

**ÖĞÜTÜLMÜŞ KUVARS KUMUNUN
KİLİN MUKAVEMET ÖZELLİKLERİNE
ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

Abdullatif BATMAN

**Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Geoteknik Bilim Dalı
Yrd. Doç. Dr. Semet ÇELİK**

2015

Her hakkı saklıdır

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ÖĞÜTÜLMÜŞ KUVARS KUMUNUNKİLİN MUKAVEMET
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

Abdullatif BATMAN

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
Geoteknik Bilim Dalı**

**ERZURUM
2015**

Her hakkı saklıdır



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEZ ONAY FORMU

ÖĞÜTÜLMÜŞ KUVARS KUMUNUN KİLİN MUKAVEMET
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Yrd. Doç. Dr. Semet ÇELİK danışmanlığında, Abdullatif BATMAN tarafından hazırlanan bu çalışma 23/01/2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı – Geoteknik Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliği/oy çokluğu (2./2.) ile kabul edilmiştir.

Başkan : Yrd. Doç. Dr. Semet ÇELİK

İmza :

Üye : Yrd. Doç. Dr. Seracettin ARASAN

İmza :

Üye : Yrd. Doç. Dr. Hayrettin EROĞLU

İmza :

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu 05./02./2015 tarih ve 05./159..... nolu kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. İhsan EFEOĞLU,
Enstitü Müdürü

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

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ÖĞÜTÜLMÜŞ KUVARS KUMUNUN KİLİN MUKAVEMET ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Abdullatif BATMAN

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Geoteknik Bilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Semet ÇELİK

Bu tez kapsamında, Erzurum Oltu – Narman yöresinde bulunan iki farklı bölgeden yüzeyden 1 m. derinlikte normal konsolide olmuş kırmızı ve yeşil kil tabakalardan numune alınmıştır. Kil numuneleri öğütülmüş, kurutulmuş ve 40 nolu elekten elendikten sonra deneye hazır hale getirilmiştir. Her iki kil numunesine de ağırlıkça %10, %20, %30 ve %50 oranlarında öğütülmüş kuvars kumu eklenmiş, optimum su içeriği değerlerine göre hazırlanan karışımların geoteknik özelliklerini incelemek amacıyla deneyler yapılmıştır. Kırmızı kilin ve yeşil kilin zemin sınıfı Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi'ne göre CH olarak belirlenmiştir. Genel olarak sonuçlar incelendiğinde öğütülmüş kum oranı arttıkça optimum su muhtevasında, kıvam limitlerinde ve şişme basınçlarında azalma meydana gelmiştir. Serbest basınç mukavemetinde K1 numunesi hariç azalma olduğu belirlenmiştir. Maksimum kuru birim hacim ağırlıkta, içsel sürtünme açısında artış meydana gelmiştir. Kohezyonda ise K1 numunesi hariç azalma olduğu belirlenmiştir. Kum katkısı numunelerin genel olarak kayma mukavemetlerini arttırmıştır. Öğütülmüş kum katkısı etkisi ile kil zeminin sınıfı yüksek plastisiteden düşük plastisiteye geçmiştir. Nihai olarak, öğütülmüş kuvars kumu katkısının genel olarak kil zeminlerin bazı geoteknik özelliklerini iyileştirdiği belirlenmiştir.

2015, 69 sayfa

Anahtar Kelimeler: Zemin, kil, kuvars, serbest basınç, kıvam limiti, kayma parametreleri.

ABSTRACT

Master Thesis

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF GROUND QUARTZ SAND INTO THE STRENGTH PROPERTIES OF CLAY

Abdullatif BATMAN

Atatürk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering
Geotechnical Division

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Semet ÇELİK

For this thesis, test samples have been collected from red and green normally consolidated clay stratum at the depth of 1 m. from the surface of two distinct regions in Erzurum-Oltu vicinity. Clay samples were prepared by grinding, dehydrating and sieving from the number 40. 10%, 20%, 30% and 50% ground quartz sand by weight were added to both of the clay samples and each of these admixtures were tested in order to investigate the geotechnical properties with respect to their optimum water content values. Soil classes of the red and green clays were determined as CH with respect to Unified Soil Classification System. According to the test results, it has been observed that ground sand addition results in these conclusions. Optimum water content, consistency limit and swelling compression of the clay decrease due to the addition. Unconfined compressive strength of all the samples except K1 sample decreased while maximum dry unit weight and angle of internal friction increased. Excluding K1 sample, cohesion of all the samples decreased as well. Generally ground quartz sand addition enhanced the shear strength of the samples and class of the clay soil switched from high plasticity to low plasticity. Finally, it can be concluded that ground quartz sand addition generally improves some geotechnical properties of the clay soils.

2015, 69 pages

Keywords: Soil, clay, quartz, unconfined compression, consistency limit, shear parameters.

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum bu çalışma, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda hazırlanmıştır.

Tez çalışmamda destek ve yardımını asla esirgemeyen, aktardığı bilgi ve deneyimleriyle çalışmamın her aşamasına katkıda bulunan tez danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Semet ÇELİK'e teşekkürü borç bilirim.

Laboratuvar çalışmalarında büyük yardım ve desteklerini gördüğüm Sayın Dr. Fatih Mehmet ÖZKAL'a, Sayın Dr. Zeynep Neşe KURT ALBAYRAK'a teşekkür ederim.

Ayrıca hayatımın her anında yanımda olan, bütün çalışmalarımda olduğu gibi yine maddi ve manevi hiçbir yardımdan kaçınmayan, desteklerini her an benimle birlikte hissettiğim çok kıymetli eşime ve aileme şükranlarımı sunarım.

Abdullatif BATMAN

Ocak, 2015

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Amaç ve Kapsam.....	1
1.2. Kaynak Özetleri.....	2
2. KURAMSAL TEMELLER.....	8
2.1. Killi Zeminler, Mineralojik Yapıları.....	8
2.2. Kuvars Kumu.....	14
2.3. Zeminlerin Kayma Mukavemeti.....	15
2.3.1. Kırılma hipotezi.....	17
2.3.2. Killerin kayma mukavemeti.....	18
2.3.3. Kumların kayma mukavemeti.....	18
2.4. Problemlili Zeminler ve Zemin İyileştirme Yöntemleri.....	20
2.4.1. Kil zeminlerin katkı maddeleri ile iyileştirilmesi.....	22
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	24
3.1. Deneylerde Kullanılan Kilin Özellikleri.....	24
3.1.1. Doğal killer üzerinde yapılan XRD analizleri.....	26
3.2. Deneylerde Kullanılan Öğütülmüş Kuvars Kumunun Özellikleri.....	29
3.3. Numunelerin Hazırlanışı.....	30
3.4. Deney Programı.....	32
3.4.1. Su muhtevasının tayini (etüvde kurutulma metodu).....	32
3.4.2. Likit limit tayini (koni düşürme–penetrasyon metodu).....	33
3.4.3. Plastik limitin tayini ve plastisite indisinin bulunması.....	34
3.4.4. Zemin danelerinin bağıl yoğunluğunun (özellik ağırlık) tayini.....	35
3.4.5. Dane çapı dağılımının bulunması (yıkamalı eleme metodu).....	36

3.4.6. İnce daneli zeminlerin dane çapı dağılımının bulunması için hidrometre metodu.....	37
3.4.7. Kompaksiyon (proktor) deneyi	38
3.4.8. Serbest basınç (tek eksenli basınç) deneyi	39
3.4.9. Kesme kutusu deneyi.....	43
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	46
4.1. Kompaksiyon Deneyi Sonuçları.....	46
4.2. Kıvam Limitleri Sonuçları.....	50
4.3. Zemin Sınıflandırma Deney Sonuçları.....	52
4.4. Şişme Deneyi Sonuçları	55
4.5. Serbest Basınç Deney Sonuçları.....	56
4.6. Kesme Kutusu Deney Sonuçları.....	59
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	65
KAYNAKLAR	67
ÖZGEÇMİŞ	70

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

%	Yüzde
α	Alfa
β	Beta
τ_f	Kayma direnci
Υ_k	Kuru birim hacim ağırlık
C_r	Süreklilik katsayısı
C_u	Üniformluk sayısı
ρ_L	Deneyde kullanılan sıvının deney sıcaklığında yoğunluğu
ρ_w	Damıtık suyun deney sıcaklığında yoğunluğu
$^{\circ}\text{C}$	Santigrat Derece
$^{\circ}$	Derece
A	Alan
Å	Angstroms
c	Kohezyon
CL	Düşük Plastisiteli Kil
CH	Yüksek Plastisiteli Kil
ϵ	Birim Deformasyon değeri
e	Boşluk oranı
G_s	Özgül ağırlık
h	Yükseklik
I_p	Plastite indisi
k	Geçirimlilik katsayısı
kN	Kilonewton
kPa	Kilopascal
M	Kütle
MH	Yüksek plastisiteli inorganik silt
ML	Düşük plastisiteli inorganik silt

MPa	Megapascal
nm	Nanometre
μm	Mikron
OH	Yüksek plastisiteli organik kil
P	Kuvvet (Yük) değeri
PH	Power of Hydrogen (Hidrojenin Gücü)
q	Kırılma düzleminin yatayla yaptığı açı
SM	Siltli kum
w	Su muhtevası
w _L	Likit limit
w _P	Plastik limit
\emptyset	İçsel sürtünme açısı (teorik)
σ	Normal gerilme
q _u	Örneğin serbest basınç direnci

Kısaltmalar

ASTM	Amerikan Test ve Materyaller Topluluğu
OCR	Aşırı Konsolidasyon Oranı
SEM	Taramalı Elektron Mikroskopi
TS	Türk Standartları
XRD	X-Işını Kırınım Yöntemi
XRF	X-Işını Floresans
Opt	Optimum
Max	Maksimum

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. (a) Silis Tetrahedron (b) Tetrahedral Tabaka	9
Şekil 2.2. (a) Alüminyum Oktahedran (b) Oktahedran Tabaka.....	9
Şekil 2.3. Kaolinit Mineral Grubunun Mineralojik Yapısı	10
Şekil 2.4. İllit mineral grubunun mineralojik yapısı	10
Şekil 2.5. Montmorillonit mineral grubunun mineralojik yapısı	12
Şekil 2.6. Kuvarsın (α ve β) kimyasal yapısı	15
Şekil 2.7. Mohr – Coulomb kırılma hipotezi	17
Şekil 3.1. Erzurum-Oltu havzasında bulunan yeşil kil formasyonu	24
Şekil 3.2. Erzurum-Narman havzasında bulunan kırmızı kil formasyonu.....	24
Şekil 3.3. Yeşil kil numunenin XRD analizleri	28
Şekil 3.4. Kırmızı kil numunenin XRD analizleri	28
Şekil 3.5. Öğütülmüş kuvars kumu, kırmızı ve yeşil kilin dane çapı dağılım eğrisi	29
Şekil 3.6. Öğütülmüş Kuvars Kumu	30
Şekil 3.7. Doğal kırmızı kil.....	31
Şekil 3.8. Doğal yeşil kil.....	31
Şekil 3.9. Serbest basınç deneyinin basit şeması	39
Şekil 3.10. Serbest basınç deneyinde deformasyon–gerilme ilişkileri	40
Şekil 3.11. Serbest basınç deneyi için numune alınması	41
Şekil 3.12. Serbest basınç deneyi düzeneği	43
Şekil 3.13. Kesme kutusu deneyi aleti	45
Şekil 4.1. K grubu numunelerin kompaksiyon eğrileri.....	46
Şekil 4.2. Kırmızı kilin optimum su muhtevasına kuvars kumu katkısının etkisi	47
Şekil 4.3. Kırmızı kilin maksimum kuru birim hacim ağırlığına kuvars kumu katkısının etkisi	48
Şekil 4.4. Y grubu numunelerin kompaksiyon eğrileri.....	48
Şekil 4.5. Yeşil kilin optimum su muhtevasına kuvars kumu katkısının etkisi	49
Şekil 4.6. Yeşil kilin maksimum kuru birim hacim ağırlığına kuvars kumu katkısının etkisi	50
Şekil 4.7. Kırmızı kile öğütülmüş kum katkısının kıvam limitlerine etkisi.....	51

Şekil 4.8. Yeşil kile öğütülmüş kum katkısının kıvam limitlerine etkisi.....	52
Şekil 4.9. K grubu numunelerin Plastisite Abağında gösterimi.....	53
Şekil 4.10. K grubu numunelerin dane çapı dağılım eğrileri.....	54
Şekil 4.11. Y grubu numunelerin Plastisite Abağında gösterimi.....	54
Şekil 4.12. Y grubu numunelerin dane çapı dağılım eğrileri.....	55
Şekil 4.13. K grubu numunelerin birim deformasyon–gerilme grafiği	56
Şekil 4.14. Öğütülmüş kuvars kum katkısının kırmızı kilin serbest basınç mukavemetine etkisi (q_u).....	57
Şekil 4.15. Y grubu numunelerin birim deformasyon–gerilme grafiği	58
Şekil 4.16. Öğütülmüş kuvars kum katkısının yeşil kilin serbest basınç mukavemetine etkisi (q_u).....	59
Şekil 4.17. K grubu numunelerin $\tau_f - \sigma$ grafiği.....	60
Şekil 4.18. Öğütülmüş kuvars kum katkısının kırmızı kilin kohezyonuna etkisi	60
Şekil 4.19. Öğütülmüş kuvars kum katkısının kırmızı kilin içsel sürtünme açısına etkisi	61
Şekil 4.20. Y grubu numunelerin $\tau_f - \sigma$ grafiği.....	62
Şekil 4.21. Öğütülmüş kuvars kum katkısının yeşil kilin kohezyonuna etkisi	63
Şekil 4.22. Öğütülmüş kuvars kum katkısının yeşil kilin içsel sürtünme açısına etkisi	63

