İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

POLİPROPİLEN LİFLERİN UÇUCU KÜL ZEMİN KARIŞIMLARINDA GEOTEKNİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet ÇETİNKAYA

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2012

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

POLİPROPİLEN LİFLERİN UÇUCU KÜL ZEMİN KARIŞIMLARINDA GEOTEKNİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet ÇETİNKAYA

(501011569)

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. İsmail Hakkı AKSOY

HAZİRAN 2012

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501011569 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Mehmet ÇETİNKAYA**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **"POLİPROPİLEN LİFLERİN UÇUCU KÜL ZEMİN KARIŞIMLARINDA GEOTEKNİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ"** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :	**Doç. Dr. İsmail Hakkı AKSOY** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
Jüri Üyeleri :	**Yrd. Doç. Dr. Berrak TEYMUR** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
	Prof. Dr. Erol GÜLER Boğaziçi Üniversitesi	.....

Teslim Tarihi : **4 Mayıs 2012**
Savunma Tarihi : **8 Haziran 2012**

Aileme,

ÖNSÖZ

Öncelikle, yüksek lisans tez çalışmalarım sırasında destek, ilgi ve yardımını esirgemeyen, saygıdeğer danışman hocam Doç. Dr. İsmail Hakkı AKSOY'a en içten teşekkürlerimi sunarım.
Laboratuvar çalışmalarında bana yardımcı olan İTÜ Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Yüksek Lisans öğrencilerinden arkadaşım Mojtaba Araz Torabi'ye, İTÜ Deprem Mühendisliği doktora öğrencisi Mesut Negin'e, Ord. Prof. Hamdi Peynircioğlu Zemin Mekaniği Laboratuvarı çalışanlarından İsmail Cantekin, Semih Viç ve Serdar Gültürer'e teşekkür ederim.
Tez çalışmasındaki laboratuvar deneylerinde kullanılan polipropilen lif malzemeyi temin eden ve yardımlarını esirgemeyen Murat Erbaş'a, kil numune temininde yardımcı olan Filyos Ateş Tuğla Fabrikası yöneticilerine ve çalışanlarına, uçucu kül temininde ve termik santrale ilişkin bilgi sağlamada yardımcı olan Çatalağzı Termik Santrali yöneticilerine ve çalışanlarına teşekkürü bir borç bilirim.
Tez ve laboratuvar çalışmalarımın yürütülmesinde beni her zaman destekleyen başta Batı Karadeniz Kalkınma Ajansı Genel Sekreteri Faruk Tezel olmak üzere tüm mesai arkadaşlarıma, İTÜ dönem arkadaşlarıma ve değerli arkadaşım Deniz Çaka'ya teşekkürlerimi sunarım.
Son olarak bugünlere gelmemde en büyük paya sahip olan, tüm eğitim hayatımda maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen çok değerli aileme şükranlarımı sunarım.

Haziran 2012

Mehmet Çetinkaya
(İnşaat Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **vii**
İÇİNDEKİLER ..... **ix**
KISALTMALAR ..... **xi**
SEMBOLLER ..... **xiii**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xv**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xix**
ÖZET ..... **xxiii**
SUMMARY ..... **xxv**
1. GİRİŞ **1**
2. ELEKTRİK ÜRETİMİ VE TERMİK SANTRALLER **5**
2.1. Termik Santraller 10
2.1.1. Çatalağzı termik santrali 12
3. ZAYIF ZEMİNLERİN STABİLİZASYONU **19**
3.1. Katkı Malzemeleri Kullanarak Zeminlerin Stabilizasyonu 19
3.1.1. Uçucu küllerin zemin stabilizasyonunda kullanımı 22
4. UÇUCU KÜLLER **25**
4.1. Uçucu Küllerin Özellikleri ve Sınıflandırılması 26
4.1.1. Uçucu küllerin özellikleri 26
4.1.2. Uçucu küllerin sınıflandırılması 27
4.2. Uçucu Küllerin Kullanım Alanları 28
4.3. Çatalağzı Termik Santrali Uçucu Külü 29
4.3.1. Çatalağzı termik santrali kül barajı 32
5. KONUYA DAİR ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR **37**
6. DENEYLERDE KULLANILAN MALZEMELER **43**
6.1. Kil Malzeme 43
6.2. Polipropilen Lif 46
6.3. Uçucu Kül 49
7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR **51**
7.1. Elek Analizi Ve Hidrometre Deneyi 52
7.2. Likit Limit Ve Plastik Limit Deneyi 53
7.3. Piknometre Deneyi 55
7.4. Standart Proktor Deneyi 55
7.5. CBR Deneyi 58
7.6. Serbest Basınç Deneyi 61
8. BULGULAR VE TARTIŞMA **67**
8.1. Uçucu Kül Ve Fiber Katkısının Zeminlerin Standart Proktor Değerlerine Etkisi 67
8.2. Uçucu Kül Ve Fiber Katkısının Zeminlerin CBR Değerine Etkisi 69

8.3. Uçucu Kül Ve Fiber Katkısının Zeminlerin Serbest Basınç Dayanımına Etkisi 72
9. SONUÇ VE ÖNERİLER 75
KAYNAKLAR 81
EKLER 85
ÖZGEÇMİŞ 199

KISALTMALAR

AASHTO	**:** Amerikan Karayolları Sınıflandırma Sistemi (American Association of State Highway and Transportation Off)
ASTM	**:** Amerikan Malzeme Test Birliği (American Society of Testing Materials)
B.H.A.	**:** Birim hacim ağırlık
BDT	**:** Bağımsız Devletler Topluluğu
CBR	**:** Kaliforniya taşıma oranı testi (California bearing ratio test)
CH	**:** Yüksek plastisiteli kil (high plasticity clay)
ÇATES	**:** Çatalağzı Termik Santrali
DKUK	**:** Düşük kireçli uçucu küller
DSİ	**:** Devlet Su İşleri
EKİ	**:** Ereğli Kömürleri İşletmesi Müessesesi
EPDK	**:** Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu
EÜAŞ	**:** Elektrik Üretim Anonim Şirketi
LL	**:** Likit limit
MVA	**:** Megavolt amper
MW	**:** Mega watt
NP	**:** Plastik olmayan
OMC	**:** Optimum su muhtevası (optimum moisture content)
PL	**:** Plastik limit
SEM	**:** Taramalı elektron mikroskobu (Scanning electron microscopy)
SP	**:** Kötü derecelenmiş kum (Poorly graded sand)
TCDD	**:** Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları
TEK	**:** Türkiye Elektrik Kurumu
TEP	**:** Ton eşdeğer petrol
TETAŞ	**:** Türkiye Elektrik Ticaret ve Taahhüt A.Ş.
TS	**:** Türk Standartları
TTK	**:** Türkiye Taşkömürü İşletmeleri
TÜİK	**:** Türkiye İstatistik Kurumu
UCS	**:** Serbest basınç dayanımı (Unconfined Compressive Strength)
UK	**:** Uçucu kül
USCS	**:** Birleşik Zemin Sınıflandırma Sistemi (The Unified Soil Classification System)

SEMBOLLER

A	**:** Amper
c-φ	**:** Kohezyon – içsel sürtünme açısı
Gwh	**:** Gigawatt saat
hm^3	**:** Hektometre küp (1.000.000 m^3)
Hu	**:** Isınma birimi (heat unit)
Hz	**:** Hertz
I_p	**:** Plastisite indisi
Kcal	**:** Kilo kalori
kg	**:** Kilogram
kJ	**:** Kilo joule
km	**:** Kilometre
kPa	**:** Kilo pascal
kV	**:** Kilovolt
kw	**:** Kilowatt
kWh	**:** Kilo watt saat
mg/Nm^3	**:** miligram / normal metreküp
q_u	**:** Serbest basınç mukavemeti
Sr	**:** Doygunluk derecesi
TWh	**:** Terawatt saat (terawatt hour)
w_L	**:** Likit Limit
w_{opt}	**:** Optimum su muhtevası
w_P	**:** Plastik Limit
γ_k	**:** Kuru birim hacim ağırlık
γ_{kmax}	**:** Maksimum kuru birim hacim ağırlık
ε	**:** Eksenel birim boy kısalması
μ_m	**:** Mikron metre

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : 2010 Yılı sonu itibariyle elektrik piyasasında kurulu güç-üretim/tüketim durumu (TETAŞ Genel Müdürlüğü, 2011)..... 8
Çizelge 2.2 : Çatalağzı termik santrali hakkında özet bilgiler (www.catestermik.com, 2011)..... 15
Çizelge 2.3 : Çatalağzı termik santrali ana sistemleri (www.catestermik.com, 2011)..... 16
Çizelge 2.4 : Çatalağzı termik santrali kül miktarları (2006-2010)..... 18
Çizelge 4.1 : Çatalağzı uçucu külü kimyasal özellikleri ve özgül ağırlıkları 30
Çizelge 4.2 : Çatalağzı termik santrali kül barajı bilgileri..... 34
Çizelge 6.1 : Filyos ateş tuğla bağlama kili elek analizi ve hidrometre deney özeti 44
Çizelge 6.2 : Filyos ateş tuğla bağlama kili kıvam limitleri..... 44
Çizelge 6.3 : Polipropilen liflere ait fiziksel özellikler (fiberforce katalog)..... 46
Çizelge 6.4 : Çatalağzı uçucu külü elek analizi ve hidrometri analizi özeti..... 49
Çizelge 6.5 : Çatalağzı uçucu külü kıvam limitleri 49
Çizelge 8.1 : Standart proktor sonuçları özet çizelgesi..... 68
Çizelge 8.2 : Değişik malzeme oranlarında CBR değerleri..... 70
Çizelge 8.3 : Değişik malzeme oranlarında serbest basınç dayanımları 72
Çizelge 8.4 : Serbest basınç deneyi sonuçları (35 Adet) 74
Çizelge 9.1: Kil numunesinde yapılan deneylerin sonuçları 75
Çizelge 9.2 : Uçucu kül numunesinde yapılan deneylerin sonuçları..... 76
Çizelge 9.3 : Laboratuvar deney sonuçları özeti 76
Çizelge A.1 : Filyos ateş tuğla bağlama kili elek analizi ve hidrometre deneyi-I..... 87
Çizelge A.2 : Filyos ateş tuğla bağlama kili elek analizi ve hidrometre deneyi-II 89
Çizelge A.3 : Çatalağzı uçucu külü elek analizi ve hidrometre deneyi-I 91
Çizelge B.1 : Filyos ateş tuğla bağlama kili kıvam limitleri deney raporu-I..... 93
Çizelge B.2 : Filyos ateş tuğla bağlama kili kıvam limitleri deney raporu-II 95
Çizelge B.3 : Çatalağzı uçucu külü kıvam limitleri deney raporu-I..... 97
Çizelge C.1 : Filyos ateş tuğla bağlama kili piknometre deney raporu..... 99
Çizelge C.2 : Çatalağzı uçucu külü piknometre deney raporu 100
Çizelge D.1 : Filyos ateş tuğla bağlama kili standart proktor deney raporu..... 101
Çizelge D.2 : Çatalağzı uçucu külü standart proktor deney raporu..... 103
Çizelge D.3 : Kil (%50) + UK (%50) karışımı standart proktor deney raporu 105
Çizelge D.4 : Kil (%50)+UK (%50)+Fiber (%0.5) karışımı standart proktor deney raporu 107

Çizelge D.5 : Kil (%50)+UK (%50)+Fiber (%1.0) karışımı standart proktor deney raporu 109
Çizelge D.6 : Kil (%50)+UK (%50)+Fiber (%1.5) karışımı standart proktor deney raporu 111
Çizelge D.7 : Kil (%50)+UK (%50)+Fiber (%2.0) karışımı standart proktor deney raporu 113
Çizelge E.1 : Filyos ateş tuğla bağlama kili CBR deney raporu 115
Çizelge E.2 : Çatalağzı uçucu külü CBR deney raporu..... 117
Çizelge E.3 : Kil (%50)+UK (%50) karışımı CBR deney raporu 119
Çizelge E.4 : Kil (%50)+UK (%50)+Fiber (%0.5) karışımı CBR deney raporu..... 121
Çizelge E.5 : Kil (%50)+UK (%50)+Fiber (%1.0) karışımı CBR deney raporu..... 123
Çizelge E.6 : Kil (%50)+UK (%50)+Fiber (%1.5) karışımı CBR deney raporu..... 125
Çizelge E.7 : Kil (%50)+UK (%50)+Fiber (%2.0) karışımı CBR deney raporu..... 127
Çizelge F.1 : Filyos ateş tuğla bağlama kili serbest basınç deney raporu 129
Çizelge F.2 : Filyos ateş tuğla bağlama kili serbest basınç deney raporu 131
Çizelge F.3 : Filyos ateş tuğla bağlama kili serbest basınç deney raporu 133
Çizelge F.4 : Filyos ateş tuğla bağlama kili serbest basınç deney raporu 135
Çizelge F.5 : Filyos ateş tuğla bağlama kili serbest basınç deney raporu 137
Çizelge F.6 : Çatalağzı uçucu külü serbest basınç deney raporu..... 139
Çizelge F.7 : Çatalağzı uçucu külü serbest basınç deney raporu..... 141
Çizelge F.8 : Çatalağzı uçucu külü serbest basınç deney raporu..... 143
Çizelge F.9 : Çatalağzı uçucu külü serbest basınç deney raporu..... 145
Çizelge F.10 : Çatalağzı uçucu külü serbest basınç deney raporu..... 147
Çizelge F.11 : Çatalağzı uçucu külü serbest basınç deney raporu..... 149
Çizelge F.12 : Kil (%50) + uçucu kül (%50) karışımı serbest basınç deney raporu..... 151
Çizelge F.13 : Kil (%50) + UK (%50) karışımı serbest basınç deney raporu .. 153
Çizelge F.14 : Kil (%50) + UK (%50) karışımı serbest basınç deney raporu .. 155
Çizelge F.15 : Kil (%50) + UK (%50) karışımı serbest basınç deney raporu .. 157
Çizelge F.16 : Kil (%50) + UK (%50) karışımı serbest basınç deney raporu .. 159
Çizelge F.17 : Kil (%50) + UK (%50) karışımı serbest basınç deney raporu .. 161
Çizelge F.18 : Kil (%50) + UK (%50) + fiber (%0.5) karışımı serbest basınç deney raporu 163
Çizelge F.19 : Kil (%50) + UK (%50) + fiber (%0.5) karışımı serbest basınç deney raporu 165
Çizelge F.20 : Kil (%50) + UK (%50) + fiber (%0.5) karışımı serbest basınç deney raporu 167
Çizelge F.21 : Kil (%50) + UK (%50) + fiber (%0.5) karışımı serbest basınç deney raporu 169
Çizelge F.22 : Kil (%50) + UK (%50) + fiber (%0.5) karışımı serbest basınç deney raporu 171
Çizelge F.23 : Kil (%50) + UK (%50) + fiber (%0.5) karışımı serbest basınç deney raporu 173
Çizelge F.24 : Kil (%50) + UK (%50) + fiber (%1.0) karışımı serbest basınç deney raporu 175

Çizelge F.25 : Kil (%50) + UK (%50) + fiber (%1.0) karışımı serbest basınç deney raporu 177
Çizelge F.26 : Kil (%50) + UK (%50) + fiber (%1.0) karışımı serbest basınç deney raporu 179
Çizelge F.27 : Kil (%50) + UK (%50) + fiber (%1.0) karışımı serbest basınç deney raporu 181
Çizelge F.28 : Kil (%50) + UK (%50) + fiber (%1.0) karışımı serbest basınç deney raporu 183
Çizelge F.29 : Kil (%50) + UK (%50) + fiber (%1.5) karışımı serbest basınç deney raporu 185
Çizelge F.30 : Kil (%50) + UK (%50) + fiber (%1.5) karışımı serbest basınç deney raporu 187
Çizelge F.31 : Kil (%50) + UK (%50) + fiber (%1.5) karışımı serbest basınç deney raporu 189
Çizelge F.32: Kil (%50) + UK (%50) + fiber (%1.5) karışımı serbest basınç deney raporu 191
Çizelge F.33 : Kil (%50) + UK (%50) + fiber (%2.0) karışımı serbest basınç deney raporu 193
Çizelge F.34 : Kil (%50) + UK (%50) + fiber (%2.0) karışımı serbest basınç deney raporu 195
Çizelge F.35 : Kil (%50) + UK (%50) + fiber (%2.0) karışımı serbest basınç deney raporu 197

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Türkiye'nin kömür üretim sahaları (Avcı, 2005) 1
Şekil 2.1 : Türkiye'de elektrik üretimi (1923-2001) (Avcı, 2005) 5
Şekil 2.2 : Türkiye'nin 2006-2010 yılları arasındaki elektrik üretim değerleri 6
Şekil 2.3 : 2001-2010 yılları elektrik üretim/tüketim ve kurulu güç bilgileri (TETAŞ Genel Müdürlüğü, 2011) 8
Şekil 2.4 : Türkiye'de termik santrallerin dağılımı (Avcı, 2005) 11
Şekil 2.5 : Çatalağzı termik santrali resimleri – I (www.catestermik.com) 13
Şekil 2.6 : Çatalağzı termik santrali resimleri – II (www.catestermik.com) 14
Şekil 3.1 : Zemin stabilizasyon yöntemlerinin uygulanabilirliği (Yıldırım, 2002)..... 20
Şekil 4.1 : Çatalağzı uçucu külü SEM görüntüsü 31
Şekil 4.2 : Çatalağzı termik santrali, uçucu kül numunesi alınması 32
Şekil 4.3 : Çatalağzı termik santrali kül barajı resimleri-I..... 35
Şekil 4.4 : Çatalağzı termik santrali kül barajı resimleri-II 36
Şekil 6.1 : F tipi fibrilize polipropilen lif..... 46
Şekil 6.2 : Tezde kullanılan polipropilen lifin teknik özellikleri..... 47
Şekil 6.3 : Laboratuvar çalışmalarında fiber kullanımına ilişkin bir fotoğraf 48
Şekil 6.4 : Çatalağzı uçucu külü 50
Şekil 7.1 : Yıkamalı elek analizi deneyi 52
Şekil 7.2: Hidrometre deney tüpleri..... 53
Şekil 7.3 : Likit limit deney aleti, Casagrande metodu..... 54
Şekil 7.4: Plastik limit deneyinin yapılışı 54
Şekil 7.5 : Piknometre deney kabı 55
Şekil 7.6 : Su muhtevası numuneleri 57
Şekil 7.7 : Standart proktor deney düzeneği 57
Şekil 7.8 : Laboratuvarda standart proktor kalıbının doldurulması 58
Şekil 7.9 : CBR deneyinin yapılışı 59
Şekil 7.10 : CBR deneyi sonrası malzeme yüzeyi 59
Şekil 7.11 : CBR deney düzeneği 60
Şekil 7.12 : Kil-uçucu kül ve fiber malzemenin optimum su muhtevasında karıştırılarak hazırlanması..... 61
Şekil 7.13 : Modifiye edilmiş minyatür harvard kompaksiyon aleti 62
Şekil 7.14 : Serbest basınç deney aleti..... 63
Şekil 7.15 : Serbest basınç deneyinin yapılışı 64
Şekil 7.16 : Serbest basınç deneyi sonrası numunelerin görünüşü 64
Şekil 8.1: Standart proktor deney sonuçları özet grafiği 69
Şekil 8.2 : CBR deney sonuçları özet grafiği 71
Şekil 8.3 : Serbest basınç deney sonuçları özet grafiği 73

Şekil 9.1 : Karışımın ağırlıkça %2.0'si oranında fiber takviyesiyle hazırlanmış kil-uçucu kül karışımı 78
Şekil A.1 : Filyos ateş tuğla bağlama kili granülometri eğrisi-I 88
Şekil A.2 : Filyos ateş tuğla bağlama kili granülometri eğrisi-II 90
Şekil A.3 : Çatalağzı uçucu külü granülometri eğrisi-I 92
Şekil B.1 : Filyos ateş tuğla bağlama kili likit limit ve plastisite grafiği-I 94
Şekil B.2 : Filyos ateş tuğla bağlama kili likit limit ve plastisite grafiği-II 96
Şekil B.3 : Çatalağzı uçucu külü likit limit ve plastisite grafiği-I 98
Şekil D.1 : Filyos ateş tuğla bağlama kili standart proktor eğrisi 102
Şekil D.2 : Çatalağzı uçucu külü standart proktor eğrisi 104
Şekil D.3 : Kil (%50) + UK (%50) karışımının standart proktor eğrisi 106
Şekil D.4 : Kil (%50)+UK (%50)+Fiber (%0.5) karışımının standart proktor eğrisi 108
Şekil D.5 : Kil (%50)+UK (%50)+Fiber (%1.0) karışımının standart proktor eğrisi 110
Şekil D.6 : Kil (%50)+UK (%50)+Fiber (%1.5) karışımının standart proktor eğrisi 112
Şekil D.7 : Kil (%50)+UK (%50)+Fiber (%2.0) karışımının standart proktor eğrisi 114
Şekil E.1 : Filyos ateş tuğla bağlama kili CBR deney grafiği 116
Şekil E.2 : Çatalağzı uçucu külü CBR deney grafiği 118
Şekil E.3 : Kil (%50)+UK (%50) karışımı CBR deney grafiği 120
Şekil E.4 : Kil (%50)+UK (%50)+Fiber (%0.5) karışımı CBR deney grafiği . 122
Şekil E.5 : Kil (%50)+UK (%50)+Fiber (%1.0) karışımı CBR deney grafiği . 124
Şekil E.6 : Kil (%50)+UK (%50)+Fiber (%1.5) karışımı CBR deney grafiği . 126
Şekil E.7 : Kil (%50)+UK (%50)+Fiber (%2.0) karışımı CBR deney grafiği . 128
Şekil F.1 : Filyos ateş tuğla bağlama kili serbest basınç deney grafiği 130
Şekil F.2 : Filyos ateş tuğla bağlama kili serbest basınç deney grafiği 132
Şekil F.3 : Filyos ateş tuğla bağlama kili serbest basınç deney grafiği 134
Şekil F.4 : Filyos ateş tuğla bağlama kili serbest basınç deney grafiği 136
Şekil F.5 : Filyos ateş tuğla bağlama kili serbest basınç deney grafiği 138
Şekil F.6 : Çatalağzı uçucu külü serbest basınç deney grafiği 140
Şekil F.7 : Çatalağzı uçucu külü serbest basınç deney grafiği 142
Şekil F.8 : Çatalağzı uçucu külü serbest basınç deney grafiği 144
Şekil F.9 : Çatalağzı uçucu külü serbest basınç deney grafiği 146
Şekil F.10 : Çatalağzı uçucu külü serbest basınç deney grafiği 148
Şekil F.11 : Çatalağzı uçucu külü serbest basınç deney grafiği 150
Şekil F.12 : Kil (%50) + UK (%50) karışımı serbest basınç deney grafiği 152
Şekil F.13 : Kil (%50) + UK (%50) karışımı serbest basınç deney grafiği 154
Şekil F.14 : Kil (%50) + UK (%50) karışımı serbest basınç deney grafiği 156
Şekil F.15 : Kil (%50) + UK (%50) karışımı serbest basınç deney grafiği 158
Şekil F.16 : Kil (%50) + UK (%50) karışımı serbest basınç deney grafiği 160
Şekil F.17 : Kil (%50) + UK (%50) karışımı serbest basınç deney grafiği 162
Şekil F.18 : Kil (%50) + UK (%50) + fiber (%0.5) karışımı serbest basınç deney grafiği 164
Şekil F.19 : Kil (%50) + UK (%50) + fiber (%0.5) karışımı serbest basınç deney grafiği 166
Şekil F.20 : Kil (%50) + UK (%50) + fiber (%0.5) karışımı serbest basınç deney grafiği 168

Şekil F.21 : Kil (%50) + UK (%50) + fiber (%0.5) karışımı serbest basınç deney grafiği 170
Şekil F.22 : Kil (%50) + UK (%50) + fiber (%0.5) karışımı serbest basınç deney grafiği 172
Şekil F.23 : Kil (%50) + UK (%50) + fiber (%0.5) karışımı serbest basınç deney grafiği 174
Şekil F.24 : Kil (%50) + UK (%50) + fiber (%1.0) karışımı serbest basınç deney grafiği 176
Şekil F.25 : Kil (%50) + UK (%50) + fiber (%1.0) karışımı serbest basınç deney grafiği 178
Şekil F.26 : Kil (%50) + UK (%50) + fiber (%1.0) karışımı serbest basınç deney grafiği 180
Şekil F.27 : Kil (%50) + UK (%50) + fiber (%1.0) karışımı serbest basınç deney grafiği 182
Şekil F.28 : Kil (%50) + UK (%50) + fiber (%1.0) karışımı serbest basınç deney grafiği 184
Şekil F.29: Kil (%50) + UK (%50) + fiber (%1.5) karışımı serbest basınç deney grafiği 186
Şekil F.30 : Kil (%50) + UK (%50) + fiber (%1.5) karışımı serbest basınç deney grafiği 188
Şekil F.31 : Kil (%50) + UK (%50) + fiber (%1.5) karışımı serbest basınç deney grafiği 190
Şekil F.32 : Kil (%50) + UK (%50) + fiber (%1.5) karışımı serbest basınç deney grafiği 192
Şekil F.33 : Kil (%50) + UK (%50) + fiber (%2.0) karışımı serbest basınç deney grafiği 194
Şekil F.34 : Kil (%50) + UK (%50) + fiber (%2.0) karışımı serbest basınç deney grafiği 196
Şekil F.35 : Kil (%50) + UK (%50) + fiber (%2.0) karışımı serbest basınç deney grafiği 198

POLİPROPİLEN LİFLERİN UÇUCU KÜL ZEMİN KARIŞIMLARINDA GEOTEKNİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ

ÖZET

Termik santrallerde kömürün yakılması sonucu ortaya çıkan ve endüstriyel bir atık olan uçucu kül, gelişmiş ülkelerde gerek çimentoyla karıştırılarak beton üretiminde, gerekse zemin içerisine katılarak stabilizasyon malzemesi olarak kullanılmaktadır. Böylece uçucu külle hem ekonomik bir fayda sağlanmakta hem de malzemenin depolanmasından veya bertaraf edilmesinden kaynaklanan çevre etkileri azaltılmaktadır. Fakat Türkiye'de ortaya çıkan uçucu kül miktarı oldukça fazla olmasına rağmen çok az bir miktarı tekrardan kullanılarak ekonomiye yeniden kazandırılmaktadır.

Bu tez çalışmasında Zonguldak Çatalağzı Termik Santralinden alınmış F tipi uçucu kül ile Filyos Ateş Tuğla Fabrikasından alınmış yüksek plastisiteli bağlama kilinin eşit miktarda karıştırılmasıyla elde edilen karışım numunesi içerisine farklı oranlarda 19 mm uzunluğunda fibrilli (F tipi) polipropilen lif katılarak zayıf zeminlerin mühendislik özelliklerinin uçucu kül ve fiber katkısı yardımıyla iyileştirilmesi konusu yapılan laboratuvar deneyleriyle araştırılmıştır.

İstanbul Teknik Üniversitesi Ord. Prof. Dr. Hamdi Peynircioğlu Zemin Mekaniği Laboratuvarı'nda yapılan deneylerde üç farklı tip malzeme kullanılmıştır. Kullanılan malzemeler; kil, uçucu kül ve polipropilen lif malzemesidir. Çalışmalarda kil ve uçucu külün elek analizi, hidrometre deneyi, kıvam limitleri, piknometre ve standart proktor deneyleri yapılmıştır. Bunlara ek olarak uçucu kül ile kil numunesinin eşit miktarda, ağırlıkça %50 oranında, karıştırılması ile oluşturulan kil-uçucu kül karışımı içerisine polipropilen lif sırasıyla karışımın ağırlıkça % 0.5, %1.0, % 1.5 ve % 2.0'si oranında karıştırılmıştır. Değişik oranlardaki karışım numunelerinde standart proktor, serbest basınç ve CBR deneyleri yapılarak deney sonuçları karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Laboratuvar deneylerine ilave olarak uçucu külün kimyasal analiz sonuçları ile deneylerde kullanılan polipropilen lif malzemenin fiziksel özellikleri de tez kapsamında sunulmuştur.

Yapılan deneysel çalışmalarda zayıf zemine uçucu kül ve fiber malzeme katılarak zemin iyileştirme yöntemi uygulandığında, fiberli kil-uçucu kül karışım malzemesinin CBR ve serbest basınç değerlerinde önemli oranda artış olduğu tespit edilmiş ve eşit miktarda malzemeyle hazırlanan kil-uçucu kül karışımı için en uygun fiber katkı oranı karışımın ağırlıkça %1.0'i olarak belirlenmiştir.

Çalışmanın sonucunda yapılan laboratuvar deney sonuçlarına bakıldığında; kil-uçucu kül karışımının ağırlıkça %1.0'i oranında fiber katkısıyla hazırlanan fiberli kil-uçucu kül karışımında yapılan laboratuvar deney sonuçları fibersiz kil-

uçucu kül karışımının değerleriyle karşılaştırıldığında, fiberli kil-uçucu kül karışımının CBR değerinin %100, serbest basınç değerinin ise %48 artış gösterdiği görülmüştür. % 1.0 fiber katkılı kil-uçucu kül karışımının CBR ve serbest basınç değerleri kilin yalın haldeki değerleriyle karşılaştırıldığında; fiberli karışımın CBR değerinin %500, serbest basınç değerinin ise %108 artış gösterdiği görülmüştür.

Çalışmayla birlikte termik santrallerde yan ürün olarak ortaya çıkan, endüstriyel bir atık olan, su ve havayı kirleterek çevre kirliliğine neden olan uçucu külün sadece çimento ve beton endüstrisi gibi kısıtlı kullanım alanının olmadığı, zayıf zeminler üzerinde yapılması planlanan büyük kapsamlı projelerin yapılacağı büyük alanlardaki zayıf zeminlerin stabilizasyonlarında ya da yol dolguları gibi geoteknik uygulamalarda kullanılarak ekonomiye tekrar kazandırılması üzerine bir çalışma yapılmıştır.

Çalışmada Zonguldak Çatalağzı Termik Santrali'nden çıkan uçucu küllerin santrale 15 km. mesafede bulunan ve GAP'tan sonra Türkiye'de gerçekleştirilecek en büyük entegre yatırımlardan biri olan Filyos Vadisi Projesi kapsamında yapılacak endüstri tesislerinin yapılacağı alanların ve bağlantı yollarının zemin iyileştirme çalışmalarında kullanılması tavsiye edilmektedir.

Uçucu kül malzemenin endüstriyel bir atık olması, polipropilen lif malzemenin maliyetlerinin düşük olması nedeniyle tezin konusu olan uygulamanın pratikte gerçekleştirilmesinin önünde herhangi bir engel görülmemektedir. Zayıf zeminlere uçucu kül ve fiber katkısı yapılmasıyla ekonomik anlamda sağlanacak avantajların yanında uygulamanın çevreye duyarlı olması sebebiyle de ülkemize önemli faydalar sağlanacağı düşünülmektedir.

INFLUENCE OF POLYPROPYLENE FIBERS ON GEOTECHNICAL PROPERTIES OF SOIL-FLY ASH MIXTURES

SUMMARY

The thermal power plants generate significantly large quantities of solid byproduct namely fly ash. At present, the disposal of generated fly ash is by either wet disposal or dry disposal. Fly ash is also extensively used for a variety of construction materials in the world however only 10% of fly ash are being used in Turkey. Therefore, there is a need to address the problems encountered during the disposal or reuse fly ash in construction industry. Fly ash is produced as a result of coal combustion in thermal power plants. Fly ash defined as a heterogeneous mixture and is generally fine powdered material.

Civil engineering projects located in areas with soft or weak soils have traditionally incorporated improvement of soil properties by using cement and lime. Use of fly ash as a ground improvement soil admixture, when found viable, will be effective in terms of cost and a good approach to the environment to preserve and minimize accumulation of industrial waste. This study is performed to obtain geotechnical properties of fly ash for its application in the stabilization of soft soil with the fiber. The geotechnical properties of clay, fly ash and fiber mixture will be evaluated with various laboratory tests to investigate the feasibility of using fly ash and fiber in soft soil stabilization.

Constructions over soft soil are one of the most frequent problems in many parts of the world. The typical approach to soil stabilization is to remove the soft soil, and substitute it with a stronger material like crushed rock or apply other alternative soil improvement methods. Due to substantial cost of replacement, alternative methods to the problems are assessed. The study of using fly ash is carried out to observe the effectiveness of its addition on stabilization of soft soil. This is one of the approaches to overcome the increasing amount of solid waste generated by the population. A practical solution to the disposal problems would be the reuse of fly ash for civil engineering applications. The objectives of the study are to determine the geotechnical properties of fly ash and to investigate the effects of fly ash and fiber addition on the strength of stabilized soft soil. Scope of this study is to analyze the consequences of the application of fly ash and fiber in soft soil stabilization. It covers methods for determining the geotechnical properties of reinforced soil-fly ash mixture to assess its suitability for soft soil stabilization. The fly ash is taken from Çatalağzı Thermal Plant, Zonguldak, Turkey.

Coal burning electric utilities annually produce million tons of fly ash as a waste byproduct and the environmentally acceptable disposal of this material has become an increasing concern. Efforts have always been made by the researchers to make pertinent use of fly ash in road constructions in the localities which exists in the vicinity of thermal power stations. Quality construction materials are not readily

available in many locations and are costly to transport over long distance. Hence, over the last few years, environmental and economic issues have stimulated interest in development of alternative materials that can fulfill design specifications. The established techniques of soil-fly ash stabilization by adding cement, lime and reinforcement in form of fibers cause significant modification and improvement in engineering behavior of soil - fly ash. Fibers are simply added and mixed randomly with soil and fly ash. One of the most promising approaches in this area is use of fly ash as a replacement to the conventional weak earth material and fiber as reinforcement will solve two problems with one effort i.e. elimination of solid waste problem on one hand and provision of a needed construction material on other hand. Also, this will help in achieving sustainable development of natural resources.

Soil used in the soil- fly ash mixtures was clay. The clay is taken from Filyos Firebricks Plant. The grain size distribution curve indicated that soil was primarily fine grained with approximately 42-47% silt size, 4-9% sand and 48-49% clay size particles. The specific gravity of soil solids was 2.681. The clay is classified as CH type in accordance with USCS, A-7 in accordance with AASHTO standards.

Fresh fly ash samples were collected from Catalagzı Thermal Power Station, Zonguldak, Turkey. The fly ash is classified as Class F as per ASTM C618 (ASTM1993).

The polypropylene fibers were provided by FiberForce Company. The polypropylene fibers used in the thesis were F19 type. Polypropylene fibers are %100 virgin polymer fiber, fibrillated form, non-crimped, contain no polyamide or no recycled materials, net shaped and rectangular.

Laboratory tests were conducted at İstanbul Technical University Ord. Prof. Dr. Hamdi Peynircioğlu Soil Mechanics Laboratory. Sieve analysis, hydrometer analysis, pycnometer test, Atterberg limits, Standard Proctor, California Bearing Ratio, unconfined compression strength tests are conducted on the mixtures and plain materials and compared with each other.

Observations from standard proctor tests, unconfined compression tests and California bearing ratio tests have been analyzed to study the effect of polypropylene fibers on engineering behavior of soil - fly ash mixtures.

Standard Proctor tests were carried out on unreinforced and reinforced soil-fly ash mixes. In the case of soil- fly ash – fiber mixture, the moisture density relationship obtained from standard proctor tests showed that increasing fiber content from 0.00 % to 2.00 % by dry weight of soil mixed with fly ash had an effect on the magnitude of maximum dry density (MDD). MDD of soil-fly ash mixture decreases with addition of the fiber. Soil-fly ash-fiber mixture reaches highest MDD at 1.00% fiber level and it starts decrease after 1.00% of fiber.

Standard proctor test indicated that variation in optimum moisture content (OMC) with no noticeable change as a function of increasing fiber content was between 16% to 18 %; with slight noticeable change in MDD of mixture at 1.00% of fiber.

The effect of fiber inclusion on the unconfined compressive strength (UCS) and stress –strain relationship of soil-fly ash specimens was determined as a function of fiber content. Primarily, the tests were performed on unreinforced soil-fly ash to

establish base UCS so that relative gain in UCS due to addition of polypropylene fibers could be estimated. Soil-fly ash-fiber mixture reaches highest UCS at 1.00% fiber level and it starts decrease after 1.00% of fiber.

The results show that UCS of reinforced soil-fly ash increases 48% at 1.00% fiber level compared to unreinforced soil-fly ash mixture. In addition to that UCS of reinforced soil-fly ash mixture at 1.00% fiber level, increased 108% compared to plain clay.

The CBR values for different soil-fly ash and polypropylene fiber mixture have been determined in the laboratory. The values of CBR for plain and reinforced soil- fly ash mixtures with varying percentages of polypropylene fibers are determined. Soil-fly ash-fiber mixture reaches highest CBR value at 1.00% fiber level and it starts decrease after 1.00% fiber.

The results show that CBR value of reinforced soil-fly ash mixture increases 100% at 1.00% fiber level compared to unreinforced soil-fly ash mixture. In addition to that at 1.00% fiber level, CBR value of reinforced soil-fly ash mixture at 1.00% fiber level increased 500% compared to plain clay.

The inclusion of fibers had a significant influence on the engineering behavior of soil-fly ash mixtures. The following are the major conclusions of this study on the engineering behavior of fiber reinforced soil-fly ash mixtures;

- The moisture –density relationship of soil-fly ash -fiber mixtures had no major significant change due to addition of fibers. The MDD decreases and OMC increases in soil- fly ash-fiber mixtures compared to the unreinforced soil-fly ash mixture.

- Inclusion of fibers increased the peak compressive strength of soil-fly ash specimens. Increase in fiber content improves the contribution of fibers to peak compressive strength up to 1.00% of fiber by dry weight.

- The relative benefit in CBR values due to fiber inclusion increases only up to 1.00 % by dry weight. Soil-fly ash-fiber mixture reaches the highest CBR value at 1.00% of fiber by dry weight.

- The results of thesis of a randomly oriented fiber reinforced soil- fly ash mixtures indicted that a maximum performance was achieved in optimum dosage of 1.00 % by dry weight of soil- fly ash mixtures with 19 mm fibers. CBR value of the reinforced soil-fly ash mixture with 1.00% inclusion of fiber increased 100%, UCS value increased 48% compared to unreinforced soil-fly ash mixture. CBR value of the reinforced soil-fly ash mixture with 1.00% inclusion of fiber increased 500%, UCS value increased 108% compared to plain clay material.

The results indicate that F type Catalagzi fly ash and F19 type polypropylene fiber inclusion to soft soils can be used for soil stabilization. Due to distance and transportation problems, fly ash and fiber inclusion method to soft soils can be used on road construction and large embankment areas on the vicinity of the power plant. Therefore the method can be applied on Filyos Valley Project which is approximately 15 km to Catalagzi thermal power plant. Filyos Valley Project is one

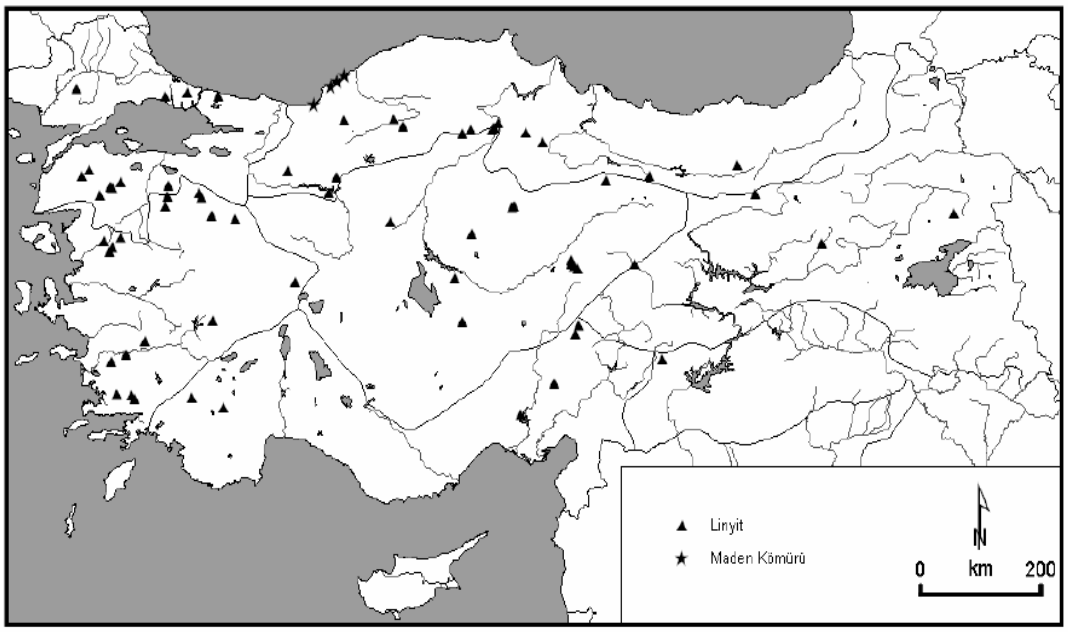
of the biggest integrated project of Turkey which covers more than 10 million square meter area, includes 25 million ton/year capacity port, industrial plants, industrial parks, free trade zones etc. Elimination of solid waste problem and provision of construction material for soil stabilization problems can be solved with this application. Also, this will help in achieving sustainable development of natural resources.

1. GİRİŞ

Dünyada artan nüfus ve gelişen teknoloji ile birlikte her geçen gün ihtiyaç duyulan elektrik enerjisinin miktarı da artmaktadır. Ülkeler sürekli biçimde artan enerji ihtiyaçlarını karşılamak için değişik elektrik üretim teknolojilerini kullanarak üretimi çeşitlendirmekte, ellerinde bulunan doğal kaynakları elektrik üretmek amacıyla kullanmaktadır.

Elektrik enerjisi üretiminin en yaygın yöntemlerinden biri de termik santrallerdir. Türkiye yeterli kömür ve linyit potansiyeline sahip bir ülke olarak kısa sürede kurulabilen, eldeki kömür ve linyit kaynakları kullanmaya yarayacak termik santrallere enerji üretim yelpazesinde yer vermiştir. Türkiye'de günümüzde toplam elektrik enerjisi üretiminin %75'i termik santrallerden sağlanmaktadır.

Şekil 1.1'de Türkiye'nin kömür üretim sahaları ve hangi tip kömür madeni bulunduğu görülmektedir. Bu haritadan da açıkça görülebildiği gibi Türkiye'de birçok linyit üretim sahası bulunurken taşkömürü madenlerinin çoğunluğu Zonguldak ve çevresinden (Zonguldak Havzasından) çıkarılmaktadır.



Şekil 1.1 : Türkiye'nin kömür üretim sahaları (Avcı, 2005).

Termik santrallerin en büyük sakıncası çevre kirliliğine neden olmaları ve yakılan kömür sonucu oluşan atık küllerdir. Termik santrallerde yakılan pulverize edilmiş kömürden dolayı üç tip atık kül malzemesi oluşur. Bunlar; taban külü, bacadan çıkan dumanda çok ince zerrecikler halinde bulunan ve atık malzemelerin %75-80 kadarını oluşturan uçucu kül malzemesi ve diğeri ise kazanın dibinde oluşan cüruf malzemesidir (Aksoy, 1992).

Uçucu küller düşük kalorili olmaları nedeniyle endüstride kullanılmayan linyit ve taşkömürünün elektrik üretmek amacıyla termik santrallerde yakılmasıyla ortaya çıkarlar. Uçucu küllerin özelliklerine etki eden faktörler, yakılan kömürün cinsi, kömürün yakıldığı fırının tipi, yakma randımanı, kullanılan kömürün incelik derecesi gibi faktörlere bağlıdır.

Termik santrallerde ortaya çıkan uçucu kül miktarının giderek artması uçucu külün atık olarak nitelendirerek depolanması yerine, yan ürün olarak değerlendirebilmenin yollarını aramayı zorunluluk haline getirmiştir. Uçucu küller farklı ülkelerde değişik amaçlarla kullanılarak ekonomiye geri kazandırılmaktadır. Genel itibariyle uçucu küller; çimento hammaddesi, briket ve tuğla gibi hafif yapı malzemelerinin yapımı, zemin stabilizasyonlarında katkı malzemesi, kauçuk ve plastik yapımında direkt olarak kullanılmaktadır.

Uçucu külün sıkıştırılması ile elde edilen dolgularda yüksek CBR değerleri elde edilmektedir. Uçucu külün zeminlerin iyileştirmesine olanak sağlanmasının yanında diğer kullanım alanlarının da belirlenerek kullanımın çeşitlendirilmesi, uçucu külün depolanması yada bertaraf edilmesi ile meydana gelen çevre sorunlarını azaltmanın yanında ülke ekonomisine katkı da sağlayacaktır.

Dolgu yapılan zeminlerin iyileştirilmesinde uçucu kül kullanılması uzun yıllardır dünyada araştırma konusu olmuştur fakat ülkemizde bazı yerel uygulamalara rağmen bu konuda bir yaygınlaşma sağlanamamıştır. Tez çalışmasında, ülkemizdeki uçucu küllerin özellikleri üzerine yapılan araştırmalar incelenmiş, şimdiye kadar yapılan çalışmaların bir kısmı da derlenerek zayıf zeminlerin iyileştirilmesi, yol dolgularında ve diğer zemin yapılarında kullanımının arttırılması amaçlanmıştır. Böylelikle uçucu külün depolanmasından kaynaklanan çevresel etkiler en aza indirilecek ve ülke ekonomisine katkı sağlanacaktır. Zemin iyileştirmede kullanılan diğer tür katkı

malzemelerinin (çimento, kireç, geotekstil vb.) daha az kullanılması ile doğa tahribatının azalması sağlanacak ve çevre sorunlarının çözümüne katkıda bulunacaktır (Alkaya, 2009).

Türkiye'deki termik santrallerden elde edilen yıllık uçucu kül miktarı 16 milyon tondan fazladır. Gelişmiş ülkelerde ortaya çıkan uçucu külün neredeyse tamamı inşaat mühendisliği uygulamalarında kullanılmaktayken Türkiye'de uçucu külün ancak %10'u yeniden değerlendirilmektedir.

Tezin konusu olan zayıf zeminlerin uçucu kül ve fiber katkısıyla güçlendirilmesi amacıyla kullanılan F tipi uçucu külün alındığı Zonguldak Çatalağzı Termik Santralinde ise yılda yaklaşık 500-600 bin ton civarında uçucu kül ortaya çıkmaktadır. Ortaya çıkan bu uçucu küller son yıllara kadar genellikle bertaraf edilmek için denize deşarj edilmiştir. Bundan dolayı önemli bir çevre kirliliği sorunu ortaya çıkmıştır. Bu sorunu ortadan kaldırmak için 40-50 milyon TL'lik yatırım kararı alınarak uçucu külleri depolamak amacıyla santralden uzakta bir kül barajı inşaatı başlatılmıştır ve yapımı kısmen tamamlanmıştır.

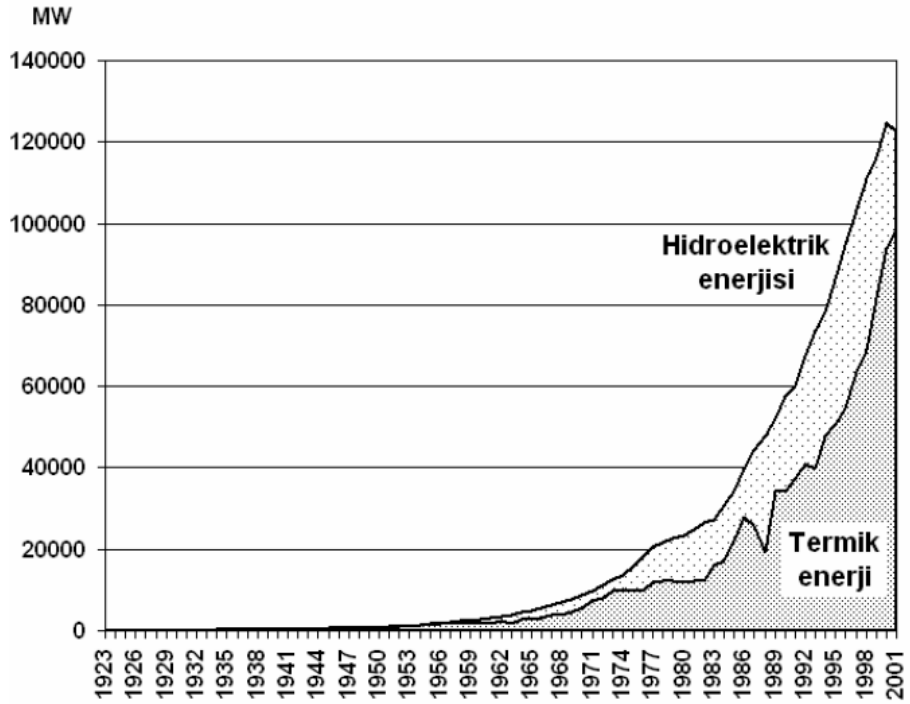
Bu tez çalışmasında endüstriyel bir atık olan uçucu külün fiber malzemeyle birlikte zayıf zeminlerin iyileştirilmesinde kullanılarak külün bertaraf edilmesinden kaynaklanan çevresel etkilerin en alt düzeye indirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla tez kapsamında birtakım deneyler yapılmıştır. Deneylerde kullanılan uçucu kül Zonguldak'ta bulunan Çatalağzı Termik Santrali'nden, killi malzeme Zonguldak'ın Çaycuma ilçesinde bulunan Filyos Ateş Tuğla Fabrikası'ndan, F tipi fiber malzeme ise FiberForce firmasından temin edilmiştir.

Deneylerde zayıf zemin olan kil numunesine eşit miktarda uçucu kül karıştırılarak karışım içerisinde değişik oranlarda 19 mm uzunluğunda fibrilli polipropilen lif katılmış ve fiber malzemenin zemin stabilizasyonuna etkisi deneysel olarak araştırılmıştır.

Dünyada hızla devam eden bu tip araştırmalar son yıllarda ülkemizde de önem kazanmaktadır. Avrupa Birliği uyum süreci ve Çevre Ajansına olan üyeliğimiz gereği enerji alanında da geri dönüşüm stratejilerini uygulamak ve hayata geçirmek Türkiye'nin en önemli görevlerinden biridir ve bu koşulları sağlamak ancak bu tip araştırma ve geri kullanım projeleriyle mümkün olmaktadır.

2. ELEKTRİK ÜRETİMİ VE TERMİK SANTRALLER

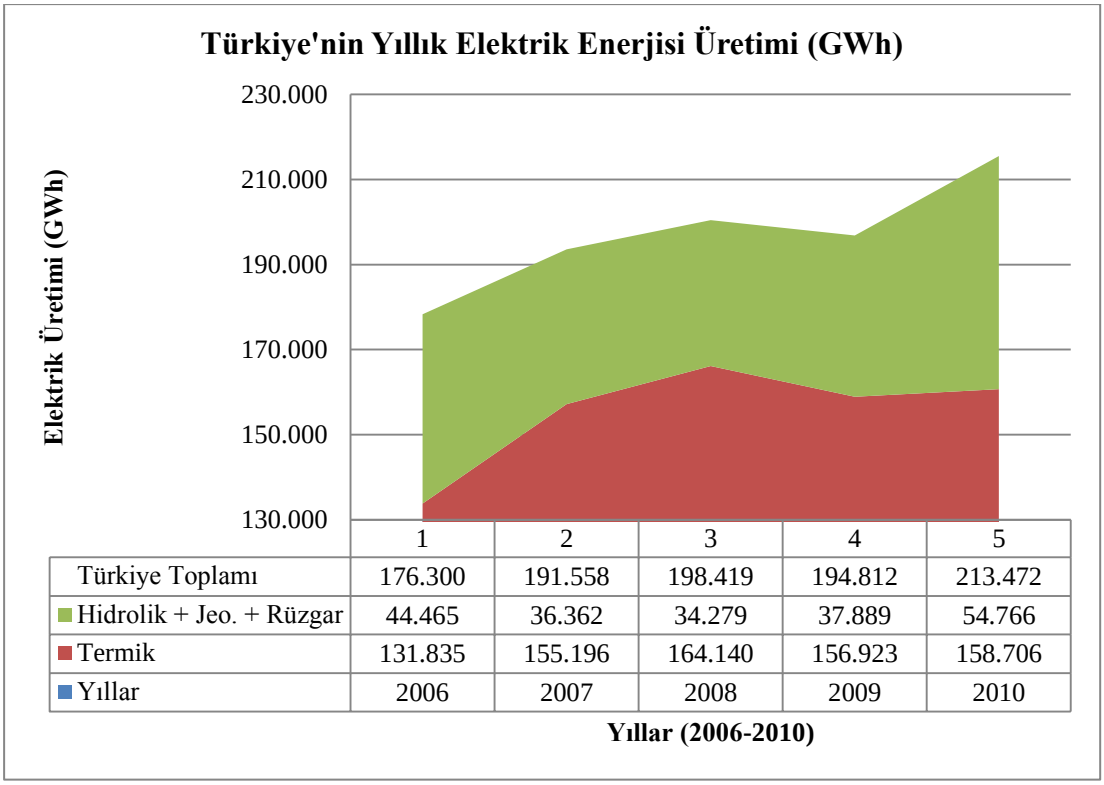
Elektrik insanoğluna, son derece kullanışlı bir enerji çeşidi sağlamıştır. Isınma, aydınlanma, haberleşme, makine kullanımı ve elektronik alanında büyük ölçüde elektrikten yararlanılmaktadır. Gelişen teknoloji ve modernizasyonla birlikte insanoğlunun ihtiyaç duyduğu elektrik miktarı da her geçen gün artmaktadır. Buna paralel olarak Türkiye'de de her geçen gün ilerleyen teknolojiyle birlikte daha fazla elektrik tüketimi ortaya çıkmış ve buna bağlı olarak da ilave elektrik üretimine ihtiyaç duyulmuştur. Şekil 2.1'deki grafikte Cumhuriyet döneminden 2001 yılına kadar olan süreçte Türkiye'nin elektrik üretimi ve bu üretimin hangi yollarla sağlandığına ilişkin bir dağılım görülmektedir.



Şekil 2.1 : Türkiye'de elektrik üretimi (1923-2001) (Avcı, 2005).

Türkiye'nin enerji politikasının temel hedefi enerji ve tabi kaynakları; verimli, etkin, güvenli ve çevreye duyarlı şekilde değerlendirerek, ülkenin dışa bağımlılığını azaltmak ve ülke refahına en yüksek katkıyı sağlamaktır. Türkiye kalkınma hedeflerini gerçekleştirme, toplumsal refahı artırma ve sanayi sektörünü uluslararası

alanda rekabet edebilecek bir düzeye çıkarma çabası içindedir. Bu durum, enerji talebinde uzun yıllardır hızlı bir artışı da beraberinde getirmektedir. Önümüzdeki yıllarda da bu eğilimin devam edeceği hesaplanmaktadır. Türkiye'de elektrik üretiminin son 5 yılına baktığımızda genel olarak elektrik üretimindeki artış eğilimi devam etmiştir. Şekil 2.2'de Türkiye'nin 2006-2010 yılları arasındaki elektrik üretim değerleri görülmektedir.



	1	2	3	4	5
Türkiye Toplamı	176.300	191.558	198.419	194.812	213.472
Hidrolik + Jeo. + Rüzgar	44.465	36.362	34.279	37.889	54.766
Termik	131.835	155.196	164.140	156.923	158.706
Yıllar	2006	2007	2008	2009	2010

Şekil 2.2 : Türkiye'nin 2006-2010 yılları arasındaki elektrik üretim değerleri.

Elektrik ihtiyacını gidermek için farklı elektrik üretim metotları vardır. Elektrik, doğada var olan ancak ısı, güneş, rüzgâr vb. gibi direkt kullanımı daha zor olan değişik enerji türlerinin şekil değiştirmesiyle elde edilmektedir.

Termik santrallerden fosil yakıtlı santraller ısı üretimi için doğalgaz, kömür ve petrol yakarlar. Nükleer santraller da uranyum yakıtını parçalayarak ısı üretirler. Ancak bütün bu değişik tip santraller ürettikleri ısıyı, suyu buhar haline dönüştürmek için kullanırlar. Oluşan buhar ise elektrik jeneratörüne bağlı olan türbine verilir. Su buharı türbin şaftı üzerinde bulunan binlerce kanatçık üzerinden geçerken daha önce üretilen ısıdan almış olduğu enerjiyi kullanarak, türbin şaftını döndürür. İşte bu dönme, jeneratörün elektrik üretmek için gereksinim duyduğu mekanik harekettir.

Jeneratörde oluşan elektrik ise iletim hatları denilen iletken teller ile kullanılacağı yere gönderilir.

Elektrik üretmek için kullanılan diğer bir yöntem ise hidrolik santrallerdir. Bu yöntem ile barajlarda biriktirilen su, bir su türbinini üzerinden geçirilir ve türbine bağlı elektrik jeneratörü döndürülerek elektrik üretilir.

Yukarıda bahsedilen bu yöntemler büyük miktarlarda elektrik enerjisini üretmek için kullanılırlar. Bunların yanı sıra rüzgâr, güneş ve jeotermal enerji kullanarak da elektrik üretilmektedir. Ancak bu tür kaynaklardan üretilen enerji miktarı asıl ihtiyacımızı kendi başına karşılamaktan uzaktır.

Su, güneş, rüzgâr ve jeotermal kaynaklara, yenilenebilir enerji kaynakları denir ve bu kaynaklar diğerleri gibi tükenmezler. Petrol, doğal gaz, kömür, uranyum gibi maddeler önümüzdeki birkaç yüzyıl içinde tükenecektir. Bu tür işlemlerin yapıldığı sistemlere de genel olarak elektrik santralleri denir. Değişik elektrik santrallerinin isimleri aşağıda verilmiştir;

- Hidrolik santraller
  a) Barajlı santraller
  b) Akarsu santrali
- Termik santraller
- Gaz türbini (doğal gaz santrali)
- Kombine çevrim santrali
- Jeotermal santraller (yer altı buharı)
- Rüzgâr (enerjisi) santrali
- Nükleer (enerji) santrali
- Güneş (enerjisi) santrali

Elektrik enerjisi elde etmek için kullanılan iki önemli üretim kaynağından birisi hidroelektrik enerjisi sağlayan barajlar, diğeri genellikle yakıt olarak pulverize kömürün kullanıldığı termik santrallerdir. Türkiye'de günümüzde toplam elektrik enerjisi üretiminin % 75'i termik santrallerden, %24'ü hidrolik santrallerden ve %1'i diğer kaynaklardan sağlanmaktadır. Çizelge 2.1'de Türkiye'deki kurulu gücün elektrik üretim miktarlarının gruplara göre dağılımı verilmiştir. Şekil 2.3'de 2001-

2010 yılları arasında elektrik üretim/tüketim ve kurulu güç bilgileri ile bunların dağılımına ilişkin bir çizelge verilmiştir.

Çizelge 2.1 : 2010 Yılı sonu itibariyle elektrik piyasasında kurulu güç-üretim/tüketim durumu (TETAŞ Genel Müdürlüğü, 2011).

Toplam Kurulu Güç/Üretim	Termik	Hidrolik	Rüzgâr + Jeo
Toplam Kurulu Güç 48.591 (MW) % 100	31.706 MW % 65.3	15.525 MW % 32.1	1.266 MW % 2.6
Toplam Üretim 213.23 (TWh) % 100	158.706 GWh % 74.6	51.511 GWh % 24.1	3.255 GWh % 1.3
Toplam Tüketim: 209.49 (TWh)			

YILLAR	ÜRETİM (GWH)			TÜRKİYE ÜRETİM (GWh)	DIŞ ALIM (GWh)	DIŞ SATIM (GWh)	TÜRKİYE TÜKETİM (GWh)	KURULU GÜÇ (MW)			TÜRKİYE KURULU GÜÇ (MW)
	TERMİK	HİDROLİK	RÜZGAR + JEO.					TERMİK	HİDROLİK	RÜZGAR + JEO	
2001	98.562	24.010	152	122.724	4.579	433	126.871	16.623	11.673	37	28.332
2002	95.563	33.684	153	129.400	3.588	435	132.553	19.569	12.241	37	31.846
2003	105.101	35.330	150	140.581	1.158	588	141.151	22.974	12.579	34	35.587
2004	104.464	46.084	151	150.699	464	1.144	150.018	24.145	12.645	34	36.824
2005	122.243	39.560	153	161.956	636	1.798	160.794	25.902	12.906	35	38.820
2006	131.835	44.244	221	176.300	573	2.236	174.637	27.420	13.063	82	40.502
2007	155.196	35.851	511	191.558	864	2.422	190.000	27.273	13.395	169	40.836
2008	164.140	33.270	1.009	198.419	789	1.122	198.085	27.595	13.829	393	41.817
2009	156.923	35.958	1.931	194.812	812	1.546	194.079	29.339	14.553	869	44.761
2010	158.706	51.511	3.255	213.472	1.582	2.680	209.493	31.706	15.525	1.266	48.591

Şekil 2.3 : 2001-2010 yılları elektrik üretim/tüketim ve kurulu güç bilgileri[1] (TETAŞ Genel Müdürlüğü, 2011).

[1] 2010 yılı değerleri kesin değerleri göstermemektedir.

Yetmişli yıllarda birkaç kez yaşanan ve zaman zaman ortaya çıkan enerji krizleri, gelişen endüstrinin giderek artan elektrik ihtiyacı, Türkiye'de yeni santrallerin yapılması gereğini ortaya çıkarmıştır. Bilindiği gibi, hidroelektrik potansiyel yönünden, ülkemiz Norveç'in ardından, Avrupa'da ikinci sırada bulunmasına rağmen, bu potansiyelimizin ancak küçük bir kısmını değerlendirebilmekteyiz. Hidroelektrik santrallerin, yapımı uzun süre alan ve çok büyük mali kaynaklara gerek duyulan yatırımlarla gerçekleşebilmesine karşılık, termik santraller çok daha kısa sürede inşaa edilebilmektedir (Özbayoğlu, 1993).

Termik santrallerde kullanılan linyit ve taşkömürü bakımından değerlendirildiğinde ülkemiz rezerv ve üretim miktarları açısından linyitte dünya ölçeğinde orta düzeyde, taşkömüründe ise alt düzeyde değerlendirilebilir. Ülkemizin linyit rezervinin yaklaşık %46'sı Afşin-Elbistan havzasında, en önemli taşkömürü rezervi ise Zonguldak ve civarındadır.

2008 yılında yapılan 33 milyon ton toplam kömür satışının %82'si termik santrallere, %12 ise ısınma ve sanayiye olmuştur. Ülkemizde 2008 yılı sonu itibariyle linyite dayalı termik santrallerimizin kurulu gücü 8.205 MW olup bu değer toplam kurulu gücümüzün %19.6'sını karşılamaktadır. Kömürün toplamda kurulu güce katkısı 10.191 MW olup bu değer toplam kurulu gücümüzün %24'ünü oluşturmaktadır. Taşkömürüne dayalı termik santralimizin kurulu gücü 335 MW olup, toplam kurulu gücümüzün %0.8'ine karşılık gelmektedir.

Termik santrallerde enerji üretiminde yakıt olarak kullanılan pulverize kömür atık malzeme olarak değişik özellikte küllerin ve cürufun ortaya çıkmasına neden olmaktadır.

Termik santrallerde en önemli atık malzeme, yanma nedeniyle baca tarafından çekilen gazlarla birlikte yukarıya sürüklenen çok ince kül tanecikleridir. Bu ince kül tanecikleri elektro filtrelerde ve siklonlarda yakalanmakta, baca gazları ile atmosfere çıkışları önlenmektir. Atık malzeme olarak elde edilen küllerin yaklaşık %75 – 80'ini uçucu kül (UK) oluşturmaktadır. Günümüzde, enerji açığının kısa sürede karşılanması amacıyla yapılan yeni termik santraller çevreyi kirleten uçucu kül sorununu da beraberinde getirmiştir. Bu küller değişik ortamları kirletme potansiyeline sahiptir. Ekonomik fayda sağlama ve çevre kirliliğini önleme açısından

değerlendirilmesi önem arz eden bu ürün birçok araştırmaya konu olmaktadır (Öksüz, 2006).

Türkiye hâlihazırda yılda 16 milyon tondan fazla uçucu kül açığa çıkmakta ve bu miktarın önümüzdeki 20 yıl içinde 50 milyon tonu geçmesi beklenmektedir. Fakat Türkiye'de uçucu külün yalnızca %10'u geri kazanılmakta geri kalan %90'ı atık olarak bertaraf edilmektedir.

2.1. Termik Santraller

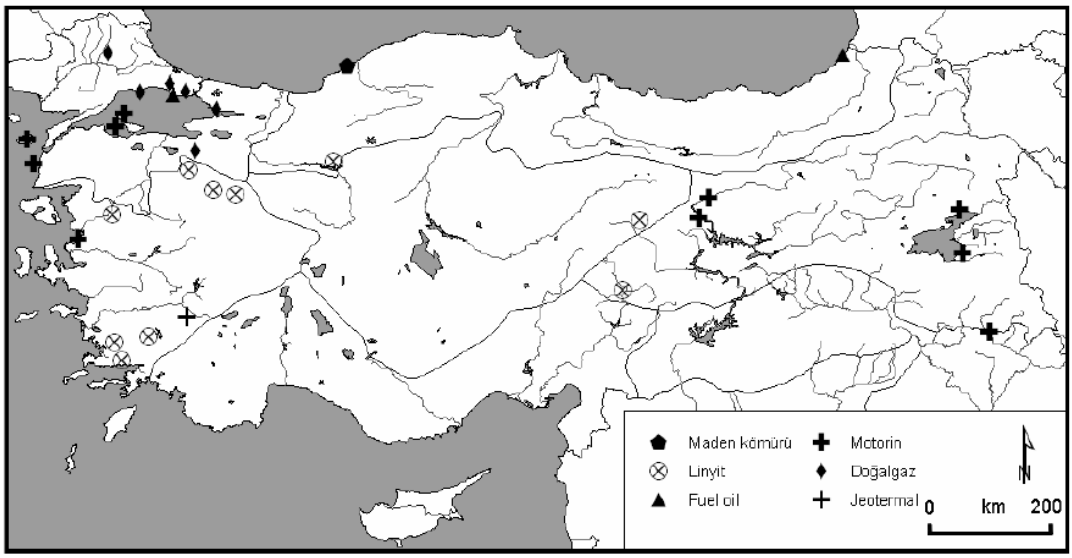
Termik santral kömür akaryakıtların (fuel-oil, mazot, gaz) yakılması yoluyla mekanik enerji elde edilen merkezlerdir. Burada kazan bölümünde dolaşan su çok sıcak buhar haline dönüşür. Bu buhar yüksek basınç altında, yüksek sıcaklıkta türbinin yüksek basınç bölümüne daha sonra da tekrar kızdırılarak orta ve alçak basınç bölümüne gönderilir. Bu devam eden olaylar sonrasında ısı enerjisi mekanik enerjiye döndürülmüş olur. Elde edilen mekanik enerjiyle türbin miline bağlı elektrik jeneratörü döndürülmüş olur. Elektrik jeneratörü bakır gibi iletken bir telin manyetik bir alan içinde hareket ettirilmesi prensibiyle çalışır. Elektrik jeneratörü, bir mıknatıs içinde dönen (rotor) sarılı iletken tellerin bulunduğu (stador) ve bu tellerin mıknatıs içinde dönmesiyle elektrik akımı üreten bir makinedir.

Termik santrallerde kömür kullanımı için gerekli olan tesisler gaz ya da mazota oranla çok daha önemli ve büyüktür. Termik santrallerde özellikle kömürün demiryolu, akarsu ya da deniz yoluyla santrale getirilmesi, boşaltılması, depolanması, santral alanı içinde dolaştırılması ve kazana verilmesi için gerekli tesisler yapılır. Kömür önce toz haline getirildikten sonra önceden mazotla 500 °C'ye kadar ısıtılmış olan yanma odalarının brülörlerine kuvvetli bir hava akımıyla gönderilir. Bu odaların birkaç yüz metreküpü bulan bir hacmi ve birkaç bin metrekare büyüklüğünde bir ısıtma alanı vardır. Büyük bir termik santralin kömür tüketimi günde 5.000 tonu aşmaktadır.

Ülkemizin enerji gereksiniminin önemli bir bölümünü karşılayan ve Türkiye Elektrik Üretim A.Ş.(EÜAŞ) tarafından işletilen termik santraller, fueloil, taşkömürü, linyit, motorin, jeotermal ve doğal gazı enerji kaynağı olarak kullanmakta olup sayıları 30'u aşmaktadır. Şekil 2.4'de Türkiye'deki termik santrallerin dağılımı ve tiplerine ilişkin harita yer almaktadır.

Termik santrallerde yakıt olarak kullanılan kömür yanabilen organik bir kayadır. Başlıca karbon, hidrojen ve oksijen gibi elementlerin bileşiminden oluşmuş olup, diğer kaya tabakalarının arasında damar halinde uzunca bir süre (milyonlarca yıl) ısı, basınç ve mikrobiyolojik etkilerin sonucunda meydana gelmiştir.

Diğer içerikleri ise kül teşkil eden inorganik bileşikler ve mineral maddelerdir. Kömürler yakıt hammaddesi oldukları gibi, değişik amaçlarda (kok yapımı, kimyasal madde üretim gibi alanlarda) da kullanılırlar.



Şekil 2.4 : Türkiye'de termik santrallerin dağılımı (Avcı, 2005).

Kömür kalitesi, kömürün davranışını ve kullanımını etkileyen özelliklerini ve karakteristiklerini ifade etmekte kullanılan bir terimdir. Bu karakteristikleri bilmek, bu gerekli enerji kaynağını daha etkili, daha verimli ve daha az istenmeyen çevresel etkiyle kullanabilmesine olanak verir.

Kömür alınırken genellikle kalori değeri baz alınır ancak öğütülebilirlik, kül içeriği, aşınma ve kirlilik kontrolü gibi diğer önemli parametreler genellikle göz ardı edilir. Bu parametreler de kömür kullanımının maliyetini önemli ölçüde etkiler. Kül, nem, kükürt gibi safsızlıklar ile kalori değeri, öğütülebilirlik, tane boyutu gibi parametreler kömürün kalitesini belirleyen önemli özelliklerdir.

Kömürün içerdiği, gerek kullanım gerekse kömür yıkamada önem taşıyan safsızlıklar üç grupta toplanmaktadır. Bunlar nem, kül ve kükürttür.

Kömürlerde iki türlü kül bulunur. Bünye külü ve harici kül (istihsal külü – üretim külü). Bünye külü, kömürü oluşturan bitkilerden gelen inorganik maddelerdir ve kömürdeki toplam külün %2-3'ünü oluştururlar. Harici kül ise, kömürü oluşturan bitkilerin dışında kömüre karışan yabancı maddelerdir. Bu maddeler, kömüre kömürleşme esnasında karışabileceği gibi, kömürleşmeden sonra da kömür damarları içindeki çatlak ve kırıklar boyunca girebilir. Bu yabancı maddeler kil, şist, kumtaşı, kireçtaşı vb. malzemeler olabilir. Bunlar, kömür içinde mikroskobik parçalar halinde bulunabileceği gibi damarlar ve/veya tabakalar halinde de bulunabilir. Yabancı maddeler tüvanan kömüre üretim esnasında tavan ve taban taşlarından da karışabilir. Bunlardan hepsi harici külü oluştururlar. Bünye külü, kömürden yıkama yöntemleriyle uzaklaştırılamazken harici kül kömür yıkama yöntemleriyle belli bir oranda azaltılabilir.

2.1.1. Çatalağzı termik santrali

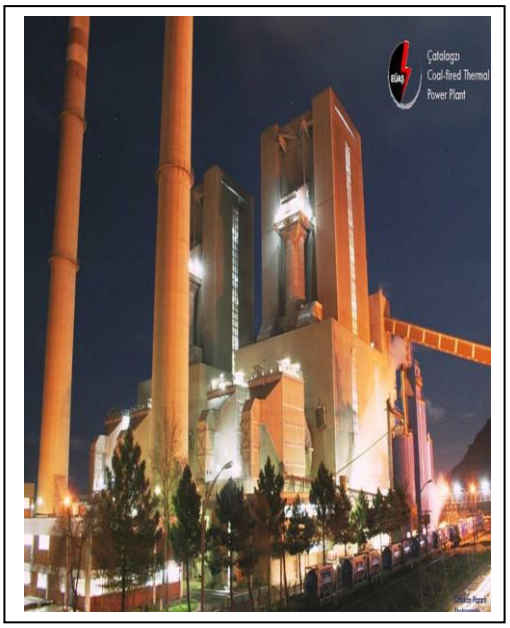
Türkiye'de Cumhuriyet döneminde inşa edilmiş ilk termik santraldir. Santralin bugünkü sahibi Elektrik Üretim A.Ş.'dir (EÜAŞ). Termik Santralı Zonguldak İli merkez ilçesine bağlı ve Zonguldak'ın 15 km. doğusunda bulunan Doğancılar ve Kazköy köylerinin arazisi üzerinde kurulmuştur. Santral Zonguldak'a 17 km, Kilimli nahiyesine 7 km uzaklıkta olup adını 2 km uzağındaki Çatalağzı kasabasında almıştır. Santralin son sahibi olan EÜAŞ Enerji Bakanlığına bağlı bir kamu iktisadi teşekkülüdür (Url-1<http://www.catestermik.com>, 2011).

Çatalağzı kasabası ve çevresinde bugüne kadar birçok termik santral projesi geliştirilmiştir. Bunlardan sadece ÇATES A ve ÇATES B projeleri hayata geçirilebilmiştir. Şekil 2.5'de Çatalağzı Termik Santrali'nin fotoğrafları görülmektedir.

Son yıllarda artan özel sektör enerji girişimleriyle Eren Enerji Elektrik Üretim A.Ş. tarafından Zonguldak'ın Çatalağzı beldesinde yatırımı gerçekleştirilen 1360 MW kapasiteli (160 MW + 2x600 MW) kömür santrali de bulunmaktadır.

Çatalağzı A Santrali yüklenici English Elektrik tarafından Etibank için inşa edilmiştir. 1946 yılında inşaatına başlanmış 1948'de devreye alınmış ve 1991 yılında kapatılmıştır. B Santrali ise bugün halen daha devrededir ve iki ünitesi bulunmaktadır. Yetmişli yıllarda yatırım programına alınmış ve seksenli yıllarda

inşaatına başlanmıştır. 1989 da 1.ünitesi 1991'de 2.ünitesi devreye alınmıştır. Santral kurulduğundan bu yana devletin idaresinde kalmıştır. 1946 Etibank, 1970 TEK, 1993 TEAŞ idaresinde olan tesis 2001 yılından beri EÜAŞ idaresinde bulunmaktadır.



Şekil 2.5 : Çatalağzı termik santrali resimleri – I (www.catestermik.com).

Santralin ana makineleri inşa edildiği dönemden bu yana ciddi bir rehabilitasyona uğramamıştır. 2000'li yıllarda baca gazı emisyonunu yasal sınırlara indirmek için elektro filtre rehabilitasyonu yapılmıştır. Yine aynı dönemde denize atılan kül atık sorununa çare olması için yapımına başlanan kül barajının inşaatı neredeyse tamamlanmıştır. Son dönemde elektrik üretim standartlarındaki modernizasyona ayak uydurulması için yeni bir güç kontrol sistemi kurulmuştur. Ayrıca santralin değişken kömüre uyum sağlayabilmesi için kazan-brülör-değirmen-kömür besleme sistemlerinde topyekûn bir rehabilitasyon projesi üzerinde çalışılmaktadır. Şekil 2.6'de Çatalağzı Termik Santrali'nin denizden çekilmiş fotoğrafı yer almaktadır.

Şekil 2.6 : Çatalağzı termik santrali resimleri – II (www.catestermik.com).

Çizelge 2.2'de Çatalağzı Termik Santrali hakkında özet bilgiler, Çizelge 2.3'de de Çatalağzı Termik Santrali ana sistemleri hakkında bilgiler verilmiştir.

Çizelge 2.2 : Çatalağzı termik santrali hakkında özet bilgiler (Url-1<http://www.catestermik.com>, 2011).

