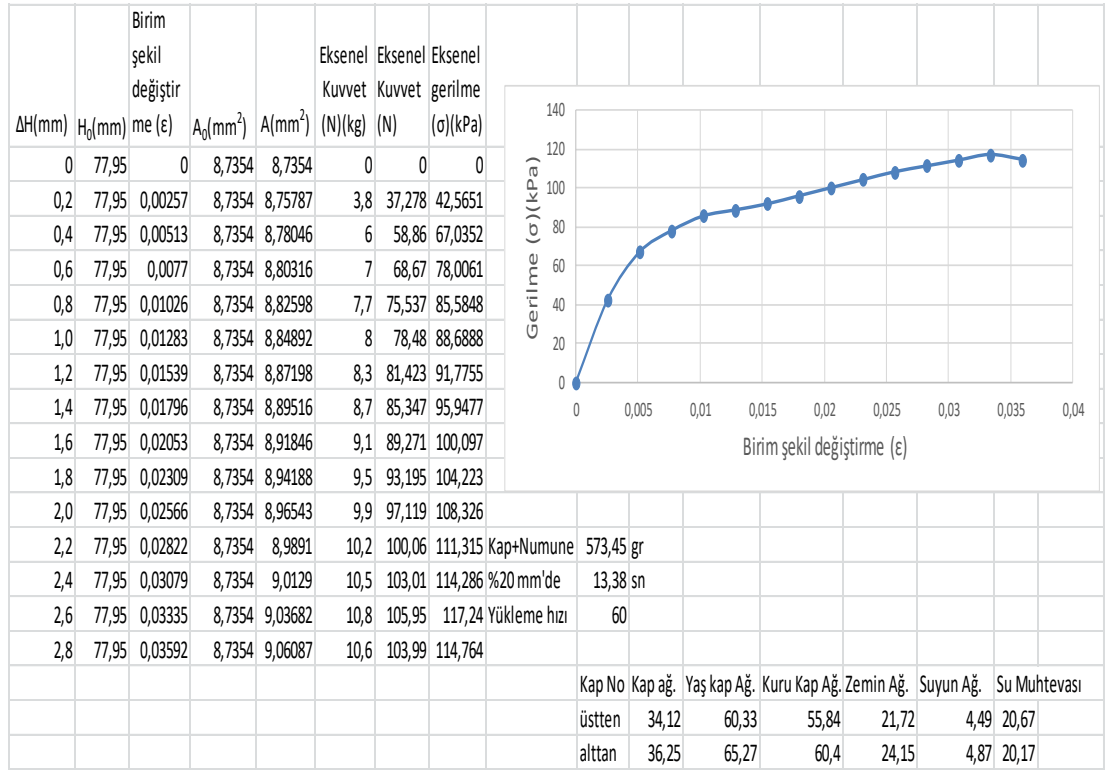


Şekil B.3. %4 çimento katkılı zeminin su muhtevası

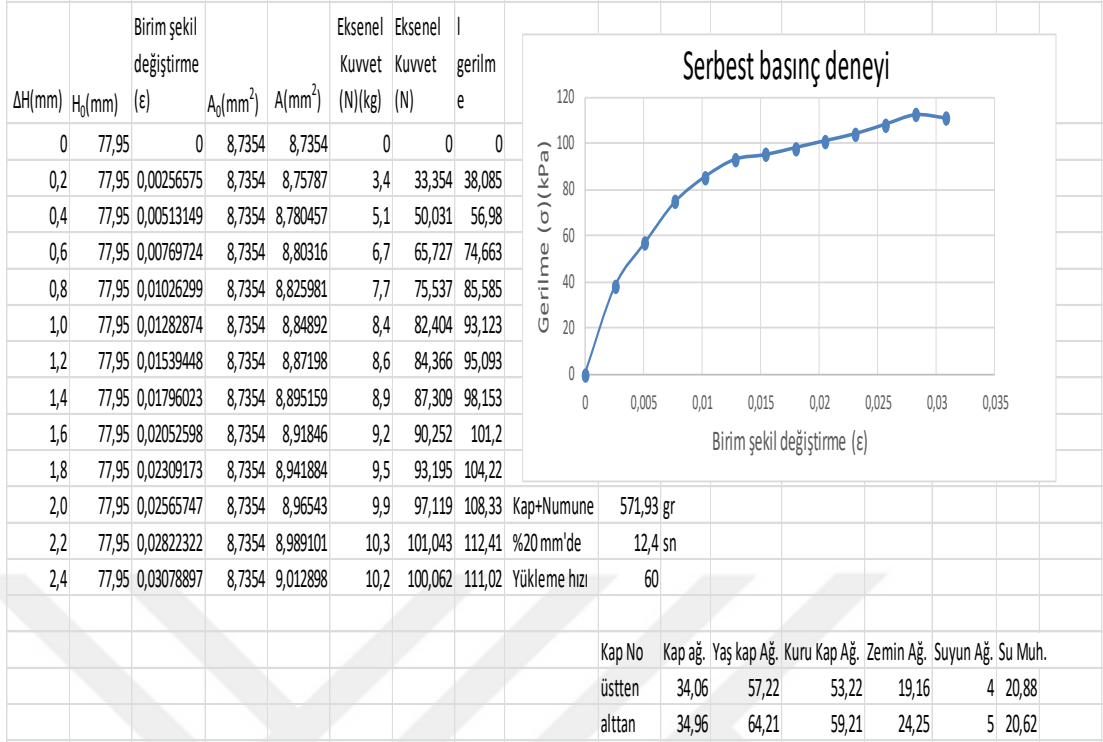
Ek-C Serbest basınç deneyi



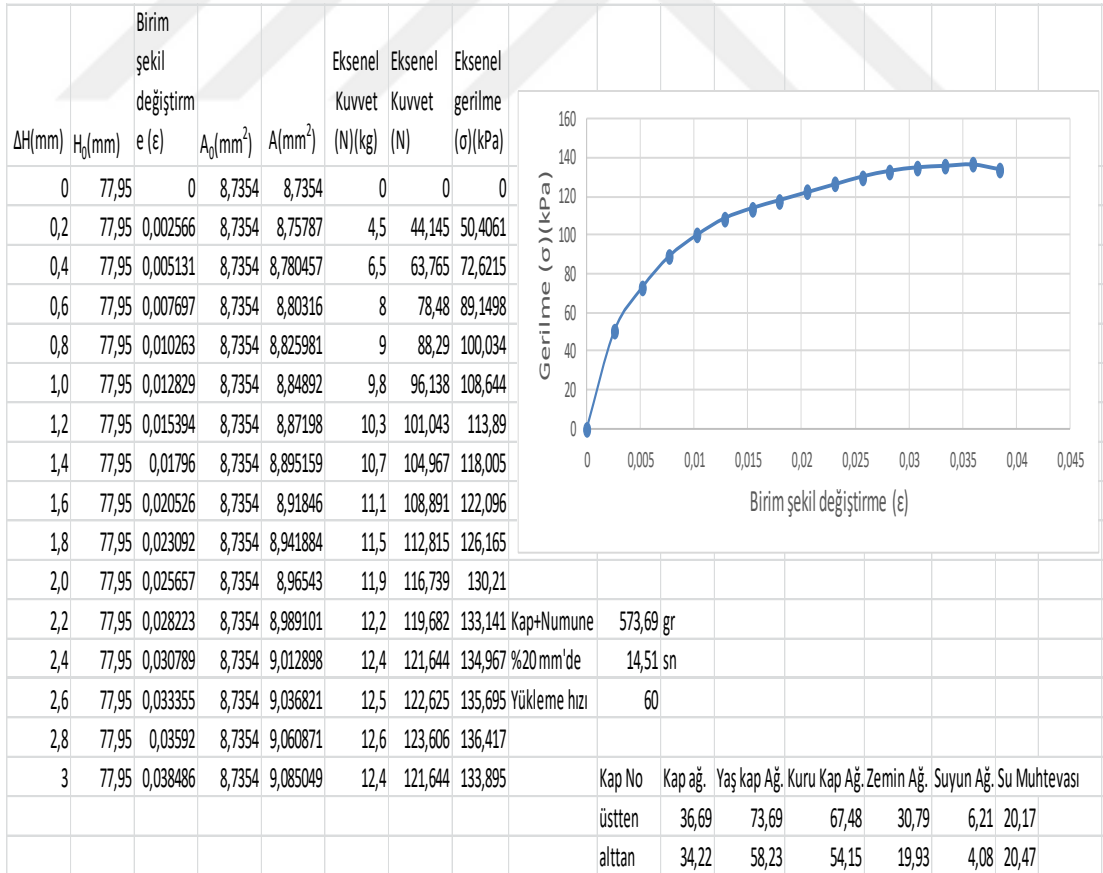
Şekil C.1. Doğal zeminin anlık serbest basınç deneyi-1



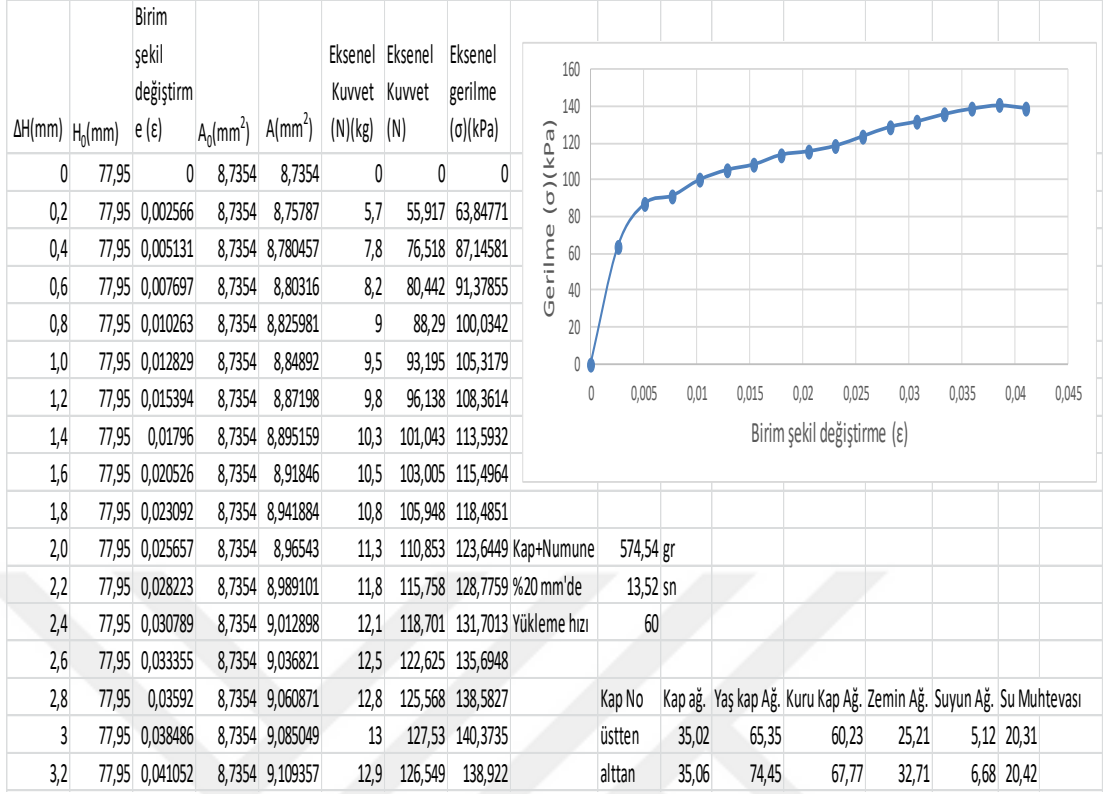
Şekil C.2. Doğal zeminin anlık serbest basınç deneyi-2



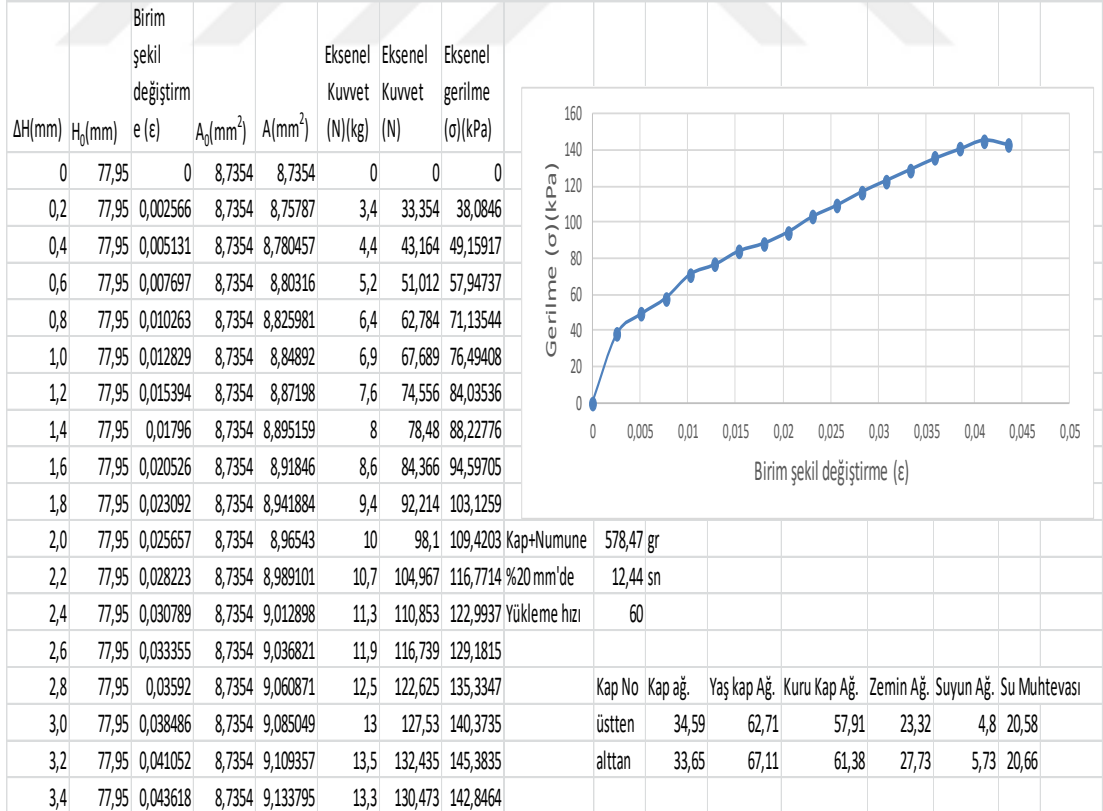
Şekil C.3. Doğal zeminin anlık serbest basınç deneyi-3



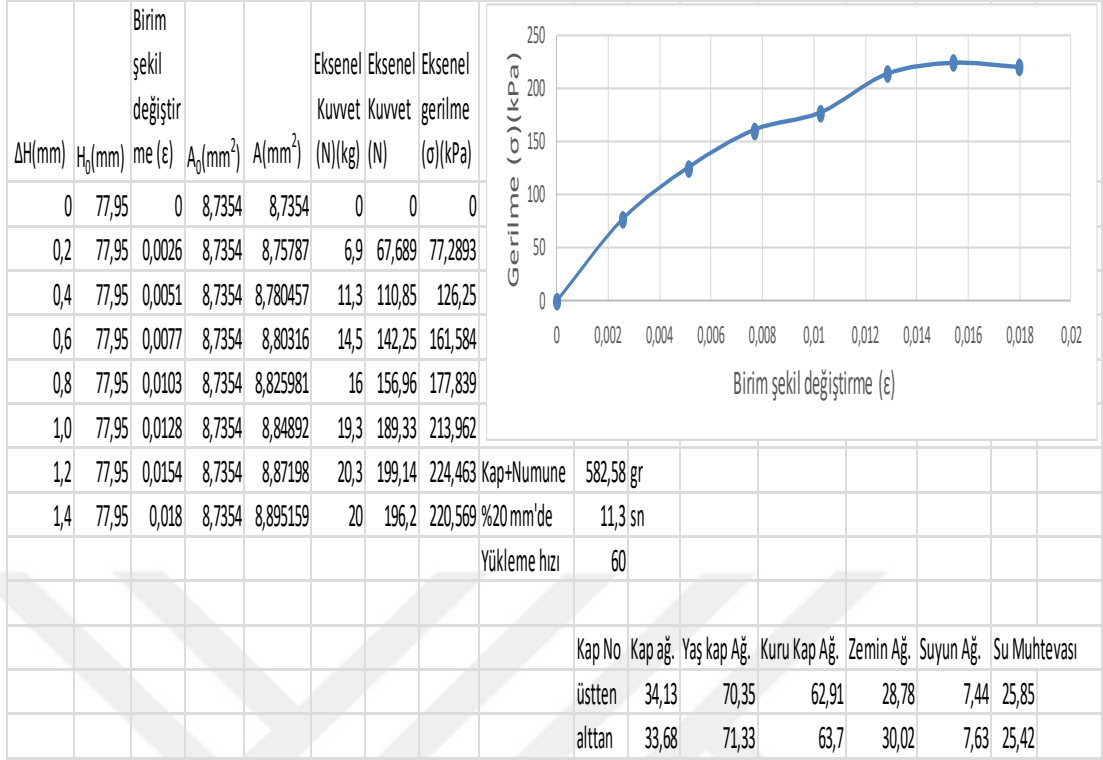
Şekil C.4. Doğal zeminin 1 günlük serbest basınç deneyi-1



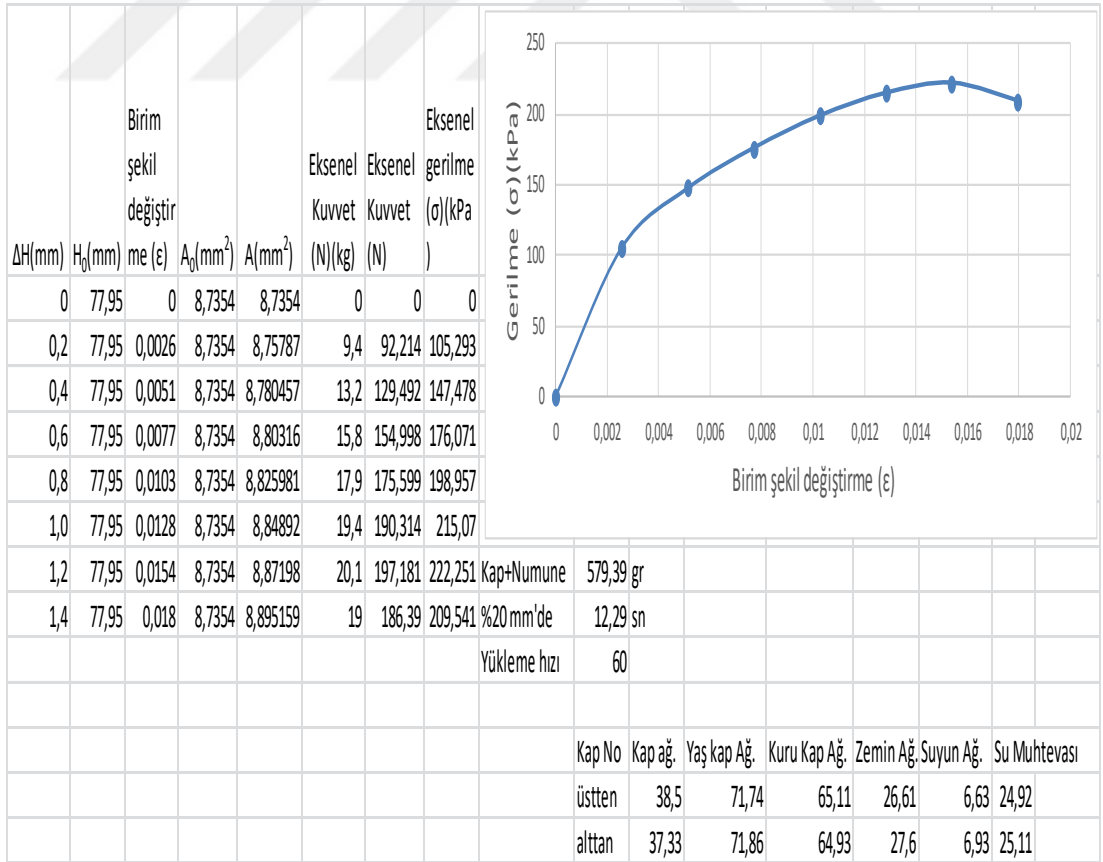
Şekil C.5. Doğal zeminin 1 günlük serbest basınç deneyi-2



