

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sinem AYTEKİN

UÇUCU KÜLLERİNİN KİLLİ ZEMİNLERİN ISLAHINDA KULLANIMI

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA, 2009

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

UÇUCU KÜLLERİNİN KİLLİ ZEMİNLERİN ISLAHINDA KULLANIMI

Sinem AYTEKİN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**Bu tez 14/01/2009 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından
Oybirliği/Oyçokluğu İle Kabul Edilmiştir.**

İmza
Yrd.Doç.Dr.Hakan GÜNEYLİ
Danışman

İmza
Prof.Dr.Aziz ERTUNÇ
Üye

İmza.....
Doç.Dr.Ergül YAŞAR
Üye

Bu tez Enstitümüz Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No

Prof. Dr. Aziz ERTUNÇ
Enstitü Müdürü
İmza ve Mühür

Bu Çalışma Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklenmiştir.

Proje No: MMF2007YL15

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

ÖZ
YÜKSEK LİSANS TEZİ

UÇUCU KÜLLERİNİN KİLLİ ZEMİNLERİN İSLAHINDA KULLANIMI

Sinem AYTEKİN

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Hakan GÜNEYLİ
Yıl : 2009, **Sayfa:** 83
Jüri : Yrd. Doç. Dr. Hakan GÜNEYLİ
Prof. Dr. Aziz ERTUNÇ
Doç. Dr. Ergül YAŞAR

Bu çalışmada, Afşin-Elbistan Termik Santralinden alınan uçucu küllerin killi zeminlerin iyileştirilmesi üzerine etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla illit ağırlıklı Almanpınarı kiline uçucu kül eklenerek hazırlanan yapay zeminler kürde bekletildikten (1-8-16-32 gün) sonra zemin sınıflama, konsolidasyon ve üç eksenli basınç deneylerine tabi tutularak fiziko-mekanik özellikleri araştırılmıştır. Uçucu kül eklenerek hazırlanan yapay zemin örneklerinde kesme mukavemetinin ve konsolidasyon hızının arttığı; permeabilitenin ise azaldığı saptanmıştır. Ayrıca sonuçlar artan bekleme süresinin malzemenin mukavemetini daha da artırdığını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Uçucu kül, Zemin ıslahı, Kil, Üç eksenli basınç deneyi, Konsolidasyon

ABSTRACT

MSc THESIS

USE OF FLY ASH IN CLAYEY SOIL STABILIZATION

Sinem AYTEKİN

**DEPARTMENT OF GEOLOGY ENGINEERING
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
UNIVERSITY OF ÇUKUROVA**

Supervisor : Asisstant Prof. Dr. Hakan GÜNEYLİ
Year : 2009, **Page:** 83
Jury : Asisstant Prof.Dr. Hakan GÜNEYLİ
Prof. Dr. Aziz ERTUNÇ
Assoc. Dr. Ergül YAŞAR

In this study, various soil improvement techniques and the stabilization of clay soils with fly ash of Afşin–Elbistan Thermal Power were investigated. For this purpose, artificial soil samples prepared by adding fly ash into illitic Almanpınarı clay were waited in various cure times (1-8-16-32 days), and then the physico-mechanic properties of these artificial soil samples were determined by conducting triaxial pressure and consolidation tests. The increasing of Shear strength and consolidation velocity and decreasing of permeability on the artificial soil samples were found. Besides, of this study results indicate that increasing curing time makes the material more strength as well.

Keywords: Fly Ash, Soil Stabilization, Clay, Triaxial Compressive Test and Consolidaiton

TEŞEKKÜR

Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak hazırlanan bu çalışma Çukurova Üniversitesi Araştırma Fonu tarafından MMF2007YL15 no'lu proje kapsamında desteklenmiştir. Bu projeyi desteklediği için Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne ,

Yüksek Lisans çalışmam sırasında gerek konu seçimim gerek arazi ve büro çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen, her aşamasında bilgi ve tecrübeleriyle tamamlanmasında en büyük pay sahibi olan danışman hocam sayın Yrd. Doç. Dr. Hakan GÜNEYLİ'ye

Analizlerin yapılmasındaki katkılarından dolayı MTA'ya ve sayın Gökçe GÜRTEKİN'e

Arazi çalışmaları sırasındaki katkılarından dolayı Arş.Gör. Ulaş İnan SEVİMLİ'ye ve Jeoloji Müh. Turgut AKSU'ya, Afşin Elbistan-B Termik santrali çalışanlarından sayın Osman Emre YAYKIN'a

Büro çalışmalarında yardımlarıyla tezimin tamamlanmasında payı olan Jeoloji Y.Müh. Güzide ÖNAL'a,

Laboratuar çalışmaları sırasında yardımlarını esirgemeyen Jeoloji Müh. Özgür YÜKSEL'e, Ertuğrul ÇANAKÇI'ya, Alfa Zemin Laboratuvarı çalışanları Kazım DAŞDEMİR ve Zehra UÇAŞ'a

Ayrıca bütün eğitim hayatım boyunca maddi manevi desteklerini esirgemeyen aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER	SAYFA
ÖZ	I
ABSTRACT	II
TEŞEKKÜR	III
İÇİNDEKİLER	IV
ÇİZELGELER DİZİNİ	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ	VIII
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	5
2.1. Uçucu Küllerin Mekanik Özelliklerinin Araştırıldığı Çalışmalar.....	6
2.2. Uçucu Kül Katkısının Kompaksiyon Özelliklerine Etkisi	9
2.3. Uçucu Kül Katkısının Kayma Mukavemeti Üzerine Etkisi	10
2.4. Uçucu Kül Katkısının Sıkışma ve Şişme Özelliklerine Etkisi.....	11
2.5. Uçucu Kül Katkısının Permeabiliteye Etkisi	12
3. MATERYAL VE METOD	13
3.1. Materyal.....	13
3.1.1. Uçucu Kül	13
3.1.2. Kil	16
3.2. Metod	16
3.2.1. Saha Öncesi Çalışmaları	16
3.2.2. Saha Çalışmaları.....	16
3.2.3. Laboratuar Çalışmaları	17
3.2.3.1. Deney Örneklerinin Hazırlanması	18
3.2.4. Değerlendirme Ve Rapor Yazımı.....	25
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	26
4.1. Zemin Islahı	26
4.1.1. Kompaksiyon ve Katkı Maddeleriyle Zemin Islahı	29
4.1.1.1. Kompaksiyon Yöntemiyle Zemin Islahı.....	29
4.1.1.1.(1). Kompaksiyon Teorisi.....	30
4.1.1.1.(2). Sıkıştırılmış Kohezyonlu Zeminlerin Yapıları... 31	

4.1.1.2. Katkı Maddeleriyle Zemin Islahı	32
4.2. Uçucu Kül.....	33
4.2.1. Puzolan.....	33
4.2.2. Uçucu Kül	34
4.2.2.1. Uçucu Küllerin Sınıflandırılması	35
4.2.2.1.(1). Uçucu Küller, Kimyasal Yapılarına Göre Sınıflandırılmaları	35
4.2.2.1.(2). Uçucu Küllerin ASTM C 618'e Göre Sınıflanması.....	36
4.2.2.1.(3). Avrupa Çimento Standardı ENV 197-1'e göre sınıflanması	36
4.2.2.1.(4). Uçucu küllerin elde edildikleri kömürün tipine göre sınıflanması.....	37
4.2.2.2. Uçucu Küllerin Özellikleri.....	37
4.2.2.2.(1). Uçucu Küllerin Fiziksel Özellikleri	38
4.2.2.2.(2). Uçucu Küllerin Kimyasal Özellikleri.....	40
4.2.2.2.(3). Uçucu Küllerin Mineralojik Özellikleri	41
4.2.2.2.(4). Uçucu Küllerin Puzolonik Özellikleri.....	42
4.2.2.3. Termik Santraller.....	44
4.2.2.4. Türk Standartlarında Uçucu Küller.....	47
4.2.3. Uçucu Küllerin Kullanım Yerleri.....	48
4.2.3.1. Uçucu Küllerin Yapı Malzemesi Olarak Kullanılması.....	48
4.2.3.1.(1). Uçucu Küllerin Çimento Üretiminde Kullanılması.....	48
4.2.3.1.(2). Uçucu Küllerin Agregada Olarak Kullanımı	48
4.2.3.1.(3). Uçucu Küllerin Betonda Kullanımı	48
4.2.3.1.(4). Uçucu Küllerin Tuğla Üretiminde Kullanımı.....	49
4.2.3.1.(5). Uçucu Küllerin Seramik ve Cam Üretiminde Kullanımı.....	49
4.2.3.1.(6). Uçucu Küllerin Diğer Kullanım Alanları	50
4.2.3.2. Uçucu Küllerin Jeoteknik Çalışmalarda Kullanımı.....	50
4.2.3.2.(1). Zemin İyileştirmede Kullanımı.....	50

4.2.3.2.(2). Dolgularda Kullanımı.....	51
4.2.3.2.(3).Enjeksiyon Malzemesi Olarak Kullanımı	52
4.2.3.2.(4).Katı Atık Depolama Yerlerinde Sızdırmazlık Malzemesi Olarak Kullanımı.....	53
4.2.3.3. Ülkemizde Uçucu Kül Kullanımının Yaygınlaşmamasının Nedenleri	53
4.3. Kil Zeminler	54
4.3.1. Kil Zeminlerin Mineral Yapısı.....	54
4.3.2. Kil Minerallerinin Tanımlanması.....	56
4.4. Deneysel Çalışmalar.....	58
4.4.1. Kil.....	58
4.4.2. Uçucu Kül	59
4.4.3. Uçucu Kül Katkısının Granülometrik Özelliklerine Etkisi.....	59
4.4.4. Uçucu Kül Katkısının Kıvam Limitlerine Etkisi.....	60
4.4.5. Uçucu Kül Katkısının Kompaksiyon Özelliklerine Etkisi.....	62
4.4.6. Uçucu Külünün Katkısının Kayma Mukavemetine Etkisi.....	63
4.4.7. Uçucu Kül Katkısının Konsolidasyon ve Permeabilite Özelliklerine Etkisi.....	67
5. SONUÇLAR.....	71
KAYNAKLAR.....	73
ÖZGEÇMİŞ.....	82
EKLER.....	83

Çizelge 2.1. Uçucu küllerin bazı mekanik özellikleri	8
Çizelge 3.1. Afşin-Elbistan B. Termik Santral girdileri, üretimi ve maliyeti	14
Çizelge 3.2. Afşin-Elbistan Termik Santralinin yıllara göre enerji üretimi	14
Çizelge 3.3. Afşin-Elbistan Termik Santralinin 2008 yılı atık durumu	14
Çizelge 3.4. Çalışmada hazırlanan örnekler üzerinde yapılan deneyler	17
Çizelge 4.1. Zemin ıslah yöntemlerinin sınıflandırılması.....	27
Çizelge 4.2. Zemin cinsine göre iyileştirme yöntemleri	28
Çizelge 4.3. Zemin bileşimine göre iyileştirme yöntemleri.....	29
Çizelge 4.4. Uçucu küllerin fiziksel özellikleri.....	40
Çizelge 4.5. ASTM C 618 Ve TS 639 puzolan olarak kullanılabilirlik sınırları	41
Çizelge 4.6. Türkiye'deki kömürle çalışan termik santraller	45
Çizelge 4.7. Türkiye'deki bazı uçucu küllerinin kimyasal bileşimleri.....	46
Çizelge 4.8. Türkiye'deki bazı uçucu küllerinin fiziksel özellikleri	46
Çizelge 4.9. Türkiye'deki bazı uçucu küllerin mineralojik kompozisyonları	46
Çizelge 4.10. AETS Uçucu Külünün mineralojik kompozisyonları	47
Çizelge 4.11. Kil minerallerinin sınıflandırılması	56
Çizelge 4.12. Bazı kil minerallerinin özellikleri	56
Çizelge 4.13. Almanpınarı Kilinin kimyasal bileşimi	58
Çizelge 4.14. Alman Pınarı Kilinin temel fiziksel özellikleri.....	58
Çizelge 4.15. AEBTS Uçucu Külünün kimyasal bileşenleri	59
Çizelge 4.16. AEBTS Uçucu Külünün mineral bileşenleri	59
Çizelge 4.17. AEBTS Uçucu Külünün temel fiziksel özellikleri.....	59
Çizelge 4.18. Doğal zemin ve uçucu kül katkılı zeminlerin kıvam limit değerleri.....	60
Çizelge 4.19. Doğal zemin ve uçucu kül katkılı zeminlerin γ_{kmax} ve W_{opt} değerleri.....	62
Çizelge 4.20. Üç eksenli basınç deneylerinden elde edilen kayma mukavemeti parametreleri	63
Çizelge 4.21. Uçucu kül katkısıyla permeabilite değişimi	67

ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 1.1. Afşin-Elbistan Termik Santralin atık sahasında oluşan kül adası	3
Şekil 3.1. Afşin-Elbistan-B Termik Santrali	13
Şekil 3.2. Elektrofiltrelerden uçucu kül alımı	15
Şekil 3.3. Almanpınarı kil yatağı	16
Şekil 3.4. Çeneli kırıcıda örnek öğütülmesi	19
Şekil 3.5. Yapay zemin karışımının hazırlanması	19
Şekil 3.6. Yapay zemin karışımlarının kompaksiyon deneyi için ıslatılması	20
Şekil 3.7. Islatılan karışımların 24 saat sonra kompaksiyona hazırlanması	20
Şekil 3.8. Kompaksiyon deneyi.....	20
Şekil 3.9. Üç eksenli basınç deneyi için örnek alıcıların moldda yerleştirilmesi...	21
Şekil 3.10. Üç eksenli basınç deneyi için örnek alıcıların molddan çıkarılması....	21
Şekil 3.11. üç eksenli basınç deneyi örneklerinin alıcılardan çıkarılması	22
Şekil 3.12. Üç eksenli basınç deneyi örneklerinin kür için hazırlanması	22
Şekil 3.13. Kür sonrası örneklerin deneye hazırlanması	22
Şekil 3.14. Üç eksenli deney uygulaması	23
Şekil 3.15. Üç eksenli deneyi sonrası örneklerde kırılma açısı.....	23
Şekil 3.16. Konsolidasyon deney ringinin moldda yerleştirilmesi.....	24
Şekil 3.17. Konsolidasyon deneyi için örneğin hazırlanması	24
Şekil 3.18. Konsolidasyon deney uygulaması.....	24
Şekil.4.1. İyileştirme yöntemlerinin tane boyutuna göre uygulanabilirliği	28
Şekil 4.2. Kil zeminlerin yapısı üzerinde kompaksiyonun etkisi.....	32
Şekil 4.3. Çeşitli renkteki uçucu küller.....	38
Şekil 4.4. Uçucu kül taneleri 2000 kat büyütülmüş hali	39
Şekil 4.5. Örneklerin tane boyu dağılım eğrisi.....	60
Şekil 4.6. Doğal zemin LL grafiği.....	61
Şekil 4.7. %10 UK katkılı yapay zemin LL grafiği.....	61
Şekil 4.8. %20 UK katkılı yapay zemin LL grafiği.....	61
Şekil 4.9. Örneklerin kompaksiyon eğrileri	63
Şekil 4.10. Doğal zemin kırılma zarfı.....	64

Şekil 4.11. %10 UK katkılı yapay zemin 1 günlük kırılma zarfı	64
Şekil 4.12. %10 UK katkılı yapay zemin 8 günlük kırılma zarfı	64
Şekil 4.13. %10 UK katkılı yapay zemin 16 günlük kırılma zarfı	65
Şekil 4.14. %10 UK katkılı yapay zemin 32 günlük kırılma zarfı	65
Şekil 4.15. %20 UK katkılı yapay zemin 1 günlük kırılma zarfı	65
Şekil 4.16. %20 UK katkılı yapay zemin 8 günlük kırılma zarfı	66
Şekil 4.17. %20 UK katkılı yapay zemin 16 günlük kırılma zarfı	66
Şekil 4.18. %20 UK katkılı yapay zemin 32 günlük kırılma zarfı	66
Şekil 4.19. Doğal zemini konsolidasyon grafiği	68
Şekil 4.20. %10 UK katkılı yapay zemin konsolidasyon grafiği	68
Şekil 4.21. %20 UK katkılı yapay zemin konsolidasyon grafiği	69
Şekil 4.22. Doğal zemin karekök t grafiği	69
Şekil 4.23. %10 UK katkılı yapay zemin karekök t grafiği	70
Şekil 4.24. %20 UK katkılı yapay zemin karekök t grafiği	70

1. GİRİŞ

Ülkemizde her geçen gün artan nüfus ihtiyacına paralel olarak gelişen kentleşme ve sanayileşmenin karşılanması gereken en önemli gereksinimlerinden biri enerjidir. Bu ihtiyacın kendi olanaklarımızla karşılanması ve ucuza elde edilmesi önemlidir. Bu nedenle mevcut kaynakları değerlendirerek elektrik enerjisi üretiminde hidroelektrik santraller ve yakıt olarak pulverize kömürün yaygın olarak kullanıldığı termik santraller kurulmuştur. Son yıllarda bunlara ek olarak doğalgaz santralleri de katılmıştır.

Türkiye’de halen sadece kömür ile çalışan 15 tane termik santral faaliyet göstermektedir. Çatalağzı, Çolakoğlu ve Sugözü-İskenderun termik santrali dışındaki tüm santraller, linyit kömürü ile çalışmaktadır (Tokyay, 1998).

Ülkemizde’de elektrik enerjisinin yaklaşık yarısının üretildiği termik santrallerde 55 milyon ton/yıl düşük kalorili linyit kömürü yakılmakta ve yanma kalıntısı olarak bacalardan 15 milyon ton/yıl uçucu kül elde edilmektedir (TEAŞ, 2000). Bu kalıntıların miktarı, A.B.D.’de 45 milyon ton/yıl ve Hindistan’da 50 milyon ton/yıl civarındadır. (Verma, 1998).

Uçucu kül toz halinde veya öğütülmüş, taş kömürü veya linyit kömürünün yüksek sıcaklıklarda yanması sonucu oluşan ve baca gazları ile sürüklenen silis ve alimünosilisli toz halindeki bir yanma kalıntısıdır (TS 639, 1975).

Yanma işlemleri sırasında daha iri taneli olan ve baca gazları ile birlikte atmosfere sürüklenemeyerek kazan tabanına düşen küllere de taban külü denilmektedir (Mehta, 1986).

1930’lu yıllarda elektrik enerjisi kullanan sanayinin gelişmesi ile uçucu kül terimi yaygınlaşmaya başlamıştır. Uçucu külün kullanılmasıyla ilgili ilk kapsamlı bilgi 1937’de Kuzey Amerika’da bulunmaktadır. 1970’li yıllarda enerji maliyetindeki hızlı artışa paralel olarak çimento fiyatlarındaki önemli derecedeki artış uçucu külün tüm dünya genelinde kullanılmaya başlamasını sağlamıştır (Gökçe, 1995).

Dünyada bir yılda üretilen uçucu külün %25’den daha azı farklı alanlarda değerlendirilmektedir. Ancak Almanya, Hollanda ve Belçika’da üretilen toplam

uçucu külün %95'inden fazlasını, İngiltere'de ise yaklaşık %50'si kullanılmaktadır. Büyük miktarlarda uçucu kül üretilen A.B.D. ve Çin'de ise sırasıyla yaklaşık %32 ve %40 oranında uçucu kül kullanıldığı görülmektedir (Bhattacharjee, 2002). Türkiye'de uçucu kül kullanım oranı, 1990 yılı verilerine göre %1'den daha azdır (Tokyay, 1993).

Ülkemizde çimento üretiminin yıllık 25 milyon ton civarında olduğu düşünüldüğünde yılda 15 milyon ton civarında üretilen ve sadece %1'i değerlendirilen uçucu külün depolanması, saklanması veya atılmasının çevreye ve kamuya vereceği zararların önemi ortaya çıkmaktadır.

Uçucu küllerin bacalarda elektro filitreler yardımıyla tutulmasıyla, tesislerin yarattığı çevre kirliliği de kısmen önlenmektedir. Açığa çıkan bu uçucu küller, gerek taşıma ve gerekse depolama sırasında önemli sorunlar oluşturmaktadır.

Bu yanma kalıntılarının açık sahalarda depolanmasıyla oluşan çevre problemleri arasında, tozlanma, tarım ürünlerine zarar verme, yağmur ve rüzgâr erozyonu, toprakta süzülme ve radyasyon sayılabilir. Bu çevre sorunları nedeniyle, su ve havanın kalitesi, tarım ürünleri, doğal hayat, bölgenin ekonomik durumu ve çevre güzelliği açısından istenmeyen sonuçlar ortaya çıkmaktadır. (Tokyay, 1998).

Karşılaşılan sorunların giderilmesi, uçucu küllerin çeşitli kullanım alanlarında değerlendirilerek ülke ekonomisine kazandırılması ile mümkün görünmektedir.

Uçucu küller, fiziksel ve kimyasal özelliklerinin verdiği olanaklar nedeniyle dünya ülkelerinde sanayide, teknikte ve inşaat endüstrisinde kil ve diğer doğal malzemenin kullanımının azaltılması nedeniyle doğal malzemenin korunmasında, zemin stabilizasyonunda çimento ve beton üretiminde, tuğla ve ateş tuğlası üretiminde, baraj gövdesinde, enjeksiyonda, yol dolgu malzemesi olarak, temel ve alt temel malzemesinde, endüstriyel katı atık sahalarında taban ve günlük örtü malzemesi olarak geniş bir kullanım alanına sahiptir.

Bunlara ek olarak, asfalt yol yüzeylerinde kaymayı engelleyici katkı malzemesi olarak, tarımda sıkı toprağın gevşetilmesi ve nem tutma yeteneğini artırmak, maden ocaklarında filler olarak, petrol kuyusu sondajlarında, metal yüzeylerin püskürtme yöntemiyle temizlenmesinde kullanılabilir (Erdoğan, 1993 ve EİE, 1979).

Ülkemizde de değerlendirilmeyen uçucu küllerin santral dışına, genellikle santrallerden oldukça uzak bir yere taşınması gerekmektedir. Depolama sırasında işletmelere yüklenen ek taşıma masrafı ve taşıma sisteminde oluşabilecek arızalar nedeniyle santrallerin zaman zaman düşük kapasiteyle çalışması üretilen enerjide de kayıplara neden olmaktadır.

Bu çalışmada kullanılan uçucu küllerin sağlandığı Afşin-Elbistan-B Termik (AEBTS) Santralinde de bu sorunlar gözle görülür düzeydedir. Santralde bir günde açığa çıkan uçucu kül (UK) miktarı 8 bin tondur. Oluşan yanma kalıntıları 300 hektarlık bir alana taşınmakta ve atık sahasında 8m yüksekliğinde bir kül adası meydana getirerek, çevredeki yer altı suları ve tarım arazileri üzerinde büyük tehdit oluşturmaktadır (Şekil 1.1.).



Şekil 1.1. Afşin-Elbistan-B Termik Santrali atık sahasında oluşan kül adası

Bu tez çalışmasında amaç, AEBTS'li uçucu külünün zemin ıslahında kullanılabilirliğini deneysel çalışmalarla araştırarak elde edilen sonuçlar ışığında ülke ekonomisine ve çevre dengenin korunmasına katkıda bulunmaktır.

Çalışmada; doğal (kil) zemine ve zeminin kuru ağırlığının %10 ve %20'si oranında uçucu kül ilave edilerek hazırlanan yapay zemine 1, 8, 16 ve 32 günlük kür uygulanmıştır. Hazırlanan örnekler üzerinde, sınıflama, kompaksiyon, konsolidasyon ve üç eksenli basınç deneyleri yapılmıştır. Sonuç olarak, zemine uçucu kül ilavesinin zeminin ıslahında kullanılabilirliği saptanmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

DSİ (1964), Türkiye’de uçucu külle ilgili ilk önemli çalışma 1964 yılında Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Araştırma Dairesi bünyesinde yapılmıştır. Çalışmalar, özellikle uçucu külün çimento ve betonda katkı maddesi olarak kullanılması üzerinedir. Tunçbilek Termik Santralinden alınan uçucu külün betonda katkı malzemesi olarak kullanılmaya uygun olduğu görülmüştür. Değişik miktarlarda kül katılan çimento harcı ve beton karışımları üzerinde yapılan deneyler sonucu kül katkısının hidratasyon ısını düşürdüğü, çimento içinde %20’ye kadar katılan külün 90 gün sonra, normal beton dayanımlarından daha yüksek sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Bu verilere dayanarak Gökçekaya Baraj inşaatında uçucu kül, beton katkı malzemesi olarak başarıyla kullanılmıştır (Alataş, 1996).

Atanur (1971-1973), “Uçucu Küllerin Kimyasal ve Fiziksel Vasılları ve Yapı Malzemesi Olarak Kullanılması” ve “Kireç Stabilizasyonu ve Yol Yapımındaki Tatbikati” konulu çalışmalarında İzmir-Turgutlu Nif dere ocağı malzemesi, Soma-Bergama Dere Ocağı malzemesi, Kütahya-Çamlık malzemesi, ve Bursa-Dede Ocağı malzemelerinin, uçucu kül katkısıyla iyileştirilmelerini ve yol yapmamda uygulanmasını sağlamıştır.

EİE (1979), “Türkiye Uçucu Küllerinin Özellikleri ve Kullanım Özellikleri” isimli çalışmasında, Çatalağzı, Tunçbilek, Soma ve Seyitömer termik santrallerinden alınan uçucu küllerin hafif agrega yapımına uygun olduğunu belirtmişlerdir.

EİE (1982), EİE’nin koordinatörlüğünde TCK, DSİ, Çitosan, ilgili bakanlıklar ve üniversitelerin temsilcilerinden oluşan bir ekibin Türkiye uçucu küllerinin üretimi, kullanım olanakları, karşılaşılan sorunlar ve çözüm önerileri hakkında geniş bir rapor hazırlamıştır (Tokyay, 1993).

Anon (1986), Karayolu inşaatlarında ve dolgu inşaatlarında uçucu külün kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu çalışmalarda kullanılan arazi ve laboratuvar test metotları hakkında açıklamalar yapılmaktadır. Ayrıca karışımların hazırlanması, tasarım metotları, yapım özellikleri ve kalite kontrolü hakkında bilgi verilmektedir.

Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, “Afşin Elbistan Termik Santrali Uçucu Küllerinin Yapı Malzemesi Olarak Kullanılmasını” Ankara’daki

laboratuvarlarında, Afşin Elbistan Termik Santralinden sağlanan uçucu küllele bir miktar kil ve kalker karıştırılarak çimento hammaddesi şeklinde kullanılabilirliği araştırılmıştır (Toros, 1987).

Tokyay (1989-1993), “Uçucu Küllerin Minerolojik Kompozisyonlarının Hidratasyon ve Puzzolonik Reaksiyonlara Etkileri” Ve “Betonda Uçucu Kül Kullanımı” adlı çalışmalarında ülkemizde bulunan termik santrallerde açığa çıkan küllerin kimyasal ve mineralojik analizleri yapılarak bunların diğer ülkelerdeki uçucu küllerle aynı vasıfta olduklarını saptamıştır.

McManis ve Arman (1989), kireç veya çimentonun bir kısmı veya tamamı yerine kullanılan ASTM sınıflandırmasına göre C sınıfı uçucu küllerin, kumlar ve killerin iyileştirilmelerine etkilerini incelemiştir. Basınç ve durabilite testleri, C sınıfı uçucu külleri çimentonun bir kısmı yerine kullanılabilirliğini göstermiştir.

Wasti (1990), “Uçucu Küllerin Geoteknik Uygulamalarda Kullanımı” adlı çalışmada, uçucu küllerin yüksek plastisiteli killerin iyileştirilmesinde ve toprak dolgu malzemesi yerine kullanılarak değerlendirilebileceği sonucuna varmıştır.

Alataş (1996), Afşin–Elbistan Termik Santrali uçucu külünün yol stabilizasyonunda farklı malzemelerle birlikte kullanımını araştırdığı çalışmada uçucu külün yol stabilizasyonunda, diğer bağlayıcılarla birlikte kullanılabilirliğini belirtmiştir.

Atiş (2001), silindirle sıkıştırılabilen ve uçucu kül içeren betonun özelliklerini incelemiştir. Uygun uçucu kül kullanımı ile ağırlıkça %50 yer değiştirme oranında normal beton dayanımına eşdeğer dayanımında beton üretebileceği ve ağırlıkça %70 yer değiştirme oranında ise oldukça iyi dayanımda elde edilebileceği sonucuna ulaşmıştır.

2.1. Uçucu Küllerin Mekanik Özelliklerinin Araştırıldığı Çalışmalar

Gray ve Lin (1972), çalışmalarında Michigan uçucu küllerinin mekanik özelliklerini incelemiştir ve aşağıdaki sonuçlara ulaşmışlardır;

Modifiye proktor deneyi sonucunda uçucu küllerin maksimum kuru birim hacim ağırlıklarını 11.9-15.2kN/m³ arasında olduğunu saptamışlardır. Optimum su

içeriğinin %17-32 değerleri arasında değiştiğini ve kısmen doygun uçucu küllerin daha az sıkışabilirliğe sahip olduğu, uçucu küle kireç katkısının sıkışabilirliği azalttığını,

Proktor sıklığında hazırlanan uçucu küllerin boşluk oranı. %5-15 arasında değişirken, permeabilite katsayısı 5×10^{-4} - 6×10^{-6} cm/sn arasında değiştiğini,

Kompaksiyon yapılmış kendi kendine sertleşebilen uçucu küllerde permeabilitenin zamanla azaldığını, bunun taneler arasındaki boşlukların, su ile tepkime sonucu oluşan, çimentolaşma ürünü maddelerle kısmen dolması ile olduğunu,

Konsolidasyon deneyi sonuçları ile uçucu küllerin permeabilitesinin aynı zamanda kuru birim hacim ağırlığının bir fonksiyonu olduğunu ve permeabilitenin, artan kuru birim hacim ağırlığına karşılık azaldığını saptamışlardır.

DiGioia ve Huzzo (1972),’deki yaptıkları benzer bir çalışmayı Pennsylvania uçucu küllerine uygulamışlar,

Deneyle sonucunda maksimum kuru birim hacim ağırlığının 12.3-14.3kN/m³, optimum su içeriğinin %19-29 arasında olduğunu,

Çok gevşek küllerin yüksek sıkışabilirlik, sıkı küllerin düşük sıkışabilirlik gösterdiğini bununla birlikte uçucu külün sıkışabilirliğinin numunenin ilk sıklığına bağlı olduğunu belirtmiştir. Aynı zamanda tane çapı dağılımı, su içeriği ve puzolonik özellik sıkışabilirliği etkileyen faktörler olduğunu ortaya koymuş,

Uçucu küllerin yaklaşık kohezyonlu bir- zeminle aynı sıkışabilirliğe sahip olduğunu ancak daha geçirgen oldukları için kil zeminlerden daha çabuk konsolide olabildiklerini, Bu sayede uçucu kül dolguları üzerinde inşa edilen yapıların oturmasının büyük kısmının inşa aşamasında meydana gelmesini sağladığını,

Uçucu külün kayma mukavemetinin içsel sürtünme açısından ve ıslak külde bulunan suyun yüzeysel geriliminden oluşan kohezyondan oluştuğunu, kayma mukavemetinin uçucu külün çimentolaşma özelliğinden dolayı zamanla artış gösterdiği ve bu artışın uçucu külde bulunan serbest kireç oranıyla değiştiğine değinmişler.

Joshi ve Nagaraj (1987), çalışmasında uçucu küllerin bazı mekanik özelliklerini ortaya koymuştur (Çizelge 2.1.).

Çizelge 2.1. Uçucu küllerin bazı mekanik özellikleri (Joshi ve Nagaraj, 1987)

Özellik	Değiştiği Aralık
Optimum Su İçeriği (%)	18-34
Mak. Kuru Birim Hacim Ağırlığı (kN/m ³)	11-14
Kohezyon (kN/m ²)	28-41,4
İçsel Sürtünme Açısı (°)	32-35
Serbest Basınç Muk (kN/m ²)	200-300
Permeabilite Katsayısı (cm/sn)	4,10 ⁻⁴ -10 ⁻⁶
Sıkışma İndisi (C _c)	0.06
Yeniden Sıkışma İndisi (Cr)	0.004

Uysal (1987), yaptığı çalışmasa Soma-B ve Çatalağzı Termik Santrali uçucu küllerinin özelliklerini belirlemiştir,

Soma-B santralinin maksimum kuru birim hacim ağırlığı 13.25kN/m³, optimum su içeriği 24.4, Çatalağzı santralinin ise γ_{kmax} değeri 10.7, $W_{opt}(\%)$ değeri 30.4 bulmuş,

Çalışmasında 7 günlük kür sonunda oluşan kayma mukavemetini direkt kesme, serbest basınç ve üç eksenli basınç deneyi (UU) yaparak belirlemiştir. Serbest basınç deneyi sonuçlarına göre Soma uçucu küllerinin 7 ve 28 günlük kür sonucunda mukavemetinin sırasıyla 3 ve 5 kata varan değerlerde arttığı, Çatalağzı uçucu küllerinin ise kireç katkısıyla mukavemet artışı sağlanabildiği saptamıştır.