Tanım	Değer
Resmi Adı	Çatalağzı B Termik Santral İşletmesi
Kısa Adı	ÇATES
Yeri	Zonguldak ili merkez ilçeye bağlı Çatalağzı kasabası Işıkveren mevkii
Yüklenici Firmalar	Kutlutaş, Trans Elektro, Siemens, Mitsubishi
Kapasite	2 x 150 MW (2 x 150.000 kw)
Yıllık Üretim	2 x 966.000.000 kwh
Temel Atma	B1 Nisan 1978, B2 Mayıs 1987
Ticari İşletmesi	Lavuar artığı mikst (Hu; 3300 Kcal/kg) 1.600.000 ton /yıl
Yardımcı Yakıt	7200 Ton/yıl motorin; 480 ton/yıl fuel-oil
Santral Sahası Alanı	1.211.000 m2 (site, gölet, kömür stok sahası, kül barajı vs. dâhil)
Santral Ana Binaları	55.750 m^2
Yardımcı Tesisler	48.300 m^2
Su	40 t/saatlik katma ve kullanma suyu Dereköy göletinden (1.2 milyon m^3) +35 m. kot ve Kazköy deresi pompa istasyonundan sağlanır.
Ana Soğutma Suyu	Kondanse için; Küçükağız mevkiinde liman içinden (2xØ2000 mm) Karadeniz'den sağlanır. (2x20.000m^3/h)

Çizelge 2.3 : Çatalağzı termik santrali ana sistemleri (Url-1<http://www.catestermik.com>, 2011).

Ana Sistem Adı	Özellikleri
Kazan	Tekrar kızdırıcılı, tek ocaklı, tabii sirkülasyonlu domlu kazan
Yakıt	480 t/h
Buhar Sıcaklığı	535 ^{o}C
Buhar Basıncı	135 kg/cm^2
Ebadı	12x12x87m.
Türbin Tipi	İki silindirli, çift egzozlu, tekrar kızdırıcılı hatlı ve kondensasyonlu
Kapasite	157.340 kw
Dönme Hızı	3000 d/d
Jeneratör	Hidrojen soğutmalı, 3 fazlı
Kapasite	180 MVA
Çıkış Gerilimi	15 kV. 7236 A.
Frekans	50 Hz.
Ana Transformatör	Yağ/hava soğutmalı, 3 fazlı kapasitesi: 188 MVA
Elektro Filtre	Elektro statik kül tutma sistemli
Verimi	%98.65
Çıkışta Baca Gazı Kül Tutma Miktarı	200 mg/Nm^3 (max)
Su Tasfiye	4x20 t/h kapasiteli kum filtreli, anyon/ katyon filtre mix-bed filtre
Kömür Stok Sahası	170.000 ton
Liman	Batı tarafı 262 m doğu tarafı 682 m uzunlukta
Kömür Nakil Sistemi	Kömür bantları ve park makineleri 2x300 t/h kömür bunkerleri 2x6 adet her biri 268 m^3
Bacalar	2 adet 120m. yükseklik.
Evsel Atıklar	2 adet lojman ve santral arıtma sistemi kuruludur (kapasitesi 1000 ve 600)

Çatalağzı Termik Santralinin Tarihçesi

Kurtuluş Savaşı'nın sona ermesinin ardından ülkemizde başlayan sanayi hamleleri sonucunda doğan enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla 1938 yılında Çatalağzı Termik Santrali'nin kurulumuna karar verilmiştir.

Bu amaçla Zonguldak ilinin merkez ilçesine bağlı ve il merkezinin 17 km. doğusunda bulunan Çatalağzı'nda (Işıkveren) kömür tozlarından yararlanacak biçimde bir termik elektrik santrali yapılması kararlaştırılmıştır. 1940 Yılında bir İngiliz firması ile anlaşma yapılmıştır. Ancak İkinci Dünya Savaşı nedeniyle, santralin inşaatı gecikmeli olarak (Etibank Yönetim Kurulunun 26 Nisan 1946 tarih ve 519/5 sayılı kararı ile) English Elektrik firmasına ihale edilmiştir.

ÇATES'in kurulmasında, elektrik enerjisi üretmenin yanı sıra, EKİ'nin piyasaya arz edilmeyen ticari değeri düşük ve başka yerlerde kullanılmayan mikst, şlam gibi yüksek küllü ara ürünlerin değerlendirilmesi amaçlanır. Santralin inşaatına 10 Temmuz 1946 tarihinde başlanır ve yapıldığı yıllarda Türkiye'nin 2. büyük termik santralidir.

Türkiye'nin öncü ve örnek kuruluşu ÇATES'te üretilen ve enerji nakil hatlarıyla iletilen elektrik enerjisiyle İstanbul, Kocaeli ve Sakarya başta olmak üzere, ülkemizde endüstrileşme tohumlarının atıldığı bugün de ekonomimizin itici gücü olan Marmara Bölgesinin o zamanki ihtiyacı karşılanmıştır. Etibank, DSİ ve İller Bankası elinde bulunan santraller ve elektrik iletim şebekeleri, 1970 yılında 1312 sayılı yasa ile kurulan Türkiye Elektrik Kurumuna (TEK) devredilmiştir.

Çatalağzı Termik Santrali-A, 1991 yılında ekonomik ömrünü tamamladığı gerekçesiyle servis dışı bırakılmıştır. Çatalağzı Termik Santrali–B 1. ünite 1989 yılında ve 2. ünite 1991 yılında kurulmuş olup her ikisi de 150 megawatt gücündeki 2 adet üniteyle toplam 300 megawatt saat (2X150 MW) elektrik enerjisi üretmektedir. Santralin ana yakıtı taşkömürü filtrasyon ürünü, yardımcı yakıt ise fuel-oil ve motorindir.

Çatalağzı Termik Santraline kömür TTK Genel Müdürlüğü'nün Zonguldak ve Çatalağzı Filtrasyon tesislerinden temin edilmektedir. Kömür Çatalağzı lavuarından

bant yoluyla, Zonguldak lavuarından ise TCDD vagonları ile santrala ulaştırılmaktadır. Santralin günlük ortalama kömür ihtiyacı iki ünite için toplam 5.000-5.500 ton/gün olup, yıllık ihtiyaç yaklaşık 1.700.000 ton/yıl'dır (2.100.000.000 kWh üretim için). Santralin kömür stok sahası kapasitesi 170.000 tondur. Son yıllarda TTK Genel Müdürlüğü tarafından üretilen yıllık 1.5-2.0 milyon ton arasında seyreden yıkanmış kömürün yaklaşık olarak yüzde 66'sı Çatalağzı Termik Santrali'ne pazarlanmaktadır. Çizelge 2.4'de 2006-2010 yılları arasında Çatalağzı Termik Santrali tarafından yakılan kömür ve çıkan uçucu kül miktarları görülmektedir. (Url-2<http://www.catestermik.com>, 2011)

Bugün Türkiye'nin elektrik enerjisinin %0.75'ini karşılayan Çatalağzı Termik Santrali, 2x150 megawattlık kurulu gücü ve yılda 2 milyar kilowatt saati aşan elektrik enerjisi üretimiyle Türkiye'deki termik santraller arasında önemli bir yere sahiptir.

Çizelge 2.4 : Çatalağzı termik santrali kül miktarları (2006-2010).

Yıllar	Yanan Kömür Miktarı (Ton)	Yanan Kömürdeki Kül Miktarı (Ton)	Uçucu Kül (Ton)	Taban Külü (Ton)
2006	1.567.333,0	736.646,5	589.317,2	147.329,3
2007	1.707.036,0	688.199,0	550.559,2	137.639,8
2008	1.636.501,3	665.817,2	532.653,8	133.163,4
2009	1.664.704,5	692.639,9	554.111,9	138.528,0
2010	1.563.791,7	630.122,6	504.098,1	126.024,5

3. ZAYIF ZEMİNLERİN STABİLİZASYONU

Zeminlerin, dirençlerini arttırmak veya belirli koşullarda sahip oldukları direnci her türlü hava koşullarında korumak veya aynı zamanda değişken yük ve iklim koşullarının zararlı etkileri altında uzun zaman dayanacak hale getirilmelerini sağlamak amacıyla katkı maddeleri ile karıştırılarak kararlı hale getirilmeleri işlemine stabilizasyon denir.

Zemin stabilizasyonu hem zeminin stabilitesini arttırmak hem de uzun vadede dengeli durumda kalmasını sağlamak amacıyla yapılır. Zemin stabilizasyonu inşaat sahasının değiştirilmesi veya zeminin o bölgeden kaldırılması ekonomik olmayacağı durumlarda kullanılan bir yöntemdir. Gelişen teknoloji sayesinde stabilizasyon için inşaat sahasındaki zeminin sıkıştırılması veya zemin tabakalarının iyileştirilmesi yoluna gidilmektedir. Zemin özelliklerinin iyileştirilmesi için kullanılan iki temel stabilizasyon yöntemi vardır (Günal, 1996).

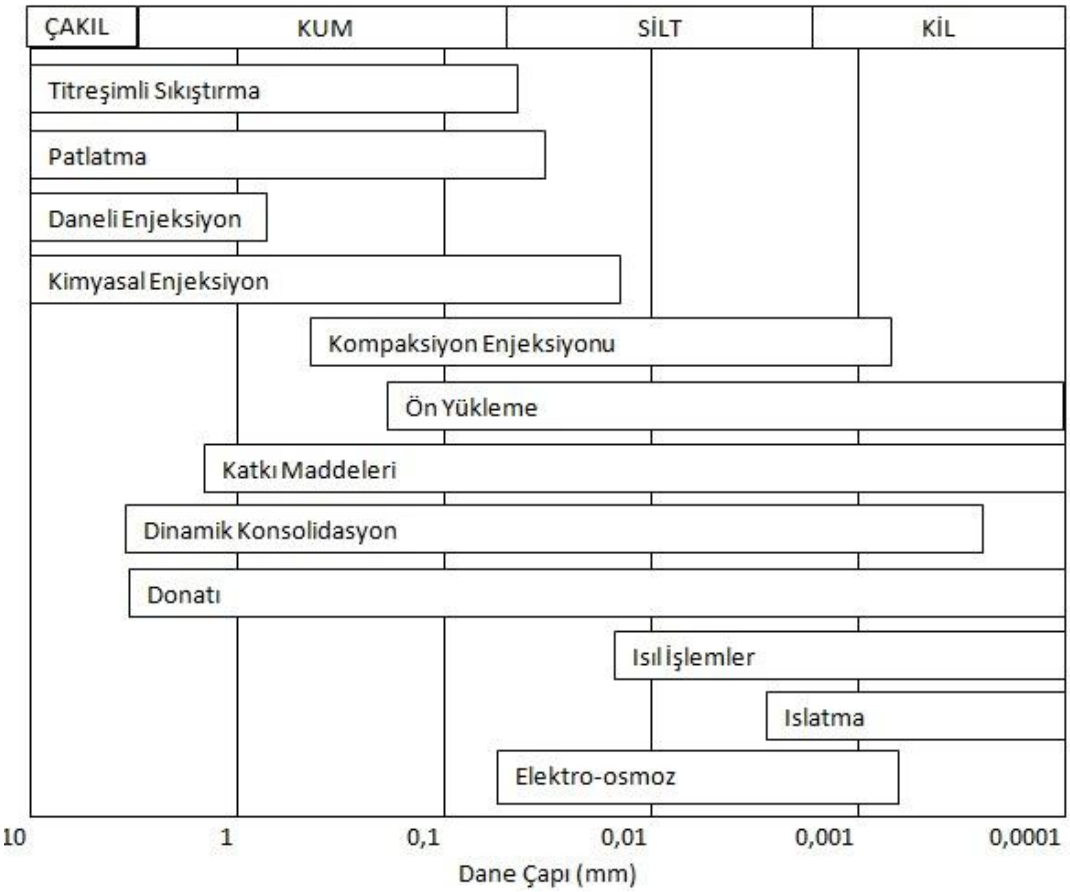
a) Dolgu malzemesi olarak kullanılan zeminin iyileştirilmesi
   - Sıkıştırma yöntemi (kompaksiyon)
   - Katkı maddeleri kullanarak (kireç, çimento, uçucu kül, asfalt, kimyasal maddeler ile geotekstil, geomembran ve geogrid kullanılması yöntemi)
b) Arazideki tabi zemin tabakalarının iyileştirilmesi
   - Drenaj yapılması yöntemi
   - Ön yüklemeye tabi tutulması yöntemi
   - Enjeksiyon yapılması yöntemi
   - Dinamik stabilizasyon yöntemi

3.1. Katkı Malzemeleri Kullanarak Zeminlerin Stabilizasyonu

Katkı malzemesi kullanarak zeminin stabilizasyonunun başlıca amaçları zemini iyileştirmek, yapımı hızlandırmak ve zeminin dayanımını arttırmak olarak sıralanabilir. Katkı malzemesiyle stabilizasyon yöntemlerinin bazıları şunlardır;

- Çimento ile Zemin Stabilizasyonu
- Kireç ile Zemin Stabilizasyonu
- Bitümlü Malzemeler ile Zemin Stabilizasyonu
- Geotekstil ile Zemin Stabilizasyonu
- Uçucu Kül ile Zemin Stabilizasyonu

Zemin Stabilizasyon yöntemlerinin hangi tip zeminlerde uygulanabileceğine dair grafik Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1 : Zemin stabilizasyon yöntemlerinin uygulanabilirliği (Yıldırım, 2002).

Zeminlerde dolgu malzemesi olarak kullanılacak malzemenin mühendislik ve endeks özelliklerini iyileştirecek katkı maddelerinden biri de uçucu küldür. Uçucu küller modern termik santrallerde ortaya çıkan kömürün yanması sonucu gazlarla birlikte yukarıya sürüklenen (uçan) ve baca tarafından çekilen çok ince kül parçacıklarıdır. Bu ince kül parçacıkları elektro filtrelerde elektrostatik yöntemlerle ve siklonlarla yakalanmakta böylece atmosfere salınımları önlenmektedir. Böylelikle filtrelerde tutulan uçucu küller sayesinde hava kirliliği önemli ölçüde

önlenmiş olmaktadır. Termik santrallerde atık malzeme olarak karşımıza çıkan uçucu kül özellikle inşaat endüstrisinde önemli kullanım alanları bulmaktadır. Bunlardan bazıları aşağıda sıralanmıştır;

- Dolgu malzemesi olarak
- Zemin stabilizasyonunda zemin özelliklerini iyileştirici malzeme olarak
- Çimento üretiminde yardımcı hammadde olarak
- Hafif agrega üretiminde yardımcı hammadde olarak
- Tuğla üretiminde yardımcı hammadde olarak
- Gaz beton üretiminde yardımcı hammadde olarak
- Harç üretiminde yardımcı hammadde olarak
- Maden ocaklarında filler olarak
- Yalıtım malzemesi olarak
- Donatılı zemin duvarlarda duvar arkası dolgusu olarak
- Çevre geotekniği ve atık depolama sahalarında (landfill) taban, yan ve üst sızdırmazlık tabakası (liner) olarak kullanılır.

Tezin konusu, geoteknik mühendisliğinde uçucu külün fiber katkısı ile birlikte stabilizasyon malzemesi olarak kullanması suretiyle zayıf zeminlerin mühendislik özelliklerinin iyileştirilmesinin deneysel olarak incelenmesidir.

Uçucu külün yıllar içinde çimento üretiminde daha yoğun olarak kullanılmasıyla birlikte bu malzemenin aynı zamanda zemin içine katılabilecek bir katkı malzemesi olarak kullanılabileceği fikri de belirmiştir. Çünkü uçucu kül ile kireç arasında kalsiyum ve silika minerallerinin sebep olduğu bir kimyasal reaksiyon ortaya çıkar. Kireç ve çimento dane şekilleri itibariyle sadece ince daneli zeminlerin stabilizasyonunda kullanılmaktadır. Fakat tamamen küresel yapıda olan uçucu kül ince daneli zeminlerin stabilizasyonunda kullanıldığı gibi kaba daneli zeminlerin (kum gibi) stabilizasyonunda da kullanılabilmektedir. Uçucu küller ayrıca kimyasal yapısından dolayı zararlı atık sulardan çok az etkilenir. Bu da çöp sahalarında yapılan geçici kil tabakasında kullanılmasının uygun olduğunu gösterir.

Yapılan çalışmalar göstermiştir ki ince daneli zeminlere uçucu kül katılarak zeminlerin mekanik özellikleri olumlu yönde etkilenmiştir. Zemine uçucu kül

katılması kayma direncini arttırmaktadır. Uçucu külün zayıf zeminlerle karıştırılmasıyla birlikte zeminlerin permeabilitesi azalmaktadır. Uçucu kül ilavesi zeminlerin CBR değerini arttırır. Şişme potansiyeli fazla olan tropikal bölgelere ait volkanik yapıdaki kil ve siltlerin stabilizasyonunda kullanılması önerilir.

Sonuç olarak uçucu küllerin; zemin stabilizasyonu, geleneksel dolgu işleri, donatılı zemin duvarlarda duvar arkası dolgu malzemesi ve çevre geotekniği uygulamalarında kullanılması önerilmektedir.

Dünyanın birçok ülkesinde termik santrallerde üretilen enerji ile birlikte yan ürün olarak ortaya çıkan uçucu kül, başta çimento üretiminde ve zemin stabilizasyonunda kullanılmak üzere inşaat sektöründe birçok malzemenin üretiminde yardımcı hammadde olarak kullanılmaktadır. Fakat ülkemizde her yıl 16 milyon tonun üzerinde ortaya çıkan uçucu külün çok az bir kısmı tekrardan değerlendirilerek kullanılmaktadır. Uçucu külün geoteknik mühendisliğinde kullanılması ekonomik açıdan ve çevre etkilerinin azaltılması bakımından büyük faydalar sağlayabilir.

3.1.1. Uçucu küllerin zemin stabilizasyonunda kullanımı

ASTM C 618-01'e göre uçucu küller kimyasal içeriklerine göre C ve F sınıfı olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. Her iki gruba da girmeyen üçüncü bir tür sınıflandırılamayan uçucu kül çeşidi de bulunmaktadır. F tipi uçucu kül, bitümlü kömürün yanması ile elde edilir ve çok düşük miktarda kireç (CaO) içermektedir. Bu tür uçucu kül silis ve alümina içerdiğinden, çimentolaşma özelliği çok azdır. Ancak normal ısı derecesinde, nemin etkisi ve muhtemel kireç ile reaksiyona girdiğinde, çimentolaşma meydana gelmektedir. C tipi uçucu kül ise linyit veya kömürün yanması ile elde edilir ve belirli oranda kireç içermektedir. C tipi uçucu kül kireç içerdiği için reaksiyon hemen meydana gelmektedir buna karşın F tipi uçucu külde ise kireç çok daha az olduğu için reaksiyonu başlatabilmek için dışarıdan ortama kireç ilave edilmesi şarttır. (Ferguson, 1993) çalışması da C tipi uçucu külün ilave katkı gerektirmeksizin iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir. (Turner, 1997)'da uçucu kül ile yapılan zemin iyileştirmesi ile mevcut zeminin mühendislik özelliklerinin iyileştirdiğini göstermiştir. (Edil, Benson, Bin-Shafique, Tanyu, Woon-Hyung, & Şenol, 2002)'de C tipi uçucu kül ile yapılan yol altı zemin iyileştirmesinin sıradan

zemin iyileştirme tekniklerine göre daha iyi sonuçlar verdiğini ve daha iyi olduğunu ifade etmişlerdir (Şenol, Edil, & Bin-Shafique, 2004).

Zemin stabilizasyonu kimyasal bir metod gerektirir. Bu konudaki en sorunlu zeminler plastisite indisi I_p=10 veya daha yüksek olan killer ve siltli killerdir. Stabilize edilmedikleri sürece bu zeminler su ile temasa geçtiklerinde çok yumuşak bir hal alırlar. Bu zeminler uçucu kül ile stabilize edildiklerinde, kül içinde kalsiyum hidroksit şeklinde bulunan kireç hızlı bir şekilde katyon değişimine ve topaklaşmaya sebep olacaktır. O zaman bu zeminler daha çok bir silt gibi davranacaklardır. Bu reaksiyon birkaç saat içerisinde başlar ve zeminin plastisite indisine ve kullanılan uçucu külün içindeki kirecin miktarına bağlı olarak birkaç gün içerisinde önemli değişiklikler meydana gelir. Plastik durumdaki kil, yarı katı ve kolay ufalanabilir kıvama sahip olur, plastisite indisi azalır, rötre limiti artar. Uçucu kül-kil karışımlarındaki iyileşmeye neden olan etkenleri meydana getiren reaksiyonlar tam olarak belirlenmemiş olmalarına rağmen, kireç, yüksek alkalin ortamı meydana getirmek için zemin suyunda çözünür. Böylece çok sayıda topaklaşmaya sebep olacak şekilde, kalsiyum iyonları kilin içerisine girerler. Bu tür zemin stabilizasyonu, puzolanik reaksiyon olarak adlandırılır. Bu reaksiyonda kireç, kimyasal olarak çimentolaşma meydana getirmek için zemindeki silisli ve alüminli elemanlarla birleşir. Bu birleşme için çok uzun zaman gereklidir. Birkaç yıl içindeki mukavemet artışı önce zayıf bağların şekillenmesiyle oluşur. Bu yavaş mukavemet artışı, zemin davranışında süneklik meydana getirir (Ledbetter, 1981).

Uçucu küller yüzeysel zemin stabilizasyonlarında aynı kireç ve çimento gibi yumuşak zeminlerin iyileştirilmesinde kullanılır. Uçucu kül mekanik ve kimyasal stabilizasyon yöntemleri için etkili bir katkı maddesidir. Genellikle CBR ve şişme problemi olan zeminlerde uygulanır. Uçucu kül zemin koşullarını iyileştirme yöntemi olarak kullanıldığında aşağıdaki faydaları sağlamaktadır;

- Zeminin CBR artar
- Zayıf zeminin kazılması ve yerine malzeme doldurulması nedeniyle oluşacak ilave maliyetleri kaldırarak tasarruf sağlar
- Uygun olmayan zemin özelliklerini iyileştirerek yapım hızını arttırır
- CBR değerinin artması dolayısıyla uygulanacak dolgu kalınlığı azalır.

Uçucu külün yüzeysel zemin stabilizasyonu olarak uygulama yöntemi kireç ve çimento ile aynıdır. Laboratuvar çalışmalarıyla belirlenen optimum su ve uçucu kül

oranına göre dağıtım araçları yardımıyla zemin yüzeyine serilir. Keçi ayaklı silindir ya da benzeri iş makineleriyle belirlenen derinliğe kadar karıştırılır ve sıkıştırıcı iş makineleri tarafından sıkıştırılır. Bazı zemin stabilizasyonu uygulamalarında zemin tipine bağlı olarak uçucu kül, kireç ya da çimento ile karıştırılarak zemine tatbik edilir.

4. UÇUCU KÜLLER

Uçucu kül (UK), termik santrallerde pulverize kömürün yanması sonucu meydana gelen ve baca gazları ile taşınarak siklon veya elektro filtrelerde toplanan önemli bir yan üründür. Türkiye'de halen yılda 16 milyon tondan fazla uçucu kül açığa çıkmaktadır. Endüstriyel bir atık olan uçucu kül miktarının artması çevre sorunlarını da beraberinde getirmektedir. Türkiye'de ve dünyada uçucu kül geri dönüşümü ve kullanım alanları konusunda çok sayıda çalışma yapılmaktadır.

Bu çalışmada uçucu külün kullanım alanlarının arttırılması üzerine bir araştırma yapılmıştır. Uçucu kül yaygın olarak inşaat sektöründe kullanılmaktadır. Çimento ve beton üretimi, gaz beton ve tuğla üretimi, zemin ve yol stabilizasyonu uygulamaları, hafif agrega üretimi vb. alanlarda yaygın kullanıma sahiptir.

Ülkelerin ekonomik ölçekte büyüme eğilimi göstermesi enerji tüketimlerinin de artmasına sebep olmaktadır. Enerji tüketimindeki artışlar ve endüstriyel gelişim beraberinde atıkların sebep olduğu çevre kirliliğini meydana getirmektedir. Bunun yanında küresel ısınma ile ilgili problemlerin çözümü için fosil kaynaklı enerjiler yerine yenilenebilir kaynakların kullanılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Gelişmiş ülkelerde geri dönüşüm konusu büyük önem kazanmış ve bu hammaddelerin kullanımına ilişkin araştırma çalışmaları giderek artan bir ivme kazanmıştır. Türkiye'de de güncelliğini koruyan en önemli konulardan biri enerjiden ve kullanılan hammaddeden tasarruftur (Aruntaş, 2006).

Türkiye'nin orta ve uzun vadeli enerji üretim politikalarının başında termik santrallerden enerji üretimi gelmektedir. Katı fosil yakıtların (linyit gibi) yakıldığı bu ünitelerden ortaya çıkan cüruf ve uçucu kül beraberinde önemli bir çevre problemi oluşturmaktadır. Özellikle teknolojik ve ekonomik değeri olan uçucu külün değerlendirilmesi maalesef çok düşük seviyede kalmaktadır. Avrupa Birliği uyum süreci ve Çevre Ajansına olan üyeliğimiz gereği enerji alanında da geri dönüşüm stratejilerini uygulamak ve hayata geçirmek Türkiye'nin önemli görevlerinden biridir (Aruntaş, 2006).

Ülkemizde elektrik enerjisinin halen önemli bir bölümü termik santraller yolu ile üretilmektedir. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu'na (EPDK) Göre, Türkiye'de 2007 yılı sonu itibarıyla 40.777,3 MW'a ulaşan toplam kurulu güç kapasitesinin % 31.6'sı doğal gaza, % 25'i kömüre ve % 32.8'i hidrolik kaynaklara dayalıdır. 2007 yılında Türkiye'de toplam elektrik enerjisi üretimi, bir önceki yıla Göre % 8.4 oranında artarak 191.2 milyar kWh olarak gerçekleşmiştir. 2007 yılı elektrik üretiminde doğal gaz yakıtlı santrallerin payı % 48.6, hidroelektrik santrallerin payı % 18.7 ve linyit yakıtlı termik santrallerin payı % 20 olarak gerçekleşmiştir (T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK), 2007)

Termik santrallerde enerji üretmek amacıyla yakıt olarak düşük kalorili linyit kömürleri ince tane boyutunda öğütülerek yakılmaktadır. Toz kömürün yakılması sırasında baca gazları ile sürüklenen ve elektro filtreler yardımıyla bacalarda tutulan ve boyutu 1-150 μm arasında değişen kül tanecikleri ortaya çıkmaktadır. Artan enerji ihtiyacına bağlı olarak artan kömür tüketimi, kömürün yanması sırasında atık olarak elde edilen kül miktarının da artmasına neden olmaktadır. Endüstriyel bir atık olan ve termik santrallerden elde edilen bu küllere uçucu kül adı verilmektedir (Aruntaş, 2006).

Türkiye İstatistik Kurumu'na (TÜİK) göre, Türkiye'de termik santrallerde 2003 yılında 11.84 milyon ton, 2004 yılında 13.34 milyon ton ve 2006 yılında 16 milyon ton uçucu kül açığa çıkmıştır. 2003-2006 yılları arasında oluşan atığın ortalama % 10'u tesis dışında geri kazanılmış, % 90'ı ise bertaraf edilmiştir. Bertaraf edilen atığın ortalama % 79'u kül dağı/barajında depolanmıştır. Termik santrallerin atık bileşimi içindeki en büyük pay, mineral atıklardan (kül, cüruf, uçucu kül ve alçıtaşı) meydana gelmiştir. Türkiye'de 2020 yılına kadar yıllık uçucu kül miktarının 50 milyon tonu geçmesi beklenmektedir. Günümüzde uçucu külün kullanım alanları üzerine çok sayıda çalışma yapılmakta ve endüstriyel atıkların inşaat mühendisliği uygulamalarında kullanılmasına daha fazla önem verilmektedir (Aruntaş, 2006).

4.1. Uçucu Küllerin Özellikleri ve Sınıflandırılması

4.1.1. Uçucu küllerin özellikleri

Uçucu kül, termik santrallerde pulverize kömürün yanması sonucu meydana gelen baca gazları ile taşınarak siklon veya elektro filtrelerde toplanan önemli bir yan

üründür. Kömürün yüksek sıcaklıklarda yanması sonucu meydana gelen ergimiş malzeme soğuyarak, gaz akısı ile kısmen veya tamamen küresel şekilli kül taneciklerine dönüşmektedir. Bu kül tanecikleri çok ince olup, baca gazları ile sürüklenmeleri nedeniyle, uçucu kül olarak adlandırılmaktadır.

Uçucu külde bulunan başlıca bileşenler; SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3 ve CaO olup bunların miktarları uçucu külün tipine göre değişmektedir. Ayrıca MgO, SO_3 alkali oksitler de minor bileşen olarak bulunmaktadır. Uçucu küldeki temel oksitlerden; SiO_2 %25-60, Al_2O_3 %10-30, Fe_2O_3 %1-15 ve CaO, %1-40 oranlarında bulunmaktadır. Bu farklı aralıklardaki değerler uçucu külün tipini karakterize etmektedir (Türker, Erdoğan, Katnaş, & Yeğinobalı, 2003).

Uçucu külün kimyasal yapısı kömürün farklı yerlerden elde edilmesinden dolayı farklılıklar göstermektedir. Buna rağmen uçucu külün temel bileşikleri silis ve alüminadır. Uçucu külün morfolojisi ve yapısı değişken ve kompleks, tane şekli ise yüzey geriliminden dolayı küreseldir. Tane yapısı ve boyutu soğutma hızından etkilenir. Uçucu küllerin ortak tipi genellikle; kuvars, mullit ve hematit gibi kristal bileşiklerden; silika camı gibi camsı bileşiklerden ve diğer oksitlerden meydana gelmiştir. Düşük kireçli uçucu küllerin ana aktif bileşeni, silis ve alüminadan oluşan amorf ya da camsı fazdır. Bu tip uçucu küller, rutubetli ortamda sönmüş kireç ($CaOH_2$) ile reaksiyona girdikleri için puzolanik özelliğe sahiptirler. Yüksek kireçli uçucu küller ise, hem puzolanik özellik gösterirler hem de sahip oldukları serbest kireç, trikalsiyum aluminat, amorf silis ve alumina sebebiyle kendi başlarına bir miktar bağlayıcı özelliğe sahip olabilirler. Düşük kireçli uçucu küllerdeki camsı faz miktarı, yüksek kireçli uçucu küllerden daha fazladır. Düşük kireçli uçucu küllerde mineral faz olarak; camsı faz, mullit ($Al_6Si_2O_{13}$), hematit (Fe_2O_3), manyetit (Fe_2O_4), kuvars (SiO_2) vb. var iken, yüksek kireçli uçucu küllerde sayılanlara ek olarak serbest kireç (CaO), anhidrit ($CaSO_4$), trikalsiyum aluminat ($Ca_3Al_2O_6$), plajiyoklaz, gehlenit, feldspat gibi kalsiyum silikatlar bulunmaktadır (Aruntaş, 2006).

4.1.2. Uçucu küllerin sınıflandırılması

Uçucu küllerin sınıflandırılmasında, kimyasal bileşen yüzdesine göre esas olarak ASTM C 6l8 ve TS EN 197-1 standartları baz alınmaktadır.

ASTM C 618 standardına göre uçucu küller, F ve C sınıflarına ayrılırlar. F sınıfı uçucu küller, bitümlü kömürden üretilen SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3 yüzdesi % 70'den fazla olan ve CaO yüzdesi % 10'un altında olduğu için düşük kireçli olarak da adlandırılan küllerdir ve puzolanik özelliğe sahiptirler. C sınıfı uçucu küller ise, linyit veya yarı-bitümlü kömürden üretilen ve toplam SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3 miktarı % 50'den fazladır. CaO > %10 olduğu için de yüksek kireçli uçucu kül olarak adlandırılırlar. C sınıfı uçucu küller, puzolanik özelliğin yanı sıra bağlayıcı özelliğe de sahiptirler (ASTM C 618 , 2000). TS EN 197-l'e göre sınıflandırmada ise uçucu küller silissi (V) ve kalkersi (W) olmak üzere iki gruba ayrılırlar. (V) sınıfı uçucu küller, çoğunluğu puzolanik özelliklere sahip küresel taneciklerden meydana gelen esas olarak reaktif SiO_2 ve Al_2O_3 oluşan; geri kalanı demir oksit ve diğer bileşenleri içeren küllerdir. Bu küllerde, reaktif CaO oranının % 10'dan az, reaktif silis miktarının % 25'den fazla olması gerekmektedir. (W) sınıfı uçucu küller ise, hidrolik ve/veya puzolanik özellikleri olan esas olarak reaktif CaO, reaktif SiO_2 ve Al_2O_3'den oluşan; geri kalanı Fe_2O_3 ve diğer bileşenleri içeren küllerdir. Bu küllerde, reaktif CaO oranının % 10'dan fazla, reaktif silis miktarının da % 25'den fazla olması gerekmektedir (TS EN 197-1, 2002).

4.2. Uçucu Küllerin Kullanım Alanları

Her endüstriyel atık gibi uçucu külden de yararlanma imkânları araştırılmıştır. Bunların basında çimento ve betonda katkı maddesi olarak kullanılması gelir. Silindirle sıkıştırılmış betonlarda, beton blok ve boruların yapımında kullanım bulur. Çimento hammaddesi olarak kullanılabilir. Özel işlemlerle uçucu külden dayanıklı hafif agrega elde edilebilir (Aruntaş, 2006). Son yıllarda uçucu külün zemin iyileştirme çalışmalarında da yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir.

- Uçucu Külün Çimento ve Betonda Kullanılması
- Uçucu Külün Agrega Olarak Kullanılması
- Uçucu Külün Tuğla üretiminde Kullanılması
- Uçucu Külün Gaz beton üretiminde Kullanılması
- Uçucu Külün Zemin Uygulamalarında Kullanılması
- Uçucu Külün Diğer Uygulamalarda Kullanılması

4.3. Çatalağzı Termik Santrali Uçucu Külü

Deneyde kullanılan uçucu kül Zonguldak Çatalağzı Termik Santrali bacalarında, kuru olarak elektro filtrelerde toplanmıştır. Çatalağzı uçucu külünün kimyasal analizide verilmiştir. Uçucu külün kimyasal bileşimi olarak SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3 toplamı %87.7 olup TS 639'da öngörülen uçucu kül koşullarını sağlamaktadır. ASTM C 686'ya göre düşük kireçli uçucu kül (F) sınıfına girmektedir. Bu gruba giren uçucu küllerde SiO_2, Al_2O_3 ve Fe_2O_3 % 70'den fazla olması ve CaO oranının % 10'dan düşük olması gerekmektedir. Kimyasal kompozisyonuna göre Çatalağzı uçucu külü siliko alümünöz uçucu kül olarak tanımlanabilir.

Çalışmalarda uçucu kül olarak Çatalağzı Termik Santrali'nden sağlanan kül kullanılmıştır. Çizelge 4.1'deki verilere bakılarak kullanılan Çatalağzı uçucu külü ile ilgili şunlar söylenebilir:

- TS EN 197-1 standardına göre, Çatalağzı uçucu külü, reaktif kireç miktarının % 10'un altında olması nedeniyle V sınıfına (silisli uçucu kül) girmektedir.
- TS EN 197-1 standardında istenilen koşullar (reaktif silis, reaktif kireç ve kızdırma kaybı) dikkate alındığında bu kül, reaktif silis için istenilen en az %25 olma gerekliliğini sağlamakta, sınıfı ile ilgili olarak TS EN 197-1'de istenilen koşullara uygundur.
- TS 639 standardına göre, $Si0_2+Al_20_3+Fe_20_3$ (S+A+F) > %70 koşulunu sağlamaktadır. $S0_3$ miktarı için < %5 koşulunu, Çatalağzı sağlamaktadır. Yine bu standartta getirilen MgO < %5 ve kızdırma kaybı <%10 koşuluna uymaktadır.
- ASTM C 618 standardına göre, $Si0_2+Al_20_3+Fe_20_3$ > %70 koşulu ve analitik CaO <%10 koşulunu gerçekleştiren Çatalağzı uçucu külü F sınıfına (düşük kireçli kül) girmektedir. ASTM C 618 standardında, uçucu küller elde edildikleri kömürün niteliğine göre de sınıflandırıldığı için Türkiye'de taşkömürünün yakılması ile üretilen tek yer Çatalağzı olup bu kül F sınıfına girmektedir. Diğer santrallerde linyit ve benzeri kömür kullanıldığı için, diğer küller C sınıfına girmektedirler. Bu standartta $S0_3$ için getirilen sınırlama (%5), TS 639 ile aynıdır. Yine bu standartta verilen kızdırma kaybı < %6 olmalı koşuluna bu kül uymaktadır.

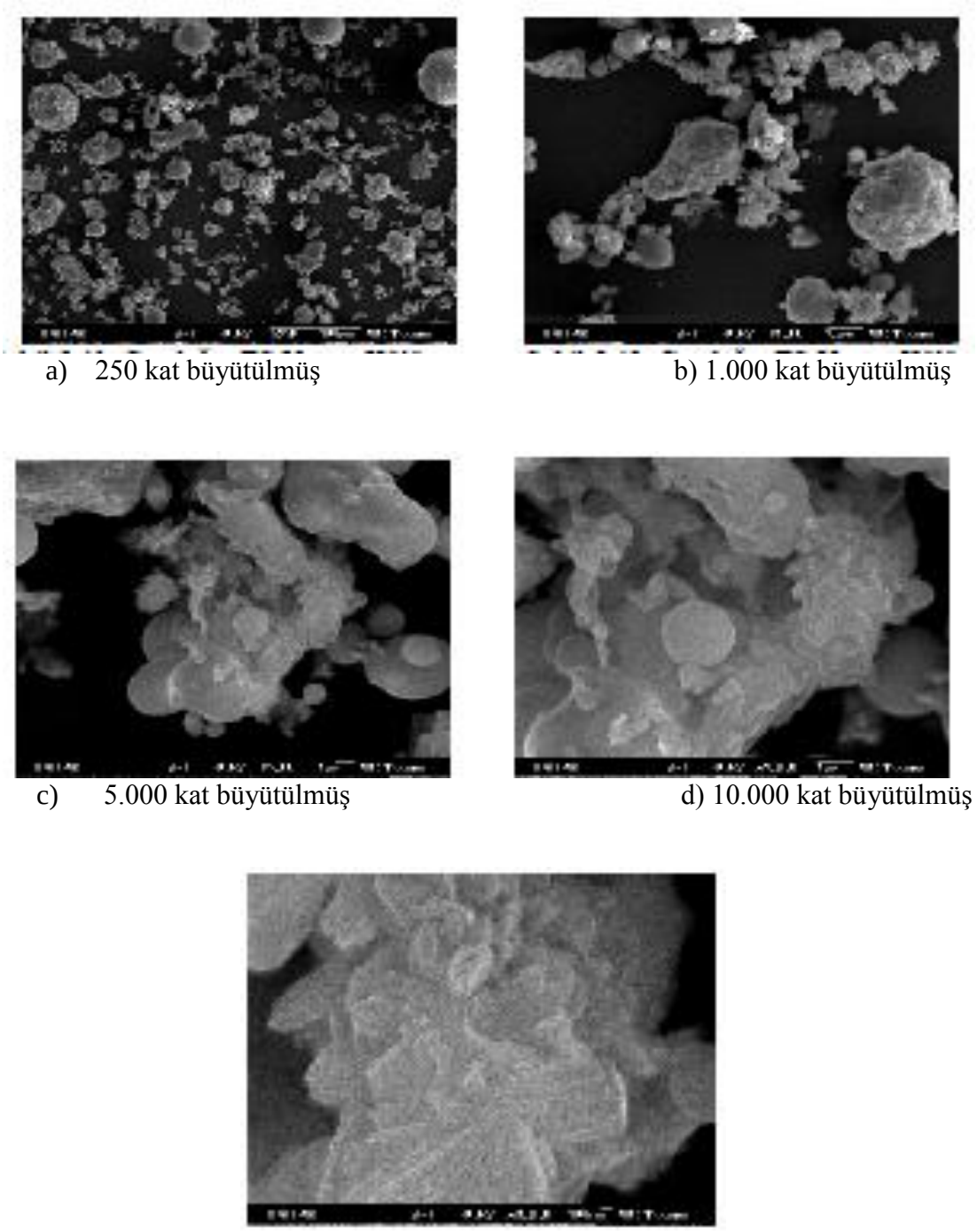
- TS EN 450 standardına göre Çatalağzı külü hem $S0_3$ (<3.00) hem de serbest kireç (<1.00) sınırlamalarına uygundur. Kızdırma kaybı ve klorür koşuluna uymaktadır.
- Kimyasal bileşim açısından standartlarda $Si0_2$+Al_20_3+Fe_2O_3 miktarı, reaktif silis, reaktif kireç $S0_3$, MgO, serbest kireç, kızdırma kaybı ve Cl^- için istenilen sınırlamalara Çatalağzı uçucu külü tamamen uymaktadır.

Çizelge 4.1 : Çatalağzı uçucu külü kimyasal özellikleri ve özgül ağırlıkları.

Oksit (%)	TS EN 450	TS EN 197-1		TS 639	ASTM C618		Çatalağzı (UK)	
		V	W		F	C	Deney 1	Deney 2
SiO_2							58.63	57.50
Al_2O_3							26.03	24.07
Fe_2O_3							6.12	6.59
S+A+F				>70.0	>70.0	>50.0	90.78	
CaO							1.17	1.53
MgO				< 5.0			2.50	2.48
SO_3	<3.00			< 5.0	< 5.0	< 5.0	0.19	0.16
K_2O							4.75	
Na_2O							0.47	
KK	< 5.0	< 5.0	< 5.0	< 10.0	< 6.0	< 6.0	1.10	
Cγ	< 0.10						0.016	
Serb. CaO	< 1.00						0.14	
Reak. SiO_2	< 25.0	>25.0	>25.0				34.16	
Reak. CaO		<10.0	>10.0				0.63	
Özgül ağırlık (gr/cm^3)							2.00	2.02
Özgül Yüzey (cm^2/g)							2550	

Çatalağzı Termik Santralinden alınan uçucu külün sırasıyla 250, 1.000, 5.000, 10.000, 30.000 kat büyütülmüş SEM görüntüleri Şekil 4.1'de verilmiştir.

Uçucu külün fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 4.1'de verilmiştir. Çatalağzı Termik Santrali'nden elde edilen uçucu kül, kimyasal analizi incelendiğinde SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3 > %70 koşulunu sağladığından F sınıfı uçucu küller kategorisinde yer almaktadır. Diğer taraftan %1.53 CaO değeri, %10'dan küçük olduğu için Düşük Kireçli Uçucu Küller (DKUK) sınıfındadır.



a) 250 kat büyütülmüş b) 1.000 kat büyütülmüş

c) 5.000 kat büyütülmüş d) 10.000 kat büyütülmüş

e) 30.000 kat büyütülmüş

Şekil 4.1 : Çatalağzı uçucu külü SEM görüntüsü.

Şekil 4.2'de Çatalağzı Termik Santrali'nden numune alınırken çekilen fotoğraf görülmektedir.

Şekil 4.2 : Çatalağzı termik santrali, uçucu kül numunesi alınması.

4.3.1. Çatalağzı termik santrali kül barajı

Çatalağzı termik santralinin iki ünitesinde yılda 2x750.000=1.500.000 ton filtrasyon ürünü taş kömürü artığı yakılmaktadır. Yakılan kömürden %45-50 oranında kül açığa çıkmakta, yıllık kül oranı yaklaşık 650.000 ton olmaktadır. Kazanlarda yakılan kömürden açığa çıkan kül baca gazı ile sürüklenirken her iki ünitede ikişer adet olan elektro filtreler tarafından tutulmakta, uçucu kül, luvo altı, draft, baca altı ile kazan altı cürufu 1/10 oranında su (1 birim kül ve 10 birim su) ile karıştırılarak içi bazalt kaplı açık kanaldan su gücü ile pompa emiş havuzuna gelmekte, buradan pompalarla emilen karışım 1105 m. uzunluğundaki yine içi bazalt kaplı 2 adet kanalete terfi edilerek kıyıdan denize atılmaktadır. Ekonomik ömrünü doldurduğu için 1991 yılında devreden çıkarılan ÇATES-A santralinin kül ve cürufu da devreye alındığı 1948 yılından beri benzer şekilde denize atılmıştır. Her iki santralin sistem işleyişi yakılan kömürden çıkan kül ve cürufun su ile karıştırılarak denize atılması esasına göre dizayn edilmiş ve kurulmuştur.

Kazanlarda kömürün yanmasıyla açığa çıkan yaklaşık 650.000 ton/yıl civarındaki kül ve cürufun kanaletlerle denize atılması sonucu %6-7 oranındaki kısım yüzeye yakın

askıda kül zerrecikleri şeklinde bir kirlilik oluşturmakta, rüzgâr etkisiyle kirlenme deşarj bölgesinden doğu batı istikametinde yaklaşık 25-30 km. sahil bandına ve 5-6 mil açığa kadar yayılmaktadır. Bu fiziksel kirliliği kül ve cürufun % 6-7'lik sudan hafif kısmı teşkil etmekte diğer kısmı dalga ve akıntıyla denizin derinliklerine çekilmektedir. Her ne kadar denize atılan kül cürufun toksit (zehirleyici) özelliği olmasa bile deniz canlılarını olumsuz yönde önemli oranda etkilediği bilinmektedir.

Elektrik enerjisi sonradan kullanılmak üzere biriktirilmeyen ve üretildiği anda tüketilme mecburiyeti olan bir üretimdir. Bu nedenle santralin durdurulması mümkün değildir. Dolayısıyla elektrik enerjisi için kömürün yakılması kül ve cürufun açığa çıkması kaçınılmaz bir süreklilik gerektirmektedir. Buna bağlı olarak kül ve cürufun herhangi bir yere atılması veya depo edilmesi zorunludur.

Bu nedenle kül ve cürufun karada inşa edilecek bir baraj arkasına depolanması projelendirilmiş ve büyük çabalar sonucunda hayata geçirilmiştir. "Kül ve Cüruf Uzaklaştırma ve Depolama İnşaatı" adı verilen proje Yayla İnşaat Sanayi Ticaret Ltd. Şti., Timtaş Turizm İnşaat Müteahhitlik Ticaret A.Ş., STY İnşaat Turizm Ticaret Sanayi Ltd. Şti. ortaklığına 12.4 milyon TL'ye ihale edilmiştir. DSİ Genel Müdürlüğü ile EÜAŞ Genel Müdürlüğü arasında 12.11.2002 tarihinde imzalanan protokolle işin Müşavirlik ve Kontrollük hizmetlerini DSİ yürütmektedir. Sözleşme EÜAŞ Genel Müdürlüğü ile müteahhit firma arasında 17.07.2002 tarihinde imzalanmış 25.07.2002 tarihinde yer teslimi yapılarak çalışmaya başlanılmıştır. Kısaca "Kül Barajı" adıyla anılan projeye ait ÇED (Çevresel Etki Değerlendirmesi) raporu ile ilgili tüm kuruluşlardan (Orman Genel Müdürlüğü, DSİ, Karayolları, Çevre Dairesi, İl Özel İdaresi, Bayındırlık, Köy Hizmetleri Bölge Müdürlükleri) gerekli izinler alınmıştır. Projenin uygulanacağı alan termik santral sahası ile Çatalağzı ve Muslu Beldelerine bağlı Dereköy, Kazköy, Kokurdan ve Kuzyaka Köyleri sınırları içinde kalmaktadır.

Kül Barajı Zonguldak İlinin Çatalağzı ilçesinde kil çekirdekli kaya dolgu tipinde temelden 68 m yüksekliğinde inşa edilmektedir. Kül barajının amacı Çatalağzı Termik Satralinden çıkan yıllık ortalama 650.000 ton külün 1/10 oranında su ile karıştırılarak pompa istasyonundan Ø 450'lik 4 adet boru ile kül barajına iletilmesi ve rezervuarda küllü suyun çökeltilerek depolanmasıdır. Gövde yüksekliği talvegden (dip) yükseltilecektir. Kül barajı rezervuar hacmi +90 m. kotunda 6.829.250m³,

+108 m. kotunda 12.857.375 m³ olacaktır. Kül cüruf su karışımı terfi hatları ve pompalar vasıtasıyla yapımına başlanan 885 m. uzunluğundaki tünel ile içine yerleştirilecek 4 adet içi bazalt kaplı borularla kapalı bir çevrim sistemi şeklinde sürekli olarak kül barajına ulaştırılarak depo edilecek ve denize deşarjına son verilecektir.

Küllü sular baraj rezervuarının sağ sahiline 4 no'lu yol ile, sol sahiline 5 no'lu yol ile gelecek, enerjisi kırılarak branşmanlarla rezervuara deşarj edilecektir. Küllü su tabana ulaşarak kül ve cüruf çökelecektir. Yüzeyde kalan su tekrar kullanılmak üzere Ø 500 lük boru ile santral sahasındaki kül suyu havuzunda son bulacaktır. Çizelge 4.2'de Çatalağzı Termik Santrali Kül Barajına ilişkin bilgileri içeren bir çizelge verilmiştir.

Çizelge 4.2 : Çatalağzı termik santrali kül barajı bilgileri.

ÇATES Kül Barajı	Bilgiler
Barajın Yeri	Zonguldak Çatalağzı Termik Santrali
Amacı	Kül ve Cürufun Atılması ve Depolanması
İnşaatın (başlama-bitiş) yılı	2002-2009
Gövde dolgu tipi	Kil çekirdekli kaya dolgu
Gövde hacmi	0.968 hm^3
Yükseklik (talvegden)	63 m
Normal su kotunda göl hacmi	8.3647 hm^3
Normal su kotunda kül alanı	0.319 km^2
Güç (santralin)	300 MW
Yıllık Üretim (santralin)	1933.2 GWh

Ayrıca bölgenin yağışlı olması ve aşağı kotlarda yerleşim birimlerinin yoğunluğu sebebiyle emniyet olarak barajın acil boşaltma hattı bulunmaktadır. Baraj derivasyon hatlarına konulan 2 adet 1200 mm çapında derivasyon hattı ve ilave 2 adet 600 mm çapındaki çelik boru ile acil su boşaltım hattı mansapta yapılacak olan yollardan geçerek mevcut Dereköy Göleti dolu savağına verilecektir.

Şekil 4.3'te Çatalağzı Termik Santrali kül barajı ve kül barajına giden boru hattının resimleri görülmektedir.

Şekil 4.3 : Çatalağzı termik santrali kül barajı resimleri-I.

Barajın esas amacı Çatalağzı Termik Santralinden çıkan küllü suyun depolanması ve suyun tekrar kullanılmasına yöneliktir. Bu amaçla yapılan barajın gövdesi kil çekirdekli kaya dolgudur. Küllü suyu taşıma amaçlı proje kapsamında; baraj gövde inşaatı (gövde tipi kil çekirdekli kaya dolgu), betonarme kaplama ulaşım tüneli, acil su boşaltım kanalı, terfi hatları (bazalt boru), vana odaları, pompa binası, geri dönüşüm hattı, boru hatları, çelik konstrüksiyon köprü ve ayakları ile servis yolları yapılmaktadır. Şekil 4.4'da kül barajı resimleri görülmektedir.

Şekil 4.4 : Çatalağzı termik santrali kül barajı resimleri-II.

5. KONUYA DAİR ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

(S.Ayyappan, 2010) polipropilen lif katkısının yol dolgularının mühendislik davranışına etkilerini incelemek amacıyla zemin-uçucu kül karışımına fiber malzeme ekleyerek deneysel çalışmalar yapmıştır. Deneylerde %85 silt oranına sahip yerel bir malzeme kullanarak, F sınıfı Tuticorin Termik Santrali uçucu külü ile RP6, RP12 ve RP24 tipi fiber malzeme kullanarak deneylerini gerçekleştirmiştir. Yapılan deneyler sonucunda zemin uçucu kül karışımına fiber malzeme eklemenin malzemenin mühendislik özelliklerine belirgin etkileri olduğu görülmüştür.

Karışıma fiber eklendiğinde yapılan proktor testlerinde karışımın maksimum birim hacim ağırlığı artmakta ve optimum su muhtevası düşmektedir. Yapılan serbest basınç deneylerinde serbest basınç değeri ve malzemenin sünekliği artmaktadır. Fiber malzemenin uzunluğunu artması serbest basınç değerinin artışını azaltmakta fakat malzemenin sünekliğini arttırmaktadır. CBR deneylerinde fiberin olumlu etkisi ağırlıkça %1.0 oranında karışıma kadar olmakta ve fiber uzunluğu 12 mm'ye kadar olan karışımlarda bu etki görülmektedir. Sonuçlar göstermektedir ki fiberle güçlendirilmiş zemin uçucu kül karışımlarında maksimum performansa 12 mm fiber uzunluğunda ve zemin-uçucu kül karışımının ağırlıkça %1.0'i oranında fiber karıştırıldığında ulaşıldığı görülmüştür.

(Aytekin, 2009) uçucu küllerle killi zeminlerin ıslahına yönelik yapmış olduğu çalışmasında, kullanılan materyallerden uçucu külü Afşin Elbistan-B Termik Santralinden kili ise Osmaniye'nin doğusunda yer alan Alman Pınarı kil yataklarından temin etmiştir. Çalışmada Afşin–Elbistan-B Termik Santrali uçucu külünün zemin stabilizasyonunda kullanılabilirliği deneysel olarak incelenmiştir. Zemine katılan uçucu kül ilk anda likit limit ve plastik limit değerlerini arttırmakta ve plastisite indisini düşürmektedir. Plastisite indisinin düşmesi işlenilebilirliği arttırmaktadır.

Çalışmalardan elde edilen sonuca göre; zemine uçucu kül katkısı ile karışımın maksimum kuru birim hacim ağırlık değeri azalmakta, optimum su muhtevasında ise

artış meydana gelmektedir. Kuru birim hacim ağırlık değeri ise artan kompaksiyon enerjisi ile arttırılabilmektedir. Uçucu kül katkısı zeminin kompaksiyon özelliklerini iyileştirmektedir. Uçucu kül katkısı ve kür süresinin artmasıyla içsel sürtünme açısı ve kohezyonda belirgin artış meydana gelmiştir. Kayma mukavemetin artmasında kohezyondaki artma daha etkindir. Uçucu kül katkısıyla permeabilite katsayısı ve konsolidasyon katsayısı azalmıştır. Ön konsolidasyon basıncının artışı boşluk oranının azaldığını göstermektedir. Tez çalışması neticesinde, Afşin – Elbistan Termik Santrali uçucu külünün zemin stabilizasyon çalışmalarında kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

(Jadhao & Nagarnaik, 2008) polipropilen lif katkısının yol dolgularının mühendislik davranışına etkilerini incelemek amacıyla zemin-uçucu kül karışımına fiber malzeme ekleyerek deneysel çalışmalar yapmıştır. Deneylerde %85 silt oranına sahip yerel bir malzeme kullanılmıştır. F tipi uçucu kül numunesi Hindistan'ın Eklahare bölgesinde bulunan Nashik Termik Santralinden temin edilmiştir. Karışımlarda RP6, RP12 ve RP24 tipi polipropilen lifler kullanılmıştır. Karışımlarda standart proktor testi, serbest basınç testi ve CBR deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda fiber katkısının karışımların mühendislik özellikleri üzerinde belirgin etkileri olduğu görülmüştür.

Karışıma fiber eklendiğinde; yapılan proktor testlerinde karışımın maksimum birim hacim ağırlığı artmakta ve optimum su muhtevası düşmektedir. Yapılan serbest basınç deneylerinde serbest basınç değeri ve malzemenin sünekliği artmaktadır. Fiber malzemenin uzunluğunu artması serbest basınç değerinin artışını azaltmakta fakat malzemenin sünekliğini arttırmaktadır. CBR deneylerinde fiberin olumlu etkisi ağırlıkça %1.0 oranında karışıma kadar olmakta ve fiber uzunluğu 12 mm'ye kadar olan karışımlarda bu etki görülmektedir. Sonuçlar göstermektedir ki fiberle güçlendirilmiş zemin uçucu kül karışımlarında maksimum performansa 12 mm fiber uzunluğunda ve fiber malzemenin zemin-uçucu kül karışımına ağırlıkça %1.0'i oranında karıştırıldığında ulaşıldığı görülmüştür.

(Kaniraj & Gayathri, 2003) fiber malzeme karıştırılmış uçucu kül malzemenin geoteknik özelliklerinin değişimi üzerine Hindistan menşeli iki farklı uçucu kül numunesiyle deneysel çalışmalar yapılmıştır. Uçucu küller F tipidir ve Yeni Delhi'de

bulunan Rajghat ve Dadri termik santrallerinden alınmıştır. Karışımlarda iki farklı tip fiber malzeme sabit oranda (%1.0) karışımlarda kullanılmıştır.

Yapılan deneyler sonucunda; Standart proktor testinde Dadri uçucu külünde belirgin bir değişim görülmezken, Rajghat uçucu külünde optimum su muhtevası azalırken maksimum kuru birim hacim ağırlık artmıştır. Serbest basınç deneyinde 6 mm uzunluğundaki fiber malzeme kullanıldığında fibersiz duruma göre daha fazla eksenel yük aldığı görülmüştür. Azalan yükle birlikte deformasyonun da devam ettiği görülmüştür. 20 mm'lik fiber malzemede eksenel yükte herhangi bir azalma görülmemiştir. Bu da bize fiber malzeme uzunluğunun malzeme davranışına etkisini göstermiştir. Kısa boylu fiber malzemede pik gerilime ulaşıldıktan sonra malzemenin yük miktarında azalma görülmektedir.

(Kumar, Mehndiratta, Chandranarayana, & Singh, 2005) uçucu kül dolgularına gelişigüzel katılmış fiber malzemenin etkilerini araştırmak amacıyla birtakım deneysel çalışmalar ortaya koymuşlardır. Deneylerde kullanılan uçucu kül malzemesi Hindistan'ın Dadri (Ghaziabad) bölgesinde bulunan ulusal termik santralden alınmıştır. Fiber malzeme sürekli boydaki fiberin kesilmesi yoluyla oluşturulmuştur. Deney zemin numunesi olarak kötü derecelenmiş ince kum (SP) olan yerel Roorkee zemini kullanılmıştır. Yapılan deneyler neticesinde; modifiye proktor testinde optimum su muhtevasının artan fiber oranıyla azaldığı ve maksimum kuru birim hacim ağırlığın azaldığı gözlemlenmiştir. Malzemenin ıslak ve kuru CBR değerlerinin artan fiber oranı ile arttığı gözlemlenmiştir. Fakat bu artış %1.0 oranında fiber malzemeye kadar olmuş, bu oranın üzerindeki fiber artışındaki artışlar oransal anlamda belirgin olmamıştır. Kuru CBR testlerinde %2.0 fiber oranına kadar artışlar devam etmiştir. %0.5 fiber katkılı uçucu kül zemin numunesinde CBR değerindeki artış donatısız (fibersiz) duruma göre % 267.5 gibi oldukça yüksek bir oranda olmuştur. Fiber artışı ile birlikte içsel sürtünme oranında da artış gözlemlenmiştir. İçsel sürtünme açısındaki en büyük yüzdesel artış %0.5 fiber oranında olmuştur. Arazide yapılan CBR deneylerinde %0.5 fiber oranında CBR değerindeki artış % 40.64 olarak tespit edilmiştir.

(Wasti, 1993) McLaren ve diğerlerinin (1987) yaptığı literatür araştırmasına dayanarak uçucu kül ile ilgili verileri bir araya getirerek ülkemizdeki "F" sınıfı Çatalağzı külü ile "C" sınıfı Soma-B külünün karşılaştırılması yapılmıştır. Her iki

sınıf uçucu külün permeabiliteleri çok düşük olduğu için zeminle veya tek başına kullanıldığı zaman permeabiliteyi azalttığını tespit etmiştir. Her iki sınıfın serbest basınç dayanımlarının karşılaştırması yapıldığında "C" sınıfı külün puzolanik özelliğinden dolayı zamanla sertleştiği ve kohezyon oluşturduğu anlaşılmıştır.

(Wasti, 1993) McLaren ve diğerlerinin (1987) yaptığı literatür araştırmasına dayanarak uçucu kül ile ilgili verileri bir araya getirerek ülkemizdeki "F" sınıfı Çatalağzı külü ile "C" sınıfı Soma-B külünün karşılaştırmasını yapmıştır ve bu çalışmada F ve C sınıfı uçucu küllerin kompaksiyon karakteristikleri arasında çok önemli bir fark olmadığı görülmüştür. Uçucu küllerin geoteknik uygulamalarda kullanılabilirliğini araştırmak üzere, alınan uçucu küllerin geoteknik özellikleri (indeks, kompaksiyon, kayma mukavemeti ve kompressibilite) incelenmiştir. Uçucu küllerin toprak dolgu malzemesi yerine ve yüksek plastisiteli killerin iyileştirilmesinde kullanılarak değerlendirilebileceği sonucuna ulaşılmıştır. Çatalağzı ve Soma-B külleri ile yapılan standart ve modifiye Proktor deneyleri birbirine yakın sonuçlar vermiştir. Araştırmacı elde ettiği deney sonuçları neticesinde uçucu külün, köy ve orman yollarının stabilizasyonunda, dolgu ve katkı malzemesi olarak kullanılmasını önermiştir.

(Aksoy, 1992) çalışmasında (Joshi & Nagaraj, 1987)'ın uçucu küllerle ilgili yaptığı çalışmaları esas almıştır. Alberta (Kanada) ve Amerika'daki bazı termik santrallerden alınan uçucu küllerinin optimum su muhtevalarına göre maksimum kuru birim hacim ağırlıklarının değişmesi aynı dane boyutlu iyi derecelenmiş zeminlere nazaran daha az olması nedeni uçucu küllerdeki fazla hava olması ile açıklanmıştır. Tabii zeminlerde %1 ile %5 olan bu oran küllerde %5 ile %15 arasında değişmektedir. Bunun da bize daha geniş bir su muhtevası aralığında sıkıştırma yapmamızı sağladığı tespit edilmiştir.

(Bowders, Usmen, & Gidley, 1987) çalışmasında A.B.D'nin West Virginia bölgesindeki iki ayrı termik santralden alınan F sınıfı uçucu kül ile çeşitli oranlarda kireç ve çimento karıştırarak ASTM D-698'e uygun kompaksiyon aleti ile deneyler yapmışlardır. Her iki külde de kireç yüzdesi arttıkça γ_{kmax} azalmakta ve w_{opt} arttığı görülmüştür. Aynı şeyleri birinci kül ile çimento karışımı için söylemenin mümkün olduğunu belirtmişlerdir. Fakat ikinci tip külde γ_{kmax} ve w_{opt} 'nın azda olsa beraberce

arttığını tespit etmişlerdir. Ayrıca çimento ilavesi kompaksiyon değerlerine pek etki etmediği görmüşlerdir.

(Joshi, McMaster, & Duncan, 1975) çalışmalarında Kansas'taki üç termik santralden (Hawthorn, Grand Avenue ve LaCygne) alınan uçucu kül örnekleri üzerinde yaptıkları standart proktor deneyi sonuçlarını incelemişlerdir. Grand Avenue Termik Santralinden alınan uçucu kül mükemmel bir dolgu malzemesi olduğu tespit edilmiştir. Laboratuar ve arazi deneyleri,çimento-uçucu kül karışımını temel altı stabilizasyon işlerinde kullanabileceğini tavsiye etmişlerdir. Havuz ve silo küllerini elde etmek zor olsa da bir takım aletlerle toplanabilmektedir. Uçucu külün çimento, kireç veya zemin karışımları su yardımıyla yapmak başarılı sonuçlar vermektedir.

Sürekli besleme tipi karıştırıcılar ile de iyi karışımlar elde edilememektedir. Arazide istenen kompaksiyonu sağlamak için düzgünce serilen zemin pünomatik sıkıştırma makinesi ile sıkıştırılmalıdır. %60 havuz uçucu külü ve %40 silo uçucu külü karışımı ile %10 çimento karışımının arazide en iyi şekilde sağlandığı su muhtevası %22-%30'dur. Daha yüksek su muhtevalarında daha iyi sıkışma elde edilmiştir. Çimento stabilizasyonundan sonra yüzey zemininin üniform olması için düzeltme yapılması, bu işlemden sonra yüzey ıslatılması ve uygun bir örtü ile örtülmesi önerilmiştir. Çimento - uçucu kül karışımı ile yapılmış stabilizasyonlu bir yolun hemen trafiğe açılmaması tavsiye edilmiştir.

Değişik oranlarda fibrilli polipropilen fiber malzeme katılarak kum ve killi zeminlerin iyileştirilmesi konusunu araştırmak ve fiberin etkisini görmek amacıyla yapılan laboratuvar deneylerinde 25 mm uzunluğunda fiber malzeme kullanılmıştır. Fiber oranı malzemenin kuru ağırlığının %0.1-0.3 arasında farklı oranlarda kullanılarak karışımlar üzerinde serbest basınç deneyi, CBR, kesme deneyi yapılmıştır. Yapılan deney sonuçlarına göre maksimum kuru birim hacim ağırlık değeri en yüksek durumdaki fiber katkı oranı kilde %0.2, kum malzemede %0.1 olarak bulunmuştur. Fiber katkısının her iki malzemede de serbest basınç direncini ve CBR değerini önemli derecede arttırdığı görülmüştür (Nataraj, 1997).

6. DENEYLERDE KULLANILAN MALZEMELER

Zayıf zeminlerin mühendislik özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla polipropilen liflerle güçlendirilmiş uçucu kül-kil karışımlarında yapılan laboratuvar deneylerinde üç farklı tip malzeme kullanılmıştır. Bunlar;

- Kil: Filyos Ateş Tuğla Fabrikası'ndan temin edilen bağlama kili
- Polipropilen lif: Fiberforce firmasından temin edilen, 19 mm uzunluğunda, F tipi fibrilli fiber malzeme
- Uçucu kül: Çatalağzı Termik Santrali'nden temin edilen F tipi uçucu kül

Bu malzemelere ilişkin gerekli deneylerin bir kısmı İstanbul Teknik Üniversitesi Ord. Prof. Hamdi Peynircioğlu Zemin Mekaniği Laboratuvarı'nda yapılmış, diğer gerekli bilgiler ise kurumların yaptırdıkları deney sonuç raporlarından temin edilmiştir. Deneylerde kullanılan her bir malzemenin genel özelliklerine aşağıda yer verilmiştir.

6.1. Kil Malzeme

Deneylerde zayıf zemin için kullanılan malzeme Zonguldak'ın Çaycuma İlçesi sınırları içerisinde bulunan Filyos Ateş Tuğla Fabrikası bağlama kilinden sağlanmıştır. Alınan kil numunesi fabrikada refrakter yapımında kullanılan öğütülmüş kil numunesidir. Kil numunesi üzerinde kıvam limitleri, elek analizi, hidrometre deneyleri yapılarak zemin tipi belirlenmiştir.

Malzemede öncelikle zemin sınıfını belirlemek amacıyla iki farklı elek analizi deneyi yapılmıştır. Çizelge 6.1'de görülen elek analizi sonuçlarına göre deneyde kullanılan kil malzemenin %91-96'sı 200 no'lu elekten geçmiştir.

Çizelge 6.1 : Filyos ateş tuğla bağlama kili elek analizi ve hidrometre deney özeti.

Deney No	Çakıl %	Kum %	Silt %	Kil %
Elek 1	0	9	42	49
Elek 2	1	4	47	48

Malzemenin %50'den fazlası 200 no'lu elekten geçtiği için zeminin sınıflandırmasını yapabilmek amacıyla hidrometre deneyi yapılmış ve malzemenin Atterberg limitleri belirlenmiştir. Zemin numunesinin elek analizi ve hidrometre sonuçlarına göre granülometri eğrisi çizilmiştir. Ek dökümanlarda gerçekleştirilen deneylere ait hesaplamalar ve grafiklere yer verilmiştir. Zemin numunesinin %50'den fazlası kil ve silt içerdiği için zemin sınıflandırması Atterberg limitlerine göre yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda zemin sınıflandırması, Birleşik Zemin Sınıflandırma Sistemine (USCS) göre CH (Yüksek Plastisiteli Kil) ve Amerikan Karayolları Sınıflandırma Sistemi (AASHTO)'ya göre A-7 olarak belirlenmiştir. AASHTO, A-7 zemin sınıfını zayıf temel malzemesi olarak tanımlamıştır. Kil malzemenin rengi tarçın, açık kahve rengidir. Çizelge 2.1'de Filyos Ateş Tuğla bağlama kilinde yapılan kıvam limiti deneylerinin sonuçları görülmektedir.

Çizelge 6.2 : Filyos ateş tuğla bağlama kili kıvam limitleri.

Deney No	Likit Limit, W_L (%)	Plastik Limit, W_P (%)	Plastisite İndisi (I_P) %	Zemin Grubu USCS / AASHTO
Kıvam 1	55	26	29	CH / A7
Kıvam 2	55	26	29	CH / A7
Kıvam 3	58	26	32	CH / A7

Yapılan standart proktor deneyinde kil numunesinin optimum su muhtevası %25, maksimum kuru birim hacim ağırlığı ise 1.568 gr/cm^3 olarak bulunmuştur. Malzemenin dane birim hacim ağırlığı yapılan piknometre deneyi sonucu 2.681 gr/cm^3, CBR değeri ise % 2 olarak tespit edilmiştir.

Filyos Ateş Tuğla Fabrikası

Filyos Ateş Tuğla Fabrikası, Karabük Demir-Çelik işletmelerin alümina - silikat ihtiyacını karşılamak üzere Sümerbank tarafından 1938 yılında etütleri yaptırılmıştır. 2. Dünya Savaşı'nın sona ermesini müteakip 1945 yılında temeli atılmış ve 1949 yılında da tecrübe üretimine başlamıştır. Kuruluş yıllarındaki üretim esas hammaddesi olan şiferton ile ilgili enerji kaynağı kömür ve elektriğin (Çatalağzı Termik Santralı) bir arada bulunması ayrıca Zonguldak-Karabük-Ankara demiryolu ulaşım hattı üzerinde olması fabrikanın Hisarönü (Filyos) mevkiinde kurulmasında etkili olmuştur. Türkiye'de başlayan kamu işyerlerinin özel sektöre devredilmesi çalışmaları neticesinde fabrika, 1997 Mayıs ayında Zonguldak, Çaycuma, Ereğli, Alaplı ve Devrek Ticaret odalarına bağlı Zonguldaklı iş adamlarının kurduğu Zonguldak Yatırım Makine Madencilik Enerji San. Tic. A.Ş. adlı şirket tarafından satın alınmıştır.

Son yıllarda Filyos Ateş Tuğla Fabrikası refrakter malzeme üretimine ağırlık vermiştir. Yüksek sıcaklıkta çalışan fırın ve benzeri ünitelerin yapımında veya içinin kaplanmasında kullanılan, sıcaklık altında fiziksel ve kimyasal nitelikte çeşitli aşındırıcı etkilere karşı ergimeden ve fiziksel-kimyasal özelliklerini koruyarak dayanabilen malzemelere refrakter malzemeler denilmektedir. Ateşe dayanıklı mamuller üretiminde yüksek alüminalı killer, şamot kili, boksit, alümina, bağlayıcı killer, silis kumu vb. hammaddeler kullanılmaktadır.

Deneylerde Filyos Ateş Tuğla Fabrikasından alınan bağlama kili kullanılmıştır. Bağlama killerinde Al_2O_3 oranının %32-35 arasında, ateşe dayanımının 1500 °C'den büyük, Fe_2O_3 oranının %3'ten küçük ve en önemlisi de bağlama dayanımının yüksek olması istenir (ort. 35 kg/cm^2). Plastik ve yarı plastik refrakter killer, hafif kil ya da bağlama kili olarak bilinir. Refrakterlik, plastiklik ve bağlama dayanımı açısından değişkendir. Genellikle gri renkli bağlama kili ve kahverengi bağlama kili olmak üzere iki tip bağlama kili bulunur. Deneyde kullanılan bağlama kili kahverengi bağlama kilidir, 1350 °C'de pişme rengi açık tarçın rengidir. Deneyde refrakter üretim sürecinde kullanılan öğütülmüş bağlama kili kullanılmıştır.

6.2. Polipropilen Lif

Deneylerde Fiberforce firmasından temin edilen F19 tipi (19 mm uzunluğunda) fibrilli fiber malzeme kullanılmıştır. Fiber malzeme ağ yapıya sahip, renksiz, doku olarak yumuşak ve pürüzsüz yapıya sahip polipropilen bir malzemedir. Deforme edildiği takdirde açılarak genişlemekte ve ağ yapısı ortaya çıkmaktadır. Tez çalışmasında kullanılan 19 mm uzunluğunda F tipi fibrilize polipropilen lif Şekil 6.1'de gösterilmiş, fiziksel özellikleri ve malzemenin teknik özellikleri Şekil 6.2'de verilmiştir.

Şekil 6.1 : F tipi fibrilize polipropilen lif.

Çizelge 6.3 : Polipropilen liflere ait fiziksel özellikler (fiberforce katalog).

Tanım	Özellik
Malzeme tipi	%100 polimer fiber
Tipi	Fibrile edilmiş fiber sistem
Görünümü	Ağ görünümlü
Kesit Alanı	Dikdörtgen biçiminde
Fiber Uzunluğu	19 mm +/- 1 mm
Çekme Mukavemeti	650-750 Mpa
Elongasyon (Uzama) (E)	maksimum % 10-25
Yoğunluk	0.90-1.35 g/cm3
Renk	Optik beyaz / şeffaf
Üreticisi	SPI - FiberForce
Üretim Yeri	Türkiye

www.FIBERFORCE.net 1 Nisan, 2011

info@fiberforce.net Murat ERBAŞ Cep (7/24): + 90 532 377 59 43

Teknik Bilgiler / Analiz Sertifikası
Fibrilli 19 mm Fiber

Kompozisyon	% 100 polimer fiber
Tipi	Fibrilli, dalgasız
Saflığı	Plastik ve geri dönüşümlü malzeme içermez
Görünümü	Ağ görünümlü
Kesit Alanı	Dikdörtgen biçimde
Fiber uzunluğu	19 mm +/- 1 mm
Sıkılık	5.0-8.0 gram / denier
Çekme mukavemeti	650-750 MPa
Young Modülü	3.000-3.500 MPa
Uzama	10-25% maksimum
Yoğunluk	0.90-1.35 gram/cm³
Renk	Optik beyaz / şeffaf
Yumuşama noktası	180 °c
Erime noktası	190 °c
Asit etkisi	Kararlı
Oksitli maddelerin etkisi	Kararlı
Biyolojik dayanımı	Kararlı
Çimento uyumluluğu	Mükemmel
Alkali etkisi	Kararlı
Aşınma dayanımı	Kararlı
Su emme	%70 relatif nemde, 21 °c'de ≤ %2
Üretici	SPI – FiberForce
Üretim Yeri	Türkiye

FiberForce.net

Şekil 6.2 : Tezde kullanılan polipropilen lifin teknik özellikleri.

Polipropilen lif insanlık tarihi kadar eski olan doğal mikro donatı saman ve hayvan kılları kullanımının günümüz teknolojisine uyumlaştırılmış halidir. Polipropilen lif beton, sıva, harç ve püskürtme beton uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunun yanında son yıllarda polipropilen lifler zemin iyileştirme çalışmalarında artan bir hızla kullanılmakta ve konuya ilişkin bilimsel çalışmalar her geçen gün artmaktadır.

Polipropilen elyafları %100 polipropilen esaslı olup, kullanımında ilave işçilik gerektirmeyen, kolay uygulanabilen, betonun ve sıvanın kalitesini artırmak, zeminlerin mühendislik özelliklerini iyileştirmek için kullanılan çürümeyen bir üründür. Polimer liflerden betona veya zemine katılan, en iyi sonucu veren ve en yaygın kullanılanı polipropilen liflerdir. Polipropilen lif katıldığı ortam içinde üç boyutlu bir mikro donatı ağ oluşturarak, doğal olarak varlığı kabullenilen eksiklik ve zaafları azaltıp betonun bazı özelliklerini iyileştirebilirler. Polipropilen lifleri hasır

demir, metal elyaf ve kümes filesi gibi alternatif donatı sistemleri ile karşılaştırıldığında en hafif mikro donatı sistemidir.

Metrekare başına ağırlığı 90 gram ila 200 gram arasındadır. Bu nedenle katılmış oldukları ortamda diğer donatı sistemleri kadar ölü donatı ağırlığı vermezler. Tez çalışmasında kullanılan polipropilen lif 1993 yılından beri takviye mikro donatı sistemleri konusunda faaliyet gösteren BetonElyaf firması tarafından sunulan bir ürün ailesidir. Şekil 6.3'te kil-uçucu kül karışımına fiber malzeme eklenmesi sırasında çekilmiş bir görüntü yer almaktadır.

Şekil 6.3 : Laboratuvar çalışmalarında fiber kullanımına ilişkin bir fotoğraf.

