



MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

SUGÖZÜ (YUMURTALIK) TERMİK SANTRALİ UÇUCU KÜLÜNÜN ZEMİN
MUKAVEMETİNE ETKİSİ

MEHMET ALİ ERBEK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Antakya/HATAY

MART-2010

MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SUGÖZÜ (YUMURTALIK) TERMİK SANTRALİ UÇUCU KÜLÜNÜN ZEMİN
MUKAVEMETİNE ETKİSİ

MEHMET ALİ ERBEK
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Yrd. Doç. Dr. Nurdane İLBEYLİ danışmanlığında hazırlanan bu tez 09/03/2010 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

Yrd.Doç.Dr. Nurdane İLBEYLİ Başkan
Doç.Dr. Ergül YAŞAR Üye
Yrd.Doç.Dr. Umur K.SEVİM Üye

Bu tez Enstitümüz İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No:

Doç.Dr. Erdal YILMAZ
Enstitü Müdürü V.

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri kanununda

İÇİNDEKİLER

ÖZET	I
ABSTRACT	II
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	III
ÇİZELGELER DİZİNİ	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ	VI
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	3
2.1. Uçucu Külün Tanımı ve Genel Özellikleri	3
2.2. Uçucu Külün Sınıflandırılması ve Kimyasal Bileşimi	4
2.3. Uçucu Külün Fiziksel Özelliği	5
2.4. Uçucu Külün Puzzolanik Özelliği	6
2.5. Termik Santraller	7
2.6. Uçucu Külün Üretimi, Taşınması ve Depolanması	9
2.7. Uçucu Külün Kullanıldığı Yerler	10
2.8. Ülkemizde Yeteri Kadar Uçucu Kül Kullanılmamasının Nedenleri	11
2.9. Uçucu Kül Katkısının Kompaksiyona Etkisi	12
2.10. Uçucu Kül Katkısının Kayma Mukavemeti Üzerine Etkisi	16
3. MATERYAL VE YÖNTEM	20
3.1. Materyal	20
3.1.1. Amaç	20
3.1.2. Kapsam	20
3.1.3. Zemin	21
3.1.4 Uçucu Kül	23
3.2. Yöntem	25
3.2.1. Atterberg (Kıvam) Limitleri Deneyleri	25
3.2.2. Standart Proktor Deneyleri	31
3.2.3. Üç Eksenli Basınç Deneyleri	36
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	51
4.1. Elek Analizi Bulguları	51
4.2. Atterberg (Kıvam) Limitleri Bulguları	51

4.3. Standart Proktor Bulguları	52
4.4. Üç Eksenli Basınç Dayanım Bulguları	52
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	54
KAYNAKLAR	56
TEŞEKKÜR.....	59
ÖZGEÇMİŞ	60
EKLER.....	61
Ek-1	61
Ek-2	66
Ek-3	70
Ek-4	74
Ek-5	78
Ek-6	86

ÖZET**SUGÖZÜ (YUMURTALIK) TERMİK SANTRALİ UÇUCU KÜLÜNÜN ZEMİN MUKAVEMETİNE ETKİSİ**

Uçucu kül termik santrallerde elde edilen bir atık maddedir. Uçucu külün ekonomik ve puzzolonik özellikte olması geoteknik çalışmaların kullanılmasına neden olan önemli unsurlardır.

Türkiye’de elde edilen uçucu kül miktarı fazla olmasına karşın çok azı değerlendirilmektedir. Uçucu külün değerlendirildiği en önemli alan inşaat sektörüdür. Özellikle çimento ve kireç gibi malzemelerle yer değiştirebilmesi bu malzemelerden tasarruf sağlanmasını ve fabrika alanlarının dökme sahası olarak kullanılmasını önleyecektir.

Bu tezde Yumurtalık Sugözü (Adana) Termik Santrali uçucu külü kullanılarak deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

İlk bölümde literatür taramasıyla elde edilen bilgilerle uçucu küller, uçucu külün sınıflandırılması, fiziksel özelliği, kimyasal kompozisyonu ve puzzolonik özelliği hakkında genel bilgi verilmiştir.

İkinci bölümde ise uçucu kül katkısının kompaksiyona ve kayma mukavemeti üzerine etkisi ile yapılan çalışmalar ile ilgili bilgiler verilmiştir.

Üçüncü bölümde de uçucu külün değişik oranlarda kil zemine katılması ile Elek Analizi, Atterberg Limitleri, Standart Proktor ve Üç Eksenli Basınç Deneyleri yapılmıştır. Böylece uçucu külün kil zemin üzerindeki dayanıma etkisi incelenmiştir.

2010, 86 Sayfa.

Anahtar Kelimeler: Uçucu Kül, Zemin Stabilizasyonu.

ABSTRACT**THE FLY ASH OF THE SUGÖZÜ (YUMURTALIK) THERMAL CENTRAL
AND ITS EFFECTIVENESS ON SOIL ENDURANCE**

Fly Ash is the waste product of the Thermal Power Plant. It is the Fly Ash's important components of being economical and possessing puzzolonic properties that is the main reason it is used in geotechnical studies.

Notwithstanding high volumes of Fly Ash being acquired in Turkey, a very small amount is being utilized. The most important area that Fly Ash is utilized in is the construction sector. In particular Fly Ash being able to replace the materials of cement and lime is going to provide savings in relation to these materials and prevent the use of factory spaces as tipping/dump sites.

In this thesis by using Fly Ash at the Yumurtalık Sugözü Thermal Power Plant in Adana experimental studies have been executed.

In the first part of the thesis, from the information obtained from a search of the literature, general information has been provided about Fly Ash, the classification of Fly Ash, its physical characteristics, its chemical composition and its puzzolonic properties.

In the second part information has been given on the studies carried out as to the Fly Ash's contribution to compaction and its effect on shear strength.

In the third part experiments were carried out by adding Fly Ash to clay in varying ratios together with a Sieve Analysis, the Atterberg Limits, the Standard Proktor and the Triaxial Compression tests. Thus the endurance effects of Fly Ash on clay soil were examined.

2010, 86 Pages.

Key Words: Fly Ash, Soil Stabilization.

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

W_{opt} .	Optimum Su Muhtevası.
γ_{maks} .	Maksimum Kuru Birim Hacim Ağırlık.
Gs	Dane Özgöl Ağırlık.
$W_{L,P}$	Atterberg Kıvam Limitleri.
IP	Plastisite İndisi.
Φ	İçsel Sürtünme Açısı.
c	Kohezyon.
UK	Uçucu Kül.

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Çeşitli uçucu küllerden elde edilen sonuçlara göre uçucu küllerin yaklaşık kimyasal bileşenlerinin yüzdesi (Çakır, 1999; Öksüz, 2006).	4
Çizelge 2.2 Türkiye’deki bazı termik santrallerden elde edilen uçucu küllerin kimyasal bileşimleri (Tokyay, 1993).....	5
Çizelge 2.3 Yıllara göre Türkiye’de uçucu kül üretim miktarları (1000 ton/yıl) (TEAŞ, 2000; Alkaya, 2002).....	9
Çizelge 2.4 Uçucu kül üretim ve kullanımı (1000 ton/yıl) (Baykal, 1993; Alataş, 1996).	11
Çizelge 2.5 Uçucu kül katkısı ile w_{opt} . ve γ_{kmaks} . değerlerinin değişimi (Joshi ve diğ., 1975; Alkaya, 2002).....	12
Çizelge 2.6 Farklı oranlardaki zemin uçucu kül karışımlarının kompaksiyon değerleri (Lee ve Fishman, 1987; Alkaya, 2002).....	13
Çizelge 2.7 Standart proktor deneyi sonuçları (Günel, 1996).....	13
Çizelge 2.8 Kil ve uçucu kül karışımlarının maksimum kuru birim hacim ağırlığı ve optimum su içeriği değerleri (Savaran, 1988).....	14
Çizelge 2.9 Standart proktor deneyi sonuçları $\gamma_{kmaks}-w_{opt}$. değerleri (Çakır, 1999).	14
Çizelge 2.10 Standart proktor deneyi sonuçları $\gamma_{kmaks}-w_{opt}$. değerleri (Erşan, 1996).	14
Çizelge 2.11 Standart proktor deneyi sonuçları $\gamma_{kmaks}-w_{opt}$. değerleri (Alkaya, 2002)....	15
Çizelge 2.12 Standart proktor deneyi sonuçları $\gamma_{kmaks}-w_{opt}$. değerleri (Erol, 2007)	15
Çizelge 2.13 Üç eksenli basınç deneyi sonuçları (Tan ve İyisan, 1996).....	17
Çizelge 2.14 Uçucu kül ile zemin numunesine ait kompaksiyon ve serbest basınç deneyi sonuçları (Lee ve Fishman, 1987; Alkaya, 2002).	17
Çizelge 2.15 Standart ve modifiye proktor sıklıklarında hazırlanan örneklerin serbest basınç mukavemetleri (Savaran, 1988; Alkaya, 2002).	18
Çizelge 2.16 Üç eksenli basınç deneyleri sonuçları (Çakır, 1999; Alkaya, 2002).....	18
Çizelge 2.17 Üç eksenli basınç deneyleri sonuçları (Alkaya, 2002).....	19
Çizelge 2.18 Üç eksenli basınç deneyleri sonuçları kayma parametreleri (Alkaya, 2002).	19

Çizelge 3.1 Yumurtalık Sugözü termik santrali uçucu külünün kimyasal özellikleri (Oyak Beton Sanayi T.A.Ş., 2009).	24
Çizelge 3.2 Doğal zeminin uçucu kül katkısı ile kıvam limitlerinin değişimi.....	28
Çizelge 3.3 Doğal zemin ve uçucu kül katkılı zeminlerin $\gamma_{kmaks-W_{opt}}$ değerleri.....	35
Çizelge 3.4 Üç eksenli basınç deneyi sonuçları.....	39
Çizelge 3.5 Üç eksenli basınç deneyi sonuçlarından elde edilen kayma parametreleri..	39
Çizelge 4.1 Zemine %0, %10, %20 ve %30 uçucu kül katkısıyla kıvam limitleri sonuçları.....	52
Çizelge 4.2 Zeminin ve uçucu kül katkılı zeminlerin $\gamma_{kmaks-W_{opt}}$ değerleri.....	52
Çizelge 4.3 Zeminin ve uçucu kül katkılı zeminlerin üç eksenli basınç deneyi sonuçları.	53
Çizelge 4.4 Zeminin ve uçucu kül katkılı zeminlerin üç eksenli basınç deney sonuçlarından elde edilen kayma parametreleri.....	53

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Yumurtalık Sugözü (Adana) termik santrali uçucu külü (Oyak Beton Sanayi T.A.Ş., 2009).....	1
Şekil 2.1 Uçucu kül daneleri 2000 kat büyütülmüş haliyle (American Coal Ash Association; Erol, 2007).	6
Şekil 2.2 Yumurtalık Sugözü termik santrali (www.isken.com.tr).....	8
Şekil 2.3 Önceki çalışmaların uçucu kül katkı oranı-maksimum kuru birim hacim ağırlığı değişimi sonuçlarının karşılaştırılması.	15
Şekil 2.4 Önceki çalışmaların uçucu kül katkı oranı-optimum su muhtevası değişimi sonuçlarının karşılaştırılması.	16
Şekil 3.1 Elek analizi ve Atterberg limiti deneyleri.....	22
Şekil 3.2 Zemin dane dağılımı	23
Şekil 3.3 Deneylerde kullanılan doğal zemin ve uçucu kül.....	23
Şekil 3.4 Uçucu külün dane dağılımı	24
Şekil 3.5 Uçucu kül ve zemin dane dağılımı.....	25
Şekil 3.6 Casagrande yöntemi ile likit limit deneyi.....	26
Şekil 3.7 Casagrande yöntemi ile likit limit deneyinde zemin birleşmeden önce ve sonraki durumu.	26
Şekil 3.8 Plastik limit deneyi.....	27
Şekil 3.9 Likit limitin ve plastik limitin belirlenmesi için deneylerden alınan numuneler.	27
Şekil 3.10 Doğal zeminin likit limitin bulunması.....	28
Şekil 3.11 %10 Uçucu kül katkılı zeminin likit limitinin bulunması.....	29
Şekil 3.12 %20 Uçucu kül katkılı zeminin likit limitinin bulunması.....	29
Şekil 3.13 %30 Uçucu kül katkılı zeminin likit limitinin bulunması.....	30
Şekil 3.14 Tüm zeminlerin likit limit değerleri.....	30
Şekil 3.15 Tüm zeminlerin plastik limit değerleri.....	31
Şekil 3.16 Tüm zeminlerin plastisite indisi değerleri.....	31
Şekil 3.17 Standart proktor deneyi.....	32
Şekil 3.18 Standart proktor deneyinin belirlenmesi için deneyden alınan numuneler....	32

Şekil 3.19 Doğal zeminin su muhtevası-kuru birim hacim ağırlığı grafiği.	33
Şekil 3.20 Doğal zeminin+ %10 U.K. su muhtevası-kuru birim hacim ağırlığı grafiği.	34
Şekil 3.21 Doğal zeminin+ %20 U.K. su muhtevası-kuru birim hacim ağırlığı grafiği.	34
Şekil 3.22 Doğal zeminin+ %30 U.K. su muhtevası-kuru birim hacim ağırlığı grafiği.	35
Şekil 3.23 Tüm zeminlerin su muhtevası-kuru birim hacim ağırlığı grafiği.....	36
Şekil 3.24 Proktor sıklılığında deney numunesinin hazırlanması.	37
Şekil 3.25 Proktor kalıbından hidrolik yardımıyla deney numunesinin çıkarılması.....	37
Şekil 3.26 Üç eksenli basınç deney numunesinin hazırlanması.....	37
Şekil 3.27 Kür süreleri dolan numunelerin numune kalıbından çıkarılması.....	38
Şekil 3.28 Numune kalıbından çıkarılmış numunelerin üç eksenli basınç deneyine hazırlanması.	38
Şekil 3.29 Üç eksenli basınç deneyinin yapılması.	38
Şekil 3.30 Doğal zeminin kayma parametrelerinin belirlenmesi (Hemen).....	40
Şekil 3.31 %10 Uçucu kül katkılı zeminin kayma parametrelerinin belirlenmesi (Hemen).	40
Şekil 3.32 %20 Uçucu kül katkılı zeminin kayma parametrelerinin belirlenmesi (Hemen).	41
Şekil 3.33 %30 Uçucu kül katkılı zeminin kayma parametrelerinin belirlenmesi (Hemen).	41
Şekil 3.34 Doğal zeminin 7 günlük kür sonucu kayma parametrelerinin belirlenmesi.	42
Şekil 3.35 %10 Uçucu kül katkılı zeminin 7 günlük kür sonucu kayma parametrelerinin belirlenmesi.....	42
Şekil 3.36 %20 Uçucu kül katkılı zeminin 7 günlük kür sonucu kayma parametrelerinin belirlenmesi.....	43
Şekil 3.37 %30 Uçucu kül katkılı zeminin 7 günlük kür sonucu kayma parametrelerinin belirlenmesi.....	43
Şekil 3.38 Uçucu kül katkısıyla kohezyonun değişimi (Hemen).....	44
Şekil 3.39 Uçucu kül katkısıyla kohezyonun değişimi (7 Günlük Kür).	44
Şekil 3.40 Uçucu kül katkısıyla içsel sürtünme açısının değişimi (Hemen).....	45
Şekil 3.41 Uçucu kül katkısıyla içsel sürtünme açısının değişimi (7 Günlük Kür).	45
Şekil 3.42 Doğal zeminin değişen çevre basıncı altındaki gerilme farkı-şekil değiştirme grafikleri (Hemen).....	46

Şekil 3.43 %10 Uçucu kül katkılı zeminin değişen çevre basıncı altındaki gerilme farkı- şekil değiştirme grafikleri (Hemen).	46
Şekil 3.44 %20 Uçucu kül katkılı zeminin değişen çevre basıncı altındaki gerilme farkı- şekil değiştirme grafikleri (Hemen).	47
Şekil 3.45 %30 Uçucu kül katkılı zeminin değişen çevre basıncı altındaki gerilme farkı- şekil değiştirme grafikleri (Hemen).	47
Şekil 3.46 Doğal zeminin değişen çevre basıncı altındaki gerilme farkı-şekil değiştirme grafikleri (7 Günlük Kür).	48
Şekil 3.47 %10 Uçucu kül katkılı zeminin değişen çevre basıncı altındaki gerilme farkı- şekil değiştirme grafikleri (7 Günlük Kür).	48
Şekil 3.48 %20 Uçucu kül katkılı zeminin değişen çevre basıncı altındaki gerilme farkı- şekil değiştirme grafikleri (7 Günlük Kür).	49
Şekil 3.49 %30 Uçucu kül katkılı zeminin değişen çevre basıncı altındaki gerilme farkı- şekil değiştirme grafikleri (7 Günlük Kür).	49
Şekil 3.50 Uçucu kül katkısıyla gerilme farkının değişimi (Hemen).....	50
Şekil 3.51 Uçucu kül katkısıyla gerilme farkının değişimi (7 Günlük Kür).....	50
Şekil 4.1 Zeminin ve uçucu külün granülometri eğrileri.	51

1. GİRİŞ

Günümüzde artan enerji ihtiyacı farklı enerji kaynakları aramayı kaçınılmaz kılmıştır. Hidroelektrik santrallerin yapım maliyetlerinin yüksek ve inşaa aşamasının uzun sürmesi, taş kömürü ve linyit rezervlerinin yeterli olması nedenleri ile termik santral yapımına yönelmiştir. Termik santrallerde yakıt olarak taş kömürü ve linyit kömürü kullanılmaktadır. Bunun sonucu olarak büyük oranda atık madde açığa çıkmaktadır. Bunlar; taban külü, cüruf ve büyük oranda uçucu küllerdir.

Uçucu kül, yakıt olarak kömür ve linyit kullanılan termik santrallerde, kömür kullanılarak demir, çelik ve diğer metal üretimi yapan ısı ve kazan tesislerinde atık veya yan ürün olarak ortaya çıkmaktadır (Alkaya, 2002) (Şekil 1.1).



Şekil 1.1 Yumurtalık Sugözü (Adana) termik santrali uçucu külü (Oyak Beton Sanayi T.A.Ş., 2009)

Yaklaşık 2000 yıldan beri söndürülmüş kireç ile birleştirilerek hidrolik bağlayıcı olarak kullanılan ve adını ilk olarak kullanıldığı İtalya’da Vezüv yanardağı eteklerindeki Puzzouli kasabasından “Puzzolan” olarak alan volkanik küller, kimyasal bileşenleri itibariyle, uçucu küllere çok benzemektedir. Volkanik küller, tüfler ve ponza taşları doğal puzzolanlar sınıfına girerler. Uçucu küller, pişirilmiş killer, granüle yüksek fırın cürufları ve silikon metallerin üretiminde yan ürün olarak elde edilen yoğunlaştırılmış silis dumanı da yapay puzzolanlar sınıfında yer almaktadırlar (Erdoğan, 1993).

Uçucu küllerin puzzolanik özellikleri, 1930'lu yılların başlarında ABD'de fark edilmiş ve takip eden yıllarda bu malzeme, özellikle kütle beton elde edilmesinde kullanılmıştır. 1950'lerden itibaren zemin stabilizasyon malzemesi olarak kullanılmış, bu da daha ziyade F sınıfı uçucu külün kireç ve zemin ile karıştırılması yoluyla olmuştur (Terrel ve diğ., 1976; Erol, 2007).

Türkiye'de katı yakıtlı termik santrallerde yıllık toplam kömür ve linyit tüketimi yaklaşık 55 milyon ton olup yanma sonucu 15 milyon ton civarında uçucu kül oluşmaktadır (TEAŞ, 2000).

Bu çalışmada, Yumurtalık Sugözü termik santralının atık maddesi olan uçucu külün, değişik oranlarla katılarak kil zeminin dayanımına etkisi deneysel çalışmalarla araştırılmıştır.

Uçucu külün geoteknik uygulamalarında kullanımı ile hedeflenen; çimentodan ve kireçten tasarruf sağlanması, doğal kaynakların tahribatının azaltılması, çevre kirliliğinin önlenmesi ve enerji kullanımının minimize edilmesidir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Uçucu Küllerin Tanımı ve Genel Özellikleri

Kömür kullanılan termik santrallerde pulverize kömürün buhar üretici kazanlarını ısıtmak üzere yakılmasıyla ortaya çıkan küllerin kaba olan kısmı kazan tabanına düşerken, ince olan kısmı gazlarla birlikte uçarak atmosfere çıkmak üzere hareket etmekte ve elektrofiltreler yardımıyla tutularak bacadan çıkışı önlenmektedir. Yere düşen malzemeye **taban külü**, filtrelerde tutulan silt boyutlu malzemeye ise **uçucu kül** denilmektedir (ASTM C618; Açar, 2007).

Termik santralin tipine göre 1100-1600°C sıcaklıkta yakılan kömürlerin %10-20'si kazan altına düşerek su ile uzaklaştırılır. Buna **kazan altı cürufu** denir. Bunların tane çapları 20 mikron-3 mm arasındadır. Geri kalan daha ince partiküller baca çekimi ile taşınarak siklon veya elektrofiltrelerde toplanır. Bu uçucu küller, baca gazları ile sürüklenir ve hava ile temas ederek ani soğuma ile puzzolanik özellik kazanır. **Puzzolan**; içerisinde silisli ve alüminli bileşikler bulunan, tek başına bağlayıcı olmayan ancak su ve kireçle birleştiğinde bağlayıcılık özelliği kazanan malzemelerdir. Uçucu kül, bir suni puzzolandır (Bayazıt, 1980).

Genel olarak yanma odasından çıkan baca gazı, önce siklonlardan daha sonra da elektrofiltrelerden geçer. Nispeten iri taneli olan uçucu küller siklonlarda, daha ince ve hafif olanları ise elektrofiltrelerde tutulur. Elektrofiltreler, kül taneciklerinin yüksek voltajlı iyonizasyon alanından geçirilerek statik elektrikle yüklenmesi ve elektrodlar üzerinde toplanması prensibine dayanır. Elektrod yüzeylerinde toplanan kül, bunkerlere ve oradan da pnömatik olarak kül atma tesisine taşınır.

Bir termik santraldan 3 çeşit atık madde elde edilmektedir:

- Baca gazları ile taşınmayan yanarak tabana düşen küle taban külü denir.
- Siklon tipi ocaklarda yanan kömür külünün ergime ve suda soğutulularak uzaklaştırılması ile elde edilen küle cüruf denir.
- Baca gazları ile taşınan mekanik veya elektrostatik toz tutucularda tutulan çok ince küllere de uçucu kül denir.

2.2. Uçucu Külün Sınıflandırılması ve Kimyasal Bileşimi

Birçok ülke standartları uçucu küller hakkında kesin bir sınıflandırma yapmamakla birlikte C618 sayılı ASTM (American Society for Testing Materials) standartlarına göre, uçucu küller kimyasal kompozisyonları ve üretildikleri kömür cinsi göz önünde tutularak iki genel sınıfa ayrılmaktadır. $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 \geq \%70$ olduğu takdirde “**F sınıfı**” ve $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 \geq \%50$ olduğu takdirde ise “**C sınıfı**” olarak kabul edilmektedirler. F sınıfı uçucu küller taşkömürü gibi bitümlü kömürlerden, C sınıfı uçucu küller ise linyit veya bitüm miktarı düşük kömürlerden elde edilmektedirler. C618 sayılı ASTM standardına göre, bazı C sınıfı uçucu küllerde %10’dan daha fazla kireç bulunabilmektedir (Erdoğan ve Parla, 1993). Genel olarak, içerisinde %10’dan daha fazla CaO bulunan uçucu küller “yüksek kireçli uçucu küller” ve %10’dan daha az CaO bulunanlar ise “düşük kireçli uçucu küller” olarak tanımlanmaktadır.

Uçucu külün %85’inden fazlası SiO_2 , Al_2O_3 , CaO ve Fe_2O_3 ’den oluşmuştur. Bu oksitlere ilaveten düşük oranda MgO ve SO_3 alkalileri de bulunur. Uçucu kül bacadan toplanırken; içinde bazı yanmamış karbon partikülleri de uçucu küllerin kimyasal bileşenini oluştururlar. Çizelge 2.1’de F sınıfı ve C sınıfı uçucu küllerin kimyasal bileşenlerinin yüzdelерinin hangi sınırlar civarında olabileceği gösterilmektedir (Öksüz, 2006). Çizelge 2.2’de ise Türkiye’deki bazı termik santrallerden alınan uçucu küllerin kimyasal bileşenleri verilmiştir (Tokyay, 1993).

Çizelge 2.1 Çeşitli uçucu küllerden elde edilen sonuçlara göre uçucu küllerin yaklaşık kimyasal bileşenlerinin yüzdesi (Çakır, 1999; Öksüz, 2006).

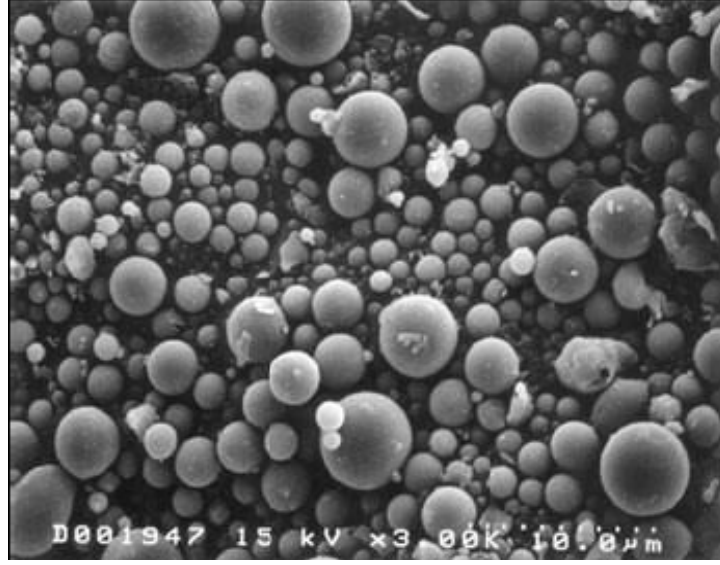
Kimyasal Özellik	F Sınıfı	C Sınıfı
SiO_2	43,6-64,4	23,1-50,5
Al_2O_3	19,6-30,1	13,3-21,8
Fe_2O_3	3,8-30,1	3,7-22,5
CaO	0,7-6,7	11,5-19,0
MgO	0,9-1,7	1,5-7,5
Na_2O	0-2,8	0,4-1,9
Kızdırma Kaybı	0,4-7,2	0,3-1,9

Çizelge 2.2 Türkiye'deki bazı termik santrallerden elde edilen uçucu küllerin kimyasal bileşimleri (Tokyay, 1993)

Oksit (%)	Afşin-Elbistan	Çatalağzı	Seyitömer	Soma-B	Tunçbilek	Yatağan	TS639 sınırları	ASTM C618 Sınırları	
								F	C
SiO ₂	27,4	56,8	40,6	39,8	56,4	51,2	-	-	-
Al ₂ O ₃	12,8	24,1	9,1	22,3	23,0	22,9	-	-	-
Fe ₂ O ₃	5,5	6,8	7,7	4,4	10,1	7,8	-	-	-
S+A+F	45,7	87,7	57,4	66,5	89,5	81,9	>70	>70	>50
CaO	47,0	1,4	19,9	25,4	2,1	13,0	-	-	-
MgO	2,5	2,4	8,1	1,9	3,3	2,8	<5	<5	<5
SO ₃	6,2	2,9	10,6	4,8	0,4	0,3	<5	<5	<5
Alkali	0,3	3,0	1,4	0,4	0,9	2,9	-	<1,5	<1,5
TiO ₂	0,7	1,1	0,7	0,6	1,1	0,9	-	-	-
Kızdırma Kaybı	2,4	0,6	1,4	0,4	1,1	0,4	<10	<10	<6

2.3. Uçucu Külün Fiziksel Özelliği

Uçucu külün özellikleri; yakılan kömüre, yakma şekli ve külü toplama metodu gibi faktörlere bağlı olarak her termik santral için hatta aynı santral için bile farklılıklar gösterir. Ancak, rengi genellikle gri olup içinde yanmamış karbon miktarı fazla olduğunda daha koyu renkte, kireç muhtevası yüksek olduğunda ise daha açık renkte olmaktadır. İnce daneli ve dokunulduğunda yumuşak bir malzeme olup mikroskopla incelendiğinde süngerimsi boşluklu ve boşluksuz küresel danelerden oluştuğu görülmektedir (Erşan, 1996; Erol, 2007) (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 Uçucu kül daneleri 2000 kat büyütülmüş haliyle (American Coal Ash Association; Erol, 2007)

Uçucu kül daneleri küre şeklinde olup, çapları 1 ile 150 mikron arasında değişmektedir. Silt boyutunda olan uçucu küller tipik olarak portland çimentosu ve kireçten daha ince bir malzeme olarak bulunmaktadır (American Coal Ash Association, 2003; Erol, 2007).

Uçucu kül, hafif ve ağır küre taneciklerinden ibaret olmakla beraber genellikle büyük parçaların içinde boşluk vardır. Uçucu kül içindeki boşluk oranı, iri uçucu küllerden %20'ye çıkmaktadır. Özgül ağırlığı 2,1-2,4 gr/cm³ arasında değişmektedir (Bayazıt, 1980).

2.4. Uçucu Külün Pozzolanik Özelliği

Uçucu kül, kireç ile sulu ortamda reaksiyona girerse pozzolanik özellik kazanır. Belirli oranlarda birleşen kireç+uçucu kül+su belirli bir süre sonra su altında dayanım kazanır. Ancak, uçucu külün kireç olmadan bağlayıcı özelliğinin olmayacağı da bilinmelidir (Öksüz, 2006).

Uçucu küllerde puzzolonik özelliğın esası olan bu dayanım kazanma özelliğı oldukça yavaş olarak ortaya çıkar. Artan süreyle birlikte uçucu küllerin dayanımı artar (Alkaya, 2002).

Uçucu külle belli dayanım için belli sürelerde beklemek gerekir. Uçucu külün inceliğı ve sıcaklığı, reaksiyon hızına pozitif yönde etkir. Aynı şekilde beton yapılırken kullanılan çimentoğun bir kısmı yerine uçucu kül katıldığında, ilerki günlerde sadece çimento ile yapılan betonlara nazaran daha yüksek mukavemetler elde edildiğı bilinmekte ve bundan ise bilhassa hidrolik yapılarda (özellikle baraj) faydalanılmaktadır (Bayazit, 1980; Alataş, 1996; Öksüz, 2006).

Uçucu külü kullanmadan önce fiziksel ve kimyasal özelliklerinin yanı sıra puzzolanik özelliğini tespit etmek üzere puzzolanik aktivite deneyi TS639'a uygun olarak yapılmalıdır. Bu aktivite çimento ve uçucu külle harç dökülerek tayin edilir. Bir uçucu külün puzzolanik özelliğının varsayılması için uçucu küllü karışımın yalnız çimento ile yapılan karışımın verdiğı dayanımın en az %70'ini vermesi gerekmektedir (TS639, 1975).

2.5. Termik Santraller

Elektrik elde etmek amacıyla kullanılan iki önemli üretim kaynağından birisi hidroelektrik enerji sağlayan barajlar, diğeri ise genellikle yakıt olarak pülverize kömürün kullanıldığđ termik santrallerdir. Türkiye'deki toplam elektrik enerjisi üretiminin yaklaşık olarak yarısı, hatta yarıdan biraz daha fazlası, termik santrallerden sağlanmaktadır (Erdoğan, 1993) (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 Yumurtalık Sugözü termik santrali (www.isken.com.tr)

Yetmişli yıllarda birkaç kez yaşanan ve zaman zaman ortaya çıkan enerji krizleri, gelişen endüstrinin giderek artan enerji ihtiyacı, Türkiye’de yeni santrallerin yapılması gereğini ortaya çıkarmıştır. 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 gerçekleştirilmesine karşılık, termik santraller çok daha kısa sürede inşa edilebilmektedir (Özbayoğlu, 1993).