Indraratna ve diğ. (1991), çalışmalarında Tayland'ta üretilen C sınıfı ile standart proktor deneyleri ile uçucu külün puzolanik özelliklerinin boşluk oranını ve kompaksiyon özelliklerini doğrudan etkilediğini belirlemişlerdir.

Yapmış oldukları düşen seviyeli permeabilite deneyinde Mae Moh uçucu külünün permeabilite katsayısı $4-7 \times 10^{-7} (m/sn)$ olarak bulunmuş ve sonuçlar literatürle kıyaslamışlardır.

Asada (1995), tarafından dolgu sahasından alınmış örselenmemiş uçucu kül numuneleri üzerinde yapılan konsolidasyon deneyi ile konsolidasyon katsayısı (c_v)-ortalama konsolidasyon basma (σ_m) arasındaki değişim incelenmiştir. Çalışmada konsolidasyon katsayısı c_v 'nin $0.0347-0.1157 cm^2/sn$ arasında değiştiği ve tipik deniz kilinin konsolidasyon katsayısınının 10-100 katı olduğunu belirtmiştir.

2.2. Uçucu Kül Katkısının Kompaksiyon Özelliklerine Etkisi

Joshi ve diğ. (1975), çalışmalarında Kansas dahil üç termik santralden (Hawthorn, Grve Avenue ve LaCygne) sağlanan uçucu külleri zemine karıştırarak stardart proktor deneyi yaptıkları araştırmalarında, uçucu küllerin birim hacim ağırlığının düşük olmasından dolayı kohezyonlu malzemelerle karıştırılıp kompaksiyona tabi tutulduklarında karışımın maksimum kuru birim hacim ağırlığında düşüş, optimum su içeriğinde ise bir artma meydana geldiğini saptamışlardır.

Tsonis ve diğ. (1983), çalışmalarında 2 farklı zemin üzerinde uçucu kül katkısının kompaksiyon değerlerine etkisini incelemişlerdir. Standart proktor deneyi uygulanan karışımlarda %25 uçucu kül katkılı kil örneklerinin maksimum kuru birim hacim ağırlığı 16kN/m^3 'den 14kN/m^3 'e, %55 uçucu kül katkısı ile 13kN/m^3 değerine düşmüştür. Kum zeminde maksimum kuru birim hacim ağırlık %25 uçucu kül katkısı ile 20kN/m^3 'den 17.8kN/m^3 'e %55 uçucu kül katkısı ile 15kN/m^3 'e düşmüştür. Uçucu kül oranları %5 den %55 e değişirken kum zeminde optimum su içerikleri %12'den %28'e, kil zeminlerde %20'den %28'e yükseldiğini belirtmişlerdir.

Usmen ve diğ. (1987), ABD'nin West Virginia bölgesindeki iki farklı termik santralden alınan F sınıfı uçucu kül ile değişik oranlarda kireç ve çimento karışımlarına ASTM D-698'e göre kompaksiyon deneyleri yapmışlardır. İki uçucu külden de kireç katkısı arttıkça kuru birim hacim ağırlıklarının azaldığını ve optimum su içeriğinin arttığını belirlemiş, çimento katkısının ise kompaksiyon değerlerine etki etmediğini saptamışlardır.

Aksoy (1992), yaptığı çalışmasında Joshi ve Nagaraj'ın (1987), uçucu küller ile yaptığı çalışmaları esas almıştır. Uçucu küllerin aynı tane boyundaki (iyi derecelenmemiş) zeminlerden daha düşük kuru birim hacim ağırlığı değerleri vermesinin sebebini, uçucu küllerde daha fazla hava boşluğu olması olarak açıklamıştır. Doğal zeminlerde bu oran %1-5 arasında iken uçucu küllerde %5-15 arasında değişmektedir. Bunun farklı uçucu küllerde daha geniş bir su içeriği aralığında sıkıştırma yapmayı sağladığını saptamıştır.

Nicholson ve Kashyap (1993), çalışmalarında volkanik kayaların ayrışması ile oluşmuş yüksek plastisiteli, kompaksiyonu zor olan tropik Hawaii killi zeminlerinin uçucu kül ve uçucu kül-kireç ile iyileştirilmesi araştırılmış. Deneyler sonucunda %15 ve %25 oranlarında uçucu kül katkısının, 5 farklı zemin tipinde de maksimum kuru birim hacim ağırlığı azalttığını ve optimum su içeriğini arttırdığını belirtmişler.

Keshawarz ver Dutta (1993), araştırmalarında şişme potansiyeli yüksek olan Teksas zeminlerinin, %20 F sınıfı uçucu kül %6 kireç ve %10 portland çimentosu ile, iyileştirmelerini kıyaslamışlar ve uçucu külün kompaksiyona olumlu etkisi olduğunu saptamışlardır.

Chu ve Kao (1993), çalışmalarında düşük plastisiteli Tayvan kili ile değişik oranlarda uçucu kül ve cüruf karıştırılarak kompaksiyon özelliklerinde oluşan değişimi incelemiştir. uçucu kül %0-20 arasında, cüruf %0-10 oranında eklenmiştir. Çalışmada kullanılan zemin Taipei siltli kilidir. Cüruf bir demir çelik fabrikasından, uçucu kül ise Kuzey Tayvan'daki Hsin-Dah termik santralinden sağlanmıştır. 12 farklı karışım hazırlanmıştır. Bunlar cürufsuz, %10, %15, %20 uçucu kül içermektedir. Deney sonunda uçucu kül ve cüruf katılması maksimum kuru birim hacim ağırlığını azalttığı ve optimum su içeriğini arttırdığını ortaya koymuşlardır.

Çokça (1997), çalışmasında Soma uçucu külüne kireç, çimento ve bentonit ekleyerek kompaksiyon ve permeabilite deneyleri yapmıştır. Soma uçucu külünün tek başına istenen permeabilite katsayısını sağlayamadığı, kireç çimento ve bentonit katkısıyla geçirimsizlik tabakaları için istenen değere ulaşıldığını saptamıştır.

2.3. Uçucu Kül Katkısının Kayma Mukavemeti Üzerine Etkisi

Parker ve diğ. (1977), çalışmalarında organik kile (kalsiyum oksit içeriği % 20 den az) %20 uçucu kül eklenerek iyileştirilmesinde 7 günlük kür sonunda serbest basınç mukavemetinin 1330kN/m^2 'den 2880kN/m^2 'ye yükseldiğini saptamışlardır.

Chu ve Kao (1993), çalışmalarında düşük Tayvan kilinin plastisiteli gri uçucu kül ve cüruf ile iyileştirilmesinde F sınıfı uçucu kül ve %20 kireç içeren cüruf kullanmıştır. Uçucu kül %10-%20 arasında, cüruf ise %5-%10 arasında eklenmiştir. Serbest basınç ve üç eksenli basınç deney sonucunda uçucu kül ve cüruf katkısıyla

kohezyon ve kayma mukavemeti değerlerinde artış olduğunu, serbest basınç deneyi ile de maksimum mukavemeti $q_u=280\text{kN/m}^2$ olarak elde etmişlerdir.

Erdoğan (1993), çalışmasında, çimentonun yerine %20 ve %40 yüksek kireçli uçucu kül kullanılarak yapılan betonların basınç dayanımları külsüz betonların dayanımlarının %102,8 ve %97,9'u olarak bulmuştur. %20 yüksek kireçli uçucu kül ile yapılan betonların basınç dayanımı, külsüz betonların basınç dayanımını geçmiştir.

Tan ve İyisan (1996), Kemberburgaz kiline ($w_L=\%40$, $w_p=\%19.3$, $\%I_p=\%21.7$, CL) %20 uçucu kül ilavesinin mukavemet karakteristikleri üzerindeki etkilerini araştırmışlar ve üç eksenli basınç deneylerinde bir günlük kür neticesinde dahi kayma direncinde önemli bir artış meydana geldiğini belirlemişlerdir.

Benzer bir çalışmada, kür süresinde yüksek kireçli uçucu kül ile yapılan bütün beton numunelerinin basınç dayanımlarının, düşük kireçli uçucu kül ile yapılanlarından daha yüksek olduğunu saptamıştır. Yüksek kireçli uçucu kül ile yapılan betonların daha yüksek dayanıma sahip olmaları bu tip uçucu küllerin bir miktar hidrolik bağlayıcılık özelliğine sahip olmaları ile açıklayabilmektedir.

2.4. Uçucu Kül Katkısının Sıkışma ve Şişme Özelliklerine Etkisi

Lee ve diğ (1987), çalışmalarında F sınıfı uçucu kül ve doğal kil kullanarak elde edilen karışımlara konsolidasyon deneyleri yaparak CBR değerinde artış, sıkışabilirlik ve şişme potansiyelinde azalış olduğunu göstermişlerdir.

Joshi ve Nagaraj (1987), uçucu kül dolgularda kompaksiyon ile sıkışma özelliklerinin azaldığını ve sıkışma indisleri $C_c=0.05-0.37$ ile tekrar sıkışma indisi değerlerinin $C_r=0.006-0.004$ aralıklarında değiştiğini saptamışlardır.

Nicholson ve Kashyap (1993), tropikal Hawaii kiline (yüksek şişme potansiyeline sahip) uçucu kül ve kireç eklenmesiyle iyileştirilmesinde CBR değerinde artma, sıkışma özelliklerinde iyileşme ve şişme potansiyelinde azalma olduğunu belirlemişlerdir.

Chu ve Kao (1993), çalışmalarında uçucu kül ve cüruf katkısıyla 12 farklı karışım üzerinde yaptıkları konsolidasyon deneylerinde uçucu kül ve curuf katkısının artmasıyla sıkışabilirliğin azaldığını belirlemişlerdir.

Ferguson (1993), çalışmasında altı farklı zemin üzerinde uçucu kül katkısının zeminin şişme potansiyelini düşürdüğü sonucuna varmıştır. %14 civarında şişme potansiyeli olan kil zemine %16 uçucu kül katkısıyla şişme potansiyelinin %0.8 değerine kadar indiğini göstermiştir.

2.5. Uçucu Kül Katkısının Permeabiliteye Etkisi

Usmen ve diğ. (1987), çalışmalarında F sınıfı uçucu kül ile çeşitli oranlarda kireç ve çimento karıştırarak permeabilite deneyleri yapmışlar %3, %9 ve %15 oranlarında kireç ve çimentoyu ayrı ayrı iki F sınıfı uçucu küle katarak permeabilite deneylerini belirlemiştir. Kireç ve çimento ilavesinin geçirgenliği arttırdığını ve US-EPA'nın şart koştuğu 1×10^{-6} cm/sn değerinden daha düşük permeabilite değerleri elde etmişlerdir.

Maher ve diğ. (1993), çalışmalarında arıtma çamuru ile uçucu kül karışımlarında permeabilite deneyleri yaparak permeabilite katsayısının 10^{-7} cm/sn civarında olduğu bulmuş, karışımlarda arıtma çamurunun miktarının artmasıyla permeabilite katsayısında artış olduğu ortaya koymuşlardır.

Günel (1996), çalışmasında Kemerburgaz kil zeminine %20 oranında Seyitömer Termik santrali uçucu külü ile karıştırarak yaptığı permeabilite deneyinde permeabilite kat sayısının 1.88×10^{-7} cm/sn olduğunu belirtmektedir. Bu değer Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Örgütünün (US-EPA) katı atık ve çöp depolama sahalarının sızdırmazlık tabakaları için belirlediği permeabilite katsayısı sınırına yakın olduğunu belirtmiştir.

Çokça (1997), çalışmasında Soma uçucu külüne kireç, çimento ve bentonit ekleyerek hazırladığı karışımlara yaptığı permeabilite deneyleri sonucunda Soma uçucu külünün tek başına atık depolama alanlarında istenen permeabilite katsayısını sağlayamadığı, kireç çimento ve bentonit katkısıyla geçirimsizlik tabakaları için istenen permeabilite katsayısı değerine ulaşıldığını göstermiştir.

3. MATERYAL VE METOD**3.1. Materyal****3.1.1. Uçucu kül**

Ülkemizde artan elektrik enerjisi talebini karşılamak için Afşin –Elbistan bölgesindeki 4.5 milyar ton düşük kalorili linyit kömürünün değerlendirilmesi amacı ile kurulan tesis Çöllolar sektöründeki 900 milyon ton rezervli havzadan beslenecektir. 2004 yılında faaliyete giren ve halen çalışmasına devam etmekte olan Afşin-Elbistan-B Termik Santrali, Afşin ilçe merkezine 15km ve Elbistan ilçe merkezine ise yaklaşık 30km mesafede bulunmaktadır (Şekil 3.1.).



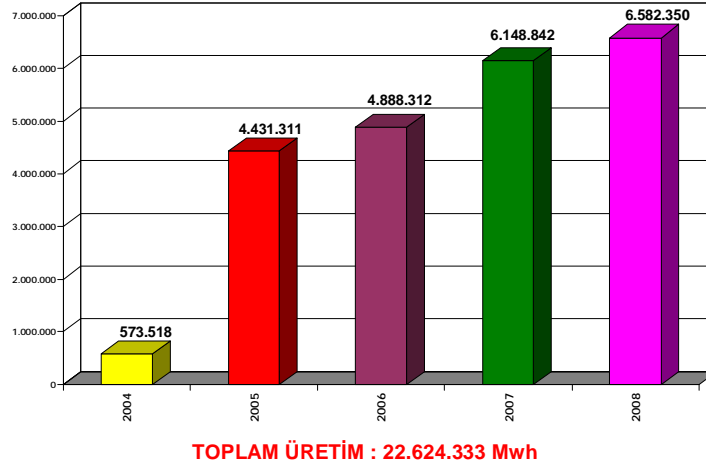
Şekil 3.1. Afşin-Elbistan-B Termik Santrali

Çöllolar işletmesinde tesis edilmekte olan 4×360 MW gücündeki termik santralin yıllık enerji üretimleri ve buna karşılık tüketilen kömür ve depolama sırasında tüketilen kireçtaşı miktarı AEBTS birifing raporunda açıklanmıştır (Çizelge 3.1.). 2004 yılından bu yana yıllık elektrik üretimi 22.624.333 Mwh'dir (Çizelge 3.2.). 2008 yılı verilerine göre bir yılda doğaya bırakılan endüstriyel atık 15 milyon/m³'tür (Çizelge 3.3.).

Çizelge 3.1. Afşin-Elbistan-B Termik Santral girdileri, üretimi ve maliyeti

Kapasite	4x360 MW =1.440 MW
Yıllık Üretim	9.360.000.000 kWh/yıl
Yıllık kömür tüketimi	19.200.000 ton/yıl
Yıllık kireçtaşı tüketimi	1.056.000 ton/yıl
1 kWh 1.860 kcal	Kurulu güç maliyeti 1.126 \$/KW tır

Çizelge 3.2. Afşin-Elbistan-B Termik santralinin yıllara göre enerji üretimi



Çizelge 3.3. Afşin-Elbistan-B Termik Santralinin 2008 yılı atık durumu

AEBTS 2008 YILI ATIK DURUMU	
AY	KÜL+ALÇITAŞI+CÜRUF(m ³)
OCAK	369.494
ŞUBAT	262.137
MART	389.887
NİSAN	214.665
MAYIS	338.117
HAZİRAN	438.519
TEMMUZ	479.534
AĞUSTOS	366.250
EYLÜL	439.243
EKİM	523.144
KASIM	456.275
ARALIK	427.734
TOPLAM	4.704.999 m³
Genel Toplam	15.024.523 m³

Çalışmada kullanılan malzemelerden uçucu kül (UK) Afşin-Elbistan-B Termik Santralinden (AEBTS) sağlanmıştır. Santralde oluşan atıkların %95'nin tutulduğu elektro filtrelerden çalışmalarda kullanılacak yaklaşık 150 kg uçucu kül alınmıştır (Şekil 3.2.).



Şekil 3.2. Elektro filtrelerden uçucu kül alımı

3.1.2 Kil

Çalışmada kullanılan doğal zemin Osmaniye'nin doğusunda yer alan eski Adana-Gaziantep yolu üzerindeki Alman Pınarı kil yataklarından sağlanmıştır.

Jura-Kretase yaşlı Almanpınarı kil yatağı, yaşlı kireçtaşları içerisinde görülmekte ve kalınlığı yer yer 150 metreye ulaşmaktadır. Genelde kırmızı, kahverengi orta sertlikte az oranda mangan parçaları ve yer yer silt boyutu kırıntılı malzeme içermektedir (Şekil 3.3.).



Şekil 3.3. Almanpınarı kil yatağı (Enşan, 2008)

3.2. Metod**3.2.1. Saha Öncesi Çalışmaları**

Bu aşamada öncelikle konuyla ilgili literatür taraması yapılmış, ilgili kurumların kütüphane ve arşivlerinden yararlanılmıştır. Kil örneklerinin alınacağı bölge ve uçucu kül örneklerinin alınacağı termik santral hakkında bilgi toplanmış ve amaca yönelik çalışma şekli belirlenmiştir.

3.2.2. Saha Çalışmaları

Saha çalışmalarında; deneysel çalışmada kullanılan malzemelerden uçucu kül Afşin-Elbistan-B Termik Santralinden, kil ise Osmaniye'nin doğusunda yer alan Alman Pınarı kil yataklarından sağlanmıştır.

3.2.3. Laboratuvar Çalışmaları

Zemine uçucu kül katkısının etkisi, katkı oranı ve kür süresi değişkenlerine bağlı olarak incelenmiştir. Çalışmada doğal zemin (Almanpınarı kili), uçucu kül, hazırlanan %10 ve %20 uçucu kül katkılı yapay zeminler üzerin yapılan tüm deneyler TS-1900, (1987) standartlarına uygun olarak, Çukurova Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü Zemin Mekaniği Laboratuvarı'nda ve Alfa Yapı ve Zemin Mekaniği Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Kimyasal analizler ve mineralojik analizler Maden Tetkik Arama Enstitüsü'nde yaptırılmıştır (Çizelge.3.5.).

Çizelge 3.4. Çalışmada hazırlanan örnekler üzerinde yapılan deneyler

Deneyler	Kür Süresi				
	hemen	1 gün	8 gün	16 gün	32 gün
Zemin sınıflama deneyleri Doğal zemin Uçucu kül % 10-20 uçucu kül katkılı zemin için	X X X				
Kompaksiyon deneyleri Doğal zemin % 10-20uçucu kül katkılı zemin için		X X			
Üç eksenli basınç deneyi Doğal zemin %10-20 uçucu kül katkılı zemin için		X X	X X	X X	X X
Konsolidasyon deneyleri Doğal zemin % 10-20 uçucu kül katkılı zemin için		X X			
Xrf Doğal zemin Uçucu kül		X X			
Xrd Doğal zemin Uçucu kül		X X			

3.2.3.1. Deney Örneklerinin Hazırlanması

Uçucu kül örnekleri laboratuara getirilerek 6kg'lık naylon torbalara konularak paketlenmiştir. Her paketten en az 3 örnek alınarak su içeriği belirlenmiştir.

Almanpınarı kili 4 numaralı elek altında kalacak şekilde çeneli kırıcıda öğütülmüş ve harmanlanmıştır (Şekil 3.4.). Öğütülen örnekler 6kg'lık naylon torbalara konularak paketlenmiştir ve aynı şekilde su içeriği tekrar belirlenmiştir

Zemin örneğinin açık havada ya da etüvde tamamen kurutulup kuru ağırlığa göre uçucu kül katkısının eklenmesi yolu benimsenmemiştir. Etüvde kuruma esnasında zeminde meydana gelebilecek değişimlerin arazi uygulamalarında tekrarlanabilir olmadığı düşünülmüştür. Doğal zeminin arazi şartlarındaki su içeriği göz önünde tutularak öngörülen oranda uçucu kül eklenerek yapay zemin karışımları hazırlanmıştır(Şekil 3.5.).

Doğal zemine ve uçucu kül katkılı yapay zemine kompaksiyon deneyi yapılarak optimum su içerikleri belirlenmiştir (Şekil 3.8.).

Doğal ve yapay zemin örnekleri belirlenen optimum su içeriklerinde hazırlanmış ve standart proktor aleti ile sıkıştırılmıştır. Sıkıştırılan zeminlere kriko sistemi yardımı ile yapılmak istenen deneye uygun örnek alıcılar yerleştirilmiş (Şekil 3.9., 3.16.) ve yine kiriko sistemi ile örnek alıcılar moltdan çıkartılmıştır (Şekil 3.10., 3.11.). Deney programına göre yeterli sayıda yedek örnek hazırlanarak beklemeye (küre) bırakılmıştır (Şekil 3.12., 3.13.).

Örnekler hazırlanırken eklenen su sıcaklığı ve kürede bekletilen odanın sıcaklığı 25+/-3 °C de kontrol altında tutulmuştur. Kompaksiyon deneyi sırasında ve proktor sıkılığında hazırlanan örnekler saf su yerine çeşme suyu eklenerek deney sonuçlarının uygulama sahasına kolay aktarılması amaçlanmıştır.

Kompaksiyon deneyi için örnekler hazırlanırken standartlara göre, ıslatıldıktan sonra 24 saat bekletilmiştir. Doğal zemine kompaksiyon deneyi yapmak için eklenen ortalama su miktarı yapay zemin karışımları hazırlanırken eklendiğinde 24 saat sonra deney yapılamayacak kadar kuru malzeme elde edilmiştir. Özellikle %20 uçucu kül katkılı yapay zeminler hazırlanırken eklenen su miktarı çok yüksektir

(Şekil 3.6.). Fakat ıslatıldıktan 24 saat sonra, zeminler ancak kauçuk tokmakla öğütülebilmıştır (Şekil 3.7.). %10 uçucu kül katkılı zeminlerde ise 24 saat sonra ulaşılan sertlik elle ufalanmaya imkan vermektedir. Zeminde uçucu kül katkısına paralel olarak su ihtiyacı da artmaktadır.



Şekil 3.4. Çeneli kırıcıda örnek öğütülmesi



Şekil 3.5. Yapay zemin karışımının hazırlanması



Şekil 3.6. Yapay zemin karışımlarının kompaksiyon deneyi için ıslatılması



Şekil 3.7. Islatılan karışımların 24 saat sonra kompaksiyona hazırlanması



Şekil 3.8. Kompaksiyon deneyi

Optimum su içeriğinde hazırlanan doğal ve katkılı zeminlerden üç eksenli basınç deneyi için örnek alınırken kiriko sistemi kullanılarak her set için örneklerin aynı molddan alınması sağlanmıştır. Bu sayede uygulanan her çevre basıncında aynı enerjiyle sıkışmış yapay zemin kullanma imkanı elde edilmiştir (Şekil 3.9.-3.10.).



Şekil 3.9. Üç eksenli basınç deneyi için örnek alıcıların moldda yerleştirilmesi



Şekil 3.10. Üç eksenli basınç deneyi için örnek alıcıların molddan çıkarılması



Şekil 3.11. Üç eksenli basınç deneyi örneklerinin alıcılardan çıkarılması



Şekil 3.12. Üç eksenli basınç deneyi örneklerinin kür için hazırlanması



Şekil 3.13. Kür sonrası örneklerin deneye hazırlanması



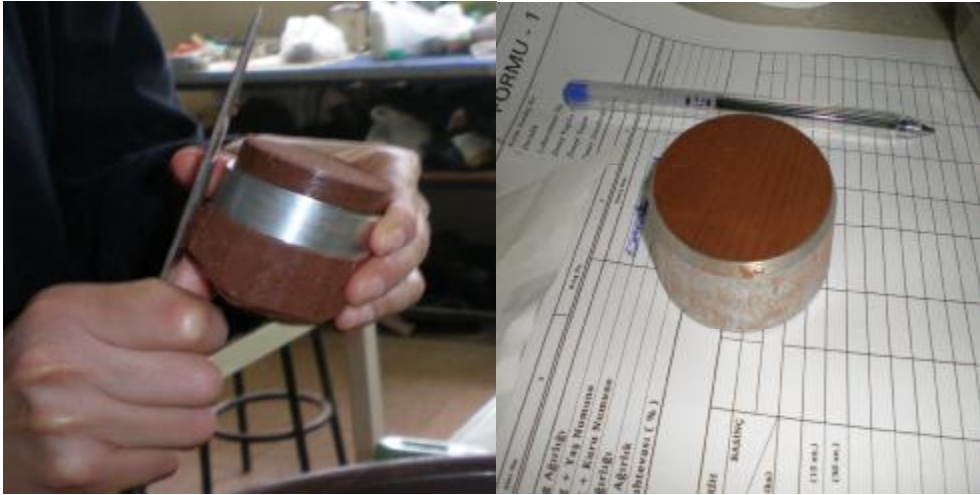
Şekil 3.14. Üç eksenli deney uygulaması



Şekil 3.15. Üç eksenli deneyi sonrası örneklerde kırılma açısı



Şekil 3.16. Konsolidasyon deney ringinin moldda yerleştirilmesi



Şekil 3.17. Konsolidasyon deneyi için örneğin hazırlanması



Şekil 3.18. Konsolidasyon deney uygulaması

3.2.4. Değerlendirme Ve Tez Yazımı

Tez çalışmalarının bu son bölümünde laboratuvar çalışmaları tamamlandıktan sonra öncelikle elde edilen veriler MS Office Word ve Office Excel programları kullanarak bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Laboratuvar verileri tablo ve grafikler haline getirilerek toplu halde değerlendirilerek sonuçlar yorumlanmıştır. Yapılan yorumlar toplu halde teze eklenmiştir. Tüm veri sonuç değerlendirme işlemleri bittikten sonra tez yazım aşaması tamamlanmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI**4.1. Zemin Islahı**

Zeminlerin kullanım alanları iki ana grup ayrılabilir. Bunlar;

- Üst yapıdan gelen yükleri taşıyıcı temel olarak,
- Beton ahşap, ya da çelik gibi bir yapı malzemesi olarak kullanılmasıdır.

Fakat karşılaşılan zeminler her zaman istenilen özelliklere sahip olmayabilirler. Mühendislik özellikler zeminin cinsine ve arazi koşullarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Projenin yerinin değiştirilmesi veya istenilen özelliklere sahip olmayan zeminlerin kaldırılıp yerine elverişli olanların kullanılması ise teknolojik ve ekonomik nedenlerle uygun çözümler olarak kabul edilmemektedir.

Bu nedenle zemin özelliklerinin; seçilen zemin iyileştirme yöntem veya yöntemleri ile kullanım amacına uygun hale getirilmesi gerekmektedir. Bu yöntemlerle zeminlerde iyileştirilen başlıca mühendislik özellikler şunlardır;

- Zayıf zeminin taşıma kapasitesini arttırmak,
- Toplam oturmayı azaltmak,
- Oturmayı hızlandırmak,
- Geçirimsizliği azaltmak,
- Dolgu ve yarmaların duraylılığını arttırmak,
- Zemini iksa duvarı gibi kullanmak,
- İksa duvarlarını desteklemek ve yapıların yukarı kalkmasını engellemek,
- Yoğunluk artırmak
- Zeminin sıvılaşma potansiyelini azaltmak,
- Kayma mukavemetinin değerini yükseltmek,
- Yeraltı suyunun drene edilmesini kolaylaştırmak ve boşluk suyu basıncını azaltmak,
- Şişme/kabarma ve don etkilerini azaltmaktır.

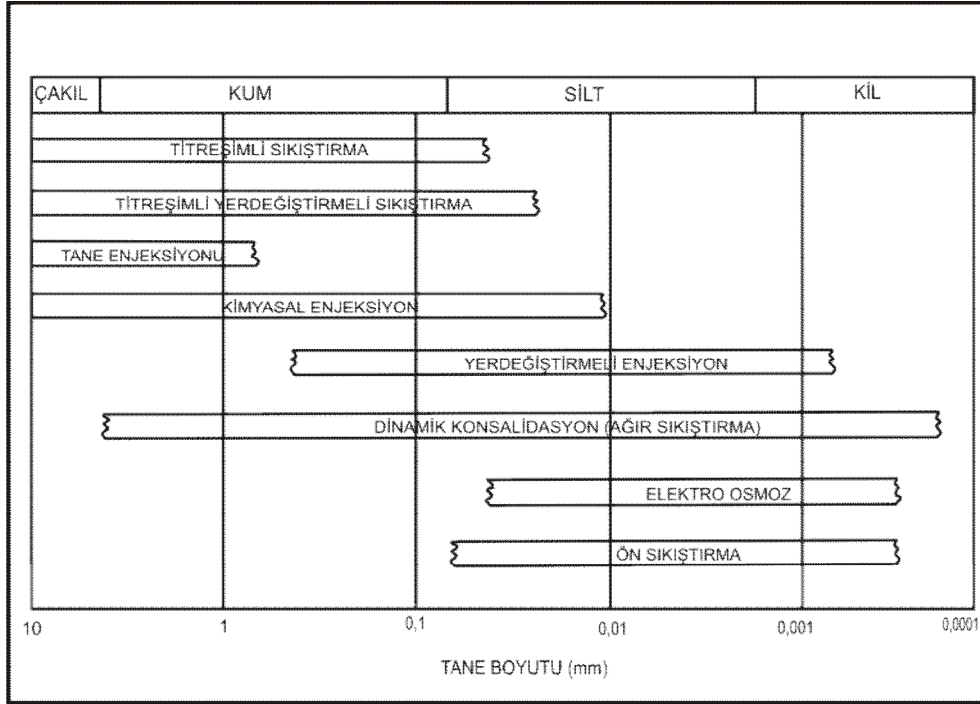
Zeminlerin mühendislik özelliklerinin iyileştirilmesinde kullanılan yöntemleri aşağıdaki gibi sınıflandırabilir (Çizelge 4.1.).

Çizelge 4.1. Zemin ıslah yöntemlerinin sınıflandırılması (Yıldırım, 2002)

İyileştirme yöntemleri			
Mekanik	Hidrolik	Fiziksel Ve Kimyasal	Ekleme Ve Sınırlama
Titreşimli Sıkıştırma	Ön Yükleme	Enjeksiyon	Şerit
Darbeli Silindir	Geosentetik	Isıtma-Dondurma	Donatı
Titreşimli Tabla	Diyafram Duvar	Jet Grout	Hasır
Derinde Titreşim	Palpanış Duvar	Çimento-Uçucu Kül Vb. Katkı Maddeleri	Zemin Çivisi
Statik Sıkıştırma	Geomembran		Ankraj
Sıkıştırma Kazıkları	Basıncılı Hava		Kafes Duvar
Patlatma	Pompalama		Gabion Eleman
			Bohçalama Duvarı
			Taşkolon
			Geokolon
			Fiber

Zeminlerin sorun yaratan özellikleri tam olarak belirlendikten sonra hangi tip iyileştirme yöntemlerin uygulanacağına karar verilir.

İyileştirme yöntemlerinin tane boyutuna göre hangi türlerde daha iyi sonuç verebileceği diyagramda gösterilmiştir (Şekil 4.1.). Yöntem seçiminde belirleyici olan zeminin inceliğidir. Çakıl ve kumlar için geçerli bir iyileştirme tekniği çoğu ince taneli zeminlerde yetersiz kaldığı görülmektedir. Çizelge 4.2. ve 4.3.'de değişik amaçlar için zemin cinsine ve bileşimine bağlı olarak farklı iyileştirme yöntemleri gösterilmektedir.