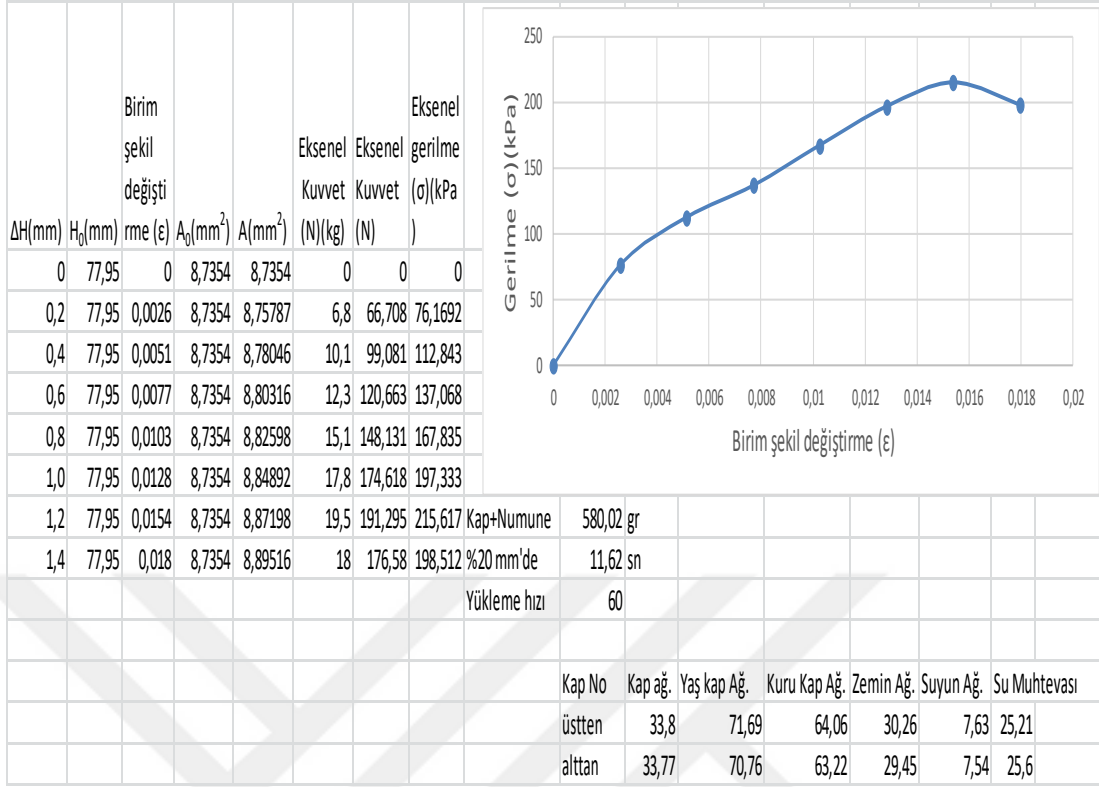
Şekil C.6. Doğal zeminin 1 günlük serbest basınç deneyi-3



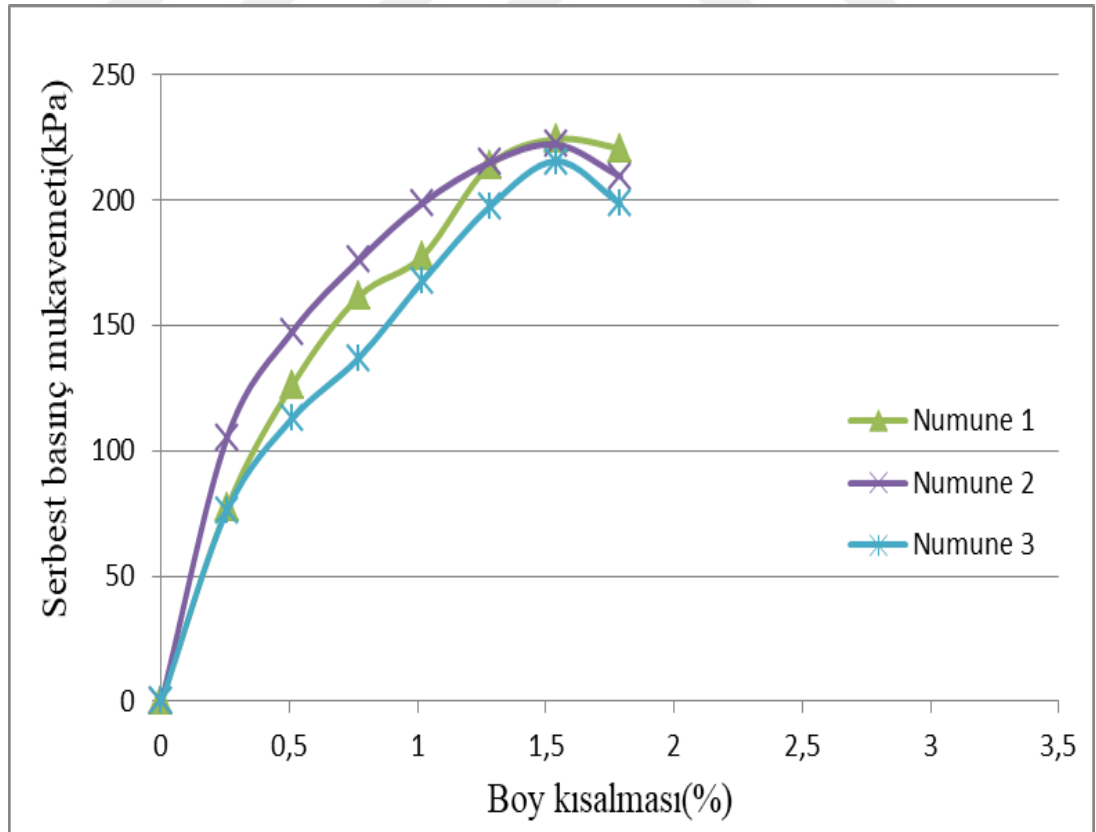
Şekil C.7. %3 kireçli zeminin anlık serbest basınç deneyi-1



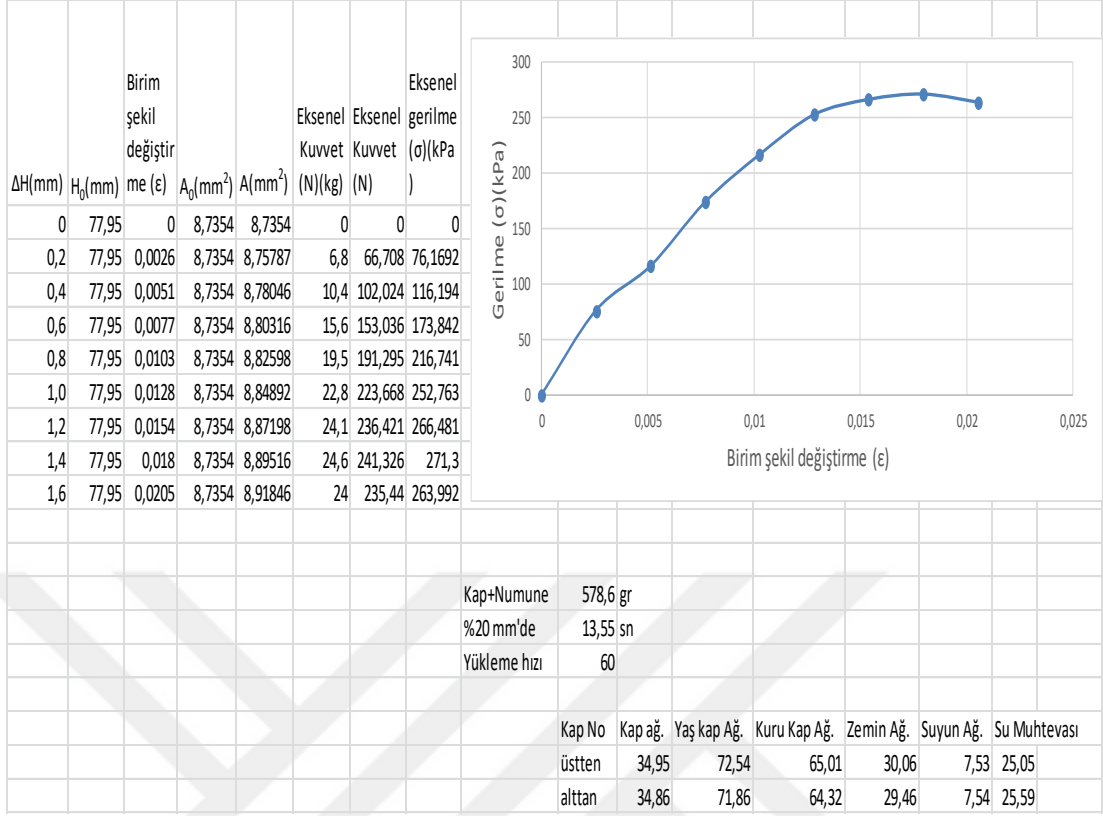
Şekil C.8. %3 kireçli zeminin anlık serbest basınç deneyi-2



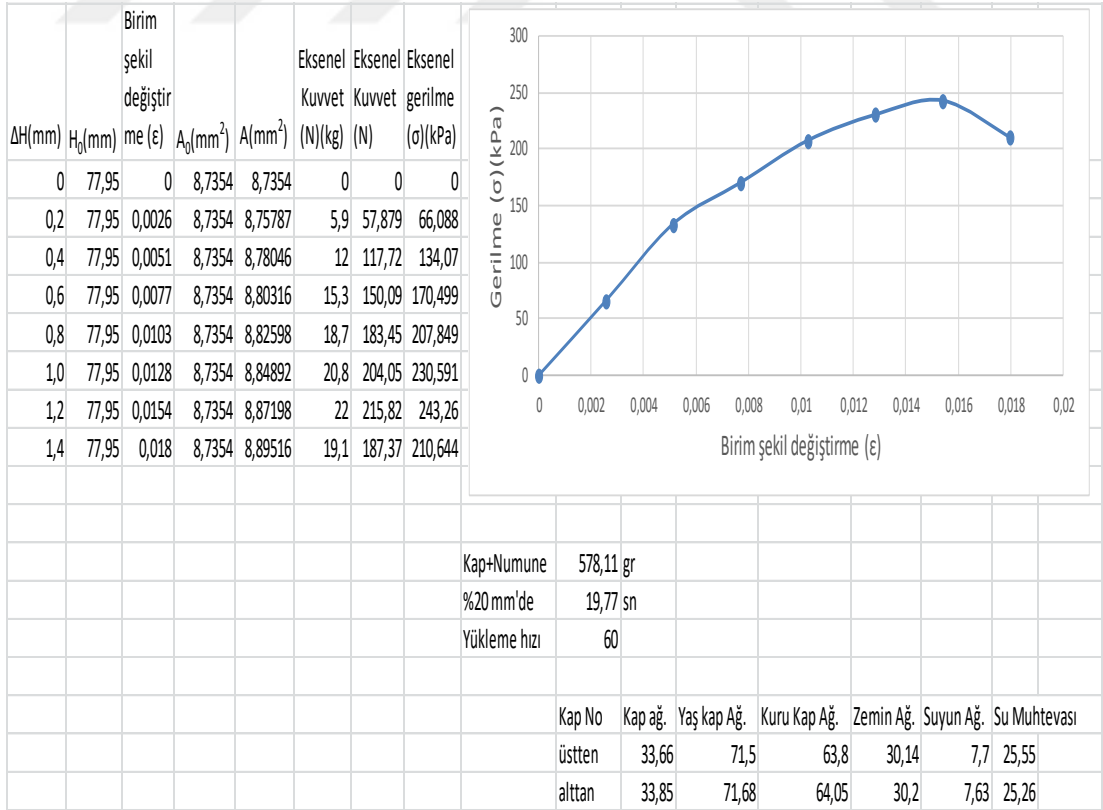
Şekil C.9. %3 kireçli zeminin anlık serbest basınç deneyi-3



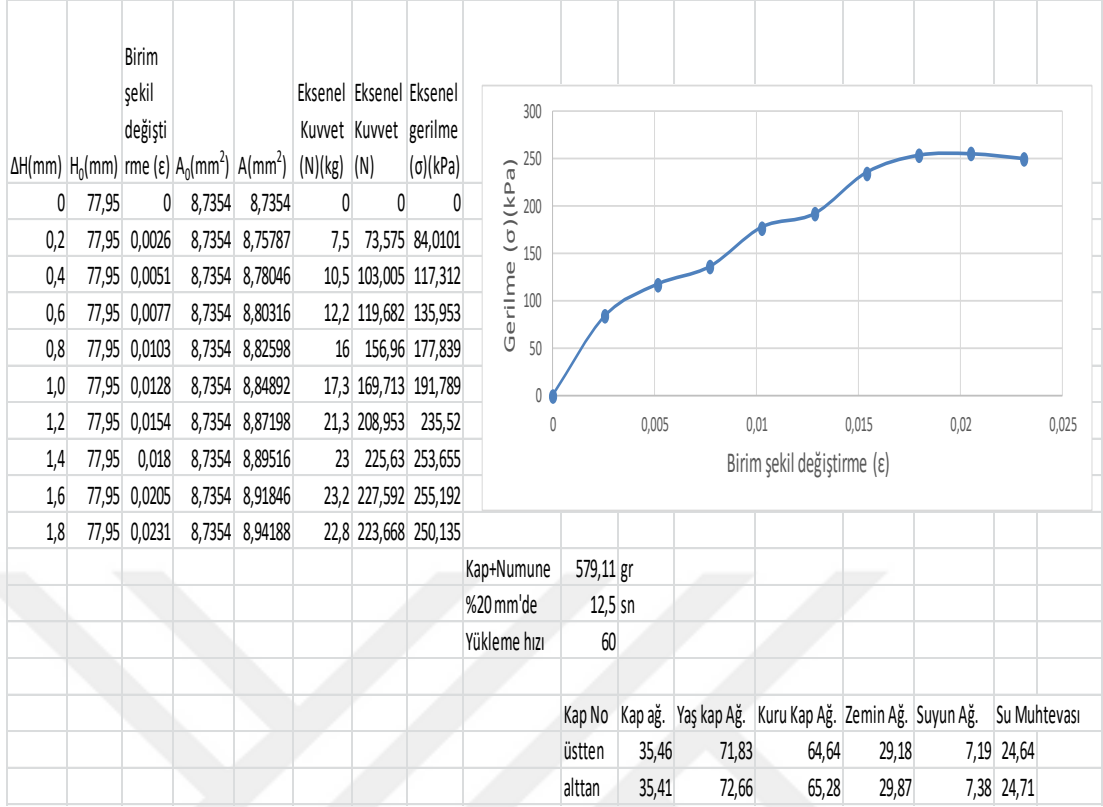
Şekil C.10. %3 kireçli zeminin anlık serbest basınç grafik kıyaslaması



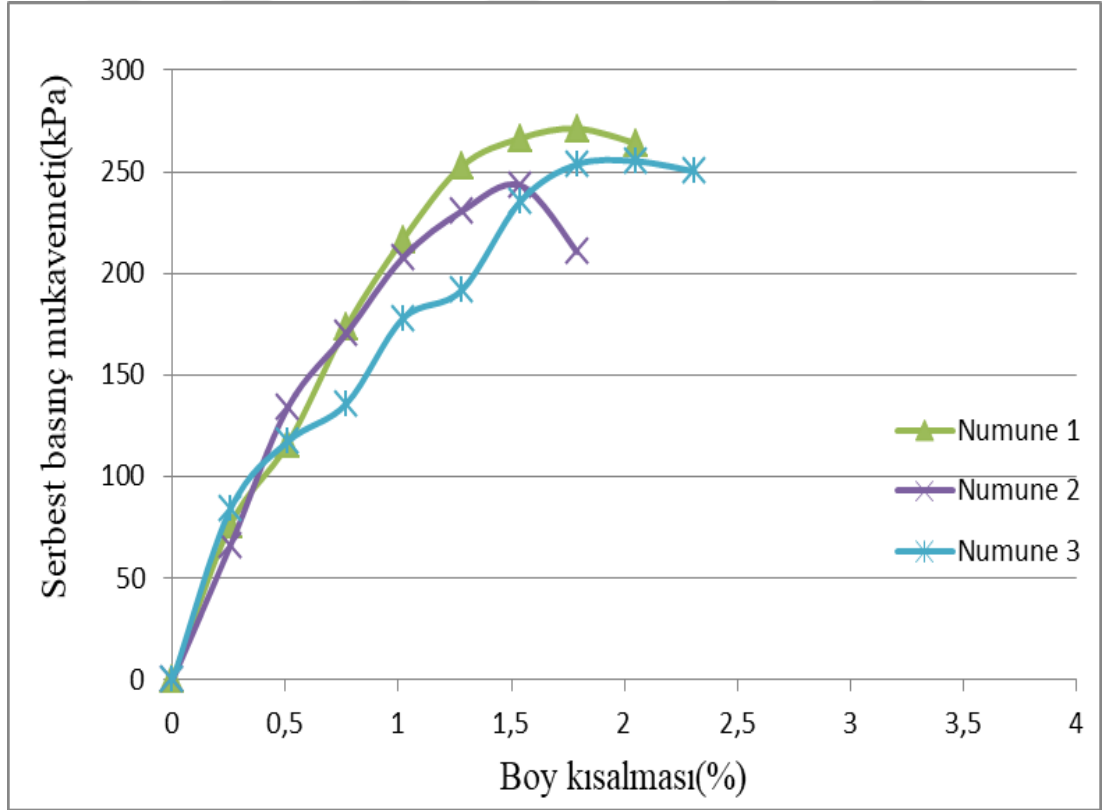
Şekil C.11. %3 kireçli zeminin 1 günlük serbest basınç deneyi-1