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Kil minerallerinin özellikleri	13
Çizelge 3.1. Kırmızı ve yeşil kilin bazı geoteknik özellikleri.....	25
Çizelge 3.2. Kil numunelerin tüm kayaç analizleri.....	25
Çizelge 3.3. Kil numunelerin mineral analizleri	25
Çizelge 3.4. Kil numunelerin kimyasal bileşenleri	26
Çizelge 3.5. Kuvars kumunun bazı geoteknik özellikleri	29
Çizelge 3.6. Deneilerde kullanılan numunelerin karışım oranları	31
Çizelge 3.7. Serbest basınç mukavemetine göre killerin sınıflandırılması.....	41
Çizelge 4.1. K grubu numunelerin kompaksiyon deneyi sonuçları.....	47
Çizelge 4.2. Y grubu numunelerin kompaksiyon deneyi sonuçları	49
Çizelge 4.3. K grubu numunelerin likit limit ve plastik limit deney sonuçları.....	50
Çizelge 4.4. Y grubu numunelerin likit limit ve plastik limit deney sonuçları.....	51
Çizelge 4.5. K ve Y grubu numunelerin şişme basıncı değerleri.....	55
Çizelge 4.6. K grubu numunelerinin serbest basınç mukavemetleri	56
Çizelge 4.7. Y grubu numunelerinin serbest basınç mukavemetleri	58
Çizelge 4.8. K grubu numunelerinin c, Ø bulguları.....	59
Çizelge 4.9. Y grubu numunelerinin c, Ø bulguları.....	62

1. GİRİŞ

1.1. Amaç ve Kapsam

Çakıllar, kumlar ve siltler fiziksel bozulma veya orta derece kimyasal bozulma sonucu oluşmuşlardır. Killer ise kimyasal bozulma sonucu oluştukları için, oluştukları ana kayacın kimyasal yapılarının çoğunu muhafaza etmezler. Bu özelliklerinden dolayı çakıllardan, kumlardan ve siltlerden çok farklı özellikler gösterirler.

Su geçirgenliği az olan killer, bünyelerine suyu alıp doygun hale geldiklerinde, suyu hapsedip zamana yayılı olarak konsolide olmaktadır. Konsolidasyon sonrası oluşabilecek oturmaların farklı oturmalar olarak gerçekleşmesi neticesinde de, yıllar sonra üst yapının taşıyıcı sisteminde çatlaklar ve göçmeler görülebilir.

Bu çalışmanın amacı, kile belirli oranlarda öğütülmüş kuvars kumu karıştırarak zemini iyileştirmek ve kum katkısı ile iyileştirilmiş bu zeminlerin deneysel çalışmalarla bazı geoteknik özelliklerini araştırmaktır. Öncelikle konu ile ilgili yapılan kuramsal çalışmalar ve yayınlar araştırılmış, konunun daha iyi anlaşılması amacıyla kaynaklar taranmıştır. Daha sonra kil zeminlerin ve karışımda kullanılacak olan öğütülmüş kuvars kumunun bazı geoteknik özellikleri belirlenmiştir.

Laboratuvar çalışmaları sırasında, önce deneyde kullanılan killerin geoteknik özellikleri tespit edilmiştir. Bu amaçla; elek analizi, hidrometre deneyi, özgül ağırlık ve su içeriği gibi fiziksel deneyler yapılmıştır. Öğütülmüş kuvars kumunun özelliklerinin belirlenmesi amacıyla da elek analizi, özgül ağırlık ve su içeriği gibi fiziksel deneyler yapılmıştır. Daha sonra karışım oranlarına göre hazırlanmış olan numunelerin, Proktor deneyleri yapılarak maksimum kuru birim ağırlık ve optimum su içeriği değerleri tespit edilmiştir. Kile artan oranlarda öğütülmüş kuvars kumu ilave edilerek optimum su muhtevasında numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelerin, kıvam limitleri, serbest basınç mukavemeti, şişme basıncı ve kayma direnci parametrelerinin

incelenmesi amacıyla deneyler yapılmıştır. Yapılan bu deneylerin sonucunda, artan öğütülmüş kuvars kumu oranına göre kıvam limitlerinin, şişme basınçlarının, serbest basınç mukavemetlerinin ve kayma direnci parametrelerinin değişimleri tespit edilmiştir.

1.2. Kaynak Özetleri

Wasti ve Alyanak (1968), killi kumlar üzerinde yapmış oldukları çalışmalarda, kil oranının düşmesi durumunda sadece boşlukların dolacağını ve maksimum poroziteye ulaşacağını; yapıda meydana gelen değişikliklerden dolayı da kilin plastik ve likit limiti gözönüne alınmayıp kil malzemesinin sıkışabilirliği ve davranışının kilden kuma dönüşeceğini tespit etmişlerdir.

Bayoğlu (1995) tarafından gerçekleştirilen kum ve kil karışımlarının kayma dayanımı ve sıkışabilme özellikleri üzerine yaptıkları çalışmada, hiç silt ve kil içermeyen kumdan, kum yüzdesi sıfır olan silt-kil karışımlarına kadar geniş dane dağılımı ele alınmıştır. Karışımlarda ince malzeme oranı baz alınmış, karışımlardaki oranların değişiminin kayma dayanımına ve sıkışma ile oturma özelliklerini etkisi araştırılmıştır. İnce malzeme oranı %5, %15, %35, %50, %75 ve %100 olan 6 ayrı karışım üzerinde yapılan drenajlı direkt kesme deneyleri sonuçlarına göre %50'lere kadar kayma dayanımı açıları genel olarak 30-38 derece değerleri arasında oynamakta ve yüzdeler oranın artmasıyla beraber küçük değerlerde bir düşme görülmektedir. %50'den sonra ise açılarda değerlerdeki düşme çok belirginleşerek 10 derece düzeyine kadar inebilmektedir. %35, %50, %75, %100 oranında ince malzeme içeren zeminlerde yapılan drenajsız üç eksenli basınç deneylerinin sonuçlarına göre ise kayma dayanımı açıları yakın değerler verip ince malzeme oranından bağımsız bir davranış gösterir denmektedir.

Vallejo and Mawby (2000), kum-kil karışımlarında, iri dane oranlarına bağlı olarak gözlenen kayma direnci değişimlerinin, kum ve/veya kil tarafından hangi aralıklarda kontrol edildiğini önceki çalışma sonuçlarını da ekleyerek incelemiştir. Karışımın kayma direncinin, iri dane oranı %75'den fazlaysa iri daneler tarafından, %40'dan az ise

ince daneler tarafından, oranının %40-75 arasında olması durumunda ise hem kum hem de kil tarafından sağlandığını bildirmiştir. Bu sınırların oluşmasında, karışımın porozitesinin etkili olduğunu vurgulamaktadır.

Karabüyük (2001) çalışmasında tane çapı aralığı 0,06-0,5 mm olan kum, kuru kum ağırlığının %5, %10, %15, %20, %30, %40 oranında bentonit ile karıştırılan zeminin bazı fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemiş ve bu kapsamda kompaksiyon, likit limit, serbest basınç deneyleri yaparak, bentonit oranının bu özelliklere etkisini araştırmıştır.

Zorluer vd (2003)'nin "zeminlerin atık mermer tozu ile iyileştirilmesi" konulu çalışmasında, iyileştirme için katkı maddesi olarak mermer fabrikalarının atığı olan mermer tozu düşünülmüş; zemin numunesi olarak Meşelik kili kullanılmıştır. Numuneler, Meşelik kilinin kum ağırlığına göre atık mermer tozu ile belirli oranlarda karıştırılarak standart proktor sıkıştırma enerjisinde hazırlanmıştır. Numunelerin şişme yüzdeleri odometre deneyleri ile belirlenmiştir. Deney sonuçları, atık mermer tozunun killerin şişme potansiyelini etkilediğini göstermiştir. Çalışmada sonuç olarak, atık mermer tozu zemin iyileştirmesinde kullanılabilir bir malzemedir denmektedir.

Kumar vd (2006), %0 ile %12 arasında kum oranları içeren kum-kil karışımları üzerinde serbest basınç deneyleri yapmıştır. Karışımın doruk kayma direncinin %10 kum içeren karışıma kadar arttığını ve daha yüksek kum oranı içeren karışımlarda kayma direncinin azaldığını göstermiştir. %10'dan daha fazla kum içeren karışımlarda, drenajsız kayma mukavemetindeki azalışın deney sırasında ölçülemeyen sürtünme parametresinin gelişiminden kaynaklanabileceği ifade edilmektedir.

Ünverdi (2006) yaptığı çalışmada, araştırmasında çakıl içerikli kil zeminler üzerinde deneysel çalışmalar yürütmüştür. Deneyde kullanılan karışımlarda, yüksek plastisiteli kil ile ince büyüklükte yuvarlak dere çakılı ve kırmataş çakıl kullanılmıştır. Kilin ve çakılların bazı geoteknik özellikleri belirlenerek, standart ve modifiye proktor deneyine tabi tutulmuştur. Bu yolla, optimum su içeriği ve maksimum kuru yoğunlukta

hazırlanan numuneler üzerinde konsolidasyonsuz drenajsız üç eksenli basınç deneyleri yürütülmüştür. Bu değerler yardımıyla kayma dayanımı deneyleri için numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler, üç eksenli basınç deneyinde 0,5 kgf/cm², 1,0 kgf/cm², 2,0 kgf/cm² çevre basınçlarında ve 0,5 mm/dakika yükleme hızında drenajsız kayma deneyine tabi tutulmuş ve ilgili parametreler belirlenmiştir. Bu deneysel çalışmanın sonunda, numunelerdeki çakıl oranı arttıkça kohezyonun azaldığı ve içsel sürtünme açısının arttığı gözlenmiştir. İçsel sürtünme açısındaki artış, çakıl oranındaki artışla doğru orantılıdır. Bu artış kohezyon değerini azaltsada genelde karışımın kayma dayanımını arttırmaktadır. Çakılın tane çapına, karışımındaki yüzdeleri oranına ve sıkıştırma yöntemine göre değerlendirme yapıldığında kırmataş çakıl-kil karışımının kayma dayanımı, dere çakılı-kil karışımından daha yüksek çıkmıştır. Bunun ana nedeninin dere çakılının yuvarlak ve yarı yuvarlak olmasıyla açıklanabileceği sonucuna varılmıştır.

Çanakçı ve Güllü (2007), düşük plastisiteli kile ağırlıkça %5, 15, 30, 50, 70 oranlarında kötü derecelenmiş kum karıştırarak, sabit su muhtevasında içsel sürtünme açısının değişimini deneysel olarak incelemişlerdir. Plastik limit düzeyindeki saf kilin içsel sürtünme açısı 30° iken, %15 kum içeren karışımın içsel sürtünme açısı 8° ye kadar düştüğü ve kum oranının %70 olması durumunda ise 40° ye yükseldiği gözlenmiştir demektedirler.

Güven (2007) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, yüksek plastisiteli kilde ince kum, orta kum ve kaba kum katılmasıyla geoteknik özellikleri incelenmiş ve kayma parametreleri gözlemlenmiştir. Belirli büyüklükteki kumların kil içerisindeki miktarlarının artmasıyla kohezyon değeri %25 kum oranı uygulanıncaya kadar artmış, kum miktarı atmaya devam ettikçe kohezyon değerinde düşüş görülmüştür. Ayrıca yüksek plastisiteli kilde, kum miktarının artmasıyla optimum su muhtevasının düştüğü, kuru birim hacim ağırlığının da yükseldiği tespit edilmiştir.

Durmuş (2007) tarafından düşük plastisiteli kil numunelerine ince ve orta dane boyuttaki kumun belirli oranlarda katılarak kayma parametrelerinin incelenmesi

sonucunda; orta boyuttaki kum katılan numunelerdeki kayma direnç açısı, ince boyutta kum katılan numuneye göre düşmüştür. Her iki boyuttaki kum içinde %25 kum+%75 kil karışımının (c) kohezyonunun düştüğü, %50 kum+%50 kil karışımında bir miktar yükseldiği ve 24 olduğu görülmüştür. %75 kum+%25 kil karışımlarında ise kohezyonun en düşük değerleri aldığı görülmüştür. Bu değerler ince kum için 15, orta kum için 5'tir. Bundan dolayı numune içerisindeki kum miktarının artmasının bir noktadan sonra karışımda artık kumun özelliklerinin baskın olduğu anlamına gelmektedir demektir.

Alagöz (2008), değişik oranlarda kum içeren örselenmiş Ankara kilinin serbest basınç dayanımı ile direkt çekme dayanımının ilişkilendirilmesi çalışması sonucunda en yüksek serbest basınç dayanımı, karışımdaki kum oranı %0 seviyesindeyken (yani %100 kil için) ve en düşük serbest basınç dayanımı ise karışımdaki kum oranı %100 (yani %0 kil) içeriklerinde oluşmaktadır. Karışımdaki kum içeriğinin %50'den fazla olması durumunda maksimum serbest basınç dayanımının dramatik olarak düştüğü görülmektedir. Diğer yandan kum içeriğinin %0 ila %50 aralığında olmasının maksimum serbest basınç dayanımı üzerine olan etkisi oldukça sınırlıdır. Karışımdaki kum oranının artması ile maksimum direkt çekme dayanımı azalma eğilimi göstermektedir. Maksimum serbest basınç değerlerinin kum içeriği ile olan ilişkisine benzer olarak, karışımdaki kum içeriğinin %60'tan fazla olması durumunda maksimum direkt çekme dayanımı önemli derecede ve ani azalma eğilimindedir. Diğer yandan karışımdaki kum içeriğinin %0 ila %60 aralığında olması durumunda kum içeriği artarken maksimum direkt çekme dayanımı çok az değişmektedir demektir.