Şekil.4.1. İyileştirme yöntemlerinin tane boyutuna göre uygulanabilirliği (Yıldırım, 2002; Önalp, 1983)

Çizelge 4.2. Zemin cinsine göre iyileştirme yöntemleri (Tunç, 2001-2002)

AMAÇ	ZEMİN CİNSİ	STABİLİZASYON Yöntemi
Yük taşıma ve deformasyon direncini arttırmak	İnce granüler	Asfalt, çimento, mekanik karıştırma, kompaksiyon
	Kaba granüler	Asfalt, çimento, mekanik karıştırma, kompaksiyon
	Düşük PI killer	Kompaksiyon, çimento, kireç
	Yüksek PI killer	Kireç
Don duyarlılığını azaltmak	İnce granüler	Çimento, asfalt, uçucu kül
	Düşük PI killer	Çimento, kireç
Su geçirimsizliği	Düşük PI killer	Çimento, asfalt, kireç
Kabarma-büzülme kontrolü (hacim stabilitesi)	Düşük PI killer	Çimento, kompaksiyon, kireç
	Yüksek PI killer	Kireç
Esnekliği azaltmak	Yüksek PI killer	Kireç
	Elastik kil veya siltler	Çimento

Çizelge 4.3. Zemin bileşimine göre iyileştirme yöntemleri (Tunç, 2001-2002)

Zemin Bileşiği	Tavsiye Edilen İyileştirme	Amaç
Organik	Mekanik iyileştirme	Diğer yöntemler etkisizdir.
Kum	Mekanik iyileştirme Çimento Asfalt	İnce ve plastik olmayan malzemelerle karıştırılarak stabiliteyi arttırmak Mukavemeti arttırmak Kohezyon sağlamak
Silt	Mekanik veya kimyasal iyileştirme	Zemin özelliklerini iyileştirmek
Killer; Alofenler	Kireç veya kireç uçucu kül karışımı	Mukavemeti arttırmak
Kaolin	Kum ile mekanik stab. Çimento	Stabiliteyi arttırmak Kısa süreli mukavemeti arttırmak
İllit	Kireç Çimento	İşlenebilirlik ve uzun süreli mukavemeti arttırmak Kısa süreli mukavemet artışı
Montmorillonit	Kireç Kireç	İşlenebilirlik ve kısa süreli mukavemeti arttırmak

4.1.1. Kompaksiyon ve Katkı Maddeleriyle Zemin Islahı

Bu bölümde yukarıda anlatılan iyileştirme yöntemlerinden kompaksiyon ve katkı maddeleriyle zemin iyileştirilmesi ayrıntılı olarak anlatılmaktadır.

4.1.1.1. Kompaksiyon Yöntemiyle Zemin Islahı

Kompaksiyon mekanik enerji uygulamak suretiyle zemin yoğunluğunun artırılması işlemidir (Holtz ve Kovacs, 1981). Kompaksiyonun amacı zemin kütlelerinin mühendislik özelliklerini iyileştirmektir. Kompaksiyonda zemini tabaka tabaka sererek, silindirme, vibrasyon (titreşim) uygulama, tokmaktama gibi işlemler uygulanarak zeminin boşluk oranı azaltılır. Yol, hava alanı, toprak baraj, toprak dolgu inşaatlarında, zemin belli bir kalınlıkta serilerek, belli bir su içeriğinde, uygun bir sıkıştırma aracı ile sıkıştırılır (Uzuner, 2000). Sıkışmanın kalitesi, rölatif kompaksiyon ile kontrol edilir.

Kompaksiyonun sağladığı bazı avantajlar şunlardır;

- Zeminin sabit ve dinamik yükler altında yapacağı oturmalar azalır,
- Zeminin taşıma gücü artırılır,
- Zeminin geçirimsizliği azaltılarak don etkisi, şişme, büzülme gibi etkenlerden kaynaklanacak hacim değişimleri kontrol edilebilir (Uzuner, 2000).

Kompaksiyonu iyi yapılmış zeminlerde şu özellikler aranır;

- Kendi ağırlığı ve uygulanan dış yükler altında yeterli dayanıma sahip olmalıdır.
- Uygulanan yük altında meydana gelen oturmalar izin verilebilir sınırlar içinde olmalıdır.
- Şişme ve büzülme gibi hacim değişimi yapmamalıdır.
- Dayanım ve sıkışabilirlik özelliklerini kullanım ömrü boyunca koruyabilmelidir.
- Kullanım amacına uygun olan geçirimsizlik ve drenaj özelliklerine sahip olmalıdır (Aytekin, 2004).

Zeminin cinsine göre farklı sıkıştırma yöntemleri uygulamak gerekir. Geçirimsizlik sağlayacak ölçüde ince malzeme bulunduran zeminlerin laboratuarda sıkıştırılması ve arazi sıkıştırma denetimlerinde standart kompaksiyon (proktor) deneyi temel olarak alınır.

4.1.1.1.(1). Kompaksiyon Teorisi

R. R. Proctor 1930'larda başlarında Los Angeles Su İşletmeleri için barajlar yaptığı sırada sıkıştırmanın prensiplerini geliştirmiştir. Proctor'un geliştirdiği standart laboratuvar sıkıştırma deneyi Proctor deneyi olarak bilinmektedir. Proctor, sıkışmanın şu faktörlere bağlı olduğunu saptamıştır:

- Kuru birim hacim ağırlığı
- Su içeriği
- Sıkıştırma enerjisi
- Zemin türü
- Sıkıştırma aletleri

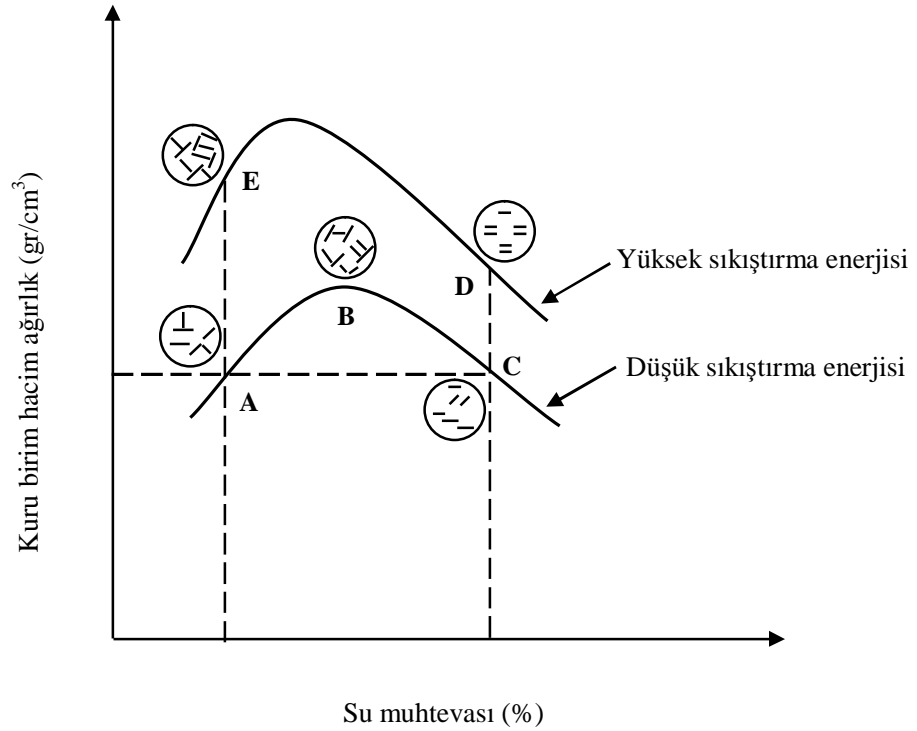
4.1.1.1.(2). Sıkıştırılmış Kohezyonlu Zeminlerin Yapıları

Kil zeminlerin yapısına kompaksiyonun etkisini Şekil 4.2.'de gösterilmiştir. Şekil 4.2.'de A noktasıyla gösterildiği gibi kil, optimumdan kuru taraftaki bir su içeriğiyle sıkıştırılırsa, floküle bir yapıya sahip olur. Floküle yapının oluşmasıyla gelişi-güzel partikül yönlenmesi ve daha düşük kuru birim hacim ağırlığı elde edilir. Bu yapının oluşmasının nedeni düşük su muhtevasında, kil partiküllerini çevreleyen çift su tabakasının gelişmemesidir (Lambe, 1958a).

Kompaksiyonun su içeriği artırıldığında kil çevresindeki çift su tabakası genişler. Böylelikle kil partikülleri arasındaki etkileşim de artar, daha düşük bir floküle yapı oluşur ve daha yüksek bir kuru birim hacim ağırlığı elde edilir (Şekil 4.2.'de B noktasında görüldüğü gibi). B'den C'ye su içeriğinin artma işleminin devam etmesiyle çift su tabakası daha da genişler. Bu olay, partiküller arasındaki etkileşimin artma işleminin devam etmesiyle sonuçlanır. Bu durumda daha büyük derecede partikül yönlenmesi ve daha çok veya az yayılmış bir yapı gelişir. Bununla birlikte, eklenen su katı zeminlerin konsantrasyonunu azaltacağından kuru birim hacim ağırlığı da azalır.

Belli bir su içeriğinde daha yüksek bir kompaksiyon enerjisi, kil partiküllerine daha çok paralel yönlenme sağlar ve böylelikle daha çok yayılmış bir yapı oluşur. Böylelikle partiküller daha sıkı bir yapı ve zemin daha yüksek bir kuru birim hacim ağırlığına sahip olur. Bu durum Şekil 4.2.'de E noktasıyla A noktasını karşılaştırarak görülebilir.

Lambe (1958a), bu çalışmasını sıkıştırılmış Boston mavi killeri üzerinde yapmıştır. Seed ve Chan (1959) de sıkıştırılmış kaolin kili üzerinde çalışmış ve benzer sonuçları elde etmiştir (Das, 1994).



Şekil 4.2. Kıl zeminlerin yapısı üzerinde kompaksiyonun etkisi (Das, 1994)

4.1.1.2. Katkı Maddeleriyle Zemin Islahı

Zeminlerin katkı maddeleri ile ıslahında çevre ve yükleme koşullarına göre mekanik özelliklerin iyileştirilmesinde güvenli, ucuz ve doğal bir malzeme oluşturulması amaçlanmaktadır. Katkı maddeleri ile iyileştirme işlemleri ulaşım, yapı temel inşaatları, su yapıları, katı atık depolama tesislerinde uygulanmaktadır. Çimento, kireç, uçucu kül, bitüm ve özel kimyasal bileşikler katkı maddesi olarak sayılabilir (Balta, 1984; Hausman, 1990; Ingless ve Metcalf, 1972; Önalp, 1983; Mitchell, 1981; Impe, 1989).

İyileştirme işleminin değerlendirilmesinde fiziksel, mekanik tekniklerin yanı sıra kimyasal etkiler de göz önünde tutulmalıdır. Genellikle kimyasal işlemler tek yönlüdür. Tepkime bittikten sonra katılan zemin özelliklerini kolayca kaybetmez (Önalp, 1983; Mitchell, 1981; Impe, 1989).

Tüm mühendislik çalışmalarda olduğu gibi ön araştırmalar katkı maddeleri ile iyileştirme yönteminin uygulanmasında da (iyileştirmenin etkinliği, kolayca

bulunabilmesi, arazi uygulama kolaylığı ve ekonomik olarak üretimin yapılabilmesi) detaylı olarak yapılarak uygulamaya geçilmelidir.

4.2. Uçucu Kül

4.2.1. Puzolan

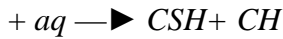
Yaklaşık 2000 yıl önce Eski Romalılar; İtalya'nın Puuzzouli kasabasında Vezüv Dağı eteklerindeki volkanik küllerin kireç ile birleşerek hidrolik bağlayıcı elde etmişlerdir. Puzolan bu iki madde arasındaki tepkime için kullanılır ve bu volkanik küllerin bileşimi uçucu küllerle çok benzerdir (Erdoğan, 1993).

Kendi kendine bağlayıcılık özelliği çok az olan veya hiç olmayan, ancak uygun su içeriğinde ve normal ortam sıcaklığında kireç ile kimyasal tepkimeye girip, bağlayıcı özelliği olan ürünler açığa çıkaran, ince toz halindeki silisli ve alüminli maddelere puzolan denilmektedir (ASTM-C 618).

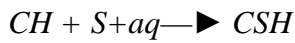
Çok yüksek sıcaklıkta ergime durumuna gelmiş silikatlar ve alimüno silikatların ani soğumaları sonucu amorf bir yapıya dönüşmesi ve puzolanik aktivite kazanması sonucu oluşmuşlardır (Akman ve Esenli, 1992).

ASTM-C 618, puzolanların kimyasal bileşiminde [(SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃) ≥0.70] olmasını öngörmektedir. Büyük oranda amorf olan bu oksitlerin toplamına bir alt sınır getirilmesinde amaç normal sıcaklıkta Ca(OH)₂ ile kolayca kimyasal tepkimeye girerek bağlayıcı bir yapı oluşturabilmeleridir. Puzolanik tepkime ile çimento hidrasyon tepkimesi karşılaştırıldığında;

- Portland çimentosunun hidrasyon tepkimesi:



- Puzolanik tepkime:



(C₂S: Dikalsiyumsilikat, C₃S: Trikalsiyumsilikat, aq: Su, CSH: Kalsiyumsilikahidrat, CH: Kalsiyumhidroksit, C: CaO, S: SiO₂, H: H₂O)

İki tepkimede de ürün olarak kalsiyumsilikahidrat oluşmuştur. Çimentoya ait tepkimede kireç oluşmuş, kireç ve aktif silise (puzolan) ait tepkimede ise kireç harcanmıştır. Bu tepkime puzolanik tepkime olarak adlandırılır. Puzolanik tepkime sonucu daha yavaş mukavemet artışı oluşur ve ısı çıkışı daha düşüktür. Çimentonun tepkime ise daha hızlıdır. Temel puzolanik tepkime kireç ile silis arasındadır (Mehta, 1987).

Puzolan ve Portlant çimentosu karışımı hidratasyona girince puzolanik tepkime sonucu bağlayıcı hamurundaki serbest kireç miktarı gittikçe azalır. Bu davranış puzolanik aktivitenin belirlenmesinde bir yöntem olarak uygulanır (Fratini testi).

Puzolanlar doğal ve yapay olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır (Erdoğan, 1993).

- Doğal puzolanlar; volkanik küller, volkanik tüfler, diatomik toprak, camlar, pişmiş killer ve şeyllerdir.
- Yapay puzolanlar; yüksek fırın cürufu, silis dumanı, demirli olmayan cüruf ve uçucu küllerdir.

4.2.2. Uçucu Kül

Genelde ısı ile çalışan güç üretim tesislerinde öğütülmüş taş kömürü yada linyit yakılarak elektrik üretilir. Öğütülmüş bu kömürün %80'lik kısmı 75 μ (no:200) elekten geçebilecek inceliğe sahiptir. Bu kömür tozları sıcak hava ile karıştırılarak yanma için fırına gönderilir. Bu yanmanın sonucunda çeşitli atıklar ve bazı gazlar açığa çıkar (Erdoğan, 1993).

Bu kalıntıların büyük bir bölümü (%75-%80) bacalardan çıkıp gazlarla birlikte, sıcaklıktan dolayı, uçup giden küllerdir. Bunların bacalardan uçmasına izin verilmez. Aksi takdirde çevre kirliliğine neden olurlar. Bu küller bacadan yukarı giderken elektrostatik filtreler yada filtre torbaları yardımı ile tutulurlar. Çağdaş güç üretim tesislerinde gazla birlikte hareket eden bu küllerin %99'undan fazlası tutulmaktadır (Erdoğan, 1997).

Bu küller; toz halinde veya öğütülmüş, taş kömürü veya linyit kömürünün yüksek sıcaklıklarda yanması sonucu oluşan ve baca gazları ile sürüklenen silis ve alüminosilisli toz halindeki bir yanma kalıntısıdır ve uçucu kül olarak adlandırılırlar (TS-639, 1975).

Bu işlemler esnasında daha iri taneli olan ve baca gazları ile birlikte atmosfere sürüklenemeyerek kazan tabanına düşen küllere de **taban külü** denilmektedir (Metha, 1986).

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 20mikron–3mm arasındadır (Alataş, 1996; Bayazıt, 1980).

4.2.2.1. Uçucu Küllerin Sınıflandırılması

4.2.2.1.(1). Uçucu Küllerin Kimyasal Yapılarına Göre Sınıflandırılmaları

§ Uçucu küllerin içerdiği analitik CaO miktarına göre sınıflanması

- CaO miktarı %10'dan az olanlara düşük kireçli/kalsiyumlu uçucu küller,
 - CaO miktarı %10'dan fazla olanlara yüksek kireçli/kalsiyumlu uçucu küller,
- olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (ASTM-C 618, 1991).

§ Uçucu küllerin yapısındaki kireç ve SO₃ miktarına göre sınıflanması

- Esas yapısı siliko aluminatlardan meydana gelen, SiO₂+Al₂O₃+Fe₂O₃ (S+A+F) toplamı %70'in üzerinde olan ve genellikle taşkömüründen elde edilen siliko alüminalı uçucu küller,
- Genellikle linyit kömüründen elde edilen, S+A+F toplamı %50 ile %70 arasında olan ve kireç ile silika miktarı yüksek olan siliko kalsik uçucu küller,
- Genellikle linyit kömüründen elde edilen, S+A+F toplamı %50'in üzerinde olan ve diğerlerine göre daha fazla SO₃ ve CaO ihtiva eden sülfokalsik uçucu küllerdir (Aitcin, 1986).

Yukarıda belirtilen siliko alüminalı uçucu küller, F sınıfındadır. Siliko kalsik uçucu küllerin bazıları F sınıfı içinde, bazıları da C sınıfı içinde yer almaktadır. Sülfü kalsik uçucu küllerin çoğu, C sınıfı uçucu küller olarak isimlendirilmektedir (Aitcin, 1986).

4.2.2.1.(2). Uçucu Küllerin ASTM C 618'e Göre Sınıflanması

- § Bitümlü kömürlerden elde edilen ve S+A+F toplamı %70'in üzerinde olan F sınıfı uçucu küller, taşkömürünün yakılması ile elde edilirler. F tipi uçucu küller %10'dan daha az CaO içerdikleri için düşük kireç külü olarak da isimlendirilirler. Bu küllerin yapılarında serbest kireç (CaO) bulunmaz. Kendi kendine sertleşme özelliğine sahip değildirler. Sulu ortamda kireçle tepkimeye girerek sertleşme gösterirler. Puzolonik tepkimelede (çimentolaşma) normal koşullarda çok yavaş olur.
- § Genellikle linyit veya yarı bitümlü kömürlerden elde edilen ve S+A+F toplamı %50'in üzerinde olan C sınıfı uçucu küllerdir. Ayrıca C sınıfı uçucu küller, içerisinde %10'dan daha fazla CaO bulunduran küllerdir ve yüksek kireçli uçucu kül olarak tanımlanmaktadır. Yapılarında %1-3 arasında değişen serbest kireç bulunur. C sınıfı uçucu küller serbest kireç nedeniyle kendi kendine çimentolaşma özelliğine sahiptir.

4.2.2.1.(3). Avrupa Çimento Standardı ENV 197-1'e göre sınıflanması

- § Çimentolarda kullanılabilen uçucu küller silisli uçucu küller (V)
- § Kalkerli uçucu küller (W)

V sınıfı küller esas itibariyle reaktif silika ve alüminadan meydana gelmiş olan, reaktif CaO miktarı %5'in altında, reaktif SiO₂ miktarı ise %25'in üstünde olan uçucu küllerdir.

W sınıfı uçucu küller ise reaktif CaO, reaktif SiO₂ ve alüminadan oluşan, reaktif CaO miktarı %5'in üstünde olan uçucu küllerdir (Tokyay ve Erdoğan, 1998).

4.2.2.1.(4). Uçucu küllerin elde edildikleri kömürün tipine göre sınıflanması

§ **Linyit uçucu külü:** Uçucu maddesi fazla ve genel olarak esmerdir. Bu uçucu küllerin kullanılma imkanları tamamen fiziksel ve kimyasal yapılarına bağlıdır. Etkili fiziksel özellikleri, su absorpsiyonu, görünen yoğunluk, spesifik yüzey olarak tanımlanabilir. Spesifik yüzey ve granülometri kömürün ezilme durumuna göre her ülkede ve santralde farklıdır.

§ **Taş kömürü uçucu külü:** Taş kömürü uçucu külü genel olarak 3 – 1000 mikron incelikte ve 200 no'lu elekte %16-20 kalacak şekilde elde edilir. Bunlar tamamen kuru olarak elde edilirler (Alataş, 1996; Bayazıt, 1980).

Uçucu küller için yukarıda görüldüğü gibi birçok sınıflanma vardır ve bunlar yeterli değildir. Uçucu küllerin kimyasal kompozisyonlarının elde edildikleri kömürün jeolojik geçmişiyle, kömürün alındığı seviyelerle ilişkili olması sınıflandırılmalarını zorlaştırmaktadır.

Yapılan sınıflandırmalarda, bazı uçucu küller birden fazla sınıfın özelliklerini taşıırken bazıları da neredeyse kendileri bir sınıf yaratacak kadar özel niteliklere sahip olabilirler. Bazı araştırmacılar uçucu küllerin sınıflandırılmaya çalışılmasına radikal bir biçimde yaklaşarak her uçucu külün bizzat kendi sınıfını meydana getirdiğini belirtmektedirler.

4.2.2.2. Uçucu Küllerin Özellikleri

Uçucu küllerin fiziksel ve kimyasal özellikleri birçok değişkene bağlıdır. Bunlar kömür cinsi, yanma sistemi, öğütme inceliği, filtre sistemi vs. Kömür kaynağı, alındığı seviye genel olarak hem ortaya çıkacak olan uçucu kül miktarına etki etmekte hem de kömürün kimyasal bileşimi içerisinde yer alan inorganik maddeler ile oluşacak külün kimyasal bileşimini belirlemektedir. Genel olarak uçucu küllerin özellikleri aşağıdaki gibidir;

4.2.2.2.(1). Uçucu Küllerin Fiziksel Özellikleri

§ **Renk:** Uçucu küllerin renkleri açık kremden koyu kahverengiye kadar değişiklik gösterir. Renk yanmamış kömür miktarından, demirce zengin tanelerden ve nemden etkilenir (Joshi ve Nagaraj,1987).

Linyit uçucu külü taşkömürü uçucu külden daha koyu renktedir. İyi yanmış bir uçucu kül, iyi yanmamış bir uçucu külden daha açık bir renge sahiptir (Şekil 4.3.). İyi yanmamış küle koyu rengi veren yanmamış karbon tanecikleridir (Erşan, 1996). Yüksek demir oksit içeriği siyaha yakın bir renk verir (Sevim, 2003).

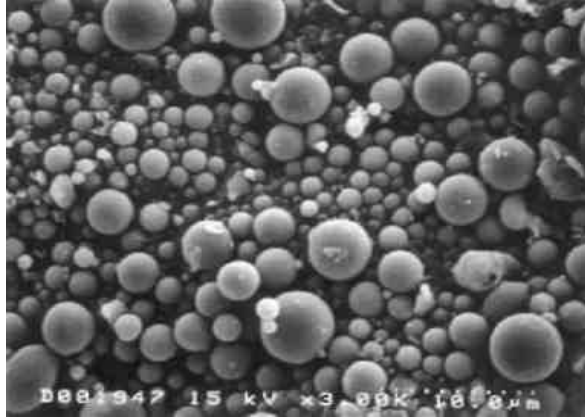


Şekil 4.3. Çeşitli renkteki uçucu küller (Edil, www.engr.wisc.edu)

§ **Tane Şekli ve Boyutu:** Uçucu küllerin tane boyutu kullanılan kömürün cinsine ve öğütülme derecesine bağlıdır. Taşkömürü uçucu külleri linyit küllerinden daha incedir. Tane inceliğine etki eden diğer bir faktör, küllerin bacada ileri tekniklerle tutulmasıdır. Bacadan toz olarak kaçan kısım azaldıkça tane inceliği artar. Elektro filtrelerde tutulan uçucu küller siklonlarda tutulandan daha ince tanelidir. Uçucu küller çimentoya göre daha ince ve özgül yüzeyleri daha büyüktür (Erşan, 1996; Toros, 1987).

Uçucu kül parçacıklarının çapları 1-150 µm arasında değişim göstermekle birlikte % 75'den fazlasının çapı 45 µm'den daha küçüktür. Bu küresel parçacıkların içi dolu veya boş olabilmektedir. İçleri boş olan kül parçacıklar toplam küllün ağırlık olarak % 5'ini, hacim olarak ise yaklaşık % 20'sini oluşturmaktadır. (Toros, 1987; Erşan, 1996; Uysal, 1987).

Uçucu küller çok ince taneli, dokunulduğunda yumuşak bir malzemedir. Mikroskopta incelendiklerinde süngerimsi boşluklu ve boşluksuz küresel taneciklerden meydana geldiği görülür (Şekil 4.4.) (Erşan, 1996). Uçucu Boşluklu taneler cenosphere olarak adlandırılır ve içeriği %5 ile %20 arasındadır (Sevim, 2003).



Şekil 4.4. Uçucu kül taneleri 2000 kat büyütülmüş hali(American Coal Ash Association 2003,)

§ Yoğunluk: Uçucu küller çimentodan daha düşük yoğunluğa sahiptirler. Uçucu külün yoğunluğu silikat, alüminat, demir ve yanmamış karbon miktarı ile değişmektedir. Yüksek demir içeriği uçucu külün yoğunluğunun daha yüksek olmasına, yüksek miktarlarda alüminat, silikat ve yanmamış karbon ise, daha düşük bir yoğunluğa neden olur. Yoğunluk külün mineralojik yapısına göre de değişmektedir. İçi dolu küresel tanelerden oluşan uçucu küllerin yoğunlukları yüksek iken, süngerimsi tanelerden oluşanlarda daha düşüktür (EIE, 1979; Ergüt, 1994; Toros, 1987).

Normalde uçucu külün yoğunluğu 2.1 ile 2.7gr/cm^3 dolaylarındadır. Yoğunluğun yüksekliği uçucu külün inceliği ile ilgilidir. İnce küller kabaya göre daha fazla yoğunluk verirler (Sevim, 2003).

Uçucu küller, doğal zeminlerle karşılaştırıldığında daha düşük özgül ağırlık değerlerine sahip, silt boyutunda oldukça üniform malzemelerdir (Toros, 1987; Erşan,1996; Uysal, 1987). Uçucu Küllerin fiziksel özellikleri Çizelge 4.4'de özetlenerek verilmiştir.

Çizelge 4.4. Uçucu küllerin fiziksel özellikleri

Çap (μm)	Şekil	Renk	Yoğunluk (g/cm^3)	İncelik
1-200	Yuvarlak	Gri	2.2-2.7	Çimento inceliğinde

§ **Karbon Miktarı:** Yanmanın kaliteli olduğu termik santrallerde yanmamış karbon miktarı çok düşük olmaktadır. Yeni tip santrallerde %3'ün altında kalmaktadır. Uçucu külün karbon miktarı yanma kaybından az olmalıdır. Yanma kaybı değeri amprik olarak 0.9 ile çarpılarak yaklaşık yanmamış karbon miktarı bulunabilmektedir (Yılmaz, 1992).

Uçucu küllerdeki karbon, yanıcı olan tanelerin üzerinde ince karbon tabakası veya ayrı taneler olarak bulunmaktadır. Uçucu küllerdeki karbon tanelerinin tane boyutu çoğu zaman diğer tanelerden daha büyüktür (Atanur, 1971).

4.2.2.2.(2). Uçucu Küllerin Kimyasal Özellikleri

Uçucu külün kimyasal bileşeni yanan kömürün tipine, bu kömür içinde bulunan yanıcı olmayan maddelerin miktarına, yanmanın ne kadar etkili olduğuna ve sürekliliğine bağlıdır. Genelde linyit kömürünün yanmasıyla elde edilen uçucu külün CaO bileşeni fazla, Fe_2O_3 bileşeni ise taş kömürünün yanmasıyla elde edilen külün Fe_2O_3 bileşeninden azdır. Linyitten elde edilen uçucu külün yanmamış karbon içeriği çok azdır.

§ **Suda Çözünürlük:** Uçucu küller %2-3 oranında suda çözünürler. Çözelti kalsiyum ve sülfat bileşenleri nedeni ile oluşmaktadır. Uçucu küller saf su içersine bırakıldıklarında birkaç saat içinde içlerindeki sülfatın tamamı çözünür. SiO_2 , Al_2O_3 , K_2O , MgO , Na_2O ve Fe_2O_3 suda çok az çözünürler. Sıcaklık arttıkça çözünürlük artar. Puzolanik özellik istenen karışımlarda ve iyi bir uçucu külde suda çözünebilen maddeler az olmalıdır (Toros, 1987).

§ **Asitlerin Etkisi:** Uçucu küllere asitlerin etkisi çok azdır. Seyreltik asit içerisinde uçucu küllerin çözünürlüğü en fazla %15'tir. Ancak bu miktar küllerin kimyasal ve mineralojik yapıya bağlı olarak değişebilmektedir.

§ Kimyasal Yapılan: Uçucu külün %85'inden fazlası SiO₂, Al₂O₃, CaO, ve Fe₂O₃'den oluşmuştur. Bu oksitlere ilaveten düşük oranda MgO ve SO₃ ve alkaliler de bulunur. Uçucu kül bacadan toplanırken; içinde bazı yanmamış karbon partikülleri de uçucu külün önemli bir bileşenini oluştururlar. Kullanılan kömüre bağlı olarak bazı tiplerinde yüksek miktarda CaO bulunabilmektedir. TSE 639 ve ASTM-C 618 e göre uçucu küllerin kimyasal bileşimleri Çizelge 4.5.'te verilmiştir.

Çizelge 4.5 ASTM-C 618 ve TS 639 Puzolan olarak kullanılabilirlik sınırları

Kimyasal Bileşik	ASTMC618(%)		TS 639 (%)
	F	C	
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	En az % 70	En az % 50	En az % 70
MgO	En çok % 5	En çok % 5	En çok % 5
(SO ₃)	En çok % 5	En çok % 5	En çok % 5
Na ₂ O+K ₂ O	En çok % 1.5	En çok % 1.5	-
Nem	3 (max)	3 (max)	3 (max)
Yanma Kaybı	En çok % 12	En çok % 6	En çok % 10

4.2.2.2.(3). Uçucu Küllerin Mineralojik Özellikleri

Uçucu küllerin kimyasal ve mineralojik bileşimleri arasında doğrudan bir ilişki bulunmamasına karşın, mevcut ulusal ve uluslararası standartlarda yalnızca kimyasal oksit analizi kullanılarak bu malzemelerin kullanılabilirliği belirlenmektedir. Oysa uçucu küllerin reaktivitesi mineralojik yapılarıyla ilgilidir (Tokyay, 1993).

Düşük kireçli uçucu küllerdeki camsı faz miktarı, yüksek kireçli uçucu küllerden daha fazladır. Düşük kireçli uçucu küllerde mineral faz olarak; camsı faz, mullit (Al₆Si₂O₁₃), hematit (Fe₂O₃), manyetit (Fe₂O₄), kuvars (SiO₂) vb. var iken yüksek kireçli uçucu küllerde sayılanlara ek olarak serbest kireç (CaO), anhidrit (CaSO₄), trikalsiyum aluminat (Ca₃Al₂O₆), plajiyoklaz, gehlenit, feldspat gibi kalsiyum silikatlar bulunmaktadır (Tokyay, 1998).

Uçucu küller gözenekli veya dolu camsı küresel taneler ile yanmamış mineralleri içeren süngerimsi ve köşeli aglomere tanelerden meydana gelmektedir. Uçucu küllerde en fazla bulunan mineraller silikat (SiO_2), mullit ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$), hematit (Fe_2O_3), manyetit (Fe_3O_4), kalsit (CaCO_3) ve gipsittir (anhidrit(CaSO_4)). Uçucu küllerin bir kısmı SiO_2 ve Al_2O_3 den meydana gelirken, diğer bir kısmı alkali elementlerin özellikle SiO_2 ve Al_2O_3 ile yaptıkları camsı bileşiklerden oluşmaktadır (PFA, 1974; EİE, 1979).

Mineralojik analizlerde genellikle uçucu kül içerisindeki silisyumun bir kısmının kuvars kristalleri halinde diğer bir kısmının ise alüminat ile birleşerek mullit, geri kalanının ise camsı yapıda olduğu saptanmıştır. Demirin kısmen manyetit ve hematit bileşiminde geri kalanın ise camsı yapıda olduğu görülmüştür. Uçucu küllerin % 66-88'i camsı yapıda, %70-88'i SiO_2 ve Al_2O_3 geri kalan kısmı ise demir, kalsiyum, magnezyum, sodyum, potasyum ve titanyumdan meydana gelmektedir (EİE, 1979; Joshi ve Nagaraj, 1987).

4.2.2.2.(4). Uçucu Küllerin Puzolanik Özellikleri

Uçucu küller, baca gazları ile sürüklenir ve hava ile temas ederek ani soğuma ile puzolanik özellik kazanırlar (Alataş, 1996; Bayazıt, 1980).

Uçucu küller çoğunlukla kendi başlarına bağlayıcı özelliği olmayan ancak sulu ortamda kireçle birleştirildiklerinde bağlayıcılık özelliği kazanan puzolanik malzemelerdir. Kireç ve su ile karıştırıldıktan sonra artan süre ile birlikte uçucu küllerin puzolanik özellikleri artmaktadır. Ayrıca CaO miktarı yüksek uçucu küller daha iyi puzolanik özellik göstermektedir (EİE, 1979).

