

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SÖNMEMİŞ VE HİDROLİK KİREÇLE ZEMİN
İYİLEŞTİRİLMESİ

VE KÜTLE STABİLİZASYONU

DENİZ BOSTANCI

KOCAELİ 2020

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SÖNMEMİŞ VE HİDROLİK KİREÇLE ZEMİN
İYİLEŞTİRİLMESİ
VE KÜTLE STABİLİZASYONU

DENİZ BOSTANCI

Doç.Dr. Aydın KAVAK

Danışman, Kocaeli Üniversitesi

.....

Prof.Dr. Sami ARSOY

Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi

.....

Dr. Öğr. Üyesi Gamze BİLGİN

Jüri Üyesi, Karabük Üniversitesi

.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 02.09.2020

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Kocaeli ilinin Derince ilçesinde bulunan Safi Port Limanı'ndan getirilen kilin laboratuvar ortamında yapılan araştırmalar neticesinde geoteknik özellikleri belirlenmiştir. Getirilen kilin sönmemiş ve hidrolik kireç katkıları kullanılarak zeminde stabilizasyon ve kütle korunmasını sağlayıp sağlamayacağı gerekli laboratuvar deneyleri yapılarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara bakıldığında sönmemiş kireç ve hidrolik kireç katkıları zeminin geoteknik özelliklerini artırdığı gözlemlenmiştir.

Yapılan çalışmanın amacı yüksek plastisiteli yapıdaki kilin sönmemiş ve hidrolik kireçle iyileştirilebileceğini laboratuvar ortamında yapılan deneylerle kanıtlamaktır.

Çalışmalarım boyunca tecrübelerini benden esirgemeyen ve her zaman destek olan, beni tecrübeleriyle doğru yönlendiren değerli hocam ve aynı zamanda tez danışmanım olan sayın Doç. Dr. Aydın KAVAK'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her alanında bana destek olan elinden gelen herşeyi ortaya koyan sevgili aileme ve eksikliğini hissettiğim konularda desteğini esirgemeyen arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi ve sevgimi sunarım.

Ekim-2020Deniz BOSTANCI

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
TABLolar DİZİNİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	ix
ÖZET	x
ABSTRACT.....	xi
GİRİŞ	1
1.LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	4
2.ZEMİN STABİLİZASYONUNA GENEL BAKIŞ.....	11
2.1. Kütle Stabilizasyonu	11
2.1.1. Kütle stabilizasyonu yöntemi ve makineler	11
2.1.2. Yöntemin faydaları	11
2.2.Zeminin İyileştirilmesi ve Stabilizasyon.....	12
2.2.1. Yüzeysel zemin iyileştirmeleri.....	15
2.2.2. Kireç ile zeminin iyileştirilmesi	15
2.3. Killer	16
2.3.1. Kil minerallerinin sahip olduğu kristal yapı	18
2.3.2. Kil minerallerinin türleri	19
2.3.2.1. İki tabakalı killer	19
2.3.2.1.1. Hallosit:	20
2.3.2.1.2. Kaolinit:	20
2.3.2.2. Üç tabakalı killer	21
2.3.2.2.1. Vermiküllitler:	21
2.3.2.2.2. Montmorillonit grubu killer:	21
2.3.2.2.3. İllit kil mineralleri:	22
2.3.2.3. Dört tabakalı killer	22
2.3.2.3.1. Klorit kil mineralleri	23
2.3.3. Killi zeminlerde kayma mukavemeti	23
2.3.4. Killerin tayini	24
2.4. Kireç.....	24
2.4.1. Kireç türleri	27

2.4.1.1. Su (hidrolik) kireci	28
2.4.1.1.1. Doğal hidrolik kireçler	29
2.4.1.1.2. Yapay hidrolik kireçler	30
2.4.1.2. Sönmemiş kireç	30
2.4.2. Kireç kullanımı	30
2.4.3. Kireç kullanımının yararları	32
2.4.4. Kirecin yapı sektöründe ve inşaat işlerinde kullanılması	32
2.4.5. Zeminin kireç ile stabilizasyonu	32
2.4.5.1. Zeminin mukavemetinde oluşan değişimler	35
2.4.5.2. Zeminin plastisite indisindeki değişimi	35
2.4.5.3. Zeminin optimum su muhtevası ve maks kuru birim hacim ağırlığındaki değişim	36
3. YÖNTEM VE KULLANILAN MALZEMELER	38
3.1. Kireç	39
3.2. Zemin Numunesi	40
3.3. Deneyler	40
3.3.1. Killi zemin numunesinin geoteknik özelliklerinin belirlenmesi	40
3.3.2. Atterberg kıvam limitleri (likit limit-plastik limit) deneyi	41
3.3.3. Hidrometre deneyi	45
3.3.4. Yıkamalı elek analizi	46
3.3.5. Piknometre deneyi	47
3.3.6. Kompaksiyon (proktor) deneyi	47
3.3.7. PH deneyi	48
3.3.8. Serbest basınç deneyi	50
4. LABORATUVAR DENEY SONUÇLARI VE SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ	52
4.1. Doğal Su Muhtevasının Belirlenmesi	52
4.2. Killi Zeminin Kullanımı	53
4.3. Atterberg Kıvam Limitleri (Likit Limit-Plastik Limit) Deneyi	53
4.4. Hidrometre Deneyi	57
4.5. Yıkamalı Elek Analizi	59
4.6. Piknometre Deneyi	60
4.7. Kompaksiyon (Proktor) Deneyi	62
4.8. PH Deneyi	66
4.9. Serbest Basınç Deneyi	68
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	88
KAYNAKLAR	90

EKLER.....	93
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER	128
ÖZGEÇMİŞ	129



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.Kütle Stabilizasyonu Şematik Gösterimi	12
Şekil 2.2.Zemin Stabilizasyon Yöntemleri	14
Şekil 2.3.Killerin Çatlaklı ve Suya Doygun Hali	17
Şekil 2.4.Kil Minerallerinin Ana Birimleri	18
Şekil 2.5.Kil Minerallerinin Yaprakçıklarında Tetrahedron ve Oktahedron Tabakalarının Sıralanışı	18
Şekil 2.6.Kaolinit Kil Grubu Minerallerinin Yapısı	20
Şekil 2.7.Mikanın İllite, İlliten Vermiküllit ve Montmorillonite Dönüşmesi	21
Şekil 2.8.Toplam ve Efektif Gerilme Zarfları	23
Şekil 2.9.Casagrande Plastisite Kartı	24
Şekil 2.10.Hava Kirecinin Kimyasal Döngüsü	27
Şekil 2.11.Kirecin Sınıflandırılması	28
Şekil 2.12.Hidrolik Kirecin Kimyasal Dönüşüm Şeması	29
Şekil 2.13.Farklı Dane Boyutuna Sahip Kireçler	33
Şekil 2.14.Kireç Katkısının Zemin Üzerindeki Dayanıma Etkisi	36
Şekil 2.15.Zemin Parametrelerinin Kireç ile Değişimi	36
Şekil 3.1.Zemin Kıvam Limitleri ve Hacim Değişikliği	42
Şekil 3.2.Likit Limit Deney Aleti ve Deney Uygulaması	44
Şekil 3.3.Plastik Limit Deney Takımı	44
Şekil 3.4.UCSC Sınıflandırma Sistemi	45
Şekil 3.5.Hidrometre Deney Düzenekleri	46
Şekil 3.6.Yıkamalı Elek Analizinde Elek Açıklığı ve Elek Düzeneği	46
Şekil 3.7.Piknometre Şişesi ve Deney Uygulaması	47
Şekil 3.8.Kompaksiyon (Proktor) Deney Aletleri	48
Şekil 3.9.PH Metre	49
Şekil 3.10.Numune Kesiti ve Serbest basınç Grafiği	50
Şekil 3.11.Serbest Basınç Deneyi Aleti	51
Şekil 4.1.Zemin Kireç Karışımının Hazırlanması	53
Şekil 4.2.Likit Limit Deneyi	54
Şekil 4.3.Likit Limit- Vuruş Sayısı Grafiği	55
Şekil 4.4.Plastik Limit Numuneleri	56
Şekil 4.5.Hidrometre Deneyi için Kullanılan Çözücü Malzemeler	58
Şekil 4.6.Piknometre Deneyi	61
Şekil 4.7.Standart Proktor Deneyinin Yapılışı	62
Şekil 4.8.Optimum Su Muh.- Maks. Kuru Birim Hacim Ağ. Eğrisi	63
Şekil 4.9.Minyatür Proktor Aleti ile Numunenin Hazırlanması	64
Şekil 4.10.Katkısız ve Sönmemiş Kireç Katkısında M.K.B.H.A. ve Op. Su Muh.	65
Şekil 4.11.Katkısız ve Hidrolik Kireç Katkısında M.K.B.H.A. ve Op. Su Muh.	65
Şekil 4.12.Ph Deneyi için Hazırlanan Numuneler	67
Şekil 4.13.Ph Deneyi Sonuç Grafiği	68

Şekil 4.14 Hazırlanan Zemin Numunesinin Serbest Basınç Deneyi Uygulaması	70
Şekil 4.15 Numunelerin Alüminyum Folyoya Sarılması ve Kaptı Bekletilmesi	70
Şekil 4.16. Serbest Basınç Deneyleri Maksimum Mukavemet Değerleri	71
Şekil 4.17. Serbest Basınç Deneyleri Maksimum Mukavemet Değerleri	72
Şekil 4.18. Serbest Basınç Deneyi Ortalama Mukavemet Değerleri	72
Şekil 4.19.0 Günlük Katkısız Gerilme-Deformasyon Grafiği	74
Şekil 4.20.1 Günlük Katkısız Gerilme-Deformasyon Grafiği	74
Şekil 4.21.0 Günlük %8 Sönmemiş K.K. Gerilme-Deformasyon Grafiği	75
Şekil 4.22.0 Günlük %10 Sönmemiş K.K. Gerilme-Deformasyon Grafiği	75
Şekil 4.23.0 Günlük %12 Sönmemiş Kireç Katkılı Gerilme-Deformasyon Grafiği	76
Şekil 4.24.0 Günlük %8 Hidrolik K.K. Gerilme-Deformasyon Grafiği	76
Şekil 4.25.0 Günlük %10 Hidrolik K.K. Gerilme-Deformasyon Grafiği	77
Şekil 4.26.0 Günlük %12 Hidrolik K.K. Gerilme-Deformasyon Grafiği	77
Şekil 4.27.1 Günlük %8 Hidrolik K.K. Gerilme-Deformasyon Grafiği	78
Şekil 4.28.1 Günlük %10 Hidrolik K.K. Gerilme-Deformasyon Grafiği	78
Şekil 4.29.1 Günlük %12 Hidrolik K.K. Gerilme-Deformasyon Grafiği	79
Şekil 4.30.7 Günlük %8 Hidrolik K.K. Gerilme-Deformasyon Grafiği	79
Şekil 4.31.7 Günlük %10 Hidrolik K.K. Gerilme-Deformasyon Grafiği	80
Şekil 4.32.7 Günlük %12 Hidrolik K.K. Gerilme-Deformasyon Grafiği	80
Şekil 4.33.28 Günlük %8 Hidrolik K.K. Gerilme-Deformasyon Grafiği	81
Şekil 4.34.28 Günlük %10 Hidrolik K.K. Gerilme-Deformasyon Grafiği	81
Şekil 4.35.28 Günlük %12 Hidrolik K.K. Gerilme-Deformasyon Grafiği	82
Şekil A.1. Katkısız Zeminin Likit Limit Grafiği	94
Şekil A.2. %8 Sönmemiş K.K. Zeminin Likit Limit Grafiği	94
Şekil A.3. %10 Sönmemiş K.K. Zeminin Likit Limit Grafiği	95
Şekil A.4. %10 Sönmemiş K.K. Zeminin Likit Limit Grafiği	95
Şekil A.5. %8 Hidrolik K.K. Zeminin Likit Limit Grafiği	96
Şekil A.6. %10 Hidrolik K.K. Zeminin Likit Limit Grafiği	96
Şekil A.7. %12 Hidrolik K.K. Zeminin Likit Limit Grafiği	97
Şekil B.1. Katkısız Zeminin M.K.B.H.A.-Op. Su Muh. Grafiği	98
Şekil B.2. %8 Sönmemiş K.K. Zeminin M.K.B.H.A.-Op. Su Muh. Grafiği	98
Şekil B.3. %10 Sönmemiş K.K. Zeminin M.K.B.H.A.-Op. Su Muh. Grafiği	99
Şekil B.4. %12 Sönmemiş K.K. Zeminin M.K.B.H.A.-Op. Su Muh. Grafiği	99
Şekil B.5. %8 Hidrolik K.K. Zeminin M.K.B.H.A.-Op. Su Muh. Grafiği	100
Şekil B.6. %10 Hidrolik K.K. Zeminin M.K.B.H.A.-Op. Su Muh. Grafiği	100
Şekil B.7. %12 Hidrolik K.K. Zeminin M.K.B.H.A.-Op. Su Muh. Grafiği	101
Şekil C.1. Katkısız Zeminin 0 Günlük Serbest Basınç Deneyi 1	102
Şekil C.2. Katkısız Zeminin 0 Günlük Serbest Basınç Deneyi 2	102
Şekil C.3. Katkısız Zeminin 0 Günlük Serbest Basınç Deneyi 3	103
Şekil C.4. Katkısız Zeminin 1 Günlük Serbest Basınç Deneyi 1	103
Şekil C.5. Katkısız Zeminin 1 Günlük Serbest Basınç Deneyi 2	104
Şekil C.6. Katkısız Zeminin 1 Günlük Serbest Basınç Deneyi 3	104
Şekil C.7. %8 Sönmemiş K.K. Zeminin 0 Günlük Serbest Basınç Deneyi 1	105
Şekil C.8. %8 Sönmemiş K.K. Zeminin 0 Günlük Serbest Basınç Deneyi 2	105
Şekil C.9. %8 Sönmemiş K.K. Zeminin 0 Günlük Serbest Basınç Deneyi 3	106
Şekil C.10. %10 Sönmemiş K.K. Zeminin 0 Günlük Serbest Basınç Deneyi 1	106

Şekil C.11. %10 Sönmemiş K.K. Zeminin 0 Günlük Serbest Basınç Deneyi 2	107
Şekil C.12. %10 Sönmemiş K.K. Zeminin 0 Günlük Serbest Basınç Deneyi 3	107
Şekil C.13. %12 Sönmemiş K.K. Zeminin 0 Günlük Serbest Basınç Deneyi 1	108
Şekil C.14. %12 Sönmemiş K.K. Zeminin 0 Günlük Serbest Basınç Deneyi 2	108
Şekil C.15. %12 Sönmemiş K.K. Zeminin 0 Günlük Serbest Basınç Deneyi 3	109
Şekil C.16. %8 Hidrolik K.K. Zeminin 0 Günlük Serbest Basınç Deneyi 1	109
Şekil C.17. %8 Hidrolik K.K. Zeminin 0 Günlük Serbest Basınç Deneyi 2	110
Şekil C.18. %8 Hidrolik K.K. Zeminin 0 Günlük Serbest Basınç Deneyi 3	110
Şekil C.19. %10 Hidrolik K.K. Zeminin 0 Günlük Serbest Basınç Deneyi 1	111
Şekil C.20. %10 Hidrolik K.K. Zeminin 0 Günlük Serbest Basınç Deneyi 2	111
Şekil C.21. %10 Hidrolik K.K. Zeminin 0 Günlük Serbest Basınç Deneyi 3	112
Şekil C.22. %12 Hidrolik K.K. Zeminin 0 Günlük Serbest Basınç Deneyi 1	112
Şekil C.23. %12 Hidrolik K.K. Zeminin 0 Günlük Serbest Basınç Deneyi 2	113
Şekil C.24. %12 Hidrolik K.K. Zeminin 0 Günlük Serbest Basınç Deneyi 3	113
Şekil C.25. %8 Hidrolik K.K. Zeminin 1 Günlük Serbest Basınç Deneyi 1	114
Şekil C.26. %8 Hidrolik K.K. Zeminin 1 Günlük Serbest Basınç Deneyi 2	114
Şekil C.27. %8 Hidrolik K.K. Zeminin 1 Günlük Serbest Basınç Deneyi 3	115
Şekil C.28. %10 Hidrolik K.K. Zeminin 1 Günlük Serbest Basınç Deneyi 1	115
Şekil C.29. %10 Hidrolik K.K. Zeminin 1 Günlük Serbest Basınç Deneyi 2	116
Şekil C.30. %10 Hidrolik K.K. Zeminin 1 Günlük Serbest Basınç Deneyi 3	116
Şekil C.31. %12 Hidrolik K.K. Zeminin 1 Günlük Serbest Basınç Deneyi 1	117
Şekil C.32. %12 Hidrolik K.K. Zeminin 1 Günlük Serbest Basınç Deneyi 2	117
Şekil C.33. %12 Hidrolik K.K. Zeminin 1 Günlük Serbest Basınç Deneyi 3	118
Şekil C.34. %8 Hidrolik K.K. Zeminin 7 Günlük Serbest Basınç Deneyi 1	118
Şekil C.35. %8 Hidrolik K.K. Zeminin 7 Günlük Serbest Basınç Deneyi 2	119
Şekil C.36. %8 Hidrolik K.K. Zeminin 7 Günlük Serbest Basınç Deneyi 3	119
Şekil C.37. %10 Hidrolik K.K. Zeminin 7 Günlük Serbest Basınç Deneyi 1	120
Şekil C.38. %10 Hidrolik K.K. Zeminin 7 Günlük Serbest Basınç Deneyi 2	120
Şekil C.39. %10 Hidrolik K.K. Zeminin 7 Günlük Serbest Basınç Deneyi 3	121
Şekil C.40. %12 Hidrolik K.K. Zeminin 7 Günlük Serbest Basınç Deneyi 1	121
Şekil C.41. %12 Hidrolik K.K. Zeminin 7 Günlük Serbest Basınç Deneyi 2	122
Şekil C.42. %12 Hidrolik K.K. Zeminin 7 Günlük Serbest Basınç Deneyi 3	122
Şekil C.43. %8 Hidrolik K.K. Zeminin 28 Günlük Serbest Basınç Deneyi 1	123
Şekil C.44. %8 Hidrolik K.K. Zeminin 28 Günlük Serbest Basınç Deneyi 2	123
Şekil C.45. %8 Hidrolik K.K. Zeminin 28 Günlük Serbest Basınç Deneyi 3	124
Şekil C.46. %10 Hidrolik K.K. Zeminin 28 Günlük Serbest Basınç Deneyi 1	124
Şekil C.47. %10 Hidrolik K.K. Zeminin 28 Günlük Serbest Basınç Deneyi 2	125
Şekil C.48. %10 Hidrolik K.K. Zeminin 28 Günlük Serbest Basınç Deneyi 3	125
Şekil C.49. %12 Hidrolik K.K. Zeminin 28 Günlük Serbest Basınç Deneyi 1	126
Şekil C.50. %12 Hidrolik K.K. Zeminin 28 Günlük Serbest Basınç Deneyi 2	126
Şekil C.51. %12 Hidrolik K.K. Zeminin 28 Günlük Serbest Basınç Deneyi 3	127

TABLolar DİZİNİ

Tablo 2.1.Stabilizasyon-İyileştirmede Kullanılacak Kirecin Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri.....	16
Tablo 2.2.Kil Minerallerinin (Ağırlığa Göre) Kimyasal Bileşimi (%)	19
Tablo 2.3.Zemin Cinsine Göre Önerilen Kireç Oranı.....	34
Tablo 3.1.Kullanılan Kilin Geoteknik Özellikleri.....	41
Tablo 3.2.Zeminlerin Plastisite Sınıflaması	43
Tablo 3.3.Wl ve Ip Değerlerinin Zemin Özelliklerine Etkisi.....	43
Tablo 4.1.Derince Kilinin Doğal Su Muhtevası Değeri.....	52
Tablo 4.2.Atterberg Kıvam Limiti Değerleri	57
Tablo 4.3.Hidrometre Deneyi Okuma Sonuçları	59
Tablo 4.4.Yıkamalı Elek Analizi Sonuçları Dane Boyu Dağılım Eğrisi	60
Tablo 4.5.Piknometre Deney Sonuçları	62
Tablo 4.6.Kireç Katkı Oranına Göre Optimum Su Muhtevası ve Maks. K.B.H.A.	66
Tablo 4.7.Ph Deneyi Sonuçları	67
Tablo 4.8.Serbest Basınç Deneyi Numune Bilgileri	69
Tablo 4.9. Kullanılan Kireç Katkısına Göre Atterberg Kıvam Limiti Değerlerindeki % Değişim Oranı.....	82
Tablo 4.10.Kullanılan Kireç Katkısına Göre Maks. K.B.H.A. ve Op. Su Muh. % Değişim Oranı	84
Tablo 4.11.Kullanılan Kireç Katkısına ve Kür süresine Göre Ortalama Serbest Basınç Mukavemet Değerlerinde % Değişim Oranı.....	85
Tablo 4.12.Kullanılan Kireç Katkısına ve Kür süresine Göre Ortalama Serbest Basınç Mukavemet Değerlerinde % Değişim Oranı.....	86

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Al	: Alüminyum
Al ₂ O ₃	: Alüminyum Oksit
CaO	: Kalsiyumoksit
Ca(OH) ₂	: Sönmüş Kireç
CH	: Yüksek plastisiteli kil
CL	: Düşük plastisiteli kil
Fe	: Demir
K	: Potasyum
kPa	: Kilopascal
Mg	: Magnezyum
MPa	: Megapascal
P	: Düzgün yayılı yük
q _u	: Serbest Basınç Dayanımı
Si	: Silisyum
SO 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

K.B.H.A.	: Kuru Birim Hacim Ağırlık
LL	: Likit Limit
M.K.B.H.A.	: Maksimum Kuru Birim Hacim Ağırlık
PI	: Plastisite İndisi
PL	: Plastik Limit
USCS	: Birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemi
AASHTO	: Amerikan Devlet Karayolu ve Ulaştırma İdareleri Birliği

SÖNMEMİŞ VE HİDROLİK KİREÇLE ZEMİN İYİLEŞTİRİLMESİ VE KÜTLE STABİLİZASYONU

ÖZET

Bu çalışmada Kocaeli ilinin Derince ilçesinde bulunan Safiport limanından alınan zemin numunesinin özellikleri incelendiğinde yüksek plastisiteli bir kil olduğu görülmüştür. Günümüz koşullarına bakıldığında her geçen gün zemin iyileştirme yöntemlerine olan ihtiyacın arttığı görülmektedir.Öncelikli olarak zeminin iyileştirme yöntemleri olan yüzeysel ve derin iyileştirme yöntemleri kısaca incelenmiştir.Killer ele alınmış ve kireç ile iyileştirme yapmış olduğumuz için daha detaylı bir şekilde kirecin özellikleri ele alınmıştır.Bu çalışma kapsamında zemin iyileştirme yöntemi olarak laboratuvar ortamında sönmemiş kireç ve hidrolik kireç katkılarını %8, %10 ve %12 oranlarında kullanarak zemin üzerinde oluşturmuş oldukları olumlu etki incelenmiştir. Kıvam Limitleri (Likit Limit, Plastik Limit), Hidrometre, Piknometre, Kompaksiyon, Ph ve Serbest Basınç deneyleri yapılmıştır. Başlangıçta hiçbir katkı maddesi kullanılmadan aynı yerden alınmış olan zemin numuneleri üzerinde deneyler yapılarak incelenmiştir. Daha sonra hidrolik ve sönmemiş kireç katkıları belirlenen oranlarda kullanılmış, zemin üzerinde oluşturmuş olduğu etkiler karşılaştırılarak görülmüştür. Kıvam limitlerinde likit limit ve plastite indisindeki değerler azalmakta olup, plastik limit değerinde de artış olduğu görülmektedir.Kıvam limitlerin göstermiş olduğu davranışlara bakıldığında istenen etkiyi gösterdiği görülmektedir. Kompaksiyon deneylerine bakıldığında maksimum kuru birim hacim ağırlığında azalmalar olduğu ve optimum su muhtevalarında artış sağlayarak istenen etkiyi göstermiştir. Serbest basınç deneyleri incelendiğinde serbest basınç mukavemet değerleri katkılarla birlikte artmakta ve birim şekil değişim oranlarının azaldığı görülmektedir.Elde edilen veriler ışığında hidrolik ve sönmemiş kireç katkılarının getirilen zemin numunelerinin iyileştirilmesinde kullanılabileceği ve gerekli kütle stabilizasyonunu sağlayabilecek daha ekonomik bir yöntem olduğu görülmüştür.

AnahtarKelimeler: Hidrolik Kireç,Kütle Stabilizasyonu, Sönmemiş Kireç, Zemin iyileşmesi.

SOIL IMPROVEMENT AND MASS STABILIZATION WITH HYDRATED AND HYDRAULIC LIME.

ABSTRACT

In this study, when the characteristics of the ground sample taken from Safiport port in Derince district of Kocaeli province were examined, it was observed that it was a high plasticity clay. Looking at today conditions, it is seen that the need for soil improvement methods is increasing day by day. Firstly, surface and deep healing methods, which are the healing methods of the ground, are briefly examined. Since clay are covered and we have made improvement with lime, the properties of lime have been discussed more detail. Within the scope of this study, the possitive effect they have created on the ground using by the quicklime and hydraulic lime additives in the laboratory environment as %8, %10 end %12. Consistency Limits (Liquid Limit, Plastic Limit), Hydrometer, Pkynometer, Compaction, Ph and Free pressure experiments. Initialy, experiments were carried out on soil samples taken from the same location without using any additives. Later, hydraulic and quicklime additives were used in determined proportions and the effects on the ground were compared. In the consistency limits, the valuuues in the liquid limit and plasticity index decrease and it is observed that there is an increase in the plstic limit value. Considering the behaviors consistency limits showed, it is seen that it shows the desired effect. Considering the compection experiments, it showed the desired effect by decreasing the maximum dry unit volume weight and increasing the optimum water contents. When the free pressure tests are examined, it is seen that the free pressure strength values increase with the additives and the unit shape change rates decrease. In the light of the data obtained, it was seen that hydraulic and quicklime additives can be used in the improvement of the soil samples brought up and it is a more economical method that can provide the necessary mass stabilization.

Keywords: Hydrolic Lime,Mass Stabilization,Quicklime, Soil Healing.

GİRİŞ

Dünya nüfusu her geçen gün hızla artmaktadır. Hızlı nüfusla birlikte aynı oranda yapılaşmalarında arttığı görülmektedir. Her geçen gün sağlam zeminde yapılaşma oranı azalmaktadır. Bu da beraberinde kötü zemin koşullarında yapılaşma ihtiyacını doğurmuştur. Başlangıçta zemin özelliklerine göre kat sayısı gibi çözümler geliştirilse de ilerleyen süreçlerde yapı alanlarından maksimum verim elde edebilmek için zemin iyileştirme yöntemlerine başvurulmuştur. Zemin iyileştirme yöntemleri neredeyse bütün yapım alanlarında uygulanarak zorunlu bir hale gelmiştir.

Zemin iyileştirilme yöntemleri incelendiğinde uygulanacak bölgeye ve projeye göre farklılıklar göstermektedir. Yani bulunduğu alanın iklimsel, ulaşım olanakları, yer özellikleri ve zemin iyileştirmesinde gerekli olan ekonomik kayıplar değişim göstermektedir. Yani her zemin iyileştirme yöntemi kendine özgü özelliklere sahiptir. Bu yüzden en uygun iyileştirme yöntemi seçilerek çevre de oluşabilecek kirlilikler, zaman kayıpları ve ekonomik kayıplar önlenabilmektedir.

Zeminin yapısı irdelendiğinde toprak ve kaya olmak üzere iki ana malzemedен oluştuğu görülmektedir. Kaya zeminlere bakıldığında kompaksiyon ve hafriyat konuları dışında daha fazla problemlili yapıya sahip değilken, toprak zeminlerine bakıldığında daha problemlili olduğu görülmektedir. Buda toprak zeminlerde zemin iyileştirilmesi ihtiyacını doğurmaktadır. Problemlili bir yapıya sahip olan zeminlerin belli başlı zemin stabilizasyon yöntemleriyle iyileştirilmesinin mümkün olduğu görülmektedir. Zeminin iyileştirilme yöntemleri kullanılırken amaçlanan;

- Deformasyonu ve toplam oturmaları azaltmak,
- Geçirimliliği azaltmak,
- Boşluk suyu basıncını azaltmak,
- Don kabarması, şişme/kabarma gibi çevrede oluşabilecek etkileri azaltmak,
- Taşıma Kapasitesini artırmak,
- Kayma mukavemetini artırmak,
- Zeminin sıvılaşma potansiyeli azaltmak,

-Konsolidasyonu hızlandırmaktır.

Ülkemize bakıldığında deprem bölgesinde ve aktif fay hatlarına sahip olduğu görülmektedir. Gerek çıkarılan yeni yönetmelikler gerekse yapılan çalışmalar neticesinde zemin iyileştirme yöntemleri ve zeminin stabilizasyonun önemi anlaşılmaktadır. Stabilizasyon kavramı irdelendiğinde yirminci yüzyıldan başlayarak teknolojik gelişimler gösterdiği ve beraberinde endüstrisini geliştirdiği görülmektedir. Zeminin yapısında bulunan boşluklu yapı mekanik araçlar vasıtasıyla bentonit, çimento ve kireç gibi kimyasal karışımlarla doldurularak azaltılmaktadır. Yeterli özelliklere sahip olmayan zemini iyileştirmek için;

-Zemin sahip olduğu özellikleri yerinde yapılan işlemlerle iyileştirmek,

-Var olan kötü zemini geçerek temelleri daha sağlam zemin üzerine oturtmak,

-Ya kötü özelliklere sahip olan zemini tamamen kaldırarak yerine iyi bir zemin yerleştirmek ya da var olan zemini iyileştirerek belirli sıklıkta yerleştirmek,

-Zayıf zemin özelliği gösteren zeminin taşıyabileceği şekilde temellerin tasarlanması ve yapılması gibi özetlenebilmektedir.

Tarihten beri kireç ile stabilizasyon yöntemi kullanılarak zemin iyileştirilmesi yapıldığı görülmektedir. Kireç kullanılarak zeminin durabilitesi ve mukavemetinin artması sağlanabilmektedir. Bunu gerçekleştirilebilmesinin ana sebebinin mevcut zeminin kimyasal ve fiziksel yapısı kireç katkısı ile değiştirilerek sağlanabilmektedir.

Bu çalışma kapsamında Kocaeli ilinin Derince ilçesinde bulunan Safiport limanında alınan zemin numunesinin laboratuvar ortamında deneyler yapılarak sönmemiş ve hidrolik kirecin zemin üzerindeki etkisi incelenmiştir. Farklı oranlarda kullanılan sönmemiş kireç ve hidrolik kirecin ne tür farklıklar gösterdiği de görülmektedir.

Laboratuvar ortamında sırasıyla; Kıvam Limitleri (Likit Limit, Plastik Limit) , Hidrometre, Piknometre, Kompaksiyon, Ph ve Serbest Basınç deneyleri yapılmıştır. Aynı zeminden üç farklı numune alınarak deneyler yapılmıştır. Başlangıçta herhangi bir katkı kullanılmadan deneyler yapılmıştır. Daha sonra %8, %10 ve %12 oranında hidrolik ve sönmemiş kireç katkıları kullanılarak veriler elde edilmiştir. Elde edilen verilerin hem sayısal değerleri hem de grafiksel değişimleri karşılaştırılmıştır. Serbest basınç deneylerinde zemin numunelerinin kireç katkıları ile göstermiş olduğu davranışlar 0, 1, 7 ve 28 günlükte göstermiş oldukları değerler alınarak test

edilmiştir. Sönmemiş kireç bekletildiğinde şiştiği için sadece 0 günlük verileri alınarak değerlendirilmiştir.



1. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Ünlü Şahan (2016) yapmış olduğu çalışmasında, derin zemin iyileştirmesi yöntemlerinden olan; vakumla su emme metodu, dinamik kompaksiyon metodu, elektro-osmoz ısı yöntemi, taş kolonlar, vibrokompaksiyon metodu, ön yükleme ve düşey drenler vb. gibi yöntemler ve yüzeysel zemin iyileştirmeleri yöntemlerinden olan; katkı maddeleri kullanılarak yapılan stabilizasyon, drenaj, kompaksiyon tekniklerini irdelemiştir. Ülkemizde ait zemin iyileştirme örneklerini aktarmıştır.

Kızılçelik(2010) çalışmasında, Kocaeli ilinin Uzunçiftlik bölgesinden alınan yüksek su muhtevasına sahip ve yüksek plastisiteli killi zemini kireç ile stabilizasyonunu irdelemiştir. Başlangıçta kıvam limitleri, kompaksiyon, elek analizi deneyleri yapılmıştır. Daha sonra uygun oranda kireç katkısı belirlenerek, kireç katkılı ve katkısız serbest basınç deneyleri yapılmıştır. Sönmemiş ve sönmüş kireç katkıları çalışma kapsamında kullanılmıştır. En son CBR deneyi yapılmış, istenilen sonuçlara ulaşılarak çalışma tamamlanmıştır.

Demiröz ve Karaduman (2009) yapmış oldukları çalışmada, arazide yapılan iyileştirme yöntemleri geniş bir biçimde ele alınmıştır. Günümüzde yapılmakta olan çalışmalar ele alınmış, gelişmeler dikkate alınarak irdelenmiştir. Ekonomik ve hangi tip zeminlere uygulanması gerektiği incelenmiştir.

Yıldız (2020) çalışmasında, Yalova bölgesinden getirilen yüksek plastisiteli kile farklı ve yüksek oranda çimento katkısı kullanmış, serbest basınç deneyi yapılarak çimento katkısının yüksek plastisiteli kilin mukavemetine olan etkisi irdelenmiştir. Çalışma kapsamında laboratuvar deneyleri yapılmış, zemin sınıfı belirlenmiştir. Deney çalışmaları ile kilin katkılı ve katkısız maksimum kuru birim hacim ağırlıkları, optimum su muhtevası değerleri bulunmuştur.

Çetin (2011) çalışmasında, yüzeysel zemin iyileştirme kapsamında, İstanbul Eyüp Akpınar bölgesinden alınan yumuşak kile eskitilmiş kopolimer, ağ yapılı polipropilen fiberler ve C tipi uçucu kül katkılarıyla laboratuvar ortamında deneyler yapmıştır. Yapılan deneylerle zemin sınıfı belirlenmiştir. Yüksek plastisiteli kil olan

zeminin maksimum kuru birim hacim ağırlıkları ve optimum su muhtevası değerleri saptanmıştır. Serbest basınç deneyi ile katkıları farklı oranlarda kullanarak yüksek plastisiteli kildeki mukavemet artışları irdelenmiştir.

Kılıç (2008) yaptığı çalışmada, laboratuvar ortamında kil zemin örneklerine farklı oranlarda çimento katkısı kullanılarak üç eksenli basınç deneyi, veyn ve serbest basınç deneyleriyle çimentonun bu zeminler üzerindeki iyileştirmesi araştırılmıştır. Hamble, Emsworth ve West Ashling bölgelerinden alınan killi zemin numunelerine çimento katılarak mukavemet artışları irdelenmiştir. Farklı oranlarda kullanılan çimento katkısının getirilen killi zeminlerde mukavemet artışını sağlayarak istenen etkiyi göstermiştir.

Yılmaz (2015) çalışmasında, bir endüstriyel atık olan BT atıklarının zeminin stabilizasyonunda kullanılabilirliğini irdelenmiştir. Farklı renkte ve farklı oranlarda BT atık katkısını kireçli ve kireçsiz katkı ile kullanarak bir karışım oluşturmuştur. Oluşturulan karışımın dayanım, şişme, indeks, durabilite gibi geoteknik özellikler incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmaların yanı sıra karışımın mikro yapısı bilgisayarlı tomografi ve taramalı elektron mikroskobu gibi analizlerle araştırılmıştır. Doğal zemine ve sadece kireçli karışımlara nazaran BT atıklarının kireçle birlikte kullanılması dayanımı artırmış ve zeminde güçlü bir stabilizasyon sağlamıştır. Yapılan çalışmanın sonucunda farklı renkteki BT atıklarının kireçle birlikte zeminde iyileşme sağladığı, zeminin mikro yapısı analizinde bilgisayarlı tomografi yönteminin kullanılabileceği görülmüştür.

Pekdemir (2013) çalışmasında, bir firmadan mikronize bir kil tedarik edilerek, kireç, silis dumanı ve kırmızı çamur katkıları kullanılarak killin bazı özelliklerini iyileştirmeyi hedeflemiştir. Mikronize kilin permeabilite, mukavemet ve şişme potansiyeli özellikleri irdelenmiştir. Sonuçlara bakıldığında kilde kullanılan katkılarla şişme basıncı ve permeabilite özelliklerinde azalma olurken, mukavemet değerlerinde artma olduğu görülmüştür. Mikronize kil için kullanılan katkı maddeleri ile zeminin stabilizasyonunu sağladığı gözlemlenmektedir.

Parlakıyıldız (2008) çalışmasında, hammadde olarak kireçtaşının ve ürün olarak kirecin kimyasal ve fiziksel özellikleri belirlenmiş, endüstrideki kullanımı için

özellikleri irdelenmiştir. Ulaşılan veriler ışığında sanayi ve endüstriyel alanda kaliteli kirecin kullanımı için gerekli kriterler saptanmıştır.

Gençtürk (2011) çalışmasında, asfalt kaplamalarda katkı maddesi olarak Pr plast, sönmüş kireç ve çimento kullanımı irdelenmiş, seçilmiş olan örnekler üzerinde performans değerlendirme yöntemlerinden Marshall oranı kullanılarak, katkıların sıcak asfalt performansına olan etkisi araştırılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda elde edilen verilerin ışığında Pr plastın karışımı güçlendiren katkı olarak kullanılabileceği, çimento ve sönmüş kirecin aktiffiller olarak kullanılabileceği gözlemlenmiştir.

Gür (2019) çalışmasında, tercih etmiş olduğu deney yöntemlerinde iki aşamalı olacak şekilde uygulamıştır. Birinci aşamada doğru malzemelerin seçilmesi gerekli olan literatürler irdelenmiş ve ön deneyler yapılmıştır. TS25 standartına uygun üçü yapay, beşi doğal olmak üzere yerli üreticilerden puzolan seçimi yapılarak, puzolonik aktivite deneyleri uygulanmıştır. Yapay puzolanları tuğla tozu, genleştirilmiş perlit ve metakaolen oluştururken, doğal puzolanları pomza, volkanik tüf ve perlit oluşturmaktadır. TS459-2 standartlarında piyasa koşullarında kolay bulunabilen ve piyasada bilinen dört farklı hidrolik kireç alınarak harç üretimi gerçekleştirilecek şekilde hidrolik kireç seçimi yapılmıştır. Elde edilen ürünler sonucunda mekanik testler sonucunda karşılaştırmaları yapılmış ve gerekli değerlendirmelerde bulunulmuştur.

Kozlu (2010) çalışmasında, Volkanik malzemeler açısından zengin bir potansiyeli olan Kayseri’de, geçmiş dönemlerde kullanılmış olan duvar örgü ve sıva harçlarının irdelenerek karakteristik özelliklerinin tespit edilmesi ve bu yapıların onarımlarında kullanılacak yeni harçların üretiminin gerçekleştirilmesidir. Çalışma kapsamında farklı medeniyetlere ait olan 15 adet yapı belirlenmiş, bu yapılardan iç mekân harcı ve duvar örgü harcı örnekleri alınmış, alınan örneklerin kimyasal, mekanik, petrografik ve fiziksel analizleri yapılmıştır. Orijinal bileşimleri belirlenmiş, benzer özelliklere göre gerekli gruplandırma gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler ışığında yapıların restorasyonunda kullanılabilecek olan onarım harçları saptanmıştır. Laboratuvar ortamında analizleri yapılmış olan malzemelerden belirli oranda karışım oluşturularak üretimler yapılmıştır. İki çeşit sıva harcı ve üç çeşit duvar harcının

mekanik ve fiziksel özellikleri altı ay boyunca gözlemlenmiş ve doğal örneklerle gerekli karşılaştırmalar yapılarak sonuca ulaşılmıştır.

Haşal (2000) çalışmasında, C sınıfı kimyasal birleşim yapısına sahip olan Orhaneli uçucu külünün geoteknik özellikleri irdelenmiştir. Ardında dayanma yapısının arkasında ve dolgularda kullanılması amacıyla hafif dolgu malzemesinin üretilmesi için çimento, hava sürükleyici katkı maddesi ve Orhaneli uçucu külünden oluşan bir karışım oluşturulmuştur. Yapılan deneyler kapsamında standart proktor deneyi ile optimum su muhtevaları elde edilmiş, oluşturulan zemin numuneleri belirli kür süresine tabi tutularak serbest basınç ve CBR deneyleri uygulanmıştır. Sonuç olarak oluşturulan karışımın dayanımı artırdığı ve zeminin taşıma gücü gibi geoteknik özelliklerini artırdığı, oturma problemlerine çözün sunduğu gözlemlenmiştir.

Öztürk (2012) çalışmasında, kilin mineral türlerine göre fiziko-kimyasal özellikleriyle atterberg kıvam limitleri arasında veriler irdelenip ilişkisine bakılmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen veriler baz alınarak kil mineral türleri ile kıvam limitleri arasında kimyasal içerik oranlarının uyum gösterdiği görülmüştür. Mineralin tipine göre katyon değişim kapasitesi ile yüzey özgül alanı ve kıvam limitleri arasındaki ilişkilerin gelişimi sağlanmıştır.

Topcu (2011) çalışmasında, Ankara ilinin farklı bölgelerinden plastik dereceleri farklı olan elle çeşit kil alınarak yapılmıştır. Araziden alınan zemin numuneleri laboratuvarda kurutulduktan sonra iki eşit parçaya bölünmüş, yarısı 200 numaralı elekten geçirilmiş ve diğer yarısı 40 numaralı elekten geçirilmiştir. Elekten geçirildikten sonra elli çift deney numunesi oluşturulmuştur. Laboratuvarda büzülme, plastik ve likit limit deneyleri, ters ekstrüzyon ve düşen koni deneyleri yapılmıştır. Çalışma kapsamında amaçlanan kıvam limitleri deneylerinde kullanılan malzemenin dane boyunda olan değişimlere bağlı olarak özgül yüzeyinde değişeceği, buna bağlı olarak kıvam limitlerinde de değişimin gerçekleşeceğinin saptanmasıdır. Likit limite önemli değişimler olacağı için zemin sınıfında değişiklikler gözlenecektir. Elde edilen sonuçla 200 numaralı elekten geçen zemin numunesinin limit su değeri 40 numaralı elekten geçen zemin numunesi değerine oranla %30 daha fazla olduğu görülmüştür. Buda zemin sınıflandırmada farklılıklar olduğunu göstermektedir. 200

numaralı elek altından geçen numune silt olarak saptanırken, standart yöntemlere göre kil olduğu saptanmıştır.

Yüce (2012) çalışmasında, 22 zemin numunesi kullanarak öncelikle tüm bu zemin numunelerine Proktor (modifiye ve standart) deneylerine tabi tutularak, optimum su muhtevası değerlerine karşılık gelen maksimum yoğunluk değerleri elde edilmiştir. Daha sonra zemin numunelerine statik kompaksiyon deneyleri uygulanarak optimum su muhtevası ve maksimum kuru yoğunluk değerleri bulunarak gerekli karşılaştırmalar yapılmıştır. Statik kompaksiyon deneyi ve proktor deneyleriyle hazırlanmış olan zemin numunelerine tek eksenli sıkışma dayanımı ve geçirgenlik deneyleri uygulanmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak ortaya konulmuştur. Geçirgenlik sonuçları irdelendiğinde statik kompaksiyon değerlerinin proktor deneylerine oran daha düşük olduğu görülmüştür.

Kavak ve Tüylüce (2010) yapmış oldukları çalışmada, Bursa ilinin Gemlik bölgesinden alınan deniz kili kullanılarak deneyler optimum su muhtevasında yapılmıştır. Zemin sınıfının ve eklenecek optimum kireç oranının belirlenmesi için elek analizi, kıvam limitleri ve kompaksiyon deneyleri yapılmıştır. Serbest basınç ve CBR deneyleri yapılarak mukavemet artışları incelenmiştir. Kireç katkılı zeminlerin kimyasal yapısındaki değişimler XRD ve SEM analizleri yapılarak irdelenmiştir. Elde edilen sonuçlarla deniz killeri kireç katkısı ile stabilizasyonun sağlandığı ve daha ekonomik bir yöntem olduğu anlaşılmıştır.

Kavak ve Akyarlı (2006) yapmış oldukları çalışmada, Ankara ilinin Yukarı Yurtçu köyünde yeşil ve kahverengi killi yolun 200m uzunluğundaki kısmına kireç stabilizasyonu işlemi uygulanmıştır. Saha koşullarına göre çeşitli laboratuvar deneyleri yapılarak kireç stabilizasyonuna karar verilmiştir. Yapılan laboratuvar çalışmalarına göre CBR deneylerinde %16-21 olan şişme yüzdelерinin 28 gün sonra yükseldiği görülmüştür. Bu CBR değerlerinde gözlenen artışlar yolun üst katman kalınlığını azaltacaktır. Ayrıca proktör ve plaka yükleme deneyleri de yapılmıştır. Bu deneylerle yeşil ve kahverengi kilde zeminin taşıma gücünün önemli miktarda arttığı gözlemlenmiştir. Bu zemine kireç stabilizasyonu %5 ve 30 cm olarak uygulanmıştır.

Jelisić ve Leppanen (2000) yapmış oldukları çalışmada, stabilizatörün turba, çamur veya yumuşak kile karıştırıldığı yeni, çevre dostu bir toprak iyileştirme yöntemi olan

k t le stabilizasyonunu incelemişlerdir. K t le stabilizasyonu, bir ekskavatör makinesine takılan bir karıştırma aleti ile gerçekleştirilir. Karıştırma, stabilizatör etkisiyle homojen takviyeli bir zemin bloğu oluşacak şekilde hem yatay hem de düşey yönde yapılmıştır. Setler, buzul veya çakıl gibi doğal sert zemin katmanlarında olduğu gibi, k t le stabilize edilmiş toprak üzerine kurulmuştur. Endüstriyel proseslerden yan ürünler olarak üretilen yeni stabilizatör ajanları, geleneksel olarak kullanılan kireç ve kireç- imento karışımları yerine stabilizatör olarak kullanılabilir.

Andersson, Carlsson ve Leppanen (2000) yapmış oldukları çalışmada, stabilizatörün turba, çamur veya yumuşak kille karıştırıldığı yeni,  evre dostu bir toprak iyileştirme yöntemi olan k t le stabilizasyonunu incelemişlerdir. K t le stabilizasyonu, tipik olarak bir ekskavatör makinesine takılan bir karıştırma aleti ile gerçekleştirilir. Stabilizat r n etkisiyle homojen bir sağlamlaştırılmış zemin plakası oluşacak şekilde hem yatay hem de düşey yönde karıştırma yapılmıştır. Bu yöntem, daha önce stabilize edilmesi mümkün olmayan turbaya bile uygulanabilir. Organik toprakların stabilizasyonu, kilin stabilizasyonundan çok daha zahmetlidir. Geleneksel olarak kullanılan kireç ve kireç  imentosu karışımları mutlaka en uygun olanı değildir. Bunun yerine, genellikle  imento ve granüle yüksek fırın cürufu karışımları kullanılmıştır. Bu yeni bağlayıcılar hem laboratuvar da hem de sahada kapsamlı bir şekilde araştırılmış ve test edilmiştir.

Jelusic ve Leppanen (2003) yapmış oldukları çalışmada, stabilizatörün organik toprak veya yumuşak kille karıştırıldığı  evre dostu bir toprak iyileştirme yöntemi olan k t le stabilizasyonu, önceden bir ekskavatör makinesine monte edilmiş bir karıştırma aleti ile gerçekleştirilmiştir. Stabilizat r n etkisiyle homojen stabilize zemin bloğu oluşacak şekilde hem yatay hem de dikey yönde karıştırma yapılmıştır. Bloğun kalınlığı setin y kseklığine göre 1 ile 5 m arasında değişmektedir. Setler, morin veya çakıl gibi doğal sert zemin katmanlarında olduğu gibi, k t le stabilize edilmiş toprak üzerine kurulabilir. Gerçekleştirilen 5 toplu stabilizasyon projesi vardır. Bu 5 projeden 1'i Finlandiya'da 4'  İsveç'te gerçekleştirilmiştir.

Kavak ve Baykal (2011) yapmış oldukları çalışmada, X ışını kırınımı taramalı elektron mikroskopu ve UCS kullanılarak uzun süreli k rlenmiş kaolinit kili kireç ile stabilize edilmiştir. Sıkıştırma testleri %4 ve %12 kireç oranlarında yapılmıştır.

Sonra bu iki test sonuçları karşılaştırılmıştır. Saf kaolinitin UCS si başlangıçta 125 kPa dı, 1 ay sonra 1015 kPa, 10 yıl sonra ise 2640 kPa'a yani başlangıç değerinin 21 katına çıkmıştır. %12 kireç oranında da benzer mukavemet artışları gözlemlenmiştir. Kaolinitin yapısında kalsiyum alüminat silikat hidrat minarelleri tespit edilmiştir. Kireç stabilizasyonu ile puzolanik reaksiyonların 10 yıla kadar uzun vadede devam edebileceği anlaşılmıştır.

Kavak (2014) çalışmasında, bir sanayi bölgesinin yollarının dolgu katmanlarında kullanılmak üzere yüksek su içeriğinde yüksek plastisiteli kili stabilize etmek için kireç kullanımını araştırmıştır. MH yüksek plastisiteli silt tipi toprak önce kurutulup, sonra hidratlı kireç ve hidrolik kireç ile optimum su içeriğinde stabilize edilmiştir. Her iki kirecin sonuçları karşılaştırılmıştır, hidrolik kireç uygulama için seçilmiştir. Sonra toprağı kurutmadan hidrolik sönmemiş kireç adı verilen özel bir kireç ile yüksek su içerikli kilin stabilize edilme olasılığı araştırılmıştır. İstanbul ilinin Hadımköy ilçesinden çıkarılan yüksek plastisiteli toprak kullanılmıştır. Toprak örnekleri üzerinde atterberg limit, elek analizi ve proktör deneyleri yapılmıştır. Ph deneyi ile de uygun kireç oranının %3 olduğu belirlenmiştir. Orijinal su içeriği %30-32 olan toprağın su içeriği hidrolik kireçle %18-21 e indirilmiştir. Bu şekilde toprağın mukavemeti 14 katına kadar çıkmıştır. Islatılmış numunelere CBR deneyi uygulanmıştır. Şişme yüzdeleri %4-6 dan %40-75 e yükselmiştir. Bu test sonuçları toprağı yol yapımı için uygun hale getirmiştir.

2. ZEMİN STABİLİZASYONUNA GENEL BAKIŞ

2.1.Kütle Stabilizasyonu

Teknolojinin gelişmesine paralel olarak birçok sektör daha hızlı büyümekte; büyümeye paralel olarak birçok problemde çözüm sağlanmasında (çevresel,ekonomik...) gelişen teknoloji etkisini daha fazla göstermektedir. İnşaat sektöründe de farklı zemin türlerinin iyileştirilmesi için yeni iş makineleri ve uygulamalar geliştirilmektedir. Böylece inşaat çalışmaları klasik yöntemlerle kıyaslandığında daha kısa sürede, daha ekonomik, güvenli ve çevreci bir şekilde yapılabilmektedir.

2.1.1.Kütle stabilizasyonu yöntemi ve makineler

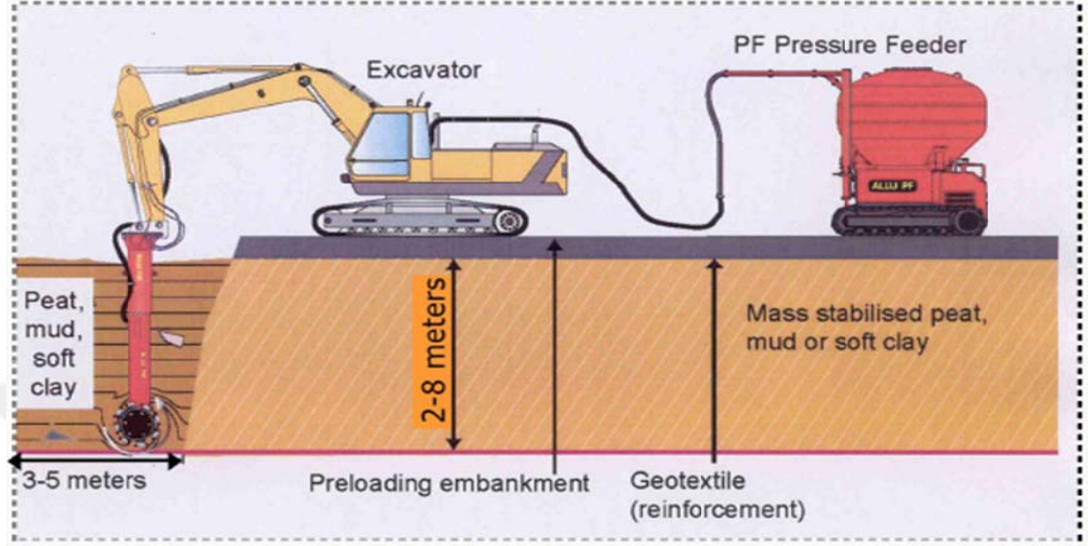
Kütle stabilizasyonu kil, silt, kum, organik madde ve turba gibi yumuşak zeminlere yönelik bir zemin iyileştirme yöntemidir. Uygulamanın amacı yumuşak zemin katmanlarını kireç stabilizasyonu ile zeminin bağlayıcı madde karıştırılarak iyileştirilmesi suretiyle, hedeflenen tasarım derinliğine kadar homojen ve sağlam bir katman haline dönüştürmektir. İnşaat ve işletim dönemleri sırasındaki oturmanın asgari düzeye indirilmesi, böylece yapısal kararlılığın artırılması ve çökme riskinin azaltılması amacıyla kütle stabilizasyonu yöntemi kullanılır.