Dağdeviren vd (2008) çalışmalarında yüksek plastisiteli kile (CH) ağırlıkça %10, 25, 50, 75 oranlarında ince, orta ve kaba kum ekleyerek karışımlar üzerinde kesme kutusu deneyleri yapılmışlardır. Deney sonuçlarından porozitenin ve kayma direnci parametrelerinin kum yüzdesine göre değişimi incelenmişlerdir. Karışıma katılan kum oranının %25-%50 aralığında olması durumunda kayma direnci azalmaktadır. %25'e kadar kum içeren karışımlarında artan kum oranıyla kohezyon değeri artmakta, içsel sürtünme açısı değeri ise azalmaktadır. En küçük porozite değeri %75 kum+%25 kil oranlarındaki kaba kumlu karışımlarda gözlenmektedir. Sonuçlar, özellikle yapı

malzemesi olarak üniform kumların kullanımının zorunlu olması halinde, uygun karışım oranlarının seçiminin önemini göstermektedir demektedirler.

İkizler vd (2008) çalışmalarında yüksek şişme potansiyeline sahip bentonitin içerisine farklı oranlarda karıştırılan çimento, uçucu kül ve kumun dane dağılımları, özgül yoğunlukları, Atterberg limitleri, maksimum kuru yoğunlukları, optimum su muhtevaları ve şişme basınçları belirlenerek katkı oranlarının bu özellikler üzerindeki etkileri incelemişlerdir.

Ölmez vd (2008) zeminde ince malzeme miktarının, kayma dayanımı üzerindeki etkilerini incelenmişlerdir. Çalışma süresince üç seri deney yapılmıştır. İlk serideki deneylerde drenajsız üç eksenli basınç deneyleri yapılmıştır. Bu serideki karışımlar, muhtevası önceden belirlenmiş kaolin ile kumun homojen bir şekilde karıştırılması sonucunda oluşturulmuştur. Deneylerde kullanılan numuneler, daha önceden hazırlanmış homojen zemin karışımının bir kutu içinde ve kutunun su altına bırakılmadan konsolide edilmesi sonucunda elde edilmiştir. İkinci seri deneylerde drenajsız üç eksenli basınç deneyleri yapılmıştır. Bu serideki deney numuneleri, yine önceden hazırlanmış homojen zemin karışımının bir kutu içinde ve kutunun su altına bırakılarak konsolide edilmesi sonucunda elde edilmiştir. Üçüncü seri deneylerde ise drenajlı direk kesme deneyleri yapılmıştır. Buradaki deney numuneleri başlangıçta konsolide edilmeden doğrudan direk kesme kutusu içinde hazırlanmıştır. Kesme kutusu içine yerleştirilen numuneler, kesme deneyi başlatılmadan önce konsolide edilmişlerdir. İçerisinde %20 kaolin -%80 kum bulunduran karışımın bir eşik noktası olduğu görülmüştür çünkü ince malzeme miktarı bu eşik noktasını geçecek düzeyde arttırıldıkça drenajlı ve drenajsız kayma gerilmesi-dayanımı davranışlarında değişmeler olmaktadır demektedirler.

Başer vd (2010) çalışmalarında şişen zeminlerin iyileştirilmesi için mermer endüstrisinin atıkları olan kireçtaşı tozu atığı ve mermer tozu atığı kullanılmıştır. Şişen zemin laboratuvarında kaolin ve bentonit kullanılarak hazırlanmıştır. Kireçtaşı tozu atığı ve mermer tozu atığı şişen zemine önceden belirlenmiş %0 - %30 arasında değişen

oranda eklenmiştir. Numuneler üzerinde dane dağılımı, kıvam limitleri, kimyasal ve mineralojik bileşim, şişme yüzdesi ve şişme hızı deneyleri yapılmıştır. Katkı yüzdesinin artmasıyla şişme yüzdesi düşmüş ve şişme hızı artmıştır. Ayrıca, kürün şişme üzerindeki etkisini görebilmek için şişme deneylerinden önce numunelere 7 günlük ve 28 günlük kür uygulanmıştır. Kürün numunelerin şişme yüzdesinin düşmesine ve şişme hızının artmasına olumlu yönde katkısı olmuştur demektirler.

Çimen vd (2010) çalışmalarında, Isparta Metamar mermer fabrikasında mermer kesimi sırasında ortaya çıkan mermer tozu ile Isparta Bims Blok fabrikasında pomzadan elde edilen yapı elemanları üretilmesi sırasında ortaya çıkan pomza tozunun, yüksek plastisiteli bir kile karıştırılmasıyla, kilin mühendislik özelliklerine olan etkisi araştırılmıştır. Öncelikle kilin, pomza ve mermer tozunun fiziksel ve kimyasal özellikleri tespit edilmiştir. Kile belirli oranlarda pomza ve mermer tozu ilave edilerek, kıvam limitleri, standart kompaksiyon ve serbest basınç deneyleri yapılmıştır. Böylece, pomza ve mermer tozu ile yapılan zemin iyileştirmesi sonuçları karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçları değerlendirilerek kilin mühendislik özelliklerinin iyileştirilmesi için, pomza ve mermer tozunun optimum katkı miktarları tespit edilmiştir. Bu atık malzemelerin zemin iyileştirilmesinde kullanılabilirliği gösterilmiştir demektirler.

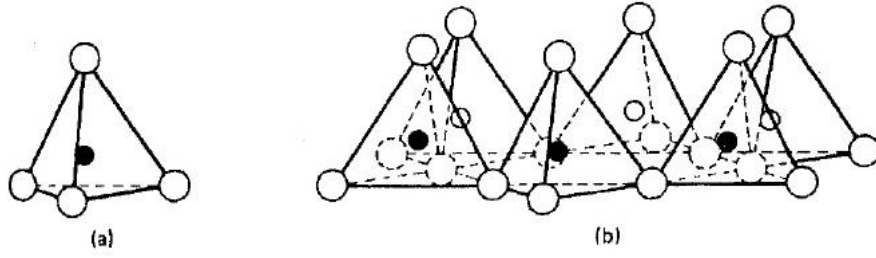
Yılmaz (2012), “Killerin şişme basıncı ve konsolidasyon özelliklerine öğütülmüş kumun etkisinin araştırılması” adlı çalışması sonucunda 2 farklı kil numunesine ağırlıkça artan oranlarda öğütülmüş kum ekleyerek, şişme basıncı ve konsolidasyon parametreleri belirlenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda kum oranı arttıkça şişme basıncı ve hacimsel sıkışma katsayısında azalma, konsolidasyon katsayısı ve geçirimsizlik katsayısında artışlar olduğu belirlenmiştir. Bu da sabit gerilme altında zeminin yapacağı konsolidasyon oturmasının ve konsolidasyon süresinin azalacağını göstermektedir demektir.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Killi Zeminler, Mineralojik Yapıları

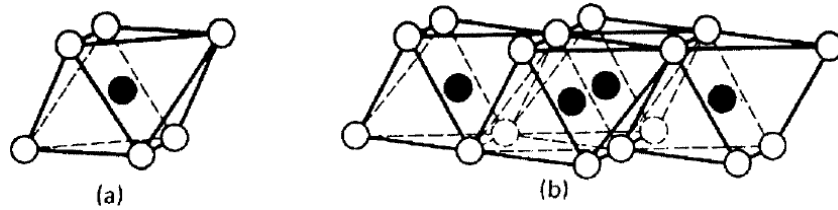
Kil, hidratlı alüminyum ve magnezyum silikatlardan oluşan doğal bir ikincil mineraldir. Dane boyutu iki mikron veya daha küçüktür. Aynı boyuttaki başka minerallerden farklı olarak su ile karıştırıldığında çamur oluşturur. Kil sadece mühendis ve jeologun ilgilendiği bir ortam değil, tarım, ormancılık, seramik endüstrisi ve tıpta da önemli bir endüstriyel gereçtir. Killer birçok uygulamada geoteknik mühendisleri tarafından kullanılmaktadır. Dolgu barajlarda ve atık depolarında geçirimsizliğin sağlanması, göletlerin su tutması için ve kazıldığında kendini tutamayan zeminlere pelteleşebilir bulamaç halinde etkin destek sağlamak amacıyla kullanılır. Ancak genelde kil, varlığı önemli mühendislik sorunları meydana getirdiğinden istenmeyen malzemedir. Killi zeminden anlaşılan ise, bileşenlerin kil mineralleriyle bazı diğer minerallerden oluşan, plastisitesi olan, kohezyonlu bir zemindir. Kil mineralleri çok küçük partiküller olup, elektrokimyasal olarak çok aktiftirler. Bir zemin kütlesi içinde az miktar dahi olsa kil minerallerinin varlığı o kütlenin mühendislik özelliklerini önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Kil miktarı arttıkça zeminin davranışı kilin özellikleri tarafından kontrol edilir (Önalp 2002).

Kil mineralojisinde silis tetrahedron ve alüminyum veya magnezyum oktahedron olarak adlandırılan iki ana yapı bloğu vardır. Silis tetrahedron; 1 silis iyonu ile 4 oksijen atomunun birleşmesinden oluşan 4 köşeli, 4 yüzlü kristal bloğudur. Silis tetrahedronların birleşmesi ile oluşan tabakalar tetrahedral tabaka olarak adlandırılmaktadır. Şekil 2.1'de silis tetrahedron ve tetrahedral tabaka gösterilmektedir (Holtz and Kovacs 1998).



Şekil 2.1. (a) Silis Tetrahedron (b) Tetrahedral Tabaka (Grim 1959)

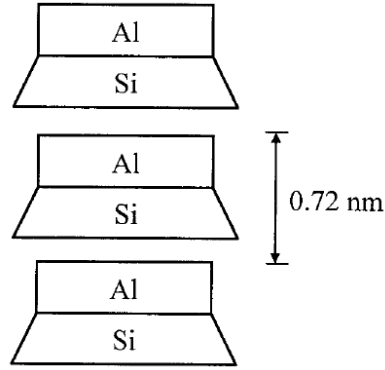
Alüminyum veya magnezyum oktahedron; 6 hidrosil iyonuna bağlı alüminyum veya magnezyum iyonlarından oluşan 6 köşeli 8 yüzlü kristal yapı bloğudur. Oktahedronların birleşmesi ile oluşan tabakalar ise oktahedral tabaka olarak adlandırılır. Şekil 2.2’de alüminyum oktahedron ve oktahedral tabaka gösterilmektedir (Holtz and Kovacs 1998).



Şekil 2.2. (a) Alüminyum Oktahedran (b) Oktahedran Tabaka (Grim 1959)

En çok yaygın olan dioktahedrik iki tabakalı mineraller kaolinit ve halloysit’tir. Buna karşılık trioktahedrik serpantin ve Fe(II) bakımından zengin form olan berthierin ender görülürler. Kaolinit, kaolinlerin esas kısmını oluşturur. Kaolinit ve halloysitte her silikat tabakası bir tarafında O, diğer tarafında ise OH iyonları ile sınırlanmıştır. Kaolinitin bazal aralığı 7 Å, halloysitin ise H₂O tabakası nedeniyle 10 Å kadardır (Uğur 2005).

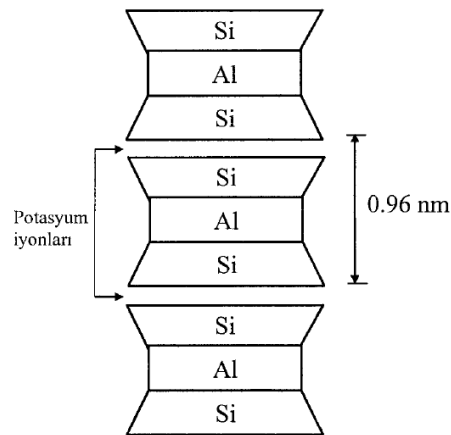
Kaolinitin kristal yapısı 1 tetrahedral ve 1 oktahedral tabakadan oluşmaktadır. Kaolinitin mineralojik yapısında tabakalar arasındaki kuvvetli hidrojen bağları suyun tabakalar arasına girip şişme oluşturmasını engellemektedir. Doğada sık olarak rastlanan kaolinit mineralinin suya eğilimi az olup su ile karşılaştıklarında büyük oranda hacim değişimine sahip olmazlar. Bu minerallerin şişme ve plastik özellikleri düşüktür. Şekil 2.3’te kaolinit mineral grubunun mineralojik yapısı gösterilmektedir.



Şekil 2.3. Kaolinit Mineral Grubunun Mineralojik Yapısı (Angın 2005)

İllitler her iki mika cinsi ile yani dioktahedrik muskovit ve trioktahedrik biyotit ile yakın akrabadır. Her iki mikanın tetraeder tabakalarında her üç silisyum iyonuna 1 alüminyum düşer. Mikaların bazal aralığı yaklaşık 10 Å'dur. Yeşil renkli glaukonitler illitlerle akrabadırlar. Bunlar deniz sedimentlerinde ve bunlardan oluşan topraklarda yaygındırlar ve illitlerden, oktaederlerinde yüksek miktarda Fe içermeleriyle ayırt edilirler. Bunlarda da K'ca fakirleşmiş tabakalar vardır (Uğur 2005).