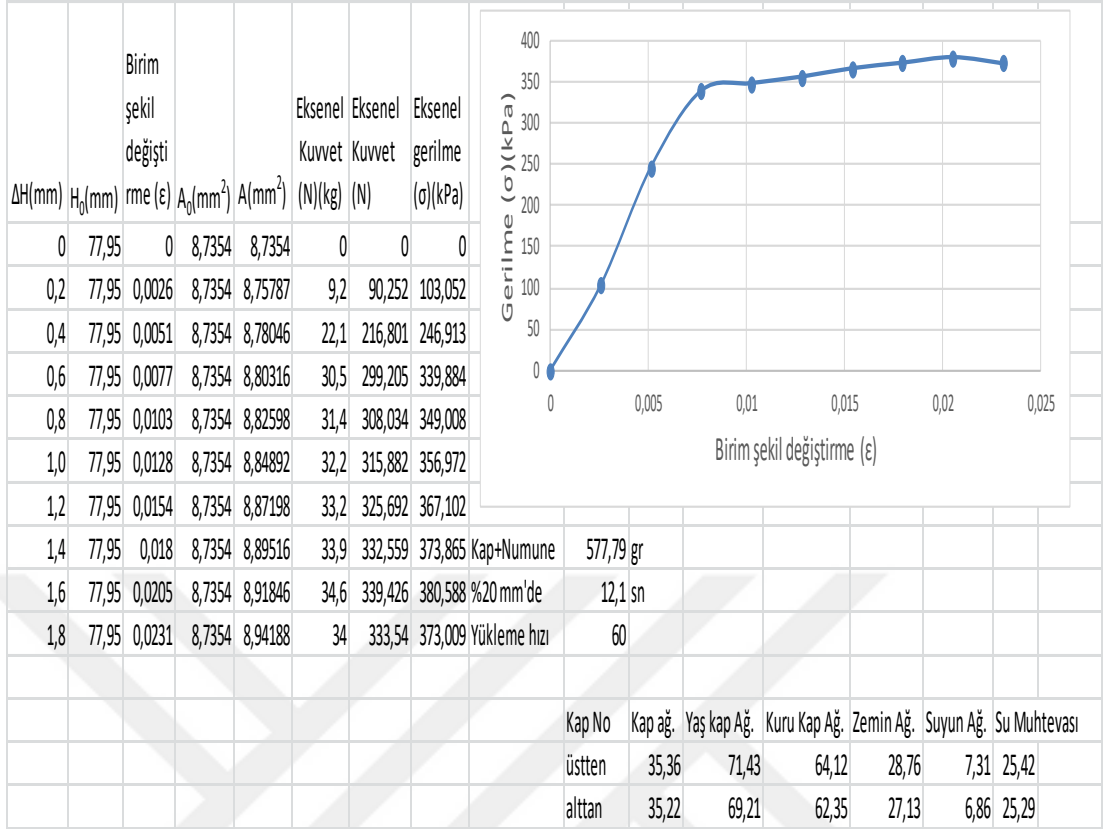
Şekil C.12. %3 kireçli zeminin 1 günlük serbest basınç deneyi-2



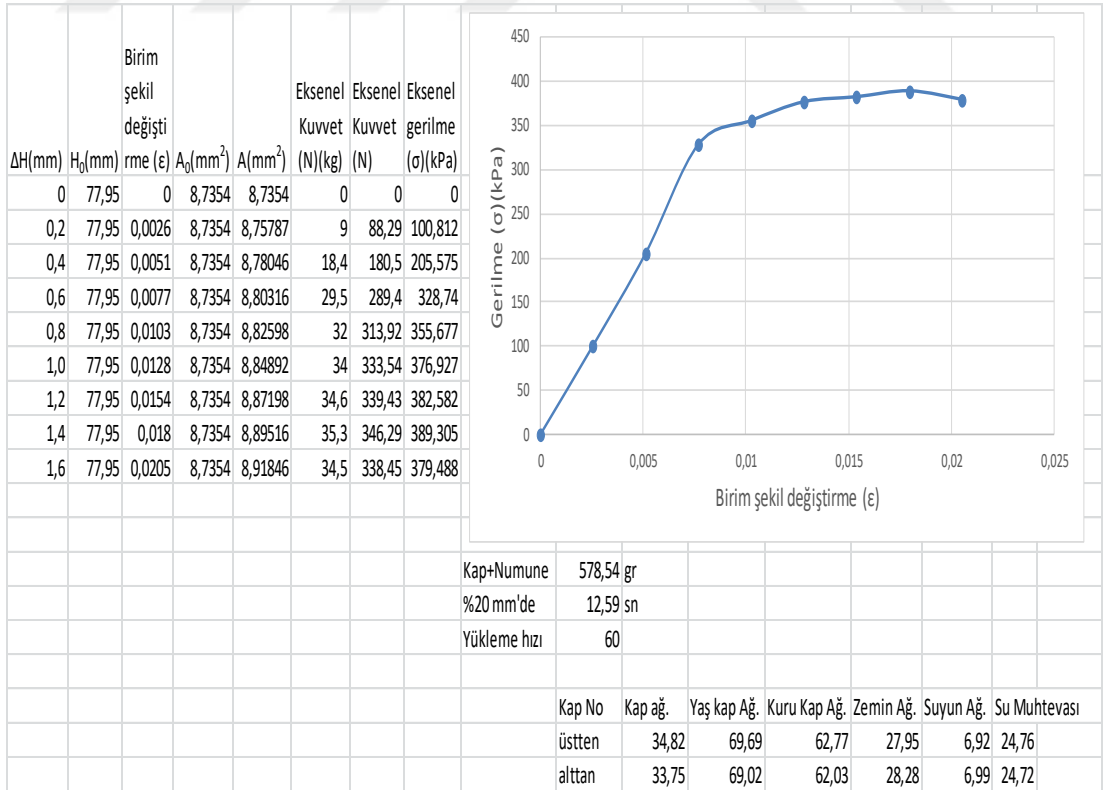
Şekil C.13. %3 kireçli zeminin 1 günlük serbest basınç deneyi-3



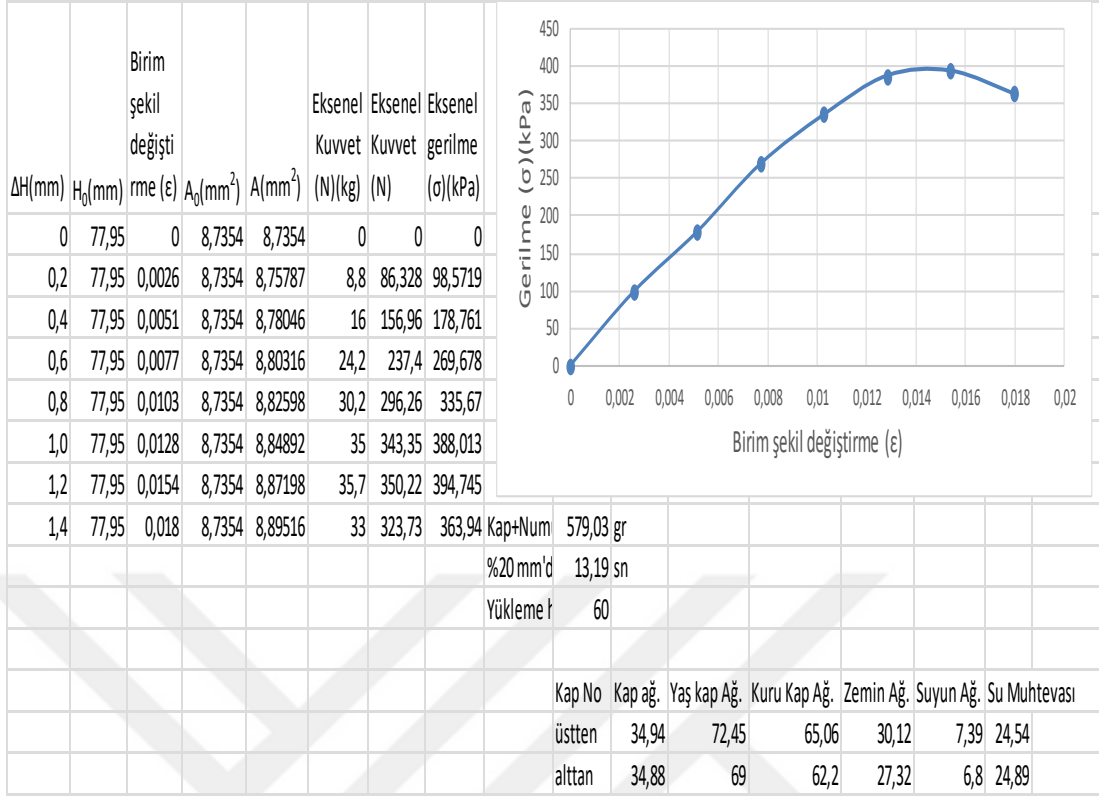
Şekil C.14. %3 kireçli zeminin 1 günlük serbest basınç grafikleri



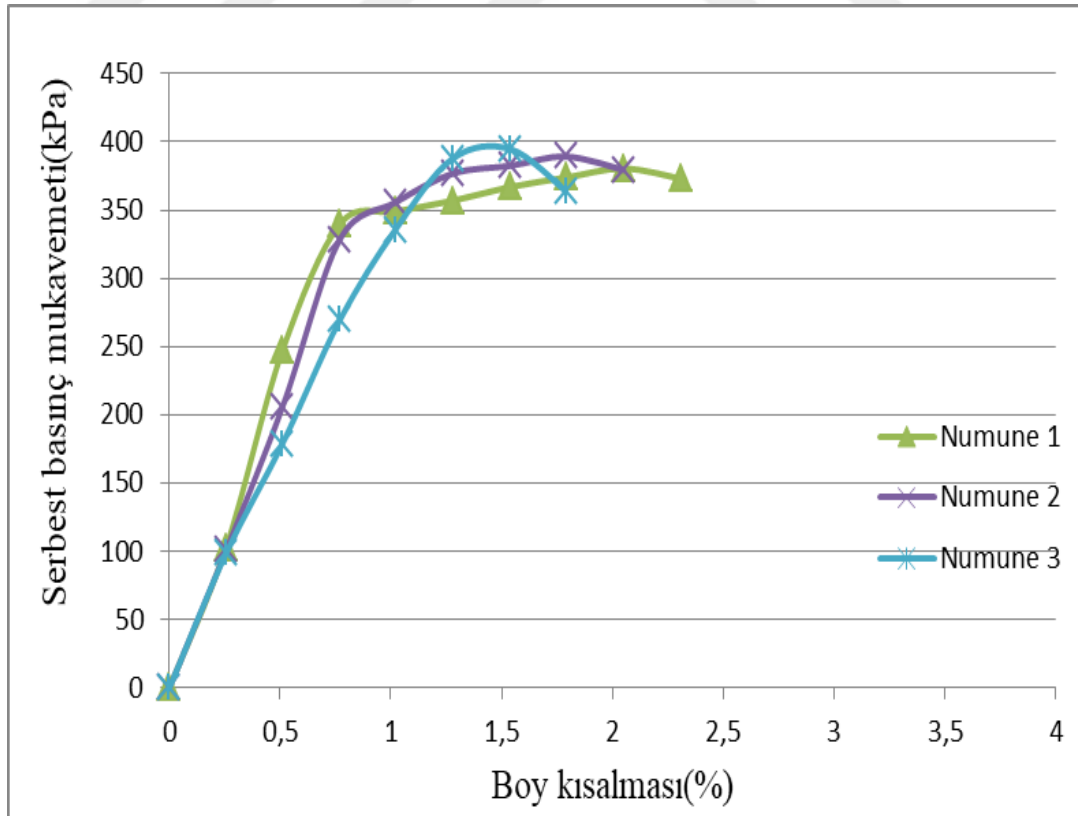
Şekil C.15. %3 kireçli zeminin 7 günlük serbest basınç deneyi-1



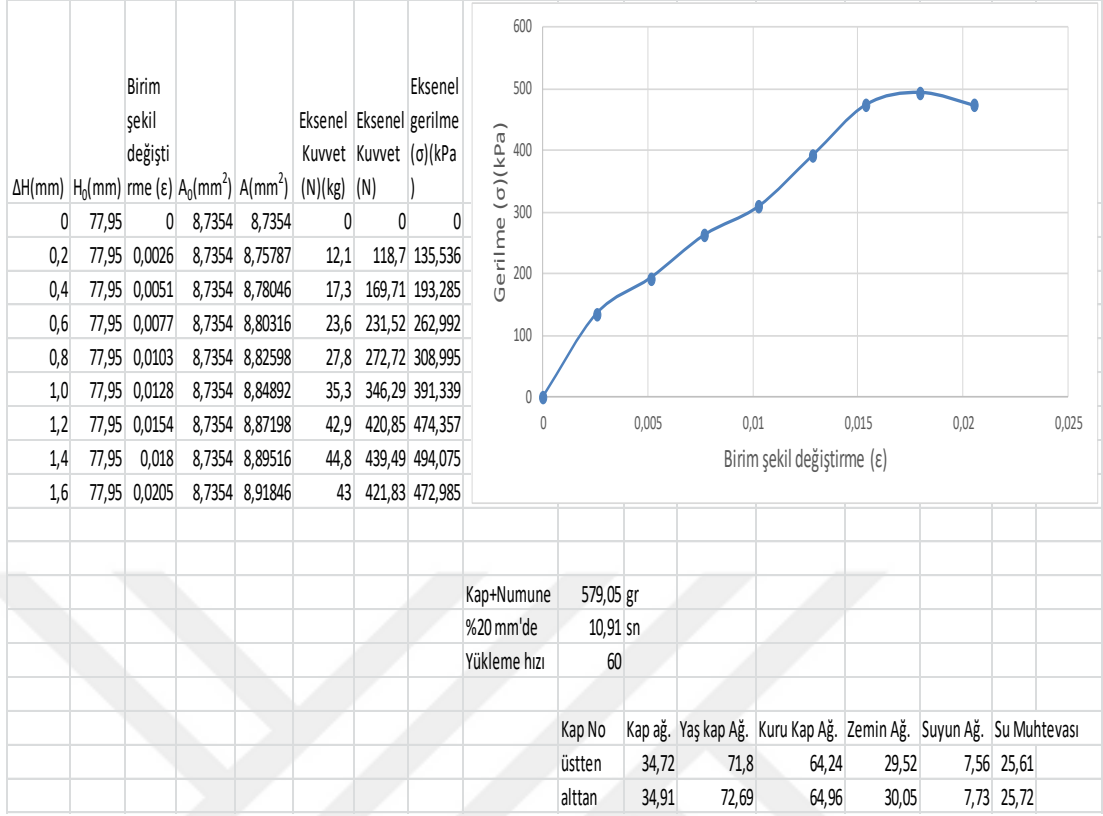
Şekil C.16. %3 kireçli zeminin 7 günlük serbest basınç deneyi-2



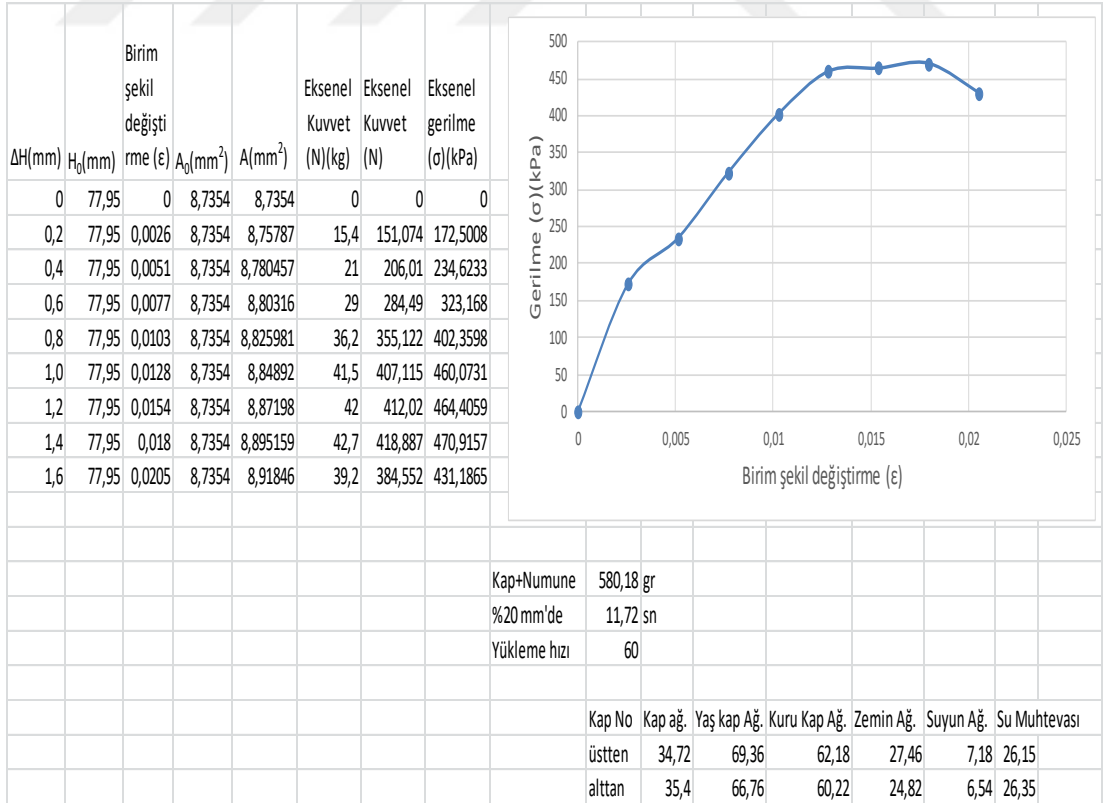
Şekil C.17. %3 sönmüş kireçli zeminin 7 günlük serbest basınç deneyi-3