2.1.2.Yöntemin faydaları

Hafriyattan çıkan yumuşak veya kirli zeminlerin işlenmesine yönelik kütle stabilizasyonu uygulamasının faydalarından bazıları aşağıda verilmiştir.

- Düşük kaliteli zeminler kullanılabilir, böylece doğal agrega ihtiyacını asgari düzeye düşürmek üzere kütle stabilizasyonu işlemine tabi tutulabilmektedir.
- Kütle stabilizasyonu işlemi düşük kaliteli zemin kütlelerinin nakledilip düzenli depolanmasını ihtiyacını ortadan kaldırmaktadır.
- Kirlenmiş zeminlerin kütle stabilizasyonu işlemine tabi tutulması sayesinde zararlı maddeler, bağlanmış ve az çözünen yapılara dönüştürülür ve bunların işlenmesi

ve kullanılması sağlanmakta, böylelikle kirletilmiş zemin düzenli depolama sahalarına zemin nakledilmesi ihtiyacı ortadan kalkmaktadır.



2.2. Zeminin İyileştirilmesi ve Stabilizasyon

İnsanlar eski çağlardan beri savunma, barınma gibi temel ihtiyaçlarını karşılayabilmek için ürettikleri bütün yapıları zeminler üzerine inşa etmişlerdir. Mühendisliğin gelişimiyle birlikte üretilen bütün yapılar sağlam zeminler üzerinde üretilmiştir. Kötü zemin koşullarına sahip alanlarda gerçekleştirilen üretimlerde öncelikle zemin iyileştirme ve stabilizasyon işlemleri gerçekleştirilmektedir. Stabilizasyon kavramı irdelendiğinde;

Zeminlere katkı maddeleri katarak zeminlerin, mukavemetlerini ve dayanımlarını arttırarak ve kazandıkları dayanımları her türlü kötü hava koşullarında korumak ve artan trafik yüklerine karşı uzun süre dayanabilecek duruma getirerek ve en kararlı hale getirilmesi işlemine stabilizasyon denir [5].

Zemin iyileştirilmesi incelendiğinde; Zemin üzerinde yapılan işlemlerin sonucunda zeminde dayanım artışlarının istendiği oranda olmayıp bunun yanı sıra diğer mühendislik özelliklerinde düzelmelerin olmasına iyileştirme

denilmektedir. Stabilizasyon ve iyileştirme kavramlarına bakıldığında zeminde oluşturmuş oldukları dayanımın temel farklılık olduğu görülmektedir.

Problemlili bir zemin türü ile karşılaşan mühendis birbirinden farklı üç yöntemi deneyebilmektedir. Bu yöntemlere bakıldığında;

-Üretim gerçekleştirilirken yapının kötü zemin koşullarını aşp daha sağlam yapıya ulaşmasını sağlayacak şekilde boyutlandırılmasını gerçekleştirmek. Üretimi mümkün olan ama yapım maliyetlerini artıran bir yöntem olduğu görülmektedir.

-Üretime başlanmadan önce kötü zeminin oradan alınıp yerine daha sağlam zeminin yerleştirilmesi yöntemidir. Bu yöntemde maliyetler oldukça artmaktadır.

-Üretime başlanmadan önce kötü zemin koşullarına sahip zemin türünün ıslah edilmesi yöntemidir. Eski zamanlardan beri uygulanan yöntemin başında gelmektedir. Daha önce samanla yapılan bu yöntem günümüzde kimyasal maddeler kullanılarak zeminde kurutma, sıkıştırma, dondurma ve zemini ısıtma gibi işlemlerle zeminin iyileştirilmesi ve stabilizasyonunu sağlanmaktadır.

Stabilize edilecek- iyileştirilecek zeminlere bakıldığında;

AASHTO Sınıflandırma Sistemine göre A5, A6, A7, A-2-6, A-2-7 veya Birleştirilmiş

Sınıflandırma Sistemine göre CH, CL, MH, ML, GC, SC sınıflarına giren plastisite indeksi

10'dan büyük ($PI \geq 10$) veya Kaliforniya Taşıma Oranı (Yaş CBR %) <10 veya

CBR şişme%'si ≥ 3 olan zemin/malzemeler için stabilizasyon-iyileştirme yapılması uygundur [6].

Zemin iyileştirilmesinde yöntemlerin temeli zeminin yapısında bulunan boşlukları mekanik araçların yardımı ile azaltmak ya da farklı bileşimlerdeki karışımlarla doldurmaktır. Zemin iyileştirme yöntemlerinin amaçlarına bakıldığında;

- Konsolidasyonu hızlandırarak, toplam oturmaları azaltmak,
- Geçirimsizliğin sağlanabilmesi için permeabiliteyi düşürmek,

- Zayıf olan zemin sahip olduğu mukavemet değerlerini arttırmak,
- Zemin sahip olduğu sıvılaşma riskini azaltmak ya da ortadan kaldırmak,
- Heyelan, Deprem gibi doğal afetlerde oluşabilecek zemin kaymalarının önüne geçmek,
- İstinat duvarların gerekli projelerle desteklenmesini sağlamak,
- Şevler ve dolgular için gerekli stabilizasyonların sağlanması amaçlanmaktadır.

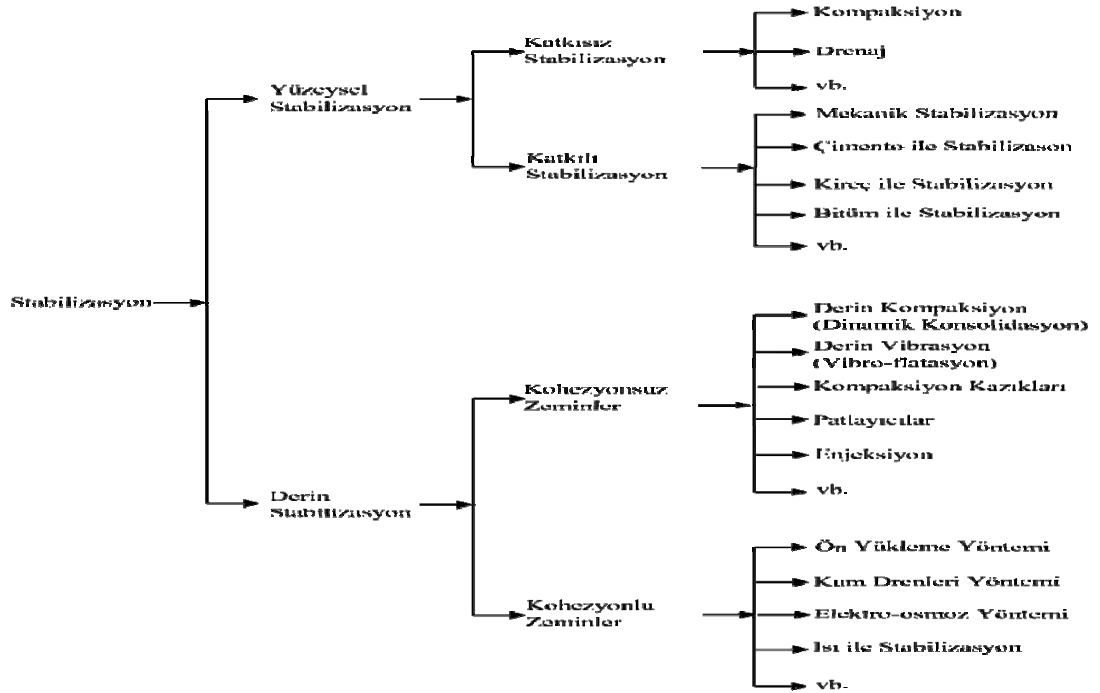
Zemin iyileştirme yöntemlerinin uygulanılabilir olması, ekonomik ve zaman açısından elverişli olması gerekmektedir. Bunlar göz önüne alındığında;

- Zeminin sahip olduğu profil özellikleri,
- İyileştirme gereken tabakanın derinliği,
- Sahip olunan problem e göre farklılıklar gösterebilmektedirler.

Zeminin iyileştirilmesi yöntemlerine bakıldığında derinliğine göre farklılıklar göstermektedir. Zemin iyileştirme yöntemlerinin temel parametresini uygulama derinliği belirlemektedir. Derinliğine göre irdelendiğinde;

- Yüzeysel Zemin İyileştirilmeleri,
- Derin Zemin İyileştirilmeleri olduğu görülmektedir.

Şekil 2.2.'de zeminin ıslah yöntemleri kısaca gösterildiği gibidir.



Şekil 2.2. Zemin stabilizasyon yöntemleri[9]

2.2.1.Yüzeysel zemin iyileştirmeleri

Her geçen gün teknoloji gelişmekte ve bu gelişen teknoloji zemin iyileştirme yöntemlerini kolaylaştırmaktadır. Bu gelişen teknolojiyle metrelerce derine kadar ulaşmak mümkündür. Yüzeysel zemin iyileştirmeleri, derin tabaklar boyunca zemin iyileştirmeye ihtiyacının olmadığı durumlarda yapılan stabilizasyon işlemleridir. Yüzeysel zemin iyileştirmeleri karayolu, demiryolu veya üst yapının yükünün az olduğu yapı çeşitlerinde kullanılmaktadır.

Killi, siltli gibi yumuşak ya da problemli zeminlerde derin tabakalarda yapılacak olan zemin iyileştirme yöntemleri maliyetleri oldukça yüksektir. Ekonomik açıdan daha elverişli olan yüzeysel zemin iyileştirmeleri daha düşük maliyet kayıplarıyla sorunun giderilmesi için ortaya çıkmaktadır. Bu iyileştirme yöntemleri incelendiğinde bir kısmında katkı maddeleri kullanılmadan yapılmakta, bir kısmında ise katkı maddeleri kullanılarak yapılmaktadır.Drenaj, kompaksiyon, kireç, bitüm, çimento, kireç uçucu kül, mekanik ile yapılan stabilizasyonlar yüzeysel iyileştirme yöntemlerinden bazılarını oluşturmaktadır. Burada amaçlanan zeminin içerisinde bulunan suyun uzaklaştırılması ve zeminin yapısında bulunan boşluk oranını azaltarak iyileştirmeyi gerçekleştirmektir.

2.2.2. Kireç ile zeminin iyileştirilmesi

Kireç katkısı ile zemin iyileştirilmesi bilinen en eski yöntemlerden biridir. Kireç katkısı ile zeminin mukavemeti artmaktadır. Bu yöntem ince daneli zeminlere uygulanarak bir çeşit çimentolama yapılmaktadır. Nem ve ısı gibi çevresel etkenlerle zeminin mukavemetinde bir yıla kadar artışlar gözlemlenmektedir.Sönmemiş kireç hidrate olurken suyu emmekte ve ısı çıkararak ince daneli zeminlerde etkili olurken, sönmüş kireçte killi zeminlerde daha çok etki göstermektedir.Killi zeminler için en uygun yöntemlerin başında kireç ile iyileştirme gelmektedir. Kireç kullanımı reaksiyonun yavaş gerçekleşmesi gibi avantajlarda sağlamaktadır. Bakıldığında ortalama olarak zeminde bulunan kilin %10 kadar kireç kullanımı yeterli olmaktadır.İyileştirme ve stabilizasyon için kullanılacak olan kirecin sahip olduğu özellikler tablo 2.1.'de gösterildiği gibi olmalıdır

Tablo 2.1. Stabilizasyon-iyileştirmede kullanılacak kirecin kimyasal ve fiziksel özellikleri[6]

Özellik (TS EN 459-2)	Sönmemiş Kireç	Sönmüş Kireç
CO ₂ (Kızdırma Kaybı) (, %	≤ 7 %	≤ 7 %
Toplam (CaO+MgO), %	≥ 80 %	≥ 80 %
SO ₃ , %	≤ 2 %	≤ 2 %
MgO, %	≤ 10 %	≤ 10 %
SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃ +SO ₃ , %	≤ 5 %	≤ 5 %
Parçalar, mm	≤ 2	-
Ağırlıkça Elekte Kalan, %		0,09 mm ≤ %7 0,002 mm ≤ %2

Sönmemiş olan kirecin sönme işlemi sırasında ağırlıkça %30 oranında suyu bünyesine alabilmektedir. Bu nedenle optimum su içeriğinin doğal su içeriğinden oldukça düşük olduğu durumlarda sönmemiş kireç tercih edilebilmektedir. Eğer sönmemiş kireç tercih edilecekse iş ve işçi sağlığı için gerekli önlemler alınmalıdır. Çünkü sönmemiş kireçte ısı veren sönme işlemi arazide gerçekleşecektir.

Kireç ile stabilizasyon ve iyileştirme kısaca yukarıda anlatıldığı gibidir. Daha detaylı bir şekilde ileride anlatılacaktır.

2.3. Killer

Killer incelendiğinde 1930 yılında bilim insanı Pauling tarafından yapılan çalışmalar neticesinde yapısıyla ilgili veriler elde edilmiştir.

Killerin yapısı silis, sulu alüminyum ve diğer bazı elementlerin oluşturmasının yanı sıra birleştirici ve plastik özelliklere sahiptir. Killer sıkıştırıldığında yapısında bulunan suyu dışarıya atabilmekte, kuruduğu zaman büzülme ve ıslandığı zamanda şişebilen ince yapılı bir malzeme olarak tanımlanmaktadır.

Dünyada çoğu mühendislik dalında kil ile karşılaşmak mümkündür. Bu anlamda özellikle geoteknik alanında yapılan mühendislik çalışmalarında killerin sahip

olduğu özellikler iyi bilinmelidir. Geoteknik alanının dışında seramik, tuğla ve kiremit yapımında da kullanılmaktadır. Killer oldukça küçük dane yapılarından oluşmaktadır. Elektron mikroskobu altında incelendiğinde toprağın binde ikisinden daha küçük daneleri içerdiği görülmektedir. Killer doğada çok fazla bulunmaktadır. Saf kil bulmak oldukça zordur.

Kayaçlar kimyasal ve fiziksel olarak parçalanması ve taşınması ile kil minerallerini oluşturmaktadır. Zemin ve kayalar kimyasal ya da fiziksel olaylar sonucunda bozunduğunda;

- Kaya içerisindeki suyun ilerleme miktarı
- Kayaların sahip olduğu mineralojik yapı
- Suyun kimyasal birleşimi kil minerallerinin oluşumunda etkilidir.

Killerin yapısında bulunan su oranına göre değişkenlik gösterdiği bilinmektedir. Şekil 2.3.'te killerin suya doygunluğuna göre göstermiş olduğu davranış görülmektedir.

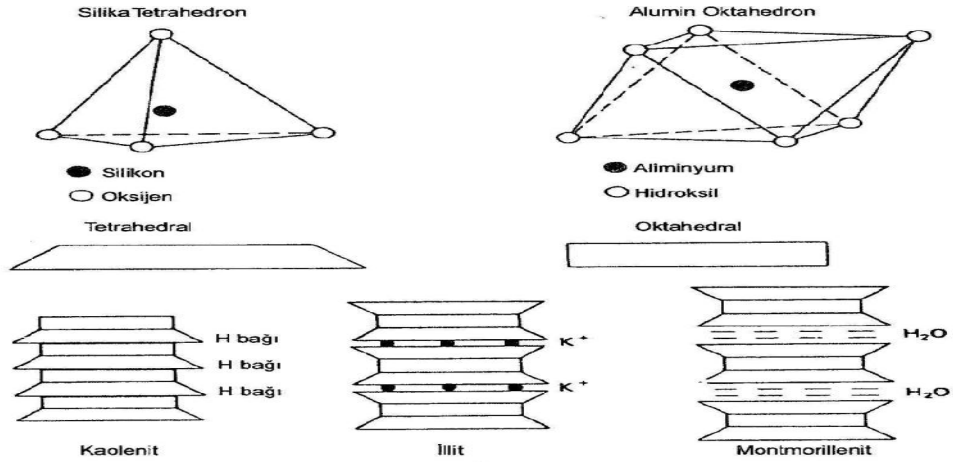


Şekil 2.3. Killerin çatlaklı ve suya doygun hali[5]

Kil mineralleri ele alındığında dört grupta toplandığı görülmektedir. Bakıldığında;

- Kristalli zincir silikatlar
- Oksioksitler, Metal oksitler ve Hidroksitler
- Silikatlar
- Alofanlar ve Amorf olduğu görülmektedir.

Değişik türdeki kil minerallerinin yapısı şekil 2.4.'te gösterildiği gibidir. Kil minerallerinin yapısı ısı analizler, XDR, SEM, kimyasal analiz teknikleri, optik metotlar bir araya getirilerek çalışmalar sonucunda elde edilmiştir.

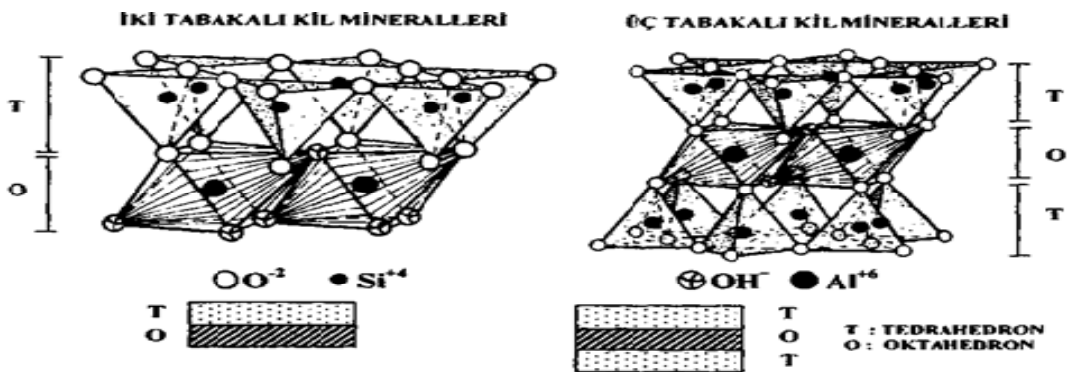


Şekil 2.4. Kil minerallerinin ana birimleri[21]

2.3.1. Kil minerallerinin sahip olduğu kristal yapı

Yaprakçıl bir yapıya sahip olan kil minerallerinin yaprakçıklarının her biri iki, üç ya da dört oktahedron veya tetrahedrondan oluştuğu bilinmektedir.

Oktahedron'a bakıldığında merkezinde alüminyum katyonu bulunmakta, bu katyonun etrafının altı oksijen anyonu ile sarılı olduğu görülmektedir. Tetrahedronlarda ise merkezinde silisyum katyonu etrafında dört oksijen anyonu bulunmaktadır. Oktahedronlar ve tetrahedronların yapısında anyonları oluşturan oksijenler köprü oluşturarak birbirlerine bağlanmalarını sağlamaktadır. Bağlanmış olan tetrahedronlar ve oktahedronlar yaprakçık bir tabaka oluşturmaktadır. Kil mineralleri de yaprakçıkların üst üste dizilimi sonucunda oluşmaktadır. Şekil 2.5.'te oktahedron ve tetrahedronlarının kil minerallerinin yaprakçıklarındaki sıralanışı gösterildiği gibidir.



Şekil 2.5. Kil minerallerinin yaprakçıklarında tetrahedron ve oktahedron tabakalarının sıralanışı[11]

2.3.2. Kil minerallerinin türleri

Doğada bulunan killeri yeşil, kahverenginin değişik tonları, beyaz, pembe, gri renklerinde olabilmektedir. Bunun temel nedeni ise kil minerallerinin kimyasal bileşimleri ve minerallerin içerikleri olmaktadır. Killerin boyutunun toprağın binde ikisinden küçük olduğu bilinmektedir. Su ile heterojen bir karışım oluşturmaktadır. Saf bir yapıda olmayan killeri bu özelliklerinden dolayı bir kap içerisinde kolayca ayırt edilebilmektedir.

Kaolinit (hidrate alümin silikat) killerin çok saf bir yapıya sahip olduğunda aldığı addır. Kaolinit iki tabakalı bir kildir. Kaolinitin yanı sıra iki tabakalı yapıya sahip olan diğer bir kil örneğini de halloysit oluşturmaktadır. Üç tabakalı killeri de vermiküllitler, montmorillonit ve illit oluşturmaktadır. Dört tabakalı kil yapısına da kloritin sahip olduğu bilinmektedir.

Kil minerallerinin türleri sınıflandırılırken tabakaların düzeni ve dizilişi yani kristal yapısı baz alınarak yapılmaktadır. 1970 yılında iki bilim insanı Schachtschabel ve Scheffer kil minerallerinin sahip olduğu ağırlığa göre kimyasal birleşimlerini ortaya koymuştur. Kimyasal birleşimler tablo 2.2.'de gösterildiği gibidir [11].

Tablo 2.2. Kil minerallerinin (ağırlığa göre) kimyasal bileşimi (%) [11]

Kil mineralleri	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
Kaolinit	45-48	40-38	-	-	-	-	-	-
Montmorillonit Nontronit	42-55	0-28	0-30	0-0.5	0-3	0-2.5	0-0.5	0-3
İllit	50-56	18-31	2-5	0-0.8	0-2	1-4	4-7	0-1
Vermiküllit	33-37	7-18	3-12	0-0.6	0-2	20-28	0-2	0-0.4
Klorit	22-35	12-24	0-15		0-2	12-34	0-1	0-1

2.3.2.1. İki tabakalı killeri

Oktahedron ve tetrahedronda bulunan oksijenin yani anyonun köprü oluşturarak birleşmeleri sonucunda iki tabakalı kil minerallerinin yaprakçıkları oluşmuştur.

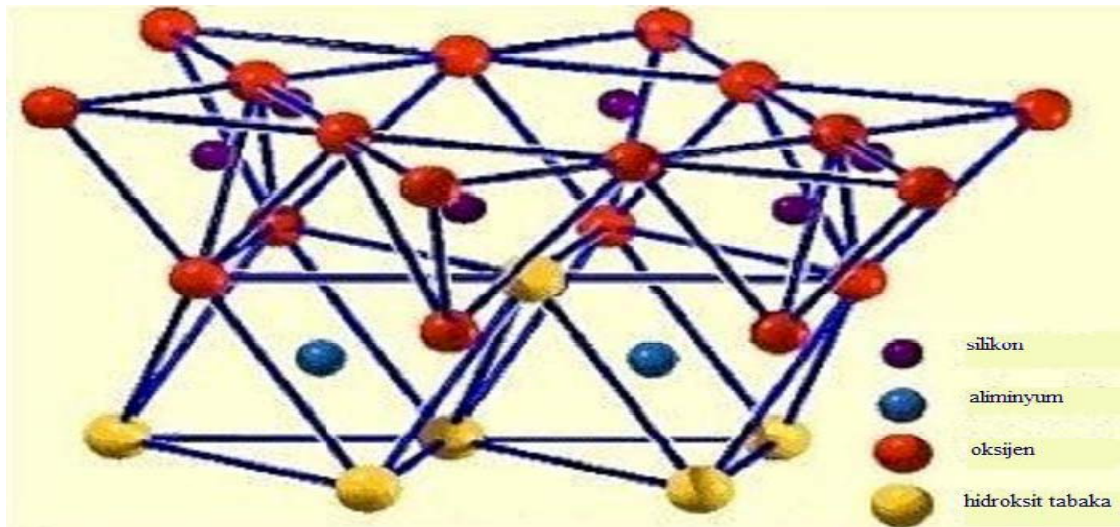
Gösterimi Si:Al ya da 1:1 şeklindedir. Daha önce de belirttiğimiz gibi halloysit ve kaolinit iki tabakalı kil mineralleridir. Al ile oktahedrondaki alimünyumdan gelmekte, Si de tetrahedrondaki silisyum elementinden gelmektedir.

2.3.2.1.1. Hallosit:

Hallosit bir oktahedron tabakası ile tetrahedronun üst üste gelerek oluşturmuş olduğu iki tabakalı bir kil mineralidir. Silikat tabakalarının arasında su alan hallosit bu özelliğinden dolayı kaolinitten ayrılmaktadır. Hallosit suyu bünyesine tutup şişerek suyun toprakta kalmasını sağlamaktadır.

2.3.2.1.2. Kaolinit:

Kaolinitin iki tabakalı yaprakçıklarında oktahedron yüzeyini hidroksit tabakası kaplarken, tetrahedron yüzeyini ise oksijen sarmaktadır. Hidroksit tabakası yaprakçıklarda elektriksel çekimin oluşmasına neden olmaktadır. Kaolinit herhangi bir yüzeyi su alma ile değişim göstermemektedir. Bu yüzden su alındığında cıvık özellikte bir kil görünmektedir. Negatif elektriksel güç ile değiştirilebilir katyonlar çok az bağlanabilmektedir. Cıvıklaşan kilin katyon değişimi kapasitesi düşüktür. Çok fazla organik madde kullanılarak düzeltilme sağlanabilmektedir. Kaolinit yapısına sahip zeminler problemlili zemin olarak kabul görmektedir. Şekil 2.6.'da kaolinitin yapısı görülmektedir.



Şekil 2.6. Kaolinit kil grubu minerallerinin yapısı[11]

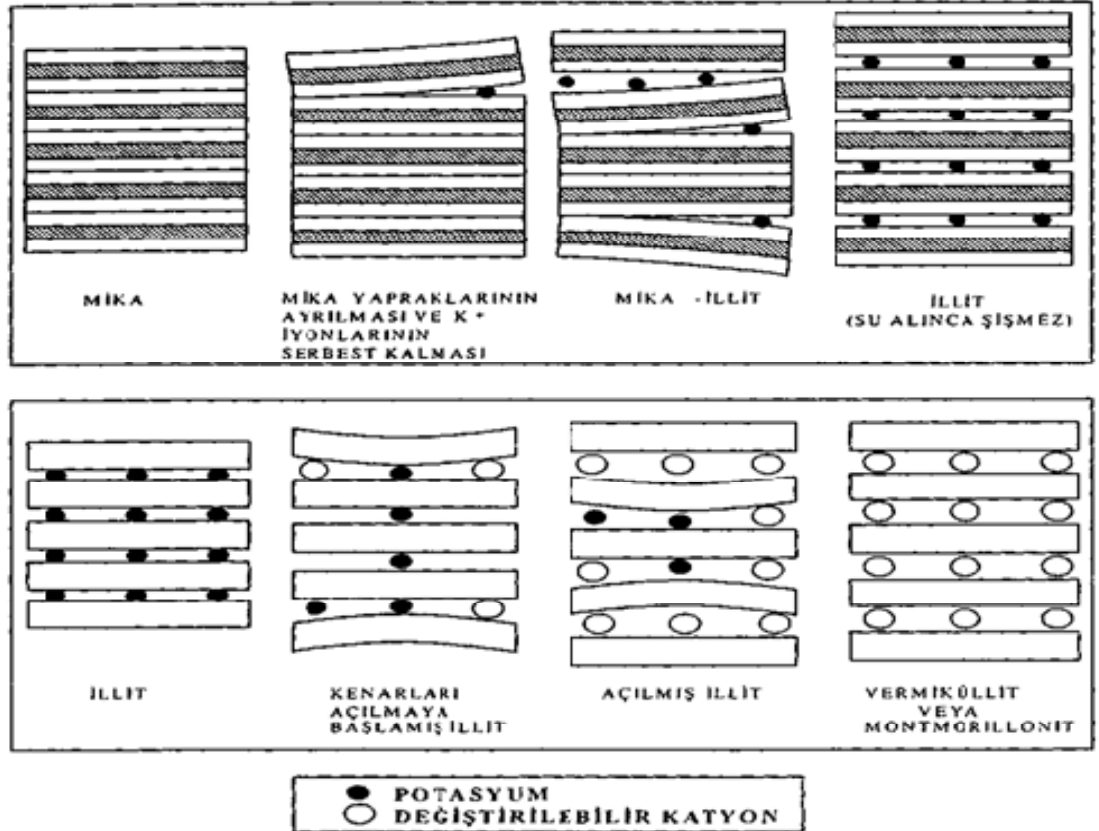
2.3.2.2.Üç tabakalıkiller

2.3.2.2.1. Vermiküllitler:

Vermiküllit grubu kil minerallerinin şişme potansiyeli oldukça yüksektir. İllit kil mineralinin fazla miktarda K^+ kaybetmesi ve yaprakçıklarında bulunan K^+ elementinin yerine katyon özellikte olan Mg^{++} girmesiyle Vermiküllit yapıda killer oluşmaktadır.

2.3.2.2.2. Montmorillonit grubu killer:

Vermiküllit ve illitin kristal yapısına benzeyen montmorillonit kil grubunda yaprakçıkların birbirinden uzaklaşması olayı ve su alarak şişmesi mineralin duyurulmuş olduğu katyonun rolü olmaktadır. Montmorillonitin yaprakçıklarının bir araya gelemeyecek şekilde birbirinden uzaklaşmasında ortamda bulunan fazla sodyum miktarı etkilemektedir. Vermiküllitler gibi oldukça şişme yapısına sahip bir kil mineralidir. Şekil 2. 7.'de montmorillonitin mikadan illitin, illiten vermiküllitlerin ve sonunda Montmorillonite dönüşümü gösterilmektedir.



Şekil 2.7. Mikanın İllite, İlliten Vermiküllit ve Montmorillonite Dönüşmesi[11]

2.3.2.2.3. İllit kil mineralleri:

Mikada bulunan pulcukların aralanması ve bu aralıklara suyun dolarak şişebilir bir duruma gelmesiyle illit kil mineralleri oluşmaktadır. Mika pulcuklarındaki aralanma olayında ilk önce kenarlar su alır daha sonra içlere doğru ilerleme olmaktadır. Sonuç olarak potasyum ve mika pulları hidratasyon olayını gerçekleştirmiş olur.

Hidratlaşma geçiren K^+ yaprakçıklardan hidronyum tarafından dışarı alınmaktadır. Mika Mika pulcuklarının birbirinden ayrılmasına hidratlaşma geçiren potasyum neden olmaktadır. İyice arası açılan yaprakçıklar giderek mikanın illit kil mineraline dönüşümünü sağlamış olur.

Mikanın ve illite dönüşümü sırasında çok fazla safha bulunmaktadır. İllitleri mikalardan ayırt eden daha kristal suyu kapsamaları, az bir kristalleşme geçirmeleri, daha az potasyuma sahip olmaları, daha küçük tane çapına sahip olmaları gibi özelliklerdir. İllitler mikamsı kil minerali olarak nitelendirilmektedir. Bu nedeni mikalarla aralarında geçiş safhalarının fazla olması ve diğer kil minerallerinden daha çok potasyuma sahip olmaları gösterilmektedir.

İllit kil minerallerinin kimyasal bileşimleri birbirinden oldukça farklıdır. Bir kısmı denizel tortulların ayrışması ve yeniden oluşum sürecinden sonra oluşmakta, bir kısmı mikaların hidratasyon geçirmesiyle oluşmakta, bir kısmı da toprak oluşumu sırasında silikatların ayrışmasıyla oluşmaktadır.

2.3.2.3. Dört tabakalı killer

Oktahedron ve tetrahedron tabakalarının dörtlü bir tabaka oluşturacak şekilde üst üste gelmesidir. Bu tip tabakalarda oktahedronlara ait hidroksi tabakası yaprakçıkların üst yüzünü oluştururken tetrahedronlara ait oksijen tabakaları da yaprakçıkların alt yüzünü oluşturmaktadır. Yaprakçıklar üst üste dizildiğinde bir yaprakçıkta bulunan hidroksil tabakasına karşılık diğer yaprakçıkta bulunan oksijen tabakası gelmektedir. Hidroksil iyonlarının sahip olduğu H^+ katyonları iki oksijen tabakası arasında kalarak yaprakçıklar arasında kuvvetli bağlar oluşturmaktadır. Dört tabakalı killerin temsilcisi klorit kil mineralidir. Dört tabakalı kil minerallerinde dizilim 2:2, Si:Al:Si:Al ya da 1:1:1:1 şeklinde olmaktadır.

2.3.2.3.1. Klorit kil mineralleri

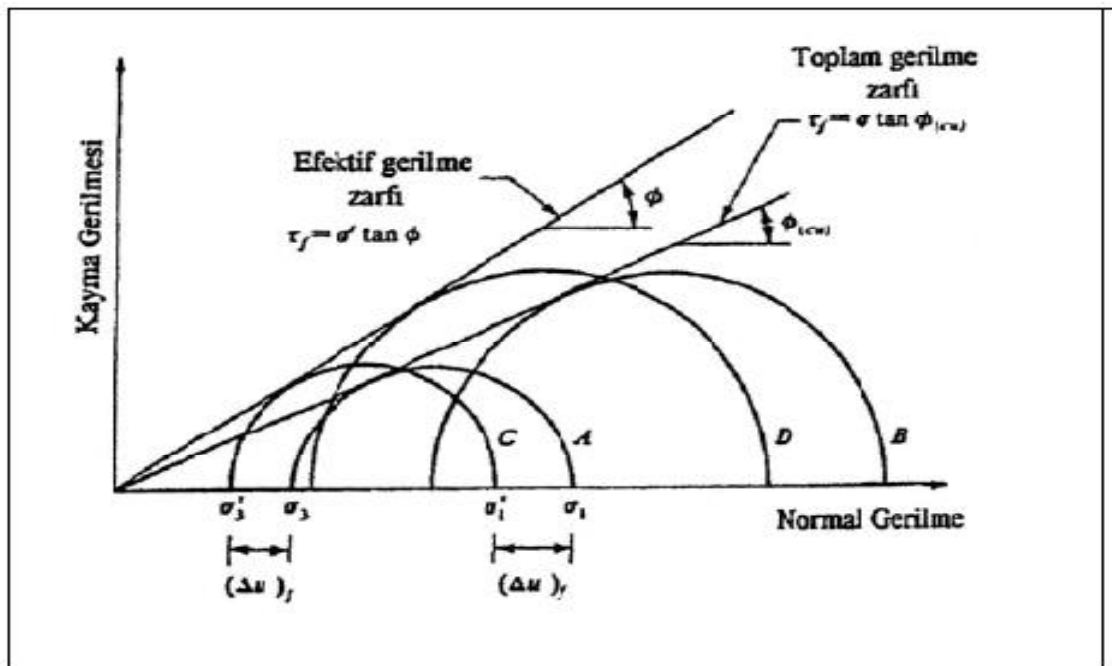
Başkalaşım kayalarında bulunmakta olan klorit kil mineralleri magnezyum silikattır. Su alıp şişme özelliğine sahip değildir. Bunun temel nedeni dört tabakalı bir yaprakçık yapısına sahip olmasıdır. Katyon değişimi olmamaktadır. İç yüzeyde bir genişleme olmamasından kaynaklı gelişen bir durumdur. İç yüzeyin genişleyebilmesi için su almaları gerekmektedir.

2.3.3. Killi zeminlerde kayma mukavemeti

Killi bir zeminin ele aldığımızda göçmenin gerçekleşebilmesi için düzlem geçilmesi gereken eşik değerde bir kayma dayanımı gerekmektedir. Bunun yanı sıra düzlemsel olarak en büyük değere sahip kaymayı bulmak mümkün olmayabilmektedir.

Gerilmelerin oluşturduğu ortak etki sonucunda göçme oluşmaktadır. Göçmeye engel teşkil eden en yüksek gerilme de zeminlerin kayma direncidir.

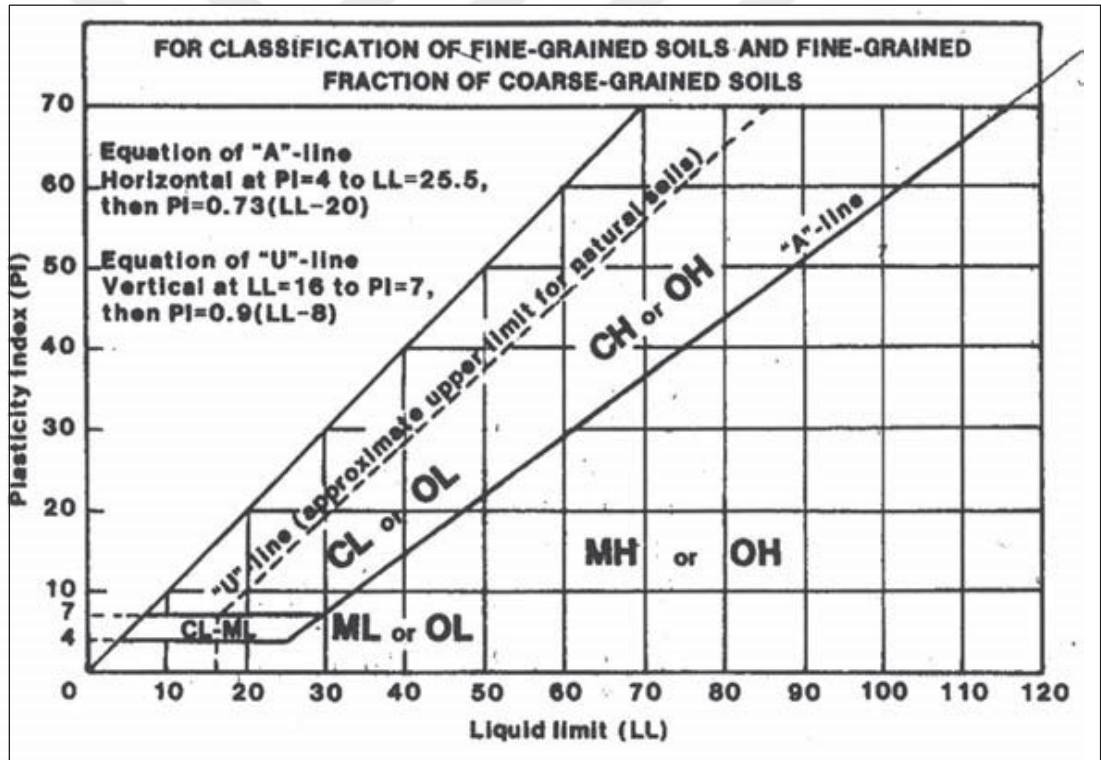
Şekil 2.8.'de konsolidasyonlu drenajsız zeminlerde elde edilen Mohr çemberleri görülmektedir. A ve B toplam gerilmeleri, C ve D ise efektif gerilmeleri ifade etmektedirler. Kayma mukavemet dayanımları farklı parametrelere bağlı olarak gerilmeler cinsinden bulunmaktadır. Toplam gerilmeler ve efektif gerilmeler gösterilmiştir [5].



Şekil 2.8. Toplam ve efektif gerilme zarfları[5]

2.3.4. Killerin tayini

Casagrande tarafından kil minerallerinin tayini yapılmaktadır. Aktif killeri U hattı civarında ve A hattının üzerindeki killeri oluşturmaktadır. CL grubundaki killeri az ya da çok şişebilme özelliği gösterebilmektedir. Bunun nedeni montmorillonit mineralleri içermesi ve U hattı civarında yer almasından kaynaklanmaktadır. Aktif özellik gösteren illit kil mineralleri A hattının üstünde yer alırken, klorit gibi kil mineralleri kısmen de olsa aktif özellik göstermediği için A hattının altında yer aldığı görülmektedir. MH ve ML grubundaki killeri ise aktivitesi çok az olan veya hiç aktivitesi olmayan siltlerden oluşmaktadır. Kil grubu minerallerinin casagrande plastisite kartı üzerindeki yeri şekil 2.9.'da gösterildiği gibidir.



Şekil 2.9. Casagrande plastisite kartı[10]

2.4. Kireç

Kirecin, Paleolitik çağda yaşayan insanların barındığı kalkerli taşlardan oluşan mağaralardayaktıkları ateş sonucu elde edildiği tahmin edilmektedir[13].

Bunun sonucunda düşük kalitede bir kireç olduğu için kullanmaları mümkün değildi. Çünkü kalsiyum karbonatın okside dönüşebilmesi için sıcaklığın 900 °C olması gerekmektedir. Kalkolitik ve Neolitik çağlarında kireç badana malzemesi olarak kullanılmıştır. Arkeolojik kazılar sonucunda kireçten beton üretimi için çalışmalar yapıldığı anlaşılmıştır. Tevratın tesniye bölümünde yani 3300 yıl önce İsrail kavminden taşları kireçle badana yapmaları ile ilgili yazılar görülmektedir. Babillerde kerpiç duvarların kireçle badanasının yapıldığı Aşıklı Höyüğünden çıkan bulgularla ulaşılmıştır.

Kireç bağlayıcı özelliği olan en eski malzemelerden biridir. Hava kireci bağlayıcı olarak yapıda Persler, Finike, Eski Babil, Hitit, Mısır gibi medeniyetler tarafından kullanılmıştır. Su kireci Romalılar döneminde bulunmuş ve suda yapılan inşaat çalışmalarında uygulanmıştır.

Horosan harcını puzolanik kirece pişmiş kil öğüterek karıştıran Türkler bulmuştur. Bu bağlayıcı malzeme Hindistanda surki ve Mısırdaki homra olarakta bilinmektedir. Sıva fresk tekniği ile uygulaması Bizans'ta gerçekleşmiştir. 9. ve 12. Yüzyıllarda puzolanın Avrupa'da kaybolduğu bilinmektedir. Yani kireç sanayisi orta çağda gelişim gösterememiştir. Smeathon deniz fenerini 1756 yılında yaptığında killi bir yapıda olan kireci pişirerek hidrolik bağlayıcı ve su kireci üzerinde önemli fikirler geliştirmiştir.

Kirecin hammaddesi kireçtaşıdır. Kireç kalsiyum bazlı bir madde yapısına sahiptir. Kalkerler kalsine edilerek elde edildiği bilinmektedir. Kimyasal yapısında bulunan bileşenlere bakıldığında Magnezyum karbonat/kalsiyum karbonat ($MgCO_3$ / $CaCO_3$) kombinasyonu veya kalsiyum karbonat ($CaCO_3$) şeklinde olduğu görülmektedir. Bunların yanı sıra değişik oranlarda kükürt, silisyum, alüminyum ve demir gibi elementlerde bulunabilmektedir.

Yapısında bulunan kalsiyum karbonat oranına göre kireçtaşlarının cinslerinin sınıflandırması aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir.

1. Çok yüksek kalsiyumlu kireçtaşı (KT): $CaCO_3$: min. %97
2. Yüksek kalsiyumlu KT: $CaCO_3$: min. %95
3. Yüksek karbonatlı KT: ($CaCO_3 + MgCO_3$): min. %95

4. Kalsitik KT: MgCO_3 . %5
5. Magnezyumlu KT: MgCO_3 . %5-20
6. Dolomitik KT (Dolomit): MgCO_3 . %20-40
7. Yüksek magnezyumlu dolomit: MgCO_3 . %20-46 [15].

Yeryüzünde bulunan kara parçalarının %10 ununun kireç taşlarından oluştuğu bilinmektedir. Kireçtaşı oluşumunu jeofizik olaylar, deniz seviye ve iklim olayları karşılıklı bir şekilde etkilemektedir. Kireçtaşı oluşum şekline göre inorganik ya da organik. Kireçtaşının sahip olduğu belli başlı kimyasal ve fiziksel özellikleri vardır.

Kireçtaşının kimyasal özellikleri:

- Temel dekompozisyonu
- Ph değeri
- Asitlerle Reaksiyonu
- Kimyasal stabilite
- Karbondiyoksit ile reaksiyon gibi özellikler oluşturmaktadır.

Kireçtaşının fiziksel özellikleri:

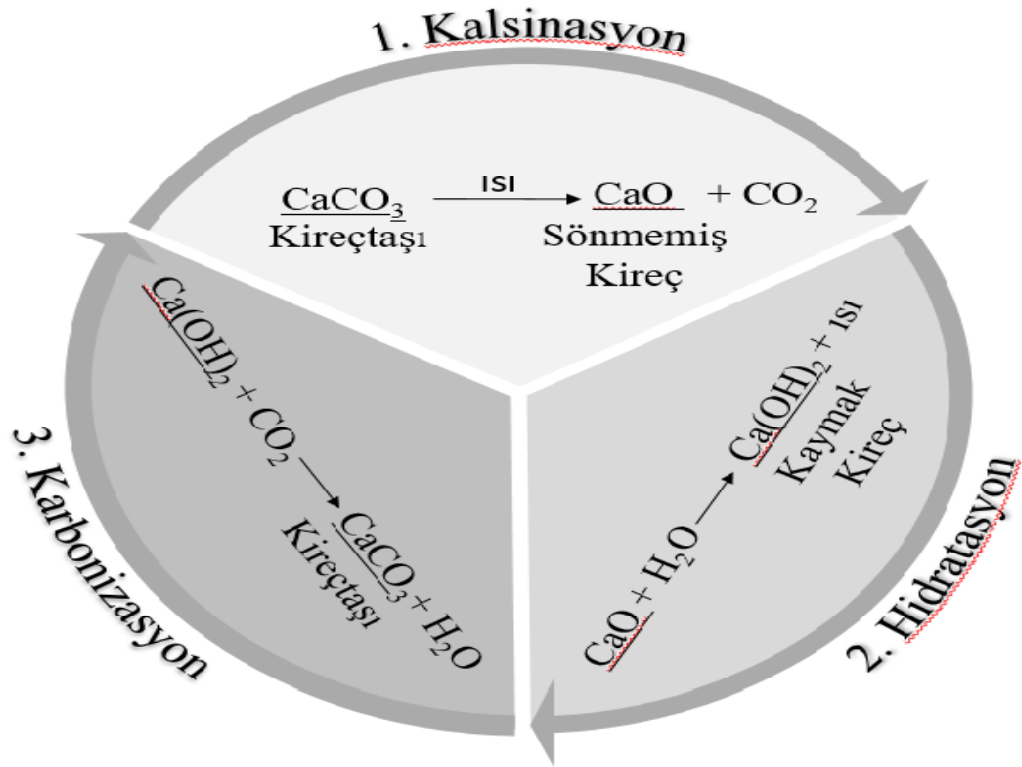
- Özgül ısı
- Beyazlık
- Erime Noktası
- Sertlik
- Isı İletkenliği
- Dökme Yoğunluk
- Mukavemet
- Özgül ağırlık
- Renk
- Tekstür ve kristal yapı
- Molekül Ağırlığı
- Su emme kabiliyeti ve Gözeneklilik
- Görünür Yoğunluk gibi özelliklere sahiptir

Kireç elde edilme sürecinde 900 °C-1100 °C arasında bir sıcaklığa tabi tutulması gerekmektedir. Olayın gerçekleşmesi katı, sıvı ve gaz yakıtlarının kireç fırınlarında

yakılması ile sağlanmaktadır. Ekonomik olarak yakıtlardan hangisi uygunsa o seçilmektedir.

2.4.1. Kireç türleri

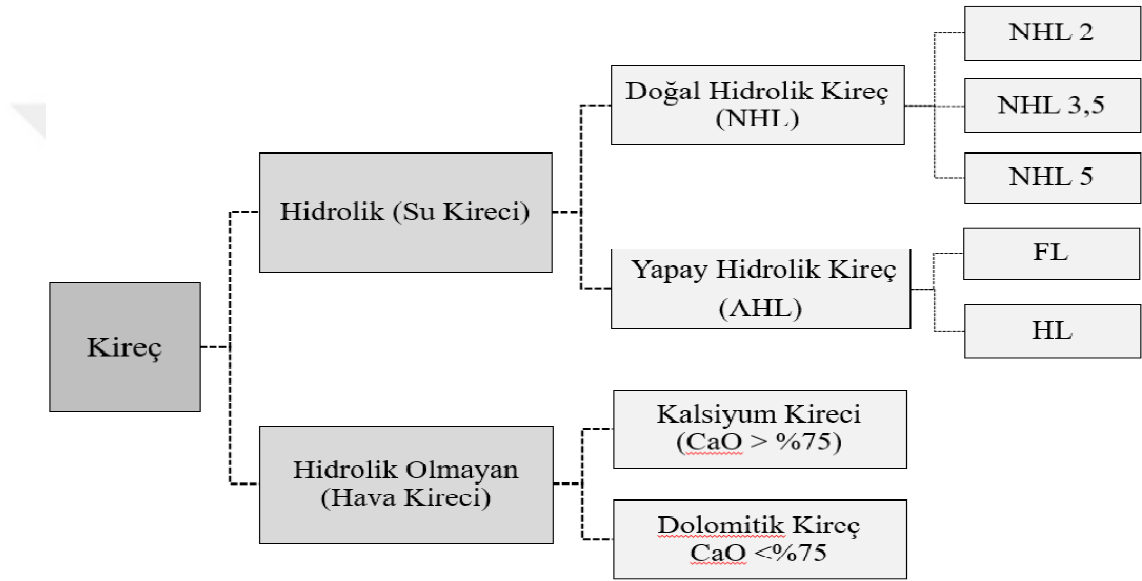
Sönmemiş kireç kalsinasyon reaksiyonu sonucunda elde edilen bir kireç türüdür. Sönmüş kireçte su ile sönmemiş kirecin reaksiyonu sonucunda edilmektedir. Kullanım alanları farklılık göstermektedir. Şekil 2.10.'da kireçtaşı, sönmüş kireç ve sönmemiş kirecin oluşumu şematize edilmiştir.



Şekil 2.10. Hava kirecinin kimyasal döngüsü[16]

Kalsinasyon reaksiyonu ile kireçtaşı 700 °C- 900 °C aralığında ısıtılarak yapısındaki karbondioksitin ayrılması sağlanarak sönmemiş kireç elde edilir. Hidratasyon reaksiyonu sönmemiş kirece yeterli oranda su katılarak kaymak kireci (sönmüş kireç) elde edilmesidir. Reaksiyon sonucunda dışarıya ısı verildiği görülmektedir. Karbonizasyon reaksiyonu ile sönmüş kireç karbondioksitle tepkimeye girerek sertleşir ve kireç taşı oluşur. Sonucunda su ortaya çıktığı görülmektedir.

Kireci sınıflandırdığımızda karbonatlaşma ve katılaşma durumuna göre bir sınıflandırmanın karşımıza çıktığı görülmektedir. Suda katılaşma özelliği gösteren kireçler hidrolik kireci (su kireci) ni oluştururken, hidrolik olmayan kireçlerde hava da katılaşma özelliği gösteren kireçlerdir. Hidrolik kireçler katkıları kullanılarak oluşturuluyorsa bunlar yapay hidrolik kireçleri oluşturmaktadır. Bunun yanı sıra doğal hidrolik kireçler de vardır. Kalsiyum oksit oranına göre hidrolik olmayan kireç (hava kireci) kalsiyum ya da dolomit kireci olarak sınıflandırılması yapılmaktadır. Şekil 2.11.'de kirecin sınıflandırılması görülmektedir.

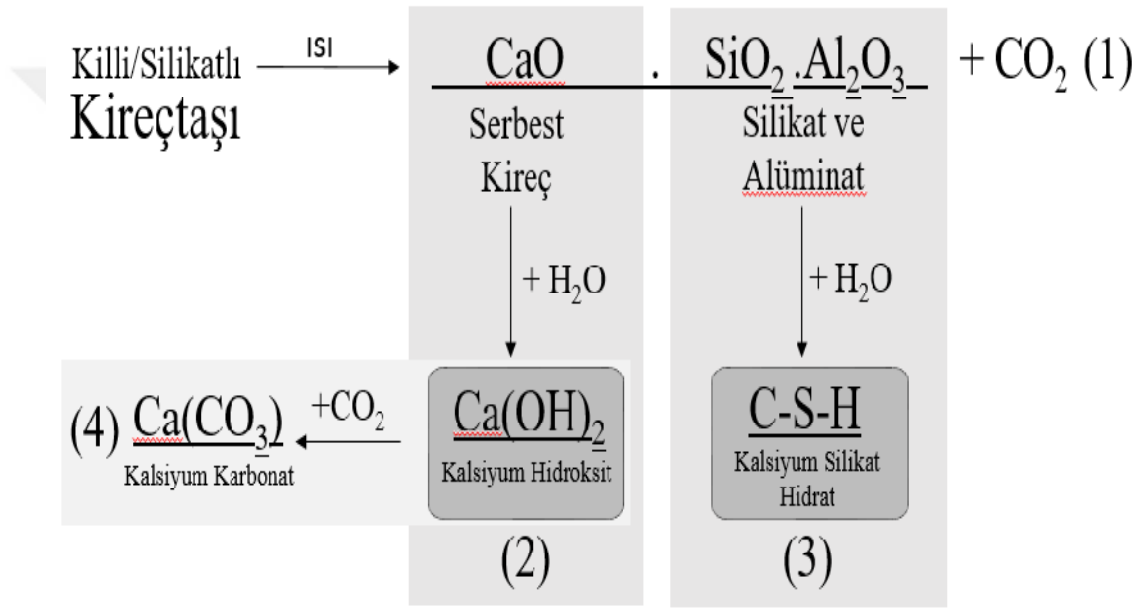


Şekil 2.11. Kirecin sınıflandırılması[16]

2.4.1.1. Su (Hidrolik)kireci:

Su kirecinin oluşum aşamalarının karbonizasyon, kalsinasyon ve hidrasyon reaksiyonlarıyla olduğu görülmektedir. Hidrolik kirecin gelişiminin 18. yüzyılla birlikte yüksek dereceli fırınlar başladığı bilinmektedir. Su kireci için yüksek derecelerde pişirmeye ihtiyaç vardır. 18. Yüzyıl öncesi yapılarda belirgin bir kullanım görülmemektedir. Hidrolik kireç tarihi yapıların onarımında fiziksel özelliklerinden ve mekanik özelliklerinden dolayı hava kirecine oranla daha çok tercih edilmektedir. Doğal hidrolik kireç son yıllarda lif ve puzolan katkılarıyla özelliklerinin iyileştirilmesiyle tarihi yapıların onarımında kullanılmaktadır. Kireçtaşından su kirecinin oluşum aşamaları şekil 2.12.'de gösterildiği gibidir.