Oda sıcaklığında kül-kireç-kumdan oluşan harç numuneleri belirli bir süre sonunda mekanik dayanım kazanmaya başlarlar. Harçlar en yüksek mukavemetlerine 5-6 yıl sonunda ulaşmaktadır. Uçucu küldeki puzolanik etki külün bileşimine ve inceliğine bağlı olarak değişmektedir. Puzolanik özelliği etkileyen faktörleri şöyle sıralayabiliriz (Erdinç, 1995).

- Uçucu kül içerisindeki SiO_2 ve Al_2O_3 miktarının artması ve bu bileşiklerin amorf yapıda olması puzolanik etkiyi artırır.

- Kül içinde bulunan CaO, SO₃ ve alkali oksitlerin, puzolanik özelliği ne şekilde etkilediği tam olarak bilinmemektedir.
- Külde yanmamış karbon miktarının artması puzolanik özelliğin azalmasına neden olur. Uçucu küldeki karbon boşluklu bir yapıya sahiptir. Dayanımı düşüktür ve karışım su ihtiyacını artırır.
- Uçucu küllerin puzolanik özelliği ve mekanik dayanım incelleme birlikte artmaktadır.

Uçucu külün puzolanik malzeme olarak kullanılabilirliği, fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlıdır. Oluşan değişiklikler sadece uçucu külü meydana getiren mineral bileşimin değişen miktarından değil, kömürün yakıldığı kazanın çalışma sisteminden, kömürün yanmadan önceki öğütülme inceliğinden ve hava kirliliği kontrolü için kömürle karıştırılan katkı maddelerinden de meydana gelir. Küldeki bu değişiklik puzolanik aktiviteyi etkiler (Joshi ve Nagaraj, 1987).

Puzolanik aktiviteye ek olarak birçok linyit uçucu külleri kendi kendine sertleşme özelliğine de sahiptirler. Bu küller su ile karıştırılıp kompaksiyona tabi tutulduklarında çimentolaşmadan dolayı sertleşirler. Genel olarak bu etki, küldeki serbest kirece ve suda çözünebilen maddelere bağlıdır (Joshi ve Nagaraj, 1987).

Siliko alüminaz bir uçucu kül, kireç ile sulu ortamda tepkimeye girer. Buna puzolanik özellik denir. 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. Çok nadir olarak bazı siliko alüminaz uçucu küller su ile sertleşebilirlerse de genel olarak su ile priz yapmazlar.

Uçucu külde dayanım için belli sürelerde beklemek gerekir. Uçucu külün inceliği ve sıcaklığı, tepkime hızına pozitif yönde etkir. Aynı şekilde beton yapılırken kullanılan çimentonun bir kısmı yerine uçucu kül katıldığında, ileriki günlerde sadece çimento ile yapılan betonlara nazaran daha yüksek mukavemetler elde edildiği bilinmekte ve bundan ise bilhassa hidrolik yapılarda faydalanılmaktadır (Alataş, 1996; Bayazıt, 1980).

Uçucu kül kullanmadan önce fiziksel ve kimyasal özelliklerinin yanı sıra puzolanik özelliğini tespit etmek üzere puzolanik aktivite deneyi TS 639'a uygun olarak yapılmalıdır. Bu aktivite çimento ve uçucu küllere harç dökülerek tayin edilir.

Bir uçucu külün puzolanik özelliğinin var sayılması için uçucu küllü karışımın yalnız çimento ile yapılan karışımın verdiği dayanımın en az %70'ini vermesi gerekmektedir (Alataş, 1996; TS 639, 1975).

4.2.2.3. Termik Santraller

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

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

Türkiye'de elektrik enerjisinin yaklaşık yarısının üretildiği termik santrallerde 55 milyon ton/yıl düşük kalorili linyit kömürü yakılmakta ve bunun sonucunda da 15 milyon ton/yıl uçucu küller elde edilmektedir (TEAŞ, 2000).

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

Türkiye'de bulunan termik santrallerde atık olarak oluşan uçucu küller genel olarak C sınıfı uçucu küllerdir. Ayrıca birçoğu da yüksek kireçli uçucu kül sınıfında yani $CaO > \%10$ üzerinde yer almaktadır.

Türkiye’de kömürle çalışan termik santraller Çizelge 4.6.’da verilmiştir. Bu termik santrallerde açığa çıkan uçucu küllerin kimyasal bileşimleri Çizelge 4.7.’de, fiziksel özellikleri 4.8.’de, minerolojik kompozisyonları ise 4.9.’da verilmiştir.

Afşin-Elbistan uçucu külü dışında diğerlerinin genel olarak TS 639’da belirtilen sınır değerlere uygun olduğu, Afşin-Elbistan uçucu külü ASTM ve TS 639 sınırlarını sağlamamaktadır. Afşin-Elbistan uçucu külünün kömürün alındığı seviyelere göre minerolojik kompozisyonları Çizelge 4.10.’da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Türkiye’deki kömürle çalışan termik santraller

No	Santral adı	Yakıt cinsi	Kurulu güç (MW)	Bulunduğu il
1	Afşin-Elbistan A	Linyit	1355	Kahramanmaraş
2	Afşin-Elbistan B	Linyit	1440	Kahramanmaraş
3	Çan	Linyit	320	Çanakkale
4	Çatalağzı	Taşkömürü	300	Zonguldak
5	Çayırhan Park	Linyit	620	Ankara
6	Çolakoğlu 2	Taşkömürü	190	Kocaeli
7	Kangal	Linyit	457	Sivas
8	Kemerköy	Linyit	630	Muğla
9	Orhaneli	Linyit	210	Bursa
10	Seyitömer	Linyit	600	Kütahya
11	Soma A-B	Linyit	1034	Manisa
12	Sugözü- İskenderun	İthal kömür	1210	Adana
13	Tunçbilek A-B	Linyit	429	Kütahya
14	Yatağan	Linyit	630	Muğla
15	Yeniköy	Linyit	420	Muğla

Çizelge 4.7. Türkiye’deki bazı uçucu küllerinin kimyasal bileşimleri (Tokyay, 1993)

Uç.Kül Oksit (%)	Afişin Elbistan	Çatalağzı	Seyitömer	SomaB	Tunçbilek	Orhaneli	Yatağan	TS639 Limitleri	ASTM C 618	
									F	C
SiO ₂	27,4	56,8	40,6	39,8	56,4	48,8	51,2	-	-	-
Al ₂ O ₃	12,8	24,1	9,1	22,3	23	19,6	22,9	-	-	-
Fe ₂ O ₃	5,5	6,8	7,7	4,4	10,1	6,5	7,8	-	-	-
Si+Al+F	39,7	87,7	57,4	66,5	89,5	68,4	81,9	>70	>70	>50
CaO	47	1,4	19,9	25,4	2,1	10,1	13	-	-	-
MgO	2,5	2,4	3,1	1,9	3,3	4	2,8	<5	<5	<5
SO ₂	6,2	2,9	10,6	4,8	0,4	4,2	0,3	<5	<5	<5
Alkaü	0,3	3	1,4	0,4	0,9	1,7	2,9	-	-	<1,5
Ti	0,7	1,1	-	0,6	-	-	0,9	-	-	-
K.K	2,4	0,6	1,4	0,4	1,1	-	0,4	<10	<12	<6

Çizelge 4.8. Türkiye’deki bazı uçucu küllerinin fiziksel özellikleri (Tokyay, 1993)

Özellik		Af.-Elbistan	Çatalağzı	Seyitömer	Soma-B	Tunçbilek	Yatağan
İncelik (%) Kalan	200 um elek	3,30	2,7	1,0	3,0	4,5	1,9
	90 fim elek	14,9	11,5	3,0	19,0	13,5	12,8
Özgül ağırlık kN/m ³		26,3	19,7	24,6	24,2	19,9	21,5
PAI	Kireçle (Kgf/cm ²)	49,7	45,1	43,8	52,5	34,0	36,0
	P.C ile JP.C İle	86,4	77,2	79,8	94,5	72,5	67,3
Su ihtiyacı (% kontrol)		111,8	102,7	112,4	110,0	104,2	106,5

Çizelge 4.9. Türkiye’deki bazı uçucu küllerin mineralojik kompozisyonları (Tokyay, 1993)

Mineral, %	Uçucu kül					
	Afişin-Elbistan	Çatalağzı	Seyitömer	Soma B	Tunçbilek	Yatağan
Mullit	1.0	18.1	1.2	4.3	8.8	6.0
Kuvartz	4.5	10.9	5.6	5.1	13.9	22.4
Manyetit	0.8	0.2	2.5	0.6	4.1	2.9
Hematit	4.0	0.1	6.0	2.0	3.0	7.0
Anhidrit	12.2	-	9.3	7.4	-	-
Serbest CaO	18.6	0.7	5.5	9.8	0.9	1.0
Plajiyoklaz	~28	-	~15	~20	-	~25
Camsı ve amorf faz	~30	~70	~50	~50	~70	~35

Çizelge 4.10. Afşin-Elbistan Termik Santrali Uçucu Külünün minerolojik kompozisyonları (Ural, 2005)

Mineral	Alt Kısımdaki Uçucu Kül	Orta Kısımdaki Uçucu Kül	Üst Kısımdaki Uçucu Kül
Anhidrit (CaSO ₄)	12.3(3)	18.6(3)	23.5(4)
Kireçtaşı (CaO)	7.2(3)	24,3(3)	38,2(3)
Kuvars (SiO ₂)	13.2(3)	3,8(3)	1,9(4)
C3A (ortagonal) (3CaO Al ₂ O ₃ +Na ₂ O)	0.3(3)	0,5(2)	2,7(4)
C3A (kübik) (Ca ₃ Al ₂ O ₆)	1,4(4)	2,7(3)	3,8(4)
Kalsit (CaCO ₃)	1,8(4)	1,3(2)	2,5(3)
Portlandit (Ca(OH) ₂)	2,9(4)	1,4(2)	2,1(3)
Spinel (MgAl ₂ O ₄)	0,5(3)	-	-
Hematit (Fe ₂ O ₃)	16,6(4)	1,1(3)	-
C ₄ AF (Ca ₂ Fe 1,28 Al 1,72O ₅)	1(4)	2,9(4)	4,2(4)
Gehlenit (Ca ₂ Al (Si;Al) ₂ O ₇)	8,1(3)	11,1(4)	-
Melilit [(Ca, Na) ₂ (Mg,Al)(Si,Al) ₃ O ₇]	6,8(4)	6,2(4)	-
C ₂ S (Ca ₂ SiO ₄)	2,7(3)	3,6(4)	1,6(4)
Şekilsiz İçerik	25,1(3)	22,4(4)	19,3(4)
Ayrıntılı X ²	1,7	1,6	1,6

4.2.2.4. Türk Standartlarında Uçucu Küller

Türk Standartları Enstitüsü, uçucu küller ile ilgili olarak beş tane standart yayınlamıştır. Bunlar sırasıyla, TS 639, TS 640, TS EN 450, TS EN 451-1 ve TS EN 451-2 standartlarıdır. TS 640, AB'ye uyum çerçevesinde yürürlükten kaldırılmış ve yerine TS EN 197-1 "Çimento-Bölüm 1:Genel Çimentolar" standardı uygulamaya konulmuştur (TS EN 197-1 2002).

4.2.3. Uçucu Küllerin Kullanım Alanları**4.2.3.1. Uçucu Küllerin Yapı Malzemesi Olarak Kullanılması****4.2.3.1.(1). Uçucu Küllerin Çimento Üretiminde Kullanılması**

1980'li yıllardan itibaren Türkiye'de katkılı çimentoların çimento üretimindeki payı, %90'ları aşmıştır (Öztekin, 1987). Uçucu küllerin çimentoda; hammadde, katkı maddesi, ikame malzemesi olarak kullanıldığı görülmektedir (Erdoğan, 1993).

Çimento yapımında kullanılan hammaddeler (CaO, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃). uçucu küllerin bileşiminde de bulunduğundan çimento üretiminde kullanılmaktadır. UK çimento klinkerine katılarak birlikte öğütülebilirler. Böyle çimentolara uçucu küllü çimento denir (Intron, 1992).

4.2.3.1.(2). Uçucu Küllerin Agregası Olarak Kullanımı

Uçucu kül, hafif öğütülmüş katı yakıt, su ve yeterli katkı (%1-5 kireç) karışımın 1000-1200 C°'de sinterleştirilmesi sonucu pellet veya nodüller üretilir. Taneler arasında kalan boşluklarla hafif agregası üretilmiş sağlanır. Meydana gelen hafif agregaları elenerek boyutlarına göre ayrılır. Tane özgül ağırlığı 13-21 kN/m³ arasında değişmektedir (Yılmaz 1992; Helmuth, 1987).

Sinterlenmiş uçucu kül hafif agregasının klasik agregası yerine betonda içi dolu veya boş blok üretimi için kullanılabileceği ve çok katlı binalarda ölü yükü azaltacağı belirtilmektedir (Verma, 1998).

4.2.3.1.(3). Uçucu küllerin betonda kullanımı

Uçucu külleri puzolanik özellikleri sayesinde çimento ile yer değiştirerek kullanmak mümkündür. Uçucu küller daha büyük özgül yüzey alanına ve inceliğe sahip olduklarından ince ve çimentolaşabilen malzeme hacminde artış sağlanır. Bu sayede çimentodan tasarruf sağlanır. Çimentonun ağırlıkça %20'si yerine uçucu kül

eklendiğinde toplam bağlayıcı malzeme miktarında %10'luk bir artış sağlanabilmektedir. Beton karışımında uçucu kül; işlenebilirliği ve nihai mukavemeti artırır, hidrasyon ısını azaltır, alkali agrega tepkimelerine ve sülfat etkisi olmasına karşın dayanımı artırır ve permeabiliteyi düşürür (Toros, 1987; İlhan, 1995; Erdinç, 1995).

4.2.3.1.(4). Uçucu Küllerin Tuğla Üretiminde Kullanımı

Uçucu küller çok ince taneli oldukları, sertleştikleri zaman yüksek dayanım vermeleri ve kilin yapısındaki oksitleri içermesinden dolayı tuğla üretiminde kullanmak mümkündür ve üretiminde iki şekilde kullanılır.

§ **Yardımcı ve düzeltme malzemesi olarak:** Uçucu kül su içeriği yüksek killerin fazla suyunu emer, plastik killerin çatlamasını, kabarmasını önler ve çiçeklenme olayını engeller.

§ **Esas malzeme olarak:** Killere harmanlanıp basınç altında kalıplara koyulan karışıma ısı işlem uygulanır. Uçucu kül puzolanik özelliği ve inceliği sebebi ile pişmiş malzemede dayanımın önemli miktarda artmasını sağlar (Yılmaz, 1992; Ergüt, 1994; Erdinç, 1995).

4.2.3.1.(5). Uçucu Küllerin Seramik ve Cam Üretiminde Kullanımı

Uçucu küller kil ve feldispat ilavesi yapılarak sanatsal seramiklerin üretiminde kullanılmaktadır. Uçucu küller seramik sanayiinde kullanıldığında sağladığı avantajlar; tane boyunun küçüklüğü, öğütme masraflarının olmayışı, maliyetinin çok az olması ve içerdiği karbon miktarının pişirme işlemleri esnasında sağladığı enerji tasarrufudur. Uçucu küllerden aynı zamanda cam seramiklerinin üretiminde de faydalanılmaktadır (Ergüt, 1994).

4.2.3.1.(6). Uçucu Küllerin Diğer Kullanım Alanları

Tarımda sıkı toprağın gevşetilmesi ve nem tutma yeteneğini arttırmak, petrol kuyusu sondajlarında, maden ocaklarında filtre malzemesi olarak, döküm kumu olarak, asfalt yol yüzeylerinde kaymayı engelleyici olarak, metal yüzeylerin püskürtme ile temizlenmesinde kullanılmaktadır (Erdoğan, 1993; EİE, 1979).

4.2.3.2. Uçucu Küllerin Jeoteknik Çalışmalarda Kullanımı

Jeoteknik mühendisliğinde uçucu küller geniş kullanım alanına sahiptir. Bu alanlar:

- 1) Zemin iyileştirmede iyileştirici katkı malzemesi olarak,
- 2) Enjeksiyon malzemesi olarak,
- 3) Dolgu malzemesi olarak (Kanal kaza dolgu malzemesi, baraj dolgu malzemesi, temel altı dolgusu, istinat duvarı arka dolgusu, yol inşaatında dolgu malzemesi ve iyileştirme malzemesi olarak,),
- 4) Atık depolama tesislerinde taban, yan ve üst sızdırmazlık tabakası olarak kullanırlar.

4.2.3.2.(1). Zemin İyileştirmede Kullanımı

Uçucu küller, kendi kendilerine bağlayıcı özelliği olmayan yada çok az olan, ancak sulu ortamda kireçle birleştiklerinde bağlayıcı özellik kazanan puzolanik malzemelerdir. Kireç ve su ile harmanlandıktan sonra geçen süre ile birlikte uçucu küllerin puzolanik özellikleri sayesinde uçucu kül katkılı zemin belirli bir süre sonunda dayanım kazanır. Dayanım kazanma özelliği oldukça yavaş olarak ortaya çıkar. Artan süreyle birlikte uçucu küllerin puzolanik özellikleri artar. CaO miktarı yüksek uçucu küller düşük olanlara kıyasla daha iyi puzolanik özellik göstermektedir (EİE, 1979).

Uçucu külün puzolanik malzeme olarak kullanılabilirliğinde, fiziksel ve kimyasal özellikleri belirleyicidir. Oluşan değişiklikler sadece uçucu külün meydana

geldiği mineral malzemenin değişen miktarından değil, kömürün yakıldığı kazanın sisteminden, kömürün yanmadan önceki öğütülme boyutuna ve çevre kirliliği kontrolü için kömürle harmanlanan katkı maddelerinden de meydana gelir. Küldeki bu farklılık puzolanik aktivite tayinini ve standart puzolanik aktivite testlerinin yapılmasını engeller.

Puzolanik aktiviteye ek olarak linyit kömürünün yakılmasıyla oluşan uçucu küllerin kendi kendine sertleşme özelliğine sahiptirler. Bu küller su ile karıştırılıp kompaksiyona tabi tutulduklarında çimentolaşmadan dolayı sertleşirler. Bu etki genel olarak, küldeki serbest kirecin ve su ile çözünebilen elemanların varlığı ile ilgilidir (Joshi ve Nagaraj, 1987).

Duraylılık yönünden en sorunlu zeminler plastisite indisi 10'dan daha yüksek olan killi ve siltli killerdir. İyileştirilmedikleri zaman su ile temas ettiklerinde çok yumuşak bir hal alırlar. Bu zeminler uçucu küle ıslah edildiklerinde uçucu kül içindeki kalsiyum hidroksit ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) hızla şekilde kation değişimine ve topaklanmaya neden olacak ve bu zeminler silt gibi davranacaklardır. Tepkime birkaç saat içinde başlar, zeminin plastisite indisine ve kullanılan uçucu külün içindeki kirecin miktarına bağlı olarak birkaç günde tamamlanır. Plastik durumdaki kil yarı katı ve kolay dağılabilir kıvama gelir, plastisite indisi azalır, rötre limiti artar. Kireç yüksek alkalın ortamı oluşturmak için zemin suyunda çözünür. Bu sayede çok sayıda topaklaşma meydana gelecek şekilde kalsiyum iyonları kilin içersinde tepkimeye girer. Bu tür zemin iyileştirme puzolanik tepkime nedeniyle gerçekleşir. Bu tepkimede kireç kimyasal olarak çimentolaşma esnasında zemindeki silikat ve alüminat ile birleşir. Bu birleşme çok uzun sürede olur. Bu yavaş dayanım artışı zemin davranışında süneklik meydana getirir (Ledbetter,1981; Yazıcı, 1991; Laguros ve Jha, 1977; Savran, 1988; Çakır, 1999; Günel, 1996).

4.2.3.2.(2). Dolgularda Kullanımı

Uçucu küller sahip oldukları özelliklerle dolguların mühendislik özellikleri olumlu yönde desteklerler. Çimentolaşma sonucu kohezyon özelliği gösterirler. Sürtünme özelliğine sahip taneseli yapıda olduklarından ince taneli zeminlerden daha

yüksek bir içsel sürtünme açısına sahiptir. Kullanılan uçucu kül kendi kendine sertleşme özelliğine sahipse meydana gelecek çimentolaşma etkisiyle, dolgu daha geçirimsiz, yatay ve düşey basınçlar altında daha az deformasyon yapan nitelikte ve dolgunun oluşturacağı yatay ve düşey gerilmeler daha az olacaktır. Uçucu küle kireç katılması sonucu puzolanik tepkime meydana getirerek dolgunun dayanımının artması da sağlanabilmektedir.

Taban dolgusunda, uçucu külün homojenliği ve puzolanik özelliğinin incelenmesi gerekir. Gerekli inceleme yapılmadığı takdirde farklı oturma sorunları oluşabilir (Büyüköner, 1989).

Yol yapımında taban zemininin iyileştirilmesi, temel ve alt temelde agrega olarak ve kaplama tabakasının hazırlanmasında karışıma eklenerek kullanılabilir (Atanur, 1971; Hamamcı; 1991; Alataş, 1996).

Barajlarda uçucu kül, silindirle sıkıştırılmış beton (SSB, Rolkrit) şeklinde kullanılmaktadır. SSB farklı miktarlarda ve kullanım yerine göre istenen miktarda üretilmekte ve jeoteknik kurallara uygun olarak titreşimli silindirlerle sıkıştırılmaktadır (Akman, 1993; İlhan, 1995).

Kanal ve diğer kazıların doldurulmasında uçucu kül harcı dolgu malzemesi olarak kullanılabilir (Özturan, 1990; Akman, 1993; İlhan, 1995; Fincan, 1996).

Duvar arka dolgusu olarak kullanıldığında uçucu külün kendi kendine sertleşmesinden dolayı yanal basınçlar azalmakta ve istinat duvarının duraylılığı artmaktadır. Donatılı zemin duvarlarda da uygulanabilmektedir (Erşan, 1996; Martin ve diğ, 1990).

4.2.3.2.(3). Enjeksiyon Malzemesi Olarak Kullanımı

Enjeksiyon; şev stabilitesi, toprak dolgu, havaalanı pist iyileştirmeleri, çöp depolama tesislerinde, kullanılan veya kapatılmış madenlerde yüzey çökmesinin kontrolü ve temellerde kullanılmaktadır. Uçucu külleri, tane boyutu ve şekli, tane dağılımı ve puzolanik özelliği sebebiyle önemli bir enjeksiyon malzemesi olarak kullanmak mümkündür. Kireç harcı enjeksiyonu, zeminlerin arazide hacim değiştirme potansiyellerini düşürmek ve bazı durumlarda onarım taşıma

kapasitelerini arttırmak amacıyla yapılan bir zemin iyileştirme yöntemidir. Kil miktarı düşük olan zeminlerde kireç tek başına beklenen iyileşmeyi sağlayamamaktadır. Uçucu küller SiO_2 ve/veya Al_2O_3 bileşimine sahip olduklarından dolayı zeminlerin iyileştirmelerinde kireçle birlikte kullanılarak çimentolaşma özelliğine sahip uygun malzemeyi sağlamaktadır. Uçucu kül-kireç konsantrasyonunun en önemli özelliği kendi kendine katılaşma mekanizmasıyla zemindeki çatlak ve boşluklar arasındaki çimentolaşmayı sağlamasıdır. Çimentolaşma özelliğinde bir malzemeye fazla bir miktarda ihtiyaç duyulan enjeksiyonlarda, uçucu kül kullanım için en ekonomik malzemedir. Uçucu kül-kireç enjeksiyonu, dolguların oturmasını azaltarak taşıma gücünü artırır ve sızdırmazlığı azaltır (Joshi ve Nagaraj, 1987; Erşan, 1996; Günel, 1996).

4.2.3.2.(4). Katı Atık Depolama Yerlerinde Sızdırmazlık Malzemesi Olarak Kullanımı

Atık depolama yerlerinde alt, yan ve tavan sızdırmazlık tabakası olarak kullanılabilir. Katı atık depolaması gibi tabakalı dolgularda kullanılacak malzeme aşağıdaki özelliklerde olmalıdır.

- Permeabilite katsayısının en az 10^{-9} cm/sn olmalıdır. Uçucu kül ile bu değer sağlanabilmektedir,
- Uygun dayanımda ve mevsim şartlarından kaynaklanan ıslanma-kuruma ve donma-çözünme çevrimlerine karşı yeterli mukavemete sahip olmalıdır. Uçucu külün bu çevrimlerde geçirimsizlik ve elastisite modülü değerlerinde önemli farklılıklar oluşmadığı görülmüştür.

4.2.3.3. Ülkemizde Uçucu Kül Kullanımının Yaygınlaşmamasının Nedenleri

Ülkemizde uçucu kül kullanımının yeterince yaygınlaşmamasının başlıca nedenleri;

- Üretici ve tüketiciler olarak konunun yeterince kavranmaması ve termik santrallerde baca külü ile taban külünün karıştırılması, depolama ve sınıflandırmada gerekli özenin gösterilmemesi.
- İnşaat sektörünün tutucu yapısı.
- Bilgilendirme eksikliği ve uçucu külün yeterince tanınmaması.
- Külün santral koşullarından ve kömürün yapısından kaynaklanan homojenliğinin olmaması.
- Çimento sanayinin tutumu.
- Uçucu külün çevresel etkileri.
- Bazı uçucu küllerde radyoaktivite bulunması.
olarak belirtilebilir (İlhan, 1995).

4.3. Kil Zeminler

Kil terimi, kaolinit ve illit gibi spesifik minerallere işaret eder. Ancak mühendislikte kil denildiği zaman killi zemin kastedilmektedir. Killi zeminden anlaşılan ise bileşenleri kil mineralleri ile bir kısım diğer minerallerden oluşan plastisitesi olan, “kohezyonlu” bir zemindir. Kil mineralleri çok küçük partiküller olup elektrokimyasal olarak çok aktiftirler. Bir zemin kütlesi içinde az miktarda dahi kil minerallerinin varlığı o kütlenin mühendislik özelliklerini önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Kil mineralleri arttıkça zeminin davranışı kilin özellikleri tarafından kontrol edilir. Kil içeriği yaklaşık %50 olduğu zaman kum ve silt taneleri aslında bir hamur içinde yüzen taneler gibidirler ve mühendislik davranışları üzerinde etkileri çok düşüktür (Kayabalı, 2002).

4.3.1. Kil Zeminlerin Mineral Yapısı

Kil mineralleri bazı kayaç yapıcı minerallerin kimyasal bozuşmaları sonucunda oluşan çok küçük, kristalsi maddelerdir. Kimyasal anlamda sulu alüminosilikatlar ile diğer metal iyonlarından oluşmuşlardır. Tüm kil mineralleri çok küçük boyutta olup sadece elektron mikroskobu ile görülebilirler. Değişik kristaller

küçük katmanlardan oluşmaktadır. X ışını kırınımı çalışmaları (XRD) bu levhacıkların, atomik yapısının tekrarlanan çok sayıda kristal levhalardan meydana geldiğini göstermiştir. Aslında tetrahedral (silika) ile oktahedral (alümina) olmak üzere sadece iki çeşit kristal levha bulunmaktadır. Bu levhaların değişik bağlarla ve farklı metalik iyonlarla birbirine bağlanmasıyla değişik kil mineralleri oluşmaktadır (Kayabalı, 2002).

Silis tetrahedronunda bir silisyum iyonu dört oksijen atomuyla birleşmiştir, ikinci elemanda magnezyum veya alüminyum iyonu altı hidroksil iyonu ile bağlı olup sekiz yüzlü oktahedron oluşturmuştur. Magnezyum oktahedronların oluşturduğu tabakalara drusit alüminyum oktahedronlarının oluşturduğu tabakalara gibsit, denir. Tetrahedronların oluşturduğu tabakaların kalınlığı 4.63 angstrom, oktahedronların ise 5.05 angstrom olarak ölçülmüştür (Önalp, 1983-1997).

Kil mineralleri, bazen tabakalı ikincil silikat (filosilikat) grubundandır. Ancak serpantin, talk, pirofilit, mika ve klorit gibi mineraller de yeterli derecede küçük taneler halinde bulunurlarsa, kil olarak kabul edilebilmektedir. Değişik kil mineralleri arasındaki fark kristal yapısındaki izomorf yer değiştirme tipi ve miktarından kaynaklanmaktadır. İzomorf yer değiştirme; kristal yapısında herhangi bir değişiklik olmadan içindeki iyonların eşit veya farklı değerlikli başka iyonlarla yer değiştirmesi olarak tanımlanmaktadır. (Erguvan, 1994; Yılmaz, 1987; Önalp, 1997).

Kil minerallerinin oluşumunu etkileyen üç faktör bulunmaktadır. Bunlar tabakaların; iyonik içeriği, kalınlığı, üst üste diziliş düzenidir. Çizelge 4.11.'de killer tabakaların üst üste diziliş düzenlerine göre sınıflanmıştır ve killerin karmaşık gruplarını basit olarak vermektedir. Yer kabuğunda en çok karşılaşılan kil mineralleri 1:1 tipinden kaolinit ve halloysit; 2:1 tipinden montmorilyonit, illit ve vermiküllitlerdir. Farklılık mineral yapısındaki iyon türü ve aradaki su moleküllerinden meydana gelmektedir.

Montmorillonit türünden olan ve bentonit ticari adıyla bilinen kil çok ince volkanik kökenlidir ve %500'e kadar su alabilmektedir. Bu özellikleri nedeniyle sondaj çamuru olarak ve zeminlerin suyu geçirimsiz hale getirilmesi için kullanılır.

Mika grubunun en çok görülen türü ise illittir. Yapısı montmorillonitin aynı olmakla birlikte yapı blokları arasına giren potasyum iyonları bağın bir miktar kuvvetlenmesiyle su moleküllerinin araya girmesi bir ölçüde önlenmiş olmaktadır. Bazı kil minerallerinin özellikleri Çizelge 4.12.'de verilmiştir.

Çizelge 4.11. Kil minerallerinin sınıflandırılması (Önalp, 1983)

TIP	GRUP	ALT GRUP	ÖRNEK
1:1	Kaolinit – Serpantin	Kaolinitler, Serpantinler	Kaolin, Halloysit Antigorit, Lizardit
2:1	Pirofilit-Talk Montmorillonit-Saponit	Prifolitler, Talkler Montmorilyonitler	Profilit, Baydellit Montromilyonit, Saponit
2:1	VermikuUit Mika	Di-oktahedral vermikulit Tri- oktahedralvermikulit Di-oktahedral mika Tri-oktahedral mika	Muskovit, Paragonit Biyotit
2:1:1	Klorit	Di-oktahedral Di-tri- oktahedral Tri-oktahedroi	Donbasit Sudoit

Çizelge 4.12. Bazı kil minerallerinin özellikleri (Önalp, 1983)

	MONIMORİLLONİT	İLLİT	KAOLİNİT	KLORİT
Tane Büyüklüğü	10 A-1 μ	0.1 μ -2 μ	0.1 μ -5 μ	5 μ
Tane Şekli	Eş boyutlu yaprak	Pul	6 köşeli pul	pul
Tane Çapı	10 A	30 A	0.05-0.2	
Özgül Yüzevi	50 – 800	65-100	10-20	5-50
Likit Limit (%)	110-710	60-120	29-70	44-47
Plastisite indisi	51-100	34-60	26-38	8-12
Şişme- Büzülme	Yüksek	Orta	Düşük	Düşük
Özgül Ağırlık	2.35-2.70	2.60-3.00	2.60-2.80	2.60-2.80

4.3.2. Kil Minerallerinin Tanımlanması

Kil mineralleri çok küçük olduklarından jeolojide kullanılan optik mineraloji teknikleri ile teşhisleri imkânsız olup bunların tanınmasında başka yöntemlere başvurulmaktadır.

X- ışını kırılma deneyi zemindeki ince tanelerin mineralojik tanımlaması için en çok kullanılan yöntemdir. Deneyde kristal içinde atomların dizildiği düzlemler arasındaki uzaklıklar ve X- ışınlarının bu düzlemlerden yansıma şiddeti ölçülür. X- ışını difraktometresinde dalga uzunlukları 0.71-1.54-2.29 Å'a ayarlanmış ışınlar çok ince öğütülmüş örneğin üzerine yollanır. Kil kristallerinde atomik düzlem aralıkları 1 angstrom civarında olduğundan ışınlarla uyum sağlandığında düzenli olarak yansıyan ışınlar bir fotoğraf kağıdına yansıtılarak veya sayaçta ölçülür. Her kristalin atom yapısı farklı olduğundan emilen ve yansıyan ışın yoğunluğu aynı değildir. Kil minerallerinin tanımlanmasında son derece elverişli olan X- ışınları yönteminde değişik kil minerallerinin tanımlanması için standart kartları kullanılır (Yılmaz, 1987; Önalp, 1997).