Sentetik ve Metalik takviye donatı sistemleri son yıllarda yaygın olarak kullanılmaktadır ve şantiyelerde mimar ve mühendisler tarafından genel kabul görmüştür. Ürünün kullanım yelpazesi aşağıda görülmektedir;

- Yapı İnşaatları: Askeri tesisler, hastane, idari bina, konut, sosyal ve kültürel tesisler, ticaret merkezi, turistik tesisler.
- Ulaşım Hatları: Havalimanı, karayolu, tünel, köprü, liman.
- Endüstri Tesisleri: Depo, ambar, enerji tesisleri, fabrika, iletişim tesisleri, santral yapıları
- Su İşleri: Baraj, sulama sistemleri.
- Altyapı: Atık su, içme suyu, şehir altyapısı
- Zemin: Zemin iyileştirme çalışmaları

6.2.1. Polipropilen Liflerin Sınıflandırılması

Polipropilen elyafları %100 homo–polipropilenden F ve M olmak üzere iki tipte imal edilmektedir. F–fibrilize elyafları, M–multifilament elyafları temsil etmektedir. M tipi elyaflar çok ince olup şap yüzeyinde gözükmediklerinden iç mekan şapları için iyi sonuçlar sağlarlar. F tipi lifler ise endüstriyel zemin uygulamalarında, ağır hizmet zeminlerinde durabilite ile tokluk aranılan şap ve betonlar için daha uygundur. Tez çalışmasında F tipi fiber malzeme kullanılmıştır.

6.3. Uçucu Kül

Deneylerde Zonguldak sınırları içerisinde bulunan Çatalağzı Termik Santralinden temin edilen F tipi uçucu kül malzeme kullanılmıştır. Deneyde kullanılan uçucu külün dane çapı dağılımını tespit etmek için numune üzerinde elek analizi ve hidrometre deneyleri gerçekleştirilmiştir. Aşağıda Çizelge 6.4'de elek analizi ve hidrometre deneyi sonucunda bulunan malzeme yüzdelerini görülmektedir. Deneylerin sonucunda çizilen malzemenin granülometri eğrisi ek dokümanlarda verilmiştir.

Çizelge 6.4 : Çatalağzı uçucu külü elek analizi ve hidrometri analizi özeti.

Deney No	Çakıl %	Kum %	Silt %	Kil %
Elek 3	0	9	86	5

Çatalağzı Termik Santrali uçucu külünün kıvam limitlerini belirlemek için yapılan deneylerin sonucu Çizelge 6.5'de verilmiştir. Yapılan deneylere göre, Çatalağzı uçucu külü plastik özellik göstermemektedir.

Çizelge 6.5 : Çatalağzı uçucu külü kıvam limitleri.

Likit Limit W_L (%)	Plastik Limit W_P (%)	Plastisite İndeksi I_P (%)
-	Plastik Değil (NP)	-

Ayrıca yine uçucu kül numunesinde piknometre deneyi yapılmış ve deney sonucunda uçucu kül numunesinin dane birim hacim ağırlığı 2.022 g/cm^3 bulunmuştur. Çatalağzı Termik Santrali uçucu külünün özgül yüzey alanı ise 2550 cm^2/gr'dır.

Çatalağzı uçucu külünde yapılan standart proktor deneyinde malzemenin optimum su muhtevası %22, maksimum kuru birim hacim ağırlığı 1,358 gr/cm^3 olarak tespit edilmiştir. Malzemenin CBR değeri ise % 2'dir. Çatalağzı uçucu külü koyu gri renktedir ve düşük kireçli uçucu küller grubundandır. Şekil 6.4'te Çatalağzı uçucu külü numunesi görülmektedir.

Şekil 6.4 : Çatalağzı uçucu külü.

7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Tez çalışmasında zayıf zeminlerin uçucu kül ve polipropilen lif katkısıyla mühendislik özelliklerinin iyileştirilmesine yönelik olarak deneysel çalışmalar İstanbul Teknik Üniversitesi Ord. Prof. Hamdi Peynircioğlu Zemin Mekaniği Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Yapılan deneyler aşağıda sıralanmıştır;

- Elek Analizi (2 adet kil, 1 adet UK olmak üzere toplam 3 adet)
- Hidrometre Deneyi (2 adet kil, 1 adet UK olmak üzere toplam 3 adet)
- Atterberg Limitleri (LL ve PL) (3 adet kil, 1 adet UK olmak üzere toplam 4 adet)
- Piknometre Deneyi (1 adet kil, 1 adet UK olmak üzere toplam 2 adet)
- Standart Proktor Deneyi (1 adet kil, 1 adet UK ve 5 adet farklı fiber oranlarındaki karışımdan olmak üzere toplam 7 adet)
- Serbest Basınç Deneyi (5 adet kil, 6 adet UK ve 24 adet farklı fiber oranlarındaki karışımdan olmak üzere toplam 35 adet)
- CBR Deneyi (1 adet kil, 1 adet UK ve 5 adet farklı fiber oranlarındaki karışımdan olmak üzere toplam 7 adet)

Uçucu kül ve kil malzemesi üzerinde elek analizi ve hidrometre deneyleri yapılarak malzemelerin dane çapı dağılımları belirlenmiş ve granülometri eğrileri çizilmiştir.

Uçucu kül ve kil malzemesi üzerinde standart proktor deneyleri yapılarak malzemelerin optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlıkları belirlenmiştir.

Kil ve uçucu kül numunelerinde kıvam limitleri yapılarak malzemenin likit limit, plastik limit ve plastisite indisi değerleri belirlenmiştir. Buna ilave olarak her iki malzemenin piknometre deneyi yapılmış ve malzemelerin dane birim hacim ağırlıkları tespit edilmiştir.

Bunlara ilave olarak her iki malzemenin ağırlıkça %50 oranında karıştırılmasıyla oluşturulan karışım numunesine ağırlıkça %0.0, % 0.5, %1.0, %1.5 ve %2.0 oranlarında polipropilen lif katılarak karışımlar üzerinde standart proktor, CBR ve serbest basınç deneyleri yapılmıştır. Karışımlar üzerinde yapılan deney sonuçları

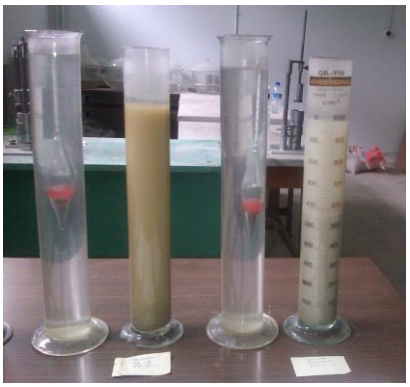
değerlendirilerek polipropilen lif katkısının zeminin mühendislik özellikleri üzerinde etkisi gösterilmiş ve optimum polipropilen lif katkı oranı tespit edilmiştir.

7.1. Elek Analizi Ve Hidrometre Deneyi

Elek analizi bir zemin numunesinde iri boyuttaki daneler, kum, kil ve siltin oranını bulmak ve dane çapı dağılımı eğrisini çizmek amacıyla yapılır. Deney sonucunda çıkan değerlere göre granülometri eğrisi çizilerek malzemenin dane çapı dağılımı ortaya çıkarılır. Deneyde kullanılan her iki malzeme de ince daneli numunelerden oluştuğu için yıkamalı elek analizi metodu kullanılmıştır. Şekil 7.1'de yıkamalı elek analizi sırasında çekilen bir fotoğraf görülmektedir.

Şekil 7.1 : Yıkamalı elek analizi deneyi.

Hidrometre deneyi ise ince daneli zeminlerin (0.075 mm'den küçük boyutlu) dane boyutunun belirlenmesi için uygulanan çöktürme deneyidir. Genel prensipleri Stokes yasasına dayanmaktadır. Stokes yasasında, bir sıvı içerisinde çöken ve geometrik şekli küre olan danelerin çökme hızları ile dane çapları arasındaki ilişki olduğu kabul edilir. Şekil 7.2'de hidrometre deneyi sırasında çekilmiş bir fotoğraf görülmektedir.



Şekil 7.2: Hidrometre deney tüpleri.

Çatalağzı Termik Santrali uçucu külü ve Filyos Ateş Tuğla Fabrikasından alınan bağlama kilinden alınan numuneleri üzerinde elek analizi ve hidrometre deneyleri yapılmıştır.

Filyos Ateş Tuğla Fabrikasından alınan bağlama kili üzerinde yapılan iki adet yıkamalı elek analizi ve hidrometre deneyi neticesinde malzemenin siltli kil olduğu tespit edilmiştir.

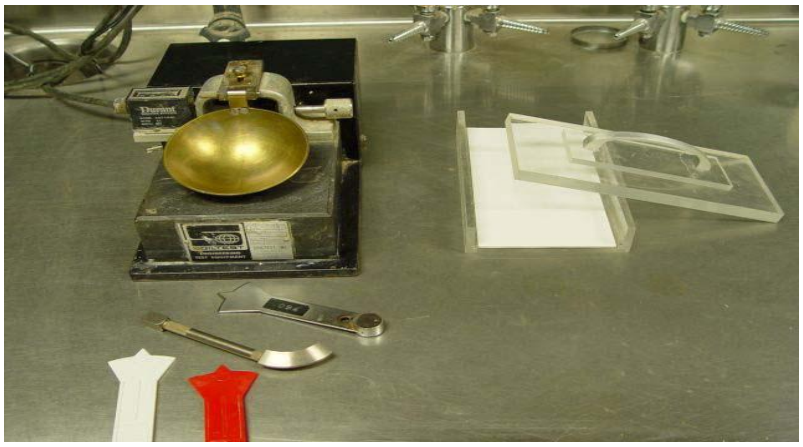
Çatalağzı Termik Santralinden alınan uçucu kül numunesinde yapılan bir adet yıkamalı elek analizi ve hidrometre deneyi neticesinde ise malzemenin killi silt olduğu tespit edilmiştir.

Yapılan elek analizi ve hidrometre deneylerinde bulunan dane çapı dağılımı hesaplamaları ve gradasyon eğrisi grafikleri Ek A'da verilmiştir.

7.2. Likit Limit Ve Plastik Limit Deneyi

Kıvam limitleri olarak da bilinen Atterberg Limitleri, zeminin daneleri ile su arasındaki ilişkileri ve değişen su içeriklerine göre zeminin durumunun tanımlamasını yapmaya yarar. Kıvam limitleri 40 no'lu elek altında kalan ince malzeme üzerinde yapılır.

Zemine belirli bir oranın üzerinde su verilirse zemin likit (sıvı) hale gelmektedir. Bu durumda zemin akıcıdır ve kesme direnci yoktur. Kurumaya bırakılırsa belirli bir kesme direnci kazanır. Bu geçiş durumundaki su içeriğine likit limit denir (W_L ile gösterilir). Şekil 7.3'de Cassagrande metoduyla gerçekleştirilen likit limit deneyinde kullanılan ekipmana ilişkin bir resim görülmektedir.



Şekil 7.3 : Likit limit deney aleti, Casagrande metodu.

Eğer zeminin su kaybı daha fazla olursa zemin yavaş yavaş plastik özelliğini kaybeder ve düz bir satıhta yuvarlanırsa ufalanır, üzerinde çatlaklar oluşur. 3 mm kalınlığa ulaştığında üzerinde çatlaklar oluşan durumdaki su içeriğine plastik limit denir (W_P ile gösterilir). Şekil 7.4'de plastik limit deneyinin yapılışı sırasında ve deney sonrası alınan numunelerden çekilmiş bir fotoğraf görülmektedir.

Şekil 7.4: Plastik limit deneyinin yapılışı.

Likit limit zeminin sıvı halden plastik hale, plastik limit ise zeminin plastik halden yarı katı hale geçtiği sınır değerlerdir.

Filyos Ateş Tuğla Fabrikasından alınan kil numunede likit limit ve plastik limit deneyleri yapılarak malzemenin likit limit, plastik limit ve plastisite indisi değerleri bulunmuştur.

Bağlama kili numunesi üzerinde 3 farklı likit limit-plastik limit deneyi gerçekleştirilmiş ve kil numunesinin CH grubu killerden (yüksek plastisiteli killer) olduğu görülmüştür.

Ayrıca Çatalağzı uçucu külünde yapılan kıvam limitlerine göre uçucu kül plastik özellik göstermediği ve non-plastik (NP) olduğu tespit edilmiştir.

Deneylere ilişkin sonuç ve grafikler Ek B'de verilmiştir.

7.3. Piknometre Deneyi

Piknometre deneyinin amacı kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlerin dane birim hacim ağırlıklarını belirlemektir. Dane birim hacim ağırlığı, aralarında boşluk bulunmayan kompakt kütlenin hacme oranıdır. Deneyde piknometre, saf su, etüv (şişe), vakum aleti, pipet ve kuru malzeme kullanılmıştır. Şekil 7.5'de piknometre deneyinin yapılışı sırasında çekilmiş bir fotoğraf görülmektedir.

Şekil 7.5 : Piknometre deney kabı.

Çatalağzı Termik Santralinden alınmış uçucu kül numunesinde ve Filyos Ateş Tuğla Fabrikasından alınan kil numunesinde piknometre deneyi yapılmıştır. Piknometre deneyi sonucunda her iki malzemenin dane birim hacim ağırlık değerleri bulunmuştur.

Piknometre deneyleri neticesinde kil numunesinin dane birim hacim ağırlığı 2.681 gr/cm^3, uçucu kül numunesinin birim hacim ağırlığı 2.022 gr/cm^3 olarak tespit edilmiştir.

Deney sonuçlarına ilişkin hesaplamalar Ek C'de verilmiştir.

7.4. Standart Proktor Deneyi

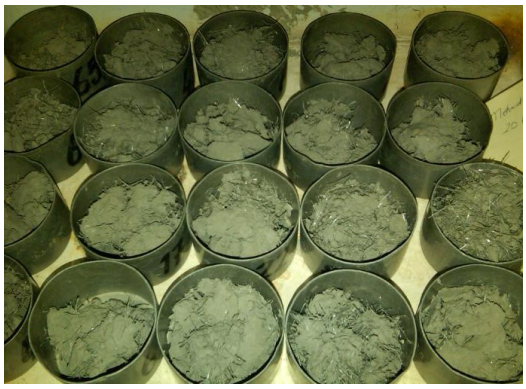
Zeminlerin sınıflandırılması ve birim hacim ağırlıklarının belirlenmesinden sonra en önemli deney kompaksiyon deneyidir. Proktor deneyinin amacı sahada en iyi

sıkışmanın sağlanabileceği, en yoğun durumdaki optimum su içeriğinin ve maksimum kuru birim hacim ağırlığın belirlenmesidir. Zemin danelerinin en iyi sıkışmayı gösterdiği optimum su muhtevası zeminlerin stabilizasyonu için oldukça önemlidir. Deney, malzemenin belirli bir kap içinde, belirli sayıda tabakalar üzerine uygulanan belirli enerjiler ile sıkıştırılması deneyin esasına dayanmaktadır. İki tip proktor deneyi mevcuttur, bunlar standart proktor ve modifiye proktor deneyleridir. Standart proktor deneyi, 950 cm^3 hacmindeki kabın içine 3 eşit tabakaya 30.5 cm yükseklikten 2.5 kg ağırlığındaki tokmak 25'er kere düşürülerek yapılır. Bu deneyde kompaksiyon enerjisi 590 kJ/m^3'tür.

Serbest basınç deneyi için numuneler standart proktor deneyinde bulunan optimum su içeriğine uygun olarak hazırlanmıştır. Şekil 7.7'de proktor deneyinde kullanılan ekipmanlara ilişkin bir fotoğraf görülmektedir.

Çatalağzı Termik Santrali uçucu külünde ve Filyos Ateş Tuğla Fabrikasından alınan kil numunesi numunesi üzerinde standart proktor deneyi yapılmıştır. Yapılan standart proktor deneyi sonucunda uçucu kül malzemenin ve kil malzemenin optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlığı değerleri ile her iki malzemenin eşit miktarda, ağırlıkça %50 oranında, karıştırılmasıyla oluşturulan karışım numunesinin optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlık değerleri bulunmuştur. Şekil 7.6'da proktor deneyi sırasında proktor kalıbından alınan su muhtevası örnekleri görülmektedir.

Filyos Ateş Tuğla Fabrikası bağlama kilinin maksimum kuru birim hacim ağırlığı 1.568 ve optimum su muhtevası %25, Çatalağzı Termik Santrali uçucu külünün maksimum kuru birim hacim ağırlığı 1.358 ve optimum su muhtevası %22 olarak bulunmuştur. Her iki numunenin eşit miktarda karıştırılmasıyla oluşturulan karışım numunesinde yapılan standart proktor deneyi sonucunda karışımın maksimum kuru birim hacim ağırlığı 1.618 ve optimum su muhtevası %16 olarak bulunmuştur. Deney hesaplamaları ve sonuçlarını gösteren çizelge ile deneye ilişkin grafikler Ek D'de verilmiştir.



Şekil 7.6 : Su muhtevası numuneleri.

Şekil 7.7 : Standart proktor deney düzeneği.

Ayrıca uçucu kül numunesi ve kil numunesinin ağırlıkça %50 oranında karıştırılmasıyla oluşturulan numune içerisine %0.5, %1.0, %1.5 ve %2.0 oranlarında FiberForce firmasından temin edilen 19 mm uzunluğunda fiber malzeme katılarak hazırlanmış numuneler üzerinde de ayrı ayrı standart proktor deneyleri yapılarak fiber katkısının optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlığa etkisi araştırılmıştır. Şekil 7.8'de laboratuvar çalışmaları sırasında standart proktor kalıbının fiberli kil-uçucu kül karışımıyla doldurulması görülmektedir.

%0.5 fiber katkısıyla hazırlanmış karışımın maksimum kuru birim hacim ağırlığı 1.562 ve optimum su muhtevası %18, %1.0 fiber katkısıyla hazırlanmış karışımın

maksimum kuru birim hacim ağırlığı 1.581 ve optimum su muhtevası %17, %1.5 fiber katkısıyla hazırlanmış karışımın maksimum kuru birim hacim ağırlığı 1.564 ve optimum su muhtevası %17, %2.0 fiber katkısıyla hazırlanmış karışımın maksimum kuru birim hacim ağırlığı 1.538 ve optimum su muhtevası %17 olarak bulunmuştur. Deney hesaplamaları ve sonuçlarını gösteren çizelge ile deneye ilişkin grafikler Ek D'de verilmiştir.

Şekil 7.8 : Laboratuvarda standart proktor kalıbının doldurulması.

7.5. CBR Deneyi

CBR (Kaliforniya taşıma oranı) deneyi kesit alanı 19.35 cm2 olan silindirel bir pistonun belirli bir hızla zemine itilmesiyle elde edilen yük-penetrasyon bağlantısının bulunmasını kapsar.

Penetrasyonun herhangi bir değeri için, ölçülen yükün standart bir yüke oranı olarak tanımlanan CBR genellikle 2.5 mm'lik penetrasyon için verilir. Ancak 5.0 mm'lik

bir penetrasyon için daha büyük bir değer çıkarsa, büyük olan değer verilir. Şekil 7.9'da CBR deneyinin yapılışı sırasında çekilmiş bir görüntü yer almaktadır.

Şekil 7.9 : CBR deneyinin yapılışı.

Çatalağzı Termik Santralinden alınmış uçucu kül numunesinde, Filyos Ateş Tuğla Fabrikasından alınan kil numunesinde CBR deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bunlara ek olarak her iki malzemenin ağırlıkça %50 oranında karıştırılmasıyla oluşturulan malzemeye sırasıyla karışımın ağırlıkça %0.0 , %0.5 , %1.0 , %1.5 ve % 2.0'si oranında fiber malzeme katılmasıyla oluşturulan numunelerde de ayrı ayrı CBR deneyleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 7.10'da CBR deneyi sonrası kalıp içerisindeki malzeme yüzeyi görülmektedir.

Şekil 7.10 : CBR deneyi sonrası malzeme yüzeyi.

Şekil 7.11'de CBR deneyinin gerçekleştirildiği deney düzeneği ve deneyde kullanılan diğer ekipmanlara ilişkin bir fotoğraf görülmektedir.

CBR deneyi için malzemeler standart proktor deneyinde belirlenen optimum su muhtevasında hazırlanmış ve CBR kalıbında sıkıştırılarak hazır hale getirilmiştir. Yapılan CBR deneylerinde malzemelerin CBR değerleri kil numunesi için %2, uçucu kül numunesi için %2, her iki malzemenin %50 oranında karıştırılmasıyla oluşturulan karışım malzemesi için %6 olarak bulunmuştur. Deney hesaplamaları ve sonuçlarını gösteren çizelge ile deneylere ilişkin grafikler Ek E'de verilmiştir.

Şekil 7.11 : CBR deney düzeneği.

Optimum su muhtevasında hazırlanan fiber katkılı kil-uçucu kül karışımlarında yapılan CBR deneylerinde malzemelerin CBR değerleri; %0.5 fiber katkılı karışım için %7, %1.0 fiber katkılı karışım için %12, %1.5 fiber katkılı karışım için %11, %2.0 fiber katkılı karışım için %5 olarak bulunmuştur. Deney hesaplamaları ve sonuçlarını gösteren çizelge ile deneylere ilişkin grafikler Ek E'de verilmiştir. Şekil 7.12'de kil-uçucu kül ve fiber malzemenin optimum su muhtevasında hazırlanması sırasında çekilmiş bir görüntü yer almaktadır. Topaklanmayı önlemek amacıyla su püskürtülerek malzemeye katılmakta ve elle karıştırma işlemi yapılmaktadır.

Şekil 7.12 : Kil-uçucu kül ve fiber malzemenin optimum su muhtevasında karıştırılarak hazırlanması.

7.6. Serbest Basınç Deneyi

Serbest basınç deneyi için öncelikle malzemeler standart proktor deneyinde belirlenmiş olan optimum su muhtevasında hazırlanmış ve Harvard minyatür kompaksiyon deney aletinde sıkıştırılarak 50 mm çapında 100 mm yüksekliğinde silindirik numuneler hazırlanmıştır.

Harvard kompaksiyon aletinin kullanılma amacı serbest basınç deneyinde kullanılacak belirli çap ve uzunlukta standart silindirik numuneler hazırlamaktır. Standart proktor deneyine göre farklı fiziksel özelliklere sahip olan Harvard kompaksiyon aleti, 720.7 gr tokmak ağırlığına ve çapı 4.94 cm ve uzunluğu 10 cm olan (V=191.56 cm^3) kalıba sahiptir. Şekil 7.13'te modifiye edilmiş minyatür Harvard kompaksiyon aleti görülmektedir.

Deneylere başlamadan önce yapılan kalibrasyon çalışmalarında Harvard kompaksiyon aleti, standart proktor enerjisine göre kalibre edilmiş ve belirlenen 27 vuruş, 3 tabaka ve 15 cm tokmak düşüş yüksekliği parametreleri ile uygulanan enerjinin standart proktor enerjisini sağladığı görülmüştür.

Şekil 7.13 : Modifiye edilmiş minyatür harvard kompaksiyon aleti.

Şekil 7.13'de gösterilen Modifiye edilmiş minyatür Harvard kompaksiyon aleti ana bileşenleri aşağıda verilmiştir.

- Ana gövde
- Tokmak
- Kalıp
- Kalıp sabitleyici
- Yükseklik ayarı sabitleyici

Standart proktor deneyinde bulunmuş olan optimum su muhtevasında hazırlanmış olan numuneler Harvard kompaksiyon aletinde sıkıştırılarak serbest basınç deneyi için gerekli silindirik numuneler hazırlanmıştır. Numuneler aynı gün içerisinde Şekil 7.14'te görülen serbest basınç deney aletinde test edilerek numunelerin serbest basınç mukavemetleri bulunmuştur.

Serbest basınç deneyi üç eksenli basınç deneyinin iki eksenli olan olan halidir yani yanal basınç yoktur. Üç eksenli basınç testi zeminin tabiattaki halini daha iyi temsil etmesine rağmen serbest basınç deneyi hızlı, ucuz ve yeterince güvenilirdir. Serbest basınç deneyi genellikle örselenmemiş kohezyonlu zeminler üzerinde yapılır ve

deney sonucunda serbest basınç mukavemeti elde edilir. Numunenin kırıldığı andaki gerilme değeri, numunenin serbest basınç mukavemeti olarak adlandırılır.

Şekil 7.14 : Serbest basınç deney aleti.

Deneye başlamadan önce numunenin boyu ve çapı ölçülür. Serbest basınç deneyinde numunenin boyunun çapının 2 katı olması beklenir. Deney başı su muhtevası ve numune ağırlığı belirlenir. Numune serbest basınç aletinin içine biri sabit diğeri hareket eden iki plak arasına yerleştirilir ve üst tabaka tam olarak numunenin üst yüzeyine gelecek şekilde ayarlanır. Aletin yük halkası saati ve düşey deformasyon saati sıfırlanır ve yükleme başlatılır. Numune iki plaka arasına sıkıştırılır ve okumalar alınır. Düşey yük elastik ve lineer davranan bir yük halkası, düşey deformasyon ise düşey deformasyon saati ile ölçülür. Okumalar en yüksek değere ulaşıp bir miktar düşme devam edinceye kadar alınır. Bazı numunelerde, özellikle de yumuşak killerde okumalar TS 1900'e göre numunenin düşey deformasyonu %20'ye ulaştığında bitirilebilir. Aynı şekilde TS 1900'e göre deney süresi 10 dakikayı geçmemelidir. Yükleme bittikten sonra numune alınır ve deney sonu su muhtevası belirlenir. Şekil 7.15'te serbest basınç deneyinin yapılışı sırasında çekilmiş bir görüntü yer almaktadır.

Şekil 7.15 : Serbest basınç deneyinin yapılışı.

Çatalağzı uçucu külü, Filyos Ateş Tuğla Fabrikası bağlama kili ve fiber katkılı kil-uçucu kül karışımlarında serbest basınç deneyleri gerçekleştirilmiştir. Serbest basınç değerleri; kil için hazırlanan beş farklı numunenin ortalaması 156 kPa, uçucu kül için hazırlanan altı farklı numunenin ortalaması 115 kPa ve her iki malzemenin eşit miktarda karıştırılmasıyla hazırlanan altı farklı karışım numunesinde yapılan deneylerde ortalama 219 kPa olarak bulunmuştur. Deneylere ilişkin sonuçlar ve grafikler Ek F'de verilmiştir. Şekil 7.16'da serbest basınç deneyi sonrasında numulerin birkaçından çekilen görüntü yer almaktadır.

Şekil 7.16 : Serbest basınç deneyi sonrası numunelerin görünüşü.

Uçucu kül ve kil numunesinin eşit miktarda karıştırılmasıyla hazırlanan karışım numunesine %0.5 oranında fiber katkısıyla hazırlanan altı farklı numunede yapılan serbest basınç deneyi ortalaması 256 kPa, %1.0 oranında fiber katkısıyla hazırlanan beş farklı numunede yapılan serbest basınç deneyi ortalaması 325 kPa, %1.5 oranında hazırlanan dört farklı numunede yapılan serbest basınç deneyi ortalaması 194 kPa, %2.0 oranında hazırlanan üç farklı numunede yapılan serbest basınç deneyi ortalaması 251 kPa, olarak bulunmuştur. Deneylere ilişkin sonuçlar ve grafikler Ek F'de verilmiştir.

8. BULGULAR VE TARTIŞMA

Deneysel çalışmaların amacı kil-silt gibi zayıf zeminlerin uçucu kül ve polipropilen fiber takviyesiyle stabilizasyonunu araştırmak ve en uygun fiber katkı oranını tespit etmektir. Laboratuvar deneylerinde değişik oranlardaki fiber katkısıyla birlikte hazırlanmış kil-uçucu kül karışımında yapılan deney sonuçlarından görüldüğü gibi fiberle güçlendirilmiş kil-uçucu kül karışımlarının CBR ve serbest basınç dayanımları önemli ölçüde artış göstermektedir. Kil-uçucu kül karışımına % 1.0 ve % 1.5 oranında fiber katkısı yapıldığı durumlarda karışımın CBR ve serbest basınç dayanımında önemli artışlar olmuş, optimum fiber katkı oranının ise karışımın %1.0'i oranında olduğu tespit edilmiştir.

8.1. Uçucu Kül Ve Fiber Katkısının Zeminlerin Standart Proktor Değerlerine Etkisi

Kil, uçucu kül ve her ikisinin eşit oranda karıştırıldığı malzemeye sırasıyla %0.0, %0.5, %1.0, %1.5, %2.0 oranlarında fiber katkısıyla elde edilen numuneler üzerinde yapılan 7 farklı standart proktor deneyinde bulunan sonuçların özeti Çizelge 8.1'de ve buna ilişkin grafik Şekil 8.1'de görülmektedir. Sonuçlar incelendiğinde kil ve uçucu kül malzeme karıştırıldığında karışımın maksimum birim hacim ağırlığı kilin ve uçucu külün yalın haldeki durumuna göre artmakta ve optimum su muhtevası ise azalmaktadır. Kil-uçucu kül malzemenin ağırlıkça %50 oranında karıştırılmasıyla karışımın maksimum birim hacim ağırlığı; kilin yalın haline göre %3.2, uçucu külün yalın haldeki durumuna göre %19.1 artış göstermiştir. Kil-uçucu kül karışımının maksimum birim hacim ağırlıktaki artış uçucu külün kil ile kimyasal tepkimeye girmesiyle açıklanabilir.

Deneylerde hazırlanan malzemelere herhangi bir kür süresi uygulanmamıştır fakat kür süresi uygulandığı taktirde daha yüksek maksimum birim hacim ağırlık değerleriyle karşılaşmak mümkündür.

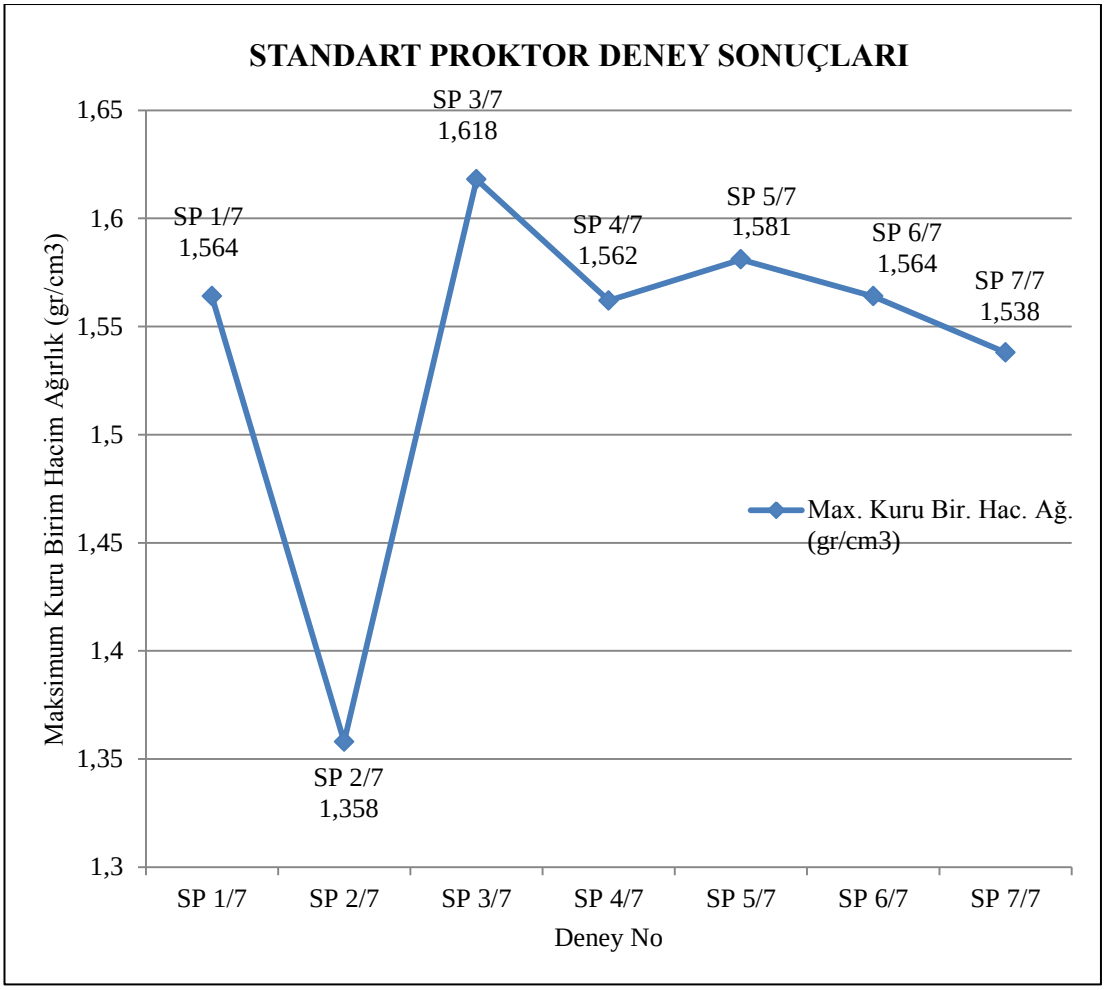
Çizelge 8.1 : Standart proktor sonuçları özet çizelgesi.

DENEY NO	MALZEME	OPTİMUM SU MUHTEVASI %	MAKSİMUM KURU BİRİM HACİM AĞIRLIK gr/cm^3
SP 1/7	KİL (%100) + UK (%0.0)+ %0.0 FİBER	25	1.568
SP 2/7	KİL (%0.0) + UK (%100)+ %0.0 FİBER	22	1.358
SP 3/7	KİL (%50) + UK (%50) + % 0.0 FİBER	16	1.618
SP 4/7	KİL (%50) + UK (%50) + %0.5 FİBER	18	1.562
SP 5/7	KİL (%50) + UK (%50) + %1.0 FİBER	17	1.581
SP 6/7	KİL (%50) + UK (%50) + %1.5 FİBER	17	1.564
SP 7/7	KİL (%50) + UK (%50) + %2.0 FİBER	17	1.538

Fiberli kil-uçucu kül karışımları arasında en yüksek yoğunluğa %1.0'lik fiber takviyesi yapıldığında ulaşılmıştır. Uçucu kül-kil karışımına düşük yoğunluğa sahip fiber malzeme takviyesi yapıldığında fiberli kil-uçucu kül karışımının maksimum birim hacim ağırlığının fibersiz karışıma oranla azaldığı tespit edilmiştir. Bu azalmanın temel nedeni karışım içerisinde bulunan, yüksek hacim kaplayan fakat düşük bir yoğunluğa sahip olan fiber malzemenin varlığıdır. Fiberli karışımın maksimum kuru birim hacim ağırlığı %1.0 fiber katkısı yapıldığı durumda maksimum değerine ulaşmış ve fiber malzemenin artan oranlarda kullanılmasıyla birlikte düşüşe geçmeye başlamıştır. Fiberli kil-uçucu kül karışımında en yüksek maksimum birim hacim ağırlık %1.0 fiber takviyesinde 1.581 gr/cm^3, en düşük maksimum birim hacim ağırlık ise %2.0 fiber takviyesinde 1.538 gr/cm^3 olarak belirlenmiştir.

Optimum su muhtevası fiberli kil-uçucu kül karışımında fibersiz karışıma oranla bir miktar artış göstermiş olsa da bu artış çok belirgin değildir. Artan fiber oranıyla birlikte optimum su muhtevasında önemli değişimler gözlenmemiştir.

Yapılan standart proktor deneylerinde fiberli karışımlar içerisinde en yüksek maksimum birim hacim ağırlığı sahip karışıma fiber katkı oranı %1.0 seviyesindeyken ulaşılmıştır. %1.0'in üzerinde fiber katkısı yapıldığı durumda malzemenin maksimum birim hacim ağırlığı değerinde düşüş gözlenmiştir. Bu durum düşük yoğunluğa sahip fiber malzemenin artışıyla açıklanabilir.



Şekil 8.1: Standart proktor deney sonuçları özet grafiği.

8.2. Uçucu Kül Ve Fiber Katkısının Zeminlerin CBR Değerine Etkisi

Kil, uçucu kül, eşit miktarda karıştırılan kil ve uçucu kül karışımı ile fiberli kil-uçucu kül karışımları üzerinde CBR deneyleri yapılmıştır. Her bir deneyde malzemeler standart proktor deneyinde tespit edilen optimum su muhtevasında hazırlanarak karıştırılmış ve CBR deneyi için hazırlanmıştır. Optimum su muhtevasında hazırlanan numune üzerinde CBR deneyi yapılarak her farklı malzemede ve fiber oranındaki karışımlarda CBR değerleri karşılaştırılmıştır. Aşağıda Çizelge 8.2'de farklı numuneler üzerinde yapılan CBR deneylerinde bulunan CBR değerleri görülmektedir.

Çizelge 8.2 : Değişik malzeme oranlarında CBR değerleri.

Deney No	Penetrasyon (mm)	Penetrasyon (mm)	Yük (kg)	CBR Değeri	CBR Değeri
CBR 1/7	% 100 Kil + % 0.0 UK + % 0.0 Fiber	CBR 2.5 mm	29.72	2.2 %	2%
		CBR 5.0 mm	35.47	1.7 %	
CBR 2/7	% 0.0 Kil + % 100 UK + % 0.0 Fiber	CBR 2.5 mm	33.00	2.4 %	2%
		CBR 5.0 mm	37.90	1.9 %	
CBR 3/7	%50 Kil + %50 UK + %0.0 Fiber	CBR 2.5 mm	77.17	5.7 %	6%
		CBR 5.0 mm	128.93	6.3 %	
CBR 4/7	%50 Kil + %50 UK + %0.5 Fiber	CBR 2.5 mm	69.98	5.1 %	7%
		CBR 5.0 mm	131.81	6.5 %	
CBR 5/7	%50 Kil + %50 UK + %1.0 Fiber	CBR 2.5 mm	117.91	8.7 %	12%
		CBR 5.0 mm	234.38	11.5 %	
CBR 6/7	%50 Kil + %50 UK + %1.5 Fiber	CBR 2.5 mm	109.76	8.1 %	11%
		CBR 5.0 mm	231.50	11.3 %	
CBR 7/7	%50 Kil + %50 UK + %2.0 Fiber	CBR 2.5 mm	51.29	3.8 %	5%
		CBR 5.0 mm	102.57	5.0 %	

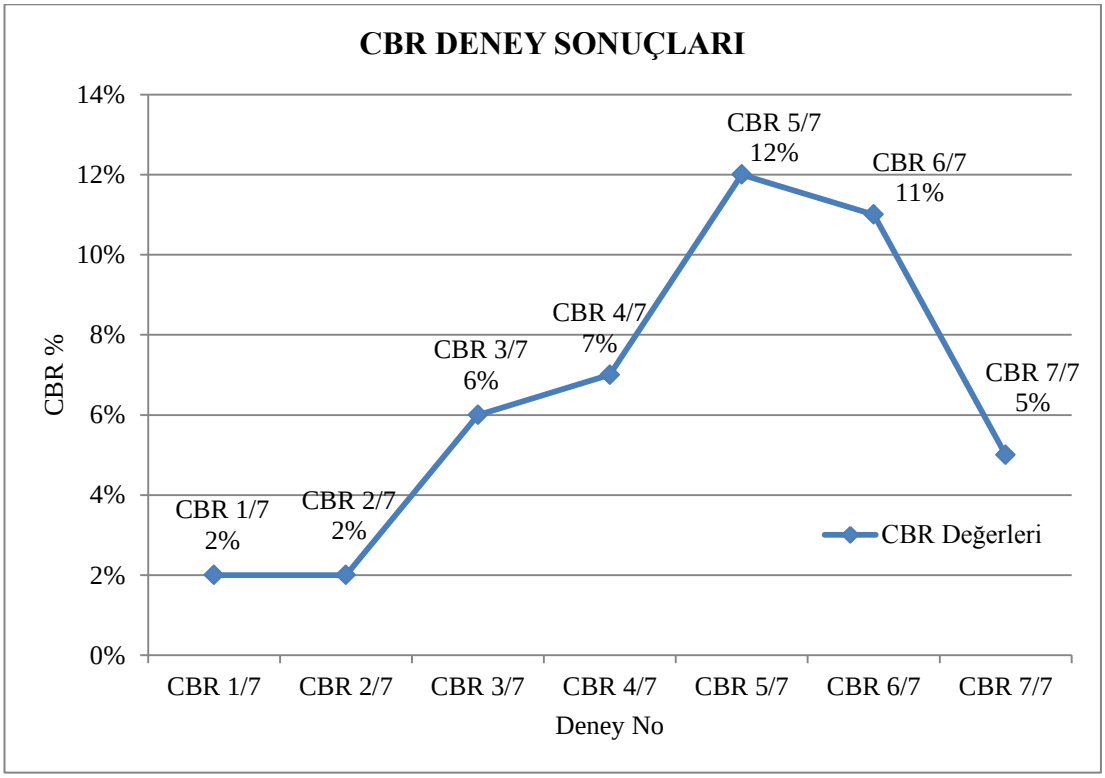
Yapılan deneylerde kilin ve uçucu külün tek başlarına CBR değerleri %2 iken her ikisinin karıştırılmasıyla oluşturulan kil-uçucu kül karışımının CBR değeri %6 olarak belirlenmiştir. Kil malzemeye uçucu kül katkısı kil malzemenin CBR değerinde %200'lük bir artış olmasını sağlamıştır. Bu deneyler malzemeye herhangi bir kür süresi uygulamadan yapıldığından, kür süresi uygulandığında CBR değerlerinde daha yüksek oranlarda artış görülebileceği düşünülmektedir.

Uçucu kül-kil karışımına karışımın %1.0'i oranında fiber katkısı yapıldığı durumdaki CBR değeri %12 olarak ölçülmüştür. Uçucu kül-kil karışımına %1.0 oranında fiber katkısı yapıldığı durumda CBR değeri fibersiz karışım durumuna göre %100 oranında artış göstermiştir.

Ağrılıkça %50 oranında hazırlanan kil-uçucu kül karışımına, karışımın ağırlıkça %1.0'i oranında fiber takviyesi yapıldığında karışımın CBR değeri kilin tek başına kullanıldığı durumdaki CBR değerine oranla %500'lük bir artış göstermiştir.

Yukarıda bahsi geçen sonuçlar zayıf zeminlerin CBR değerleri bakımından uçucu kül ve fiber katkısıyla önemli ölçüde stabilize edilebileceğini göstermiştir. Kil-uçucu kül karışımlarına fiber katkısı malzemenin CBR değerini önemli derecede artırmaktadır ve kil-uçucu kül karışımı için optimum fiber katkı oranı %1.0 düzeyindedir.

Uçucu kül-kil karışımına %1.5 oranında fiber katkısı yapıldığında malzemenin CBR değeri %1.0'lik seviyesinin altına düşmektedir. %2.0 oranında fiber malzeme katıldığı durumda birim hacim ağırlığı çok düşük olan fiberden dolayı fiberin hacmi iyice artmış ve karışımın homojen şekilde hazırlanması neredeyse imkansız hale gelmiştir. Bu sebeple %2.0'lik fiber katkı oranında malzemede süreksizlikler oluşmuştur. Buna rağmen %2.0'lik fiber katkı oranında deneylere devam edilmiştir. Fakat malzemedeki süreksizliklerden ötürü sonuçların sağlıklı olmayacağı düşünülmektedir.



Şekil 8.2 : CBR deney sonuçları özet grafiği.

Şekil 8.2'de görülen CBR sonuçlarına göre en iyi CBR oranına %1.0 oranında fiber katkısıyla ulaşıldığı görülmektedir.

8.3. Uçucu Kül Ve Fiber Katkısının Zeminlerin Serbest Basınç Dayanımına Etkisi

Yapılan deneysel çalışmalarda kil, uçucu kül ve her ikisinin eşit miktarda karıştırılmasıyla oluşturulan malzeme ile kil-uçucu kül karışımına değişik oranlarda polipropilen lif eklenerek elde edilen malzeme ile Harvard minyatür kompaksiyon aletinde 50 mm * 100 mm boyutlarında serbest basınç deneyi yapmaya uygun numuneler oluşturulmuştur. Malzemeler, her bir karışım için daha önceden bulunmuş optimum su muhtevasında hazırlanmıştır. Her fiber oranında 3 ila 6 adet arası numune hazırlanarak bu kademelerdeki malzemelerin serbest basınç değerleri karşılaştırılmıştır. Çizelge 8.3'de değişik malzeme oranlarında hazırlanmış numuneler üzerinde yapılmış olan serbest basınç deneyi sonuçlarının ortalamaları görülmektedir.

Çizelge 8.3 : Değişik malzeme oranlarında serbest basınç dayanımları.

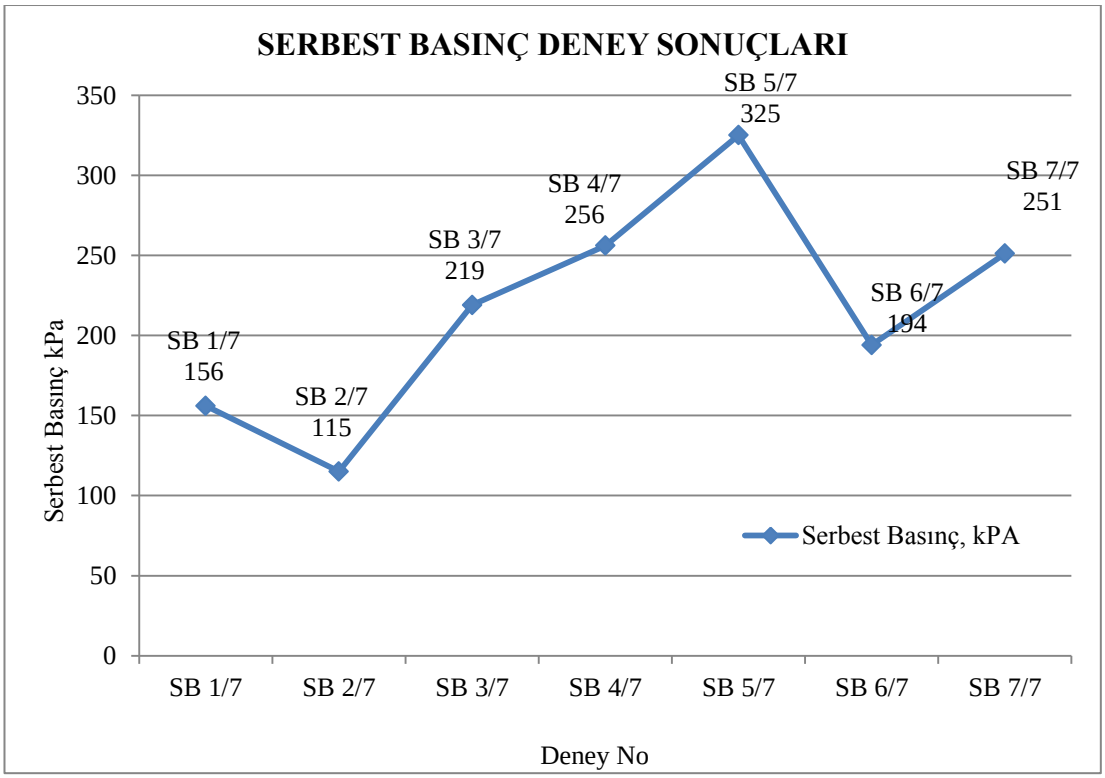
Deney No	Malzeme Tipi	q_{uort} kPa	ε_{ort} %
SB 1	%100 Kil + %0.0 Uçucu Kül + %0.0 Fiber	156	6.0
SB 2	%0.0 Kil + %100 Uçucu Kül + %0.0 Fiber	115	4.4
SB 3	%50 Kil + %50 Uçucu Kül + % 0.0 Fiber	219	4.4
SB 4	%50 Kil + %50 Uçucu Kül + % 0.5 Fiber	256	4.0
SB 5	%50 Kil + %50 Uçucu Kül + % 1.0 Fiber	325	7.2
SB 6	%50 Kil + %50 Uçucu Kül + % 1.5 Fiber	194	9.0
SB 7	%50 Kil + %50 Uçucu Kül + % 2.0 Fiber	251	7.3

Yapılan deneylerde kilin tek başına serbest basınç dayanımı 156 kPa, uçucu külün tek başına serbest basınç dayanımı 115 kPa iken her ikisini karıştırılmasıyla oluşturulan karışım numunesinin serbest basınç dayanımı 219 kPa olarak belirlenmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde zayıf zeminlere uçucu kül katkısı serbest basınç değeri bakımından %40'lık bir artış sağlanmasına neden olmuştur.

Uçucu kül-kil karışımının %1.0'i oranında fiber katkısı yapıldığı durumdaki serbest basınç değeri de 325 kPa olarak ölçülmüştür. Kil-uçucu kül karışımının %1.0'i oranında fiber kullanıldığı durumda fiberli malzemenin serbest basınç dayanımı

fibersiz duruma göre %48 oranında artış göstermiştir. %1.0 fiber katkısındaki serbest basınç dayanımı kilin tek başına kullanıldığı duruma göre %108'lik bir artış göstermiştir. Kil malzeme uçucu kül ve fiber katkısıyla stabilize edildiğinde malzemenin mühendislik özellikleri iyileşmektedir.

Kil-uçucu kül karışımlarına fiber katkısı malzemenin serbest basınç dayanımını arttırmaktadır ve sonuçlar bu karışım için en uygun oranının %1.0'lik fiber katkısı olduğunu göstermektedir.



Şekil 8.3 : Serbest basınç deney sonuçları özet grafiği.

Şekil 8.3'de görülen serbest basınç deney sonuçlarına göre malzemenin en iyi serbest basınç değerine %1.0'lik fiber katkısında ulaşıldığı görülmektedir. **Çizelge 8.4**'de değişik malzeme tipleriyle gerçekleştirilen 35 adet serbest basınç deneyinin sonuçları görülmektedir.

Çizelge 8.4 : Serbest basınç deneyi sonuçları (35 Adet).

Deney No	Malzeme Tipi	1. Numune		2. Numune		3. Numune		4. Numune		5. Numune		6. Numune		Ortalama	
		q_u kPa	ε %	q_u kPa	ε %	q_u kPa	ε %	q_u kPa	ε %	q_u kPa	ε %	q_u kPa	ε %	q_u kPa	ε %
SB 1	%100 Kil + %0.0 UK + %0.0 Fiber	165	6.5	162	5.5	138	4.75	143	6.0	171	7.0	-	-	156	6.0
SB 2	%0.0 Kil + %100 UK + %0.0 Fiber	123	4.3	108	4.3	129	4.5	114	5.0	109	4.5	109	4.0	115	4.4
SB 3	%50 Kil + %50 UK + % 0.0 Fiber	249	3.0	244	3.5	257	3.8	223	4.8	177	5.5	163	6.0	219	4.4
SB 4	%50 Kil + %50 UK + % 0.5 Fiber	251	3.5	286	3.8	268	4.3	259	3.8	254	4.0	220	4.5	256	4.0
SB 5	%50 Kil + %50 UK + % 1.0 Fiber	318	5.5	362	8.5	293	7.0	327	7.0	326	8.0	-	-	325	7.2
SB 6	%50 Kil + %50 UK + % 1.5 Fiber	220	10	182	6.5	196	11	179	8.5	-	-	-	-	194	9.0
SB 7	%50 Kil + %50 UK + % 2.0 Fiber	266	4.3	212	12	274	5.5	-	-	-	-	-	-	251	7.3

9. SONUÇ VE ÖNERİLER

Zayıf zeminler üzerinde mühendislik yapıları yapılırken ortaya çıkan sorunlar ve ilave maliyetler tüm dünyada olduğu gibi Türkiye'de de en önemli sorunlardan biri olmuştur. Zayıf zeminlerin pek çok değişik stabilizasyon yöntemleri olmasına karşın birçoğunun yüksek maliyetli olması nedeniyle alternatif yöntemler belirlenmesi ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Yapılan bu çalışmada da uçucu küllerin ve polipropilen lif malzemenin yüzeysel zemin stabilizasyonunda ve geoteknik uygulamalarda kullanılması, böylelikle zayıf zeminlerin mühendislik özelliklerinin iyileştirilmesi konusu incelenmiştir.

Tez konusu deneyleri yapmak amacıyla Çatalağzı Termik Santralinden temin edilen F tipi uçucu kül, Filyos Ateş Tuğla Fabrikasından temin edilen CH (yüksek plastisiteli) tipi öğütülmüş bağlama kili ve FiberForce Firması'ndan temin edilen F tipi (fibrilli) fiber malzeme kullanılmıştır.

Kil ve uçucu kül numunesinin sınıflandırılması ve geoteknik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla malzemede sırasıyla elek analizi, hidrometre, kıvam limitleri, piknometre, standart proktor, CBR, serbest basınç deneyleri yapılmıştır.

Çizelge 9.1'de kil numunesinin geoteknik özelliklerini belirlemek için yapılan deneylerin sonuçları görülmektedir.

Çizelge 9.1: Kil numunesinde yapılan deneylerin sonuçları.

ZEMİN TİPİ	W_L %	W_P %	I_P %	ZEMİN SINIFI USCS / AASHTO	w_{opt} %	Max. Kuru B. H. A gr/cm^3	Dane B.H.A. gr/cm^3	CBR %	Serbest Basınç kPa
Filyos Ateş Tuğla Bağlama Kili	56	26	30	CH / A-7	25	1.568	2.681	2	156

Çizelge 9.2'de uçucu kül numunesinin geoteknik özelliklerini belirlemek için yapılan deneylerin sonuçları görülmektedir. Çatalağzı uçucu külü düşük kireçli uçucu küller grubundandır.

Çizelge 9.2 : Uçucu kül numunesinde yapılan deneylerin sonuçları.

Zemin Tipi	W_L %	W_P %	I_P %	Zemin Sınıfı USCS / AASHTO	w_{opt} %	Max. Kuru B. H. A gr/cm^3.	Dane B.H.A. gr/cm^3	CBR %	Serbest Basınç kPa
Çatalağzı Uçucu Külü	-	NP	-	ML / A-4	22	1.358	2.022	2	115

Kil ve uçucu kül malzemelerinin eşit miktarda, ağırlıkça %50 oranında, karıştırılmasıyla oluşturulan karışım içerisine değişik oranlarda fiber katkısı yapılarak hazırlanmış kil-uçucu kül karışımlarında yapılan standart proktor, CBR ve serbest basınç deneyleri özet sonuçları Çizelge 9.3'de görülmektedir.

Çizelge 9.3 : Laboratuvar deney sonuçları özeti.

Deneyler	Standart Proktor		CBR Testi	Serbest Basınç
Malzeme Tipi	w_{opt} %	γ_{kmaks} (g/cm^3)	CBR %	q_u (kN/m^2)
% 100 Kil + % 0.0 UK + % 0.0 Fiber	25	1.568	2	156
% 0.0 Kil + % 100 UK + % 0.0 Fiber	22	1.358	2	115
%50 Kil + %50 UK + %0.0 Fiber	16	1.618	6	219
%50 Kil + %50 UK + %0.5 Fiber	18	1.562	7	256
%50 Kil + %50 UK + %1.0 Fiber	17	1.581	12	325
%50 Kil + %50 UK + %1.5 Fiber	17	1.564	11	194
%50 Kil + %50 UK + %2.0 Fiber	17	1.538	5	251

Kullanılan kil malzemeye eşit miktarda Çatalağzı uçucu külü eklendiğinde yapılan standart proktor deneyinde kilin %25 olan optimum su muhtevası kil-uçucu kül karışımında %16'ya düşmüş, kilin 1.568 gr/cm3 olan maksimum kuru birim hacim ağırlığı ise kil-uçucu kül karışımında 1.618'e yükselmiştir. Maksimum kuru birim hacim ağırlığındaki artış ile optimum su muhtevasındaki düşüş uçucu kül malzemenin kil malzemeyle kimyasal tepkimeye girmesiyle açıklanabilir.

Kilin %2 olan CBR değeri, kil malzemeye eşit miktarda eklenen uçucu kül katkısıyla birlikte %6'ya, 156 kPa olan serbest basınç direnci ise 219 kPa değerine yükselmiştir. CBR değerinde % 200'lük artış ve serbest basınç direncinde meydana gelen %40'lık artış uçucu kül katkısından dolayı kil malzemede meydana gelen

kimyasal tepkime ve buna bağlı olarak da zeminin stabilizasyonu olarak açıklanabilir.

Kil-uçucu kül karışımına %0.5, %1.0, %1.5, %2.0 oranlarında fiber malzeme eklendiğinde yapılan standart proktor sonuçları değerlendirildiğinde; fiber katkısıyla birlikte karışımın optimum su muhtevasında ilk etapta küçük bir artış meydana geldiği fakat artan fiber oranlarında optimum su muhtevasında belirgin bir değişim olmadığı, maksimum kuru birim hacim ağırlığın fibersiz karışıma göre daha düşük olduğu ve en yüksek maksimum kuru birim hacim ağırlığa %1.0'lik fiber oranında ulaşıldığı, %1.0 üzerinde fiber katkısıyla birlikte maksimum kuru birim hacim ağırlıkta düşme gözlendiği tespit edilmiştir. Maksimum kuru birim hacim ağırlıkta gözlenen bu düşme, düşük yoğunluğa sahip fiber malzemenin karışım içerisinde yoğun olarak kullanılmasından kaynaklanmaktadır.

Kil-uçucu kül karışımına %0.5, %1.0, %1.5, %2.0 oranlarında fiber malzeme eklendiğinde yapılan CBR sonuçları değerlendirildiğinde; fiber artışıyla birlikte karışımın CBR değerinde %1.0 fiber oranına kadar artış olduğu, %1.0 üzerinde fiber katkısıyla birlikte CBR değerinde düşme gözlendiği tespit edilmiştir. %2.0 fiber oranında karışımın CBR değerinde belirgin bir düşüş gözlenmiştir. Bunun sebebi; %2.0 fiber oranında fiber malzeme büyük bir hacim kaplayarak topaklanmakta, homojen bir karışım elde etmek neredeyse imkansız hale gelmekte, malzeme içerisinde zayıf kesitler ve süreksizlikler oluşmaktadır. Arazi uygulamalarında da benzer koşulların sıkıntı oluşturacağı düşünüldüğünden %1.5 fiber oranı üzerinde fiber uygulamaları pratik bulunmamaktadır. Karışımda en yüksek CBR değerine %1.0 oranında fiber katkısında ulaşılmıştır. %1.0 fiber katkılı kil-uçucu kül karışımın CBR değeri fibersiz karışımın CBR değerine göre %100 artış göstermiştir.

Kil-uçucu kül karışımına %0.5, %1.0, %1.5, %2.0 oranlarında fiber malzeme eklendiğinde yapılan serbest basınç sonuçları değerlendirildiğinde; ; fiber artışıyla birlikte karışımın serbest basınç değerinde %1.0 fiber oranına kadar artış olduğu, %1.0 üzerinde fiber katkısıyla birlikte serbest basınç değerinde düşme gözlendiği tespit edilmiştir. Karışımda en yüksek serbest basınç değerine %1.0 oranında fiber katkısında ulaşılmıştır. %1.0 fiber katkılı kil-uçucu kül karışımın serbest basınç değeri fibersiz karışımın serbest basınç değerine göre %48 artış göstermiştir.

Yukarıda ayrıntılarıyla bahsedilen CBR ve serbest basınç değerlerindeki artış oranları mühendislik uygulamalarında azımsanamayacak ölçüde önemli artışlardır ve malzemenin mühendislik özelliklerini büyük ölçüde iyileştirmektedir. Geoteknik uygulamalarında yapılan böyle bir iyileştirmenin fiber malzeme yanında uçucu kül gibi atık bir malzeme ile yapılması işin maliyet boyutunun yanında çevresel boyut açısından da oldukça önemli faydalar sağlayacaktır. Çizelge 9.3'de verilen bilgilerden de görüleceği üzere Çatalağzı uçucu külü ve fiber malzeme kullanılarak zemin iyileştirme yöntemi uygulandığından en uygun karışım oranının %1.0'lik fiber oranı olduğu yapılan deneylerle tespit edilmiştir. %1.0 fiber katkılı kil-uçucu kül karışımında CBR ve serbest basınç direnci en yüksek değerleri almaktadır.

Yukarıda ayrıntılı olarak bahsedildiği gibi %2.0 fiber katkısı olduğu durumda fiber malzeme büyük hacim kaplamakta ve topaklı bir durumda bulunmaktadır. Bu durumdayken fiberin kil-uçucu kül karışım numunesiyle homojen olarak karıştırılması mümkün olmamakta ve karışımda süreksizlikler oluşmaktadır. Bu sebeple %2.0 fiber katkısı yarar sağlamamaktadır ve CBR ile serbest basınç dayanımı bakımından da düşük sonuçlar verdiği görülmektedir. Şekil 9.1'de kil-uçucu kül karışımına ağırlıkça %2.0 oranında fiber takviyesi yapıldığı durumda karışımın görüntüsü yer almaktadır. Malzemede homojen bir dağılım gerçekleştirilmesi amacıyla elle karışım yapılmaya çalışılmış olsa bile topaklanmaların önüne geçilememiş ve homojen bir karışım oluşturulamamıştır.

Şekil 9.1 : Karışımın ağırlıkça %2.0'si oranında fiber takviyesiyle hazırlanmış kil-uçucu kül karışımı.

Kil malzemeye eşit miktarda katılan uçucu kül ve %1.0 oranında fiber katkısıyla oluşturulmuş karışım numunesinin standart proktor, CBR ve serbest basınç değerleri kilin yalın durumundaki değerleriyle karşılaştırıldığında; karışımın optimum su

muhtevasında belirgin bir düşüş olmuştur ve maksimum birim hacim ağırlığı yalın haldeki duruma göre artış göstermiştir. Karışımın CBR değeri kilin yalın haldeki durumuna göre %500, serbest basınç değeri ise %108'lik bir artış göstermiştir. Bu sonuçlara bakarak kil gibi zayıf zeminlerin uçucu kül ve fiber katkısıyla stabilize edilebileceği, en uygun fiber karışım oranının %1.0'lik fiber katkısı olduğu ve malzemenin mühendislik özelliklerinin oldukça önemli miktarda iyileştiği görülmektedir.

Türkiye'de ve Dünya'da termik santrallerde kömürün yanması sonucu ortaya çıkan ve endüstriyel bir atık malzemesi olan uçucu küllerin bertaraftı hem çevresel ve hem de ekonomik bakımdan sorunlar teşkil etmektedir. Uçucu külün geri dönüşümünün sağlanması doğal hammadde kaynaklarının ve hem de çevrenin korunması bakımından büyük önem taşımaktadır. Uçucu kül tüketiminin artırılması amacıyla yeni kullanım alanları ve uygulamaların geliştirilmesi ve yeni araştırmaların yapılması gerekmektedir. Türkiye halihazırda yılda 16 milyon tondan fazla uçucu kül açığa çıkmakta ve bu miktarın önümüzdeki 20 yıl içinde 50 milyon tonu geçmesi beklenmektedir. Fakat Türkiye'de uçucu külün yalnızca %10'u geri kazanılmakta geri kalan %90'ı atık olarak bertaraf edilmektedir.

Tez kapsamında yapılan çalışmanın amacı Çatalağzı Termik Santralinden çıkan uçucu küllerin polipropilen lif takviyesi ile belli oranlarda zayıf zeminler içine katılarak zayıf zeminin mühendislik özelliklerinin iyileştirildiğinin deneysel olarak kanıtlanması ve zemine katılacak optimum fiber oranının tespitinin yapılmasıdır.

Zonguldak Çatalağzı Termik Santralinde kömürün yakılması sonucu yılda 650 bin ton civarında kül açığa çıkmaktadır. ÇATES'in hemen yanında Eren Enerji Elektrik Üretim A.Ş.'ye ait 1.6 milyar dolarlık toplam yatırım değerine sahip 1360 MW'lık kapasitesiteli Zonguldak Eren Enerji Termik Santrali bulunmaktadır. ÇATES ve Eren Enerji santrallerinin tam kapasite çalışmasıyla birlikte bölgede yılda 3.500.000 ton uçucu kül ortaya çıkacağı tahmin edilmektedir. Bu durumda uçucu küllerin stoklanması ve bunun için alternatif çözüm olanakları düşünüldüğünde maliyet unsuru göze çarpmaktadır. Fakat uçucu küllerin geoteknikte zemin iyileştirme ve dolgu çalışmaları gibi amaçlarla termik santrale 15 km. mesafede bulunan Filyos Vadisi Projesi alanında kullanıldığı takdirde hem bertaraf edilmesi/depolanması ile

ilgili ortaya çıkan çevresel sorunlar ortaya çıkmayacak hem de ekonomik bir fayda elde edilmiş olacaktır.

(BAKKA, 2010) Filyos Limanı ve arka sahasındaki endüstri tesisleri için geliştirilen "Filyos Vadisi Projesi" ülkemizin gerçekleştireceği en büyük entegre yatırımlardan biridir. Projenin yapımı ilk kez 1990 yılında DLH tarafından gündeme getirilmiş, ilk fizibilite çalışmaları 1991 yılında yaptırılarak 8 Kasım 1996'da liman inşaatı için DLH Yüksek Planlama Kurulu tarafından yetkili kılınmıştır. Filyos Limanı gelişim planı için istenen ÇED ve ihale dokümanlarının AB standartlarına getirilmesi işi, Merkezi Finans ve İhale Birimi tarafından ihale edilerek tamamlanmıştır. Liman ihalesinin yakın bir tarihte yapılması planlanmaktadır.

Filyos Vadisi Projesi Zonguldak'ta Çaycuma sınırları içerisinde kalan bölgede kurulacak olan Filyos Limanı ile arka alanında yapılacak olan sanayi tesislerini ve yatırımlarını içeren bir yatırım projesidir. Bu amaçla 10 milyon m^2'den fazla bir arazi kamulaştırılmış, bir kısmı Serbest Bölge olarak ilan edilmiş, bir kısmının ise Endüstri Bölgesi yapılması planlanmaktadır. Bu proje Türkiye Cumhuriyeti'nde GAP'tan sonra gerçekleştirilecek en büyük entegre yatırımlardan birisidir. Ayrıca Filyos Vadisi Proje bölgesi her iki termik santrale de sadece 15 km uzaklıktadır. Bölgenin nehir yatağı yakınlarındaki zayıf zeminlerden oluştuğu gerçeğiyle projeye bakıldığında bitirme tezinde ortaya çıkan sonuçlar da göze alındığında termik santrallerden çıkan uçucu kül malzeme Filyos Vadisi Projesi ıslah çalışmalarında çok rahat bir şekilde kullanılabilecektir. Böylelikle uçucu külün bertaraf edilmesi sırasında ortaya çıkan çevresel sorunlar ortadan kalkacaktır, hem de malzemenin ekonomiye kazandırılması ve zemin ıslahı işlerinde kullanılması ile ekonomik bir fayda sağlanmış olacaktır.

KAYNAKLAR

Aksoy, İ. H. (1992). Uçucu Küllerin Geoteknikte Kullanımı. *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Dördüncü Ulusal Kongresi, Bildiriler, II. Cilt,* s. 248-259. İstanbul.

Alkaya, D. (2009). Uçucu Küllerin Zemin İyileştirmesinde Kullanılmasının İncelenmesi. *Electronic Journal of ConstructionTechnologies, Vol.5*(No.1), s. 61-72.

Aruntaş, H. Y. (2006). Uçucu Küllerin İnşaat Sektöründe Kullanım Potansiyelleri. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 21*(1), 193-203.

ASTM C 618 . (2000). Standart Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Concrete. *Annual Book of ASTM Standart(No.04.02).*

Avcı, S. (2005). Türkiye'de Termik Santraller ve Çevresel Etkileri. *İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Coğrafya Dergisi*(13), 1-26.

Aytekin, S. (2009). Uçucu Küllerin Killi Zeminlerin Islahında Kullanımı.

BAKKA. (2010). 2010-2013 Batı Karadeniz Bölge Planı. S:50-52. Zonguldak: Batı Karadeniz Kalkınma Ajansı.

Bowders, J., Usmen, M., & Gidley, J. (1987). Stabilized Fly Ash for Use as Low-Permeability Barriers. *Geotechnical Special Publication No.13*.

Edil, T., Benson, C., Bin-Shafique, M., Tanyu, B., Woon-Hyung, K., & Şenol, A. (2002). Field Evaluation of Construction Alternatives for Roadway over Soft Subgrade. *Transportation Research Record 1786, TRB,* 36-48. Washington D.C.

Ferguson, G. (1993). Use of self-cementing fly ashes as a soil stabilization agent. *"Fly ash for soil improvement, Geotechnical Special Publication No. 36, ASCE,* 1-14. New York.

Günal, R. G. (1996). Uçucu Külün Zemin Stabilizasyonunda Kullanılması. *Yüksek Lisans Tezi*, s.2. İstanbul.

Jadhao, P. D., & Nagarnaik, P. B. (2008). Strength Characteristics of Soil Fly Ash Mixtures Reinforced with Randomly Oriented Polypropylene Fibers. *ICETET '08 Proceedings of the 2008 First International Conference on Emerging Trends in Engineering and Technology* (s. pg. 1044-1049). IEEE Computer Society Washington, DC, USA.

Joshi, R. C., & Nagaraj, T. S. (1987). Fly Ash Utilization for Soil Stabilization, Environmental Geotechnics and Problematic Soils and Rocks, Eds. Balusubramaniam et al. 77-93. Balkema Rotterdam.

Joshi, R. C., McMaster, M. H., & Duncan, D. M. (1975, November). New and Conventional Engineering Uses of Fly Ash. *Transportation Engineering Journal, Vol. 101*(4), 791-806.

Kaniraj, S. R., & Gayathri, V. (2003, June). Geotechnical behavior of fly ash mixed with randomly oriented fiber inclusions. *Volume21(Issue 3)*, 123-149. Geotextiles and Geomembranes.

Kumar, P., Mehndiratta, H. C., Chandranarayana, S., & Singh, S. P. (2005, November). Effect of Randomly Distributed Fibres on Flyash Embankments. *Journal of The Institution of Engineers, Vol. 86*, Pg. 113-118.

Ledbetter, W. (1981). Is Lime in Fly Ash Available for Soil Stabilization. *Teksas A. & M. University, College Station, Civil Engineering Department Press*.

Nataraj, M. S. (1997). *Strength and Deformation Properties of Soil Reinforced With Fibrillated Fibers.* Vol. 4, No. 1. Geosynthetics International.

Öksüz, K. (2006). Afyon-Elbistan Termik Santrali Uçucu Külünün Zemin Stabilizasyonunda Kullanımı. *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, s. 26-27. Adana.

Özbayoğlu, F. (1993). Uçucu Küllerin, Bentonit, Kireç ve Çimento Katkılarıyla Kumlu Zeminlerin Stabilizasyonunda Kullanımı. *Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu, Bildiriler Kitabı*, (s. s. 103-118). Ankara.

S.Ayyappan, M. a. (2010). Investigation of Engineering Behavior of Soil, Polypropylene Fibers and Fly Ash -Mixtures for Road Construction. *International Journal of Environmental Science and Development, vol. 1(no. 2)*, pp. 171-175.

Şenol, A., Edil, T., & Bin-Shafique, M. (2004). Laboratory Evaluation of Stabilization of Soft Subgrades by Class C Fly Ash. *15th South-East Asian Geotechnical Conference (SEAGC).* Bangkok, Thailand.

T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK). (2007). *2007 Yılı Faaliyet Raporu, s.20-21.* (www.epdk.gov.tr/ yayin_rapor/yillik/2007/2007.pdf).

TETAŞ Genel Müdürlüğü. (2011). *2010 Yılı Sektör Raporu.*

TS EN 197-1. (2002). Çimento-Bölüm 1: Genel Çimentolar-Bilesim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri. *Türk Standartları Enstitüsü*. Ankara.

Turner, J. (1997). Evaluation of western coal fly ashes for stabilization of low-volume roads. *Testing Soil Mixed with Waste or Recycled Materials, STP 1275*, 157-171. West Conshohocken, Pa.: ASTM International.

Url-1<*http://www.catestermik.com*>. (2011). Nisan 26, 2011 tarihinde http://www.catestermik.com/index/cates.html adresinden alındı

Url-2<*http://www.catestermik.com*>. (2011). Nisan 26, 2011 tarihinde http://www.catestermik.com/index/tarihcemiz.html adresinden alındı

Türker, P., Erdoğan, B., Katnaş, F., & Yeğinobalı, A. (2003). *Türkiye'de Uçucu Küllerin Sınıflandırılması ve Özellikleri.* Ankara: TÇMB.

Wasti, Y. (1993). Uçucu Küllerin Geoteknik Uygulamalarda Kullanımı , Bildiriler. *Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu*, (s. 37-44.).

EKLER

Ek A. Elek analizi ve hidrometre analizi deney sonuçları ile grafikleri (uçucu kül ve kil numunesinde gerçekleştirilen)

- EK A.1 Kil numunesi
- EK A.2 Kil numunesi
- EK A.3 Uçucu kül numunesi

Ek B. Likit limit ve plastik limit deney sonuçları ile grafikleri (kil numunesinde gerçekleştirilen)

- EK B.1 Kil numunesi
- EK B.2 Kil numunesi
- EK B.3 Kil numunesi

Ek C. Piknometre deney sonuçları (uçucu kül ve kil numunesinde gerçekleştirilen)

- EK C.1 Kil numunesi
- EK C.2 Uçucu kül numunesi

Ek D. Standart proktor deney sonuçları ile grafikleri (uçucu kül, kil ve her ikisinin eşit miktarda karıştırılmasıyla oluşturulan karışım ile uçucu kül-kil karışımına değişik oranlarda fiber katkısıyla hazırlanmış malzemelerde gerçekleştirilen)

- EK D.1 Kil numunesi
- EK D.2 Uçucu kül numunesi
- EK D.3 Kil + uçucu kül numunesi
- EK D.4 Kil + uçucu kül + % 0.5 fiber karışımı
- EK D.5 Kil + uçucu kül + % 1.0 fiber karışımı
- EK D.6 Kil + uçucu kül + % 1.5 fiber karışımı
- EK D.7 Kil + uçucu kül + % 2.0 fiber karışımı

Ek E. CBR deney sonuçları ile grafikleri (uçucu kül, kil ve her ikisinin eşit miktarda karıştırılmasıyla oluşturulan karışım ile uçucu kül-kil karışımına değişik oranlarda fiber katkısıyla hazırlanmış malzemelerde gerçekleştirilen)

- EK E.1 Kil numunesi
- EK E.2 Uçucu kül numunesi
- EK E.3 Kil + uçucu kül numunesi
- EK E.4 Kil + uçucu kül + % 0.5 fiber karışımı
- EK E.5 Kil + uçucu kül + % 1.0 fiber karışımı
- EK E.6 Kil + uçucu kül + % 1.5 fiber karışımı
- EK E.7 Kil + uçucu kül + % 2.0 fiber karışımı

Ek F. Serbest basınç deney sonuçları ile grafikleri (uçucu kül, kil ve her ikisinin eşit miktarda karıştırılmasıyla oluşturulan karışım ile uçucu kül-kil karışımına değişik oranlarda fiber katkısıyla hazırlanmış malzemelerde gerçekleştirilen)

- EK F.1 / F.5 Kil numunesi
- EK F.6 / F.11 Uçucu kül numunesi
- EK F1.2 / F.17 Kil + uçucu kül numunesi
- EK F.18 / F.23 Kil + uçucu kül + % 0.5 fiber karışımı
- EK F.24 / F.28 Kil + uçucu kül + % 1.0 fiber karışımı
- EK F.29 / F.32 Kil + uçucu kül + % 1.5 fiber karışımı
- EK F.33 / F.35 Kil + uçucu kül + % 2.0 fiber karışımı

EK A.1

Çizelge A.1 : Filyos ateş tuğla bağlama kili elek analizi ve hidrometre deneyi-I.