Ülkemizde yaygın linyit yatakları bulunmaktadır. Linyitin Türkiye’nin enerji üretimindeki payı 1975’te %9,5 iken, 1985’de %19,1’e çıkmıştır. Linyit rezervinin yarısına yakın bölümü (%48) Kahramanmaraş-Elbistan yöresinde bulunmakta ve kalitesi düşük olup, kül oranı da yüksektir. Son yıllarda yapılan termik santrallerle bu düşük kalite kömürlerin değerlendirilmesine çalışılmaktadır (Tuğal, 1989).

Türkiye’deki bütün termik santrallerde yıllık toplam kömür tüketimi 55 milyon ton civarında olup, elde edilen kül miktarı 13,5 milyon ton kadardır (Tokay, 1993).

2.6. Uçucu Külün Üretimi, Taşınması ve Depolanması

Türkiye’de mevcut termik santrallerden oldukça büyük miktarda uçucu kül elde edilmekte ve kurulmakta olanlarla bu değerlerin daha da artacağı düşünülmektedir. Türkiye’deki termik santrallerden elde edilen kül miktarı Çizelge 2.3’de gösterilmiştir.

Külün tam süspansiyon halinde taşınması, kompresörlü yüksek basınç sistemleri gerektirir. Pahalı olan bu sistem yerine külün alçak basınçlı hava ile kabartılarak pompalanması geliştirilmiş ve uygulamaya başlanmıştır. Uçucu külün düşük yoğunluğu, depolanmasında güçlükler çıkartır. Depolanan kül sıkışarak topaklanabilir. Bu nedenle depolarda akmaya yardımcı yöntemler kullanılmalıdır. Boşaltma sistemleri çimento teknolojisindeki gibi olmalıdır. Külün ticari amaçla kullanılabilmesi için kuru olarak elde edilmesi gerekir. Santral yakınında büyük bir tüketim merkezi bulunması halinde kül pnömatik olarak taşınabilir. Uzak tüketim yerlerine kara ve demiryolu ile özel tankerlerle, küçük tüketim bölgelerine ise torbalama yoluyla taşınabilir (Bayazıt, 1980).

Çizelge 2.3 Yıllara göre Türkiye’de uçucu kül üretim miktarları (1000 ton/yıl) (TEAŞ, 2000; Alkaya, 2002)

Santral Adı / Yılı	Tunçbilek	Seyitömer	Çatalağzı	Soma-A Soma-B	Yatağan	Çayırhan	Yeniköy	Afşin-Elbistan	Kangal	Kemerköy	Orhaneli	Toplam
1980	300	1000	250	70	670	-	-	-	-	-	-	2290
1981	700	1000	200	60	-	-	-	-	-	-	-	1960
1982	700	1000	200	420	-	-	-	-	-	-	-	2320
1983	700	1000	200	780	800	-	-	875	-	-	-	4355
1984	700	1000	200	780	1160	252	-	1750	-	-	-	5842
1985	700	1000	200	1080	1160	504	-	3500	306	-	-	8450
1986	700	1330	432	1440	1160	504	1224	3500	612	-	-	10902
1987	700	1330	432	1440	1160	504	1224	3500	612	-	-	10902
1989	600	1420	830	2650	1075	420	1130	2430	575	-	-	11130
1992	540	1600	525	2650	1520	438	750	2620	630	-	279	11552
1993	585	1710	525	3600	800	272	1060	1442	356	-	174	10350
1994	696	1823	603	4100	751	349	814	2051	651	-	105	11838
1995	481	1915	512	3500	951	391	968	2153	504	-	-	11375
1999	496	1797	584	3726	781	862	791	2740	567	1400	376	14160
2000	534	1507	577	3455	1107	1241	803	1755	571	1698	395	13635

2.7. Uçucu Külün Kullanıldığı Yerler

Amerika Birleşik Devletleri gibi endüstrileşmiş ülkelerde taş kömürü veya linyit kömürü yakan termik santrallerin kazan ve bacalarında tutulan uçucu küller, içerdiği puzzolanik özellik nedeniyle inşaat sektöründe ilk önce çimento ikame maddesi olarak 1950'li yıllarda kullanılmaya başlanmıştır. Bugün ise, madencilik sektöründen (dolgu işleri), inşaat sektörünün değişik alanlarına kadar uzanan çok geniş bir alan içinde önemli endüstriyel ölçeklerde kullanılmaktadır (Arıoğlu ve Manzak, 1992; Alataş, 1996).

Dünyada birçok ülkede yıllık uçucu kül üretiminin %25'den fazlası değerlendirilmektedir. Hatta bu rakamlar bazı ülkeler için %100 değerine bile ulaşmaktadır. Ülkemiz uçucu kül üretiminde dünyada onuncu sırada yer alırken, ülkemizde üretilen uçucu küller değerlendirilememektedir (Baykal, 1993; Alataş, 1996).

1970'li yıllardan başlayan petrol krizinin ardından enerji kullanımını azaltmaya ve alternatif malzemelerin kullanılmasına yönelik çalışmalar artarak devam etmiştir. Türkiye'de uçucu kül üretimi ve kullanımı 1960'lı yıllarda başlamıştır. Uçucu küllerin fiziksel, kimyasal ve mineralojik özellikleri incelendiğinde, bunların inşaat sektöründe rahatlıkla kullanılabilmesi, malzeme ve enerji üretiminde ekonomik olurken diğer taraftan da çevre kirliliğinin önlenmesi ile ekolojik dengenin korunması sağlanabilmektedir (Ünal ve Uygunoğlu, 2004; Dede, 2008).

Türkiye'de uçucu kül genel olarak çimento ve tuğla üretimi ile baraj yapımında kullanılmaktadır. Avrupa'da ise uçucu kül ağırlıklı olarak beton, hafif beton blok ve gazbeton üretiminde kullanılmaktadır (Aruntaş, 2006; Dede, 2008). Bazı ülkelerdeki uçucu kül üretimi ve kullanımı Çizelge 2.4'te gösterilmiştir (Baykal, 1993; Alataş, 1996).

Uçucu külün pratik önemi olan bazı kullanım yerleri şunlardır:

- Çimento ve beton katkı maddesi olarak,
- Boşluk beton üretiminde,
- Tuğla üretiminde,
- Boşluk dondurma-enjeksiyon işlerinde,
- Hafif agrega üretiminde,

- Gazbeton üretiminde,
- Rolkrit üretiminde,
- Dolgu stabilizasyonunda,
- Alt yapı ve taban malzemesi olarak,
- Alt drenaj tabakası olarak,
- İri stabilize malzemelerinin boşluklarının doldurulmasında,
- Zemin enjeksiyonlarında kireçle birlikte kullanılmaktadır.

Çizelge 2.4 Uçucu kül üretim ve kullanımı (1000 ton/yıl) (Baykal, 1993; Alataş, 1996)

ÜLKE	Uçucu Kül	Baca altı Külü	Kullanım	Yüzde Kullanım	Yıl
Hollanda	815	85	900	100	1991
Hong Kong	1012	112	1124	100	1989
Danimarka	840	140	880	90	1990
Almanya	7980	4330	10710	87	1989
Finlandiya	434	49	412	85,3	1990
Belçika	930	160	795	73	1990
İtalya	1300	135	900	63	1988
İsrail	370	40	250	61	1989
Fransa	2200	405	1300	50	1987
Japonya	3341	459	1758	46,2	1991
Britanya	13300	2200	5467	35,3	1989
ABD	48458	16766	15974	24,4	1989
SSCB	90000	35000	11500	9,2	1990
İspanya	7391	1304	1500	17,3	1989
Türkiye	15250	1865	-	-	1991

2.8. Ülkemizde Yeteri Kadar Uçucu Kül Kullanılmamasının Nedenleri

Aşağıdaki belirtilen nedenlerden dolayı ülkemizde uçucu kül kullanımı yeterince yaygınlaşmamıştır (İlhan, 1995; Alkaya, 2002):

1. Üreticiler ve tüketiciler olarak konunun yeterince kavranmaması ve termik santrallerde baca külü ile taban külünün karıştırılması, stoklamada ve sınıflandırmada gerekli özenin gösterilmemesi
2. İnşaat sektörünün tutucu yapısı

3. Bilgilendirme eksikliği ve uçucu külün yeterince tanınmaması
4. Külün santral koşullarından ve kömürün yapısından kaynaklanan homojenliğinin olmaması
5. Çimento sanayinin tutumu
6. Uçucu külün çevresel etkileri
7. Bazen uçucu küllerde radyoaktivite bulunması

2.9. Uçucu Kül Katkısının Kompaksiyona Etkisi

Uçucu küllerin kompaksiyon eğrisi kohezyonlu zeminlerin kompaksiyon eğrisine benzer (DiGioia ve Huzzo, 1972; Uysal, 1987; Wasti, 1990; Erşan, 1996; Çakır, 1999; Alkaya, 2002).

Joshi ve diğ. (1975), çalışmalarında Kansas'daki üç termik santralden (Hawthorn, Grve Avenue ve LaCygne) alınan uçucu kül örnekleri üzerinde standart proktor deneyi yapmışlardır. Yaptıkları araştırmada, uçucu küllerin birim hacim ağırlığı düşük olduğundan, kohezyonlu malzemelerle karıştırılıp kompaksiyona tabi tutulduklarında karışımın maksimum kuru birim hacim ağırlığında düşüş, optimum su içeriğinde ise, bir artma meydana geldiği belirlenmiştir (Çizelge 2.5). Laboratuar ve arazi deneyleri sonuçlarına göre; uçucu külün iyi bir dolgu malzemesi olarak kullanılabileceğini belirlemişlerdir (Alkaya, 2002).

Çizelge 2.5 Uçucu kül katkısı ile $w_{opt.}$ ve $\gamma_{kmaks.}$ değerlerinin değişimi (Joshi ve diğ., 1975; Alkaya, 2002)

Karışım	$w_{opt.}$ (%)	$\gamma_{kmaks.}$ (kN/m³)
Zemin	22	15,4
Zemin+%15 Hawthorn U.K.	27	14,9
Zemin+%20 Hawthorn U.K.	26	14,6

Lee ve Fishman (1987), otoyol inşaatlarında kullanılmak üzere ayrı ayrı kil, uçucu kül ve her ikisinin de karışımları ile aralarında ampirik bir bağlantı geliştirerek iyi bir dolgu malzemesi elde etme koşulları belirlenmiştir. Deney sonuçları Çizelge 2.6'de verilmektedir (Alkaya, 2002).

Çizelge 2.6 Farklı oranlardaki zemin uçucu kül karışımlarının kompaksiyon değerleri (Lee ve Fishman, 1987; Alkaya, 2002)

Karışım	$\gamma_{kmaks.}$ (kN/m³)	w_{opt.}
Zemin	18	13
%90 Zemin+%10 U.K.	17,8	15
%80 Zemin+%20 U.K.	17	16
%70 Zemin+%30 U.K.	16	17
Uçucu Kül	12	23

Günel (1996), Seyitömer termik santrali uçucu külü ile yapılan standart proktor deneyinin sonuçları ve %20'lik karışım sonuçları Çizelge 2.7'de verilmiştir. Araştırma sonucunda, kil ve uçucu kül karışımının kompaksiyon eğrisinin, kil ve uçucu küle ait kompaksiyon eğrisinin, kil ve uçucu küle ait kompaksiyon eğrileri arasında yer aldığını, karışımın optimum su içeriğinin kil numunesinin optimum su içeriğinden büyük olduğu ve karışımın maksimum kuru birim hacim ağırlığında bir azalma meydana geldiği gözlemlenmiştir.

Çizelge 2.7 Standart proktor deneyi sonuçları (Günel, 1996)

Karışım	$\gamma_{kmaks.}$ (kN/m³)	w_{opt.} (%)
Uçucu Kül	8,25	46
Kil Zemin	17	18
Zemin+%20 U.K.	14,30	23

Savaran (1988), tarafından Eymir gölü kili ($w_L=72$, $w_P=21$, $I_P=51$) ve Soma ve Çatalağzı termik santrali uçucu külleri kullanılmış ve deneylerin sonuçları Çizelge 2.8'de verilmiştir.

Çizelge 2.8 Kil ve uçucu kül karışımlarının maksimum kuru birim hacim ağırlığı ve optimum su içeriği değerleri (Savaran, 1988)

Karışım oranları	Standart Proktor		Modifiye Proktor	
	$\gamma_{\text{k maks.}} (\text{kN/m}^3)$	$w_{\text{opt.}} (\%)$	$\gamma_{\text{k maks.}} (\text{kN/m}^3)$	$w_{\text{opt.}} (\%)$
Zemin	15,60	24	16,88	17
Zemin+%15 U.K. (Soma)	15,57	22,50	17,70	18,80
Zemin+%20 U.K. (Soma)	15,74	20,50	16,45	19,50
Zemin+%25 U.K. (Soma)	15,03	24,40	16,52	19,30
Zemin+%20 U.K. (Çatalağzı)	14,97	24,50	-	-

Çakır (1999), tarafından CH sınıfı Kil ve Seyitömer Termik santrali uçucu külü kullanılarak yapılan deneylerin sonuçları Çizelge 2.9'da verilmiştir.

Çizelge 2.9 Standart proktor deneyi sonuçları $\gamma_{\text{k maks.}}-w_{\text{opt.}}$ değerleri (Çakır, 1999)

Karışım	$\gamma_{\text{k maks.}} (\text{kN/m}^3)$	$w_{\text{opt.}} (\%)$
Kil Zemin	16,05	21
Zemin+%10 U.K.	15,15	23
Zemin+%20 U.K.	14,4	25

Erşan (1996), çalışmasında İTÜ kampüs alanından alınan ML sınıfı zemin ve Gökova Termik santrali uçucu küllerini kullanmıştır. Deney sonuçları Çizelge 2.10'da verilmiştir.

Çizelge 2.10 Standart proktor deneyi sonuçları $\gamma_{\text{k maks.}}-w_{\text{opt.}}$ değerleri (Erşan, 1996)

Karışım	$\gamma_{\text{k maks.}} (\text{kN/m}^3)$	$w_{\text{opt.}} (\%)$
Zemin	18,9	13
Zemin+%5 U.K.	18	18
Zemin+%10 U.K.	17,2	20
Zemin+%15 U.K.	16,6	21
Zemin+%15 U.K.+%5 Kireç	15,1	25

Alkaya (2002), çalışmasında Denizli ili Korucuk beldesinden alınan ML sınıfı zemin ve Yatağan termik santrali uçucu küllerini kullanmıştır. Deney sonuçları Çizelge 2.11'de verilmiştir.

Çizelge 2.11 Standart proktor deneyi sonuçları γ_{kmaks} - w_{opt} değerleri (Alkaya, 2002)

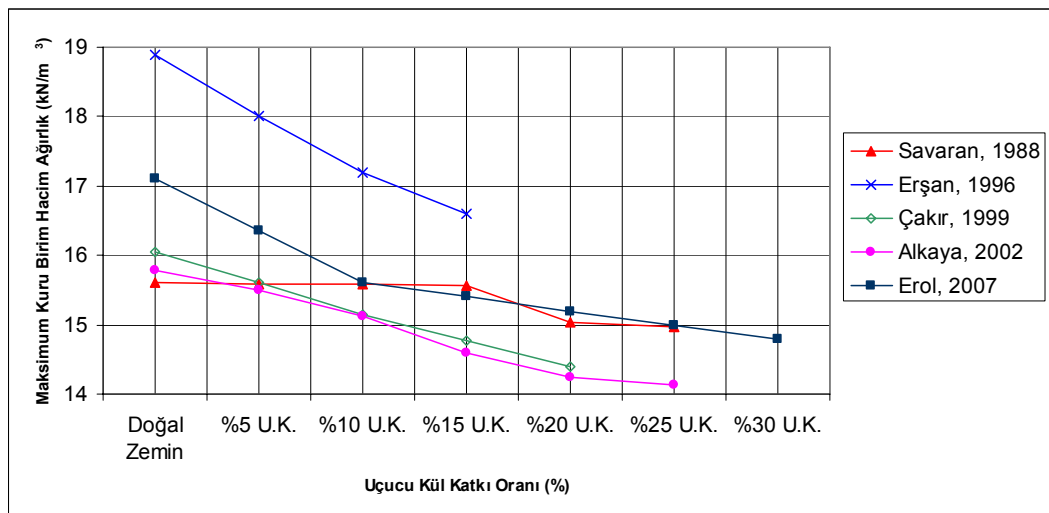
Karışım	$\gamma_{\text{kmaks.}} \text{ (kN/m}^3\text{)}$	$w_{\text{opt.}} \text{ (}\% \text{)}$
Doğal Zemin	15,79	22
Doğal Zemin+%5 U.K.	15,50	22,50
Doğal Zemin+%10 U.K.	15,12	23,30
Doğal Zemin+%15 U.K.	14,60	23,80
Doğal Zemin+%20 U.K.	14,25	24
Doğal Zemin+%25 U.K.	14,14	24

Erol (2007), çalışmasında Manisa ili Turgutlu ilçesinden elde edilen ML sınıfı zemin ve Soma termik santrali uçucu küllerini kullanmıştır. Deney sonuçları Çizelge 2.12’de verilmiştir.

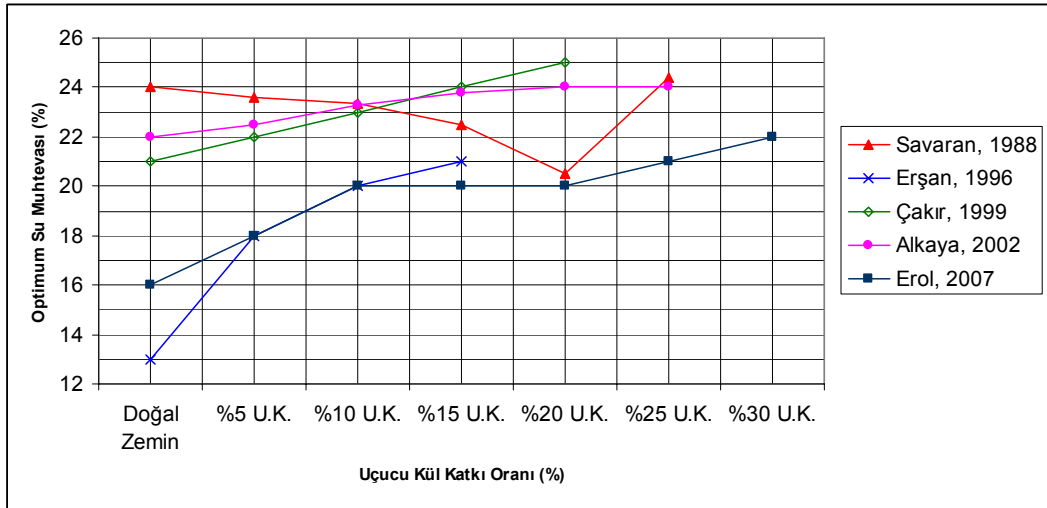
Çizelge 2.12 Standart proktor deneyi sonuçları γ_{kmaks} - w_{opt} değerleri (Erol, 2007)

Karışım	$\gamma_{\text{kmaks.}} \text{ (kN/m}^3\text{)}$	$w_{\text{opt.}} \text{ (}\% \text{)}$
Doğal Zemin	17,10	16
Doğal Zemin+%10 U.K.	15,60	20
Doğal Zemin+%20 U.K.	15,20	20
Doğal Zemin+%30 U.K.	14,80	22

Yukarıda belirtilen çalışmalardan elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak, Şekil 2.3’te uçucu kül katkı oranı-maksimum kuru birim hacim ağırlığı ve Şekil 2.4’te ise uçucu kül katkı oranı-optimum su muhtevası değişimleri gösterilmiştir.



Şekil 2.3 Önceki çalışmaların uçucu kül katkı oranı-maksimum kuru birim hacim ağırlığı değişimi sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 2.4 Önceki çalışmaların uçucu kül katkı oranı-optimum su muhtevası değişimi sonuçlarının karşılaştırılması

Yukarıda belirtilen literatür çalışmaları sonucunda, sıkışma (kompaksiyon) parametreleri fazla etkilenmemekle beraber, artan uçucu kül oranları ile maksimum kuru birim hacim ağırlığı biraz azalmakta ve optimum su muhtevasında ise artışların olduğu görülmektedir (Şekil 2.3, 2.4).

2.10. Uçucu Kül Katkısının Kayma Mukavemeti Üzerine Etkisi

Uçucu külün kayma mukavemeti, içsel sürtünme açısından ve ıslak küldede bulunan suyun yüzeysel geriliminden oluşan kohezyondan meydana gelmektedir. Kayma mukavemeti uçucu külün çimentolaşma özelliğinden dolayı zamanla artış göstermektedir. Bu artış uçucu küldede bulunan serbest kireç oranıyla değişmektedir (DiGioia Huzzo, 1972; Alkaya, 2002). Uçucu külün içsel sürtünme açısı, özgül ağırlık, dane boyu dağılımı, doygunluk derecesi ve uygulanan kompaksiyon enerjisine bağlıdır.

Tan ve İyisan (1996), %20 uçucu kül ilavesinin Kemerburgaz kilinin (w_L =%40, w_P =%19,3, I_P =%21,7, CL) mukavemet karakteristikleri üzerindeki etkilerini incelemişler ve üç eksenli basınç deneylerinde bir günlük kür sonucunda bile kayma direncinde önemli bir artış meydana geldiğini göstermişlerdir (Çizelge 2.13).

Çizelge 2.13 Üç eksenli basınç deneyi sonuçları (Tan ve İyisan, 1996)

	Kohezyon c_u (kN/m²)	İçsel Sürtünme Açısı Φ (°)	Kırıldığı Deformasyon (ϵ_f) (%)
Kil	160	9	13
Kil+%20 U.K.	140	22	10

Lee ve Fishman (1987) çalışmalarında otoyol inşaatlarında kullanılmak üzere ayrı ayrı kil, uçucu kül ve her ikisinin de karışımlarının dolgu malzemesi olarak kullanılmasını sağlamak için deneyler yapmışlardır (Alkaya, 2002). Çizelge 2.14'de deney sonuçları verilmektedir.

Çizelge 2.14 Uçucu kül ile zemin numunesine ait kompaksiyon ve serbest basınç deneyi sonuçları (Lee ve Fishman, 1987; Alkaya, 2002)

Malzeme	w_{opt.} (%)	$\gamma_{kmaks.}$ (kN/m³)	Serbest Basınç Dayanımı (kN/m²)
Zemin	13	15,29	144,69
	17	16,66	207,39
	20	15,97	150,89
	25	15,29	69,59
Uçucu Kül (1 günlük kür)	20	10,30	48,92
	25	10,41	71,66
	30	10,39	51,68
%70 Zemin+%30 U.K. (1 günlük kür)	19	15,89	135,73
	22	16,08	109,55
	32	14,51	115,06
%70 Zemin+%30 U.K. (7 günlük kür)	19	15,87	135,73
	22	16,08	210,83
	26	15,98	118,51
%40 Zemin+%60 U.K. (1 günlük kür)	19	12,54	127,41
	27	14,27	71,66
%40 Zemin+%60 U.K. (7 günlük kür)	27	14,21	84,75

Savaran (1988) çalışmalarında likit limit %72, plastik limit %21, plastisite indisi %41 olan CH sınıfı kil ile Soma ve Çatalağzı Termik santralleri uçucu külleri ile hazırlanan karışımların serbest basınç deneyleri sonuçları Çizelge 2.15'de verilmektedir (Alkaya, 2002).

Çizelge 2.15 Standart ve modifiye proktor sıklıklarında hazırlanan örneklerin serbest basınç mukavemetleri (Savaran, 1988; Alkaya, 2002)

Karışım	Standart Proktor Yoğunluğu Serbest Basınç Mukavemeti (kN/m ²)				Modifiye Proktor Yoğunluğu Serbest Basınç Mukavemeti (kN/m ²)			
	0	1	7	28	0	1	7	28
Kür süresi (gün)	0	1	7	28	0	1	7	28
Zemin	259				409			
Zemin+%15 U.K. (Soma)	283	292	835	722	634	715	880	860
Zemin+%20 U.K. (Soma)	367	615	855	950	605	707	829	967
Zemin+%25 U.K. (Soma)	225	454	898	1048	541	740	811	1024
Zemin+%20 U.K. (Çatalağzı)	258	304	342	363				

Çakır (1999), likit limit %50, plastik limit %19, plastisite indisi %31 ve CH sınıfı kil zemin ile %10 ve %20 oranlarında Seyitömer termik santrali uçucu külünün katkısı ile hazırlanan örneklerin üç eksenli basınç deneyini yapmıştır. Sonuçları Çizelge 2.16'da belirtilmektedir (Alkaya, 2002).

Çizelge 2.16 Üç eksenli basınç deneyleri sonuçları (Çakır, 1999; Alkaya, 2002)

Uçucu Kül Oranı	Kür Süresi (Gün)	Kohezyon (kN/m ²)	İçsel Sürtünme Açısı (°)
%0	-	125	5
%10	1	150	16
%10	7	150	11
%10	33	150	14
%10	195	150	15
%20	1	150	15
%20	7	150	16
%20	33	150	20
%20	195	150	21

Alkaya (2002), likit limit %49, plastik limit %32, plastisite indisi %17 ve ML sınıfı kil zemin ile %10 ve %20 oranında Yatağan termik santrali uçucu külünün katkısı ile hazırlanan örneklerin üç eksenli basınç deneyini yaparak Çizelge 2.17 ve Çizelge 2.18'de sonuçları belirtilmektedir.

Çizelge 2.17 Üç eksenli basınç deneyleri sonuçları (Alkaya, 2002)

Karışım	Çevre Basıncı (kN/m ²)	Maks. Deviator Gerilme (kN/m ²)				Kırılmanın Meydana Geldiği Deformasyon (%)			
		Kür Süresi				Kür Süresi			
		Hemen	1 Hafta	1 Ay	3 Ay	Hemen	1 Hafta	1 Ay	3 Ay
Doğal Zemin	100	158							
	200	254							
%10 U.K. Katkılı	100	197	204	260	373	12,7	11,6	6	5,3
	200	326	316	397	529	11,6	11	4,9	4,8
%20 U.K. Katkılı	100	215	241	344	456	10,2	8,6	5,1	5
	200	361	378	490	623	9,1	7,6	4,9	4,8

Çizelge 2.18 Üç eksenli basınç deneyleri sonuçları kayma parametreleri (Alkaya, 2002)

Karışım	Kayma Mukavemeti Parametreleri							
	Kür Süresi							
	Hemen		1 Hafta		1 Ay		3 Ay	
	c (kN/m ²)	Φ (°)	c (kN/m ²)	Φ (°)	c (kN/m ²)	Φ (°)	c (kN/m ²)	Φ (°)
Doğal Zemin	22	19						
%10 U.K. Katkılı	23	23	32	21	40	24	68	26
%20 U.K. Katkılı	25	22	34	24	63	25	89	27

Yukarıda belirtilen literatür çalışmaları sonucunda kayma parametrelerinde önemli değişiklikler gözlemlenmiştir. Kayma parametreleri olan kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerlerinde artan uçucu kül oranları ile artışların meydana geldiği ve %20 oranında uçucu kül katkısıyla maksimuma ulaştığı gözlenmektedir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Amaç

Bu çalışmanın amacı; kil bir zemine uçucu kül ilave edildiğinde Elek Analizi, Atterberg (Kıvam) Limitleri, Standart Proktor ve Üç Eksenli Basınç Dayanımında oluşan değişimi incelemektir. Yapılan deneyler ışığında, uçucu külün zemin iyileştirilmesinde kullanılmasının geoteknik mühendisliği açısından yapılabirliği araştırılmıştır.

3.1.2. Kapsam

Deneyler; Form Jeoteknik Mühendislik ve Limited Şirketi (Ankara)'nin tam teçhizatlı kaya ve zemin mekaniği laboratuvarında yapılmıştır. Deneyler, uzman mühendis ve laboratuvar denetçisi gözetiminde yapılmış, rapor yazarının da katılımıyla sonuçlandırılmıştır.

Yukarda belirtilen laboratuvar, Bayındırlık ve İskan Bakanlığında izin belgesine sahiptir. Deneyler; TS 706-1500-1900-3529-3530, BS 812-1377-5930, ASTM D155-D422-D558-D698-D854-D1557-D1883-D2166-D2216-D2435-D3668-D4318-D4429-D4546, AASHTO T85-T99-T134-T180-T193-T236-M145 ve USC standartlarına uygun bir şekilde yapılmaktadır.

Bu tezde, TS 1900 standartları kullanılmıştır.

Bu çalışmada, kil malzeme ile kuru ağırlığı %0, %10, %20, %30 oranında olan uçucu kül ilave edilerek dört çeşit karışım oluşturulmuştur.

Öncelikle doğal zeminin dane boyu dağılımını tespit etmek için elek analizine tabi tutulmuştur. Daha sonra karışım malzemeleri Atterberg limitleri olan likit limit ve plastik limit deneylerine, optimum su muhtevası-kuru birim hacim ağırlık ilişkilerini veren Standart Proktor Deneyine, dayanım özelliklerinin tespiti için Üç Eksenli Basınç deneyine tabi tutulmuşlardır. Üç Eksenli Basınç deneyi hemen ve 7 günlük kür sürelerinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre en büyük dayanımı sağlayan zemin karışımı tespit edilmiştir.

3.1.3. Zemin

Bu çalışmada, Ankara'nın Ostim civarından elde edilen kil zemin kullanılmıştır. Kuru-ıslak elek analizleri ve Atterberg limitleri deney sonuçlarına göre zeminin sınıfı tespit edilmiştir (Şekil 3.1).

AASHTO sınıflandırma sistemine göre zemin A-7-6 sınıfında bulunmaktadır.

Birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemine (USCS) göre (tek noktada yapılan likit limit deneyi ile belirlenmiştir) kullanılan zeminin sınıfı CL (Düşük plastisiteli kil)'dir [Ek-1: Elek Analiz Kartı Raporu].

Ancak; üç noktada yapılan likit limit deney sonuçlarına göre ise sınıfı CH (yüksek plastisiteli inorganik killer, yağlı killer) dir.

Deney çalışmalarında kullanılan bu zeminin granülometri eğrisi Şekil 3.2'de verilmiştir. Kuru-ıslak elek analizleri sonucu bu şekildeki eğri elde edilmiştir.

Zeminin kıvam limitlerine bakıldığında ise likit limitin $w_L = 50,82$, plastik limitin $w_P = 23,31$, plastisite indisinin de $I_P = 27,51$ olduğu görülmektedir [Ek-1: Atterberg Limitleri].

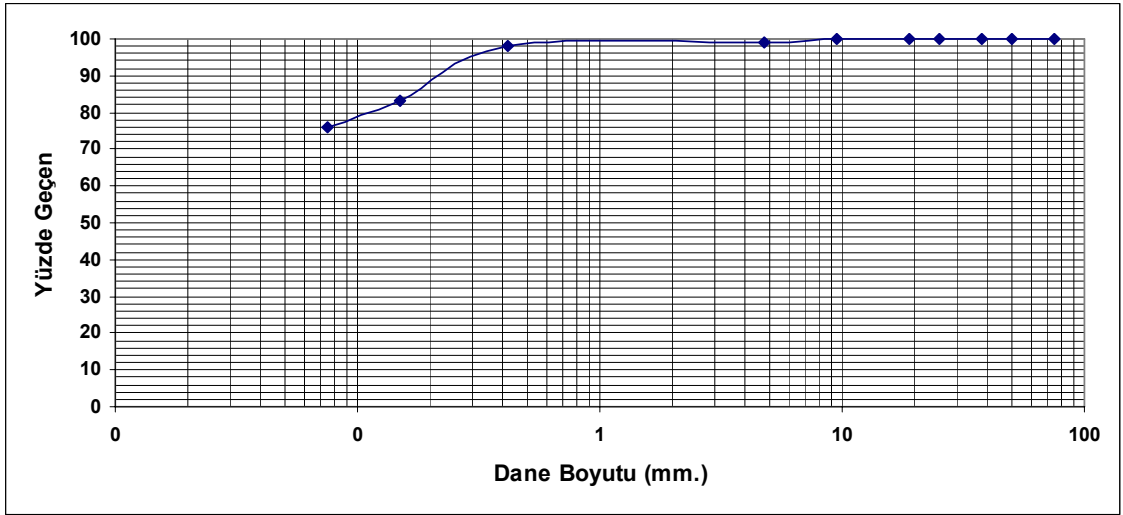
Standart proktor deneyi sonucu zeminin optimum su muhtevası $w_{opt} = 23,40$, maksimum kuru birim hacim ağırlığı ise $\gamma_{kmax} = 1,625 \text{ gr/cm}^3$ olarak bulunmuştur [Ek-1: Proktor (Kompaksiyon) Deney Raporu].