Kil minerallerinin karışımından oluşan zeminler, organik madde içeren zeminler, kilden başka mineral içeren zeminler ve karışık tabakalı kil minerali içeren zeminlerde bu açıdan birtakım sorunlar bulunmaktadır. Genellikle ayrıntılı bir nicel analiz imkânsızdır. Bu konuda söylenebilecek tek şey zeminde hangi minerallerin kabaca hangi oranlarda bulunduğu (Kayabalı, 2002).

Kil minerallerinin teşhisinde kullanılan bir diğer teknik de diferansiyel termal analizdir (DTA). Bileşimi bilinmeyen bir zemin örneği bir asal kontrol maddesi ile birlikte etüv içerisinde birkaç yüz dereceye kadar ısıtılır ve kil minerallerinin özel yapılarından dolayı ısılarda belirli değişiklikler meydana gelir. Bu değişiklikler belirli mineraller için belirli ısılarda meydana gelir ve bu değişikliklere ait kayıtlar bilenen mineraller ile karşılaştırılır (Kayabalı, 2002).

Taramalı (scanning) ve yaymalı (transmission) elektron mikroskopisi de bir zemindeki kil minerallerinin tanınmasında kullanılmaktadır.

Casagrande'nin plasitite diyagramının kullanımı mühendislik bakış açısından gelişmiş difraksiyon veya DTA analizlerin verdiği kadar bilgi verebilir (Kayabalı, 2002).

Kimyasal maddelerle boyama yöntemiyle kil mineralleri tanımlanmaktadır. Mineraller benzidin, sairinin ve malachite yeşili gibi kimyasal maddelerle boyanır ve aldıkları renklerle birbirinden ayırt edilmeye çalışılır. (Yılmaz, 1987).

4.4. Deneysel Çalışmalar

Çalışmalar sırasında yapılan tüm deneyler TS-1900 standardına göre yapılmıştır.

4.4.1. Kil

Çalışmada kullanılan zemin örneği Osmaniye'nin doğusunda yer alan eski Adana-Gaziantep yolu üzerindeki Alman Pınarı kil yataklarından sağlanmıştır. Almanpınarı kil yatağı, Jura-Kretase yaşlı kireçtaşları içerisinde görülmekte ve kalınlığı yer yer 150 metreye ulaşan depolama alanları oluşturmaktadır. Genelde kırmızı, kahverengi orta sertlikte az oranda mangan parçaları ve yer yer silt boyutu kırıntılı malzeme içermektedir (Sakarya, N., Sakarya, B., 1993).

Kil zeminin kimyasal bileşimi Maden Teknik Arama Genel Müdürlüğü'nde X-Işını Floresans Spektrometresi (XRF) yardımıyla belirlenmiştir (Çizelge 4.13.).

Çizelge 4.13. Almanpınarı kilinin kimyasal bileşimi

	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	Mn	Fe _(top)	SO ₃	A.Za.
%	0,3	2,8	12,1	46,3	0,1	1,10	13,2	0,9	0,2	9,1	-	13,75

Zeminin minerolojik yapısı Maden Teknik Arama Genel Müdürlüğü'nde X-Işını kırınımı (XRD) yardımıyla belirlenmiştir. Elde edilen veriler Almanpınarı kilinin illitçe zengin olduğunu göstermektedir. Bu veriler literatürle uyumludur. Nicel veriler ekte verilen pik değerlerinden hesaplanabilir (Ek 1.).

Doğal zeminine yapılan sınıflama deneyleri sonucu zemin (CL) düşük plastisiteli kil sınıfında olduğu belirlenmiştir. Fiziksel özellikleri Çizelge 4.14. verilmektedir.

Çizelge 4.14. Almanpınarı kilinin temel fiziksel özellikleri

Gs	W _n (%)	Ağırlıkça kil oranı %	Aktiflik
2,76	6	47	0,42

4.4.2. Uçucu Kül

Kullanılan uçucu kül Afşin Elbistan-B Termik Santralinden sağlanmış. Uçucu külün kimyasal analizi Maden Teknik Arama Genel Müdürlüğünde X-Işını Floresans Spektrometresi (XRF), ayrıca iz elemen analizi de kül programında yapılmıştır (Çizelge 4.15.).

Minerolojik bileşimi de yine Maden Teknik Arama Genel Müdürlüğünde ve X-Işını Kırınımı (XRD) yardımıyla belirlenmiştir. Kalsit içeriği çok azdır, rapor sonuçları Çizelge 4.16.'de verilmiştir. Sonuçlar ekte verilen pik değerlerinden nicelleştirilebilir (Ek-2). Çalışmalarda kullanılan Uçucu küle kıvam limitleri tane boyutu nedeniyle yapılamamıştır. Diğer temel fiziksel özellikleri Çizelge 4.17'de verilmiştir. Zemine uçucu kül katkısıyla özgül ağırlık düşmektedir (Ek-3).

Çizelge 4.15. AEBTS Uçucu Külünün kimyasal bileşenleri

XRF	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	Mn	Fe (top)	SO ₃	A.Za.	-
%	0,2	1,6	9,3	22,8	0,4	0,5	45,3	0,6	<0,1	6,2	12,8	<0,001	-
Iz element ppm	V	Cr	Cu	Zn	As	Rb	Sr	Y	Zr	Ba	Pb	Th	U
%	98	299	<40	53	100	100	351	<15	119	410	48	<15	<15

Çizelge 4.16. AEBTS Uçucu Külünün mineral bileşenleri

XRD	Kalsit (az miktarda)	Kireç	Kuvars	Anhidrit

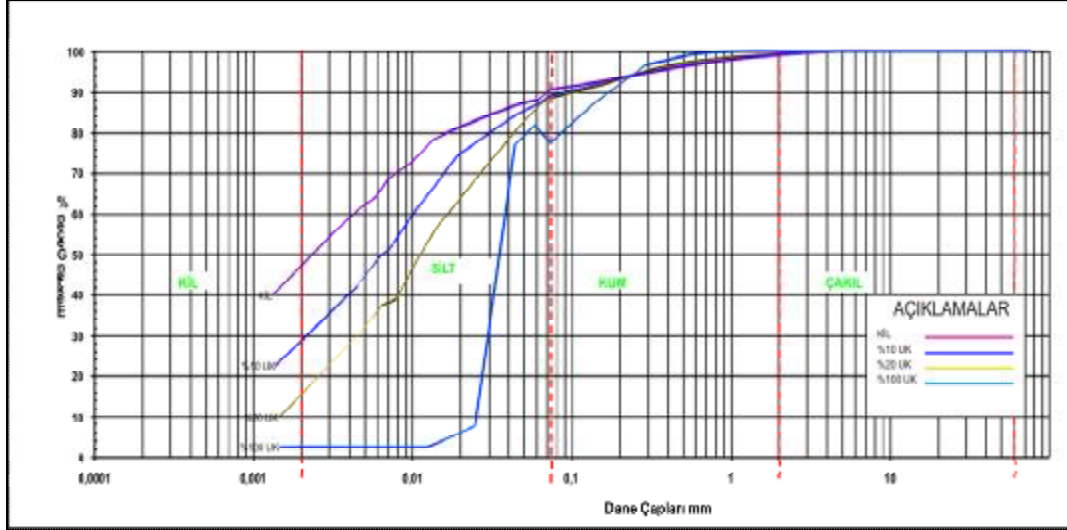
Çizelge 4.17. AEBTS Uçucu Külünün temel fiziksel özellikleri

Gs	Renk	W _n (%)
2,67	Açık gri	0,002

4.4.3. Uçucu Kül Katkısının Granülometrik Özelliklere Etkisi

Doğal zeminin, uçucu kül, %10-%20 uçucu kül katkılı zeminlerin, tane dağılımları belirlenmiştir. Tane boyu analizinde hidrometre ve elek analizi yöntemi

uygulanmıştır. Tane boyu uçucu kül katkısıyla artış göstermiştir (Ek 4.). Tane boyu analiz sonuçları göre tane boyu (çapı) dağılım eğrileri çizilmiştir (Şekil 4.5.).



Şekil 4.5. Örneklerin tane boyu dağılım eğrisi

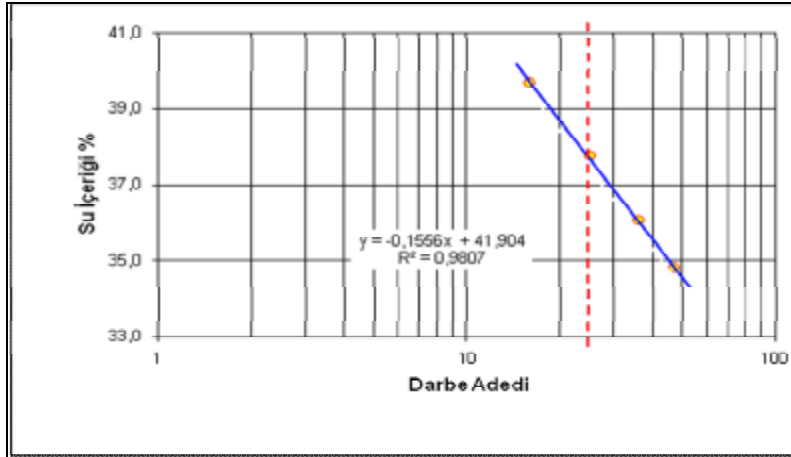
4.4.4. Uçucu Kül Katkısının Kıvam Limitlerine Etkisi

Doğal zeminin ve %10 ve 20 uçucu kül katkılı zeminlerin, kıvam limitleri belirlenmiştir (Çizelge 4.18.). Likit limit, plastik limit ve plastisite indisi ile uçucu kül katkısı arasındaki ilişki incelenmiştir (Şekil 4.6.-4.7.-4.8.).

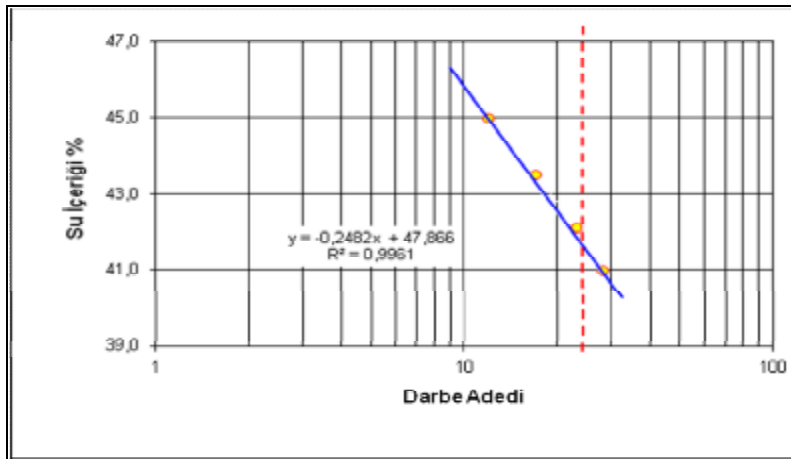
Çizelge 4.18. Doğal zemin ve uçucu kül katkılı zeminlerin kıvam limiti değerleri

	LL	PL	IP	ZEMİN SINIFI
Doğal zemin	38,01	18,30	19,71	CL
% 10UK Katkılı	42,11	28,6	13,51	CL
% 20 UK Katkılı	42,37	29,38	12,99	ML

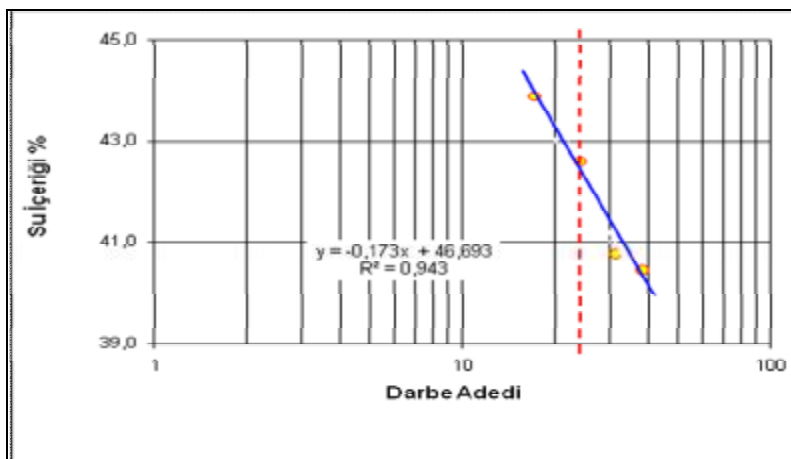
Zemine katılan uçucu kül ilk anda likit limit ve plastik limit değerlerini arttırmaktadır (Ek-5.). Plastisite indisinde düşüş meydana gelmektedir. Plastisite indisinin düşmesi işlenilebilirliği arttırmaktadır.



Şekil 4.6. Dogal zemin LL grafiği



Şekil 4.7. %10 UK katkılı yapay zemin LL grafiği



Şekil 4.8. %20 UK katkılı yapay zemin LL grafiği

4.4.5. Uçucu Kül Katkısının Kompaksiyon Özelliklerine Etkisi

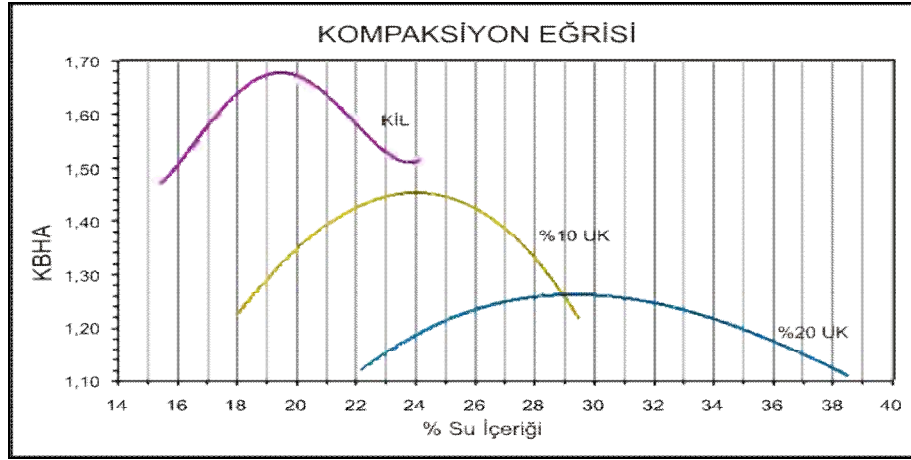
Doğal zeminin ve %10 ve %20 uçucu kül katkılı örneklerin standart proktor deneyleri yapılarak optimum su içeriği (w_{opt}) maksimum kuru birim hacim ağırlıkları (γ_{kmax}) belirlenmiştir (Çizelge 4.19.). Doğal zeminden alınan örneklerin Maksimum kuru birim hacim ağırlık (γ_{kmax}) 1,67 gr/cm³ optimum su içeriği (w_{opt}) %19,5 bulunmuştur (Şekil 4.9.).

Çizelge 4.19. Doğal zemin ve uçucu kül katkılı zeminlerin γ_{kmax} ve w_{opt} değerleri

Malzeme Türü	γ_{kmax} (kN/m ³)	w_{opt} (%)
Doğal Zemin	1,67	19,5
% 10 UK Katkılı Zemin	1,47	24
% 20 UK Katkılı Zemin	1,26	30

Doğal zemine ve uçucu kül katkılı zeminlerin ait kompaksiyon eğrileri çizildiğinde; maksimum kuru birim-hacim ağırlık uçucu kül katkısıyla azalırken optimum su içeriği artış göstermektedir (Şekil 4.9.). Uçucu kül katkısı su ihtiyacını artırmaktadır (Ek 6.) .

Kompaksiyon deneyi sonuçları literatürle uyum içerisindedir. Yapılan tüm çalışmalardan elde edilen sonuca göre; zemine uçucu kül katkısı, maksimum kuru birim hacim ağırlık değerini azaltmakta, optimum su muhtevasında ise artış meydana getirmektedir. Kuru birim hacim ağırlığı artan kompaksiyon enerjisi ile arttırılabilmektedir. Uçucu kül katkısı zeminin kompaksiyon özelliklerini iyileştirmektedir.



Şekil 4.9. Örneklerin kompaksiyon eğrileri

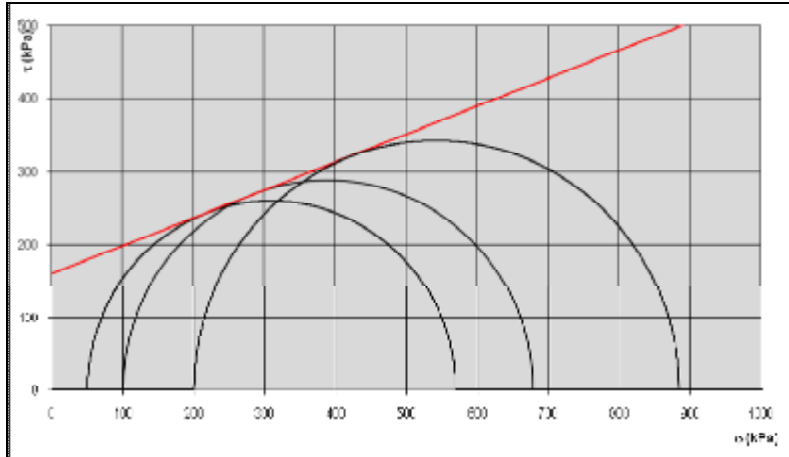
4.4.6. Uçucu Kül Katkısının Kayma Mukavemetine Etkisi

Proktor sıklığında doğal zemin ve %10 ve %20 uçucu kül katkılı yapay zeminler hazırlanmıştır. Proktor moldundan kriko yardımıyla yapılacak deney için 3.8cm çaplı 7.6cm yüksekliğindeki silindirik örnekler çıkartılmıştır. Doğal zemin, %10 ve %20 uçucu kül katkılı zeminlere 1 gün, 8 gün, 16 gün ve 32 gün kür süreleri sonunda üç eksenli basınç deneyi uygulanmıştır. Deneyler drenajsız konsolidasyonsuz (UU) şartlarında yapılmıştır. Deneylerde kesme hızları 1mm/dak seçilmiştir.

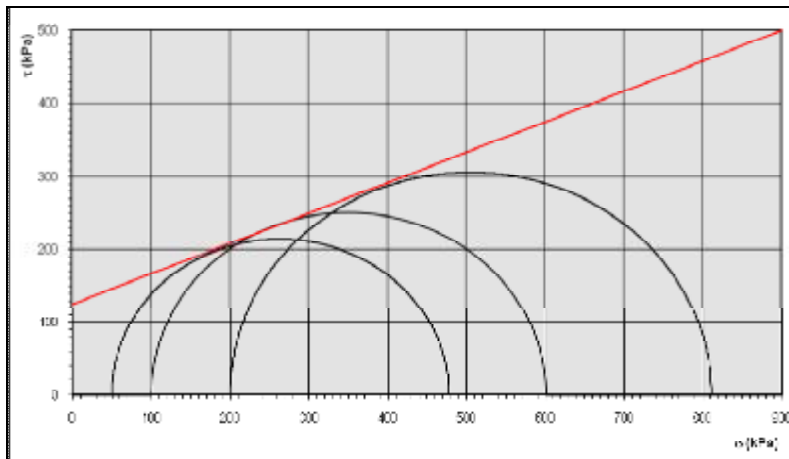
Deneyler sonunda kırılma zarfları çizildiğinde (Şekil 4.10.-4.18.). Uçucu kül katkısı ve kür süresi artırıldığında, içsel sürtünme açısı ve kohezyonda belirgin bir artış gözlenmiştir (Çizelge 4.20.). Kayma mukavemetini artmasında kohezyondaki artma daha etkindir (Ek 7.).

Çizelge 4.20. Üç eksenli basınç deneylerinden elde edilen kayma mukavemeti parametreleri

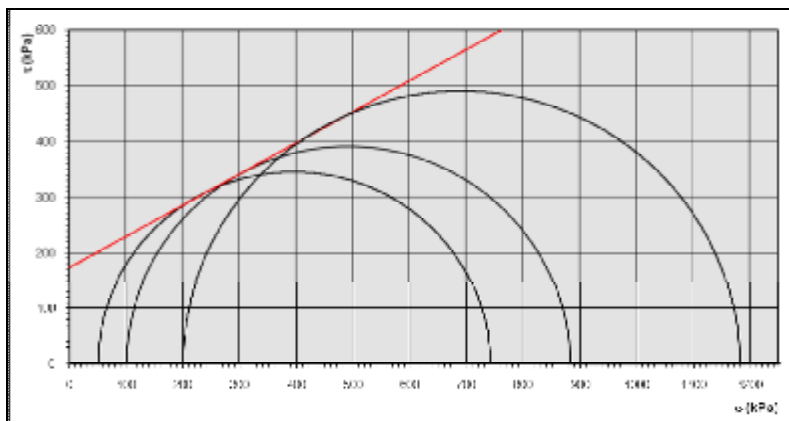
Kayma Muk. Parametreleri	1 gün		8 gün		16 gün		32 gün	
	c(gr/cm ²)	Φ(°)	c (gr/cm ²)	Φ(°)	c (gr/cm ²)	Φ (°)	c (gr/cm ²)	Φ (°)
Zemin	160	21						
%10 UK	124	23	174	29	194	34	225	35
%20 UK	107	26	213	32	241	39	268	43



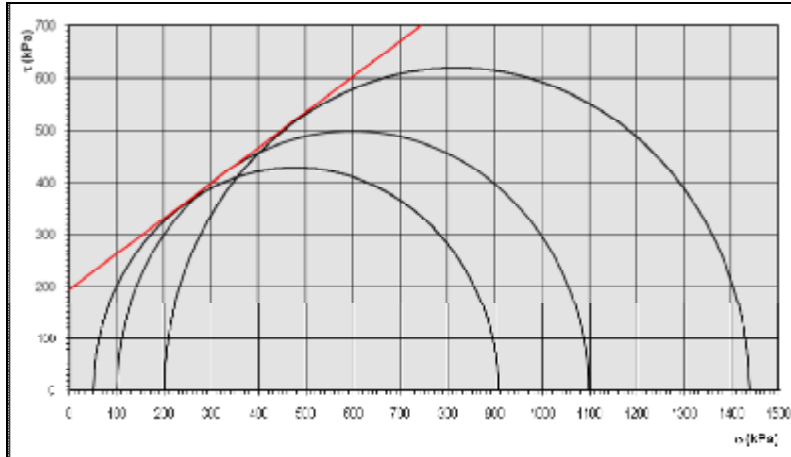
Şekil 4.10. Doğal zemin kırılma zarfı



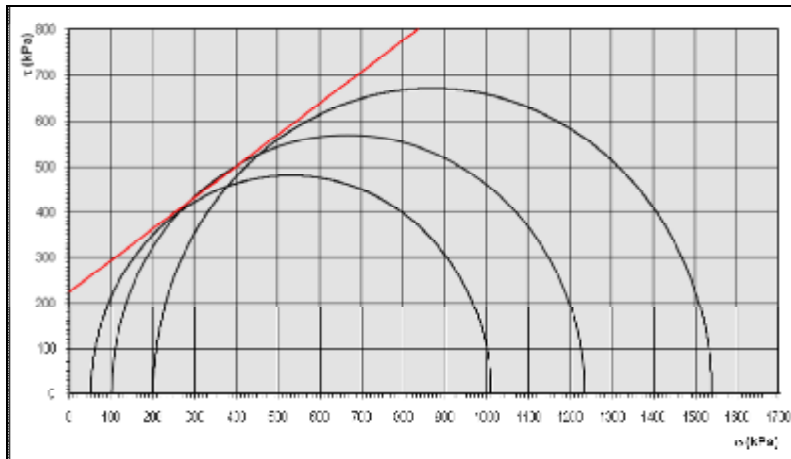
Şekil 4.11. %10 UK katkılı yapay zemin 1 günlük kırılma zarfı



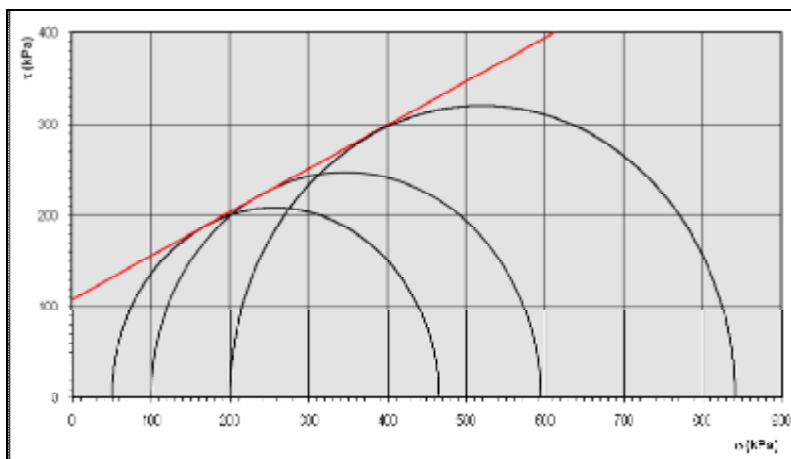
Şekil 4.12. %10 UK katkılı yapay zemin 8 günlük kırılma zarfı



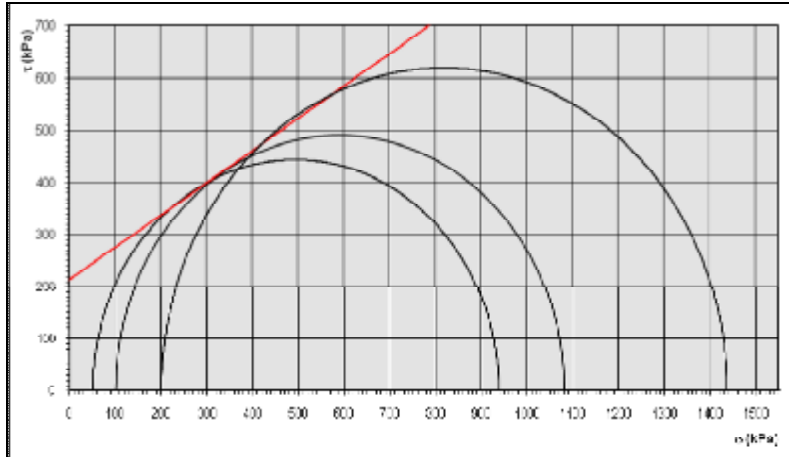
Şekil 4.13. %10 UK katkı yapay zemin 16 günlük kırılma zarfı



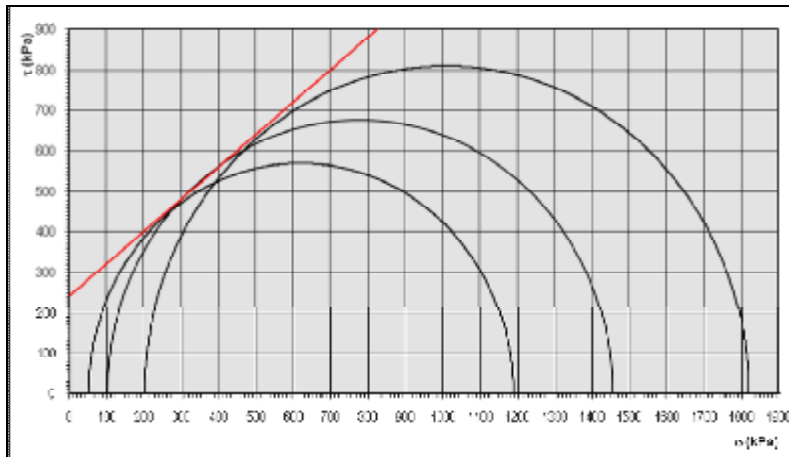
Şekil 4.14. %10 UK katkı yapay zemin 32 günlük kırılma zarfı



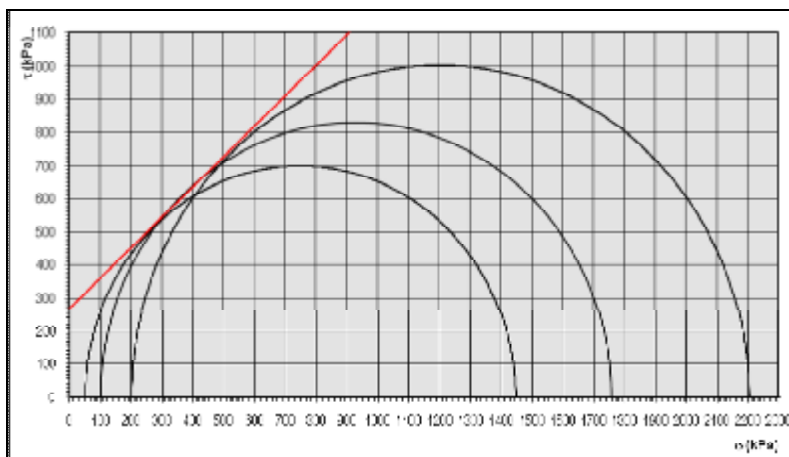
Şekil 4.15. %20 UK katkı yapay zemin 1 günlük kırılma zarfı



Şekil 4.16. %20 UK katkılı yapay zemin 8 günlük kırılma zarfı



Şekil 4.17. %20 UK katkılı yapay zemin 16 günlük kırılma zarfı



Şekil 4.18. %20 UK katkılı yapay zemin 32 günlük kırılma zarfı

4.4.7. Uçucu Kül Katkısının Konsolidasyon ve Permeabilite Özelliklerine Etkisi

Uçucu kül katkısının zeminin konsolidasyon özelliklerine etkisini belirlemek için proktor sıklığındaki doğal zemin, % 10 ve %20 uçucu kül katkılı yapay zeminden örnekler hazırlanmıştır. Hazırlanan örneklerin konsolidasyon deneyleri 7.5cm çaplı konsolidasyon aletinde yapılmıştır. Deneyde 0,125-0,250-0,500-1-2-4-8 kg/cm²'lik basınçlar uygulanmıştır. Deneyler 1 günlük kür sonrasında yapılmıştır (Şekil-4.19.,4.20., 4.21.).

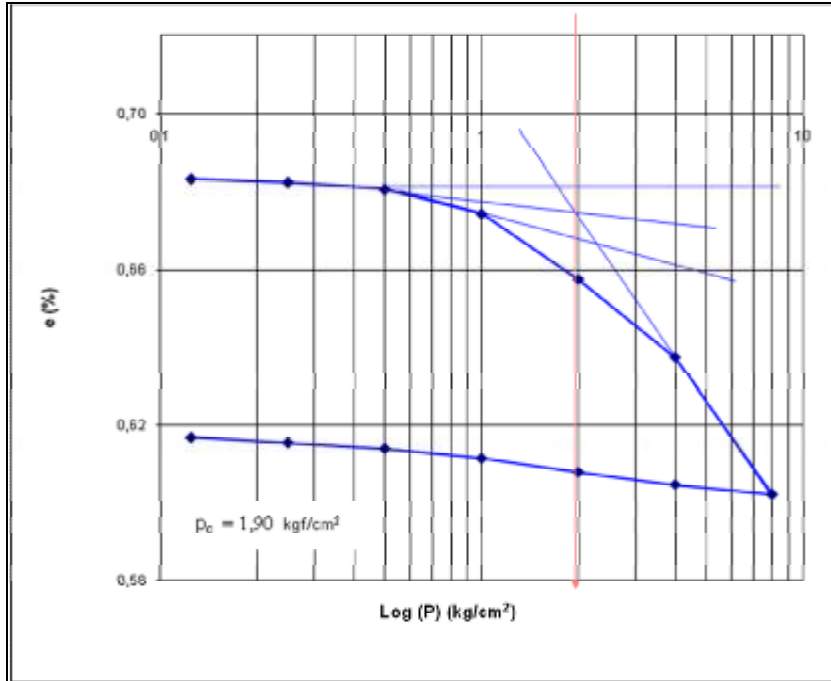
Uçucu kül katkısının proktor sıklığındaki örneklerin boşluk oranını artırdığı, uçucu kül katkısı ile permeabilite katsayısının yükselmesi sonucu sıkışmanın daha hızlı meydana geldiği görülmüştür.

Uçucu kül katkısı zeminin daha uzun süre bekleme ile oluşacak konsolidasyonunu hızlandırmış ve toplam konsolidasyon oturmasında azalma meydana gelmiştir. Elde edilen verilerden permeabilite kat sayıları hesaplanmıştır (Şekil 4.22., 4.23., 4.24.).