ELEK ANALİZİ DENEY RAPORU

Numune Tipi	Kil	**Kaynağı**	İstanbul
Numune Adı	Filyos Ateş Tuğla Fabrikası Bağlama Kili	**Deney Tarihi**	27.06.2011
		Deney No	Elek 1/3

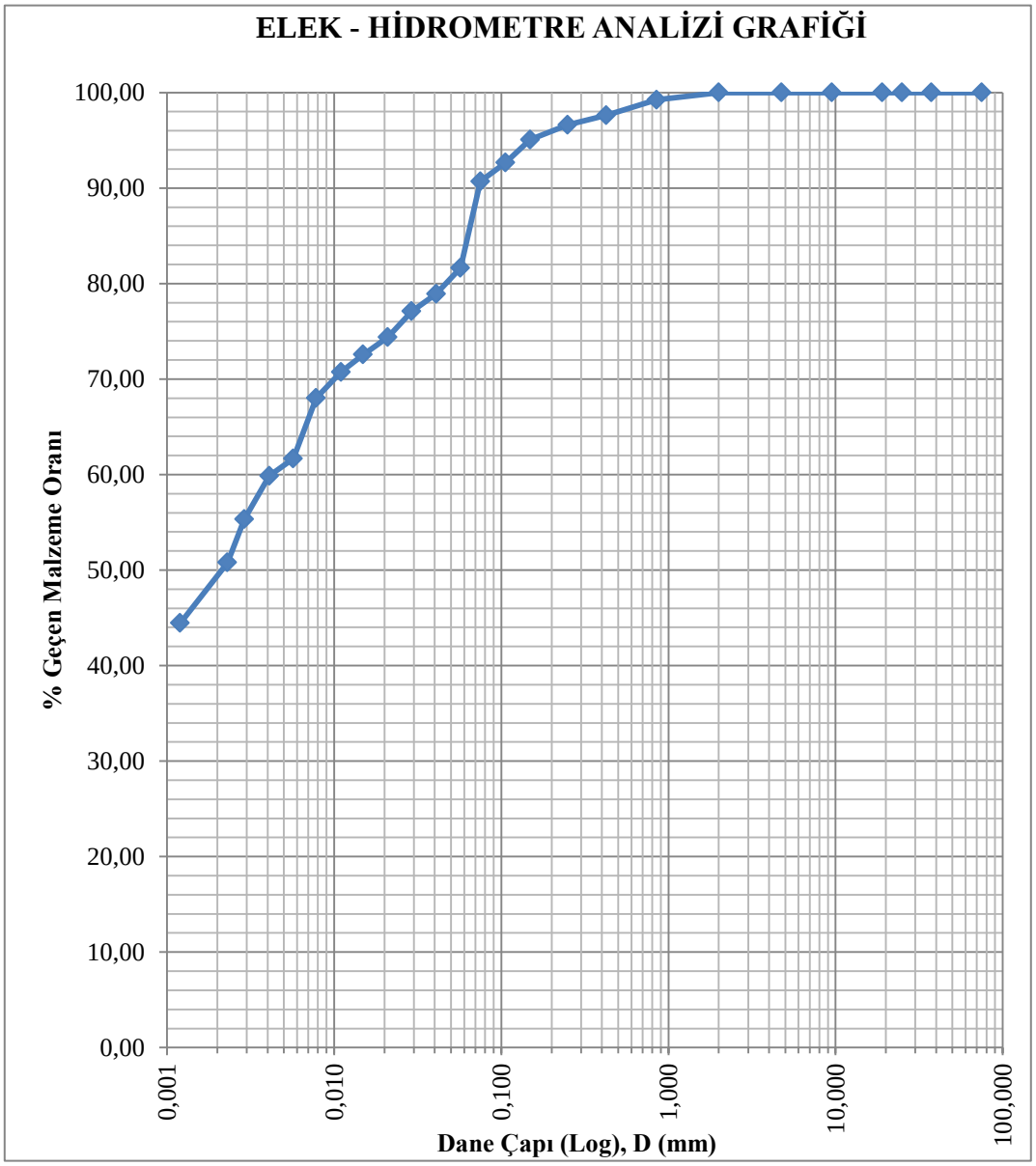
Numune Miktarı (g)		316	**ELEK ANALİZİ**		
Elek #	**Elek Çapı (mm)**	**Kalan Ağırlık (g)**	**Kalan Toplam Ağırlık (g)**	**Kalan Toplam (%)**	**Geçen Toplam (%)**
3"	75,0	0,00	0,00	0,00	100,00
1 1/2"	37,5	0,00	0,00	0,00	100,00
1"	25,0	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,0	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,5	0,00	0,00	0,00	100,00
4	4,75	0,00	0,00	0,00	100,00
10	2,0	0,00	0,00	0,00	100,00
20	0,850	2,40	2,40	0,76	99,24
40	0,425	5,10	7,50	2,37	97,63
60	0,250	3,20	10,70	3,39	96,61
100	0,149	4,90	15,60	4,94	95,06
140	0,106	7,60	23,20	7,34	92,66
200	0,075	6,20	29,40	9,30	90,70
HİDROMETRE SONUÇLARI	0,0570	HİDROMETRE DENEYİNDEN			81,63
	0,0408				78,91
	0,0291				77,09
	0,0209				74,37
	0,0149				72,56
	0,0110				70,74
	0,0078				68,02
	0,0057				61,67
	0,0041				59,86
	0,0029				55,32
	0,0023				50,79
	0,0012				44,44
Tava	0,000	139,40	316,00	100,00	0,00

Çakıl (%)	0	**Silt (%)**	42
Kum (%)	9	**Kil (%)**	49

EK A.1

ELEK ANALİZİ DENEY RAPORU

Numune Tipi	Kil	**Kaynağı**	İstanbul
Numune Adı	Filyos Ateş Tuğla Fabrikası Bağlama Kili	**Deney Tarihi**	27.06.2011
		Deney No	Elek 1/3



Şekil A.1 : Filyos ateş tuğla bağlama kili granülometri eğrisi-I.

EK A.2

Çizelge A.2 : Filyos ateş tuğla bağlama kili elek analizi ve hidrometre deneyi-II.

ELEK ANALİZİ DENEY RAPORU

Numune Tipi	Kil	**Kaynağı**	İstanbul
Numune Adı	Filyos Ateş Tuğla Fabrikası Bağlama Kili	**Deney Tarihi**	27.06.2011
		Deney No	Kil Elek 2/3

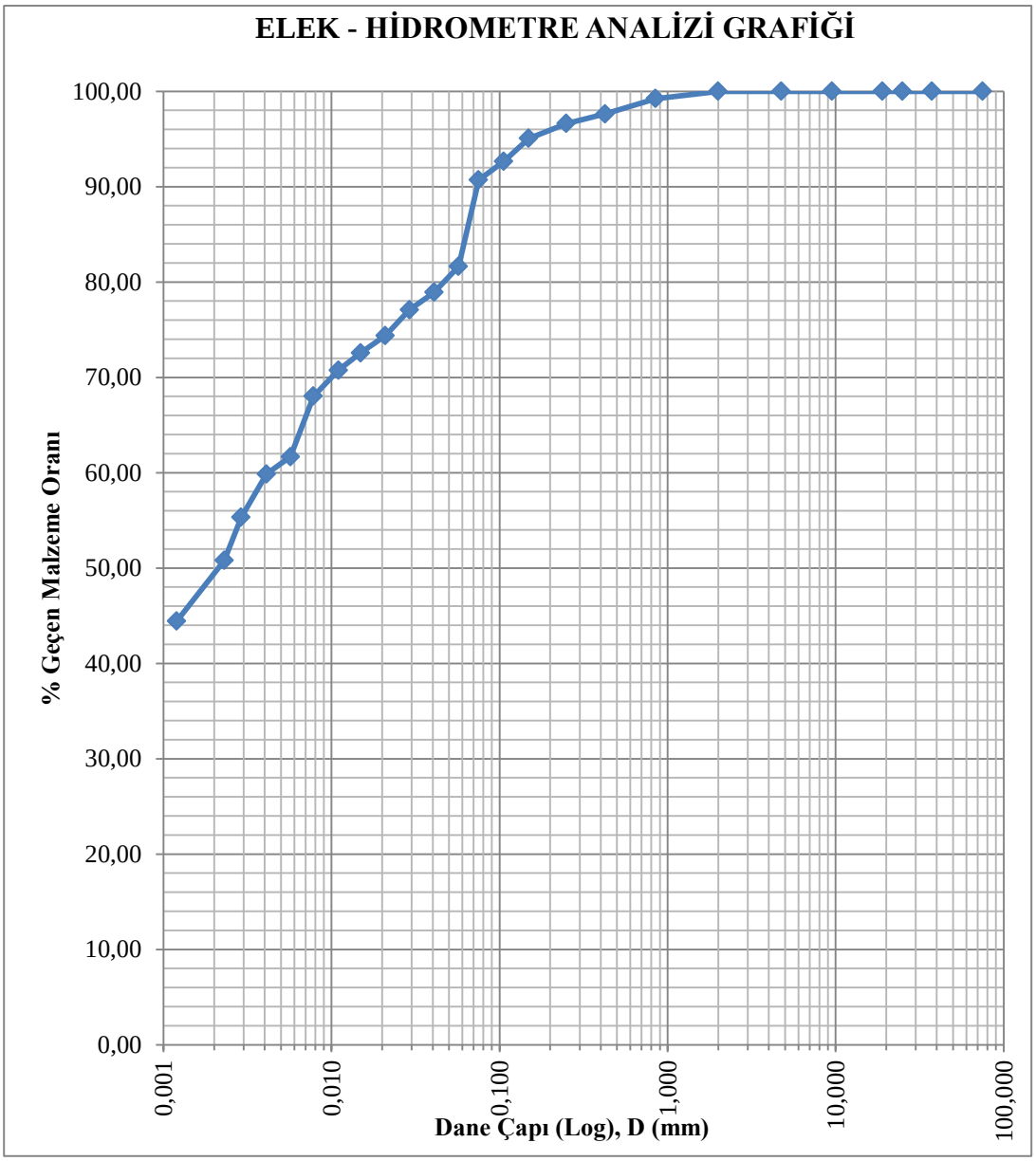
Numune Miktarı (g)		400	**ELEK ANALİZİ**		
Elek #	**Elek Çapı (mm)**	**Kalan Ağırlık (g)**	**Kalan Toplam Ağırlık (g)**	**Kalan Toplam (%)**	**Geçen Toplam (%)**
3"	75,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1 1/2"	37,50	0,00	0,00	0,00	100,00
1"	25,00	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,00	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,50	0,00	0,00	0,00	100,00
4	4,75	1,50	1,50	0,38	99,63
10	2,00	1,70	3,20	0,80	99,20
20	0,850	1,20	4,40	1,10	98,90
40	0,425	3,20	7,60	1,90	98,10
60	0,250	4,60	12,20	3,05	96,95
100	0,149	2,20	14,40	3,60	96,40
140	0,106	1,20	15,60	3,90	96,10
200	0,075	2,90	18,50	4,63	95,38
HİDROMETRE	0,0556	HİDROMETRE DENEYİNDEN			90,61
	0,0410				82,02
	0,0293				80,12
	0,0210				77,25
	0,0152				71,53
	0,0113				67,72
	0,0081				64,86
	0,0058				60,09
	0,0042				57,23
	0,0030				51,50
	0,0023				48,64
	0,0012				46,73
Tava	0	381,50	400,00	100,00	0,00

Çakıl (%)	1	**Silt (%)**	47
Kum (%)	4	**Kil (%)**	48

EK A.2

ELEK ANALİZİ DENEY RAPORU

Numune Tipi	Kil	**Kaynağı**	İstanbul
Numune Adı	Filyos Ateş Tuğla Fabrikası Bağlama Kili	**Deney Tarihi**	27.06.2011
		Deney No	Kil Elek 2/3



Şekil A.2 : Filyos ateş tuğla bağlama kili granülometri eğrisi-II.

EK A.3

Çizelge A.3 : Çatalağzı uçucu külü elek analizi ve hidrometre deneyi-I.

ELEK ANALİZİ DENEY RAPORU

Numune Tipi	Uçucu Kül	**Kaynağı**	Zonguldak
Numune Adı	Çatalağzı Uçucu Külü	**Deney Tarihi**	27.06.2011
		Deney No	Elek 3/3

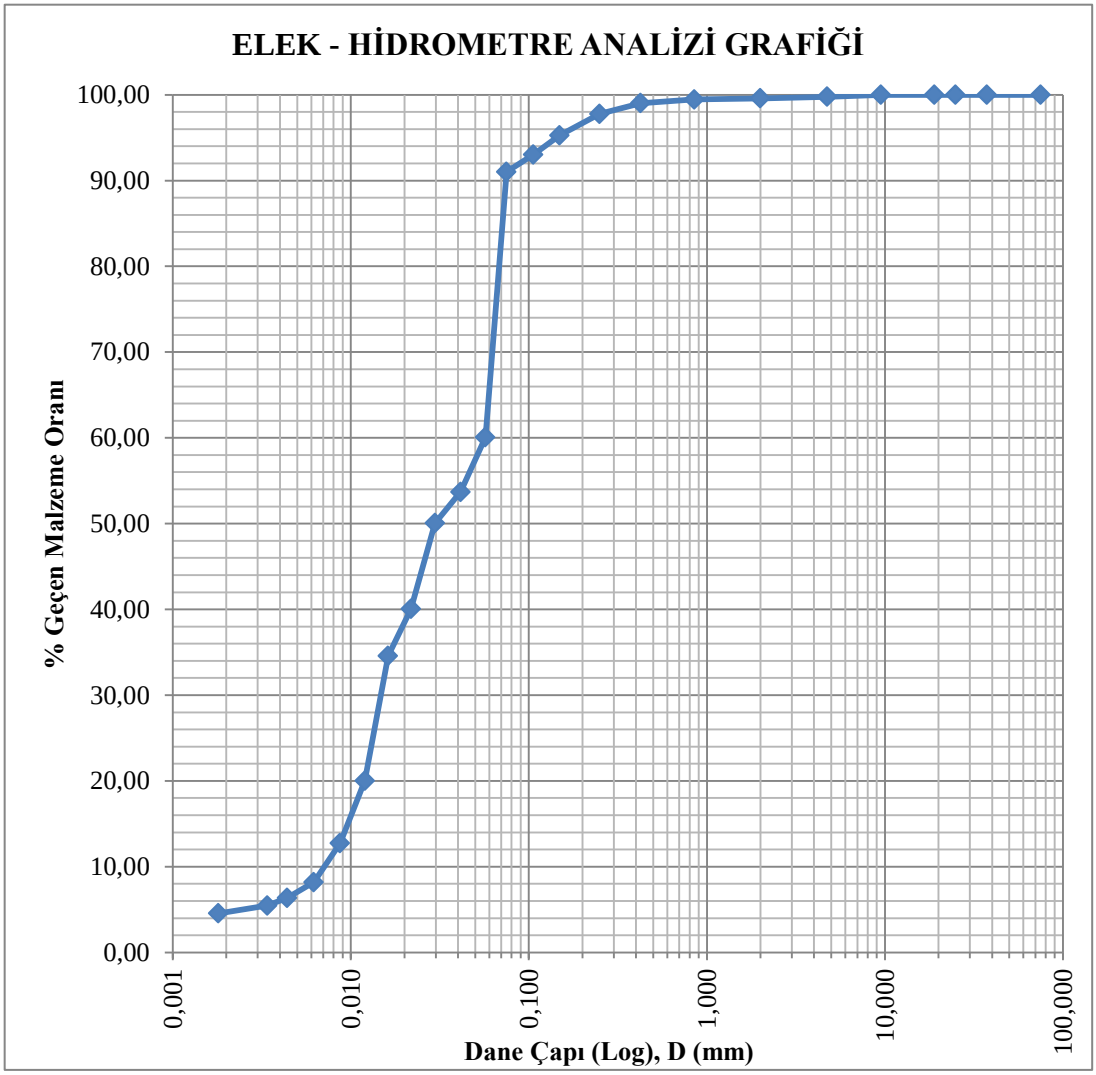
Numune Miktarı (g)		800	**ELEK ANALİZİ**		
Elek #	**Elek Çapı (mm)**	**Kalan Ağırlık (g)**	**Kalan Toplam Ağırlık (g)**	**Kalan Toplam (%)**	**Geçen Toplam (%)**
3"	75,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1 1/2"	37,50	0,00	0,00	0,00	100,00
1"	25,00	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,00	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,50	0,00	0,00	0,00	100,00
4	4,75	1,80	1,80	0,23	99,78
10	2,00	1,50	3,30	0,41	99,59
20	0,850	1,10	4,40	0,55	99,45
40	0,425	3,40	7,80	0,98	99,03
60	0,250	10,00	17,80	2,23	97,78
100	0,149	20,00	37,80	4,73	95,28
140	0,106	18,00	55,80	6,98	93,03
200	0,075	16,00	71,80	8,98	91,03
HİDROMETRE SONUÇLARI	0,0570	HİDROMETRE DENEYİNDEN			60,08
	0,0414				53,70
	0,0297				50,06
	0,0218				40,05
	0,0162				34,59
	0,0120				20,03
	0,0087				12,74
	0,0062				8,19
	0,0044				6,37
	0,0034				5,46
	0,0018				4,55
Tava	0,000	43,20	800,00	100,00	0,00

Çakıl (%)	0	**Silt (%)**	86
Kum (%)	9	**Kil (%)**	5

EK A.3

ELEK ANALİZİ DENEY RAPORU

Numune Tipi	Uçucu Kül	**Kaynağı**	Zonguldak
Numune Adı	Çatalağzı Termik Santrali Uçucu Külü	**Deney Tarihi**	27.06.2011
		Deney No	Elek 3/3



Şekil A.3 : Çatalağzı uçucu külü granülometri eğrisi-I.

EK B.1

Çizelge B.1 : Filyos ateş tuğla bağlama kili kıvam limitleri deney raporu-I.

KIVAM LİMİTLERİ DENEY RAPORU

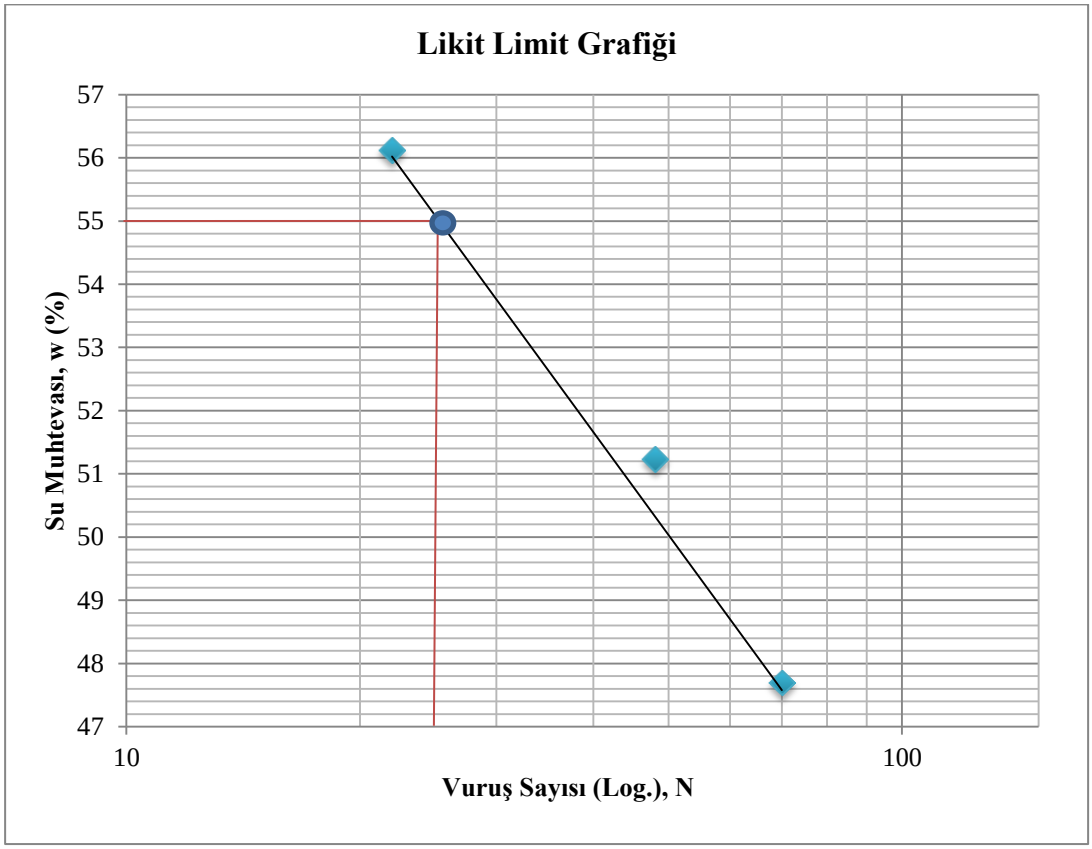
Numune Tipi	Kil	**Kaynağı**	İstanbul
Numune Adı	Filyos Ateş Tuğla Fabrikası Bağlama Kili	**Deney Tarihi**	25.06.2011
		Deney No	Kıvam 1/3

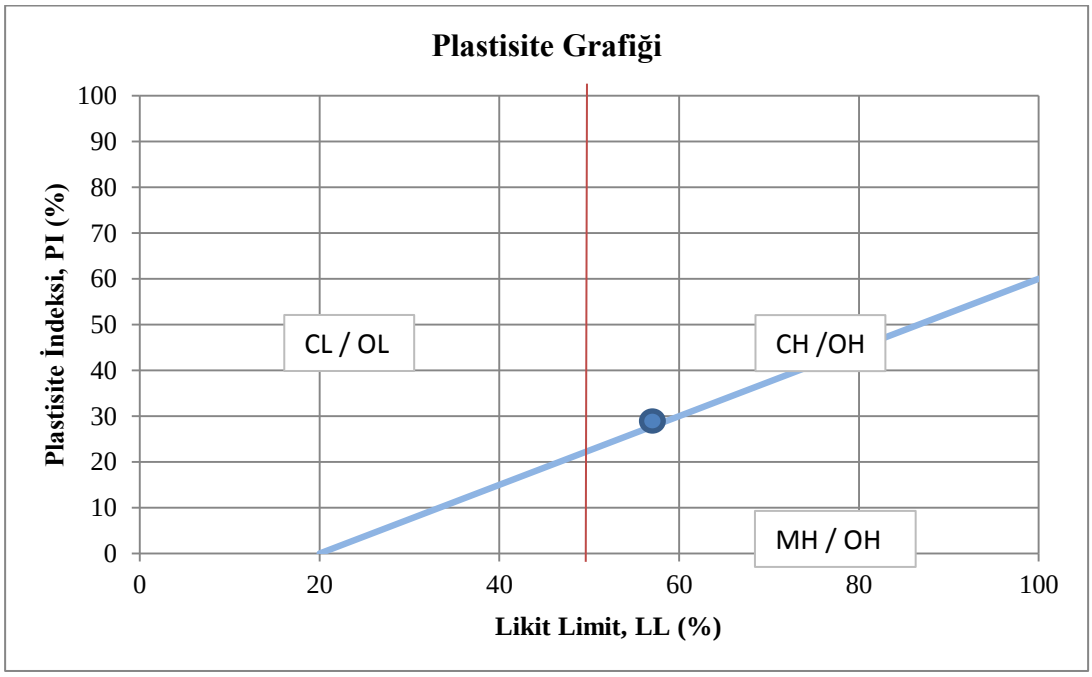
CASAGRANDE METODU - LİKİT LİMİT				
Numune No	1	2	3	4
Kap No	61	41	77	-
Islak Num. + Dara	86,2	93,3	91,7	-
Kuru Num. + Dara	74,8	80,8	72,9	-
Dara	50,9	56,4	39,4	-
Kuru Zemin	23,9	24,4	33,5	-
Su Miktarı	11,4	12,5	18,8	-
W (%)	48	51	56	-
N- Vuruş Sayısı	70	48	22	-
LL = 55				

PLASTİK LİMİT			
Numune No	1	2	3
Kap No	6	26	-
Islak Num. + Dara	51,2	52,3	-
Kuru Num. + Dara	48,5	49,3	-
Dara	38,0	37,2	-
Kuru Zemin	10,5	12,1	-
Su Miktarı	2,7	3,0	-
W (%)	26	25	-
PL	**26**		

GENEL SONUÇLAR	
Likit Limit LL (%)	**55**
Plastik Limit PL (%)	**26**
Plastisite İndeksi PI (%)	**29**
Zemin Grubu	**CH**

EK B.1





Şekil B.1 : Filyos ateş tuğla bağlama kili likit limit ve plastisite grafiği-I.

EK B.2

Çizelge B.2 : Filyos ateş tuğla bağlama kili kıvam limitleri deney raporu-II.

KIVAM LİMİTLERİ DENEY RAPORU

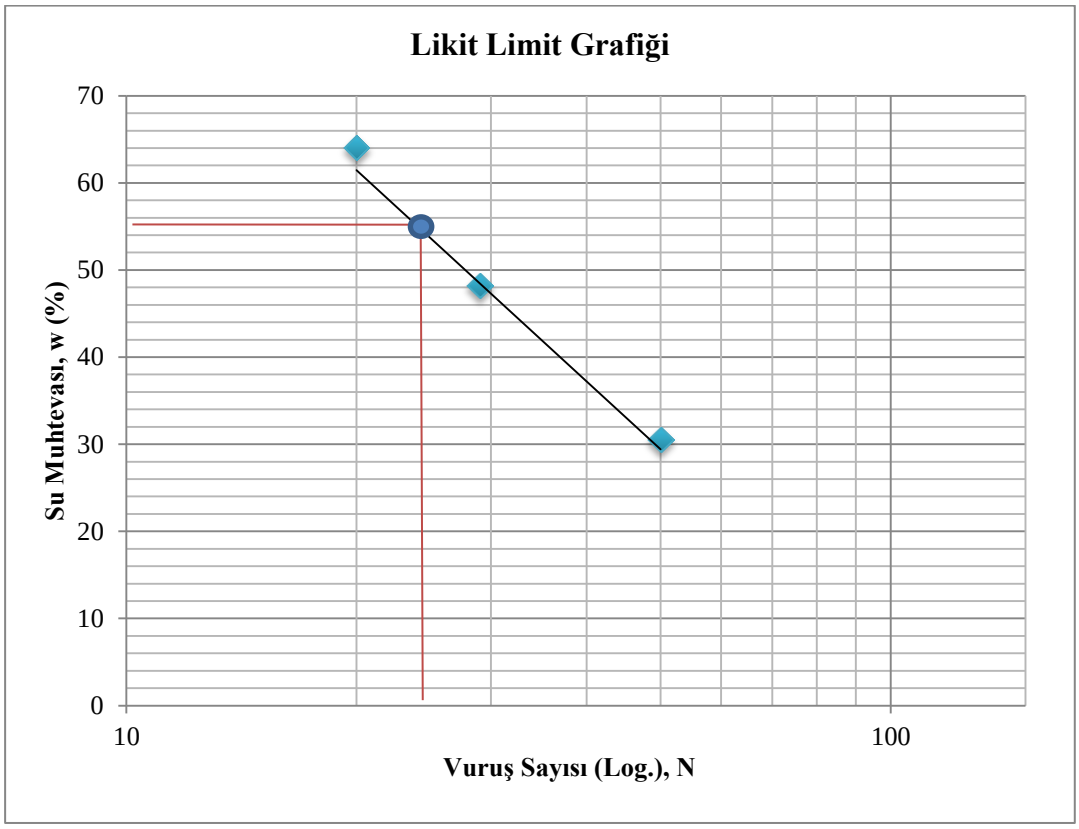
Numune Tipi	Kil	**Kaynağı**	İstanbul
Numune Adı	Filyos Ateş Tuğla Fabrikası Bağlama Kili	**Tarih**	27.06.2011
		Deney No	Kıvam 2/3

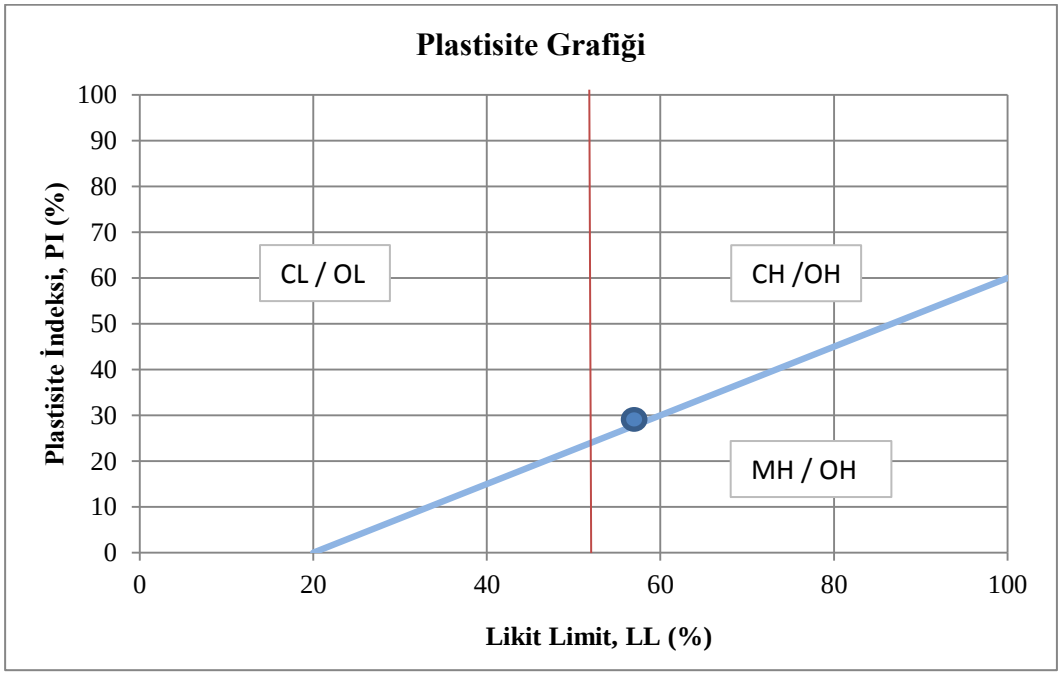
CASAGRANDE METODU - LİKİT LİMİT				
Numune No	1	2	3	4
Kap No	36	41	59	-
Islak Num. + Dara	56,5	61,5	60,1	-
Kuru Num. + Dara	48,2	49,6	45,5	-
Dara	21,0	24,9	22,7	-
Kuru Zemin	27,2	24,7	22,8	-
Su Miktarı	8,3	11,9	14,6	-
W (%)	31	48	64	-
N- Vuruş Sayısı	50	29	20	-
LL = 55				

PLASTİK LİMİT			
Numune No	1	2	3
Kap No	11	54	4
Islak Num. + Dara	41,6	38,9	35,7
Kuru Num. + Dara	38,0	36,1	33,0
Dara	24,7	25,1	22,7
Kuru Zemin	13,3	11,0	10,3
Su Miktarı	3,6	2,8	2,7
W (%)	27	25	26
PL	**26**		

GENEL SONUÇLAR	
Likit Limit LL (%)	**55**
Plastik Limit PL (%)	**26**
Plastisite İndeksi PI (%)	**29**
Zemin Grubu	**CH**

EK B.2





Şekil B.2 : Filyos ateş tuğla bağlama kili likit limit ve plastisite grafiği-II.

EK B.3

Çizelge B.3 : Çatalağzı uçucu külü kıvam limitleri deney raporu-I.

KIVAM LİMİTLERİ DENEY RAPORU

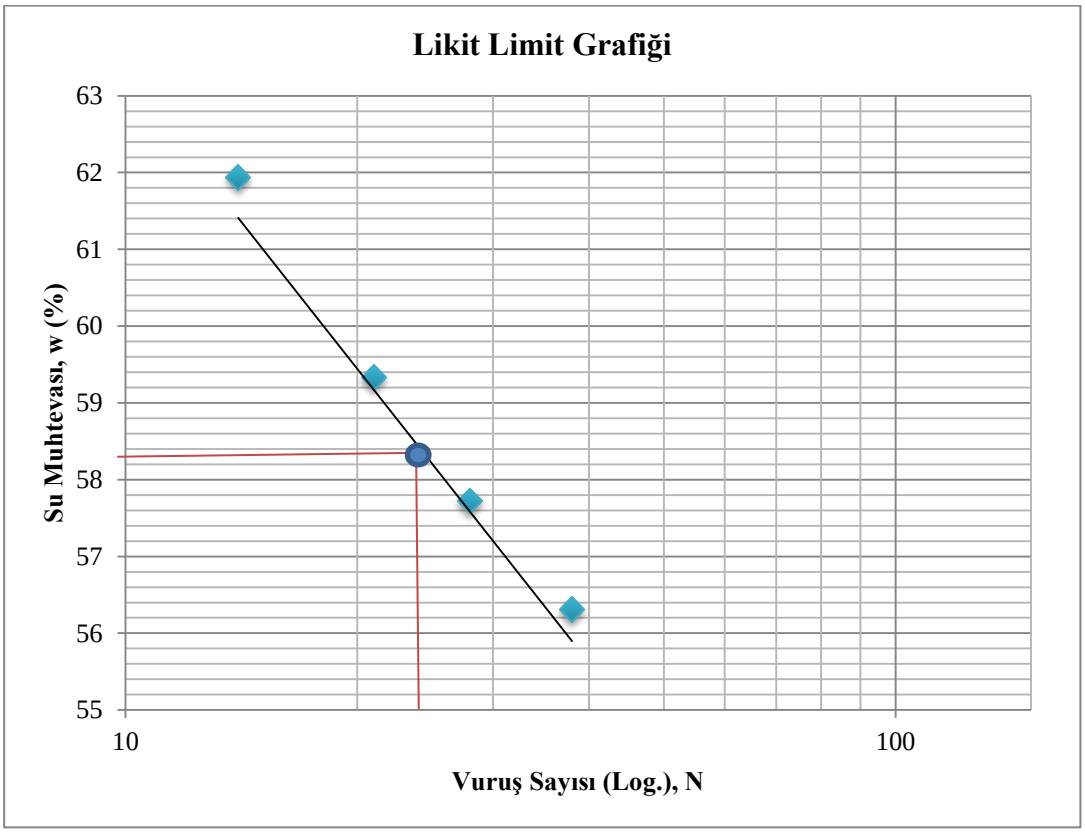
Numune Tipi	Kil Filyos Ateş Tuğla Fabrikası	**Kaynağı**	İstanbul
Numune Adı	Bağlama Kili	**Deney Tarihi**	27.06.2011
		Deney No	Kıvam 3/3

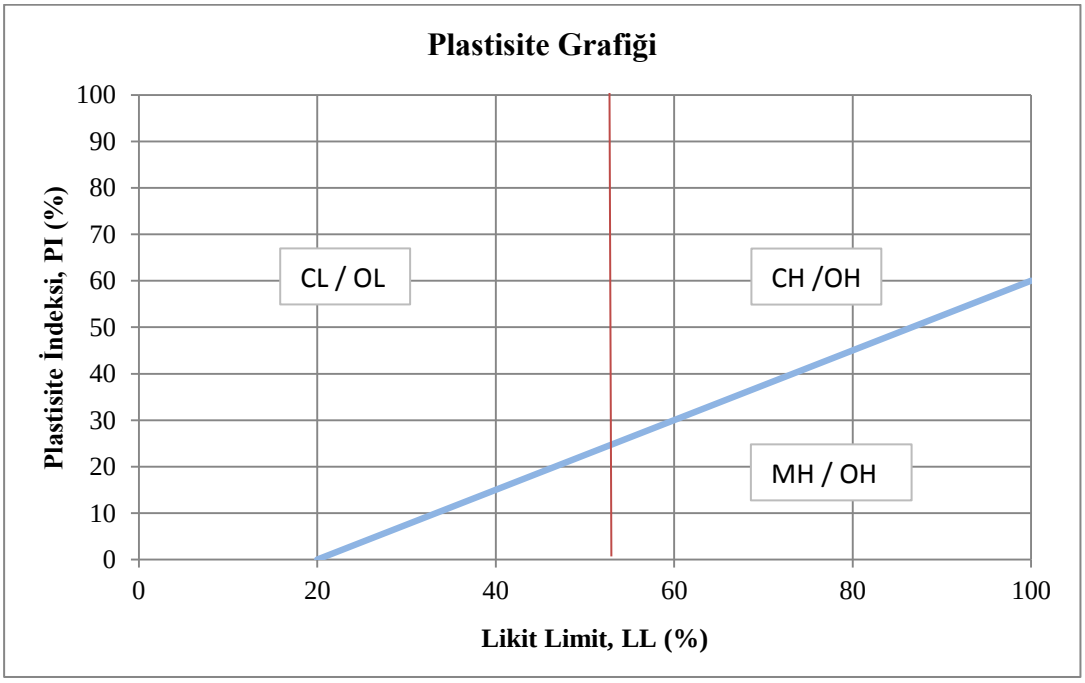
CASAGRANDE METODU - LİKİT LİMİT				
Numune No	1	2	3	4
Kap No	67	27	28	29
Islak Num. + Dara	29,7	24,7	29,29	28,69
Kuru Num. + Dara	22,8	21,8	26,3	25,7
Dara	11,7	17,0	21,12	20,39
Kuru Zemin	11,1	4,8	5,2	5,3
Su Miktarı	6,9	2,9	3,0	3,0
W (%)	62	59	58	56
N- Vuruş Sayısı	14	21	28	38
LL = 58				

PLASTİK LİMİT			
Numune No	1	2	3
Kap No	23	24	25
Islak Num. + Dara	24,9	38,3	35,4
Kuru Num. + Dara	21,8	34,8	32,5
Dara	10,3	21,6	21,4
Kuru Zemin	11,5	13,2	11,1
Su Miktarı	3,1	3,5	2,9
W (%)	27	26	26
PL	**26**		

GENEL SONUÇLAR	
Likit Limit LL (%)	**58**
Plastik Limit PL (%)	**26**
Plastisite İndeksi PI (%)	**32**
Zemin Grubu	**CH**

EK B.3





Şekil B.3 : Çatalağzı uçucu külü likit limit ve plastisite grafiği-I.

EK C.1

Çizelge C.1 : Filyos ateş tuğla bağlama kili piknometre deney raporu.

PİKNOMETRE DENEY RAPORU

Numune Tipi	Kil	**Kaynağı**	İstanbul
Numune Adı	Filyos Ateş Tuğla Fabrikası Bağlama Kili	**Tarih**	27.06.2011
		Deney	Piknometre
		No	1/2

PİKNOMETRE	Deney 1	Deney 2
Piknometre Numarası	1	1
Piknometre Ağırlığı (g)	33,8	33,8
Piknometre + Numune Ağırlığı (g)	43,723	44,151
Piknometre + Numune + Su Ağırlığı (g)	90,06	90,458
Piknometre + Su Ağırlığı (g)	83,824	83,983
Numune Ağırlığı (g)	9,923	10,351
Su Ağırlığı (g)	50,024	50,183
Zemine Eklenen Su Ağırlığı (g)	46,337	46,307
Numune Hacmi (ml)	3,687	3,876
Zeminin Özgül Ağırlığı	2,691	2,671
Ortalama Özgül Ağırlık	**2,681**	

SONUÇLAR	
Zeminin Özgül Ağırlığı, Gs	**2,681**

EK C.2

Çizelge C.2 : Çatalağzı uçucu külü piknometre deney raporu.

PİKNOMETRE DENEY RAPORU

Numune Tipi	Uçucu Kül	**Kaynağı**	Zonguldak
Numune Adı	Çatalağzı Termik Santrali Uçucu Külü	**Deney Tarihi**	27.06.2011
		Deney No	Piknometre 2/2

PİKNOMETRE	Deney 1	Deney 2
Piknometre Numarası	1	1
Piknometre Ağırlığı (g)	33,8	33,8
Piknometre + Numune Ağırlığı (g)	44,832	43,256
Piknometre + Numune + Su Ağırlığı (g)	89,430	88,75
Piknometre + Su Ağırlığı (g)	83,864	83,962
Numune Ağırlığı (g)	11,032	9,456
Su Ağırlığı (g)	50,064	50,162
Zemine Eklenen Su Ağırlığı (g)	44,598	45,494
Numune Hacmi (ml)	5,466	4,668
Zeminin Özgül Ağırlığı	2,018	2,026
Ortalama Özgül Ağırlık	**2,022**	

SONUÇLAR	
Zeminin Özgül Ağırlığı, Gs	**2,022**

EK D.1

Çizelge D.1 : Filyos ateş tuğla bağlama kili standart proktor deney raporu.

STANDART PROKTOR DENEY RAPORU

Numune Tipi	Kil (%100)+ Uçucu Kül (%0.0)+Fiber (%0.0)	**Kaynağı**	İstanbul
Numune Adı	Filyos Ateş Tuğla Fabrikası Bağlama Kili	**Deney Tarihi**	27.06.2011
		Deney No	SP 1/7

Sıkılık Deney Verileri	**Deney 1**	**Deney 2**	**Deney 3**	**Deney 4**
Islak Numune + Kalıp	3320,2	3426,7	3452,1	3419,9
Kalıp	1668	1668	1668	1668
Islak Numune	1652,2	1758,7	1784,1	1751,9
Kabın Hacmi	911	911	911	911
Birim Hacim Ağırlık	1,814	1,931	1,958	1,923

Su Muhtevası

Kap No	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
Islak Numune + Dara	145,17	201,96	139,69	208,24	221,31	133,74	236,28	178,46
Kuru Numune + Dara	122,24	169,45	113,87	169,36	175,24	110	183,51	138,68
Dara	3,72	3,76	3,72	3,48	4,07	4,17	3,73	4,15
Su Miktarı	22,93	32,51	25,82	38,88	46,07	23,74	52,77	39,78
Kuru Numune	118,52	165,69	110,15	165,88	171,17	105,83	179,78	134,53
Su Muhtevası	19,35	19,62	23,44	23,44	26,91	22,43	29,35	29,57
Ort. Su Muhtevası	19,48		23,44		24,67		29,46	
Kuru Bir. Hacim Ağırl.	1,518		1,564		1,571		1,485	

Sıkılık Deney Verileri	**Deney 5**	**Deney 6**	**Deney 7**	**Deney 8**
Islak Numune + Kalıp	3402,5	3376,2		
Kalıp	1668	1668		
Islak Numune	1734,5	1708,2		
Kabın Hacmi	911	911		
Birim Hacim Ağırlık	1,904	1,875		

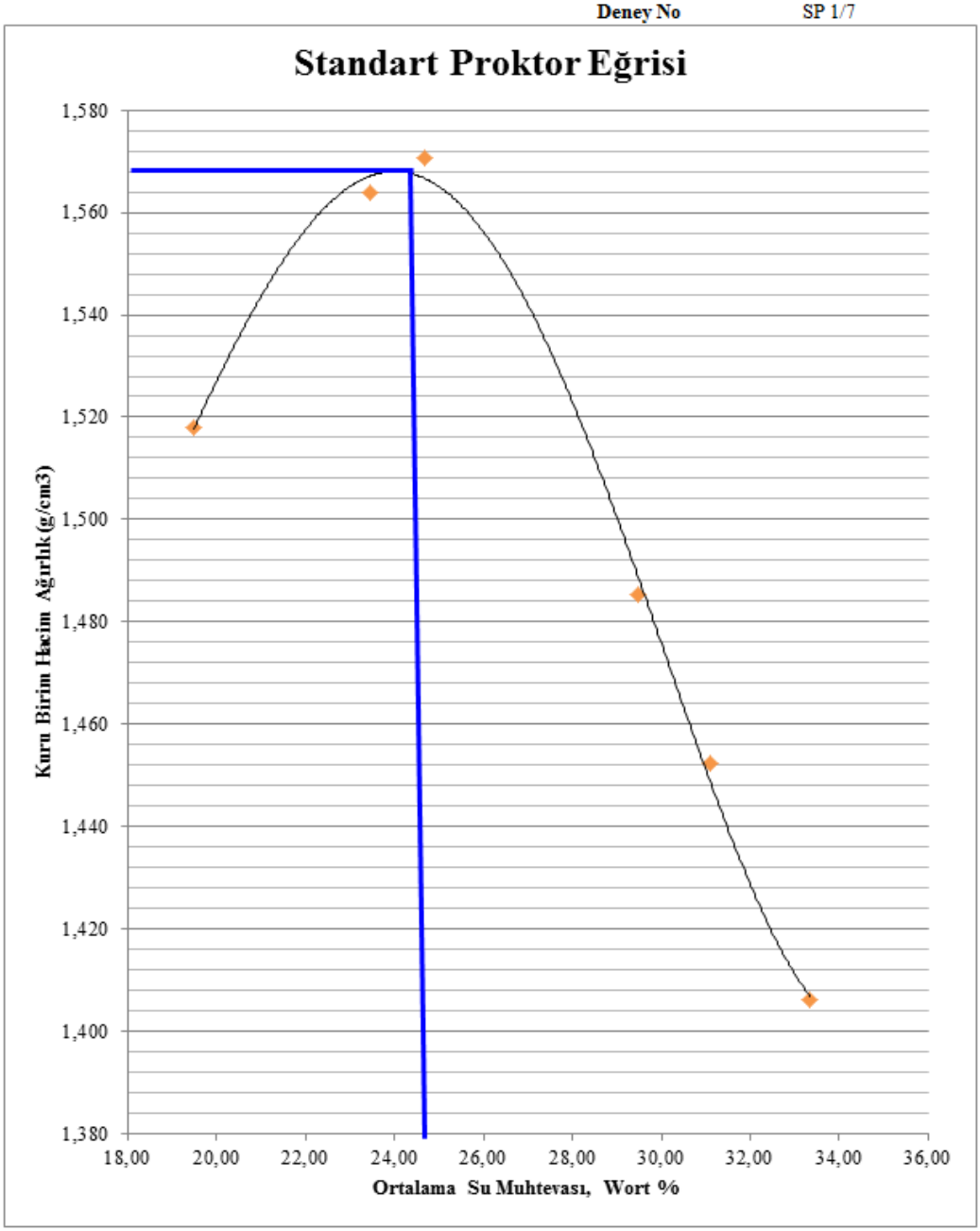
Su Muhtevası

Kap No	**9**	**10**	**11**	**12**				
Islak Numune + Dara	260,10	221	148,00	156,00				
Kuru Numune + Dara	210,00	161,24	110,00	120,00				
Dara	3,35	3,72	3,68	3,73				
Su Miktarı	50,1	59,76	38	36				
Kuru Numune	206,65	157,52	106,32	116,27				
Su Muhtevası	24,24	37,94	35,74	30,96				
Ort. Su Muhtevası	31,09		33,35					
Kuru Bir. Hacim Ağırl.	1,452		1,406					

EK D.1

STANDART PROKTOR DENEY RAPORU

Numune Tipi	Kil (%100)+ Uçucu Kül (%0.0)+Fiber (%0.0)	**Kaynağı**	İstanbul
Numune Adı	Filyos Ateş Tuğla Fabrikası Bağlama Kili	**Deney Tarihi**	27.06.2011
		Deney No	SP 1/7



Optimum Su Muhtevası, Wopt %	25
Maksimum Kuru Birim Hacim Ağırlık, γk	1,568

Şekil D.1 : Filyos ateş tuğla bağlama kili standart proktor eğrisi.

EK D.2

Çizelge D.2 : Çatalağzı uçucu külü standart proktor deney raporu.

STANDART PROKTOR DENEY RAPORU

Numune Tipi	Kil (%0.0)+ Uçucu Kül (%100)+Fiber (%0.0)	**Kaynağı**	Zonguldak
Numune Adı	Çatalağzı Termik Santrali Uçucu Külü	**Deney Tarihi**	27.06.2011
		Deney No	SP 2/7

Sıkılık Deney Verileri	**Deney 1**	**Deney 2**	**Deney 3**	**Deney 4**
Islak Numune + Kalıp	3255	3310	3360	3340
Kalıp	1800	1800	1800	1800
Islak Numune	1455	1510	1560	1540
Kabın Hacmi	940	940	940	940
Birim Hacim Ağırlık	1,548	1,606	1,660	1,638

Su Muhtevası

Kap No	**16**	**48**	**22**	**67**	**36**	**59**	**57**	**31**
Islak Numune + Dara	73,9	79,2	82,2	78,4	90,2	83,5	98,1	94,2
Kuru Numune + Dara	66,2	71,2	72,5	69,2	77,6	72,5	84,0	80,10
Dara	22,9	28,3	23,6	24,0	21	22,7	25,5	22,7
Su Miktarı	7,7	8,0	9,7	9,2	12,6	11,0	14,1	14,1
Kuru Numune	43,3	42,9	48,9	45,2	56,6	49,8	58,5	57,4
Su Muhtevası	17,78	18,65	19,84	20,35	22,26	22,09	24,10	24,56
Ort. Su Muhtevası	18,22		20,10		22,17		24,33	
Kuru Bir. Hacim Ağırl.	1,309		1,338		1,358		1,318	

Sıkılık Deney Verileri	**Deney 5**	**Deney 6**	**Deney 7**	**Deney 8**
Islak Numune + Kalıp	3280			
Kalıp	1800			
Islak Numune	1480			
Kabın Hacmi	940			
Birim Hacim Ağırlık	1,574			

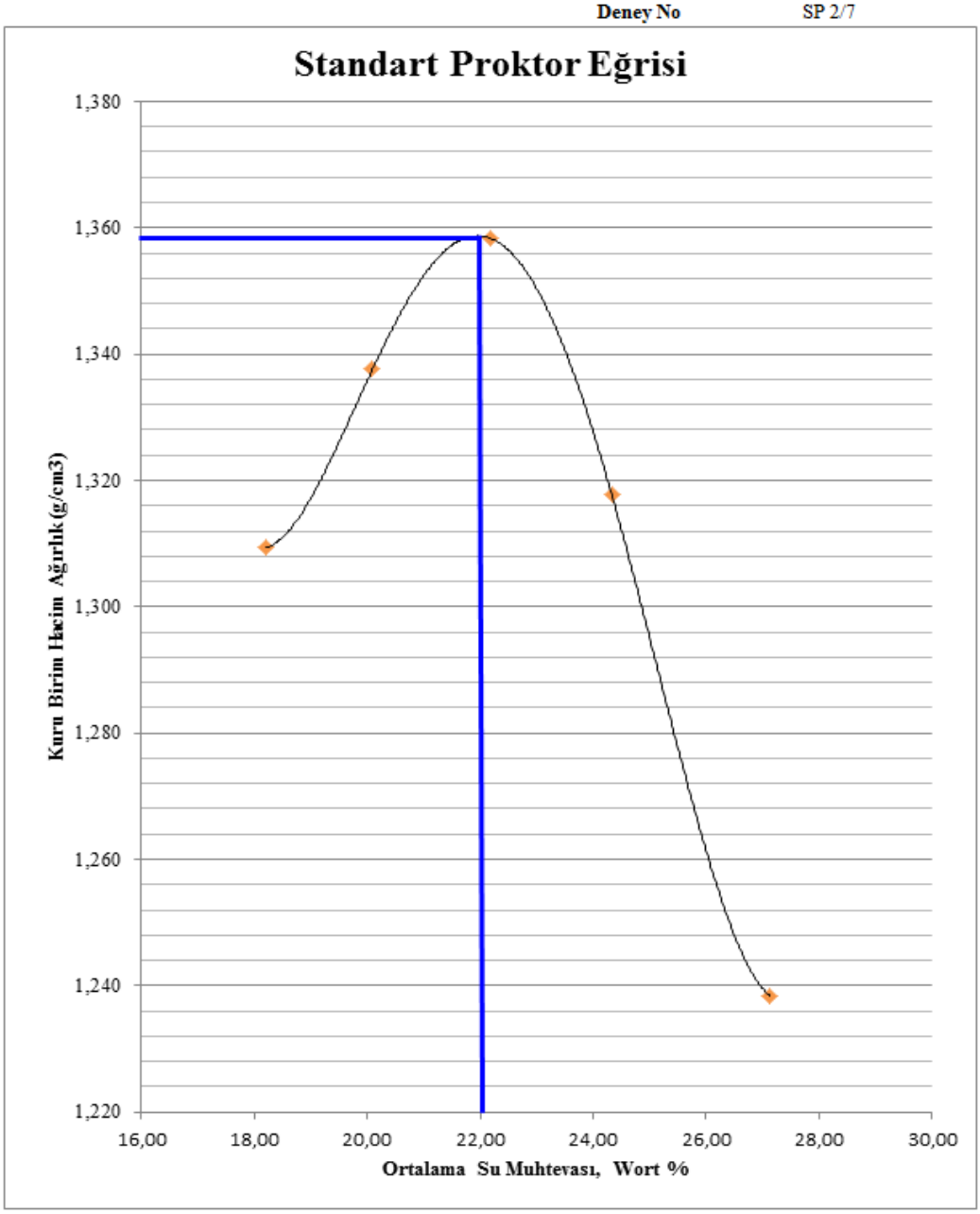
Su Muhtevası

Kap No	**69**	**24**						
Islak Numune + Dara	78,9	86,4						
Kuru Numune + Dara	66,8	73,40						
Dara	22,2	25,5						
Su Miktarı	12,1	13						
Kuru Numune	44,6	47,9						
Su Muhtevası	27,13	27,14						
Ort. Su Muhtevası	27,13							
Kuru Bir. Hacim Ağırl.	1,238							

EK D.2

STANDART PROKTOR DENEY RAPORU

Numune Tipi	Kil (%0.0)+ Uçucu Kül (%100)+Fiber (%0.0)	**Kaynağı**	Zonguldak
Numune Adı	Çatalağzı Termik Santrali Uçucu Külü	**Deney Tarihi**	27.06.2011
		Deney No	SP 2/7



Optimum Su Muhtevası, Wopt %	22
Maksimum Kuru Birim Hacim Ağırlık, γk	1,358

Şekil D.2 : Çatalağzı uçucu külü standart proktor eğrisi.

EK D.3

Çizelge D.3 : Kil (%50) + UK (%50) karışımı standart proktor deney raporu.

STANDART PROKTOR DENEY RAPORU

Numune Tipi	Kil (%50)+ Uçucu Kül (%50) + Fiber (%0.0)	**Kaynağı**	İstanbul - Zonguldak
Numune Adı	Filyos Ateş Tuğla Fabrikası Bağlama Kili & Çatalağzı Termik Santrali Uçucu Külü	**Deney Tarihi**	27.06.2011
		Deney No	SP 3/7

Sıkılık Deney Verileri	**Deney 1**	**Deney 2**	**Deney 3**	**Deney 4**
Islak Numune + Kalıp	5675	5725	5838	5962
Kalıp	4250	4250	4250	4250
Islak Numune	1425	1475	1588	1712
Kabın Hacmi	940	940	940	940
Birim Hacim Ağırlık	1,516	1,569	1,689	1,821

Su Muhtevası

Kap No	**16**	**48**	**22**	**67**	**24**	**62**	**7**	**54**
Islak Numune + Dara	71,9	73,0	75,0	71,6	70,6	73,9	79,6	84,8
Kuru Numune + Dara	68,3	69,6	70,6	67,4	65,9	68,80	73,2	77,3
Dara	22,9	28,3	23,6	24	25,5	24,4	25,6	25,1
Su Miktarı	3,6	3,4	4,4	4,2	4,7	5,1	6,4	7,5
Kuru Numune	45,4	41,3	47	43,4	40,4	44,4	47,6	52,2
Su Muhtevası	7,93	8,23	9,36	9,68	11,63	11,49	13,45	14,37
Ort. Su Muhtevası	8,08		9,52		11,56		13,91	
Kuru Bir. Hacim Ağırl.	1,403		1,433		1,514		1,599	

Sıkılık Deney Verileri	**Deney 5**	**Deney 6**	**Deney 7**	**Deney 8**
Islak Numune + Kalıp	6012	6010	5972	
Kalıp	4250	4250	4250	
Islak Numune	1762	1760	1722	
Kabın Hacmi	940	940	940	
Birim Hacim Ağırlık	1,874	1,872	1,832	

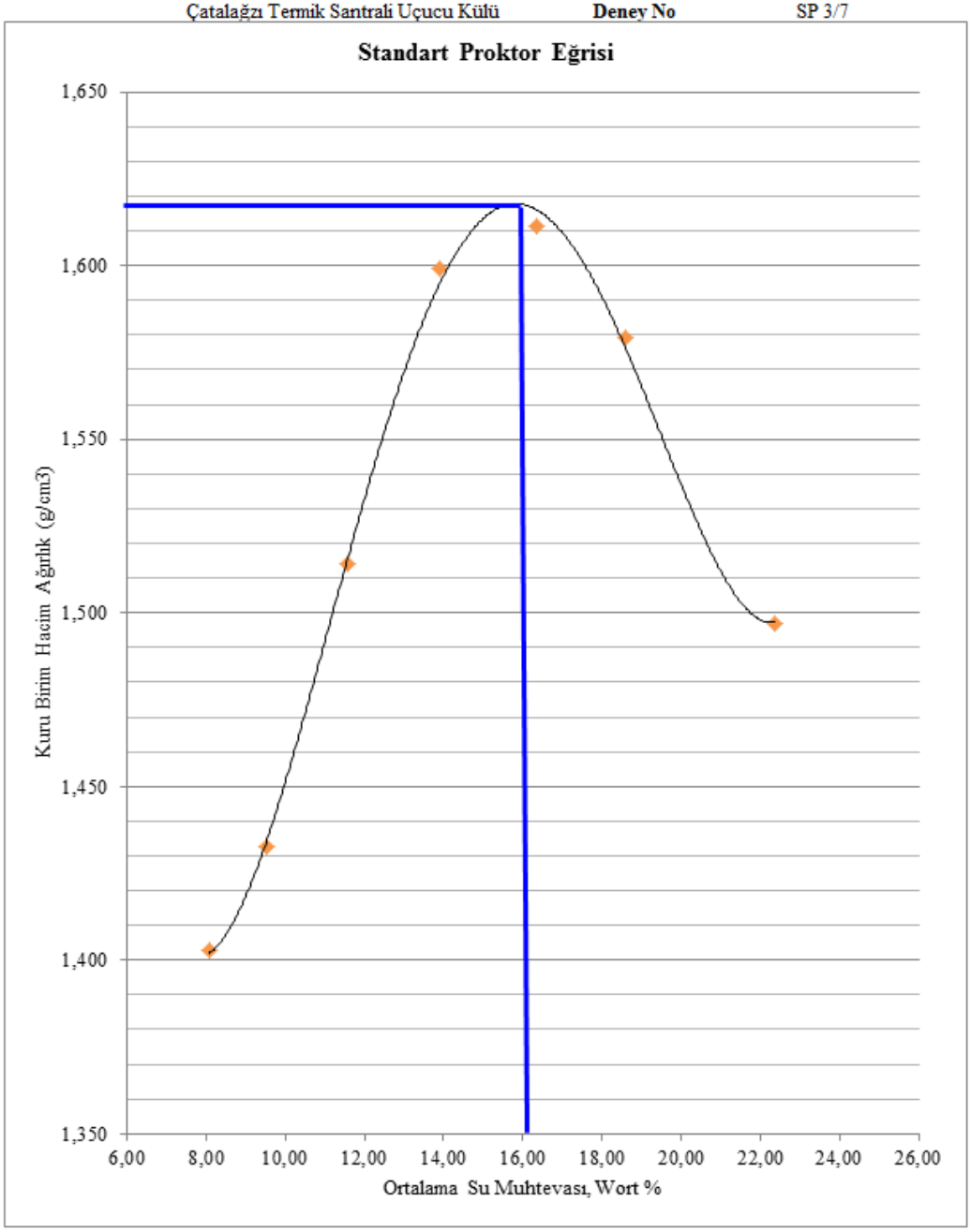
Su Muhtevası

Kap No	**34**	**44**	**15**	**17**	**57**	**12**		
Islak Numune + Dara	82,00	79,90	89,50	77,20	93,80	86,60		
Kuru Numune + Dara	73,90	71,9	79,40	69,00	81,50	74,60		
Dara	24,6	22,6	25,1	24,8	25,5	21,9		
Su Miktarı	8,1	8	10,1	8,2	12,3	12		
Kuru Numune	49,3	49,3	54,3	44,2	56	52,7		
Su Muhtevası	16,43	16,23	18,60	18,55	21,96	22,77		
Ort. Su Muhtevası	16,33		18,58		22,37			
Kuru Bir. Hacim Ağırl.	1,611		1,579		1,497			

EK D.3

STANDART PROKTOR DENEY RAPORU

Numune Tipi	Kil (%50)+ Uçucu Kül (%50) + Fiber (%0.0)	**Kaynağı**	İstanbul - Zonguldak
Numune Adı	Filyos Ateş Tuğla Fabrikası Bağlama Kili & Çatalağzı Termik Santrali Uçucu Külü	**Deney Tarihi**	27.06.2011
		Deney No	SP 3/7



Optimum Su Muhtevası, Wopt %	16
Maksimum Kuru Birim Hacim Ağırlık, γk	1,618

Şekil D.3 : Kil (%50) + UK (%50) karışımının standart proktor eğrisi.

EK D.4

Çizelge D.4 : Kil (%50)+UK (%50)+Fiber (%0.5) karışımı standart proktor deney raporu.

STANDART PROKTOR DENEY RAPORU

Numune Tipi	Kil (%50)+ Uçucu Kül (%50)+Fiber (%0,5)	**Kaynağı**	İstanbul - Zonguldak
Numune Adı	Filyos Ateş Tuğla Fabrikası Bağlama Kili & Çatalağzı Termik Santrali Uçucu Külü	**Deney Tarihi**	27.06.2011
		Deney No	SP 4/7

Sıkılık Deney Verileri	**Deney 1**	**Deney 2**	**Deney 3**	**Deney 4**
Islak Numune + Kalıp	5800	5950	5970	5983
Kalıp	4250	4250	4250	4250
Islak Numune	1550	1700	1720	1733
Kabın Hacmi	940	940	940	940
Birim Hacim Ağırlık	1,649	1,809	1,830	1,844

Su Muhtevası

Kap No	**18**	**36**	**9**	**69**	**15**	**17**	**31**	**46**
Islak Numune + Dara	68,4	76,9	75,2	80,2	88,80	76,80	70,2	79,8
Kuru Numune + Dara	63,2	70,0	67,8	72,2	79,50	69,10	62,7	70,70
Dara	22,9	21,0	23,6	22,2	25,1	24,8	22,7	22,6
Su Miktarı	5,2	6,9	7,4	8	9,3	7,7	7,5	9,1
Kuru Numune	40,3	49	44,2	50	54,4	44,3	40	48,1
Su Muhtevası	12,90	14,08	16,74	16,00	17,10	17,38	18,75	18,92
Ort. Su Muhtevası	13,49		16,37		17,24		18,83	
Kuru Bir. Hacim Ağırl.	1,453		1,554		1,561		1,551	

Sıkılık Deney Verileri	**Deney 5**	**Deney 6**	**Deney 7**	**Deney 8**
Islak Numune + Kalıp	5960			
Kalıp	4250			
Islak Numune	1710			
Kabın Hacmi	940			
Birim Hacim Ağırlık	1,819			

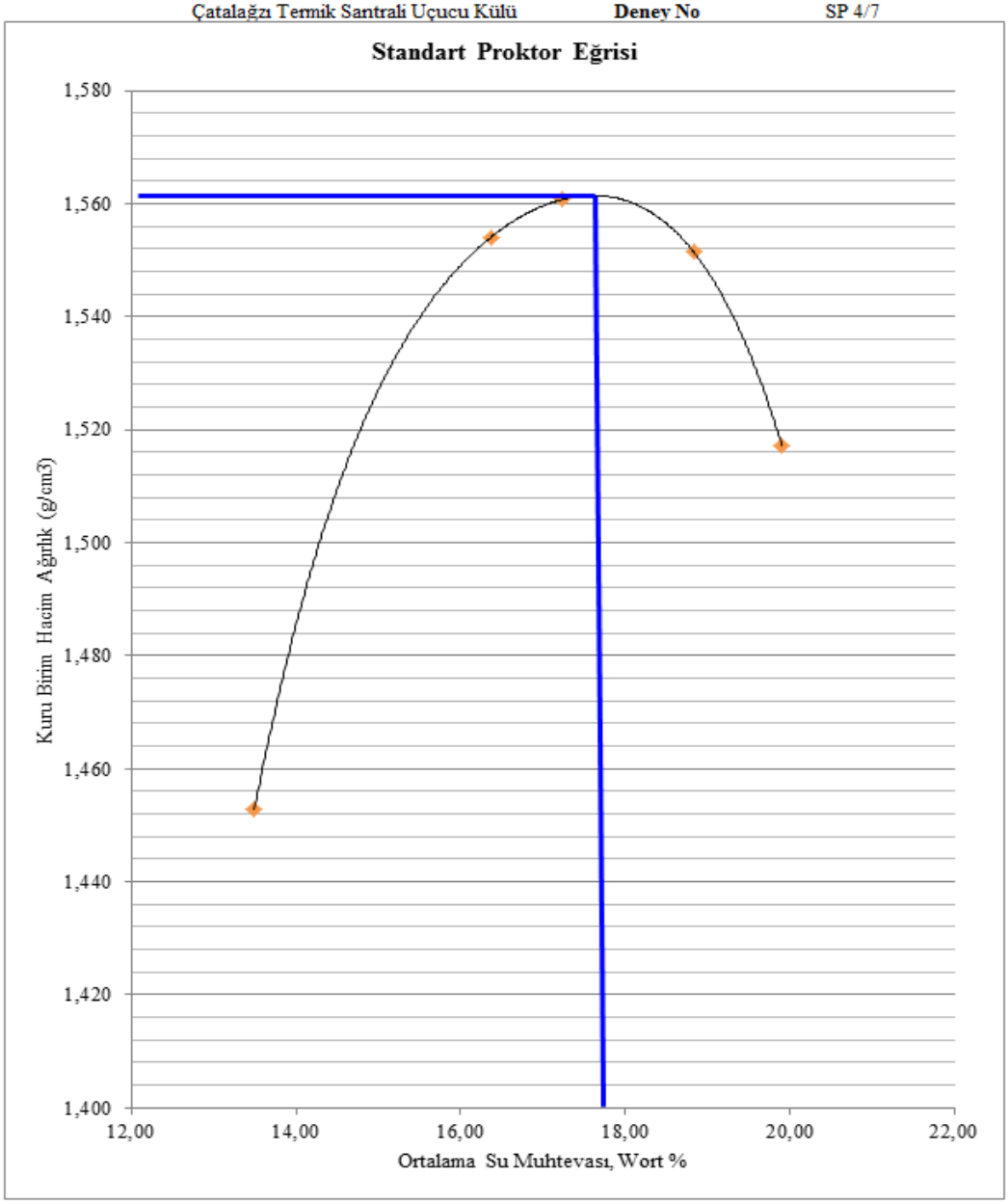
Su Muhtevası

Kap No	**66**	**59**						
Islak Numune + Dara	82,2	93,0						
Kuru Numune + Dara	72,2	81,6						
Dara	23,3	22,7						
Su Miktarı	10	11,4						
Kuru Numune	48,9	58,9						
Su Muhtevası	20,45	19,35						
Ort. Su Muhtevası	19,90							
Kuru Bir. Hacim Ağırl.	1,517							

EK D.4

STANDART PROKTOR DENEY RAPORU

Numune Tipi	Kil (%50)+ Uçucu Kül (%50)+Fiber (%0,5)	**Kaynağı**	İstanbul - Zonguldak
Numune Adı	Filyos Ateş Tuğla Fabrikası Bağlama Kili & Çatalağzı Termik Santrali Uçucu Külü	**Deney Tarihi**	27.06.2011
		Deney No	SP 4/7



Optimum Su Muhtevası, Wopt %	18
Maksimum Kuru Birim Hacim Ağırlık, γk	1,562

Şekil D.4 : Kil (%50)+UK (%50)+Fiber (%0.5) karışımının standart proktor eğrisi.

EK D.5

Çizelge D.5 : Kil (%50)+UK (%50)+Fiber (%1.0) karışımı standart proktor deney raporu.

STANDART PROKTOR DENEY RAPORU

Numune Tipi	Kil (%50)+ Uçucu Kül (%50)+Fiber (%1,0)	**Kaynağı**	İstanbul - Zonguldak
Numune Adı	Filyos Ateş Tuğla Fabrikası Bağlama Kili & Çatalağzı Termik Santrali Uçucu Külü	**Deney Tarihi**	27.06.2011
		Deney No	SP 5/7

Sıkılık Deney Verileri	**Deney 1**	**Deney 2**	**Deney 3**	**Deney 4**
Islak Numune + Kalıp	5810	5915	5975	5998
Kalıp	4250	4250	4250	4250
Islak Numune	1560	1665	1725	1748
Kabın Hacmi	940	940	940	940
Birim Hacim Ağırlık	1,660	1,771	1,835	1,860

Su Muhtevası

Kap No	**65**	**63**	**23**	**49**	**68**	**58**	**41**	**50**
Islak Numune + Dara	65,3	72,0	72,3	83,3	98,9	98,7	84,1	87,6
Kuru Numune + Dara	61,3	66,4	66,1	75,7	88,4	87,90	74,8	77,3
Dara	25,5	23,1	23,3	23,4	23,8	22,0	24,9	22,0
Su Miktarı	4	5,6	6,2	7,6	10,5	10,8	9,3	10,3
Kuru Numune	35,8	43,3	42,8	52,3	64,6	65,9	49,9	55,3
Su Muhtevası	11,17	12,93	14,49	14,53	16,25	16,39	18,64	18,63
Ort. Su Muhtevası	12,05		14,51		16,32		18,63	
Kuru Bir. Hacim Ağırl.	1,481		1,547		1,578		1,568	

Sıkılık Deney Verileri	**Deney 5**	**Deney 6**	**Deney 7**	**Deney 8**
Islak Numune + Kalıp	5978			
Kalıp	4250			
Islak Numune	1728			
Kabın Hacmi	940			
Birim Hacim Ağırlık	1,838			

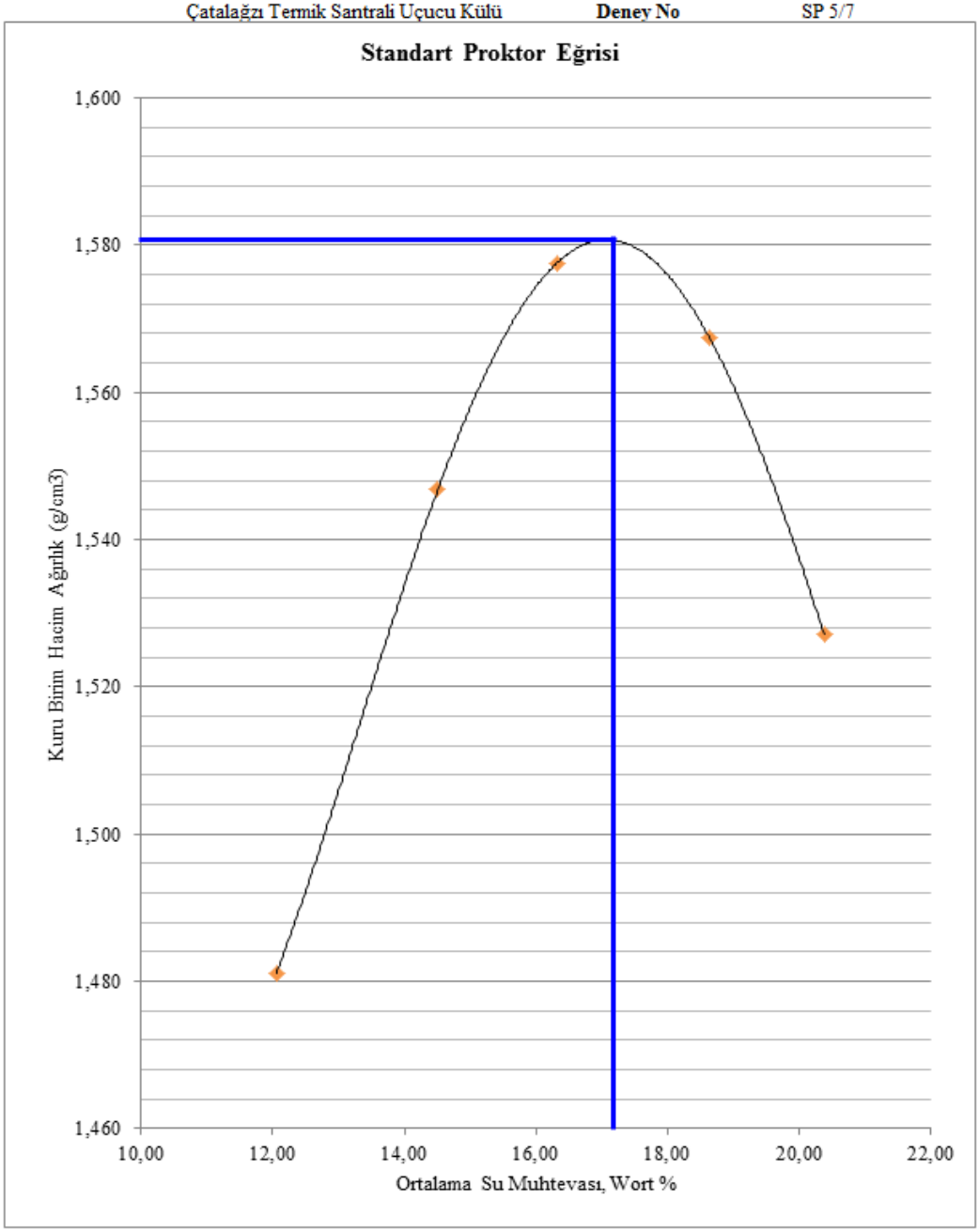
Su Muhtevası

Kap No	**43**	**53**						
Islak Numune + Dara	80,30	93,60						
Kuru Numune + Dara	70,60	81,6						
Dara	23,1	22,6						
Su Miktarı	9,7	12						
Kuru Numune	47,5	59						
Su Muhtevası	20,42	20,34						
Ort. Su Muhtevası	20,38							
Kuru Bir. Hacim Ağırl.	1,527							

EK D.5

STANDART PROKTOR DENEY RAPORU

Numune Tipi	Kil (%50)+ Uçucu Kül (%50)+Fiber (%1,0)	**Kaynağı**	İstanbul - Zonguldak
Numune Adı	Filyos Ateş Tuğla Fabrikası Bağlama Kili & Çatalağzı Termik Santrali Uçucu Külü	**Deney Tarihi**	27.06.2011
		Deney No	SP 5/7



Optimum Su Muhtevası, Wopt %	17
Maksimum Kuru Birim Hacim Ağırlık, γk	1,581

Şekil D.5 : Kil (%50)+UK (%50)+Fiber (%1.0) karışımının standart proktor eğrisi.

EK D.6

Çizelge D.6 : Kil (%50)+UK (%50)+Fiber (%1.5) karışımı standart proktor deney raporu.

STANDART PROKTOR DENEY RAPORU

Numune Tipi	Kil (%50)+ Uçucu Kül (%50)+Fiber (%1,5)	**Kaynağı**	İstanbul - Zonguldak
Numune Adı	Filyos Ateş Tuğla Fabrikası Bağlama Kili & Çatalağzı Termik Santrali Uçucu Külü	**Deney Tarihi**	27.06.2011
		Deney No	SP 6/7

Sıkılık Deney Verileri	**Deney 1**	**Deney 2**	**Deney 3**	**Deney 4**
Islak Numune + Kalıp	5838	5920	5980	5970
Kalıp	4250	4250	4250	4250
Islak Numune	1588	1670	1730	1720
Kabın Hacmi	940	940	940	940
Birim Hacim Ağırlık	1,689	1,777	1,840	1,830

Su Muhtevası

Kap No	**42**	**2**	**8**	**28**	**7**	**22**	**17**	**62**
Islak Numune + Dara	73,6	73,2	62,0	70,9	88,4	88,6	77,8	67,5
Kuru Numune + Dara	66,8	66,9	56,9	64,3	78,7	78,80	68,9	60,3
Dara	23,5	21,9	24,0	23,2	25,6	23,6	24,8	24,4
Su Miktarı	6,8	6,3	5,1	6,6	9,7	9,8	8,9	7,2
Kuru Numune	43,3	45	32,9	41,1	53,1	55,2	44,1	35,9
Su Muhtevası	15,70	14,00	15,50	16,06	18,27	17,75	20,18	20,06
Ort. Su Muhtevası	14,85		15,78		18,01		20,12	
Kuru Bir. Hacim Ağırl.	1,471		1,534		1,560		1,523	

Sıkılık Deney Verileri	**Deney 5**	**Deney 6**	**Deney 7**	**Deney 8**
Islak Numune + Kalıp	5950			
Kalıp	4250			
Islak Numune	1700			
Kabın Hacmi	940			
Birim Hacim Ağırlık	1,809			

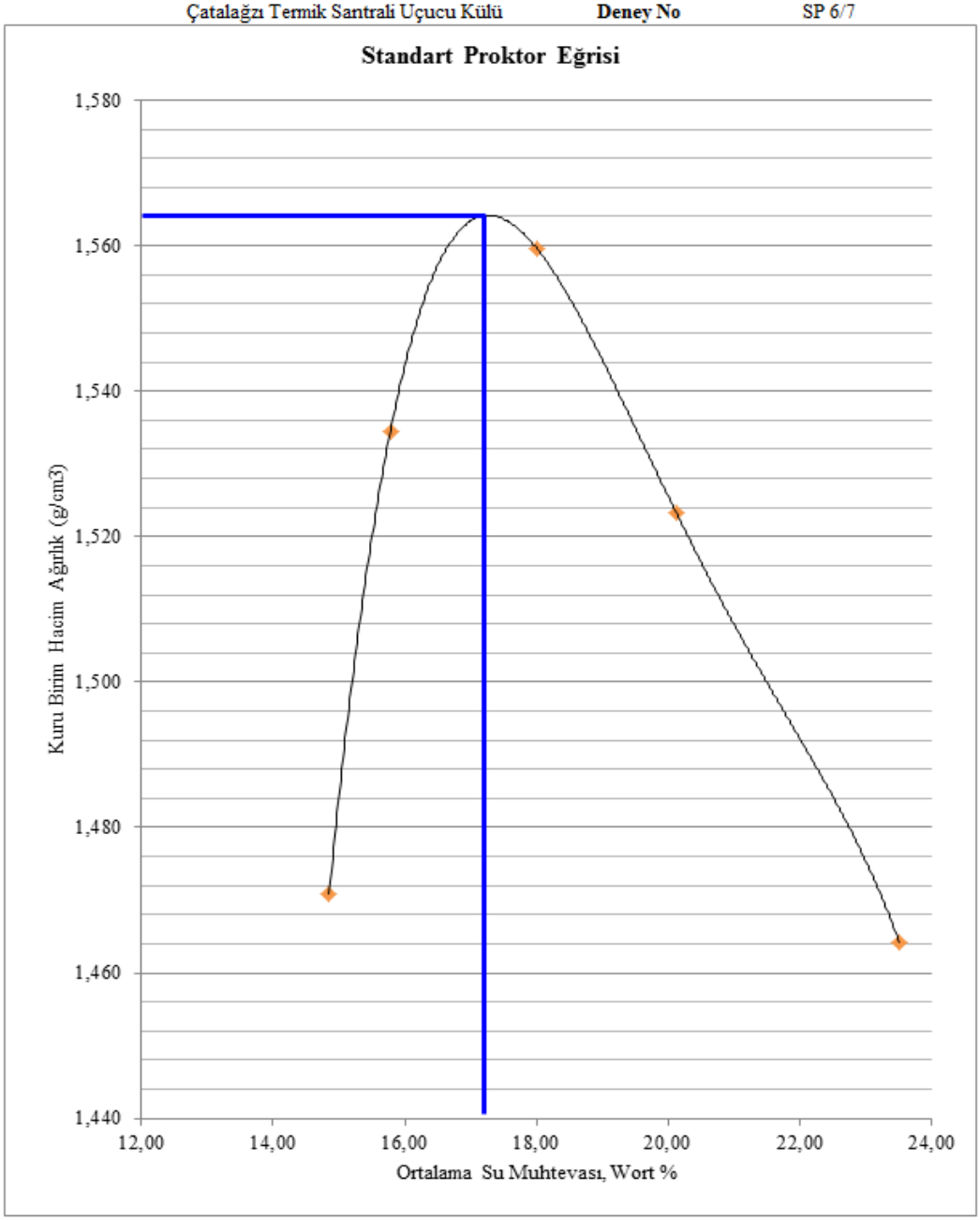
Su Muhtevası

Kap No	**44**	**18**						
Islak Numune + Dara	87,10	91,30						
Kuru Numune + Dara	74,90	78,2						
Dara	22,6	22,9						
Su Miktarı	12,2	13,1						
Kuru Numune	52,3	55,3						
Su Muhtevası	23,33	23,69						
Ort. Su Muhtevası	23,51							
Kuru Bir. Hacim Ağırl.	1,464							

EK D.6

STANDART PROKTOR DENEY RAPORU

Numune Tipi	Kil (%50)+ Uçucu Kül (%50)+Fiber (%1,5)	**Kaynağı**	İstanbul - Zonguldak
Numune Adı	Filyos Ateş Tuğla Fabrikası Bağlama Kili & Çatalağzı Termik Santrali Uçucu Külü	**Deney Tarihi**	27.06.2011
		Deney No	SP 6/7



Optimum Su Muhtevası, Wopt %	17
Maksimum Kuru Birim Hacim Ağırlık, γk	1,564

Şekil D.6 : Kil (%50)+UK (%50)+Fiber (%1.5) karışımının standart proktor eğrisi.