Üç eksenli basınç deneyi sonucu zeminin kohezyonu $c = 44 \text{ kPa}$ ve içsel sürtünme açısı ise $\Phi = 10^\circ$ dir [Ek-1: Üç Eksenli Hücre Kesme Deney (UU) Raporları].

Bu deneylerle ilgili gerekli bilgiler aşağıdaki b6l6mlerde ayrıntılı olarak verilmiştir.



şekil 3.1 Elek analizi ve Atterberg limiti deneyleri



Şekil 3.2 Zemin dane dağılımı

3.1.4. Uçucu Kül

Çalışmada kullanılan uçucu kül taş kömürü kökenli olup Yumurtalık Sugözü Termik Santralinden temin edilmiştir (Şekil 3.3). Uçucu külün kimyasal özellikleri ise Çizelge 3.1’de belirtilmiştir.



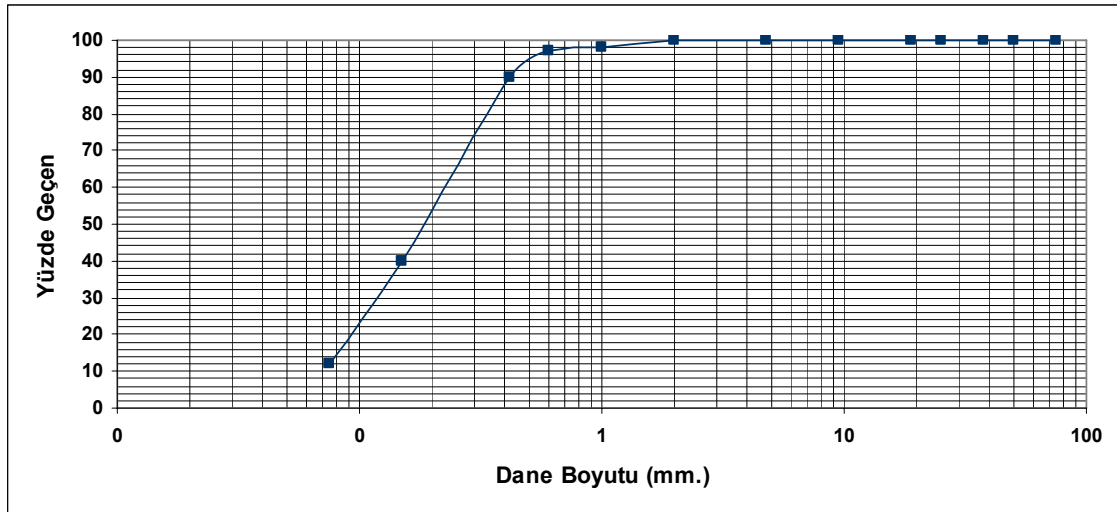
Şekil 3.3 Deneylerde kullanılan doğal zemin ve uçucu kül

Çizelge 3.1 Yumurtalık Sugözü termik santrali uçucu külünün kimyasal özellikleri (Oyak Beton Sanayi T.A.Ş., 2009)

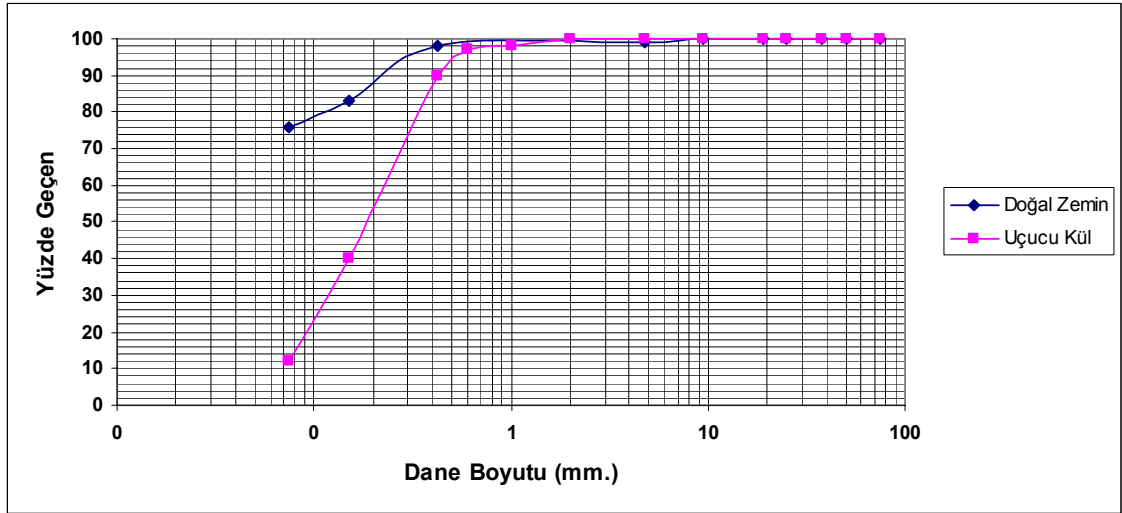
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Kızdırma Kaybı
%	58,35	22,35	6,86	2,55	2,47	0,00	1,64

Uçucu küle ait elek analizi deneyi MKÜ Zemin Mekaniği Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Uçucu külün granülometri eğrisi Şekil 3.4’de verilmiştir. Uçucu kül ve zeminin dane dağılım eğrileri ise Şekil 3.5’te verilmiştir. Dane birim hacim ağırlığı $G_s=2,32$ gr/cm³’tür (Oyak Beton Sanayi T.A.Ş., 2009).



Şekil 3.4 Uçucu külün dane dağılımı



Şekil 3.5 Uçucu kül ve zemin dane dağılımı

3.2. Yöntem

%10 uçucu kül katkılı zemine ait deney sonuçları Ek-2'de, %20 uçucu kül katkılı zemine ait deney sonuçları Ek-3'de, %30 uçucu kül katkılı zemine ait deney sonuçları Ek-4'de, 7 günlük küre tabi tutulan (%0, %10, %20, %30) numunelerin deney sonuçları ise Ek-5'te verilmiştir. Kürsüz ve küre tabi tutulan numunelerin üç eksenli deney sonuçları raporu ise Ek-6'da bulunmaktadır.

3.2.1. Atterberg (Kıvam) Limitleri Deneyleri

İnce daneli zeminlerin sınıflandırılması için gerekli analizlerden birisi de kıvam limitlerinin tespit edilmesidir.

Likit limit (w_L), zeminin viskoz kıvamdan plastik kıvama dönüştüğü andaki su muhtevasıdır. Bir zeminin likit limiti Casagrande yöntemi ve Düşen koni penetrasyon yöntemi olmak üzere iki farklı yöntemle bulunabilmektedir. Bu deney çalışmasında gerçekleştirilen likit limit deneyi Casagrande yöntemidir (Şekil 3.6, 3.7).

Plastik limit (w_p), ıslak zeminin yoğrularak 3 mm çapında iplik halini aldığında yüzeyinde çatlakların belirmeye başladığı andaki su muhtevasıdır (Şekil 3.8, 3.9).



Şekil 3.6 Casagrande yöntemi ile likit limit deneyi



Şekil 3.7 Casagrande yöntemi ile likit limit deneyinde zemin birleşmeden önce ve sonraki durumu



Şekil 3.8 Plastik limit deneyi

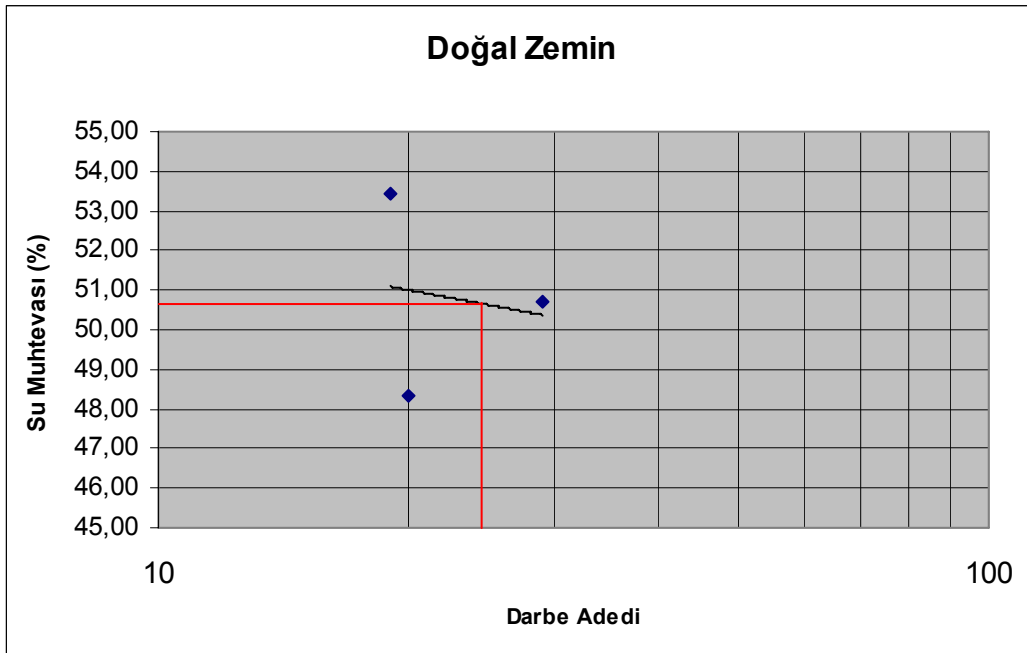


Şekil 3.9 Likit limitin ve plastik limitin belirlenmesi için deneylerden alınan numuneler

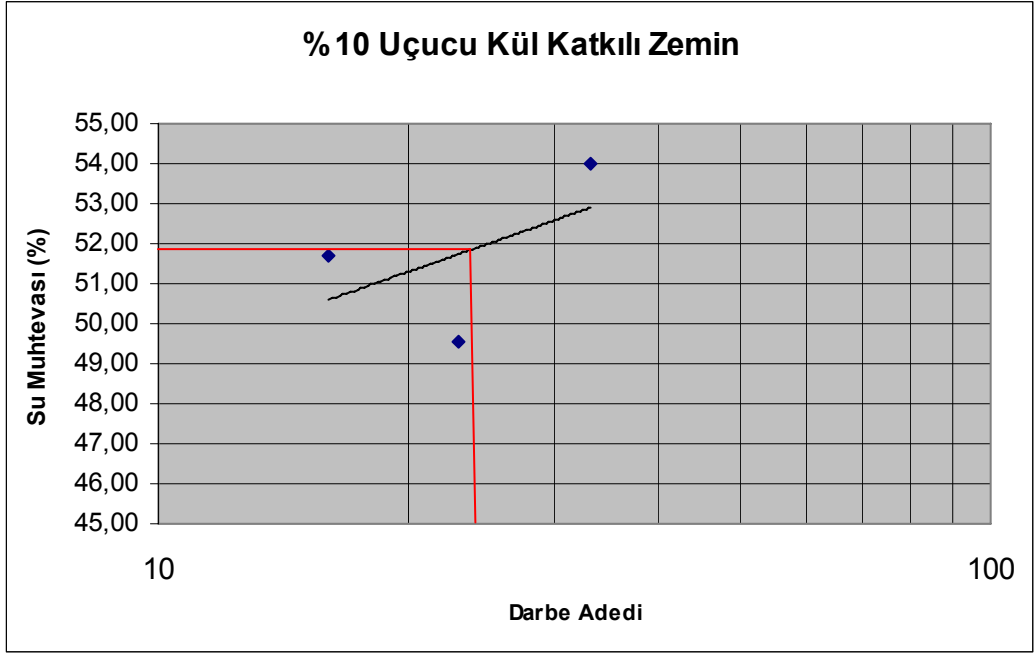
Herhangi bir katkı ilave edilmeyen doğal zeminin likit limit değeri $w_L = \%51$, plastik limit değeri $w_P = \%23$, plastisite indisi $I_P = \%28$ olarak bulunmuştur (Çizelge 3.2, Şekil 3.10-13). Doğal zemine %10 uçucu kül eklendiğinde likit limitin arttığı, uçucu külün artışıyla likit limitin ve plastik limitin düştüğü görülmektedir. Doğal zemine %10 uçucu kül eklendiğinde plastisite indisinin arttığı, artan uçucu kül miktarı ile düştüğü görülmüştür. Atterberg (Kıvam) limitleri Şekil 3.14-16'da verilmiştir.

Çizelge 3.2 Doğal zeminin uçucu kül katkısı ile kıvam limitlerinin değişimi

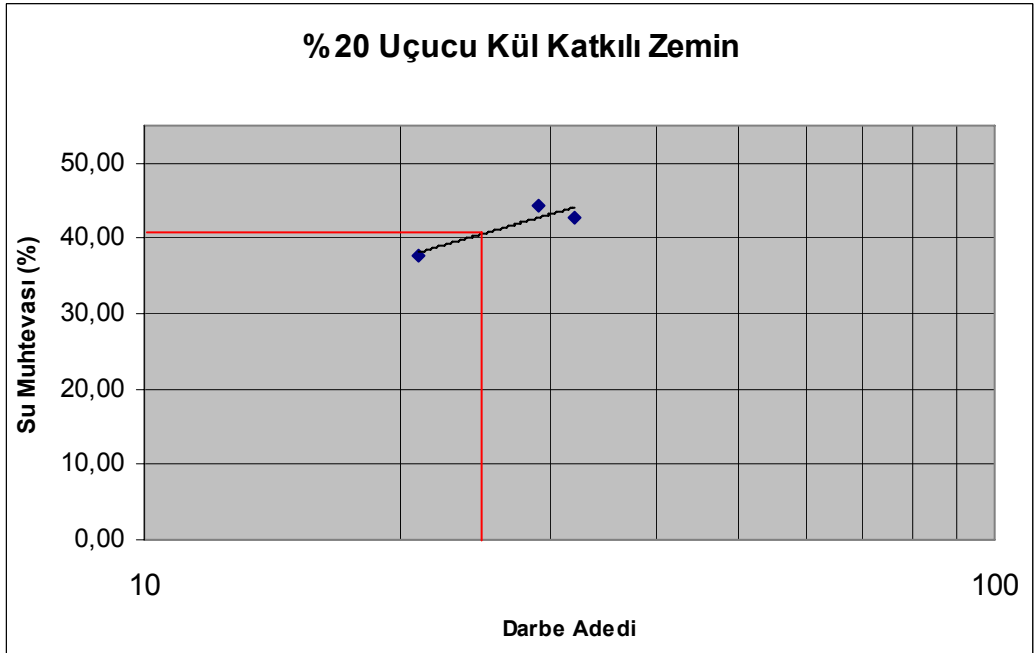
Karışım	w_L	w_P	I_P
Doğal Zemin	51	23	28
%10 U.K. Katkılı	52	20	32
%20 U.K. Katkılı	42	21	21
%30 U.K. Katkılı	43	20	23



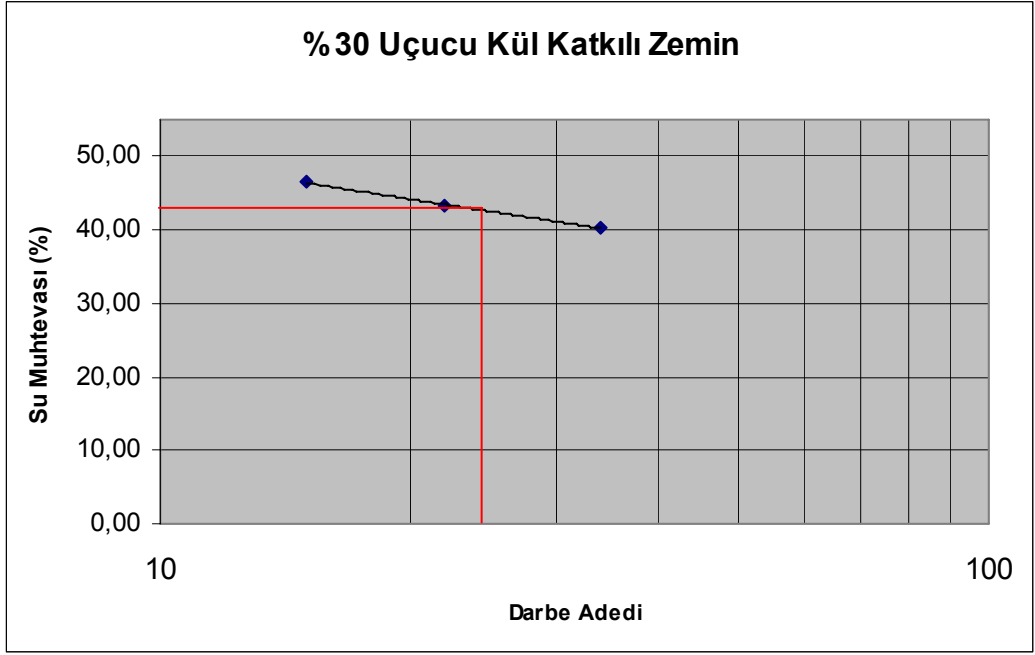
Şekil 3.10 Doğal zeminin likit limitinin bulunması



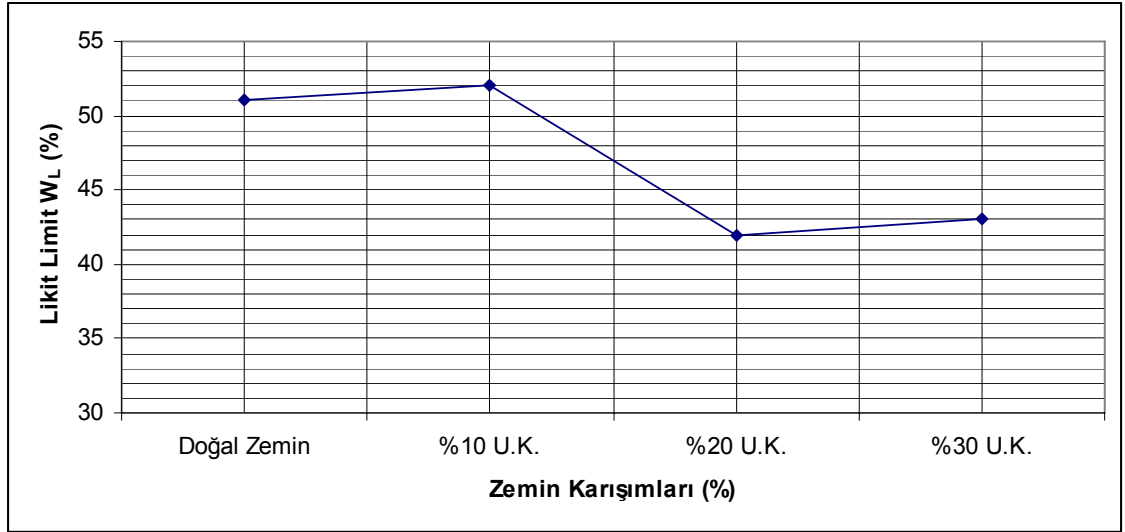
Şekil 3.11 %10 Uçucu kül katkıli zeminin likit limitinin bulunması



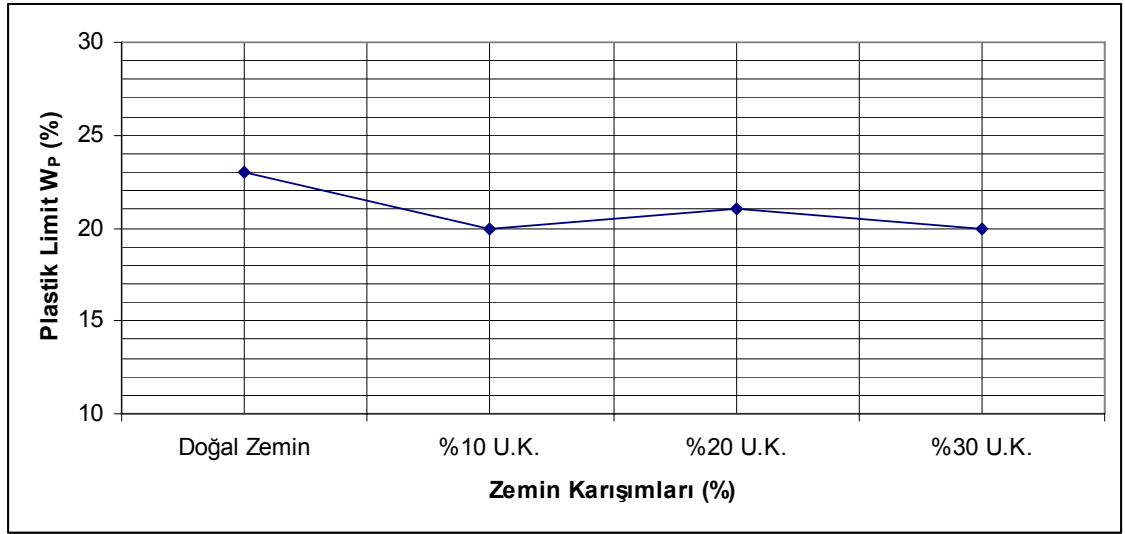
Şekil 3.12 %20 Uçucu kül katkıli zeminin likit limitinin bulunması



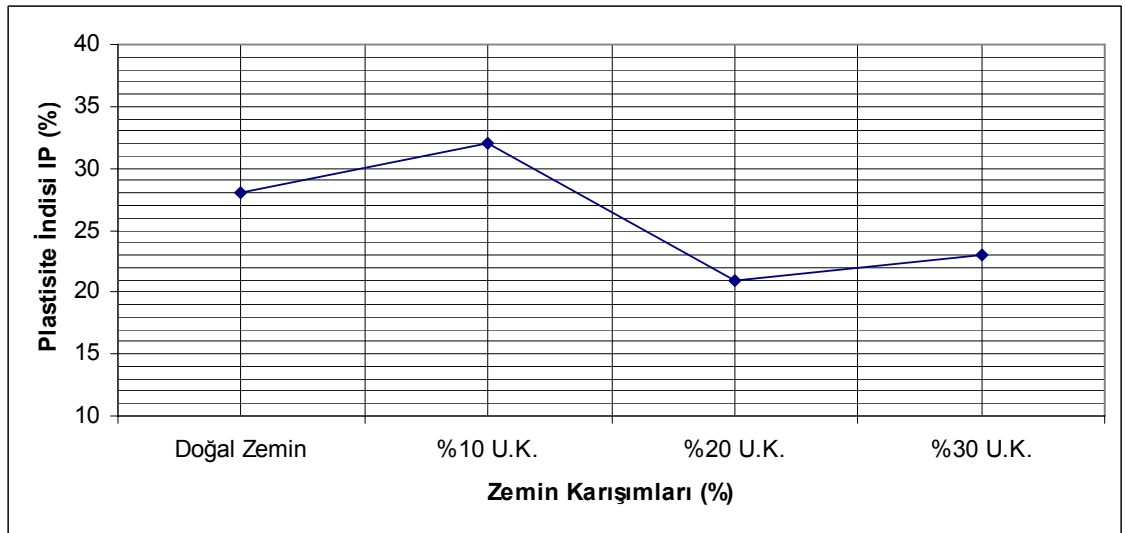
Şekil 3.13 %30 Uçucu kül katkıli zeminin likit limitinin bulunması



Şekil 3.14 Tüm zeminlerin likit limit değerleri



Şekil 3.15 Tüm zeminlerin plastik limit değerleri



Şekil 3.16 Tüm zeminlerin plastisite indisi değerleri

3.2.2. Standart Proktor Deneyleri

Zeminlerin stabilizasyonu için kullanılan yöntemlerden en ekonomik olanı sıkıştırma (kompaksiyon) yöntemidir. Kompaksiyon deneyinin amacı zeminin sıkışması ile maksimum kuru birim hacim ağırlığın ($\gamma_{kmaks.}$) elde edildiği su muhtevasının bulunmasıdır (Şekil 3.17, 3.18).

Kompaksiyon deneyi; Standart Proktor Deneyi ve Modifiye Proktor Deneyi olarak iki yöntem kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında Standart Proktor Deneyi ile yapılmıştır.



Şekil 3.17 Standart proktor deneyi



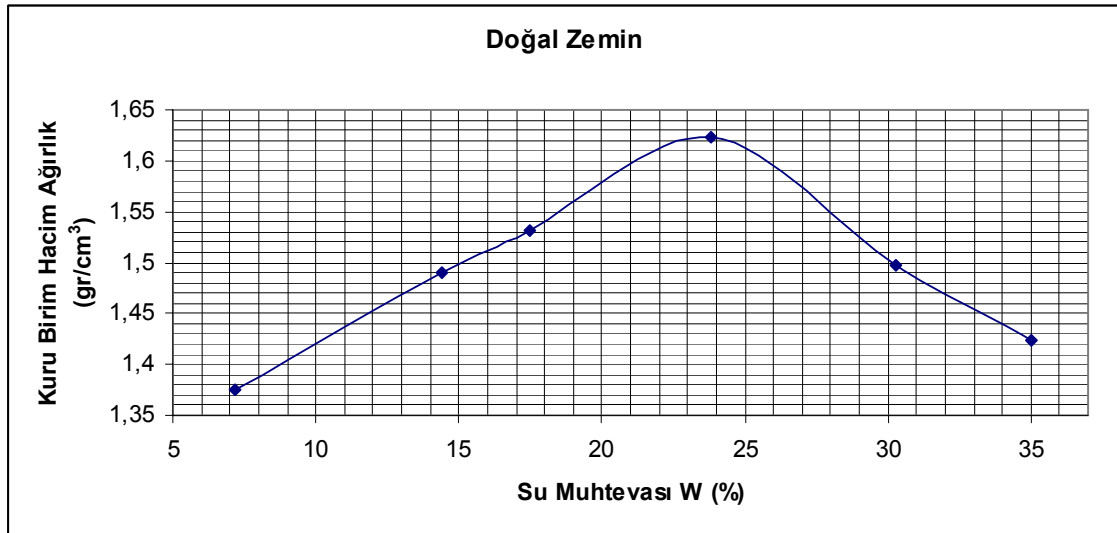
Şekil 3.18 Standart proktor deneyinin belirlenmesi için deneyden alınan numuneler

Deneylerden elde edilen verilerle su muhtevası-kuru birim hacim ağırlık ilişkisini gösteren eğri çizilerek bu eğrinin pik noktası tespit edilir. Pik noktasının yatay

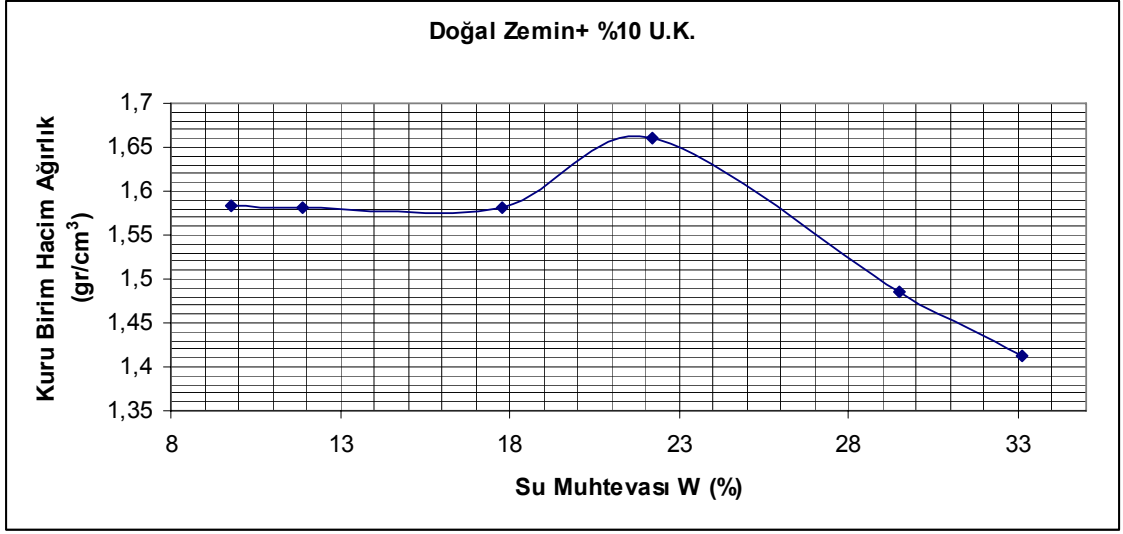
eksendeki karşılığı optimum su muhtevasını, düşey eksendeki karşılığı maksimum kuru birim hacim ağırlığı vermektedir.

Geçmişte yapılan Standart Proktor Deneyleri sonucu elde edilen su muhtevası-kuru birim hacim ağırlık verileri; optimum su muhtevasının, zemin karışımına eklenen uçucu kül miktarı ile değiştiğini göstermektedir. Bu değişim zemin karışımına bağlı olduğu kadar kompaksiyonun gecikme süresine de bağlıdır.

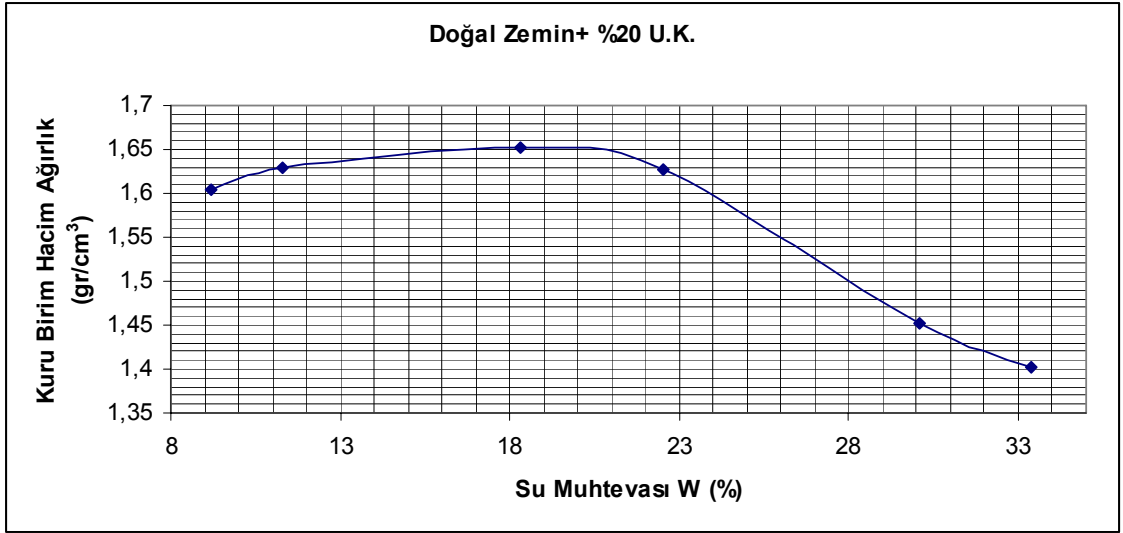
Standart Proktor Deneyleri sonucu elde edilen su muhtevası-kuru birim hacim ağırlık değerleri tüm zemin karışımları için grafikler üzerinde noktalanarak düşey eksendeki pik noktada bulunan maksimum kuru birim hacim ağırlık değeri ile bu noktanın yatay eksendeki karşılığı olan optimum su muhtevası değerleri tespit edilmiştir. Bu grafikler Şekil 3.19-22’de verilmiştir.