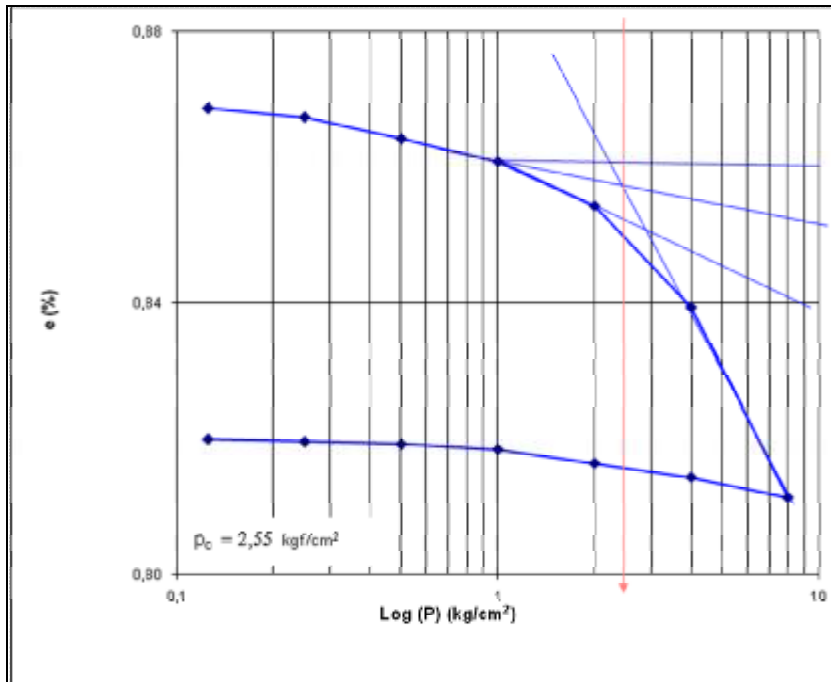
Uçucu kül katkısıyla permeabilitenin artışı nedeniyle oturma süreleri hızlanmıştır (Çizelge 4.21.). Artan uçucu kül katkısıyla örneklerin boşluk oranını artırdığı, permeabilitenin artışıyla konsolidasyonun daha hızlı oluştuğu, toplam konsolidasyon oturmasında azalma meydana geldiği belirlenmiştir(EK 8.). Kür süresi ile oturmaların azalacağı ve sıkışma özelliklerinde iyileşmenin oluşacağı açıktır.

Çizelge 4.21. Uçucu kül katkısıyla permeabilite değişimi

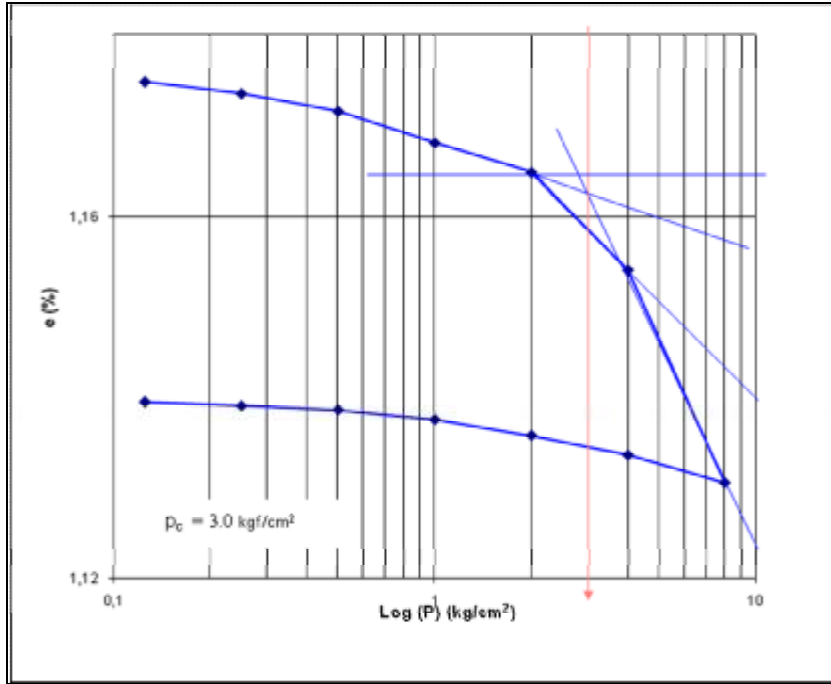
	Permeabilite katsayısı (k),	Konsolidasyon katsayısı (c _v),
Doğal zeminin	$7 \cdot 10^{-7}$ cm/sn	$1.168 \cdot 10^{-2}$ cm/sn
% 10 uçucu kül	$2,2 \cdot 10^{-8}$ cm/sn	$5,521 \cdot 10^{-3}$ cm/sn
% 20 uçucu kül	$6,726 \cdot 10^{-9}$ cm/sn	$3,363 \cdot 10^{-3}$ cm/sn



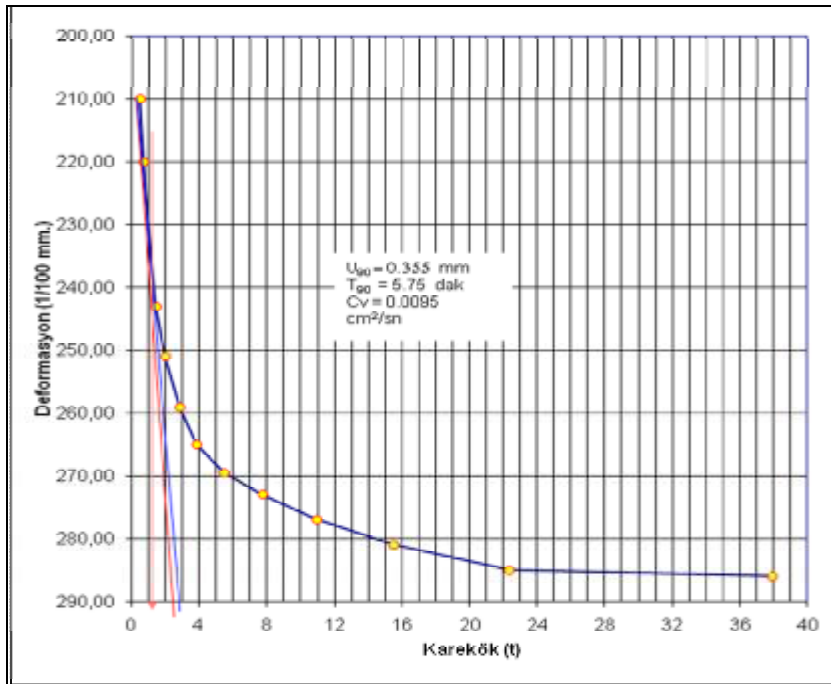
Şekil 4.19. Doğal zemin konsolidasyon grafiği



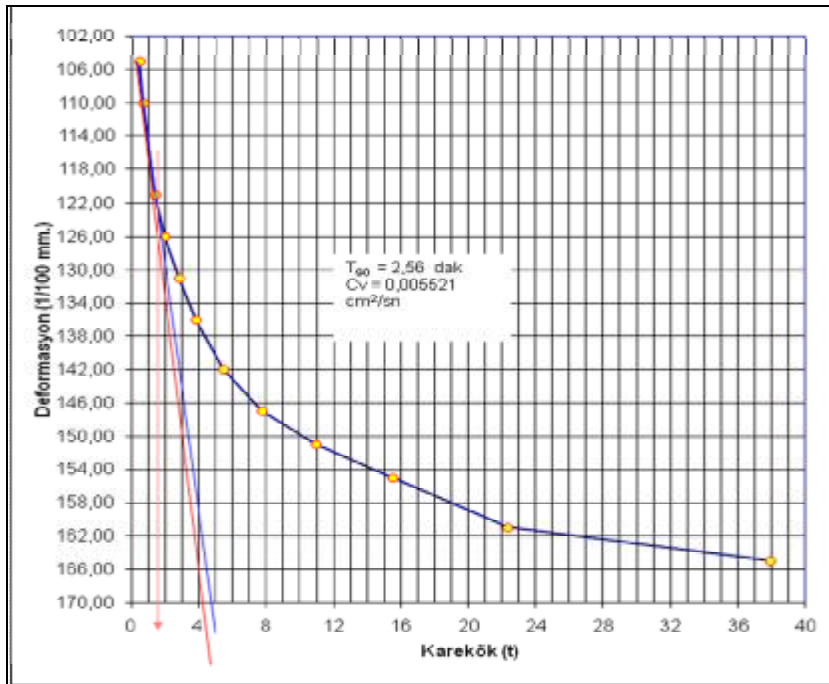
Şekil 4.20. %10 UK katkılı yapay zemin konsolidasyon grafiği



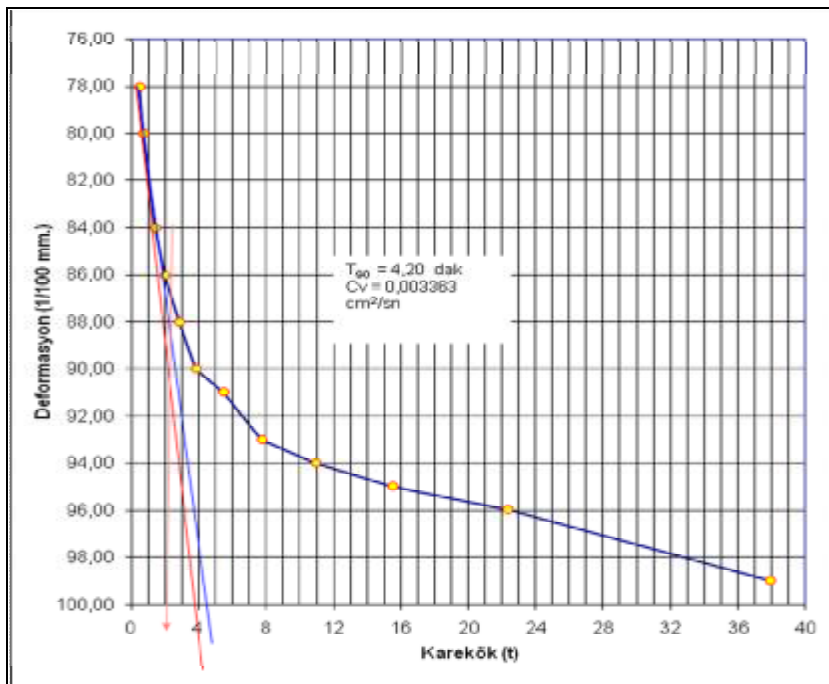
Şekil 4.21. %20 UK katkılı yapay zemin konsolidasyon grafiği



Şekil 4.22. Doğal zemin karekök t grafiği



Şekil 4.23. %10 UK katkılı yapay zemin karekök t grafiği



Şekil 4.24. %20 UK katkılı yapay zemin karekök t grafiği

5. SONUÇLAR

Uçucu küllerin zemin ıslahında kullanılmasının incelendiği çalışmada uçucu külün zemin iyileştirme malzemesi olarak kullanılması, zeminin fiziksel ve mühendislik özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Termik santrallerde ortaya çıkan uçucu kül miktarının her geçen gün artması ile uçucu külü atık olarak nitelendirerek depolamak yerine, yan ürün olarak değerlendirilmenin yollarını aramak zorunluluk haline gelmiştir. Uçucu külün özelliklerinin, zemin iyileştirme malzemesi olarak kullanımına olanak sağlanması ile nitelikleri yetersiz zeminin ekonomik olarak iyileştirmede kullanılması ve diğer kullanım alanlarının belirlenerek kullanımın artırılması depolanma ile oluşan çevre sorunlarını azaltmanın yanında termik santralin etkinliğini arttıracaktır.

Çalışmada zemine uçucu kül katkısıyla sağlanan iyileşme ve kür sürelerinin etkisi incelenerek uygun karışım oranları belirlenmiştir. Uçucu kül katkısının, zeminin jeoteknik özellikleri, kıvam limitleri, kompaksiyon, kayma mukavemeti, sıkışma özellikleri üzerindeki olumlu etkisi belirlenmiştir. Oluşan iyileşmenin nedenleri kimyasal ve mineralojik analizlerle araştırılmış ve konu aydınlatılmıştır.

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, kullanılan materyallerden uçucu kül Afşin Elbistan-B Termik Santralinden kil ise Osmaniye'nin doğusunda yer alan Alman Pınarı kil yataklarından temin edilmiştir. Afşin-Elbistan-B Termik Santrali uçucu külünün zemin stabilizasyonunda kullanılabilirliği deneysel olarak incelenmiştir.

Zemine katılan uçucu kül ilk anda likit limit ve plastik limit değerlerini arttırmaktadır. Plastisite indisi düşmektedir. Plastisite indisinin düşmesi işlenilebilirliği arttırmaktadır.

Kompaksiyon deneyi sonuçları literatürle karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışma literatürle uyum içerisindedir. Çalışmalardan elde edilen sonuca göre; zemine uçucu kül katkısı ile maksimum kuru birim hacim ağırlık değerini azaltmakta, optimum su muhtevasında ise artış meydana getirmektedir. Kuru birim hacim ağırlığı artan kompaksiyon enerjisi ile arttırılabilmektedir. Uçucu kül katkısı zeminin kompaksiyon özelliklerini iyileştirmektedir.

Uçucu kül katkısı ve kür süresinin artmasıyla içsel sürtünme açısı ve kohezyonda belirgin artış meydana gelmiştir. Kayma mukavemetin artmasında kohezyondaki artma daha etkindir.

Uçucu kül katkısıyla permeabilite katsayısı ve konsolidasyon katsayısı azalmıştır. Ön konsolidasyon basıncının artışı bize boşluk oranının azaldığını göstermektedir.

Gelecekte yapılacak çalışmalarda, zemin tipinin değiştirilmesi, farklı tipte uçucu küllerin kullanılması, uçucu külün miktarındaki değişim ile ilgili çeşitli araştırmalar yapılabilir. Bu araştırmalarda yapılan deneylerin dışındaki deneylerle sonuçlar geliştirilebilir. Ayrıca cüruf katarak zemin stabilizasyonu ile ilgili çeşitli çalışmalar yapmak mümkündür.

Tez çalışması neticesinde, Afşin – Elbistan Termik Santrali uçucu külünün zemin stabilizasyon çalışmalarında kullanılabileceği sonucuna varılmıştır

Ülkemizde atık olarak nitelendirilen ve büyük depolama masrafları yanında çevre kirliliğine yol açan bu malzemenin, Jeoteknik Mühendisliği uygulamalarında kullanılması ile diğer yapı malzemelerinden daha az kullanılarak ekonomik fayda sağlanacaktır. Ayrıca çevreye ve kamuya verilen zarar da azaltılmış olacaktır.

KAYNAKLAR

- AITCIN, P.C., 1986, AUTEFAGE, F., CARLES-GİBERGUES, A., 1986 et. al., “Comparative Study of the Cementitious Properties of Different Fly Ashes”, Proc. of 2nd Int. Conf. on Fly Ash, Silica Fume, Slag, and Natural Pozzolans in Concrete, Madrid, V. 1, 91-114.
- AKMAN, S., 1993, Ağrlık Barajlarında Uçucu Küllü Rolkrit Kullanımı, Endüstriyel Alıkların İnşaat Mühendisliğinde Kullanılması sempozyumu, TMMOB İnş. Müh. Odası. Ankara Şb., 9-22, Ankara.
- AKMAN, S., 1992, ESENLİ F., A Comparative Study of Natural Pozzolans Used in Blended Cement Produktion, IVr. Canmet/ACI İnt. Conf. Fly Ash., s 471-477, İstanbul.
- AKSOY, İ.H., 1992, Uçucu Külün Geoteknikte Kullanımı, ZMTM 4. Ulusal kongresi, İTÜ, s. 248-259, İstanbul.
- ALATAŞ, T., 1996, Afşin Elbistan Termik Santrali Uçucu Külünün Yol Stabilizasyonunda Çeşitli Maddelerle Birlikte Kullanımı Üzerine Bir Araştırma, Fırat Ün. Fen Bilimleri Enst., Doktora Tezi, 146 s., Elazığ.
- AMERİCAN COAL ASH ASSOCIATION, 2003, Fly Ash Facts for Highway Engineers, Federal Highway Administration
- ANON, 1986, Fly Ash Design Manual For Road and Site Applications, Volume 2, Slurried Placement: Electr Power Res İnst. Coal Combust Syst Dıv Rep. 200 p.
- ASADA, H., 1995, SUZİKİ K., TSUJİ, K., TEZUKA, M., KISHIDA, T., Evulation of Shear Strength and Liquefaction Potential of a Fly Ash Sedimeted Under Water, Earthquake Geotechnical Engineering, ed.: Ishirara Balkeme, Rotterdam, p. 363-368.
- ASTM C 618, 1991, Specification for Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for use as a mineral admixture in Portland Cement Concrete, ASTM.

- ATANUR, A., 1971, Uçucu Küllerin Kimyasal ve Fiziksel Vasıfları ve Yapı Malzemesi Olarak Kullanılması, Bayındırlık Bak., KGM. Yayınları, 219 s., Ankara.
- ATANUR, A., 1973, Kireç Stabilizasyonu ve Yol Yapımındaki Tatbikatı, Bayındırlık Bak., KGM yayınları, 180 s., Ankara,.
- ATİŞ, C.D., 2001, Uçucu Kül İçeren Silindirik Sıkıştırılabilir Betonların Özellikleri: Turkish Journal of Engineering & Environment Sciences, Vol. 25, No.5, pp.503 – 515.
- AYTEKİN, M., 2004, Deneysel Zemin Mekaniği. Teknik Yayınevi, Ankara, s.188-206.
- BALTA, İ., 1984, Doğu Karadeniz Bölgesi Topraklarının Çimento ve Kireçle Stabilizasyonu, KTÜ Fen Bil. Enstitüsü Doktora Tezi, 97 s., Trabzon.
- BAYAZIT, Ö.L., 1980, Tunçbilek Uçucu Küllerinin Betonun Fiziko – Kimyasal ve Mekanik Özelliklerine Etkileri, Doktora Tezi, Ankara.
- BHATTACHARJEE, U., KANDPAL, T.C., 2002, “Potential of Fly Ash Utilisation in India”, Energy, Cilt 27, No 2, 151-166.
- BÜYÜKÖNER, B., 1989, Properties of Compacted and Steam Cured Fly Ash Lime Masonryunits, Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ, 93 s., Ankara.
- CHU, S.C. and KAO, H.S., 1993, A Study of Engineering Properties of A Clay Modified By Fly Ash and Slag, Fly Ash for Soil Improvement, Geotechnical Special Publication, No:36, s. 89-100, Ed.:Sharp K.D., ASCE, Newyork.
- ÇAKIR, M., 1999, Uçucu Kül ile Zemin Stabilizasyonu, İTÜ. Fen Bil. Enst., Yük. Lisans Tezi, 73 s., İstanbul.
- ÇOKÇA, E., 1997, Frost Susceptibility Properties of Soma-B Fly Ash, Journal of Energy Engineering., Vol. 123, No: 1, 1-10.
- DAS, B. M., 1994, Principles of Geotechnical Engineering. PWS publishing Company, 3th ed, Boston, pp. 88-128.
- DİGİOIA A.M. and HUIZZO W.L., 1972, Fly Ash Structural Fiil, Journal of the Power Division, ASCE, Vol.98, No:P01, s. 77-93.
- EİE, 1979, Türkiye Uçucu Küllerinin Özellikleri ve Kullanım Özellikleri, E.İ.E Genel Yayın Direktörlüğü, Ankara.

- ENŞAN, A.,2008, Çukurova Bölgesindeki Kice Zengin Topraklar İle Terra Sigillata Astarlarının Araştırılarak Güncel Seramik Tasarımında Uygulanması, ÇÜ. Sosyal Bil. Enst., Yük. Lisans Tezi, 7342 s., Adana.
- ENV 197-1, 1994, Cement-Composition, Specifications and Conformity Criteria- Part 1: Common Cements, CEN.
- ERDİNÇ, M., Uçucu Küllü Betonlarda Dayanım ve Klor Geçirimsizliği, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 100 s., İstanbul, 1995.
- ERDOĞAN, T.Y., 1993, Atık Hammaddelerin İnşaat Endüstrisinde kullanımı Uçucu Kül ve Yüksek Fırın Cürufu, Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanımı Sempozyumu, s. 1-8, Ankara.
- ERDOĞAN, T.Y., 1997, Admixtures for Concrete Middle East Technical University, ISBN 975-479-113-6-188 s, Ankara.
- ERGUVANH, K., 1994, Mühendislik Jeolojisi, Seç Yayım Dağıtım, 590 s., İstanbul.
- ERGÜT, Ş., 1994, Seyitömer Termik Santral Atık Uçucu Küllerinin Sinterleşme Karakterizasyonu, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Y. Lisans TEZİ, 67 s., İstanbul.
- ERŞAN, H., 1996, Uçucu Küllerin Siltli Zeminlerin Kayma Mukavemeti Üzerine Etkisi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Y. Lisans Tezi, 75 s., İstanbul.
- FERGUSON, G., 1993, Use of Self-Cementing Fly Ashes As A Soil Stabilization Agent, Fly Ash for Soil Improvement, Geotechnical Special Publication, No:36, s. 1-15, Ed.:Sharp K.D., ASCE, Newyork.
- FİNCAN, P., 1996, Flowable Fiil Applications in Civil Engineering, Boğaziçi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enst, Yüksek Lisans Tezi, 152 s., İstanbul.
- GÖKÇE A., 1995, Farklı İnceliklerdeki Uçucu Küllerin Betondaki Performanslarının Karşılaştırılması, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Y. Lisans Tezi, 68 s., İstanbul.
- GRAY, D.H. and LİN, Y.K. 1972, Engineering Properties of Compacted Fly Ash, Journal of Soil Mechnanics and Foundations Division, ASCE, Vol.98, No.SM4, 361-380.
- GÜNAL, R.G. 1996, Uçucu Külün Zemin Stabilizasyonunda Kullanılması, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Y. Lisans Tezi, 76 s., İstanbul.

- HAMAMCI, R.B., 1991, Effect of Rubber, Carbon Black and Fly Ash on Physical Properties of Pavements, Boğaziçi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enst., Y. Lisans Tezi, 123., İstanbul.
- HAUSMANN, M.R., 1990, Engineering Principles of Ground Modification, International Edition 632 s.,Singapore.
- HELMUTH, K., 1987, Fly Ash in Cement Concrete, Portland Cement Association, Illinois, 135 s.
- HOLTZ, R.D. AND KOVACS, W.D., 1981, An Introduction to Geotechnical Engineering, Prentice-Hall Englewood Cliffs, 733 s., Newjersey.
- İLHAN, T., 1995, Sülfo Kalsik ve Siliko Kalsik Uçucu Küller İyileştirme ve Rolkritlerde Kullanımı, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Y. Lisans tezi , İstanbul.
- IMPE, W., 1989, Soil Improvement Techniques and their Evolution, AA Balkema, Rotterdam, 124 s.
- INDRANATRA, B., NUTALAYA, P., KOO, K.S. and KUGANENTHIRA, N., 1991, Engineering Behaviour of a Low Carbon, Puzzolonic Fly Ash and Its Potential as a Construction Fii., Canada Geotechnic Journal, 28, 542-555.
- INGLESS, O.G. and METCALF, J.B., 1972, Soil Stabilization Principles and Practice, Butterworths, 374 s., Sydney.
- INTRON, 1992, Fly Ash as Addition to Concrete Inst. for Mat. And Env. Research , A.A Balkema, 99 s., Rotterdam.
- JOSHÍ, R.C., DUNCAN, D.M. AND MCMASTER, H.M., 1975, New and Conventional Engineering Uses of Fly Ash, Transportation Engineering Journal ASCE, Vol. 101,TE4, s. 791-806, 19
- JOSHÍ, R.C. and NAGARAJ, T.S., 1987, Fly Ash Utilization for Soil Stabilization, Environmental Geotechnics and Problematic Soils and Rocks, Eds. Balusubramaniam et al., 77-93 Balkema Rotterdam.
- KAYABALI, K., 2002, Geoteknik Mühendisliğine Giriş (Çeviri). Gazi Kitapevi, s.723. Orjinal; Robert D. Holtz., William D. Kovacks., 1981. An Introduction to Geotechnical Engineering Practice, Prentice – Hall, Englewood Cliffs, p. 733.

- KESHAWARZ, M.S. and DUTTA, U, 1993, Stabilization of South Texas Soils with Fly Ash, Fly Ash for Soil Improvement, Geotechnical Special Publication, No: 36, s. 30-43, Ed.: Sharp K.D., ASCE, Newyork.
- LAMBE, T. V., 1958a, "The Structure of Compacted Clay," Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol. 84, No. SM2, 1654-1 to 1654-34.
- _____, T. V., 1958b, "The Engineering Behavior of Compacted Clay," Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol. 84, No. SM2, 1665-1 to 1665-35.
- LEDBETTER, W.B., 1981, "Is Lime or Fly Ash Available for Soil Stabilization, Teksas A.&M. University, Coilege Station, Civil Engineering Depanmant Press, Teksas.
- LEE, S.W. ve DUTTO, U., 1987 Improved Resilient Modulus Realized with Waste Products
- MAHER, M.H., BUTZIGER, D.L., DISALVO, D.L. and OWELS, I.S., 1993, Lime Sludge Amanded Fly Ash For Utilization as An Engineering Material, Fly Ash for Soil Improvement, Geotechnical Special Publication, No: 36, s. 73-89, Ed.: Sharp K.D., ASCE, Newyork.
- MARTÍN, J., COLLINS R, BROWNING J., and BIEHL F.J., 1990, Properties and Use of Fly Ashes For Embakments, Journal of Energy Engineering, Vol.1 16, No:2 , 71-86.
- MEHTA, P.K., 1986, Concrete- Structure, Properties, and Materials, Prentice-Hall, New Jersey.
- MEHTA, P.K., 1987, "Natural Puzzolans", Canmet/Supiementary Cementing Materials for Concrete,3-21.
- McMANIS, K., ve ARMAN, A., 1989, Class C Fly Ash As a Ful lor Partial Replacement for Portland Cement or Lime: Univ. Of New Orleans, New Orleans, USA, Transportation Research Record, p:68 – 81, Journal Article.
- MITCHELL, J. K., 1981, Soil Improvement, (State of the Art Report) X. Soil meehand Foundation Eng. Conferans., Stockholm.

- NİCHOLSON, P.O. and KASHYAP, V., 1993, Fly ash Stabilization of Tropic Hawaiian Soils, Fly Ash for Soil Improvement, Geotechnical Special Publication, No: 36, s. 15-30, Ed.: Sharp K.D., ASCE, Newyork.
- ÖNALP,A., 1983, İnşaat Mühendislerine Geoteknik Bilgisi. Cilt II Karadeniz Teknik Üniversitesi Yayın No: 3, Trabzon, 1225s.
- ÖNALP, A., 1997, Geoteknik Bilgisi I, Zeminler ve Mekaniği, Sakarya Ün. Y. No: 27, 440 s., Sakarya.
- ÖZBAYOĞLU, F., 1993, Uçucu Küllerin Bentonit, Kireç ve Çimento Katkılarıyla Kumlu Zeminlerin Stabilizasyonlarında Kullanımı, Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu, s. 103-118, Ankara.
- ÖZTEKİN, E., CİMİLLİ, T., 1987, “History and Use of Blended Cements in Turkey”, Cement, Concrete and Aggregates, Cilt 9, No 1, 44-48.
- ÖZTURAN, T., 1990, Uçucu Kül- Çimento Bulamaçlarının Dolgu Malzemesi Olarak Kullanılması, ZMTM 3. Ulusal Kongresi, Boğaziçi Ün., s. 373-386, İstanbul.
- PARKER, D.G., THORTON, S., CHENG, C.W., 1977, Permeability of Fly Ash Stabilized Soils, Proceeding of the Speciality Conference of the Geotechnical Eng. Division, ASCE Geotechnical Practise for Disposal of Solid Waste Materials, p.63-70, Michigan.
- PFA Information, 1974, Powergen Broch., Engiand.
- POSTACIOĞLU, B., 1986, Beton-Bağlayıcı Maddeler, Cilt 1, Teknik Kitaplar Yayınevi, İstanbul.
- SAVRAN, K.Z., 1988, Stabilization of Cohesive Soils With Fly Ash, ODTÜ, Y. Lisans Tezi, 62 s., Ankara.
- SEED, H. B., and CHAN, C. K., 1959, “Structure and Strength Characteristics of Compacted Clays,” Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol. 85, No. SM5, 87-128.
- SEVİM, U.K., 2003, Afşin – Elbistan Uçucu Külünün Beton ve Çimento Katkısı Olarak Kullanılabilirliğinin Çimento Hamuru ve Harçlarının Üzerinde Yapılacak Deneylerle Araştırılması, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

- TAN, O. ve İYİSAN R., 1996, Uçucu Kül ile Zemin Stabilizasyonu, ZMTM 6. Ulusal Kongresi, Dokuz Eylül Ün., s. 417-426, İzmir.
- TEAŞ, 2000, 'Faliyet Raporu', Ankara.
- TOKYAY, M., 1987, Effect of a High-Calcium and a Low-Calcium Fly Ash on the Properties of Portland Cement-Fly Ash Pastes and Mortars, Doktora Tezi, ODTÜ.
- TOKYAY, M., 1989, Uçucu Küllerin Mineralojik Kompozisyonlarının Efidratasyon ve Puzolonik Reaksiyona Etkileri, İnş Müh. X. Teknik Kongre, Cilt 1., s. 389-401, Ankara.
- TOKYAY, M., 1993, "Betonda Uçucu Kül Kullanımı", Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanımı Sempozyumu, Ankara.
- TOKYAY, M., ERDOĞDU, K., 1998, Türkiye Termik Santrallerinden Elde Edilen Uçucu Küllerin Karakterizasyonu, TÇMB, Ankara,
- TOROS, H., 1987, Afşin Elbistan Termik Santrali Uçucu Küllerinin Yapı Malzemesi olarak Kullanılması, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yük. Lisans Tezi, 117 s., İstanbul.
- TSE, 1987, İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri, TSE 1900, Ankara.
- TSE, 1975, Uçucu Küller Standartı TSE 639.
- TSE, 1975, Uçucu Küllü Çimento, TSE 640.
- TS EN 450, 1998, Uçucu Kül - Betonda kullanılan -Tarifler, Özellikler ve Kalite Kontrolü, TSE, Ankara.
- TS EN 451-1, 2000, Uçucu Kül - Deney Metotları -Bölüm 1: Serbest Kalsiyum Oksit Tayini, TSE, Ankara.
- TS EN 451-2, 2000, Uçucu Kül - Deney Metodu -Bölüm 2: Islak Eleme ile İncelik Tayini, TSE, Ankara.
- TS EN 197-1, 2002, Çimento - Bölüm 1: Genel Çimentolar - Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, TSE, Ankara.
- TSONİS, P., CHRİSTOULAS, S., KOLİAS, S., 1983, Soil Improvement with Coal Ash in Road Construction, Helsinki, 964 s.

- TUĞAL, M., 1989, Uçucu Küllerden Tuğla Tipi Bir Yapı Malzemesinin elde Edilmesi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- TUNÇ, A., 2001, Yol Malzemeleri ve Uygulamaları. Atlas Yayın Dağıtım, İstanbul, 840s.
- TUNÇ, A., 2002, Yol Mühendisliğinde Geoteknik ve Uygulamaları. Atlas Yayın Dağıtım, İstanbul, 912s.
- URAL, S., 2005, Comparison of fly ash properties from Afsin-Elbistan coal basin, Turkey, Journal of Hazardous Materials, B119, 85-92.
- USMEN, M., BOWDERS, I, GİDLEY I, 1987, Stabilized Fly Ash Use As Low-Permeability Barriers, Geotechnical Special Publication. No: 13, ASCE. Newyork.
- UYŞAL, F., 1987, Geotechnical Properties of The Fly- Ashes Produced In Thermal Plants In* Turkey, ODTÜ Fen Bilimleri Enst. Y. Lisans Tezi, 55 s., Ankara.
- UZUNER, B., 2000, Temel Mühendisliğine Giriş. Derya Kitabevi, Trabzon, 205s.
- _____, B., 2000, Çözümlü Problemlerle Temel Zemin Mekaniği. Teknik Yayınevi, Mühendislik & Mimarlık Yayınları, Ankara., 376s.
- VERMA, C.L., HANDA, S.K., JAİN, S.K., et. al., 1998, "Techno-commercial Perspective Study for Sintered Fly Ash Lightweight Aggregates in India", Construction and Building Materials, Cilt 12, No 6-7, 341-346.
- WASTİ, Y., 1990, Uçucu Küllerin Geoteknik Özellikleri ve Kullanım Olanakları, İMO Teknik Dergi, Cilt: 1, Sayı: 4, s. 177-188 , Ankara.
- WASTİ, Y., 1993, Uçucu Küllerin Geoteknik Uygulamalarda Kullanımı, Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu, s. 37-44, Ankara.
- YAZICI, Ş., 1991, Stabilization Characteristics of Claas C Fly Ash, DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 57 s., İzmir.
- YILDIRIM, S., 2002, Zemin İncelenmesi ve Temel Tasarımı. Birsen Yayınevi, 446 s., İstanbul.
- YILMAZ, H., 1987, Kil Mineralleri, Dokuz Eylül Üniversitesi, Müh. Mim. Fak., MM/Geo-87 EY 39, 68 s., İzmir.