İllit mineralinin mineralojik yapısı 1 oktahedral tabakanın 2 tetrahedral tabakasının arasına sıkışmasından oluşmaktadır. Tabakalar arasına giren potasyum iyonları bağıın bir miktar kuvvet kazanmasına neden olup su moleküllerinin tabakalar arasına girmesine engel olmaktadır. Şekil 2.4'te illit mineral grubunun mineralojik yapısı gösterilmektedir (Angın 2005).

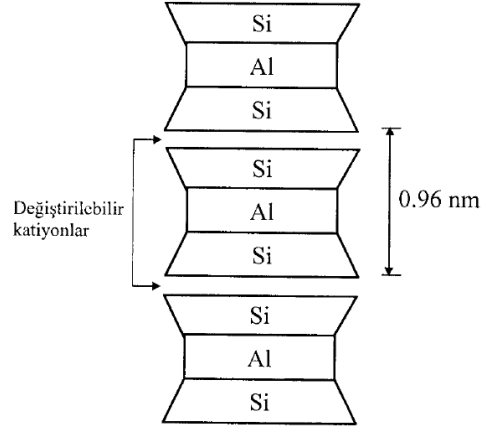


Şekil 2.4. İllit mineral grubunun mineralojik yapısı (Angın 2005)

Vermikulitler yeşil kahve renkli, genişleyebilen üç tabakalı kil mineralleri olup yarım formül başına tabaka yükü 0,6-0,9'dur ve bu yük, tabakalar arası katyonlarla nötralize edilir. Tabaka yükleri yüksek olduğundan K eklendiği zaman 10 Å'a büzülürler (Uğur 2005).

Smektitler, vermikulitler yanında ikinci grup şişebilen 2:1 tipi minerallerdir ancak tabaka yükleri yarım formül birimi başına 0,2-0,6 kadardır. Bu nedenle daha çok su tutarlar ve daha çok genişlerler. Şişmenin boyutu, tabaka yükü ile kesirsel su buharı basıncından başka, tabakalar arası katyonların cinsine de bağlıdır. Smektitler ekonomik olarak önemli bir yeri olan bentonitlerin ana mineralleridir (Uğur 2005).

Montmorillonitin mineralojik yapısı 1 oktahedral tabakanın 2 tetrahedral tabaka arasına sıkışmasından oluşmaktadır. Tabakalar arasındaki bağ çok zayıf olduğundan suyun tabakalar arasına girmesi tabakaların birbirinden ayrılmasına dolayısıyla da zeminin hacim değişimine neden olmaktadır. Doğada yaprak plaka şeklinde bulunan montmorillonit minerallerinin plastisite ve hacim değiştirme özellikleri yüksek olup suya olan eğilimleri diğer kil minerallerine oranla çok yüksektir. Tetrahedral veya oktahedral tabakalardaki katyonların yerinin başka bir katyon tarafından alınması olarak tanımlanan izomorf yer değiştirme kil minerallerin davranışlarını önemli ölçüde değiştirmektedir. Şişen zeminlerin içerdiği kil mineralleri izomorf yer değiştirme nedeniyle mineral yüzeylerinde net negatif yük taşımaktadır. Bu durumdaki mineral tabakaları su ve katyonlara karşı istekli olmaktadır. Şişen killerin hacim değişimi, kil mineralinin yapısına, miktarına ve kil tanelerinin dizilişine bağlıdır. Şekil 2.5'te montmorillonit grubunun mineralojik yapısı gösterilmektedir (Angin 2005).



Şekil 2.5. Montmorillonit mineral grubunun mineralojik yapısı (Angın 2005)

Kloritler, çoğunlukla yeşil renkli üç tabakalı mineralleri kapsar ve bunlarda silikat tabakalarının arasına bir trioktahedrik hidrosit tabakası yerleşmiştir. Kloritler suda şişmezler. Bazal aralıkları 14 Å'da fikse edilmiştir. Mg bakımından zengin trioktaedrik iki kil minerali olan paligorskit ve sepiyolit kısa 2:1- silikat tabakaları parçalarından oluşmuşlardır (Uğur 2005).

Allofanlar sekonder silikatlardır ve Si/Al mol oranı 0,5-1,0 arasındadır. Öncelikle volkanik camların ayrışması sırasında oluşurlar. Bunlar içerisi boş küçük kürecikler şeklinde olup dış çapları yaklaşık 3,5-5 nm kadardır. Çoğunlukla allofonlarla beraber bulunan imogolitler ince borular oluşturup, dış çapları 2 nm, iç çapları 1 nm, uzunlukları ise birkaç µm kadardır (Uğur 2005).

Toprakların kil mineralleri kristalleri sık sık homojen olmayan, değişken bir tabaka sıralaması gösterirler. Böyle minerallere değişken tabakalı mineraller denir. Bunların içinde, değişken tabakalar farklı oranlarda düzenli veya düzensiz bir şekilde birbirlerini izleyebilirler. K iyonlarının yerine başka katyonların geçmesiyle önce kenar kısmı genişlemiş tabakalar oluşur; daha kuvvetli bir K kaybı sonunda illitik, vermikulitik ve smektitik değişken tabakalaşma, K'un tamamıyla verilmesi ile de büsbütün şişebilen mineral oluşur. Düzenli 1:1 oranında bir değişken tabakalaşma biyotit ile vermukulit (hidrobiyotit) veya klorit ile simektit (korrensit) arasında görülür. Değişken tabakalaşma, sadece ara birikimlerin kaybedilmesi, yani parçalanması ile oluşmaz. Kil

minerallerinin oluşması sırasında da değişik yüke sahip silikat tabakaları çözeltisinden de bir kristal oluşturabilirler. Elektron mikroskopta da ince kesitlerde tabaka yüzeyine dik olarak bu şekilde düzenli ve düzensiz değişken tabakalar görülebilir. Toprakta sık sık meydana gelen, çoğunlukla düzensiz değişken tabakalaşmalarda, bir tarafta klorit veya illit diğer tarafta da vermikulit ve smektit bulunur ki bunlar çoğunlukla klorot ve illitin kısmi ayrışması sonunda ortaya çıkarlar. Kaolinit ve smektit arasında da değişken tabakalaşma görülmektedir. Değişken tabakalaşma ile oluşmuş minerallerin özellikleri bileşenlerin çeşitlerine ve katılma payına bağlıdır (Uğur 2005).

Zemin mühendisliği bakımından önemli olan kil mineralinin özellikleri Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Kil minerallerinin özellikleri (Angın 2005)

Özellik	Kaolinit	İllit	Montmorillonit
Büyüklik (mm)	100-5000	100-2000	10-1000
Kalınlık (mm)	50-2000	30	3
Özgül yüzey (m ² /g)	5-20	100-200	700-800
Kohezyon	Düşük	Orta	Yüksek
Hacim değiştirme özelliği	Düşük	Orta	Yüksek
Kasyon değiştirme kapasitesi (cmol/kg)	3-10	15-40	80-120

Çizelge 2.1’den görüldüğü üzere kil mineralinin özgül yüzeyleri büyük olup su tutma kapasiteleri de fazladır. Killi bir zeminin şişme kapasitesi, zemin içerisindeki kil mineralinin miktarı ve tipine, kil partiküllerinin yüzey alanlarına ve partikülleri çevreleyen zemin suyunun kimyasına bağlıdır. Montmorillonit mineralini yüksek oranda içeren zeminlerin hacim değişimine eğilimleri çok yüksek olup bu minerali içeren zeminlerin inşaat malzemesi olarak kullanılmaması gerekmektedir (Angın 2005).

2.2. Kuvars Kumu

Kum; silisli kütlelerin, kayaların, doğal etkenlerle parçalanarak ufalanmasından ya da kayaların parçalanmasıyla oluşan, genellikle kuvars esaslı granüler malzemedir. Çapı 0,02-2 mm arasındadır.

Akkaya (2011) tarafından bildirildiğine göre, oksijen, silisyum ve alüminyum yer kabuğunun en bol bulunan elementleridir. Oksijen ve silisyum atomları yer kabuğundaki atomların %80'den fazlasını oluştururlar. Çok sayıda mineral ve bileşikte bulunan bu elementler büyük endüstriyel öneme sahiptir. Bunlardan en önemlisi de silistir (silika-SiO₂) ve 870°C in altındaki sıcaklıklarda kuvars, 870-1470°C aralığında tridimit ve 1470-1710°C aralığında kristobalit olmak üzere üç kristal yapıda bulunabilir. Silis 1710°C'de erimektedir. Erimiş silis yüksek viskoziteye sahiptir ve yüksek viskozitenin kristalleşmeyi yavaşlatması nedeniyle kristalleşmeksizin 1500°C civarında yumuşayan bir cama dönüşür. Silisin bir kristal şeklinden diğerine dönüşümü kuvvetli Si-O bağının kopmasını gerektirdiğinden, yüksek sıcaklıklarda bile yavaş ve zordur. Silisin üç kristal şekli de oksijen atomlarını paylaşan dörtyüzlü (SiO₄) birimlerinden oluşur ve Si-O-Si bağ açısı 143.6°'dir (Miessler *et al.* 1999).

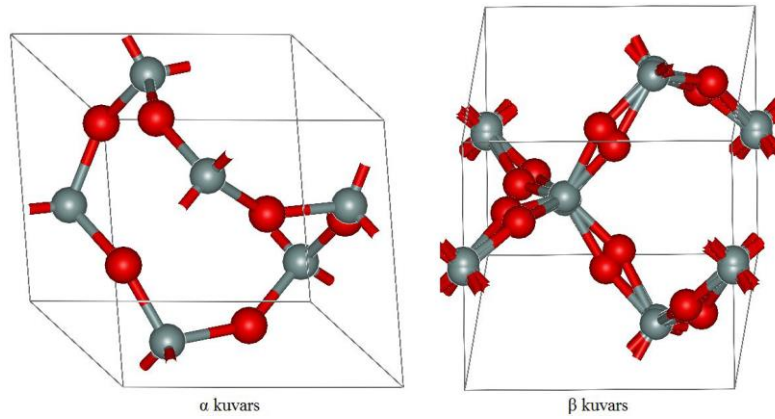
Kuvars, silisin en çok bulunan kristal şeklidir ve dörtyüzlü (SiO₄) birimlerinin saat yönü veya tersi yönde dizilmesiyle oluşan zincirlerden oluşur (Akkaya 2011). Zincirlerin helezon tarzı bir tam dönüş mesafesinde, üç Si üç de O atomu bulunmaktadır ve bu zincirlerden altısı altıgen halka oluşturacak şekilde bir arada bulunmaktadır (Miessler *et al.* 1999).

Kuvars, kayaç oluşumları sırasında ortaya çıkmasının yanı sıra kum tepeleri ve alüvyon birikimlerinde de ortaya çıkar (Şağbanoğlu 2012). Bu taneciklerin kaynakları değişken olup, çoğunlukla direkt olarak silisyumlu magmatik ve metamorfik kayaçlardan (granit ya da yapıtaşları) ya da geri dönüşümlü sedimetlerden elde edilir. Volkanik ya da diyajenetik oluşum çok yaygın olmamakla birlikte jeolojik bölgeye göre yüksek konsantrasyonda bu taneciklere rastlanabilir. Sediment birikiminde silisli bileşik (SiO₂)

en çok kuvars kristali formunda görülür. Bu şekliyle tarihleme çalışmalarında kullanılır (Preusser *et al.* 2009).

Kuvarslar trigonal simetri özelliği gösterirler. Yüksek sıcaklık ve basınçlarda kuvars, silisyum dioksitin kararlı halidir. Kuvars, 1 kilobar basınçta, 573°C'ye kadar kararlılığını korur (Akkaya 2011).

Kimyasal yapısı SiO_2 olan mineral, doğada beyaz, kırmızı, pembe, mavi, mor gibi çeşitli renklerde bulunabilir. Sıcaklığa dayanıklı olması, radyasyonu toplayıcı özelliği, yeryüzünde çok bol bulunması dozimetrik malzeme olarak kullanımını arttırmıştır (Akkaya 2011). Kuvarsın kimyasal yapısı Şekil 2.6'da gösterilmektedir.



Şekil 2.6. Kuvarsın (α ve β) kimyasal yapısı (Akkaya 2011)

2.3. Zeminlerin Kayma Mukavemeti

Zeminlerde göçme meydana gelmesi için, olası bir kayma düzlemi boyunca kayma direncinin aşılması gerekmektedir. Bu düzlem her zaman en büyük kayma gerilmesi düzlemi olmayabilmektedir. Genel olarak göçme belli bir kayma düzlemi üzerine etkiyen normal ve kayma gerilmelerinin ortaklaşa etkisi sonucu ortaya çıkmaktadır. Zeminin kayma mukavemeti ise, göçmeye meydan vermeden karşı koyabileceği en büyük kayma gerilmesi olarak tanımlanabilir (Özaydın 1997).