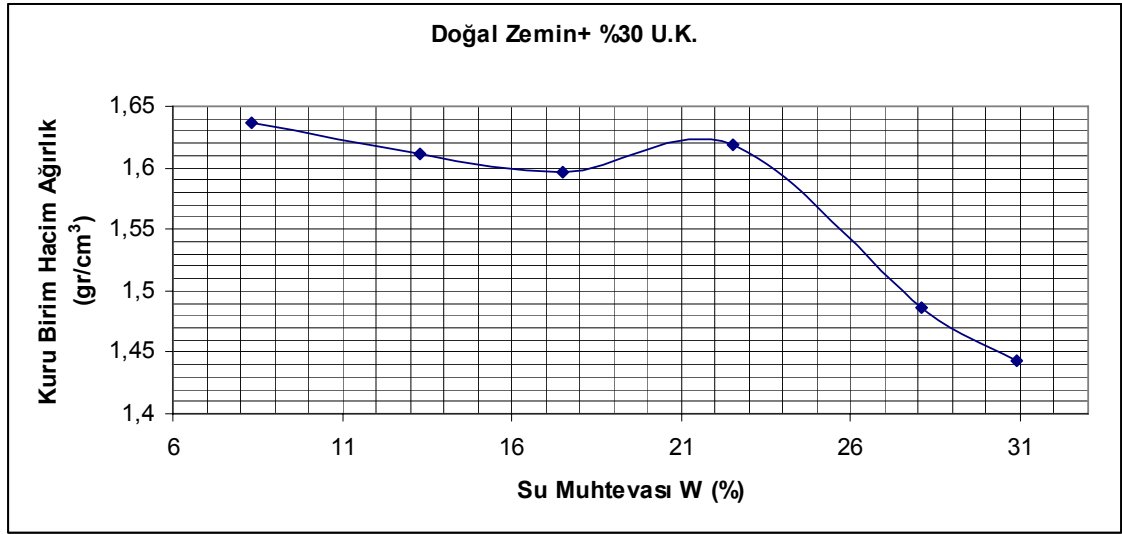
Şekil 3.19 Doğal zeminin su muhtevası-kuru birim hacim ağırlığı grafiği



Şekil 3.20 Doğal zeminin+ %10 U.K. su muhtevası-kuru birim hacim ağırlığı grafiği



Şekil 3.21 Doğal zeminin+ %20 U.K. su muhtevası-kuru birim hacim ağırlığı grafiği

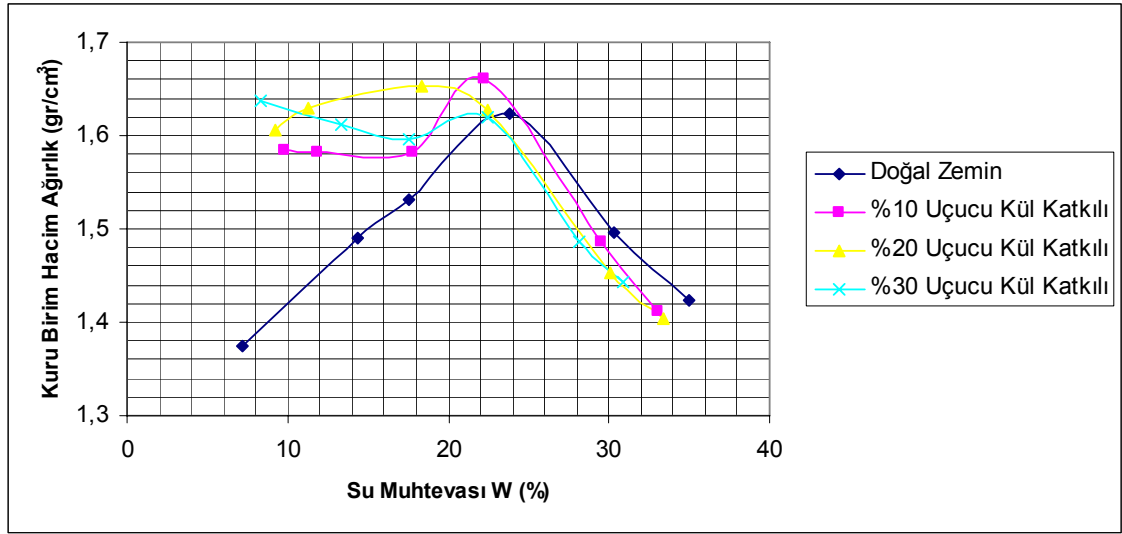


Şekil 3.22 Doğal zeminin+ %30 U.K. su muhtevası-kuru birim hacim ağırlığı grafiği

Katkısız doğal zemin üzerinde yapılan kompaksiyon deneyleri sonucu numunenin optimum su muhtevası $w_{opt.} = \%23,4$, maksimum kuru birim hacim ağırlığı $\gamma_{kmaks.} = 1,625 \text{ gr/cm}^3$ olarak bulunmuştur. Doğal zemine %10 uçucu kül eklendiğinde zeminin optimum su muhtevasının azaldığı, maksimum kuru birim hacim ağırlığının arttığı görülmektedir. Artan uçucu kütle optimum su muhtevası azalmaya devam etmekte ve %20'lik artış sonrasında arttığı ve maksimum kuru birim hacim ağırlığının azaldığı görülmektedir. Sonuçlar Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3 Doğal zemin ve uçucu kül katkılı zeminlerin $\gamma_{kmaks.} - w_{opt.}$ değerleri

Malzeme	$\gamma_{kmaks.} \text{ (gr/cm}^3\text{)}$	$w_{opt.} \text{ (%)}$
Doğal Zemin	1,625	23,4
Doğal Zemin+ %10 U.K.	1,662	22,5
Doğal Zemin+ %20 U.K.	1,655	18,1
Doğal Zemin+ %30 U.K.	1,627	20,9



Şekil 3.23 Tüm zeminlerin su muhtevası-kuru birim hacim ağırlığı grafiği

3.2.3. Üç Eksenli Basınç Deneyleri

Uçucu kül katkısının zeminin kayma mukavemeti parametreleri üzerindeki etkisi üç eksenli basınç deneyleri ile araştırılmıştır. Üç eksenli basınç deneyi örnekleri proktor sıkılığında kompaksiyonla hazırlanmıştır. 3,8 cm çaplı 7,6 cm yüksekliğindeki silindirik örnekler kriko yardımıyla proktor kalıbından çıkarılmıştır (Şekil 3.24-26). Hazırlanan örnekler karışımdan hemen sonra ve 7 gün kür sürelerine tabi tutulmuştur. Deneyler drenajsız konsolidasyonsuz (UU) şartlarında yapılmıştır (Şekil 3.27-29). Uçucu kül katkısıyla, içsel sürtünme açısından artış meydana gelmekte ancak; %20'lik artış sonrasında düşüş gözlenmektedir. Kohezyonda önce %10'luk artışla düşüş görülmekte artan uçucu kütle belirgin bir artış olmakta ancak; %20'lik artış sonrasında düşüş gözlenmektedir. Kür süresiyle kırılmanın meydana geldiği deformasyon değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Kür süresiyle zeminin daha kırılğan bir hale geldiği görülmüştür (Çizelge 3.4, 3.5).



Şekil 3.24 Proktor sıklılığında deney numunesinin hazırlanması



Şekil 3.25 Proktor kalıbından hidrolik yardımıyla deney numunesinin çıkarılması



Şekil 3.26 Üç eksenli basınç deney numunesinin hazırlanması



Şekil 3.27 Kür süreleri dolan numunelerin numune kalıbından çıkarılması



Şekil 3.28 Numune kalıbından çıkarılmış numunelerin üç eksenli basınç deneyine hazırlanması



Şekil 3.29 Üç eksenli basınç deneyinin yapılması

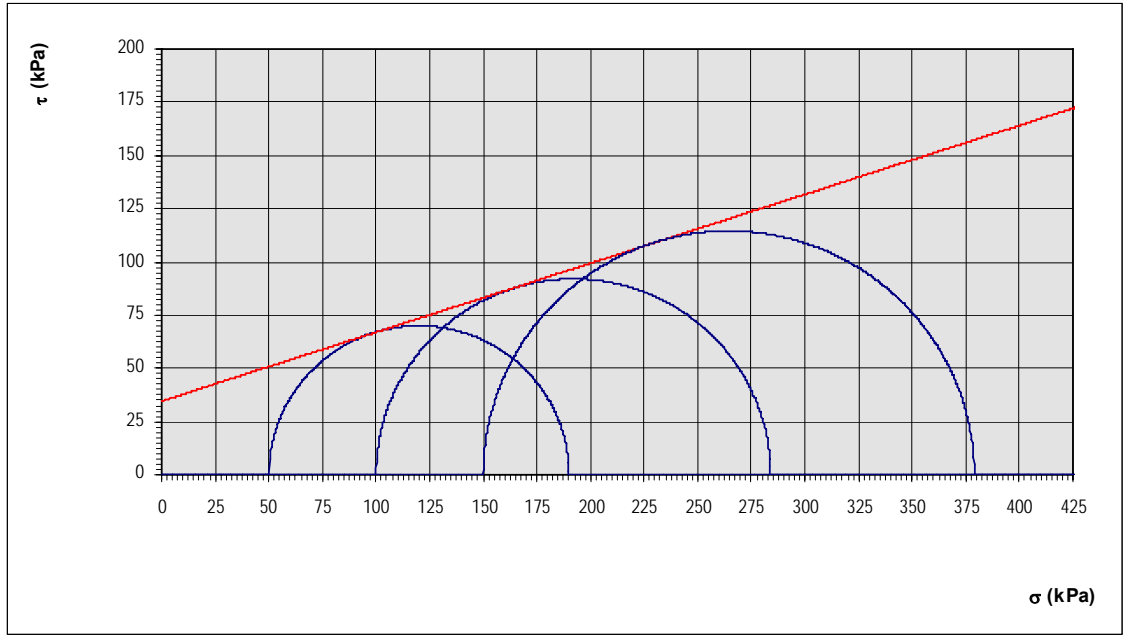
Çizelge 3.4 Üç eksenli basınç deneyi sonuçları

Karışım	Çevre Basıncı (kPa)	Maks. Deviyatör Gerilme (kPa)		Kırılmanın Meydana Geldiği Deformasyon (%)	
		Kür Süresi		Kür Süresi	
		Hemen	7 Gün	Hemen	7 Gün
Zemin	50	176	177	6,28	7,65
	100	245	254	6,94	7,61
	150	317	328	6,91	8,28
%10 U.K. Katkılı	50	188	183	9,03	8,39
	100	275	265	8,29	8,31
	150	358	351	8,31	8,24
%20 U.K. Katkılı	50	271	299	8,29	8,28
	100	392	432	13,16	9,75
	150	500	579	15,21	9,75
%30 U.K. Katkılı	50	190	204	7,63	5,63
	100	284	302	10,36	7,72
	150	379	403	11,08	8,29

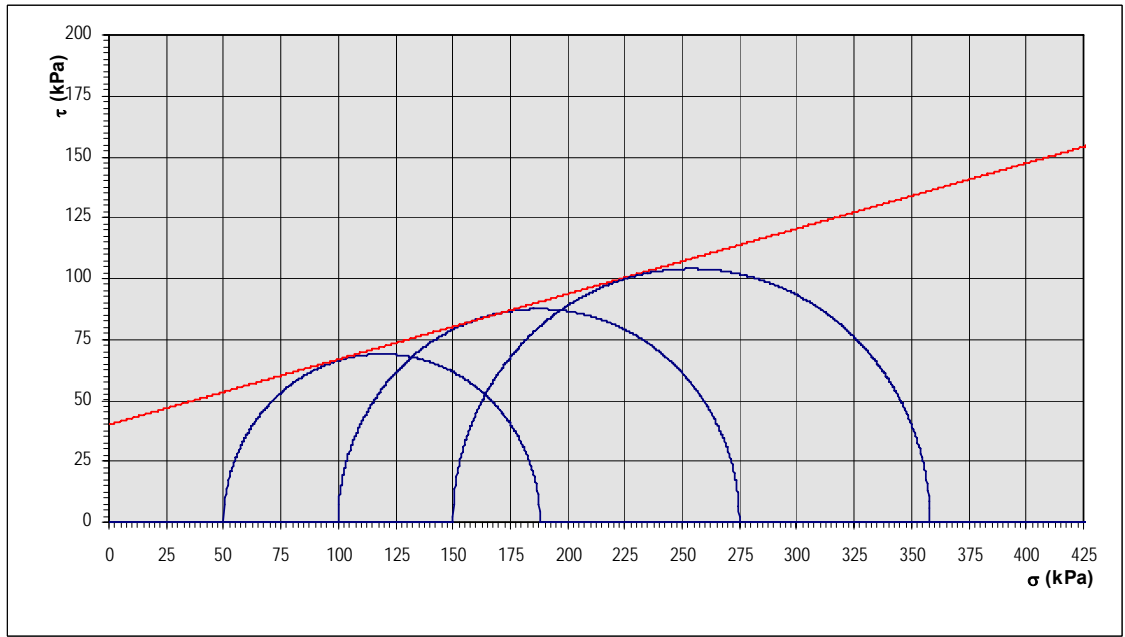
Çizelge 3.5 Üç eksenli basınç deneyi sonuçlarından elde edilen kayma parametreleri

Karışım	Kayma Mukavemeti Parametreleri			
	Kür Süresi			
	Hemen		7 Gün	
	c (kPa)	Φ (°)	c (kPa)	Φ (°)
Zemin	44	10	42	12
%10 U.K. Katkılı	40	15	38	15
%20 U.K. Katkılı	53	23	46	28
%30 U.K. Katkılı	35	18	37	19

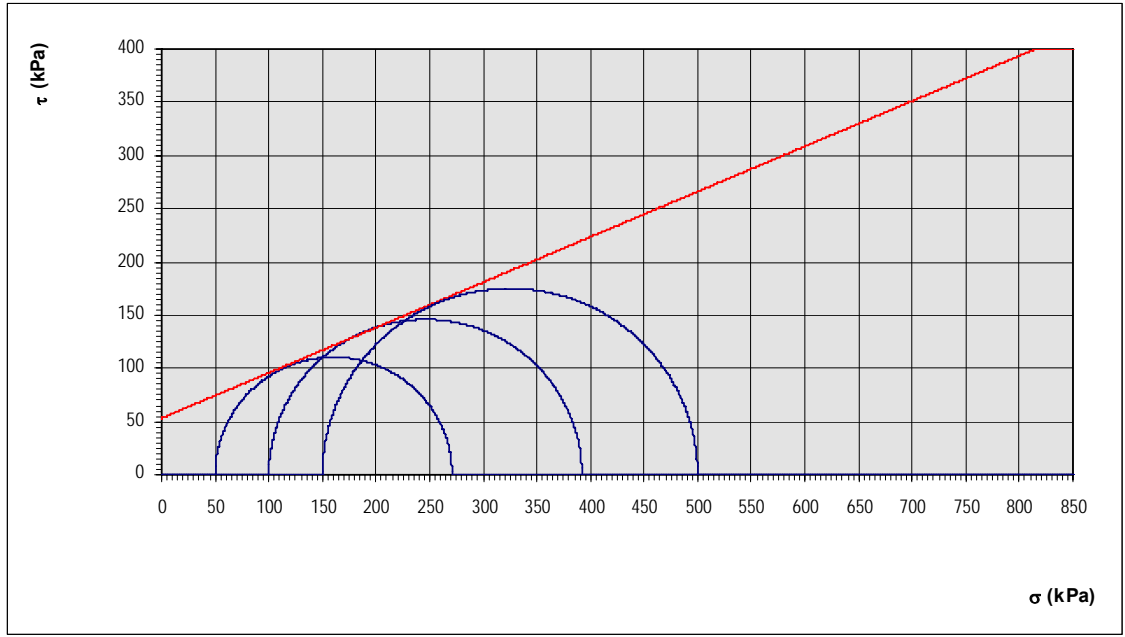
Şekil 3.30-37’de kayma parametrelerinin belirlenmesinde kullanılan grafikler görülmektedir. Şekil 3.38-41’de uçucu kül katkısı ve kür süresiyle kayma parametrelerinin değişimi verilmektedir. Şekil 3.42-49’da doğal zemin ve ağırlıkça %10, %20, %30 uçucu kül katkılı zeminlerin değişen çevre basıncı altındaki gerilme-şekil değiştirme grafikleri verilmektedir. Uçucu kül katkısı ve kür süresinin artmasıyla içsel sürtünme açısı ve kohezyonda önce düşüş daha sonra belirgin artış meydana gelmiştir. Ancak; %20’lik uçucu kül katkısından daha fazla katkı eklendiğinde düşüş meydana gelmektedir (Şekil 3.50, 3.51). Bu sebeple optimum uçucu kül katkısının %20 civarında olduğu düşünülmektedir. Kayma mukavemetini arttırmasında kohezyondaki ve içsel sürtünme açısındaki değişim etkilidir.



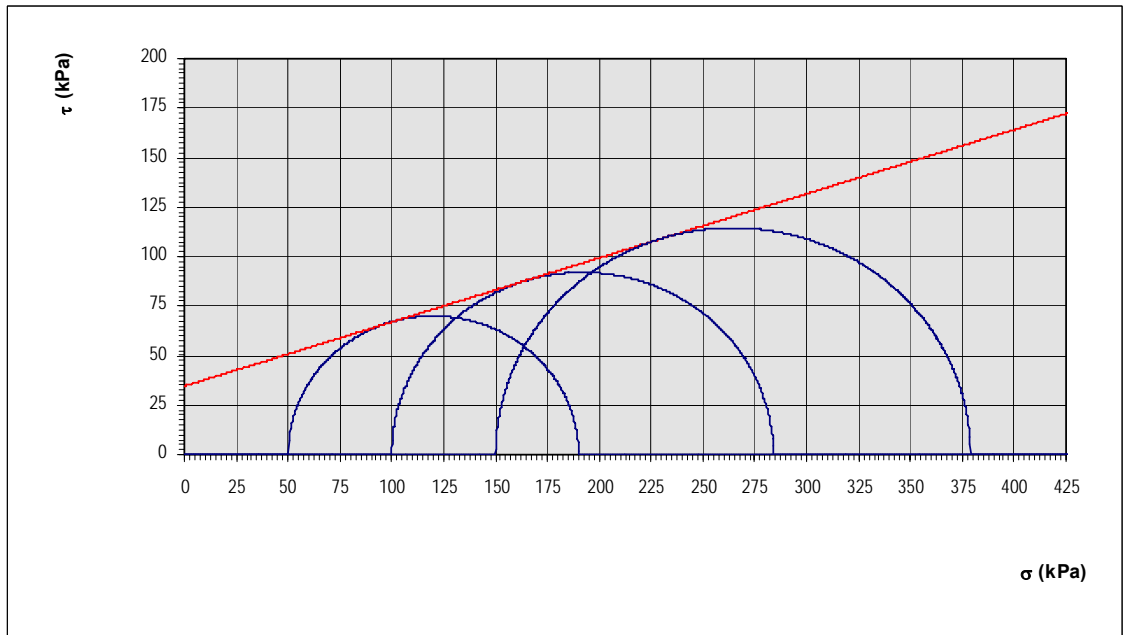
Şekil 3.30 Doğal zeminin kayma parametrelerinin belirlenmesi (Hemen)



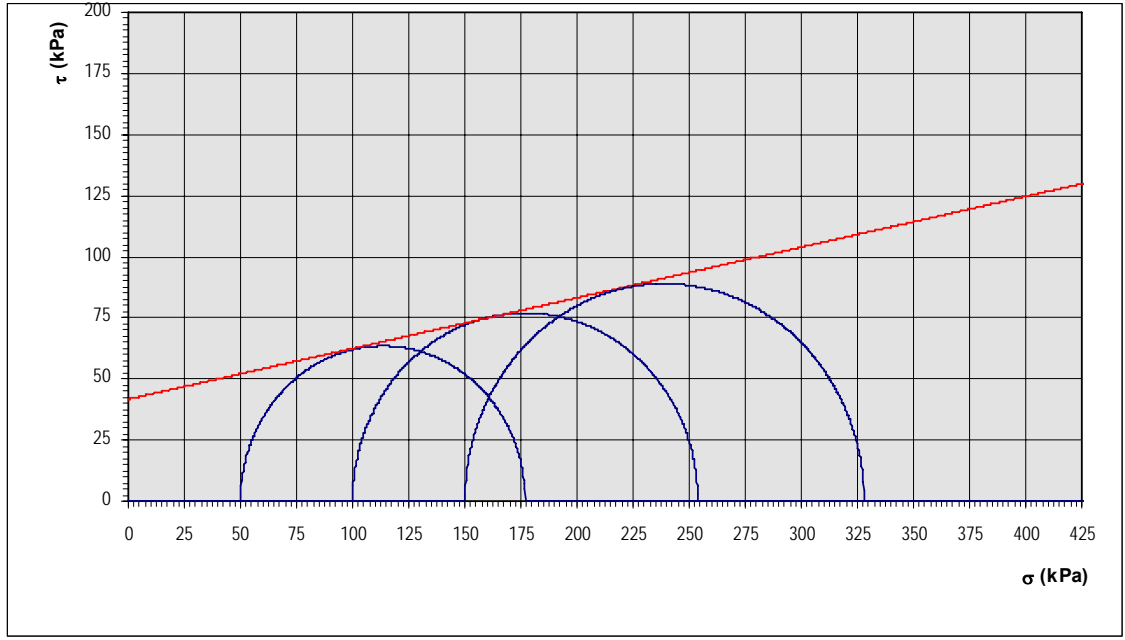
Şekil 3.31 %10 Uçucu kül katkılı zeminin kayma parametrelerinin belirlenmesi (Hemen)



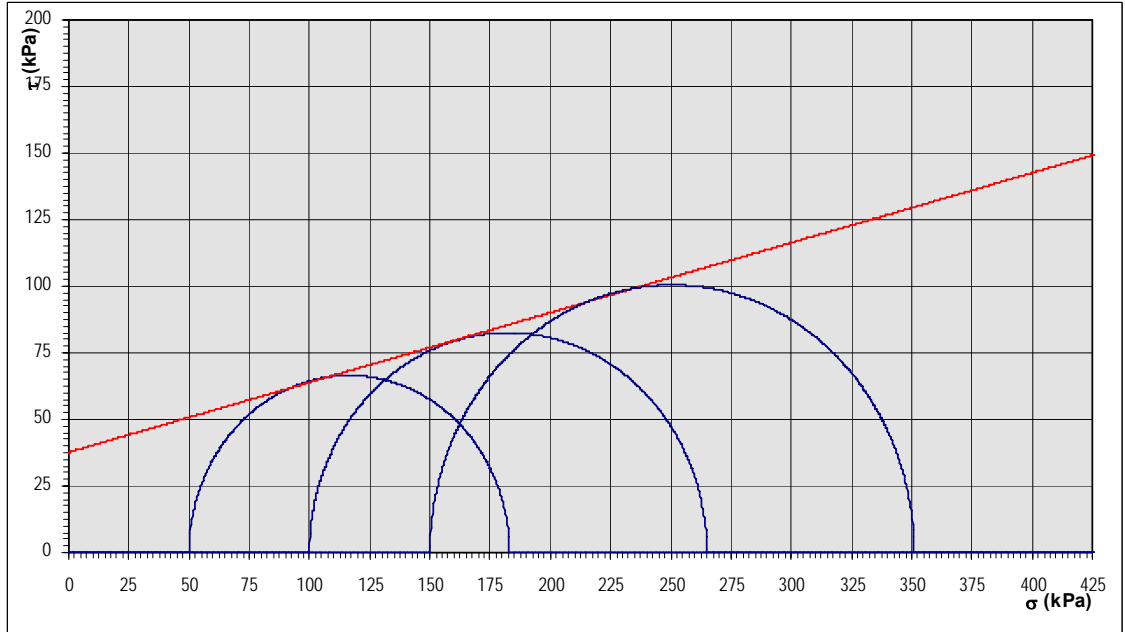
Şekil 3.32 %20 Uçucu kül katkılı zeminin kayma parametrelerinin belirlenmesi (Hemen)



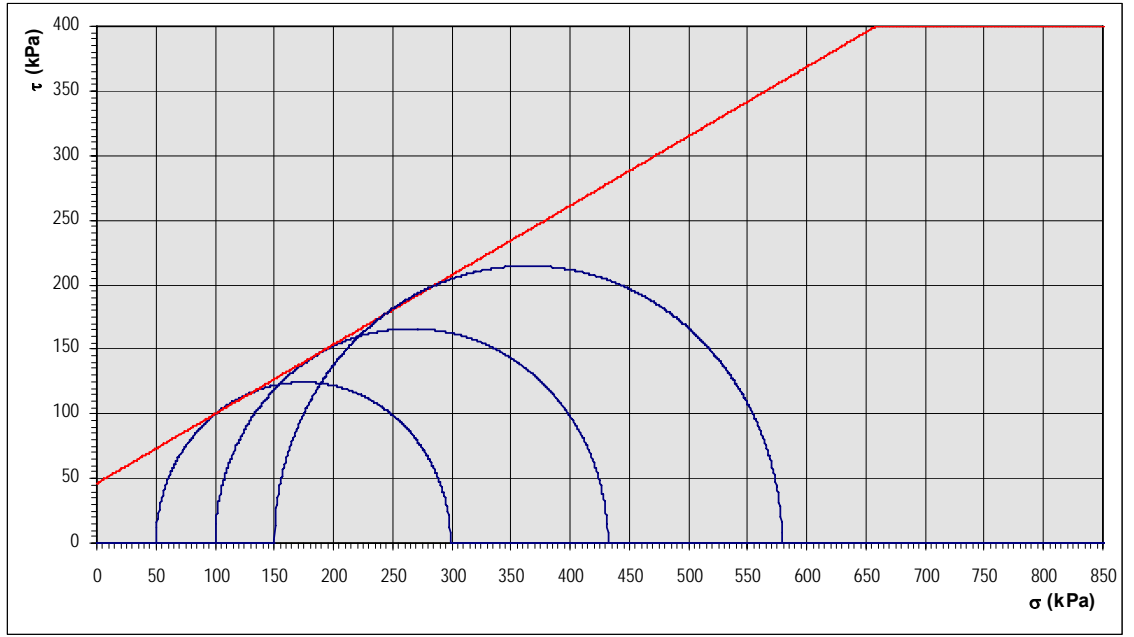
Şekil 3.33 %30 Uçucu kül katkılı zeminin kayma parametrelerinin belirlenmesi (Hemen)



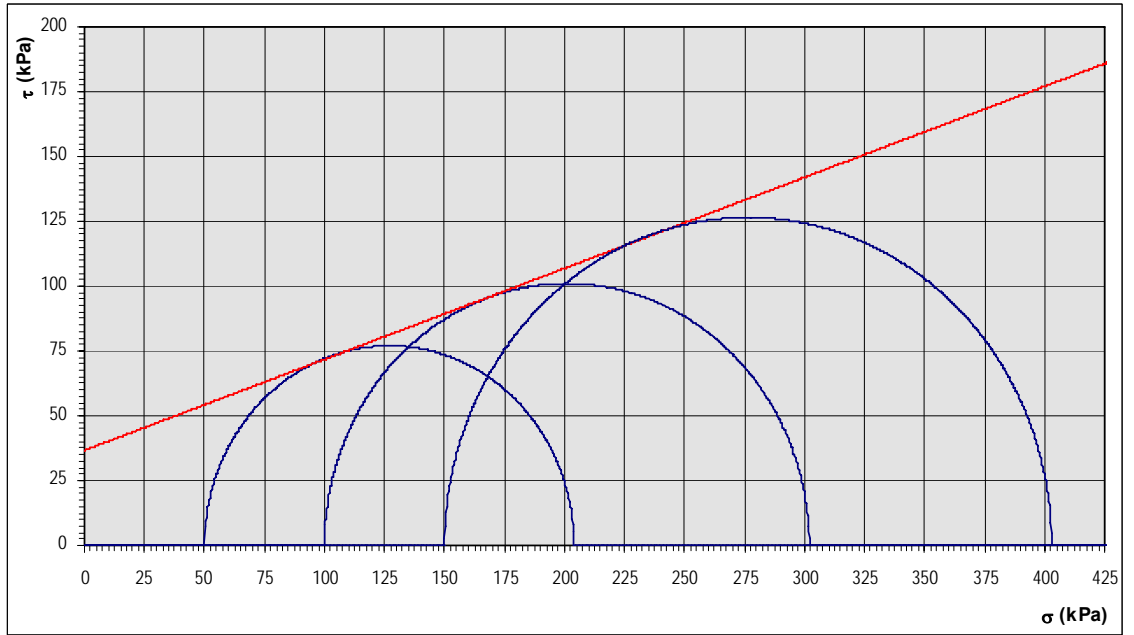
Şekil 3.34 Doğal zeminin 7 günlük kür sonucu kayma parametrelerinin belirlenmesi



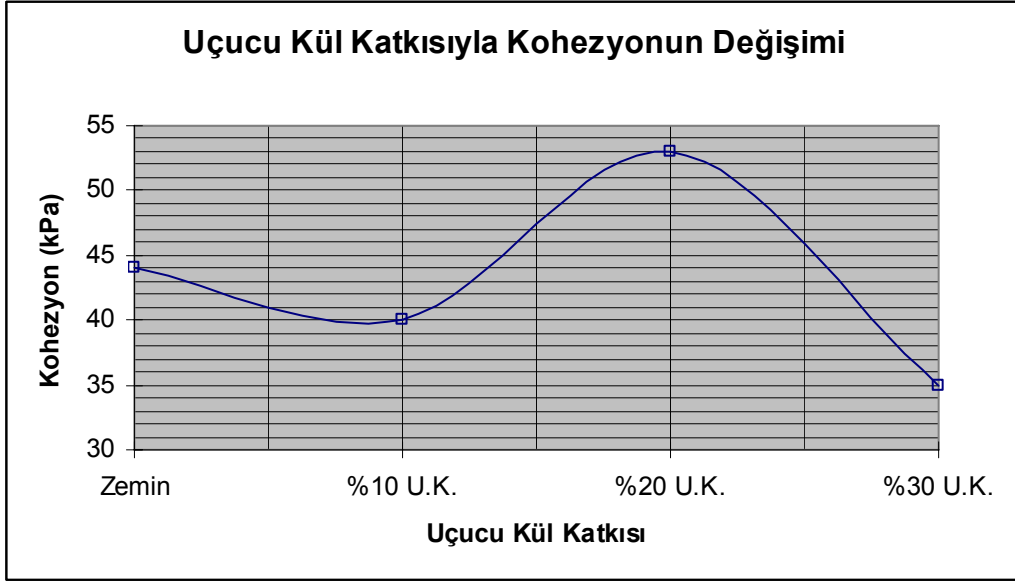
Şekil 3.35 %10 Uçucu kül katkılı zeminin 7 günlük kür sonucu kayma parametrelerinin belirlenmesi



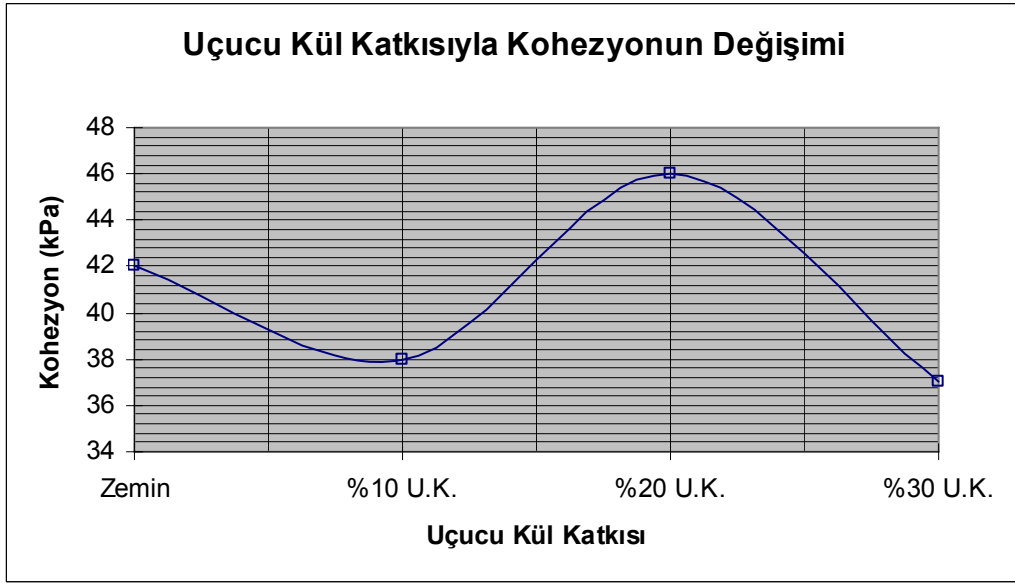
Şekil 3.36 %20 Uçucu kül katkılı zeminin 7 günlük kür sonucu kayma parametrelerinin belirlenmesi