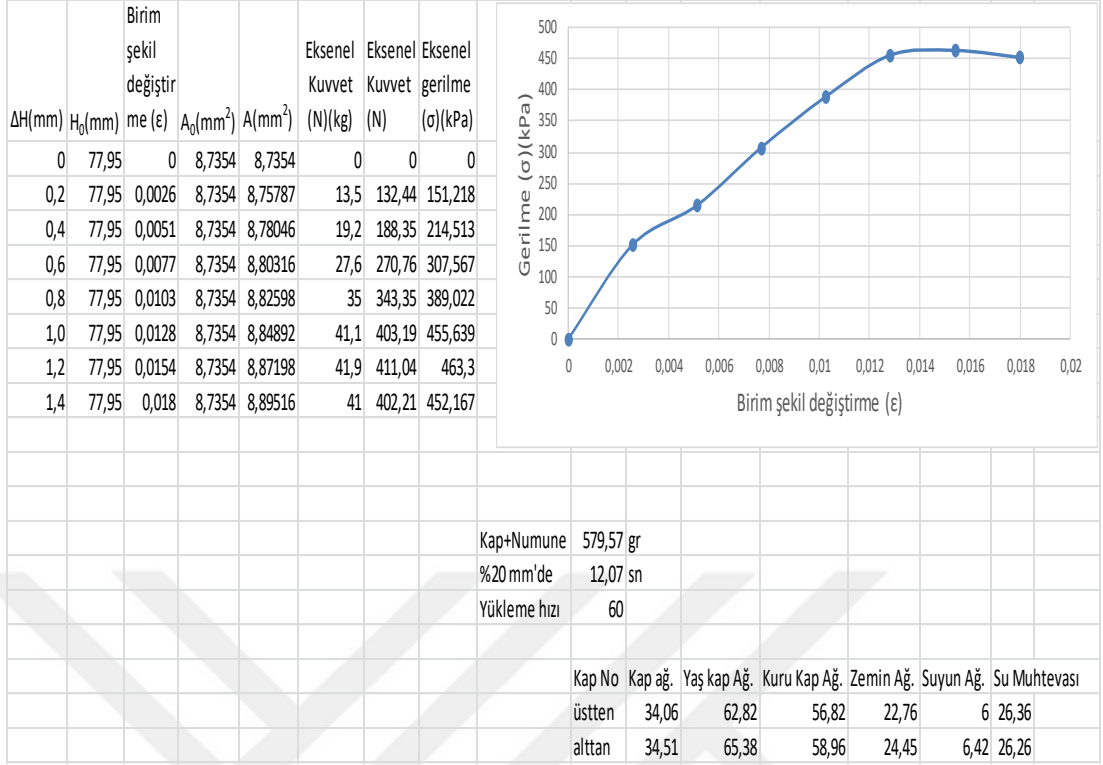
Şekil C.18. %3 kireçli zeminin 7 günlük serbest basınç grafikleri



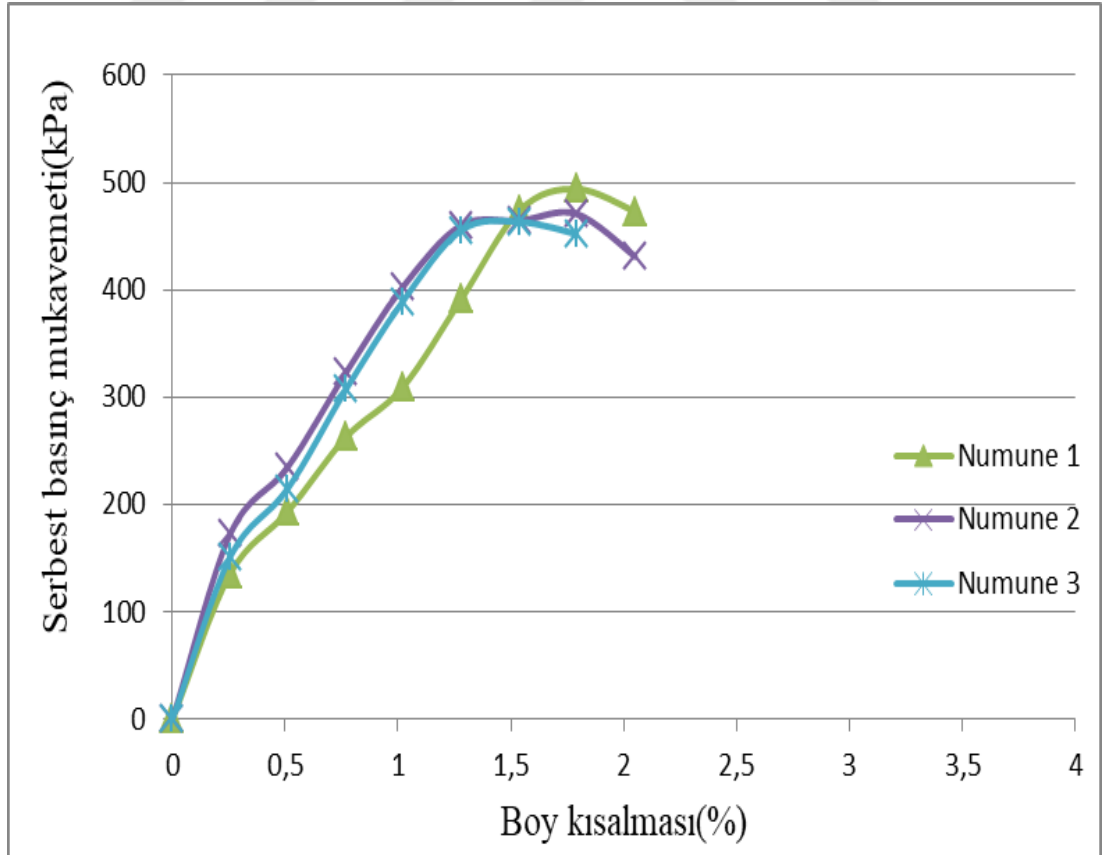
Şekil C.19. %3 kireçli zeminin 28 günlük serbest basınç deneyi-1



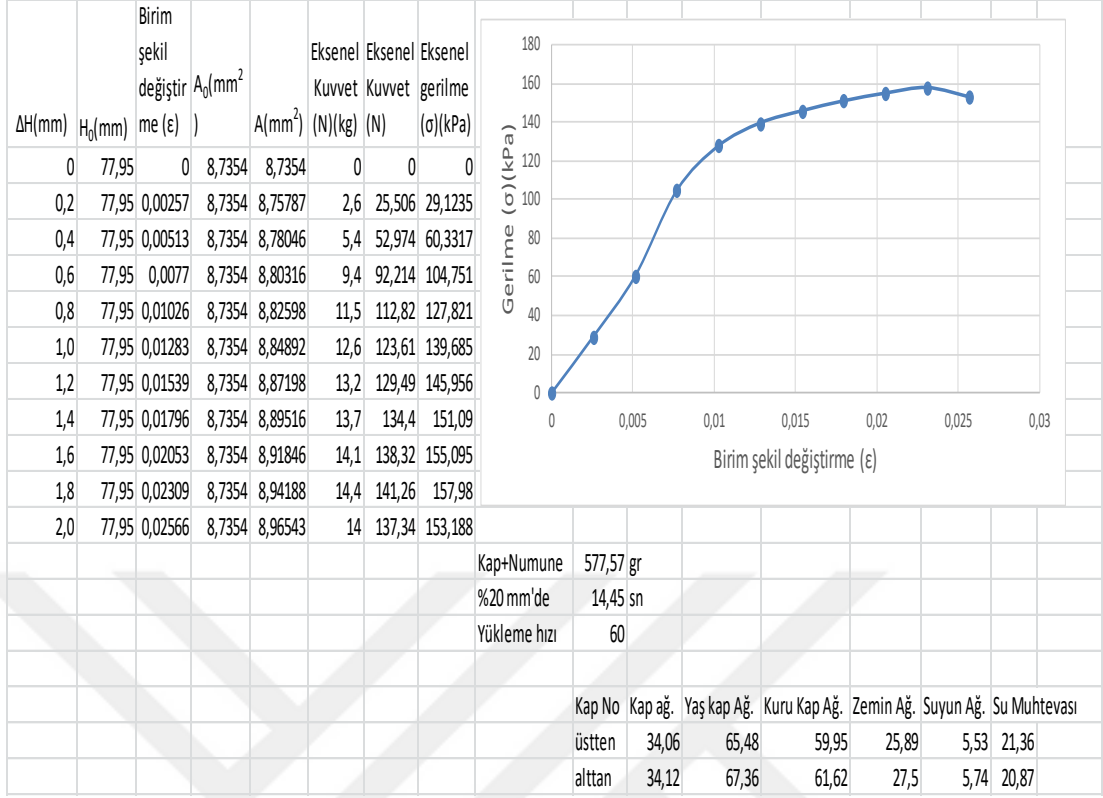
Şekil C.20. %3 kireçli zeminin 28 günlük serbest basınç deneyi-2



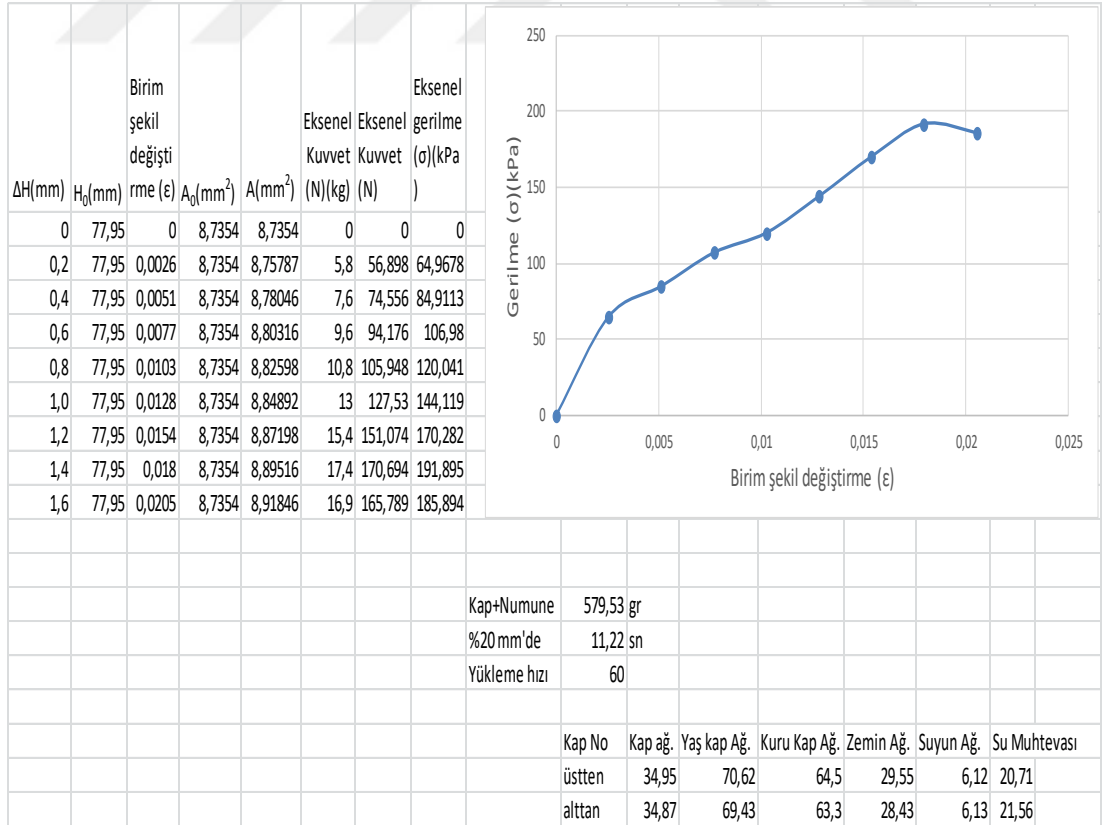
Şekil C.21. %3 kireçli zeminin 28 günlük serbest basınç deneyi-3



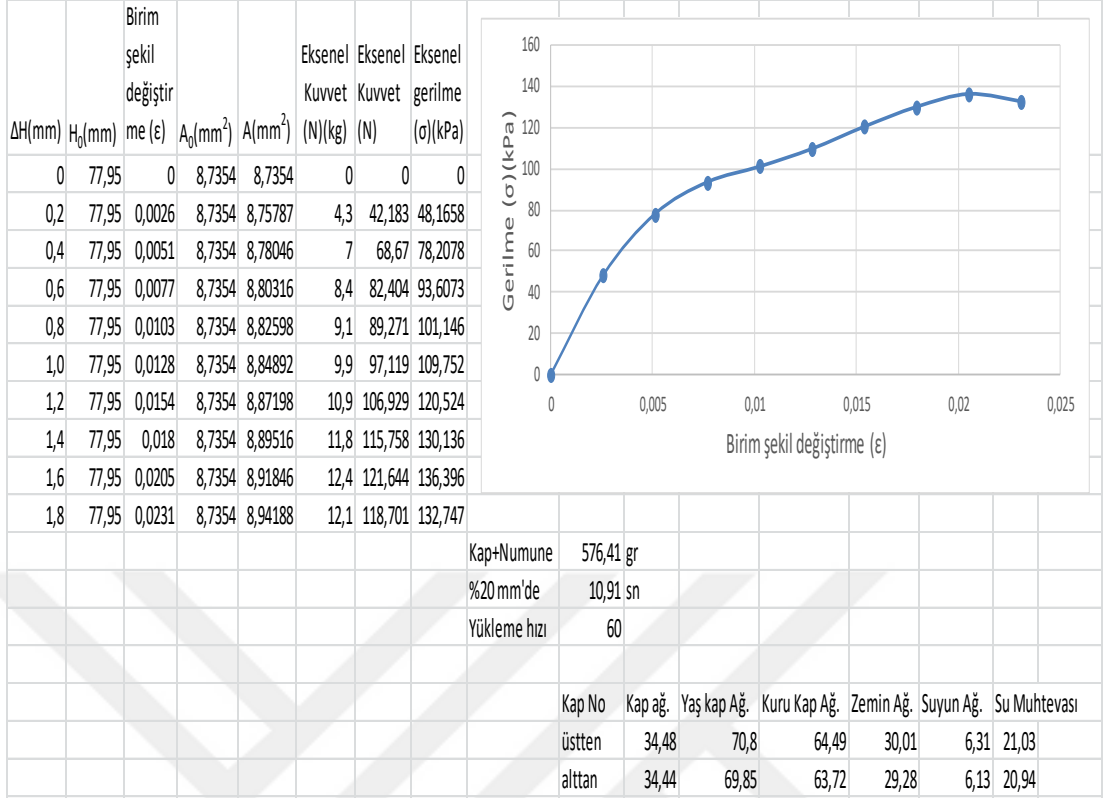
Şekil C.22. %3 kireçli zeminin 28 günlük serbest basınç grafikleri



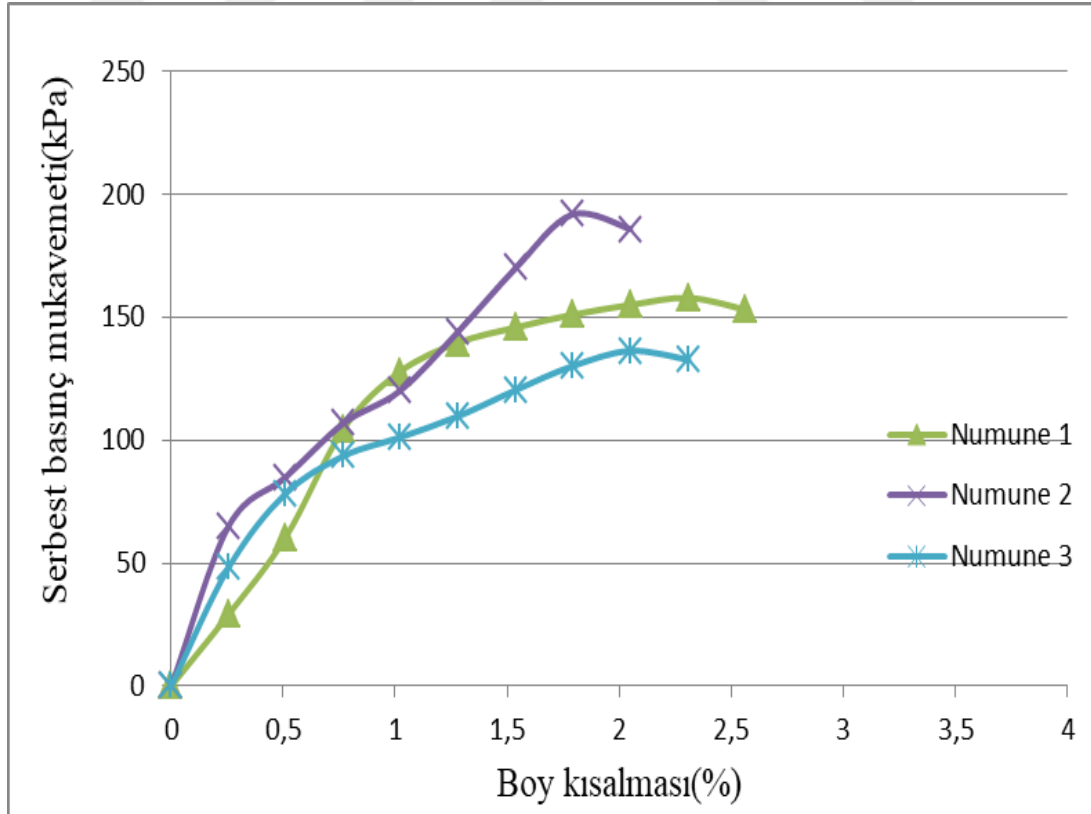
Şekil C.23. %3 çimentolu zeminin anlık serbest basınç deneyi-1



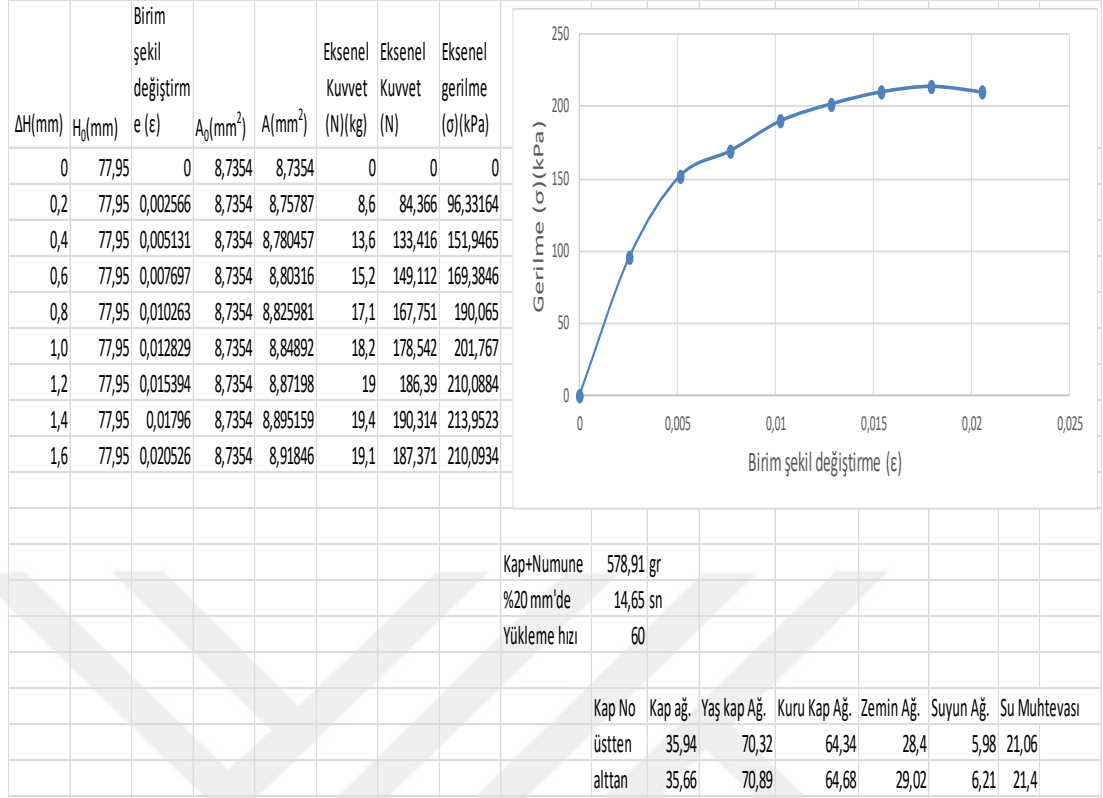
Şekil C.24. %3 çimentolu zeminin anlık serbest basınç deneyi-2