Üç farklı reaksiyonun gerçekleştiği görülmektedir. Birinci reaksiyonda silikatlı ve killi bir yapıya sahip olan kireçtaşından karbondioksit 950-1250 °C gibi yüksek bir sıcaklıkla uzaklaştırılmaktadır. İkinci reaksiyonla kalsiyum hidroksitin oluşumu serbest kalan kireç (CaO) su ile olan tepkimesiyle meydana gelmektedir. Üçüncü reaksiyonla portland çimentosunda görülen jel yapı olan kalsiyum-silikat-hidrat (C-S-H), alüminatlar ve silikatların su ile tepkimesiyle oluşmaktadır. Üç tepkimenin oluşumunun tek yönlü ve doğrusal olduğu görülmektedir. Hava kirecinin oluşumunda ise döngüsel bir tepkime olduğu görülmektedir.



Şekil 2.12. Hidrolik kirecin kimyasal dönüşüm şeması[16]

2.4.1.1.1. Doğal hidrolik kireçler

Doğal su kireci herhangi bir katkı maddesi kullanılmadan gösterdikleri hidrolik özelliklere sahip kireçlerdir. Silisli-killi yapısına sahip kireçtaşının ısıtılıp, öğütülmesi ile elde edilmektedir. Belirli oranlarda serbest kireç içeriklerine sahip olduğu bilinmektedir.

Doğal hidrolik kireçlerin sınıflandırılmasının temel parametresini kontrollü bir şekilde yapılan deneylerle 28 günün sonunda kazandıkları dayanımlar oluşturmaktadır. NHL (3,5) tipindeki doğal hidrolik kireç 7 günde sahip olduğu bir dayanım olmazken, 28 günün sonunda 3-10Mpa dayanıma ulaşmaktadır. NHL (5)

tipindeki doğal hidrolik kireç 7 günde min.2 Mpa 28 günde 5-15 Mpa ulaşmaktadır. NHL (2) tipindeki doğal hidrolik kireç 7 günde bir dayanım göstermezken, 28 günde ulaştığı dayanım 2-7 Mpa olduğu görülmektedir.

2.4.1.1.2.Yapay hidrolik kireçler

Hava kireçlerine hidrolik katkılar ya da çeşitli türdeki puzolaniklerin eklenmesiyle elde edilen kireçlere yapay hidrolik kireç denilmektedir. Yapı endüstrisinde son yıllarda popülerlik kazanmasıyla üretimler gerçekleştirilmektedir. Tarihi yapıların onarımı içinde önemli ölçüde gereksinim duyulmasıyla üretimi artmaktadır.

Yapay hidrolik kireçlere bakıldığında iki türü karşımıza çıkmaktadır. Bunlar;

-Hidrolik kireç

-Formüle edilmiş kireçtir.

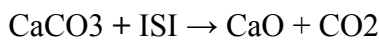
Düşük kalsiyum hidroksite sahip yapay su kireci uçucu kül, çimento, yüksek fırın cürufu katkıları kullanılarak elde edilmiş hidrolik kireçtir. Yüksek oranda kalsiyum hidroksite sahip hidrolik kireç ya da puzolanik katkıları içeren yapay su kirecine formüle edilmiş kireç denilmektedir. 1837’de Vicat tarafından uygulanan çalışmalar temel alındığında hidrolik kireç şöyleSınıflandırılabilir:

-Zayıf hidrolik kireç (%12’nin altında kil içeren kireçtasından üretilir.)

-Normal hidrolik kireç (%12-%18 arası kil içeren kireçtasından üretilir.)

-Güçlü hidrolik kireç (%18-%25 arası kil içeren kireçtasından üretilir.)[17].

2.4.1.2. Sönmemiş kireç



Kireçtaşının ısı ile reaksiyonu sonucunda ortaya çıkan kalsiyum oksite (CaO) sönmemiş kireç denir. Elde edilmiş olan sönmemiş kireç doğrudan kullanılabilir. Kimya, çelik endüstrisinde daha yaygın kullanıldığı bilinmektedir.

2.4.2. Kireç kullanımı

Kireç birbirinden farklı alanlarda farklı amaçlarla kullanılmaktadır. Bunlar;

Kâğıt Sanayisinde;

Kâğıt sanayisinde üretim için kullanılmış olan bazı kimyasal maddelerin geri dönüşümü için kullanılmaktadır.

Cam Sanayisinde;

-Cam fırınlarda ısıdan tasarrufun sağlanmasında yardımcı olur.

-Camın sahip olduğu sertliğin artırılmasında rol alır.

-Kireçtaşının içeriğinde metal oksitler bulunmakta, bu yüzden cam üretimi için hammadde niteliği taşımaktadır.

Karayolları yapımı ve Zemin iyileştirilmesinde;

-Toprakta büzülme genleşme gibi fiziksel özelliklerden kaynaklanan zararların giderilmesi için kullanılır.

Çevrede rehabilitasyonun sağlanması amacıyla;

-Bataklık, göl gibi alanlarda ıslahın sağlanması için yapılan çalışmalarda

-Atık sularında arıtma yapmak için

-Çöplerde ıslah sağlanması için

-Fabrikalarda bacalardan çıkan zehirli gazlarda filtrasyon sağlamak için kullanılmaktadır.

Yapı Malzemeleri Sanayisinde;

-Seramik ve Karo üretiminde kullanılmakta,

-Mukavemetin, esnekliğin ve bağlayıcılık gibi özelliklerin artırılmasında kullanılmakta,

-Kum-kireç tuğlalarının üretiminde kullanılmakta,

-Gaz betonların üretilmesi için kullanılmaktadır.

Demir Çelik Sanayisinde;

-Çelik tellerinin üretim sürecinde,

-Çeliğin üretiminde kullanılmakta,

-Döküm kalıplarının hazırlanması aşamasında kullanılmakta,

-Demir cevherinin hazırlanmasında kullanılmaktadır.

Kimya Sanayisinde;

-Çevre kirliliğinin önüne geçmek için kullanılmakta,

-Orman ve Tarım topraklarının geri kazanılmasında,

-Kirlenmiş suların temizlenmesi için kullanılmakta,

- Çöplerin ve kentsel atıkların ıslah edilmesinde kullanılmakta,
- Su arıtımlarının sağlandığı tesislerde kullanılmaktadır.

Demir Dışı Metal Sanayisinde;

- Kükürtün çinkodan ayrıştırılmasında kullanılmakta,
- Nikelin saflaştırılmasında kullanılmakta,
- Manganın geri kazanılmasında kullanılmakta,
- Alüminyumun elde edilmesinde kullanılmaktadır.

2.4.3. Kireç kullanımının yararları

- Pahalı kimyasalların kazanılmasında önemli bir role sahiptir.
- Kolay erişilebilen ve ucuz bir malzemedir.
- İstenmeyen maddelerin bünyeden uzaklaşmasına yardımcı olur. Bu özelliğini kimyasallarla çabuk tepkimeye sağlamaktadır.
- Bir besi maddesi özelliğine taşıyarak organik canlıların beslenmesine olanak sağlamaktadır.
- Kostikleşme, Nötralizasyon, absorpsiyon gibi birçok kimyasal prosesin temel girdisi olma özelliğine sahiptir.

2.4.4.Kirecin yapı sektöründe ve inşaat işlerinde kullanılması

Yapı ve İnşaat sektörüne bakıldığında kireçtaşının kullanımı birçok ülkede %40-70 arasında olduğu görülmektedir. Yol yapımında kireçtaşı dolgu/agrega maddesi olarak kullanılırken, beton harcındaysa agregası olarak kullanılmaktadır. Sertliğe, yüksek aşınma mukavemetine, temiz, yüksek formda gibi özelliklere sahip kireçtaşı olması gerekmektedir. Türkiye de yapı ve inşaat sektöründe kireçtaşının üretiminin %33'ü yani 28 ton mıcır 1995 yılındaki istatistiklere göre kullanılmıştır. İnşaat harcı yani hazır harç ve beton içerisinde

(75 mikron-5 mm) daha ince yapıdaki bazı kireçtaşı kumları kullanılmaktadır.

2.4.5. Zeminin kireç ile stabilizasyonu

Yol ve bina gibi inşaat faaliyetleri incelendiğinde yapılan çalışmalarda zemindeki zayıflık karşımıza birçok problem çıkarmaktadır. Kil içeren kısmen taneli ya da

genellikle killi yani taşıma gücü zayıf zeminler en problemli zeminler olarak nitelendirilebilir. Killi zeminler eğer çok yüksek bir su muhtevasına sahiplerse taşıma gücündeki problemler daha artmaktadır. Bu tipteki zeminlerle karşılaşılınca ya bu zeminin stabilize ocaklarından getirilen granüle dolgu malzemeleri ve zeminin yerine kırma taş ya da taşıma gücü zayıf zeminin ihtiyaç duyulan derinliğe kadar atılması ile zeminin stabilizasyonu sağlanmaktadır.

Bu yöntemle yapılan iyileştirmelerin çevreye zararları olmasının yanı sıra maliyetlerini de oldukça artırmaktadır. Kullanılan mekanik vasıta sayısı arttığı için trafik yoğunluklarında da artışa sebep olmaktadır.

Sağlam bir taban zemini elde etmek ve daha ekonomik bir yöntem olan kireç ile iyileştirme istenilen sonuçların elde edilmesi için uygundur. Kireç sahip olunan zeminin kuru ağırlığının yüzde 3-5 uygulanarak daha kolay ve ekonomik stabilizasyon sağlanmış olur. Efes Kral yolunda, Çin Seddinin altında kireç kullanıldığı bilinmektedir. Yanyüzyıllardır kullanılan bir iyileştirme yöntemidir. 1940 yılından itibaren dünyada yaygın olarak zayıf yapıdaki zeminleri stabilizasyon işlemlerinde uygulanmaktadır. Şekil 2.13.'te farklı dane boyutundaki kireçler gösterildiği gibidir.



Şekil 2.13. Farklı dane boyutuna sahip kireçler[7]

Kireç zemin iyileştirmenin yanı sıra kurutma için de kullanılarak zeminin mukavemetinin artırılmasına olanak sağlar. Çalışabilir bir zemin elde edilmesi olanağı sunmaktadır. Sönmüş kireç (Ca(OH)_2) ve sönmemiş kireç (CaO) kurutma ve stabilizasyonda kullanılabilen kireç türleridir. Sönmemiş kirecin kullanımı optimum su muhtevasının doğal zeminin su muhtevasının çok altında olması durumundadır. Öncelikli olarak zeminde bulunan fazla su içeriğiyle sönmemiş kireç

sönmekte daha sonra zeminin iyileştirilmesinde aktif rol almaktadır. Kuzey Ülkelerinde sönmemiş kireç kullanımı daha sıktır. İngiltere bunun en önemli örneklerinden birini oluşturmaktadır. Uygulanan bu yöntemle zeminin su muhtevası optimum su muhtevası seviyesine yaklaştırılmakta ve dayanım artırılmaktadır. Tablo 2.3.'te 1972 yılında Metcalf ve Ingles gibi bilim insanlarının tarafından önerilen kireç karışımı gösterildiği gibidir.

Tablo 2.3. Zemin cinsine göre önerilen kireç oranı[11]

Zemin cinsi	Modifiye için (%)	Stabilizasyon için (%)
İnce çatlaklı kaya	2 ~ 3	önerilmez
İyi derecelenmiş killi çakıl	1 ~ 3	~ 3
Kumlar	önerilmez	önerilmez
Kumlu killer	önerilmez	~ 5
Siltli killer	1 ~ 3	2 ~ 4
Plastik killer	1 ~ 3	3 ~ 8
Yüksek plastisiteli killer	1 ~ 3	3 ~ 10
Organik zeminler	önerilmez	önerilmez

Killi zemine Kireç eklendiğinde flokülasyon ve katyon değişimi gibi birçok kimyasal tepkime gerçekleşmektedir. Puzolonik tepkimeleri oluşturan tüm bu tepkimeler, iki değerli kalsiyum iyonuna sahip killer tek değerli iyonlarla etkileşime girerek iyon değişimini sağlamaktadır. Katyonların seri şeklindeki dizilimi benzeşme dağılımına göre aşağıda gösterildiği gibidir.



Katyonlardan herhangi biri sağındaki iyonla değişimi gerçekleştirebilmektedir. Kil mineralleri üzerindeki yapısal değişiklere puzolonik tepkimeler etkili olmaktadır. Daha büyük danelerin kil minerallerinin bir araya gelmesiyle oluştuğu görülmektedir.

Kireç ile iyileştirme de zeminde kısa ve uzun dönemde bazı değişiklikler görülmektedir. Kısa dönemdeki değişimlere bakıldığında aşağıdaki gibi olduğu görülmektedir.

- Proktor eğrisi düzleşmekte
- Rötire Limiti artmakta,
- Plastik Limit Artmakta,
- CBR Değerinde artmakta,
- Likit Limit değeri düşmekte,
- Maksimum Kuru Birim Hacim Ağırlığının düştüğü ve Optimum Su Muhtevası değerinin arttığı görülmektedir.

Uzun dönemdeki değişimlere bakıldığında;

- Mukavemet değerleri artmakta,
 - CBR değerinde artışların daha da olduğu görülmekte,
 - Don Etkisine Karşı Olan Dayanım artmakta,
 - Büzülme ve Şişme gibi fiziksel özelliklerin stabilitesi gibi olduğu görülmektedir.
- Kısaca değişen bu özelliklerin bir kısmına değinecek olursak;

2.4.5.1. Zeminin Mukavemetinde Oluşan değişimler

1977 yılında yol çalışmaları sırasında kireç kullanılarak yapılan iyileştirme üzerine kapsamlı bir çalışma yapan Kelley analizler sonucunda veriler elde etmiştir. 1940 yılında ikinci dünya savaşı sırasında ordu merkezinin kurulum alanında zemin iyileştirmesinin kireç ile yapıldığı bilinmektedir. 25 yıl sonra bile herhangi bir bozunma olmadığı görülmektedir. Doğal zemine oranla kireç ile yapılan stabilizasyonca ciddi mukavemet artışları olduğu görülmektedir.

1966 yılında Grim ve Eades yapmış oldukları çalışmalarla, 6 farklı zemin numunesi üzerinde kireç ile kür edilen zeminlerin serbest basınç değerlerini ölçmüştür. Artan kireç oranına göre serbest basınç değerlerinde %200-%1000 arasında artışlar olduğu görülmüştür. Şekil 2.14.'te farklı yapıdaki zeminlere katılan kireçle serbest basınç değerlerindeki değişim gösterildiği gibidir.

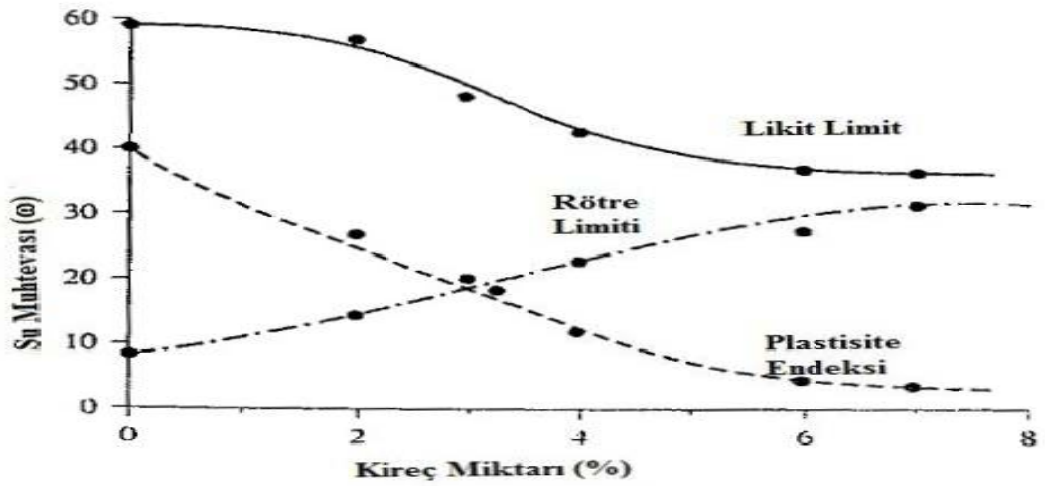
2.4.5.2.Zeminin plastisite indisindeki değişimi

Birçok araştırmacı kireç kullanımıyla birlikte zeminde fiziksel özelliklerinin değiştiği kanısına varmaktadır. Plastisitesi yüksek zeminlerde kireç ilavesiyle birlikte likit limit ve Plastisite indisi değerinde düşüş buna karşın Plastik limit değerinde artış

olduğu görülmektedir. Şekil 2.15.'te kirecin zemin içindeki oranının artmasıyla plastisite indisi, likit limit, rötre limit üzerine etkisi gösterildiği gibidir.



Şekil 2.14. Kireç katkısının zemin üzerindeki dayanıma etkisi



Şekil 2.15. Zemin Parametrelerinin Kireç ile Değişimi[7]

2.4.5.3. Zeminin optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlığındaki değişim

Zeminin maksimum kuru birim hacim ağırlığı ilave edilen kireçle azalırken, Optimum su muhtevası değeri artmaktadır. Doğal zemin kireçli zemine oranla daha yüksek bir yoğunlukla sıkışmaktadır.

Bunların yanı sıra kireç kullanımıyla permeabilitelerinde artış olduğu görülmektedir. Kireçle birlikte suya olan dayanımı arttıran zeminlerde uzun ömürlü bir iyileştirme olduğu görülmektedir. Donma ve çözünme gibi fiziksel etkinin hava koşullarından

kaynaklı geliştiği bilinmektedir. Kireç kullanımı sonrasında herhangi bir bozunmanın olmadığı görülmektedir.

Daha önce yüzeysel zemin iyileştirilmelerinde kısaca değinmiş olduğumuz kireç stabilizasyonu ve kireci daha geniş bir perspektifle incelenmiş oldu. Bu tez çalışması kapsamında hidrolik ve sönmemiş kireç katkıları aynı yerden alınan zeminlere ve farklı oranlarda katılarak zeminde göstermiş oldukları etkiler deneyler sonucunda görülmüştür.



3. YÖNTEM VE KULLANILAN MALZEMELER

İnşaat mühendisliği yapıları zeminle doğrudan etkileşim halinde olup, yapı yüklerinden etkilenen zemin ortamının özellikleri ile yapıyla birlikte davranışının titizlikle incelenmesi ve tanımlanması gerekir. Bu konuyla ilgili araştırma, analiz ve tasarım çalışmaları inşaat mühendisliğinin bir dalı olan geoteknik ana bilim dalı kapsamına girmektedir.

Üstyapı temel-zemin etkileşiminin veya birlikte davranışının tanımlanabilmesi için aşağıda belirtilen başlıca çalışmaların yapılması gerekir:

- Arazi ve laboratuvar çalışmaları,
- Taşıma gücü, oturma, stabilite ve toptan göçme analizlerinin yapılması,
- Temel, temel sistemlerinin seçimi ve tasarım parametrelerinin belirlenmesi,
- Dinamik yükler altındaki zemin davranışının (sıvılaşma, zemin büyütmesi vb.) ve zemin-yapı etkileşiminin incelenmesi,
- Gerektiği takdirde zemin iyileştirme yöntemlerinin belirlenerek uygulama projelerinin hazırlanması,
- Yapılan uygulamaların performansının çeşitli aletsel gözlem ve arazi deneyleriyle izlenmesi ve yorumlanması,
- İlgili her türlü rapor ve Projelerin Hazırlanması[19].

Bu bilgiler ışığında laboratuvar ve Arazide yapılan deneysel çalışmalar incelendiğinde aşağıdaki gibi olduğu görülmektedir.

Laboratuvar Deneylerini:

- Zeminler ve yeraltı suyu üzerinde yapılmakta olan kimyasal deneyler,
- Üç Eksenli Basınç deneyi,
- Konsolidasyon deneyi,
- Şişme deneyi
- Permeabilite deneyleri (Düşen seviyeli geçirimsizlik ve Sabit seviyeli geçirimsizlik)
- Elek Analizi,

- Maksimum ve Minimum Kuru Birim Hacim Ağırlık, Doğal Birim Hacim Ağırlık Deneyleri,
- Serbest basınç Deneyi,
- Koni Düşürme Yöntemi
- Kıvam Limitleri (Plastik Limit, Likit Limit) Deneyleri,
- Hidrometre (Çökeltme Analizi) Deneyi,
- Özgül Ağırlık Deneyi,
- Vane (Kanatlı Kesici) Deneyi,
- Kesme Kutusu Deneyi gibi deneyler oluşturmaktadır.

Arazi Deneylerini:

- Kum Konisi Deneyi,
- Dilatometre Deneyi,
- Plaka Yükleme Deneyi,
- SPT (Standart Penetrasyon) Deneyi,
- PMT (Presiyometre) Deneyi,
- CPT (Koni Penetrasyon) Deneyi,
- Arazi Permeabilite Deneyi gibi deneyler oluşturmaktadır.

Bu çalışma kapsamında, zeminin katkı malzemesi kullanılarak stabilizasyonu laboratuvar ortamında deneysel çalışmalar yapılarak irdelenmiştir. Tez çalışması kapsamında Kocaeli ilinin derince bölgesinde getirilen kil ile çalışmalar yapılmıştır. İyileştirme için deneysel çalışmalarda kullanılan katkı malzemesi kireçtir.

Aynı yerden alınmış zemin numunelerinde kompaksiyon deneyleri yapılarak su muhtevaları değerlerine ulaşılmıştır. Bulunan su muhtevaları ile numuneler hazırlanarak maksimum mukavemet değerleri bulunmuştur. Numunelerin 0, 1,7 ve 28 günlük beklenmesi sağlanarak serbest basınç mukavemetleri bulunmuş, serbest basınç mukavemetlerine karşılık gelen birim şekil değişimlerine ulaşılmıştır.

3.1. Kireç

Kireç daha önce de anlatmış olduğumuz gibi yüzeysel zemin iyileştirmeleri için kullanılan katkı maddesidir. İstediğimiz yapıda olmayan killi zeminlerin mühendislik çalışmasına uygun hale getirilmesi için uygulanmaktadır. Bu çalışma kapsamında laboratuvar ortamında katkı malzemesi olarak hidrolik ve sönmemiş kireç farklı

oranlarda kullanılmıştır. Killi zeminin istenilen özelliklerinin iyileştirilmesindeki etkisi incelenmiştir.

Başlangıçta alınan zemin numuneleri katkısız olarak deneyler yapılarak incelenmiş, daha sonra sönmemiş kireç ve hidrolik kireç katkıları %8, %10 ve %12 oranlarında kullanılarak veriler elde edilmiştir. Elde edilen verilerin sonucunda kirecin stabilizasyondaki etkisi görülmüştür.

3.2. Zemin numunesi

Yapılan çalışmalarda kullanılmak üzere getirilen killi zemin numuneleri Kocaeli ilinin, Derince ilçesinde bulunan SafiPort limanından alınmıştır. Çalışma kapsamında deneyler Kocaeli Üniversitesi geoteknik laboratuvarında yapılmıştır.

Çuvallar içerisinde getirilen zemin numuneleri deneylerde kullanılmadan önce fırında 24 saat bekletilerek kuruması sağlanmıştır. Kuruma işlemi gerçekleştirildikten sonra gerekli işlemler yapılmaya başlanmıştır.

Zeminin 40 nolu elekten geçebilmesi için kırma işlemine tabi tutularak ufalanması gerçekleştirilmiştir. Ufalama işlemi gerçekleştirildikten sonra zeminin geoteknik özelliklerinin belirlenmesi için Atterberg limit deneyleri başta olmak üzere deneyler yapılmıştır. Yapılan deney sonuçlarına göre zemin numunesi sınıflandırılmıştır.

3.3. Deneyler

Bu tez çalışmasında sırasıyla laboratuvarında, Atterberg Kıvam Limitleri (Likit Limit, Plastik Limit) deneyleri, Hidrometre deneyi, Yıkamalı Elek analizi, Piknometre deneyi, Kompaksiyon deneyi, PH deneyi ve Serbest Basınç deneyleri yapılmıştır. Deneyler anlatılmadan önce getirilen killi zemin numunesinin geoteknik özellikleri kısaca irdelenecektir.

3.3.1. Killi zemin numunesinin geoteknik özelliklerinin belirlenmesi

Kocaeli ilinin, Derince ilçesi limanından getirilen zemin numunesinin geoteknik özelliklerinin belirlenmesi için; Yıkamalı Elek analizi, Hidrometre, Kıvam Limitleri, Piknometre ve Standart Kompaksiyon deneyleri yapılarak zeminin sınıflandırması yapılmış ve geoteknik özellikleri tablo 3.1.'de gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Kullanılan kilin geoteknik özellikleri

Zemin sınıflandırma	
USCS	CH
AASHTO	A-7-6
Atterberg limit değerleri	
LL (%)	62
PL (%)	22,08
PI (%)	39,91
Elek analizi	
Kum (%) (4,76mm-0,074mm)	0,49
Kil ve Silt(%) (<0,074mm)	99,51
Özgül ağırlık	2,716
Standart proktor	
K.B.H.A(kN/m ³)	16,13
Doğal su muhtevası (%)	18,24

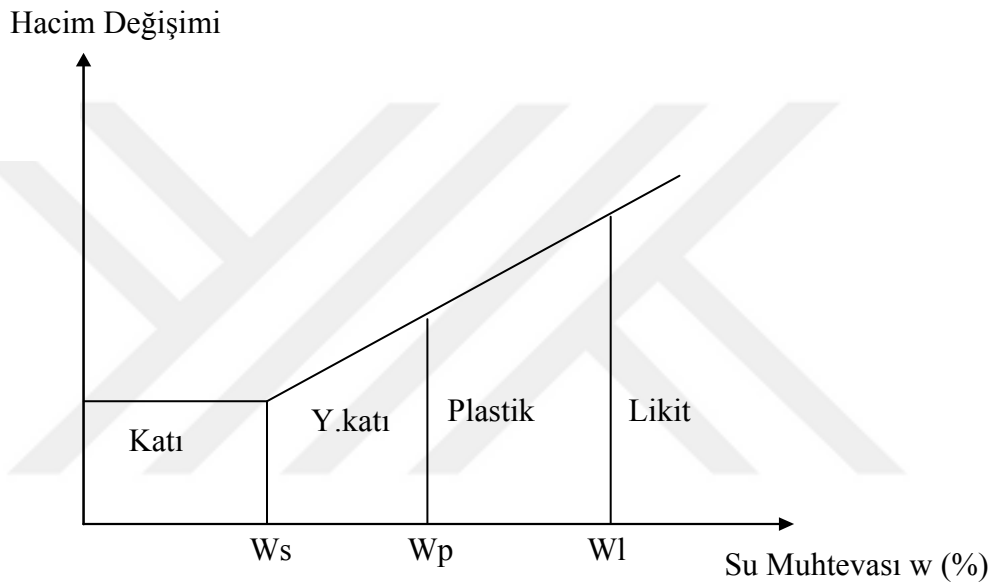
Geoteknik özellikleri belirlenen kilin yüksek plastisiteli kil (yağlı kil) olduğulanlaşmıştır.

3.3.2. Atterberg kıvam limitleri (likit limit-plastiklimit)deneyi

Kıvam limitleri ince daneli zeminlerde kesin bir sınıflandırma yapılabilmesi için gerekli olan bir tanımlamadır. Plastik limit zeminin yapısında bulunan su muhtevası değerinin zemin plastik bir malzemeden yarı plastik bir malzemeye dönüştüğünde ortaya çıkan değeri ifade etmektedir. Likit limit viskoz bir sıvıdan zeminin plastik kıvama dönüştüğü su muhtevası değeridir.

Su muhtevası yani kıvam, killi zeminlerde davranışı etkileyen temel parametredir. Daneler arasındaki bağ kuvveti ya da adezyon kuvveti, yük karşısında stabilitesini ve kayma direncini su ile değişmekte olan katı halini, sahip olunan su muhtevası değerine karşılık gelen katılık derecesini belirleyen en önemli özellik zeminlerin

kıvamıdır. Zeminde artan su muhtevası değerine karşılık katı fazdan sıvı faza kadar değişkenlik gösteren kıvam hali görülmektedir. Aynı su muhtevasına sahip farklı zeminler farklı kıvamda olmaktadır. Faz değişimi sırasında da farklı miktarda suya ihtiyaç göstermektedirler. Likit ve plastik kıvamlarda su muhtevasının bilinmesi ve hangi su muhtevasında bu kıvamlara ulaştığı oldukça önem arz etmektedir. Kıvam durumunu tanımlayan su muhtevası bilinmesi gerekmektedir. Kıvam durumuna göre değişen hacim değişimi şekil 3.1.'de Atterberg'in tanımladığı şekilde gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Zemin Kıvam Limitleri ve Hacim Değişikliği[21]

Plastik Limit (W_p): Kalıcı deformasyonların olduğu sınır bölgesini oluşturan su muhtevasıdır. Zeminde su muhtevasında oluşan artışlardan dolayı yarı katı halden plastik kıvama geçişi sağlayan su muhtevası değeridir.

Likit Limit (W_l): Taşıma gücünün hiç olmadığı ya da en az olduğu kıvamdır. Artan su muhtevasının zeminin kıvamlılığının plastik halden viskos sıvı faza dönüştüğü anda sahip olduğu su muhtevası değeridir.

Plastisite İndisi ($I_p = W_l - W_p$): Zeminin plastik kıvamda bulunduğu kısmı oluşturmaktadır. Zeminin kohezyon ve hacim değişimi gibi özelliklerini belirleyen plastisitedir. Platisite indeksi I_p , zeminin suya olan duyarlılığının bir ölçüsü ya da

ifadesidir. Plastisite değerine bağlı olarak zeminin plastisite sınıflandırması tablo 3.2.'de gösterildiği gibidir.

Tablo 3.2. Zeminlerin plastisite sınıflaması[21]

IP	Plastisite Özelliği
0-6	Plastik değil (NP)
6-10	Az plastisiteli
10-15	Orta derecede plastisiteli
15-40	Plastik
>40	Aşırı plastik

Plastik indisi ve Likit limit değerlerinin zeminin bazı özellikleri etkisi irdelendiğinde tablo 3.3'te gösterildiği gibidir.

Tablo 3.3. w_L ve I_p değerlerinin zemin özelliklerine etkisi[21]

Zemin Özellikleri	w_L aynı iken I_p artarsa	I_p aynı iken w_L artarsa
Sıkışabilirlik	Yaklaşık aynı	Artar
Permabilite	Azalır	Artar
Hacim değiştirme	Azalır	-
I_p civarında dayanıklılık	Artar	Azalır
Kuru halde mukavemet	Artar	Azalır

Kıvam limitlerinin belirlenmesinde iki yöntem yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında Casagrande yöntemi kullanılarak Plastisite indisi, Likit limit, Plastik limit değerleri saptanmıştır. Likit limitte amaçlanan 25 vuruşa karşılık gelen su muhtevası değerindeki likit limitin sahip olduğu değeri bulmaktır.

Başlangıçta saf kilin likit limit değeri elde edilmiş, daha sonra sönmemiş ve hidrolik kireç katkıları %8, %10 ve %12 oranında kullanılarak likit limit değerleri

bulunmuştur. Şekil 3.2.'de likit limit deneyinin uygulanması ve deney aleti gösterildiği gibidir. Şekil 3.3'te ise Plastik limit deneyi için gerekli düzenek gösterildiği gibidir.



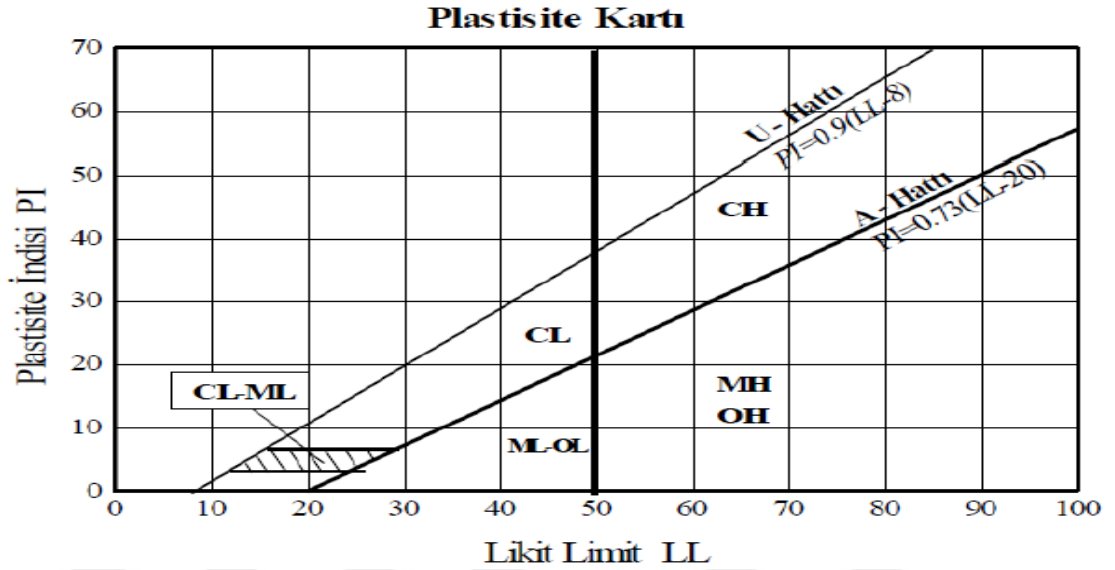
Şekil 3.2. Likit limit deney aleti ve deney uygulaması[11]



Şekil 3.3. Plastik limit deney takımı[11]

Plastik ve likit limit değerleri bulunduktan sonra plastisite indisi değeri elde edilmiştir. Zemin sınıfı elde edilen plastisite indisi ve likit limit değerleri plastisite kartında uygulanarak sınıflandırma gerçekleştirilmiştir.

Atterberg grafiğine bakılarak yapılan zemin sınıflandırması şekil 3.4.'te gösterildiği gibidir.



Şekil 3.4. UCSC sınıflandırma sistemi[5]

3.3.3. Hidrometre deneyi

Hidrometre deneyinin dayanmış olduğu kabul, dane çapına göre dane çökelme hızının değiştiğidir. Granülometre eğrisinin tam olarak belirlenmesi gerekmektedir. Bunun içinde dane çapı dağılımının 200 nolu eleğinin altına geçen numuneler belirlemektedir. Bu belirlemenin sağlanabilmesi için hidrometre analizi yapılmaktadır.

Bu deney çalışması kapsamında, mekanik bir karıştırıcı kullanılarak belli bir ağırlıkta zemin numunesi suda karıştırılarak bir süspansiyon oluşturulmaktadır. Yeterli derecede karışımı sağlanan süspansiyon çökelme işlemine bırakılmakta, farklı zaman aralıklarında yoğunluk ölçümleri yapılmaktadır. Bu işlem sonucunda zemin numunesindeki dane çapı dağılımı saptanmış olur. Saptanan dane çapı dağılımı ile ince daneli zeminlerin sınıflandırılması ve tanımlanması sağlanmış olur. Şekil 3.5.'te hidrometre deneyinde kullanılan düzenekler gösterildiği gibidir.



Şekil 3.5. Hidrometre deney düzenekleri.

3.3.4. Yıkamalı elek analizi:

Yıkamalı elek analizi ile amaçlanan, zeminin tane büyüklüğünü belirlemek ve bu tane büyüklüğüne göre ağırlıkça yüzdelerini saptamaktır. Zeminin sınıflandırılmasında yapılmakta olan deneyler arasında en önemli deney elek analizi deneyidir. Zemin sınıflandırmasının ana etkenlerinden birisi granülometre dağılımıdır. Zemin daneleri dört ana grupta toplanmaktadır. Bunlar; Silt, çakıl, kil ve kum'dan oluşmaktadır. Belirlenen zemin cinslerinin sahip olduğu dane çapı irdelendiğinde; Silt 0.002 (veya 0.005)-0.075 mm dane boyutunda, çakıl 2 (veya 4.75)-75.00 mm dane boyutunda, kil 0.002 (veya 0.005) mm dane boyutundan daha küçük, kum 0.075-2 (veya 4.75) mm dane boyutunda olduğu görülmektedir. Zemin sıralı bulunan elekler üzerinden geçirilip elek üzerinde kalan numunenin danelerin çap sınırları bulunur. Şekil 3.6.'da Yıkamalı elek analizinde elek açıklığı ve düzeneği gösterilmektedir.

Elek No	Elek Açıklığı (mm)
4	4.75
10	2.00
20	0.85
40	0.425
60	0.25
100	0.15
200	0.075



Şekil 3.6. Yıkamalı elek analizinde elek açıklığı ve elek düzeneği.

3.3.5. Piknometre deneyi

İnce daneli zeminlerde piknometre deneyi yapılarak zeminlerin özgül ağırlık değerleri elde edilmektedir. Piknometre şişesine 40 numaralı elekten geçen zemin numunesinden bir miktar alınarak deney uygulanmaktadır. 500 ml ve 250 ml'lik şişeler kullanılarak ince daneli zeminlerin özgül ağırlık değerleri bulunmaktadır. Şekil 3.7.'de 250 ml'lik şişe kullanılarak deney uygulaması gösterilmektedir.



Şekil 3.7. Piknometre şişesi ve deney uygulaması

3.3.6. Kompaksiyon (Proktor) Deneyi

Kompaksiyon deneyi optimum su muhtevasının elde edilmesi ve bu elde edilen değerle birlikte maksimum kuru birim hacim ağırlığının elde edilmesini sağlayan deneydir. Zeminin maksimum kuru birim hacim ağırlığının maksimum değere ulaşması yani zemin danelerinin arasında bulunan hava boşluklarının minimuma indirgenmesi; zeminlerin istenmeyen hacim değişikliklerini kontrol altına almasını sağlayacak, oturmalarını minimuma indirecek, geçirimsizliğini azaltacak, taşıma gücü ve kayma mukavemetini artırılması gibi özelliklerinde olumlu etkiler yaratacaktır.

Doğal halde bulunan zeminin 40 nolu elekten geçirilerek yapılan deney çalışmasıdır. Bu deneyle amaçlanan hangi su muhtevasında en iyi sıkıştırma işleminin gerçekleşeceğini bulmaktır. Kompaksiyon deneyi yapılarak katkısız zemin numunesinin, sönmemiş ve hidrolik kireç katkıları ile maksimum kuru birim hacim

ağırlıkları ve optimum su muhtevaları değerleri tayin edilmektedir. Kireç katkılı zemin numunelerinde yapılan deneylerde minyatür proktor aleti ile deneyler yapılırken, Katkısız zemin numunelerinde yapılan deneylerde normal proktor aleti ile deneyler yapılmıştır. Minyatür proktor ve normal proktor deney aletlerinde yapılan deneylerde kullanılan su miktarları farklılık göstermektedir. Standart proktor deneyinde su miktarı 750 ml'ye kadar çıkarken, minyatür proktor deneyinde maksimum 30 ml'ye kadar su alımı gerçekleşmektedir. Bunun yanı sıra serbest basınç numuneleri için hazırlanan numuneler minyatür proktor deney aleti ile yapılmıştır. Şekil 3.8.'de kompaksiyon deneyinde kullanılan deney aletleri gösterildiği gibidir.



Şekil 3.8. Kompaksiyon (proktor) deney aletleri

3.3.7. PH deneyi

PH yöntemi ile yapılan deneysel çalışma 1963 yılında Grim ve Eades tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntemle zemine kireç katkısı eklenerek zeminin pozolanik reaksiyonlarını sağlamak, bağ tabakası tabakasını sağlamak, kısa ve ilk dönem reaksiyonlarını gerçekleştirmektir. Uygun kireç oranı bu yöntemle yaklaşık olarak bir saat içerisinde tespit edilmektedir. Toprağı iyileştirecek en düşük kireç yüzdesi elde edilmesi için gerekli olan Ph değerlerinin 12.40'a doğru gitmesidir. Bu sayede istenilen kireç oranı elde edilmiş olur.

Eğer Ph değerleri 12.30'u geçmiyor ve %2 'lik kireç aynı değeri veriyorsa, 12.30'luk Ph'ı veren en düşük yüzde, toprağı stabilize etmek için istenen yüzdedir. Eğer en yüksek Ph değeri 12.30 ise ve sadece %6 'lık kireç o Ph' ı veriyorsa ilave test şişelerine büyük kireç yüzdeleriyle başlanmalıdır. Ph ölçer Hyalk elektrotuyla donatılmış olmalıdır (TRB State of Art Report -5 1987) [2].

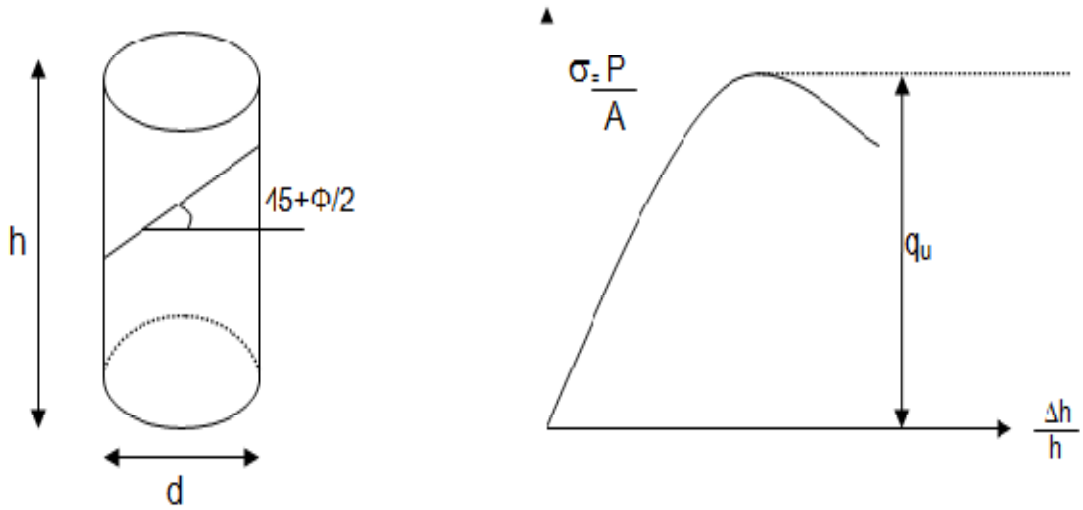
40 nolu elekten geçen zemin numunesinden 20 ml çamur alınmış ve 80 ml saf su alınarak Ph deneyi uygulaması gerçekleştirilmiştir. Şişelere konularak oluşturulan karışım %2-%8 oranı arasında hidrolik kireç kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Toplamda 7 şişe kullanılarak deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. Şişelerle hazırlanan karışım belli zaman aralıklarında çalkalanıp bekletilip Ph değeri ölçülerek veriler elde edilmiştir. Şekil 3.9.'da Ph'sı ölçmek için kullanılan alet gösterildiği gibidir.



Şekil 3.9. PH metre[2]

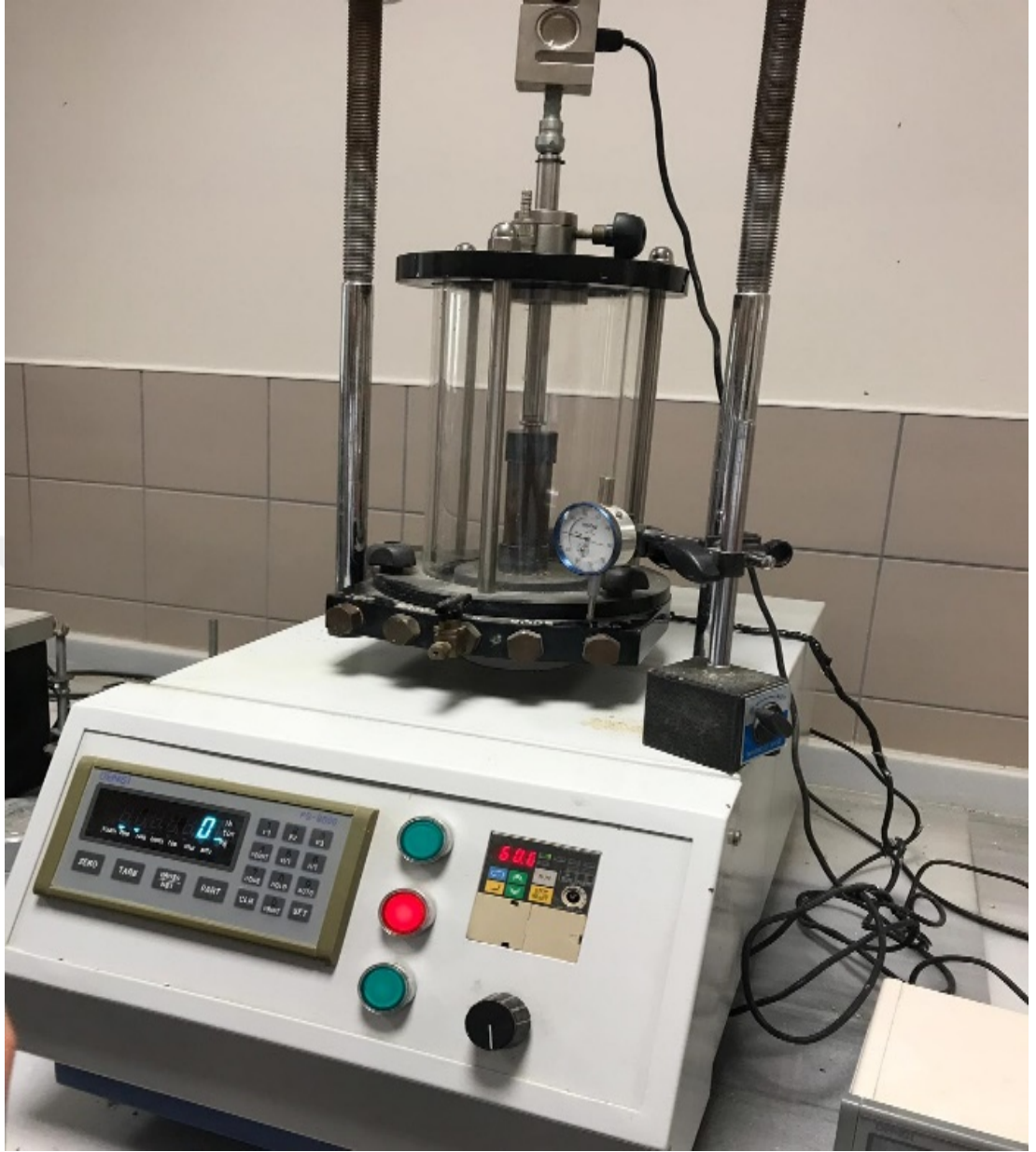
3.3.8. Serbest basınç deneyi

Silindirik olarak hazırlamış olduğumuz zemin numunesini eksenel olarak yük ile yükleyip sonucunda ortaya çıkan serbest basınç dayanımı değerinin elde edilmesi deneyidir. Zemin numunesine eksenel olarak yük etki edildiği için şekil değişimi de eksenel olacaktır. Bu veriler ışığında gerilme-birim şekil değişimi grafiği elde edilmektedir. Serbest basınç mukavemet değeri q_u grafikteki en yüksek gerilme değerini göstermektedir. Serbest basınç deneyinin uygulandığı zeminler yanıl desteklere ihtiyaç duymadan dik durabilen uygulanmaktadır. Bu nedenle ince daneli ve killi zeminlerde bu yöntem uygulanırken, kumlu zeminler uygulamak mümkün değildir. Şekil 3.10.'da zemin numunesinin kesiti ve serbest basınç grafiği gösterildiği gibidir.



Şekil 3.10. Numune kesiti ve serbest basınç grafiği[2]

Proktor deneyi sonucunda elde edilen optimum su muhtevası değerleri kullanılarak numunelerin hazırlanması gerçekleştirilmiştir. Serbest basınç deneyi ile amaçlanan herhangi bir zemin seçilerek bu zemine yükleme yapmak ve yükleme sonucunda oluşan gerilmeye karşı zeminin göstermiş olduğu birim şekil değişimlerini bulmaktır. Numunelere başlangıçta laboratuvar ortamında deneyler uygulanmaktadır. Maksimum serbest basınç mukavemeti değerleri serbest basınç aletiyle yapılan işlemle bulunmaktadır. Şekil 3.11.'de hazırlanan zemin numunelerine işlem uygulayan deney aleti gösterildiği gibidir.



Şekil 3.11. Serbest basınç deneyi aleti

4.LABORATUVAR DENEY SONUÇLARI VE SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Laboratuvarda yapılan deneysel çalışmalarda Kocaeli ilinin Derince İlçesinde bulunan Safiport limanından getirilen kil kullanılmıştır. Getirilen killer problemli yapıya sahip oldukları için yüksek oranda hidrolik ve sönmemiş kireç kullanılarak zeminin iyileştirilmesi incelenmiştir. Bu çalışma kapsamında yüksek oranda kullanılan hidrolik ve sönmemiş kireç katkılarının zeminin su muhtevası ve mukavemeti üzerine olan etkisi irdelenmiştir.Yapılan çalışmada öncelikli olarak killi zeminin sahip olduğu özellikleri bulunarak mukavemet değeri incelenmiştir. Sonrasında hidrolik ve sönmemiş kireç katkıları kullanılarak mukavemet değerleri elde edilmiş ve gerekli kıyaslamalar yapılmıştır. Deneylerde ilk olarak su muhtevası değerlerine bakılmıştır. Daha sonra Kıvam limitleri, Hidrometre, Yıkamalı elek analizi, Piknometre, Kompaksiyon, PH ve Serbest basınç deneyleri yapılmıştır. Uygun kireç katkısı oranını belirlemek için Ph deneyi yapılmıştır. Piknometre deneyi ile zeminin özgül ağırlığı belirlenmiştir. Kompaksiyon deneyi ile optimum su muhteva değerleri bulunmuştur. Bulunan su muhtevaları değerleri ile serbest basınç deneyleri yapılmıştır. Kıvam limitleri, yıkamalı elek analizi ile de zeminin sınıflandırılması yapılmıştır.

4.1. Doğal Su Muhtevasının Belirlenmesi

Derince ilçesinden çuvallarla getirilen kil numunesinin, beş farklı noktasından alınan zeminler su olmadan tartılmış ve daha son kurutulmak üzere 24 saat boyunca etüvde kurutulmaya bırakılmıştır. 24 saat geçtikten sonra kuru olarak tartılmıştır. Her numunenin doğal su muhtevası değeri bulunarak ortalama değeri alınmıştır. Sonuç olarak yaklaşık olarak su muhtevası değeri %20,01 olarak bulunmuştur.

Tablo 4.1. Derince kilinin doğal su muhtevası değeri

Numune No	1	2	3	4	5
Su Muhtevası	14,63	17,35	19,56	21,67	26,84

4.2. Killi Zeminin Kullanımı

Başlangıçta saf kilin özelliklerini ve mukavemet değerini elde etmek için gerekli çalışmalar yapılmıştır. Deneysel çalışma kapsamında killi zemin, sönmemiş kireç ve hidrolik kireç karışımı oluşturularak zeminin göstermiş olduğu özelliklerdeki değişimler gözlemlenmiştir. Karışım oluşturulurken öncelikle sönmemiş kireç katkısı %8, %10 ve %12 oranlarında kullanılarak oluşturulmuş. Daha sonra hidrolik kireçte aynı oranlarda kullanılarak karışım oluşturulmuştur. Şekil 4.1.'de killi zemin, hidrolik kireç ve sönmemiş kirecin karıştırılması örneği gösterildiği gibidir.



Şekil 4.1. Zemin kireç karışımının hazırlanması

4.3. Atterberg Kıvam Limitleri (Likit Limit-Plastik Limit) Deneyi

Bu deneysel çalışma kapsamında kullanılan zemin numunesi $110\pm 5^{\circ}\text{C}$ sıcaklığındaki fırında (etüvde) kurutulmuştur. Likit limit deneyinde kullanılan yöntem Casagrande yöntemidir.

Çarpmalı cihaz (Casagrande) aleti pirinçten yapılmış olan bir tasın, plastik sert bir temele düşürme kolu kullanılarak düşürülmesi esasına dayanarak çalışmaktadır. Bu alet elektrik motoru ile çalıştığı gibi elle de kullanılan modelleri mevcuttur.

Fırında kurutulmuş olan killi zemine çok sert bir darbe vurularak önemli ölçüde ufalanması sağlanmıştır. Kırılmış olan zemin numunesi 40 nolu elekten geçirilmiş ve her bir likit limit deneyi için kullanımı sağlanmıştır. Başlangıçta doğal kil numunesi kullanılarak likit limit ve plastik limit değerleri bulunmuştur. Daha sonra sönmemiş ve hidrolik kireç katkıları %8, %10 ve %12 oranında kullanılarak likit limit ve plastik limit değerleri elde edilmiştir.