Temel görevi yapacak zeminin seçilen kırılma kriterine göre kayma mukavemeti tarifi yapılabilmesi için kayma mukavemeti açısı ϕ , kohezyonu c , bunu sağlayacak gerilmelerle boy kısalması bağıntısı ve makaslama sırasında oluşan boşluk suyu basınçlarının bilinmesi, zeminin türü, oluşan gerilmeler, jeolojik geçmişinde geçirdiği evreler, ortam sıcaklığına bağlıdır. c ve ϕ ye zeminin kayma direnci parametreleri denir (Önalp 2002).

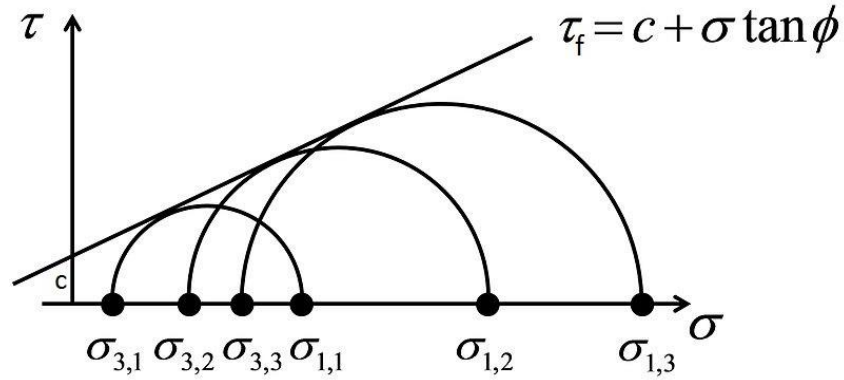
Diğer inşaat gereçlerinde söz konusu olmayan boşluk suyu basınçları zeminlerin kayma direncinde önemli bir etken olarak bilinir. Bir başka deyişle zeminin toplam ve efektif gerilme türünden ifade edilen kayma direnci önemli farklar gösterebilmektedir. Problemlerin çözümünde analizin hangi yaklaşımla yapılacağına zemin türü, yükleme hızı ve drenaj koşullarına göre karar verilir. Zeminin kayma direncinin aşılması için etkiyen yükler farklı özellik taşırlar. Statik ve tekdüze yüklemelerde gerilme sıfır ya da belirli bir düzeyden başlayarak değişmez veya değişen hızla yükselir. Oysa birçok yük tekrarlı ve geri dönüşlüdür (trafik, makine yükleri gibi). Öte yandan, deprem olduğu gibi genliği ve frekansı değişen geçici yükleme zemin ortamında çok farklı etkiler yapmaktadır. Zeminler günümüzde sadece statik yük değil, endüstri, trafik ve özel yapıların uyguladığı tekrarlı ve titreşimli yüklerin de etkisi altındadır. Bu yüklerin yukarıda değinildiği gibi genlik ve sıklıkları çok farklı olabilmektedir. Bunun yanında deprem yükleri de farklı etkiler getirdiğinden son yıllarda zemin dinamiği geoteknik mühendisliğinde ayrı bir bilim dalı olarak gelişmiştir. Bazı zeminler yüklerin tekrarlı uygulanışı sırasında dayanımlarının önemli bir bölümünü korudukları gibi, bazı zeminlerde 10^5 ve daha fazla çevrim sonunda direncin arttığı da izlenir. Plastik killer bu gruba girer (Güven 2007).

Gevşek kumlar gibi ortamlarda ise gerilmelerin tekrarlı uygulanması aşırı hacim kaybı getirmektedir. Bunun nedeni, gerilme yön değiştirdiğinde yükün kalkışından yeniden uygulanmasına kadar oluşmuş önceki birim kısaltmaların sıfıra dönmeden ortamın yeni gerilmeler almasıdır. Boşluk hacminde beliren bu azalmanın doğal sonucu boşluk suyu basıncında belirecek sürekli artıştır. Böylece zemin drenaj olanağı bulamadan artan gerilmelere maruz kalmaktadır. Sonuçta, boşluk suyu basıncı çevre basıncı düzeyine

yükseldiğinden zeminin direnci sıfıra düşecektir. Bu olaya günümüzde “sıvılaşma” denmekte ve özellikle kum ve siltlerde önemli sorunlar getirmektedir. Bu durumda kayma direncinin aşılması sıvılaşmanın belirmesi veya aşırı deformasyonların oluşması biçiminde ortaya çıkar (Güven 2007).

2.3.1. Kırılma hipotezi

Zeminler için, göçmeye yol açan normal - kayma gerilmelerinin ortak etkisini göz önüne alan bazı hipotezler geliştirilmiştir Bunlar arasında en fazla kabul göreni Mohr - Coulomb kırılma hipotezidir (Şekil 2.7).



Şekil 2.7. Mohr – Coulomb kırılma hipotezi

Bu doğrunun denklemi Eşitlik 2.1’de verildiği gibidir.

$$\tau_f = c + \sigma \tan \emptyset \quad (2.1)$$

Hipotezedeki τ_f , kırılma anındaki zeminin kayma direnci olup, kırılma yüzeyindeki kayma gerilmesine eşittir. c , kohezyon olup, zemin tanelerinin birbirine yapışmasını ifade eder. \emptyset , içsel sürtünme açısı olup, σ ise zemin üzerine etkiyen normal gerilmedir. \emptyset ve c zeminlerin kayma direnci parametreleri olarak adlandırılır.

2.3.2. Killerin kayma mukavemeti

Kayma direnci konusunda killeri ayıran en belirgin özellik ortamın geçirimsizliği ve jeolojik etkenlerin killerde daha ağır basmasıdır. Kilin kayma direnci içerdiği danelerin mikroskopik boyutları nedeniyle daneler arası yüzey kuvvetlerinden önemli ölçüde etkilenirler. Killerde kayma direnci aşağıdaki özelliklere bağlıdır.

- ❖ Efektif gerilme düzeyi
- ❖ Kilin plastisitesi
- ❖ Çimentolanma
- ❖ Daneler arası çekme veya itme
- ❖ Su muhtevası
- ❖ Kesilme hızı
- ❖ Ortamın anizotropluğu
- ❖ Gevreklik
- ❖ Numunenin kalitesi
- ❖ Ölçüm tekniği

Daha basit bir deyişle killerin ölçülecek kayma direnci fiziksel, fiziko-kimyasal ve gerilme özelliklerinin yanında, örnekleme ve ölçüme dayalı etkenlere dayalıdır (Güven 2007).

Kumlarda da kısmen görüldüğü gibi boşluk suyu basınçlarının aşırı yükselmesi veya düşüşü ortamda toplam ve efektif gerilmeler arasında önemli farklar doğurduğundan ölçülecek kayma direnci parametrelerinin toplam ve efektif gerilmelere göre ifadesi özellikle killerde büyük önem taşımaktadır (Önalp 2002).

2.3.3. Kumların kayma mukavemeti

İri daneli ya da kohezyonsuz olarak nitelendirilen kumlar, çakıllar ve bunların siltle karışımlarında en belirgin özellik sisteminde yer çekimi, yani kitle kuvvetlerinin hakim

olmasıdır. Oysa killerde tanelerin mikroskopik boyutta olması hakim kuvvetlerin dane yüzeyleri ve suyun varlığından kaynaklanmasını, kitle kuvvetlerinin ise ikincil derecede etkin olması sonucunu getirmektedir. Bu farklardan dolayı, iri daneli zeminlerde sürtünme birinci derecede etkin olmaktadır (Güven 2007).

Kumlarda kayma direncini etkileyen başlıca özellikler;

- ❖ Danelerin mineralojik kökeni ve biçimi
- ❖ Danelerin boyutu ve dağılımı
- ❖ Birim hacim ağırlık ve sıklığı
- ❖ Kumun jeolojik tarihçesi
- ❖ Çimentolanma
- ❖ Etkileyen efektif gerilmeler
- ❖ Doygunluk derecesi

şeklinde sıralanabilir.

Kum daneleri genellikle kuvarstır. Kuvarsin basınç dayanımı yüksek olduğundan olağan düzeyde normal ve kesme gerilmesi aldığı anda danelerde kırılma ve ezilme oluşmayabilir. Ancak ortamda bulunabilecek başka mineraller gerilmelere dayanıklı olmadıklarından danelerin ezilmesi gündeme gelmektedir. Çevre basıncının yeterli düzeylere yükselmesi durumunda kuvars danelerin de ezilmediği bilinmektedir. Böyle durumlarda kayma direnci açısının değişmesi beklenir (Güven 2007).

Dane biçimi de önemli bir etkidir. Tahmin edilebildiği gibi köşeli taneler arasında sürtünme ve kilitleme önemli boyutlara varabilen yuvarlak danelerde bu etki aynı düzeyde uyanmamaktadır. Dane dağılımı kayma direncini etkileyen bir diğer önemli etkidir. Ünliform ortamda kilitleme minimum düzeyde iken C_u 'nun çakılda 4 veya kumda 6'ya yükselmesi ile dirençte önemli artışlar görülmektedir (Güven 2007).

Önceleri sadece killere özgü olduğu düşünülen aşırı konsolidasyon olayının kumlarda da etkin olduğu bulunduğu OCR'nin kumların kayma direncini yükselten bir etken olduğu hatırlanmalıdır (Önalp 2002).

2.4. Problemlerli Zeminler ve Zemin İyileştirme Yöntemleri

Problemlerli zeminlerin en yaygını, genellikle nehir ağzları yakınlarında, körfezlerin çevresi boyunca ve bataklıkların altında bulunan, yumuşak suya doymuş killer ve siltlerdir. Bu zeminler çok zayıf ve sıkışabilir, şişebilir olup, bu nedenle taşıma gücü ve oturma problemlerine maruz kalırlar. Genellikle, bu problemlerli daha da kötüleştirilen organik malzeme içerirler. (Coduto 2006).

İnşaat mühendisliği uygulamalarında proje sahası zemin koşullarının mühendislik tasarımları ve yapım yöntemleri seçimi üzerinde önemli etkileri olduğu bilinmektedir. Bazı inşaat alanlarında karşılaşılan zemin koşulları projenin yapılabilirliğini tayin edecek boyutlarda sorunlar yaratabilmektedir. Bu durumlarda arazi zemin koşullarının iyileştirilmesi mühendislik seçenekleri arasında yer almaktadır. Zemin iyileştirilmesi, zeminlerin belirli özelliklerinin, amaçlanan bir mühendislik uygulamasına yönelik olarak, değişik fiziksel, kimyasal veya biyolojik yöntemler kullanılarak iyileştirilmesi olarak tarif edilebilir (Özaydın 2012).

Zeminlerin iyileştirmesinde hedeflenen başlıca amaçlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

- ❖ Mukavemet taşıma gücü artışı
- ❖ Yük altında sıkışmaların (oturmaların) azaltılması
- ❖ Gerilmeler altında şekil değiştirmelerin azaltılması
- ❖ Şişme, büzülme potansiyelinin azaltılması
- ❖ Çevresel etkiler (donma/çözülme, ıslanma/kuruma) sonucu olumsuz fiziksel ve kimyasal değişimlerin önlenmesi
- ❖ Durabilitenin artırılması
- ❖ Su geçirgenliği, su basınçları oluşumu ve sızıntı suyu kontrolü

- ❖ Erozyon direncinin artırılması
- ❖ Depremler ve tekrarlı yükler altında sıvılaşma, mukavemet ve rijitlik kaybı potansiyelinin azaltılması
- ❖ Temel zemini ve dolgu malzemelerinde değişkenliğin azaltılması
- ❖ Yüzey bozulmalara karşı direncin artırılması (Özaydın 2012).

Zemin iyileştirme yöntemleri aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir.

- ❖ Mekanik Yöntemler - değişik kompaksiyon (sıkıştırma) tekniklerinin uygulanması
- ❖ Hidrolik Yöntemler - zemin suyunun çıkarılması, kontrolü - yönlendirilmesi
- ❖ Fiziksel ve Kimyasal Yöntemler - ısıtma/dondurma, katkı malzemeleri eklenmesi, enjeksiyon teknikleri
- ❖ Donatılı Zemin - zemin içinde donatı elemanları kullanılması (Özaydın 2012).

Mekanik iyileştirmede kısa süreli mekanik kuvvetlerin etkisi ile zemin yoğunluğunun artırılması amaçlanmaktadır. Patlatma ile sıkıştırma, sıkıştırma kazıkları, titreşimli veya darbeli silindir ile sıkıştırma, titreşimli tablalarla sıkıştırma ve derinde titreşimle sıkıştırma bu grup altında toplanabilir (Yıldırım 2004).

Hidrolik iyileştirme drenler ve kuyular yardımı ile boşluk suyu basıncının düşürülerek kayma dayanımını artırmayı hedefleyen iyileştirme yöntemidir. Kaba daneli zeminlerde kuyu veya hendeklerden pompalama ile yeraltı suyu seviyesinin indirilmesi, ince daneli zeminlerde düşey drenlerin yardımı ile de ön yükleme yapılması, elektiriksel yüklerle boşluk suyunun uzaklaştırılması türünden iyileştirmeler bu grup altında toplanabilir (Yıldırım 2004).

Fiziksel ve kimyasal iyileştirme; yüzeysel zemin tabakalarında katkıların fiziksel olarak karıştırılması, katkıların derinlerde kolonlar teşkil edecek şekilde karıştırılması yolu ile yapılabilir. Katkılar; doğal zeminler, endüstriyel artık ürünleri veya atıklar, birbiriyle veya zeminle reaksiyona giren çimento ve kimyasal maddelerden oluşabilir. Katkı zemin boşluklarına veya yapı elemanı ile zemin arasındaki boşluğa basınçla verilirse bu uygulama enjeksiyon adını almaktadır. Isıtma ve dondurma yolu ile yapılan

iyileştirmeler ile son yıllarda yurdumuzda geniş uygulama alanı bulan jet grout kolonu uygulaması bu grup içerisinde sayılabilir (Yıldırım 2004).