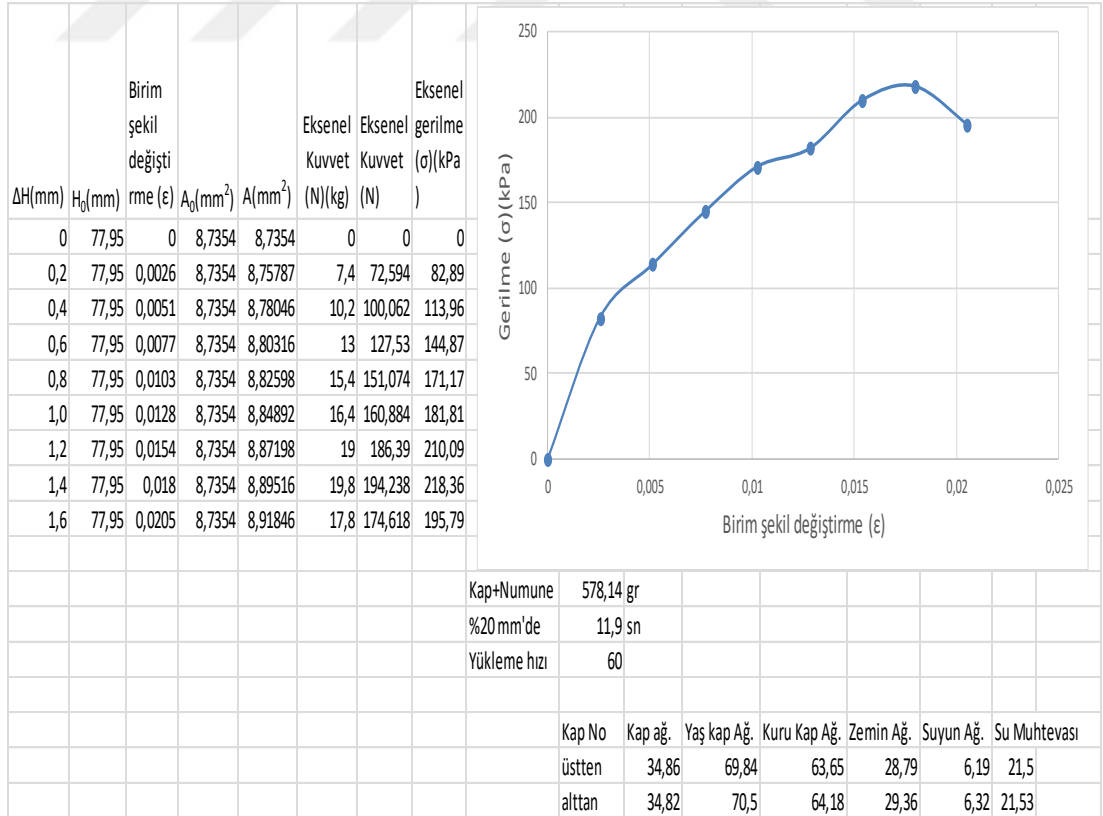
Şekil C.25. %3 çimentolu zeminin anlık serbest basınç deneyi-3



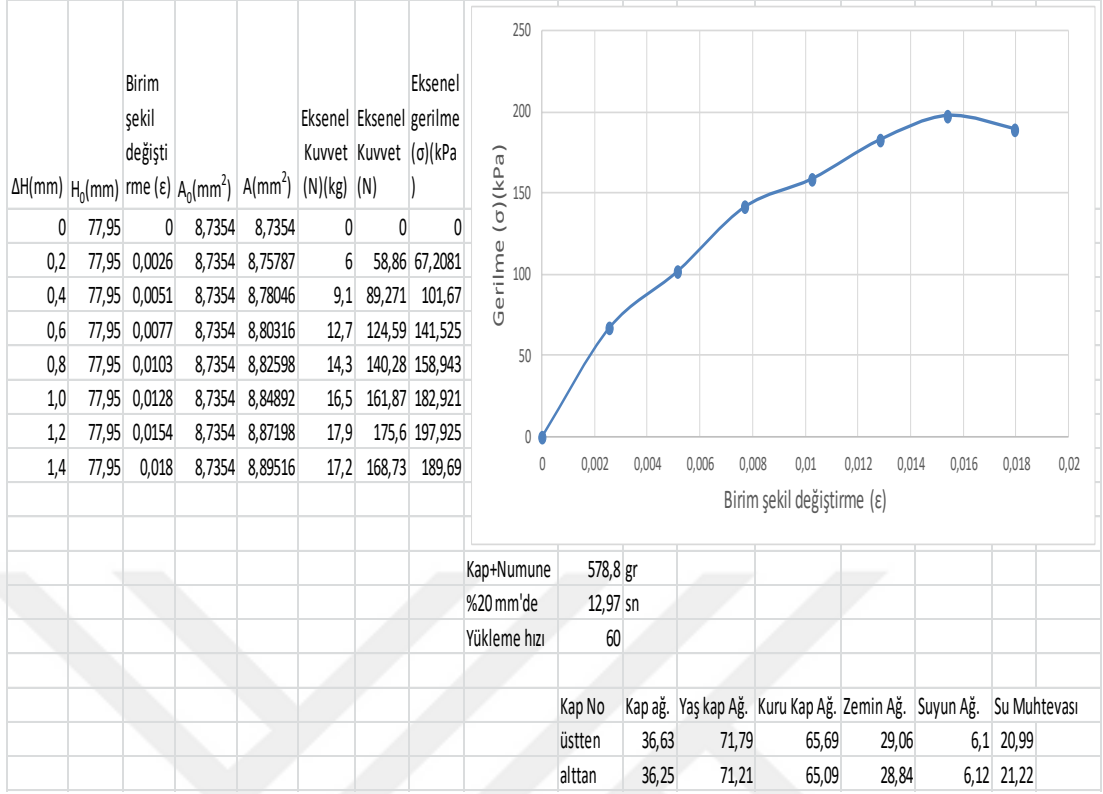
Şekil C.26. %3 çimentolu zeminin anlık serbest basınç grafikleri



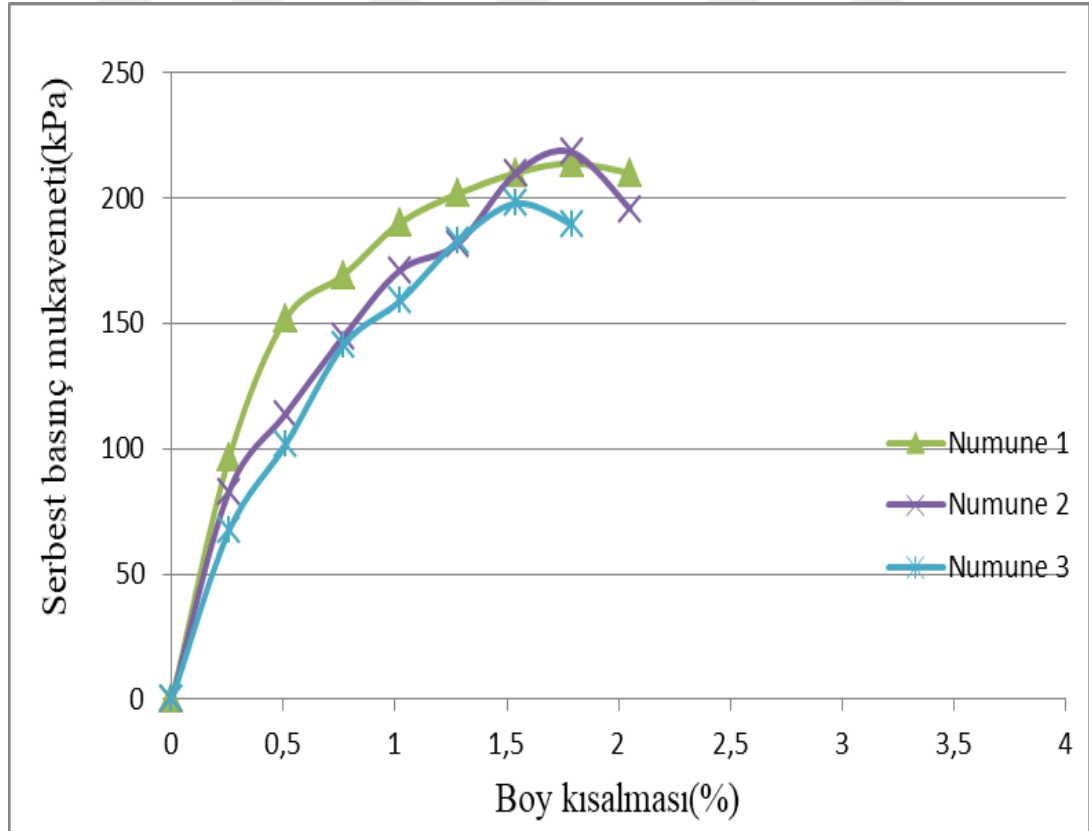
Şekil C.27. %3 çimentolu zeminin 1 günlük serbest basınç deneyi-1



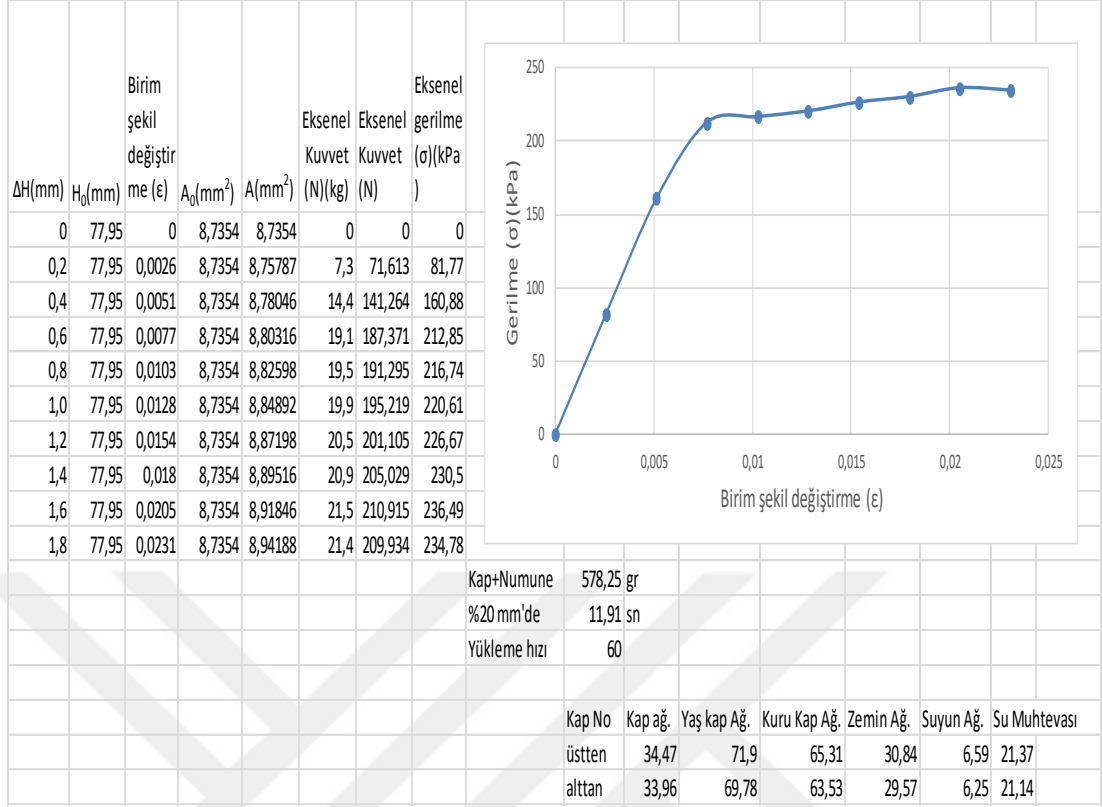
Şekil C.28. %3 çimentolu zeminin 1 günlük serbest basınç deneyi-2



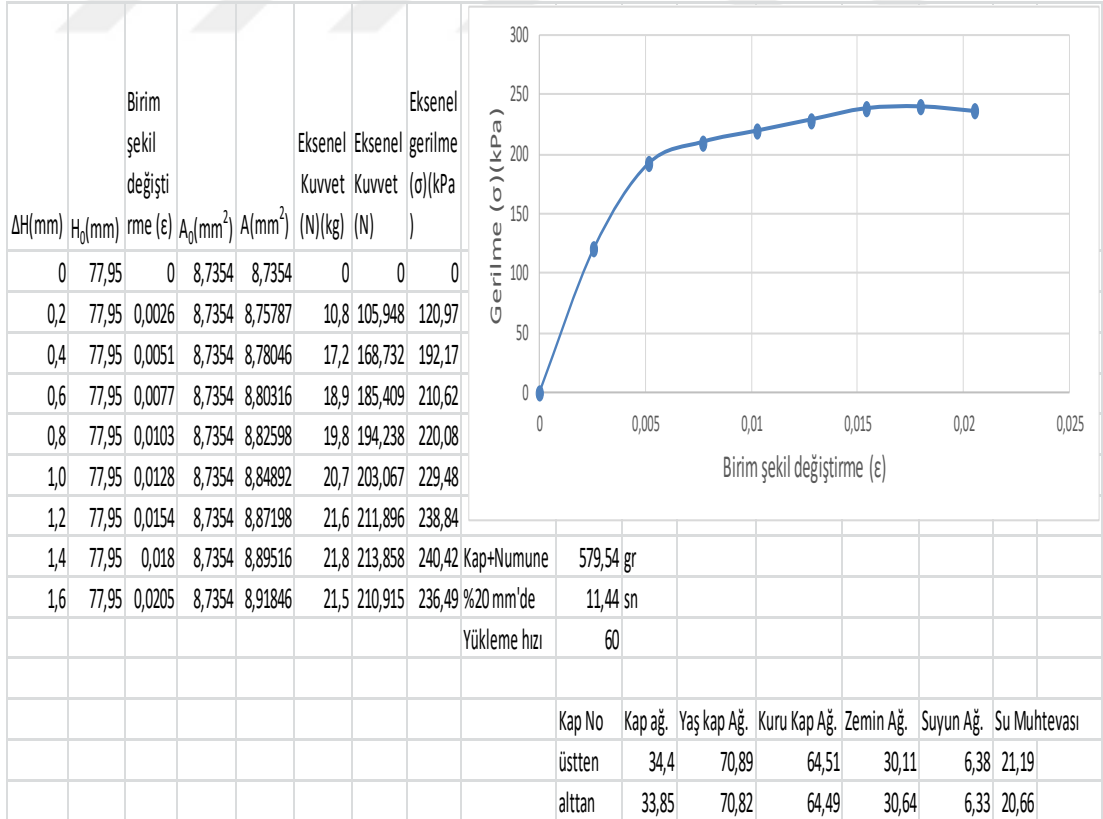
Şekil C.29. %3 çimentolu zeminin 1 günlük serbest basınç deneyi-3



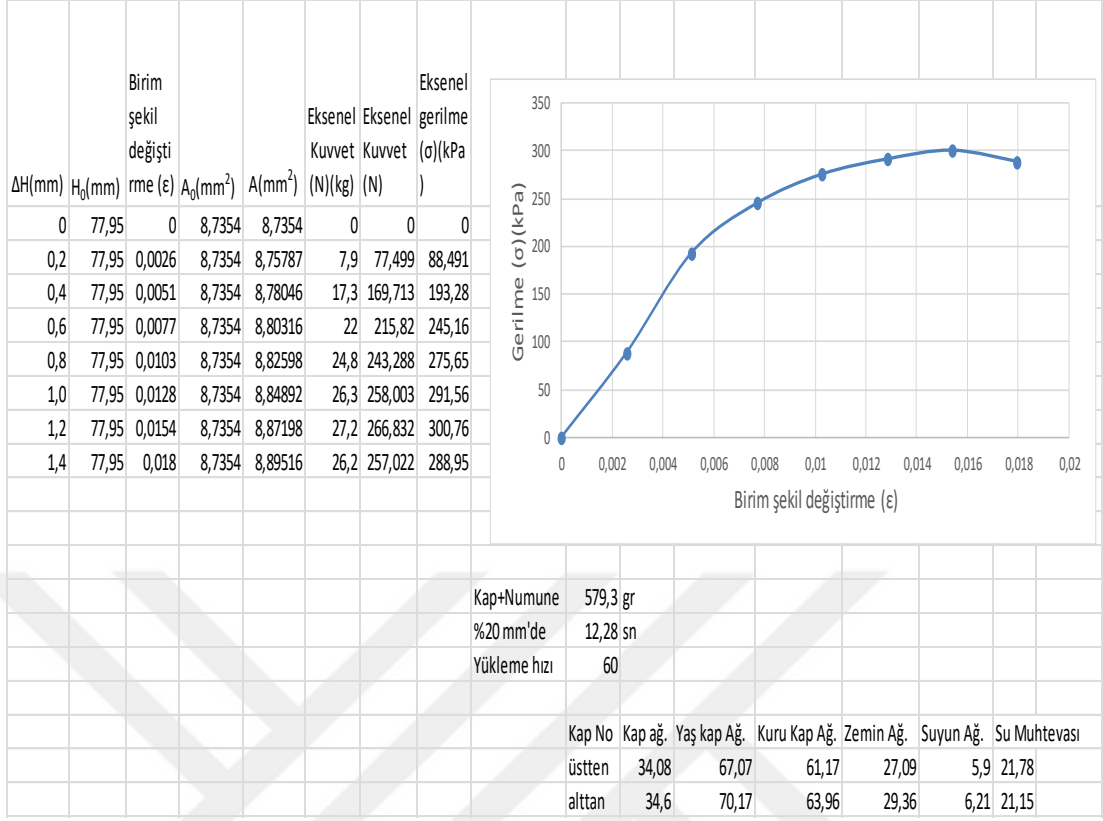
Şekil C.30. %3 çimentolu zeminin 1 günlük serbest basınç grafikleri