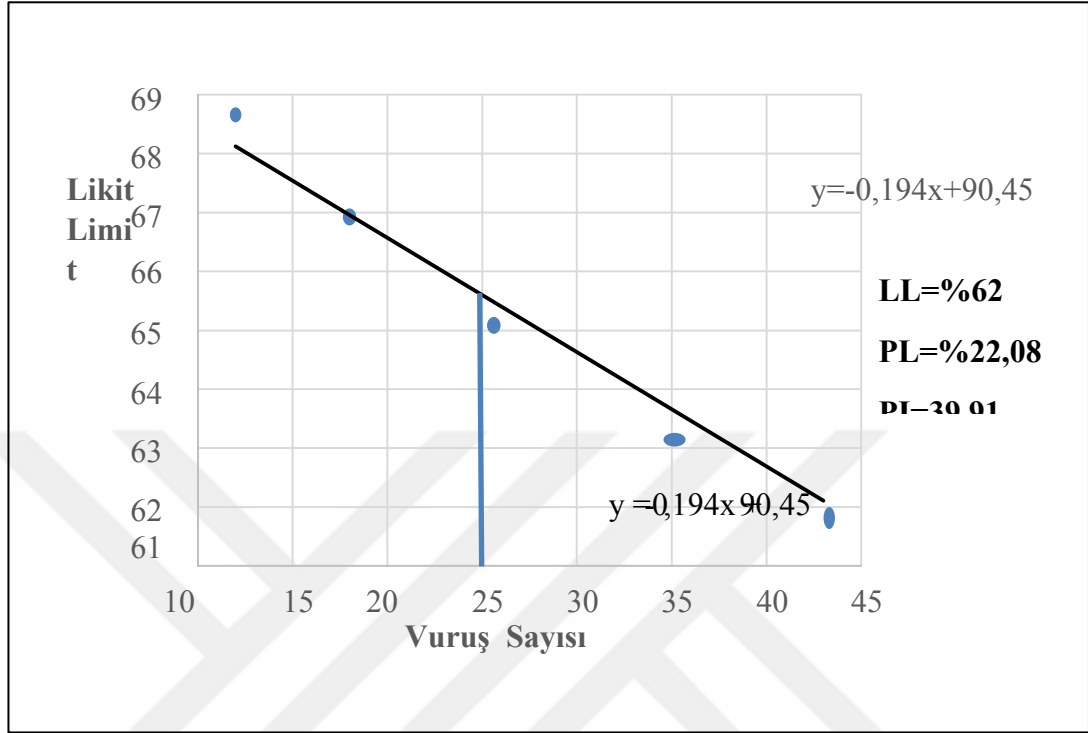
40 numaralı elekten geçen zemin numunesine dört aşamada olacak şekilde su katılarak likit limit deneyi yapılmıştır. En kurudan en yaşa doğru su katma işlemi gerçekleştirilmektedir. Yapılan her deneyden sonra su katma işlemi yapılmaktadır. Krema kıvamına getirilen karışım iyice karıştırılarak homojen hale getirilmektedir. Homojen hale getirilen karışım Casagrande aletine yerleştirilerek üzeri paralel hale gelecek şekilde düzleştirme yapılmaktadır. Oluk açma bıçağı ile deney numunesi ortadan ikiye 45 derecelik açı yapacak şekilde ayrılmıştır. Şekil 4.2.'de casagrande aleti üzerinde deney numunesinin yerleştirilmesi ve ortadan ikiye ayrılması işlemi gösterildiği gibidir.



Şekil 4.2. Likit limit deneyi[2]

Saniye de 2 devir yapacak şekilde casagrande aleti çevrilmiş, deneyin bitirilip vuruş sayısının not alınması ortadan ikiye ayırmış olduğumuz yarık 13 mm'ye geldiğinde gerçekleştirilmiştir. Numunenin birleşen kısmından örnek alınarak 24 saat fırında bekletilmektedir. Doğru bir likit limit değeri almak istiyorsak, 25 vuruşa karşılık gelen değer alınarak grafik oluşturulmalıdır. Bunun gerçekleştirilmesi içinde her bir deney için 6 farklı vuruş değeri alacak şekilde deney yapılmıştır. Bu sayı aralığının 10-50 arasında vuruş olması sağlanmıştır. Vuruş sayısındaki artışa bağlı olarak katılan su miktarı da artırılmıştır. Bunun sonucunda likit limit grafiği

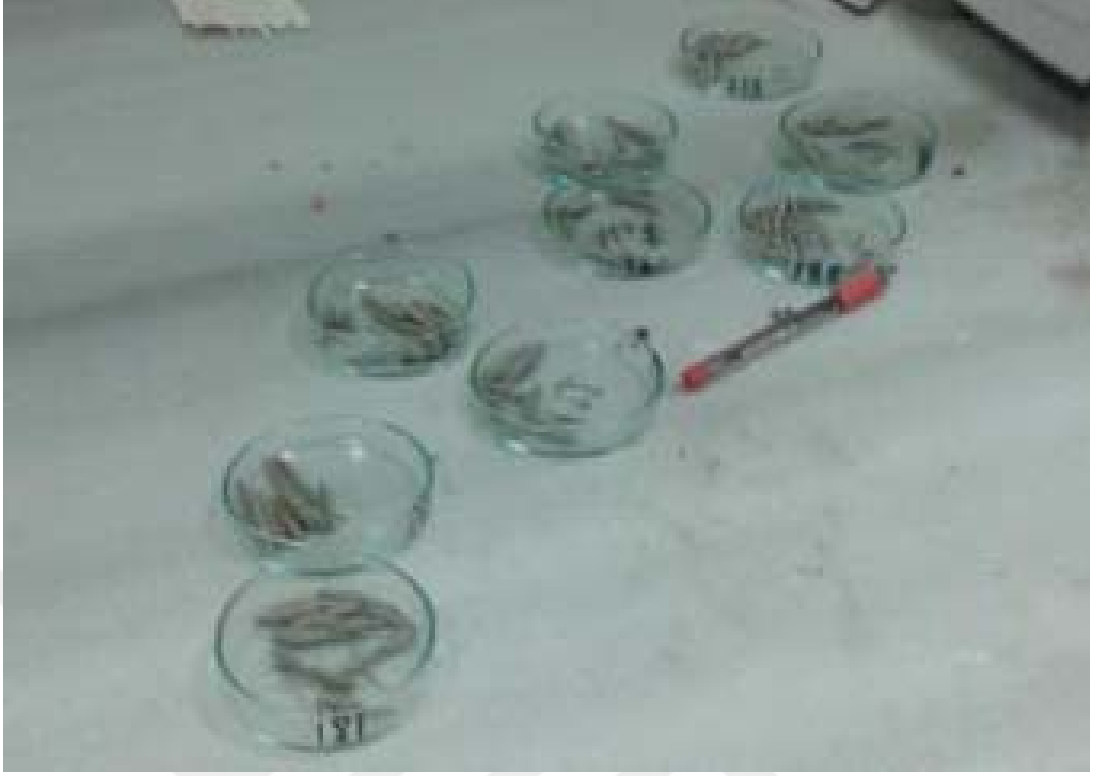
oluşturulmuştur. Grafiğin ordinatını likit limit oluştururken, apsisini ise 25 oluşturmaktadır. Şekil 4.3.'te çizilen grafik gösterilmektedir.



Şekil 4.3. Likit limit- vuruş sayısı grafiği

Şekilden de anlaşıldığı üzere saf kilin likit limit değeri %62 olduğu görülmektedir. Saf kilin deney sonuçları elde edildikten sonra aynı deneyler sönmemiş ve hidrolik kireç katkıları kullanılarak da yapılmıştır. Kireç katkıları ve saf kilde likit limit deneyi birkaç kez tekrarlanarak yapılmıştır.

Plastik limit deneyi tıpkı likit limit deneyinde olduğu gibi 40 numaralı elekten elenen zemin numunesi ile deney çalışması gerçekleştirilmiştir. Kullanılan malzemeler likit limit deneyinde olduğu gibi fazla değildir. Cam yüzeyi üzerinde yapılan deneyde zemine belli miktarda su eklenerek işlem gerçekleştirilmiştir. 3 mm civarında çatlaması beklenerek zemin numuneleri hazırlanmıştır. Beklenenden önce çatlama gerçekleşirse su ilavesi yapılmıştır. Buna karşın daha ince bir durumda iken zemin numunesinde çatlama olduysa biraz daha kuru hale getirilmesi sağlanmıştır. 1 gün fırında (etüvde) bekletilmek üzere kaplara 3 mm çapındayken çatlayan zemin numuneleri konulmuştur. Şekil 4.4.'te deneysel çalışma numuneleri gösterildiği gibidir.



Şekil 4.4. Plastik limit numuneleri[5]

Plastik limit deneyleri de likit limit deneylerinde olduğu gibi başlangıçta saf kile uygulanmış, daha sonra sönmemiş kireç ve hidrolik kireç katkıları %8, %10, %12 oranlarında kullanılarak deneyler yapılmıştır. Katkısız zemin numunesinin likit limit (WL) değeri %62, plastik limit (WP) değeri %22,08 olarak bulunmuştur. Plastisite indisi ($WI=WL-WP$) değeri de %39,92 olarak bulunmuştur.

Atterberg kıvam limiti değerlerine bakıldığında kireç katkılı ve katkısız zemin numunesinde plastik limit değerinin arttığı, plastisite indisi ve likit limit değerinin azaldığı görülmektedir. Kullanılan katkılarla birlikte en yüksek plastisite indisi ve likit limit değeri, en düşük plastik limit değeri %8 hidrolik kireç katkısında gözlemlenmektedir. Saf kilin kıvam limitleri sonucunu irdelendiğinde, bulunan likit limit ve plastisite indisi değerleri, plastisite kartına aktarıldığında zeminin yüksek plastisiyeli kil (Yağlı kil) olduğu anlaşılmaktadır. Yani CH grubu kil yapısındadır. Yapılan deneysel çalışma kapsamında her zemin numunesi için elde edilen sonuçlar ekler kısmında mevcuttur.

Tablo 4.2.'de deneysel çalışmada katkısız ve sönmemiş ve hidrolik kireç katkıları kullanılarak bulunan sonuçlar gösterildiği gibidir

Tablo 4.2. Atterberg kıvam limiti değerleri

Kireç katkısı %0	Likit Limit (%) 62	Plastik Limit (%) 22,08	Plastik İndisi (%) 39,91
Sönmemiş kireç oranı	Likit Limit (%)	Plastik Limit(%)	Plastik İndisi(%)
%8	58,32	28,28	30,04
%10	56,96	29,66	27,3
%12	56,25	30,04	26,21
Hidrolik Kireç	Likit Limit (%)	Plastik Limit (%)	Plastik İndisi (%)
%8	61	27,12	33,88
%10	59,75	28,02	31,73
%12	59	29,69	23,31

4.4.Hidrometre Deneyi

Hidrometre deney silt, kil gibi ince dane yapısına sahip zeminlerde dane dağılımını bulmak için yapılmaktadır. Bu deneyi diğer deneylerden ayıran temel parametre 200 numaralı elekten elenen zemin numunesi ile yapılmış olmasıdır. Zemin numunesi fırında kurutulduktan sonra ufalanarak elekten geçirilmektedir. Elekten geçirilmeden önce yapısı bozulmayacak şekilde kırım işlemi gerçekleştirilmiştir. Zeminin çözünmesi için içerisinde sodyumhegzametafosfat katılmıştır.

Kullanılan zemin numunesi 50-100 gr aralığındadır. 50 gr zemine karşılık 75 ml hidrojen peroksit kullanılmıştır. Hidrojen peroksit ile zemin numunesi yakılmıştır. Yakma işlemi tamamlandıktan sonra etüve atılmıştır. Etüv sonrasında çıkarılan zemin numunelerinin tartılarak kayıplar gözlenmiştir. Zemin numunesindeki kütle

kaybının nedeni ise içerisinde bulunan organiklerin yanmasıdır. Şekil 4.5.'te hidrometre deneyinde kullanılan çözücü malzemeler gösterildiği gibidir.



Şekil 4.5. Hidrometre deneyi için kullanılan çözücü malzemeler[5]

Hassas tartı kullanılarak kalan numune tartılır. Numunenin katı bir hal aldığı görülmektedir. Numune için 1 litre su ve 40 gr sodyum hegzametafosfat ile çözelti hazırlanmaktadır. Yani suyun %4'ü kadar kullanılarak çözelti hazırlanmaktadır. Oluşturulan çözeltiden 125 ml alınarak zemin numunesine eklenir ve mikser yardımıyla iyice karıştırılmaktadır. Homojen karışım sağlandıktan sonra hidrometre kabının değeri 1 litreyi sağlayacak şekilde su eklenir, ağzı kapatılarak iyi çalkalanır ve havuza yerleştirilmektedir.

Çalkalama durulduktan sonra kronometre başlatılarak, okumalar yapılmaktadır. Yapılan hidrometre okumaları 0,5, 1, 2, dakika şeklinde 48 saate kadar yapılmıştır. Her ölçümden sonra yoğunluk artacağı için hidrometre bir sonraki ölçüme geçmeden saf suya konularak yıkanmıştır.

Ölçümler sabit 23,5°C sıcaklığında yapılmıştır. Sıcaklığın 2 °C'den fazla değişmemesi daha güvenli sonuçlara ulaşılmasını sağlayacaktır. Tablo 4.3.'te hidrometre deneyinde yapılan okumalar gösterilmektedir.

Tablo 4.3. Hidrometre deneyi okuma sonuçları

Süre(dk)	Okuma	Sıcaklık	Sıcaklık düzeltmesi	Düzeltilmiş hidrometre okuması	K	Efektif derinlik	Eşdeğer çap	%P	%K
							0,25		99,81366
							0,106		99,5101
							0,074		99,18351
0,5	1,0286	23,5	0,000697	1,029797	0,016172	8,413297	0,066336	89,9107	89,9107
1	1,0282	23,5	0,000697	1,029397	0,016172	8,519169	0,047201	88,61689	88,61689
2	1,0278	23,5	0,000697	1,028997	0,016172	8,625041	0,033583	87,32308	87,32308
4	1,0272	23,5	0,000697	1,028397	0,016172	8,783849	0,023964	85,38236	85,38236
8	1,0264	23,5	0,000697	1,027597	0,016172	8,995593	0,017148	82,79473	82,79473
15	1,025	23,5	0,000697	1,026197	0,016172	9,366145	0,012779	78,26639	78,26639
30	1,0234	23,5	0,000697	1,024597	0,016172	9,789633	0,009238	73,09113	73,09113
60	1,0219	23,5	0,000697	1,023097	0,016172	10,18665	0,006663	68,23933	68,23933
120	1,0198	23,5	0,000697	1,020997	0,016172	10,74248	0,004839	61,44682	61,44682
240	1,0179	23,5	0,000697	1,019097	0,016172	11,24537	0,003501	55,30121	55,30121
1440	1,0131	23,5	0,000697	1,014297	0,016172	12,51584	0,001508	39,77545	39,77545
2880	1,0115	23,5	0,000697	1,012697	0,016172	12,93932	0,001084	34,6002	1,020997

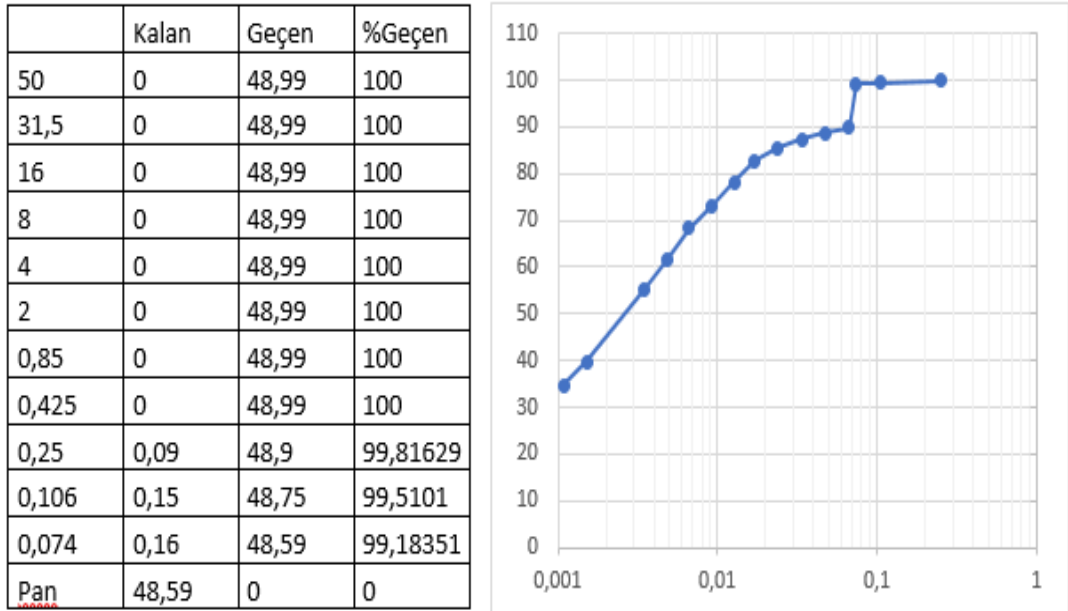
4.5. Yıkamalı Elek Analizi

Deneylerde kullanılacak olan zeminlerin dane çapı dağılımının elde edilmesi için yıkamalı elek analizi deneyi yapılmıştır. Deneyler 2007 (ASTM D 4229 ve 2006 (TS1900-1) standartları baz alınarak uygulanmıştır. Yıkamalı elek analizinde 10, 40, 100, 200 nolu elekler gibi elekler kullanılmıştır. En büyük açıklığa sahip elek en

üstte olacak şekilde en altta en küçük elek açıklığına sahip olacak şekilde yerleştirilmiştir. Başlangıçta getirilen zemin numunesi 1 gün suda yıkanmış, daha sonra elek takımında yıkanmıştır.

Zemin numunelerinin yıkanma işlemi tamamlandıktan sonra, fırında 24 saat kurutulup elek serisinde elenmektedir. Elekler üzerinde kalan numuneler tartılarak elek üzerinde kalan zeminin kütlesi not alınır. Tablo 10'da elek analizi sonuçları gösterildiği gibidir. Bu veriler ışığında zeminin dane boyu dağılımı eğrisi elde edilmektedir.

Tablo 4.4. Yıkamalı elek analizi sonuçları dane boyu dağılım eğrisi



Tablo 4.4'de yıkamalı elek analizi sonuçları irdelendiğinde zeminin silt+kil oranı %99,18'dir. Buda zeminin ince daneli bir zemin olduğunun göstergesidir. Zemin sınıflandırılması yapıldığında, AASHTO sınıflandırmasına göre A-7-6 grubu killi zemin olduğu anlaşılmaktadır.

4.6. Piknometre Deneyi

İnce dane yapısına sahip zeminlerde özgül ağırlığın bulunması için piknometre deneyi yapılmaktadır. Zeminin özgül ağırlık belirlenirken ASTM D 854 (2104), TS 1900-1 (2006) ya da TS 1792-3/ TS CEN ISO (2004) standartları baz alınarak

yapılmaktadır. Bu çalışma kapsamında 2006 (TS 1900-1)'da belirtilen yöntemeye uygun olarak deneyler yapılmıştır.

Zemin numunesinden minimum 10 gr kullanılması gerekmektedir. Daha önce fırında (etüvde) kurutulan zemin numunesi 40 numaralı elekten geçebilecek hale getirilmiş ve zemin numunesinden 50 gr alınarak deney gerçekleştirilmiştir. İnce daneli zeminler içinde uygun bir ağırlık olduğu gözlemlenmiştir.

Hacim şişesi deney başlanırken yaklaşık 60 dakika 108°C 'deki etüvde (fırında) kurutulmuş, deney aşamasına geçilmiştir. Zemin ve hacim şişesinin tartımı birlikte yapılmıştır. Zemin örtülmüş ve havası alınmıştır. Hava alımı bittikten sonra damıtılmış su katılmıştır. Homojen bir karışım oluşturacak şekilde su ve zemin karıştırılmıştır. Zemin içerisinden havanın alımı işlemi hacim şişesi vakum desikatörü içerisine konularak gerçekleştirilmiştir. İşlem sırasında malzeme kayıplarının önlenmesi için gerekli özen gösterilmektedir. Havası tamamen alındıktan sonra zemin numunesine su işaret çizgisine kadar eklenmiştir. Gözle görülecek kadar su çıkışı gözlemlendikten sonra tekrar tartılmaktadır. Şekil 4.6.'da deneyin yapılışı gösterildiği gibidir.



Şekil 4.6. Piknometre deneyi

Piknometre deneyi sonucunda deneyinde elde edilen sonuçlar tablo 4.5.'te gösterildiği gibidir.

Tablo 4.5. Piknometre deney sonuçları

	Deney 1	Deney 2	Deney 3
M1	168,2	168,2	168,2
M2	268,2	268,2	268,2
M3	731,39	731,41	731,36
M4	668,2	668,2	668,2
Gs	2,716653	2,71813	2,714441
Gsort	2,716408		

Yapılan deneyde özgül ağırlığın bulunması için üç farklı deney yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar tablo 4.5.'te gösterildiği gibidir. Üç deneyin özgül ağırlığı bulunmuştur. Ortalaması alındığında killi zemin numunesinin ortalama özgül ağırlık değeri 2,716 olarak belirlenmiştir.

4.7. Kompaksiyon (Proktor) Deneyi

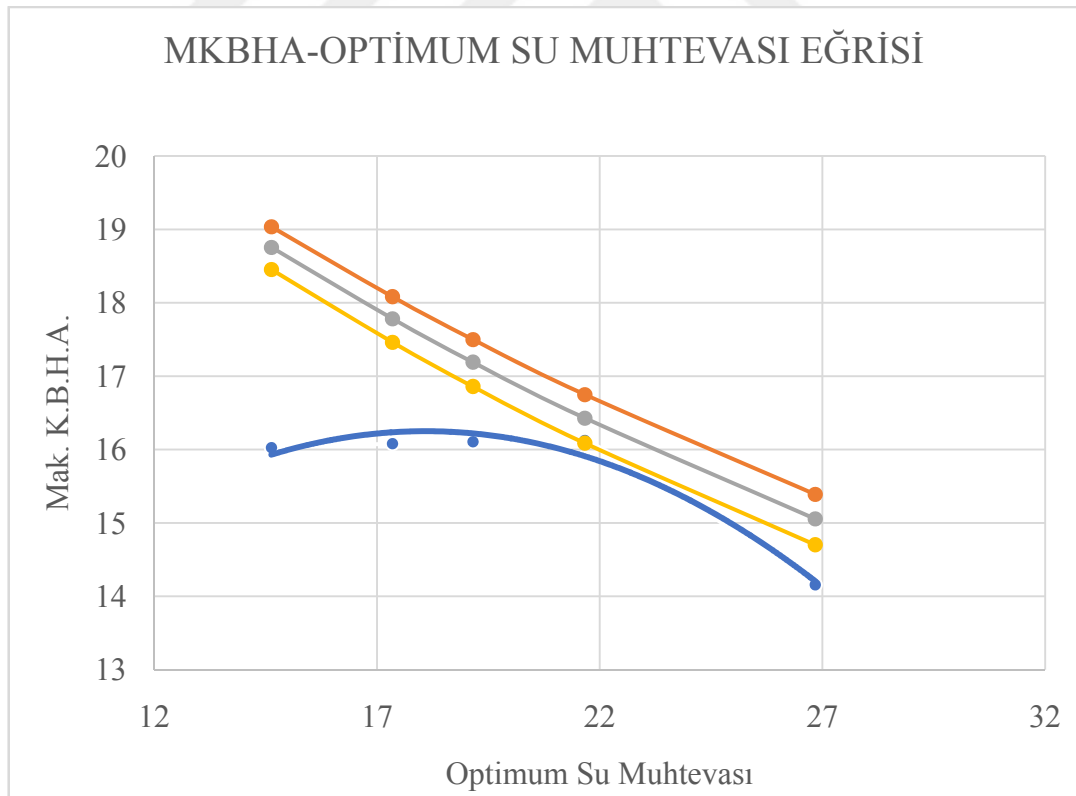
Hangi su muhtevasında en iyi sıkışmanın olduğunu belirlemek için yapılan deney kompaksiyon deneyidir. Başlangıçta standart proktor deneyi yapılaraksaf kilin su muhtevası değeri bulunmaktadır. 40 numaralı elekten geçen zeminden her bir deney için yaklaşık olarak 3 kg alınarak deney gerçekleştirilmiştir.Bu çalışma kapsamında 5 deney yapılmış ve numuneler deney uygulaması şekil 4.7.'de gösterildiği gibidir.



Şekil 4.7. Standart proktor deneyinin yapılışı[5]

Sıkıştırma kapları kapları yaklaşık olarak 2 ile 3 kg arasında aldığı için, hazırlanan her bir numune yaklaşık olarak 3 kg alınarak yapılmıştır. Numunelere belirli

oranlarda su ilaveleri olmuştur. Bu su ilaveleri 1. deneyden başlanarak sırasıyla 350, 425, 500, 575 ve 650 ml şeklinde ilave edilmiştir. Hazırlanan numunelere su eklendikten sonra iyice karıştırılmıştır. Karışım tamamlandıktan sonra 2,5 kg'lık tokmakla her basamakta 25 vuruş yapacak şekilde 3 kademedeki sıkıştırma işlemi yapılmıştır. Kalıplar bu şekilde hazırlanmıştır. Kalıbın iç yüksekliği ve çapı ölçülerek, iç hacmi bulunmaktadır. Her kademedeki tokmağın ucu temizlenerek farklı olan su muhtevası değerlerinin karışması önlenmiş olur. Kalıp ve 3 aşaması tamamlanan tüm numuneler birlikte tartılarak değerler elde edilmiştir. Numuneler daha sonra kalıptan çıkarılmış, farklı iki noktasından bir miktar numune alınarak bir gün fırında (etüvde) bekletilmiştir. Gerekli hesaplamalar yapıldıktan sonra saf kilin sahip olduğu değerler şekil 4.8.'de gösterilen eğriler üzerinde gösterilmiştir. Doğal zemin numunesinin sahip olduğu maksimum kuru birim hacim ağırlığı 16.126 kN/m^3 ve optimum su muhtevası değeri %18,24 olduğu görülmektedir. Gerekli diğer hesaplamalar ekler kısmında gösterilmektedir.



Şekil 4.8. Optimumum su muh.- maksimumkuru birim hacim ağırlıkeğrisi

Saf kil için yapılan deneylerin sonucunda optimum su muhtevası bulunduktan sonra sönmemiş kireç ve hidrolik kireç katkıları kullanılarak zeminin maksimum kuru

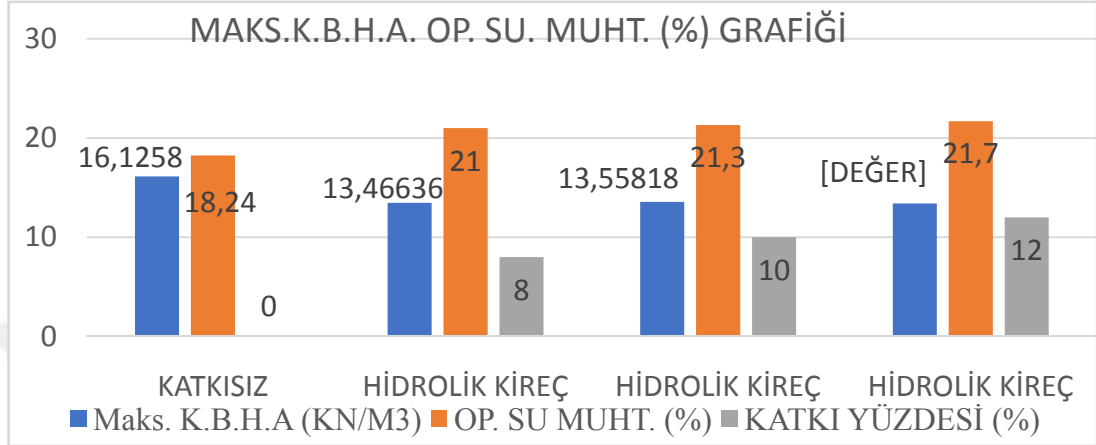
birim hacim ağırlık ve su muhtevaları değerlerinin bulunması için deneyler yapılmıştır. Minyatür proktor aleti kullanılarak kireç katkıları ile deneyler yapılmıştır. Şekil 4.9.'danumunenin hazırlanması gösterildiği gibidir.



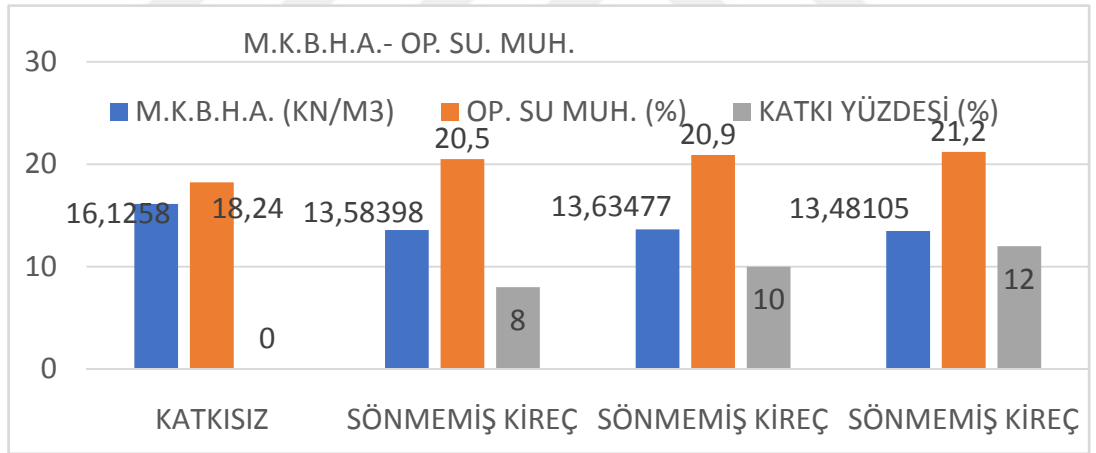
Şekil 4.9. Minyatür Proktor Aleti ile Numunenin Hazırlanması

Öncelikle kabın iç hacmi belirlenmiştir. Daha sonra sönmemiş ve hidrolik kireç katkıları %8, %10 ve %12 oranında kullanılarak deney numuneleri hazırlanmıştır. Yaklaşık olarak her bir numune için 110 gr alınarak deney uygulaması gerçekleştirilmiştir. 5 farklı su oranında numuneler hazırlanmış ve kireç katkı oranları belirlendiği şekilde kullanılmıştır. Bu oranlar %15, %18, %21, %24 ve %27 alınarak %3 şeklinde artırılmıştır. Deney numuneleri hazırlandıktan sonra tıpkı standart proktor deneyinde olduğu gibi 3 kademe sıkıştırma işlemi yapılmıştır. Kalıp içerisindeki numuneye tokmakla 25 vuruş yapılmaktadır. İlk 4 vuruş dört köşeye vurulacak şekilde ayarlanmaktadır. Sonraki aşamada kalıp ve zemin numunesi beraber tartılmıştır. Tartılma işlemi bittikten sonra numune kalıptan çıkarılmıştır. Numunenin orta kısmından bir miktar alınmış ve fırında 1 gün kurutulmaya bırakılmıştır. Bir gün tamamlandıktan sonra etüvdeki numune çıkarılarak tekrar tartılmış ve gerekli bilgiler not alınmıştır. Şekil 4.10. ve 4.11.'de kireç katkıları

oranına göre maksimum kuru birim hacim ağırlığı ve optimum su muhtevaları gösterilmektedir. Şekil 4.10. Katkısız ve Hidrolik Kireç Katkısında M.K.B.H.A. ve Op. Su Muh. incelenmiştir. Şekil 4.11. Katkısız ve Hidrolik Kireç Katkısında M.K.B.H.A. ve Op. Su Muh. incelenmiştir.



Şekil 4.10. Katkısız ve hidrolik kireç katkısında maksimum kuru birim hacim ağırlık ve optimum su muhtevası



Şekil 4.11. Katkısız ve sönmemiş kireç katkısında maksimum kuru birim hacim ağırlık ve optimum su muhtevası

Veriler incelendiğinde katkısız zemin numunesinde maksimum kuru birim hacim değeri yüksekken, optimum su muhtevası daha düşük bir seviyededir. Öncelikle sönmemiş kireç katkısı ile %8, %10 ve %12 oranında katkı kullanılarak yapılan deneylerde Maks. Kuru Birim Hacim değerlerinde düşüşün olduğu ve katkı değeri arttıkça optimum su muhtevasının arttığı gözlenmiştir. Hidrolik kireç katkıları ile yapılan deneylerde de Maks. Kuru Birim Hacim ağırlığında düşüşler olduğu ve

sönmemiş kirece oranla optimum su muhtevalarında daha fazla artışlar olduğu gözlenmiştir. Tablo 4.6. ve şekil 4.10 ve 4.11. üzerinden incelediğimizde katkısız, sönmemiş ve hidrolik kireç katkıları ile Maks. K.B.H.A. karşılık gelen Opt. Su Muhtevaları değerleri görülmektedir. Gerekliolan diğertüm hesaplamalar ve eğriler ekler kısmında mevcuttur.

Tablo 4.6. Kireç katkı oranına göre optimum su muhtevası ve maksimumkuru birim hacim ağırlık

KİREÇ KATKISI	Maks. K.B.H.A (KN/M3)	OPTİMUM SU MUHTEVASI (%)
KATKISIZ	16,1258	18,24
%8 SÖNMEMİŞ KİREÇ	13,58938	20,5
%10 SÖNMEMİŞ KİREÇ	13,64377	20,9
%12 SÖNMEMİŞ KİREÇ	13,48105	21,2
%8 HİDROLİK KİREÇ	13,46636	21
%10 HİDROLİK KİREÇ	13,55818	21,3
%12 HİDROLİK KİREÇ	13,40144	21,7

4.8. PH Deneyi

Plastik limit ve likit limit deneyleri sonucunda optimum kireç oranı belirlenmektedir. Ph deneyi de tıpkı kıvam limitlerinde olduğu gibi optimum kireç oranını belirlemek için yapılmaktadır. Yani Atterberg kıvam limitlerinin kontrol edildiği deney çalışması niteliğindedir. Ph deneyi ile yapılan çalışmada %2 den başlanarak %8 kadar hidrolik kireç katkısı kullanılarak deney gerçekleştirilmiştir. 40 numaralı elekten geçen zemin numunesinden 10 gr alınarak deney yapılmıştır. Her bir deney

için aynı oranda zemin numunesi alınmıştır. Hazırlanan her bir numune için kireç oranı %1 şeklinde artırılarak işlem gerçekleştirilmiştir. Gerekli zemin kireç karışımlarında zemin numuneleri hazırlandıktan sonra plastik kaplara konulmuş, 60 dakika boyunca etüvde kurutulmaya bırakılmıştır. 10 dakika aralıklarla kaplardaki numuneler iyice karıştırılmıştır. Son olarak kaplara Ph ölçer yerleştirilerek okunan değerler not alınmıştır. Şekil4.12.'de hazırlanan numuneler gösterildiği gibidir.



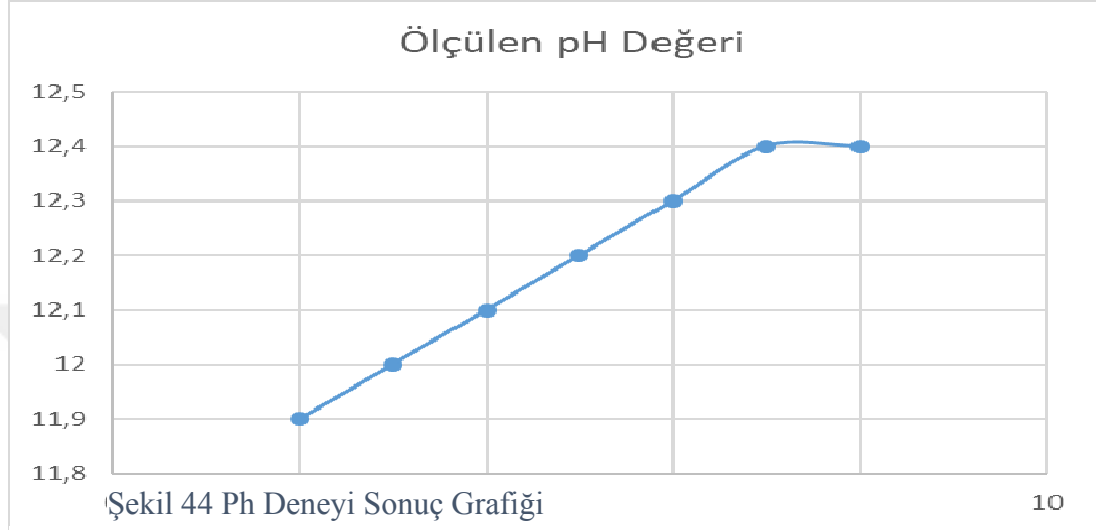
Şekil 4.12. Ph deneyi için hazırlanan numuneler[2]

1960 yılında Grim ve Eades kireç-zemin-su karışımını için optimum kireç miktarını ph deneyi sonucunun 12,4 değerine ulaştığı andaki oran olarak önermişlerdir. 80 ml saf su + 20 ml çamur ve %2-8 oranında hidrolik kireç katkısı kullanılarak tablodaki sonuçlar elde edilmiştir. Tablo 4.7.'De yapılan Ph deneyinin sonuçları gösterildiği gibidir.

Tablo 4.7. Ph deneyi sonuçlar

Katkı Yüzdesi (%)	Ölçülen pH Değeri
2	11,9
3	12
4	12,1
5	12,2
6	12,3
7	12,4
8	12,4

Tablo incelendiğinde kıvam limitlerinde olduğu gibi optimum kireç oranına %8 hidrolik kireç katkısı ile ulaşıldığı görülmektedir. Bunun sonucunda belirlenen optimum kireç miktarı %8 hidrolik kireç olarak belirlenmiştir. Şekil 4.13.'te ph deneyiyle elde edilen değerler grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 44 Ph Deneyi Sonuç Grafiği

10

Şekil 4.13. Ph deneyi sonuç grafiği

4.9. Serbest Basınç Deneyi

Serbest basınç deneyi ile amaçlanan optimum su muhtevasında sahip numunelerin kırılma işlemi öncesinde zeminin dayanımının yani maksimum mukavemet değerinin elde edilmesidir. Yüksekliği çapının iki katı olan düz silindirik bir numune, zeminin su muhtevasında ve yapısında bir değişiklik olmadan elde edilmesi hedeflenmektedir. Numuneler hazırlanırken optimum su muhtevaları kullanılarak işlemler gerçekleştirilmiştir. Sönmemiş ve hidrolik kireçlerinin %8, %10 ve %12 oranında katılarak yapılan deneylerde daha önce kompaksiyon deneyi ile elde edilen optimum su muhtevaları değerleri kullanılarak yapılmıştır. Saf kille hazırlanan numune de optimum su muhtevası değeri baz alınarak su eklenmiştir.

Katkısız zemin numunesi için sadece 0 ve 1 günlük deneyler gerçekleştirilmiştir. Sönmemiş kireç bekletildiği süre arttıkça şiştiği için sadece 0 günlük deneyler yapılmıştır. Buna karşın hidrolik kireç katkısı ile 0, 1, 7 ve 28 günlük deneyler gerçekleştirilmiştir. Her bir deney için toplamda aynı yerden alınan zemin numunesi ile 3 deney numunesi hazırlanmaktadır. Deney sayısı ile ilgili bilgiler tablo 4.8.'de gösterildiği gibidir.

Tablo 4.8.serbest basınç deneyi numune bilgileri

Kullanılan Katkı Oranı	Op. Su Muh. (W) (%)	0 Günlük	1 Günlük	7 Günlük	28 Günlük
Katkısız	16,125	3	3	—	—
% 8 Sönmemiş Kireç	13,589	3	-	—	—
%10 Sönmemiş Kireç	13,643	3	-	—	—
%12 Sönmemiş Kireç	13,481	3	-	—	—
% 8 Hidrolik Kireç	13,466	3	3	3	3
%10 H.K.	13,558	3	3	3	3
%12 H.K.	13,401	3	3	3	3

Numuneler minyatür kompaksiyon aleti ile hazırlanmıştır. Saf kil için 0 ve 1 günlük serbest basınç deney numuneleri yapılmıştır. Kompaksiyon deneyi sonucunda bulunan su muhtevası değeri ve 330 gr numune kullanılarak işlem gerçekleştirilmiştir. 40 numaralı elekten geçen zemine belirlenen oranda su ilavesi yapıldıktan sonra iyice karıştırılarak topaklanması engellenmiştir. Karıştırma işlemi tamamlandıktan sonra kompaksiyon aletinde kalıplar 3 tabaka olacak şekilde hazırlanmaktadır. Numuneler kalıptan çıkarılmadan önce tartılmış ve işlem tamamlandıktan sonra çıkarılmıştır. Sonraki numunede kullanılmak üzere kalıbın iyice temizlenmesi sağlanmıştır. Numune hazırlanma işlemi tamamlandıktan sonra serbest basınç deneylerine geçilmiştir. Serbest basınç deney aletine numuneler dikkatli bir şekilde yerleştirilip 0 günlük deneyler için hazırlanmıştır. Tamamen kapatılarak su muhtevasında olabilecek değişikliklerin önüne geçilmiş olur.Deformasyon aleti ve deney hızı ayarlanarak deneye başlanmıştır. Deney başlanmasıyla birlikte 20 mm'deki deformasyona karşılık gelen kuvvet değerleri

yazılmıştır. Deneyler maksimum mukavemet değeri elde edilen kadar yani numune kırılana kadar yüklenerek deney tamamlanmıştır. Kırılan zemin numunesinin alt ve üst kısımlarından referans olabilecek numuneler alınıp kaba konulmuştur. Kap daha sonra fırında (etüvde) bekletilmiştir. Elde edilen veriler grafiğe aktarılmıştır. Bu işlemler her bir numune için ayrı ayrı tekrarlanarak tüm sonuçlara ulaşılmıştır. Şekil 4.14.'te deney uygulaması gösterildiği gibidir.



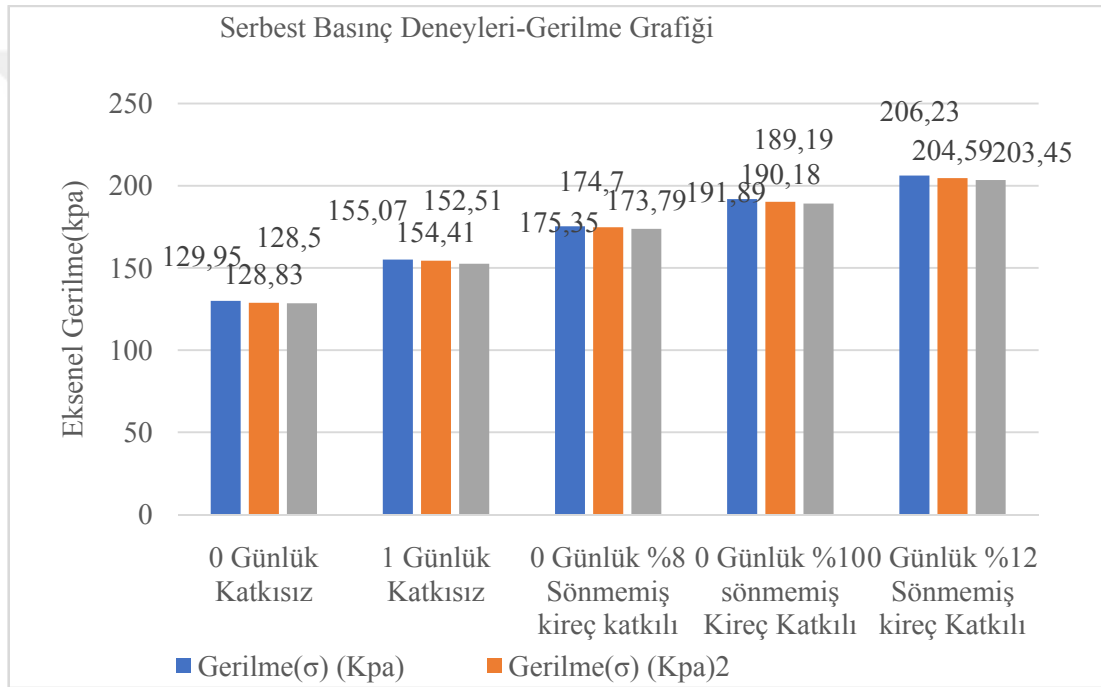
Şekil 4.14. Hazırlanan zemin numunesinin serbest basınç deneyi uygulaması

Ekler kısmına bütün zemin numunelerinde yapılan serbest basınç deney sonuçları ve her bir zemin numunesi için oluşturulan grafikler eklenmiştir. Doğal zemin kullanılarak 1 günlük numuneler de yapılmıştır. 0 günlük deney numuneleri hazırlanırken kullanılan su muhtevası 1 günlük zemin numuneleri içinde kullanılmıştır. Kompaksiyon aletinden numunelerin çıkarılmasına kadar izlenen aşamaları 0 günlükteki aşamalar gibidir. Kalıptan çıkarılan numune alüminyum folyoya sarılarak, 24 saat sıcaklığı yaklaşık olarak 20°C olan bir kapta bekletilmektedir. Şekil 4.15.'te 1 günlük numunelerin hazırlanması ve alüminyum folyoya sarılması gösterildiği gibidir.



Şekil 4.15. Numunelerin alüminyum folyoya sarılması ve kapta bekletilmesi

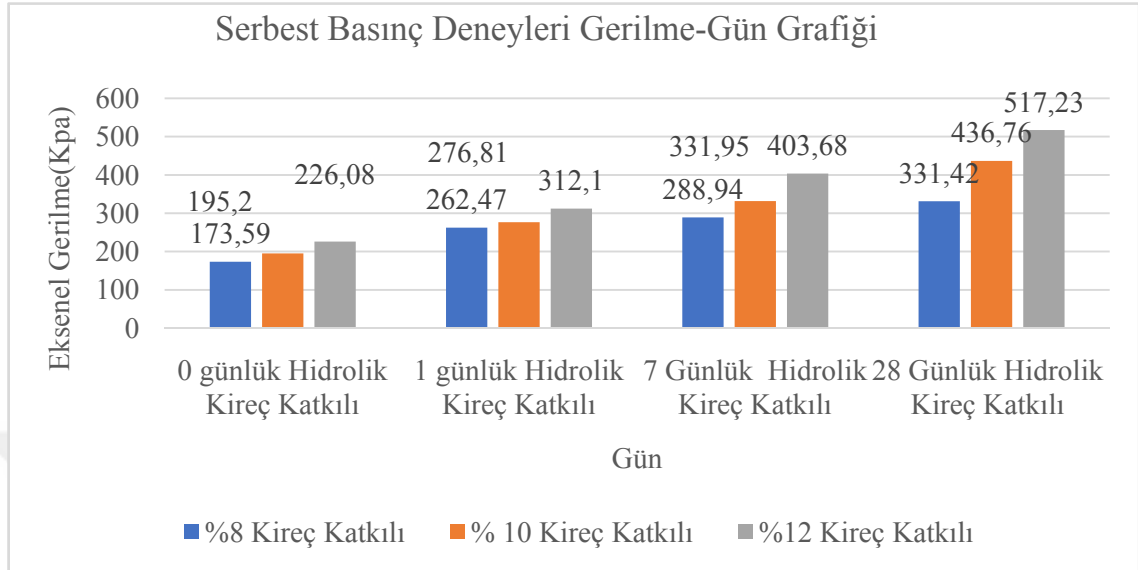
Sönmemiş ve hidrolik kireç katkıları ile yapılan deney, tıpkı katkısız zemin numunelerinde deney yapıldığı şekilde deney uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Serbest basınçla aynı zemin türü alınarak üç deney yapılmıştır. Üç deney sonucunda maksimum mukavemet değerleri not alınmıştır. 0 günlük katkısız en yüksek serbest basınç mukavemeti 129,95 kpa, 1 günlük katkısız en yüksek serbest basınç mukavemeti 155,07 iken 0 günlük serbest basınç mukavemet değerleri sönmemiş kireç katkısı ile %8'de 175,35 kpa, %10'da 191,89 kpa, %12'de 206,23 kpa olduğu görülmüştür. Şekil 4.16.'da serbest basınç en yüksek mukavemet değerleri gösterildiği gibidir.



Şekil 4.16. Serbest basınç deneyleri maksimum mukavemet değerleri

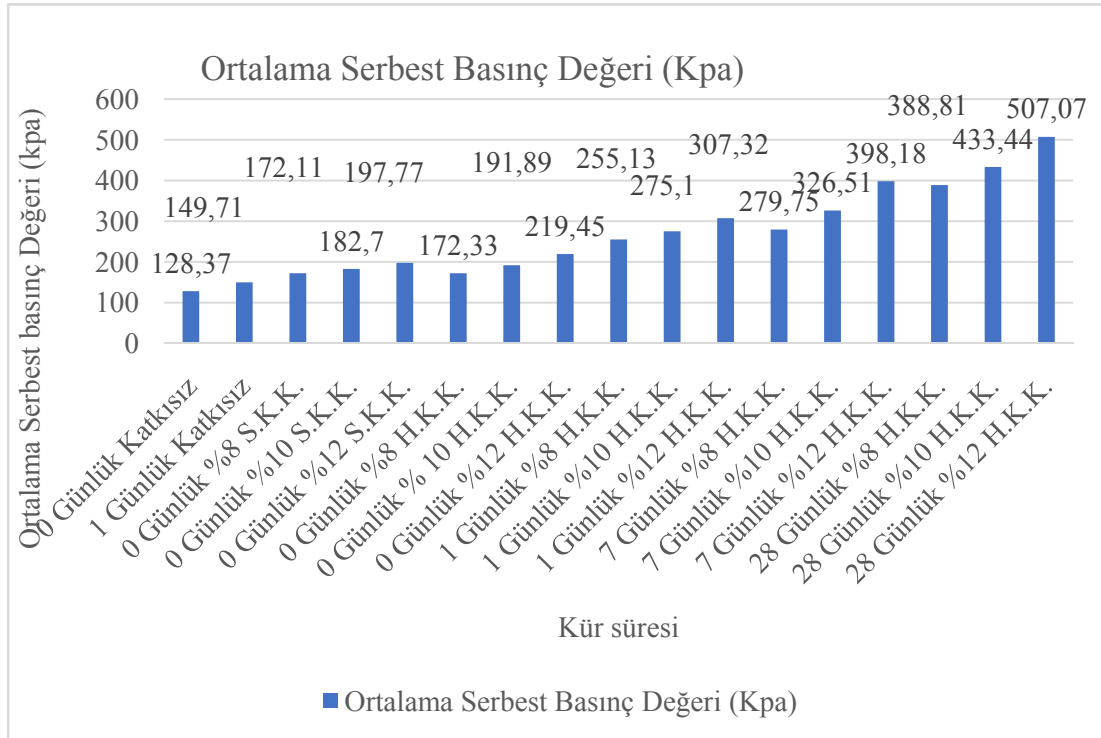
0 günlük serbest basınç mukavemet değerleri hidrolik kireç katkısı ile %8'de 173,59 kpa, %10'da 195,3 kpa ve %12'de 226,08 kpa olduğu görülmüştür. 1 günlük en yüksek serbest basınç mukavemet değerleri hidrolik kireç katkısı ile %8'de 262,47 kpa, %10'da 276,81 kpa ve %12'de 312,10 kpa olduğu görülmüştür. 7 günlük en yüksek serbest basınç mukavemet değerleri hidrolik kireç katkısı ile %8'de 288,95 kpa, %10'da 331,95 kpa ve %12'de 403,68 kpa olduğu görülmüştür. 28 günlük en yüksek serbest basınç mukavemet değerleri hidrolik kireç katkısı ile %8'de 391,42 kpa, %10'da 436,76 kpa, %12'de 517,23 kpa olduğu görülmüştür.

Şekil 4.17.'de serbest basınç deneylerinin kür süresine göre maksimum mukavemet değerleri gösterildiği gibidir.



Şekil 4.17. Serbest basınç deneyleri maksimum mukavemet değerleri

Yapılan her bir deney numunesindeki maksimum mukavemet değerleri alınmış. Kür süreleri ve kullanılan kireç oranına göre yapılan deneylerin ortalama mukavemet değerleri bulunmuştur. Bu değerler şekil 4.18.'de gösterildiği gibidir.