Donatı ile iyileştirme ise zemin içerisine değişik donatı türleri (geogrid, şerit vb.) katılarak iyileştirme olarak tanımlanabilir.

2.4.1. Kil zeminlerin katkı maddeleri ile iyileştirilmesi

Zeminlerin katkı maddeleri ile iyileştirilmesi işleminde, iyileştirilecek zemine eklenecek katkı maddesinin ucuz ve kolay temin edilebilir bir malzeme olması esastır. Kum, kireç, çimento, çimento- kireç karışımı, uçucu kül, uçucu kül – kireç karışımı, bitüm, tuz ve bazı kimyasal bileşikler katkı maddesi olarak sayılabilir.

Katkı maddeleri ile zemin iyileştirmede hedefler aşağıda sıralanmıştır.

- ❖ Mukavemeti artırmak
- ❖ Permeabiliteyi azaltmak
- ❖ Şişme, büzülme potansiyelini azaltmak

Şişen zeminlerin iyileştirilmesi için %5 kireç içeren, karışım çoğu zaman elverişlidir. Kireç veya çimento - su karışımı şişen zeminin üst tabakası ile karıştırılır. Kireç veya çimentonun zemine eklenmesi zeminin, likit limit, plastisite indisi ve şişme özelliğini düşürür. Bu tür bir iyileştirme 1-1,5 m derinliklerde uygulanabilir. Yüksek kalsiyumlu sönmüş kireç veya dolomitik kireç iyileştirmede kullanılabilir. Şişen zeminlerin iyileştirilmesinde diğer bir yöntem de, zemin içerisine basınçlı kireç karışımı veya kireç-uçucu kül karışımı enjeksiyonudur. Bu yöntem genellikle 4-5 m derinliklerde kullanılır. Sahanın zemin şartlarına bağlı olarak tekli veya çoklu enjeksiyon yöntemleri uygulanabilir (Das 1995).

Uçucu kül; silika, alümina, değişik oksitler ve alkalilerden oluşan ince daneli bir faz olup, bir fabrika atığıdır. Hidrate kireç ile reaksiyona girerek çimentolanma etkisi

gösterir. Bu nedenle kireç – uçucu kül karışımları yol alt temellerinde kullanılırlar. %10-35 kül + %20-10 kireç karışımları genelde uygun karışımlardır (Yıldırım 2004).

Zeminlerin tuzla iyileştirilmesi yöntemi özellikle kalsiyum klorit ve sodyum klorit şişen zeminlerin iyileştirilmesinde çoğunlukla kullanılmaktadır. Tuzların zemin üzerindeki etkisi zemin özelliğine bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. Genelleme yapmak gerekirse; özellikle yüksek limit değerlerine sahip olan zeminlerde etkili olmaktadır. Zeminlerin su içeriklerinin korunmasını, büzülme limitinin ve kayma dayanımının artmasını sağlarlar. Suyun donma derecesini düşürdüklerinden donmadan kaynaklanan şişme probleminin çözümünde başarılı olarak kullanılmışlardır. Ancak zaman içerisinde zeminden ayrılmaları problem oluşturmaktadır. Bu nedene stabilizasyonun belirli sürelerde tekrarlanması gerekmektedir. Bu da yöntemin ekonomik olmamasına neden olmaktadır (Çetin 2003).

İkizler vd (2012) tarafından bildirildiğine göre pratikte şişen zeminlerin iyileştirilmesinde çok yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biride şişen bir zeminin, şişmeyen bir zeminle karıştırılmasıdır. Kum, katkı malzemeleri arasında hem uygulaması kolay olan hem de etkili ve ucuz bir malzemedir. Yapılan çalışmalarda şişme özelliklerini iyileştirmek amacıyla %20 ile %80 arasında değişen oranlarda kum kullanılarak, etkili sonuçlar alınmıştır (Satyanarayana 1969; Mollins *et al.* 1996; Hudyma and Avar 2006; Rao *et al.* 2006; Studds *et al.*1998; Wiebe *et al.*1998; Xu *et al.* 2003).

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Deneylerde Kullanılan Kilin Özellikleri

Deneylerde iki farklı kil kullanılmıştır. Çalışmada Erzurum Oltu - Narman yöresinde 2 farklı bölgede yüzeyden 1 m. derinlikte normal konsolide olmuş kırmızı ve yeşil kil tabakalarından numune alınmıştır.



Şekil 3.1. Erzurum-Oltu havzasında bulunan yeşil kil formasyonu



Şekil 3.2. Erzurum-Narman havzasında bulunan kırmızı kil formasyonu

Deneylerde kullanılan kırmızı kilin ve yeşil kilin bazı geoteknik özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Kırmızı ve yeşil kilin bazı geoteknik özellikleri

Geoteknik Özellik	Kırmızı kil	Yeşil kil
Zemin Sınıfı	CH	CH
G_s	2,66	2,79
İnce dane miktarı (%)	98,0	95,0
w_L (%)	72,5	57,0
w_P (%)	35,0	30,0
I_P (%)	37,5	27,0
Şişme Basıncı (kPa)	127,3	32,6

Kil numuneler üzerinde yaptırılan kayaç analiz sonuçlarından killerin bünyelerinde kil mineralleri ve kil olmayan mineraller (Kalsit, Kuvars, Feldispat ve Analsim) bulduklarını tespit edilmiştir. Kırmızı kilin bünyesinde %69, yeşil kilin bünyesinde %76 oranında kil mineralleri, %31 ve %24 oranında kil olmayan mineraller bulunduğunu belirlenmiştir (Çizelge 3.2). Kırmızı ve yeşil renkte doğal kil numunelerinin kil mineral içerikleri Çizelge 3.3'te verilmiştir (Akbulut vd 2011).

Çizelge 3.2. Kil numunelerinin tüm kayaç analizleri (Akbulut vd 2011)

	Doğal Kırmızı	Doğal Yeşil Kil
Kil %	69	76
Kalsit %	17	7
Feldispat %	8	3
Kuvars %	6	3
Analsim	-	11

Çizelge 3.3. Kil numunelerinin mineral analizleri (Akbulut vd 2011)

	Doğal Yeşil Kil	Doğal Kırmızı
Smektit %	34	45
Kaolin %	18	18
İllit %	22	10
Klorit %	26	27

Kil numunelerine yaptırılan XRF analiz sonuçlarından elde edilen kimyasal bileşenleri Çizelge 3.4'te verilmiştir. Çizelge 3.4 verileri değerlendirildiğinde K_2O oranının yeşil

ve kırmızı kilde %2,62 ve %1,23 oranlarında olduğu görülmektedir. K_2O oranı kil örneği içindeki illit mineralinin miktarını ifade etmektedir (Önalp 2002). İllit minerali sırası ile yeşil Kilde %22, kırmızı kilde %10 oranlarında bulunmaktadır (Çizelge 3.3). Kimyasal yapıdaki MgO miktarları kildeki Klorit mineralinin varlığını göstermektedir (Özpınar vd 2006). Bu bileşikler yeşil kilde %7,29 ve kırmızı kilde %8,1 oranında bulunmaktadır (Çizelge 3.4). Çizelge 3.3'te verilen kil mineral analizleri incelendiğinde yeşil kilde %26 ve kırmızı kilde %27 oranında Klorit mineralinin bulunduğu görülmektedir. Ayrıca, killerde SiO_2/Al_2O_3 oranının 2/1 den büyük olması killerin Kaolin dışında kil minerallerini (Smektit, illit, klorit) temsil ettiğini göstermektedir (Akıncı 1968; Akbulut vd 2011).

Çizelge 3.4. Kil numunelerin kimyasal bileşenleri (Akbulut vd 2011)

Sembol	Yeşil Kil (%)	Kırmızı Kil (%)
Na_2O	2,36	0,20
MgO	7,29	8,10
Al_2O_3	13,70	12,22
SiO_2	45,12	41,48
K_2O	2,62	1,23
CaO	7,48	11,14
TiO_2	0,52	0,53
Fe_2O_3	5,62	9,88
LOI	13	13
SiO_2/Al_2O_3	3,29	3,39
SiO_2/Fe_2O_3	8,02	4,19
SiO_2/MgO	6,18	5,12
SiO_2/CaO	6,03	3,72

3.1.1. Doğal killer üzerinde yapılan XRD analizleri

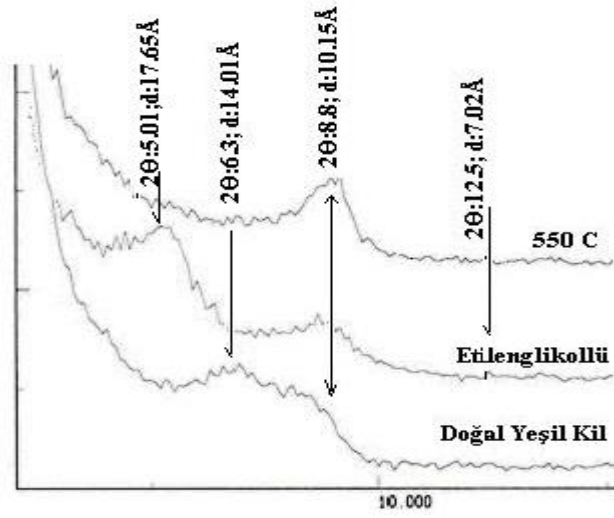
Smektit $(1/2Ca, Na)(Al, Mg, Fe)_4(Si, Al)_8O_{20}(OH)_4 nH_2O$: Çalışma kapsamında kullanılan doğal killerin Etilen Glikolle doyurulmuş XRD analizleri göstermiştir ki, smektit kil minerali Etilen Glikölü önemli oranda tabakalar (2:1 yapısında) arasına alarak şişmiştir (Önalp 2002). Etilen Gliköllü numune XRD'leri, yine doğal kil numune

XRD (Şekil 3.3, Şekil 3.4) sonuçları ile karşılaştırıldığında Smektit mineralinin şişerek tabaka kalınlığının Yeşil Kilde 14Å (Angstroms) dan 17.65Å, Kırmızı Kilde 16.66Å a ulaştığı ölçülmüştür (Şekil 3.3, Şekil 3.4). Aynı zamanda Etilen Glikollü numunelerin kırılma açısının grafik üzerinde sola doğru yer değiştirdiği görülmektedir. 550°C’de pişirilmiş killerin XRD analizleri incelendiğinde bünyesindeki suyu kaybeden smektit minerali (Konta 1995) 10Å dolaylarında pikler vermiştir (Şekil 3.3, Şekil 3.4).

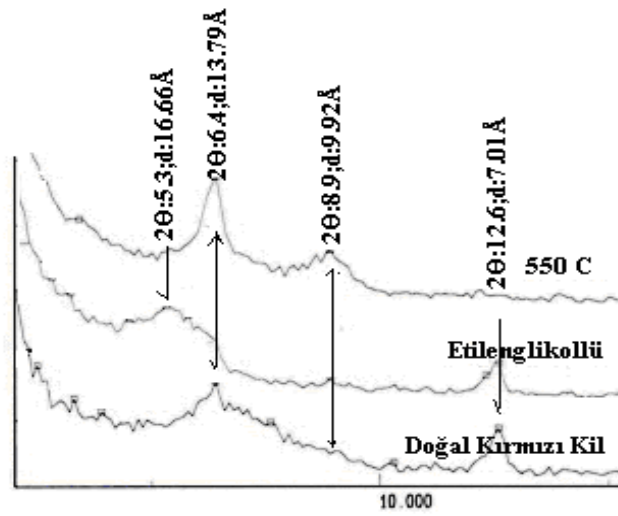
İllit ((K,H3O)(Al,Mg,Fe)2(Si,Al)4O10[(OH)2,(H2O))): Şekil 3.3 ve Şekil 3.4’de gösterilen etilen glikolle doyurulmuş ve 550 °C de pişirilmiş kil numunelerin ve doğal kil numunelerin XRD analizleri incelendiğinde İllit piklerinin (Yeşil Kilde:10.15 Å, Kırmızı Kilde: 9.92Å) değişmediği görülmektedir (Konta 1995; Önalp 2002).

Kaolin (Al₂Si₂O₅(OH)₄): Doğal kil numunelerin XRD analizleri ile karşılaştırıldığında 2-thetada (12.5°) pik (d:7.01Å) veren Kaolin mineralinin 550 11 °C’de pişirildiğinde amorf bir yapıya kavuştuğu ve XRD analizlerinde kaolin piklerinin kaybolduğu görülmektedir. Ayrıca XRD grafikleri incelendiğinde, Etilen glikollü numunelerde Kaolin pikinde bir değişim olmadığı görülmüştür (Şekil 3.3, Şekil 3.4) (Konta 1995).

Klorit ((Mg, Fe)₄Al₄Si₂O₁₀(OH)): Klorit kil minerali kırmızı ve yeşil kil numunelerinde mevcut olup bu kil mineralinin XRD analizlerindeki pikleri kaolin kil mineral pikleri ile çakıştığı (Moore and Reynolds 1997) için bu kil mineralinin tanımlanması kolay olmamıştır. Etilen glikollü ve 550°C’de pişirilen kil numunelerin XRD grafiklerinde klorit pikinde bir değişim görülmemiştir (Şekil 3.3, Şekil 3.4). Bununla beraber klorit kil minerali 2:1:1 veya 2:2 yapıda olup bu mineralinde suya ve kationiklere karşı ilgisi tabakalar arasındaki kuvvetli bağlar nedeniyle düşüktür.