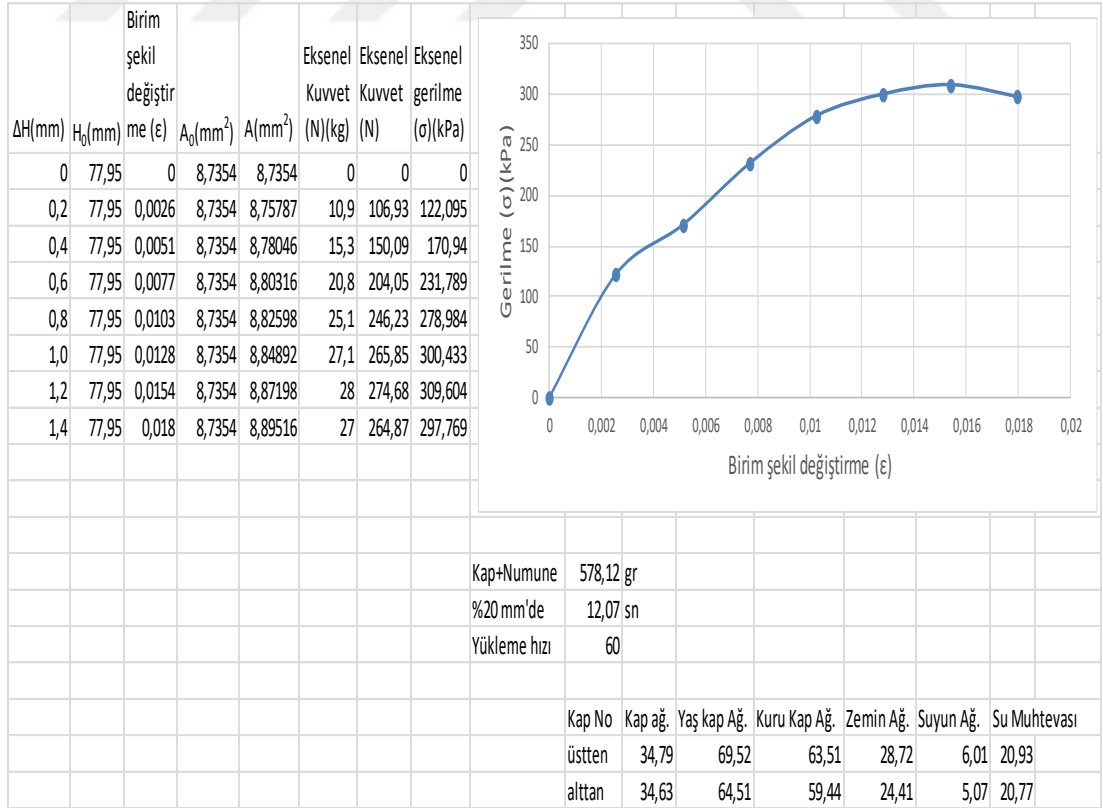
Şekil C. 31. %3 çimentolu zeminin 7 günlük serbest basınç deneyi-1



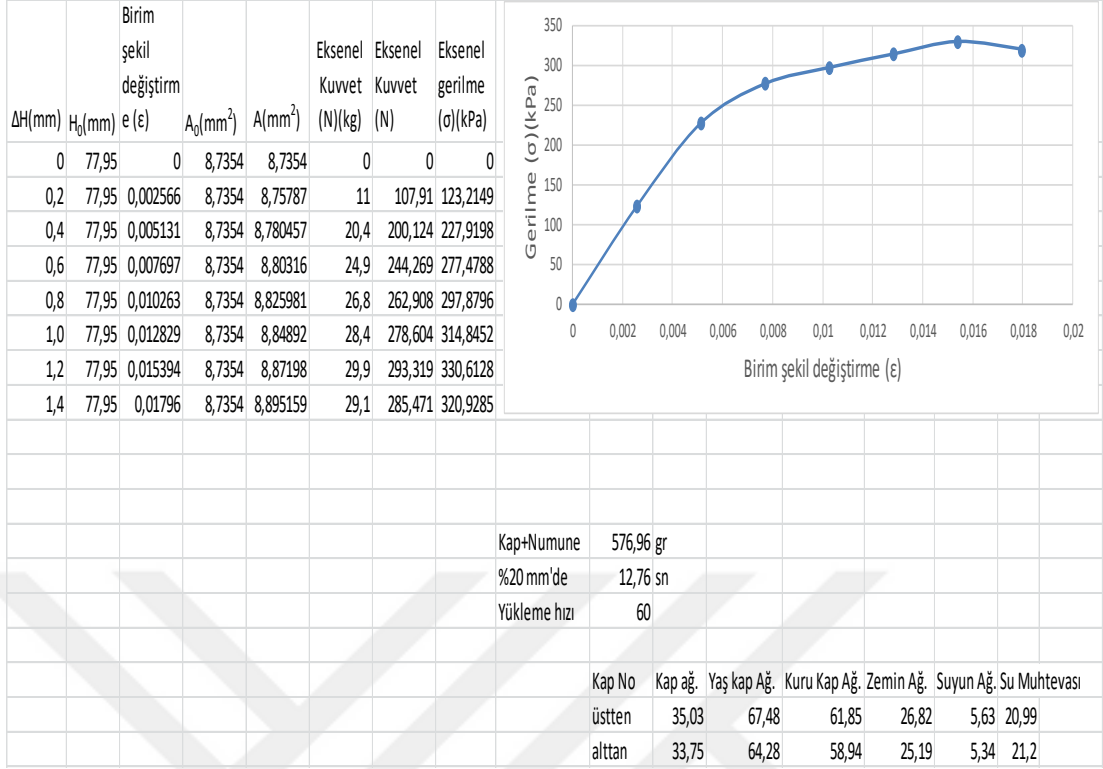
Şekil C. 32. %3 çimentolu zeminin 7 günlük serbest basınç deneyi-2



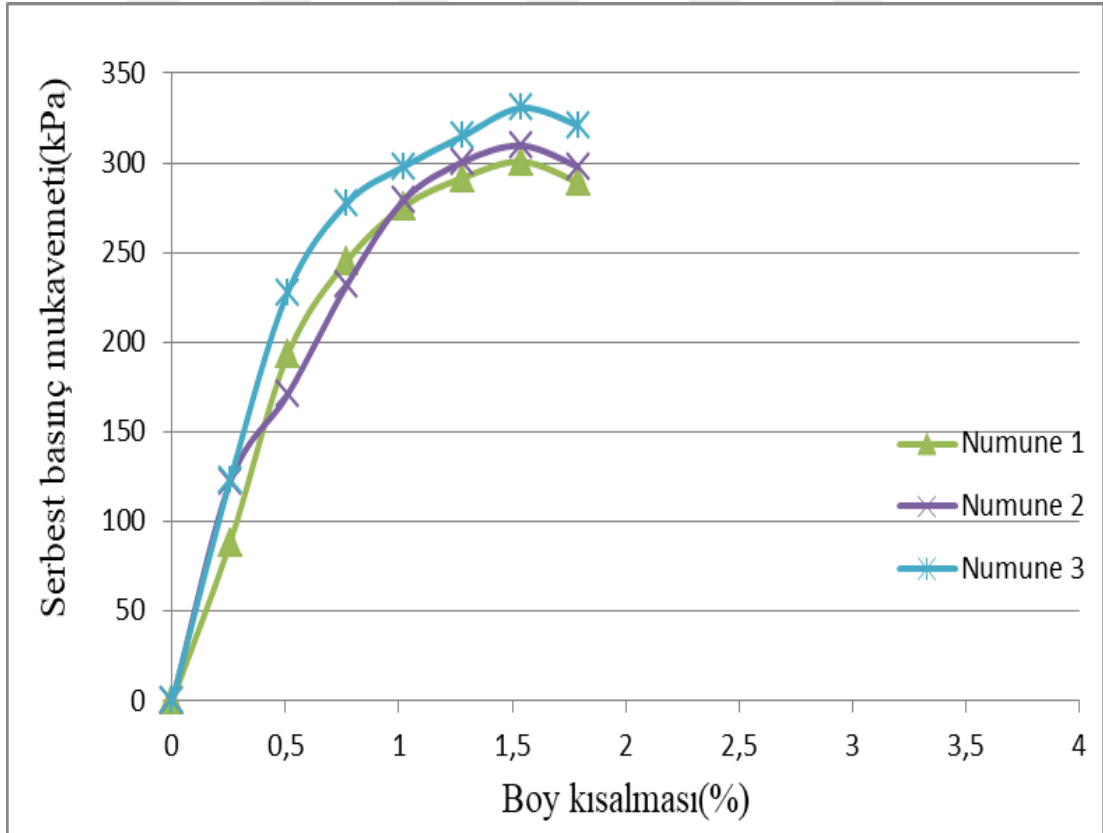
Şekil C.35. %3 çimentolu zeminin 28 günlük serbest basınç deneyi-1



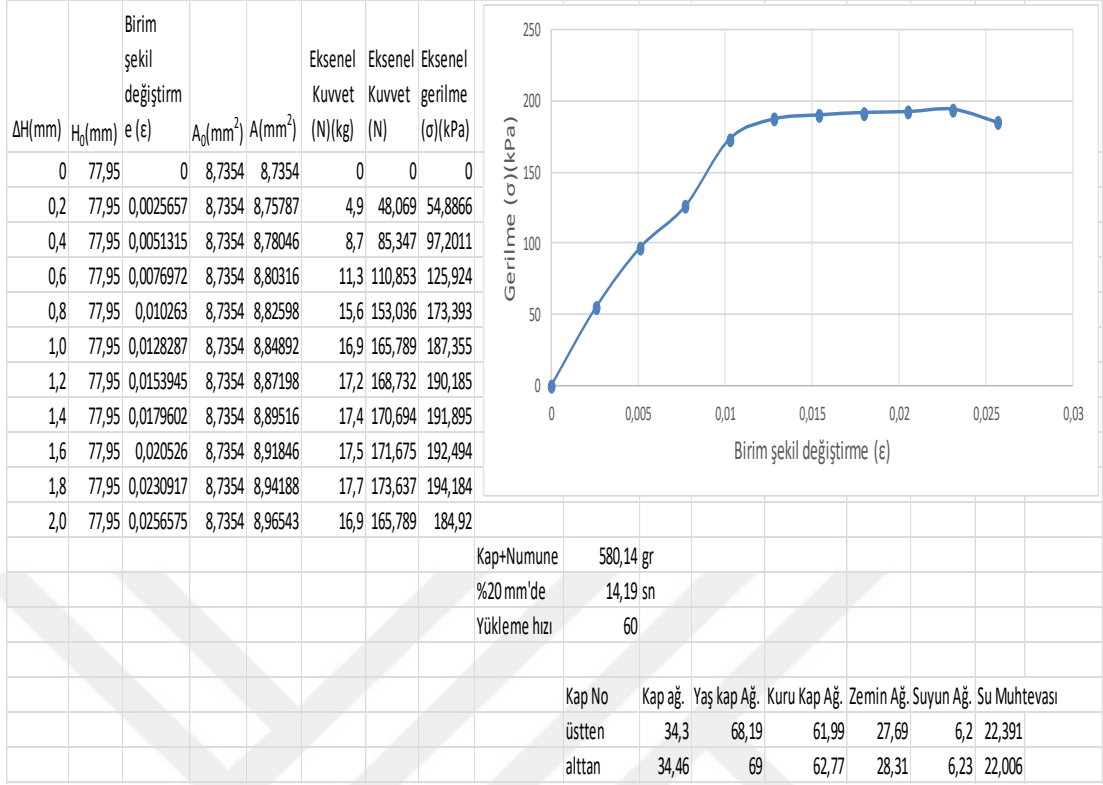
Şekil C.36. %3 çimentolu zeminin 28 günlük serbest basınç deneyi-2



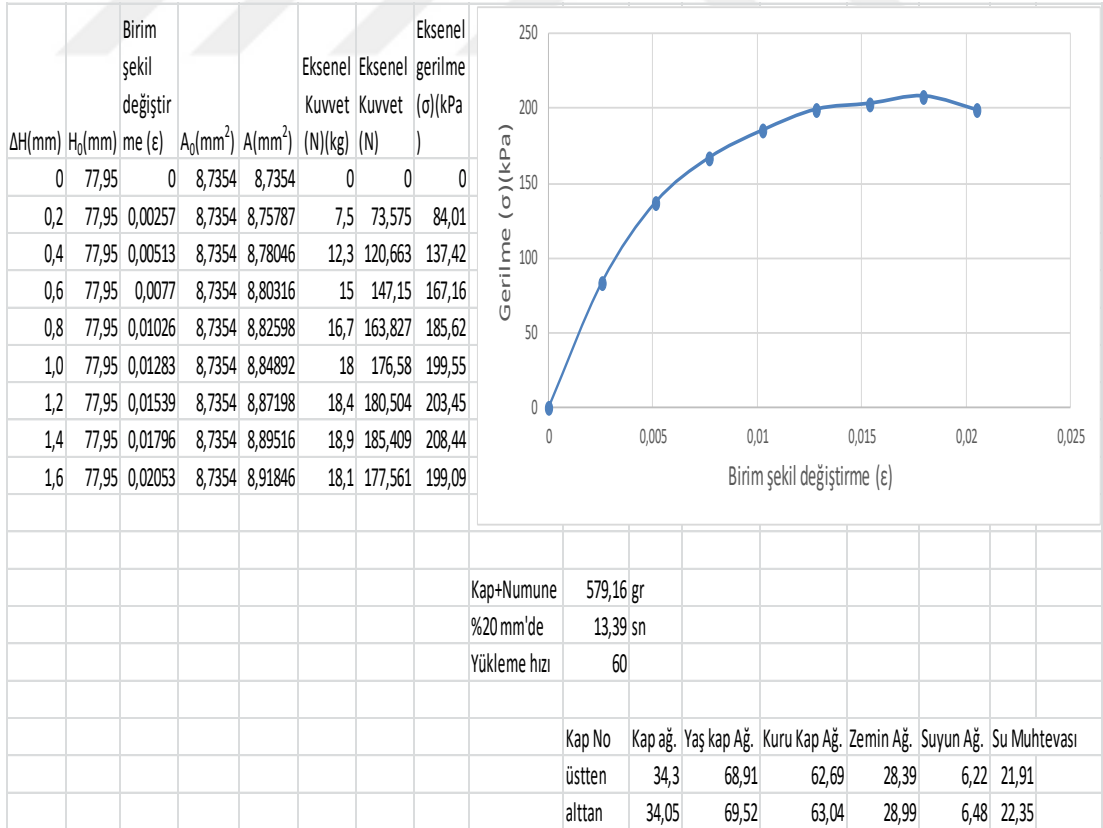
Şekil C.37. %3 çimentolu zeminin 28 günlük serbest basınç deneyi-3



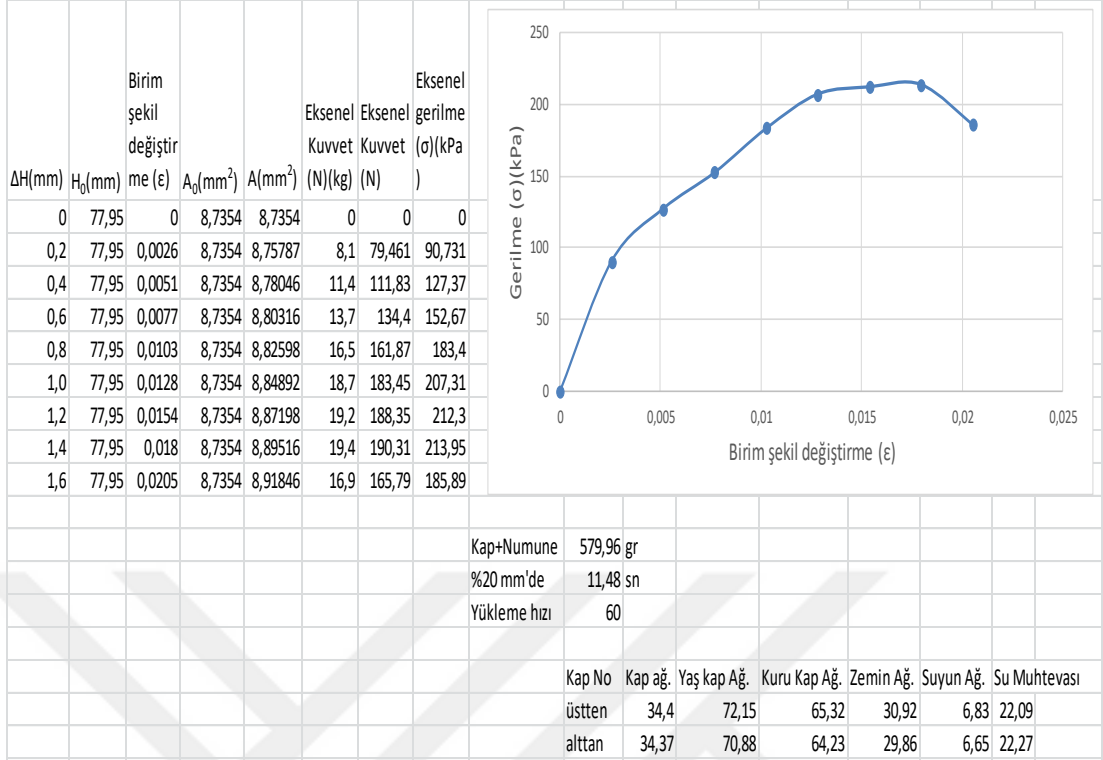
Şekil C.38. %3 çimentolu zeminin 28 günlük serbest basınç grafikleri



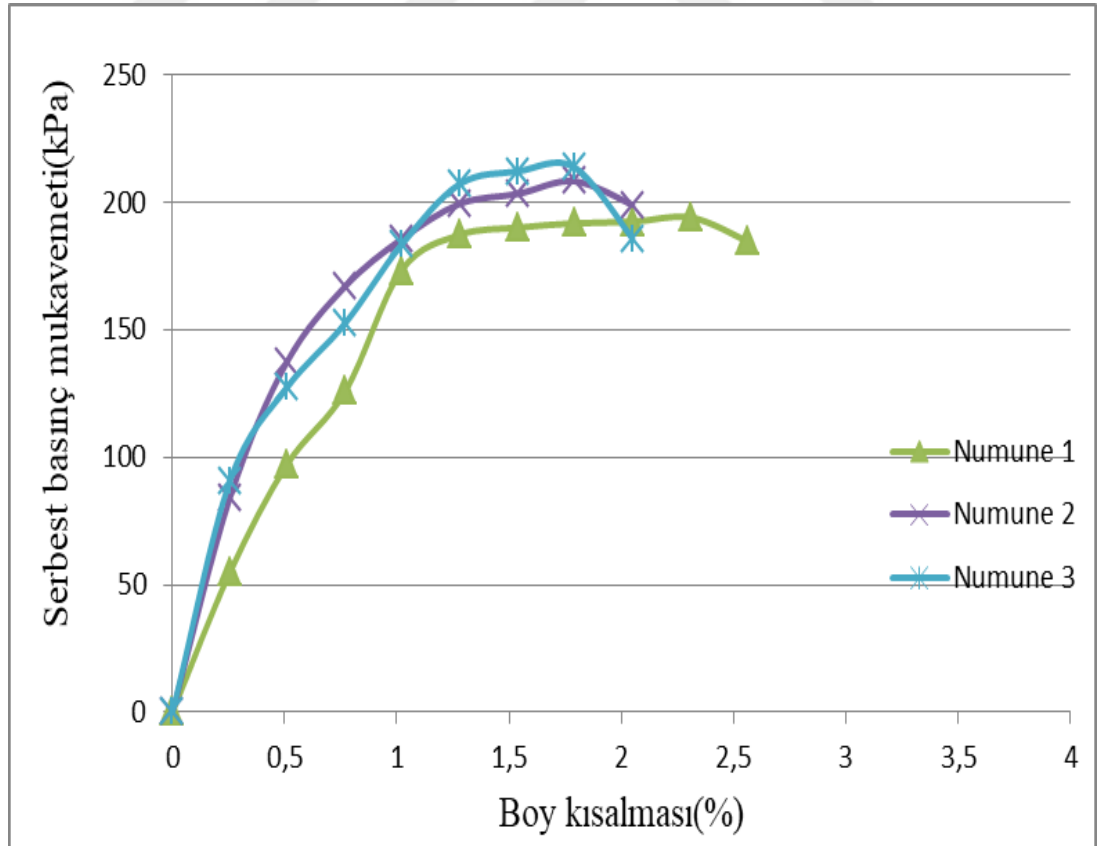
Şekil C.39. %4 çimentolu zeminin anlık serbest basınç deneyi-1