Şekil 4.18 Serbest basınç deneyi ortalama mukavemet değerleri

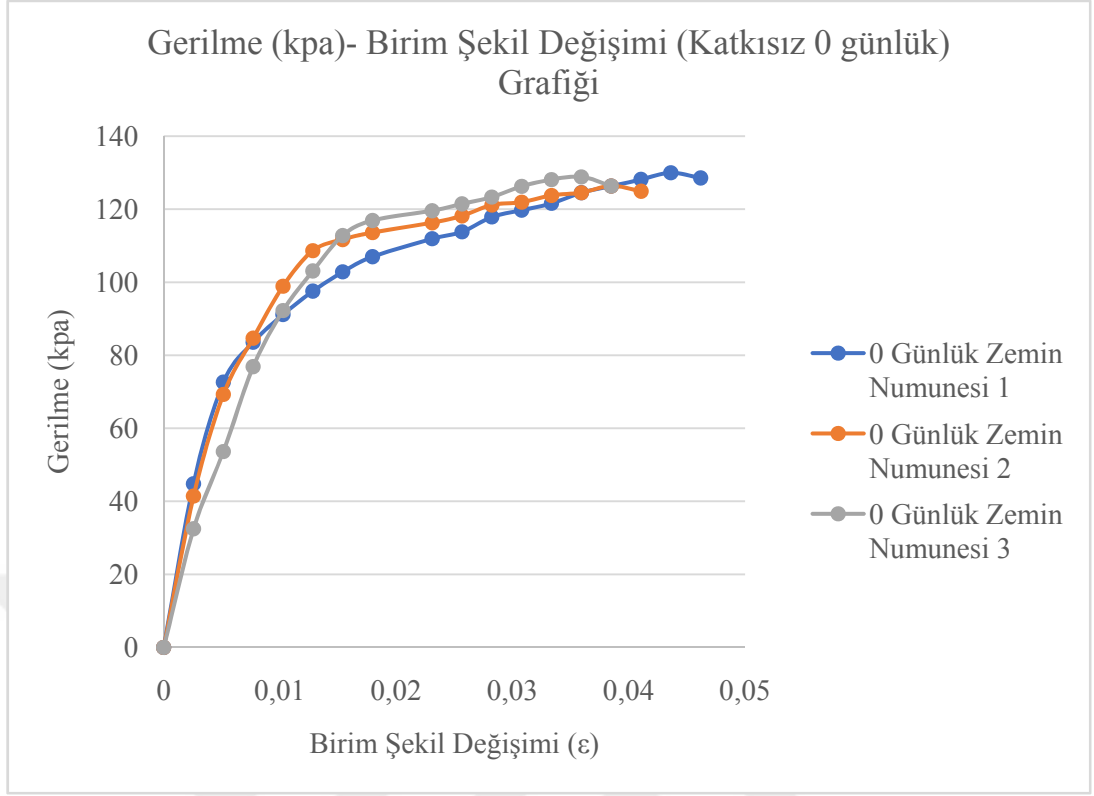
Bu değerler irdelendiğinde; 0 günlük katkısız 3 maksimum mukavemet değerinin ortalaması alınarak 128,37 kpa bulunmuştur. Aynı işlemler tüm deney düzeneklerinde tekrarlanarak bulunmuştur. 1 günlük katkısız deneylerde 149,71 kpa, 0 günlük %8 Sönmemiş kireç katkısında (s.k.k.) 172,11 kpa, %10 sönmemiş kireçle 182,7 kpa, %12 sönmemiş kireçle 197,77 kpa bulunmuştur. 0 günlük %8 hidrolik kireç katkısında (h.k.k.) 172,33 kpa, %10 'da 191,89, %12'de 219,45 kpa bulunmuştur. 1 günlük h.k.k. %8'de 255,13 kpa, %10'da 275,1 kpa, %12'de 307,32 kpa olarak bulunmuştur. 7 günlük hidrolik kireç katkısı ile %8'de 279,75, %10'da 326,51 kpa, %12'de 398,18kpa bulunmuştur. 28 günlük h.k.k. %8'de 388,81 kpa,%10'da 433,44 kpa, %12'de 507,07 kpa olarak ortalama mukavemet değerleri bulunmuştur.

Birim şekildeğiştirmeleri incelendiğinde en yüksek serbest basınç mukavemetlerine karşılık gelen 0 günlük ve katkısız zemin numunesinde birim şekil değişimi %4,36, 1 günlüğe karşılık gelen %4,10 iken, 0 günlük sönmemiş kireç katkılı zemin numunesinde %8 katkıda %1,79, %10'da %1,79 ve %12'de %1,79 birim şekil değişimi olduğu görülmektedir. 0 günlük hidrolik kireç katkılı zemin numunesinde %8 katkıda %1,53, %10'da %1,79 ve %12'de de %1,79 olduğu görülmektedir. 1 günlük hidrolik kireç katkılı zemin numunesinde %8 katkıda %1,79, %10'da %1,79 ve %12'de de %1,79 olduğu görülmektedir. 7 günlük hidrolik kireç katkılı zemin numunesinde %8 katkıda %1,79, %10'da %1,79 ve %12'de de %2,05 olduğu görülmektedir. 28 günlük hidrolik kireç katkılı zemin numunesinde %8 katkıda %1,53, %10'da %1,53 ve %12'de de %1,79 olduğu görülmektedir.

Her bir numune için yapılan deney çalışmasında gerilmeye karşılık deformasyonlar not alınarak. Gerilme birim şekil değişimi grafikleri oluşturulmuştur. Bu grafikler sırasıyla irdelendiğinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

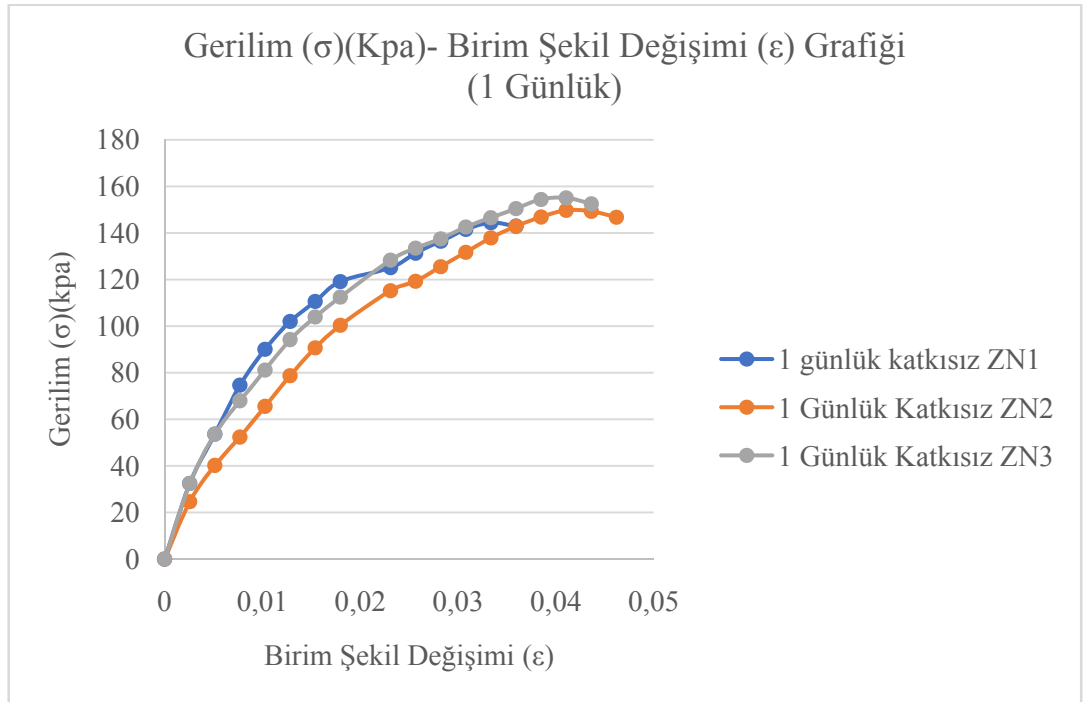
0 günlük katkısız zeminde gerilme birim şekil değişimi grafiği deneyde kullanılan her bir zemin numunesi için her bir gerilmeye karşılık gelen deformasyon alınarak şekillerde gösterildiği gibi grafikler oluşturulmuştur.

4.19.'da gösterildiği gibi 0 günlük katkısız zemin numunelerinin grafiği oluşturulmuştur. Bütün katkı oranlarında ve k r sürelerinde aynı şekilde uygulama gerçekleştirilmiştir.



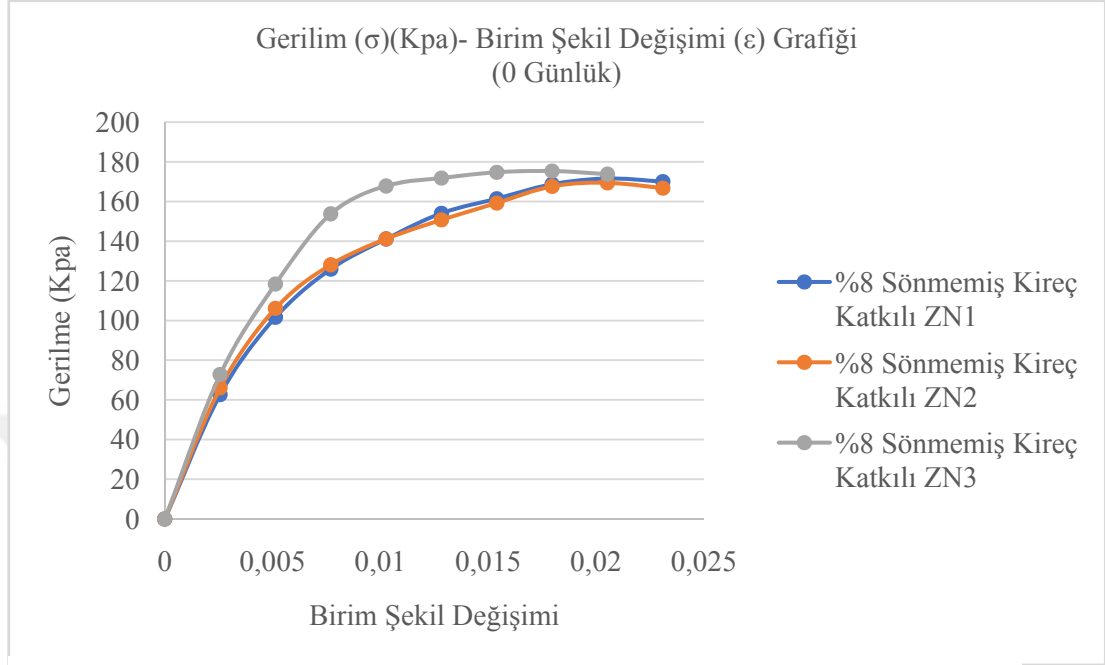
Şekil 4.19. 0 günlük katkısız gerilme-deformasyon grafiği

Şekil 4.20.'de 1 günlük katkısız gerilemelere karşılık gelen birim şekil değişimi grafiği gösterilmektedir.



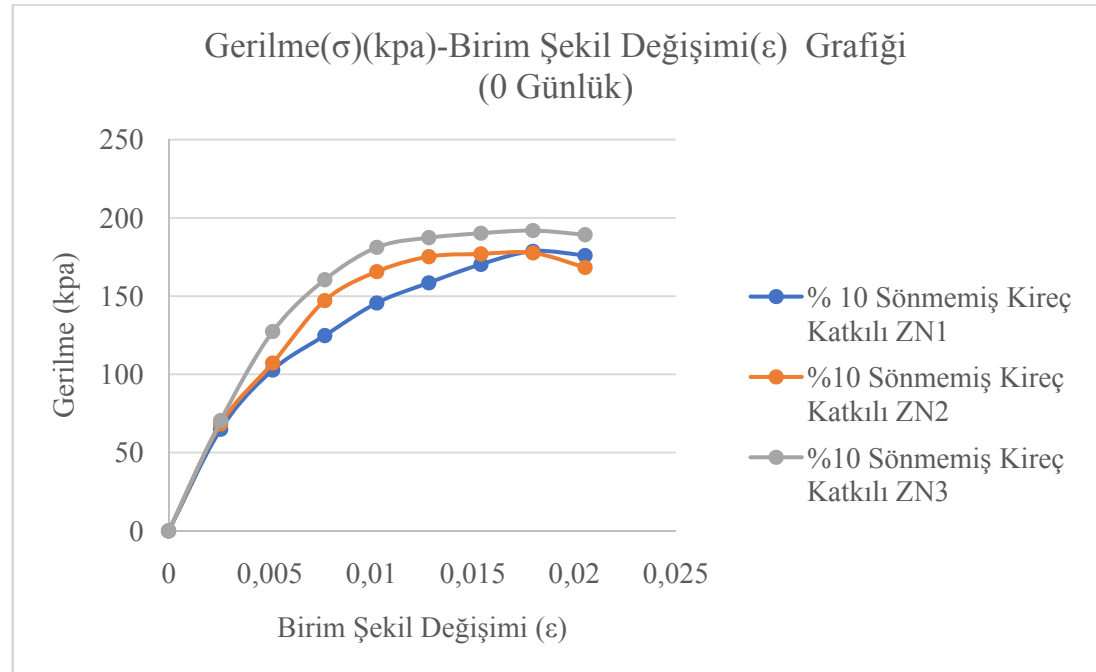
Şekil 4.20. 1 günlük katkısız gerilme-deformasyon grafiği

Şekil 4.21.'de 0 günlük %8 sönmemiş kireç katkısı gerilme birim şekil değişimi grafiği gösterildiği gibidir.



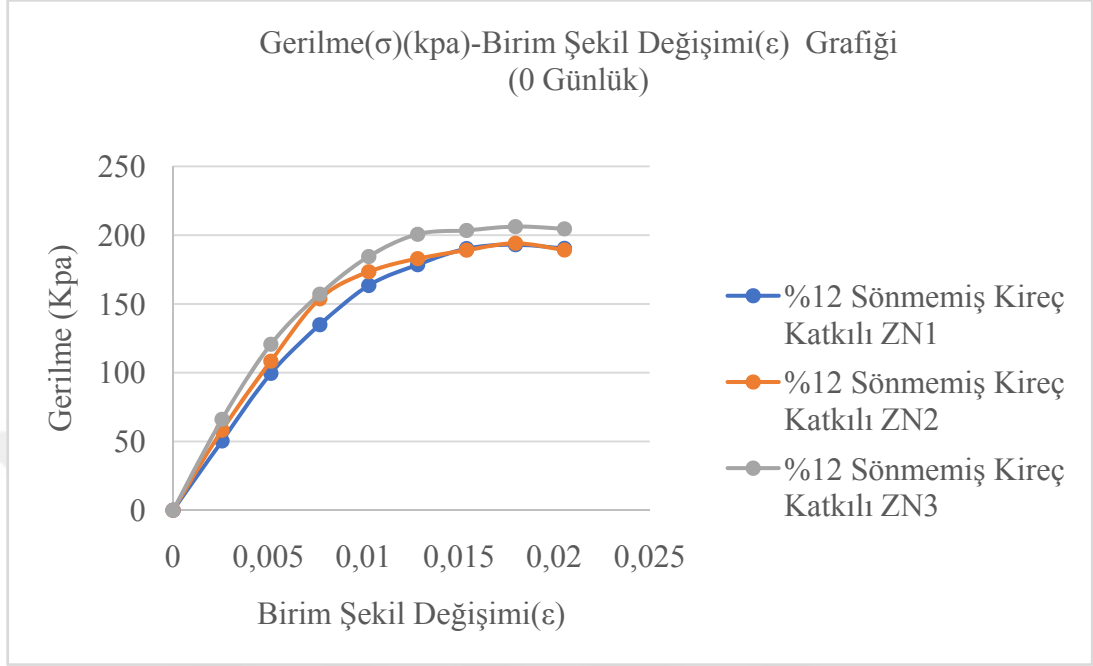
Şekil 4.21. 0 günlük %8 sönmemiş katkıli kireç gerilme-deformasyon grafiği

Şekil 4.22.'de 0 günlük %10 sönmemiş kireç katkısı gerilme birim şekil değişimi grafiği gösterildiği gibidir.



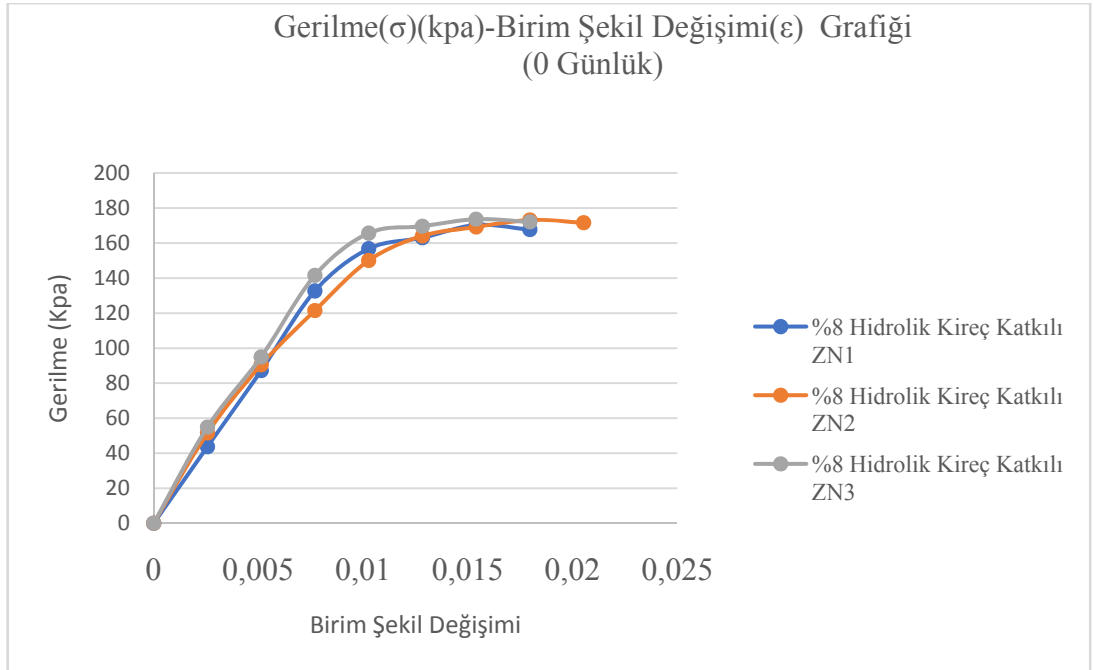
Şekil 4.22. 0 günlük %10 sönmemiş katkıli kireç gerilme-deformasyon grafiği

Şekil 4.23'te 0 günlük %12 sönmemiş kireç katkısı gerilme birim şekil değişimi grafiği gösterildiği gibidir.



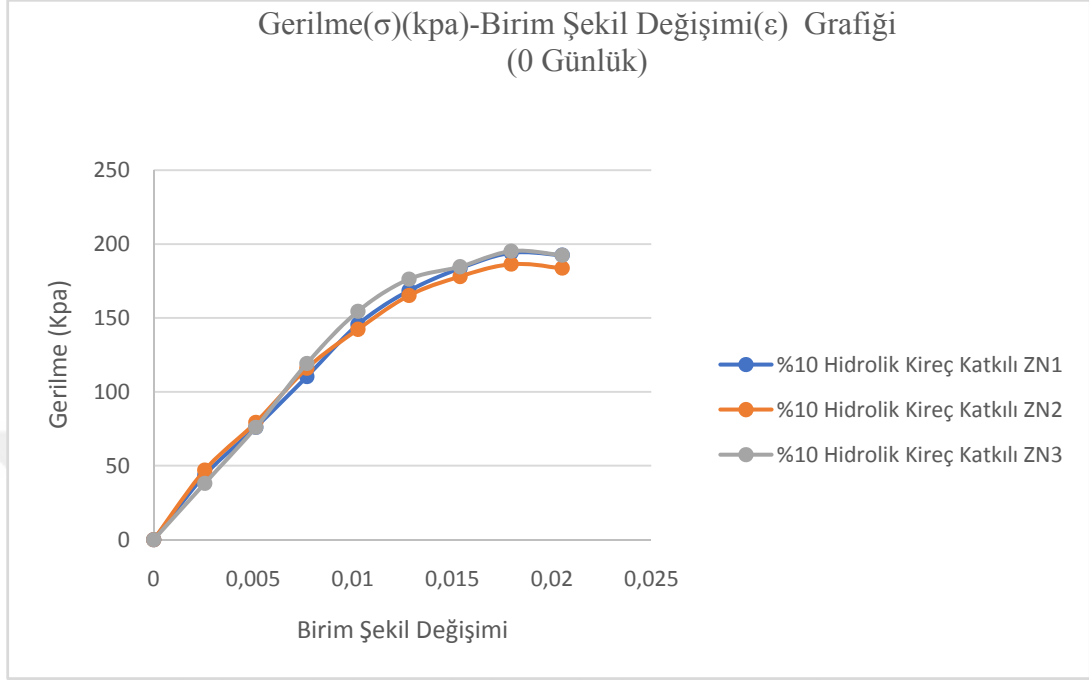
Şekil 4.23. 0 günlük %12 sönmemiş katkılı kireç gerilme-deformasyon grafiği

Şekil 4.24.'te 0 günlük %8 hidrolik kireç katkısı gerilme birim şekil değişimi grafiği gösterildiği gibidir.



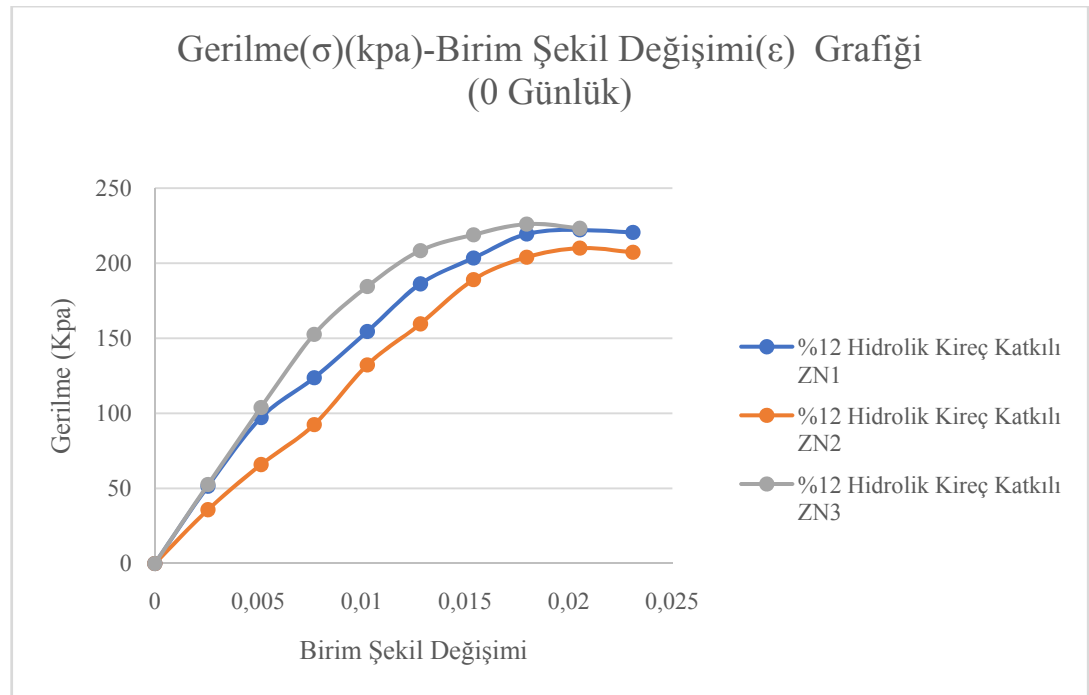
Şekil 4.24. 0 günlük %8 hidrolik katkılı kireç gerilme-deformasyon grafiği

Şekil 4.25.'te 0 günlük %10 hidrolik kireç katkısı gerilme birim şekil değişimi grafiği gösterildiği gibidir.



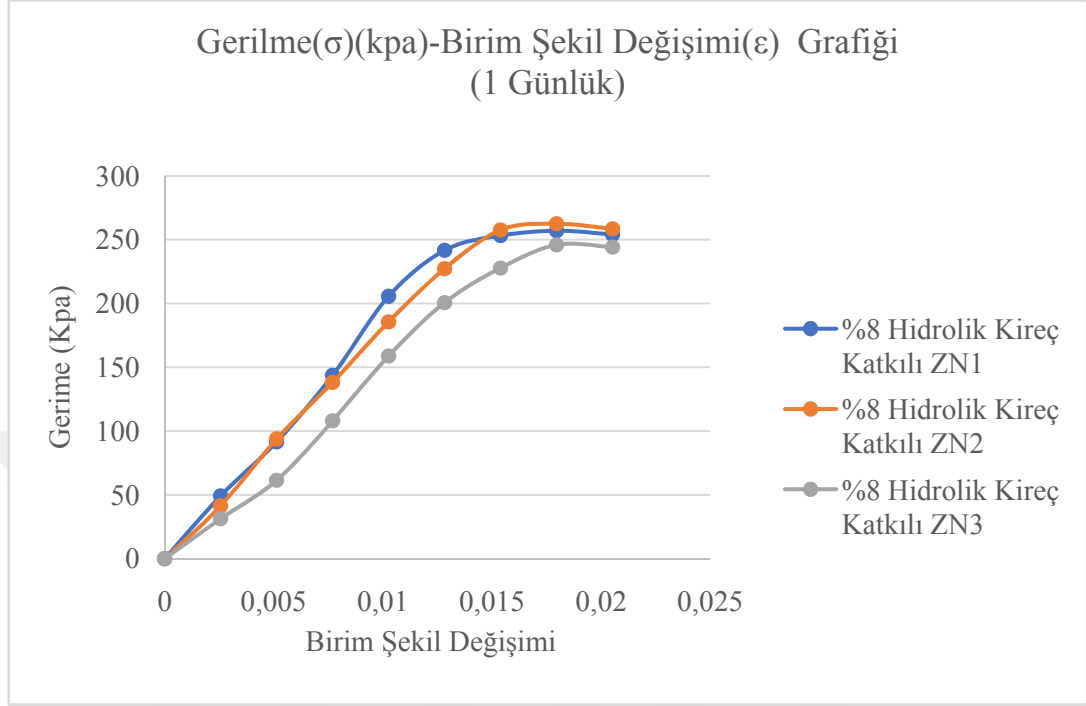
Şekil 4.25. 0 günlük %10 hidrolik katkılı kireç gerilme-deformasyon grafiği

Şekil 4.26.'da 0 günlük %12 hidrolik kireç katkısı gerilme birim şekil değişimi grafiği gösterildiği gibidir.



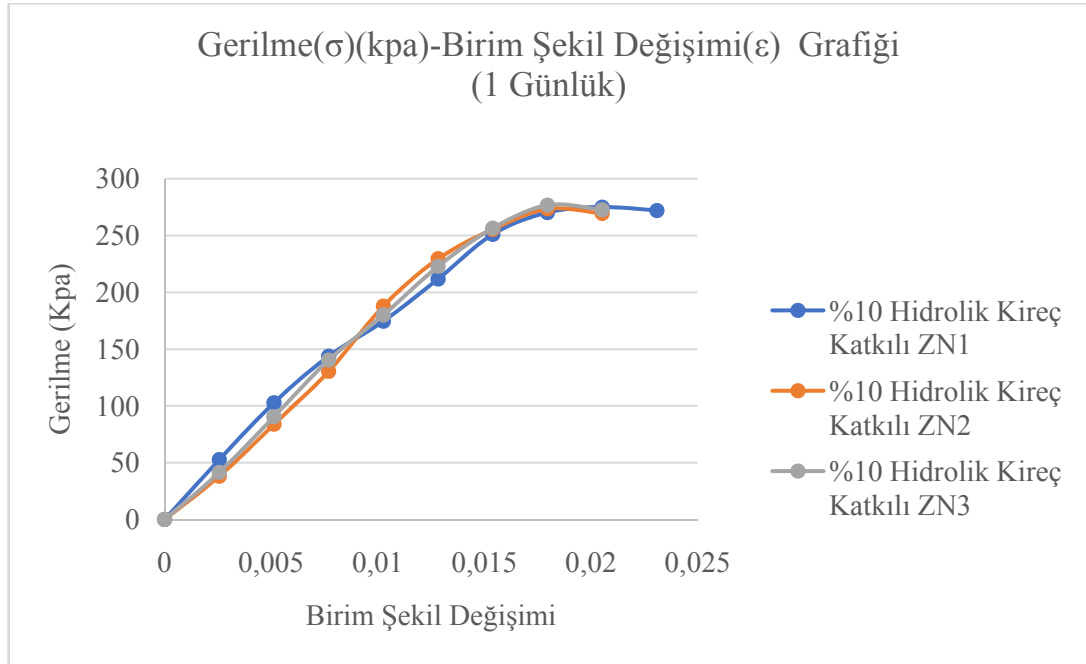
Şekil 4.26. 0 günlük %12 hidrolik katkılı kireç gerilme-deformasyon grafiği

Şekil 4.27.'de 1 günlük %8 hidrolik kireç katkısı gerilme birim şekil değişimi grafiği gösterildiği gibidir.



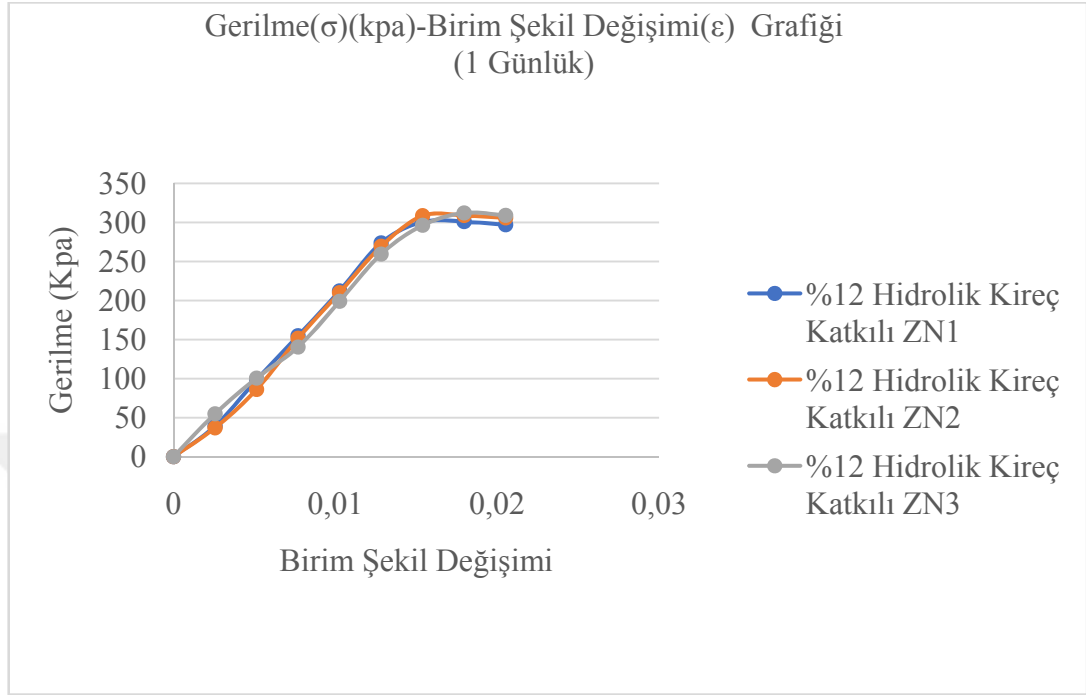
Şekil 4.27. 1 günlük %8 hidrolik katkılı kireç gerilme-deformasyon grafiği

Şekil 4.28.'te 1 günlük %10 hidrolik kireç katkısı gerilme birim şekil değişimi grafiği gösterildiği gibidir.



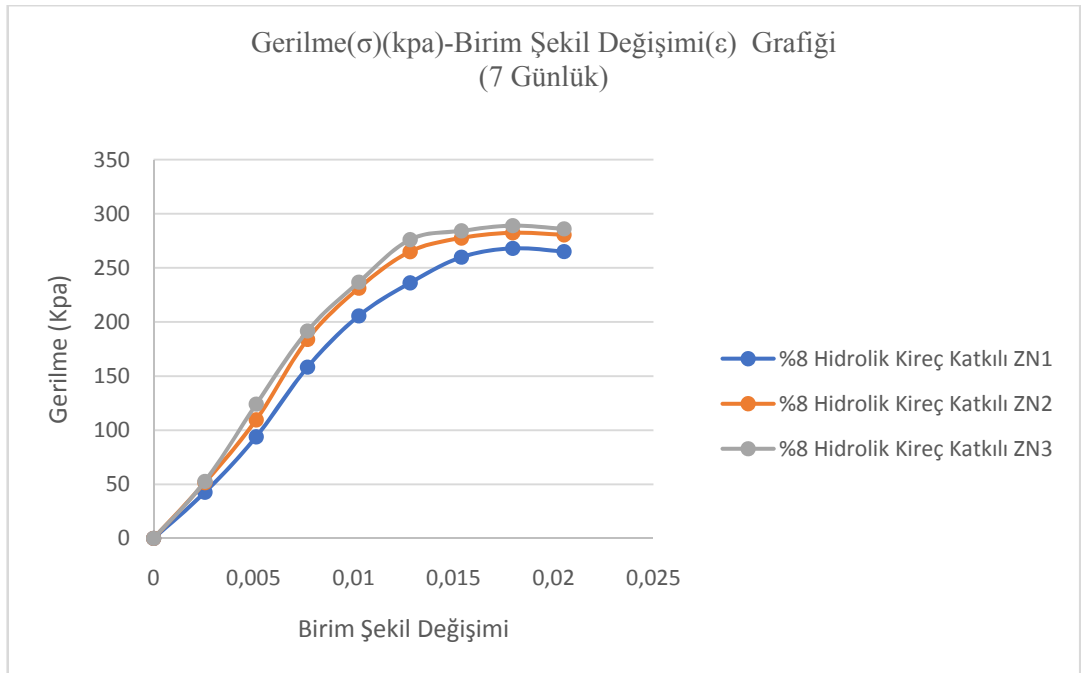
Şekil 4.28. 1 günlük %10 hidrolik katkılı kireç gerilme-deformasyon grafiği

Şekil 4.29.'da 1 günlük %12 hidrolik kireç katkısı gerilme birim şekil değişimi grafiği gösterildiği gibidir.



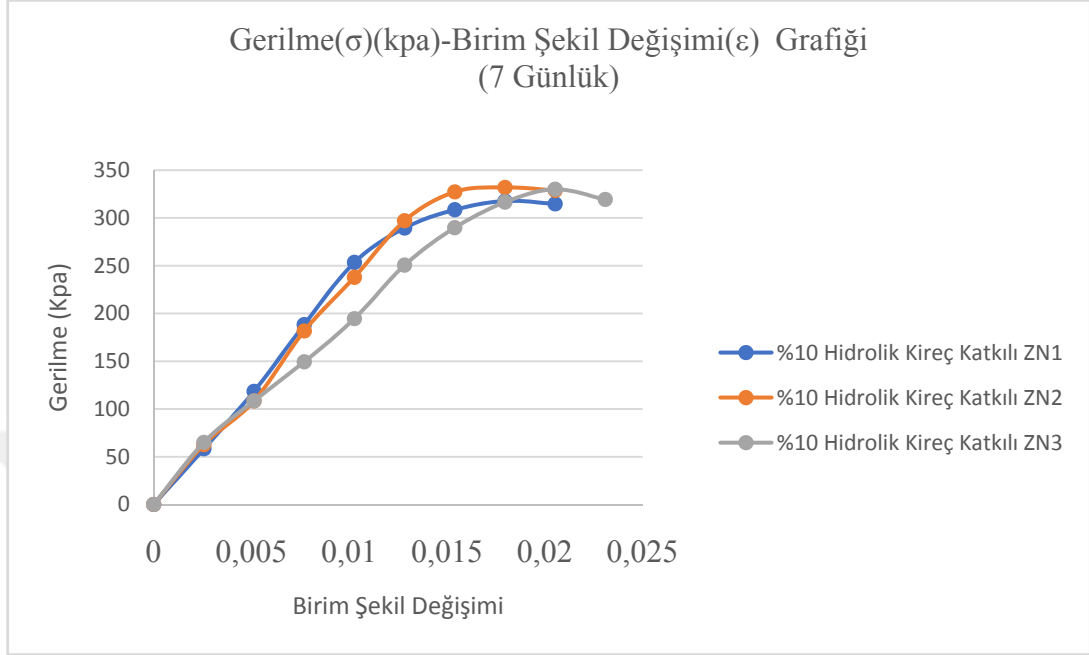
Şekil 4.29. 1 günlük %12 hidrolik katkılı kireç gerilme-deformasyon grafiği

Şekil 4.30.'da 7 günlük %8 hidrolik kireç katkısı gerilme birim şekil değişimi grafiği gösterildiği gibidir.



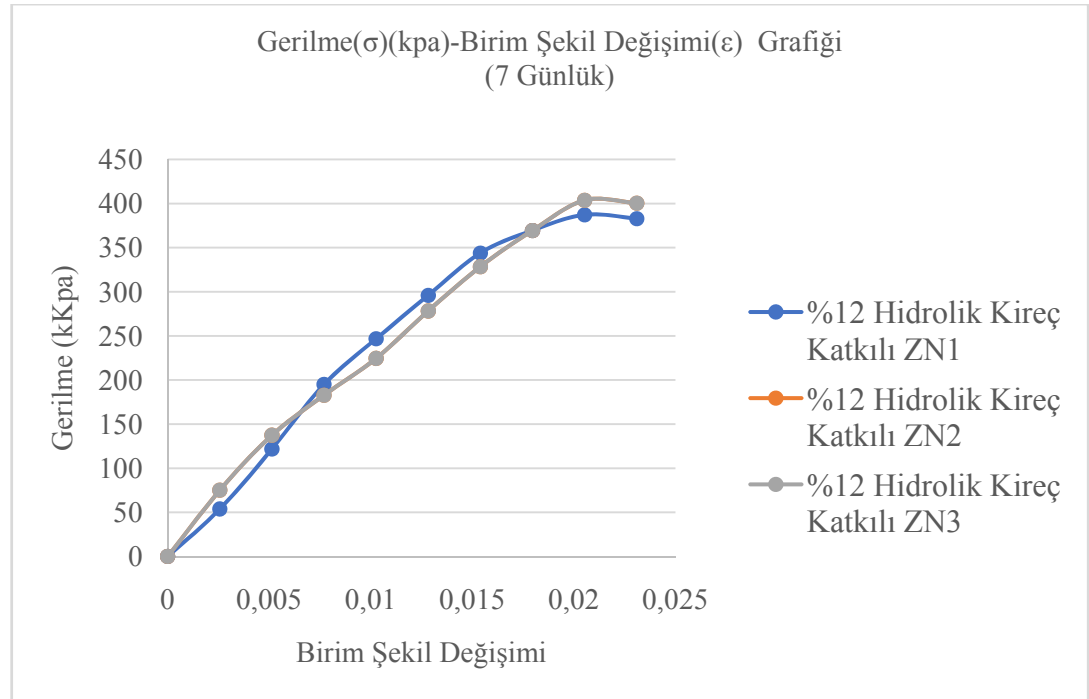
Şekil 4.30. 7 günlük %8 hidrolik katkılı kireç gerilme-deformasyon grafiği

Şekil 4.31.'de 7 günlük %10 hidrolik kireç katkısı gerilme birim şekil değişimi grafiği gösterildiği gibidir.



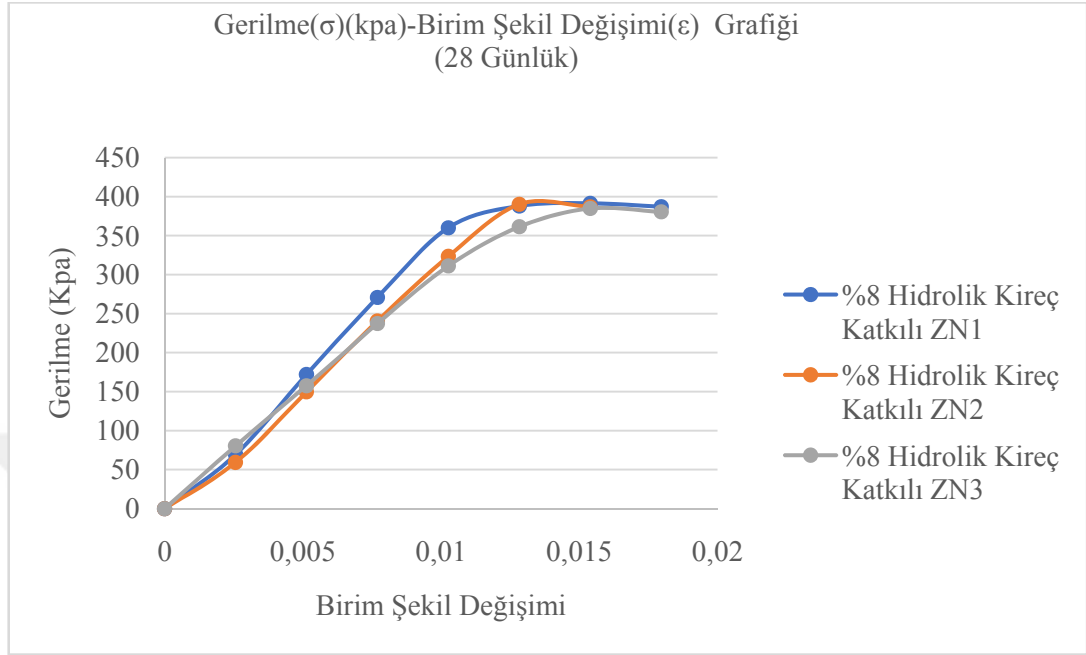
Şekil 4.31. 7 günlük %10 hidrolik katkılı kireç gerilme-deformasyon grafiği

Şekil 4.32.'de 7 günlük %12 hidrolik kireç katkısı gerilme birim şekil değişimi grafiği gösterildiği gibidir.



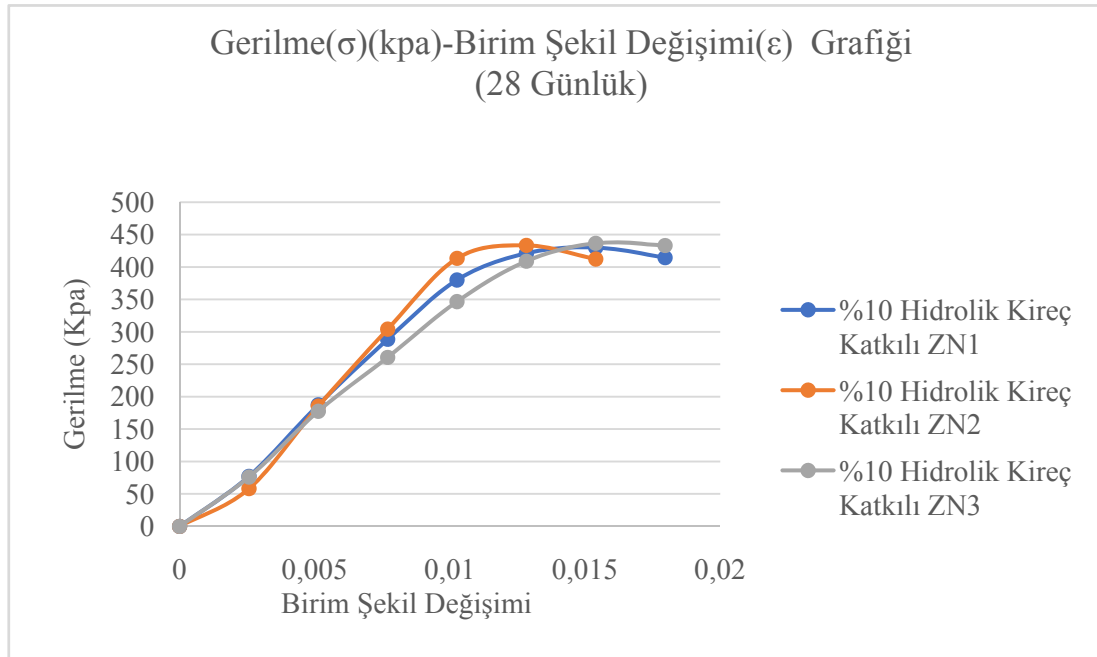
Şekil 4.32. 7 günlük %12 hidrolik katkılı kireç gerilme-deformasyon grafiği

Şekil 4.33.'te 28 günlük %8 hidrolik kireç katkısı gerilme birim şekil değişimi grafiği gösterildiği gibidir.



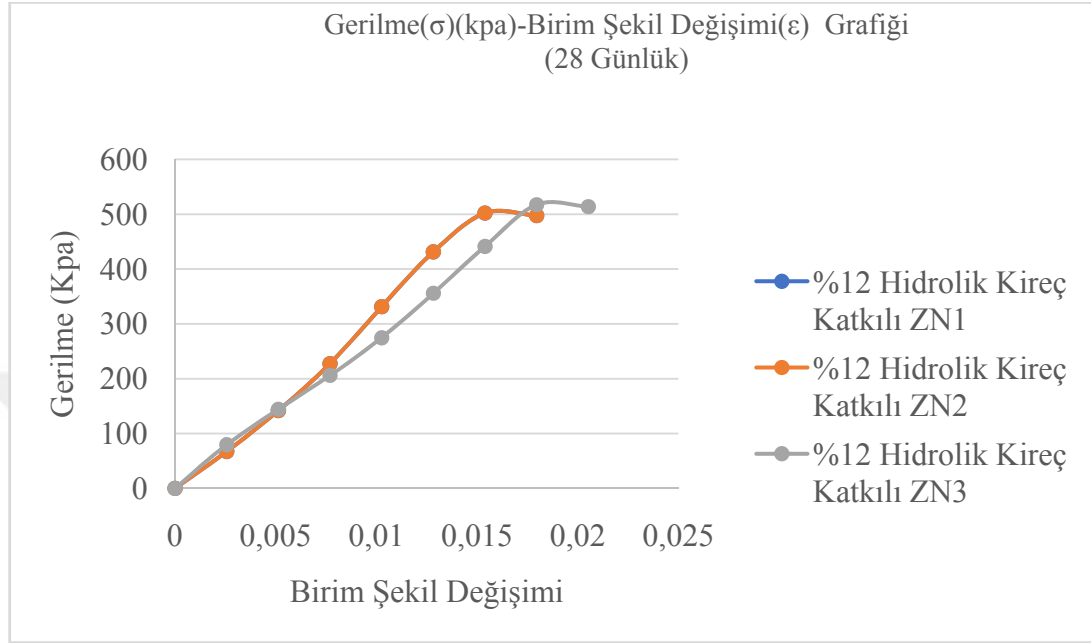
Şekil 4.33. 28 günlük %8 hidrolik katkılı kireç gerilme-deformasyon grafiği

Şekil 4.34.'te 28 günlük %10 hidrolik kireç katkısı gerilme birim şekil değişimi grafiği gösterildiği gibidir.



Şekil 4.34. 28 günlük %10 hidrolik katkılı kireç gerilme-deformasyon grafiği

Şekil 4.35.'te 28 günlük %12 hidrolik kireç katkısı gerilme birim şekil değişimi grafiği gösterildiği gibidir.



Şekil 4.35. 28 günlük %12 hidrolik katkılı kireç gerilme-deformasyon grafiği

Grafikler irdelendiğinde kullanılan kireç katkıları ve kür edilme süresine göre birim şekil değişimlerinin azaldığı ve serbest basınç mukavemetlerinde önemli ölçüde artışlar olduğu görülmüştür. Her bir zemin numunesi için yapılan gerekli hesaplamalar ve elde edilen grafikler ekler kısmında mevcuttur.

Tablo 4.9. Kullanılan kireç katkısına göre atterberg kıvam limiti değerlerindeki % değişim oranı

Kireç katkısı	Likit Limit (%)	Plastik Limit (%)	Plastik İndisi (%)
%0	62	22,08	39,91
Sönmemiş kireç oranı	Likit Limit (%) Değişim	Plastik Limit(%) Değişim	Plastik İndisi(%) Değişim
%8	3,68	↓ 6,2	9,87 ↓
%10	5,04	↓ 7,58	↑ 12,61 ↓

Hidrolik Kireç	Likit Limit (%) Değişim		Plastik Limit (%) Değişim		Plastik İndisi (%) Değişim
%12	5,75	↓	7,96	↑	13,7 ↓
%8	1	↓	5,04	↑	6,03 ↓
%10	2,25	↓	5,94	↑	8,18 ↓
%12	3	↓	7,61	↑	16,6 ↓

Tabloya bakıldığında kullanılan katkı oranı ve katkı türüne göre Atterberg Kıvam Limit değerlerindeki % değişim oranı görülmektedir. Sönmemiş kireç katkısı ile yapılan deneylerde saf kil oranla, %8 oranında kullanılan sönmemiş kireç katkısında; Likit limit değeri %3,68 oranında, Plastisite indisi değerinde %9,87 oranında azalma, Plastik limitdeğeri %6,2 oranında artış göstermiştir. %10 oranında kullanılan sönmemiş kireç katkısında; Likit limit değeri %5,04 oranında, Plastisite indisi değerinde %12,64 oranında azalma, Plastik limit değeri %7,58 oranında artış göstermiştir. %12 oranında kullanılan sönmemiş kireç katkısında; Likit limit değeri %5,75 oranında, Plastisite indisi değerinde %13,7 oranında azalma, Plastik limit değeri %7,96 oranında artış göstermiştir.

%8 oranında kullanılan hidrolik kireç katkısında; Likit limit değeri %1 oranında, Plastisite indisi değerinde %6,03 oranında azalma, Plastik limit değeri %5,04 oranında artış göstermiştir. %10 oranında kullanılan hidrolik kireç katkısında; Likit limit değeri %2,25 oranında, Plastisite indisi değerinde %8,18 oranında azalma, Plastik limit değeri %5,94 oranında artış göstermiştir. %12 oranında kullanılan sönmemiş kireç katkısında; Likit limit değeri %3 oranında, Plastisite indisi değerinde %16,6 oranında azalma, Plastik limit değeri %7,61 oranında artış göstermiştir.

Tablo 4.10. Kullanılan kireç katkısına göre maksimumkuru birim hacim ağırlık ve optimumsu muhtevası % Değişim Oranı

KİREÇ KATKISI	Maks. K.B.H.A (KN/M3) (%) Değişim	Optimum Su Muhtevası (%) Değişim
KATKISIZ	16,1258	18,24
%8 SÖNMEMİŞ KİREÇ	15,7 ↓	2,26 ↑
%10 SÖNMEMİŞ KİREÇ	14,7 ↓	2,66 ↑
%12 SÖNMEMİŞ KİREÇ	16,4 ↓	2,96 ↑
%8 HİDROLİK KİREÇ	16,5 ↓	2,76 ↑
%10 HİDROLİK KİREÇ	15,9 ↓	3,06 ↑
%12 HİDROLİK KİREÇ	16,89 ↓	3,46 ↑

Tabloya bakıldığında yapılan kompaksiyon deneyinde kullanılan katkı oranı ve katkı türüne göre Maks. Kuru birim hacim ve optimum su muhtevası değerlerindeki % değişim oranı görülmektedir. Sönmemiş kireç katkısı ile yapılan deneylerde saf kil oranla, %8 oranında kullanılan sönmemiş kireç katkısında; Maksimum kuru birim hacim ağırlığında %15,7 oranında azalma, optimum su muhtevası değerinde %2,26 oranında artış gözlemlenmiştir. %10 oranında kullanılan sönmemiş kireç katkısında; Maksimum kuru birim hacim ağırlığında %14,7 oranında azalma, optimum su muhtevası değerinde %2,66 oranında artış gözlemlenmiştir. %12 oranında kullanılan sönmemiş kireç katkısında; Maksimum kuru birim hacim ağırlığında %16,4 oranında azalma, optimum su muhtevası değerinde %2,96 oranında artış gözlemlenmiştir. %8 oranında kullanılan hidrolik kireç katkısında; Maksimum kuru birim hacim ağırlığında %16,5 oranında azalma, optimum su muhtevası değerinde %2,76 oranında artış gözlemlenmiştir. %10 oranında kullanılan hidrolik kireç katkısında; Maksimum kuru birim hacim ağırlığında %15,9 oranında azalma, optimum su

muhtevası değerinde %3,06 oranında artış gözlemlenmiştir. %12 oranında kullanılan hidrolik kireç katkısında; Maksimum kuru birim hacim ağırlığında %16,89 oranında azalma, optimum su muhtevası değerinde %3,46 oranında artış gözlemlenmiştir.

Tablo 4.11. Kullanılan kireç katkısına ve kür süresine göre ortalama serbest basınç mukavemet değerlerinde % değişim oranı

KİREÇ KATKISI	Ortalama Serbest Basınç Dayanımı	Ortalama serbest Basınç Dayanımı % Değişim	Gün
Katkısız	128,37	0	0
Katkısız	149,71	16,62 ↑	1
%8 Sönmemiş Kireç	172,11	34,07 ↑	0
%10 Sönmemiş Kireç	182,7	42,32 ↑	0
%12 Sönmemiş Kireç	197,77	54,06 ↑	0
%8 Hidrolik Kireç	172,33	34,24 ↑	0
%10 Hidrolik kireç	191,89	49,48 ↑	0
%12 Hidrolik Kireç	219,45	70,95 ↑	0

Tabloya bakıldığında yapılan Serbest basınç deneylerinde ortalama mukavemet değerlerinin saf kilin 0 günlük değerine göre kullanılan katkı oranlarına ve kür sürelerindeki yüzde değişim değerleri gösterilmektedir. Kireç katkısız 1 günlük ortalama serbest basınç mukavemet değerinde %16,62 oranında artış görülmüştür. 0 günlük %8 Sönmemiş kireç katkısında ortalama serbest basınç mukavemet değerinde %34,07 oranında artış görülmüştür. 0 günlük %10 Sönmemiş kireç katkısında ortalama serbest basınç mukavemet değerinde %42,32 oranında artış görülmüştür. 0 günlük %12 Sönmemiş kireç katkısında ortalama serbest basınç mukavemet değerinde %54,06 oranında artış görülmüştür. 0 günlük %8 Hidrolik kireç katkısında ortalama serbest basınç mukavemet değerinde %34,24 oranında artış görülmüştür. 0 günlük %10 Hidrolik kireç katkısında ortalama serbest basınç mukavemet değerinde %49,48 oranında artış görülmüştür. 0 günlük %12 Hidrolik kireç katkısında ortalama serbest basınç mukavemet değerinde %70,95 oranında artış görülmüştür.