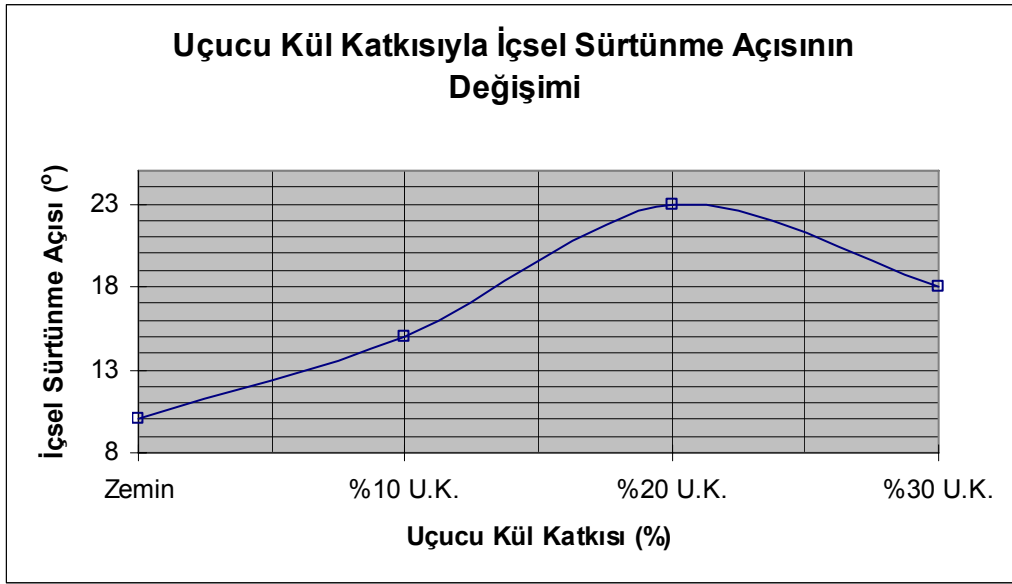
Şekil 3.37 %30 Uçucu kül katkılı zeminin 7 günlük kür sonucu kayma parametrelerinin belirlenmesi



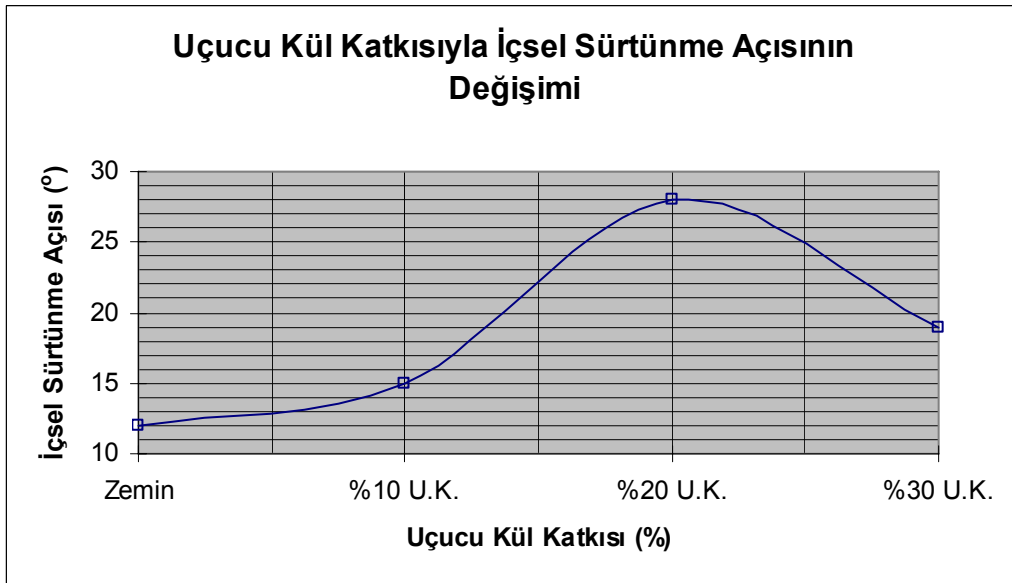
Şekil 3.38 Uçucu kül katkısıyla kohezyonun değişimi (Hemen)



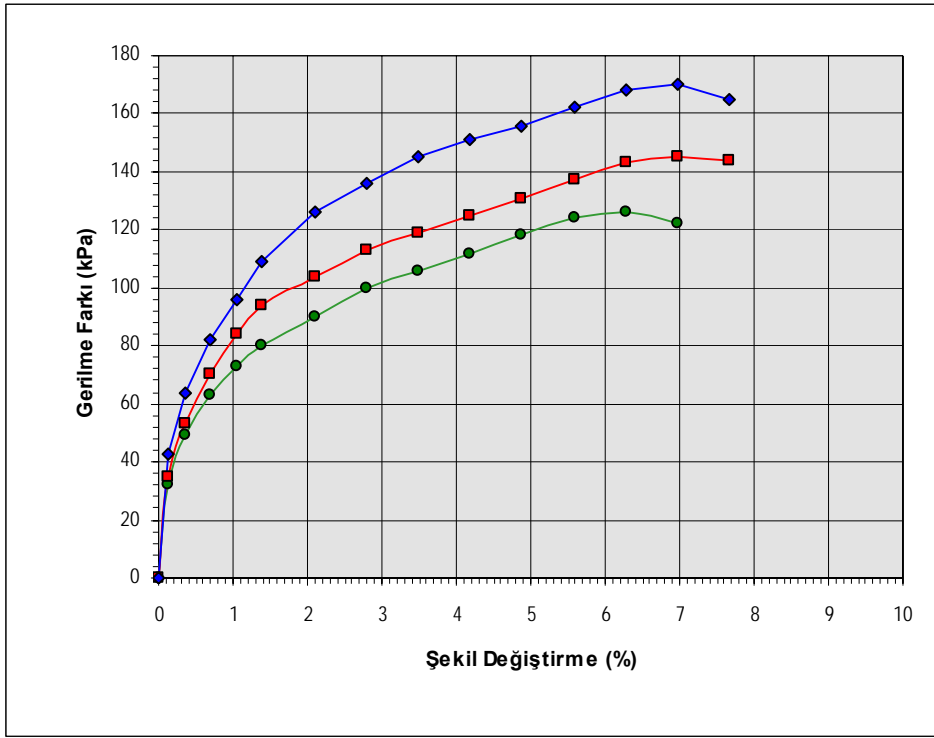
Şekil 3.39 Uçucu kül katkısıyla kohezyonun değişimi (7 Günlük Kür)



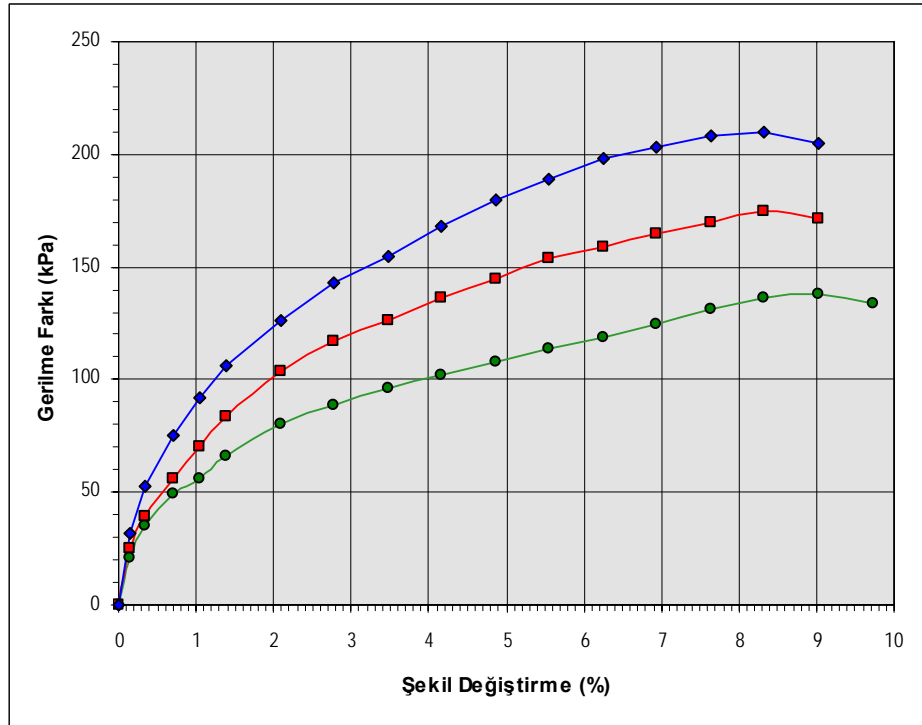
Şekil 3.40 Uçucu kül katkısıyla içsel sürtünme açısının değişimi (Hemen)



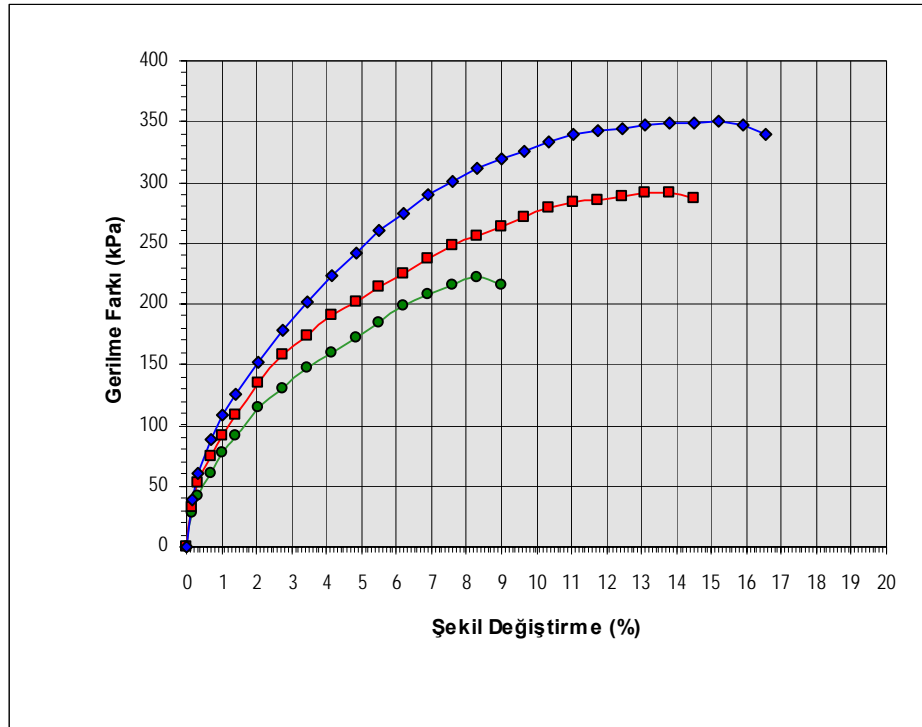
Şekil 3.41 Uçucu kül katkısıyla içsel sürtünme açısının değişimi (7 Günlük Kür).



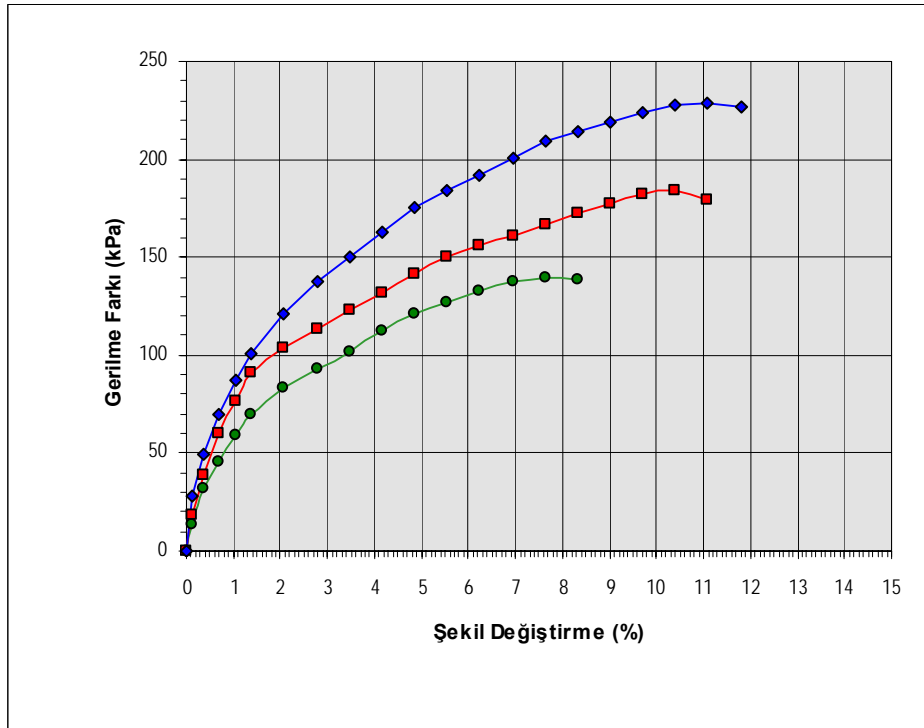
Şekil 3.42 Doğal zeminin değişen çevre basıncı altındaki gerilme farkı-şekil değiştirme grafikleri (Hemen)



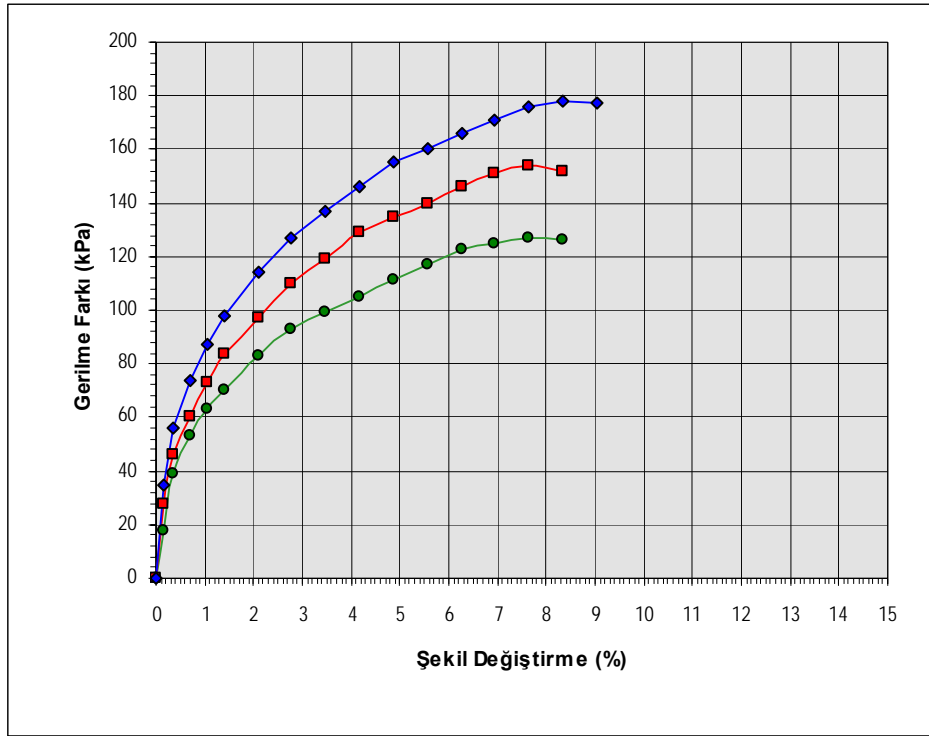
Şekil 3.43 %10 Uçucu kül katkılı zeminin değişen çevre basıncı altındaki gerilme farkı-şekil değiştirme grafikleri (Hemen)



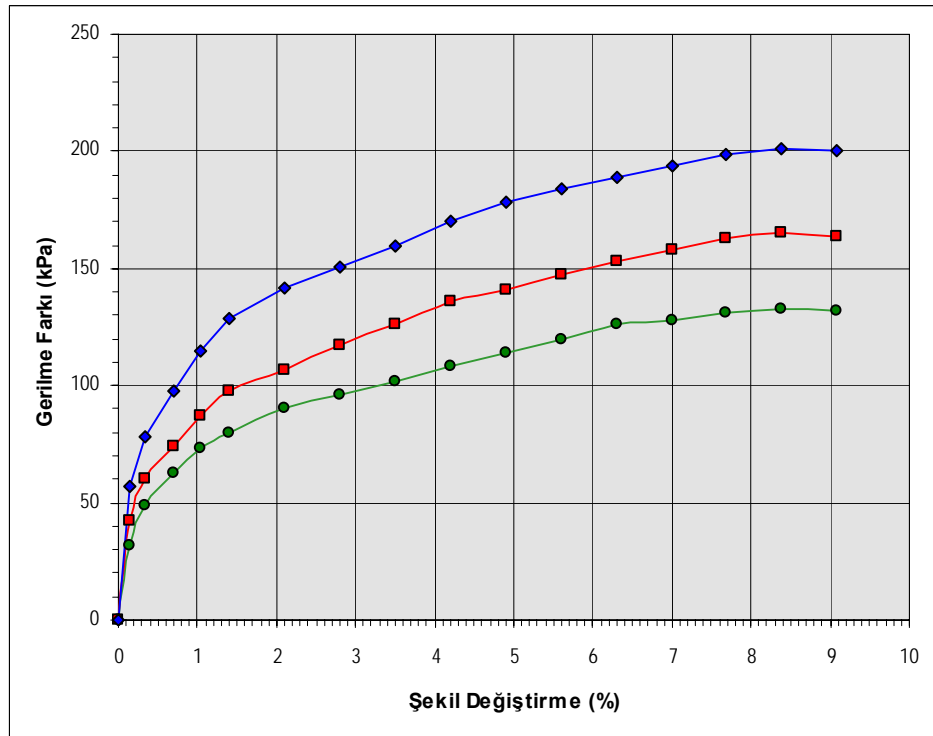
Şekil 3.44 %20 Uçucu kül katkıli zeminin değişen çevre basıncı altındaki gerilme farkı-şekil değiştirme grafikleri (Hemen)



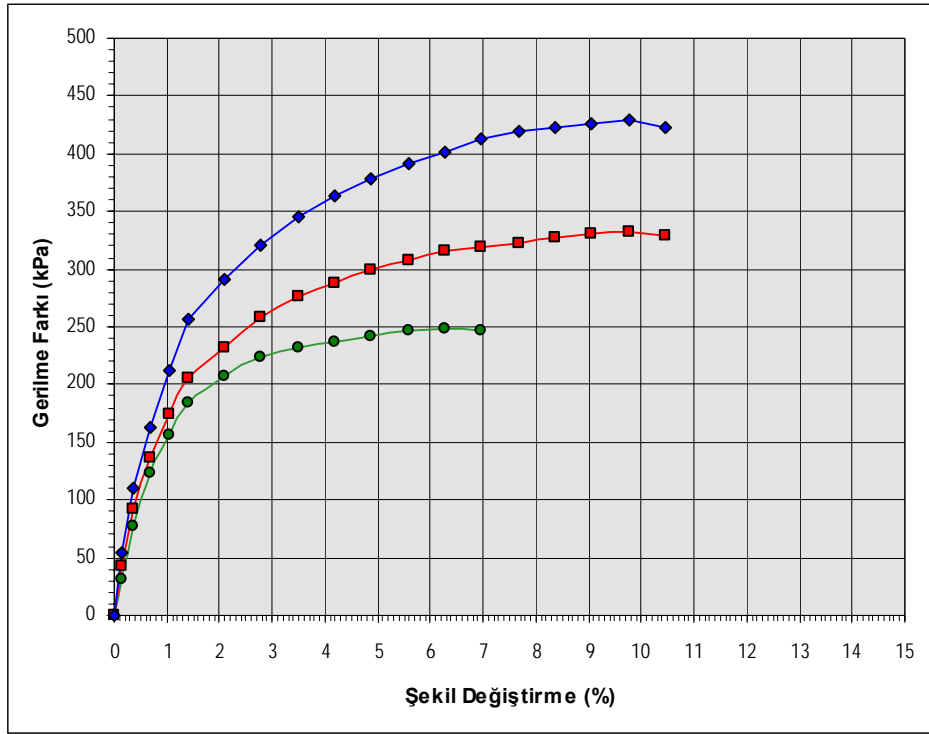
Şekil 3.45 %30 Uçucu kül katkıli zeminin değişen çevre basıncı altındaki gerilme farkı-şekil değiştirme grafikleri (Hemen)



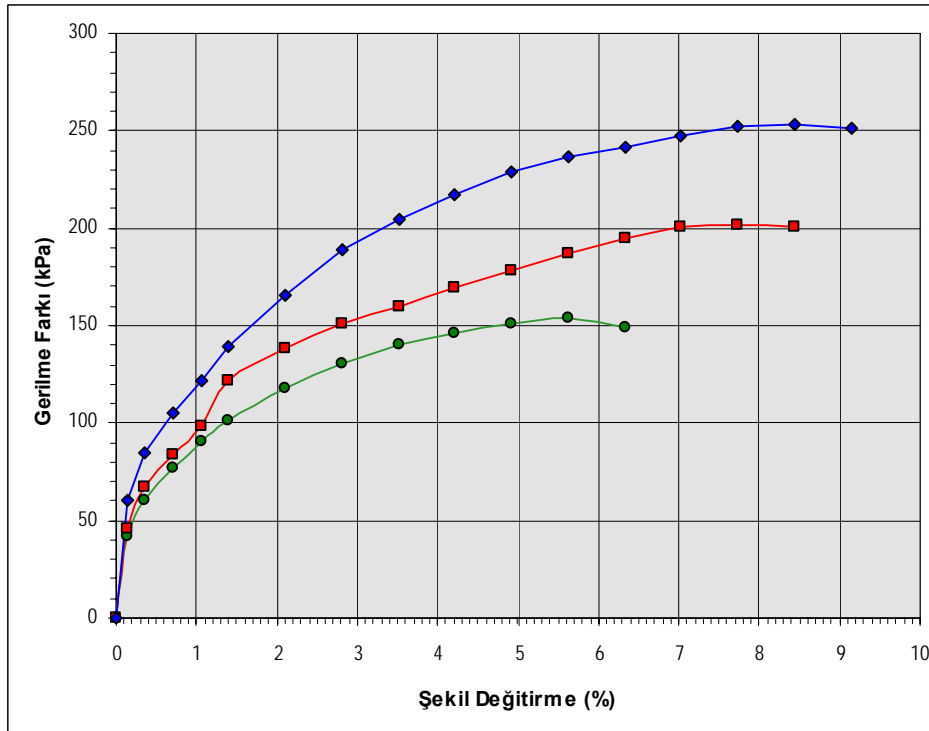
Şekil 3.46 Doğal zeminin değişen çevre basıncı altındaki gerilme farkı-şekil değiştirme grafikleri (7 Günlük Kür)



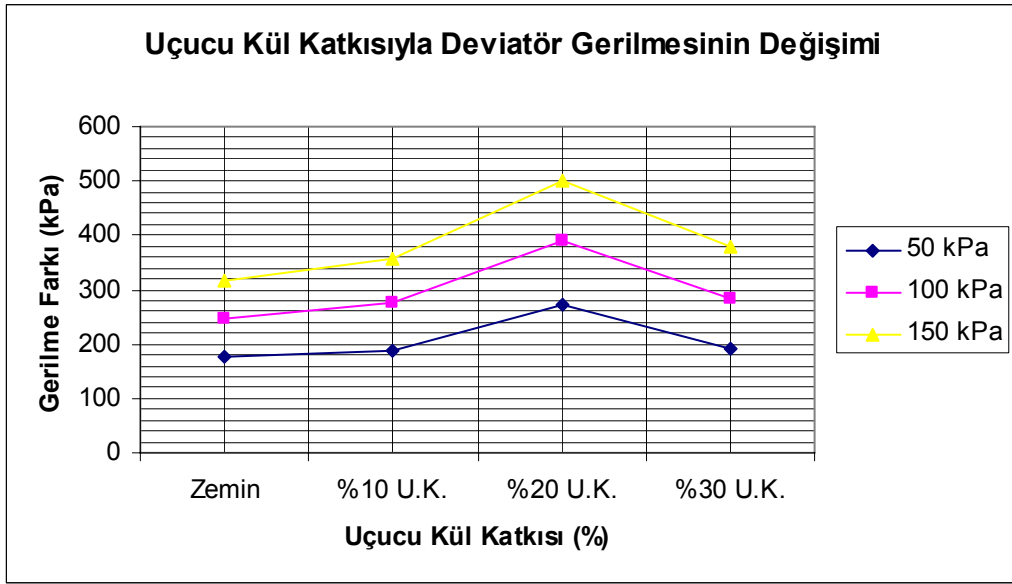
Şekil 3.47 %10 Uçucu kül katkı zeminin değişen çevre basıncı altındaki gerilme farkı-şekil değiştirme grafikleri (7 Günlük Kür)



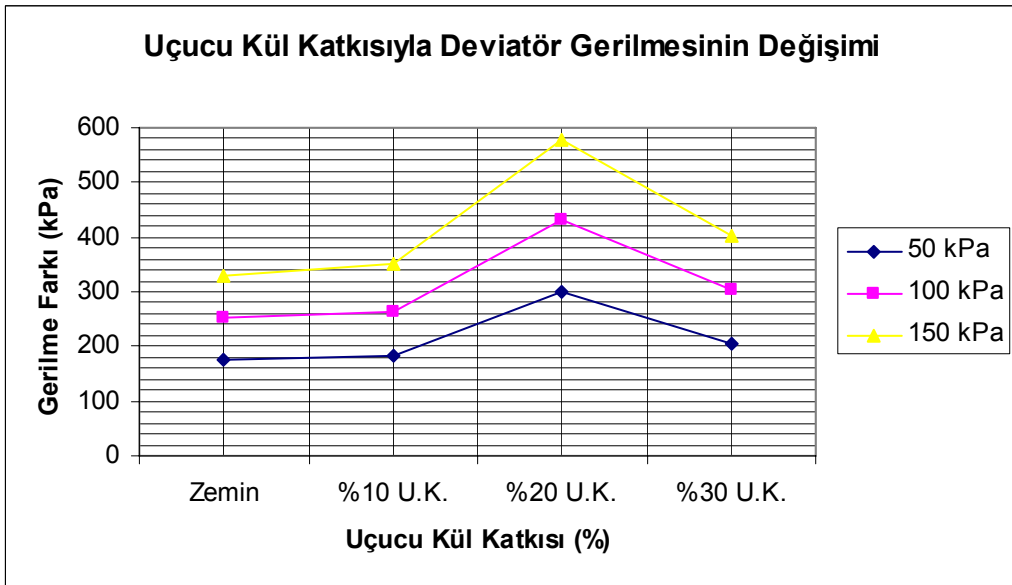
Şekil 3.48 %20 Uçucu kül katkıli zeminin değişen çevre basıncı altındaki gerilme farkı-şekil değiştirme grafikleri (7 Günlük Kür)



Şekil 3.49 %30 Uçucu kül katkıli zeminin değişen çevre basıncı altındaki gerilme farkı-şekil değiştirme grafikleri (7 Günlük Kür)



Şekil 3.50 Uçucu kül katkısıyla gerilme farkının değişimi (Hemen)



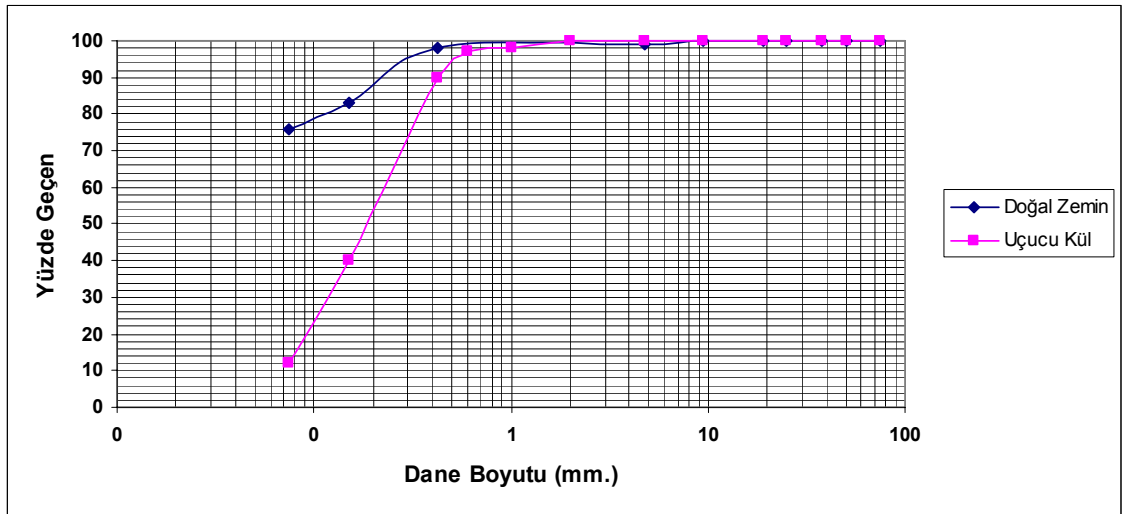
Şekil 3.51 Uçucu kül katkısıyla gerilme farkının değişimi (7 Günlük Kür)

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde; Ankara Ostim civarından elde edilen kil zeminin uçucu kül katkısıyla Elek Analizi, Atterberg (Kıvam) Limitleri, Standart Proktor ve Üç Eksenli Basınç Dayanım deneyleri sonucunda elde edilen bulgular verilmiştir.

4.1. Elek Analizi Bulguları

Deney çalışmalarında kullanılan zeminin ve uçucu külün Elek Analizi sonucu olan granülometri eğrileri Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1 Zeminin ve uçucu külün granülometri eğrileri

4.2. Atterberg (Kıvam) Limitleri Bulguları

%0, %10, %20 ve %30 oranlarında uçucu kül katkılı zeminin Atterberg (Kıvam) Limitleri Çizelge 4.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 Zemine %0, %10, %20 ve %30 uçucu kül katkısıyla kıvam limitleri sonuçları

Karışım	w_L	w_P	I_P
Doğal Zemin	51	23	28
%10 U.K. Katkılı	52	20	32
%20 U.K. Katkılı	42	21	21
%30 U.K. Katkılı	43	20	23

4.3. Standart Proktor Bulguları

%0, %10, %20 ve %30 oranlarında uçucu kül katkılı zeminin Standart Proktor sonuçları Çizelge 4.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2 Zeminin ve uçucu kül katkılı zeminlerin γ_{kmaks} -w_{opt.} değerleri

Malzeme	γ_{kmaks}. (gr/cm³)	w_{opt.} (%)
Doğal Zemin	1,625	23,4
Doğal Zemin+ %10 U.K.	1,662	22,5
Doğal Zemin+ %20 U.K.	1,655	18,1
Doğal Zemin+ %30 U.K.	1,627	20,9

4.4. Üç Eksenli Basınç Dayanım Bulguları

%0, %10, %20 ve %30 oranlarında uçucu kül katkılı zeminin hemen ve 7 günlük kür sonrası Üç Eksenli Basınç Dayanımlarının sonuçları Çizelge 4.3 ve 4.4’de verilmiştir.