EK D.7

Çizelge D.7 : Kil (%50)+UK (%50)+Fiber (%2.0) karışımı standart proktor deney raporu.

STANDART PROKTOR DENEY RAPORU

Numune Tipi	Kil (%50)+ Uçucu Kül (%50)+Fiber (%2,0)	**Kaynağı**	İstanbul - Zonguldak
Numune Adı	Filyos Ateş Tuğla Fabrikası Bağlama Kili & Çatalağzı Termik Santrali Uçucu Külü	**Deney Tarihi**	27.06.2011
		Deney No	SP 7/7

Sıkılık Deney Verileri	**Deney 1**	**Deney 2**	**Deney 3**	**Deney 4**
Islak Numune + Kalıp	5910	5940	5910	5840
Kalıp	4250	4250	4250	4250
Islak Numune	1660	1690	1660	1590
Kabın Hacmi	940	940	940	940
Birim Hacim Ağırlık	1,766	1,798	1,766	1,691

Su Muhtevası

Kap No	**16**	**48**	**22**	**67**	**36**	**59**	**57**	**31**
Islak Numune + Dara	72,9	78,8	73,5	79,5	74,7	80,6	96,0	74,0
Kuru Numune + Dara	66,2	71,8	66,2	71,5	65,9	71,2	82,3	64,6
Dara	22,9	28,3	23,6	24,0	21	22,7	25,5	22,7
Su Miktarı	6,7	7	7,3	8	8,8	9,4	13,7	9,4
Kuru Numune	43,3	43,5	42,6	47,5	44,9	48,5	56,8	41,9
Su Muhtevası	15,47	16,09	17,14	16,84	19,60	19,38	24,12	22,43
Ort. Su Muhtevası	15,78		16,99		19,49		23,28	
Kuru Bir. Hacim Ağırl.	1,525		1,537		1,478		1,372	

Sıkılık Deney Verileri	**Deney 5**	**Deney 6**	**Deney 7**	**Deney 8**
Islak Numune + Kalıp				
Kalıp				
Islak Numune				
Kabın Hacmi				
Birim Hacim Ağırlık				

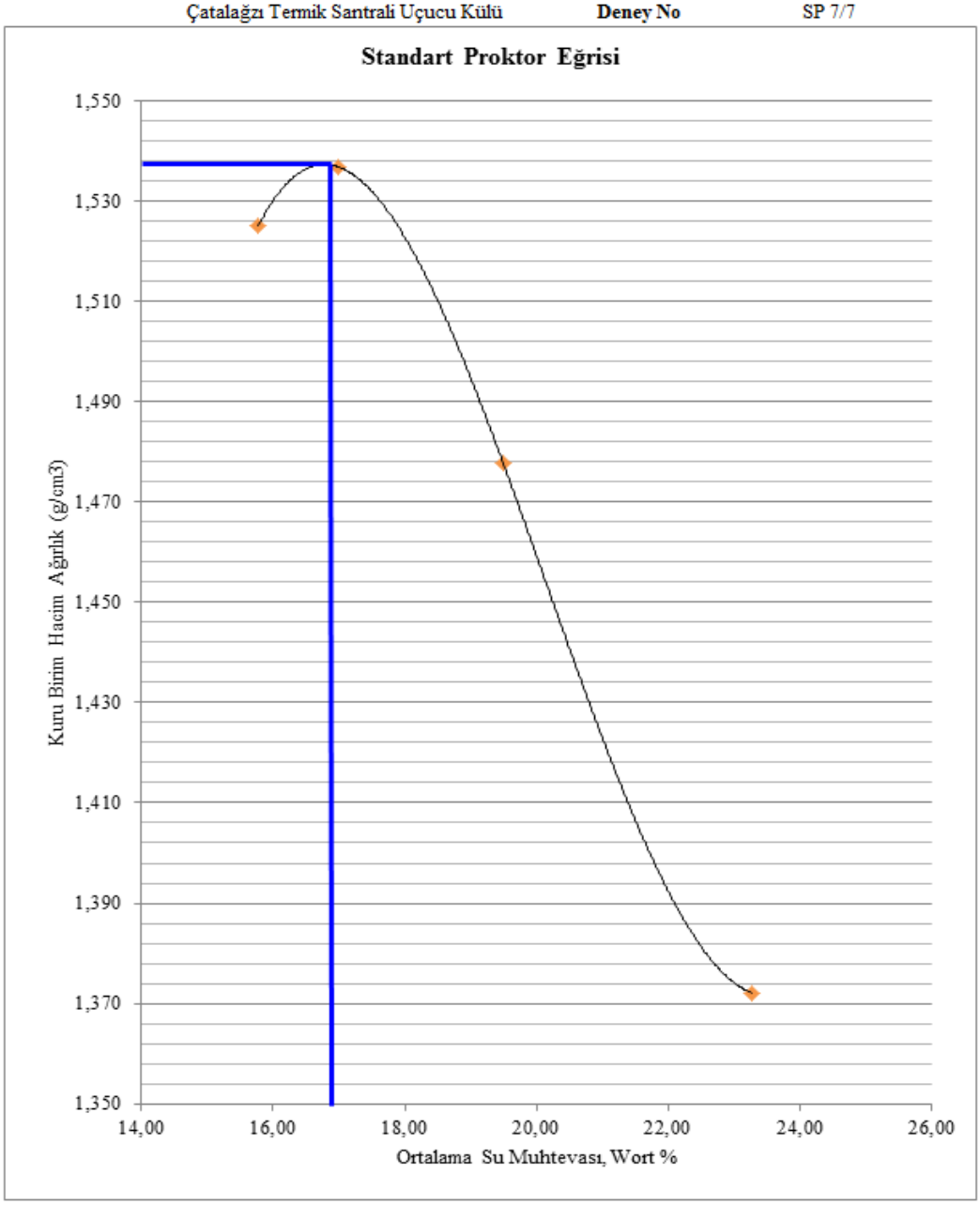
Su Muhtevası

Kap No								
Islak Numune + Dara								
Kuru Numune + Dara								
Dara								
Su Miktarı								
Kuru Numune								
Su Muhtevası								
Ort. Su Muhtevası								
Kuru Bir. Hacim Ağırl.								

EK D.7

STANDART PROKTOR DENEY RAPORU

Numune Tipi	Kil (%50)+ Uçucu Kül (%50)+Fiber (%2,0)	**Kaynağı**	İstanbul - Zonguldak
Numune Adı	Filyos Ateş Tuğla Fabrikası Bağlama Kili & Çatalağzı Termik Santrali Uçucu Külü	**Deney Tarihi**	27.06.2011
		Deney No	SP 7/7



Optimum Su Muhtevası, Wopt %	17
Maksimum Kuru Birim Hacim Ağırlık, γk	1,538

Şekil D.7 : Kil (%50)+UK (%50)+Fiber (%2.0) karışımının standart proktor eğrisi.

EK E.1

Çizelge E.1 : Filyos ateş tuğla bağlama kili CBR deney raporu.

CBR DENEY RAPORU

Numune Tipi	% 100 Kil + % 0.0 Uçucu Kül + % 0.0 Fiber	**Kaynağı**	İstanbul
Numune Adı	Filyos Ateş Tuğla Fabrikası Bağlama Kili	**Deney Tarihi**	01.07.2011
		Deney No	CBR 1/7
Ring Faktörü	0,4793		

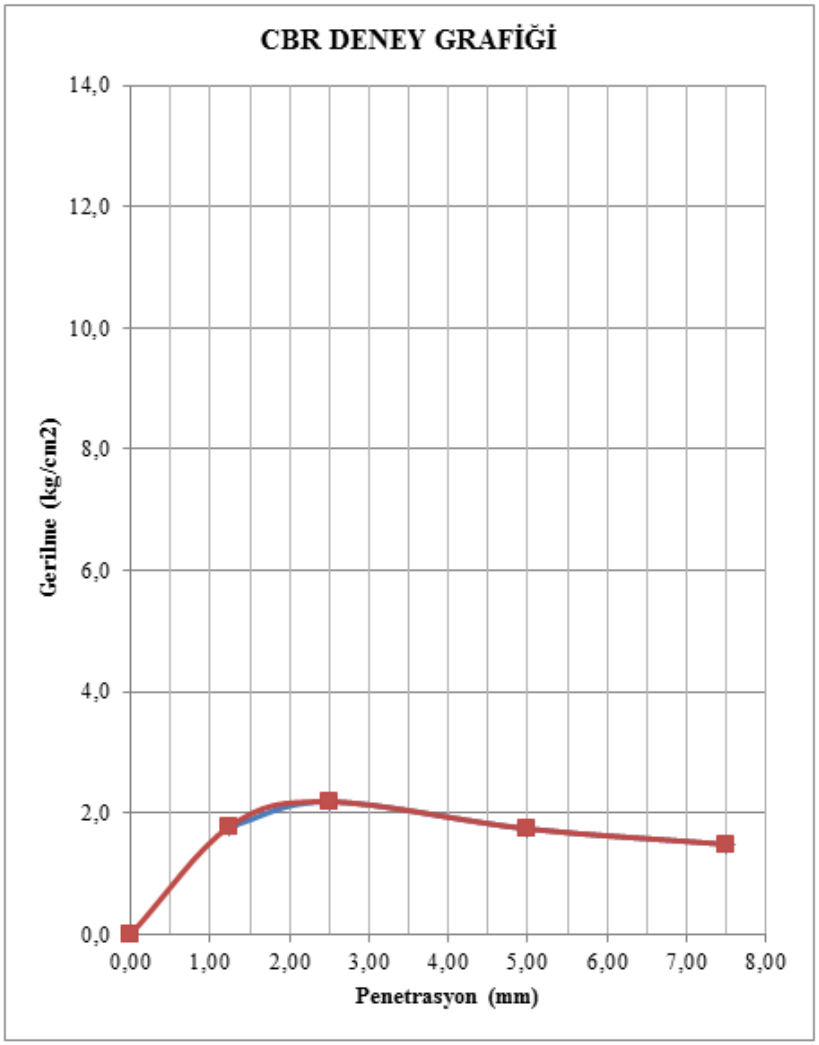
Boy kısalması (* 1/100 mm)	Kuvvet Halkası Okuması	Yük (kg)	Boy kısalması (* 1/100 mm)	Kuvvet Halkası Okuması	Yük (kg)
25	22	10,54	400	70	33,55
50	38	18,21	450	72	34,51
75	44	21,09	500	74	35,47
100	48	23,01	550	75	35,95
125	32	15,34	600	77	36,91
150	55	26,36	650	78	37,39
175	57	27,32	700	79	37,86
200	59	28,28	750	80	38,34
225	61	29,24	800	81	38,82
250	62	29,72	850	82	39,30
275	63	30,20	900	83	39,78
300	66	31,63	950	84	40,26
350	68	32,59	1000	85	40,74

Numune No	1	2	**Numune + Kalıp (gr)**	8610
Kap No	27	51	**Kalıp (gr)**	4110
Islak Numune + Dara (gr)	90,3	89,8	**Numune ağırlık (gr)**	4500
Kuru Numune + Dara (gr)	77,5	76,7	**Kalıp Yüksekliği (cm)**	12,7
Dara (gr)	24,8	24,1	**Kalıp Çapı (cm)**	15,2
Kuru Zemin (gr)	52,7	52,6	**Kalıp Hacmi (cm^3)**	2305
Su Miktarı (gr)	12,8	13,1	γ_n	1,95
w (%)	24,3	24,9	γ_{kuru}	1,57
wort %	**24,6**			

EK E.1

CBR DENEY RAPORU

Numune Tipi	% 100 Kil + % 0.0 Uçucu Kül + % 0.0 Fiber	**Kaynağı**	İstanbul
Numune Adı	Filyos Ateş Tuğla Fabrikası Bağlama Kili	**Deney Ta**	01.07.2011
		Deney N	CBR 1/7
Ring Faktörü	0,4793		



Penetrasyon (mm)	Yük (kg)	CBR Değeri	CBR Değeri
CBR 2,5 mm	29,72	2,2 %	2%
CBR 5,0 mm	35,47	1,7 %	

Şekil E.1 : Filyos ateş tuğla bağlama kili CBR deney grafiği.

EK E.2

Çizelge E.2 : Çatalağzı uçucu külü CBR deney raporu.

CBR DENEY RAPORU

Numune Tipi	% 0.0 Kil + % 100 Uçucu Kül + % 0.0 Fiber	**Kaynağı**	Zonguldak
Numune Adı	Çatalağzı Termik Santrali Uçucu Külü	**Deney Tarihi**	01.07.2011
		Deney No	CBR 2/7
Ring Faktörü	0,4793		

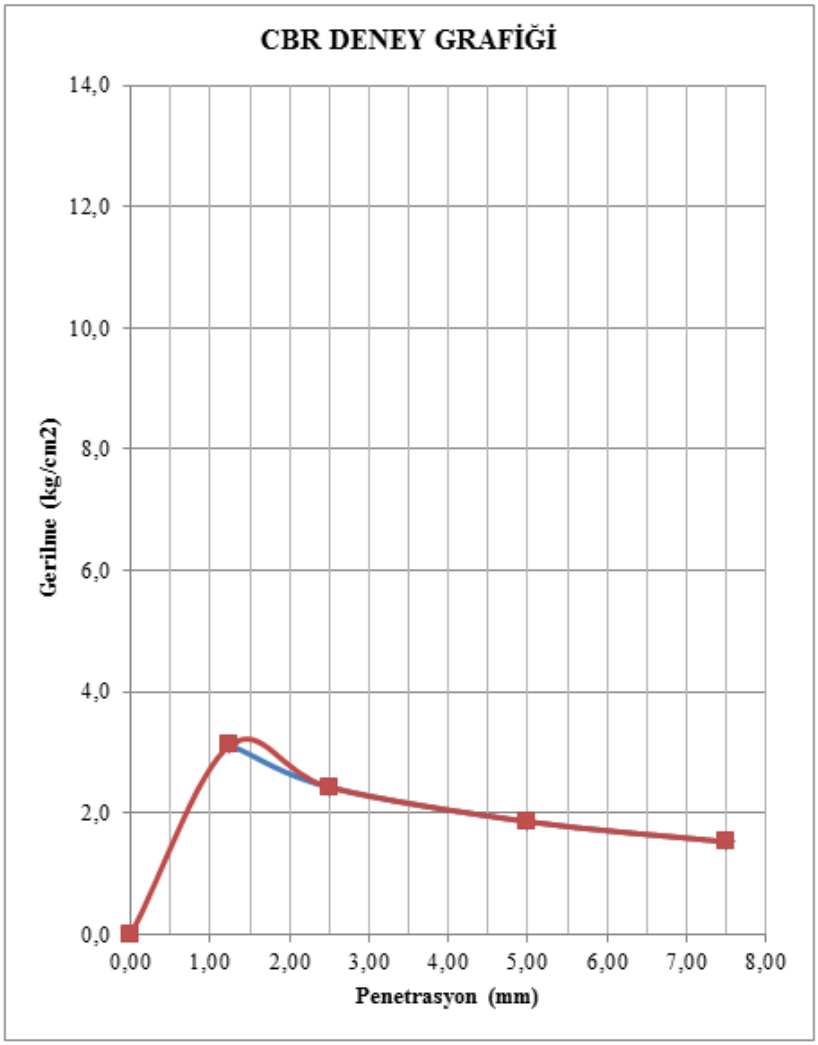
Boy kısalması (* 1/100 mm)	Kuvvet Halkası Okuması	Yük (kg)	Boy kısalması (* 1/100 mm)	Kuvvet Halkası Okuması	Yük (kg)
25	21	10,30	400	76	36,60
50	33	15,70	450	78	37,40
75	46	22,10	500	79	37,90
100	51	24,50	550	80	38,20
125	56	26,80	600	81	38,50
150	59	28,30	650	82	38,80
175	62	29,80	700	83	39,10
200	65	31,00	750	84	39,40
225	67	32,20	800	85	39,80
250	69	33,00	850	86	40,20
275	71	34,20	900	87	40,60
300	73	35,00	950	88	40,90
350	75	35,80	1000	89	41,20

Numune No	1	2	**Numune + Kalıp (gr)**	8610
Kap No	14	44	**Kalıp (gr)**	4110
Islak Numune + Dara (gr)	92,8	89,8	**Numune ağırlık (gr)**	4500
Kuru Numune + Dara (gr)	77,5	76,7	**Kalıp Yüksekliği (cm)**	12,7
Dara (gr)	23,8	22,6	**Kalıp Çapı (cm)**	15,2
Kuru Zemin (gr)	53,7	54,1	**Kalıp Hacmi (cm^3)**	2305
Su Miktarı (gr)	15,3	13,1	γ_n	1,95
w (%)	28,5	24,2	γ_{kuru}	1,55
wort %	**26,4**			

EK E.2

CBR DENEY RAPORU

Numune Tipi	% 0.0 Kil + % 100 Uçucu Kül + % 0.0 Fiber	**Kaynağı**	Zonguldak
Numune Adı	Çatalağzı Termik Santrali Uçucu Külü	**Deney Ta**	01.07.2011
		Deney N	CBR 2/7
Ring Faktörü	0,4793		



Penetrasyon (mm)	Yük (kg)	CBR Değeri	CBR Değeri
CBR 2,5 mm	33,00	2,4 %	2%
CBR 5,0 mm	37,90	1,9 %	

Şekil E.2 : Çatalağzı uçucu külü CBR deney grafiği.

EK E.3

Çizelge E.3 : Kil (%50)+UK (%50) karışımı CBR deney raporu.

CBR DENEY RAPORU

Numune Tipi	% 50 Kil + % 50 Uçucu Kül + % 0.0 Fiber	**Kaynağı**	İstnbl- Zongldk
Numune Adı	Filyos Ateş Tuğla Fabrikası Bağlama Kili & Çatalağzı Termik Santrali Uçucu Külü	**Deney Tarihi**	30.06.2011
		Deney No	CBR 3/7
Ring Faktörü	0,4793		

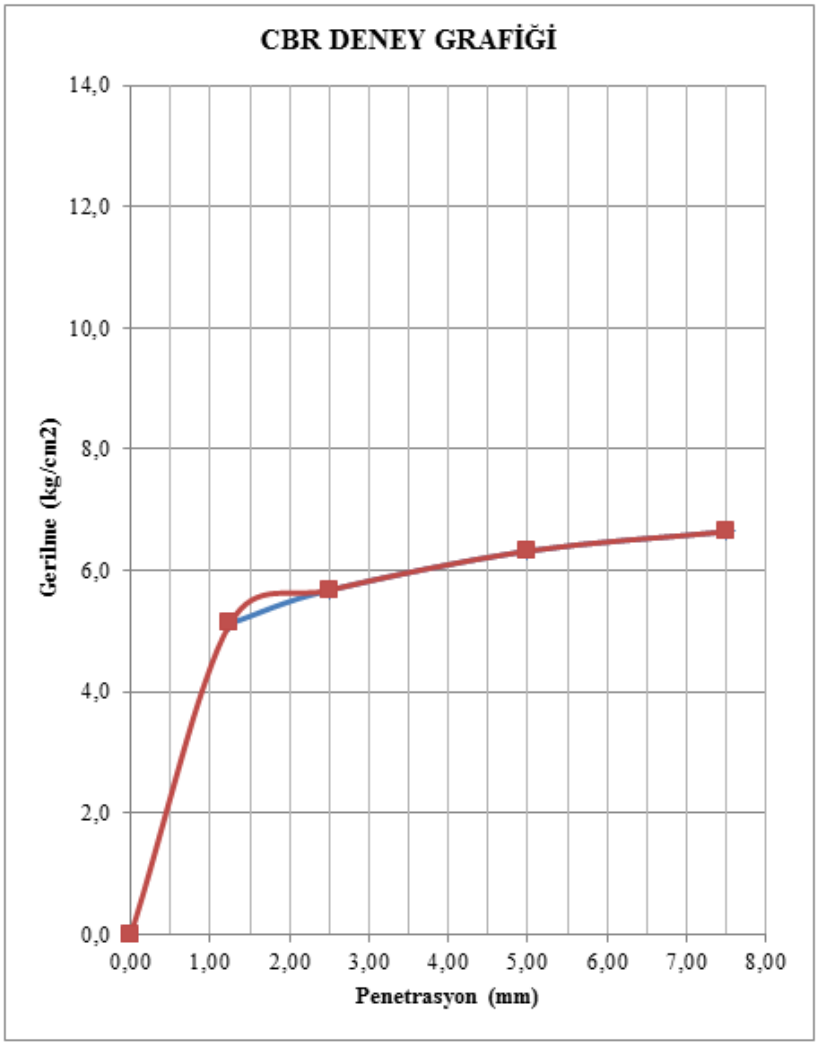
Boy kısalması (* 1/100 mm)	Kuvvet Halkası Okuması	Yük (kg)	Boy kısalması (* 1/100 mm)	Kuvvet Halkası Okuması	Yük (kg)
25	32	15,34	400	231	110,72
50	47	22,53	450	252	120,78
75	62	29,72	500	269	128,93
100	77	36,91	550	290	139,00
125	92	44,10	600	308	147,62
150	106	50,81	650	325	155,77
175	121	58,00	700	342	163,92
200	136	65,18	750	358	171,59
225	149	71,42	800	374	179,26
250	161	77,17	850		
275	174	83,40	900		
300	186	89,15	950		
350	209	100,17	1000		

Numune No	1	2	**Numune + Kalıp (gr)**	8260
Kap No	43	35	**Kalıp (gr)**	4110
Islak Numune + Dara (gr)	95,7	122,4	**Numune ağırlık (gr)**	4150
Kuru Numune + Dara (gr)	84,8	107,2	**Kalıp Yüksekliği (cm)**	12,7
Dara (gr)	23,1	22,7	**Kalıp Çapı (cm)**	15,2
Kuru Zemin (gr)	61,7	84,5	**Kalıp Hacmi (cm^3)**	2305
Su Miktarı (gr)	10,9	15,2	γ_n	1,80
w (%)	17,7	18,0	γ_{kuru}	1,53
wort %	**17,8**			

EK E.3

CBR DENEY RAPORU

Numune Tipi	% 50 Kil + % 50 Uçucu Kül	**Kaynağı**	İstnbl- Zong
Numune Adı	Filyos Ateş Tuğla Fabrikası Bağlama Kili & Çatalağzı Termik Santrali Uçucu Külü	**Deney Ta**	30.06.2011
		Deney N	CBR 3/7
Ring Faktörü	0,4793		



Penetrasyon (mm)	Yük (kg)	CBR Değeri	CBR Değeri
CBR 2,5 mm	77,17	5,7 %	6%
CBR 5,0 mm	128,93	6,3 %	

Şekil E.3 : Kil (%50)+UK (%50) karışımı CBR deney grafiği.

EK E.4

Çizelge E.4 : Kil (%50)+UK (%50)+Fiber (%0.5) karışımı CBR deney raporu.

CBR DENEY RAPORU

Numune Tipi	% 50 Kil + % 50 Uçucu Kül + % 0.5 Fiber	**Kaynağı**	İstnbl- Zongldk
Numune Adı	Filyos Ateş Tuğla Fabrikası Bağlama Kili & Çatalağzı Termik Santrali Uçucu Külü	**Deney Tarihi**	30.06.2011
		Deney No	CBR 4/7
Ring Faktörü	0,4793		

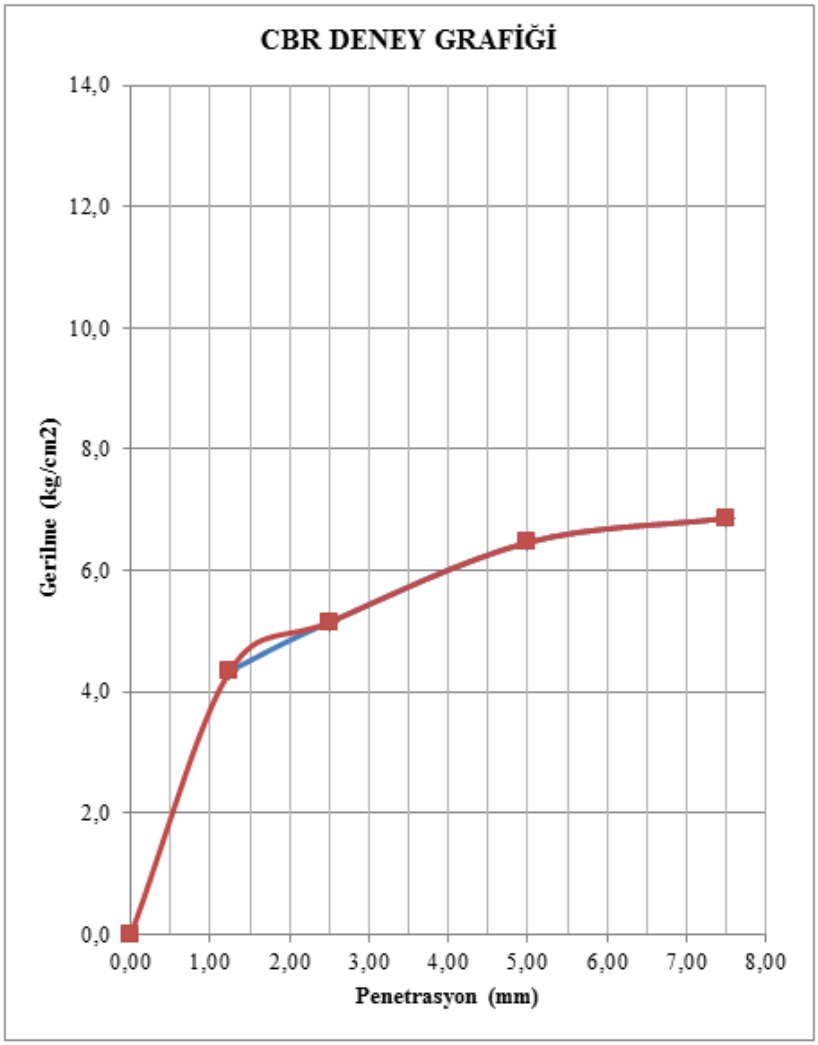
Boy kısalması (* 1/100 mm)	Kuvvet Halkası Okuması	Yük (kg)	Boy kısalması (* 1/100 mm)	Kuvvet Halkası Okuması	Yük (kg)
25	23	11,02	400	221	105,93
50	37	17,73	450	246	117,91
75	50	23,97	500	275	131,81
100	65	31,15	550	291	139,48
125	78	37,39	600	312	149,54
150	93	44,57	650	333	159,61
175	106	50,81	700	352	168,71
200	119	57,04	750	370	177,34
225	133	63,75	800	389	186,45
250	146	69,98	850		
275	159	76,21	900		
300	171	81,96	950		
350	196	93,94	1000		

Numune No	1	2	**Numune + Kalıp (gr)**	8185
Kap No	27	51	**Kalıp (gr)**	4110
Islak Numune + Dara (gr)	108,9	86,5	**Numune ağırlık (gr)**	4075
Kuru Numune + Dara (gr)	96,5	76,9	**Kalıp Yüksekliği (cm)**	12,7
Dara (gr)	24,8	24,1	**Kalıp Çapı (cm)**	15,2
Kuru Zemin (gr)	71,7	52,8	**Kalıp Hacmi (cm^3)**	2305
Su Miktarı (gr)	12,4	9,6	γ_n	1,77
w (%)	17,3	18,2	γ_{kuru}	1,50
wort %	**17,7**			

EK E.4

CBR DENEY RAPORU

Numune Tipi	% 50 Kil + % 50 Uçucu Kül + % 0.5 Fiber	**Kaynağı**	İstnbl- Zong
Numune Adı	Filyos Ateş Tuğla Fabrikası Bağlama Kili & Çatalağzı Termik Santrali Uçucu Külü	**Deney Ta**	30.06.2011
		Deney N	CBR 4/7
Ring Faktörü	0,4793		



Penetrasyon (mm)	Yük (kg)	CBR Değeri	CBR Değeri
CBR 2,5 mm	69,98	5,1 %	7%
CBR 5,0 mm	131,81	6,5 %	

Şekil E.4 : Kil (%50)+UK (%50)+Fiber (%0.5) karışımı CBR deney grafiği.

EK E.5

Çizelge E.5 : Kil (%50)+UK (%50)+Fiber (%1.0) karışımı CBR deney raporu.

CBR DENEY RAPORU

Numune Tipi	% 50 Kil + % 50 Uçucu Kül + % 1.0 Fiber	**Kaynağı**	İstnbl- Zongldk
Numune Adı	Filyos Ateş Tuğla Fabrikası Bağlama Kili & Çatalağzı Termik Santrali Uçucu Külü	**Deney Tarihi**	30.06.2011
		Deney No	CBR 5/7
Ring Faktörü	0,4793		

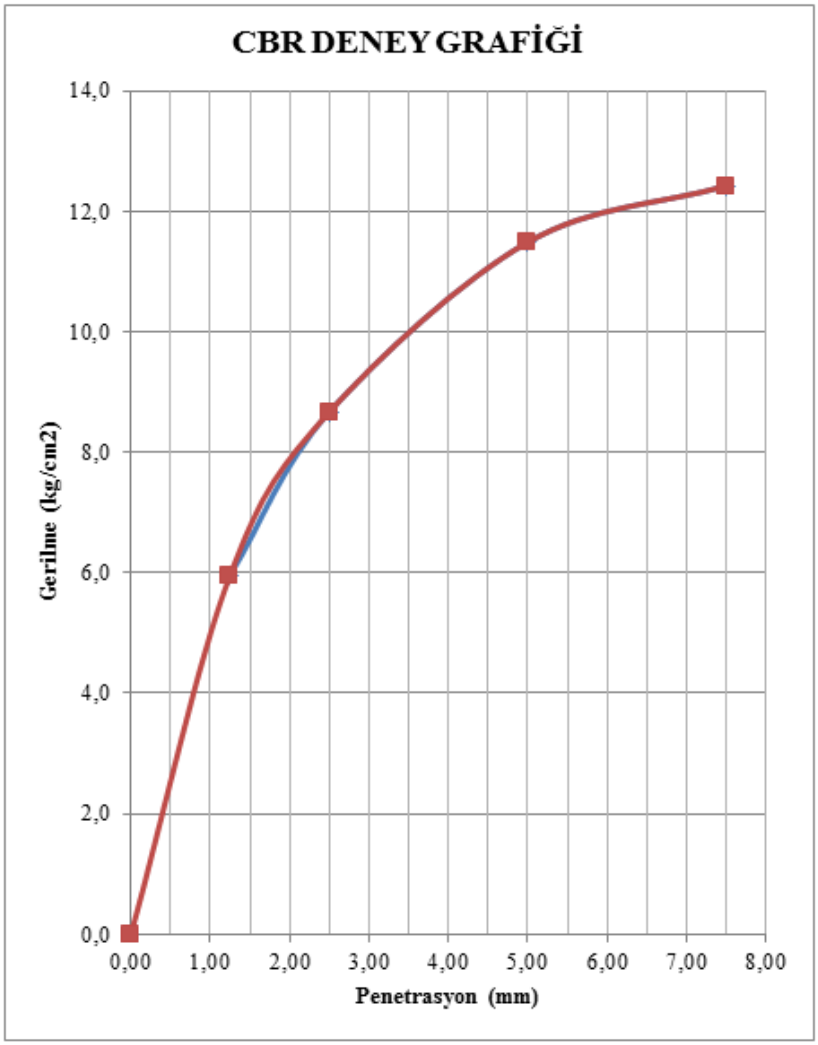
Boy kısalması (* 1/100 mm)	Kuvvet Halkası Okuması	Yük (kg)	Boy kısalması (* 1/100 mm)	Kuvvet Halkası Okuması	Yük (kg)
25	21	10,07	400	403	193,16
50	38	18,21	450	447	214,25
75	60	28,76	500	489	234,38
100	83	39,78	550	528	253,07
125	107	51,29	600	565	270,80
150	134	64,23	650	600	287,58
175	161	77,17	700	636	304,83
200	189	90,59	750	670	321,13
225	217	104,01	800	703	336,95
250	246	117,91	850		
275	275	131,81	900		
300	304	145,71	950		
350	356	170,63	1000		

Numune No	1	2	**Numune + Kalıp (gr)**	8130
Kap No	14	44	**Kalıp (gr)**	4110
Islak Numune + Dara (gr)	78,5	85,9	**Numune ağırlık (gr)**	4020
Kuru Numune + Dara (gr)	70,5	76,0	**Kalıp Yüksekliği (cm)**	12,7
Dara (gr)	23,8	22,6	**Kalıp Çapı (cm)**	15,2
Kuru Zemin (gr)	46,7	53,4	**Kalıp Hacmi (cm^3)**	2305
Su Miktarı (gr)	8,0	9,9	γ_n	1,74
w (%)	17,1	18,5	γ_{kuru}	1,48
wort %	**17,8**			

EK E.5

CBR DENEY RAPORU

Numune Tipi	% 50 Kil + % 50 Uçucu Kül + % 1.0 Fiber	**Kaynağı**	İstnbl- Zong
Numune Adı	Filyos Ateş Tuğla Fabrikası Bağlama Kili & Çatalağzı Termik Santrali Uçucu Külü	**Deney Ta**	30.06.2011
		Deney N	CBR 5/7
Ring Faktörü	0,4793		



Penetrasyon (mm)	Yük (kg)	CBR Değeri	CBR Değeri
CBR 2,5 mm	117,91	8,7 %	12%
CBR 5,0 mm	234,38	11,5 %	

Şekil E.5 : Kil (%50)+UK (%50)+Fiber (%1.0) karışımı CBR deney grafiği.

EK E.6

Çizelge E.6 : Kil (%50)+UK (%50)+Fiber (%1.5) karışımı CBR deney raporu.

CBR DENEY RAPORU

Numune Tipi	% 50 Kil + % 50 Uçucu Kül + % 1.5 Fiber	**Kaynağı**	İstnbl- Zongldk
Numune Adı	Filyos Ateş Tuğla Fabrikası Bağlama Kili & Çatalağzı Termik Santrali Uçucu Külü	**Deney Tarihi**	01.07.2011
		Deney No	CBR 6/7
Ring Faktörü	0,4793		

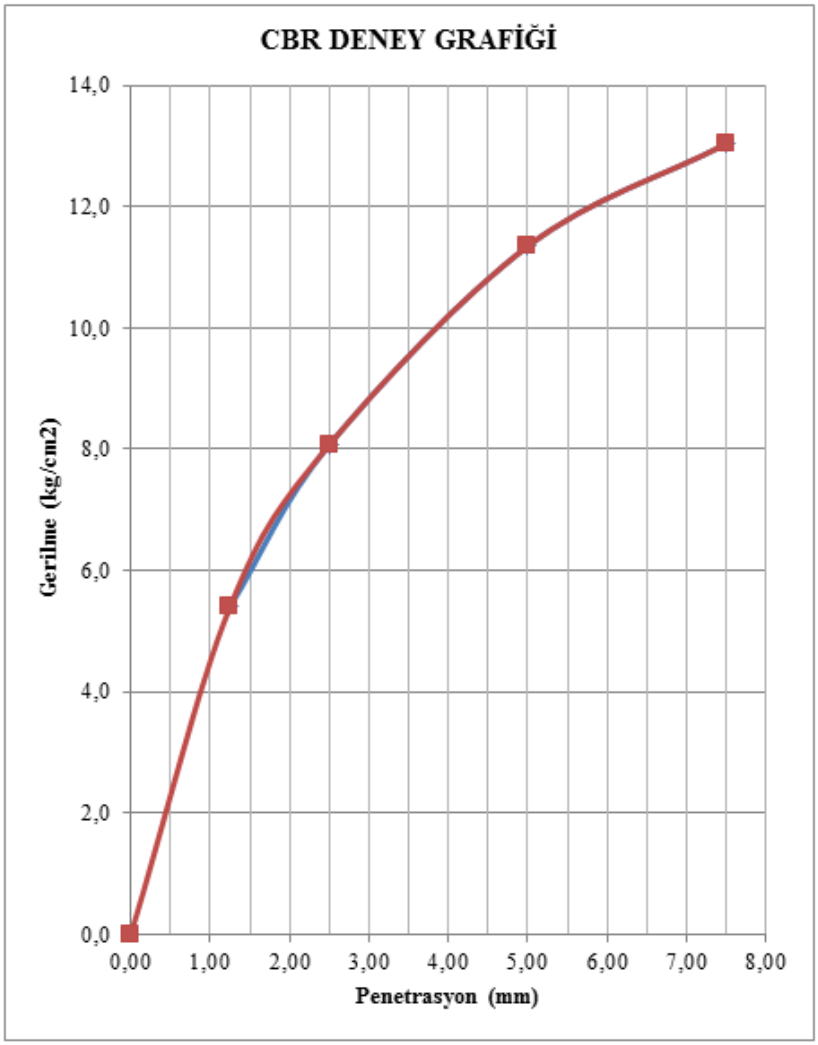
Boy kısalması (* 1/100 mm)	Kuvvet Halkası Okuması	Yük (kg)	Boy kısalması (* 1/100 mm)	Kuvvet Halkası Okuması	Yük (kg)
25	17	8,15	400	394	188,84
50	37	17,73	450	443	212,33
75	57	27,32	500	483	231,50
100	76	36,43	550	536	256,90
125	97	46,49	600	578	277,04
150	121	58,00	650	620	297,17
175	148	70,94	700	662	317,30
200	174	83,40	750	703	336,95
225	201	96,34	800	844	404,53
250	229	109,76	850	883	423,22
275	257	123,18	900		
300	286	137,08	950		
350	343	164,40	1000		

Numune No	1	2	**Numune + Kalıp (gr)**	8160
Kap No	35	27	**Kalıp (gr)**	4110
Islak Numune + Dara (gr)	98,5	98,7	**Numune ağırlık (gr)**	4050
Kuru Numune + Dara (gr)	87,7	88,3	**Kalıp Yüksekliği (cm)**	12,7
Dara (gr)	22,7	24,8	**Kalıp Çapı (cm)**	15,2
Kuru Zemin (gr)	65,0	63,5	**Kalıp Hacmi (cm^3)**	2305
Su Miktarı (gr)	10,8	10,4	γ_n	1,76
w (%)	16,6	16,4	γ_{kuru}	1,51
wort %	**16,5**			

EK E.6

CBR DENEY RAPORU

Numune Tipi	% 50 Kil + % 50 Uçucu Kül + % 1.5 Fiber	**Kaynağı**	İstnbl- Zong
Numune Adı	Filyos Ateş Tuğla Fabrikası Bağlama Kili & Çatalağzı Termik Santrali Uçucu Külü	**Deney Ta**	01.07.2011
		Deney N	CBR 6/7
Ring Faktörü	0,4793		



Penetrasyon (mm)	Yük (kg)	CBR Değeri	CBR Değeri
CBR 2,5 mm	109,76	8,1 %	12%
CBR 5,0 mm	231,50	11,3 %	

Şekil E.6 : Kil (%50)+UK (%50)+Fiber (%1.5) karışımı CBR deney grafiği.

EK E.7

Çizelge E.7 : Kil (%50)+UK (%50)+Fiber (%2.0) karışımı CBR deney raporu.

CBR DENEY RAPORU

Numune Tipi	% 50 Kil + % 50 Uçucu Kül + % 2.0 Fiber	**Kaynağı**	İstnbl- Zongldk
Numune Adı	Filyos Ateş Tuğla Fabrikası Bağlama Kili & Çatalağzı Termik Santrali Uçucu Külü	**Deney Tarihi**	01.07.2011
		Deney No	CBR 7/7
Ring Faktörü	0,4793		

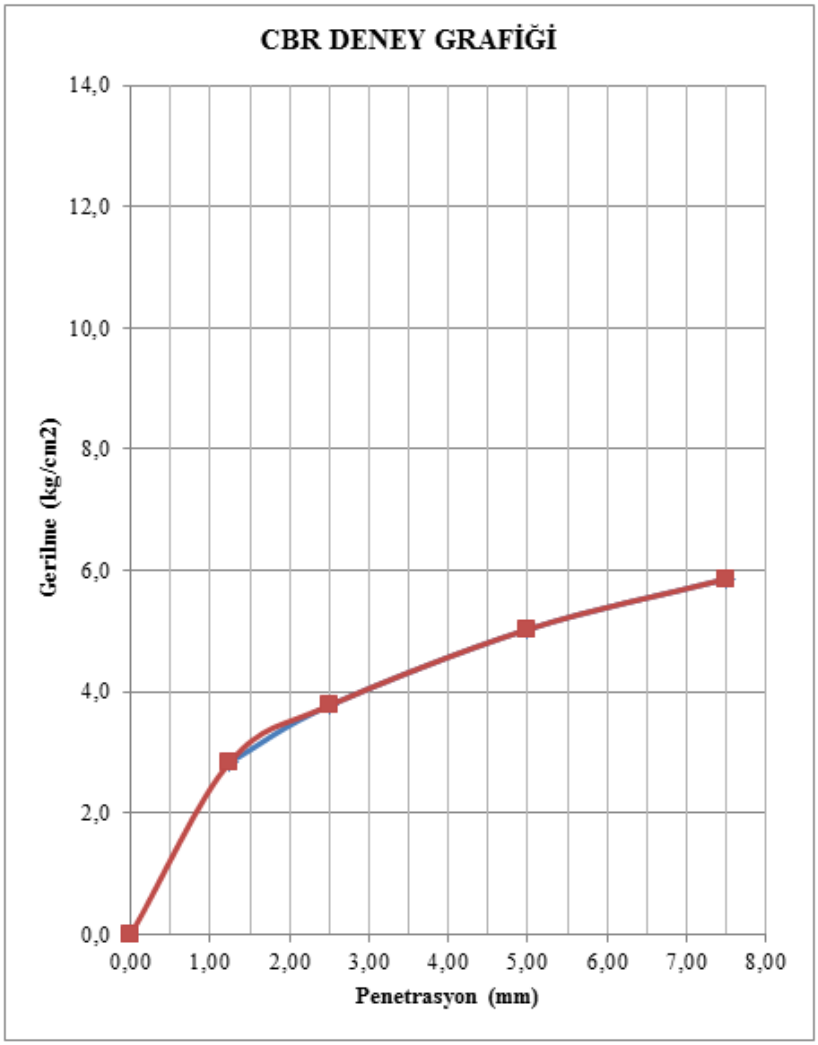
Boy kısalması (* 1/100 mm)	Kuvvet Halkası Okuması	Yük (kg)	Boy kısalması (* 1/100 mm)	Kuvvet Halkası Okuması	Yük (kg)
25	15	7,19	400	173	82,92
50	23	11,02	450	194	92,98
75	31	14,86	500	214	102,57
100	40	19,17	550	235	112,64
125	51	24,44	600	255	122,22
150	63	30,20	650	276	132,29
175	73	34,99	700	295	141,39
200	84	40,26	750	316	151,46
225	95	45,53	800	336	161,04
250	107	51,29	850	355	170,15
275	119	57,04	900	375	179,74
300	129	61,83	950	393	188,36
350	152	72,85	1000	412	197,47

Numune No	1	2	**Numune + Kalıp (gr)**	8190
Kap No	43	35	**Kalıp (gr)**	4110
Islak Numune + Dara (gr)	94,3	90,2	**Numune ağırlık (gr)**	4080
Kuru Numune + Dara (gr)	83,8	80,2	**Kalıp Yüksekliği (cm)**	12,7
Dara (gr)	23,1	22,7	**Kalıp Çapı (cm)**	15,2
Kuru Zemin (gr)	60,7	57,5	**Kalıp Hacmi (cm^3)**	2305
Su Miktarı (gr)	10,5	10,0	γ_n	1,77
w (%)	17,3	17,4	γ_{kuru}	1,51
wort %	**17,3**			

EK E.7

CBR DENEY RAPORU

Numune Tipi	% 50 Kil + % 50 Uçucu Kül + % 2.0 Fiber	**Kaynağı**	İstnbl- Zong
Numune Adı	Filyos Ateş Tuğla Fabrikası Bağlama Kili & Çatalağzı Termik Santrali Uçucu Külü	**Deney Ta**	01.07.2011
		Deney N	CBR 7/7
Ring Faktörü	0,4793		



Penetrasyon (mm)	Yük (kg)	CBR Değeri	CBR Değeri
CBR 2,5 mm	51,29	3,8 %	5%
CBR 5,0 mm	102,57	5,0 %	

Şekil E.7 : Kil (%50)+UK (%50)+Fiber (%2.0) karışımı CBR deney grafiği.

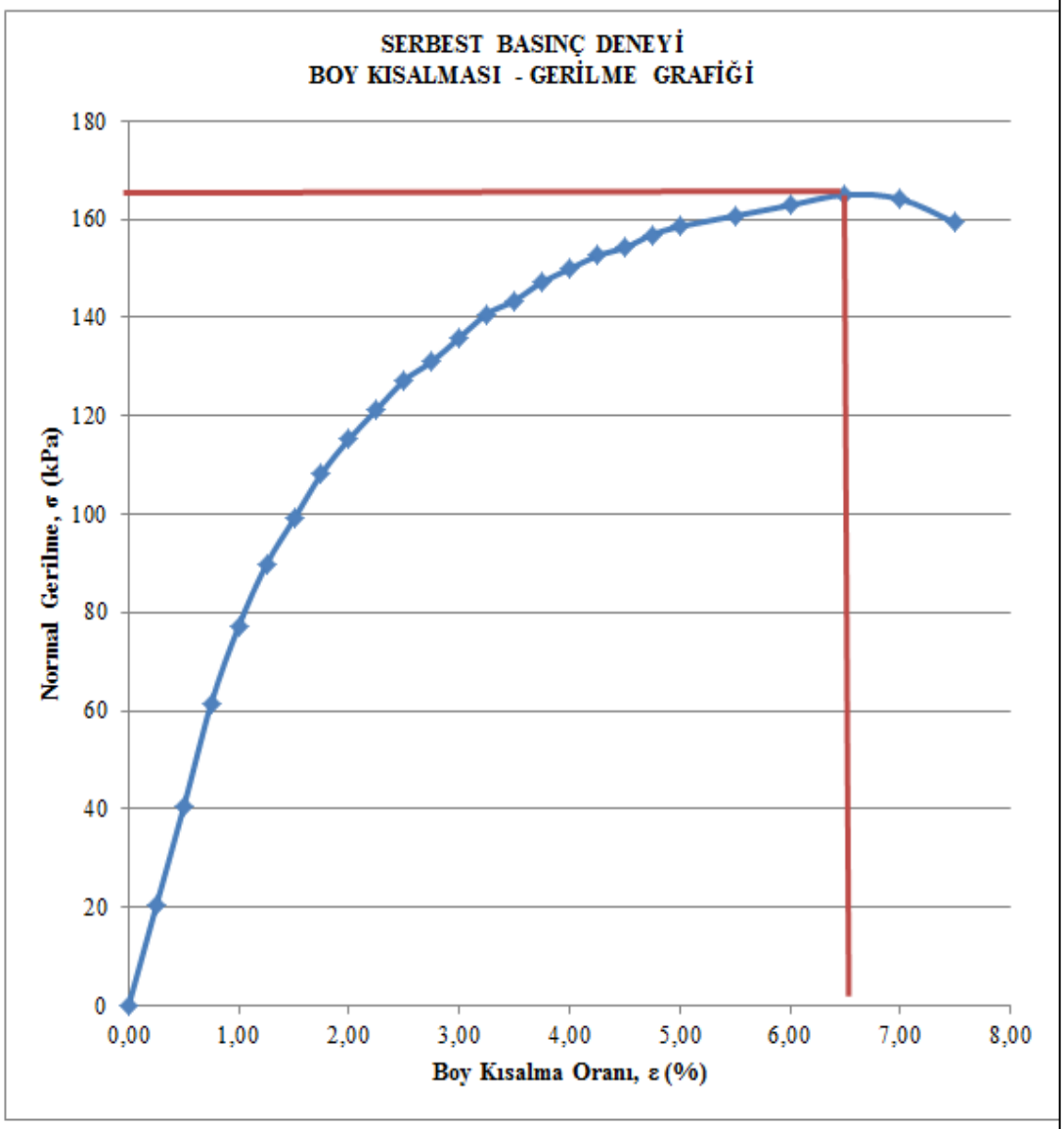
EK F.1

Çizelge F.1 : Filyos ateş tuğla bağlama kili serbest basınç deney raporu.

SERBEST BASINÇ DENEYİ						
NUMUNE BİLGİLERİ						
Numune No	Deney 1 Numune 1	**Numunenin Doğal Ağırlığı (g)**	356,1	**Malzeme Tipi**	% 100 Kil + %0.0 UK + %0.0 Fiber	
Numune Çapı (cm)	5,0	**Numunenin Kuru Ağırlığı (g)**	277,3	**Yük Halkası Değeri (kg/div)**	0,21	
Numune Yüksekliği (cm)	10,0	**Su Muhtevası (w, %)**	28	qu = 165 kPA		
Numunenin Yüzey Alanı (cm^2)	19,635	**gdoğal (g/cm^3)**	1,814			
Numunenin Hacmi (cm^3)	196,35	**gkuru (g/cm^3)**	1,412			
SERBEST BASINÇ DENEY OKUMALARI						
Düşey Boy Kısalması (1/100 mm)	**Kuvvet Halkası Okuması (div)**	**Düşey Yük - P (kg)**	**Boy Kısalması (mm)**	**Boy Kısalma Oranı ε (%)**	**Düzeltilmiş Alan A(cm2)**	**Gerilme σ (kPa)**
0	0	0	0,00	0,00	19,635	0
25	19	3,99	0,25	0,25	19,684	20
50	38	7,98	0,50	0,50	19,734	40
75	58	12,18	0,75	0,75	19,783	62
100	73	15,33	1,00	1,00	19,833	77
125	85	17,85	1,25	1,25	19,884	90
150	94	19,74	1,50	1,50	19,934	99
175	103	21,63	1,75	1,75	19,985	108
200	110	23,1	2,00	2,00	20,036	115
225	116	24,36	2,25	2,25	20,087	121
250	122	25,62	2,50	2,50	20,138	127
275	126	26,46	2,75	2,75	20,190	131
300	131	27,51	3,00	3,00	20,242	136
325	136	28,56	3,25	3,25	20,295	141
350	139	29,19	3,50	3,50	20,347	143
375	143	30,03	3,75	3,75	20,400	147
400	146	30,66	4,00	4,00	20,453	150
425	149	31,29	4,25	4,25	20,507	153
450	151	31,71	4,50	4,50	20,560	154
475	154	32,34	4,75	4,75	20,614	157
500	156	32,76	5,00	5,00	20,668	159
550	159	33,39	5,50	5,50	20,778	161
600	162	34,02	6,00	6,00	20,888	163
650	165	34,65	6,50	6,50	21,000	165
700	165	34,65	7,00	7,00	21,113	164
750	161	33,81	7,50	7,50	21,227	159
800	147	30,87	8,00	8,00	21,342	145
850	108	22,68	8,50	8,50	21,459	106
900	71	14,91	9,00	9,00	21,577	69
950	6	1,26	9,50	9,50	21,696	6
1000		0	10,00	10,00	21,817	0
1100		0	11,00	11,00	22,062	0
1200		0	12,00	12,00	22,313	0
1300		0	13,00	13,00	22,569	0
1400		0	14,00	14,00	22,831	0
1500		0	15,00	15,00	23,100	0
1600		0	16,00	16,00	23,375	0
1700		0	17,00	17,00	23,657	0
1800		0	18,00	18,00	23,945	0
1900		0	19,00	19,00	24,241	0
2000		0	20,00	20,00	24,544	0
2100		0	21,00	21,00	24,854	0
2200		0	22,00	22,00	25,173	0
2300		0	23,00	23,00	25,500	0
2400		0	24,00	24,00	25,836	0

EK F.1

SERBEST BASINÇ DENEY GRAFİĞİ			
Numune No	Deney 1 Numune 1	**Malzeme Tipi**	% 100 Kil + %0.0 UK + %0.0 Fiber



qu	165	kPA
ε	6,50	%

Şekil F.1 : Filyos ateş tuğla bağlama kili serbest basınç deney grafiği.

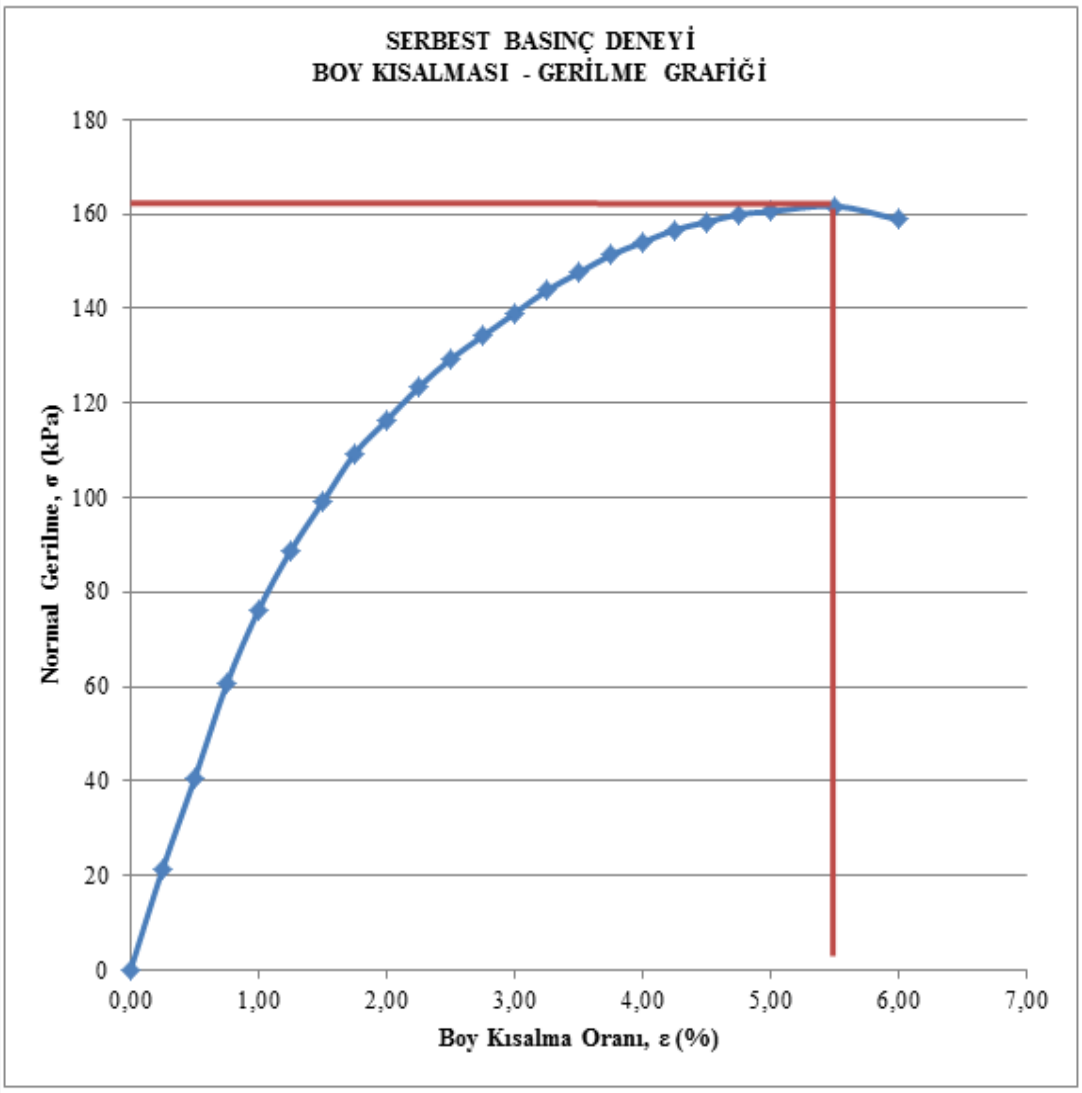
EK F.2

Çizelge F.2 : Filyos ateş tuğla bağlama kili serbest basınç deney raporu.

SERBEST BASINÇ DENEYİ						
NUMUNE BİLGİLERİ						
Numune No	Deney 1 Numune 2	**Numunenin Doğal Ağırlığı (g)**	358,1	**Malzeme Tipi**	% 100 Kil + %0.0 UK + %0.0 Fiber	
Numune Çapı (cm)	5	**Numunenin Kuru Ağırlığı (g)**	279,4	**Yük Halkası Değeri (kg/div)**	0,21	
Numune Yüksekliği (cm)	10	**Su Muhtevası (w, %)**	28	qu = 162 kPA		
Numunenin Yüzey Alanı (cm^2)	19,635	**gdoğal (g/cm^3)**	1,824			
Numunenin Hacmi (cm^3)	196,35	**gkuru (g/cm^3)**	1,423			
SERBEST BASINÇ DENEY OKUMALARI						
Düşey Boy Kısalması (1/100 mm)	**Kuvvet Halkası Okuması (div)**	**Düşey Yük - P (kg)**	**Boy Kısalması (mm)**	**Boy Kısalma Oranı ε (%)**	**Düzeltilmiş Alan A(cm^2)**	**Gerilme σ (kPa)**
0	0	0	0,00	0,00	19,635	0
25	20	4,2	0,25	0,25	19,684	21
50	38	7,98	0,50	0,50	19,734	40
75	57	11,97	0,75	0,75	19,783	61
100	72	15,12	1,00	1,00	19,833	76
125	84	17,64	1,25	1,25	19,884	89
150	94	19,74	1,50	1,50	19,934	99
175	104	21,84	1,75	1,75	19,985	109
200	111	23,31	2,00	2,00	20,036	116
225	118	24,78	2,25	2,25	20,087	123
250	124	26,04	2,50	2,50	20,138	129
275	129	27,09	2,75	2,75	20,190	134
300	134	28,14	3,00	3,00	20,242	139
325	139	29,19	3,25	3,25	20,295	144
350	143	30,03	3,50	3,50	20,347	148
375	147	30,87	3,75	3,75	20,400	151
400	150	31,5	4,00	4,00	20,453	154
425	153	32,13	4,25	4,25	20,507	157
450	155	32,55	4,50	4,50	20,560	158
475	157	32,97	4,75	4,75	20,614	160
500	158	33,18	5,00	5,00	20,668	161
550	160	33,6	5,50	5,50	20,778	162
600	158	33,18	6,00	6,00	20,888	159
650	151	31,71	6,50	6,50	21,000	151
700	131	27,51	7,00	7,00	21,113	130
750	88	18,48	7,50	7,50	21,227	87
800	36	7,56	8,00	8,00	21,342	35
850		0	8,50	8,50	21,459	0
900		0	9,00	9,00	21,577	0
950		0	9,50	9,50	21,696	0
1000		0	10,00	10,00	21,817	0
1100		0	11,00	11,00	22,062	0
1200		0	12,00	12,00	22,313	0
1300		0	13,00	13,00	22,569	0
1400		0	14,00	14,00	22,831	0
1500		0	15,00	15,00	23,100	0
1600		0	16,00	16,00	23,375	0
1700		0	17,00	17,00	23,657	0
1800		0	18,00	18,00	23,945	0
1900		0	19,00	19,00	24,241	0
2000		0	20,00	20,00	24,544	0

EK F.2

SERBEST BASINÇ DENEY GRAFİĞİ			
Numune No	Deney 1 Numune 2	**Malzeme Tipi**	% 100 Kil + %0.0 UK + %0.0 Fiber



q_u	162	kPA
ε	5,50	%

Şekil F.2 : Filyos ateş tuğla bağlama kili serbest basınç deney grafiği.

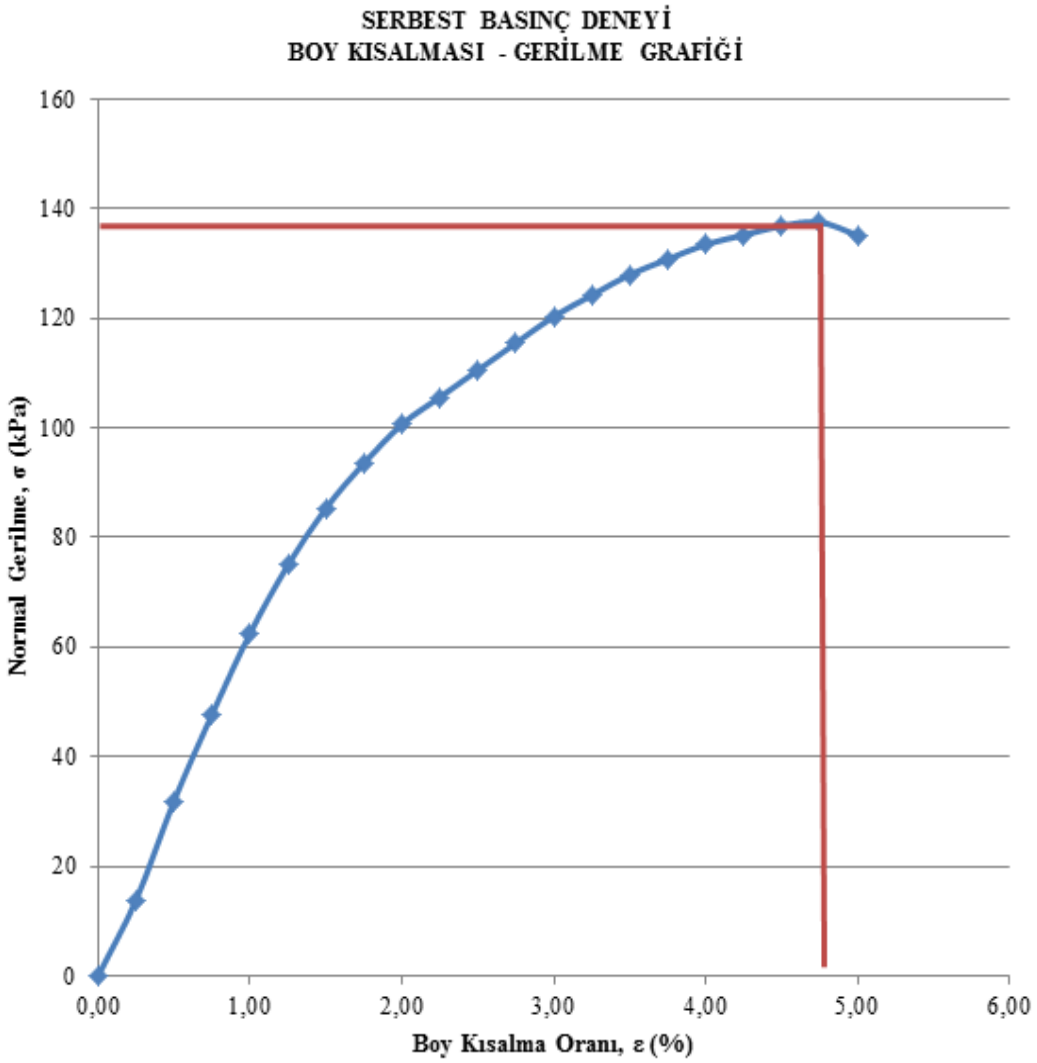
EK F.3

Çizelge F.3 : Filyos ateş tuğla bağlama kili serbest basınç deney raporu.

SERBEST BASINÇ DENEYİ						
NUMUNE BİLGİLERİ						
Numune No	Deney 1 Numune 3	**Numunenin Doğal Ağırlığı (g)**	355,8	**Malzeme Tipi**	% 100 Kil + %0.0 UK + %0.0 Fiber	
Numune Çapı (cm)	5	**Numunenin Kuru Ağırlığı (g)**	276,4	**Yük Halkası Değeri (kg/div)**	0,21	
Numune Yüksekliği (cm)	10	**Su Muhtevası (w, %)**	29	qu = 138 kPA		
Numunenin Yüzey Alanı (cm^2)	19,635	**gdoğal (g/cm^3)**	1,812			
Numunenin Hacmi (cm^3)	196,35	**gkuru (g/cm^3)**	1,408			
SERBEST BASINÇ DENEY OKUMALARI						
Düşey Boy Kısalması (1/100 mm)	**Kuvvet Halkası Okuması (div)**	**Düşey Yük - P (kg)**	**Boy Kısalması (mm)**	**Boy Kısalma Oranı ε (%)**	**Düzeltilmiş Alan A(cm^2)**	**Gerilme σ (kPa)**
0	0	0	0,00	0,00	19,635	0
25	13	2,73	0,25	0,25	19,684	14
50	30	6,3	0,50	0,50	19,734	32
75	45	9,45	0,75	0,75	19,783	48
100	59	12,39	1,00	1,00	19,833	62
125	71	14,91	1,25	1,25	19,884	75
150	81	17,01	1,50	1,50	19,934	85
175	89	18,69	1,75	1,75	19,985	94
200	96	20,16	2,00	2,00	20,036	101
225	101	21,21	2,25	2,25	20,087	106
250	106	22,26	2,50	2,50	20,138	111
275	111	23,31	2,75	2,75	20,190	115
300	116	24,36	3,00	3,00	20,242	120
325	120	25,2	3,25	3,25	20,295	124
350	124	26,04	3,50	3,50	20,347	128
375	127	26,67	3,75	3,75	20,400	131
400	130	27,3	4,00	4,00	20,453	133
425	132	27,72	4,25	4,25	20,507	135
450	134	28,14	4,50	4,50	20,560	137
475	135	28,35	4,75	4,75	20,614	138
500	133	27,93	5,00	5,00	20,668	135
550	112	23,52	5,50	5,50	20,778	113
600	50	10,5	6,00	6,00	20,888	50
650	20	4,2	6,50	6,50	21,000	20
700		0	7,00	7,00	21,113	0
750		0	7,50	7,50	21,227	0
800		0	8,00	8,00	21,342	0
850		0	8,50	8,50	21,459	0
900		0	9,00	9,00	21,577	0
950		0	9,50	9,50	21,696	0
1000		0	10,00	10,00	21,817	0
1100		0	11,00	11,00	22,062	0
1200		0	12,00	12,00	22,313	0
1300		0	13,00	13,00	22,569	0
1400		0	14,00	14,00	22,831	0
1500		0	15,00	15,00	23,100	0
1600		0	16,00	16,00	23,375	0
1700		0	17,00	17,00	23,657	0
1800		0	18,00	18,00	23,945	0
1900		0	19,00	19,00	24,241	0
2000		0	20,00	20,00	24,544	0

EK F.3

SERBEST BASINÇ DENEY GRAFİĞİ			
Numune No	Deney 1 Numune 3	**Malzeme Tipi**	% 100 Kil + %0.0 UK + %0.0 Fiber



q_u	138	kPA
ε	4,75	%

Şekil F.3 : Filyos ateş tuğla bağlama kili serbest basınç deney grafiği.

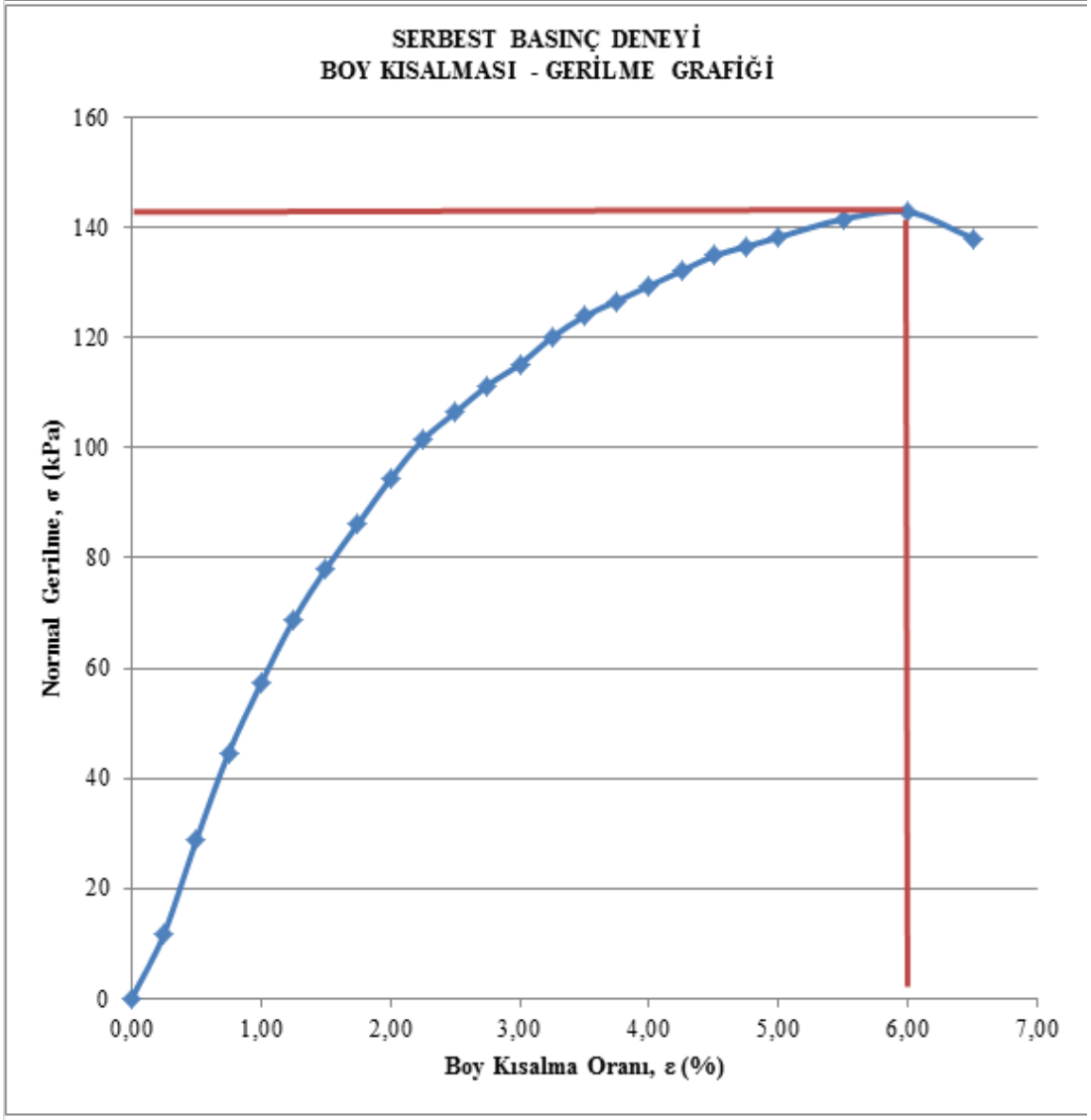
EK F.4

Çizelge F.4 : Filyos ateş tuğla bağlama kili serbest basınç deney raporu.

SERBEST BASINÇ DENEYİ						
NUMUNE BİLGİLERİ						
Numune No	Deney 1 Numune 4	**Numunenin Doğal Ağırlığı (g)**	357,0	**Malzeme Tipi**	% 100 Kil + %0.0 UK + %0.0 Fiber	
Numune Çapı (cm)	5	**Numunenin Kuru Ağırlığı (g)**	277,1	**Yük Halkası Değeri (kg/div)**	0,21	
Numune Yüksekliği (cm)	10	**Su Muhtevası (w, %)**	29	qu = 143 kPA		
Numunenin Yüzey Alanı (cm^2)	19,635	**gdoğal (g/cm^3)**	1,818			
Numunenin Hacmi (cm^3)	196,35	**gkuru (g/cm^3)**	1,411			
SERBEST BASINÇ DENEY OKUMALARI						
Düşey Boy Kısalması (1/100 mm)	**Kuvvet Halkası Okuması (div)**	**Düşey Yük - P (kg)**	**Boy Kısalması (mm)**	**Boy Kısalma Oranı ε (%)**	**Düzeltilmiş Alan A(cm^2)**	**Gerilme σ (kPa)**
0	0	0	0,00	0,00	19,635	0
25	11	2,31	0,25	0,25	19,684	12
50	27	5,67	0,50	0,50	19,734	29
75	42	8,82	0,75	0,75	19,783	45
100	54	11,34	1,00	1,00	19,833	57
125	65	13,65	1,25	1,25	19,884	69
150	74	15,54	1,50	1,50	19,934	78
175	82	17,22	1,75	1,75	19,985	86
200	90	18,9	2,00	2,00	20,036	94
225	97	20,37	2,25	2,25	20,087	101
250	102	21,42	2,50	2,50	20,138	106
275	107	22,47	2,75	2,75	20,190	111
300	111	23,31	3,00	3,00	20,242	115
325	116	24,36	3,25	3,25	20,295	120
350	120	25,2	3,50	3,50	20,347	124
375	123	25,83	3,75	3,75	20,400	127
400	126	26,46	4,00	4,00	20,453	129
425	129	27,09	4,25	4,25	20,507	132
450	132	27,72	4,50	4,50	20,560	135
475	134	28,14	4,75	4,75	20,614	137
500	136	28,56	5,00	5,00	20,668	138
550	140	29,4	5,50	5,50	20,778	141
600	142	29,82	6,00	6,00	20,888	143
650	138	28,98	6,50	6,50	21,000	138
700	63	13,23	7,00	7,00	21,113	63
750		0	7,50	7,50	21,227	0
800		0	8,00	8,00	21,342	0
850		0	8,50	8,50	21,459	0
900		0	9,00	9,00	21,577	0
950		0	9,50	9,50	21,696	0
1000		0	10,00	10,00	21,817	0
1100		0	11,00	11,00	22,062	0
1200		0	12,00	12,00	22,313	0
1300		0	13,00	13,00	22,569	0
1400		0	14,00	14,00	22,831	0
1500		0	15,00	15,00	23,100	0
1600		0	16,00	16,00	23,375	0
1700		0	17,00	17,00	23,657	0
1800		0	18,00	18,00	23,945	0
1900		0	19,00	19,00	24,241	0
2000		0	20,00	20,00	24,544	0

EK F.4

SERBEST BASINÇ DENEY GRAFİĞİ			
Numune No	Deney 1 Numune 4	**Malzeme Tipi**	% 100 Kil + %0.0 UK + %0.0 Fiber



q_u	143	kPA
ε	6,00	%

Şekil F.4 : Filyos ateş tuğla bağlama kili serbest basınç deney grafiği.