Tablo 4.12. Kullanılan kireç katkısına ve kür süresine göre ortalama serbest basınç mukavemet değerlerinde % değişim oranı

KİREÇ KATKISI	Ortalama Serbest Basınç Dayanımı	Ortalama serbest Basınç Dayanımı % Değişim	Gün
Katkısız	128,37	0	0
%8 Hidrolik Kireç	255,13	98,75 ↑	1
%10 Hidrolik Kireç	275,1	114,3 ↑	1
%12 Hidrolik Kireç	307,32	139,4 ↑	1
%8 Sönmemiş Kireç	279,75	117,9 ↑	7
%10 Hidrolik Kireç	326,51	154,35 ↑	7
%12 Hidrolik kireç	398,18	210,2 ↑	7
%8 Hidrolik Kireç	388,11	202,34 ↑	28
%10 Hidrolik Kireç	433,44	237,65 ↑	28
%12 Hidrolik Kireç	507,07	295 ↑	28

Tabloya bakıldığında yapılan Serbest basınç deneylerinde ortalama mukavemet değerlerinin saf kılın 0 günlük değerine göre kullanılan katkı oranlarına ve kür sürelerindeki yüzde değişim değerleri gösterilmektedir. 1 günlük %8 Hidrolik kireç katkısında ortalama serbest basınç mukavemet değerinde %98,75 oranında artış görülmüştür. 1 günlük %10 Hidrolik kireç katkısında ortalama serbest basınç mukavemet değerinde %114,3 oranında artış görülmüştür. 1 günlük %12 Hidrolik kireç katkısında ortalama serbest basınç mukavemet değerinde %139,4 oranında artış görülmüştür. 7 günlük %8 Hidrolik kireç katkısında ortalama serbest basınç mukavemet değerinde %117,9 oranında artış görülmüştür. 7 günlük %10 Hidrolik kireç katkısında ortalama serbest basınç mukavemet değerinde %154,35 oranında artış görülmüştür. 7 günlük %12 Hidrolik kireç katkısında ortalama serbest basınç mukavemet değerinde %210,2 oranında artış görülmüştür. 28 günlük %8 Hidrolik kireç katkısında ortalama serbest basınç mukavemet değerinde %202,34 oranında artış görülmüştür. 28 günlük %10 Hidrolik kireç katkısında ortalama serbest basınç mukavemet değerinde %237,65 oranında artış görülmüştür. 28 günlük %12 Hidrolik

kireç katkısında ortalama serbest basınç mukavemet değerinde %295 oranında artış görölmüştür.



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan deneysel çalışma kapsamında killi zemin numunesine sönmemiş kireç ve hidrolik kireç katkısı farklı oranlarda katılarak zemindeki iyileştirme ve kütle stabilizasyonuna etkisi incelenmiştir. Belirlenen alandan getirilen zemin numunesi ile laboratuvar ortamın deneysel çalışmalar yapılmıştır. Kullanılan yüksek kireç katkı oranları ile zeminin taşıma gücü, dayanımı ve mukavemeti üzerine etkileri irdelenmiştir. Mühendislik özelliklerinde gerçekleşen değişimler gözlemlenmiştir. Bu gözlemler sonucunda;

- Likit limit ve plastisite değeri bilenen zemin numunesinin sınıflandırması,UCSC Sınıflandırmasına göre plastisite kartından okunarak CH sınıfı olduğu anlaşılmıştır. Yani kilimizin yüksek plastisiteli bir kil olduğu anlaşılmıştır. Zeminin dane boyutuna göre de sınıflandırması yapılarak A-7-6 olduğu görülmüştür.

-Sönmemiş ve hidrolik kireç katkıları kullanılarak yapılan deneylerde plastik limit değerlerinde artış olurken, plastisite indisi ve likit limit değerlerinde de düşüşlerin olduğu gözlemlenmiştir. Bu gözlemler baz alınarak doğru oranda sönmemiş ve hidrolik kireç katkıları kullanıldığında zeminin kıvamının katılaşacağı ve işlevselliğinin artacağı sonucuna varılmaktadır. Kullanılacak uygun kireç oranının %8 hidrolik kireç olduğu hem kıvam limitlerinde hem de ph deneyinde görülmüştür.

-Zeminin; hidrolik kireç katkısı kullanıldığında sönmemiş kirece göre daha yüksek dayanımlara çıktığı gözlemlenmiştir.

-Yapılan proktor (kompaksiyon) deneyleri sonucunda sönmemiş ve hidrolik kireç katkılarıyla yapılan deneylerde optimum su muhtevası değerlerinin arttığı, maksimum kuru birim hacim ağırlık değerlerinin azaldığı görülmüştür. Hidrolik ve sönmemiş kireç katkıları kıyaslandığında ise birbirine yakın sonuçlar elde edildiği ama hidrolik kireç katkılarının daha iyi sonuçlar verdiği elde edilen verilerle ulaşılmıştır.

-Serbest basınç deneylerinde öncelikle saf kil kullanılarak oluşturulan zemin numunelerinde 0 ve 1 günlük deneyler yapılmıştır. Sönmemiş kireç katkısı kullanılarak sadece 0 günlük deneyler yapılmıştır. Hidrolik kireç katkısı ile 0,1,7 ve

28 günlük deneyler yapılmıştır. Kullanılan sönmemiş kireç katkısı ile mukavemet değerlerinde artışlar gözlemlenmiştir. Bunun yanı sıra katkısız 1 günlük kür süresi ve hidrolik kireç katkısı ile yapılan deneylerde mukavemet değerlerinde hem 0 günde artışlar olmuş hem de kür süreleri ile de artışlar gerçekleşmiştir. Kür süresi arttıkça birim şekil değişimlerinde azalmalar ve mukavemet değerlerin önemli artışlar gerçekleşmiştir.

-3 farklı oranda ve kullanılan iki farklı kireç katkısı ile yapılan deneylere bakıldığında; sönmemiş kireçte %12 katkısı ile mukavemet değerlerinde iyi sonuçlar elde edilmiştir. Bunun yanı sıra hidrolik kireç katkılarında ise kür süresi ile de orantılı olarak en yüksek mukavemet değerlerine 28 günün sonunda %12 hidrolik kireç katkısı ile ulaşılmıştır.

- Zemin numunesinde oluşan deformasyonlar irdelendiğinde sönmemiş kireç katkısı ile azaldığı görülmektedir. En fazla azalma oranına ise hidrolik kireçte kür süresi olan 28. Günün sonunda ulaşılmıştır.

-Aynı yapılan 3 farklı deney sonucunda oluşan ve her deney düzeneği için ortaya çıkan maksimum mukavemet değerlerinin ortalaması alınarak grafik oluşturulmuştur. Oluşturulan grafikte te görüldüğü üzere kür süresi ve kullanılan sönmemiş ve hidrolik kireç oranı arttıkça ortalama mukavemet değerinin de arttığı gözlemlenmiştir.

-Kocaeli ilinin Derince ilçesinde bulunan Safiport limanından getirilmiş olan kilin yüksek oranda sönmemiş ve hidrolik kireç kullanılarak iyileştirilebileceği ve kütle stabilizasyonunun sağlanabileceği kanısına varılmıştır.

-Kireç katkıları kullanılarak yapılan serbest basınç deneylerinde mukavemet artışları ve deformasyonlarda azalma sağladığı için ve ekonomik bir malzeme olduğu için kireç ile iyileştirmeler önerilebilmektedir.

-Laboratuvar ortamında yapılan kireç katkılı deneyler mümkün olduğunca geniş bir şekilde yapılmıştır. Bu çalışma kapsamı dışında farklı kimyasal katkıları kullanılarak iyileştirmelerin ve kütle stabilizasyonlarının sağlanacağı kanısı varılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] <https://www.ilbank.gov.tr/dosyalar/uzmanliktezleri/14511.pdf/>, (Ziyaret Tarihi: 9 Mart 2020)
- [2] Kızılçelik M. M., Yüksek Plastisiteli Kilin Kireç ile Stabilizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2010, 275771.
- [3] Demiröz A., Karaduman M., Zemin İyileştirme Metotları, *Selçuk Üniversitesi Teknik Dergisi*, 2009,8(3), 177-182, 184-186.
- [4] URL-1:<https://docplayer.biz.tr/9754457-1-1-iyilestirme-ve-stabilizasyon-kavrami.html/>, (Ziyaret Tarihi:9 Mart 2020).
- [5] Yıldız Y., Killi Bir Zeminin Çimento ile Stabilizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2020, 629835.
- [6] Kavak A., Güngör A. G., Avşar C., Atbaş B., Kireç ile Zemin Stabilizasyonu, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onikinci Ulusal Kongresi*, Konya, Türkiye, 16-17 Ekim 2008.
- [7] Çetin A. Y., Yüksek Plastisiteli Kil Zeminlerin Alternatif Malzemeler ile Yüzeysel Zemin Stabilizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul,2011, 295475.
- [8] Kılıç G., Çimento ile Zemin Stabilizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Üniversitesi, İstanbul, 2008, 213300.
- [9] Yılmaz F., Tüfit Taşların Zemin Stabilizasyonunda Kireçle Birlikte Kullanılabilirliğinin Standart Deneyler ve Bilgisayarlı Tomografi Tekniği ile Araştırılması, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Üniversitesi, Trabzon, 2015, 397321.
- [10] <http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/180.pdf/>, (Ziyaret Tarihi:25 Mayıs 2020).
- [11] Tüylüce F., Deniz Killerinin Kireç Stabilizasyonu ile İyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2010, 275774.
- [12] Pekdemir Y., Silis Dumanı, Kırmızı Çamur ve Kireç ile Muamele Edilmiş Mikronize Bir Kilin Bazı Geoteknik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 2013, 335129.

- [13] Uğur T., Güleç A., Harç, Sıva ve Diğer Kompozit Malzemelerde Kullanılan Bağlayıcılar ve Özellikleri, *Restorasyon ve konservasyon Çalışmaları Dergisi*, 2016, Arşiv(17), 81-85.
- [14] Parlakyıldız M., Hammadde Olarak Kireç Taşı ve Üretilen Kirecin Standartlara Uygunluğunun Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2008, 284121.
- [15] Gençtürk G., Sönmüş Kireç ile PR Plast Kullanımının Asfalt Kaplamaların Mekanik Özellikleri Üzerindeki Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2011, 275493.
- [16] Gür D., Tarihi Yapıların Onarımında Kullanılmak Üzere Puzolan Katkılı Hidrolik Kireç Esaslı Onarım Harcı Üretilme Olanaklarının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2019, 551385.
- [17] Kozlu H. H., Kayseri Yöresindeki Tarihi Harçların Karakterizasyonu ve Onarım Harçlarının Özellikleri, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2010, 293858.
- [18] Kavak A., Zayıf Zeminlerin Kireç ile İyileştirilmesi, *Kireç Sanayicileri Derneği Kireç Dünyası Dergisi*, 2015, (1), 13-17.
- [19] İMO, *Zemin Etüdü El Kitabı*, 2. Baskı, Özgün Matbacılık San. Tic.A.Ş., Ankara, 17,37-77,93-102, 2016.
- [20] Haşal M. E., Uçucu Kül- Çimento-Köpük Karışımının Hafif Dolgu Malzemesi Olarak Geoteknik Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul 2000, 100924.
- [21] Öztürk Y. E., Kil Mineralleri Açısından İnce Daneli Zeminlerin Fiziko-Kimyasal Özellikleri ile Kıvam Limitleri Arasındaki İlişkiler, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde, 2012, 329333.
- [22] Topçu M., İnce Taneli Zeminlerde Tane Boyunun Kıvam Limitlerine Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2011, 299860.
- [23] Yüce E., İnce Taneli Zeminlerde Minyatür Statik Kompaksiyon Deneyi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2012, 318204.
- [24] Jelusic N., Leppänen M., Yol ve Demiryolu İnşaatında Turbanın Kütle Stabilizasyonu, *ISRM International Symposium*, Melbourne, Avustralya, 19-24 Kasım, 2000.
- [25] Andersson R., Carlsson T., Leppänen M., Organik Toprakların Kütle Stabilizasyonu İçin Hidrolik Çimento Esaslı Bağlayıcılar, *Yumuşak Zemin Teknolojisi Konferansı*, Noordwijkerhout, Hollanda, 28-2 Haziran, 2000.

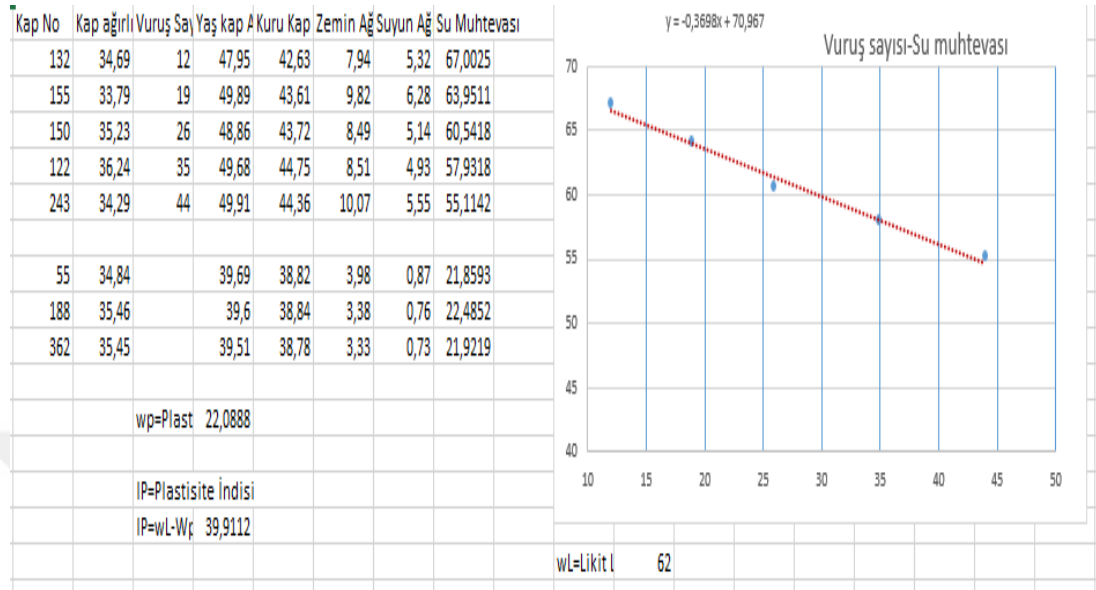
- [26] Jelisic N., Leppänen M., Yol ve Organik Toprakların ve Yumuşak Kilin Kütle Stabilizasyonu, *Üçüncü Uluslararası Derz Dolgu ve Zemin İşleme Konferansı*, New Orleans, Louisiana, Amerika Birleşik Devletleri, 10-12 Şubat, 2003.
- [27] Kavak A., Akyarlı A., A field application for lime stabilization, *Turkish Lime Association*, Istanbul, Turkey, 29 Haziran, 2006.
- [28] Kavak A., Baykal G., Long-term behavior of lime-stabilized kaolinite clay, *Çevrejeolojisi dergisi*, (51), 28 Ekim, 2011.



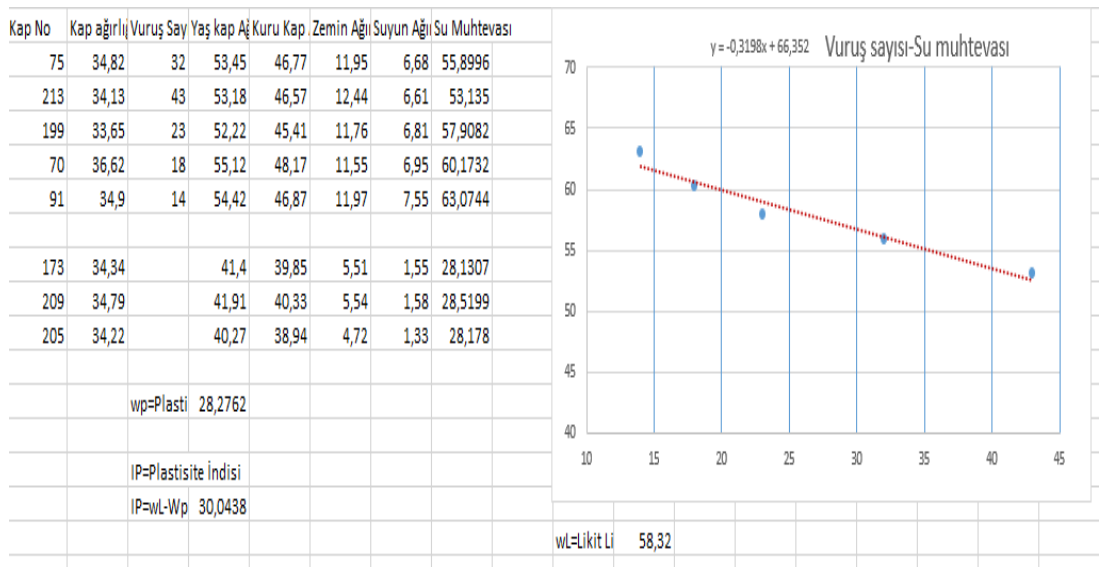


EKLER

Ek-A Atterberg Kıvam Limitleri



Şekil A.1. Katkısız zeminin likit limit grafiği



Şekil A.2. %8 sönmemiş kireç katkılı zeminin likit limit grafiği

Vuruş sayısı-Su muhtevası

$y = -0,2972x + 64,362$

Su muhtevası (x)	Vuruş sayısı (y)
16	61
21	58
28	54
37	53
44	52

w=Likit Lir 56,96

Şekil A.3.%10 sönmemiş kireç katkılızeminin likit limit grafiği

Vuruş sayısı-Su muhtevası

$y = -0.4917x + 68.558$

Vuruş sayısı	Su muhtevası
13	63
19	59
27	55
38	50
43	48

w=Likit Lir 56,25

Şekil A.4. %12sönmemiş kireç katkılızeminin likit limit grafiği

Vuruş sayısı-Su muhtevası

$y = -0,3143x + 68,782$

Vuruş sayısı	Su muhtevası
16	65
21	62
27	60
31	58
45	55

Şekil A.5.%8 hidrolik sönmemiş kireç katkılızeminin likit limit grafiği

Vuruş sayısı-Su muhtevası

$y = -0,2666x + 66,28$

Su muhtevası (%)	Vuruş sayısı
15	63
20	60
28	58
36	56
44	55

w=Likit Lir 59,75

Şekil A.6. %10 hidrolik sönmemiş kireç katkılızeminin likit limit grafiği

Vuruş sayısı-Su muhtevası

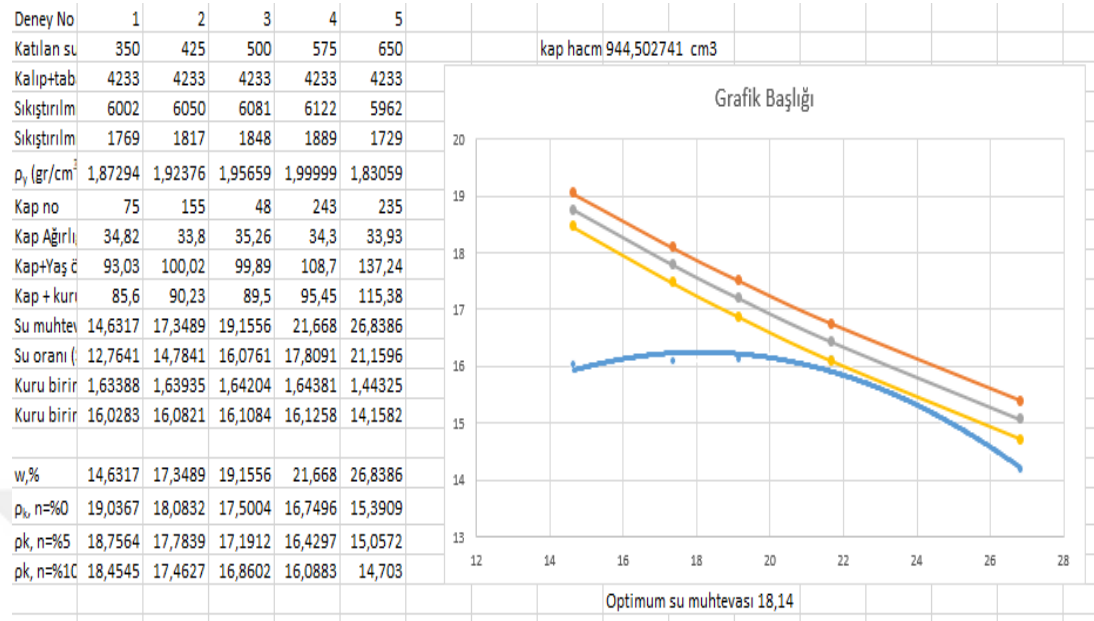
$y = -0,2999x + 66,481$

Su muhtevası (x)	Vuruş sayısı (y)
13	63.5
19	60.5
27	57.5
33	55.5
42	54.5

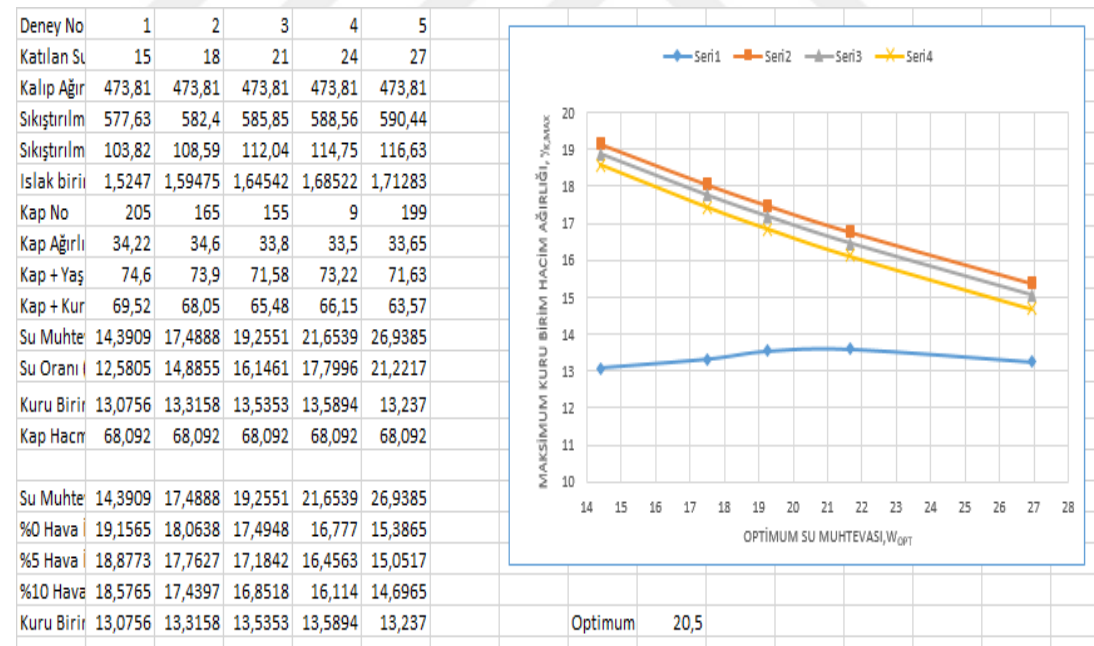
w=Likit Lir 59

Şekil A.7. %12 hidrolik sönmemiş kireç katkızeminin likit limit grafiği

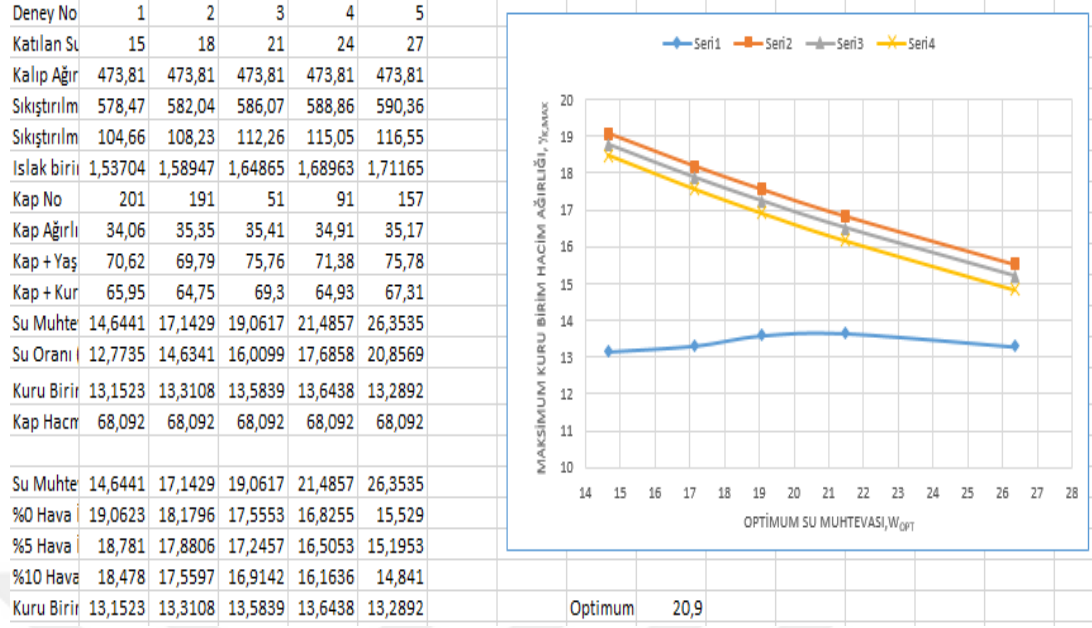
Ek-B Kompaksiyon Deneyleri



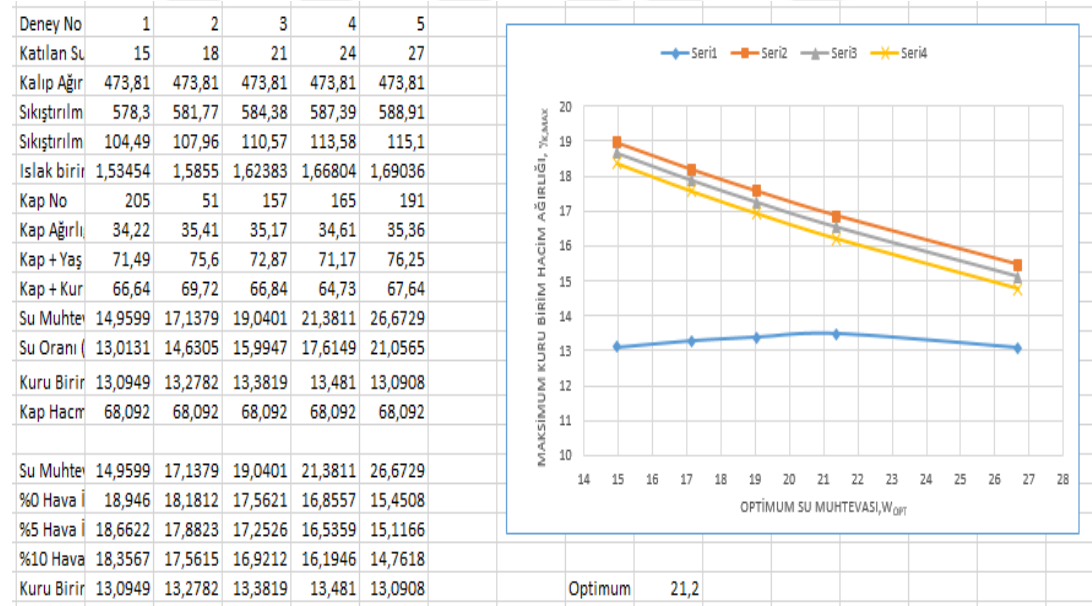
Şekil B.1.katıksız zeminin maksimum kuru birim hacim ağırlık-optimumsu muhtevası grafiği



Şekil B.2. %8 sönmemiş kireç katkılızeminin maksimum kuru birim hacim ağırlık-optimumsu muhtevası grafiği

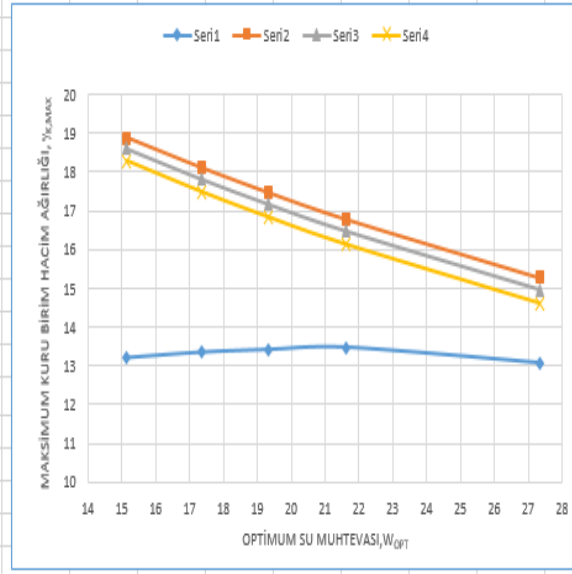


Şekil B.3. %10 sönmemiş kireç katkılızeminin maksimum kuru birim hacim ağırlık-optimumsu muhtevası grafiği



Şekil B.4. %12 sönmemiş kireç katkılızeminin maksimum kuru birim hacim ağırlık-optimumsu muhtevası grafiği

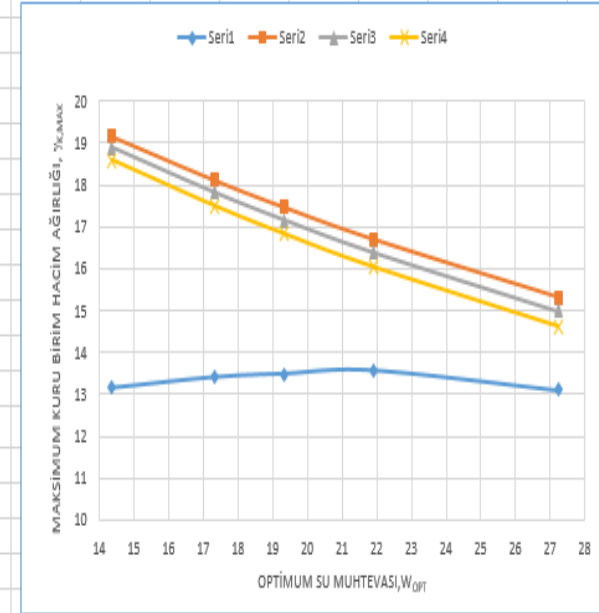
Deney No	1	2	3	4	5
Katılan Su	15	18	21	24	27
Kalıp Ağırlığı	473,81	473,81	473,81	473,81	473,81
Sıkıştırılm	579,35	582,48	584,87	587,5	589,44
Sıkıştırılm	105,54	108,67	111,06	113,69	115,63
Islak birim	1,54996	1,59593	1,63103	1,66965	1,69814
Kap No	51	181	97	157	205
Kap Ağırlığı	35,41	34,13	34,45	35,18	34,22
Kap + Yaş	75,02	73,1	73,47	69,48	73,95
Kap + Kur	69,81	67,34	67,15	63,38	65,42
Su Muhtesi	15,1453	17,3442	19,3272	21,6312	27,3397
Su Oranı	13,1532	14,7806	16,1968	17,7843	21,4699
Kuru Birim	13,2052	13,342	13,4088	13,4664	13,0822
Kap Hacmi	68,092	68,092	68,092	68,092	68,092
Su Muhtesi	15,1453	17,3442	19,3272	21,6312	27,3397
%0 Hava	18,8784	18,112	17,4723	16,7836	15,2902
%5 Hava	18,5932	17,8118	17,1614	16,4629	14,9548
%10 Hava	18,2862	17,4897	16,8286	16,1207	14,599
Kuru Birim	13,2052	13,342	13,4088	13,4664	13,0822



Optimum 21

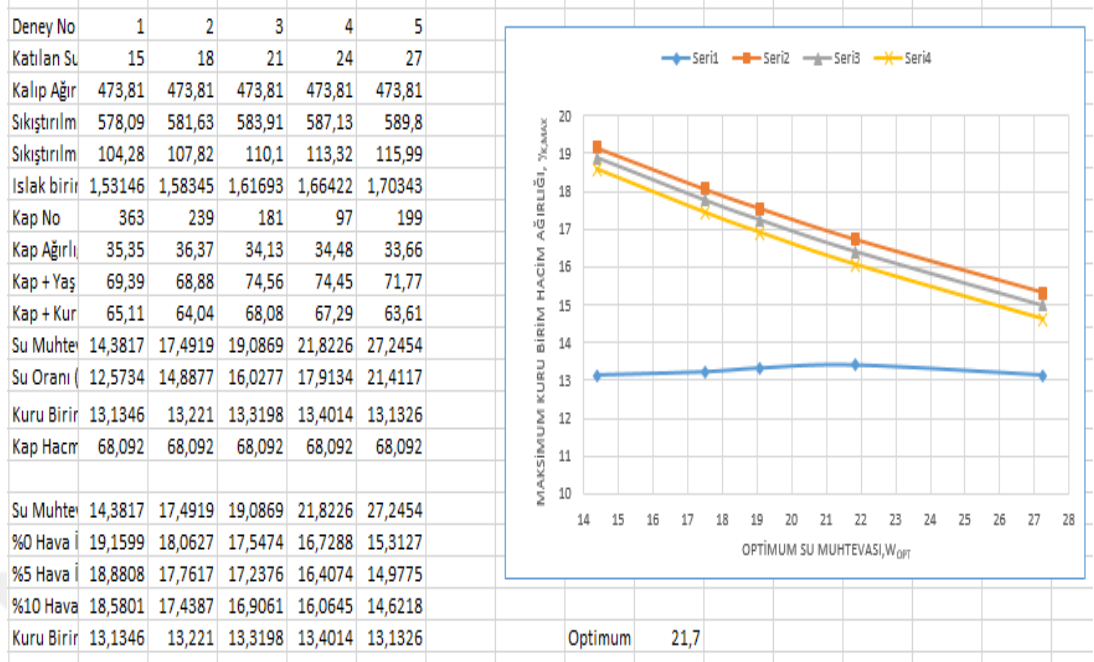
Şekil B.5. %8 hidrolik kireç katkı zemininin maksimum kuru birim hacim ağırlık-optimum su muhtevaşı grafiği

Deney No	1	2	3	4	5
Katılan Su	15	18	21	24	27
Kalıp Ağırlığı	473,81	473,81	473,81	473,81	473,81
Sıkıştırılm	578,28	582,99	585,51	588,54	589,44
Sıkıştırılm	104,47	109,18	111,7	114,73	115,63
Islak birim	1,53425	1,60342	1,64043	1,68493	1,69814
Kap No	221	201	9	91	239
Kap Ağırlığı	34,05	34,05	33,49	34,89	36,35
Kap + Yaş	71,15	73,11	71,63	76,45	72,52
Kap + Kur	66,49	67,34	65,45	68,98	64,78
Su Muhtesi	14,365	17,3325	19,3367	21,9126	27,2248
Su Oranı	12,5606	14,7721	16,2035	17,974	21,3989
Kuru Birim	13,1605	13,4059	13,485	13,5582	13,094
Kap Hacmi	68,092	68,092	68,092	68,092	68,092
Su Muhtesi	14,365	17,3325	19,3367	21,9126	27,2248
%0 Hava	19,1662	18,1159	17,4693	16,7032	15,3177
%5 Hava	18,8872	17,8158	17,1584	16,3815	14,9825
%10 Hava	18,5866	17,4937	16,8256	16,0383	14,6268
Kuru Birim	13,1605	13,4059	13,485	13,5582	13,094



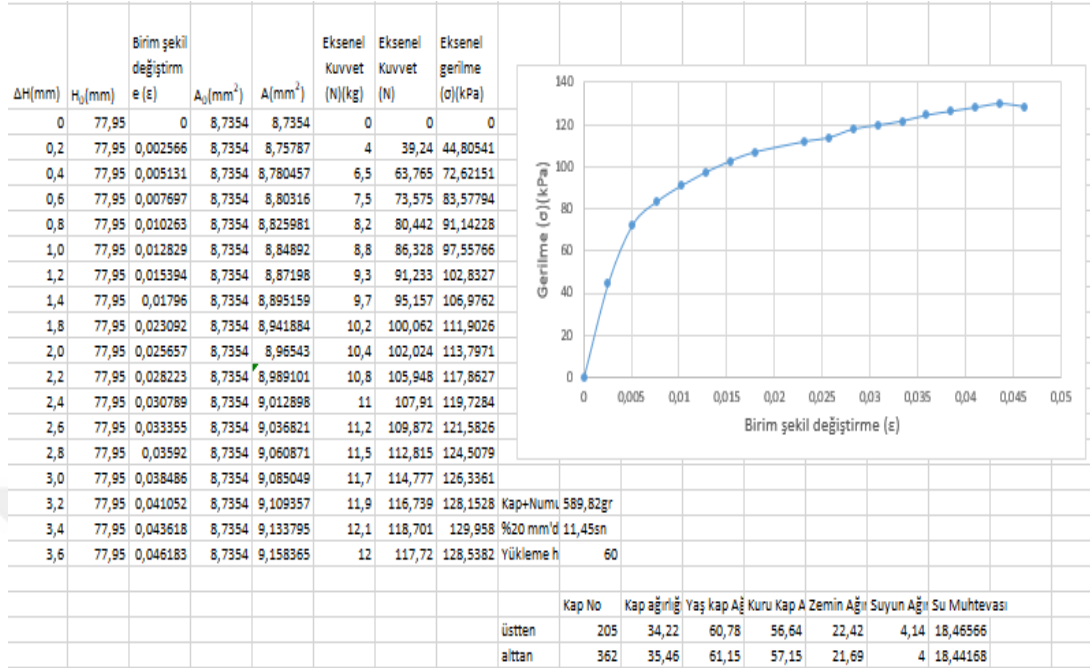
Optimum 21,3

Şekil B.6. %10 hidrolik kireç katkı zemininin maksimum kuru birim hacim ağırlık-optimum su muhtevaşı grafiği

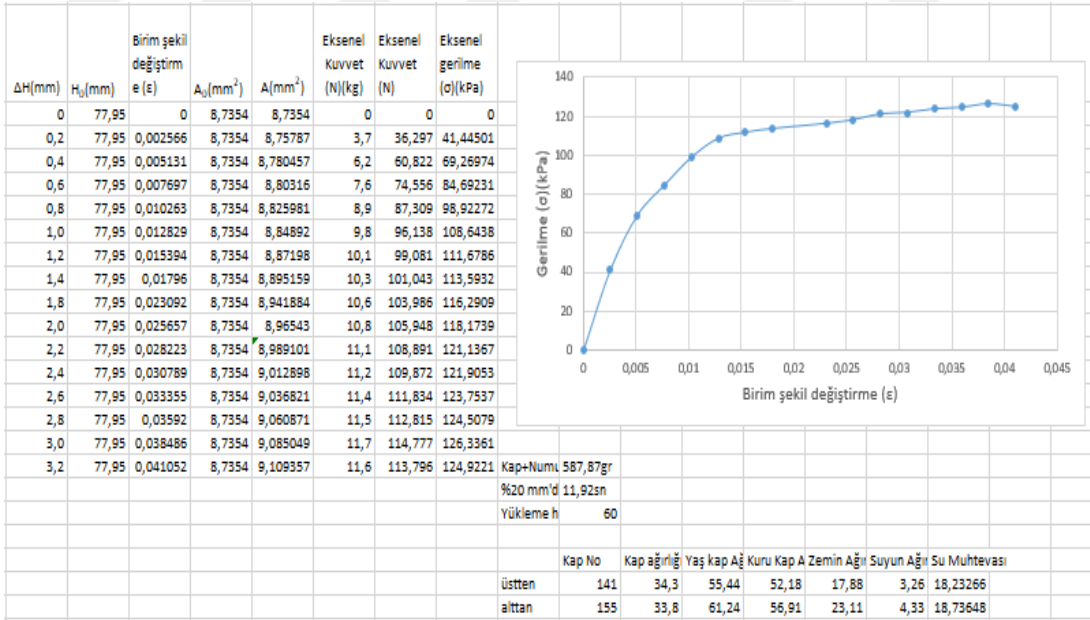


Şekil B.7. %12 hidrolik kireç katkızeminin maksimum kuru birim hacim ağırlık-optimumsu muhtevası grafiği

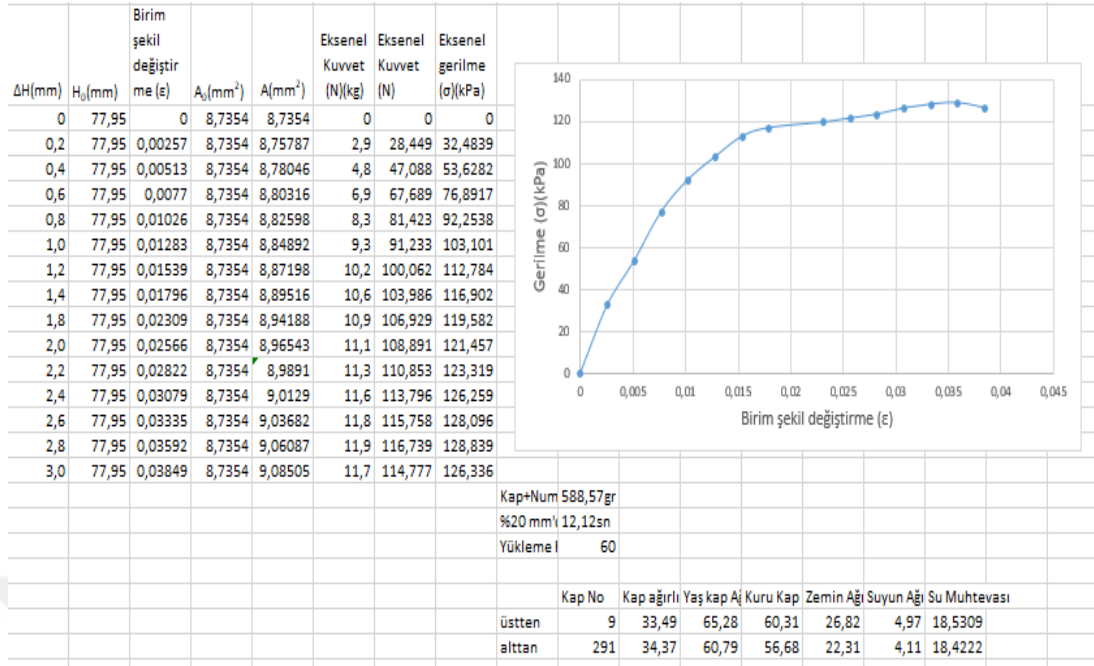
Ek-C Serbest Basınç Deneyleri



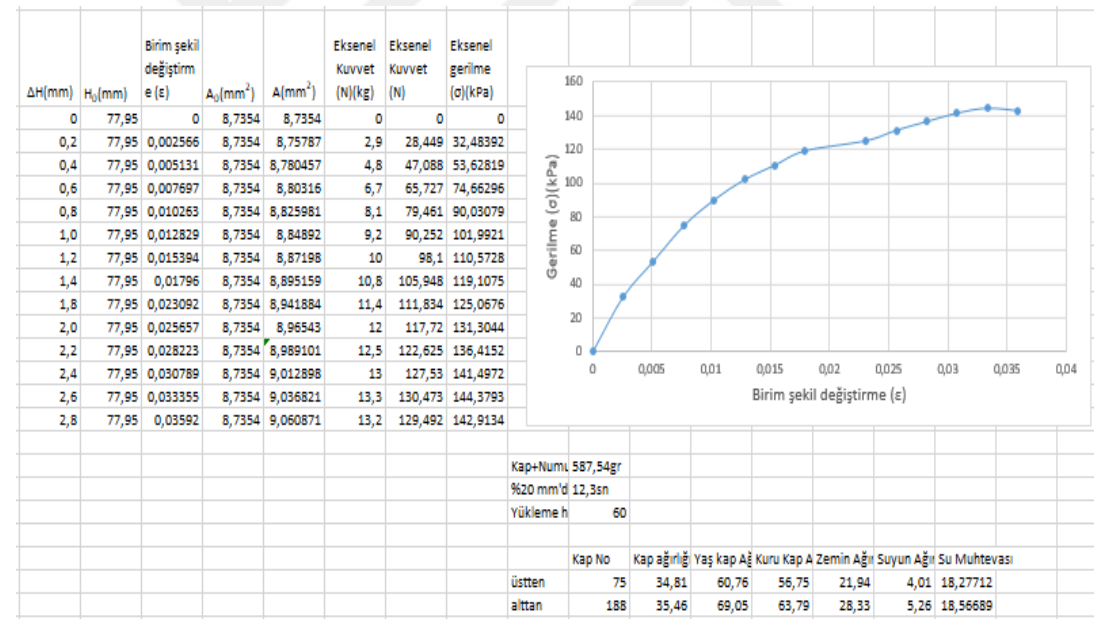
Şekil C.1.katkısız zeminin 0 günlük serbest basınç deneyi 1



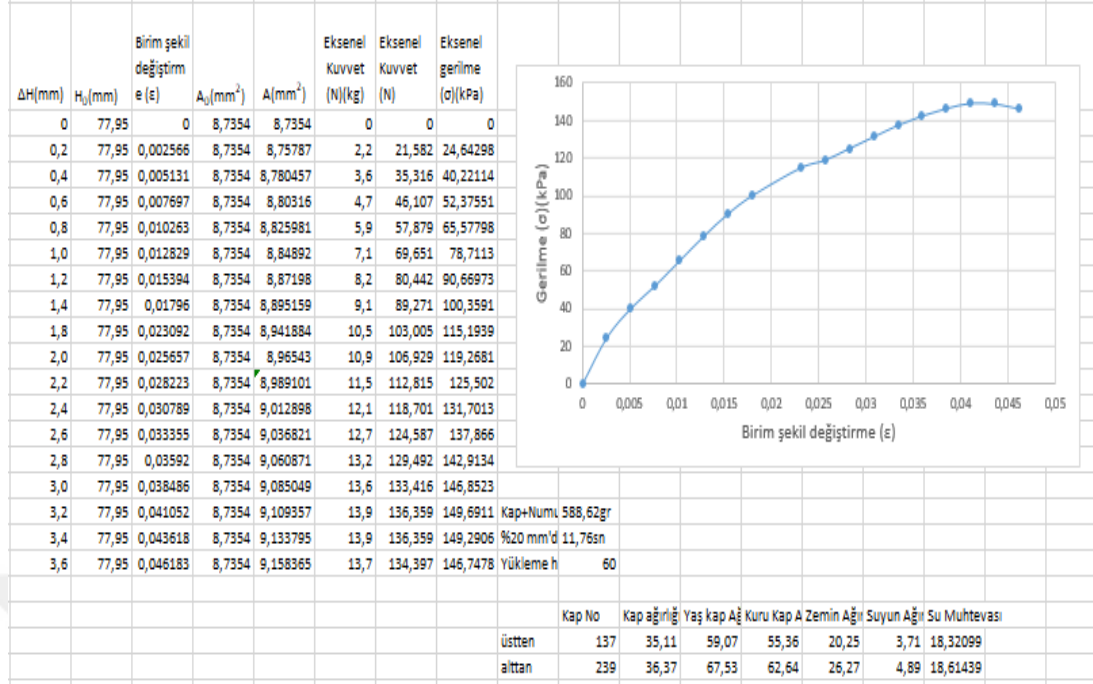
Şekil C.2.katkısız zeminin 0 günlük serbest basınç deneyi 2



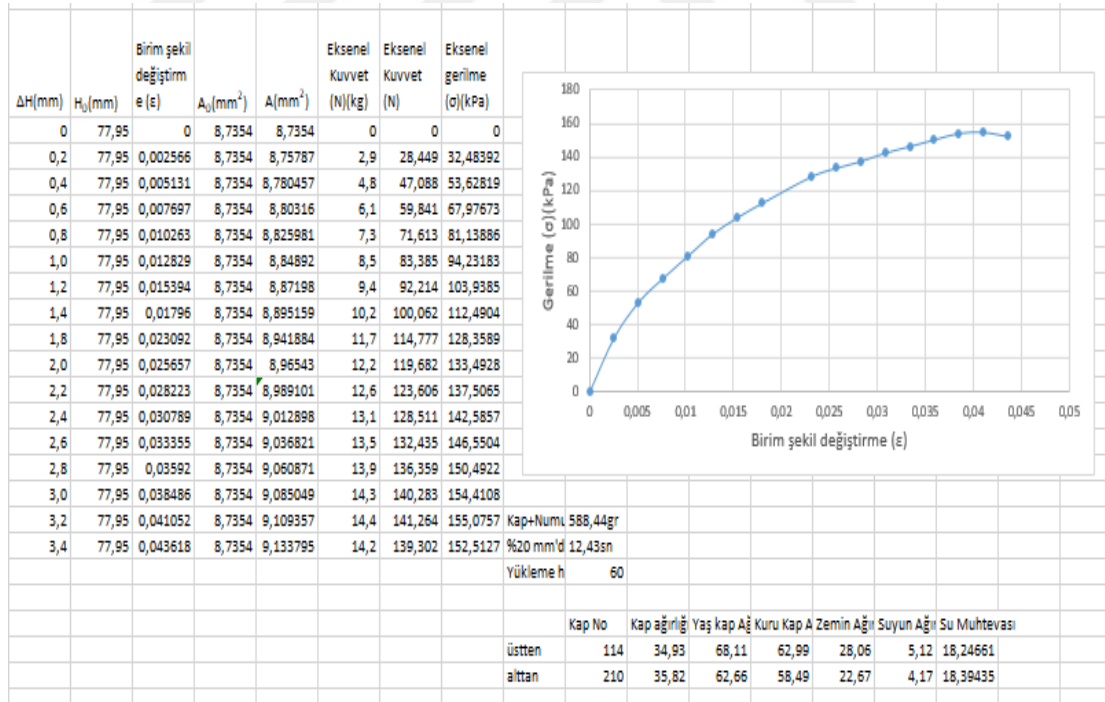
Şekil C.3.katkısız zeminin 0 günlük serbest basınç deneyi 3



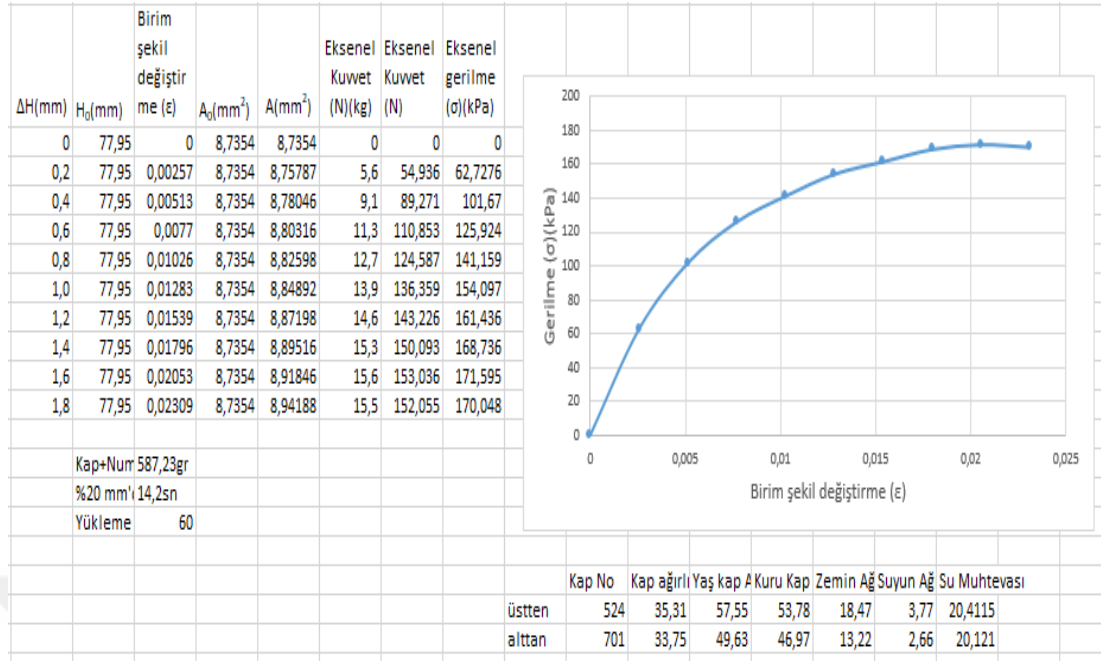
Şekil C.4.katkısız zeminin 1günlük serbest basınç deneyi 1



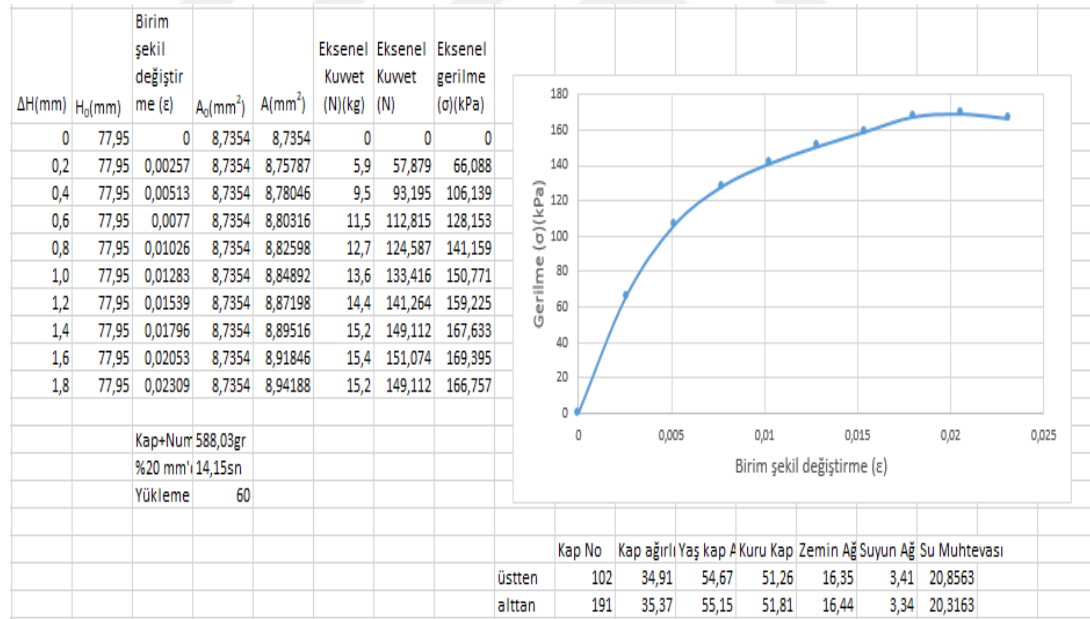
Şekil C.5.katkısız zeminin 1günlük serbest basınç deneyi 2