Çizelge 4.3 Zeminin ve uçucu kül katkılı zeminlerin üç eksenli basınç deneyi sonuçları

Karışım	Çevre Basıncı (kPa)	Maks. Deviatör Gerilme (kPa)		Kırılmanın Meydana Geldiği Deformasyon (%)	
		Kür Süresi		Kür Süresi	
		Hemen	7 Gün	Hemen	7 Gün
Zemin	50	176	177	6,28	7,65
	100	245	254	6,94	7,61
	150	317	328	6,91	8,28
%10 U.K. Katkılı	50	188	183	9,03	8,39
	100	275	265	8,29	8,31
	150	358	351	8,31	8,24
%20 U.K. Katkılı	50	271	299	8,29	8,28
	100	392	432	13,16	9,75
	150	500	579	15,21	9,75
%30 U.K. Katkılı	50	190	204	7,63	5,63
	100	284	302	10,36	7,72
	150	379	403	11,08	8,29

Çizelge 4.4 Zeminin ve uçucu kül katkılı zeminlerin üç eksenli basınç deney sonuçlarından elde edilen kayma parametreleri

Karışım	Kayma Mukavemeti Parametreleri			
	Kür Süresi			
	Hemen		7 Gün	
	c (kPa)	Φ (°)	c (kPa)	Φ (°)
Zemin	44	10	42	12
%10 U.K. Katkılı	40	15	38	15
%20 U.K. Katkılı	53	23	46	28
%30 U.K. Katkılı	35	18	37	19

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Uçucu kül, termik santrallerde elde edilen bir atık malzemedir. Pülverize kömürün yakılması sonucu atık olarak büyük miktarlarda uçucu kül ortaya çıkmasına karşın çok azı değerlendirilebilmektedir. Uçucu külün değerlendirildiği en önemli alan inşaat sektörüdür. Özellikle çimento ve kireç gibi malzemelerle yer değiştirebilmesi bu malzemelerden tasarruf sağlanarak doğal kaynaklar korunur. Uçucu külün değerlendirilmesi geniş arazilerin yok olmasını engeller ve çevre kirliliğini önler.

Bu çalışmada, Yumurtalık Sugözü (Adana) termik santrali uçucu külünün kil zemin stabilizasyonunda kullanılabilirliği deneysel olarak incelenmiştir. Zemine uçucu kül ilavesinin kompaksiyona ve kayma mukavemeti üzerine etkisini belirlemek için Elek Analizi, Atterberg Limitleri, Standart Proktor ve Üç Eksenli Basınç deneyleri gerçekleştirilmiştir. Zemine kuru ağırlığının %0, %10, %20 ve %30 gibi değişik oranlarda uçucu kül katılarak kompaksiyon ve kayma mukavemeti üzerine etkisi incelenmiştir.

Uçucu kül katkısının Atterberg limitleri üzerindeki etkisini tespit etmek için %0, %10, %20 ve %30 oranlarında karışımların kıvam limitleri belirlenmiştir. Zemine katılan uçucu kül oranları ile likit limit değerinde zemine %10 uçucu kül katkısıyla çok az bir artış uçucu kül katkısının artışıyla belirgin bir düşüş gözlenmiştir. Plastik limit değerinde zemine %10 uçucu kül katkısıyla çok az düşüş gözlenmiştir. Plastisite indisi zeminw %10 uçucu kül katkısıyla belirgin bir artış uçucu kül katkısının artışıyla belirgin bir düşüş gözlenmiştir.

Deneyler sonucunda zemine %10 uçucu kül katkısıyla maksimum kuru birim hacim ağırlıkta artış meydana gelmiş ve artan uçucu kül katkısıyla düşüş gözlenmiştir. Su muhtevasında zemine %20 uçucu kül katkısına kadar düşmekte artan uçucu kül katkısıyla çok az artış gözlenmiştir.

Uçucu kül katkısının artışıyla kayma parametrelerinde; içsel sürtünme açısında artış meydana gelmekte ancak; %20'lik artış sonrasında düşüş gözlenmektedir. Kohezyonda önce düşüş görülmekte artan uçucu külle belirgin artış olmakta ancak; %20'lik artış sonrasında düşüş gözlenmektedir. Uçucu kül katkısı ve kür süresinin artmasıyla içsel sürtünme açısı ve kohezyonda önce düşüş daha sonra belirgin artış

meydana gelmiştir. %20'lik uçucu kül katkısından fazla katkı eklendiğinde düşüş meydana gelmektedir.

Zemin karışımlarının 7 günlük küre bırakılması sonucunda dayanımda artış görülmüştür. Kür sonucu en az etki doğal zemin numunesi üzerinde olmuştur. 7 günlük kür süresi sonunda doğal zemin numunesinde belirgin değişiklik gözlenmemiştir (%2,85). %10 uçucu kül katkılı zeminde bu kür süresince çok az bir düşme gözlenirken (%2,68), %20 uçucu kül katkılı zeminde %12,64 artış olmuştur. %30 uçucu kül katkılı zeminde bu kür sonucu %6,57 artış gözlenmiştir. Böylece en fazla dayanım artışı %20 uçucu kül katkılı zeminde tespit edilmiştir.

Deneyle sonucunda, Yumurtalık Sugözü termik santrali uçucu külünün kil zemin stabilizasyon çalışmalarında kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Zemine %20 uçucu kül katkısı ile optimum mukavemet değerlerine ulaşılmıştır.

Ülkemizde atık olarak büyük depolama masrafları ve çevre kirliliğine yol açan bu malzeme, Geoteknik Mühendisliğinde kullanılması diğer malzemelerin daha az kullanılarak ekonomik olmasına ve doğal kaynak tahribatının önlenmesinde fayda sağlayacaktır.

Bunun yanında çevreye ve kamuya verilen zararda önemli ölçüde azalmış olacaktır.

KAYNAKLAR

- Ağar, E., (2007), **Seyitömer Termik Santral Uçucu Küllerinin Yapı Sektöründe Kullanabilirliğinin Araştırılması**, Yüksek Lisans Tezi, Sh:70, İzmir.
- Alataş, T., (1996), **Afşin-Elbistan Termik Santrali Uçucu Külünün Yol Stabilizasyonunda Çeşitli Malzemelerle Kullanımı Üzerine Bir Araştırma**, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Sh:147, Elazığ.
- Alkaya, D., (2002), **Uçucu Kül Katkısının Dolgu Zeminlerin Stabilitesine Etkisi**, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Sh:176, Denizli.
- Arıoğlu, E., Manzak, O., (1992), **İnşaat Sektöründe Uçucu Kül Kullanımının Ekonomik Analizi**, Prefabrik Birliği Dergisi, Sayı:22; Sh:25-33, Ankara.
- Aruntaş, H., Y., (2006), **Uçucu Küllerin İnşaat Sektöründe Kullanım Potansiyeli**, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt:21, No:1, Sh:203, Ankara.
- Bayazıt, Ö.L., (1980), **Tunçbilek Uçucu Küllerinin Betonun Fiziko-Kimyasal ve Mekanik Özelliklerine Etkileri**, Doktora Tezi, Ankara.
- Baykal, G., Özturan, T., Savaş, M., Ramadan, K., (1993), **Uçucu Külün İnşaat Mühendisliğinde Bazı Kullanım Olanakları, Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu**, Bildiriler Kitabı, Sh:89-102, Ankara.
- Çakır, M., (1999), **Uçucu Kül İle Zemin Stabilizasyonu**, İTÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Sh:73, İstanbul.
- Dede, E., (2008), **Yüksek Oranda Uçucu Kül İçeren Harçların Özellikleri**, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir.
- DiGioia, A.M. and Huzzo W.L., (1972), **Fly Ash Structural Fill**, Journal Of the Power Division, ASCE, Vol.98, no:P01, Sh:77-93.

- Erdoğan, T., (1993), **Atık Malz. İnş. Endüstrisinde kullanımı, Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu, Bildiriler Kitabı**, Sh:1-8, Ankara.
- Erdoğan, T., Parla, B., (1993), **Yüksek Kireçli Uçucu Küllerin Beton Basınç Dayanımları, Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu, Bildiriler Kitabı**, Sh:79-87, Ankara.
- Erol, A., (2007), **C Sınıfı Uçucu Kül Katkılı Siltlerin Dayanım ve Donma-Çözülme Direncinin Deneysel Olarak İncelenmesi**, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Sh:105, İzmir.
- Erşan, H., (1996), **Uçucu Küllerin Siltli Zeminlerin Kayma Mukavemeti Üzerine Etkisi**, İTÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Sh:75, İstanbul.
- Günel, R.G., (1996), **Uçucu Külün Zemin Stabilizasyonunda Kullanılması**, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Sh:76, İstanbul.
- İlhan, T., (1995), **Sülfo Kalsik ve Siliko Kalsik Uçucu Küller İyileştirme ve Rolkritlerde Kullanımı**, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Joshi, R.C., Duncan, D.M. and McMaster, H.M., (1975), **New and Conventional Engineering Uses of Fly Ash**, *Transportation Engineering Journal*, ASCE, Vol.1001, TE4, Sh:791-806.
- Lee, S. W. Ve Dutto, U., (1987), **Improved Resilient Modulus Realized with Waste Products Miztures**, *Geotechnical Special Publication*, No:13, ASCE, Newyork.
- Öksüz, K., (2006), **Afşin-Elbistan Termik Santral Uçucu Külünün Zemin Stabilizasyonunda Kullanımı**, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana.
- Özbayoğlu, F., (1993), **Köy yollarının Termik Santral Küleriyle Stabilizesi, Köy Hiz. Genel Müd., Köy Hizmetleri Dergisi**, Sayı:45, Ankara.
- Savaran, K. Z., (1988), **Stabilization of Cohesive Soils With Fly Ash**, ODTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Sh:62, Ankara.
- Tan, O., Ve İyisan, R., (1996), **Uçucu Kül İle Zemin Stabilizasyonu, ZMTM 6. Ulusal Kongresi**, Dokuz Eylül Üniversitesi, Sh:417-426, İzmir.

- TEAŞ, 2000, **Faaliyet Raporu**, Ankara.
- Tokyay, M., (1993), **Betonda Uçucu Kül Kullanımı (Türkiye Deneyimi), Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu, Bildiriler Kitabı**, Sh:29-36, Ankara.
- TS 639, (1975), **Portland Çimento Klinkerine ve Portland Çimento Betonuna Karıştırılacak Uçucu Küller**, Ankara.
- TS 640, (1975), **Uçucu Küllü Çimentolar**, Ankara.
- Tuğal, M., (1989), **Uçucu Küllerden Tuğla Tipi Bir Yapı Malzemesinin Elde Edilmesi**, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Uysal, F., (1987), **Geotechnical Properties of The Fly-Ashes Produced In To Thermal Plant In Turkey**, ODTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Sh:55, Ankara.
- Ünal, O. ve Uygunoğlu, T., (2004), **Soma termik santrali atığı uçucu külün inşaat sektöründe değerlendirilmesi, Türkiye 14 Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı**, Zonguldak.
- Wasti, Y., (1990), **Uçucu Küllerin Geoteknik Özellikleri ve Kullanım Olanakları, İMO Teknik Dergi**, Cilt:1, Sayı:4, Sh:177-188, Ankara.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her aşamasında bana yol gösteren ve destek olan danışman hocam Yrd.Doç.Dr. Nurdane İLBEYLİ'ye gösterdiği sabır ve özverisi için teşekkür ederim. Ayrıca; benden yardımlarını esirgemeyen hocalarım Yrd.Doç.Dr. Umur K. SEVİM ve Yrd.Doç.Dr. Erdoğan ÖZBAY'a teŐekkürü borç bir bilirim.

Deneysel çalışmalarımnda laboratuvarlarını kullanmama olanak sağlayan MK İnaşaat Müh. Bölümü'ne ve Form Jeoteknik Ltd. Şti. (Ankara)'ne, çalışmalarımnda kullandığım uçucu külün temininde bana yardımcı olan Oyak Beton Sanayi T.A.Ő. (Adana) alışanlarına teşekkür ederim.

Hayatımın her aşamasında yanımda olan, çalışmanın en stresli dönemlerinde dahi büyük bir özveriyle hep arkamda olan, maddi ve manevi desteğini esirgemeyen AİLEME sonsuz teŐekkürler.

ÖZGEÇMİŞ

1985 yılında Hatay'da doğdum. İlk, orta ve lise öğrenimimi aynı ilde tamamladım. 2007 yılında Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi'nden İnşaat Mühendisliği Bölümünden mezun oldum. Yetkin Yapı Denetim Ltd. Şti'de 4 ay yardımcı kontrol mühendisi olarak çalıştım. Ardından Mapa A.Ş.'de 10 ay Antakya Çevreyolu İnşaatı Projesinde ve 5 ay Sibrata-Ras Jidiyr (Libya) Sahil Yolu İnşaatı Projesinde saha mühendisi olarak çalıştım. Mustafa Kemal Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Bölümünün İnşaat Mühendisliği Anabilim dalının Geoteknik bölümünde yüksek lisans öğrenimi görmekteyim.

EKLER

Ek-1

T.C. İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ MÜHÜR VE İSKAN BÖLÜMÜ		FORM Jeoteknik Müh. Lab. Ltd. Şti.		ELEK ANALİZ KARTI RAPORU											
PROJE :		KİLLERİN UÇUCU KÜL İLE STABİLİZASYONU													
AÇ No:	ZEMİN	Km :	-	Tarih :	02.02.2010										
Konum:	-	Rapor No:		173/10.02.M07-R1089/00											
I TARTILAR		II SU İÇERİĞİ TAYİNİ		III NO. 4'DEN GEÇEN BÖLÜNMÜŞ NUMUNE											
a) Yaş Numune+Kap	33057	a) Kap+Yaş Numune	647,60	a) Numune+Kap	207,70										
b) Kap No:	0	b) Kap+Kuru Numune	551,00	b) Kap no:	0										
c) Numune (a-b)	33057	c) Su Ağırlığı (a-b)	96,60	c) Numune (a-b)	207,7										
d) Kaba Kısım	279	d) Kap Ağırlığı:	138,20	Kuru Numune	168,31										
e) İnce Kısım	26562	e) Kuru Numune (b-d)	412,80	Kap Ağırlığı:											
Toplam Kuru Num.	26841	W) % Su İçeriği=	23,40												
Kap No:	178														
Elek Açıklığı		ELEKTE KALAN (g)	(A) TOPLAM ELEKTEN GEÇEN % (100-B)	* ÜZERİ ATILDIKTAN SONRA ELEKTEN GEÇEN DÜZELTME											
İnç mm															
3 75		0	100												
2 50		0	100												
1 1/2 37,5		0	100												
1 25		0	100												
3/4 19		80	100												
3/8 9,5		45	100												
No. 4 4,75		154	99												
		(B)	(A No. 4 - 100)												
No. 10 2,00		1,50	98												
No. 40 0,42		25,80	83												
No. 200 0,075		11,40	76												
FİZİKİ DENEYLER															
	LL	LL	PL	PL											
Kap No:	66		56		USC										
Vuruş Sayısı	20				CL - Düşük plastisiteli kil ve az kum										
Kap+Yaş Numune	44,44		34,09		AASHTO										
Kap+Kuru Numune	40,57		33,78		A-7-6 (18)- Killi zemin										
Su Ağırlığı	3,87		0,31												
Kap ağırlığı (g)	32,56		32,45												
Katsayı	0,973														
% Su İçeriği	47,0		23,3												
LİKİT LİMİT:	47,0	PLASTİK LİMİT:	23,3	Plastisite indeksi:	23,7										
				<table border="1"> <tr> <td>D₁₀</td> <td></td> </tr> <tr> <td>D₃₀</td> <td></td> </tr> <tr> <td>D₆₀</td> <td></td> </tr> <tr> <td>C_u</td> <td></td> </tr> <tr> <td>C_z</td> <td></td> </tr> </table>		D ₁₀		D ₃₀		D ₆₀		C _u		C _z	
D ₁₀															
D ₃₀															
D ₆₀															
C _u															
C _z															
HAZIRLAYAN			KONTROL EDEN												



FORM

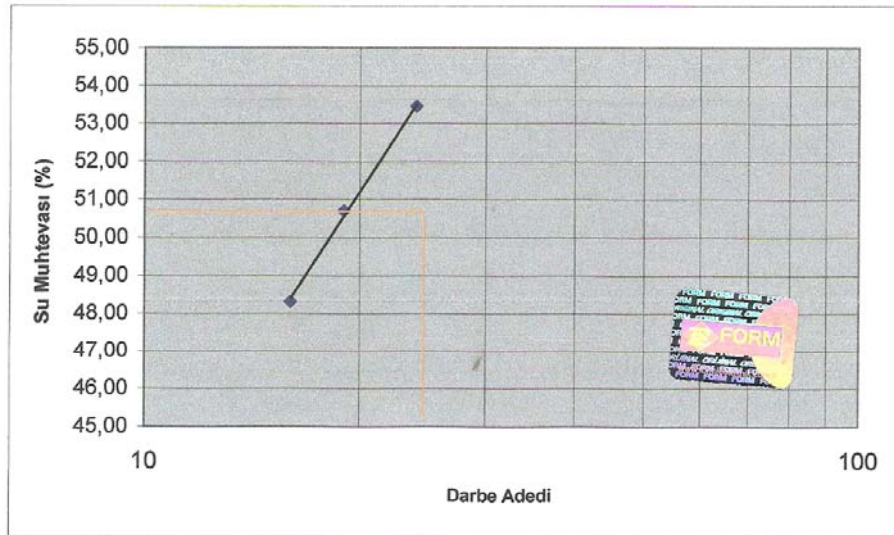
Jeoteknik Müh. Lab. Ltd. Şti.

ATTERBERG LİMİTLERİ

TS 1900

LAB NO	: 173/10.02.M07-R1089/[00]
PROJE ADI	: KILLERİN UÇUCU KÜL İLE STABILİZASYONU
NUMUNE YERİ	: ZEMİN
SONDAJ / KUYU NO	: -
NUMUNE CİNSİ	: -
DERİNLİK	: -
PAFTA/ADA/PARSEL	: -
DENEY TARİHİ	: 02.02.2010

	LİKİT LİMİT			PLASTİK LİMİT		
	1	2	3	1	2	3
KAP NO	31	66	24	56		
DARBE ADEDİ	19	16	24			
YAŞ NUMUNE + KAP	40,91	44,44	42,24	34,09		
KURU NUMUNE + KAP	38,01	40,57	38,68	33,78		
SU MİKTARI	2,90	3,87	3,56	0,31		
KAP AĞIRLIĞI	32,29	32,56	32,02	32,45		
KURU NUMUNE AĞ.	5,72	8,01	6,66	1,33		
SU MUHTEVASI	50,70	48,31	53,45	23,31		



LİKİT LİMİT	50,82
PLASTİK LİMİT	23,31
PLASTİSİTE İNDİSİ	27,51

Deneyi Yapan
Burcu AYGÖREN

Jeoteknik Mühendisliği
Sicil No: 17054

Onaylayan
T.Tanju ÖKTEN

Jeoteknik Mühendisliği
Sicil No: 2186



FORM
Jeoteknik Müh. Lab. Ltd. Şti.

**PROKTOR
(KOMPAKSİYON) DENEY
RAPORU**

PROJE ADI	KİLLERİN UÇUCU KÜL İLE STABİLİZASYONU				Tarih:	02.02.2010
Kuyu No.	KİL ZEMİN	Derinlik (m)	3,00	Standart	TS 1900	
Numune No.	-	Deneği Yapan	B.AYGÖREN	Kontrol	T. T. ÖKTEN	
RAPOR NO	173/10.02.M07-R1089/[00]					

TEST ÖZELLİKLERİ

<input type="checkbox"/> İkamelî	<input type="checkbox"/> 19 No Altı	<input checked="" type="checkbox"/> 4 No Altı	Numune Miktarı ⇨	19-9.5 mm arası		9.5-4.75 mm arası		4 No. altı	
Test Tipleri	Standart Proktor		Tek numune	%	g	%	g	%	g
	Modifiye AASHTO		Ayrı-ayrı-numune	0,0	0	0,0	0	100,0	5000
Tabaka Sayısı	3	Darbe Sayısı	25	Molt Hacmi, V (cm ³)	943	Çekiç Ağırlığı (kg)	2,5		

KOMPAKSİYON

Deneş No.	①	②	③	④	⑤	⑥
Öngörülen Su Miktarı (%)	0	2	2	2	3	3
[Kalıp+Yaş Numune] Ağı. (g)	5561	5777	5867	6065	6010	5981
Kalıp (molt) Ağırlığı (g)	4170	4170	4170	4170	4170	4170
Yaş Numune Ağırlığı (g)	1391	1607	1697	1895	1840	1811
Yaş Birim Ağırlığı, γ_n (g/cm ³)	1,475	1,704	1,800	2,010	1,951	1,92
Kuru Birim Ağırlığı, γ_d (g/cm ³)	1,375	1,490	1,532	1,623	1,497	1,423

SU İÇERİĞİ TAYINI

Kap No.	101	199	122	19	145	44
[Kap+Yaş Numune] Ağır. (g)	547,8	500,3	502,9	552,4	581,0	775,4
[Kap+Kuru Num.] Ağır. (g)	519,8	454,4	448,8	471,5	478,2	609,8
Kap Ağırlığı (g)	133,3	135,2	139,6	131,7	139,5	136,1
Kuru Numune Ağırlığı (g)	386,5	319,2	309,2	339,8	338,7	473,7
Su Ağırlığı (g)	28,0	45,9	54,1	80,9	102,8	165,6
Ortalama Su İçeriği (%)	7,2	14,4	17,5	23,8	30,3	35,0

Özgül Ağırlık : Tahmin

Hesapla

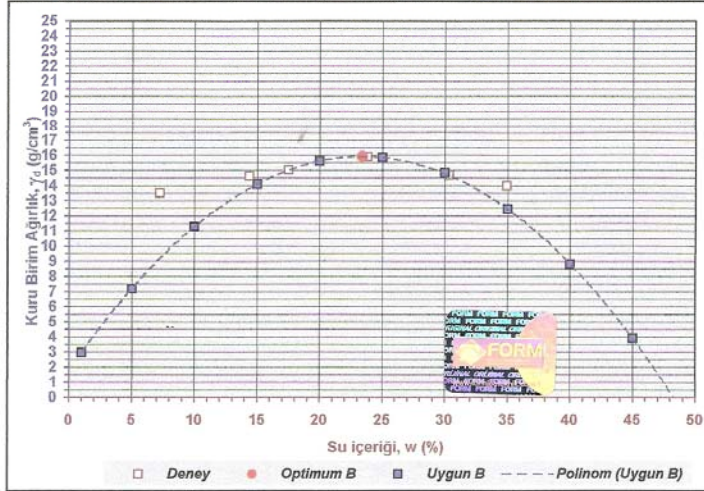
DENEY SONUÇLARI :

Maksimum Kuru Birim Ağırlık, γ_{dmax}
Maximum dry unit weight

1,625 g/cm³




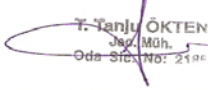
Optimum Su İçeriği, w_{opt}
Optimum moisture content

23,4 %



HAZIRLAYAN B. AYGÖREN Jeoteknik Müh. Lab. Ltd. Şti. Oda Sic. No: 2186	KONTROL EDEN T. Tanju ÖKTEN Jeoteknik Müh. Lab. Ltd. Şti. Oda Sic. No: 2186
---	---

RAP.08/REV:00

 		ÜÇ EKSENLİ HÜCRE KESME DENEY (UU) RAPORU		
PROJE	KİLLERİN UÇUCU KÜL İLE STABİLİZASYONU			
ÖRNEĞİN ALINDIĞI YER	-			
ÖRNEĞİN TANIMI	Kil			
SONDAJ NO	-	DANE ÖZGÜL AĞIRLIĞI	2,618	
NUMUNE NO	1	RAPOR NO	173/10.02.M07-R1089/[00]	
DERİNLİK (m)		DENEY HIZI (mm/dak)	0,73	
TARİH	11.02.2010	KALİBRASYON KATSAYISI	0,3569	
ÖRNEK NO		1	2	3
ÖRNEK ÇAPI, (cm)		3,55	3,55	3,56
ÖRNEK ALANI, (cm ²)		9,90	9,90	9,95
ÖRNEK YÜKSEKLİĞİ, (cm)		7,17	7,20	7,24
ÖRNEK HACMI, (cm ³)		70,97	71,27	72,07
ÇEVRE BASINCI, (kPa)		50	100	150
YAŞ ÖRNEK AĞIRLIĞI, (g)		139,40	137,26	142,38
DENEY SONU ÖRNEK AĞIRLIĞI, (g)		130,56	129,11	137,97
KURU ÖRNEK AĞIRLIĞI, (g)		105,86	104,71	112,56
SU AĞIRLIĞI, (g)		24,70	24,40	25,41
SU MUHTEVASI, (%)		23,33	23,30	22,57
DOĞAL BİRİM HACİM AĞIRLIĞI, (kN/m ³)		19,27	18,89	19,38
KURU BİRİM HACİM AĞIRLIĞI, (kN/m ³)		15,62	15,32	15,81
DANE HACMI, (cm ³)		43,17	42,52	44,37
BOŞLUK HACMI, (cm ³)		27,80	28,74	27,70
POROZİTE, (%)		39,17	40,33	38,43
BOŞLUK ORANI		0,644	0,676	0,624
DOYGUNLUK DERESESİ, (%)		95	90	95
KIRILMADA BİRİM KISALMA, (%)		6,28	6,94	6,91
DRENAJSIZ ELASTİSİTE MODÜLÜ, (MPa)		8,0	9,1	10,4
HAZIRLAYAN		KONTROL EDEN		
 E. AYVAZ Jeoteknik Müh. Lab. Ltd. Şti. Oda Sicil No: 11051		 T. Tanju ÖKTEN Jeot. Müh. Oda Sicil No: 2100		

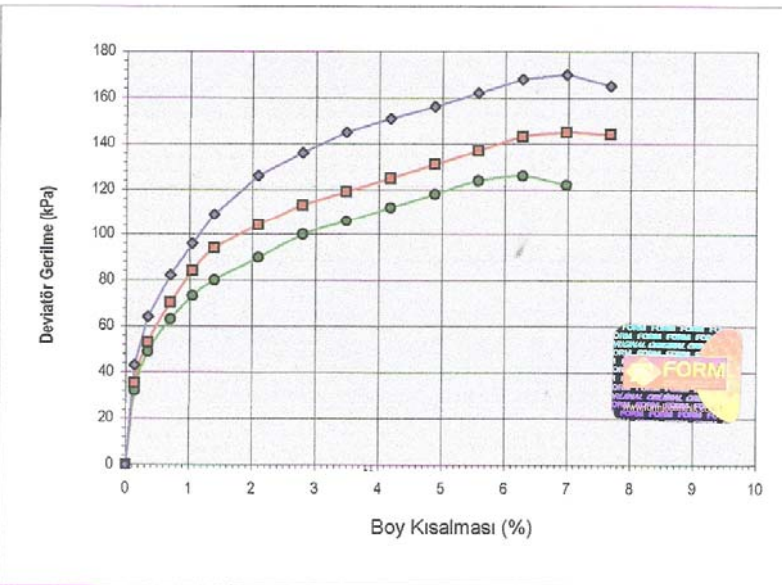


FORM

Jeoteknik Müh. Lab. Ltd. Şti.

ÜÇ EKSENLİ HÜCRE KESME DENEY (UU) RAPORU

PROJE :	KİLLERİN UÇUCU KÜL İLE STABİLİZASYONU						
RAPOR NO:	173/10.02.M07-R1089/00]						
Kuyu no:	-	Örnek no:	1	Derinlik (m) :	0,00	Tarih:	11.02.2010



●	$\sigma_3 =$	50
■	$\sigma_3 =$	100
◆	$\sigma_3 =$	150

1	σ_3	50
	σ_1	176
2	σ_3	100
	σ_1	245
3	σ_3	150
	σ_1	317

SONUÇ	
c (kPa)	44
ϕ (derece)	10



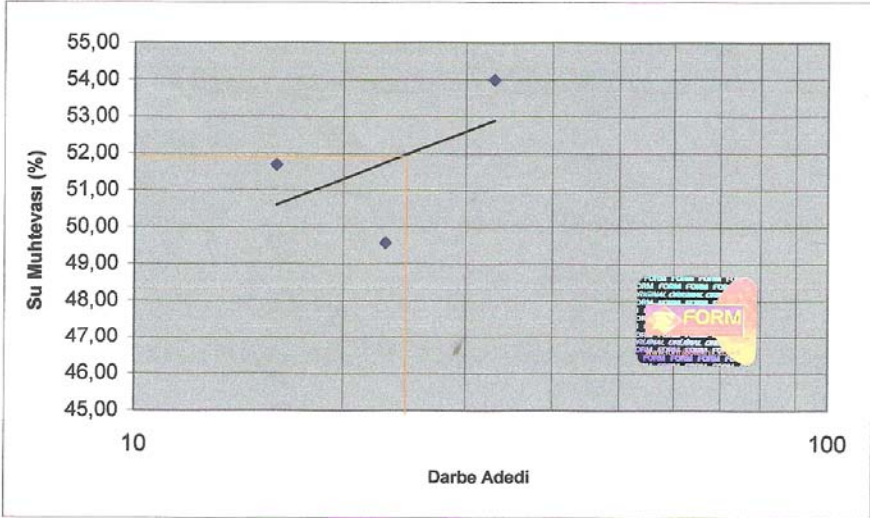
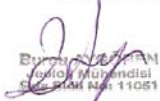
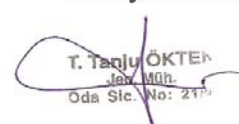
HAZIRLAYAN



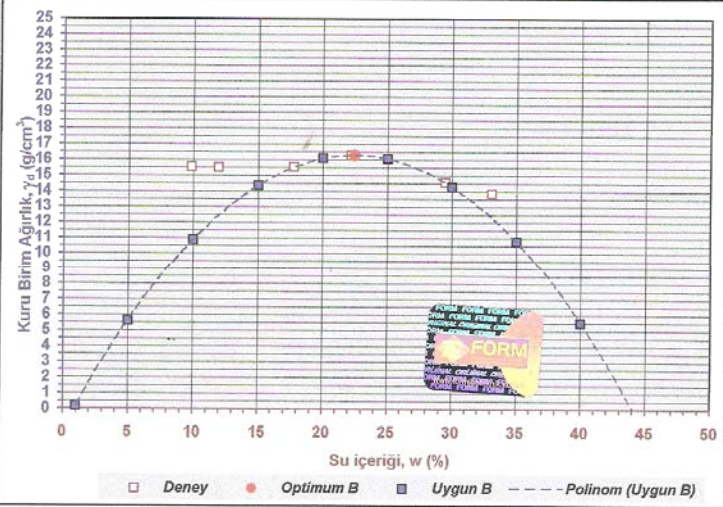
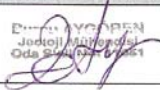
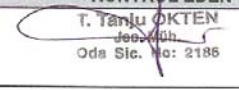
BURCU ANIŞIRIN
Jeoteknik Mühendisi
Oda Sic. No: 11651