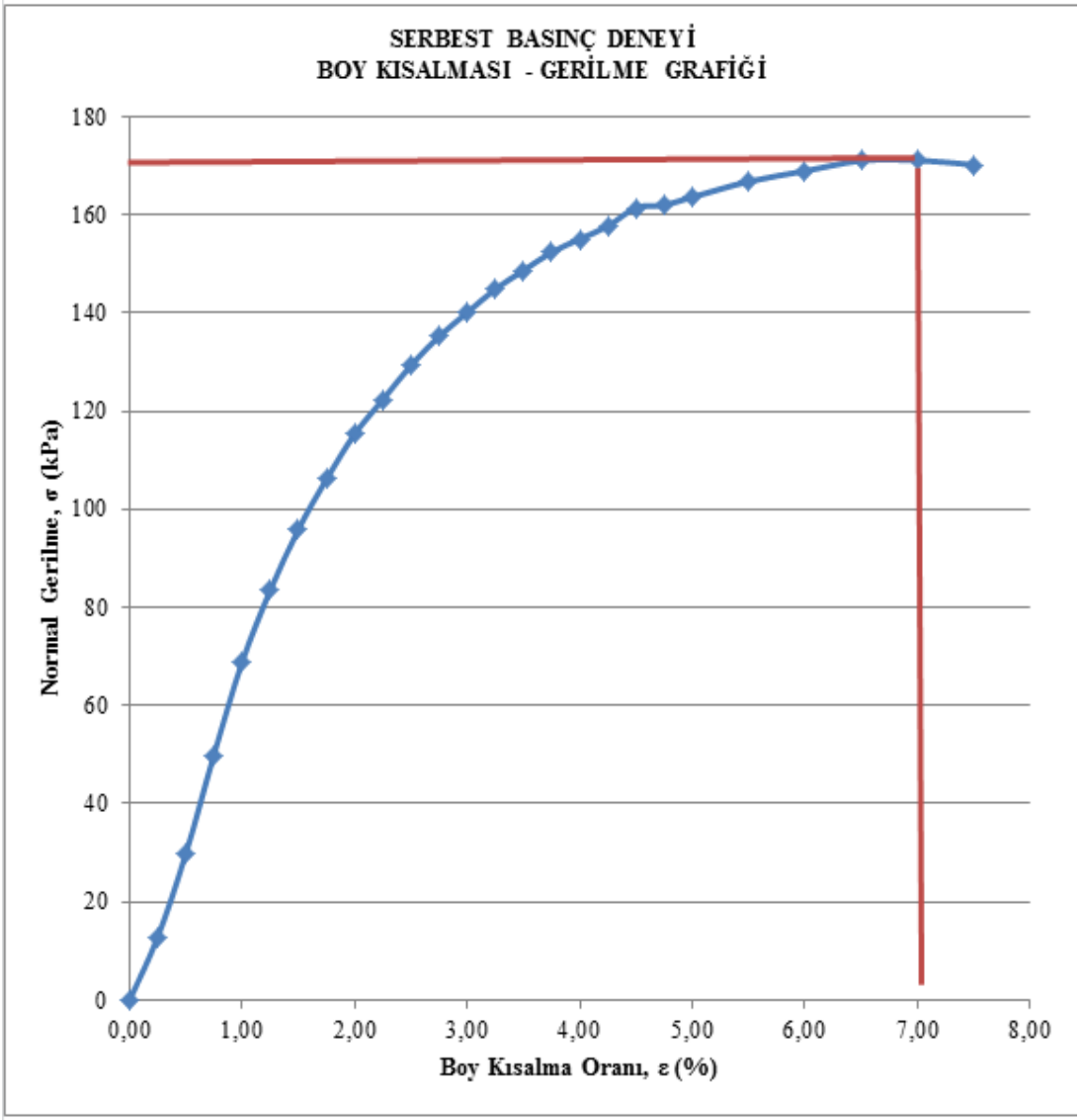
EK F.5

Çizelge F.5 : Filyos ateş tuğla bağlama kili serbest basınç deney raporu.

SERBEST BASINÇ DENEYİ						
NUMUNE BİLGİLERİ						
Numune No	Deney 1 Numune 5	**Numunenin Doğal Ağırlığı (g)**	359,1	**Malzeme Tipi**	% 100 Kil + %0.0 UK + %0.0 Fiber	
Numune Çapı (cm)	5	**Numunenin Kuru Ağırlığı (g)**	279,9	**Yük Halkası Değeri (kg/div)**	0,21	
Numune Yüksekliği (cm)	10	**Su Muhtevası (w, %)**	28	qu = 171 kPA		
Numunenin Yüzey Alanı (cm^2)	19,635	**gdoğal (g/cm^3)**	1,829			
Numunenin Hacmi (cm^3)	196,35	**gkuru (g/cm^3)**	1,426			
SERBEST BASINÇ DENEY OKUMALARI						
Düşey Boy Kısalması (1/100 mm)	**Kuvvet Halkası Okuması (div)**	**Düşey Yük - P (kg)**	**Boy Kısalması (mm)**	**Boy Kısalma Oranı ε (%)**	**Düzeltilmiş Alan A(cm^2)**	**Gerilme σ (kPa)**
0	0	0	0,00	0,00	19,635	0
25	12	2,52	0,25	0,25	19,684	13
50	28	5,88	0,50	0,50	19,734	30
75	47	9,87	0,75	0,75	19,783	50
100	65	13,65	1,00	1,00	19,833	69
125	79	16,59	1,25	1,25	19,884	83
150	91	19,11	1,50	1,50	19,934	96
175	101	21,21	1,75	1,75	19,985	106
200	110	23,1	2,00	2,00	20,036	115
225	117	24,57	2,25	2,25	20,087	122
250	124	26,04	2,50	2,50	20,138	129
275	130	27,3	2,75	2,75	20,190	135
300	135	28,35	3,00	3,00	20,242	140
325	140	29,4	3,25	3,25	20,295	145
350	144	30,24	3,50	3,50	20,347	149
375	148	31,08	3,75	3,75	20,400	152
400	151	31,71	4,00	4,00	20,453	155
425	154	32,34	4,25	4,25	20,507	158
450	158	33,18	4,50	4,50	20,560	161
475	159	33,39	4,75	4,75	20,614	162
500	161	33,81	5,00	5,00	20,668	164
550	165	34,65	5,50	5,50	20,778	167
600	168	35,28	6,00	6,00	20,888	169
650	171	35,91	6,50	6,50	21,000	171
700	172	36,12	7,00	7,00	21,113	171
750	172	36,12	7,50	7,50	21,227	170
800	171	35,91	8,00	8,00	21,342	168
850	162	34,02	8,50	8,50	21,459	159
900	131	27,51	9,00	9,00	21,577	127
950	42	8,82	9,50	9,50	21,696	41
1000		0	10,00	10,00	21,817	0
1100		0	11,00	11,00	22,062	0
1200		0	12,00	12,00	22,313	0
1300		0	13,00	13,00	22,569	0
1400		0	14,00	14,00	22,831	0
1500		0	15,00	15,00	23,100	0
1600		0	16,00	16,00	23,375	0
1700		0	17,00	17,00	23,657	0
1800		0	18,00	18,00	23,945	0
1900		0	19,00	19,00	24,241	0
2000		0	20,00	20,00	24,544	0

EK F.5

SERBEST BASINÇ DENEY GRAFİĞİ			
Numune No	Deney 1 Numune 5	**Malzeme Tipi**	% 100 Kil + %0.0 UK + %0.0 Fiber



q_u	171	kPA
ε	7,00	%

Şekil F.5 : Filyos ateş tuğla bağlama kili serbest basınç deney grafiği.

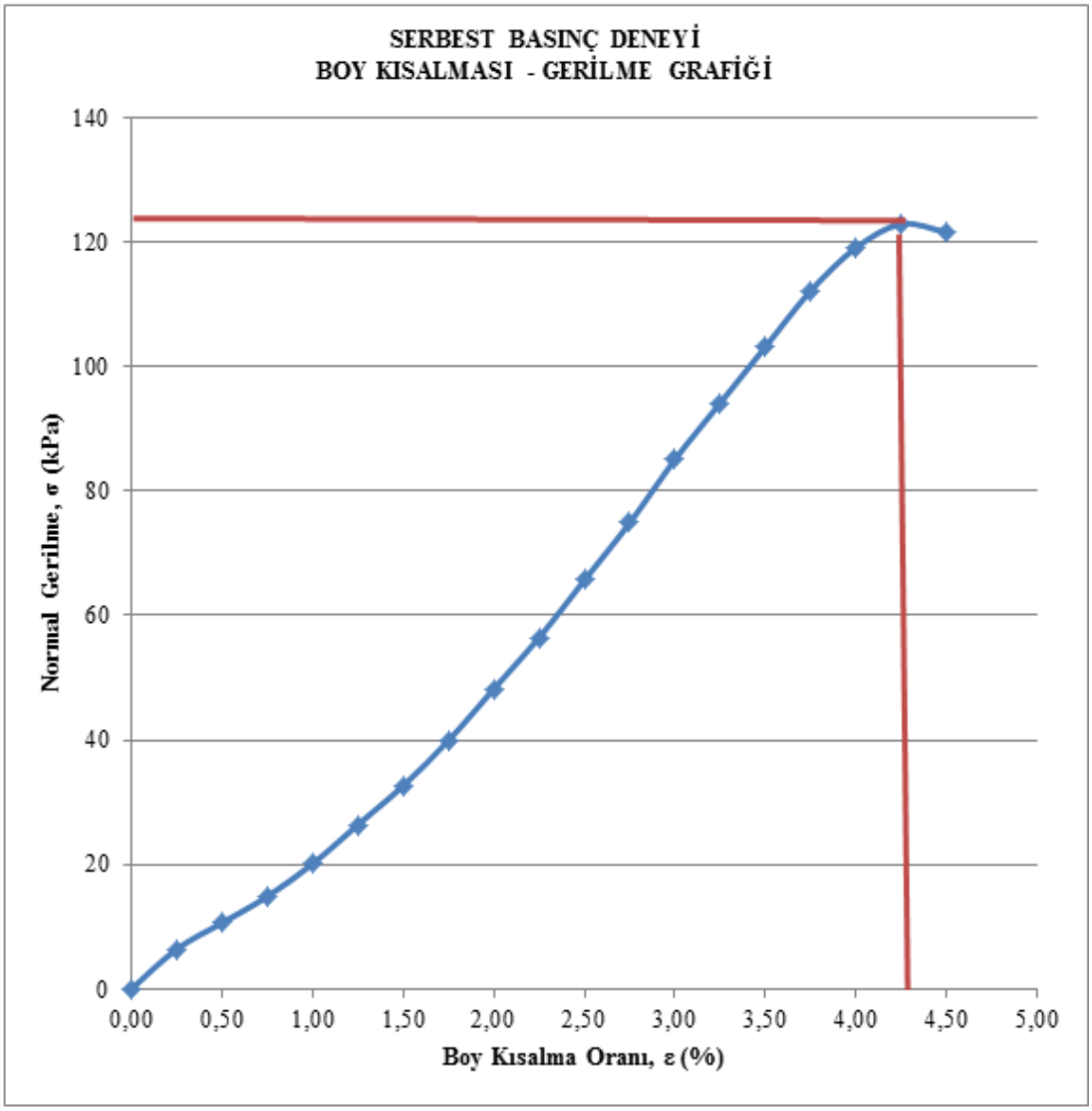
EK F.6

Çizelge F.6 : Çatalağzı uçucu külü serbest basınç deney raporu.

SERBEST BASINÇ DENEYİ						
NUMUNE BİLGİLERİ						
Numune No	Deney 2 Numune 1	**Numunenin Doğal Ağırlığı (g)**	298,9	**Malzeme Tipi**	% 0.0 Kil + %100 UK + %0.0 Fiber	
Numune Çapı (cm)	5,0	**Numunenin Kuru Ağırlığı (g)**	244,3	**Yük Halkası Değeri (kg/div)**	0,21	
Numune Yüksekliği (cm)	10,0	**Su Muhtevası (w, %)**	22	qu = 123 kPA		
Numunenin Yüzey Alanı (cm^2)	19,635	**gdoğal (g/cm^3)**	1,522			
Numunenin Hacmi (cm^3)	196,35	**gkuru (g/cm^3)**	1,244			
SERBEST BASINÇ DENEY OKUMALARI						
Düşey Boy Kısalması (1/100 mm)	**Kuvvet Halkası Okuması (div)**	**Düşey Yük - P (kg)**	**Boy Kısalması (mm)**	**Boy Kısalma Oranı ε (%)**	**Düzeltilmiş Alan A(cm^2)**	**Gerilme σ (kPa)**
0	0	0	0,00	0,00	19,635	0
25	6	1,26	0,25	0,25	19,684	6
50	10	2,1	0,50	0,50	19,734	11
75	14	2,94	0,75	0,75	19,783	15
100	19	3,99	1,00	1,00	19,833	20
125	25	5,25	1,25	1,25	19,884	26
150	31	6,51	1,50	1,50	19,934	33
175	38	7,98	1,75	1,75	19,985	40
200	46	9,66	2,00	2,00	20,036	48
225	54	11,34	2,25	2,25	20,087	56
250	63	13,23	2,50	2,50	20,138	66
275	72	15,12	2,75	2,75	20,190	75
300	82	17,22	3,00	3,00	20,242	85
325	91	19,11	3,25	3,25	20,295	94
350	100	21	3,50	3,50	20,347	103
375	109	22,89	3,75	3,75	20,400	112
400	116	24,36	4,00	4,00	20,453	119
425	120	25,2	4,25	4,25	20,507	123
450	119	24,99	4,50	4,50	20,560	122
475	19	3,99	4,75	4,75	20,614	19
500		0	5,00	5,00	20,668	0
550		0	5,50	5,50	20,778	0
600		0	6,00	6,00	20,888	0
650		0	6,50	6,50	21,000	0
700		0	7,00	7,00	21,113	0
750		0	7,50	7,50	21,227	0
800		0	8,00	8,00	21,342	0
850		0	8,50	8,50	21,459	0
900		0	9,00	9,00	21,577	0
950		0	9,50	9,50	21,696	0
1000		0	10,00	10,00	21,817	0
1100		0	11,00	11,00	22,062	0
1200		0	12,00	12,00	22,313	0
1300		0	13,00	13,00	22,569	0
1400		0	14,00	14,00	22,831	0
1500		0	15,00	15,00	23,100	0
1600		0	16,00	16,00	23,375	0
1700		0	17,00	17,00	23,657	0
1800		0	18,00	18,00	23,945	0
1900		0	19,00	19,00	24,241	0
2000		0	20,00	20,00	24,544	0
2100		0	21,00	21,00	24,854	0
2200		0	22,00	22,00	25,173	0
2300		0	23,00	23,00	25,500	0
2400		0	24,00	24,00	25,836	0

EK F.6

SERBEST BASINÇ DENEY GRAFİĞİ			
Numune No	Deney 2 Numune 1	**Malzeme Tipi**	% 0.0 Kil + %100 UK + %0.0 Fiber



q_u	123	kPA
ε	4,25	%

Şekil F.6 : Çatalağzı uçucu külü serbest basınç deney grafiği.

EK F.7

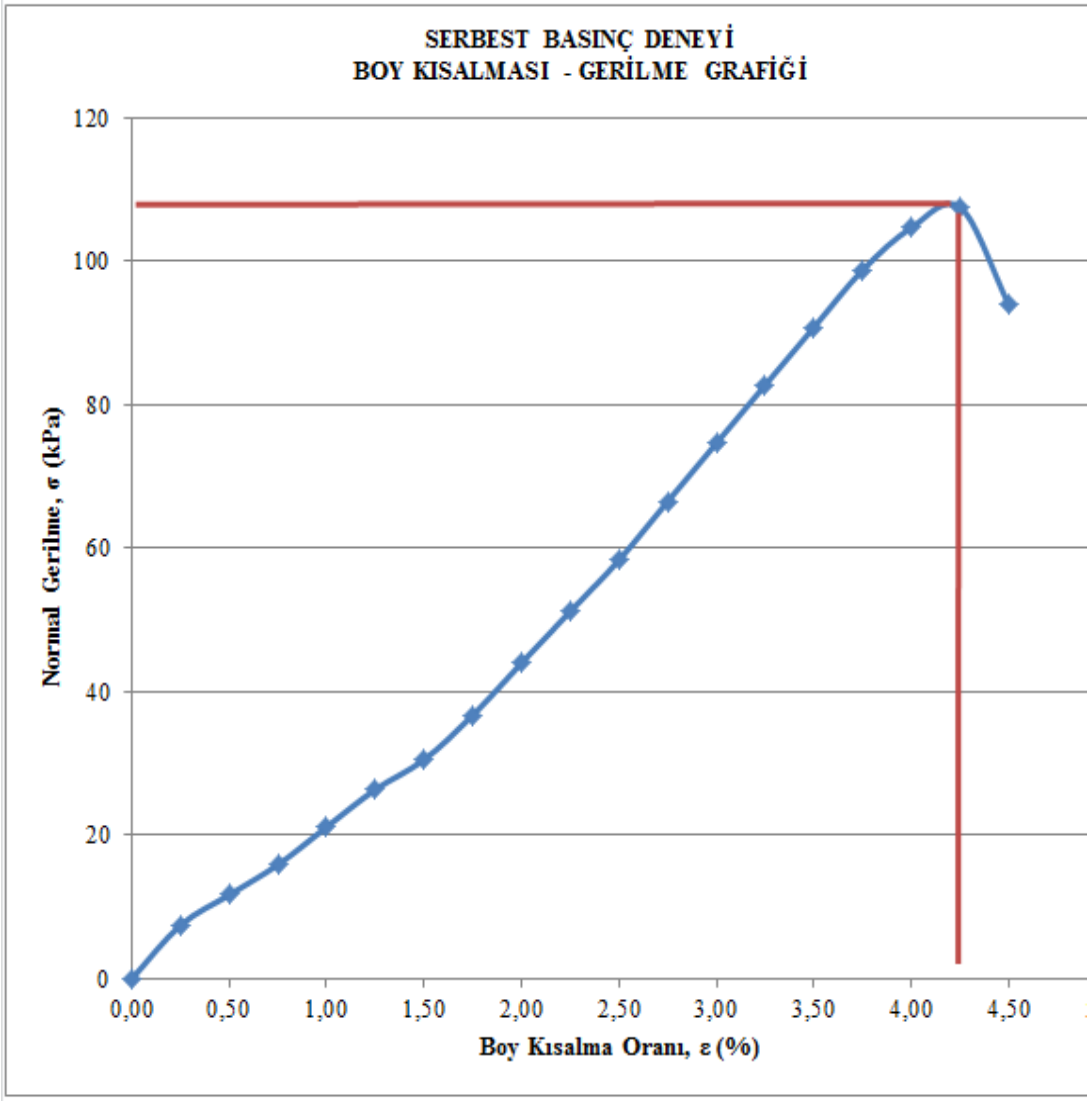
Çizelge F.7 : Çatalağzı uçucu külü serbest basınç deney raporu.

SERBEST BASINÇ DENEYİ						
NUMUNE BİLGİLERİ						
Numune No	Deney 2 Numune 2	**Numunenin Doğal Ağırlığı (g)**	299,6	**Malzeme Tipi**	% 0.0 Kil + %100 UK + %0.0 Fiber	
Numune Çapı (cm)	5,0	**Numunenin Kuru Ağırlığı (g)**	245,1	**Yük Halkası Değeri (kg/div)**	0,21	
Numune Yüksekliği (cm)	10,0	**Su Muhtevası (w, %)**	22	qu = 108 kPA		
Numunenin Yüzey Alanı (cm^2)	19,635	**gdoğal (g/cm^3)**	1,526			
Nuımunenin Hacmi (cm^3)	196,35	**gkuru (g/cm^3)**	1,248			
SERBEST BASINÇ DENEY OKUMALARI						
Düşey Boy Kısalması (1/100 mm)	**Kuvvet Halkası Okuması (div)**	**Düşey Yük - P (kg)**	**Boy Kısalması (mm)**	**Boy Kısalma Oranı ε (%)**	**Düzeltilmiş Alan A(cm^2)**	**Gerilme σ (kPa)**
0	0	0	0,00	0,00	19,635	0
25	7	1,47	0,25	0,25	19,684	7
50	11	2,31	0,50	0,50	19,734	12
75	15	3,15	0,75	0,75	19,783	16
100	20	4,2	1,00	1,00	19,833	21
125	25	5,25	1,25	1,25	19,884	26
150	29	6,09	1,50	1,50	19,934	31
175	35	7,35	1,75	1,75	19,985	37
200	42	8,82	2,00	2,00	20,036	44
225	49	10,29	2,25	2,25	20,087	51
250	56	11,76	2,50	2,50	20,138	58
275	64	13,44	2,75	2,75	20,190	67
300	72	15,12	3,00	3,00	20,242	75
325	80	16,8	3,25	3,25	20,295	83
350	88	18,48	3,50	3,50	20,347	91
375	96	20,16	3,75	3,75	20,400	99
400	102	21,42	4,00	4,00	20,453	105
425	105	22,05	4,25	4,25	20,507	108
450	92	19,32	4,50	4,50	20,560	94
475	89	18,69	4,75	4,75	20,614	91
500	86	18,06	5,00	5,00	20,668	87
550	27	5,67	5,50	5,50	20,778	27
600		0	6,00	6,00	20,888	0
650		0	6,50	6,50	21,000	0
700		0	7,00	7,00	21,113	0
750		0	7,50	7,50	21,227	0
800		0	8,00	8,00	21,342	0
850		0	8,50	8,50	21,459	0
900		0	9,00	9,00	21,577	0
950		0	9,50	9,50	21,696	0
1000		0	10,00	10,00	21,817	0
1100		0	11,00	11,00	22,062	0
1200		0	12,00	12,00	22,313	0
1300		0	13,00	13,00	22,569	0
1400		0	14,00	14,00	22,831	0
1500		0	15,00	15,00	23,100	0
1600		0	16,00	16,00	23,375	0
1700		0	17,00	17,00	23,657	0
1800		0	18,00	18,00	23,945	0
1900		0	19,00	19,00	24,241	0
2000		0	20,00	20,00	24,544	0

EK F.7

SERBEST BASINÇ DENEY GRAFİĞİ

Numune No	Deney 2 Numune 2	**Malzeme Tipi**	% 0.0 Kil + %100 UK + %0.0 Fiber



q_u	108	kPA
ε	4,25	%

Şekil F.7 : Çatalağzı uçucu külü serbest basınç deney grafiği.

EK F.8

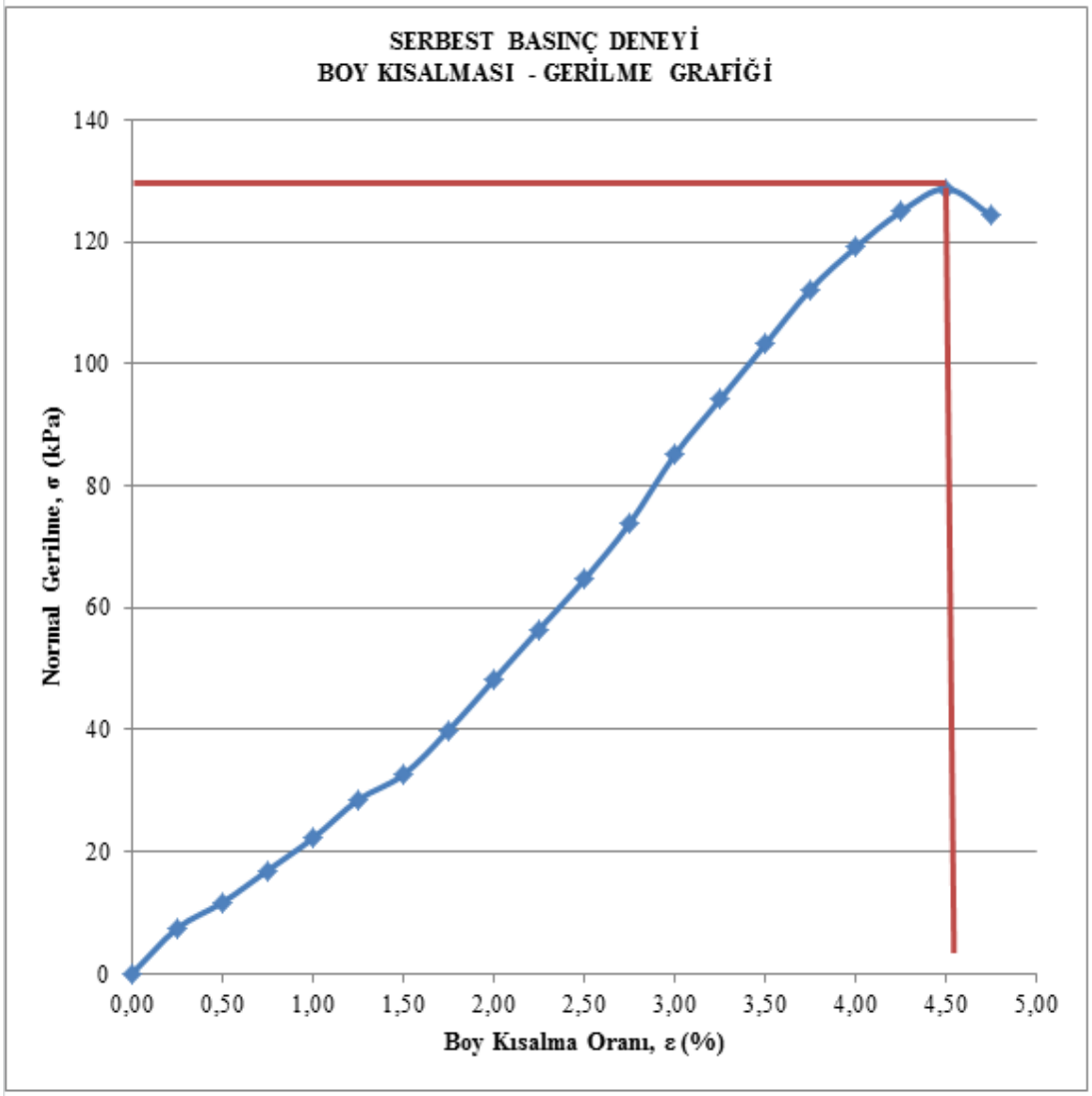
Çizelge F.8 : Çatalağzı uçucu külü serbest basınç deney raporu.

SERBEST BASINÇ DENEYİ						
NUMUNE BİLGİLERİ						
Numune No	Deney 2 Numune 3	**Numunenin Doğal Ağırlığı (g)**	302,2	**Malzeme Tipi**	% 0.0 Kil + %100 UK + %0.0 Fiber	
Numune Çapı (cm)	5,0	**Numunenin Kuru Ağırlığı (g)**	248,8	**Yük Halkası Değeri (kg/div)**	0,21	
Numune Yüksekliği (cm)	10,0	**Su Muhtevası (w, %)**	21	qu = 123 kPA		
Numunenin Yüzey Alanı (cm^2)	19,635	**gdoğal (g/cm^3)**	1,539			
Numunenin Hacmi (cm^3)	196,35	**gkuru (g/cm^3)**	1,267			
SERBEST BASINÇ DENEY OKUMALARI						
Düşey Boy Kısalması (1/100 mm)	**Kuvvet Halkası Okuması (div)**	**Düşey Yük - P (kg)**	**Boy Kısalması (mm)**	**Boy Kısalma Oranı ε (%)**	**Düzeltilmiş Alan A(cm^2)**	**Gerilme σ (kPa)**
0	0	0	0,00	0,00	19,635	0
25	7	1,47	0,25	0,25	19,684	7
50	11	2,31	0,50	0,50	19,734	12
75	16	3,36	0,75	0,75	19,783	17
100	21	4,41	1,00	1,00	19,833	22
125	27	5,67	1,25	1,25	19,884	29
150	31	6,51	1,50	1,50	19,934	33
175	38	7,98	1,75	1,75	19,985	40
200	46	9,66	2,00	2,00	20,036	48
225	54	11,34	2,25	2,25	20,087	56
250	62	13,02	2,50	2,50	20,138	65
275	71	14,91	2,75	2,75	20,190	74
300	82	17,22	3,00	3,00	20,242	85
325	91	19,11	3,25	3,25	20,295	94
350	100	21	3,50	3,50	20,347	103
375	109	22,89	3,75	3,75	20,400	112
400	116	24,36	4,00	4,00	20,453	119
425	122	25,62	4,25	4,25	20,507	125
450	126	26,46	4,50	4,50	20,560	129
475	122	25,62	4,75	4,75	20,614	124
500	45	9,45	5,00	5,00	20,668	46
550	25	5,25	5,50	5,50	20,778	25
600		0	6,00	6,00	20,888	0
650		0	6,50	6,50	21,000	0
700		0	7,00	7,00	21,113	0
750		0	7,50	7,50	21,227	0
800		0	8,00	8,00	21,342	0
850		0	8,50	8,50	21,459	0
900		0	9,00	9,00	21,577	0
950		0	9,50	9,50	21,696	0
1000		0	10,00	10,00	21,817	0
1100		0	11,00	11,00	22,062	0
1200		0	12,00	12,00	22,313	0
1300		0	13,00	13,00	22,569	0
1400		0	14,00	14,00	22,831	0
1500		0	15,00	15,00	23,100	0
1600		0	16,00	16,00	23,375	0
1700		0	17,00	17,00	23,657	0
1800		0	18,00	18,00	23,945	0
1900		0	19,00	19,00	24,241	0
2000		0	20,00	20,00	24,544	0

EK F.8

SERBEST BASINÇ DENEY GRAFİĞİ

Numune No	Deney 2 Numune 3	**Malzeme Tipi**	% 0.0 Kil + %100 UK + %0.0 Fiber



q_u	129	kPA
ε	4,50	%

Şekil F.8 : Çatalağzı uçucu külü serbest basınç deney grafiği.

EK F.9

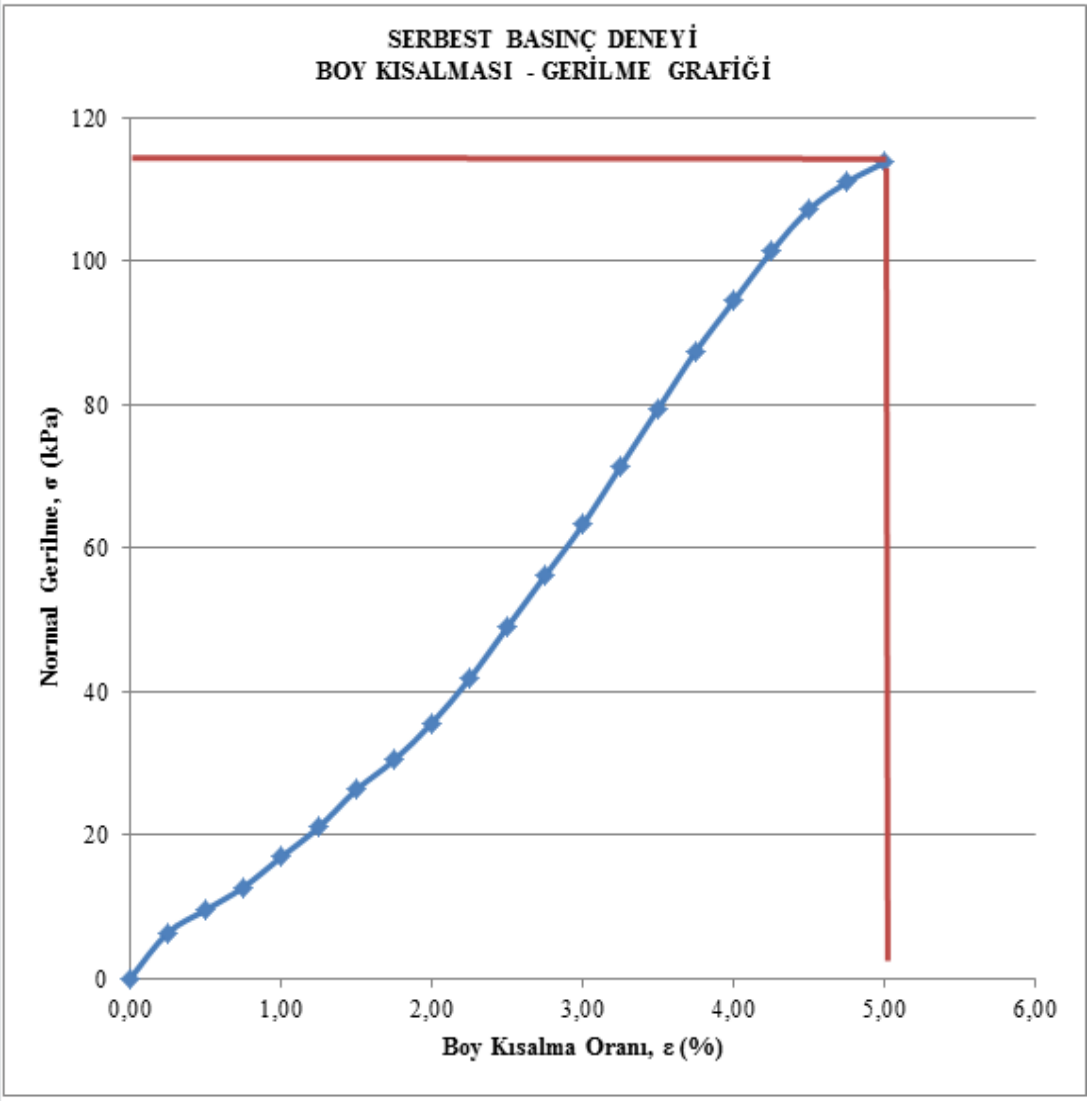
Çizelge F.9 : Çatalağzı uçucu külü serbest basınç deney raporu.

SERBEST BASINÇ DENEYİ						
NUMUNE BİLGİLERİ						
Numune No	Deney 2 Numune 4	**Numunenin Doğal Ağırlığı (g)**	299,3	**Malzeme Tipi**	% 0.0 Kil + %100 UK + %0.0 Fiber	
Numune Çapı (cm)	5,0	**Numunenin Kuru Ağırlığı (g)**	245,7	**Yük Halkası Değeri (kg/div)**	0,21	
Numune Yüksekliği (cm)	10,0	**Su Muhtevası (w, %)**	22	qu = 123 kPA		
Numunenin Yüzey Alanı (cm^2)	19,635	**gdoğal (g/cm^3)**	1,524			
Nuımunenin Hacmi (cm^3)	196,35	**gkuru (g/cm^3)**	1,251			
SERBEST BASINÇ DENEY OKUMALARI						
Düşey Boy Kısalması (1/100 mm)	**Kuvvet Halkası Okuması (div)**	**Düşey Yük - P (kg)**	**Boy Kısalması (mm)**	**Boy Kısalma Oranı ε (%)**	**Düzeltilmiş Alan A(cm^2)**	**Gerilme σ (kPa)**
0	0	0	0,00	0,00	19,635	0
25	6	1,26	0,25	0,25	19,684	6
50	9	1,89	0,50	0,50	19,734	10
75	12	2,52	0,75	0,75	19,783	13
100	16	3,36	1,00	1,00	19,833	17
125	20	4,2	1,25	1,25	19,884	21
150	25	5,25	1,50	1,50	19,934	26
175	29	6,09	1,75	1,75	19,985	30
200	34	7,14	2,00	2,00	20,036	36
225	40	8,4	2,25	2,25	20,087	42
250	47	9,87	2,50	2,50	20,138	49
275	54	11,34	2,75	2,75	20,190	56
300	61	12,81	3,00	3,00	20,242	63
325	69	14,49	3,25	3,25	20,295	71
350	77	16,17	3,50	3,50	20,347	79
375	85	17,85	3,75	3,75	20,400	88
400	92	19,32	4,00	4,00	20,453	94
425	99	20,79	4,25	4,25	20,507	101
450	105	22,05	4,50	4,50	20,560	107
475	109	22,89	4,75	4,75	20,614	111
500	112	23,52	5,00	5,00	20,668	114
550	14	2,94	5,50	5,50	20,778	14
600		0	6,00	6,00	20,888	0
650		0	6,50	6,50	21,000	0
700		0	7,00	7,00	21,113	0
750		0	7,50	7,50	21,227	0
800		0	8,00	8,00	21,342	0
850		0	8,50	8,50	21,459	0
900		0	9,00	9,00	21,577	0
950		0	9,50	9,50	21,696	0
1000		0	10,00	10,00	21,817	0
1100		0	11,00	11,00	22,062	0
1200		0	12,00	12,00	22,313	0
1300		0	13,00	13,00	22,569	0
1400		0	14,00	14,00	22,831	0
1500		0	15,00	15,00	23,100	0
1600		0	16,00	16,00	23,375	0
1700		0	17,00	17,00	23,657	0
1800		0	18,00	18,00	23,945	0
1900		0	19,00	19,00	24,241	0
2000		0	20,00	20,00	24,544	0

EK F.9

SERBEST BASINÇ DENEY GRAFİĞİ

Numune No	Deney 2 Numune 4	**Malzeme Tipi**	% 0.0 Kil + %100 UK + %0.0 Fiber



q_u	114	kPA
ε	5,00	%

Şekil F.9 : Çatalağzı uçucu külü serbest basınç deney grafiği.

EK F.10

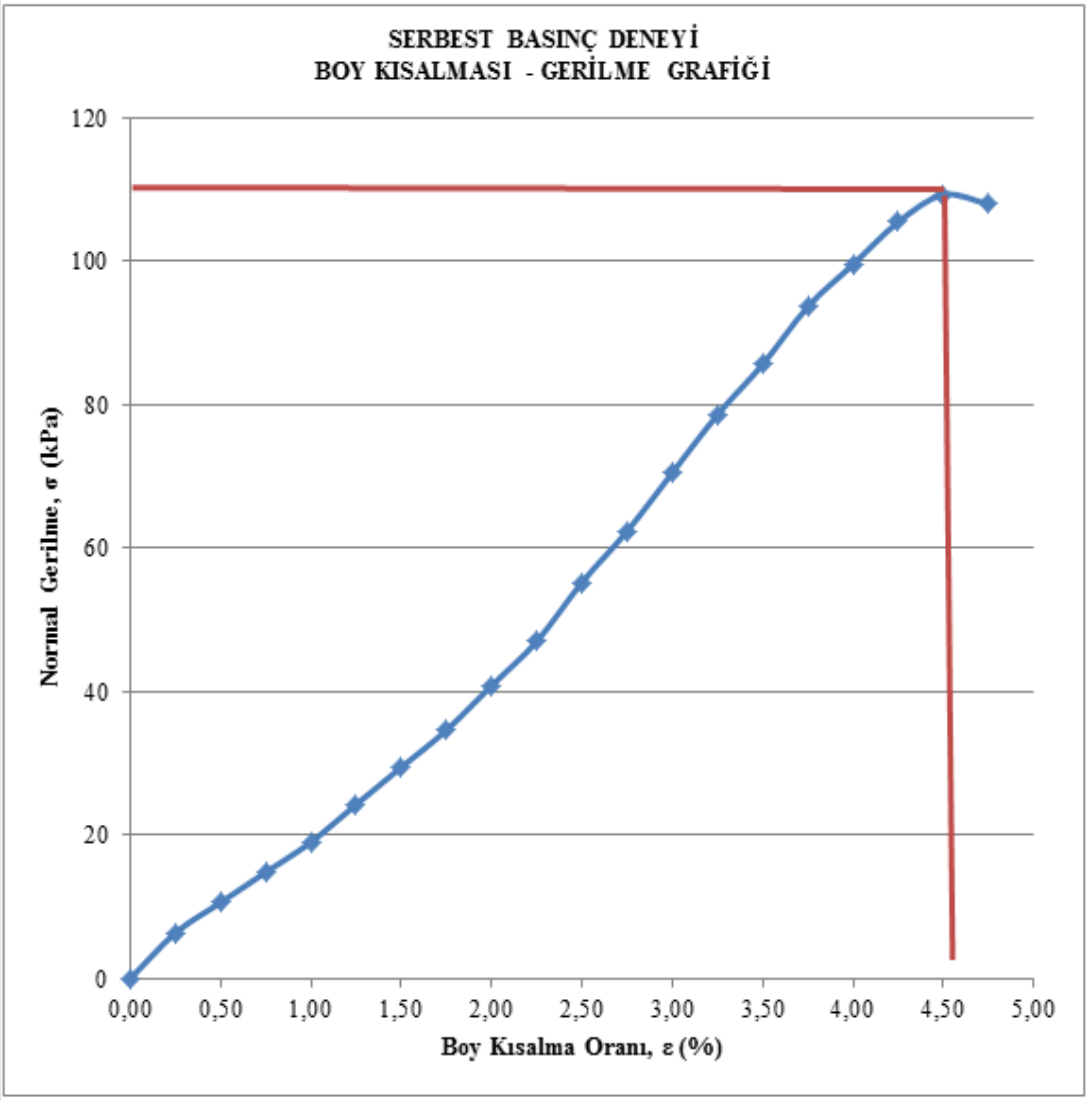
Çizelge F.10 : Çatalağzı uçucu külü serbest basınç deney raporu.

SERBEST BASINÇ DENEYİ						
NUMUNE BİLGİLERİ						
Numune No	Deney 2 Numune 5	**Numunenin Doğal Ağırlığı (g)**	295,8	**Malzeme Tipi**	% 0.0 Kil + %100 UK + %0.0 Fiber	
Numune Çapı (cm)	5,0	**Numunenin Kuru Ağırlığı (g)**	243,4	**Yük Halkası Değeri (kg/div)**	0,21	
Numune Yüksekliği (cm)	10,0	**Su Muhtevası (w, %)**	22	qu = 123 kPA		
Numunenin Yüzey Alanı (cm^2)	19,635	**gdoğal (g/cm^3)**	1,506			
Nuımunenin Hacmi (cm^3)	196,35	**gkuru (g/cm^3)**	1,240			
SERBEST BASINÇ DENEY OKUMALARI						
Düşey Boy Kısalması (1/100 mm)	**Kuvvet Halkası Okuması (div)**	**Düşey Yük - P (kg)**	**Boy Kısalması (mm)**	**Boy Kısalma Oranı ε (%)**	**Düzeltilmiş Alan A(cm^2)**	**Gerilme σ (kPa)**
0	0	0	0,00	0,00	19,635	0
25	6	1,26	0,25	0,25	19,684	6
50	10	2,1	0,50	0,50	19,734	11
75	14	2,94	0,75	0,75	19,783	15
100	18	3,78	1,00	1,00	19,833	19
125	23	4,83	1,25	1,25	19,884	24
150	28	5,88	1,50	1,50	19,934	29
175	33	6,93	1,75	1,75	19,985	35
200	39	8,19	2,00	2,00	20,036	41
225	45	9,45	2,25	2,25	20,087	47
250	53	11,13	2,50	2,50	20,138	55
275	60	12,6	2,75	2,75	20,190	62
300	68	14,28	3,00	3,00	20,242	71
325	76	15,96	3,25	3,25	20,295	79
350	83	17,43	3,50	3,50	20,347	86
375	91	19,11	3,75	3,75	20,400	94
400	97	20,37	4,00	4,00	20,453	100
425	103	21,63	4,25	4,25	20,507	105
450	107	22,47	4,50	4,50	20,560	109
475	106	22,26	4,75	4,75	20,614	108
500	91	19,11	5,00	5,00	20,668	92
550	19	3,99	5,50	5,50	20,778	19
600		0	6,00	6,00	20,888	0
650		0	6,50	6,50	21,000	0
700		0	7,00	7,00	21,113	0
750		0	7,50	7,50	21,227	0
800		0	8,00	8,00	21,342	0
850		0	8,50	8,50	21,459	0
900		0	9,00	9,00	21,577	0
950		0	9,50	9,50	21,696	0
1000		0	10,00	10,00	21,817	0
1100		0	11,00	11,00	22,062	0
1200		0	12,00	12,00	22,313	0
1300		0	13,00	13,00	22,569	0
1400		0	14,00	14,00	22,831	0
1500		0	15,00	15,00	23,100	0
1600		0	16,00	16,00	23,375	0
1700		0	17,00	17,00	23,657	0
1800		0	18,00	18,00	23,945	0
1900		0	19,00	19,00	24,241	0
2000		0	20,00	20,00	24,544	0

EK F.10

SERBEST BASINÇ DENEY GRAFİĞİ

Numune No	Deney 2 Numune 5	**Malzeme Tipi**	% 0.0 Kil + %100 UK + %0.0 Fiber



q_u	109	kPA
ε	4,50	%

Şekil F.10 : Çatalağzı uçucu külü serbest basınç deney grafiği.

EK F.11

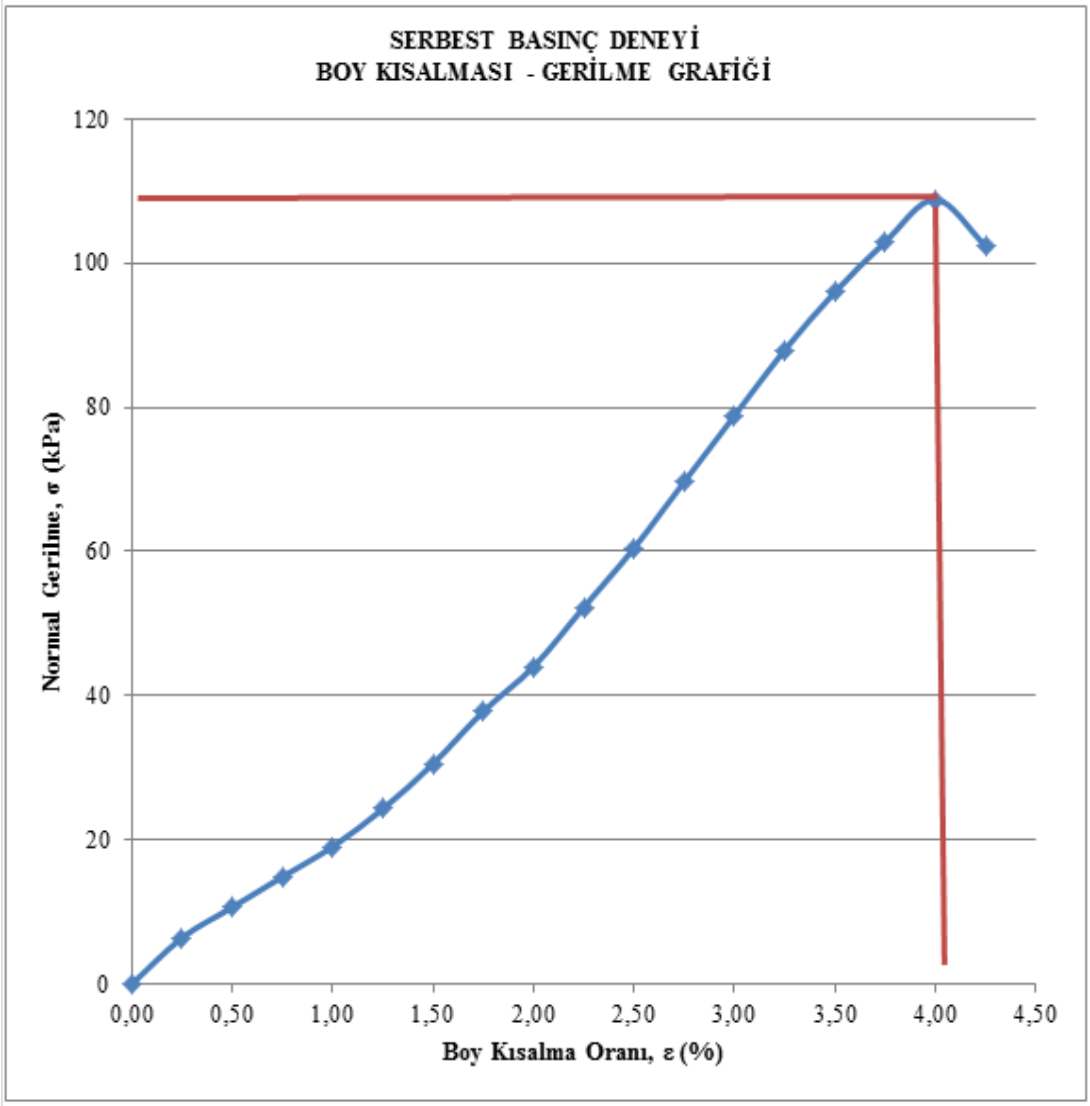
Çizelge F.11 : Çatalağzı uçucu külü serbest basınç deney raporu.

SERBEST BASINÇ DENEYİ						
NUMUNE BİLGİLERİ						
Numune No	Deney 2 Numune 6	**Numunenin Doğal Ağırlığı (g)**	306,4	**Malzeme Tipi**	% 0.0 Kil + %100 UK + %0.0 Fiber	
Numune Çapı (cm)	5,0	**Numunenin Kuru Ağırlığı (g)**	252,3	**Yük Halkası Değeri (kg/div)**	0,21	
Numune Yüksekliği (cm)	10,0	**Su Muhtevası (w, %)**	21	qu = 123 kPA		
Numunenin Yüzey Alanı (cm^2)	19,635	**gdoğal (g/cm^3)**	1,560			
Nuımunenin Hacmi (cm^3)	196,35	**gkuru (g/cm^3)**	1,285			
SERBEST BASINÇ DENEY OKUMALARI						
Düşey Boy Kısalması (1/100 mm)	**Kuvvet Halkası Okuması (div)**	**Düşey Yük - P (kg)**	**Boy Kısalması (mm)**	**Boy Kısalma Oranı ε (%)**	**Düzeltilmiş Alan A(cm^2)**	**Gerilme σ (kPa)**
0	0	0	0,00	0,00	19,635	0
25	6	1,26	0,25	0,25	19,684	6
50	10	2,1	0,50	0,50	19,734	11
75	14	2,94	0,75	0,75	19,783	15
100	18	3,78	1,00	1,00	19,833	19
125	23	4,83	1,25	1,25	19,884	24
150	29	6,09	1,50	1,50	19,934	31
175	36	7,56	1,75	1,75	19,985	38
200	42	8,82	2,00	2,00	20,036	44
225	50	10,5	2,25	2,25	20,087	52
250	58	12,18	2,50	2,50	20,138	60
275	67	14,07	2,75	2,75	20,190	70
300	76	15,96	3,00	3,00	20,242	79
325	85	17,85	3,25	3,25	20,295	88
350	93	19,53	3,50	3,50	20,347	96
375	100	21	3,75	3,75	20,400	103
400	106	22,26	4,00	4,00	20,453	109
425	100	21	4,25	4,25	20,507	102
450	70	14,7	4,50	4,50	20,560	71
475	28	5,88	4,75	4,75	20,614	29
500		0	5,00	5,00	20,668	0
550		0	5,50	5,50	20,778	0
600		0	6,00	6,00	20,888	0
650		0	6,50	6,50	21,000	0
700		0	7,00	7,00	21,113	0
750		0	7,50	7,50	21,227	0
800		0	8,00	8,00	21,342	0
850		0	8,50	8,50	21,459	0
900		0	9,00	9,00	21,577	0
950		0	9,50	9,50	21,696	0
1000		0	10,00	10,00	21,817	0
1100		0	11,00	11,00	22,062	0
1200		0	12,00	12,00	22,313	0
1300		0	13,00	13,00	22,569	0
1400		0	14,00	14,00	22,831	0
1500		0	15,00	15,00	23,100	0
1600		0	16,00	16,00	23,375	0
1700		0	17,00	17,00	23,657	0
1800		0	18,00	18,00	23,945	0
1900		0	19,00	19,00	24,241	0
2000		0	20,00	20,00	24,544	0

EK F.11

SERBEST BASINÇ DENEY GRAFİĞİ

Numune No	Deney 2 Numune 6	**Malzeme Tipi**	% 0.0 Kil + %100 UK + %0.0 Fiber



q_u	109	kPA
ε	4,00	%

Şekil F.11 : Çatalağzı uçucu külü serbest basınç deney grafiği.

EK F.12

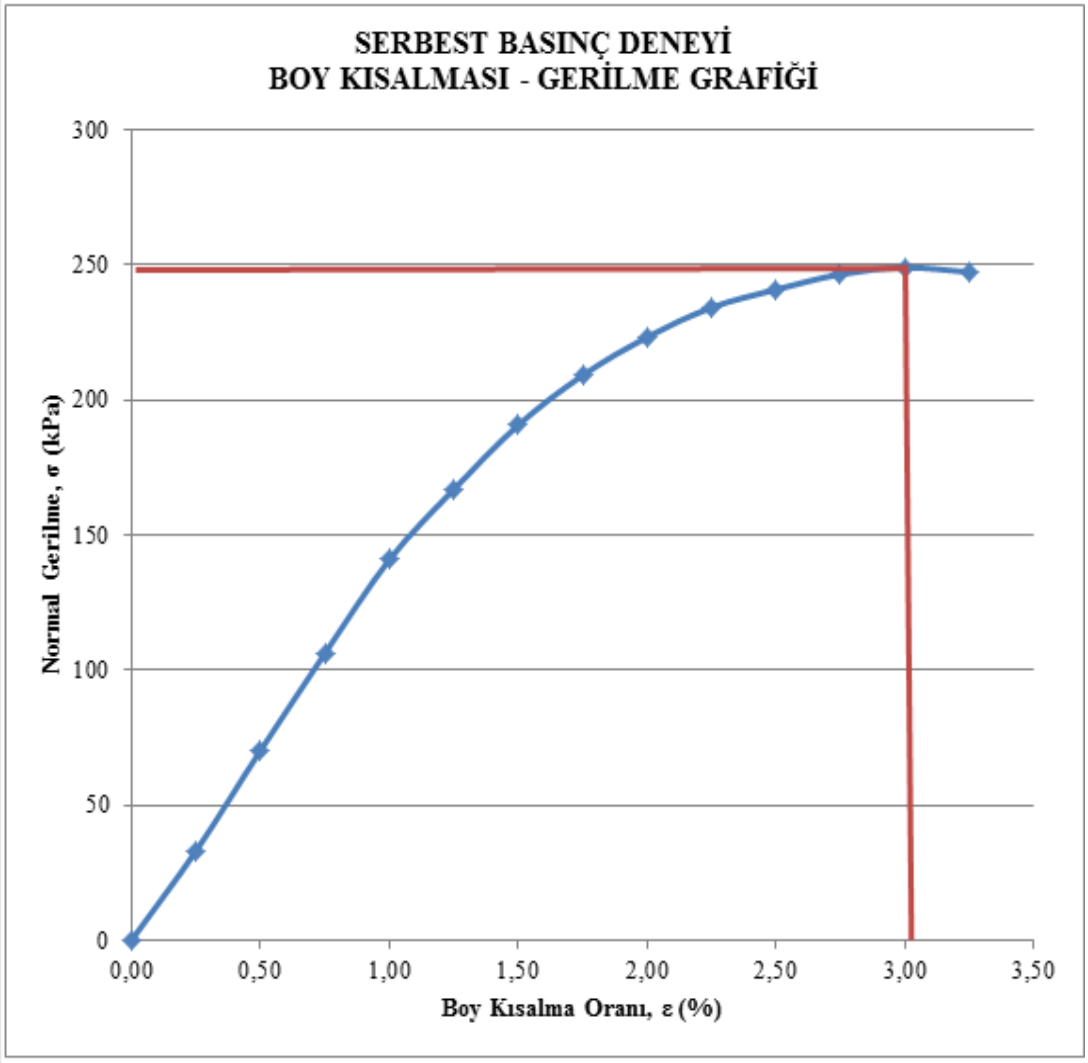
Çizelge F.12 : Kil (%50) + uçucu kül (%50) karışımı serbest basınç deney raporu.

SERBEST BASINÇ DENEYİ						
NUMUNE BİLGİLERİ						
Numune No	Deney 3 Numune 1	**Numunenin Doğal Ağırlığı (g)**	342,8	**Malzeme Tipi**	% 50 Kil + %50 UK + %0.0 Fiber	
Numune Çapı (cm)	5	**Numunenin Kuru Ağırlığı (g)**	291,3	**Yük Halkası Değeri (kg/div)**	0,21	
Numune Yüksekliği (cm)	10	**Su Muhtevası (w, %)**	18	qu = 249 kPA		
Numunenin Yüzey Alanı (cm^2)	19,635	**gdoğal (g/cm^3)**	1,746			
Numunenin Hacmi (cm^3)	196,35	**gkuru (g/cm^3)**	1,484			
SERBEST BASINÇ DENEY OKUMALARI						
Düşey Boy Kısalması (1/100 mm)	**Kuvvet Halkası Okuması (div)**	**Düşey Yük - P (kg)**	**Boy Kısalması (mm)**	**Boy Kısalma Oranı**	**Düzeltilmiş Alan A(cm^2)**	**Gerilme σ (kPa)**
0	0	0	0,00	0,00	19,635	0
25	31	6,51	0,25	0,25	19,684	33
50	66	13,86	0,50	0,50	19,734	70
75	100	21	0,75	0,75	19,783	106
100	133	27,93	1,00	1,00	19,833	141
125	158	33,18	1,25	1,25	19,884	167
150	181	38,01	1,50	1,50	19,934	191
175	199	41,79	1,75	1,75	19,985	209
200	213	44,73	2,00	2,00	20,036	223
225	224	47,04	2,25	2,25	20,087	234
250	231	48,51	2,50	2,50	20,138	241
275	237	49,77	2,75	2,75	20,190	247
300	240	50,4	3,00	3,00	20,242	249
325	239	50,19	3,25	3,25	20,295	247
350	236	49,56	3,50	3,50	20,347	244
375	231	48,51	3,75	3,75	20,400	238
400	228	47,88	4,00	4,00	20,453	234
425	225	47,25	4,25	4,25	20,507	230
450	212	44,52	4,50	4,50	20,560	217
475	173	36,33	4,75	4,75	20,614	176
500	125	26,25	5,00	5,00	20,668	127
550	91	19,11	5,50	5,50	20,778	92
600	71	14,91	6,00	6,00	20,888	71
650	55	11,55	6,50	6,50	21,000	55
700		0	7,00	7,00	21,113	0
750		0	7,50	7,50	21,227	0
800		0	8,00	8,00	21,342	0
850		0	8,50	8,50	21,459	0
900		0	9,00	9,00	21,577	0
950		0	9,50	9,50	21,696	0
1000		0	10,00	10,00	21,817	0
1100		0	11,00	11,00	22,062	0
1200		0	12,00	12,00	22,313	0
1300		0	13,00	13,00	22,569	0
1400		0	14,00	14,00	22,831	0
1500		0	15,00	15,00	23,100	0
1600		0	16,00	16,00	23,375	0
1700		0	17,00	17,00	23,657	0
1800		0	18,00	18,00	23,945	0
1900		0	19,00	19,00	24,241	0
2000		0	20,00	20,00	24,544	0

EK F.12

SERBEST BASINÇ DENEY GRAFİĞİ

Numune No	Deney 3 Numune 1	**Malzeme Tipi**	% 50 Kil + %50 UK + %0.0 Fiber



q_u	249	kPA
ε	3,00	%

Şekil F.12 : Kil (%50) + UK (%50) karışımı serbest basınç deney grafiği.

EK F.13

Çizelge F.13 : Kil (%50) + UK (%50) karışımı serbest basınç deney raporu.

SERBEST BASINÇ DENEYİ					
NUMUNE BİLGİLERİ					
Numune No	Deney 3 Numune 2	**Numunenin Doğal Ağırlığı (g)**	336,8	**Malzeme Tipi**	% 50 Kil + %50 UK + %0.0 Fiber
Numune Çapı (cm)	5	**Numunenin Kuru Ağırlığı (g)**	286,1	**Yük Halkası Değeri (kg/div)**	0,21
Numune Yüksekliği (cm)	10	**Su Muhtevası (w, %)**	18	qu = 244 kPA	
Numunenin Yüzey Alanı (cm^2)	19,635	**gdoğal (g/cm^3)**	1,715		
Numunenin Hacmi (cm^3)	196,35	**gkuru (g/cm^3)**	1,457		

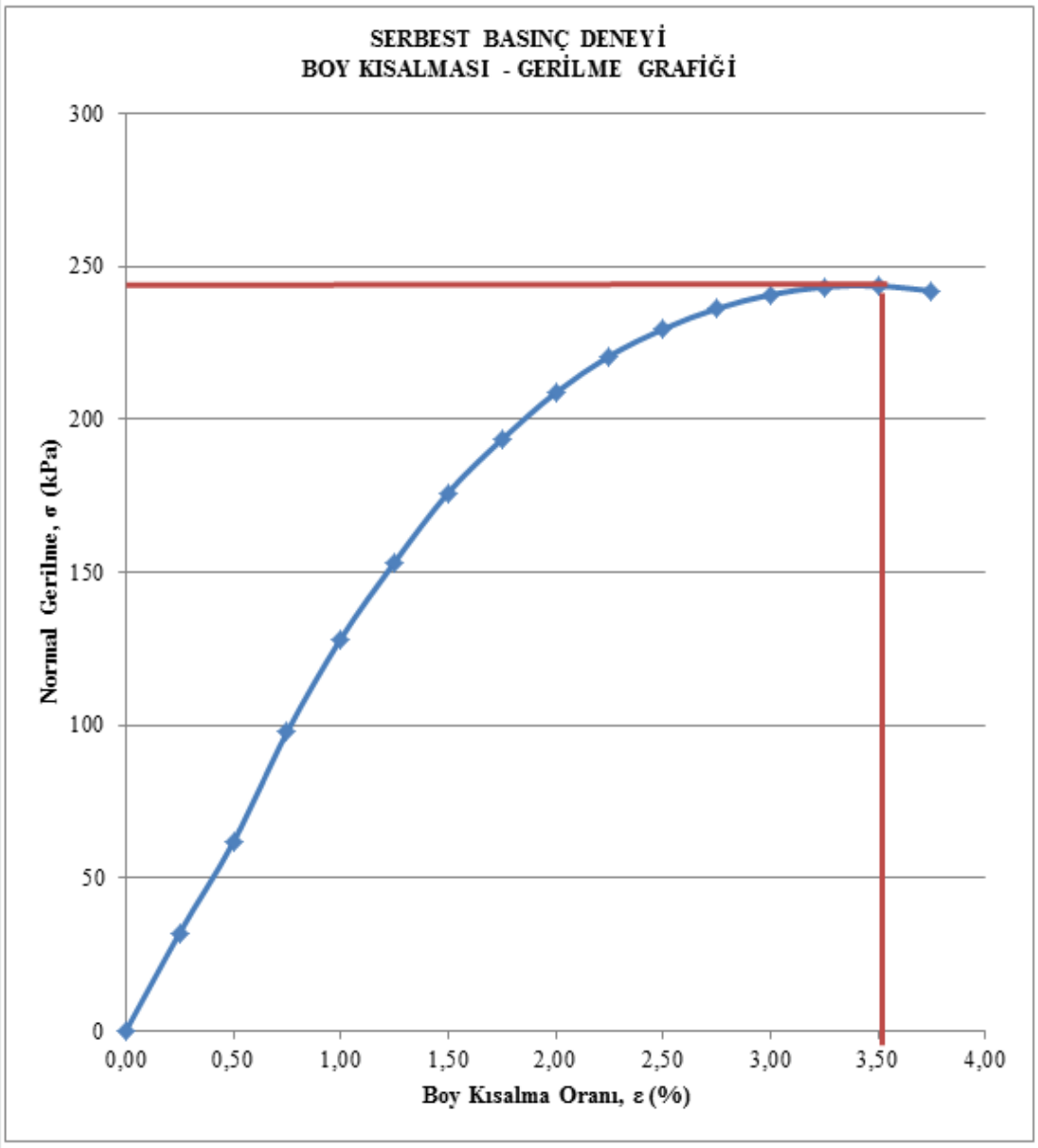
SERBEST BASINÇ DENEY OKUMALARI

Düşey Boy Kısalması (1/100 mm)	Kuvvet Halkası Okuması (div)	Düşey Yük - P (kg)	Boy Kısalması (mm)	Boy Kısalma Oranı	Düzeltilmiş Alan A(cm^2)	Gerilme σ (kPa)
0	0	0	0,00	0,00	19,635	0
25	30	6,3	0,25	0,25	19,684	32
50	58	12,18	0,50	0,50	19,734	62
75	92	19,32	0,75	0,75	19,783	98
100	121	25,41	1,00	1,00	19,833	128
125	145	30,45	1,25	1,25	19,884	153
150	167	35,07	1,50	1,50	19,934	176
175	184	38,64	1,75	1,75	19,985	193
200	199	41,79	2,00	2,00	20,036	209
225	211	44,31	2,25	2,25	20,087	221
250	220	46,2	2,50	2,50	20,138	229
275	227	47,67	2,75	2,75	20,190	236
300	232	48,72	3,00	3,00	20,242	241
325	235	49,35	3,25	3,25	20,295	243
350	236	49,56	3,50	3,50	20,347	244
375	235	49,35	3,75	3,75	20,400	242
400	225	47,25	4,00	4,00	20,453	231
425	184	38,64	4,25	4,25	20,507	188
450	144	30,24	4,50	4,50	20,560	147
475	123	25,83	4,75	4,75	20,614	125
500	112	23,52	5,00	5,00	20,668	114
550	99	20,79	5,50	5,50	20,778	100
600	92	19,32	6,00	6,00	20,888	92
650	86	18,06	6,50	6,50	21,000	86
700	80	16,8	7,00	7,00	21,113	80
750		0	7,50	7,50	21,227	0
800		0	8,00	8,00	21,342	0
850		0	8,50	8,50	21,459	0
900		0	9,00	9,00	21,577	0
950		0	9,50	9,50	21,696	0
1000		0	10,00	10,00	21,817	0
1100		0	11,00	11,00	22,062	0
1200		0	12,00	12,00	22,313	0
1300		0	13,00	13,00	22,569	0
1400		0	14,00	14,00	22,831	0
1500		0	15,00	15,00	23,100	0
1600		0	16,00	16,00	23,375	0
1700		0	17,00	17,00	23,657	0
1800		0	18,00	18,00	23,945	0
1900		0	19,00	19,00	24,241	0
2000		0	20,00	20,00	24,544	0

EK F.13

SERBEST BASINÇ DENEY GRAFİĞİ

Numune No	Deney 3 Numune 2	**Malzeme Tipi**	% 50 Kil + %50 UK + %0.0 Fiber



q_u	244	kPA
ε	3,50	%

Şekil F.13 : Kil (%50) + UK (%50) karışımı serbest basınç deney grafiği.

EK F.14

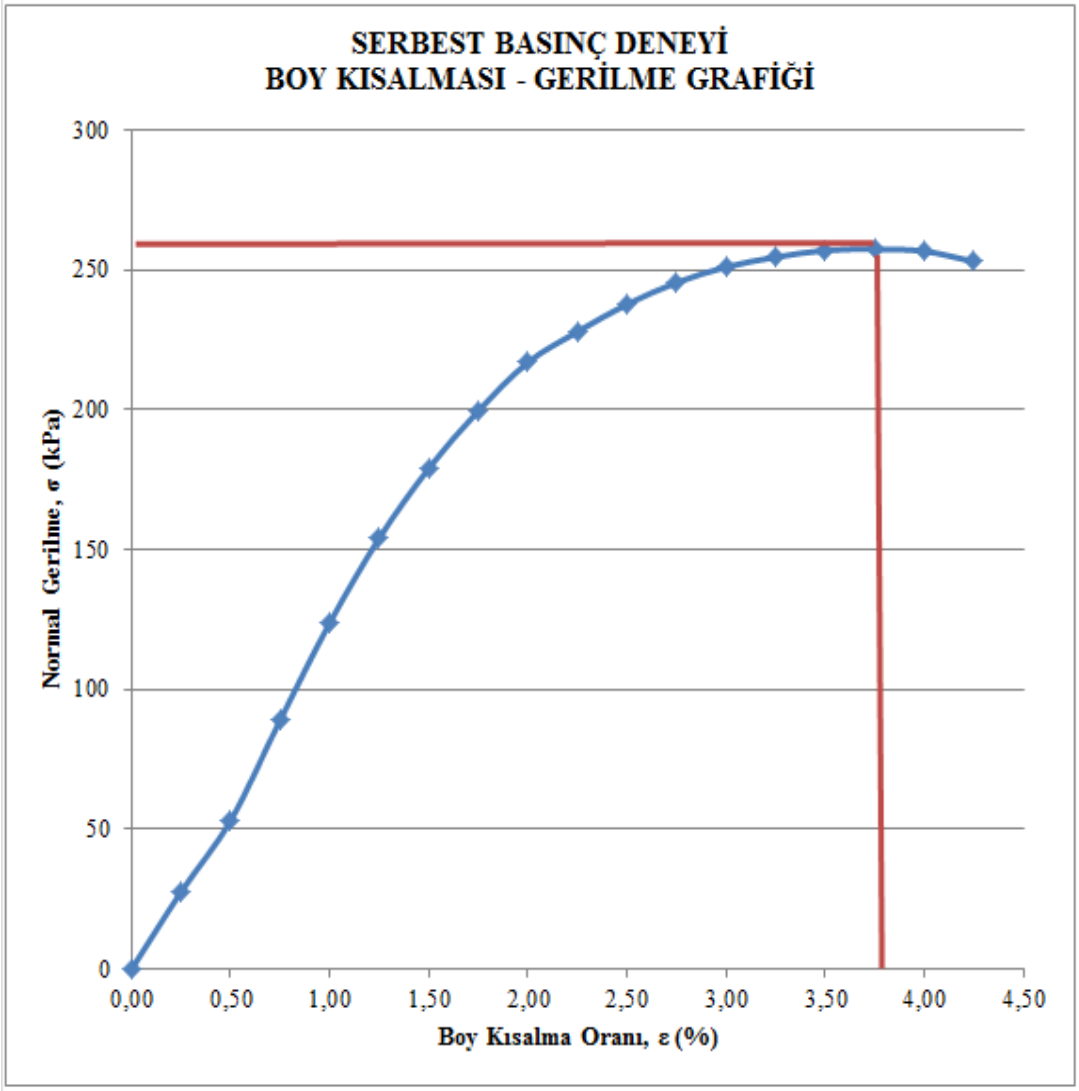
Çizelge F.14 : Kil (%50) + UK (%50) karışımı serbest basınç deney raporu.

SERBEST BASINÇ DENEYİ						
NUMUNE BİLGİLERİ						
Numune No	Deney 3 Numune 3	**Numunenin Doğal Ağırlığı (g)**	340,4	**Malzeme Tipi**	% 50 Kil + %50 UK + %0.0 Fiber	
Numune Çapı (cm)	5	**Numunenin Kuru Ağırlığı (g)**	288,6	**Yük Halkası Değeri (kg/div)**	0,21	
Numune Yüksekliği (cm)	10	**Su Muhtevası (w, %)**	18	qu = 257 kPA		
Numunenin Yüzey Alanı (cm^2)	19,635	**gdoğal (g/cm^3)**	1,734			
Numunenin Hacmi (cm^3)	196,35	**gkuru (g/cm^3)**	1,470			
SERBEST BASINÇ DENEY OKUMALARI						
Düşey Boy Kısalması (1/100 mm)	**Kuvvet Halkası Okuması (div)**	**Düşey Yük - P (kg)**	**Boy Kısalması (mm)**	**Boy Kısalma Oranı ε (%)**	**Düzeltilmiş Alan A(cm^2)**	**Gerilme σ (kPa)**
0	0	0	0,00	0,00	19,635	0
25	26	5,46	0,25	0,25	19,684	28
50	50	10,5	0,50	0,50	19,734	53
75	84	17,64	0,75	0,75	19,783	89
100	117	24,57	1,00	1,00	19,833	124
125	146	30,66	1,25	1,25	19,884	154
150	170	35,7	1,50	1,50	19,934	179
175	190	39,9	1,75	1,75	19,985	200
200	207	43,47	2,00	2,00	20,036	217
225	218	45,78	2,25	2,25	20,087	228
250	228	47,88	2,50	2,50	20,138	238
275	236	49,56	2,75	2,75	20,190	245
300	242	50,82	3,00	3,00	20,242	251
325	246	51,66	3,25	3,25	20,295	255
350	249	52,29	3,50	3,50	20,347	257
375	250	52,5	3,75	3,75	20,400	257
400	250	52,5	4,00	4,00	20,453	257
425	247	51,87	4,25	4,25	20,507	253
450	238	49,98	4,50	4,50	20,560	243
475	217	45,57	4,75	4,75	20,614	221
500	191	40,11	5,00	5,00	20,668	194
550	148	31,08	5,50	5,50	20,778	150
600	95	19,95	6,00	6,00	20,888	96
650	80	16,8	6,50	6,50	21,000	80
700		0	7,00	7,00	21,113	0
750		0	7,50	7,50	21,227	0
800		0	8,00	8,00	21,342	0
850		0	8,50	8,50	21,459	0
900		0	9,00	9,00	21,577	0
950		0	9,50	9,50	21,696	0
1000		0	10,00	10,00	21,817	0
1100		0	11,00	11,00	22,062	0
1200		0	12,00	12,00	22,313	0
1300		0	13,00	13,00	22,569	0
1400		0	14,00	14,00	22,831	0
1500		0	15,00	15,00	23,100	0
1600		0	16,00	16,00	23,375	0
1700		0	17,00	17,00	23,657	0
1800		0	18,00	18,00	23,945	0
1900		0	19,00	19,00	24,241	0
2000		0	20,00	20,00	24,544	0

EK F.14

SERBEST BASINÇ DENEY GRAFİĞİ

Numune No	Deney 3 Numune 3	**Malzeme Tipi**	% 50 Kil + %50 UK + %0.0 Fiber



q_u	257	kPA
ε	3,75	%

Şekil F.14 : Kil (%50) + UK (%50) karışımı serbest basınç deney grafiği.

EK F.15

Çizelge F.15 : Kil (%50) + UK (%50) karışımı serbest basınç deney raporu.