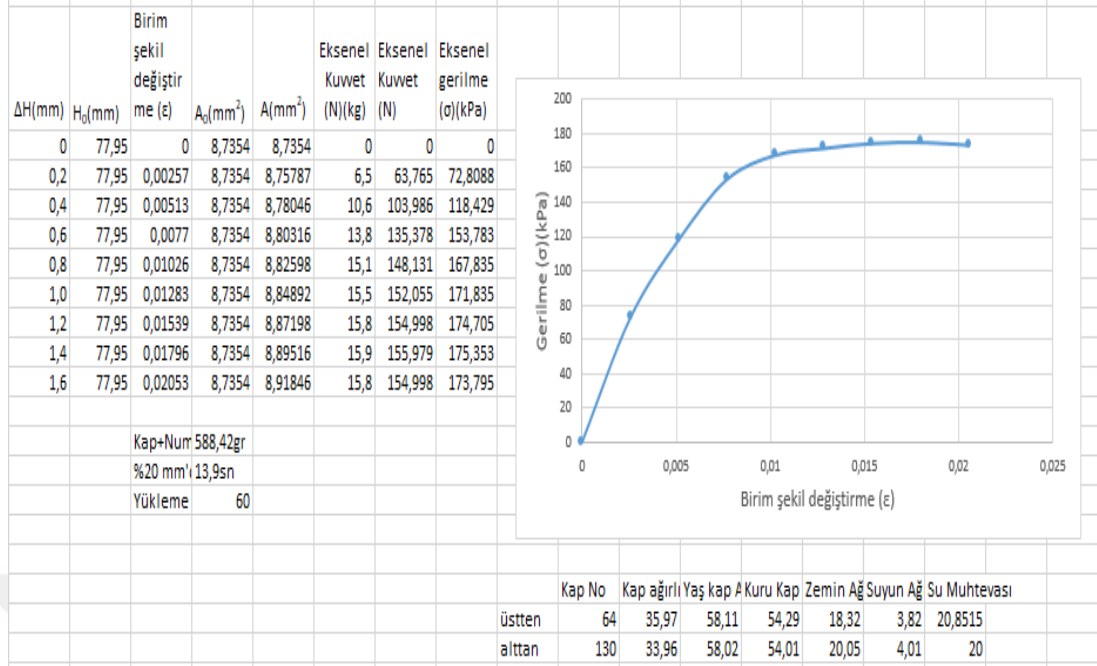
Şekil C.6.katkısız zeminin 1günlük serbest basınç deneyi 3



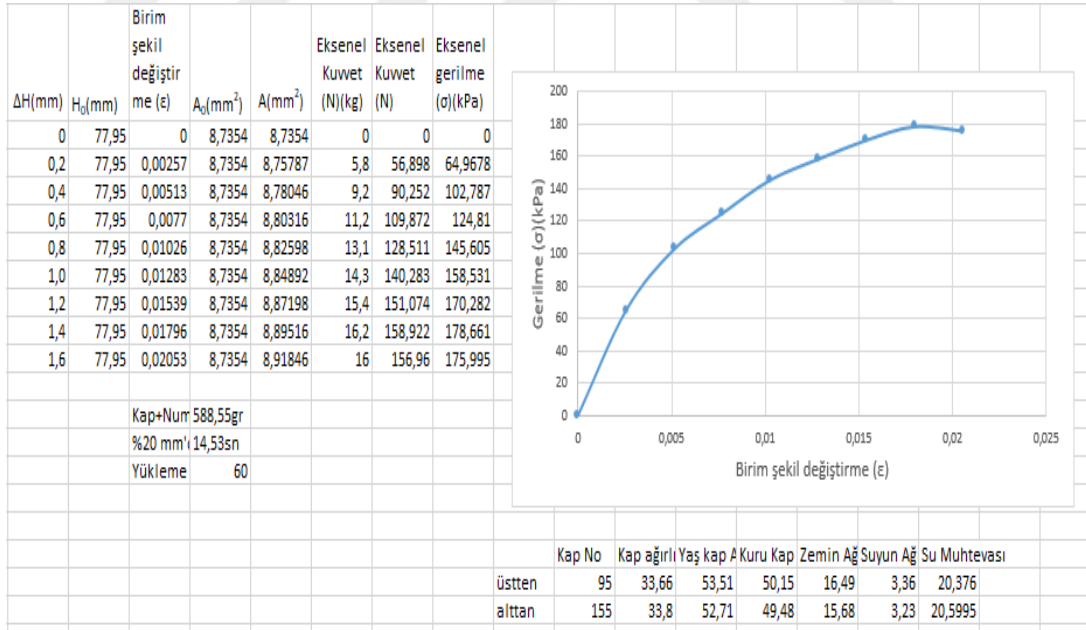
Şekil C.7. %8 sönmemiş kireç katkılızeminin 0 günlük serbest basınç deneyi 1



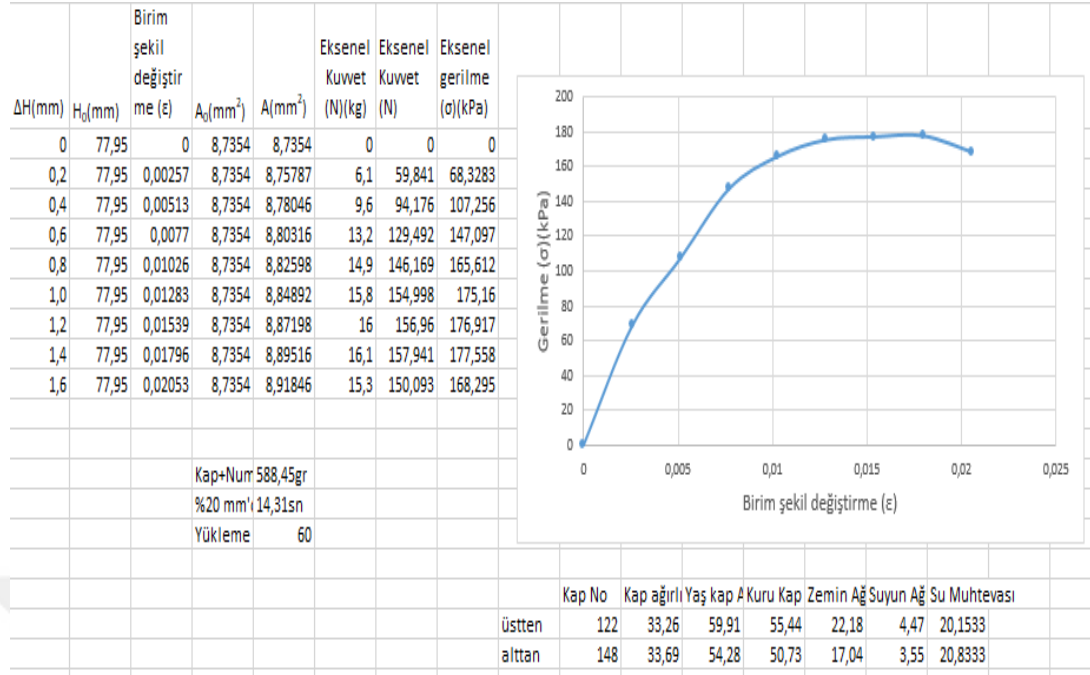
Şekil C.8. %8 sönmemiş kireç katkılızeminin 0 günlük serbest basınç deneyi 2



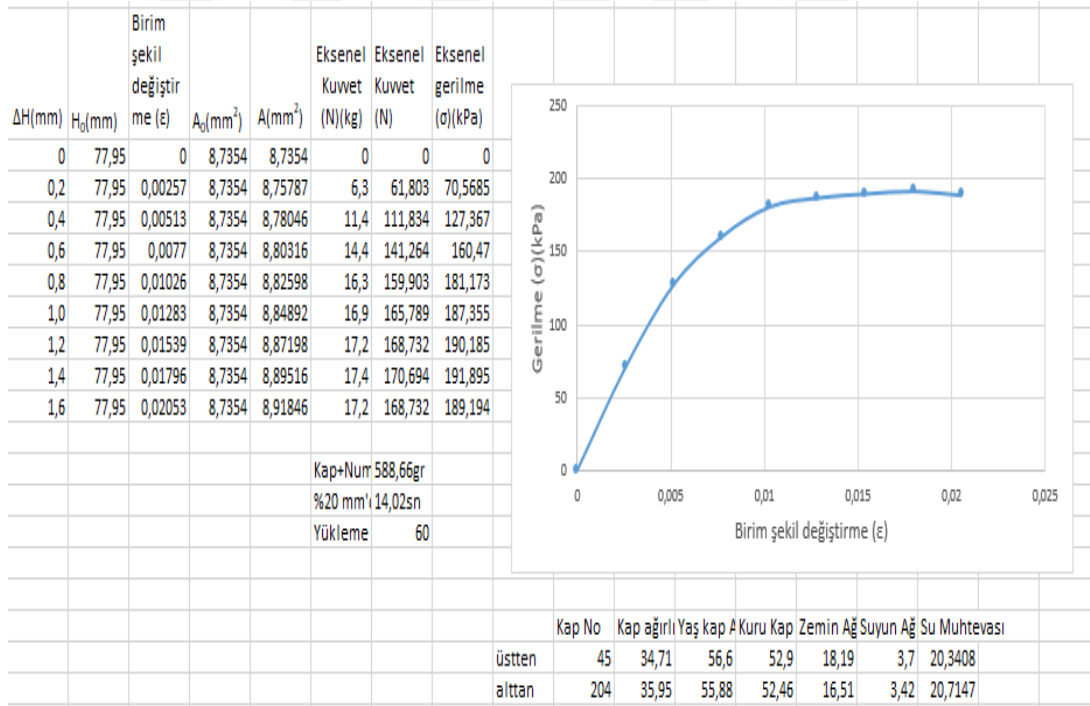
Şekil C.9. %8 sönmemiş kireç katkılızeminin 0 günlük serbest basınç deneyi 3



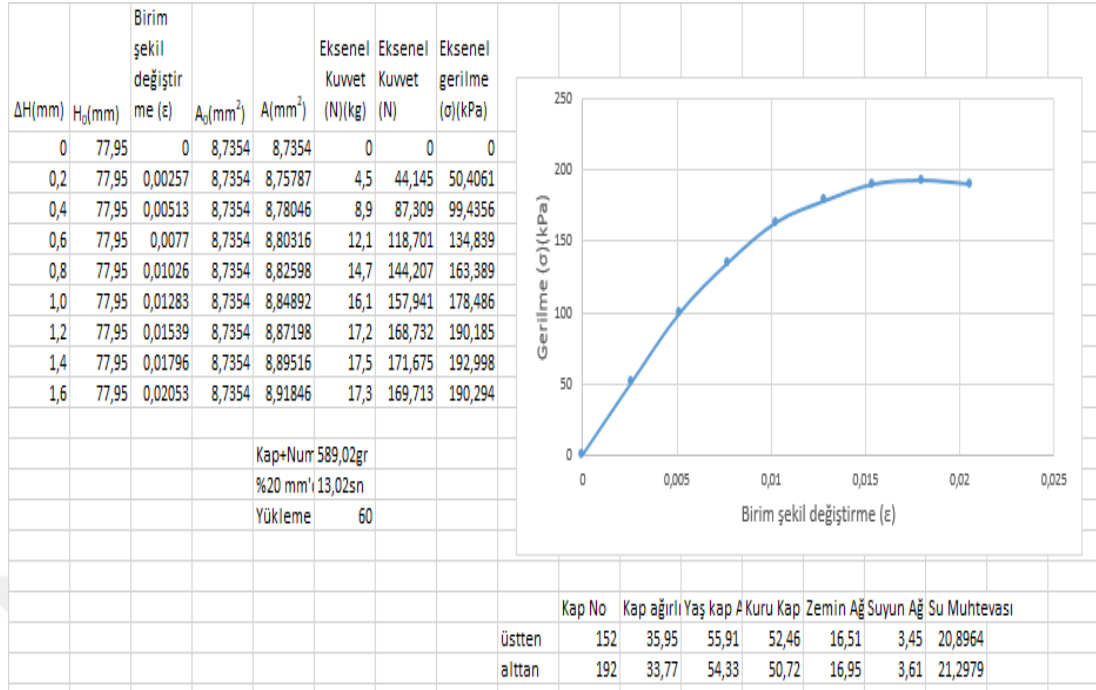
Şekil C.10. %10 sönmemiş kireç katkılızeminin 0 günlük serbest basınç deneyi 1



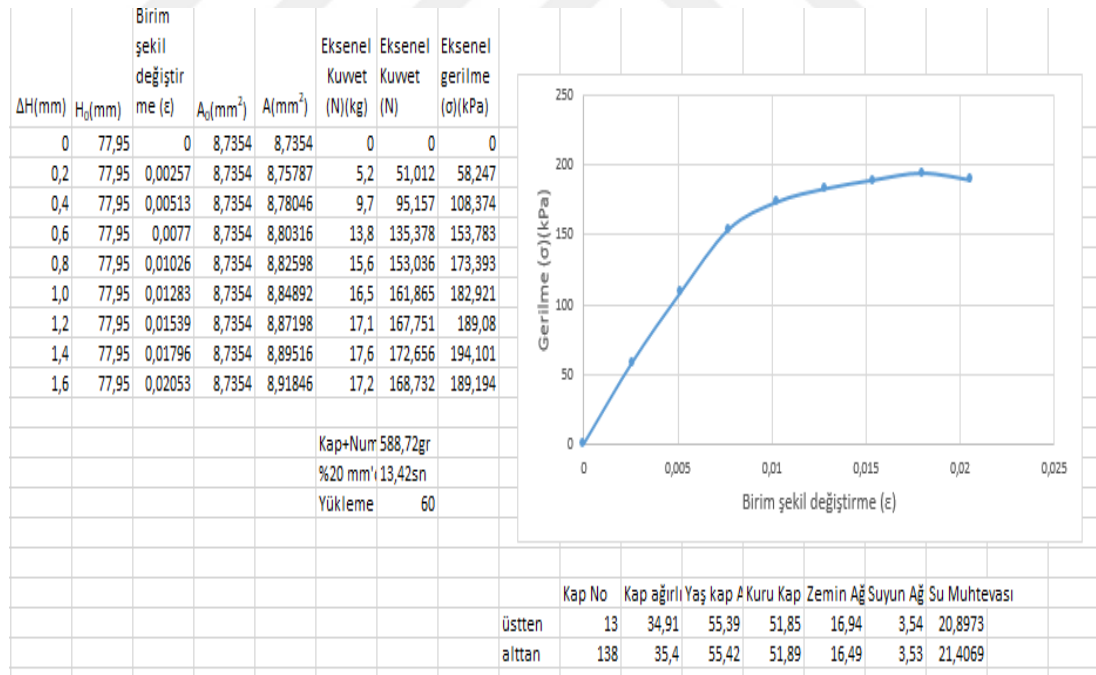
Şekil C.11. %10 sönmemiş kireç katkılı zeminin 0 günlük serbest basınç deneyi 2



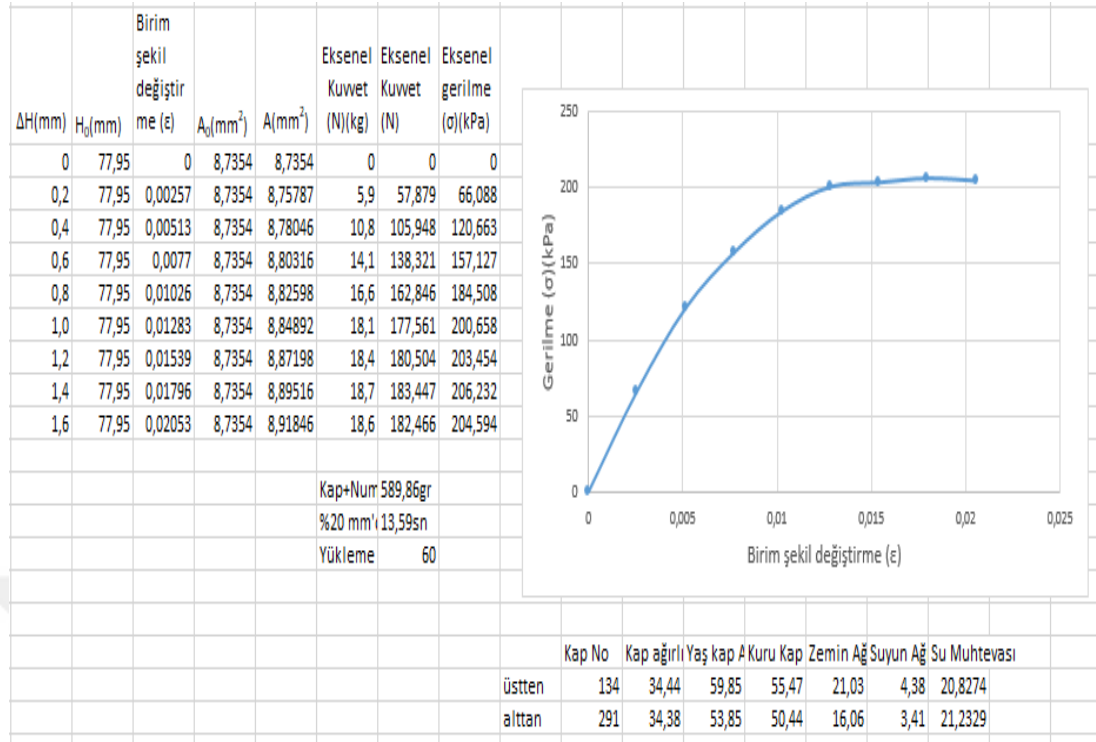
Şekil C.12. %10 sönmemiş kireç katkılı zeminin 0 günlük serbest basınç deneyi 3



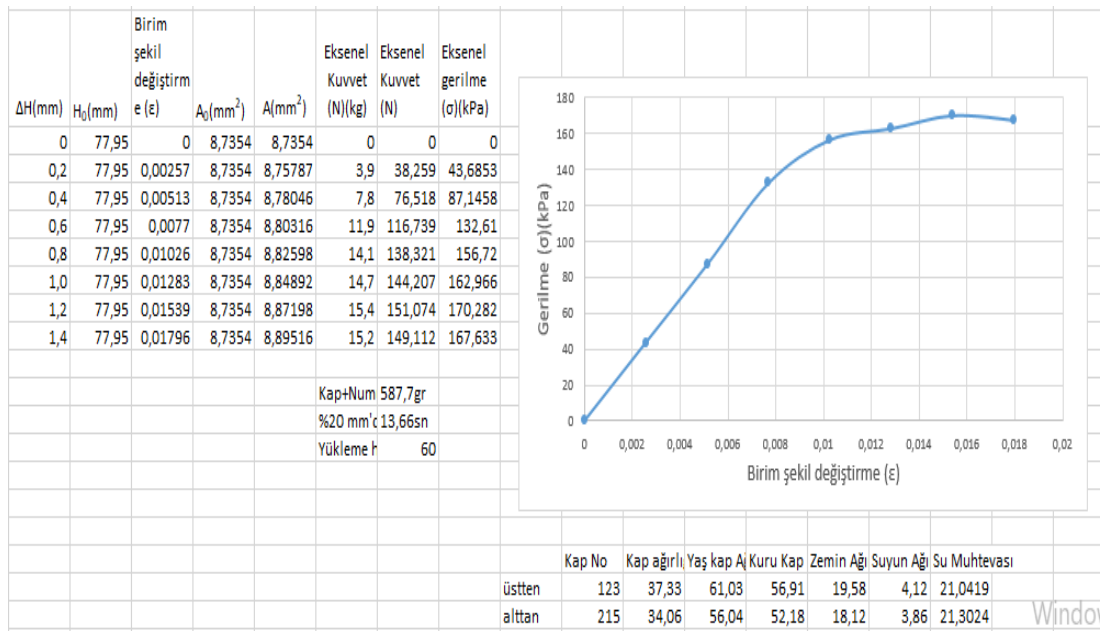
Şekil C.13. %12 sönmemiş kireç katkı zeminin 0 günlük serbest basınç deneyi 1



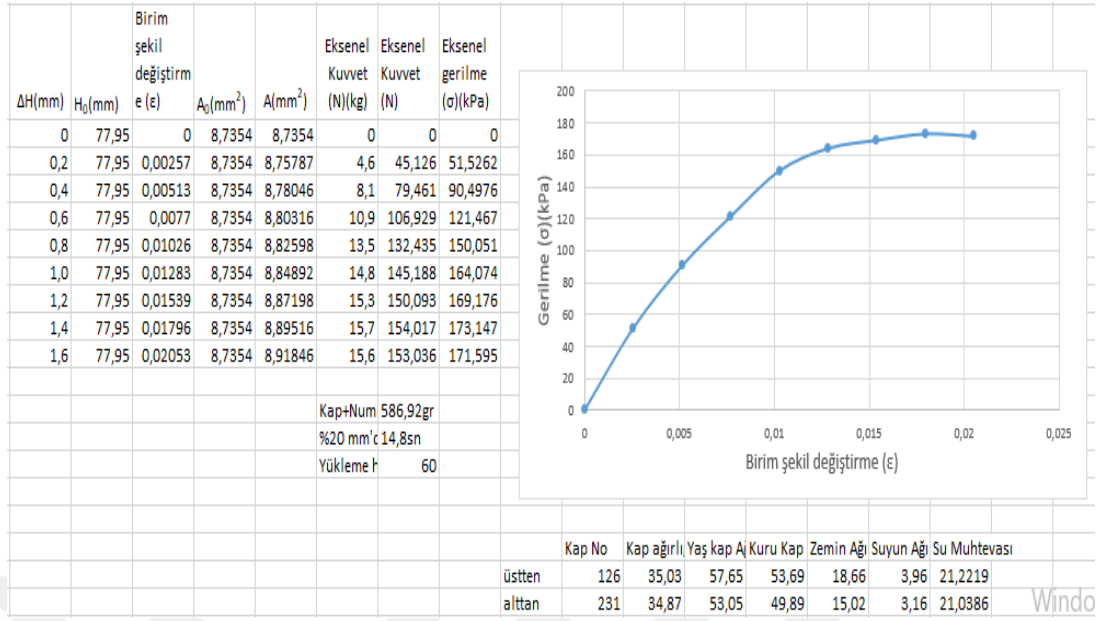
Şekil C.14. %12 sönmemiş kireç katkı zeminin 0 günlük serbest basınç deneyi 2



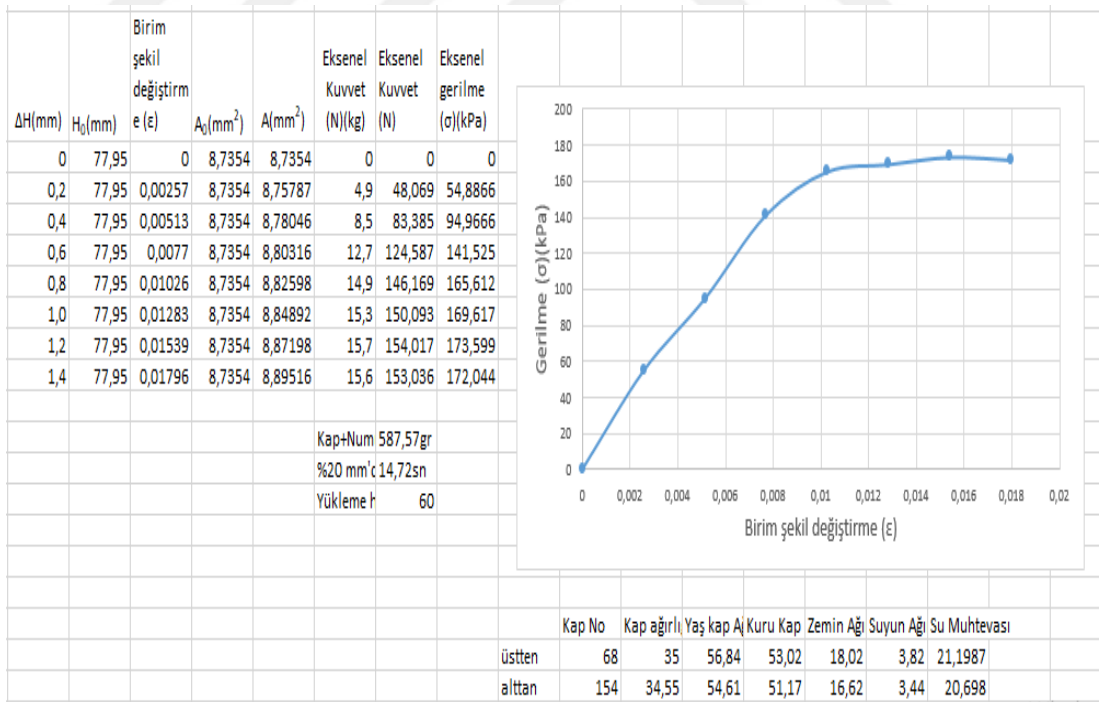
Şekil C.15. %12 sönmemiş kireç katkılı zeminin 0 günlük serbest basınç deneyi 3



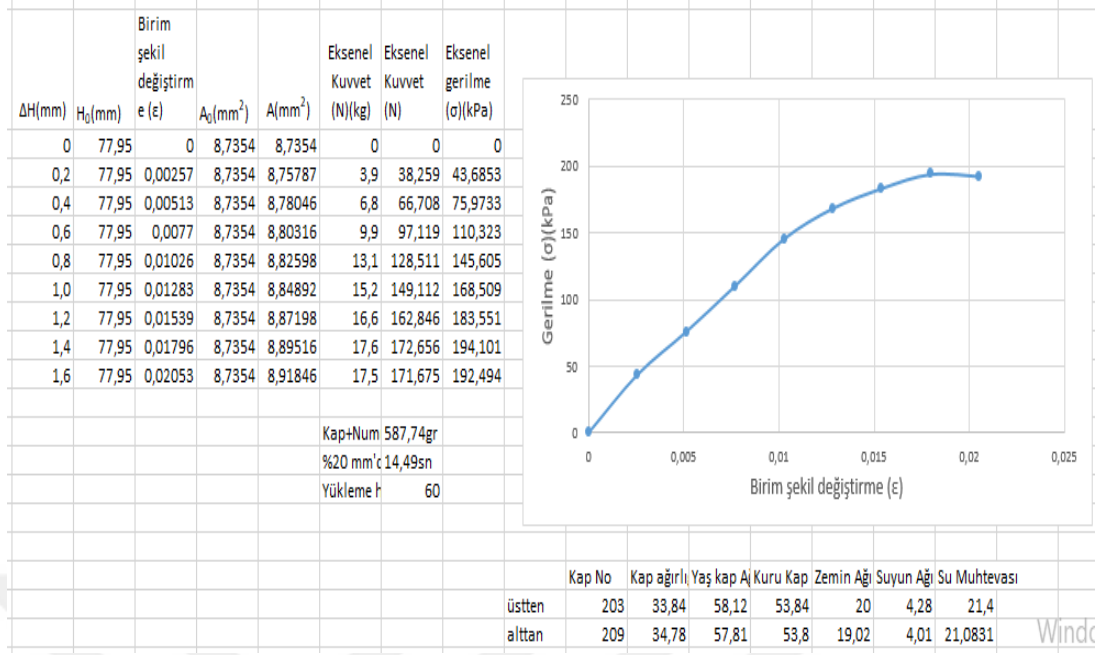
Şekil C.16. %8 hidrolik kireç katkılı zeminin 0 günlük serbest basınç deneyi 1



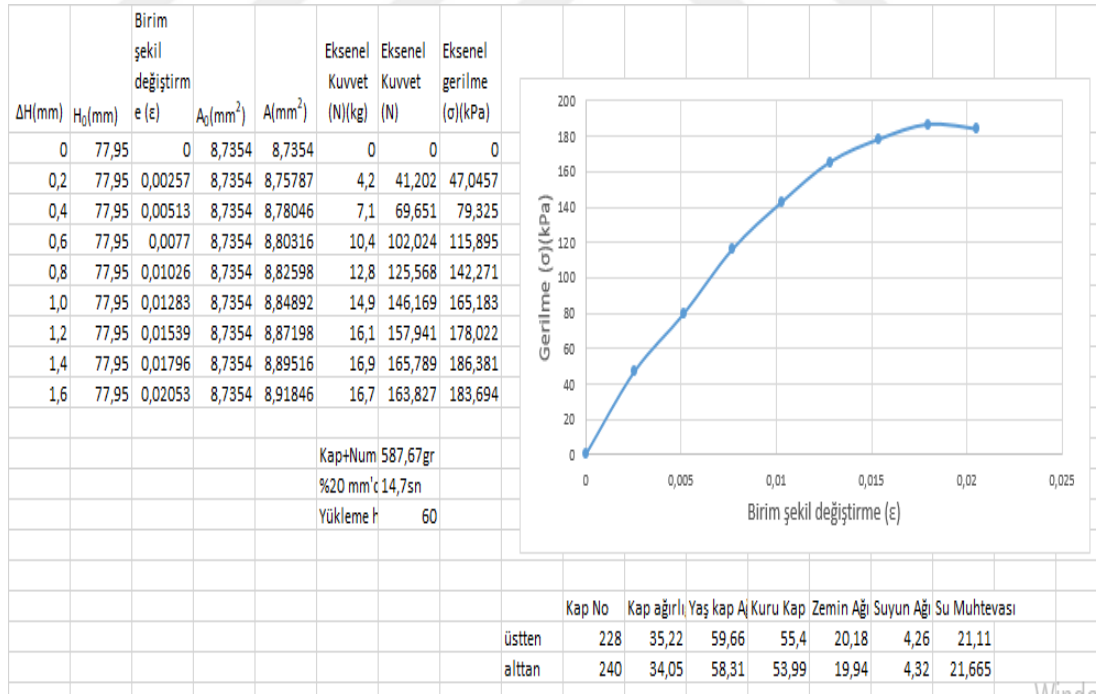
Şekil C.17. %8 hidrolik kireç katkılızeminin 0 günlük serbest basınç deneyi 2



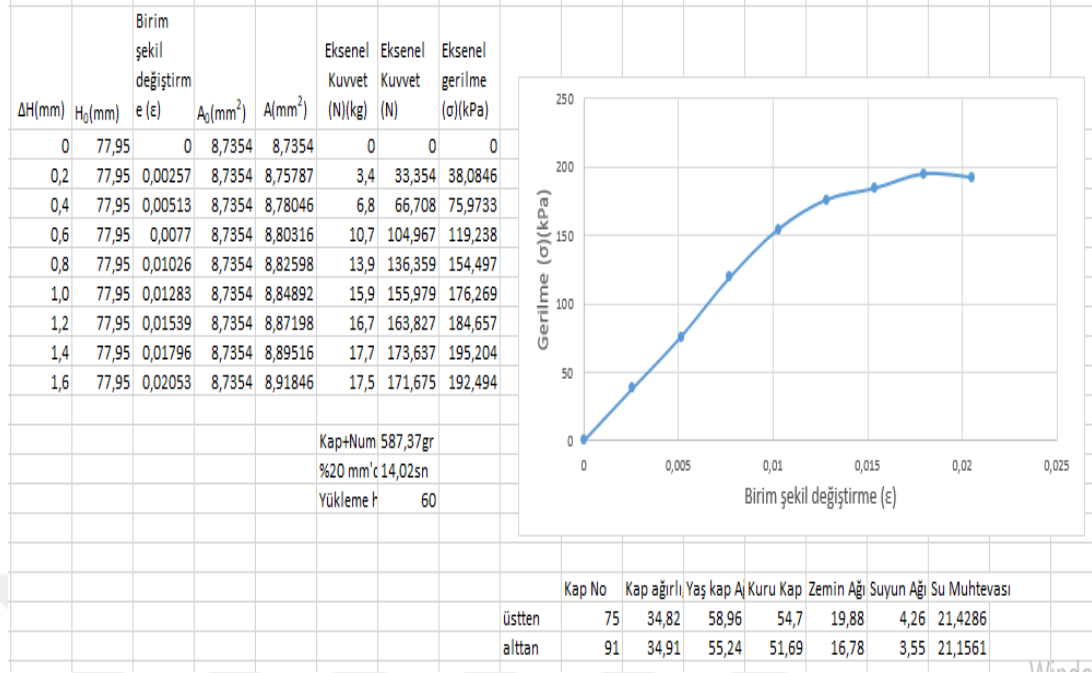
Şekil C.18. %8 hidrolik kireç katkılızeminin 0 günlük serbest basınç deneyi 3



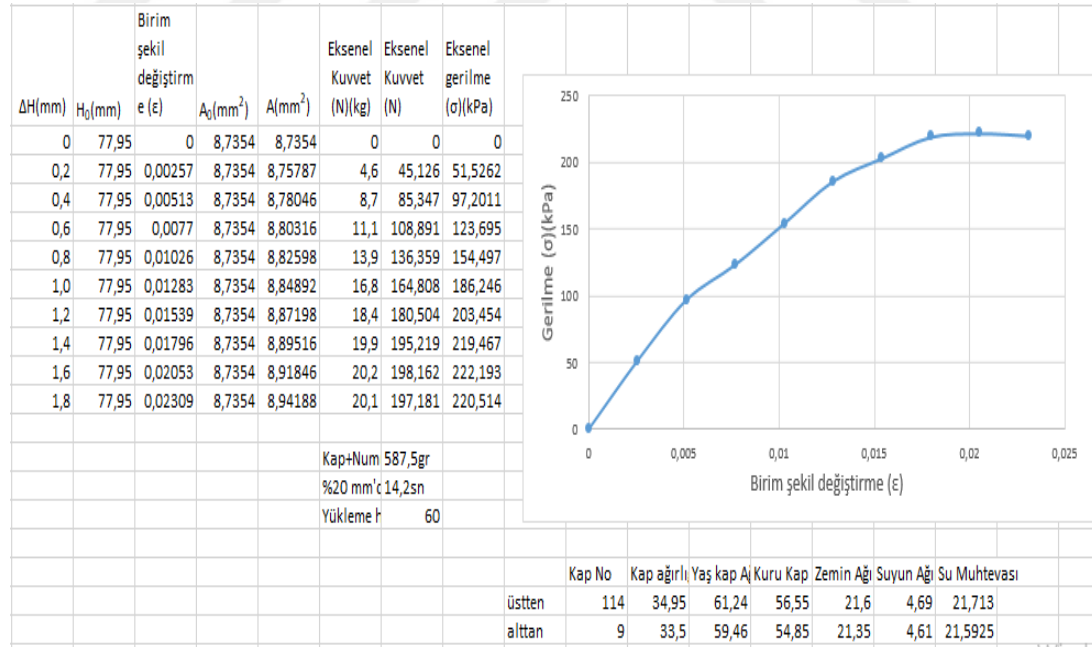
Şekil C.19. %10 hidrolik kireç katkılı zeminin 0 günlük serbest basınç deneyi 1



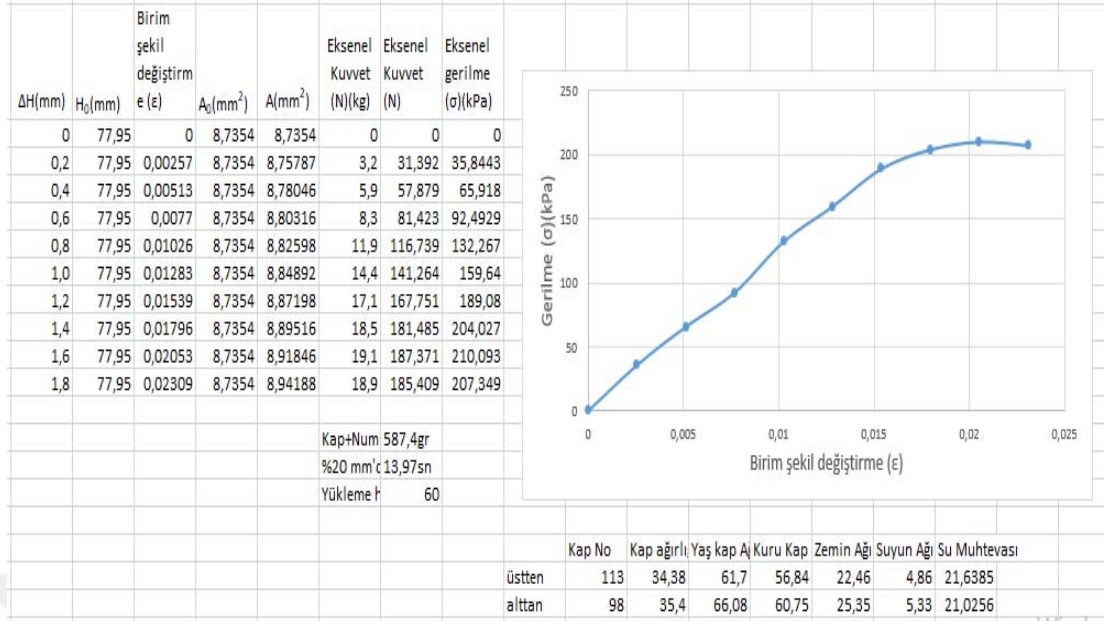
Şekil C.20. %10 hidrolik kireç katkılı zeminin 0 günlük serbest basınç deneyi 2



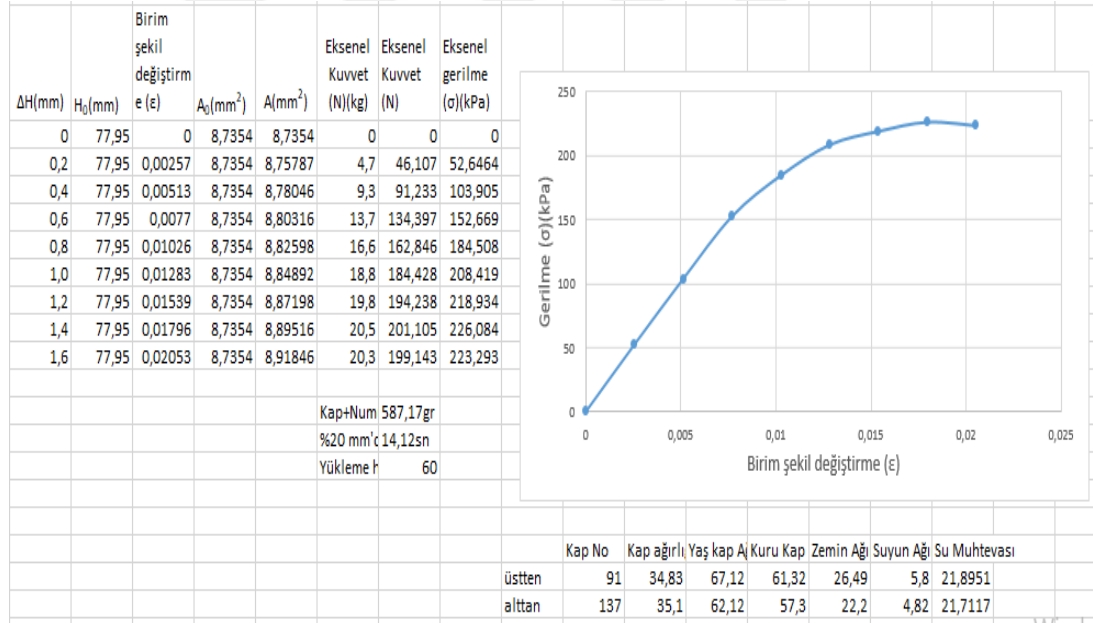
Şekil C.21. %10 hidrolik kireç katkılızeminin 0 günlük serbest basınç deneyi 3



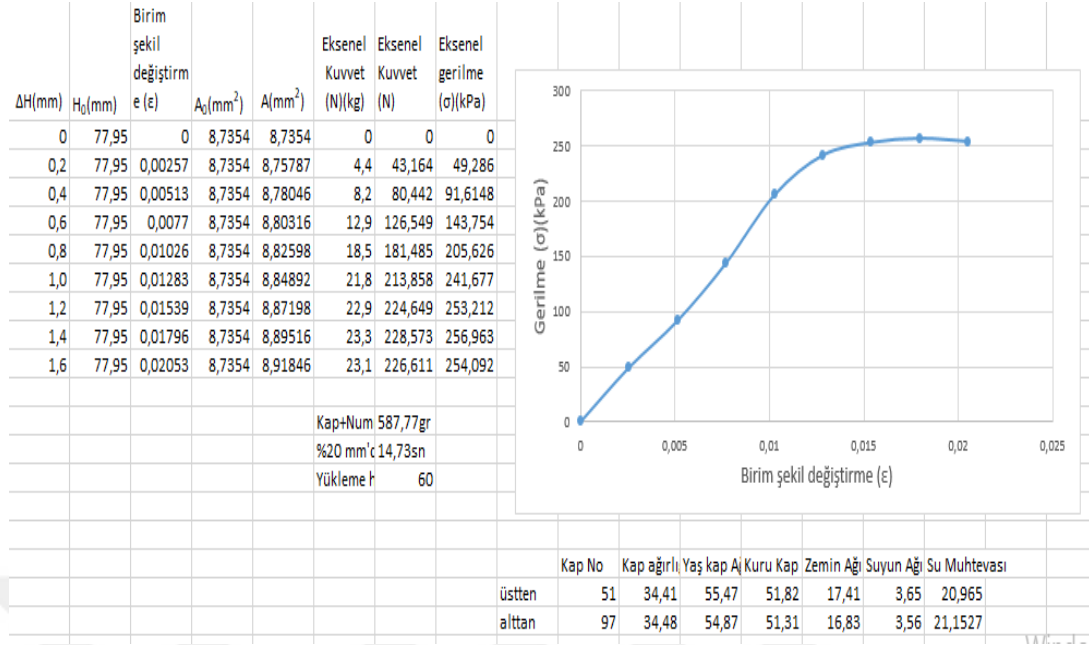
Şekil C.22. %12 hidrolik kireç katkılızeminin 0 günlük serbest basınç deneyi 1



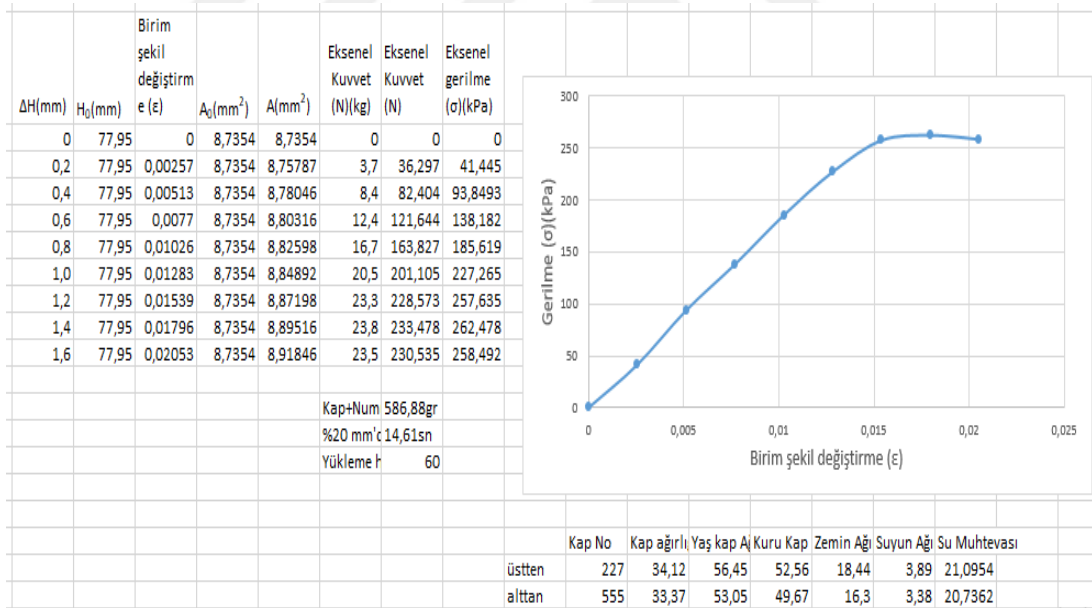
Şekil C.23. %12 hidrolik kireç katkılızeminin 0 günlük serbest basınç deneyi 2



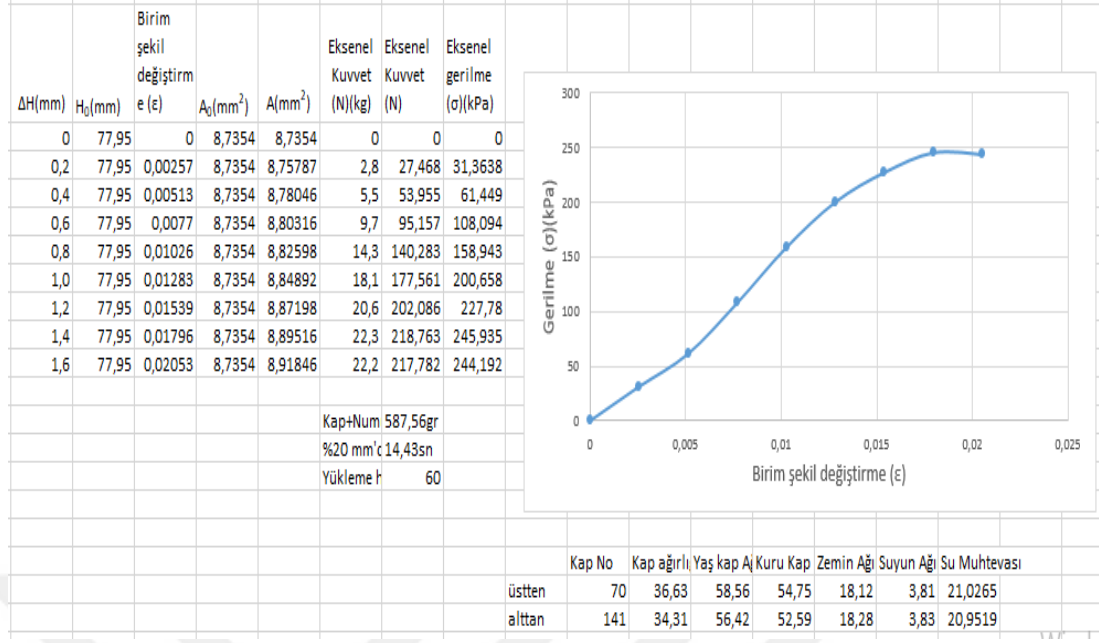
Şekil C.24. %12 hidrolik kireç katkılızeminin 0 günlük serbest basınç deneyi 3



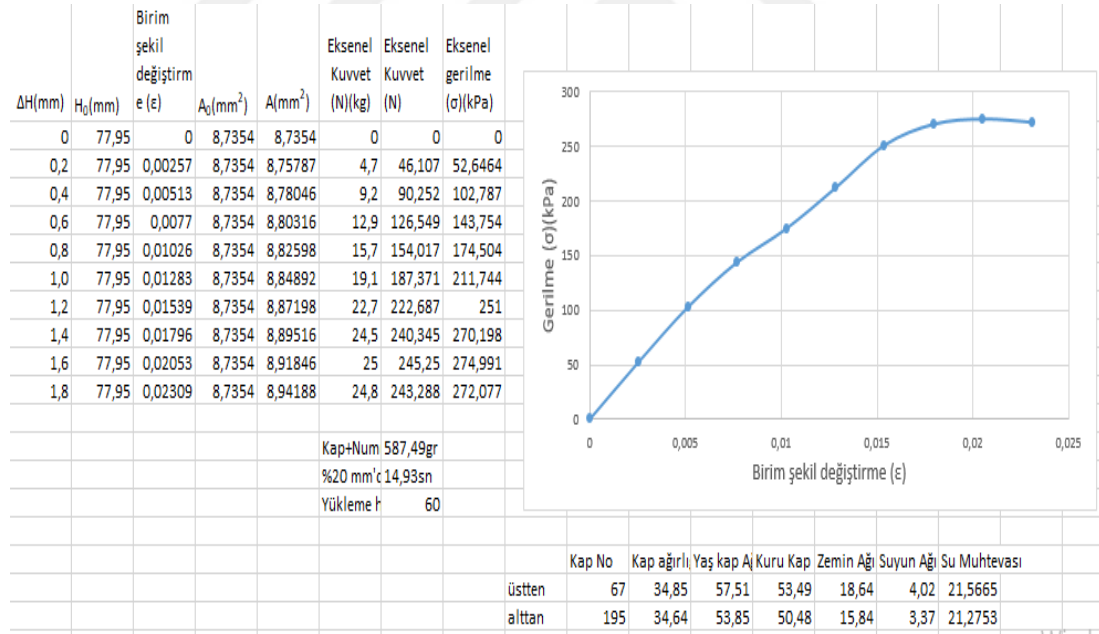
Şekil C.25. %8 hidrolik kireç katkılızeminin 1 günlük serbest basınç deneyi 1



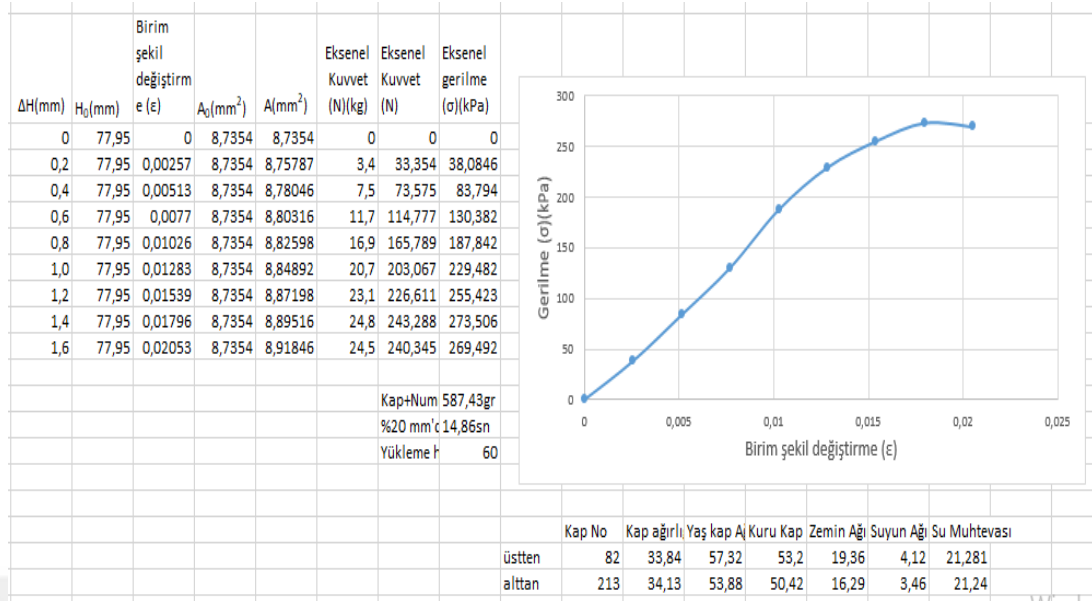
Şekil C.26. %8 hidrolik kireç katkılızeminin 1 günlük serbest basınç deneyi 2



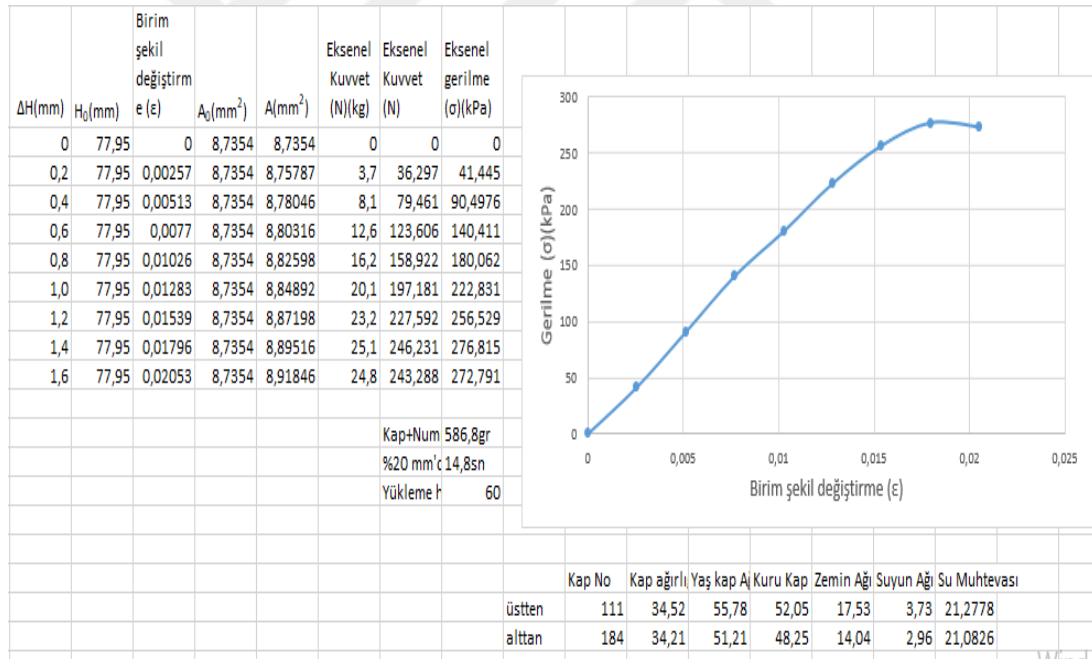
Şekil C.27. %8 hidrolik kireç katkılızeminin 1 günlük serbest basınç deneyi 3