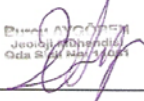

KONTROL EDEN



T. Tanju ÖKTEN
Jeoteknik Müh.
Oda Sic. No: 2186

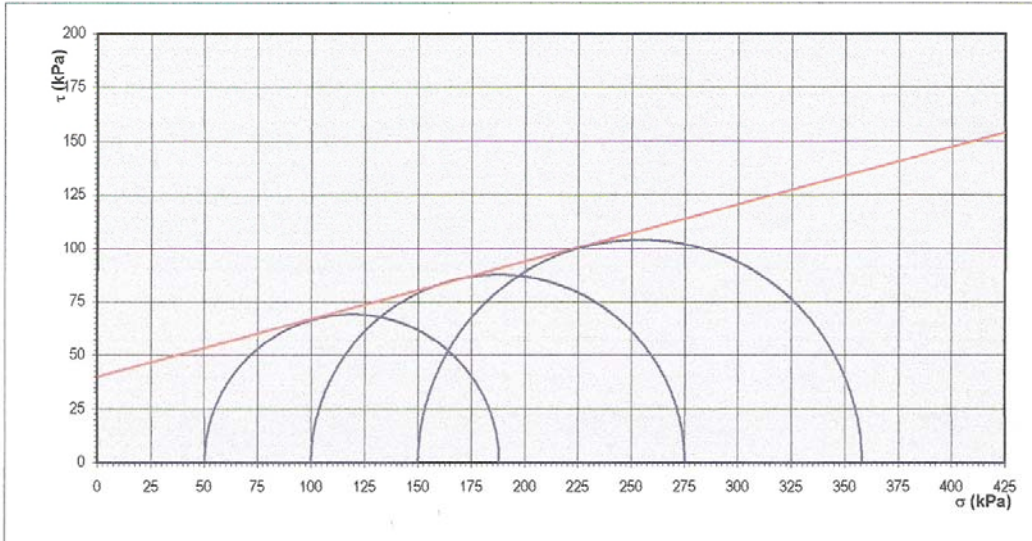
Ek-2

				ATTERBERG LİMİTLERİ			
TS 1900							
LAB NO	:	173/10.02.M07-R1089/[00]					
PROJE ADI	:	KILLERİN UÇUCU KÜL İLE STABILİZASYONU					
NUMUNE YERİ	:	KİL+%10 UÇUCU KÜL					
SONDAJ / KUYU NO	:	-					
NUMUNE CİNSİ	:	-					
DERİNLİK	:	-					
PAFTA/ADA/PARSEL	:	-					
DENEY TARİHİ	:	02.02.2010					
		LİKİT LİMİT			PLASTİK LİMİT		
		1	2	3	1	2	3
KAP NO	:	2	70	97	21		
DARBE ADEDİ	:	33	23	16			
YAŞ NUMUNE + KAP	:	42,40	40,88	41,94	34,78		
KURU NUMUNE + KAP	:	39,08	37,98	38,72	34,38		
SU MİKTARI	:	3,32	2,90	3,22	0,4		
KAP AĞIRLIĞI	:	32,93	32,13	32,49	32,4		
KURU NUMUNE AĞ.	:	6,15	5,85	6,23	1,98		
SU MUHTEVASI	:	53,98	49,57	51,69	20,20		
							
				LİKİT LİMİT	51,75		
				PLASTİK LİMİT	20,2		
				PLASTİSİTE İNDİSİ	31,55		
Deneyi Yapan Burcu AYGÖREN				Onaylayan T.Tanju ÖKTEN			
 Burcu AYGÖREN Jeoteknik Mühendisliği S. No: 11051				 T. Tanju ÖKTEN Jeoteknik Müh. Oda Sic. No: 2171			

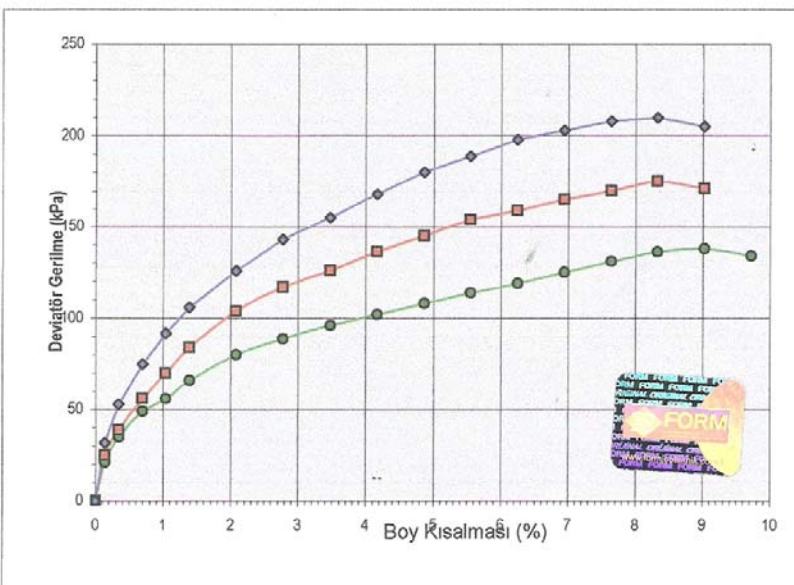
 		PROKTOR (KOMPAKSİYON) DENEY RAPORU					
PROJE ADI		KİLLERİN UÇUCU KÜL İLE STABİLİZASYONU		Tarih:	02.02.2010		
Kuyu No.	KİL ZEMİN+ % 10 UÇUCU KÜL	Derinlik (m)	3,00	Standart	TS 1900		
Numune No.	-	Deneysel Yapan	B.AYGÖREN	Kontrol	T. T. ÖKTEN		
RAPOR NO	173/10.02.M07-R1089/00						
TEST ÖZELLİKLERİ							
<input type="checkbox"/> İkameii	<input type="checkbox"/> 19 No Altı	<input checked="" type="checkbox"/> 4 No Altı	Numune Miktarı →	19-9.5 mm arası	9.5-4.75 mm arası	4 No. altı	
Test Tipleri	Standart Proktor	Tek numune	%	g	%	g	
	Modifiye AASHTO-	Ayrı ayrı numune	0,0	0	0,0	0	
Tabaka Sayısı	3	Darbe Sayısı	25	Molt Hacmi, V (cm ³)	943	Çekirç Ağırlığı (kg)	2,5
KOMPAKSİYON							
Deny No.	①	②	③	④	⑤	⑥	
Öngörülen Su Miktarı (%)	0	2	2	2	3	3	
[Kalıp+Yaş Numune] Ağ. (g)	5811	5840	5927	6084	5984	5942	
Kalıp (molt) Ağırlığı (g)	4170	4170	4170	4170	4170	4170	
Yaş Numune Ağırlığı (g)	1641	1670	1757	1914	1814	1772	
Yaş Birim Ağırlığı, γ_n (g/cm ³)	1,740	1,771	1,863	2,030	1,924	1,88	
Kuru Birim Ağırlığı, γ_d (g/cm ³)	1,584	1,582	1,582	1,661	1,486	1,412	
SU İÇERİĞİ TAYİNİ							
Kap No.	160	191	127	169	144	118	
[Kap+Yaş Numune] Ağır. (g)	539,6	556,4	592,7	536,7	598,3	551,1	
[Kap+Kuru Num.] Ağır. (g)	503,6	511,1	523,8	463,9	495,5	450,0	
Kap Ağırlığı (g)	137,5	131,8	135,7	136,1	146,5	144,4	
Kuru Numune Ağırlığı (g)	366,1	379,3	388,1	327,9	349,0	305,6	
Su Ağırlığı (g)	36,0	45,3	68,9	72,8	102,8	101,1	
Ortalama Su İçeriği (%)	9,8	11,9	17,8	22,2	29,5	33,1	
Özgül Ağırlık : <input checked="" type="checkbox"/> Tahmin							
<input type="checkbox"/> Hesapla							
DENEY SONUÇLARI :							
Maksimum Kuru Birim Ağırlık, γ_{dmax} Maximum dry unit weight	1,662 g/cm ³						
Optimum Su İçeriği, w_{opt} Optimum moisture content	22,5 %						
							
HAZIRLAYAN			KONTROL EDEN				
 B. AYGÖREN Jeoteknik Mühendisliği Oda Sic. No: 61261			 T. Tanju ÖKTEN Jeoteknik Mühendisliği Oda Sic. No: 2185				
RAP.08/REV.00							

 		ÜÇ EKSENLİ HÜCRE KESME DENEYİ (UU) RAPORU		
PROJE	KİLLERİN UÇUCU KÜL İLE STABILİZASYONU			
ÖRNEĞİN ALINDIĞI YER	-			
ÖRNEĞİN TANIMI	Kil+%10 uçucu kül			
SONDAJ NO	-	DANE ÖZGÜL AĞIRLIĞI	2,609	
NUMUNE NO	2	RAPOR NO	173/10.02.M07-R1089/[00]	
DERİNLİK (m)		DENEY HIZI (mm/dak)	0,73	
TARİH	11.02.2010	KALİBRASYON KATSAYISI	0,3569	
ÖRNEK NO		1	2	3
ÖRNEK ÇAPI, (cm)		3,55	3,55	3,55
ÖRNEK ALANI, (cm ²)		9,90	9,90	9,90
ÖRNEK YÜKSEKLİĞİ, (cm)		7,20	7,24	7,22
ÖRNEK HACMI, (cm ³)		71,27	71,66	71,46
ÇEVRE BASINCI, (kPa)		50	100	150
YAŞ ÖRNEK AĞIRLIĞI, (g)		140,15	138,44	140,19
DENEY SONU ÖRNEK AĞIRLIĞI, (g)		132,97	132,62	138,18
KURU ÖRNEK AĞIRLIĞI, (g)		108,47	108,32	112,70
SU AĞIRLIĞI, (g)		24,50	24,30	25,48
SÜ MUHTEVASI, (%)		22,59	22,43	22,61
DOĞAL BİRİM HACİM AĞIRLIĞI, (kN/m ³)		19,29	18,95	19,24
KURU BİRİM HACİM AĞIRLIĞI, (kN/m ³)		15,74	15,48	15,70
DANE HACMI, (cm ³)		43,82	43,34	43,82
BOŞLUK HACMI, (cm ³)		27,45	28,32	27,64
POROZİTE, (%)		38,51	39,52	38,67
BOŞLUK ORANI		0,626	0,653	0,631
DOYGUNLUK DERECEŚİ, (%)		94	90	94
KIRILMADA BİRİM KISALMA, (%)		9,03	8,29	8,31
DRENAJSIZ ELASTİSİTE MODÜLÜ, (MPa)		6,2	7,4	9,7
HAZIRLAYAN		KONTROL EDEN		
				

 		ÜÇ EKSENLİ HÜCRE KESME DENEY (UU) RAPORU					
PROJE :	KİLLERİN UÇUCU KÜL İLE STABİLİZASYONU						
RAPOR NO:	173/10.02.M07-R1089/[00]						
Kuyu no:	-	Örnek no:	2	Derinlik (m) :	0,00	Tarih:	11.02.2010


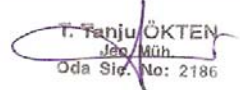


●	$\sigma_3 = 50$
■	$\sigma_3 = 100$
◆	$\sigma_3 = 150$



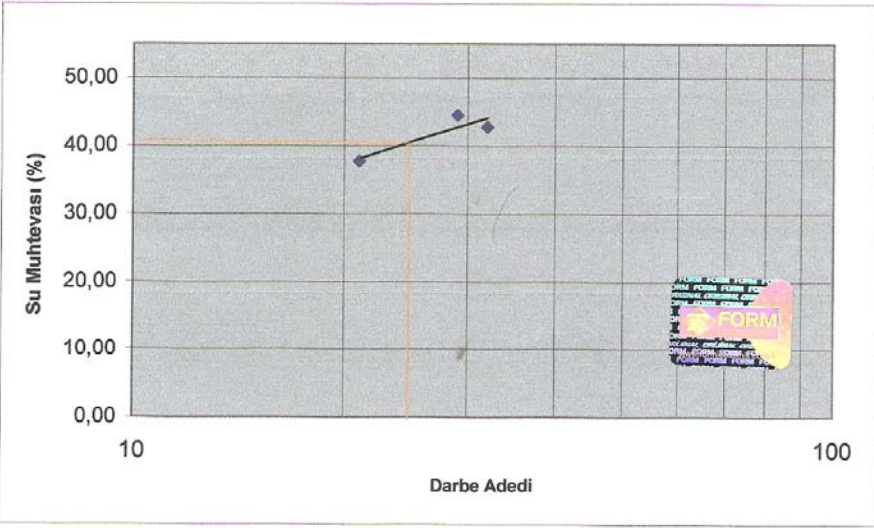

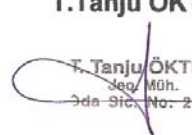




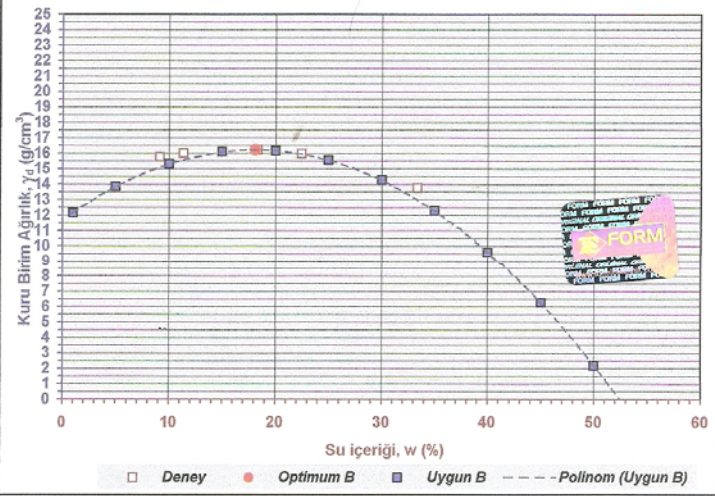

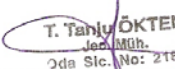
1	σ_3	50
	σ_1	188
2	σ_3	100
	σ_1	275
3	σ_3	150
	σ_1	358



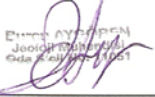
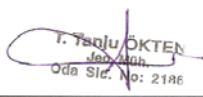
SONUÇ	
c (kPa)	40
ϕ (derece)	15

HAZIRLAYAN	KONTROL EDEN
 Jeoteknik Müh. Lab. Ltd. Şti. Oda Sic. No: 13451	 T. Tanju ÖKTEN Jeo. Müh. Oda Sic. No: 2186

Ek-3

				<h1>FORM</h1> <p>Jeoteknik Müh. Lab. Ltd. Şti.</p>		<h2>ATTERBERG LİMİTLERİ</h2>																																																																					
TS 1900																																																																											
LAB NO	:	173/10.02.M07-R1089/[00]																																																																									
PROJE ADI	:	KILLERİN UÇUCU KÜL İLE STABILİZASYONU																																																																									
NUMUNE YERİ	:	KİL+%20 UÇUCU KÜL																																																																									
SONDAJ / KUYU NO	:	-																																																																									
NUMUNE CİNSİ	:	-																																																																									
DERİNLİK	:	-																																																																									
PAFTA/ADA/PARSEL	:	-																																																																									
DENEY TARİHİ	:	02.02.2010																																																																									
		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">LİKİT LİMİT</th> </tr> <tr> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>KAP NO</td> <td>: 77</td> <td>55</td> <td>46</td> </tr> <tr> <td>DARBE ADEDİ</td> <td>: 32</td> <td>29</td> <td>21</td> </tr> <tr> <td>YAŞ NUMUNE + KAP</td> <td>: 43,45</td> <td>40,53</td> <td>40,90</td> </tr> <tr> <td>KURU NUMUNE + KAP</td> <td>: 40,13</td> <td>37,94</td> <td>38,42</td> </tr> <tr> <td>SU MİKTARI</td> <td>: 3,32</td> <td>2,59</td> <td>2,48</td> </tr> <tr> <td>KAP AĞIRLIĞI</td> <td>: 32,37</td> <td>32,12</td> <td>31,85</td> </tr> <tr> <td>KURU NUMUNE AĞ.</td> <td>: 7,76</td> <td>5,82</td> <td>6,57</td> </tr> <tr> <td>SU MUHTEVASI</td> <td>: 42,78</td> <td>44,50</td> <td>37,75</td> </tr> </tbody> </table>			LİKİT LİMİT			1	2	3	KAP NO	: 77	55	46	DARBE ADEDİ	: 32	29	21	YAŞ NUMUNE + KAP	: 43,45	40,53	40,90	KURU NUMUNE + KAP	: 40,13	37,94	38,42	SU MİKTARI	: 3,32	2,59	2,48	KAP AĞIRLIĞI	: 32,37	32,12	31,85	KURU NUMUNE AĞ.	: 7,76	5,82	6,57	SU MUHTEVASI	: 42,78	44,50	37,75	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">PLASTİK LİMİT</th> </tr> <tr> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>38</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>-</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>34,15</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>33,81</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>0,34</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>32,19</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1,62</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>20,99</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			PLASTİK LİMİT			1	2	3	38			-			34,15			33,81			0,34			32,19			1,62			20,99		
LİKİT LİMİT																																																																											
1	2	3																																																																									
KAP NO	: 77	55	46																																																																								
DARBE ADEDİ	: 32	29	21																																																																								
YAŞ NUMUNE + KAP	: 43,45	40,53	40,90																																																																								
KURU NUMUNE + KAP	: 40,13	37,94	38,42																																																																								
SU MİKTARI	: 3,32	2,59	2,48																																																																								
KAP AĞIRLIĞI	: 32,37	32,12	31,85																																																																								
KURU NUMUNE AĞ.	: 7,76	5,82	6,57																																																																								
SU MUHTEVASI	: 42,78	44,50	37,75																																																																								
PLASTİK LİMİT																																																																											
1	2	3																																																																									
38																																																																											
-																																																																											
34,15																																																																											
33,81																																																																											
0,34																																																																											
32,19																																																																											
1,62																																																																											
20,99																																																																											
																																																																											
						<table border="1"> <tr> <td>LİKİT LİMİT</td> <td>41,68</td> </tr> <tr> <td>PLASTİK LİMİT</td> <td>20,99</td> </tr> <tr> <td>PLASTİSİTE İNDİSİ</td> <td>20,69</td> </tr> </table>		LİKİT LİMİT	41,68	PLASTİK LİMİT	20,99	PLASTİSİTE İNDİSİ	20,69																																																														
LİKİT LİMİT	41,68																																																																										
PLASTİK LİMİT	20,99																																																																										
PLASTİSİTE İNDİSİ	20,69																																																																										
Deneyi Yapan Burcu AYGÖREN				Onaylayan T.Tanju ÖKTEN																																																																							
																																																																											
<small>Burcu AYGÖREN Jeoteknik Müh. Lab. Ltd. Şti. Oda Sic. No. 11051</small>				<small>T. Tanju ÖKTEN Jeoteknik Müh. Lab. Ltd. Şti. Oda Sic. No. 2188</small>																																																																							

 		PROKTOR (KOMPAKSİYON) DENEY RAPORU					
PROJE ADI	KİLLERİN UÇUCU KÜL İLE STABILİZASYONU			Tarih:	02,02,2010		
Kuyu No.	KİL ZEMİN+ % 20 UÇUCU KÜL	Derinlik (m)	3,00	Standart	TS 1900		
Numune No.	-	Deneji Yapan	B.AYGÖREN	Kontrol	T. T. ÖKTEN		
RAPOR NO	173/10.02.M07-R1089/00						
TEST ÖZELLİKLERİ							
<input type="checkbox"/> İkameli	<input type="checkbox"/> 19 No Altı	<input checked="" type="checkbox"/> 4 No Altı	Numune Miktarı ⇄	19-9.5 mm arası	9.5-4.75 mm arası	4 No. altı	
Test Tipleri	Standart Proktor Modifiye-AASHTO-	Tek numune	%	g	%	g	
Tabaka Sayısı	3	Darbe Sayısı	25	Molt Hacmi, V (cm ³)	943	Çekiç Ağırlığı (kg)	2,5
KOMPAKSİYON							
Denej No.	①	②	③	④	⑤	⑥	
Öngörülen Su Miktarı (%)	0	2	2	2	3	3	
[Kalıp+Yaş Numune] Ağ. (g)	5822	5882	6015	6049	5952	5935	
Kalıp (molt) Ağırlığı (g)	4170	4170	4170	4170	4170	4170	
Yaş Numune Ağırlığı (g)	1652	1712	1845	1879	1782	1765	
Yaş Birim Ağırlığı, γ_n (g/cm ³)	1,752	1,815	1,957	1,993	1,890	1,87	
Kuru Birim Ağırlığı, γ_d (g/cm ³)	1,605	1,630	1,653	1,627	1,453	1,403	
SU İÇERİĞİ TAYİNİ							
Kap No.	7	24	180	143	153	33	
[Kap+Yaş Numune] Ağır. (g)	588,0	768,6	684,3	740,4	591,0	612,2	
[Kap+Kuru Num.] Ağır. (g)	549,6	704,1	599,5	629,8	486,4	492,9	
Kap Ağırlığı (g)	130,8	135,6	136,9	137,3	138,4	135,4	
Kuru Numune Ağırlığı (g)	418,9	568,5	462,6	492,5	348,0	357,5	
Su Ağırlığı (g)	38,4	64,5	84,8	110,6	104,6	119,3	
Ortalama Su İçeriği (%)	9,2	11,3	18,3	22,5	30,1	33,4	
Özgül Ağırlık : <input checked="" type="checkbox"/> Tahmin <input type="checkbox"/> Hesapla							
DENEY SONUÇLARI :	<p>Maksimum Kuru Birim Ağırlık, γ_{dmax} Maximum dry unit weight</p> <p>1,655 g/cm³</p> <p>Optimum Su İçeriği, w_{opt} Optimum moisture content</p> <p>18,1 %</p>						
HAZIRLAYAN			KONTROL EDEN				
 B. AYGÖREN Jeoteknik Müh. Lab. Ltd. Şti.			 T. Tanju ÖKTEN Jeoteknik Müh. Lab. Ltd. Şti. No: 2186				
RAP.08/REV:00							

  FORM Jeoteknik Müh. Lab. Ltd. Şti.		ÜÇ EKSENLİ HÜCRE KESME DENEYİ (UU) RAPORU		
PROJE	KİLLERİN UÇUCU KÜL İLE STABİLİZASYONU			
ÖRNEĞİN ALINDIĞI YER	-			
ÖRNEĞİN TANIMI	Kil+%20 uçucu kül			
SONDAJ NO	-	DANE ÖZGÜL AĞIRLIĞI	2,503	
NUMUNE NO	3	RAPOR NO	173/10.02.M07-R1089/[00]	
DERİNLİK (m)		DENEY HIZI (mm/dak)	0,73	
TARİH	11.02.2010	KALİBRASYON KATSAYISI	0,3569	
ÖRNEK NO		1	2	3
ÖRNEK ÇAPı, (cm)		3,55	3,55	3,55
ÖRNEK ALANI, (cm ²)		9,90	9,90	9,90
ÖRNEK YÜKSEKLİĞİ, (cm)		7,24	7,22	7,23
ÖRNEK HACMİ, (cm ³)		71,66	71,46	71,56
ÇEVRE BASINCI, (kPa)		50	100	150
YAŞ ÖRNEK AĞIRLIĞI, (g)		139,78	141,67	140,84
DENEY SONU ÖRNEK AĞIRLIĞI, (g)		130,74	132,37	139,18
KURU ÖRNEK AĞIRLIĞI, (g)		110,24	112,37	116,47
SU AĞIRLIĞI, (g)		20,50	20,00	22,71
SU MUHTEVASI, (%)		18,60	17,80	19,50
DOĞAL BİRİM HACİM AĞIRLIĞI, (kN/m ³)		19,14	19,45	19,31
KURU BİRİM HACİM AĞIRLIĞI, (kN/m ³)		16,13	16,51	16,16
DANE HACMİ, (cm ³)		47,09	48,05	47,09
BOŞLUK HACMİ, (cm ³)		24,57	23,42	24,48
POROZİTE, (%)		34,29	32,77	34,20
BOŞLUK ORANI		0,522	0,487	0,520
DOYGUNLUK DERECEŚİ, (%)	..	89	91	94
KIRILMADA BİRİM KISALMA, (%)		8,29	13,16	15,21
DRENAJSIZ ELASTİSİTE MODÜLÜ, (MPa)		8,0	9,7	11,6
HAZIRLAYAN		KONTROL EDEN		
 E. T. AYDIN Jeoteknik Müh. Lab. Ltd. Şti. Oda Sic. No: 2186		 T. T. ÖKTEN Jeoteknik Müh. Lab. Ltd. Şti. Oda Sic. No: 2186		

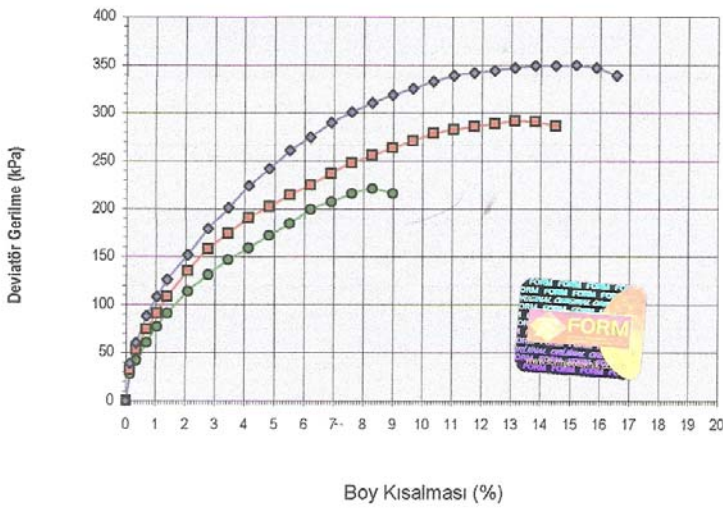
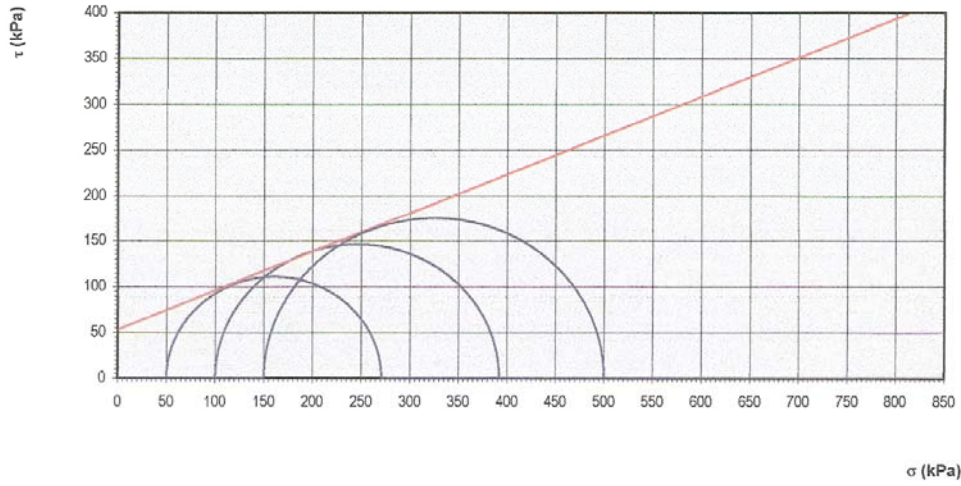


FORM

Jeoteknik Müh. Lab. Ltd. Şti.

ÜÇ EKSENLİ HÜCRE KESME DENEY (UU) RAPORU

PROJE :	KILLERİN UÇUCU KÜL İLE STABİLİZASYONU						
RAPOR NO:	173/10.02.M07-R1089/[00]						
Kuyu no:	-	Örnek no:	3	Derinlik (m) :	0,00	Tarih:	11.02.2010



●	$\sigma_3 =$	50
■	$\sigma_3 =$	100
◆	$\sigma_3 =$	150

1	σ_3	50
	σ_1	271
2	σ_3	100
	σ_1	392
3	σ_3	150
	σ_1	500

SONUÇ	
c (kPa)	53
ϕ (derece)	23



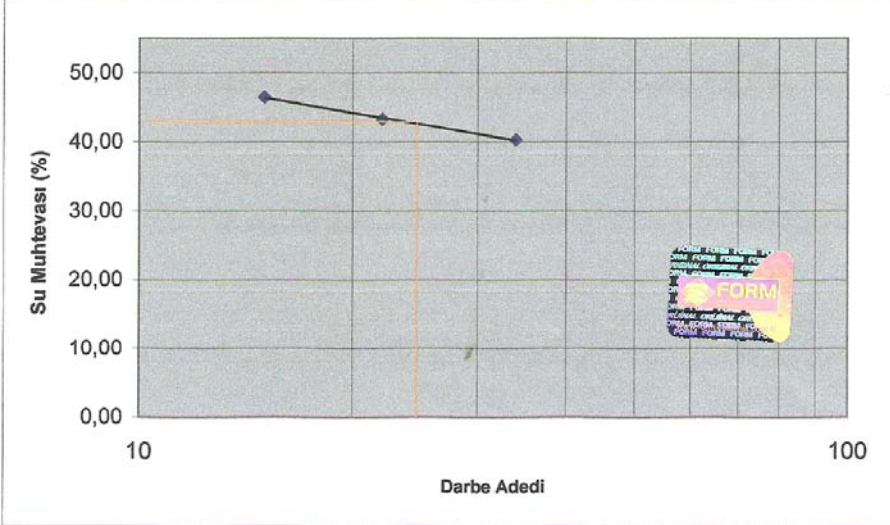

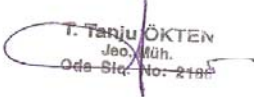
HAZIRLAYAN





[Signature]
E. Y. Y. Y. Y. Y.
Jeoteknik Müh. Lab. Ltd. Şti.
Oda Sic. No: 11051



KONTROL EDEN

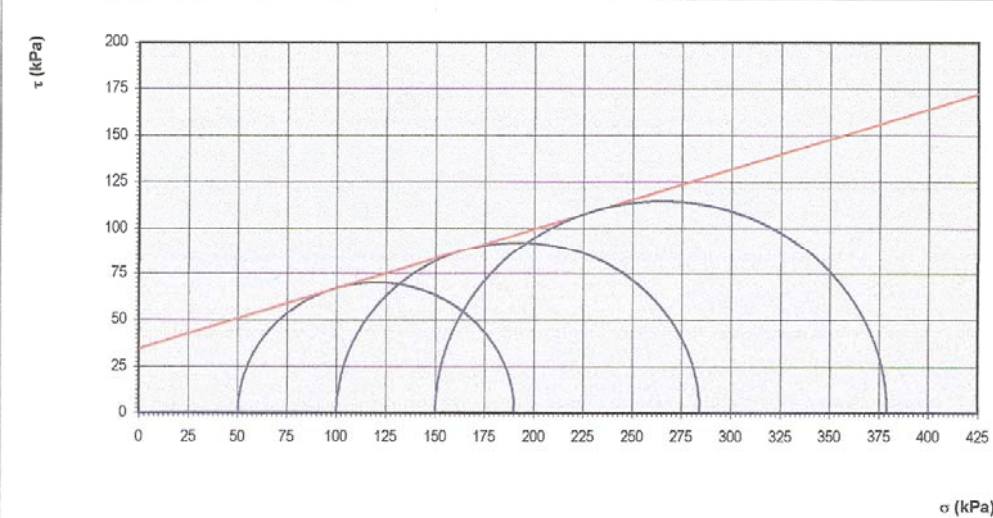
[Signature]
T. Tanju OKTEN
Jeo. Müh.
Oda Sic. No: 2186

Ek-4

  FORM Jeoteknik Müh. Lab. Ltd. Şti.		ATTERBERG LİMİTLERİ							
TS 1900									
LAB NO	:	173/10.02.M07-R1089/[00]							
PROJE ADI	:	KİLLERİN UÇUCU KÜL İLE STABİLİZASYONU							
NUMUNE YERİ	:	KİL+%30 UÇUCU KÜL							
SONDAJ / KUYU NO	:	-							
NUMUNE CİNSİ	:	-							
DERİNLİK	:	-							
PAFTA/ADA/PARSEL	:	-							
DENEY TARİHİ	:	02.02.2010							
		LİKİT LİMİT							
		1	2						
KAP NO	:	98	85						
DARBE ADEDİ	:	34	22						
YAŞ NUMUNE + KAP	:	42,01	41,56						
KURU NUMUNE + KAP	:	39,25	38,65						
SU MİKTARI	:	2,76	2,91						
KAP AĞIRLIĞI	:	32,40	31,93						
KURU NUMUNE AĞ.	:	6,85	6,72						
SU MUHTEVASI	:	40,29	43,30						
		PLASTİK LİMİT							
		1	2						
		71	-						
		34,51	-						
		34,15	-						
		0,36	-						
		32,36	-						
		1,79	-						
		20,11	-						
									
		<table border="1"> <tr> <td>LİKİT LİMİT</td> <td>43,35</td> </tr> <tr> <td>PLASTİK LİMİT</td> <td>20,11</td> </tr> <tr> <td>PLASTİSİTE İNDİSİ</td> <td>23,24</td> </tr> </table>		LİKİT LİMİT	43,35	PLASTİK LİMİT	20,11	PLASTİSİTE İNDİSİ	23,24
LİKİT LİMİT	43,35								
PLASTİK LİMİT	20,11								
PLASTİSİTE İNDİSİ	23,24								
Deneyi Yapan Burcu AYGÖREN  Burcu AYGÖREN Jeo. Müh. Oda Sic. No: 11051		Onaylayan T.Tanju ÖKTEN  T. Tanju ÖKTEN Jeo. Müh. Oda Sic. No: 2195							