SERBEST BASINÇ DENEYİ					
NUMUNE BİLGİLERİ					
Numune No	Deney 3 Numune 4	**Numunenin Doğal Ağırlığı (g)**	340,1	**Malzeme Tipi**	% 50 Kil + %50 UK + %0.0 Fiber
Numune Çapı (cm)	5	**Numunenin Kuru Ağırlığı (g)**	287	**Yük Halkası Değeri (kg/div)**	0,21
Numune Yüksekliği (cm)	10	**Su Muhtevası (w, %)**	19	qu = 223 kPA	
Numunenin Yüzey Alanı (cm^2)	19,635	**gdoğal (g/cm^3)**	1,732		
Numunenin Hacmi (cm^3)	196,35	**gkuru (g/cm^3)**	1,462		

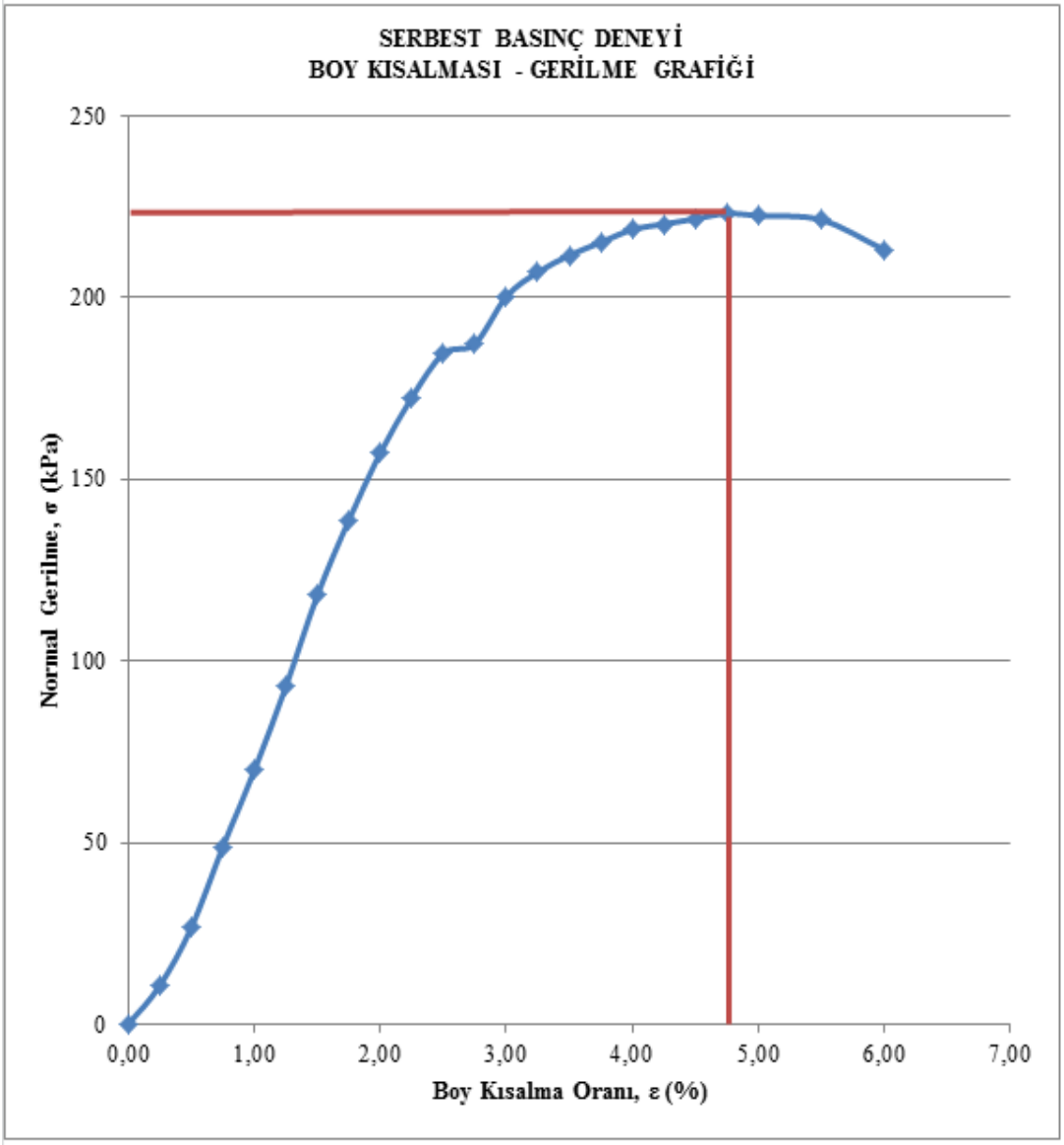
SERBEST BASINÇ DENEY OKUMALARI

Düşey Boy Kısalması (1/100 mm)	**Kuvvet Halkası Okuması (div)**	**Düşey Yük - P (kg)**	**Boy Kısalması (mm)**	**Boy Kısalma Oranı**	**Düzeltilmiş Alan A(cm^2)**	**Gerilme σ (kPa)**
0	0	0	0,00	0,00	19,635	0
25	10	2,1	0,25	0,25	19,684	11
50	25	5,25	0,50	0,50	19,734	27
75	46	9,66	0,75	0,75	19,783	49
100	66	13,86	1,00	1,00	19,833	70
125	88	18,48	1,25	1,25	19,884	93
150	112	23,52	1,50	1,50	19,934	118
175	132	27,72	1,75	1,75	19,985	139
200	150	31,5	2,00	2,00	20,036	157
225	165	34,65	2,25	2,25	20,087	173
250	177	37,17	2,50	2,50	20,138	185
275	180	37,8	2,75	2,75	20,190	187
300	193	40,53	3,00	3,00	20,242	200
325	200	42	3,25	3,25	20,295	207
350	205	43,05	3,50	3,50	20,347	212
375	209	43,89	3,75	3,75	20,400	215
400	213	44,73	4,00	4,00	20,453	219
425	215	45,15	4,25	4,25	20,507	220
450	217	45,57	4,50	4,50	20,560	222
475	219	45,99	4,75	4,75	20,614	223
500	219	45,99	5,00	5,00	20,668	223
550	219	45,99	5,50	5,50	20,778	221
600	212	44,52	6,00	6,00	20,888	213
650	180	37,8	6,50	6,50	21,000	180
700	122	25,62	7,00	7,00	21,113	121
750	97	20,37	7,50	7,50	21,227	96
800	87	18,27	8,00	8,00	21,342	86
850		0	8,50	8,50	21,459	0
900		0	9,00	9,00	21,577	0
950		0	9,50	9,50	21,696	0
1000		0	10,00	10,00	21,817	0
1100		0	11,00	11,00	22,062	0
1200		0	12,00	12,00	22,313	0
1300		0	13,00	13,00	22,569	0
1400		0	14,00	14,00	22,831	0
1500		0	15,00	15,00	23,100	0
1600		0	16,00	16,00	23,375	0
1700		0	17,00	17,00	23,657	0
1800		0	18,00	18,00	23,945	0
1900		0	19,00	19,00	24,241	0
2000		0	20,00	20,00	24,544	0

EK F.15

SERBEST BASINÇ DENEY GRAFİĞİ

Numune No	Deney 3 Numune 4	**Malzeme Tipi**	% 50 Kil + %50 UK + %0.0 Fiber



q_u	223	kPA
ε	4,75	%

Şekil F.15 : Kil (%50) + UK (%50) karışımı serbest basınç deney grafiği.

EK F.16

Çizelge F.16 : Kil (%50) + UK (%50) karışımı serbest basınç deney raporu.

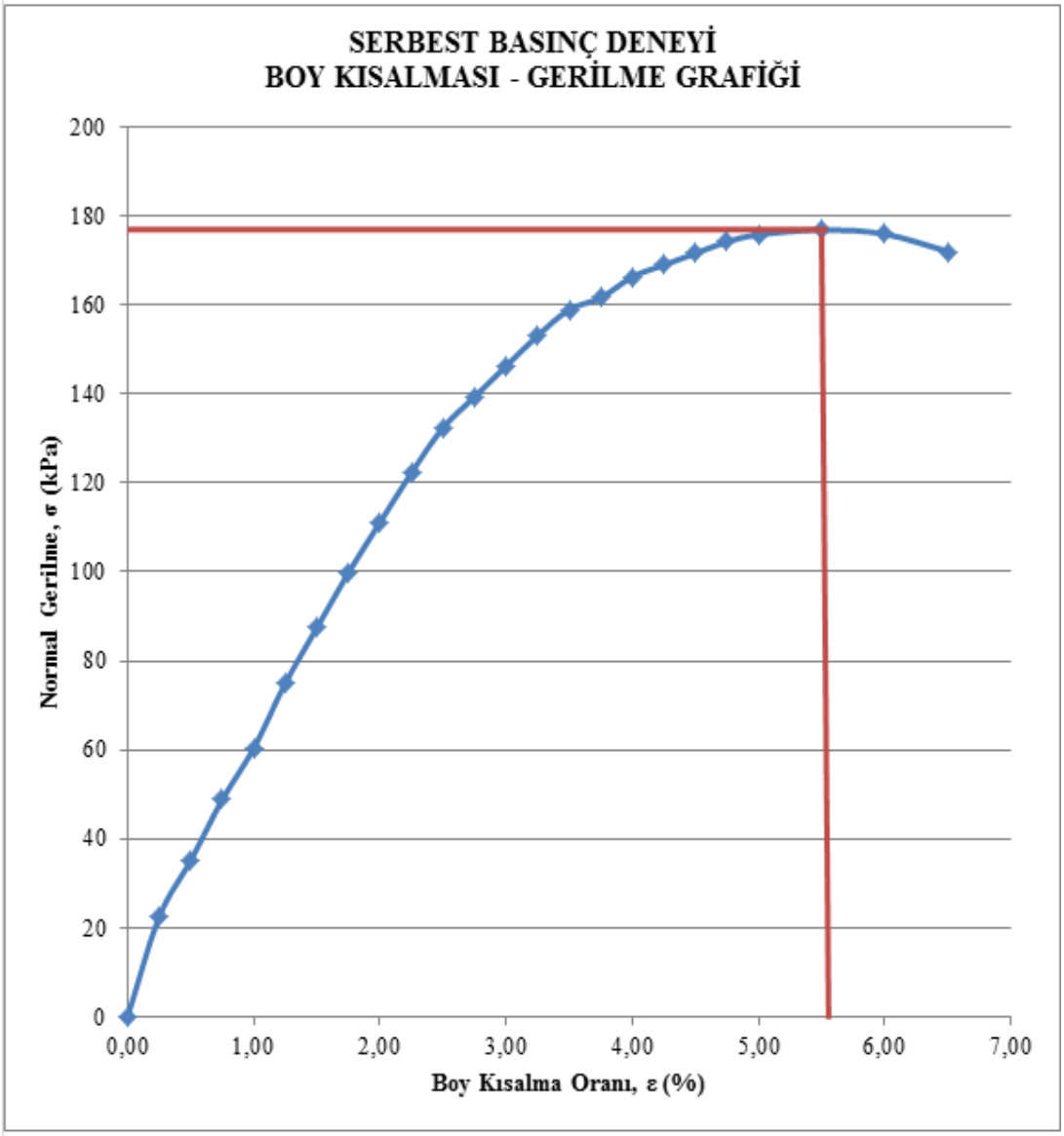
SERBEST BASINÇ DENEYİ					
NUMUNE BİLGİLERİ					
Numune No	Deney 3 Numune 5	**Numunenin Doğal Ağırlığı (g)**	338,2	**Malzeme Tipi**	% 50 Kil + %50 UK + %0.0 Fiber
Numune Çapı (cm)	5	**Numunenin Kuru Ağırlığı (g)**	282,2	**Yük Halkası Değeri (kg/div)**	0,21
Numune Yüksekliği (cm)	10	**Su Muhtevası (w, %)**	20	qu = 177 kPA	
Numunenin Yüzey Alanı (cm^2)	19,635	**gdoğal (g/cm^3)**	1,722		
Numunenin Hacmi (cm^3)	196,35	**gkuru (g/cm^3)**	1,437		

SERBEST BASINÇ DENEY OKUMALARI

Düşey Boy Kısalması (1/100 mm)	**Kuvvet Halkası Okuması (div)**	**Düşey Yük - P (kg)**	**Boy Kısalması (mm)**	**Boy Kısalma Oranı**	**Düzeltilmiş Alan A(cm^2)**	**Gerilme σ (kPa)**
0	0	0	0,00	0,00	19,635	0
25	21	4,41	0,25	0,25	19,684	22
50	33	6,93	0,50	0,50	19,734	35
75	46	9,66	0,75	0,75	19,783	49
100	57	11,97	1,00	1,00	19,833	60
125	71	14,91	1,25	1,25	19,884	75
150	83	17,43	1,50	1,50	19,934	87
175	95	19,95	1,75	1,75	19,985	100
200	106	22,26	2,00	2,00	20,036	111
225	117	24,57	2,25	2,25	20,087	122
250	127	26,67	2,50	2,50	20,138	132
275	134	28,14	2,75	2,75	20,190	139
300	141	29,61	3,00	3,00	20,242	146
325	148	31,08	3,25	3,25	20,295	153
350	154	32,34	3,50	3,50	20,347	159
375	157	32,97	3,75	3,75	20,400	162
400	162	34,02	4,00	4,00	20,453	166
425	165	34,65	4,25	4,25	20,507	169
450	168	35,28	4,50	4,50	20,560	172
475	171	35,91	4,75	4,75	20,614	174
500	173	36,33	5,00	5,00	20,668	176
550	175	36,75	5,50	5,50	20,778	177
600	175	36,75	6,00	6,00	20,888	176
650	172	36,12	6,50	6,50	21,000	172
700	166	34,86	7,00	7,00	21,113	165
750	158	33,18	7,50	7,50	21,227	156
800	126	26,46	8,00	8,00	21,342	124
850	105	22,05	8,50	8,50	21,459	103
900	98	20,58	9,00	9,00	21,577	95
950	93	19,53	9,50	9,50	21,696	90
1000		0	10,00	10,00	21,817	0
1100		0	11,00	11,00	22,062	0
1200		0	12,00	12,00	22,313	0
1300		0	13,00	13,00	22,569	0
1400		0	14,00	14,00	22,831	0
1500		0	15,00	15,00	23,100	0
1600		0	16,00	16,00	23,375	0
1700		0	17,00	17,00	23,657	0
1800		0	18,00	18,00	23,945	0
1900		0	19,00	19,00	24,241	0
2000		0	20,00	20,00	24,544	0

EK F.16

SERBEST BASINÇ DENEY GRAFİĞİ			
Numune No	Deney 3 Numune 5	**Malzeme Tipi**	% 50 Kil + %50 UK + %0.0 Fiber



q_u	177	kPA
ε	5,50	%

Şekil F.16 : Kil (%50) + UK (%50) karışımı serbest basınç deney grafiği.

EK F.17

Çizelge F.17 : Kil (%50) + UK (%50) karışımı serbest basınç deney raporu.

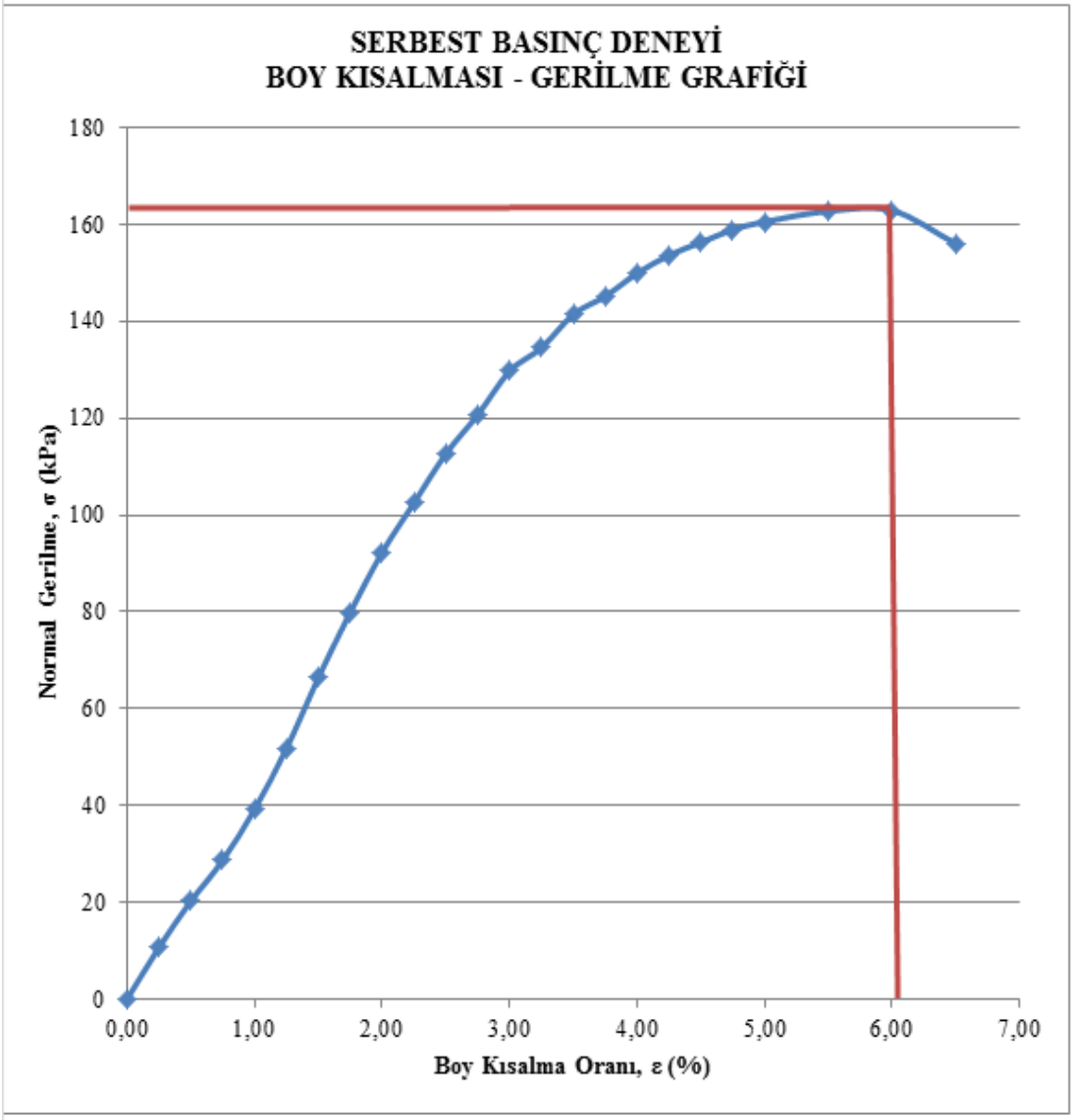
SERBEST BASINÇ DENEYİ					
NUMUNE BİLGİLERİ					
Numune No	Deney 3 Numune 6	**Numunenin Doğal Ağırlığı (g)**	338,1	**Malzeme Tipi**	% 50 Kil + %50 UK + %0.0 Fiber
Numune Çapı (cm)	5	**Numunenin Kuru Ağırlığı (g)**	282	**Yük Halkası Değeri (kg/div)**	0,21
Numune Yüksekliği (cm)	10	**Su Muhtevası (w, %)**	20	qu = 163 kPA	
Numunenin Yüzey Alanı (cm^2)	19,635	**gdoğal (g/cm^3)**	1,722		
Numunenin Hacmi (cm^3)	196,35	**gkuru (g/cm^3)**	1,436		

SERBEST BASINÇ DENEY OKUMALARI

Düşey Boy Kısalması (1/100 mm)	Kuvvet Halkası Okuması (div)	Düşey Yük - P (kg)	Boy Kısalması (mm)	Boy Kısalma Oranı	Düzeltilmiş Alan A(cm^2)	Gerilme σ (kPa)
0	0	0	0,00	0,00	19,635	0
25	10	2,1	0,25	0,25	19,684	11
50	19	3,99	0,50	0,50	19,734	20
75	27	5,67	0,75	0,75	19,783	29
100	37	7,77	1,00	1,00	19,833	39
125	49	10,29	1,25	1,25	19,884	52
150	63	13,23	1,50	1,50	19,934	66
175	76	15,96	1,75	1,75	19,985	80
200	88	18,48	2,00	2,00	20,036	92
225	98	20,58	2,25	2,25	20,087	102
250	108	22,68	2,50	2,50	20,138	113
275	116	24,36	2,75	2,75	20,190	121
300	125	26,25	3,00	3,00	20,242	130
325	130	27,3	3,25	3,25	20,295	135
350	137	28,77	3,50	3,50	20,347	141
375	141	29,61	3,75	3,75	20,400	145
400	146	30,66	4,00	4,00	20,453	150
425	150	31,5	4,25	4,25	20,507	154
450	153	32,13	4,50	4,50	20,560	156
475	156	32,76	4,75	4,75	20,614	159
500	158	33,18	5,00	5,00	20,668	161
550	161	33,81	5,50	5,50	20,778	163
600	162	34,02	6,00	6,00	20,888	163
650	156	32,76	6,50	6,50	21,000	156
700	122	25,62	7,00	7,00	21,113	121
750	89	18,69	7,50	7,50	21,227	88
800	63	13,23	8,00	8,00	21,342	62
850		0	8,50	8,50	21,459	0
900		0	9,00	9,00	21,577	0
950		0	9,50	9,50	21,696	0
1000		0	10,00	10,00	21,817	0
1100		0	11,00	11,00	22,062	0
1200		0	12,00	12,00	22,313	0
1300		0	13,00	13,00	22,569	0
1400		0	14,00	14,00	22,831	0
1500		0	15,00	15,00	23,100	0
1600		0	16,00	16,00	23,375	0
1700		0	17,00	17,00	23,657	0
1800		0	18,00	18,00	23,945	0
1900		0	19,00	19,00	24,241	0
2000		0	20,00	20,00	24,544	0

EK F.17

SERBEST BASINÇ DENEY GRAFİĞİ			
Numune No	Deney 3 Numune 6	**Malzeme Tipi**	% 50 Kil + %50 UK + %0.0 Fiber



q_u	163	kPA
ε	6,00	%

Şekil F.17 : Kil (%50) + UK (%50) karışımı serbest basınç deney grafiği.

EK F.18

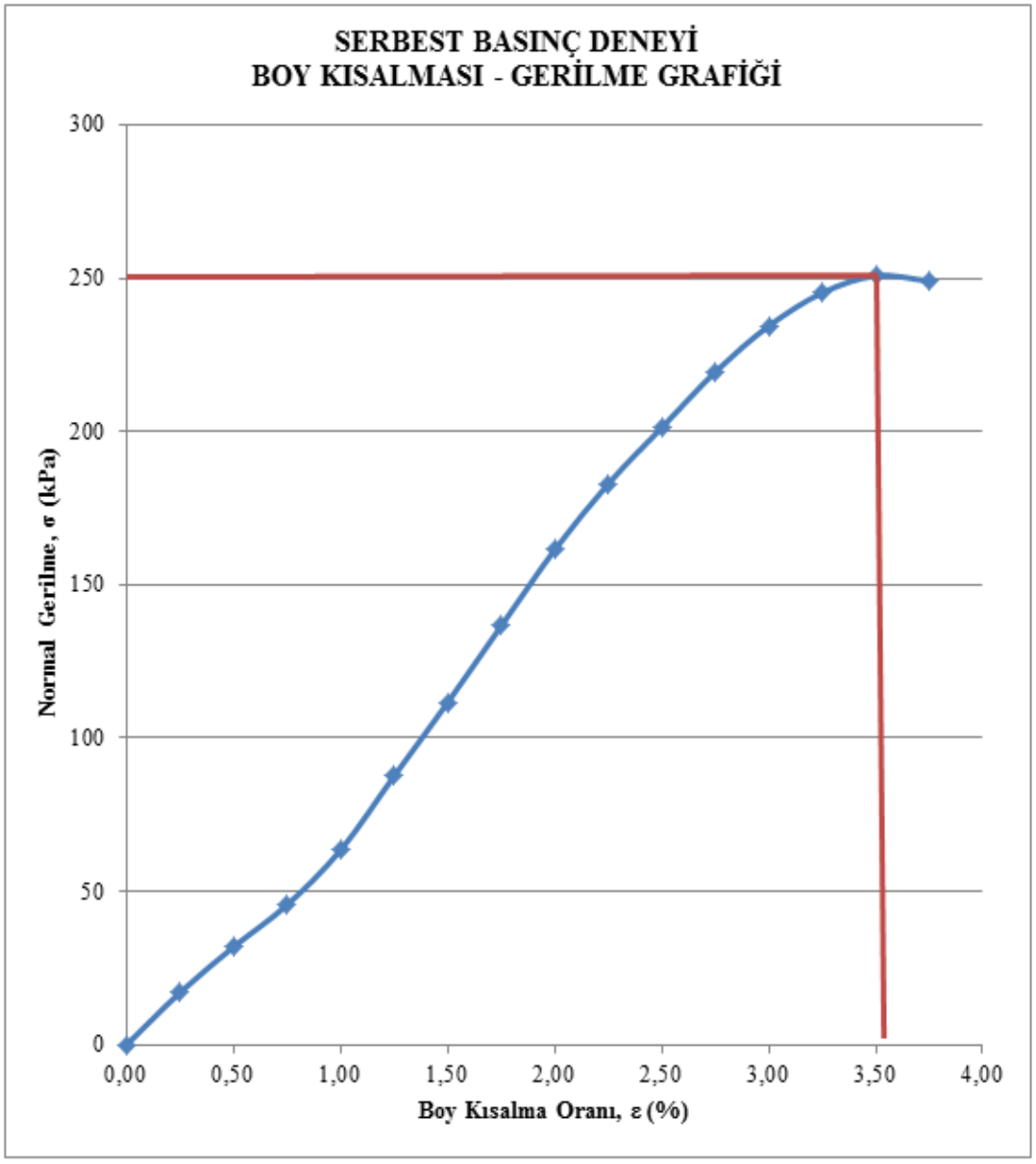
Çizelge F.18 : Kil (%50) + UK (%50) + fiber (%0.5) karışımı serbest basınç deney raporu.

NUMUNE BİLGİLERİ						
Numune No	Deney 4 Numune 1	**Numunenin Doğal Ağırlığı (g)**	327,4	**Malzeme Tipi**		% 50 Kil + %50 UK + %0.5 Fiber
Numune Çapı (cm)	5	**Numunenin Kuru Ağırlığı (g)**	280,3	**Yük Halkası Değeri (kg/div)**		0,21
Numune Yüksekliği (cm)	10	**Su Muhtevası (w, %)**	17	qu = 251 kPA		
Numunenin Yüzey Alanı (cm^2)	19,635	**gdoğal (g/cm^3)**	1,667			
Nuımunenin Hacmi (cm^3)	196,35	**gkuru (g/cm^3)**	1,428			
SERBEST BASINÇ DENEY OKUMALARI						
Düşey Boy Kısalması (1/100 mm)	**Kuvvet Halkası Okuması (div)**	**Düşey Yük - P (kg)**	**Boy Kısalması (mm)**	**Boy Kısalma Oranı ε (%)**	**Düzeltilmiş Alan A(cm^2)**	**Gerilme σ (kPa)**
0	0	0	0,00	0,00	19,635	0
25	16	3,36	0,25	0,25	19,684	17
50	30	6,3	0,50	0,50	19,734	32
75	43	9,03	0,75	0,75	19,783	46
100	60	12,6	1,00	1,00	19,833	64
125	83	17,43	1,25	1,25	19,884	88
150	106	22,26	1,50	1,50	19,934	112
175	130	27,3	1,75	1,75	19,985	137
200	154	32,34	2,00	2,00	20,036	161
225	175	36,75	2,25	2,25	20,087	183
250	193	40,53	2,50	2,50	20,138	201
275	211	44,31	2,75	2,75	20,190	219
300	226	47,46	3,00	3,00	20,242	234
325	237	49,77	3,25	3,25	20,295	245
350	243	51,03	3,50	3,50	20,347	251
375	242	50,82	3,75	3,75	20,400	249
400	223	46,83	4,00	4,00	20,453	229
425	206	43,26	4,25	4,25	20,507	211
450	198	41,58	4,50	4,50	20,560	202
475	193	40,53	4,75	4,75	20,614	197
500	188	39,48	5,00	5,00	20,668	191
550	182	38,22	5,50	5,50	20,778	184
600		0	6,00	6,00	20,888	0
650		0	6,50	6,50	21,000	0
700		0	7,00	7,00	21,113	0
750		0	7,50	7,50	21,227	0
800		0	8,00	8,00	21,342	0
850		0	8,50	8,50	21,459	0
900		0	9,00	9,00	21,577	0
950		0	9,50	9,50	21,696	0
1000		0	10,00	10,00	21,817	0
1100		0	11,00	11,00	22,062	0
1200		0	12,00	12,00	22,313	0
1300		0	13,00	13,00	22,569	0
1400		0	14,00	14,00	22,831	0
1500		0	15,00	15,00	23,100	0
1600		0	16,00	16,00	23,375	0
1700		0	17,00	17,00	23,657	0
1800		0	18,00	18,00	23,945	0
1900		0	19,00	19,00	24,241	0
2000		0	20,00	20,00	24,544	0

EK F.18

SERBEST BASINÇ DENEY GRAFİĞİ

Numune No	Deney 4 Numune 1	**Malzeme Tipi**	% 50 Kil + %50 UK + %0.5 Fiber



q_u	251	kPA
ε	3,50	%

Şekil F.18 : Kil (%50) + UK (%50) + fiber (%0.5) karışımı serbest basınç deney grafiği.

EK F.19

Çizelge F.19 : Kil (%50) + UK (%50) + fiber (%0.5) karışımı serbest basınç deney raporu.

SERBEST BASINÇ DENEYİ					
NUMUNE BİLGİLERİ					
Numune No	Deney 4 Numune 2	**Numunenin Doğal Ağırlığı (g)**	325,4	**Malzeme Tipi**	% 50 Kil + %50 UK + %0.5 Fiber
Numune Çapı (cm)	5	**Numunenin Kuru Ağırlığı (g)**	278,9	**Yük Halkası Değeri (kg/div)**	0,21
Numune Yüksekliği (cm)	10	**Su Muhtevası (w, %)**	17	qu = 286 kPA	
Numunenin Yüzey Alanı (cm^2)	19,635	**gdoğal (g/cm^3)**	1,657		
Numunenin Hacmi (cm^3)	196,35	**gkuru (g/cm^3)**	1,420		

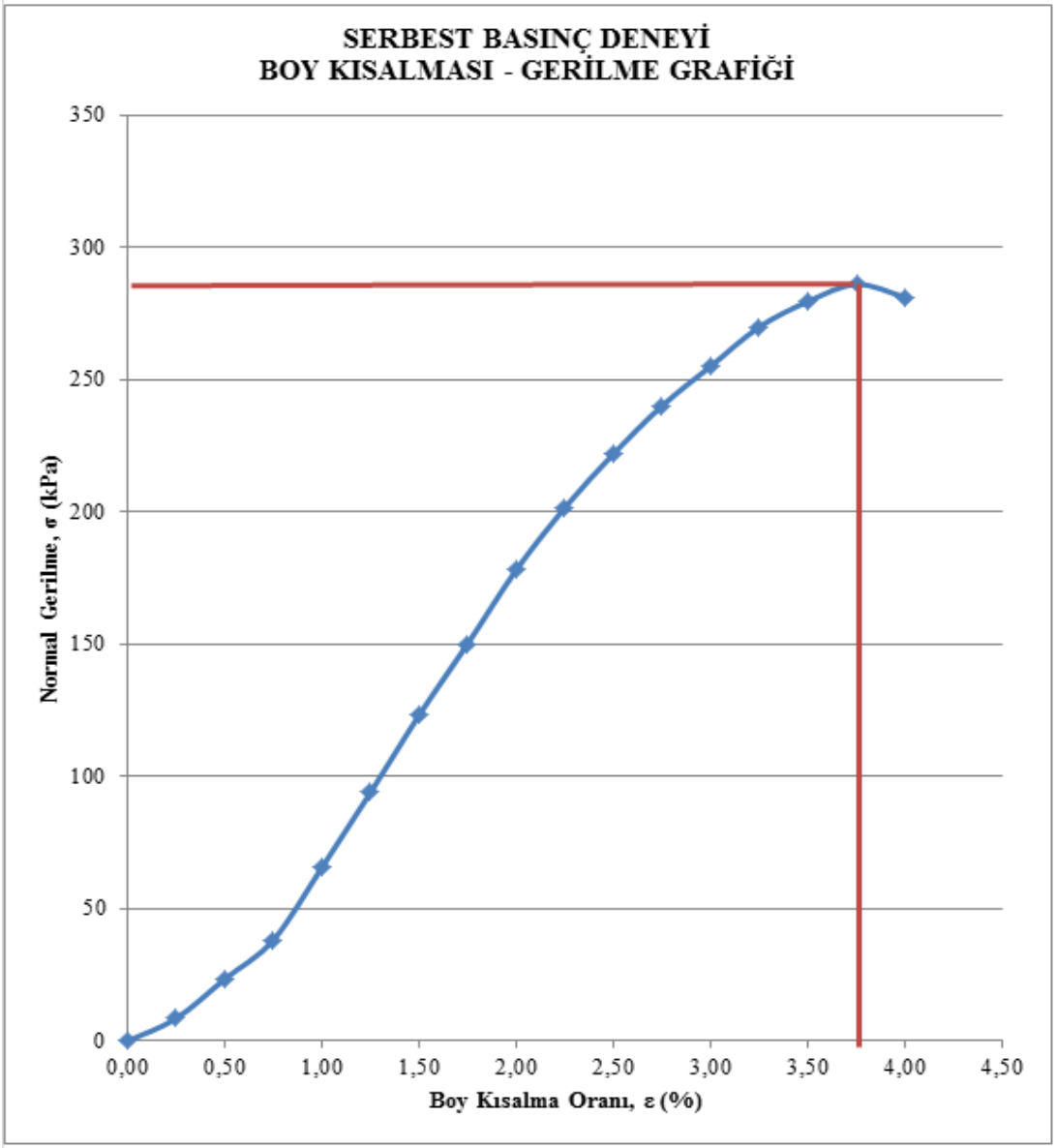
SERBEST BASINÇ DENEY OKUMALARI

Düşey Boy Kısalması (1/100 mm)	**Kuvvet Halkası Okuması (div)**	**Düşey Yük - P (kg)**	**Boy Kısalması (mm)**	**Boy Kısalma Oranı ε (%)**	**Düzeltilmiş Alan A(cm^2)**	**Gerilme σ (kPa)**
0	0	0	0,00	0,00	19,635	0
25	8	1,68	0,25	0,25	19,684	9
50	22	4,62	0,50	0,50	19,734	23
75	36	7,56	0,75	0,75	19,783	38
100	62	13,02	1,00	1,00	19,833	66
125	89	18,69	1,25	1,25	19,884	94
150	117	24,57	1,50	1,50	19,934	123
175	143	30,03	1,75	1,75	19,985	150
200	170	35,7	2,00	2,00	20,036	178
225	193	40,53	2,25	2,25	20,087	202
250	213	44,73	2,50	2,50	20,138	222
275	231	48,51	2,75	2,75	20,190	240
300	246	51,66	3,00	3,00	20,242	255
325	261	54,81	3,25	3,25	20,295	270
350	271	56,91	3,50	3,50	20,347	280
375	278	58,38	3,75	3,75	20,400	286
400	274	57,54	4,00	4,00	20,453	281
425	243	51,03	4,25	4,25	20,507	249
450	215	45,15	4,50	4,50	20,560	220
475	202	42,42	4,75	4,75	20,614	206
500	195	40,95	5,00	5,00	20,668	198
550	189	39,69	5,50	5,50	20,778	191
600		0	6,00	6,00	20,888	0
650		0	6,50	6,50	21,000	0
700		0	7,00	7,00	21,113	0
750		0	7,50	7,50	21,227	0
800		0	8,00	8,00	21,342	0
850		0	8,50	8,50	21,459	0
900		0	9,00	9,00	21,577	0
950		0	9,50	9,50	21,696	0
1000		0	10,00	10,00	21,817	0
1100		0	11,00	11,00	22,062	0
1200		0	12,00	12,00	22,313	0
1300		0	13,00	13,00	22,569	0
1400		0	14,00	14,00	22,831	0
1500		0	15,00	15,00	23,100	0
1600		0	16,00	16,00	23,375	0
1700		0	17,00	17,00	23,657	0
1800		0	18,00	18,00	23,945	0
1900		0	19,00	19,00	24,241	0
2000		0	20,00	20,00	24,544	0

EK F.19

SERBEST BASINÇ DENEY GRAFİĞİ

Numune No	Deney 4 Numune 2	**Malzeme Tipi**	% 50 Kil + %50 UK + %0.5 Fiber



q_u	286	kPA
ε	3,75	%

Şekil F.19 : Kil (%50) + UK (%50) + fiber (%0.5) karışımı serbest basınç deney grafiği.

EK F.20

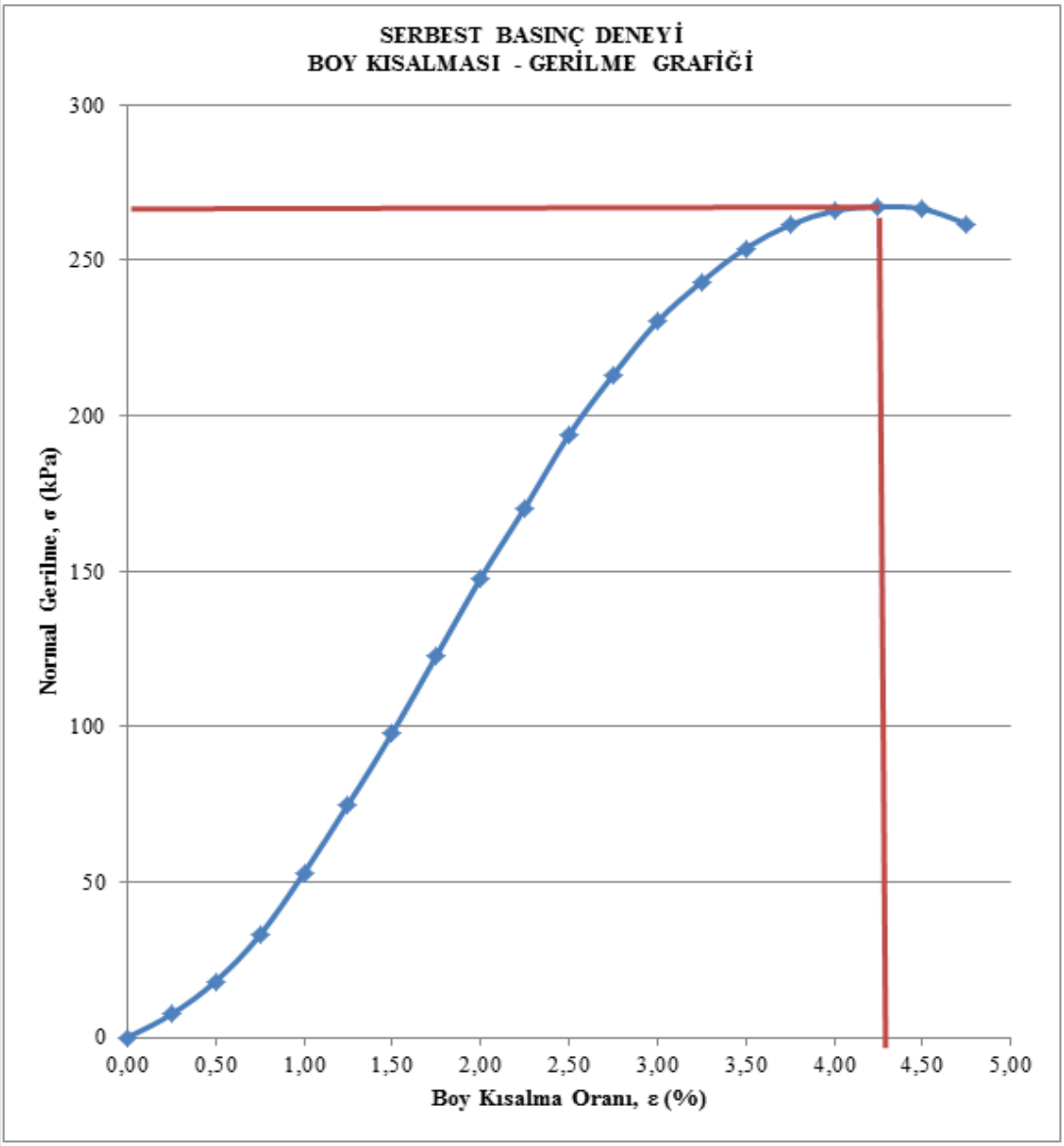
Çizelge F.20 : Kil (%50) + UK (%50) + fiber (%0.5) karışımı serbest basınç deney raporu.

SERBEST BASINÇ DENEYİ						
NUMUNE BİLGİLERİ						
Numune No	Deney 4 Numune 3	**Numunenin Doğal Ağırlığı (g)**	326,6	**Malzeme Tipi**	% 50 Kil + %50 UK + %0.5 Fiber	
Numune Çapı (cm)	5	**Numunenin Kuru Ağırlığı (g)**	279,2	**Yük Halkası Değeri (kg/div)**	0,21	
Numune Yüksekliği (cm)	10	**Su Muhtevası (w, %)**	17	qu = 267 kPA		
Numunenin Yüzey Alanı (cm^2)	19,635	**gdoğal (g/cm^3)**	1,663			
Nuımunenin Hacmi (cm^3)	196,35	**gkuru (g/cm^3)**	1,422			
SERBEST BASINÇ DENEY OKUMALARI						
Düşey Boy Kısalması (1/100 mm)	**Kuvvet Halkası Okuması (div)**	**Düşey Yük - P (kg)**	**Boy Kısalması (mm)**	**Boy Kısalma Oranı ε (%)**	**Düzeltilmiş Alan A(cm^2)**	**Gerilme σ (kPa)**
0	0	0	0,00	0,00	19,635	0
25	7	1,47	0,25	0,25	19,684	7
50	17	3,57	0,50	0,50	19,734	18
75	31	6,51	0,75	0,75	19,783	33
100	50	10,5	1,00	1,00	19,833	53
125	71	14,91	1,25	1,25	19,884	75
150	93	19,53	1,50	1,50	19,934	98
175	117	24,57	1,75	1,75	19,985	123
200	141	29,61	2,00	2,00	20,036	148
225	163	34,23	2,25	2,25	20,087	170
250	186	39,06	2,50	2,50	20,138	194
275	205	43,05	2,75	2,75	20,190	213
300	222	46,62	3,00	3,00	20,242	230
325	235	49,35	3,25	3,25	20,295	243
350	246	51,66	3,50	3,50	20,347	254
375	254	53,34	3,75	3,75	20,400	261
400	259	54,39	4,00	4,00	20,453	266
425	261	54,81	4,25	4,25	20,507	267
450	261	54,81	4,50	4,50	20,560	267
475	257	53,97	4,75	4,75	20,614	262
500	249	52,29	5,00	5,00	20,668	253
550	208	43,68	5,50	5,50	20,778	210
600	187	39,27	6,00	6,00	20,888	188
650	175	36,75	6,50	6,50	21,000	175
700		0	7,00	7,00	21,113	0
750		0	7,50	7,50	21,227	0
800		0	8,00	8,00	21,342	0
850		0	8,50	8,50	21,459	0
900		0	9,00	9,00	21,577	0
950		0	9,50	9,50	21,696	0
1000		0	10,00	10,00	21,817	0
1100		0	11,00	11,00	22,062	0
1200		0	12,00	12,00	22,313	0
1300		0	13,00	13,00	22,569	0
1400		0	14,00	14,00	22,831	0
1500		0	15,00	15,00	23,100	0
1600		0	16,00	16,00	23,375	0
1700		0	17,00	17,00	23,657	0
1800		0	18,00	18,00	23,945	0
1900		0	19,00	19,00	24,241	0
2000		0	20,00	20,00	24,544	0

EK F.20

SERBEST BASINÇ DENEY GRAFİĞİ

Numune No	Deney 4 Numune 3	**Malzeme Tipi**	% 50 Kil + %50 UK + %0.5 Fiber



q_u	267	kPA
ε	4,25	%

Şekil F.20 : Kil (%50) + UK (%50) + fiber (%0.5) karışımı serbest basınç deney grafiği.

EK F.21

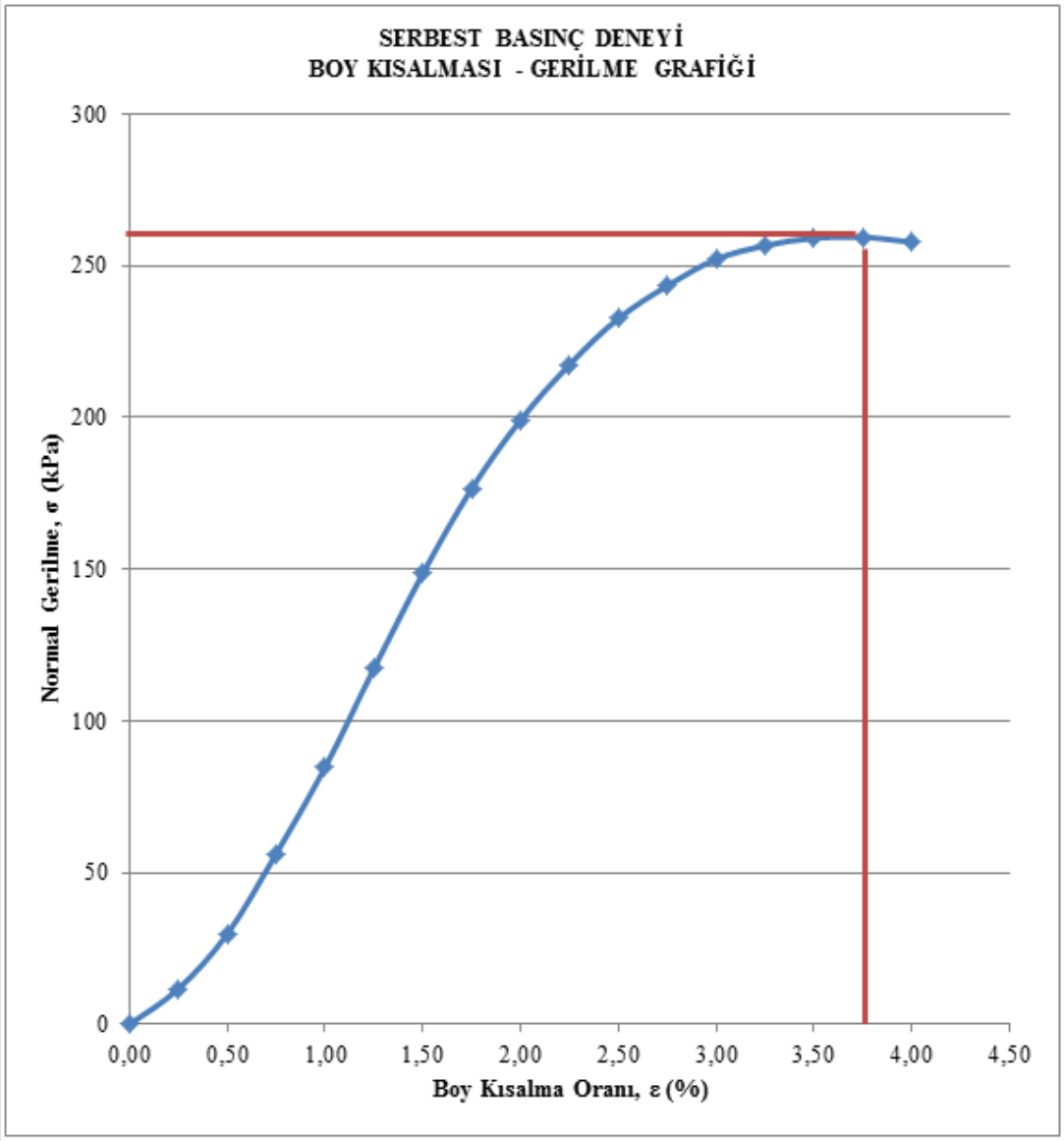
Çizelge F.21 : Kil (%50) + UK (%50) + fiber (%0.5) karışımı serbest basınç deney raporu.

SERBEST BASINÇ DENEYİ						
NUMUNE BİLGİLERİ						
Numune No	Deney 4 Numune 4	**Numunenin Doğal Ağırlığı (g)**	331,4	**Malzeme Tipi**	% 50 Kil + %50 UK + %0.5 Fiber	
Numune Çapı (cm)	5	**Numunenin Kuru Ağırlığı (g)**	283,6	**Yük Halkası Değeri (kg/div)**	0,21	
Numune Yüksekliği (cm)	10	**Su Muhtevası (w, %)**	17	qu = 259 kPA		
Numunenin Yüzey Alanı (cm^2)	19,635	**gdoğal (g/cm^3)**	1,688			
Nuımunenin Hacmi (cm^3)	196,35	**gkuru (g/cm^3)**	1,444			
SERBEST BASINÇ DENEY OKUMALARI						
Düşey Boy Kısalması (1/100 mm)	**Kuvvet Halkası Okuması (div)**	**Düşey Yük - P (kg)**	**Boy Kısalması (mm)**	**Boy Kısalma Oranı ε (%)**	**Düzeltilmiş Alan A(cm^2)**	**Gerilme σ (kPa)**
0	0	0	0,00	0,00	19,635	0
25	11	2,31	0,25	0,25	19,684	12
50	28	5,88	0,50	0,50	19,734	30
75	53	11,13	0,75	0,75	19,783	56
100	80	16,8	1,00	1,00	19,833	85
125	111	23,31	1,25	1,25	19,884	117
150	141	29,61	1,50	1,50	19,934	149
175	168	35,28	1,75	1,75	19,985	177
200	190	39,9	2,00	2,00	20,036	199
225	208	43,68	2,25	2,25	20,087	217
250	223	46,83	2,50	2,50	20,138	233
275	234	49,14	2,75	2,75	20,190	243
300	243	51,03	3,00	3,00	20,242	252
325	248	52,08	3,25	3,25	20,295	257
350	251	52,71	3,50	3,50	20,347	259
375	252	52,92	3,75	3,75	20,400	259
400	251	52,71	4,00	4,00	20,453	258
425	251	52,71	4,25	4,25	20,507	257
450	248	52,08	4,50	4,50	20,560	253
475	244	51,24	4,75	4,75	20,614	249
500	234	49,14	5,00	5,00	20,668	238
550	218	45,78	5,50	5,50	20,778	220
600	180	37,8	6,00	6,00	20,888	181
650	168	35,28	6,50	6,50	21,000	168
700		0	7,00	7,00	21,113	0
750		0	7,50	7,50	21,227	0
800		0	8,00	8,00	21,342	0
850		0	8,50	8,50	21,459	0
900		0	9,00	9,00	21,577	0
950		0	9,50	9,50	21,696	0
1000		0	10,00	10,00	21,817	0
1100		0	11,00	11,00	22,062	0
1200		0	12,00	12,00	22,313	0
1300		0	13,00	13,00	22,569	0
1400		0	14,00	14,00	22,831	0
1500		0	15,00	15,00	23,100	0
1600		0	16,00	16,00	23,375	0
1700		0	17,00	17,00	23,657	0
1800		0	18,00	18,00	23,945	0
1900		0	19,00	19,00	24,241	0
2000		0	20,00	20,00	24,544	0

EK F.21

SERBEST BASINÇ DENEY GRAFİĞİ

Numune No	Deney 4 Numune 4	**Malzeme Tipi**	% 50 Kil + %50 UK + %0.5 Fiber



q_u	259	kPA
ε	3,75	%

Şekil F.21 : Kil (%50) + UK (%50) + fiber (%0.5) karışımı serbest basınç deney grafiği.

EK F.22

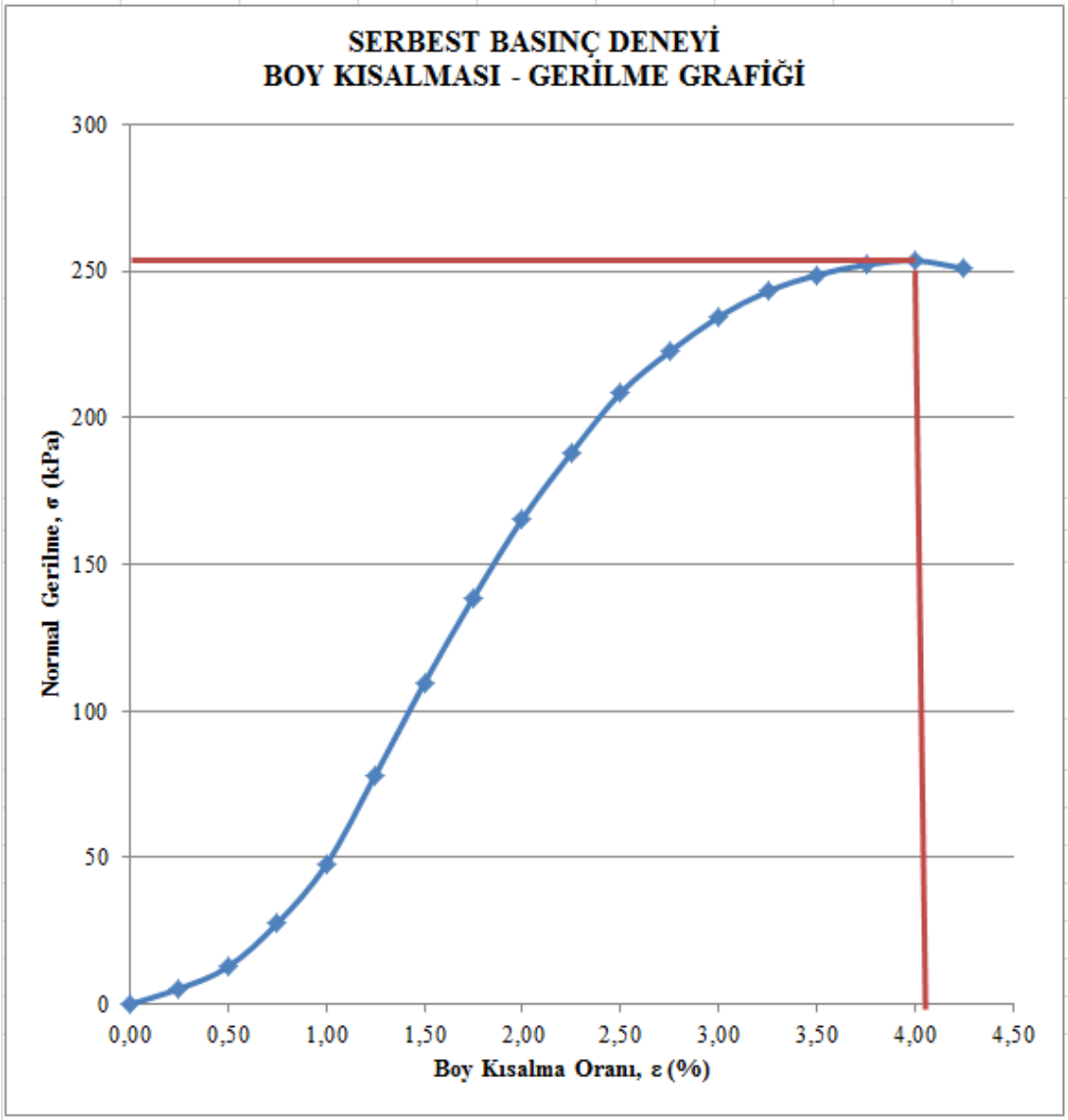
Çizelge F.22 : Kil (%50) + UK (%50) + fiber (%0.5) karışımı serbest basınç deney raporu.

SERBEST BASINÇ DENEYİ						
NUMUNE BİLGİLERİ						
Numune No	Deney 4 Numune 5	**Numunenin Doğal Ağırlığı (g)**	333,2	**Malzeme Tipi**	% 50 Kil + %50 UK + %0.5 Fiber	
Numune Çapı (cm)	5	**Numunenin Kuru Ağırlığı (g)**	284,3	**Yük Halkası Değeri (kg/div)**	0,21	
Numune Yüksekliği (cm)	10	**Su Muhtevası (w, %)**	17	qu = 254 kPA		
Numunenin Yüzey Alanı (cm^2)	19,635	**gdoğal (g/cm^3)**	1,697			
Nuımunenin Hacmi (cm^3)	196,35	**gkuru (g/cm^3)**	1,448			
SERBEST BASINÇ DENEY OKUMALARI						
Düşey Boy Kısalması (1/100 mm)	**Kuvvet Halkası Okuması (div)**	**Düşey Yük - P (kg)**	**Boy Kısalması (mm)**	**Boy Kısalma Oranı ε (%)**	**Düzeltilmiş Alan A(cm^2)**	**Gerilme σ (kPa)**
0	0	0	0,00	0,00	19,635	0
25	5	1,05	0,25	0,25	19,684	5
50	12	2,52	0,50	0,50	19,734	13
75	26	5,46	0,75	0,75	19,783	28
100	45	9,45	1,00	1,00	19,833	48
125	74	15,54	1,25	1,25	19,884	78
150	104	21,84	1,50	1,50	19,934	110
175	132	27,72	1,75	1,75	19,985	139
200	158	33,18	2,00	2,00	20,036	166
225	180	37,8	2,25	2,25	20,087	188
250	200	42	2,50	2,50	20,138	209
275	214	44,94	2,75	2,75	20,190	223
300	226	47,46	3,00	3,00	20,242	234
325	235	49,35	3,25	3,25	20,295	243
350	241	50,61	3,50	3,50	20,347	249
375	245	51,45	3,75	3,75	20,400	252
400	247	51,87	4,00	4,00	20,453	254
425	245	51,45	4,25	4,25	20,507	251
450	228	47,88	4,50	4,50	20,560	233
475	213	44,73	4,75	4,75	20,614	217
500	204	42,84	5,00	5,00	20,668	207
550	192	40,32	5,50	5,50	20,778	194
600	183	38,43	6,00	6,00	20,888	184
650	174	36,54	6,50	6,50	21,000	174
700	165	34,65	7,00	7,00	21,113	164
750		0	7,50	7,50	21,227	0
800		0	8,00	8,00	21,342	0
850		0	8,50	8,50	21,459	0
900		0	9,00	9,00	21,577	0
950		0	9,50	9,50	21,696	0
1000		0	10,00	10,00	21,817	0
1100		0	11,00	11,00	22,062	0
1200		0	12,00	12,00	22,313	0
1300		0	13,00	13,00	22,569	0
1400		0	14,00	14,00	22,831	0
1500		0	15,00	15,00	23,100	0
1600		0	16,00	16,00	23,375	0
1700		0	17,00	17,00	23,657	0
1800		0	18,00	18,00	23,945	0
1900		0	19,00	19,00	24,241	0
2000		0	20,00	20,00	24,544	0

EK F.22

SERBEST BASINÇ DENEY GRAFİĞİ

Numune No	Deney 4 Numune 5	**Malzeme Tipi**	% 50 Kil + %50 UK + %0.5 Fiber



q_u	254	kPA
ε	4,00	%

Şekil F.22 : Kil (%50) + UK (%50) + fiber (%0.5) karışımı serbest basınç deney grafiği.

EK F.23

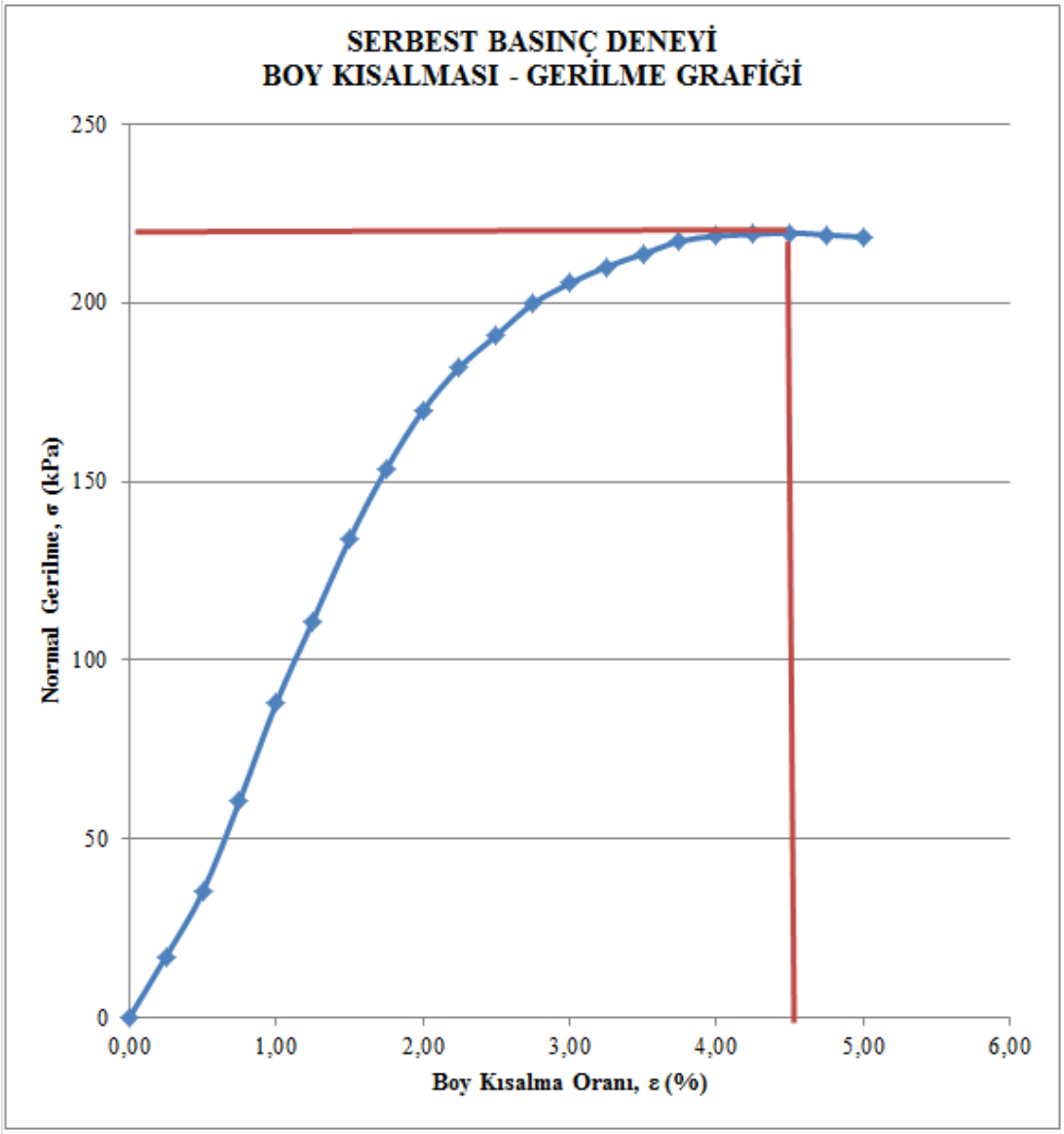
Çizelge F.23 : Kil (%50) + UK (%50) + fiber (%0.5) karışımı serbest basınç deney raporu.

SERBEST BASINÇ DENEYİ						
NUMUNE BİLGİLERİ						
Numune No	Deney 4 Numune 6	**Numunenin Doğal Ağırlığı (g)**	340,6	**Malzeme Tipi**	% 50 Kil + %50 UK + %0.5 Fiber	
Numune Çapı (cm)	5	**Numunenin Kuru Ağırlığı (g)**	287,9	**Yük Halkası Değeri (kg/div)**	0,21	
Numune Yüksekliği (cm)	10	**Su Muhtevası (w, %)**	18	qu = 220 kPA		
Numunenin Yüzey Alanı (cm^2)	19,635	**gdoğal (g/cm^3)**	1,735			
Numunenin Hacmi (cm^3)	196,35	**gkuru (g/cm^3)**	1,466			
SERBEST BASINÇ DENEY OKUMALARI						
Düşey Boy Kısalması (1/100 mm)	**Kuvvet Halkası Okuması (div)**	**Düşey Yük - P (kg)**	**Boy Kısalması (mm)**	**Boy Kısalma Oranı ε (%)**	**Düzeltilmiş Alan A(cm^2)**	**Gerilme σ (kPa)**
0	0	0	0,00	0,00	19,635	0
25	16	3,36	0,25	0,25	19,684	17
50	33	6,93	0,50	0,50	19,734	35
75	57	11,97	0,75	0,75	19,783	61
100	83	17,43	1,00	1,00	19,833	88
125	105	22,05	1,25	1,25	19,884	111
150	127	26,67	1,50	1,50	19,934	134
175	146	30,66	1,75	1,75	19,985	153
200	162	34,02	2,00	2,00	20,036	170
225	174	36,54	2,25	2,25	20,087	182
250	183	38,43	2,50	2,50	20,138	191
275	192	40,32	2,75	2,75	20,190	200
300	198	41,58	3,00	3,00	20,242	205
325	203	42,63	3,25	3,25	20,295	210
350	207	43,47	3,50	3,50	20,347	214
375	211	44,31	3,75	3,75	20,400	217
400	213	44,73	4,00	4,00	20,453	219
425	214	44,94	4,25	4,25	20,507	219
450	215	45,15	4,50	4,50	20,560	220
475	215	45,15	4,75	4,75	20,614	219
500	215	45,15	5,00	5,00	20,668	218
550	214	44,94	5,50	5,50	20,778	216
600	212	44,52	6,00	6,00	20,888	213
650	205	43,05	6,50	6,50	21,000	205
700	193	40,53	7,00	7,00	21,113	192
750	178	37,38	7,50	7,50	21,227	176
800	164	34,44	8,00	8,00	21,342	161
850	155	32,55	8,50	8,50	21,459	152
900	149	31,29	9,00	9,00	21,577	145
950	143	30,03	9,50	9,50	21,696	138
1000		0	10,00	10,00	21,817	0
1100		0	11,00	11,00	22,062	0
1200		0	12,00	12,00	22,313	0
1300		0	13,00	13,00	22,569	0
1400		0	14,00	14,00	22,831	0
1500		0	15,00	15,00	23,100	0
1600		0	16,00	16,00	23,375	0
1700		0	17,00	17,00	23,657	0
1800		0	18,00	18,00	23,945	0
1900		0	19,00	19,00	24,241	0
2000		0	20,00	20,00	24,544	0

EK F.23

SERBEST BASINÇ DENEY GRAFİĞİ

Numune No	Deney 4 Numune 6	**Malzeme Tipi**	% 50 Kil + %50 UK + %0.5 Fiber



q_u	220	kPA
ε	4,50	%

Şekil F.23 : Kil (%50) + UK (%50) + fiber (%0.5) karışımı serbest basınç deney grafiği.

EK F.24

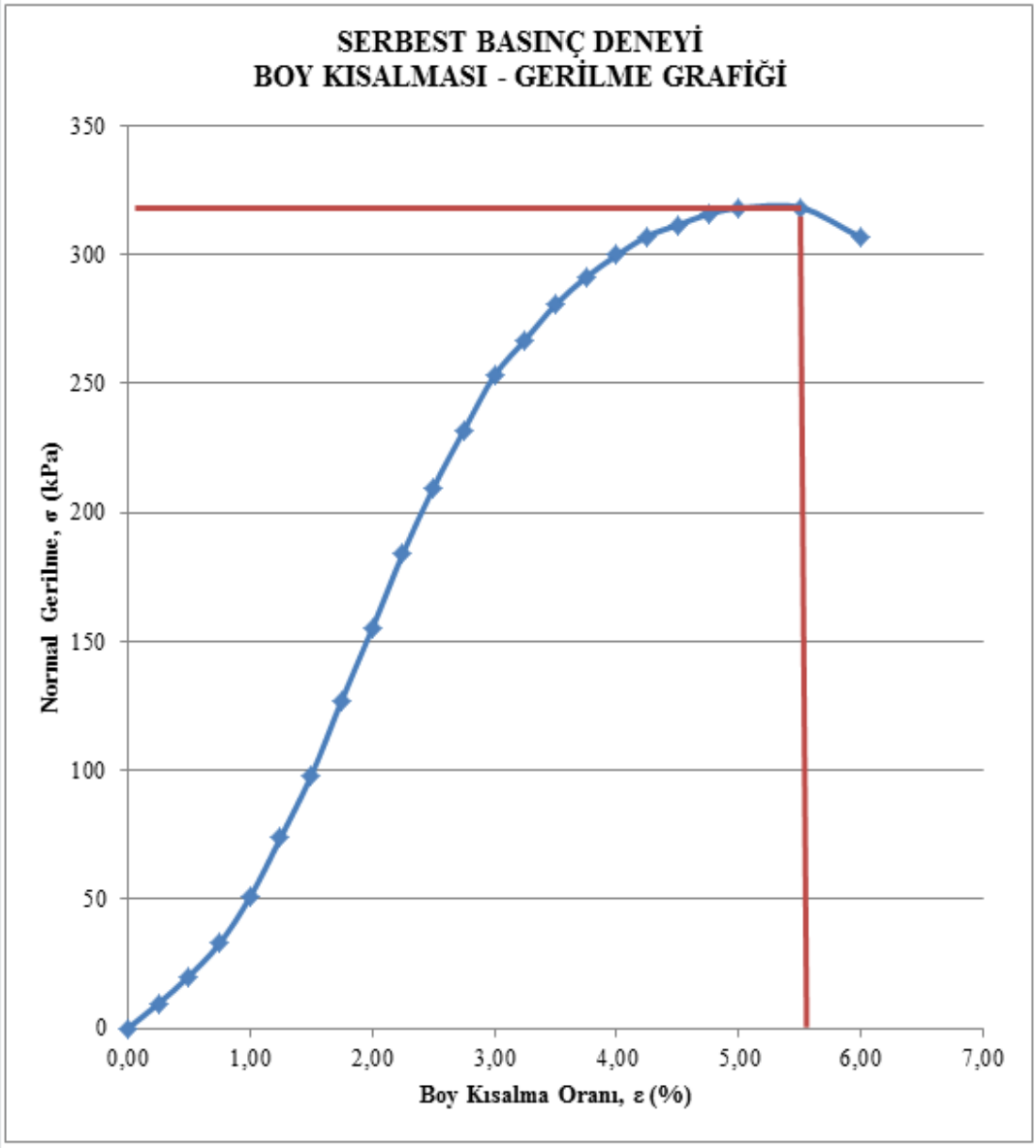
Çizelge F.24 : Kil (%50) + UK (%50) + fiber (%1.0) karışımı serbest basınç deney raporu.

SERBEST BASINÇ DENEYİ						
NUMUNE BİLGİLERİ						
Numune No	Deney 5 Numune 1	**Numunenin Doğal Ağırlığı (g)**	321,4	**Malzeme Tipi**	% 50 Kil + %50 UK + %1.0 Fiber	
Numune Çapı (cm)	5	**Numunenin Kuru Ağırlığı (g)**	277,5	**Yük Halkası Değeri (kg/div)**	0,21	
Numune Yüksekliği (cm)	10	**Su Muhtevası (w, %)**	16	qu = 318 kPA		
Numunenin Yüzey Alanı (cm^2)	19,635	**gdoğal (g/cm^3)**	1,637			
Numunenin Hacmi (cm^3)	196,35	**gkuru (g/cm^3)**	1,413			
SERBEST BASINÇ DENEY OKUMALARI						
Düşey Boy Kısalması (1/100 mm)	**Kuvvet Halkası Okuması (div)**	**Düşey Yük - P (kg)**	**Boy Kısalması (mm)**	**Boy Kısalma Oranı ε (%)**	**Düzeltilmiş Alan A(cm^2)**	**Gerilme σ (kPa)**
0	0	0	0,00	0,00	19,635	0
25	9	1,89	0,25	0,25	19,684	10
50	19	3,99	0,50	0,50	19,734	20
75	31	6,51	0,75	0,75	19,783	33
100	48	10,08	1,00	1,00	19,833	51
125	70	14,7	1,25	1,25	19,884	74
150	93	19,53	1,50	1,50	19,934	98
175	121	25,41	1,75	1,75	19,985	127
200	148	31,08	2,00	2,00	20,036	155
225	176	36,96	2,25	2,25	20,087	184
250	201	42,21	2,50	2,50	20,138	210
275	223	46,83	2,75	2,75	20,190	232
300	244	51,24	3,00	3,00	20,242	253
325	258	54,18	3,25	3,25	20,295	267
350	272	57,12	3,50	3,50	20,347	281
375	283	59,43	3,75	3,75	20,400	291
400	292	61,32	4,00	4,00	20,453	300
425	300	63	4,25	4,25	20,507	307
450	305	64,05	4,50	4,50	20,560	312
475	310	65,1	4,75	4,75	20,614	316
500	313	65,73	5,00	5,00	20,668	318
550	315	66,15	5,50	5,50	20,778	318
600	305	64,05	6,00	6,00	20,888	307
650	252	52,92	6,50	6,50	21,000	252
700	224	47,04	7,00	7,00	21,113	223
750	212	44,52	7,50	7,50	21,227	210
800	205	43,05	8,00	8,00	21,342	202
850		0	8,50	8,50	21,459	0
900		0	9,00	9,00	21,577	0
950		0	9,50	9,50	21,696	0
1000		0	10,00	10,00	21,817	0
1100		0	11,00	11,00	22,062	0
1200		0	12,00	12,00	22,313	0
1300		0	13,00	13,00	22,569	0
1400		0	14,00	14,00	22,831	0
1500		0	15,00	15,00	23,100	0
1600		0	16,00	16,00	23,375	0
1700		0	17,00	17,00	23,657	0
1800		0	18,00	18,00	23,945	0
1900		0	19,00	19,00	24,241	0
2000		0	20,00	20,00	24,544	0

EK F.24

SERBEST BASINÇ DENEY GRAFİĞİ

Numune No	Deney 5 Numune 1	**Malzeme Tipi**	% 50 Kil + %50 UK + %1.0 Fiber



q_u	318	kPA
ε	5,50	%

Şekil F.24 : Kil (%50) + UK (%50) + fiber (%1.0) karışımı serbest basınç deney grafiği.

EK F.25

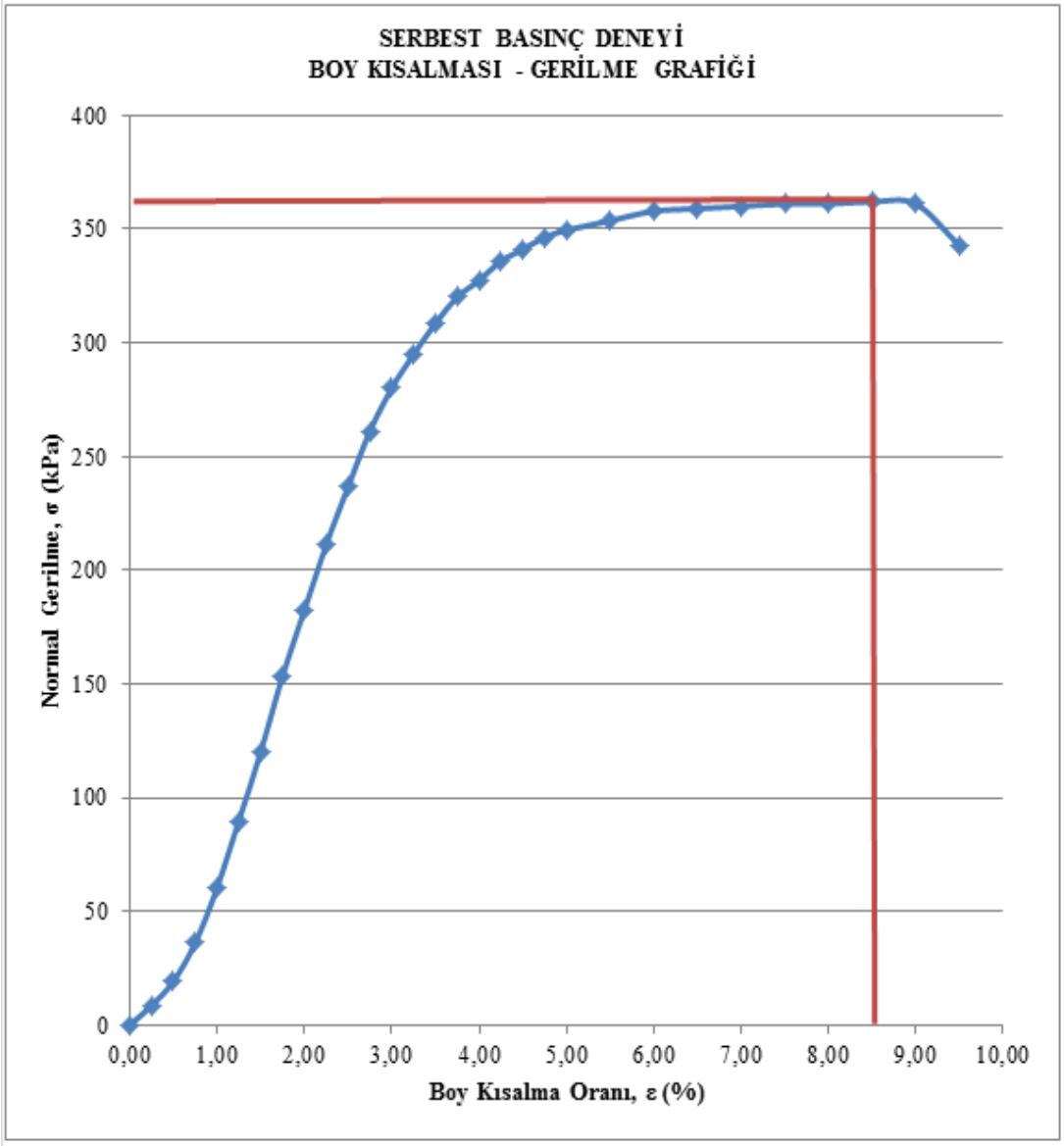
Çizelge F.25 : Kil (%50) + UK (%50) + fiber (%1.0) karışımı serbest basınç deney raporu.

SERBEST BASINÇ DENEYİ						
NUMUNE BİLGİLERİ						
Numune No	Deney 5 Numune 2	**Numunenin Doğal Ağırlığı (g)**	325,6	**Malzeme Tipi**	% 50 Kil + %50 UK + %1.0 Fiber	
Numune Çapı (cm)	5	**Numunenin Kuru Ağırlığı (g)**	279,5	**Yük Halkası Değeri (kg/div)**	0,21	
Numune Yüksekliği (cm)	10	**Su Muhtevası (w, %)**	16	qu = 362 kPA		
Numunenin Yüzey Alanı (cm^2)	19,635	**gdoğal (g/cm^3)**	1,658			
Numunenin Hacmi (cm^3)	196,35	**gkuru (g/cm^3)**	1,423			
SERBEST BASINÇ DENEY OKUMALARI						
Düşey Boy Kısalması (1/100 mm)	**Kuvvet Halkası Okuması (div)**	**Düşey Yük - P (kg)**	**Boy Kısalması (mm)**	**Boy Kısalma Oranı ε (%)**	**Düzeltilmiş Alan A(cm^2)**	**Gerilme σ (kPa)**
0	0	0	0,00	0,00	19,635	0
25	8	1,68	0,25	0,25	19,684	9
50	18	3,78	0,50	0,50	19,734	19
75	34	7,14	0,75	0,75	19,783	36
100	57	11,97	1,00	1,00	19,833	60
125	85	17,85	1,25	1,25	19,884	90
150	114	23,94	1,50	1,50	19,934	120
175	146	30,66	1,75	1,75	19,985	153
200	174	36,54	2,00	2,00	20,036	182
225	202	42,42	2,25	2,25	20,087	211
250	227	47,67	2,50	2,50	20,138	237
275	251	52,71	2,75	2,75	20,190	261
300	270	56,7	3,00	3,00	20,242	280
325	285	59,85	3,25	3,25	20,295	295
350	299	62,79	3,50	3,50	20,347	309
375	311	65,31	3,75	3,75	20,400	320
400	319	66,99	4,00	4,00	20,453	328
425	328	68,88	4,25	4,25	20,507	336
450	334	70,14	4,50	4,50	20,560	341
475	340	71,4	4,75	4,75	20,614	346
500	344	72,24	5,00	5,00	20,668	350
550	350	73,5	5,50	5,50	20,778	354
600	356	74,76	6,00	6,00	20,888	358
650	359	75,39	6,50	6,50	21,000	359
700	362	76,02	7,00	7,00	21,113	360
750	365	76,65	7,50	7,50	21,227	361
800	367	77,07	8,00	8,00	21,342	361
850	370	77,7	8,50	8,50	21,459	362
900	371	77,91	9,00	9,00	21,577	361
950	354	74,34	9,50	9,50	21,696	343
1000	296	62,16	10,00	10,00	21,817	285
1100	250	52,5	11,00	11,00	22,062	238
1200		0	12,00	12,00	22,313	0
1300		0	13,00	13,00	22,569	0
1400		0	14,00	14,00	22,831	0
1500		0	15,00	15,00	23,100	0
1600		0	16,00	16,00	23,375	0
1700		0	17,00	17,00	23,657	0
1800		0	18,00	18,00	23,945	0
1900		0	19,00	19,00	24,241	0
2000		0	20,00	20,00	24,544	0

EK F.25

SERBEST BASINÇ DENEY GRAFİĞİ

Numune No	Deney 5 Numune 2	**Malzeme Tipi**	% 50 Kil + %50 UK + %1.0 Fiber



q_u	362	kPA
ε	8,50	%

Şekil F.25 : Kil (%50) + UK (%50) + fiber (%1.0) karışımı serbest basınç deney grafiği.