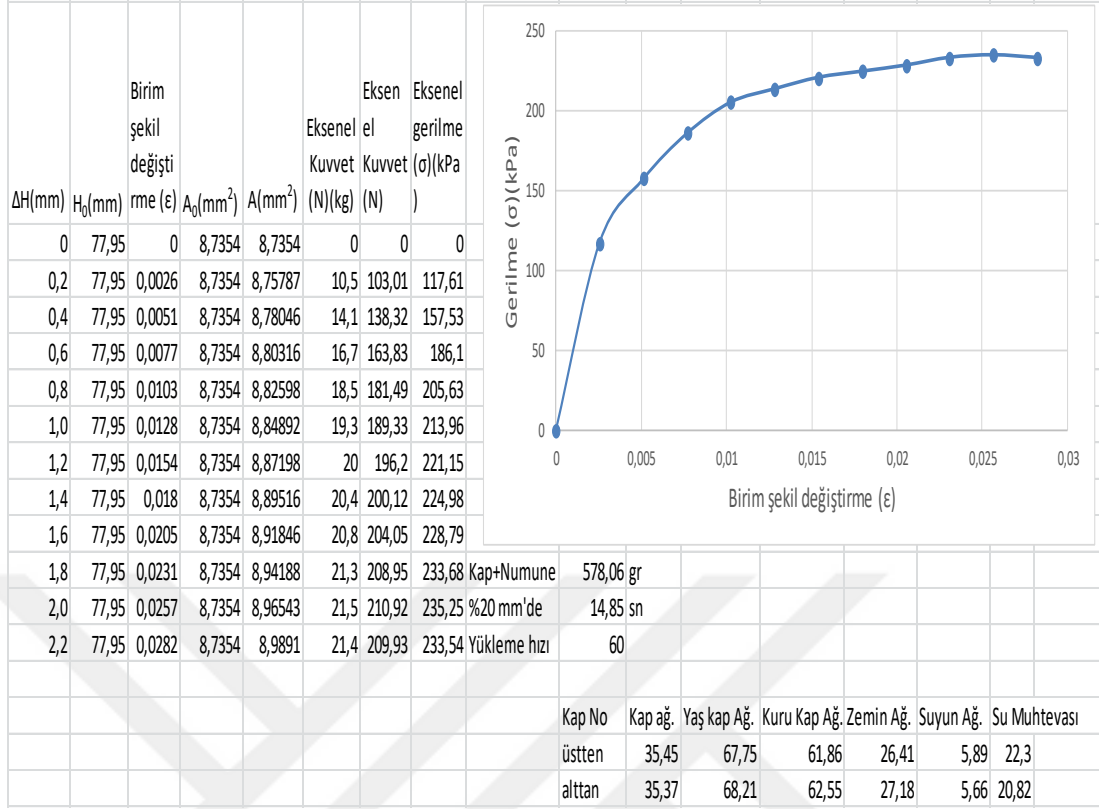
Şekil C.40. %4 çimentolu zeminin anlık serbest basınç deneyi-2



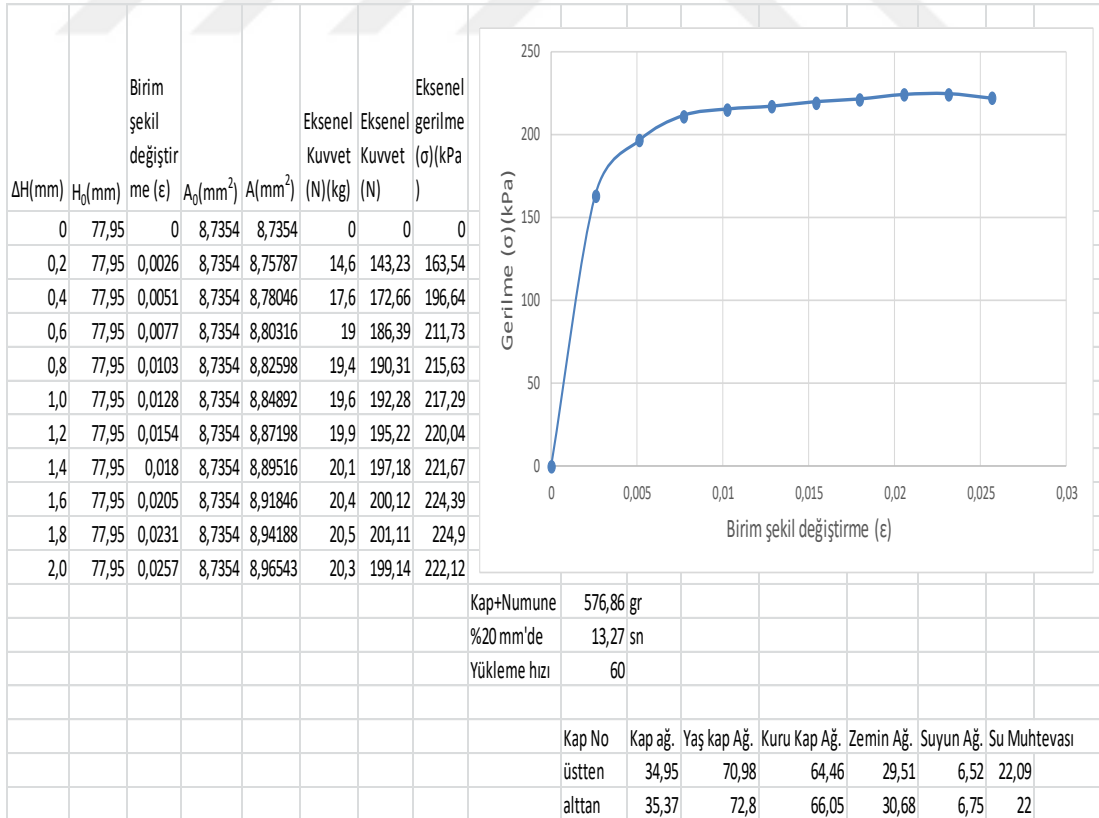
Şekil C.41. %4 çimentolu zeminin anlık serbest basınç deneyi-3



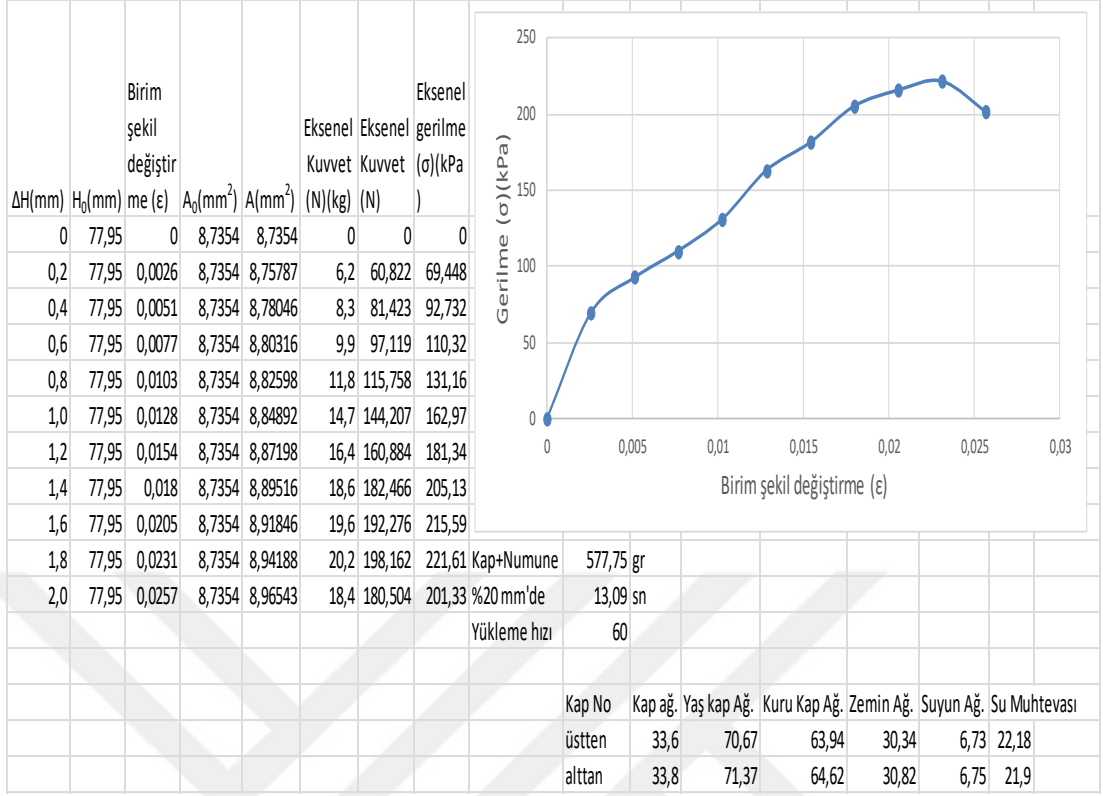
Şekil C.42. %4 çimentolu zeminin anlık serbest basınç grafikleri



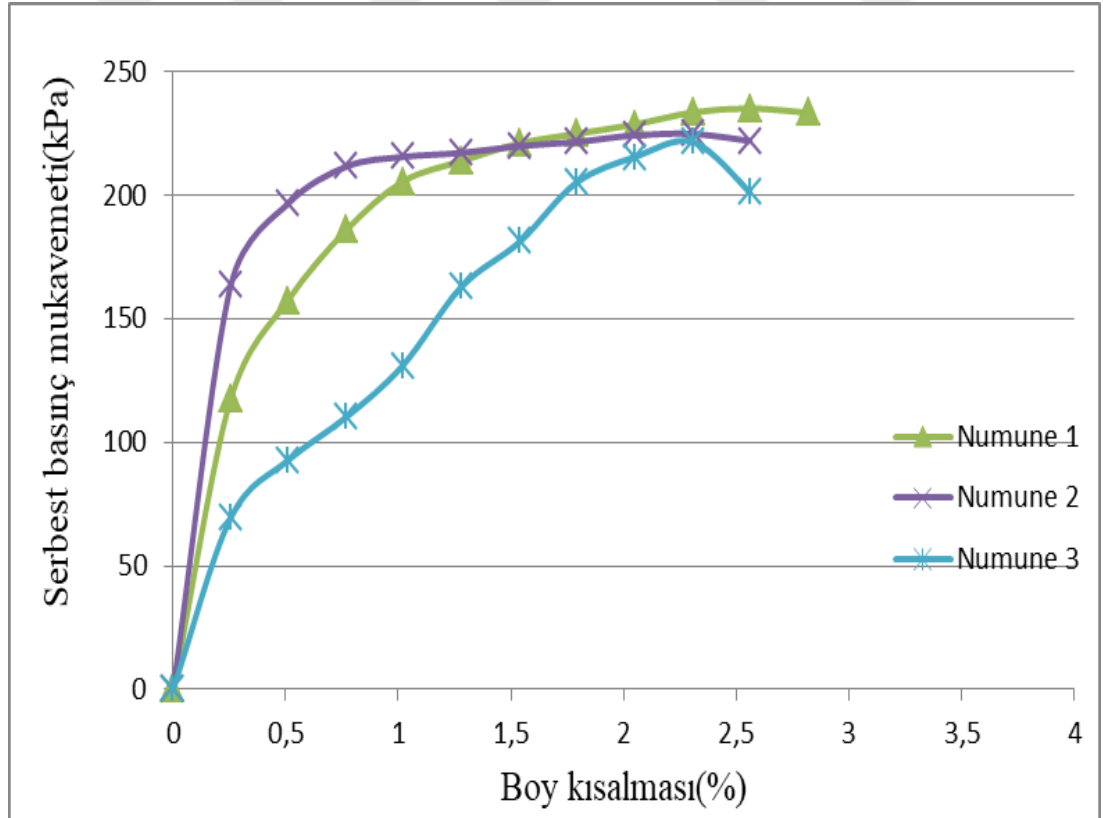
Şekil C.43. %4 çimentolu zeminin 1 günlük serbest basınç deneyi-1



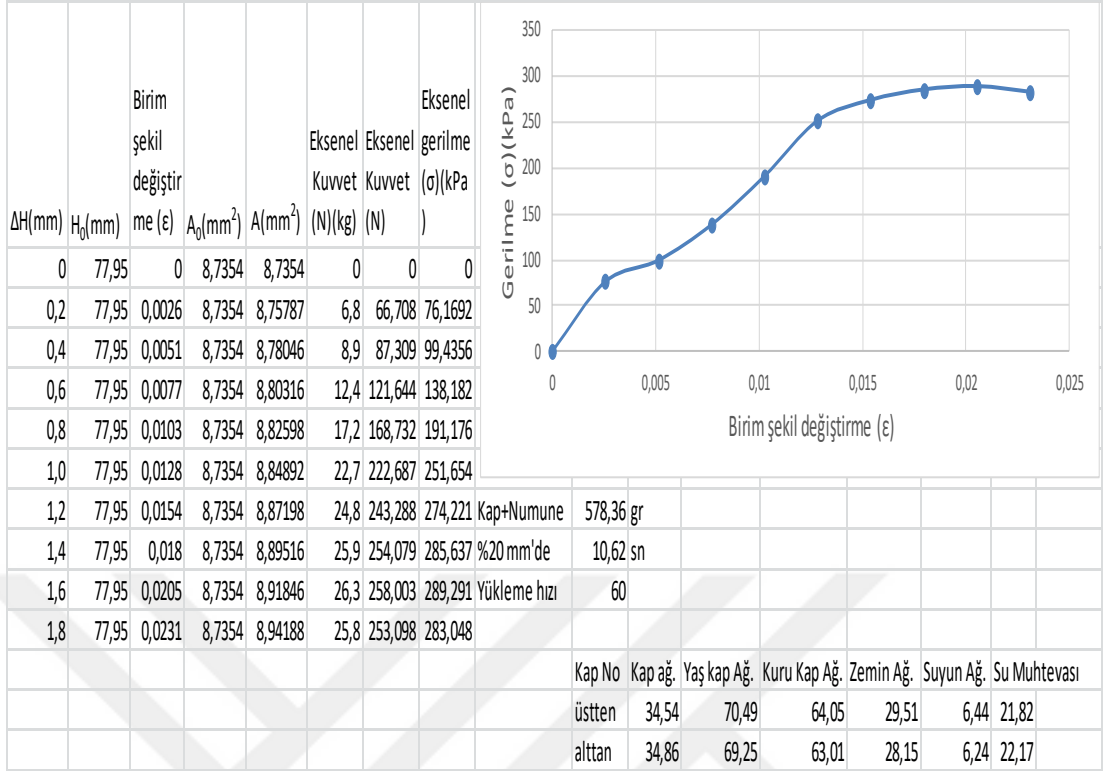
Şekil C.44. %4 çimentolu zeminin 1 günlük serbest basınç deneyi-2



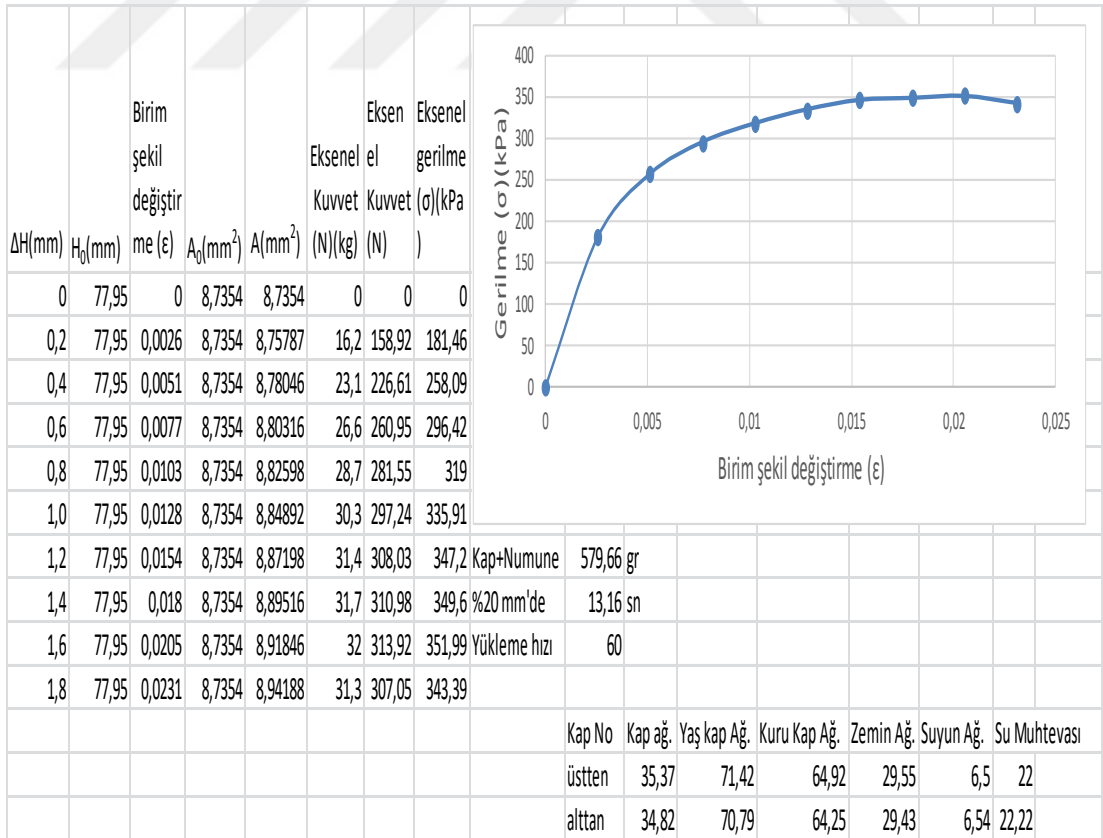
Şekil C.45. %4 çimentolu zeminin 1 günlük serbest basınç deneyi-3