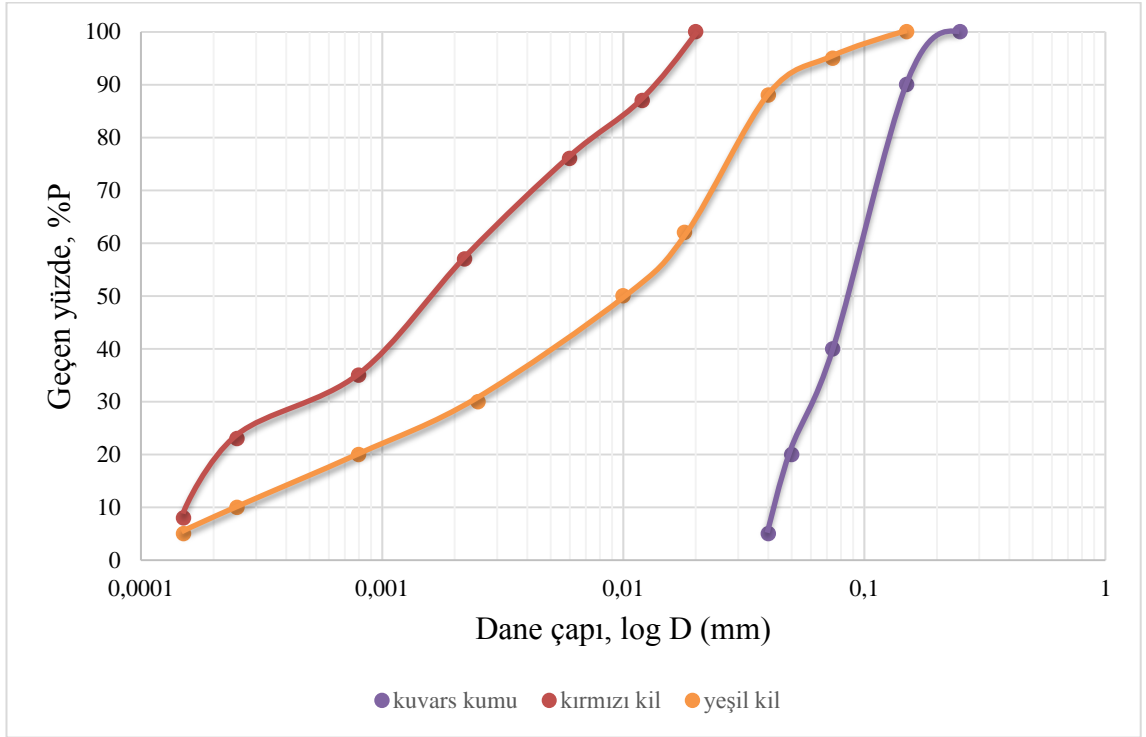


Şekil 3.3. Yeşil kil numunenin XRD analizleri
a) Doğal, b) Etilen glikollü, c) 550°C de pişirilmiş



Şekil 3.4. Kırmızı kil numunenin XRD analizleri
a) Doğal, b) Etilen glikollü, c) 550°C de pişirilmiş

Deneylerde kullanılan öğütülmüş kuvars kumunun, yeşil ve kırmızı kilin granülometri eğrileri Şekil 3.5'te verilmiştir.



Şekil 3.5. Öğütülmüş kuvars kumu, kırmızı ve yeşil kilin dane çapı dağılım eğrisi

3.2. Deneyleerde Kullanılan Öğütülmüş Kuvars Kumunun Özellikleri

Deneyleerde ticari amaçla kullanılan öğütülmüş kuvars kumu kullanılmıştır. Kuvars kumu Kılıç İç Mimalık İnş. Ltd. Şti. 'nden temin edilmiştir. Kuvars kumunun bazı geoteknik özellikleri Çizelge 3.5'de verilmiştir.

Çizelge 3.5. Kuvars kumunun bazı geoteknik özellikleri

Geoteknik Özellik	Kuvars Kumunu
Zemin Sınıfı	SM
Özgül Ağırlık, G_s	2,65
D_{10} (mm)	0,043
D_{30} (mm)	0,062
D_{60} (mm)	0,081
C_u	1,88
C_r	1,10



Şekil 3.6. Öğütülmüş Kuvars Kumu

3.3. Numunelerin Hazırlanışı

Kil numuneleri öğütülmüş, kurutulmuş ve 40 nolu elekten elendikten sonra deneye hazır hale getirilmiştir. Her iki kil numunesine de ağırlıkça %10, %20, %30 ve %50 oranlarında öğütülmüş kuvars kumu eklenmiş, optimum su içeriği değerlerine göre hazırlanan numunelerin bazı geoteknik özelliklerini incelemek amacıyla deneyler yapılmıştır.



Şekil 3.7. Doğal kırmızı kil



Şekil 3.8. Doğal yeşil kil

Çizelge 3.6. Deneyleerde kullanılan numunelerin karışım oranları

Deney grubu	Kil oranı (%)	Kum oranı (%)
K0, Y0	100	0
K1, Y2	90	10
K2, Y2	80	20
K3, Y3	70	30
K4, Y4	50	50

3.4. Deney Programı

- ❖ Su muhtevasının tayini (etüvde kurutulma metodu)
- ❖ Likit limit tayini (koni düşürme – penetrasyon metodu)
- ❖ Plastik limitin tayini ve plastisite indisinin bulunması
- ❖ Zemin danelerinin bağıl yoğunluğunun (özgül ağırlık) tayini
- ❖ Dane çapı dağılımının bulunması (yıkamalı eleme metodu)
- ❖ Dane çapı dağılımının bulunması için hidrometre metodu
- ❖ Kompaksiyon deneyi
- ❖ Serbest basınç deneyi
- ❖ Kesme kutusu deneyi

3.4.1. Su muhtevasının tayini (etüvde kurutulma metodu)

Su muhtevası deneyi TS 1900-1'e göre gerçekleştirilmiştir. Temizlenip kurutulmuş kap ve kapağı 0,01 g doğrulukla tartılır (M_1). En az 30 g zemin numunesi ufalanır, kabın içine gevşek olarak doldurulur ve kapak kapatılır. Kap, içindeki numuneler ile birlikte tartılır (M_2). Kapağı açılan kap, kapağı ve içindeki numune ile birlikte etüve konarak (105 ± 5)°C'ta kurutulur. Gerekli kurutma süresi zeminin türüne ve numune miktarına bağlı olarak değişir. 4 saat ara ile oda sıcaklığına kadar soğutulmuş numune kütleindeki değişim, numunenin başlangıç kütleinin %0,1'ini aşmıyorsa, numune değişmez kütleyle erişmiş sayılır. Numune etüvde bulunduğu sürece, kapak kapatılmamalıdır. Numune kuruduktan sonra kap, içindeki numunelerle birlikte kapağı kapatılmadan oda sıcaklığına kadar soğumak üzere desikatöre konur veya kapağı kapatılarak uygun yerde soğumaya bırakılır. Kapağı kapatılan kap, içindeki numunelerle birlikte 0,01 g doğrulukla tartılır (M_3).

Zeminin su muhtevası (w) kuru zemin kütleinin yüzdesi olarak aşağıdaki eşitlikten hesaplanır.

$$w = \frac{M_2 - M_3}{M_3 - M_1} \cdot 100 \quad (3.1)$$

Burada;

- M1 Kabın kütlesi (g),
 M2 Kap + yaş numune kütlesi (g),
 M3 Kap + kuru numune kütlesi (g) dir.

Su muhtevası (w) değerleri % olarak en yakın 0,1 hanesine yuvarlatılarak verilir. Sonuçların elde edilmesinde kullanılan metot belirtilmelidir (TS 1900-1).

3.4.2. Likit limit tayini (koni düşürme–penetrasyon metodu)

Örselenmiş numunelerin deneye hazırlanması metoduna uygun olarak 425 µm'lik elekten geçirilen 200 g kadar numune alınır ve 425 µm'lik elekten geçen kısım yüzdesi kaydedilir. Numune cam plâkanın üstüne veya porselen potaya konur; damıtık su katılarak, homojen bir hamur durumuna gelene kadar, palet bıçağıyla iyice karıştırılır. Hazırlanan numune metal deney kabına sıkıca yerleştirildikten sonra yüzeyi çelik cetvelle tesviye edilir ve penetrometre tabanına konulur. Koni, zeminin yüzeyini belirsizce çizecek seviyeye indirilir ve komparatör saatinin sıfır okuması alınır. Sonra düğmeye 5±1 saniye süre ile basılır. Süre sonunda son mikrometre okuması yapılır. İki okuma arasındaki fark koni penetrasyonudur. Koni kaldırılıp dikkatle temizlenir. Kaba biraz daha çamur eklenerek yüzeyi yine düzlendikten sonra işlemler tekrarlanır. Bu ikinci penetrasyon değerinin, ilk değerden farkı 0,5 mm ile 1 mm arasında çıkarsa, bir üçüncü deney yapılır. Değerlerdeki farklılık 1 mm dolayında kalırsa 10 g kadar bir su muhtevası numunesi koni deliği civarından alınır ve su muhtevası ölçülür. Bu su muhtevasına karşılık üç penetrasyon değerinin ortalaması kaydedilir. Yukarıda anlatılan işlemler numuneye su eklenerek en az üç kez ve değişik su muhtevalarında yapılır. Bu su muhtevaları penetrasyon değerlerinin 15 mm ile 25 mm arasında değişeceği biçimde

ayarlanmalıdır. Kural olarak deney, kurudan ıslak karışıma doğru yürütülür ve koni ile deney kabı her denemeden sonra temizlenir.

Su muhtevası ve koni penetrasyonu değerleri bir koordinat eksenine, her deneme için su muhtevası yüzde olarak yatay eksene, penetrasyon değeri de düşey eksene işaretlenir. Noktalardan geçirilecek en uygun doğrudan akış eğrisi elde edilir. 20 mm penetrasyona karşılık olan su muhtevası, zeminin likit limiti olarak tayin edilir (TS 1900-1).

3.4.3. Plastik limitin tayini ve plastisite indisinin bulunması

Örselenmiş numunelerin deneye hazırlanması metoduna uygun olarak elde edilmiş ve likit limit deneyi için hazırlanmış olup 425 µm'lik elekten geçen malzemedan yaklaşık 20 g numune alınır. Zeminin 425 µm elekten geçen kısmının yüzdesi kaydedilir. Numune homojen bir duruma gelene ve küçük bir top biçimini alabilecek kadar plâstik olana kadar, cam plâka üzerinde, damıtık su ile iyice karıştırılıp yoğrulur. Böylece hazırlanmış numune yaklaşık olarak iki eşit parçaya bölünür. Bunlara yeniden top biçimi verildikten sonra bir tanesi, 3 mm çapında silindirik bir çubuk şeklini alana kadar cam plâka ile el ayası arasında yuvarlanır. Numunenin çapı yaklaşık 3 mm olduğu anda çatlama ve kopma belirmemişse zemin tekrar topak haline yoğrulur ve yeniden yumrulanır. Çap tam 3 mm'ye indiği anda, yuvarlanan zeminde çatlayıp dağılmalar görülene değin bu işlem sürdürülür. Çapın doğru olarak belirlenmesinde karşılaştırma ölççeği olarak bir metal çubuk kullanılır. Numunenin dağılan parçaları toplanıp bir numune kabına konur ve metotla su muhtevası ölçülür. Bulunan su muhtevalarının ortalaması, zeminin plastik limiti (w_p) olarak kabul edilir. Zeminin plastisite indisi bulunmak isteniyorsa, likit limit belirleme deneyi ile bulunan likit limit kullanılarak eşitliği ile sonuca gidilir.

$$I_p = W_L - W_p \quad (3.2)$$

Plastik limit deneyi gerçekleştirilemiyor veya plastik limit, likit limite eşit veya ondan büyükse deney raporunda belirtilmelidir (TS 1900-1).

3.4.4. Zemin danelerinin bağıl yoğunluğunun (özgül ağırlık) tayini

Hacim şişesi, sıcaklığı (105±5)°C olan etüvde kurutulur, desikatörde soğutulur ve 0,001 g doğrulukla tartılır (M1). En az 10 g kütledeki zemin numunesi bağıl yoğunluk şişesine aktarılır. Şişe, içerisindeki zemin ve kapağı ile birlikte 0,001 g doğrulukla tartılır (M2). Hacim şişesi içindeki numuneyi ancak örtecek miktarda, havası alınmış damıtık su eklenir. Havası tam olarak çıkıttıktan sonra 0,01 g doğrulukla tartılır (M3). Hacim şişesinin içindekiler boşaltılır, hacim şişesi temizlenir ve havası alınmış damıtık su veya deney sıvısı ile işaret çizgisine kadar doldurulur, havası tam olarak sonra 0,01 doğrulukla tartılır (M4).