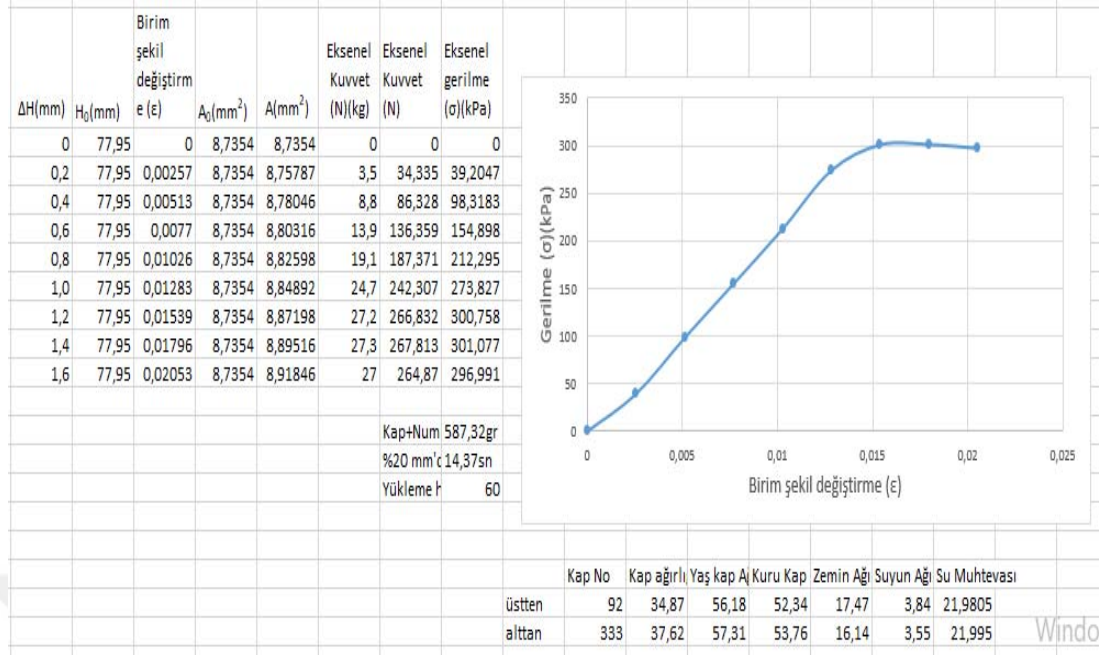
Şekil C.28. %10 hidrolik kireç katkılızeminin 1 günlük serbest basınç deneyi 1



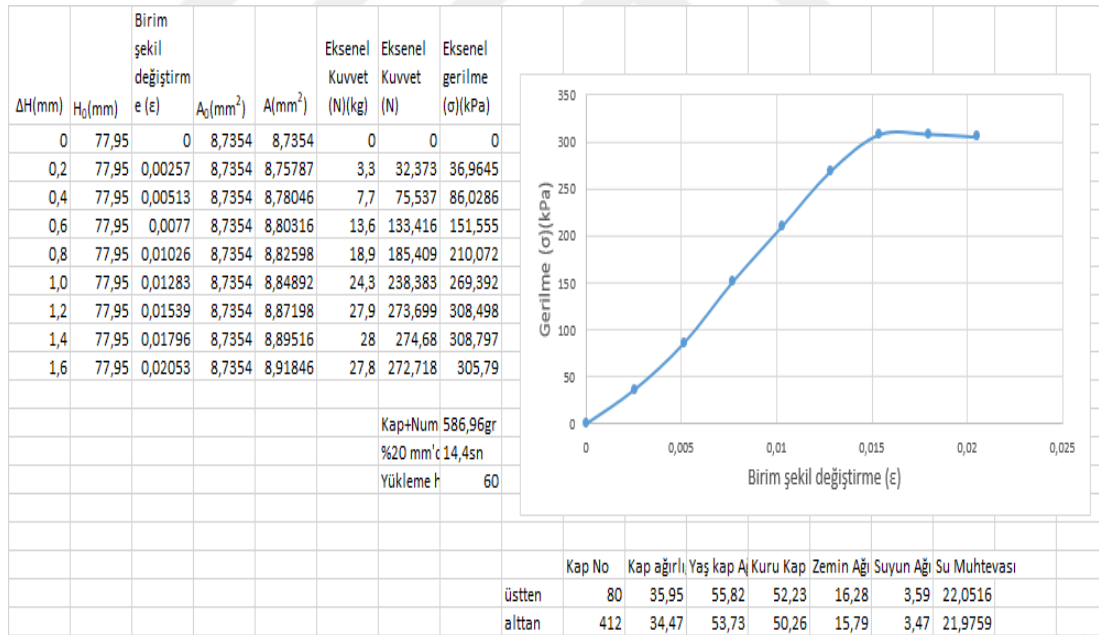
Şekil C.29. %10 hidrolik kireç katkılızeminin 1 günlük serbest basınç deneyi 2



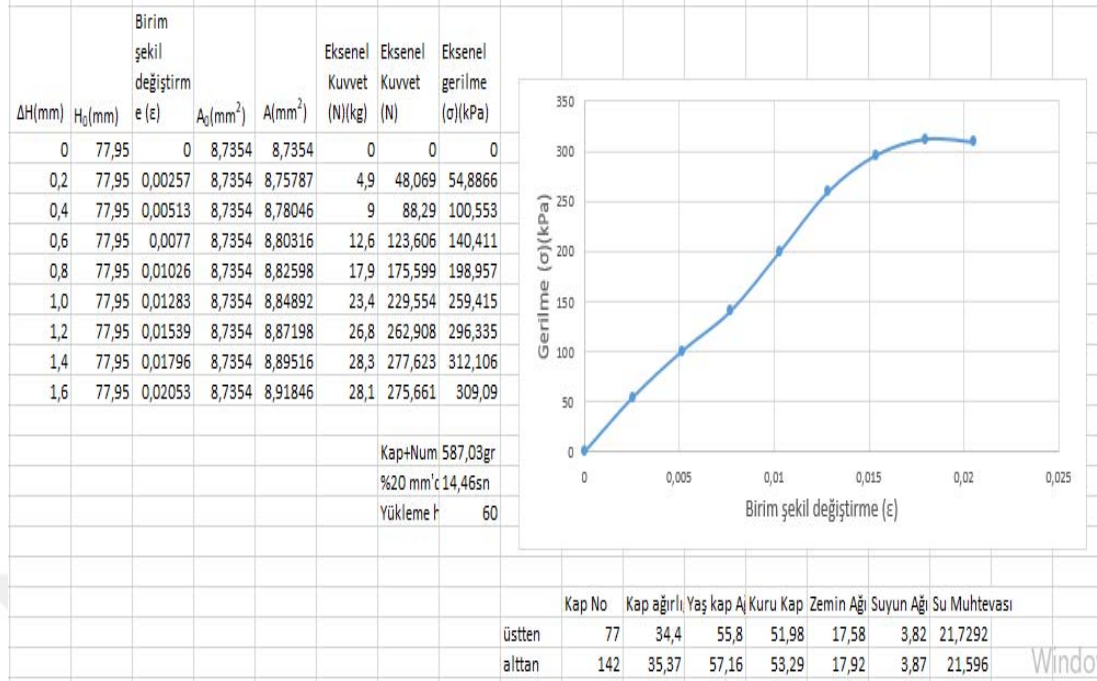
Şekil C.30. %10 hidrolik kireç katkılızeminin 1 günlük serbest basınç deneyi 3



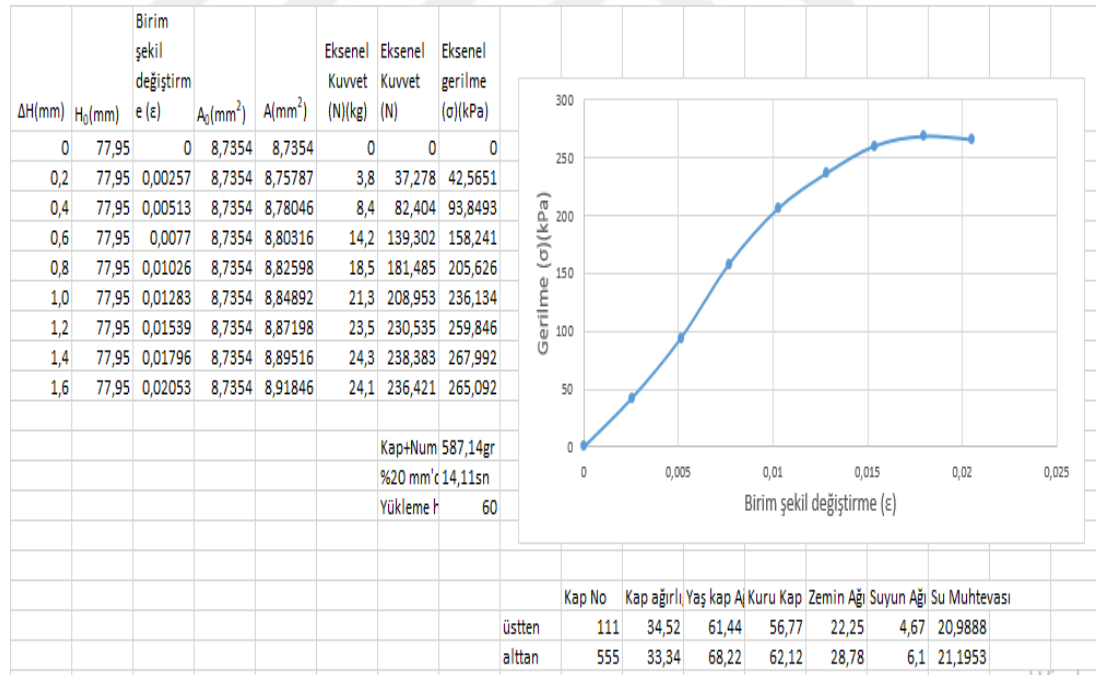
Şekil C.31. %12 hidrolik kireç katkılı zeminin 1 günlük serbest basınç deneyi 1



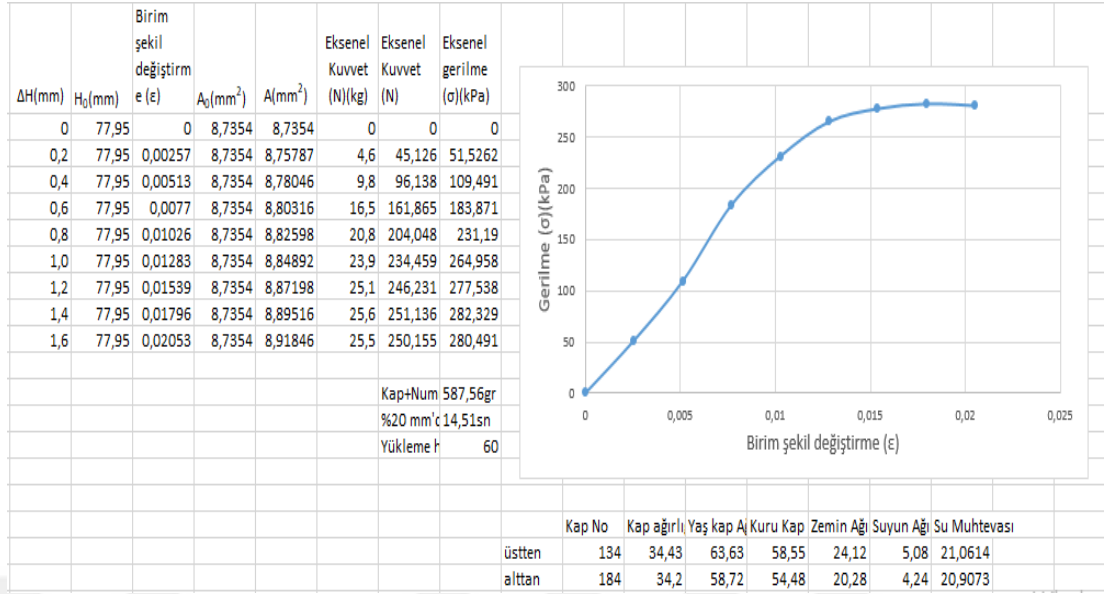
Şekil C.32. %12 hidrolik kireç katkılı zeminin 1 günlük serbest basınç deneyi 2



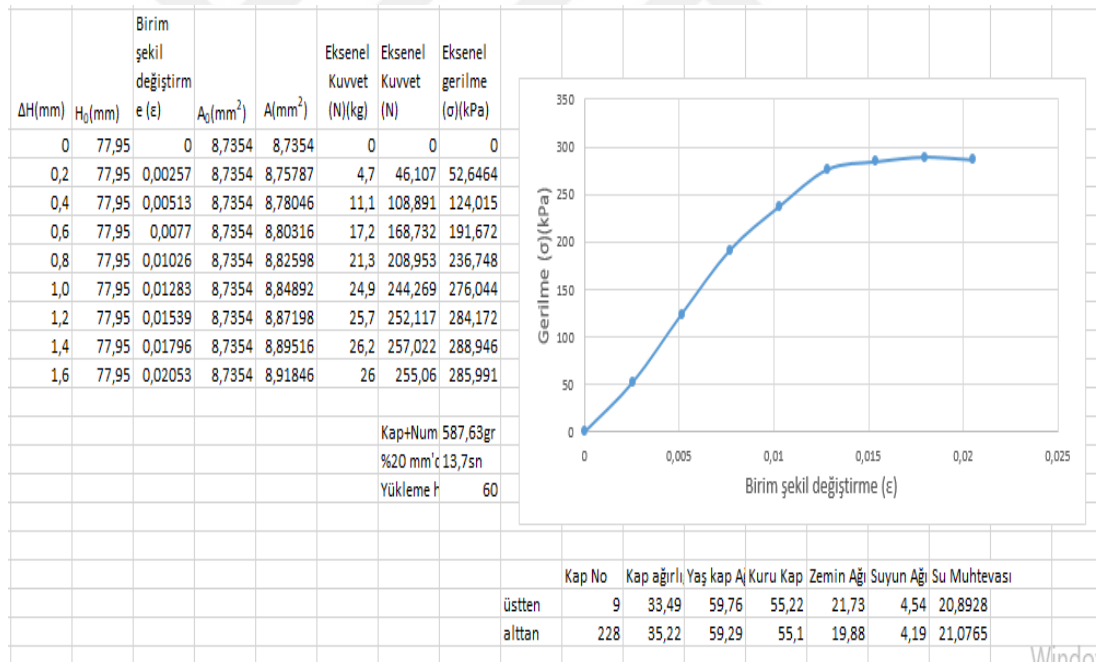
Şekil C.33. %12 hidrolik kireç katkılızeminin 1 günlük serbest basınç deneyi 3



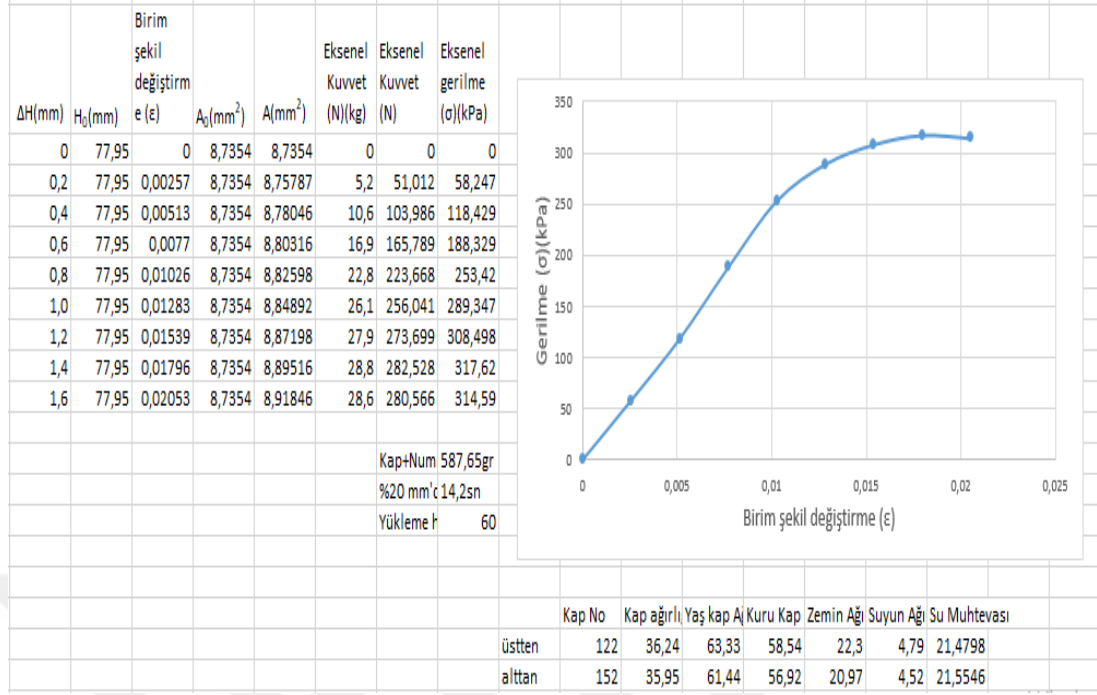
Şekil C.34. %8 hidrolik kireç katkılızeminin 7 günlük serbest basınç deneyi 1



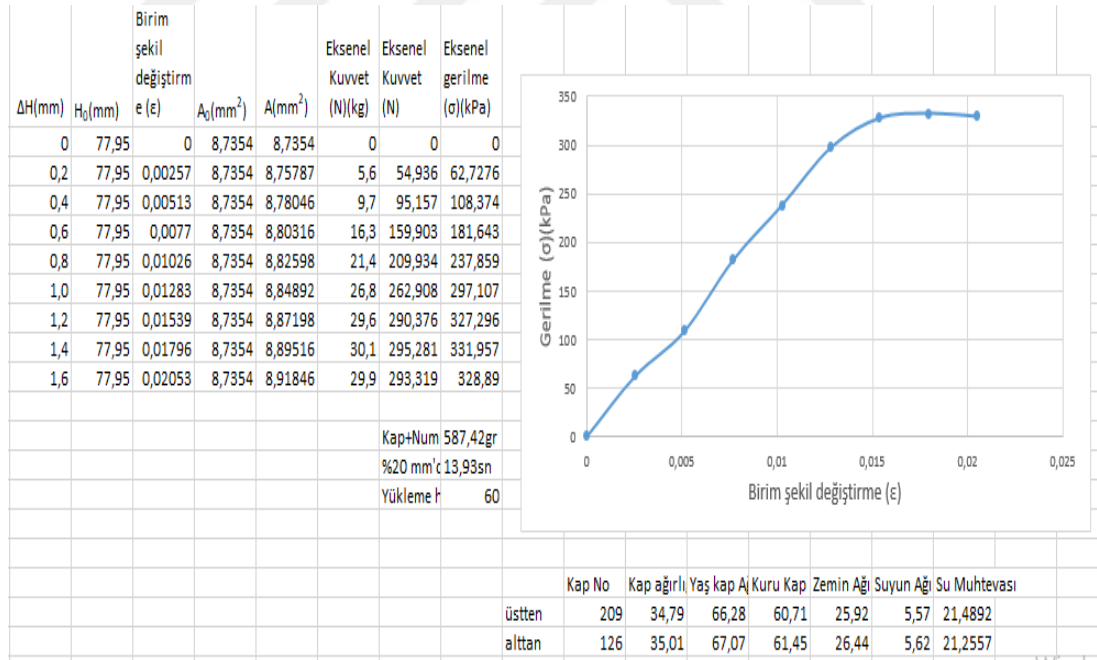
Şekil C.35. %8 hidrolik kireç katkılı zeminin 7 günlük serbest basınç deneyi 2



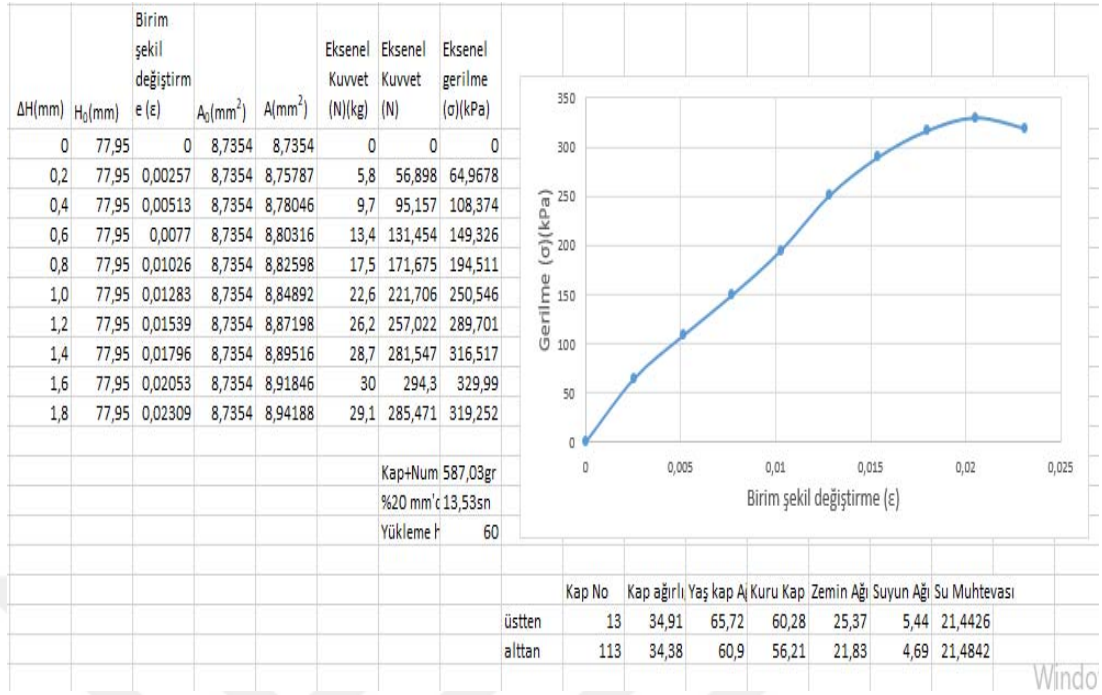
Şekil C.36. %8 hidrolik kireç katkılı zeminin 7 günlük serbest basınç deneyi 3



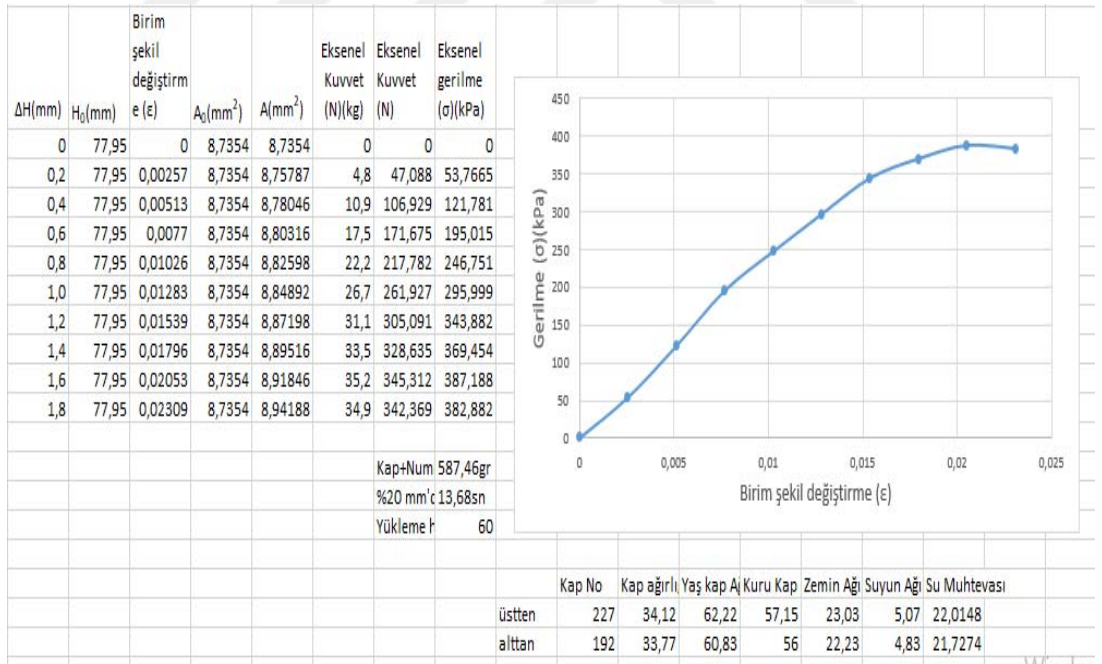
Şekil C.37. %10 hidrolik kireç katkılı zeminin 7 günlük serbest basınç deneyi 1



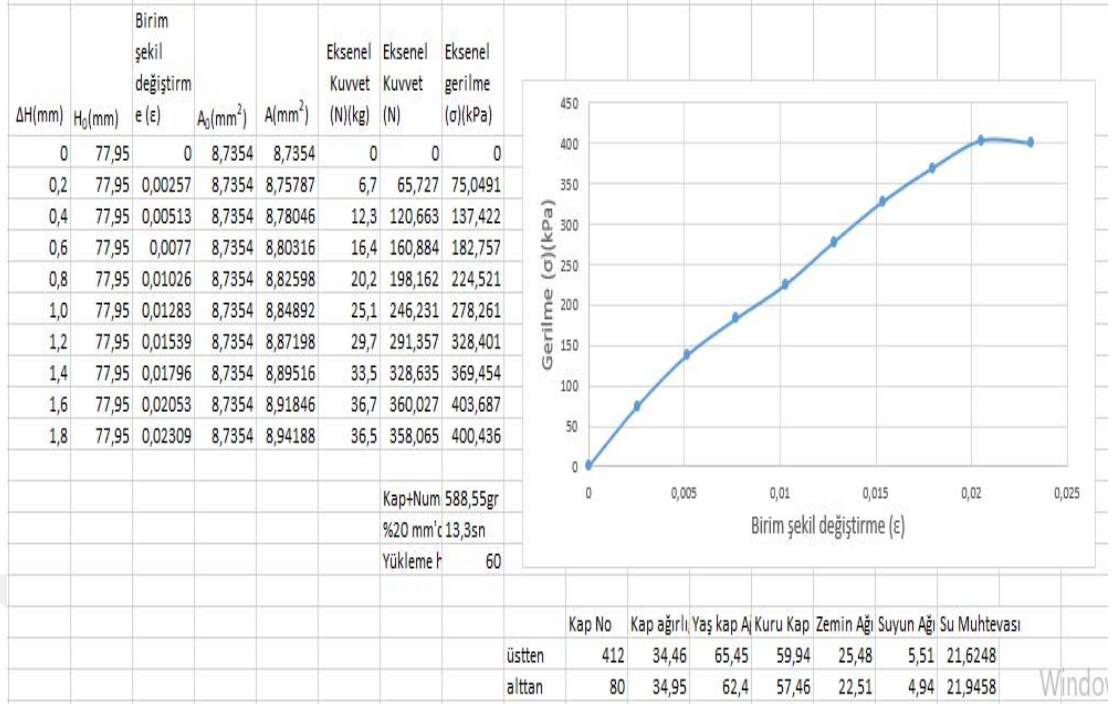
Şekil C.38. %10 hidrolik kireç katkılı zeminin 7 günlük serbest basınç deneyi 2



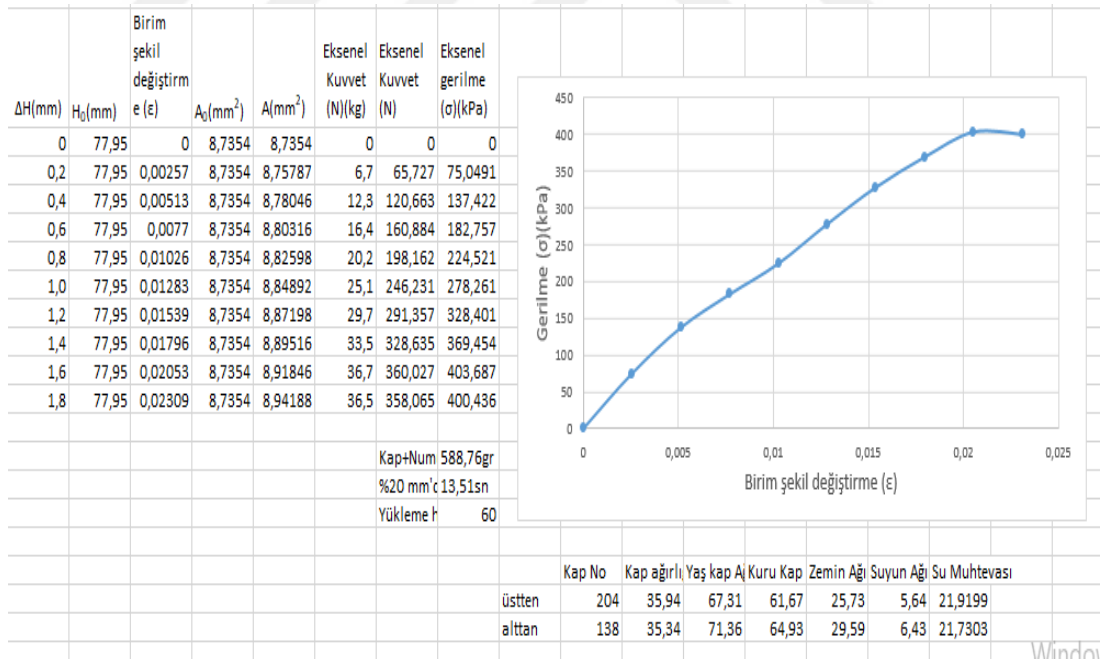
Şekil C.39. %10 hidrolik kireç katkılızeminin 7 günlük serbest basınç deneyi 3



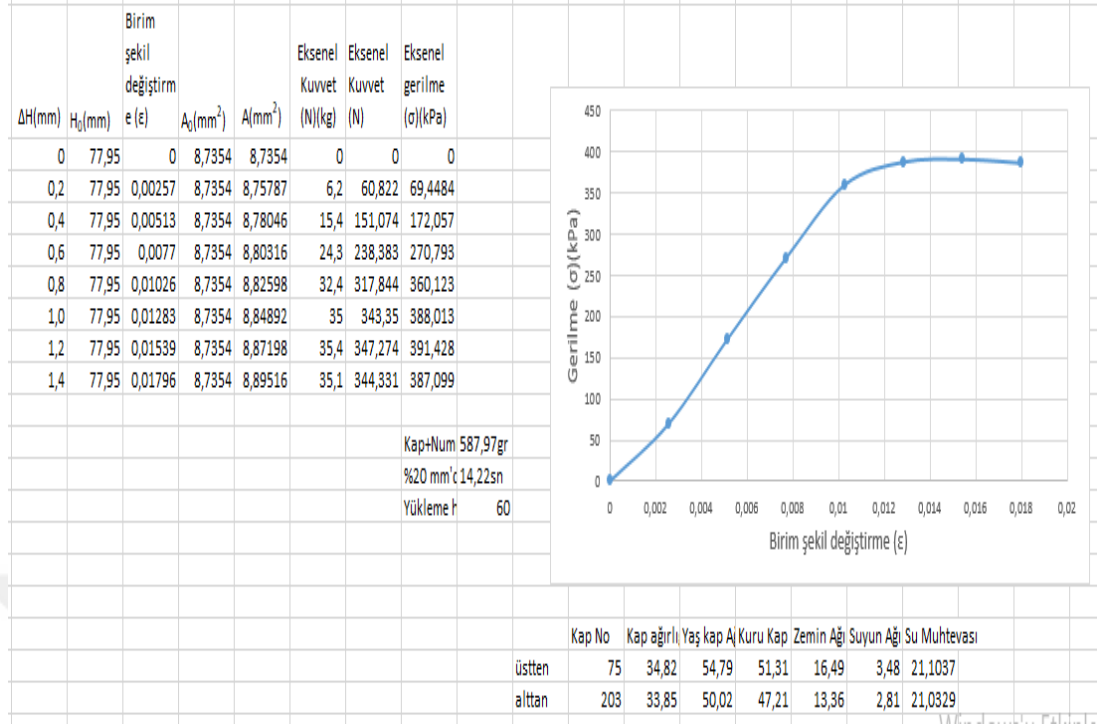
Şekil C.40. %12 hidrolik kireç katkılızeminin 7 günlük serbest basınç deneyi 1



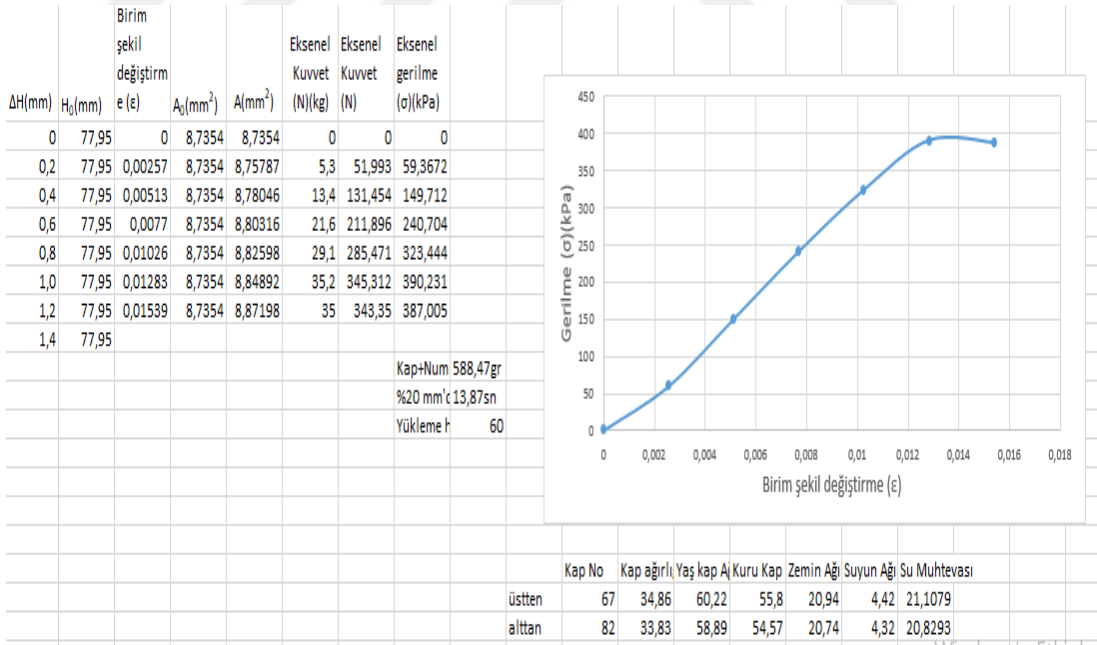
Şekil C.41. %12 hidrolik kireç katkılı zeminin 7 günlük serbest basınç deneyi 2



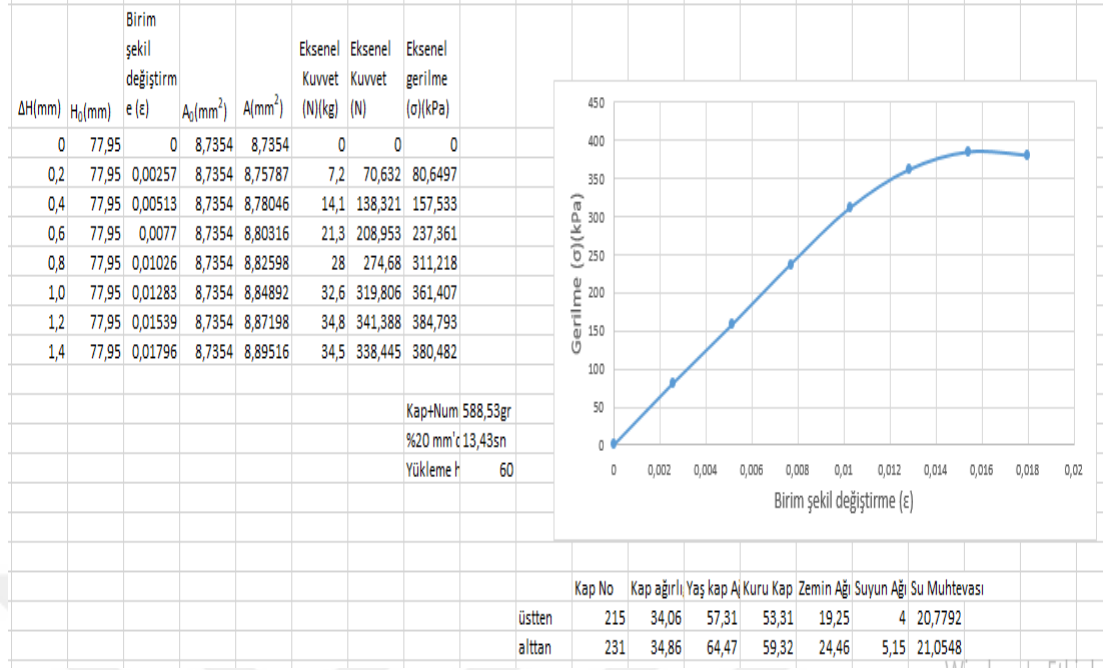
Şekil C.42. %12 hidrolik kireç katkılı zeminin 7 günlük serbest basınç deneyi 3



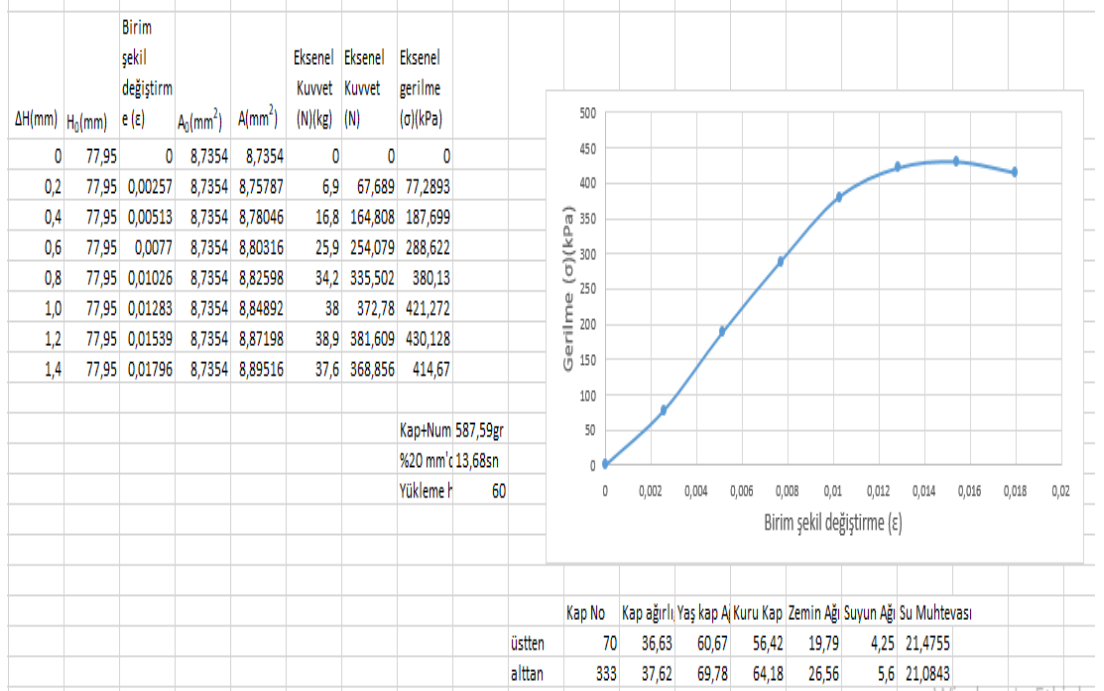
Şekil C.43. %8 hidrolik kireç katkılızeminin 28 günlük serbest basınç deneyi 1



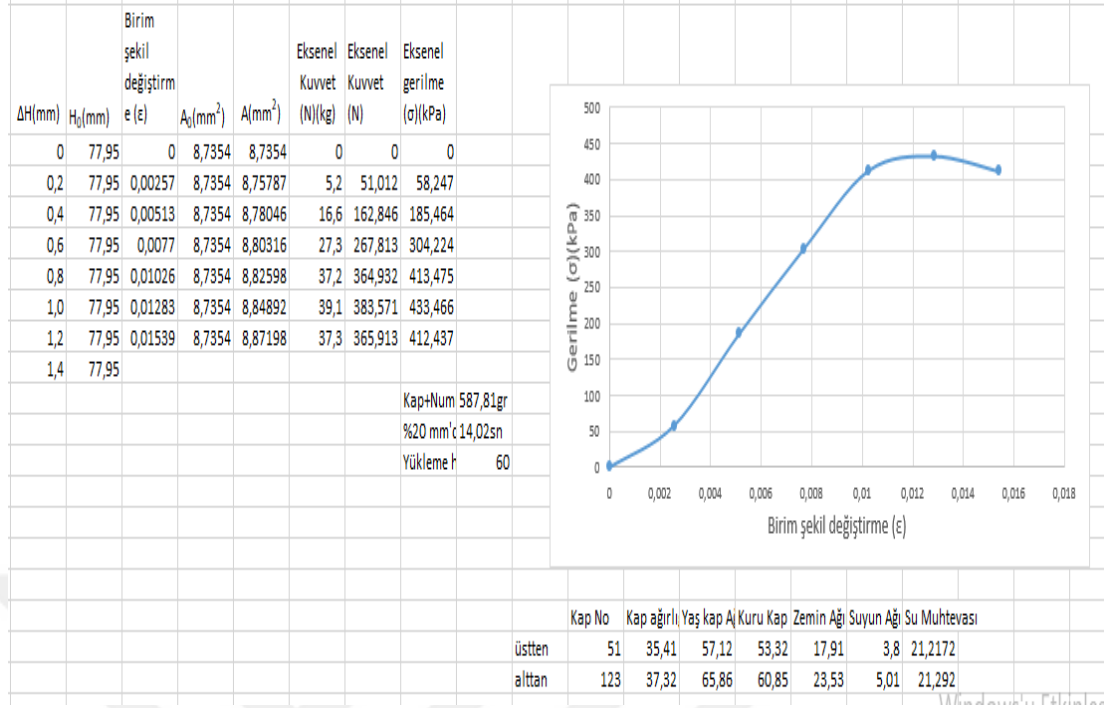
Şekil C.44. %8 hidrolik kireç katkılızeminin 28 günlük serbest basınç deneyi 2



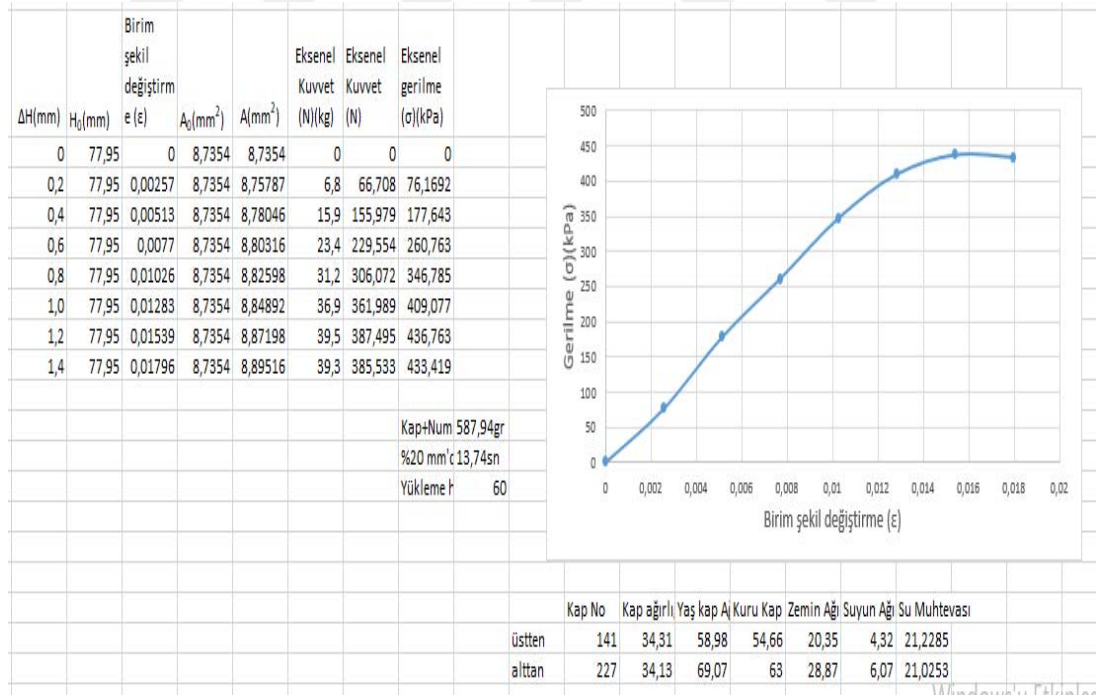
Şekil C.45. %8 hidrolik kireç katkılızeminin 28günlük serbest basınç deneyi 3



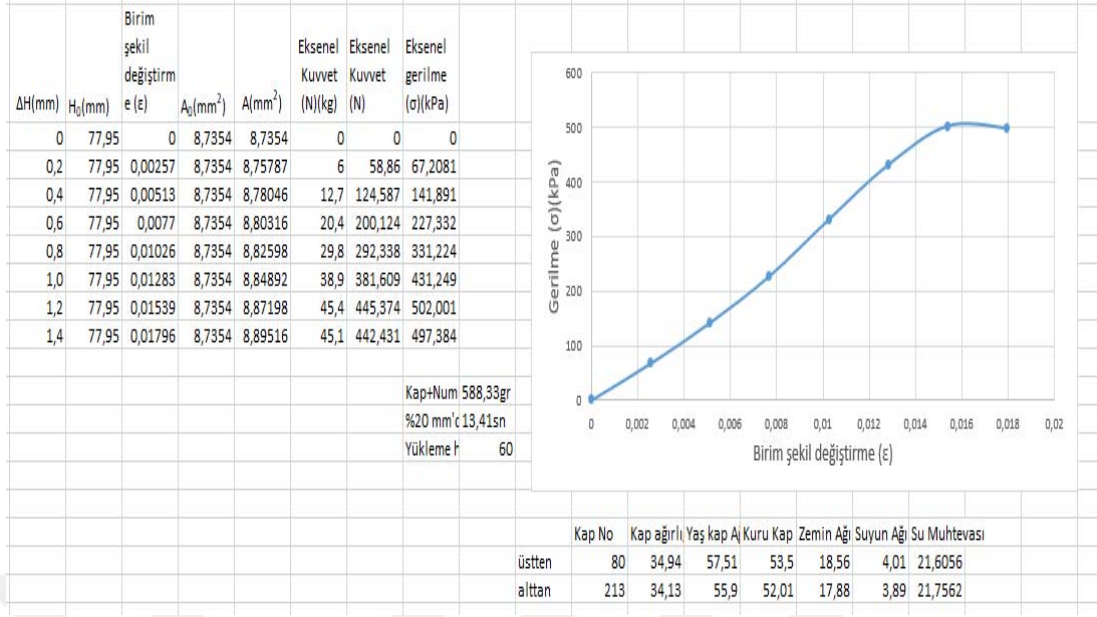
Şekil C.46. %10 hidrolik kireç katkılızeminin 28günlük serbest basınç deneyi 1



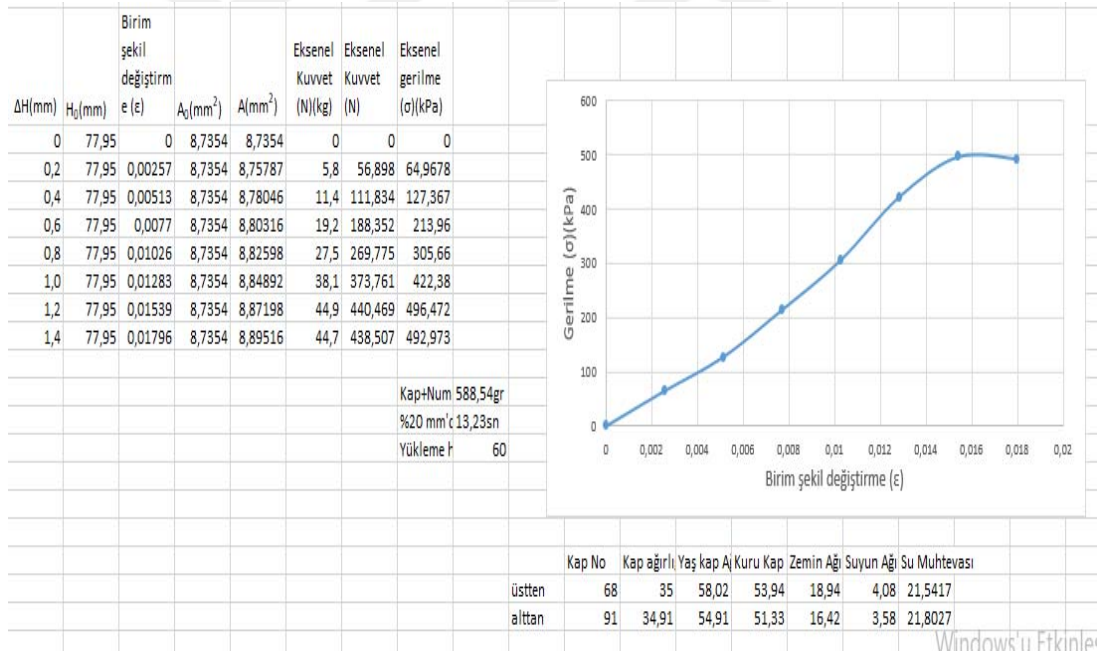
Şekil C.47. %10 hidrolik kireç katkılızeminin 28günlük serbest basınç deneyi 2



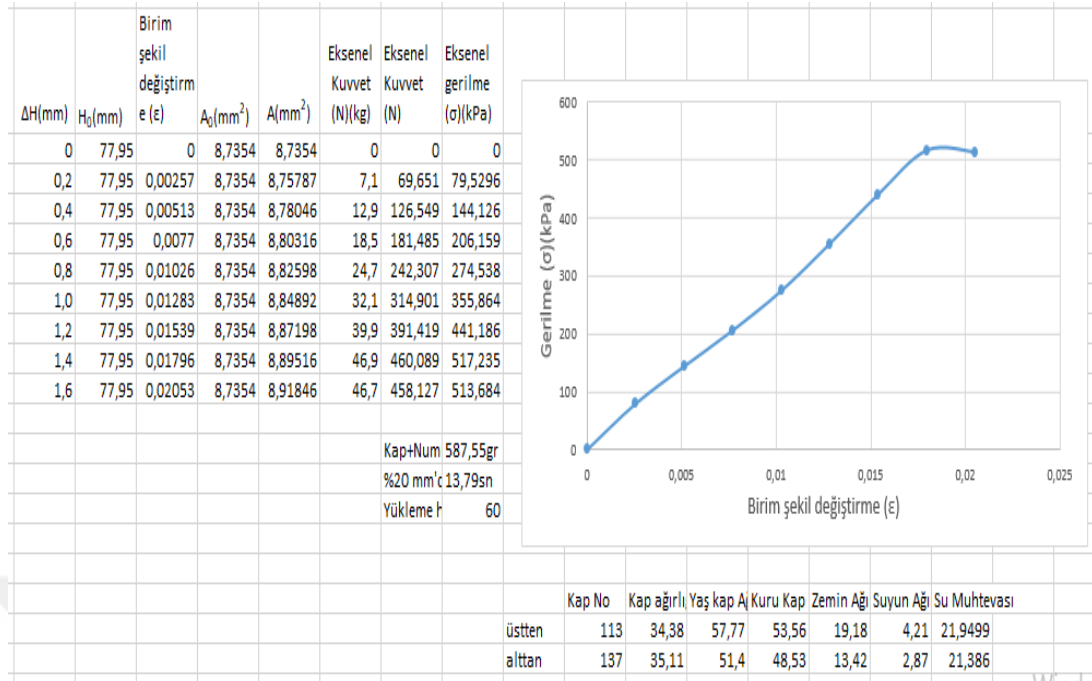
Şekil C.48. %10 hidrolik kireç katkılızeminin 28günlük serbest basınç deneyi 3



Şekil C.49. %12 hidrolik kireç katkılızeminin 28günlük serbest basınç deneyi 1



Şekil C.50. %12 hidrolik kireç katkılızeminin 28günlük serbest basınç deneyi 2



Şekil C.51. %12 hidrolik kireç katkılızeminin 28günlük serbest basınç deneyi 3

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Bostancı D., Sönmemiş ve Hidrolik Kireçle Zemin İyileştirilmesi ve Kütle Stabilizasyonu, *Uluslararası Mühendislik Doğal Bilimler ve Mimarlık Sempozyumu*, İzmit, Kocaeli, 16-19 Nisan 2020.



ÖZGEÇMİŞ

İlk Öğretimini Muğla'nın Yatağan ilçesinde bulunan Kıbrıs ilköğretim okulunda ve Orta öğretimini ise yine aynı ilçede bulunan TEK Mehmet Akif Ersoy Ortaokulunda tamamladı. Lise eğitimini Muğla Yatağan Anadolu Lisesinde tamamladı. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nü 2014 yılında bitirerek İnşaat Mühendisi ünvanını aldı. 2017 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Yüksek Lisans programına başladı.