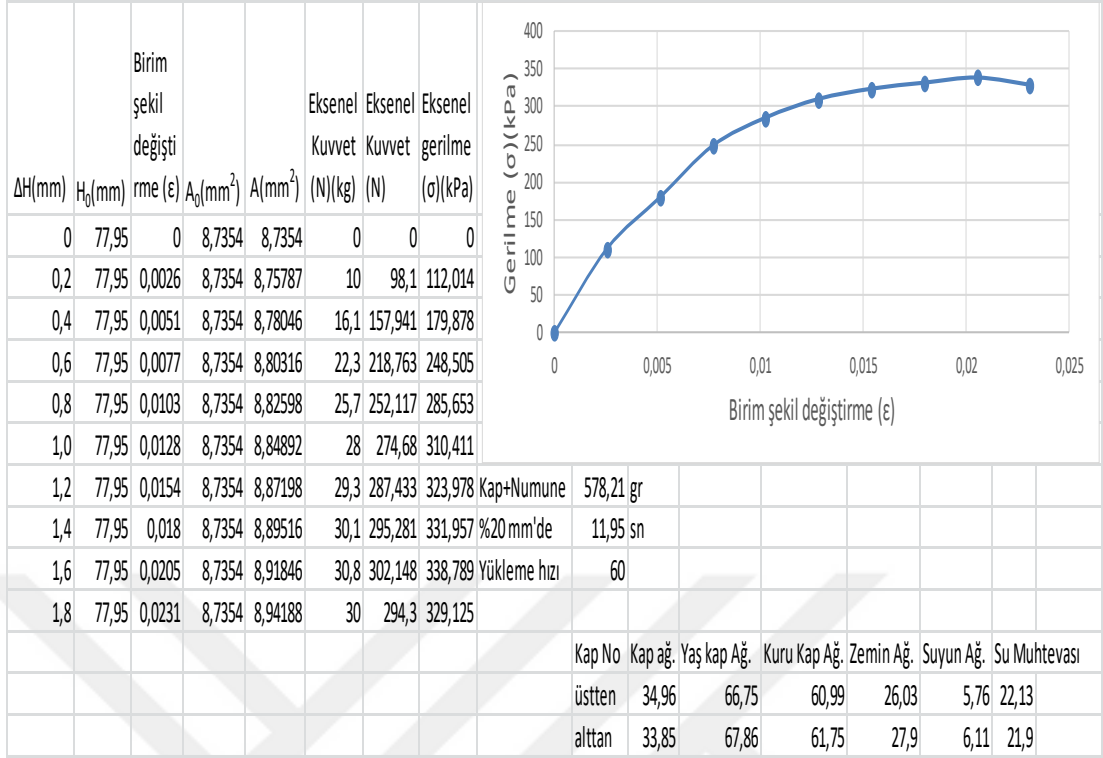
Şekil C.46. %4 çimentolu zeminin 1 günlük serbest basınç grafikleri



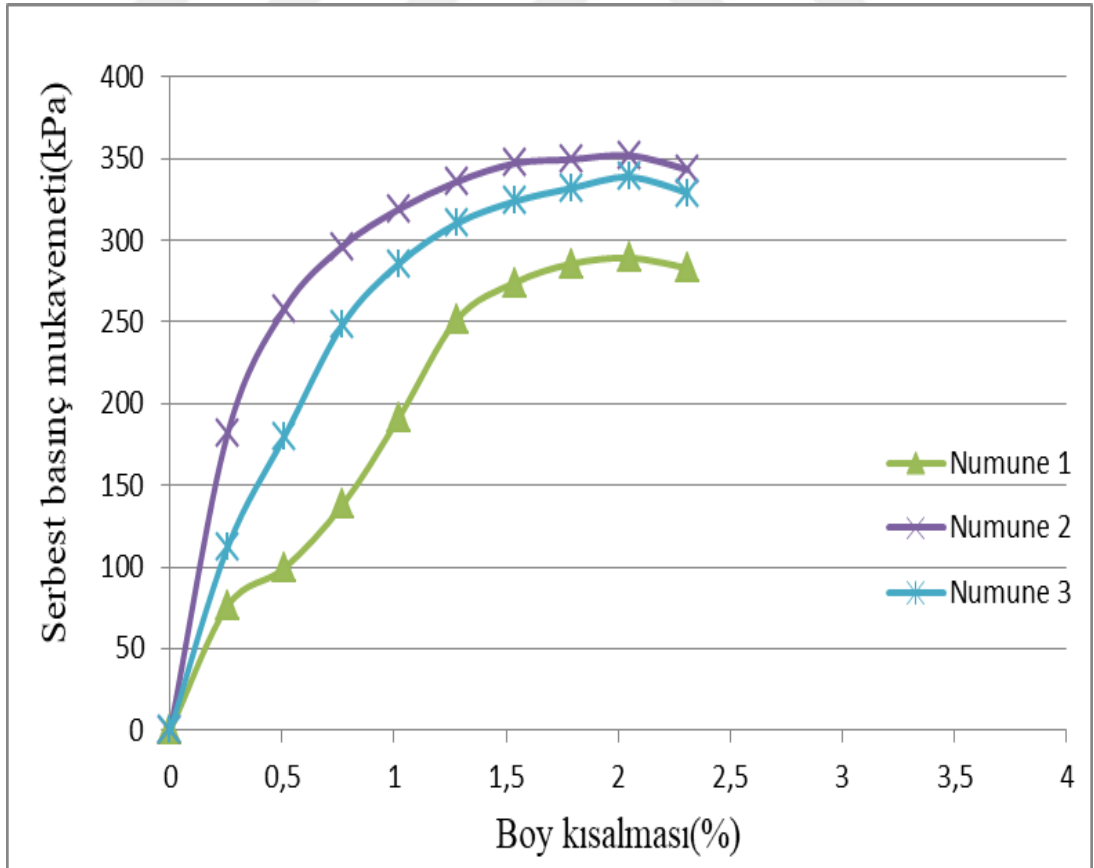
Şekil C.47. %4 çimentolu zeminin 7 günlük serbest basınç deneyi-1



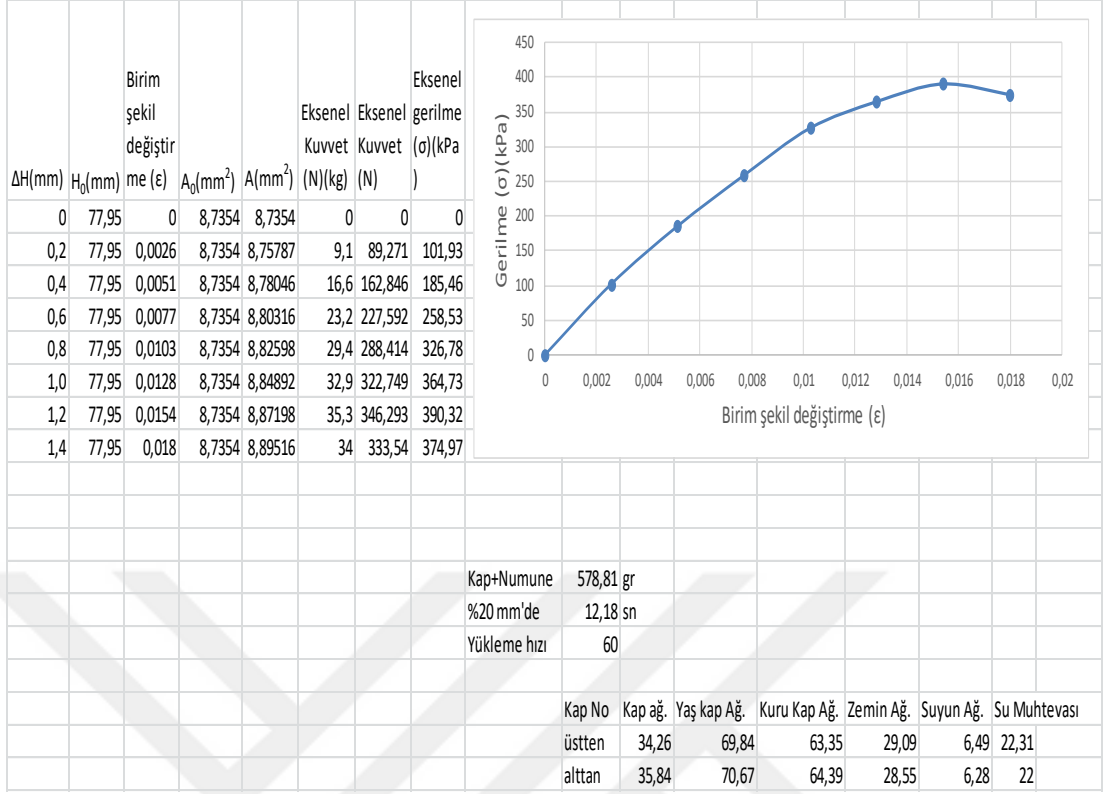
Şekil C.48. %4 çimentolu zeminin 7 günlük serbest basınç deneyi-2



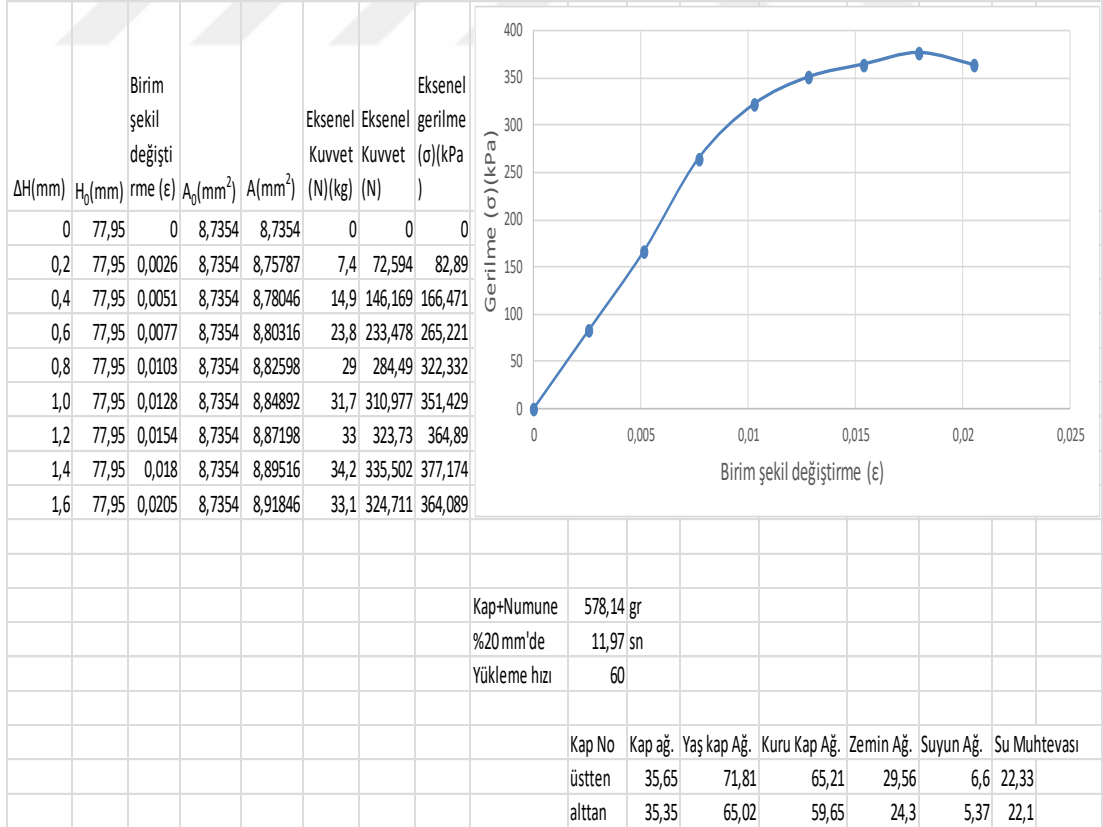
Şekil C.49. %4 çimentolu zeminin 7 günlük serbest basınç deneyi-3



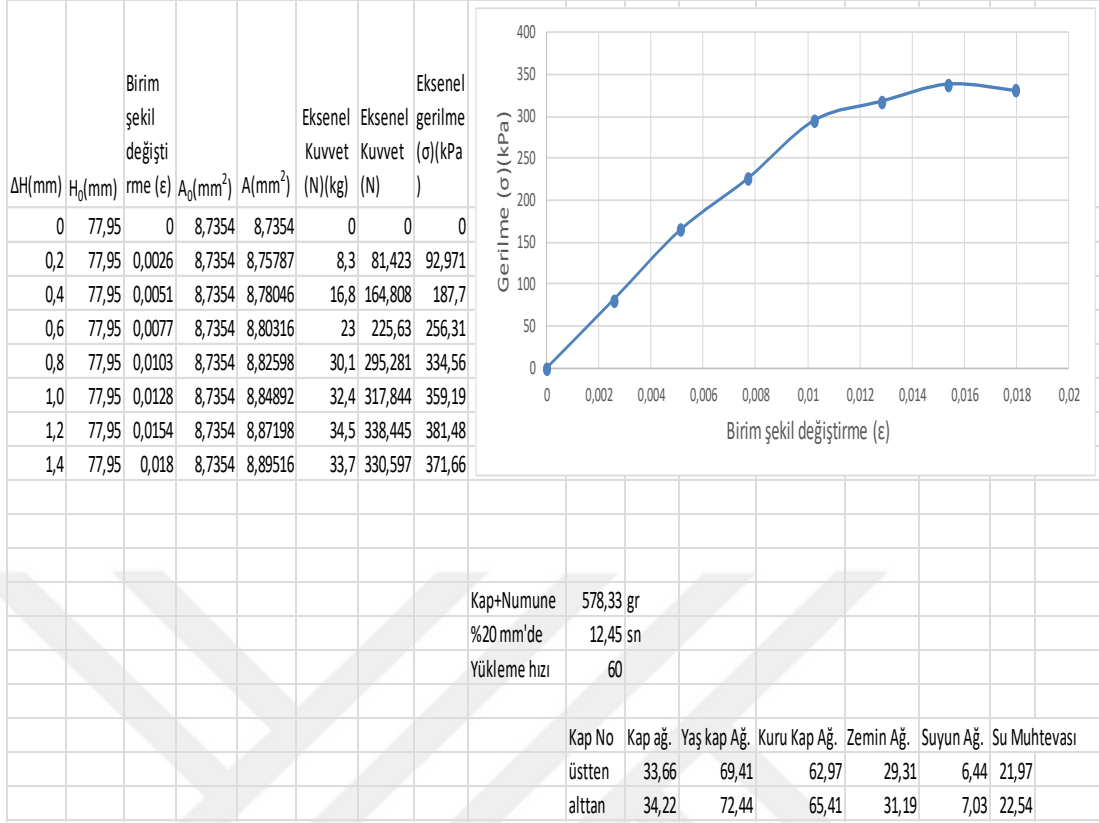
Şekil C.50. %4 çimentolu zeminin 7 günlük serbest basınç grafikleri



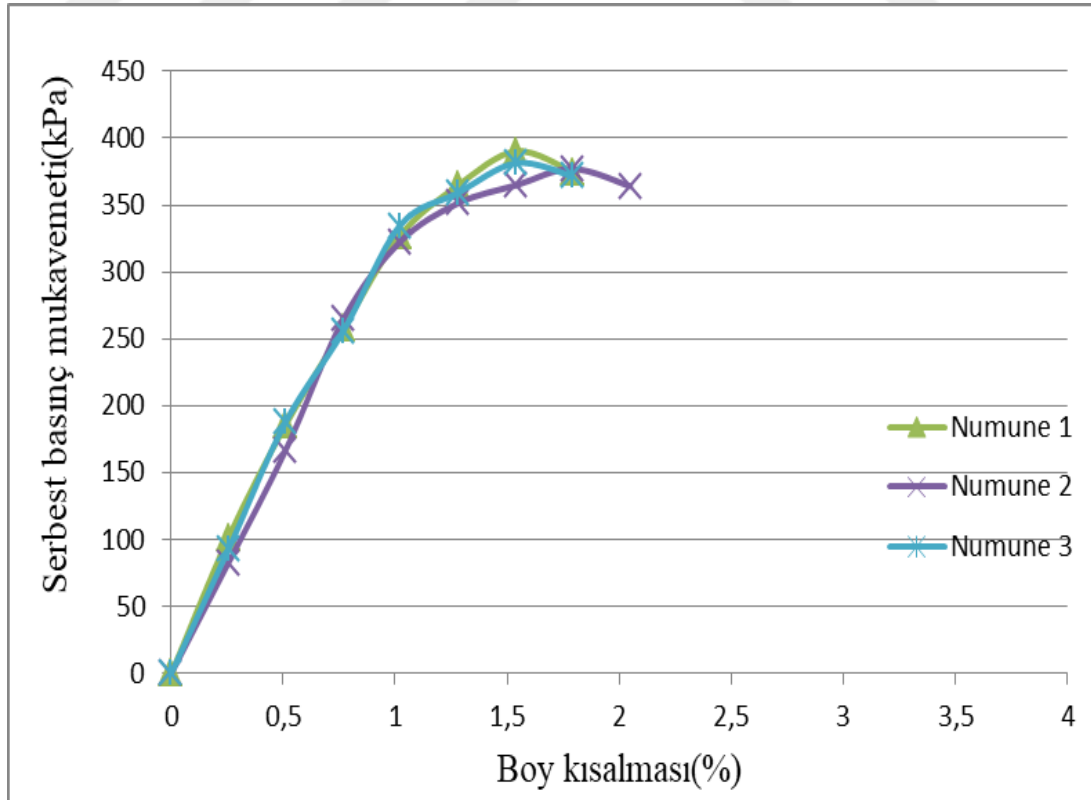
Şekil C.51. %4 çimentolu zeminin 28 günlük serbest basınç deneyi-1



Şekil C.52. %4 çimentolu zeminin 28 günlük serbest basınç deneyi-2



Şekil C.53. %4 çimentolu zeminin 28 günlük serbest basınç deneyi-3



Şekil C.54. %4 çimentolu zeminin 28 günlük serbest basınç grafikleri

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Ayan E., Kilin Kireç Ve Çimento İle Stabilizasyonu, *Uluslararası Marmara Fen Bilimleri Kongresi*, Kervansaray Kültür Merkezi, Kocaeli, 5 Aralık 2020.



ÖZGEÇMİŞ

İlkokul ve ortaokul eğitimini Kalencik YİBO'da lise eğitimini ise Bitlis Anadolu Lisesi'nde tamamladı. Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nü 2017 yılında bitirerek İnşaat Mühendisi ünvanını aldı. 2018 yılında Kocaeli Üniversitesi Yüksek Lisans programına başladı. 2020 yılında Aktek Teknoloji ve Mühendislik firmasında Tasarım Mühendisi olarak çalıştı. 2021 yılında Şenol İnşaat firmasında Saha mühendisi olarak işe devam ediyor. Şuanda bir betonarme prefabrik firmasında Statik Mühendis olarak çalışmaya devam ediyor.