EK F.26

Çizelge F.26 : Kil (%50) + UK (%50) + fiber (%1.0) karışımı serbest basınç deney raporu.

SERBEST BASINÇ DENEYİ					
NUMUNE BİLGİLERİ					
Numune No	Deney 5 Numune 3	**Numunenin Doğal Ağırlığı (g)**	331,6	**Malzeme Tipi**	% 50 Kil + %50 UK + %1.0 Fiber
Numune Çapı (cm)	5	**Numunenin Kuru Ağırlığı (g)**	283,8	**Yük Halkası Değeri (kg/div)**	0,21
Numune Yüksekliği (cm)	10	**Su Muhtevası (w, %)**	17	qu = 293 kPA	
Numunenin Yüzey Alanı (cm^2)	19,635	**gdoğal (g/cm^3)**	1,689		
Numunenin Hacmi (cm^3)	196,35	**gkuru (g/cm^3)**	1,445		

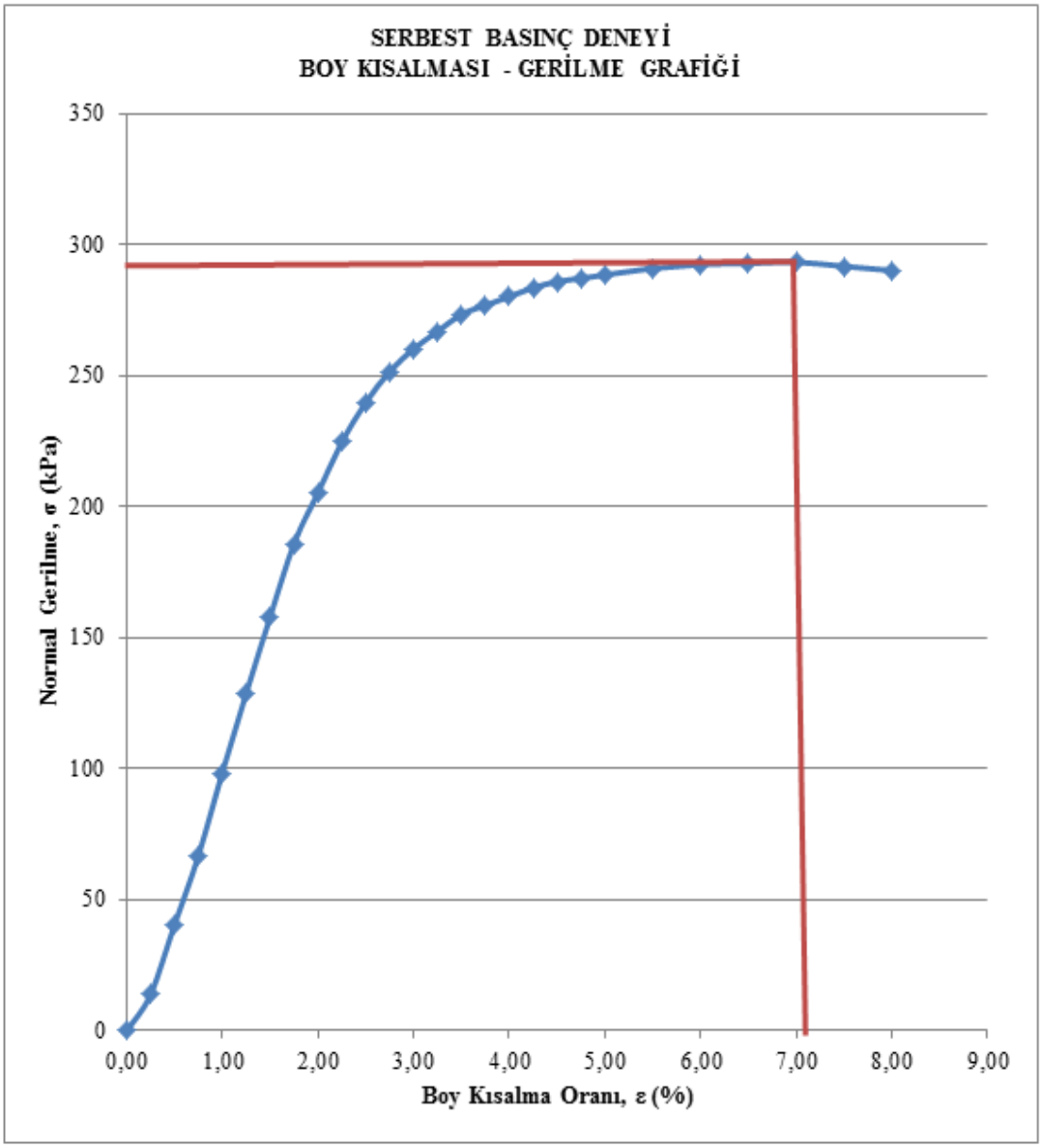
SERBEST BASINÇ DENEY OKUMALARI

Düşey Boy Kısalması (1/100 mm)	**Kuvvet Halkası Okuması (div)**	**Düşey Yük - P (kg)**	**Boy Kısalması (mm)**	**Boy Kısalma Oranı ε (%)**	**Düzeltilmiş Alan A(cm^2)**	**Gerilme σ (kPa)**
0	0	0	0,00	0,00	19,635	0
25	13	2,73	0,25	0,25	19,684	14
50	38	7,98	0,50	0,50	19,734	40
75	63	13,23	0,75	0,75	19,783	67
100	93	19,53	1,00	1,00	19,833	98
125	122	25,62	1,25	1,25	19,884	129
150	150	31,5	1,50	1,50	19,934	158
175	177	37,17	1,75	1,75	19,985	186
200	196	41,16	2,00	2,00	20,036	205
225	215	45,15	2,25	2,25	20,087	225
250	230	48,3	2,50	2,50	20,138	240
275	242	50,82	2,75	2,75	20,190	252
300	251	52,71	3,00	3,00	20,242	260
325	258	54,18	3,25	3,25	20,295	267
350	265	55,65	3,50	3,50	20,347	274
375	269	56,49	3,75	3,75	20,400	277
400	273	57,33	4,00	4,00	20,453	280
425	277	58,17	4,25	4,25	20,507	284
450	280	58,8	4,50	4,50	20,560	286
475	282	59,22	4,75	4,75	20,614	287
500	284	59,64	5,00	5,00	20,668	289
550	288	60,48	5,50	5,50	20,778	291
600	291	61,11	6,00	6,00	20,888	293
650	293	61,53	6,50	6,50	21,000	293
700	295	61,95	7,00	7,00	21,113	293
750	295	61,95	7,50	7,50	21,227	292
800	295	61,95	8,00	8,00	21,342	290
850	292	61,32	8,50	8,50	21,459	286
900	285	59,85	9,00	9,00	21,577	277
950	269	56,49	9,50	9,50	21,696	260
1000	235	49,35	10,00	10,00	21,817	226
1100		0	11,00	11,00	22,062	0
1200		0	12,00	12,00	22,313	0
1300		0	13,00	13,00	22,569	0
1400		0	14,00	14,00	22,831	0
1500		0	15,00	15,00	23,100	0
1600		0	16,00	16,00	23,375	0
1700		0	17,00	17,00	23,657	0
1800		0	18,00	18,00	23,945	0
1900		0	19,00	19,00	24,241	0
2000		0	20,00	20,00	24,544	0

EK F.26

SERBEST BASINÇ DENEY GRAFİĞİ

Numune No	Deney 5 Numune 3	**Malzeme Tipi**	% 50 Kil + %50 UK + %1.0 Fiber



q_u	293	kPA
ε	7,00	%

Şekil F.26 : Kil (%50) + UK (%50) + fiber (%1.0) karışımı serbest basınç deney grafiği.

EK F.27

Çizelge F.27 : Kil (%50) + UK (%50) + fiber (%1.0) karışımı serbest basınç deney raporu.

SERBEST BASINÇ DENEYİ					
NUMUNE BİLGİLERİ					
Numune No	Deney 5 Numune 4	**Numunenin Doğal Ağırlığı (g)**	336,4	**Malzeme Tipi**	% 50 Kil + %50 UK + %1.0 Fiber
Numune Çapı (cm)	5	**Numunenin Kuru Ağırlığı (g)**	286,6	**Yük Halkası Değeri (kg/div)**	0,21
Numune Yüksekliği (cm)	10	**Su Muhtevası (w, %)**	17	qu = 327 kPA	
Numunenin Yüzey Alanı (cm^2)	19,635	**gdoğal (g/cm^3)**	1,713		
Numunenin Hacmi (cm^3)	196,35	**gkuru (g/cm^3)**	1,460		

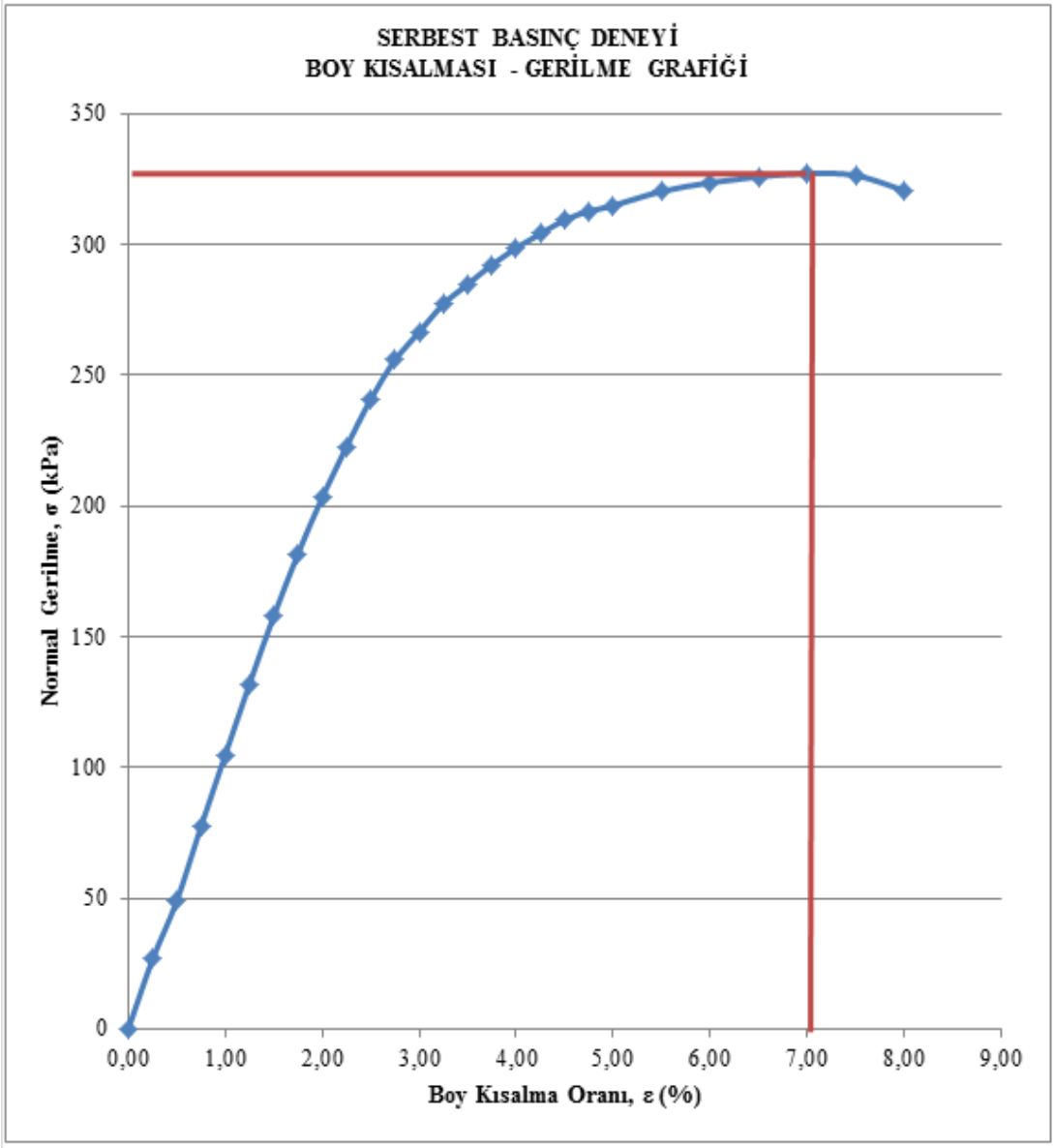
SERBEST BASINÇ DENEY OKUMALARI

Düşey Boy Kısalması (1/100 mm)	**Kuvvet Halkası Okuması (div)**	**Düşey Yük - P (kg)**	**Boy Kısalması (mm)**	**Boy Kısalma Oranı ε (%)**	**Düzeltilmiş Alan A(cm^2)**	**Gerilme σ (kPa)**
0	0	0	0,00	0,00	19,635	0
25	25	5,25	0,25	0,25	19,684	27
50	46	9,66	0,50	0,50	19,734	49
75	73	15,33	0,75	0,75	19,783	77
100	99	20,79	1,00	1,00	19,833	105
125	125	26,25	1,25	1,25	19,884	132
150	150	31,5	1,50	1,50	19,934	158
175	173	36,33	1,75	1,75	19,985	182
200	194	40,74	2,00	2,00	20,036	203
225	213	44,73	2,25	2,25	20,087	223
250	231	48,51	2,50	2,50	20,138	241
275	246	51,66	2,75	2,75	20,190	256
300	257	53,97	3,00	3,00	20,242	267
325	268	56,28	3,25	3,25	20,295	277
350	276	57,96	3,50	3,50	20,347	285
375	284	59,64	3,75	3,75	20,400	292
400	291	61,11	4,00	4,00	20,453	299
425	297	62,37	4,25	4,25	20,507	304
450	303	63,63	4,50	4,50	20,560	309
475	307	64,47	4,75	4,75	20,614	313
500	310	65,1	5,00	5,00	20,668	315
550	317	66,57	5,50	5,50	20,778	320
600	322	67,62	6,00	6,00	20,888	324
650	326	68,46	6,50	6,50	21,000	326
700	329	69,09	7,00	7,00	21,113	327
750	330	69,3	7,50	7,50	21,227	326
800	326	68,46	8,00	8,00	21,342	321
850	298	62,58	8,50	8,50	21,459	292
900	285	59,85	9,00	9,00	21,577	277
950	257	53,97	9,50	9,50	21,696	249
1000	243	51,03	10,00	10,00	21,817	234
1100		0	11,00	11,00	22,062	0
1200		0	12,00	12,00	22,313	0
1300		0	13,00	13,00	22,569	0
1400		0	14,00	14,00	22,831	0
1500		0	15,00	15,00	23,100	0
1600		0	16,00	16,00	23,375	0
1700		0	17,00	17,00	23,657	0
1800		0	18,00	18,00	23,945	0
1900		0	19,00	19,00	24,241	0
2000		0	20,00	20,00	24,544	0

EK F.27

SERBEST BASINÇ DENEY GRAFİĞİ

Numune No	Deney 5 Numune 4	**Malzeme Tipi**	% 50 Kil + %50 UK + %1.0 Fiber



q_u	327	kPA
ε	7,00	%

Şekil F.27 : Kil (%50) + UK (%50) + fiber (%1.0) karışımı serbest basınç deney grafiği.

EK F.28

Çizelge F.28 : Kil (%50) + UK (%50) + fiber (%1.0) karışımı serbest basınç deney raporu.

SERBEST BASINÇ DENEYİ					
NUMUNE BİLGİLERİ					
Numune No	Deney 5 Numune 5	**Numunenin Doğal Ağırlığı (g)**	336,9	**Malzeme Tipi**	% 50 Kil + %50 UK + %1.0 Fiber
Numune Çapı (cm)	5	**Numunenin Kuru Ağırlığı (g)**	285,8	**Yük Halkası Değeri (kg/div)**	0,21
Numune Yüksekliği (cm)	10	**Su Muhtevası (w, %)**	18	qu = 326 kPA	
Numunenin Yüzey Alanı (cm^2)	19,635	**gdoğal (g/cm^3)**	1,716		
Numunenin Hacmi (cm^3)	196,35	**gkuru (g/cm^3)**	1,456		

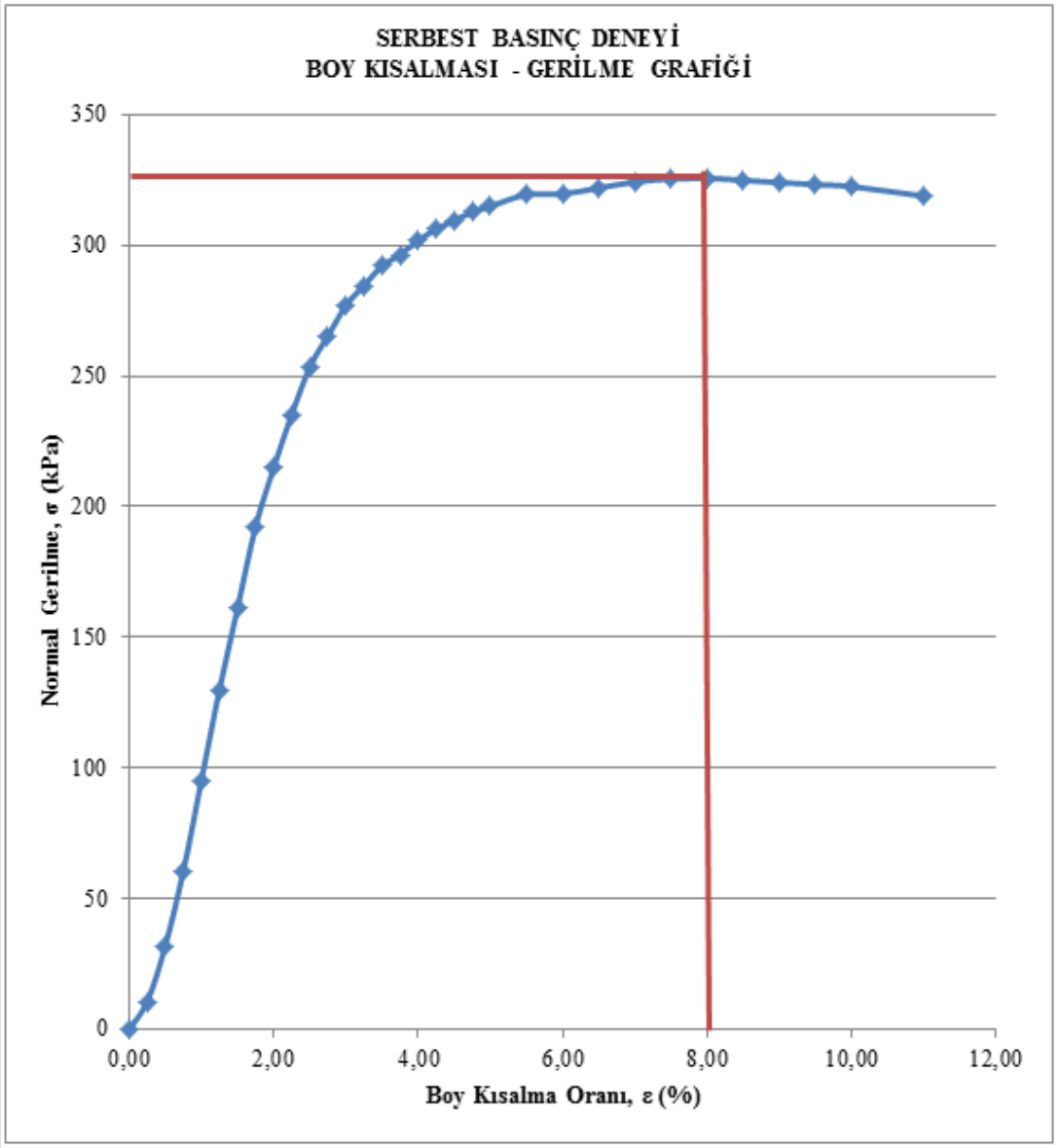
SERBEST BASINÇ DENEY OKUMALARI

Düşey Boy Kısalması (1/100 mm)	**Kuvvet Halkası Okuması (div)**	**Düşey Yük - P (kg)**	**Boy Kısalması (mm)**	**Boy Kısalma Oranı ε (%)**	**Düzeltilmiş Alan A(cm^2)**	**Gerilme σ (kPa)**
0	0	0	0,00	0,00	19,635	0
25	10	2,1	0,25	0,25	19,684	11
50	30	6,3	0,50	0,50	19,734	32
75	57	11,97	0,75	0,75	19,783	61
100	90	18,9	1,00	1,00	19,833	95
125	123	25,83	1,25	1,25	19,884	130
150	153	32,13	1,50	1,50	19,934	161
175	183	38,43	1,75	1,75	19,985	192
200	205	43,05	2,00	2,00	20,036	215
225	225	47,25	2,25	2,25	20,087	235
250	243	51,03	2,50	2,50	20,138	253
275	255	53,55	2,75	2,75	20,190	265
300	267	56,07	3,00	3,00	20,242	277
325	275	57,75	3,25	3,25	20,295	285
350	283	59,43	3,50	3,50	20,347	292
375	288	60,48	3,75	3,75	20,400	296
400	294	61,74	4,00	4,00	20,453	302
425	299	62,79	4,25	4,25	20,507	306
450	303	63,63	4,50	4,50	20,560	309
475	307	64,47	4,75	4,75	20,614	313
500	310	65,1	5,00	5,00	20,668	315
550	316	66,36	5,50	5,50	20,778	319
600	318	66,78	6,00	6,00	20,888	320
650	322	67,62	6,50	6,50	21,000	322
700	326	68,46	7,00	7,00	21,113	324
750	329	69,09	7,50	7,50	21,227	325
800	331	69,51	8,00	8,00	21,342	326
850	332	69,72	8,50	8,50	21,459	325
900	333	69,93	9,00	9,00	21,577	324
950	334	70,14	9,50	9,50	21,696	323
1000	335	70,35	10,00	10,00	21,817	322
1100	335	70,35	11,00	11,00	22,062	319
1200	334	70,14	12,00	12,00	22,313	314
1300	330	69,3	13,00	13,00	22,569	307
1400	328	68,88	14,00	14,00	22,831	302
1500	325	68,25	15,00	15,00	23,100	295
1600	315	66,15	16,00	16,00	23,375	283
1700	312	65,52	17,00	17,00	23,657	277
1800		0	18,00	18,00	23,945	0
1900		0	19,00	19,00	24,241	0
2000		0	20,00	20,00	24,544	0

EK F.28

SERBEST BASINÇ DENEY GRAFİĞİ

Numune No	Deney 5 Numune 5	**Malzeme Tipi**	% 50 Kil + %50 UK + %1.0 Fiber



q_u	326	kPA
ε	8,0	%

Şekil F.28 : Kil (%50) + UK (%50) + fiber (%1.0) karışımı serbest basınç deney grafiği.

EK F.29

Çizelge F.29 : Kil (%50) + UK (%50) + fiber (%1.5) karışımı serbest basınç deney raporu.

SERBEST BASINÇ DENEYİ					
NUMUNE BİLGİLERİ					
Numune No	Deney 6 Numune 1	**Numunenin Doğal Ağırlığı (g)**	336,2	**Malzeme Tipi**	% 50 Kil + %50 UK + %1.5 Fiber
Numune Çapı (cm)	5	**Numunenin Kuru Ağırlığı (g)**	280,9	**Yük Halkası Değeri (kg/div)**	0,21
Numune Yüksekliği (cm)	10	**Su Muhtevası (w, %)**	20	qu = 220 kPA	
Numunenin Yüzey Alanı (cm^2)	19,635	**gdoğal (g/cm^3)**	1,712		
Nuımunenin Hacmi (cm^3)	196,35	**gkuru (g/cm^3)**	1,431		

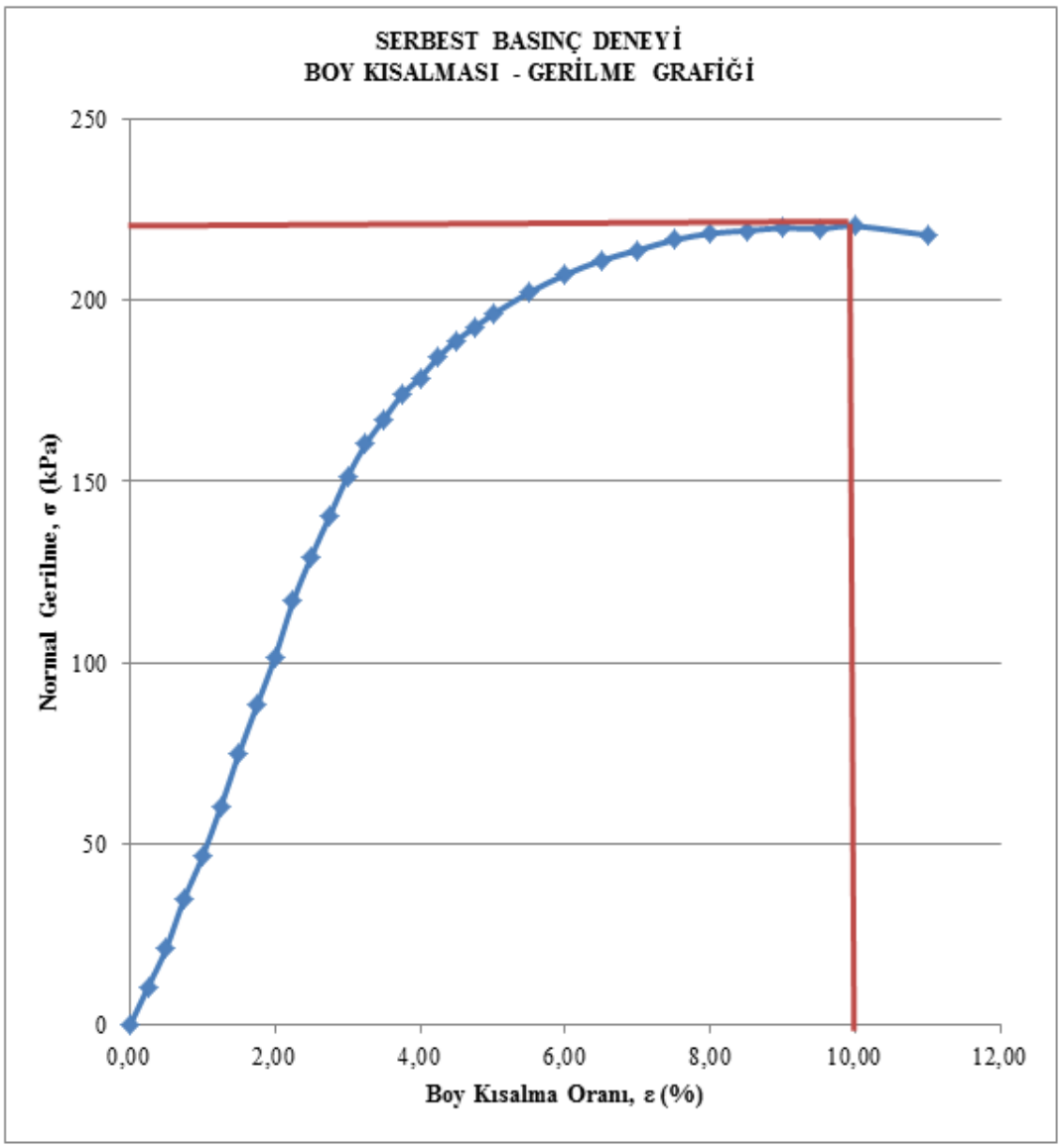
SERBEST BASINÇ DENEY OKUMALARI

Düşey Boy Kısalması (1/100 mm)	**Kuvvet Halkası Okuması (div)**	**Düşey Yük - P (kg)**	**Boy Kısalması (mm)**	**Boy Kısalma Oranı ε (%)**	**Düzeltilmiş Alan A(cm^2)**	**Gerilme σ (kPa)**
0	0	0	0,00	0,00	19,635	0
25	10	2,1	0,25	0,25	19,684	11
50	20	4,2	0,50	0,50	19,734	21
75	33	6,93	0,75	0,75	19,783	35
100	44	9,24	1,00	1,00	19,833	47
125	57	11,97	1,25	1,25	19,884	60
150	71	14,91	1,50	1,50	19,934	75
175	84	17,64	1,75	1,75	19,985	88
200	97	20,37	2,00	2,00	20,036	102
225	112	23,52	2,25	2,25	20,087	117
250	124	26,04	2,50	2,50	20,138	129
275	135	28,35	2,75	2,75	20,190	140
300	146	30,66	3,00	3,00	20,242	151
325	155	32,55	3,25	3,25	20,295	160
350	162	34,02	3,50	3,50	20,347	167
375	169	35,49	3,75	3,75	20,400	174
400	174	36,54	4,00	4,00	20,453	179
425	180	37,8	4,25	4,25	20,507	184
450	185	38,85	4,50	4,50	20,560	189
475	189	39,69	4,75	4,75	20,614	193
500	193	40,53	5,00	5,00	20,668	196
550	200	42	5,50	5,50	20,778	202
600	206	43,26	6,00	6,00	20,888	207
650	211	44,31	6,50	6,50	21,000	211
700	215	45,15	7,00	7,00	21,113	214
750	219	45,99	7,50	7,50	21,227	217
800	222	46,62	8,00	8,00	21,342	218
850	224	47,04	8,50	8,50	21,459	219
900	226	47,46	9,00	9,00	21,577	220
950	227	47,67	9,50	9,50	21,696	220
1000	229	48,09	10,00	10,00	21,817	220
1100	229	48,09	11,00	11,00	22,062	218
1200	227	47,67	12,00	12,00	22,313	214
1300	224	47,04	13,00	13,00	22,569	208
1400	222	46,62	14,00	14,00	22,831	204
1500	222	46,62	15,00	15,00	23,100	202
1600	222	46,62	16,00	16,00	23,375	199
1700	222	46,62	17,00	17,00	23,657	197
1800	221	46,41	18,00	18,00	23,945	194
1900	220	46,2	19,00	19,00	24,241	191
2000	219	45,99	20,00	20,00	24,544	187

EK F.29

SERBEST BASINÇ DENEY GRAFİĞİ

Numune No	Deney 6 Numune 1	**Malzeme Tipi**	% 50 Kil + %50 UK + %1.5 Fiber



q_u	220	kPA
ε	10,00	%

Şekil F.29: Kil (%50) + UK (%50) + fiber (%1.5) karışımı serbest basınç deney grafiği.

EK F.30

Çizelge F.30 : Kil (%50) + UK (%50) + fiber (%1.5) karışımı serbest basınç deney raporu.

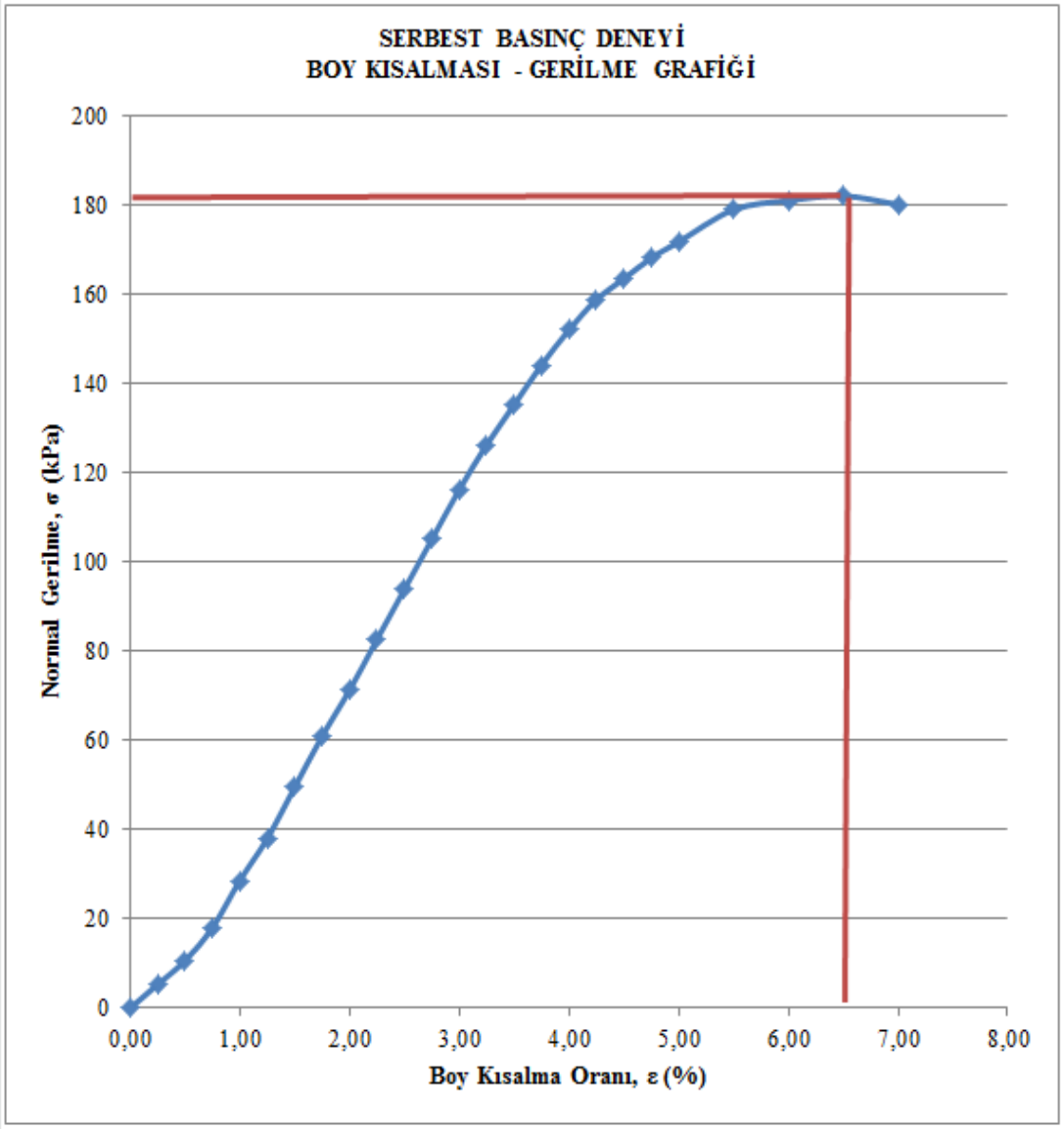
SERBEST BASINÇ DENEYİ					
NUMUNE BİLGİLERİ					
Numune No	Deney 6 Numune 2	**Numunenin Doğal Ağırlığı (g)**	336,6	**Malzeme Tipi**	% 50 Kil + %50 UK + %1.5 Fiber
Numune Çapı (cm)	5	**Numunenin Kuru Ağırlığı (g)**	279,6	**Yük Halkası Değeri (kg/div)**	0,21
Numune Yüksekliği (cm)	10	**Su Muhtevası (w, %)**	20	qu = 182 kPA	
Numunenin Yüzey Alanı (cm^2)	19,635	**gdoğal (g/cm^3)**	1,714		
Numunenin Hacmi (cm^3)	196,35	**gkuru (g/cm^3)**	1,424		

SERBEST BASINÇ DENEY OKUMALARI						
Düşey Boy Kısalması (1/100 mm)	**Kuvvet Halkası Okuması (div)**	**Düşey Yük - P (kg)**	**Boy Kısalması (mm)**	**Boy Kısalma Oranı ε (%)**	**Düzeltilmiş Alan A(cm^2)**	**Gerilme σ (kPa)**
0	0	0	0,00	0,00	19,635	0
25	5	1,05	0,25	0,25	19,684	5
50	10	2,1	0,50	0,50	19,734	11
75	17	3,57	0,75	0,75	19,783	18
100	27	5,67	1,00	1,00	19,833	29
125	36	7,56	1,25	1,25	19,884	38
150	47	9,87	1,50	1,50	19,934	50
175	58	12,18	1,75	1,75	19,985	61
200	68	14,28	2,00	2,00	20,036	71
225	79	16,59	2,25	2,25	20,087	83
250	90	18,9	2,50	2,50	20,138	94
275	101	21,21	2,75	2,75	20,190	105
300	112	23,52	3,00	3,00	20,242	116
325	122	25,62	3,25	3,25	20,295	126
350	131	27,51	3,50	3,50	20,347	135
375	140	29,4	3,75	3,75	20,400	144
400	148	31,08	4,00	4,00	20,453	152
425	155	32,55	4,25	4,25	20,507	159
450	160	33,6	4,50	4,50	20,560	163
475	165	34,65	4,75	4,75	20,614	168
500	169	35,49	5,00	5,00	20,668	172
550	177	37,17	5,50	5,50	20,778	179
600	180	37,8	6,00	6,00	20,888	181
650	182	38,22	6,50	6,50	21,000	182
700	181	38,01	7,00	7,00	21,113	180
750	170	35,7	7,50	7,50	21,227	168
800	164	34,44	8,00	8,00	21,342	161
850	160	33,6	8,50	8,50	21,459	157
900	156	32,76	9,00	9,00	21,577	152
950	153	32,13	9,50	9,50	21,696	148
1000	150	31,5	10,00	10,00	21,817	144
1100	146	30,66	11,00	11,00	22,062	139
1200	144	30,24	12,00	12,00	22,313	136
1300		0	13,00	13,00	22,569	0
1400		0	14,00	14,00	22,831	0
1500		0	15,00	15,00	23,100	0
1600		0	16,00	16,00	23,375	0
1700		0	17,00	17,00	23,657	0
1800		0	18,00	18,00	23,945	0
1900		0	19,00	19,00	24,241	0
2000		0	20,00	20,00	24,544	0

EK F.30

SERBEST BASINÇ DENEY GRAFİĞİ

Numune No	Deney 6 Numune 2	**Malzeme Tipi**	% 50 Kil + %50 UK + %1.5 Fiber



q_u	182	kPA
ε	6,50	%

Şekil F.30 : Kil (%50) + UK (%50) + fiber (%1.5) karışımı serbest basınç deney grafiği.

EK F.31

Çizelge F.31 : Kil (%50) + UK (%50) + fiber (%1.5) karışımı serbest basınç deney raporu.

SERBEST BASINÇ DENEYİ					
NUMUNE BİLGİLERİ					
Numune No	Deney 6 Numune 3	**Numunenin Doğal Ağırlığı (g)**	340	**Malzeme Tipi**	% 50 Kil + %50 UK + %1.5 Fiber
Numune Çapı (cm)	5	**Numunenin Kuru Ağırlığı (g)**	281,6	**Yük Halkası Değeri (kg/div)**	0,21
Numune Yüksekliği (cm)	10	**Su Muhtevası (w, %)**	21	qu = 196 kPA	
Numunenin Yüzey Alanı (cm^2)	19,635	**gdoğal (g/cm^3)**	1,732		
Numunenin Hacmi (cm^3)	196,35	**gkuru (g/cm^3)**	1,434		

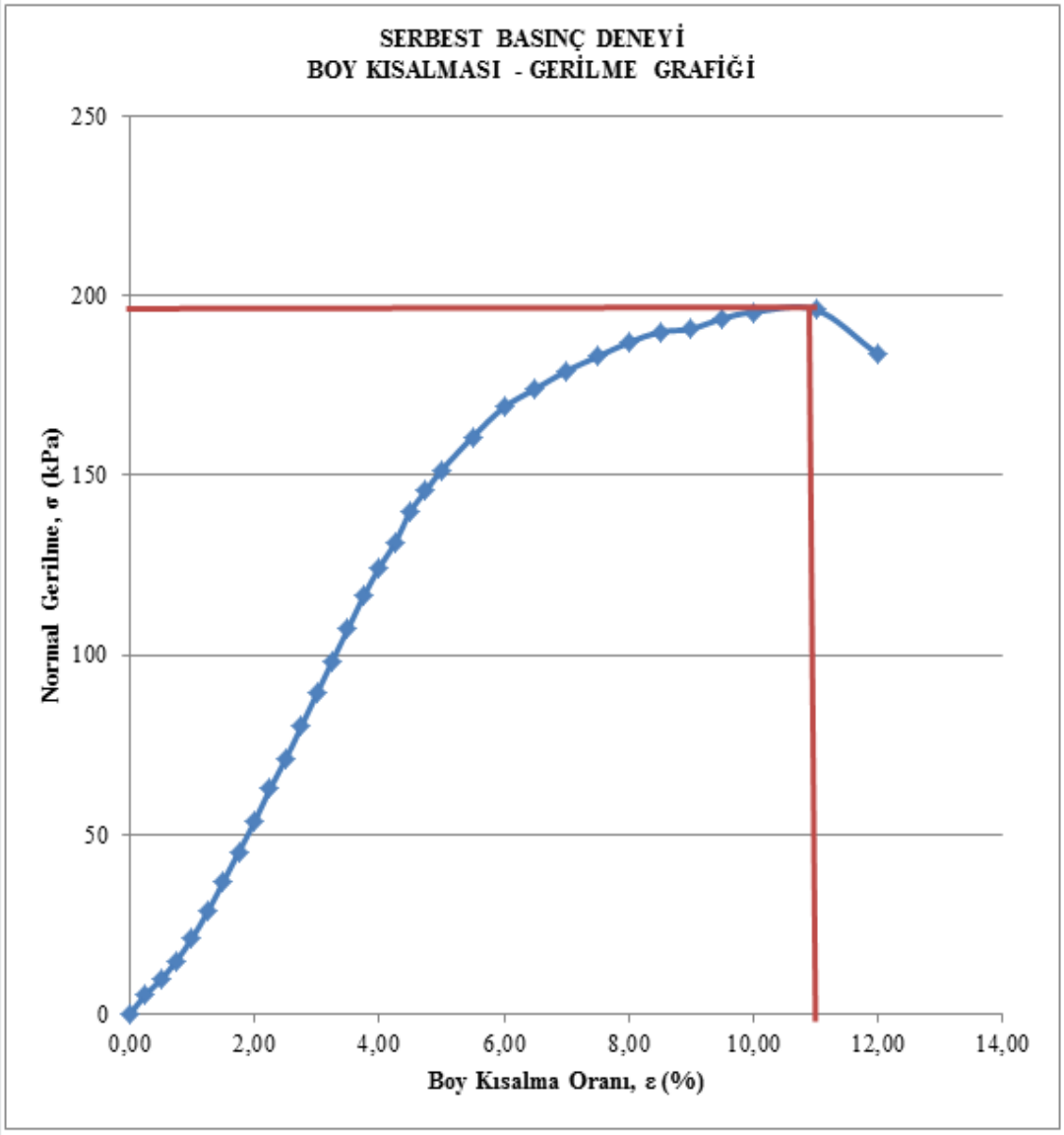
SERBEST BASINÇ DENEY OKUMALARI

Düşey Boy Kısalması (1/100 mm)	**Kuvvet Halkası Okuması (div)**	**Düşey Yük - P (kg)**	**Boy Kısalması (mm)**	**Boy Kısalma Oranı ε (%)**	**Düzeltilmiş Alan A(cm^2)**	**Gerilme σ (kPa)**
0	0	0	0,00	0,00	19,635	0
25	5	1,05	0,25	0,25	19,684	5
50	9	1,89	0,50	0,50	19,734	10
75	14	2,94	0,75	0,75	19,783	15
100	20	4,2	1,00	1,00	19,833	21
125	27	5,67	1,25	1,25	19,884	29
150	35	7,35	1,50	1,50	19,934	37
175	43	9,03	1,75	1,75	19,985	45
200	51	10,71	2,00	2,00	20,036	53
225	60	12,6	2,25	2,25	20,087	63
250	68	14,28	2,50	2,50	20,138	71
275	77	16,17	2,75	2,75	20,190	80
300	86	18,06	3,00	3,00	20,242	89
325	95	19,95	3,25	3,25	20,295	98
350	104	21,84	3,50	3,50	20,347	107
375	113	23,73	3,75	3,75	20,400	116
400	121	25,41	4,00	4,00	20,453	124
425	128	26,88	4,25	4,25	20,507	131
450	137	28,77	4,50	4,50	20,560	140
475	143	30,03	4,75	4,75	20,614	146
500	149	31,29	5,00	5,00	20,668	151
550	159	33,39	5,50	5,50	20,778	161
600	168	35,28	6,00	6,00	20,888	169
650	174	36,54	6,50	6,50	21,000	174
700	180	37,8	7,00	7,00	21,113	179
750	185	38,85	7,50	7,50	21,227	183
800	190	39,9	8,00	8,00	21,342	187
850	194	40,74	8,50	8,50	21,459	190
900	196	41,16	9,00	9,00	21,577	191
950	200	42,00	9,50	9,50	21,696	194
1000	203	42,63	10,00	10,00	21,817	195
1100	206	43,26	11,00	11,00	22,062	196
1200	195	40,95	12,00	12,00	22,313	184
1300	168	35,28	13,00	13,00	22,569	156
1400	153	32,13	14,00	14,00	22,831	141
1500	145	30,45	15,00	15,00	23,100	132
1600		0	16,00	16,00	23,375	0
1700		0	17,00	17,00	23,657	0
1800		0	18,00	18,00	23,945	0
1900		0	19,00	19,00	24,241	0
2000		0	20,00	20,00	24,544	0

EK F.31

SERBEST BASINÇ DENEY GRAFİĞİ

Numune No	Deney 6 Numune 3	**Malzeme Tipi**	% 50 Kil + %50 UK + %1.5 Fiber



q_u	196	kPA
ε	11,00	%

Şekil F.31 : Kil (%50) + UK (%50) + fiber (%1.5) karışımı serbest basınç deney grafiği.

EK F.32

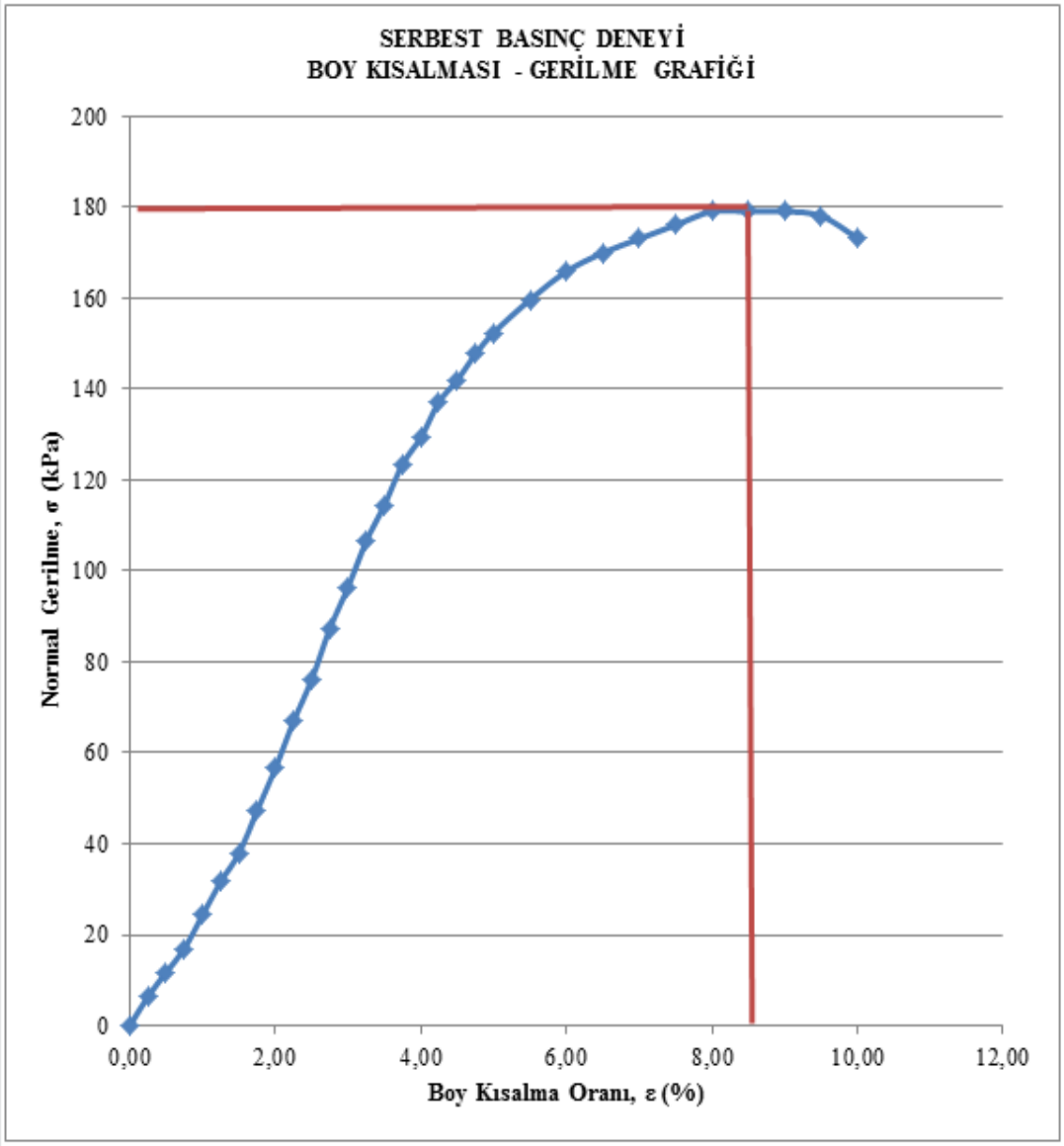
Çizelge F.32: Kil (%50) + UK (%50) + fiber (%1.5) karışımı serbest basınç deney raporu.

SERBEST BASINÇ DENEYİ						
NUMUNE BİLGİLERİ						
Numune No	Deney 6 Numune 4	**Numunenin Doğal Ağırlığı (g)**	336,9	**Malzeme Tipi**	% 50 Kil + %50 UK + %1.5 Fiber	
Numune Çapı (cm)	5	**Numunenin Kuru Ağırlığı (g)**	279,5	**Yük Halkası Değeri (kg/div)**	0,21	
Numune Yüksekliği (cm)	10	**Su Muhtevası (w, %)**	21	qu =179 kPA		
Numunenin Yüzey Alanı (cm^2)	19,635	**gdoğal (g/cm^3)**	1,716			
Numunenin Hacmi (cm^3)	196,35	**gkuru (g/cm^3)**	1,423			
SERBEST BASINÇ DENEY OKUMALARI						
Düşey Boy Kısalması (1/100 mm)	**Kuvvet Halkası Okuması (div)**	**Düşey Yük - P (kg)**	**Boy Kısalması (mm)**	**Boy Kısalma Oranı ε (%)**	**Düzeltilmiş Alan A(cm^2)**	**Gerilme σ (kPa)**
0	0	0	0,00	0,00	19,635	0
25	6	1,26	0,25	0,25	19,684	6
50	11	2,31	0,50	0,50	19,734	12
75	16	3,36	0,75	0,75	19,783	17
100	23	4,83	1,00	1,00	19,833	24
125	30	6,3	1,25	1,25	19,884	32
150	36	7,56	1,50	1,50	19,934	38
175	45	9,45	1,75	1,75	19,985	47
200	54	11,34	2,00	2,00	20,036	57
225	64	13,44	2,25	2,25	20,087	67
250	73	15,33	2,50	2,50	20,138	76
275	84	17,64	2,75	2,75	20,190	87
300	93	19,53	3,00	3,00	20,242	96
325	103	21,63	3,25	3,25	20,295	107
350	111	23,31	3,50	3,50	20,347	115
375	120	25,2	3,75	3,75	20,400	124
400	126	26,46	4,00	4,00	20,453	129
425	134	28,14	4,25	4,25	20,507	137
450	139	29,19	4,50	4,50	20,560	142
475	145	30,45	4,75	4,75	20,614	148
500	150	31,5	5,00	5,00	20,668	152
550	158	33,18	5,50	5,50	20,778	160
600	165	34,65	6,00	6,00	20,888	166
650	170	35,7	6,50	6,50	21,000	170
700	174	36,54	7,00	7,00	21,113	173
750	178	37,38	7,50	7,50	21,227	176
800	182	38,22	8,00	8,00	21,342	179
850	183	38,43	8,50	8,50	21,459	179
900	184	38,64	9,00	9,00	21,577	179
950	184	38,64	9,50	9,50	21,696	178
1000	180	37,8	10,00	10,00	21,817	173
1100	171	35,91	11,00	11,00	22,062	163
1200	166	34,86	12,00	12,00	22,313	156
1300	161	33,81	13,00	13,00	22,569	150
1400	156	32,76	14,00	14,00	22,831	143
1500	153	32,13	15,00	15,00	23,100	139
1600	149	31,29	16,00	16,00	23,375	134
1700	145	30,45	17,00	17,00	23,657	129
1800		0	18,00	18,00	23,945	0
1900		0	19,00	19,00	24,241	0
2000		0	20,00	20,00	24,544	0

EK F.32

SERBEST BASINÇ DENEY GRAFİĞİ

Numune No	Deney 6 Numune 4	**Malzeme Tipi**	% 50 Kil + %50 UK + %1.5 Fiber



q_u	179	kPA
ε	8,50	%

Şekil F.32 : Kil (%50) + UK (%50) + fiber (%1.5) karışımı serbest basınç deney grafiği.

EK F.33

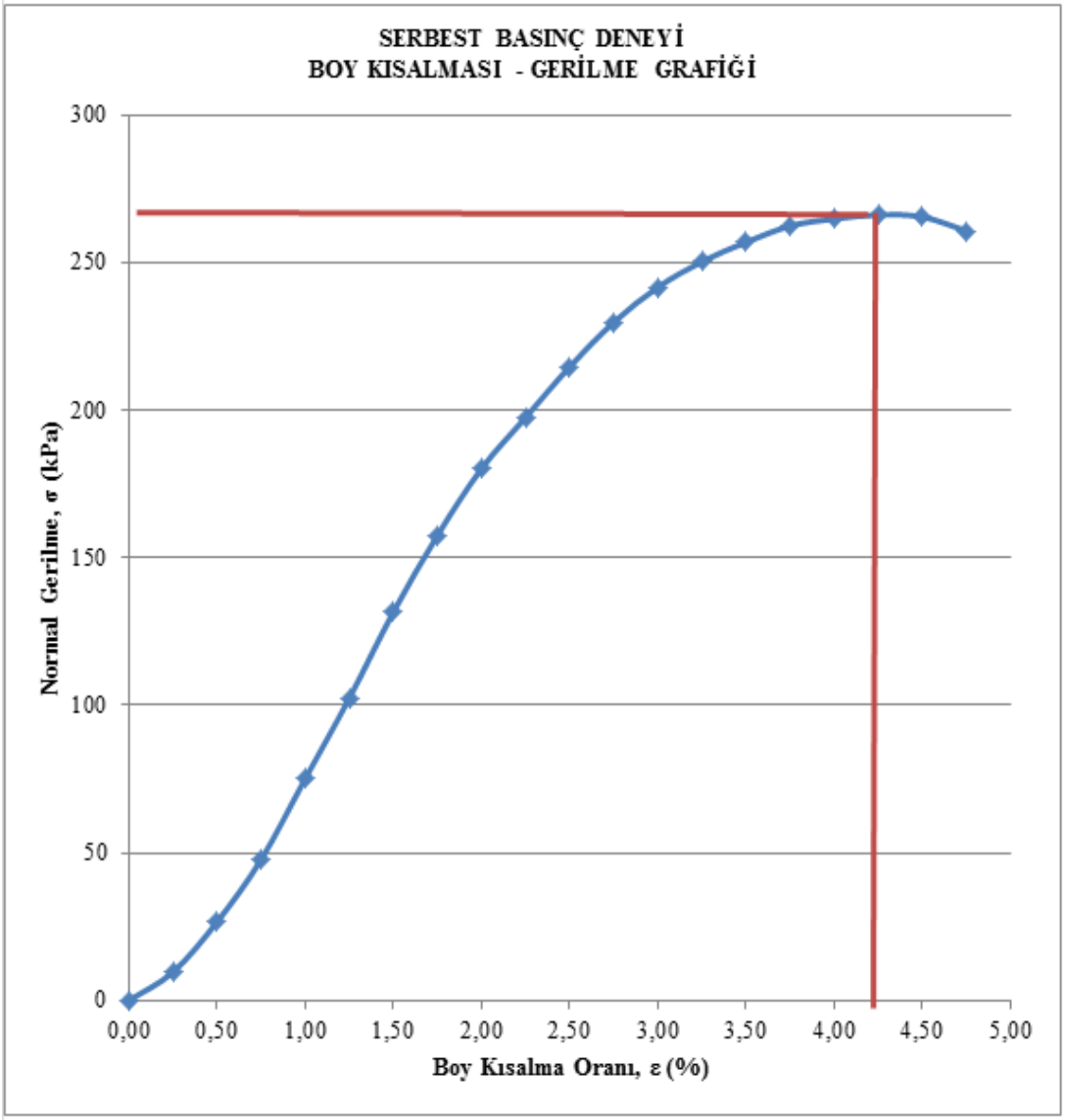
Çizelge F.33 : Kil (%50) + UK (%50) + fiber (%2.0) karışımı serbest basınç deney raporu.

SERBEST BASINÇ DENEYİ						
NUMUNE BİLGİLERİ						
Numune No	Deney 7 Numune 1	**Numunenin Doğal Ağırlığı (g)**	341,9	**Malzeme Tipi**	% 50 Kil + %50 UK + %2.0 Fiber	
Numune Çapı (cm)	5	**Numunenin Kuru Ağırlığı (g)**	290,2	**Yük Halkası Değeri (kg/div)**	0,21	
Numune Yüksekliği (cm)	10	**Su Muhtevası (w, %)**	18	qu = 266 kPA		
Numunenin Yüzey Alanı (cm^2)	19,635	**gdoğal (g/cm^3)**	1,741			
Numunenin Hacmi (cm^3)	196,35	**gkuru (g/cm^3)**	1,478			
SERBEST BASINÇ DENEY OKUMALARI						
Düşey Boy Kısalması (1/100 mm)	**Kuvvet Halkası Okuması (div)**	**Düşey Yük - P (kg)**	**Boy Kısalması (mm)**	**Boy Kısalma Oranı ε (%)**	**Düzeltilmiş Alan A(cm^2)**	**Gerilme σ (kPa)**
0	0	0	0,00	0,00	19,635	0
25	9	1,89	0,25	0,25	19,684	10
50	25	5,25	0,50	0,50	19,734	27
75	45	9,45	0,75	0,75	19,783	48
100	71	14,91	1,00	1,00	19,833	75
125	97	20,37	1,25	1,25	19,884	102
150	125	26,25	1,50	1,50	19,934	132
175	150	31,5	1,75	1,75	19,985	158
200	172	36,12	2,00	2,00	20,036	180
225	189	39,69	2,25	2,25	20,087	198
250	206	43,26	2,50	2,50	20,138	215
275	221	46,41	2,75	2,75	20,190	230
300	233	48,93	3,00	3,00	20,242	242
325	242	50,82	3,25	3,25	20,295	250
350	249	52,29	3,50	3,50	20,347	257
375	255	53,55	3,75	3,75	20,400	263
400	258	54,18	4,00	4,00	20,453	265
425	260	54,6	4,25	4,25	20,507	266
450	260	54,6	4,50	4,50	20,560	266
475	256	53,76	4,75	4,75	20,614	261
500	251	52,71	5,00	5,00	20,668	255
550	235	49,35	5,50	5,50	20,778	238
600	223	46,83	6,00	6,00	20,888	224
650	215	45,15	6,50	6,50	21,000	215
700	210	44,1	7,00	7,00	21,113	209
750	206	43,26	7,50	7,50	21,227	204
800	204	42,84	8,00	8,00	21,342	201
850		0	8,50	8,50	21,459	0
900		0	9,00	9,00	21,577	0
950		0	9,50	9,50	21,696	0
1000		0	10,00	10,00	21,817	0
1100		0	11,00	11,00	22,062	0
1200		0	12,00	12,00	22,313	0
1300		0	13,00	13,00	22,569	0
1400		0	14,00	14,00	22,831	0
1500		0	15,00	15,00	23,100	0
1600		0	16,00	16,00	23,375	0
1700		0	17,00	17,00	23,657	0
1800		0	18,00	18,00	23,945	0
1900		0	19,00	19,00	24,241	0
2000		0	20,00	20,00	24,544	0

EK F.33

SERBEST BASINÇ DENEY GRAFİĞİ

Numune No	Deney 7 Numune 1	**Malzeme Tipi**	% 50 Kil + %50 UK + %2.0 Fiber



q_u	266	kPA
ε	4,25	%

Şekil F.33 : Kil (%50) + UK (%50) + fiber (%2.0) karışımı serbest basınç deney grafiği.

EK F.34

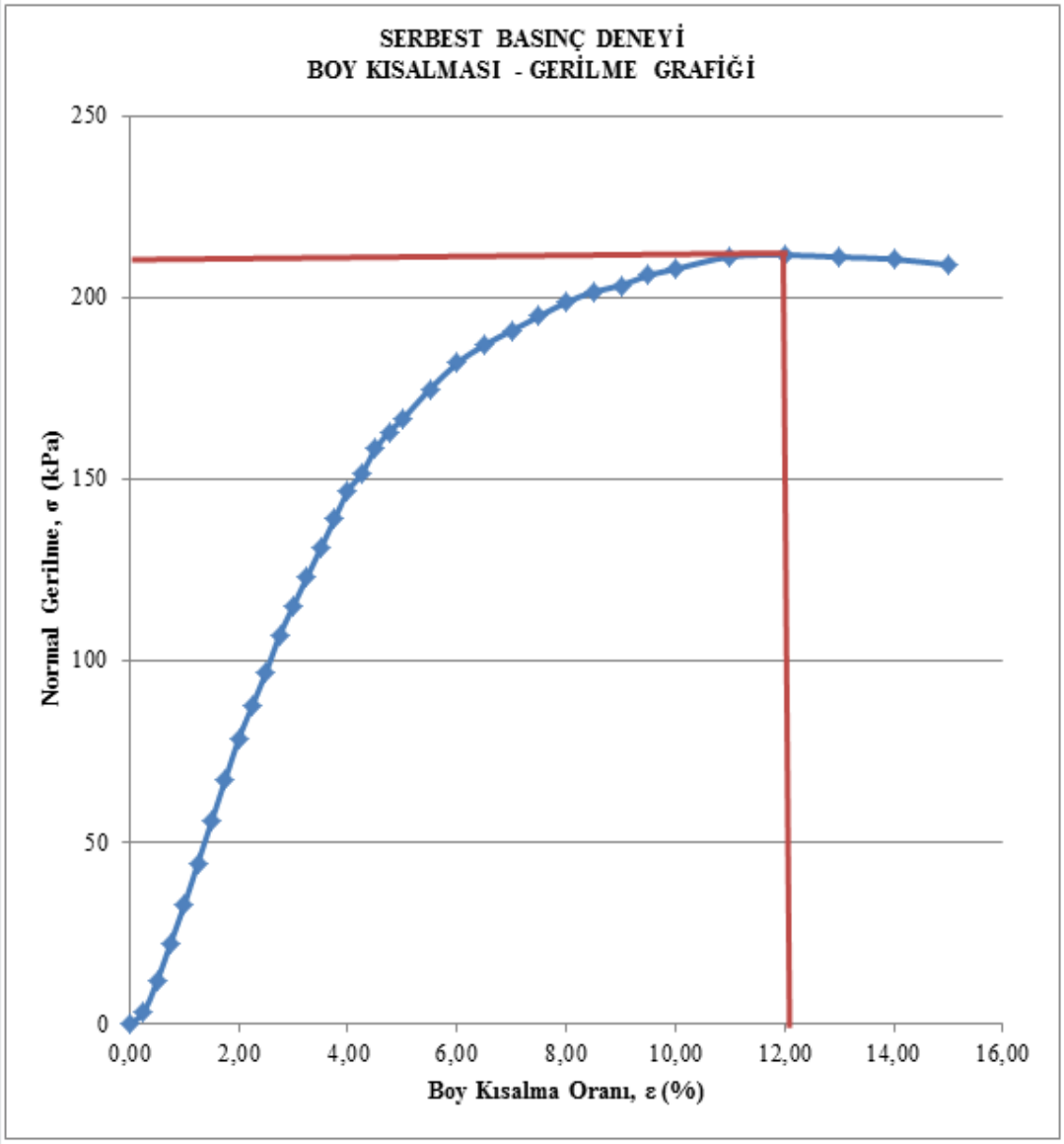
Çizelge F.34 : Kil (%50) + UK (%50) + fiber (%2.0) karışımı serbest basınç deney raporu.

SERBEST BASINÇ DENEYİ						
NUMUNE BİLGİLERİ						
Numune No	Deney 7 Numune 2	**Numunenin Doğal Ağırlığı (g)**	336,9	**Malzeme Tipi**	% 50 Kil + %50 UK + %2.0 Fiber	
Numune Çapı (cm)	5	**Numunenin Kuru Ağırlığı (g)**	280,9	**Yük Halkası Değeri (kg/div)**	0,21	
Numune Yüksekliği (cm)	10	**Su Muhtevası (w, %)**	20	qu = 212 kPA		
Numunenin Yüzey Alanı (cm^2)	19,635	**gdoğal (g/cm^3)**	1,716			
Numunenin Hacmi (cm^3)	196,35	**gkuru (g/cm^3)**	1,431			
SERBEST BASINÇ DENEY OKUMALARI						
Düşey Boy Kısalması (1/100 mm)	**Kuvvet Halkası Okuması (div)**	**Düşey Yük - P (kg)**	**Boy Kısalması (mm)**	**Boy Kısalma Oranı ε (%)**	**Düzeltilmiş Alan A(cm^2)**	**Gerilme σ (kPa)**
0	0	0	0,00	0,00	19,635	0
25	3	0,63	0,25	0,25	19,684	3
50	11	2,31	0,50	0,50	19,734	12
75	21	4,41	0,75	0,75	19,783	22
100	31	6,51	1,00	1,00	19,833	33
125	42	8,82	1,25	1,25	19,884	44
150	53	11,13	1,50	1,50	19,934	56
175	64	13,44	1,75	1,75	19,985	67
200	75	15,75	2,00	2,00	20,036	79
225	84	17,64	2,25	2,25	20,087	88
250	93	19,53	2,50	2,50	20,138	97
275	103	21,63	2,75	2,75	20,190	107
300	111	23,31	3,00	3,00	20,242	115
325	119	24,99	3,25	3,25	20,295	123
350	127	26,67	3,50	3,50	20,347	131
375	135	28,35	3,75	3,75	20,400	139
400	143	30,03	4,00	4,00	20,453	147
425	148	31,08	4,25	4,25	20,507	152
450	155	32,55	4,50	4,50	20,560	158
475	160	33,6	4,75	4,75	20,614	163
500	164	34,44	5,00	5,00	20,668	167
550	173	36,33	5,50	5,50	20,778	175
600	181	38,01	6,00	6,00	20,888	182
650	187	39,27	6,50	6,50	21,000	187
700	192	40,32	7,00	7,00	21,113	191
750	197	41,37	7,50	7,50	21,227	195
800	202	42,42	8,00	8,00	21,342	199
850	206	43,26	8,50	8,50	21,459	202
900	209	43,89	9,00	9,00	21,577	203
950	213	44,73	9,50	9,50	21,696	206
1000	216	45,36	10,00	10,00	21,817	208
1100	222	46,62	11,00	11,00	22,062	211
1200	225	47,25	12,00	12,00	22,313	212
1300	227	47,67	13,00	13,00	22,569	211
1400	229	48,09	14,00	14,00	22,831	211
1500	230	48,3	15,00	15,00	23,100	209
1600	231	48,51	16,00	16,00	23,375	208
1700	232	48,72	17,00	17,00	23,657	206
1800	231	48,51	18,00	18,00	23,945	203
1900	230	48,3	19,00	19,00	24,241	199
2000	227	47,67	20,00	20,00	24,544	194

EK F.34

SERBEST BASINÇ DENEY GRAFİĞİ

Numune No	Deney 7 Numune 2	**Malzeme Tipi**	% 50 Kil + %50 UK + %2.0 Fiber



q_u	212	kPA
ε	12,00	%

Şekil F.34 : Kil (%50) + UK (%50) + fiber (%2.0) karışımı serbest basınç deney grafiği.

EK F.35

Çizelge F.35 : Kil (%50) + UK (%50) + fiber (%2.0) karışımı serbest basınç deney raporu.

SERBEST BASINÇ DENEYİ					
NUMUNE BİLGİLERİ					
Numune No	Deney 7 Numune 3	**Numunenin Doğal Ağırlığı (g)**	325,8	**Malzeme Tipi**	% 50 Kil + %50 UK + %2.0 Fiber
Numune Çapı (cm)	5	**Numunenin Kuru Ağırlığı (g)**	277,8	**Yük Halkası Değeri (kg/div)**	0,21
Numune Yüksekliği (cm)	10	**Su Muhtevası (w, %)**	17	qu = 274 kPA	
Numunenin Yüzey Alanı (cm^2)	19,635	**gdoğal (g/cm^3)**	1,659		
Nuımunenin Hacmi (cm^3)	196,35	**gkuru (g/cm^3)**	1,415		

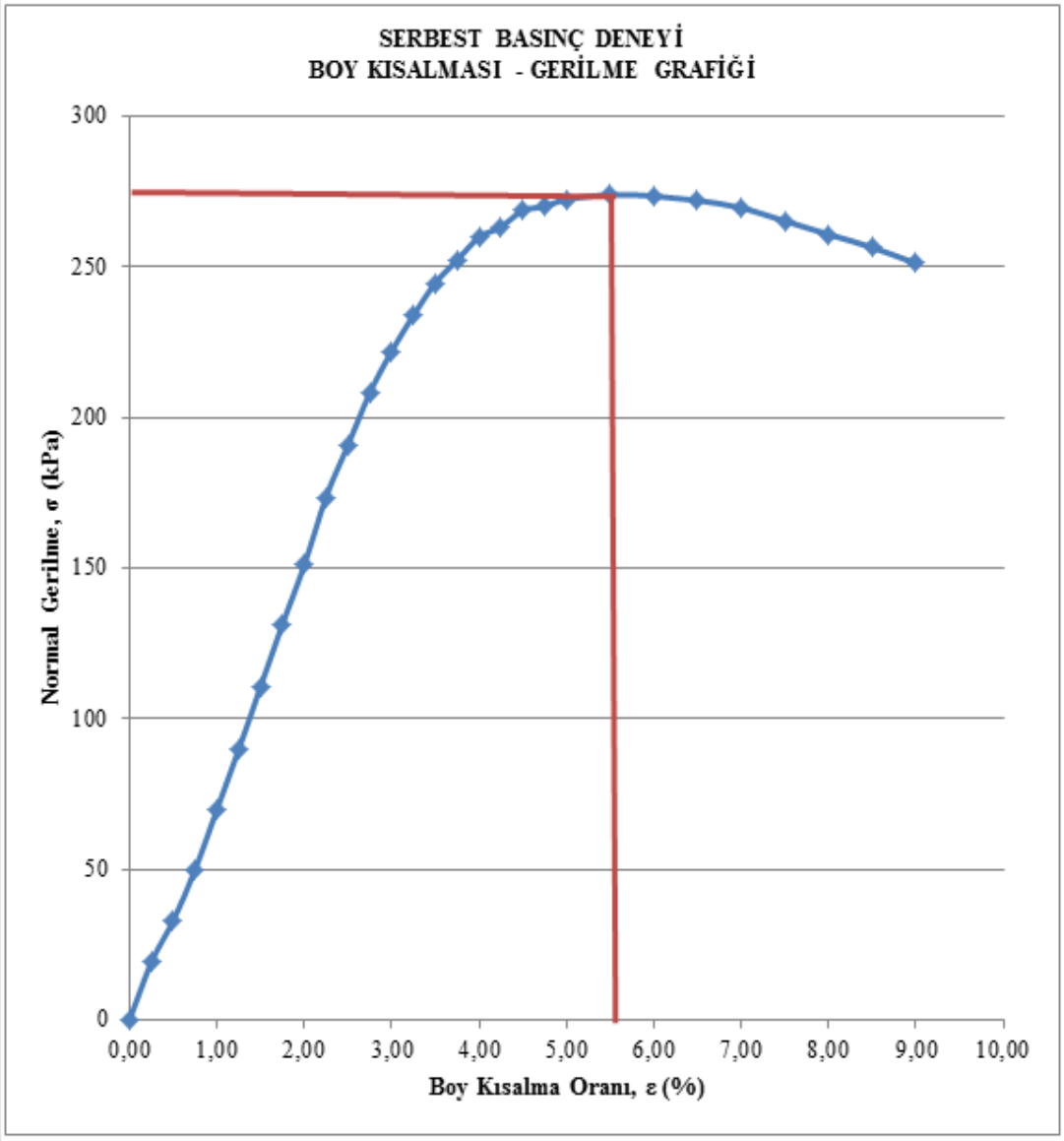
SERBEST BASINÇ DENEY OKUMALARI

Düşey Boy Kısalması (1/100 mm)	**Kuvvet Halkası Okuması (div)**	**Düşey Yük - P (kg)**	**Boy Kısalması (mm)**	**Boy Kısalma Oranı ε (%)**	**Düzeltilmiş Alan A(cm^2)**	**Gerilme σ (kPa)**
0	0	0	0,00	0,00	19,635	0
25	18	3,78	0,25	0,25	19,684	19
50	31	6,51	0,50	0,50	19,734	33
75	47	9,87	0,75	0,75	19,783	50
100	66	13,86	1,00	1,00	19,833	70
125	85	17,85	1,25	1,25	19,884	90
150	105	22,05	1,50	1,50	19,934	111
175	125	26,25	1,75	1,75	19,985	131
200	144	30,24	2,00	2,00	20,036	151
225	166	34,86	2,25	2,25	20,087	174
250	183	38,43	2,50	2,50	20,138	191
275	200	42	2,75	2,75	20,190	208
300	214	44,94	3,00	3,00	20,242	222
325	226	47,46	3,25	3,25	20,295	234
350	237	49,77	3,50	3,50	20,347	245
375	245	51,45	3,75	3,75	20,400	252
400	253	53,13	4,00	4,00	20,453	260
425	257	53,97	4,25	4,25	20,507	263
450	263	55,23	4,50	4,50	20,560	269
475	265	55,65	4,75	4,75	20,614	270
500	268	56,28	5,00	5,00	20,668	272
550	271	56,91	5,50	5,50	20,778	274
600	272	57,12	6,00	6,00	20,888	273
650	272	57,12	6,50	6,50	21,000	272
700	271	56,91	7,00	7,00	21,113	270
750	268	56,28	7,50	7,50	21,227	265
800	265	55,65	8,00	8,00	21,342	261
850	262	55,02	8,50	8,50	21,459	256
900	258	54,18	9,00	9,00	21,577	251
950		0	9,50	9,50	21,696	0
1000		0	10,00	10,00	21,817	0
1100		0	11,00	11,00	22,062	0
1200		0	12,00	12,00	22,313	0
1300		0	13,00	13,00	22,569	0
1400		0	14,00	14,00	22,831	0
1500		0	15,00	15,00	23,100	0
1600		0	16,00	16,00	23,375	0
1700		0	17,00	17,00	23,657	0
1800		0	18,00	18,00	23,945	0
1900		0	19,00	19,00	24,241	0
2000		0	20,00	20,00	24,544	0

EK F.35

SERBEST BASINÇ DENEY GRAFİĞİ

Numune No	Deney 7 Numune 3	**Malzeme Tipi**	% 50 Kil + %50 UK + %2.0 Fiber



q_u	274	kPA
ε	5,50	%

Şekil F.35 : Kil (%50) + UK (%50) + fiber (%2.0) karışımı serbest basınç deney grafiği.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad	**:** Mehmet Çetinkaya
Doğum Yeri ve Tarihi	**:** Karabük, 1980
Adres	**:** Bahçelievler Mah. Hacımemiş Sok. Yanık Ap. No:11 D:12 Merkez / Zonguldak
E-Posta	**:** mehcet@yahoo.com
Lisans	**:** Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği (2001)