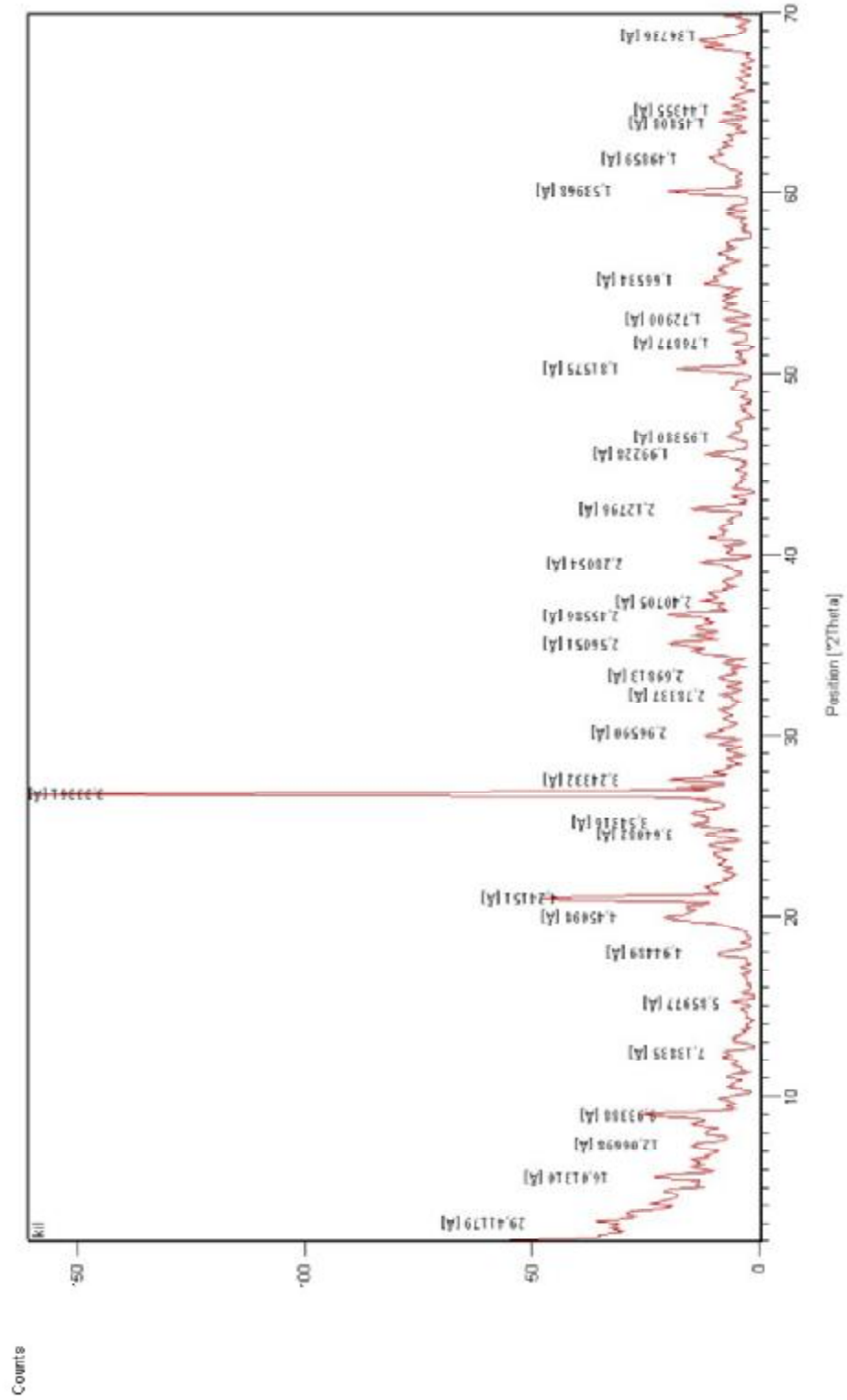
YILMAZ, Ő., 1992, Seyitömer Termik Santral Atık Uçucu Küllerinin Yapı Malzemesi Olarak Değerlendirilmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Y.Lisans Tezi, İstanbul.

ÖZGEÇMİŞ

1982 yılında Ankara'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Ankara'da tamamladı. 2000 yılında Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde lisans öğrenimine başladı. 2002 yılında Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'ne yatay geçiş yaptı. 2005 yılı Haziran ayında aynı fakülteden Jeoloji Mühendisi olarak mezun oldu. 2005-2006 öğrenim yılı güz döneminde Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Uygulamalı Jeoloji Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı. Halen aynı bölümde öğrenimine devam etmektedir.

EKLER

Ek 1. Almanpınarı Kili XRD pikleri



Ek 3. Doğal zemin, uçucu kül, %10 ve %20 uçucu kül katkılı örneklerin özgül ağırlık verileri

Ek 3.1. Doğla zemin özgül ağırlık verileri

Deney No	örnek (m)	Şişe No	Sıcaklık °C	Kuru numune Ağırlığı W1 (g)	Su+şişe Ağırlığı W2 (g)	Su+şişe+Numune Ağırlığı W3 (g)	Tane birim Hacim ağırlık g_{st} (g/cm ³)	Ort.tane birim hacim ağırlık g_{st} (g/cm ³)
1	KİL	1	19	50	336,30	368,17	2,758	2,761
2	KİL	1	19	50	336,30	368,19	2,761	
3	KİL	1	19	50	336,3	368,22	2,765	

Ek 3.2. %10 UK katkılı örneğin özgül ağırlık verileri

Deney No	örnek (m)	Şişe No	Sıcaklık °C	Kuru numune Ağırlığı W1 (g)	Su+şişe Ağırlığı W2 (g)	Su+şişe+Numune Ağırlığı W3 (g)	Tane birim Hacim ağırlık g_{st} (g/cm ³)	Ort.tane birim hacim ağırlık g_{st} (g/cm ³)
1	%10 UK	1	19	50	336,48	368,32	2,753	2,749
2	%10 UK	1	19	50	336,48	368,26	2,744	
3	%10 UK	1	19	50	336,49	367,58	2,644	

Ek 3.3. %20 UK katkılı örneğin özgül ağırlık verileri

Deney No	örnek (m)	Şişe No	Sıcaklık °C	Kuru numune Ağırlığı W1 (g)	Su+şişe Ağırlığı W2 (g)	Su+şişe+Numune Ağırlığı W3 (g)	Tane birim Hacim ağırlık g_{st} (g/cm ³)	Ort.tane birim hacim ağırlık g_{st} (g/cm ³)
1	%20UK	1	18	50	336,50	368,35	2,755	2,741
1	%20UK	1	18	50	336,50	368,30	2,747	
1	%20UK	1	18	50	336,50	368,13	2,722	

Ek 3.4. Uçucu kül özgül ağırlık verileri

-4[#] No (Toprak,kum) Özgül ağırlığı (g_{st})

Deney No	örnek (m)	Şişe No	Sıcaklık °C	Kuru numune Ağırlığı W1 (g)	Su+şişe Ağırlığı W2 (g)	Su+şişe+Numune Ağırlığı W3 (g)	Tane birim Hacim ağırlık g_{st} (g/cm ³)	Ort.tane birim hacim ağırlık g_{st} (g/cm ³)
1	UK	1	18	50	336,27	367,68	2,690	2,668
2	UK	1	18	50	336,23	367,42	2,658	
3	UK	1	18	50	336,45	367,63	2,657	

Ek 4. Doğal zemin, uçucu kül, %10 ve %20 uçucu kül katkılı örneklerin tane boyu analiz verileri

Ek 4.1. Doğal zeminin hidrometre analiz verileri

Saat	Geçen Zaman t (dak)	R=1000 (r-1)	R _w =1000 (r _w -1)	Sıcaklık C ⁰	R-R _w	N %	Zr (cm)	ÖZ r/t	D (mm)	N' %
-	0,25	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10:00	0,5	33,0	2,0	18,0	31,0	97,2	10,6	4,60	0,062	88,1
10:01	1	32,5	2,0	18,0	30,5	95,6	10,9	3,30	0,045	86,7
10:02	2	31,5	2,0	18,0	29,5	92,5	11,2	2,37	0,032	83,9
10:05	5	30,5	2,0	18,0	28,5	89,4	9,7	1,39	0,019	81,0
10:10	10	29,5	2,0	18,0	27,5	86,2	10,0	1,00	0,014	78,2
10:20	20	27,5	2,0	18,0	25,5	80,0	10,5	0,72	0,010	72,5
10:40	40	26,0	2,0	18,0	24,0	75,3	10,9	0,52	0,007	68,2
11:00	60	24,5	2,0	18,0	22,5	70,5	11,3	0,43	0,006	64,0
12:00	120	23,0	2,0	18,0	21,0	65,8	11,7	0,31	0,004	59,7
10:00	1440	16,0	2,0	18,0	14,0	43,9	13,6	0,10	0,001	39,8

Ek 4.2. %10 UK katkılı yapay zemin hidrometre analiz verileri

Saat	Geçen Zaman t (dak)	R=1000 (r-1)	R _w =1000 (r _w -1)	Sıcaklık C ⁰	R-R _w	N %	Zr (cm)	ÖZ r/t	D (mm)	N' %
	0,25	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10:00	0,5	33,0	2,0	18,0	31,0	97,5	10,6	4,60	0,062	86,9
10:01	1	32,0	2,0	18,0	30,0	94,3	11,0	3,32	0,045	84,1
10:02	2	30,5	2,0	18,0	28,5	89,6	11,4	2,39	0,032	79,9
10:05	5	28,5	2,0	18,0	26,5	83,3	10,2	1,43	0,019	74,3
10:10	10	26,0	2,0	18,0	24,0	75,4	10,9	1,04	0,014	67,2
10:20	20	23,5	2,0	18,0	21,5	67,6	11,6	0,76	0,010	60,2
10:40	40	20,5	2,0	18,0	18,5	58,2	12,4	0,56	0,008	51,8
11:00	60	19,5	2,0	18,0	17,5	55,0	12,6	0,46	0,006	49,0
12:00	120	17,0	2,0	18,0	15,0	47,2	13,3	0,33	0,004	42,0
10:00	1440	10,0	2,0	18,0	8,0	25,1	15,2	0,10	0,001	22,4

Ek 4.3. %20 UK katkılı yapay zemin hidrometre analiz verileri

Saat	Geçen Zaman t (dak)	R=1000 (r-1)	R _w =1000 (r _w -1)	Sıcaklık C ⁰	R-R _w	N %	Zr (cm)	ÖZ r/t	D (mm)	N' %
-	0,25	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10:00	0,5	33,0	2,0	18,0	31,0	97,6	10,6	4,60	0,062	86,4
10:01	1	31,0	2,0	18,0	29,0	91,3	11,3	3,36	0,045	80,9
10:02	2	29,0	2,0	18,0	27,0	85,0	11,8	2,43	0,033	75,3
10:05	5	25,0	2,0	18,0	23,0	72,4	11,2	1,50	0,020	64,1
10:10	10	22,5	2,0	18,0	20,5	64,5	11,8	1,09	0,015	57,2
10:20	20	19,5	2,0	18,0	17,5	55,1	12,6	0,79	0,011	48,8
10:40	40	16,0	2,0	18,0	14,0	44,1	13,6	0,58	0,008	39,0
11:00	60	15,5	2,0	18,0	13,5	42,5	13,7	0,48	0,006	37,6
12:00	120	13,0	2,0	18,0	11,0	34,6	14,4	0,35	0,005	30,7
10:00	1440	5,5	2,0	18,0	3,5	11,0	16,4	0,11	0,001	9,8

Ek 4.4. Uçucu Kül hidrometre analiz verileri

Saat	Geçen Zaman t (dak)	R=1000 (r-1)	R _w =1000 (r _w -1)	Sıcaklık C ⁰	R-R _w	N %	Zr (cm)	ÖZ r/t	D (mm)	N' %
-	0,25	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10:00	0,5	35,0	2,0	18,0	33,0	105,6	9,6	4,38	0,059	81,8
10:01	1	33,0	2,0	18,0	31,0	99,2	10,6	3,26	0,044	76,8
10:02	2	30,0	2,0	18,0	28,0	89,6	11,6	2,41	0,033	69,4
10:05	5	5,0	2,0	18,0	3,0	9,6	16,6	1,82	0,025	7,4
10:10	10	4,0	2,0	18,0	2,0	6,4	16,8	1,30	0,017	5,0
10:20	20	3,0	2,0	18,0	1,0	3,2	17,1	0,92	0,012	2,5
10:40	40	3,0	2,0	18,0	1,0	3,2	17,1	0,65	0,009	2,5
11:00	60	3,0	2,0	18,0	1,0	3,2	17,1	0,53	0,007	2,5
12:00	120	3,0	2,0	18,0	1,0	3,2	17,1	0,38	0,005	2,5
10:00	1440	3,0	2,0	18,0	1,0	3,2	17,1	0,11	0,001	2,5

Ek 4.5. Doğal zeminin elek analiz verileri

1	2	3	4	5	6
ELEK NO	ELEK AÇIKLIĞI (mm)	ELEKTE KALAN (gr)	KALAN %	TOPLAM KALAN %	TOPLAM GEÇEN %
3"	76,2	0	0,00	0,00	100,00
1 1/2"	38,1	0	0,00	0,00	100,00
¾	19,1	0	0,00	0,00	100,00
3/8	9,52	0	0,00	0,00	100,00
4 No	4,76	0	0,00	0,00	100,00
10 No	2,38	0,51	0,51	0,51	99,49
16 No	1,19	1,21	1,21	1,72	98,28
30 No	0,59	1,66	1,66	3,38	96,62
50 No	0,297	1,76	1,76	5,14	94,86
100 No	0,149	2,26	2,26	7,40	92,60
200 No	0,074	1,92	1,92	9,32	90,68

Ek 4.6. %10 UK katkılı örneğin elek analizi verileri

1	2	3	4	5	6
ELEK NO	ELEK AÇIKLIĞI (mm)	ELEKTE KALAN (gr)	KALAN %	TOPLAM KALAN %	TOPLAM GEÇEN %
3"	76,2	0	0,00	0,00	100,00
1 1/2"	38,1	0	0,00	0,00	100,00
¾	19,1	0	0,00	0,00	100,00
3/8	9,52	0	0,00	0,00	100,00
4 No	4,76	0	0,00	0,00	100,00
10 No	2,38	0,68	0,68	0,68	99,32
16 No	1,19	0,87	0,87	1,55	98,45
30 No	0,59	1,51	1,51	3,06	96,94
50 No	0,297	2,06	2,06	5,12	94,88
100 No	0,149	2,98	2,98	8,10	91,90
200 No	0,074	2,77	2,77	10,87	89,13

Ek 4.7. %20 UK katkı örneğın elek analiz verileri

ELEK NO	ELEK AÇIKLIĞI (mm)	ELEKTE KALAN (gr)	KALAN %	TOPLAM KALAN %	TOPLAM GEÇEN %
3"	76,2	0	0,00	0,00	100,00
1 1/2"	38,1	0	0,00	0,00	100,00
¾	19,1	0	0,00	0,00	100,00
3/8	9,52	0	0,00	0,00	100,00
4 No	4,76	0	0,00	0,00	100,00
10 No	2,38	0,44	0,44	0,44	99,56
16 No	1,19	0,77	0,77	1,21	98,79
30 No	0,59	1,28	1,28	2,49	97,51
50 No	0,297	2,22	2,22	4,71	95,29
100 No	0,149	3,52	3,52	8,23	91,77
200 No	0,074	3,21	3,21	11,44	88,56

Ek 4.8. Uçucu Kül elek analiz verileri

ELEK NO	ELEK AÇIKLIĞI (mm)	ELEKTE KALAN (gr)	KALAN %	TOPLAM KALAN %	TOPLAM GEÇEN %
3"	76,2	0	0,00	0,00	100,00
1 1/2"	38,1	0	0,00	0,00	100,00
¾	19,1	0	0,00	0,00	100,00
3/8	9,52	0	0,00	0,00	100,00
4 No	4,76	0	0,00	0,00	100,00
10 No	2,38	0	0,00	0,00	100,00
16 No	1,19	0	0,00	0,00	100,00
30 No	0,59	0,61	0,61	0,61	99,39
50 No	0,297	2,8	2,80	3,41	96,59
100 No	0,149	8,76	8,76	12,17	87,83
200 No	0,074	10,34	10,34	22,51	77,49

Ek 5.Doğal zemin, % 10 ve %20 uçucu kül katkılı örneklerin kıvam limit verileri

Ek 5.1. Doğal zeminin likit limit verileri

Likit Limit	1	2	3	4
Kap No	67	8	44	13
Darbe Adedi	47	36	25	16
Yaş Numunu+Kap (gr)	17,13	20,94	17,21	20,65
Kuru Numunu+Kap (gr)	14,64	18,21	14,56	17,84
Su Miktarı (gr)	2,49	2,73	2,65	2,81
Kap (gr)	7,49	10,64	7,54	10,76
Kuru Numunu (gr)	7,15	7,57	7,02	7,08
Su İçeriği %	34,8	36,1	37,7	39,7

Ek 5.2. %10 UK katkılı örneğin likit limit verileri

Likit Limit	1	2	3	4
Kap No	59	14	43	21
Darbe Adedi	28	23	17	12
Yaş Numunu+Kap (gr)	17,51	19,66	16,58	20,36
Kuru Numunu+Kap (gr)	15,01	17,04	14,3	17,53
Su Miktarı (gr)	2,5	2,62	2,28	2,83
Kap (gr)	8,91	10,82	9,06	11,24
Kuru Numunu (gr)	6,1	6,22	5,24	6,29
Su İçeriği %	41,0	42,1	43,5	45,0

Ek 5.3. %20 UK katkılı örneğin likit limit verileri

Likit Limit	1	2	3	4
Kap No	9	31	12	48
Darbe Adedi	38	31	24	17
Yaş Numunu+Kap (gr)	21,54	17,98	21,37	19,07
Kuru Numunu+Kap (gr)	18,4	15,79	18,26	16,59
Su Miktarı (gr)	3,14	2,19	3,11	2,48
Kap (gr)	10,64	10,42	10,96	10,94
Kuru Numunu (gr)	7,76	5,37	7,3	5,65
Su İçeriği %	40,5	40,8	42,6	43,9

Ek 5.4. Doğal zeminin plastik limit verileri

Plastik Limit	1	2
Kap No	12	48
Yaş Numunu+Kap (gr)	13,4	13,86
Kuru Numunu+Kap (gr)	13,19	13,64
Su Miktarı (gr)	0,21	0,22
Kap (gr)	12,05	12,43
Kuru Numunu (gr)	1,14	1,21
Su İçeriği %	18,42	18,18
Ortalama Su İçeriği %	18,3	

Ek 5.5. %10 UK katkılı örneğin plastik limit verileri

Plastik Limit	1	2
Kap No	62	16
Yaş Numunu+Kap (gr)	10,16	13,14
Kuru Numunu+Kap (gr)	9,92	12,88
Su Miktarı (gr)	0,24	0,26
Kap (gr)	9,03	12,02
Kuru Numunu (gr)	0,89	0,86
Su İçeriği %	26,97	30,23
Ortalama Su İçeriği %	28,6	

Ek 5.6. %20 UK katkılı örneğin plastik limit verileri

Plastik Limit	1	2
Kap No	4	34
Yaş Numunu+Kap (gr)	11,46	8,26
Kuru Numunu+Kap (gr)	11,26	8,1
Su Miktarı (gr)	0,2	0,16
Kap (gr)	10,56	7,57
Kuru Numunu (gr)	0,7	0,53
Su İçeriği %	28,57	30,19
Ortalama Su İçeriği %	29,4	

Ek 6. Doğal zemin, % 10 ve %20 uçucu kül katkılı örneklerin Kompaksiyon verileri

Ek 6.1. Doğal zeminin kompaksiyon verileri

%00 UK								
Deney No	Mold	Mold+Yağ	Mold+Yn	Y. N.	Kuru N.	Su İçeriği g	Su İçeriği (%)	Kbha
1	1665	1665,2	3577,7	1912,5	1591,9	320,60	20,14	1,67
2	1665	1665,2	3566,5	1901,3	1578,3	323,00	20,47	1,65
3	1665	1665,2	3461,1	1795,9	1457,6	338,30	23,21	1,53
4	1665	1665,2	3535,6	1870,4	1585,1	285,30	18,00	1,66
5	1665	1665,2	3521,1	1855,9	1522,6	333,30	21,89	1,59
6	1665	1665,2	3461,1	1795,9	1446,9	349,00	24,12	1,51
7	1665	1665,2	3293	1627,8	1410,3	217,50	15,42	1,48
8	1665	1665,2	3456,6	1791,4	1527,3	264,10	17,29	1,60
9	1665	1665,2	3383,2	1718	1472,2	245,80	16,70	1,54
10	1665	1665,2	3463,9	1798,7	1532,5	266,20	17,37	1,60

Ek 6.2. %10 UK örneğin kompaksiyon verileri

%10 UK								
deney no	mold	mold+yağ	mold+yn	Y. N.	Kuru N.	Su İçeriği gr	Su İçeriği(%)	KBHA
1	1665	1665,2	3177,53	1512,33	1261,33	251,00	19,90	1,32
2	1665	1665,2	3114,58	1449,38	1223,7	225,68	18,44	1,28
3	1665	1665,2	3052,09	1386,89	1175,33	211,56	18,00	1,23
4	1665	1665,2	3330,89	1665,69	1366,44	299,25	21,90	1,43
5	1665	1665,2	3247,59	1582,39	1318,66	263,73	20,00	1,38
6	1665	1665,2	3330,38	1665,18	1309,1	356,08	27,20	1,37
7	1665	1665,2	3170	1804,8	1184,88	619,92	52,32	1,24
8	1665	1665,2	3174,87	1509,67	1165,77	343,90	29,50	1,22
9	1665	1665,2	3154,81	1489,61	1137,11	352,5	31,00	1,19

Ek 6.3. %20 UK örnek kompaksiyon verileri

20%								
deney no	mold	mold+yağ	mold+yaş.num	Y. N.	Kuru N.	Su İçeriği gr	Su İçeriği(%)	KBHA
1	1665	1665,2	2937,04	1271,84	1051,11	220,73	21,00	1,10
2	1665	1665,2	2984,68	1319,48	1079,77	239,71	22,20	1,13
3	1665	1665,2	3122,41	1457,21	1165,77	291,44	25,00	1,22
4	1665	1665,2	3218,54	1553,34	1213,55	339,79	28,00	1,27
5	1665	1665,2	3246,4	1581,2	1194,44	386,76	32,38	1,25
6	1665	1665,2	3222,62	1557,42	1156,22	401,20	34,70	1,21
7	1665	1665,2	3227,33	1562,13	1165,77	396,36	34,00	1,22
8	1665	1665,2	3147,45	1482,25	1070,22	412,03	38,50	1,12

Ek 7. Doğal zemin , %10 ve %20 uçucu kül katkılı örnekleri üç eksenli basın deney verileri

Ek 7.1. Doğal zeminin üç eksenli basınç deney verileri

Kalibrasyon Katsayısı	Boy Kısalması	L ₀ (cm)	ε	Alan (cm ²)	Kuvvet Halkası	P/A (kPa)	L ₀ (cm)	ε	Alan (cm ²)	Kuvvet Halkası	P/A (kPa)	L ₀ (cm)	ε	Alan (cm ²)	Kuvvet Halkası	P/A (kPa)
1	0	7,60	0	11,34	0	0	7,60	0	11,34	0	0	7,60	0	11,34	0	0
1	10	7,60	0,0013	11,36	14	121	7,60	0,0013	11,36	17	147	7,60	0,0013	11,36	21	181
1	20	7,60	0,0026	11,37	20	172	7,60	0,0026	11,37	21	181	7,60	0,0026	11,37	25	216
1	30	7,60	0,0039	11,39	23	198	7,60	0,0039	11,39	24	207	7,60	0,0039	11,39	29	250
1	40	7,60	0,0053	11,40	25	215	7,60	0,0053	11,40	26	224	7,60	0,0053	11,40	31	267
1	50	7,60	0,0066	11,42	27	232	7,60	0,0066	11,42	28	241	7,60	0,0066	11,42	33	283
1	60	7,60	0,0079	11,43	31	266	7,60	0,0079	11,43	30	257	7,60	0,0079	11,43	38	326
1	70	7,60	0,0092	11,45	34	291	7,60	0,0092	11,45	33	283	7,60	0,0092	11,45	42	360
1	80	7,60	0,0105	11,46	36	308	7,60	0,0105	11,46	36	308	7,60	0,0105	11,46	44	376
1	90	7,60	0,0118	11,48	39	333	7,60	0,0118	11,48	37	316	7,60	0,0118	11,48	47	402
1	100	7,60	0,0132	11,49	41	350	7,60	0,0132	11,49	39	333	7,60	0,0132	11,49	49	418
1	110	7,60	0,0145	11,51	43	366	7,60	0,0145	11,51	41	349	7,60	0,0145	11,51	52	443
1	120	7,60	0,0158	11,52	46	391	7,60	0,0158	11,52	45	383	7,60	0,0158	11,52	56	477
1	130	7,60	0,0171	11,54	48	408	7,60	0,0171	11,54	48	408	7,60	0,0171	11,54	59,0	501
1	140	7,60	0,0184	11,55	51	433	7,60	0,0184	11,55	50,0	424	7,60	0,0184	11,55	62,0	526
1	150	7,60	0,0197	11,57	54	458	7,60	0,0197	11,57	52,0	441	7,60	0,0197	11,57	64,0	543
1	160	7,60	0,0211	11,59	55,0	466	7,60	0,0211	11,59	54	457	7,60	0,0211	11,59	68,0	576
1	170	7,60	0,0224	11,60	57	482	7,60	0,0224	11,60	56	473	7,60	0,0224	11,60	70	592
1	180	7,60	0,0237	11,62	59	498	7,60	0,0237	11,62	58,0	490	7,60	0,0237	11,62	71,0	599
1	190	7,60	0,0250	11,65	60	505	7,60	0,0250	11,65	60,0	505	7,60	0,0250	11,65	73,0	615
1	200	7,60	0,0263	11,68	61	512	7,60	0,0263	11,68	61,0	512	7,60	0,0263	11,68	74,0	621
1	210	7,60	0,0276	11,71	62	519	7,60	0,0276	11,71	63,0	528	7,60	0,0276	11,71	76,0	637
1	220	7,60	0,0289	11,74	62	518	7,60	0,0289	11,74	61,0	510	7,60	0,0289	11,74	78,0	652
1	230	7,60	0,0303	11,77		0	7,60	0,0303	11,77	66,0	550	7,60	0,0303	11,77	79,0	658
1	240	7,60	0,0316	11,80		0	7,60	0,0316	11,80	67,0	557	7,60	0,0316	11,80	80,0	665
1	250	7,60	0,0329	11,84		0	7,60	0,0329	11,84	68,0	563	7,60	0,0329	11,84	81,0	671
1	260	7,60	0,0342	11,87		0	7,60	0,0342	11,87	70,0	578	7,60	0,0342	11,87	82,0	678
1	270	7,60	0,0355	11,90		0	7,60	0,0355	11,90	70,0	577	7,60	0,0355	11,90	83,0	684
1	280	7,60	0,0368	11,93		0	7,60	0,0368	11,93	70,0	575	7,60	0,0368	11,93	83,0	682
1	290	7,60	0,0382	11,96		0	7,60	0,0382	11,96		0	7,60	0,0382	11,96		0

Ek 7.2. %10 UK katkılı yapay zemin üç eksenli basınç deney verileri

Ek 7.2.1. %10 UK katkılı yapay zemin 1 günlük üç eksenli basınç deney verileri

Kalibrasyon Katsayısı	Boy Kısalması	L ₀ (cm)	e	Alan (cm ²)	Kuvvet Halkası	P/A (kPa)	L ₀ (cm)	e	Alan (cm ²)	Kuvvet Halkası	P/A (kPa)	L ₀ (cm)	e	Alan (cm ²)	Kuvvet Halkası	P/A (kPa)
1	0	7,60	0	11,34	0	0	7,60	0	11,34	0	0	7,60	0	11,34	0	0
1	10	7,60	0,0013	11,36	14	123	7,60	0,0013	11,36	16	135	7,60	0,0013	11,36	18	156
1	20	7,60	0,0026	11,37	23	196	7,60	0,0026	11,37	28	245	7,60	0,0026	11,37	25	214
1	30	7,60	0,0039	11,39	28	239	7,60	0,0039	11,39	38	324	7,60	0,0039	11,39	31	265
1	40	7,60	0,0053	11,40	32	275	7,60	0,0053	11,40	42	360	7,60	0,0053	11,40	34	288
1	50	7,60	0,0066	11,42	34	289	7,60	0,0066	11,42	45	384	7,60	0,0066	11,42	36	311
1	60	7,60	0,0079	11,43	39	331	7,60	0,0079	11,43	50	426	7,60	0,0079	11,43	40	345
1	70	7,60	0,0092	11,45	41	353	7,60	0,0092	11,45	53	456	7,60	0,0092	11,45	43	367
1	80	7,60	0,0105	11,46	45	381	7,60	0,0105	11,46	55	468	7,60	0,0105	11,46	46	390
1	90	7,60	0,0118	11,48	46	395	7,60	0,0118	11,48	56	479	7,60	0,0118	11,48	48	406
1	100	7,60	0,0132	11,49	48	409	7,60	0,0132	11,49	57	485	7,60	0,0132	11,49	49	417
1	110	7,60	0,0145	11,51	49	415	7,60	0,0145	11,51	58	490	7,60	0,0145	11,51	52	440
1	120	7,60	0,0158	11,52	50	422	7,60	0,0158	11,52	58	495	7,60	0,0158	11,52	53	450
1	130	7,60	0,0171	11,54	50	428	7,60	0,0171	11,54	59	501	7,60	0,0171	11,54	54	461
1	140	7,60	0,0184	11,55	50	428	7,60	0,0184	11,55	59	500	7,60	0,0184	11,55	56	472
1	150	7,60	0,0197	11,57	50	420	7,60	0,0197	11,57	58	494	7,60	0,0197	11,57	57	483
1	160	7,60	0,0211	11,59		0	7,60	0,0211	11,59		0	7,60	0,0211	11,59	58	493
1	170	7,60	0,0224	11,60		0	7,60	0,0224	11,60		0	7,60	0,0224	11,60	60	504
1	180	7,60	0,0237	11,62		0	7,60	0,0237	11,62		0	7,60	0,0237	11,62	61	515
1	190	7,60	0,0250	11,65		0	7,60	0,0250	11,65		0	7,60	0,0250	11,65	62	519
1	200	7,60	0,0263	11,68		0	7,60	0,0263	11,68		0	7,60	0,0263	11,68	64	540
1	210	7,60	0,0276	11,71		0	7,60	0,0276	11,71		0	7,60	0,0276	11,71	66	550
1	220	7,60	0,0289	11,74		0	7,60	0,0289	11,74		0	7,60	0,0289	11,74	68	565
1	230	7,60	0,0303	11,77		0	7,60	0,0303	11,77		0	7,60	0,0303	11,77	69	575
1	240	7,60	0,0316	11,80		0	7,60	0,0316	11,80		0	7,60	0,0316	11,80	71	590
1	250	7,60	0,0329	11,84		0	7,60	0,0329	11,84		0	7,60	0,0329	11,84	72	594
1	260	7,60	0,0342	11,87		0	7,60	0,0342	11,87		0	7,60	0,0342	11,87	73	603
1	270	7,60	0,0355	11,90		0	7,60	0,0355	11,90		0	7,60	0,0355	11,90	74	607
1	280	7,60	0,0368	11,93		0	7,60	0,0368	11,93		0	7,60	0,0368	11,93	74	611
1	290	7,60	0,0382	11,96		0	7,60	0,0382	11,96		0	7,60	0,0382	11,96	74	610