 		ÜÇ EKSENLİ HÜCRE KESME DENEYİ (UU) RAPORU		
PROJE	KİLLERİN UÇUCU KÜL İLE STABİLİZASYONU			
ÖRNEĞİN ALINDIĞI YER	-			
ÖRNEĞİN TANIMI	Kil+%30 uçucu kül			
SONDAJ NO	-	DANE ÖZGÜL AĞIRLIĞI	2,468	
NUMUNE NO	4	RAPOR NO	173/10.02.M07-R1089/[00]	
DERİNLİK (m)		DENEY HIZI (mm/dak)	0,73	
TARİH	11.02.2010	KALİBRASYON KATSAYISI	0,3569	
ÖRNEK NO		1	2	3
ÖRNEK ÇAPI, (cm)		3,55	3,55	3,55
ÖRNEK ALANI, (cm ²)		9,90	9,90	9,90
ÖRNEK YÜKSEKLİĞİ, (cm)		7,21	7,24	7,22
ÖRNEK HACMI, (cm ³)		71,36	71,66	71,46
ÇEVRE BASINCI, (kPa)		50	100	150
YAŞ ÖRNEK AĞIRLIĞI, (g)		136,99	138,35	139,84
DENEY SONU ÖRNEK AĞIRLIĞI, (g)		128,35	129,29	137,00
KURU ÖRNEK AĞIRLIĞI, (g)		106,95	107,79	114,14
SU AĞIRLIĞI, (g)		21,40	21,50	22,86
SU MUHTEVASI, (%)		20,01	19,95	20,03
DOĞAL BİRİM HACİM AĞIRLIĞI, (kNm ³)		18,83	18,94	19,20
KURU BİRİM HACİM AĞIRLIĞI, (kNm ³)		15,69	15,79	15,99
DANE HACMI, (cm ³)		46,25	46,74	47,21
BOŞLUK HACMI, (cm ³)		25,11	24,93	24,26
POROZİTE, (%)		35,19	34,78	33,94
BOŞLUK ORANI		0,543	0,533	0,514
DOYGUNLUK DERECEŚİ, (%)		91	92	96
KIRILMADA BİRİM KISALMA, (%)		7,63	10,36	11,08
DRENAJSIZ ELASTİSİTE MODÜLÜ, (MPa)		6,2	8,0	9,3
HAZIRLAYAN		KONTROL EDEN		
 Etimur AYVAZ Jeoteknik Müh. Oda Sic. No: 11051		 T. Tanju ÖKTEN Jeot. Müh. Oda Sic. No: 227		

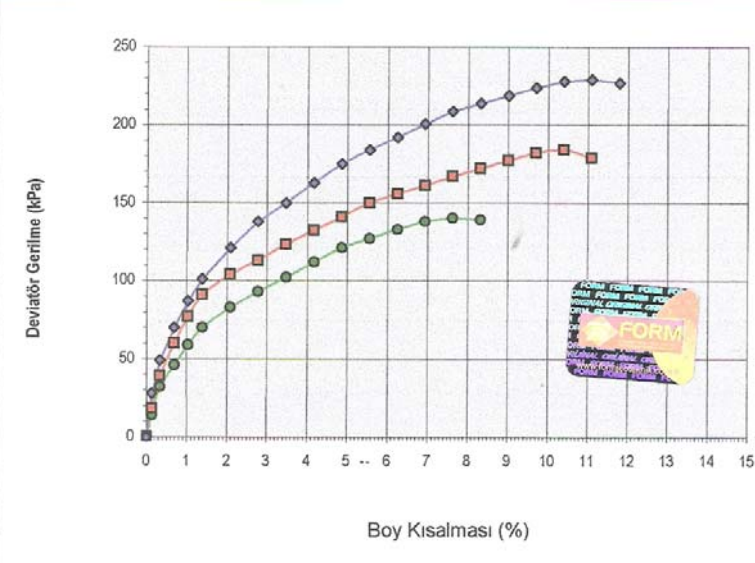
 		ÜÇ EKSENLİ HÜCRE KESME DENEY (UU) RAPORU					
PROJE :	KİLLERİN UÇUCU KÜL İLE STABILİZASYONU						
RAPOR NO:	173/10.02.M07-R1089/[00]						
Kuyu no:	-	Örnek no:	4	Derinlik (m) :	0,00	Tarih:	11.02.2010



●	$\sigma_3 =$ 50
■	$\sigma_3 =$ 100
◆	$\sigma_3 =$ 150

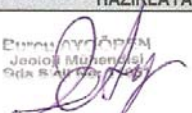
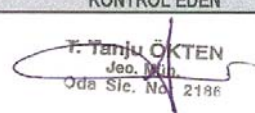
1	σ_3	50
	σ_1	190
2	σ_3	100
	σ_1	284
3	σ_3	150
	σ_1	379

SONUÇ	
c (kPa)	35
ϕ (derece)	18


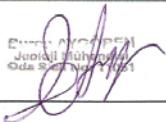
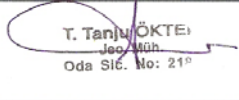


1	σ_3	50
	σ_1	190
2	σ_3	100
	σ_1	284
3	σ_3	150
	σ_1	379

SONUÇ	
c (kPa)	35
ϕ (derece)	18

HAZIRLAYAN	KONTROL EDEN
 E. Tanju ÖKTEN Jeo. Müh. Oda Sic. No: 2186	 T. Tanju ÖKTEN Jeo. Müh. Oda Sic. No: 2186

Ek-5

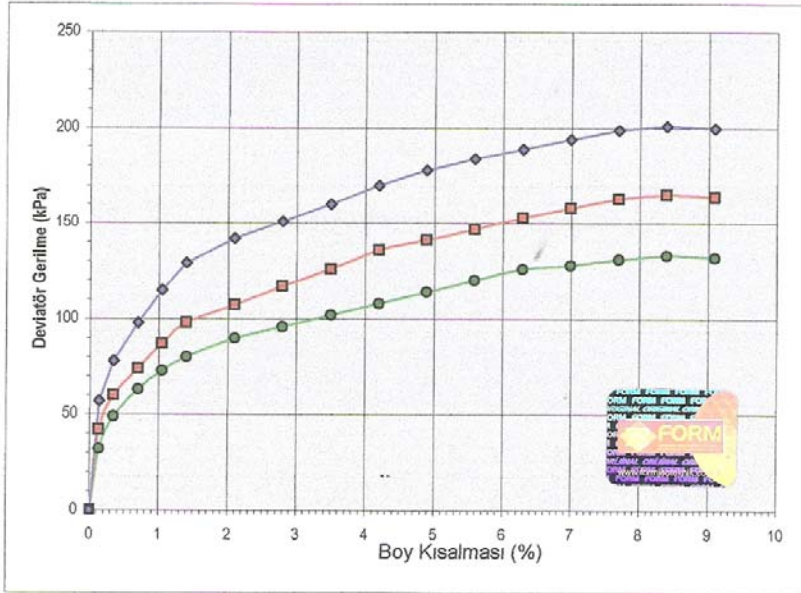
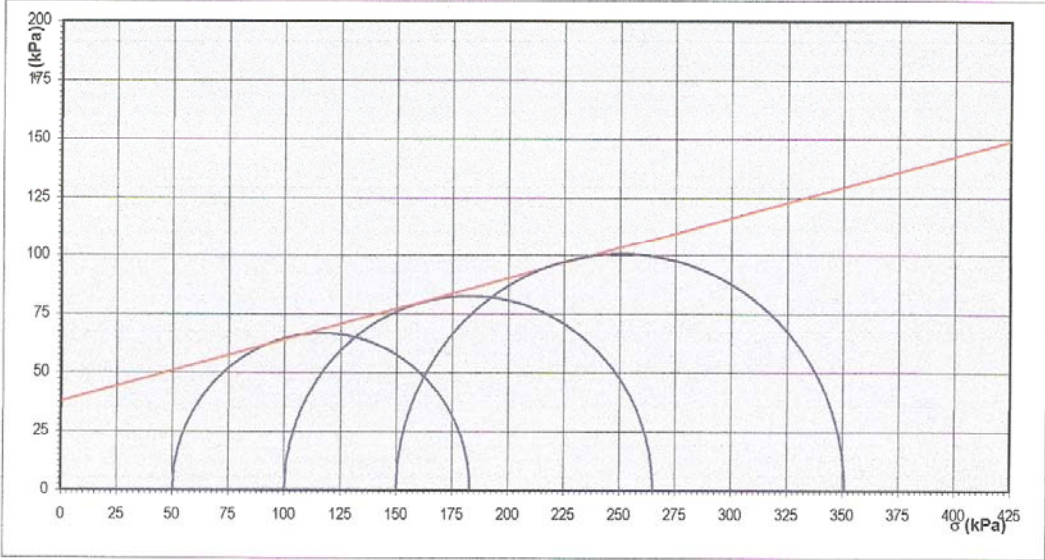
		ÜÇ EKSENLİ HÜCRE KESME DENEY (UU) RAPORU		
PROJE	KİLLERİN UÇUCU KÜL İLE STABİLİZASYONU			
ÖRNEĞİN ALINDIĞI YER	-			
ÖRNEĞİN TANIMI	Kil+%10 uçucu kül			
SONDAJ NO		DANE ÖZGÜL AĞIRLIĞI	2,581	
NUMUNE NO	2 (7)	RAPOR NO	173/10.02.M07-R1089/[00]	
DERİNLİK (m)		DENEY HIZI (mm/dak)	0,73	
TARİH	11.02.2010	KALİBRASYON KATSAYISI	0,3569	
ÖRNEK NO		1	2	3
ÖRNEK ÇAPI, (cm)		3,55	3,55	3,55
ÖRNEK ALANI, (cm ²)		9,90	9,90	9,90
ÖRNEK YÜKSEKLİĞİ, (cm)		7,15	7,22	7,28
ÖRNEK HACMI, (cm ³)		70,77	71,46	72,06
ÇEVRE BASINCI, (kPa)		50	100	150
YAŞ ÖRNEK AĞIRLIĞI, (g)		135,89	136,27	139,53
DENEY SONU ÖRNEK AĞIRLIĞI, (g)		129,33	129,37	133,47
KURU ÖRNEK AĞIRLIĞI, (g)		103,33	104,17	106,66
SU AĞIRLIĞI, (g)		26,00	25,20	26,81
SU MUHTEVASI, (%)		25,16	24,19	25,14
DOĞAL BİRİM HACİM AĞIRLIĞI, (kN/m ³)		18,84	18,71	19,00
KURU BİRİM HACİM AĞIRLIĞI, (kN/m ³)		15,05	15,06	15,18
DANE HACMI, (cm ³)		42,07	42,51	43,20
BOŞLUK HACMI, (cm ³)		28,71	28,95	28,86
POROZİTE, (%)		40,56	40,51	40,05
BOŞLUK ORANI		0,682	0,681	0,668
DOYGUNLUK DERESESİ, (%)	--	95	92	97
KIRILMADA BİRİM KISALMA, (%)		8,39	8,31	8,24
DRENAJSIZ ELASTİSİTE MODÜLÜ, (MPa)		8,0	9,5	12,8
HAZIRLAYAN		KONTROL EDEN		
				
<small>FORM Jeoteknik Müh. Lab. Ltd. Şti. Oda Sic. No: 1021</small>		<small>T. Tanju ÖKTE, Jeo. Müh. Oda Sic. No: 21^e</small>		



FORM
Jeoteknik Müh. Lab. Ltd. Şti.

ÜÇ EKSENLİ HÜCRE KESME DENEY (UU) RAPORU

PROJE :	KİLLERİN UÇUCU KÖL İLE STABİLİZASYONU						
RAPOR NO:	173/10.02.M07-R1089/[00]						
Kuyu no:	0	Örnek no:	2 (7)	Derinlik (m) :	0,00	Tarih:	11.02.2010



●	$\sigma_3 =$ 50
■	$\sigma_3 =$ 100
◆	$\sigma_3 =$ 150

1	σ_3	50
	σ_1	183
2	σ_3	100
	σ_1	265
3	σ_3	150
	σ_1	351




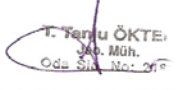
SONUÇ	
c (kPa)	38
ϕ (derece)	15

HAZIRLAYAN

Etienne AYÇİĞDEN
Jeoteknik Müh. Lab. Ltd. Şti.
Oda Sic. No: 14651

KONTROL EDEN

T. Tanju ÖKTEN
Jeot. Müh.
Oda Sic. No: 2186

  FORM Jeoteknik Müh. Lab. Ltd. Şti.		ÜÇ EKSENLİ HÜCRE KESME DENEYİ (UU) RAPORU		
PROJE	KİLLERİN UÇUCU KÜL İLE STABİLİZASYONU			
ÖRNEĞİN ALINDIĞI YER	-			
ÖRNEĞİN TANIMI	Kil+%20 uçucu kül			
SONDAJ NO	-	DANE ÖZGÜL AĞIRLIĞI	2,591	
NUMUNE NO	3 (7)	RAPOR NO	173/10.02.M07-R1089/[00]	
DERİNLİK (m)		DENEY HIZI (mm/dak)	0,73	
TARİH	11.02.2010	KALİBRASYON KATSAYISI	0,3569	
ÖRNEK NO		1	2	3
ÖRNEK ÇAPI, (cm)		3,55	3,55	3,53
ÖRNEK ALANI, (cm ²)		9,90	9,90	9,79
ÖRNEK YÜKSEKLİĞİ, (cm)		7,17	7,18	7,18
ÖRNEK HACMI, (cm ³)		70,97	71,07	70,27
ÇEVRE BASINCI, (kPa)		50	100	150
YAŞ ÖRNEK AĞIRLIĞI, (g)		141,91	143,68	142,91
DENEY SONU ÖRNEK AĞIRLIĞI, (g)		135,34	136,31	141,77
KURU ÖRNEK AĞIRLIĞI, (g)		111,54	113,41	117,34
SU AĞIRLIĞI, (g)		23,80	22,90	24,43
SU MUHTEVASI, (%)		21,34	20,19	20,82
DOĞAL BİRİM HACİM AĞIRLIĞI, (kNm ⁻³)		19,62	19,83	19,95
KURU BİRİM HACİM AĞIRLIĞI, (kNm ⁻³)		16,17	16,50	16,51
DANE HACMI, (cm ³)		45,14	46,14	45,65
BOŞLUK HACMI, (cm ³)		25,83	24,93	24,62
POROZİTE, (%)		36,40	35,08	35,03
BOŞLUK ORANI		0,572	0,540	0,539
DOYGUNLUK DERECEŚİ, (%)		97	97	100
KIRILMADA BİRİM KISALMA, (%)		6,28	9,75	9,75
DRENAJSIZ ELASTİSİTE MODÜLÜ, (MPa)		16,3	18,2	21,9
HAZIRLAYAN		KONTROL EDEN		
 Jeoteknik Müh. Lab. Ltd. Şti. Çeşitli No: 170351		 T. Feri ÖKTE. Jeo. Müh. Oda Sic. No: 26		

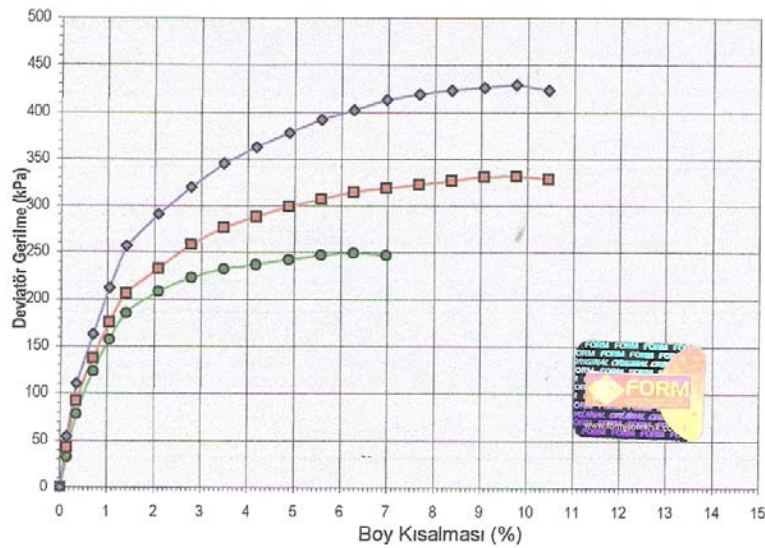
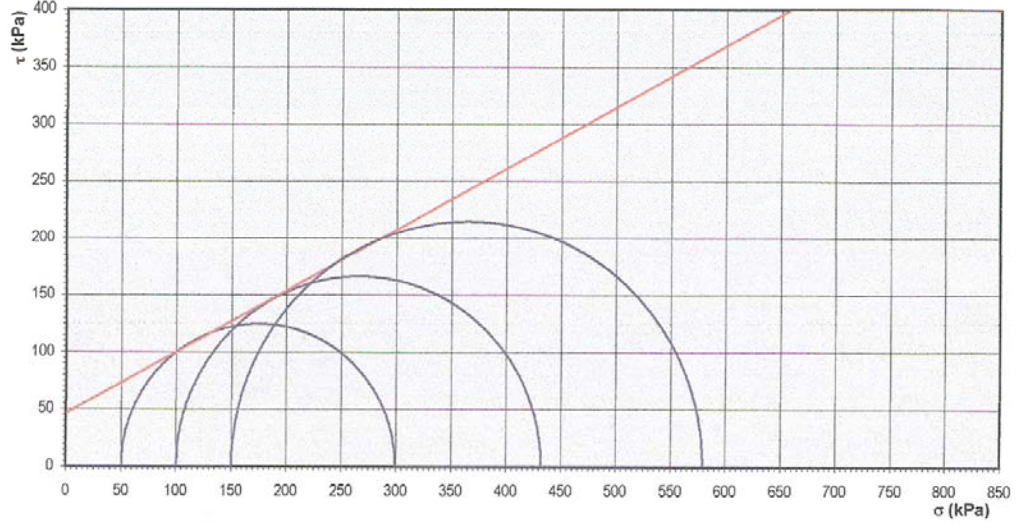


FORM

Jeoteknik Müh. Lab. Ltd. Şti.

ÜÇ EKSENLİ HÜCRE KESME DENEYİ (UU) RAPORU

PROJE :	KİLLERİN UÇUCU KÜL İLE STABİLİZASYONU						
RAPOR NO:	173/10.02.M07-R1089/[00]						
Kuyu no:	-	Örnek no:	3 (7)	Derinlik (m) :	0,00	Tarih:	11.02.2010



●	$\sigma_3 = 50$
■	$\sigma_3 = 100$
◆	$\sigma_3 = 150$

1	σ_3	50
	σ_1	299
2	σ_3	100
	σ_1	432
3	σ_3	150
	σ_1	579




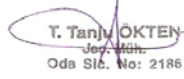
SONUÇ	
c (kPa)	46
ϕ (derece)	28



HAZIRLAYAN

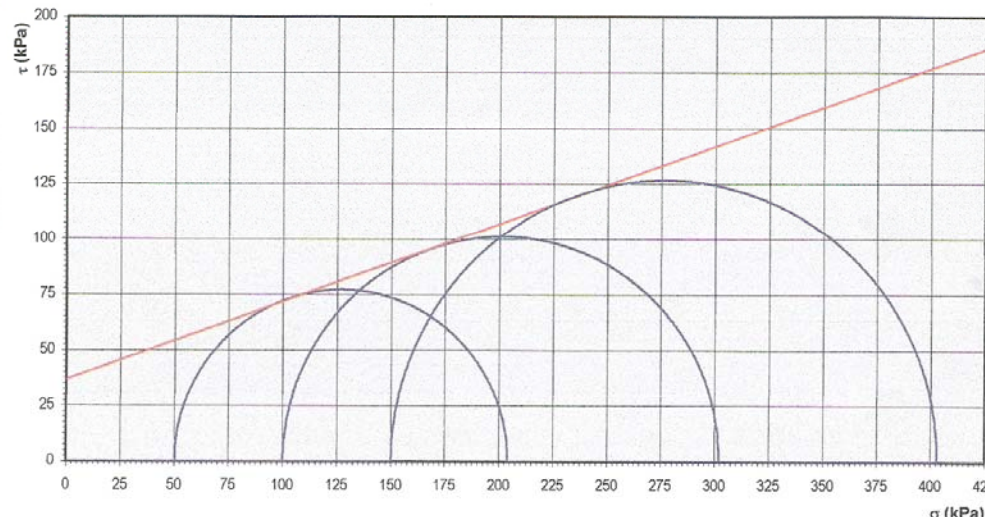
KONTROL EDEN

Burak AYDIN
Jeo. Müh. (19051)
Oda Sic. No: 19051

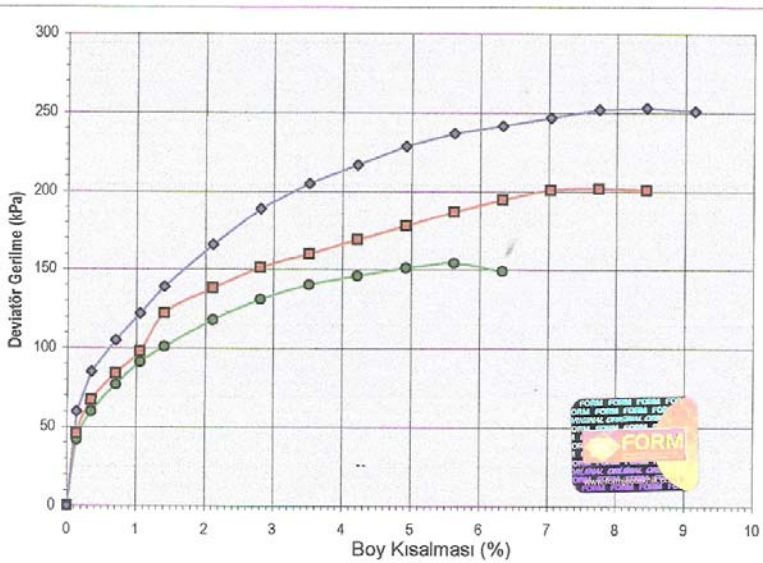
T. Tanju ÖKTE
Jeo. Müh.
Oda Sic. No: 2

 		ÜÇ EKSENLİ HÜCRE KESME DENEY (UU) RAPORU		
PROJE	KİLLERİN UÇUCU KÜL İLE STABİLİZASYONU			
ÖRNEĞİN ALINDIĞI YER	-			
ÖRNEĞİN TANIMI	Kil+%30 uçucu kül			
SONDAJ NO	-	DANE ÖZGÜL AĞIRLIĞI	2,521	
NUMUNE NO	4 (7)	RAPOR NO	173/10.02.M07-R1089/[00]	
DERİNLİK (m)		DENEY HIZI (mm/dak)	0,73	
TARİH	11.02.2010	KALİBRASYON KATSAYISI	0,3569	
ÖRNEK NO		1	2	3
ÖRNEK ÇAP, (cm)		3,55	3,55	3,55
ÖRNEK ALANI, (cm ²)		9,90	9,90	9,90
ÖRNEK YÜKSEKLİĞİ, (cm)		7,11	7,12	7,24
ÖRNEK HACMI, (cm ³)		70,37	70,47	71,66
ÇEVRE BASINCI, (kPa)		50	100	150
YAŞ ÖRNEK AĞIRLIĞI, (g)		135,75	135,38	140,84
DENEY SONU ÖRNEK AĞIRLIĞI, (g)		128,85	128,97	137,03
KURU ÖRNEK AĞIRLIĞI, (g)		104,45	103,97	111,60
SU AĞIRLIĞI, (g)		24,40	25,00	25,43
SU MUHTEVASI, (%)		23,36	24,05	22,79
DOĞAL BİRİM HACİM AĞIRLIĞI, (kN/m ³)		18,92	18,85	19,28
KURU BİRİM HACİM AĞIRLIĞI, (kN/m ³)		15,34	15,19	15,70
DANE HACMI, (cm ³)		43,65	43,29	45,50
BOŞLUK HACMI, (cm ³)		26,72	27,18	26,16
POROZİTE, (%)		37,97	38,57	36,51
BOŞLUK ORANI		0,612	0,628	0,575
DOYGUNLUK DERESESİ, (%)		96	97	100
KIRILMADA BİRİM KISALMA, (%)		5,63	7,72	8,29
DRENAJSIZ ELASTİSİTE MODÜLÜ, (MPa)		9,8	10,7	13,5
HAZIRLAYAN		KONTROL EDEN		
 Jeoteknik Müh. Lab. Ltd. Şti. Oda Sic. No: 11051		 T. Tanju ÖKTEN Jeo. Müh. Oda Sic. No: 2186		

 		ÜÇ EKSENLİ HÜCRE KESME DENEY (UU) RAPORU					
PROJE :	KİLLERİN UÇUCU KÜL İLE STABİLİZASYONU						
RAPOR NO:	173/10.02.M07-R1089/[00]						
Kuyu no:	-	Örnek no:	4 (7)	Derinlik (m) :	0,00	Tarih:	11.02.2010

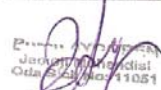
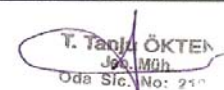




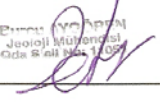
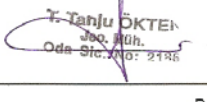
●	$\sigma_3 = 50$
■	$\sigma_3 = 100$
◆	$\sigma_3 = 150$





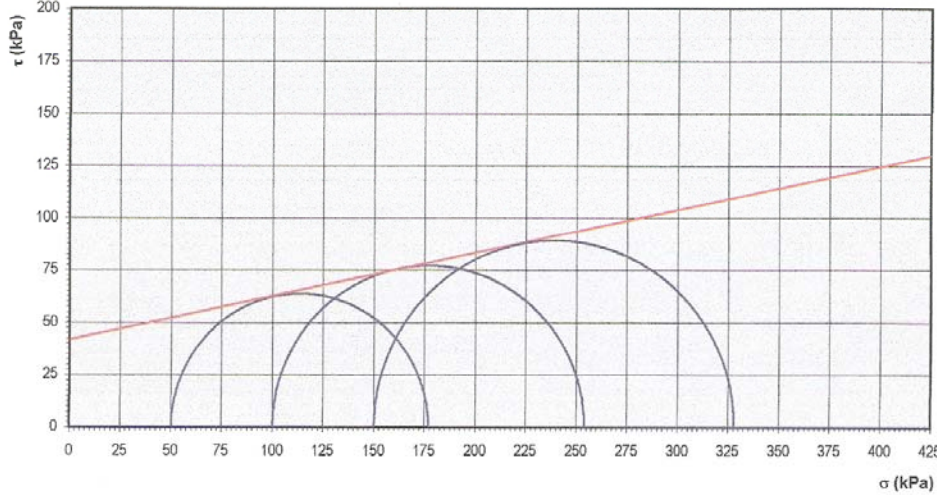
1	σ_3	50
	σ_1	204
2	σ_3	100
	σ_1	302
3	σ_3	150
	σ_1	403

SONUÇ	
c (kPa)	37
ϕ (derece)	19

HAZIRLAYAN	KONTROL EDEN
 Jeo. Müh. Oda Sic. No: 11051	 T. Tanju ÖKTEK Jeo. Müh. Oda Sic. No: 210

 		ÜÇ EKSENLİ HÜCRE KESME DENEYİ (UU) RAPORU		
PROJE	KİLLERİN UÇUCU KÜL İLE STABİLİZASYONU			
ÖRNEĞİN ALINDIĞI YER	-			
ÖRNEĞİN TANIMI	Kil			
SONDAJ NO	-	DANE ÖZGÜL AĞIRLIĞI	2,642	
NUMUNE NO	1 (7)	RAPOR NO	173/10.02.M07-R1089/[00]	
DERİNLİK (m)		DENEY HIZI (mm/dak)	0,73	
TARİH	11.02.2010	KALİBRASYON KATSAYISI	0,3569	
ÖRNEK NO		1	2	3
ÖRNEK ÇAPI, (cm)		3,55	3,55	3,55
ÖRNEK ALANI, (cm ²)		9,90	9,90	9,90
ÖRNEK YÜKSEKLİĞİ, (cm)		7,19	7,23	7,25
ÖRNEK HACMI, (cm ³)		71,17	71,56	71,76
ÇEVRE BASINCI, (kPa)		50	100	150
YAŞ ÖRNEK AĞIRLIĞI, (g)		137,58	138,84	142,54
DENEY SONU ÖRNEK AĞIRLIĞI, (g)		130,59	131,43	141,43
KURU ÖRNEK AĞIRLIĞI, (g)		102,99	105,13	112,87
SU AĞIRLIĞI, (g)		27,60	26,30	28,56
SU MUHTEVASI, (%)		26,80	25,02	25,30
DOĞAL BİRİM HACİM AĞIRLIĞI, (kNm ⁻³)		18,96	19,03	19,49
KURU BİRİM HACİM AĞIRLIĞI, (kNm ⁻³)		14,96	15,22	15,55
DANE HACMI, (cm ³)		41,07	42,04	43,06
BOŞLUK HACMI, (cm ³)		30,10	29,53	28,70
POROZİTE, (%)		42,29	41,26	40,00
BOŞLUK ORANI		0,733	0,702	0,667
DOYGUNLUK DERECEŚİ, (%)		97	94	100
KIRILMADA BİRİM KISALMA, (%)		7,65	7,61	8,28
DRENAJSİZ ELASTİSİTE MODÜLÜ, (MPa)		6,8	7,9	9,6
HAZIRLAYAN		KONTROL EDEN		
				
E. Tanju ÖKTEK Jeoloji Mühendisi Gıda & İlaç No: 109		E. Tanju ÖKTEK Jeo. Müh. Oda Sic. No: 2146		

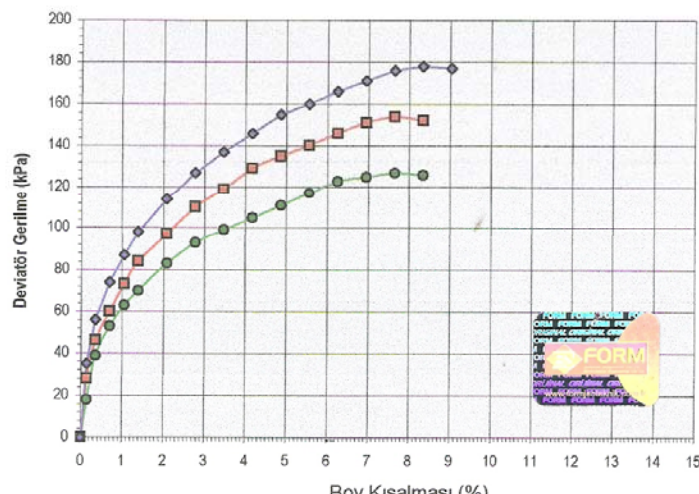
 		ÜÇ EKSENLİ HÜCRE KESME DENEY (UU) RAPORU					
PROJE :	KİLLERİN UÇUCU KÜL İLE STABİLİZASYONU						
RAPOR NO:	173/10.02.M07-R1089/[00]						
Kuyu no:	-	Örnek no:	1 (7)	Derinlik (m) :	0,00	Tarih:	11.02.2010




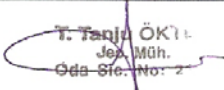
●	$\sigma_3 =$	50
■	$\sigma_3 =$	100
◆	$\sigma_3 =$	150

1	σ_3	50
	σ_1	177
2	σ_3	100
	σ_1	254
3	σ_3	150
	σ_1	328

SONUÇ	
c (kPa)	42
ϕ (derece)	12



SONUÇ	
c (kPa)	42
ϕ (derece)	12

HAZIRLAYAN	KONTROL EDEN
 E. AYAR Jeoteknik Mühendisi Oda Sicil No: 10101	 T. Tanrı ÖK1 Jeo. Müh. Oda Sicil No: 2