Ek 7.2.2. %10 UK katkılı yapay zemin 8 günlük üç eksenli basınç deney verileri

Kalibrasyon Katsayısı	Boy Kısalması	L ₀ (cm)	ε	Alan (cm ²)	Kuvvet Halkası	P/A (kPa)	L ₀ (cm)	ε	Alan (cm ²)	Kuvvet Halkası	P/A (kPa)	L ₀ (cm)	ε	Alan (cm ²)	Kuvvet Halkası	P/A (kPa)
1	0	7,60	0	11,34	0	0	7,60	0	11,34	0	0	7,60	0	11,34	0	0
1	10	7,60	0,0013	11,36	15	127	7,60	0,0013	11,36	23	195	7,60	0,0013	11,36	34	291
1	20	7,60	0,0026	11,37	26	228	7,60	0,0026	11,37	33	287	7,60	0,0026	11,37	47	408
1	30	7,60	0,0039	11,39	37	321	7,60	0,0039	11,39	44	380	7,60	0,0039	11,39	61	525
1	40	7,60	0,0053	11,40	44	379	7,60	0,0053	11,40	53	455	7,60	0,0053	11,40	76	650
1	50	7,60	0,0066	11,42	52	446	7,60	0,0066	11,42	62	530	7,60	0,0066	11,42	85	727
1	60	7,60	0,0079	11,43	59	504	7,60	0,0079	11,43	70	597	7,60	0,0079	11,43	93	796
1	70	7,60	0,0092	11,45	64	546	7,60	0,0092	11,45	74	638	7,60	0,0092	11,45	96	826
1	80	7,60	0,0105	11,46	69	587	7,60	0,0105	11,46	78	671	7,60	0,0105	11,46	100	856
1	90	7,60	0,0118	11,48	72	611	7,60	0,0118	11,48	82	703	7,60	0,0118	11,48	103	879
1	100	7,60	0,0132	11,49	74	636	7,60	0,0132	11,49	85	728	7,60	0,0132	11,49	105	893
1	110	7,60	0,0145	11,51	79	676	7,60	0,0145	11,51	88	752	7,60	0,0145	11,51	106	907
1	120	7,60	0,0158	11,52	80	684	7,60	0,0158	11,52	90	767	7,60	0,0158	11,52	108	922
1	130	7,60	0,0171	11,54	81	691	7,60	0,0171	11,54	91	775	7,60	0,0171	11,54	110	936
1	140	7,60	0,0184	11,55	81	690	7,60	0,0184	11,55	92	782	7,60	0,0184	11,55	112	950
1	150	7,60	0,0197	11,57		0	7,60	0,0197	11,57	92	781	7,60	0,0197	11,57	113	956
1	160	7,60	0,0211	11,59		0	7,60	0,0211	11,59	91	772	7,60	0,0211	11,59	114	963
1	170	7,60	0,0224	11,60		0	7,60	0,0224	11,60		0	7,60	0,0224	11,60	115	969
1	180	7,60	0,0237	11,62		0	7,60	0,0237	11,62		0	7,60	0,0237	11,62	116	976
1	190	7,60	0,0250	11,65		0	7,60	0,0250	11,65		0	7,60	0,0250	11,65	116	981
1	200	7,60	0,0263	11,68		0	7,60	0,0263	11,68		0	7,60	0,0263	11,68	116	978
1	210	7,60	0,0276	11,71		0	7,60	0,0276	11,71		0	7,60	0,0276	11,71		0
1	220	7,60	0,0289	11,74		0	7,60	0,0289	11,74		0	7,60	0,0289	11,74		0
1	230	7,60	0,0303	11,77		0	7,60	0,0303	11,77		0	7,60	0,0303	11,77		0
1	240	7,60	0,0316	11,80		0	7,60	0,0316	11,80		0	7,60	0,0316	11,80		0
1	250	7,60	0,0329	11,84		0	7,60	0,0329	11,84		0	7,60	0,0329	11,84		0
1	260	7,60	0,0342	11,87		0	7,60	0,0342	11,87		0	7,60	0,0342	11,87		0
1	270	7,60	0,0355	11,90		0	7,60	0,0355	11,90		0	7,60	0,0355	11,90		0
1	280	7,60	0,0368	11,93		0	7,60	0,0368	11,93		0	7,60	0,0368	11,93		0
1	290	7,60	0,0382	11,96		0	7,60	0,0382	11,96		0	7,60	0,0382	11,96		0

Ek 7.2.3. %10 UK katkılı yapay zemin 16 günlük üç eksenli basınç deney verileri

Kalibrasyon Katsayısı	Boy Kısalması	L ₀ (cm)	ε	Alan (cm ²)	Kuvvet Halkası	P/A (kPa)	L ₀ (cm)	ε	Alan (cm ²)	Kuvvet Halkası	P/A (kPa)	L ₀ (cm)	ε	Alan (cm ²)	Kuvvet Halkası	P/A (kPa)
1	0	7,60	0	11,34	0	0	7,60	0	11,34	0	0	7,60	0	11,34	0	0
1	10	7,60	0,0013	11,36	17	146	7,60	0,0013	11,36	23	199	7,60	0,0013	11,36	41	354
1	20	7,60	0,0026	11,37	32	274	7,60	0,0026	11,37	41	353	7,60	0,0026	11,37	63	543
1	30	7,60	0,0039	11,39	46	393	7,60	0,0039	11,39	53	452	7,60	0,0039	11,39	79	678
1	40	7,60	0,0053	11,40	56	483	7,60	0,0053	11,40	58	497	7,60	0,0053	11,40	87	750
1	50	7,60	0,0066	11,42	71	610	7,60	0,0066	11,42	65	559	7,60	0,0066	11,42	95	812
1	60	7,60	0,0079	11,43	76	655	7,60	0,0079	11,43	74	631	7,60	0,0079	11,43	100	856
1	70	7,60	0,0092	11,45	82	699	7,60	0,0092	11,45	84	720	7,60	0,0092	11,45	105	900
1	80	7,60	0,0105	11,46	86	735	7,60	0,0105	11,46	92	791	7,60	0,0105	11,46	112	961
1	90	7,60	0,0118	11,48	90	770	7,60	0,0118	11,48	99	843	7,60	0,0118	11,48	118	1005
1	100	7,60	0,0132	11,49	93	796	7,60	0,0132	11,49	104	887	7,60	0,0132	11,49	123	1048
1	110	7,60	0,0145	11,51	98	831	7,60	0,0145	11,51	108	922	7,60	0,0145	11,51	131	1119
1	120	7,60	0,0158	11,52	100	848	7,60	0,0158	11,52	112	956	7,60	0,0158	11,52	137	1162
1	130	7,60	0,0171	11,54	101	856	7,60	0,0171	11,54	116	982	7,60	0,0171	11,54	142	1205
1	140	7,60	0,0184	11,55	101	855	7,60	0,0184	11,55	117	989	7,60	0,0184	11,55	145	1230
1	150	7,60	0,0197	11,57	100	845	7,60	0,0197	11,57	118	997	7,60	0,0197	11,57	146	1237
1	160	7,60	0,0211	11,59		0	7,60	0,0211	11,59	118	996	7,60	0,0211	11,59	146	1235
1	170	7,60	0,0224	11,60		0	7,60	0,0224	11,60		0	7,60	0,0224	11,60		0
1	180	7,60	0,0237	11,62		0	7,60	0,0237	11,62		0	7,60	0,0237	11,62		0
1	190	7,60	0,0250	11,65		0	7,60	0,0250	11,65		0	7,60	0,0250	11,65		0
1	200	7,60	0,0263	11,68		0	7,60	0,0263	11,68		0	7,60	0,0263	11,68		0
1	210	7,60	0,0276	11,71		0	7,60	0,0276	11,71		0	7,60	0,0276	11,71		0
1	220	7,60	0,0289	11,74		0	7,60	0,0289	11,74		0	7,60	0,0289	11,74		0
1	230	7,60	0,0303	11,77		0	7,60	0,0303	11,77		0	7,60	0,0303	11,77		0
1	240	7,60	0,0316	11,80		0	7,60	0,0316	11,80		0	7,60	0,0316	11,80		0
1	250	7,60	0,0329	11,84		0	7,60	0,0329	11,84		0	7,60	0,0329	11,84		0
1	260	7,60	0,0342	11,87		0	7,60	0,0342	11,87		0	7,60	0,0342	11,87		0
1	270	7,60	0,0355	11,90		0	7,60	0,0355	11,90		0	7,60	0,0355	11,90		0
1	280	7,60	0,0368	11,93		0	7,60	0,0368	11,93		0	7,60	0,0368	11,93		0
1	290	7,60	0,0382	11,96		0	7,60	0,0382	11,96		0	7,60	0,0382	11,96		0

Ek 7.2.4. %10 UK katkılı yapay zemin 32 günlük üç eksenli basınç deney verileri

Kalibrasyon Katsayısı	Boy Kısalması	L ₀ (cm)	ε	Alan (cm ²)	Kuvvet Halkası	P/A (kPa)	L ₀ (cm)	ε	Alan (cm ²)	Kuvvet Halkası	P/A (kPa)	L ₀ (cm)	ε	Alan (cm ²)	Kuvvet Halkası	P/A (kPa)
1	0	7,60	0	11,34	0	0	7,60	0	11,34	0	0	7,60	0	11,34	0	0
1	10	7,60	0,0013	11,36	19	165	7,60	0,0013	11,36	24	207	7,60	0,0013	11,36	57	490
1	20	7,60	0,0026	11,37	37	322	7,60	0,0026	11,37	45	389	7,60	0,0026	11,37	82	706
1	30	7,60	0,0039	11,39	55	472	7,60	0,0039	11,39	67	579	7,60	0,0039	11,39	101	868
1	40	7,60	0,0053	11,40	71	614	7,60	0,0053	11,40	85	735	7,60	0,0053	11,40	116	994
1	50	7,60	0,0066	11,42	87	749	7,60	0,0066	11,42	97	833	7,60	0,0066	11,42	126	1082
1	60	7,60	0,0079	11,43	109	933	7,60	0,0079	11,43	109	939	7,60	0,0079	11,43	139	1189
1	70	7,60	0,0092	11,45	112	960	7,60	0,0092	11,45	120	1028	7,60	0,0092	11,45	145	1241
1	80	7,60	0,0105	11,46	112	959	7,60	0,0105	11,46	125	1068	7,60	0,0105	11,46	150	1285
1	90	7,60	0,0118	11,48	111	950	7,60	0,0118	11,48	128	1091	7,60	0,0118	11,48	152	1301
1	100	7,60	0,0132	11,49	110	942	7,60	0,0132	11,49	130	1106	7,60	0,0132	11,49	154	1317
1	110	7,60	0,0145	11,51		0	7,60	0,0145	11,51	132	1121	7,60	0,0145	11,51	156	1333
1	120	7,60	0,0158	11,52		0	7,60	0,0158	11,52	132	1128	7,60	0,0158	11,52	157	1336
1	130	7,60	0,0171	11,54		0	7,60	0,0171	11,54	133	1134	7,60	0,0171	11,54	158	1339
1	140	7,60	0,0184	11,55		0	7,60	0,0184	11,55	133	1133	7,60	0,0184	11,55	158	1337
1	150	7,60	0,0197	11,57		0	7,60	0,0197	11,57	132	1123	7,60	0,0197	11,57	156	1326
1	160	7,60	0,0211	11,59		0	7,60	0,0211	11,59		0	7,60	0,0211	11,59		0
1	170	7,60	0,0224	11,60		0	7,60	0,0224	11,60		0	7,60	0,0224	11,60		0
1	180	7,60	0,0237	11,62		0	7,60	0,0237	11,62		0	7,60	0,0237	11,62		0
1	190	7,60	0,0250	11,65		0	7,60	0,0250	11,65		0	7,60	0,0250	11,65		0
1	200	7,60	0,0263	11,68		0	7,60	0,0263	11,68		0	7,60	0,0263	11,68		0
1	210	7,60	0,0276	11,71		0	7,60	0,0276	11,71		0	7,60	0,0276	11,71		0
1	220	7,60	0,0289	11,74		0	7,60	0,0289	11,74		0	7,60	0,0289	11,74		0
1	230	7,60	0,0303	11,77		0	7,60	0,0303	11,77		0	7,60	0,0303	11,77		0
1	240	7,60	0,0316	11,80		0	7,60	0,0316	11,80		0	7,60	0,0316	11,80		0
1	250	7,60	0,0329	11,84		0	7,60	0,0329	11,84		0	7,60	0,0329	11,84		0
1	260	7,60	0,0342	11,87		0	7,60	0,0342	11,87		0	7,60	0,0342	11,87		0
1	270	7,60	0,0355	11,90		0	7,60	0,0355	11,90		0	7,60	0,0355	11,90		0
1	280	7,60	0,0368	11,93		0	7,60	0,0368	11,93		0	7,60	0,0368	11,93		0
1	290	7,60	0,0382	11,96		0	7,60	0,0382	11,96		0	7,60	0,0382	11,96		0

Ek 7.3. %20 UK katkılı yapay zemin üç eksenli basınç deney verileri

Ek 7.3.1. %20 UK katkılı yapay zemin 1 günlük üç eksenli basınç deney verileri

Kalibrasyon Katsayısı	Boy Kısalması	L ₀ (cm)	ε	Alan (cm ²)	Kuvvet Halkası	P/A (kPa)	L ₀ (cm)	ε	Alan (cm ²)	Kuvvet Halkası	P/A (kPa)	L ₀ (cm)	ε	Alan (cm ²)	Kuvvet Halkası	P/A (kPa)
1	0	7,60	0	11,34	0	0	7,60	0	11,34	0	0	7,60	0	11,34	0	0
1	10	7,60	0,0013	11,36	11	98	7,60	0,0013	11,36	16	134	7,60	0,0013	11,36	23	202
1	20	7,60	0,0026	11,37	13	116	7,60	0,0026	11,37	19	160	7,60	0,0026	11,37	29	248
1	30	7,60	0,0039	11,39	16	135	7,60	0,0039	11,39	21	182	7,60	0,0039	11,39	32	279
1	40	7,60	0,0053	11,40	18	153	7,60	0,0053	11,40	24	208	7,60	0,0053	11,40	37	315
1	50	7,60	0,0066	11,42	19	165	7,60	0,0066	11,42	26	224	7,60	0,0066	11,42	40	345
1	60	7,60	0,0079	11,43	19	164	7,60	0,0079	11,43	28	239	7,60	0,0079	11,43	43	371
1	70	7,60	0,0092	11,45	23	195	7,60	0,0092	11,45	29	250	7,60	0,0092	11,45	46	396
1	80	7,60	0,0105	11,46	26	219	7,60	0,0105	11,46	31	265	7,60	0,0105	11,46	49	416
1	90	7,60	0,0118	11,48	29	249	7,60	0,0118	11,48	32	275	7,60	0,0118	11,48	50	431
1	100	7,60	0,0132	11,49	32	273	7,60	0,0132	11,49	34	291	7,60	0,0132	11,49	52	445
1	110	7,60	0,0145	11,51	35	296	7,60	0,0145	11,51	35	301	7,60	0,0145	11,51	55	465
1	120	7,60	0,0158	11,52	37	314	7,60	0,0158	11,52	37	311	7,60	0,0158	11,52	57	485
1	130	7,60	0,0171	11,54	38	326	7,60	0,0171	11,54	38	327	7,60	0,0171	11,54	59	500
1	140	7,60	0,0184	11,55	40	337	7,60	0,0184	11,55	40	342	7,60	0,0184	11,55	61	514
1	150	7,60	0,0197	11,57	41	349	7,60	0,0197	11,57	42	352	7,60	0,0197	11,57	62	529
1	160	7,60	0,0211	11,59	43	361	7,60	0,0211	11,59	43	367	7,60	0,0211	11,59	64	543
1	170	7,60	0,0224	11,60	45	378	7,60	0,0224	11,60	45	383	7,60	0,0224	11,60	66	558
1	180	7,60	0,0237	11,62	46	390	7,60	0,0237	11,62	47	393	7,60	0,0237	11,62	68	572
1	190	7,60	0,0250	11,65	48	401	7,60	0,0250	11,65	48	407	7,60	0,0250	11,65	69	581
1	200	7,60	0,0263	11,68	48	405	7,60	0,0263	11,68	50	417	7,60	0,0263	11,68	70	590
1	210	7,60	0,0276	11,71	49	410	7,60	0,0276	11,71	51	426	7,60	0,0276	11,71	71	598
1	220	7,60	0,0289	11,74	50	415	7,60	0,0289	11,74	52	435	7,60	0,0289	11,74	73	606
1	230	7,60	0,0303	11,77	50	414	7,60	0,0303	11,77	53	444	7,60	0,0303	11,77	74	615
1	240	7,60	0,0316	11,80	50	413	7,60	0,0316	11,80	55	453	7,60	0,0316	11,80	75	623
1	250	7,60	0,0329	11,84		0	7,60	0,0329	11,84	56	462	7,60	0,0329	11,84	76	631
1	260	7,60	0,0342	11,87		0	7,60	0,0342	11,87	57	471	7,60	0,0342	11,87	77	635
1	270	7,60	0,0355	11,90		0	7,60	0,0355	11,90	59	485	7,60	0,0355	11,90	77	638
1	280	7,60	0,0368	11,93		0	7,60	0,0368	11,93	60	494	7,60	0,0368	11,93	78	641
1	290	7,60	0,0382	11,96		0	7,60	0,0382	11,96	60	493	7,60	0,0382	11,96	78	639

Ek 7.3.2. %20 UK katkılı yapay zemin 8 günlük üç eksenli basınç deney verileri

Kalibrasyon Katsayısı	Boy Kısalması	L ₀ (cm)	ε	Alan (cm ²)	Kuvvet Halkası	P/A (kPa)	L ₀ (cm)	ε	Alan (cm ²)	Kuvvet Halkası	P/A (kPa)	L ₀ (cm)	ε	Alan (cm ²)	Kuvvet Halkası	P/A (kPa)
1	0	7,60	0	11,34	0	0	7,60	0	11,34	0	0	7,60	0	11,34	0	0
1	10	7,60	0,0013	11,36	24	205	7,60	0,0013	11,36	43	369	7,60	0,0013	11,36	49	427
1	20	7,60	0,0026	11,37	35	303	7,60	0,0026	11,37	58	502	7,60	0,0026	11,37	56	485
1	30	7,60	0,0039	11,39	49	425	7,60	0,0039	11,39	68	585	7,60	0,0039	11,39	62	535
1	40	7,60	0,0053	11,40	62	531	7,60	0,0053	11,40	76	651	7,60	0,0053	11,40	67	576
1	50	7,60	0,0066	11,42	73	628	7,60	0,0066	11,42	81	692	7,60	0,0066	11,42	75	642
1	60	7,60	0,0079	11,43	86	734	7,60	0,0079	11,43	90	774	7,60	0,0079	11,43	83	716
1	70	7,60	0,0092	11,45	90	773	7,60	0,0092	11,45	95	814	7,60	0,0092	11,45	100	856
1	80	7,60	0,0105	11,46	95	813	7,60	0,0105	11,46	99	847	7,60	0,0105	11,46	107	913
1	90	7,60	0,0118	11,48	98	836	7,60	0,0118	11,48	106	903	7,60	0,0118	11,48	114	978
1	100	7,60	0,0132	11,49	102	867	7,60	0,0132	11,49	111	944	7,60	0,0132	11,49	120	1026
1	110	7,60	0,0145	11,51	103	874	7,60	0,0145	11,51	113	959	7,60	0,0145	11,51	126	1075
1	120	7,60	0,0158	11,52	104	881	7,60	0,0158	11,52	114	974	7,60	0,0158	11,52	132	1123
1	130	7,60	0,0171	11,54	105	888	7,60	0,0171	11,54	115	981	7,60	0,0171	11,54	137	1162
1	140	7,60	0,0184	11,55	105	887	7,60	0,0184	11,55	115	980	7,60	0,0184	11,55	140	1186
1	150	7,60	0,0197	11,57	104	878	7,60	0,0197	11,57	115	978	7,60	0,0197	11,57	144	1217
1	160	7,60	0,0211	11,59		0	7,60	0,0211	11,59		0	7,60	0,0211	11,59	145	1223
1	170	7,60	0,0224	11,60		0	7,60	0,0224	11,60		0	7,60	0,0224	11,60	146	1230
1	180	7,60	0,0237	11,62		0	7,60	0,0237	11,62		0	7,60	0,0237	11,62	146	1237
1	190	7,60	0,0250	11,65		0	7,60	0,0250	11,65		0	7,60	0,0250	11,65	146	1233
1	200	7,60	0,0263	11,68		0	7,60	0,0263	11,68		0	7,60	0,0263	11,68	146	1222
1	210	7,60	0,0276	11,71		0	7,60	0,0276	11,71		0	7,60	0,0276	11,71		0
1	220	7,60	0,0289	11,74		0	7,60	0,0289	11,74		0	7,60	0,0289	11,74		0
1	230	7,60	0,0303	11,77		0	7,60	0,0303	11,77		0	7,60	0,0303	11,77		0
1	240	7,60	0,0316	11,80		0	7,60	0,0316	11,80		0	7,60	0,0316	11,80		0
1	250	7,60	0,0329	11,84		0	7,60	0,0329	11,84		0	7,60	0,0329	11,84		0
1	260	7,60	0,0342	11,87		0	7,60	0,0342	11,87		0	7,60	0,0342	11,87		0
1	270	7,60	0,0355	11,90		0	7,60	0,0355	11,90		0	7,60	0,0355	11,90		0
1	280	7,60	0,0368	11,93		0	7,60	0,0368	11,93		0	7,60	0,0368	11,93		0
1	290	7,60	0,0382	11,96		0	7,60	0,0382	11,96		0	7,60	0,0382	11,96		0

Ek 7.3.3. %20 UK katkılı yapay zemin 16 günlük üç eksenli basınç deney verileri

Kalibrasyon Katsayısı	Boy Kısalması	L ₀ (cm)	ε	Alan (cm ²)	Kuvvet Halkası	P/A (kPa)	L ₀ (cm)	ε	Alan (cm ²)	Kuvvet Halkası	P/A (kPa)	L ₀ (cm)	ε	Alan (cm ²)	Kuvvet Halkası	P/A (kPa)
1	0	7,60	0	11,34	0	0	7,60	0	11,34	0	0	7,60	0	11,34	0	0
1	10	7,60	0,0013	11,36	28	242	7,60	0,0013	11,36	42	360	7,60	0,0013	11,36	50	431
1	20	7,60	0,0026	11,37	45	386	7,60	0,0026	11,37	63	544	7,60	0,0026	11,37	73	628
1	30	7,60	0,0039	11,39	58	502	7,60	0,0039	11,39	81	697	7,60	0,0039	11,39	83	717
1	40	7,60	0,0053	11,40	71	607	7,60	0,0053	11,40	93	798	7,60	0,0053	11,40	108	930
1	50	7,60	0,0066	11,42	81	693	7,60	0,0066	11,42	101	869	7,60	0,0066	11,42	120	1027
1	60	7,60	0,0079	11,43	93	798	7,60	0,0079	11,43	114	980	7,60	0,0079	11,43	138	1187
1	70	7,60	0,0092	11,45	103	883	7,60	0,0092	11,45	125	1071	7,60	0,0092	11,45	155	1328
1	80	7,60	0,0105	11,46	110	939	7,60	0,0105	11,46	136	1161	7,60	0,0105	11,46	168	1442
1	90	7,60	0,0118	11,48	116	995	7,60	0,0118	11,48	143	1220	7,60	0,0118	11,48	178	1520
1	100	7,60	0,0132	11,49	123	1051	7,60	0,0132	11,49	150	1280	7,60	0,0132	11,49	185	1580
1	110	7,60	0,0145	11,51	125	1069	7,60	0,0145	11,51	155	1318	7,60	0,0145	11,51	188	1604
1	120	7,60	0,0158	11,52	130	1106	7,60	0,0158	11,52	157	1337	7,60	0,0158	11,52	190	1620
1	130	7,60	0,0171	11,54	132	1123	7,60	0,0171	11,54	159	1355	7,60	0,0171	11,54	190	1618
1	140	7,60	0,0184	11,55	133	1131	7,60	0,0184	11,55	158	1343	7,60	0,0184	11,55	189	1607
1	150	7,60	0,0197	11,57	134	1139	7,60	0,0197	11,57	157	1332	7,60	0,0197	11,57		0
1	160	7,60	0,0211	11,59	134	1138	7,60	0,0211	11,59		0	7,60	0,0211	11,59		0
1	170	7,60	0,0224	11,60	133	1127	7,60	0,0224	11,60		0	7,60	0,0224	11,60		0
1	180	7,60	0,0237	11,62		0	7,60	0,0237	11,62		0	7,60	0,0237	11,62		0
1	190	7,60	0,0250	11,65		0	7,60	0,0250	11,65		0	7,60	0,0250	11,65		0
1	200	7,60	0,0263	11,68		0	7,60	0,0263	11,68		0	7,60	0,0263	11,68		0
1	210	7,60	0,0276	11,71		0	7,60	0,0276	11,71		0	7,60	0,0276	11,71		0
1	220	7,60	0,0289	11,74		0	7,60	0,0289	11,74		0	7,60	0,0289	11,74		0
1	230	7,60	0,0303	11,77		0	7,60	0,0303	11,77		0	7,60	0,0303	11,77		0
1	240	7,60	0,0316	11,80		0	7,60	0,0316	11,80		0	7,60	0,0316	11,80		0
1	250	7,60	0,0329	11,84		0	7,60	0,0329	11,84		0	7,60	0,0329	11,84		0
1	260	7,60	0,0342	11,87		0	7,60	0,0342	11,87		0	7,60	0,0342	11,87		0
1	270	7,60	0,0355	11,90		0	7,60	0,0355	11,90		0	7,60	0,0355	11,90		0
1	280	7,60	0,0368	11,93		0	7,60	0,0368	11,93		0	7,60	0,0368	11,93		0
1	290	7,60	0,0382	11,96		0	7,60	0,0382	11,96		0	7,60	0,0382	11,96		0

Ek 7.3.4. %20 UK katkılı yapay zemin 32 günlük üç eksenli basınç deney verileri

Kalibrasyon Katsayısı	Boy Kısalması	L ₀ (cm)	ε	Alan (cm ²)	Kuvvet Halkası	P/A (kPa)	L ₀ (cm)	ε	Alan (cm ²)	Kuvvet Halkası	P/A (kPa)	L ₀ (cm)	ε	Alan (cm ²)	Kuvvet Halkası	P/A (kPa)
1	0	7,60	0	11,34	0	0	7,60	0	11,34	0	0	7,60	0	11,34	0	0
1	10	7,60	0,0013	11,36	30	256	7,60	0,0013	11,36	38	328	7,60	0,0013	11,36	54	470
1	20	7,60	0,0026	11,37	36	311	7,60	0,0026	11,37	45	387	7,60	0,0026	11,37	65	565
1	30	7,60	0,0039	11,39	61	530	7,60	0,0039	11,39	55	475	7,60	0,0039	11,39	81	698
1	40	7,60	0,0053	11,40	80	684	7,60	0,0053	11,40	75	643	7,60	0,0053	11,40	104	898
1	50	7,60	0,0066	11,42	99	847	7,60	0,0066	11,42	95	820	7,60	0,0066	11,42	127	1087
1	60	7,60	0,0079	11,43	116	991	7,60	0,0079	11,43	118	1016	7,60	0,0079	11,43	144	1238
1	70	7,60	0,0092	11,45	133	1135	7,60	0,0092	11,45	138	1182	7,60	0,0092	11,45	160	1369
1	80	7,60	0,0105	11,46	145	1243	7,60	0,0105	11,46	158	1348	7,60	0,0105	11,46	172	1472
1	90	7,60	0,0118	11,48	155	1322	7,60	0,0118	11,48	169	1445	7,60	0,0118	11,48	183	1565
1	100	7,60	0,0132	11,49	160	1366	7,60	0,0132	11,49	178	1521	7,60	0,0132	11,49	192	1639
1	110	7,60	0,0145	11,51	162	1382	7,60	0,0145	11,51	184	1568	7,60	0,0145	11,51	201	1712
1	120	7,60	0,0158	11,52	163	1389	7,60	0,0158	11,52	187	1595	7,60	0,0158	11,52	208	1767
1	130	7,60	0,0171	11,54	164	1396	7,60	0,0171	11,54	191	1623	7,60	0,0171	11,54	212	1802
1	140	7,60	0,0184	11,55	163	1386	7,60	0,0184	11,55	194	1650	7,60	0,0184	11,55	216	1837
1	150	7,60	0,0197	11,57	162	1375	7,60	0,0197	11,57	196	1657	7,60	0,0197	11,57	222	1882
1	160	7,60	0,0211	11,59		0	7,60	0,0211	11,59	196	1655	7,60	0,0211	11,59	228	1926
1	170	7,60	0,0224	11,60		0	7,60	0,0224	11,60	194	1643	7,60	0,0224	11,60	232	1961
1	180	7,60	0,0237	11,62		0	7,60	0,0237	11,62		0	7,60	0,0237	11,62	235	1987
1	190	7,60	0,0250	11,65		0	7,60	0,0250	11,65		0	7,60	0,0250	11,65	238	2000
1	200	7,60	0,0263	11,68		0	7,60	0,0263	11,68		0	7,60	0,0263	11,68	239	2004
1	210	7,60	0,0276	11,71		0	7,60	0,0276	11,71		0	7,60	0,0276	11,71	238	1989
1	220	7,60	0,0289	11,74		0	7,60	0,0289	11,74		0	7,60	0,0289	11,74	236	1975
1	230	7,60	0,0303	11,77		0	7,60	0,0303	11,77		0	7,60	0,0303	11,77		0
1	240	7,60	0,0316	11,80		0	7,60	0,0316	11,80		0	7,60	0,0316	11,80		0
1	250	7,60	0,0329	11,84		0	7,60	0,0329	11,84		0	7,60	0,0329	11,84		0
1	260	7,60	0,0342	11,87		0	7,60	0,0342	11,87		0	7,60	0,0342	11,87		0
1	270	7,60	0,0355	11,90		0	7,60	0,0355	11,90		0	7,60	0,0355	11,90		0
1	280	7,60	0,0368	11,93		0	7,60	0,0368	11,93		0	7,60	0,0368	11,93		0
1	290	7,60	0,0382	11,96		0	7,60	0,0382	11,96		0	7,60	0,0382	11,96		0

Ek 8. Doğal zemin, %10 ve 20 uçucu kül katkılı örneklerin konsolidasyon deney verileri

Ek 8.1. Doğal zemin konsolidasyon deney verileri

	H _o (mm)	20	w _o (%)	19,47	g _s (t / m ³)	2,761	
	H _s (mm)	15,04 4	w _s (%)	21,26	g _n (t / m ³)	1,957	
P (kg / cm ²)	DP (kg / cm ²)	h (1 / 100 mm)	Dh (1 / 100)	De	e	a _v (cm ² / kg)	m _v (cm ² / kg)
0	0	0	0	0	0,6858	0,00000	0,000
0,125	0,125	15,0	15,0	0,00253	0,6832	0,02023	0,012
0,250	0,125	20,0	5,0	0,00084	0,6824	0,00674	0,004
0,500	0,250	30,0	10,0	0,00169	0,6807	0,00674	0,004
1,000	0,500	67,0	37,0	0,00624	0,6745	0,01247	0,007
2,000	1,000	167,0	100,0	0,01686	0,6576	0,01686	0,010
4,000	2,000	286,0	119,0	0,02006	0,6375	0,01003	0,006
8,000	4,000	496,0	210,0	0,03540	0,6021	0,00885	0,005
4,000	-4,000	481,0	-15,0	-0,00253	0,6047	0,00063	0,000
2,000	-2,000	462,0	-19,0	-0,00320	0,6079	0,00160	0,001
1,000	-1,000	441,0	-21,0	-0,00354	0,6114	0,00354	0,002
0,500	-0,500	426,0	-15,0	-0,00253	0,6139	0,00506	0,003
0,250	-0,250	417,0	-9,0	-0,00152	0,6155	0,00607	0,004
0,125	-0,125	409,0	-8,0	-0,00135	0,6168	0,01079	0,007

Ek 8.3. %20 UK katkılı yapay zeminin konsolidasyon deney verileri

	Ho (mm)	20	wo (%)	19,47	g_s (t / m³)	2,761	
	Hs (mm)	15,04	ws (%)	21,26	g_n (t / m³)	1,957	
		4					
P (kg / cm²)	DP (kg / cm²)	h (1 / 100 mm)	Dh (1 / 100)	De	e	a_v (cm² / kg)	m_v (cm² / kg)
0	0	0	0	0	1,1756	0,00000	0,000
0,125	0,125	4,0	4,0	0,00087	1,1748	0,00696	0,003
0,250	0,125	10,0	6,0	0,00131	1,1735	0,01044	0,005
0,500	0,250	19,0	9,0	0,00196	1,1715	0,00783	0,004
1,000	0,500	35,0	16,0	0,00348	1,1680	0,00696	0,003
2,000	1,000	50,0	15,0	0,00326	1,1648	0,00326	0,002
4,000	2,000	99,0	49,0	0,01066	1,1541	0,00533	0,002
8,000	4,000	207,0	108,0	0,02350	1,1306	0,00587	0,003
4,000	-4,000	193,0	-14,0	-0,00305	1,1336	0,00076	0,000
2,000	-2,000	183,0	-10,0	-0,00218	1,1358	0,00109	0,001
1,000	-1,000	175,0	-8,0	-0,00174	1,1376	0,00174	0,001
0,500	-0,500	170,0	-5,0	-0,00109	1,1386	0,00218	0,001
0,250	-0,250	168,0	-2,0	-0,00044	1,1391	0,00174	0,001
0,125	-0,125	166,0	-2,0	-0,00044	1,1395	0,00348	0,002