Hesaplamalar; zemin danelerinin bağıl yoğunluğu (G_s) aşağıdaki eşitlikten hesaplanır.

$$G_s = \frac{\rho_L(M_2 - M_1)}{\rho_w(M_4 - M_1) - (M_3 - M_2)} \quad (3.3)$$

Burada;

M_1	Hacim şişesinin kütlesi, (g),
M_2	Hacim şişesi ile kuru zemin kütlesi, (g),
M_3	Hacim şişesi, zemin ve sıvının kütlesi, (g),
M_4	Hacim şişesinin sadece sıvı ile dolu kütlesi, (g),
ρ_L	Deneyde kullanılan sıvının deney sıcaklığında yoğunluğu, (kN/m ³),
ρ_w	Damıtık suyun deney sıcaklığında yoğunluğu, (kN/m ³) dur.

Elde edilen iki değer ortalaması, zemin danelerinin bağıl yoğunluğu olarak kabul edilir (TS 1900-1).

3.4.5. Dane apı dağılımının bulunması (yıkamalı eleme metodu)

Örselenmiş numunelerin deneye hazırlanması metoduna uygun olarak temsili numune elde edilir ve etüvde kurutulur. Etüvde kurumuş malzeme 0,01 g doğrulukla tartılır ve bulunan değer kaydedilir. Geniş bir tepsi içine serilir veya bir kova içine konur ve su ile örtülür. Numuneyi örtmekte kullanılan suyun her bir litresi için 2 g sodyum heksametafosfat katılır ve zeminin tamamen ıslanmasını sağlamak için kabın içindekiler iyice karıştırılır. Numune son bir kez karıştırıldıktan sonra bulanık su, yavaş yavaş 75 µm'lik eleğin üzerine aktarılır. İri danelerin 75 µm'lik eleğe zarar vermemesi için 75 µm'lik eleğin üzerine daha büyük göz açıklıklı ve kalın telli başka bir elek (425 µm veya 2 mm gibi) konularak iri danelerin bu eleğin altına geçmesi önlenir. 75 µm'lik elek üzerinde kalan malzeme hiçbir zaman 150 gramı aşmamalıdır. Numuneye yeniden su katılır. Bulanık su, 75 µm elekten geçirilip atılır. Bu yıkama işleminin, 75 µm elekten geçen su duru hale gelinceye kadar sürdürülür. Eleklerden kalan malzemenin tamamı tepsilere veya porselen potalara boşaltılır ve (105±5)°C sıcaklıklı etüvde kurumaya bırakılır. Etüvde kurutulan malzeme uygun bir elek serisinden elenir. Eleme mekanik sarsma cihazıyla yapılıyorsa sarsma süresi en az 10 dakika olmalıdır. Her elekte kalan miktar tartılır ve elde edilen kütleler kaydedilir. 75 µm'lik elekten geçen malzemenin miktarı, deneyde kullanılan eleklerde kalan malzeme kütlelerinin toplamının, kaydedilen toplam kütleden çıkarılmasıyla elde edilir.

Toplam numune kütlesi esas alınarak, her elekte kalan malzeme miktarı, 75 µm elekten ise geçen miktarı hesaplanır ve yüzdeleri bulunur. Başlangıçtaki numune çeyrekleme metoduyla azaltılmışsa, bu hesaplamalarda dikkate alınmalıdır. Her elekten geçen toplam malzeme yüzdesi hesaplanır. Eleklerde kalan yüzdelerin toplamının 100'den çıkarılmasıyla, her elekten toplam geçen elde edilir.

Dane apı dağılımını deneyi için form kullanılabilir ve dane çapı dağılımını eğrisi için yarı logaritmik grafik çizilebilir (TS 1900-1).

3.4.6. İnce daneli zeminlerin dane çapı dağılımının bulunması için hidrometre metodu

Örselenmiş numunelerin deneye hazırlanması metoduna uygun olarak elde edilen havada kurutulmuş numuneden, yarılama metoduyla, her biri yaklaşık olarak 50 g-100 g kütlesinde iki numune elde edilir. Numunelerden birinin su muhtevası ölçülür. Diğer numune, 0,01 g doğrulukla tartılır (Ma) ve geniş ağızlı konik şişeye konur. Üzerine 150 mL hidrojen peroksit çözeltisi eklenir, birkaç dakika süreyle cam çubukla hafifçe karıştırılır ve şişenin ağzı cam kapakla örtüldükten sonra ertesi güne kadar bekletilir. Bekletilmiş karışım hafif ateşte ısıtılır. Porselen pota 0,01 g duyarlılıkla tartılır ve konik şişedeki karışım bu potaya aktarılır. Pota, içindekilerle birlikte etüve konur ve $(105\pm 5)^{\circ}\text{C}$ 'ta kurutulur. Bundan sonra pota, içindekilerle birlikte desikatöre konur ve soğumaya bırakılır. Soğuyan numune, pota ile birlikte 0,01 g duyarlılıkla tartılır. Bu tartı sonucundan kap kütlesinin çıkarılmasıyla numunenin ön işlemler sonundaki kütlesi (Mb) elde edilir. Organik madde yüzdesi düşük (%2'den az olan) zeminlerde, dağıtma maddesi katılarak deney sürdürülür.

Porselen potanın içindeki numuneye 100 ml sodyum heksametafosfat çözeltisi katılır ve karışım hafif ateşte 10 dakika kadar Karışım, pisetten damıtık su fişkırtılarak, içinde tel kafes bulunan karıştırma kabına aktarılır. Zemin süspansiyonu bundan sonra 15 dakika süreyle mekanik karıştırıcı yardımıyla karıştırılır. Süspansiyon vakit geçirmeden, alt kap üzerine oturtulmuş 75 μm 'lik eleğe aktarılır. Karıştırma kabına ve tel kafese yapışmış bütün süspansiyon kalıntılarının damıtık su ile yıkanarak tamamen eleğe aktarılmasına özen gösterilmelidir. Eleğe aktarılan zemin, pisetten damıtık su fişkırtılarak yıkanır. Bu işlemler sırasında kullanılan damıtık suyun miktarı 500 ml'yi aşmamalıdır. 75 μm 'lik elekten geçmiş olan süspansiyon, 1000 ml'lik mezüre aktarılır ve damıtık su eklenerek tam 1000 ml'ye tamamlanır. Bu süspansiyon, bundan sonra, aşağıda anlatılan çöktürme analizi için kullanılır.

75 μm 'lik eleğin üzerinde kalan malzeme, bir porselen potaya aktarılır ve $(105\pm 5)^{\circ}\text{C}$ sıcaklıklı bir etüvde kurutulur. Kuruduktan sonra, bu malzeme 4,75 mm'lik, 600 μm ,

200 µm ve 75 µm'lik eleklerden oluşan elek dizisinden elenir. Eleme sonunda, bu elekler üzerinde kalan malzeme ayrı ayrı tartılır ve kütleleri kaydedilir.

Mezürün ağzı lâstik bir tıpa ile kapatılır ve homojen bir süspansiyon oluşana kadar sert bir biçimde çalkalanır, en sonunda baş aşağı çevrilir. Çalkalama işlemi durdurulur durdurulmaz mezür, düz bir yüzey üzerine oturtulur ve kronometre çalıştırılır. Hidrometre yüzme durumunun az altına gelene kadar süspansiyona daldırılır ve serbestçe yüzmeye bırakılır. Kronometreye bakılarak 0,5, 1, 2 ve 4'üncü dakikalarda hidrometre okumaları alınır. Bundan sonra hidrometre, yavaşça süspansiyondan çıkarılır, damıtık suyla yıkanır ve zemin süspansiyonu ile aynı sıcaklıkta tutulan damıtık su dolu diğer bir mezür içinde bekletilir. Kronometre 8. dakikaya yaklaşırken (yaklaşık olarak 15 saniye kala) hidrometre yeniden süspansiyona daldırılır ve hidrometre okuması alınıp kaydedilir. Okuma alındıktan sonra hidrometre çıkarılır, yıkanır ve damıtık su içine konur. Aynı biçimde, 15, 30, 60, 120, 480 dakikalarda hidrometre okumaları alınır. Bundan sonra, iki gün süreyle günde 1 veya 2 kez okuma alınır ve bu okumalara karşılık olan çökme süreleri tam olarak kaydedilir (TS 1900-1).

3.4.7. Kompaksiyon (proktor) deneyi

Bir zeminin sıkıştırılarak optimum su muhtevasının saptanmasında aşağıdaki yöntemlerden yararlanılır.

- a) Standart Kompaksiyon (Proktor) Deneyi
- b) Modifiye Kompaksiyon (Proktor) Deneyi

Bu çalışma kapsamında standart kompaksiyon deneyi uygulandığından yalnızca standart kompaksiyon deneyi anlatılmıştır.

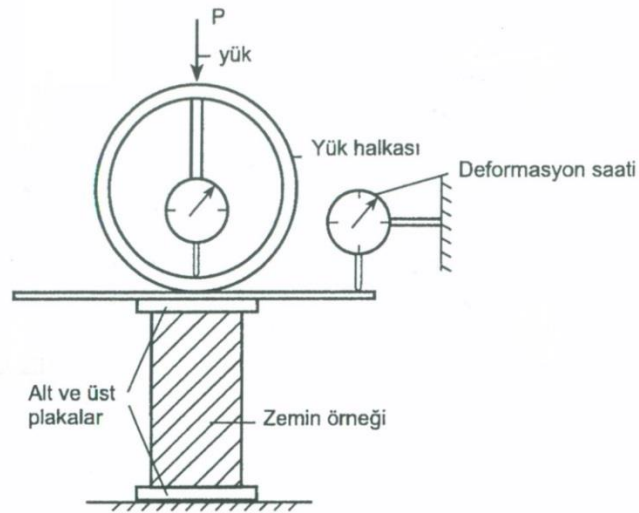
Kalıp, taban plâkası takılmış olarak 1 g doğrulukla tartılır. Kalıp, beton döşeme gibi sert bir yüzey üzerine oturtulur ve nemli zemin, mümkün olduğu kadar eşit küttelede üç tabaka halinde, her birine 305 mm serbest düşüş yapan tokmakla 25 darbe uygulanarak,

üst ucuna yakası takılmış kalıbın içine sıkıştırılır. Yaka çıkarılır ve sıkıştırılmış zemin, çelik cetvelle, kalıbın üst kenarı düzeyinde dikkatle düzlenir. Kalıp ve zemin, 1 g duyarlılıkla tartılır. Sıkıştırılmış zemin, kalıptan çıkarılıp büyükçe bir metal kaba konur. Bu zeminini temsil eden bir numune alınarak su muhtevası ölçülür. Zeminin geriye kalanı, ufalanıp ilgili elekten geçirilir ve deneyin başında hazırlanan numunedan artmış oranla karıştırılır (TS 1900-1).

3.4.8. Serbest basınç (tek eksenli basınç) deneyi

Serbest basınç deneyinde silindirik zemin numunesi üzerine sadece eksenel yönde yükleme yapılmaktadır. Eksenel yükün artmasıyla numunenin boyundaki kısalma (deformasyon) ölçülerek gerilme-deformasyon eğrileri elde edilmektedir. En büyük eksenel gerilmenin değeri zeminin serbest basınç dayanımı değerini temsil etmektedir. Numunede meydana gelen kayma düzleminin, alt ve üst yükleme başlıkları ile kesişmesini engellemek için, boy uzunluğunun çapa oranının iki veya ikiden büyük olarak seçilmesi önerilmektedir (Tumluer 2006).

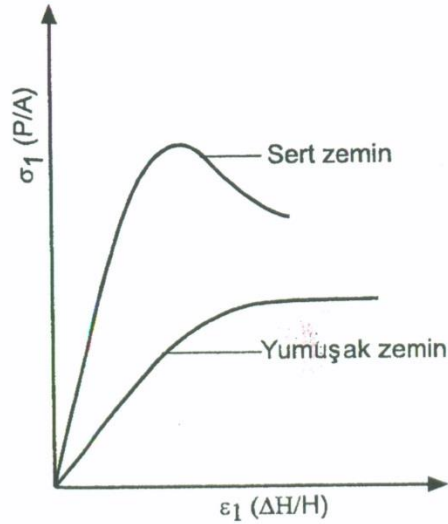
Serbest basınç deney aleti, biri sabit diğeri düşey yönde hareketli iki plaka, yük halkası ve 2 adet deformasyon saatinden oluşur. Deneyin basit şeması Şekil 3.9'da gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Serbest basınç deneyinin basit şeması (Uzuner 2007)

Serbest basınç deneyi yanal desteğe gerek kalmadan kendi kendini ayakta dik olarak tutabilecek özelliklere sahip olan zeminlerin üzerinde uygulanabilmektedir. Bundan dolayı bu deneyin kum zeminlerde uygulanması mümkün olmayıp, kohezyonlu zeminlerde uygulanabilir. Deney sırasında numunenin drenaj şartları kontrol edilmemektedir. Bu yüzden yüklemenin hızlı yapılması ile zeminin drenajsız kayma mukavemeti elde edilir. Serbest basınç deneyi, killerin drenajsız kayma mukavemetini belirlemede yaygın olarak kullanılmaktadır (Coduto 2006).

Zeminler için deney sonucunda iki tür deformasyon- gerilme ilişkisi söz konusudur. Bu eğriler Şekil 3.10'da verilmektedir.



Şekil 3.10. Serbest basınç deneyinde deformasyon-gerilme ilişkileri (Uzuner 2007)

Şekilde görüldüğü gibi sert zeminlerin serbest basınç mukavemetleri buna bağlı olarak da kohezyonları yumuşak zeminlere göre daha yüksek, kırılma anındaki deformasyonları yumuşak zeminlere göre daha düşüktür.

Kohezyonlu zeminler, serbest basınç mukavemetlerine göre sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırma Çizelge 3.7'de gösterilmektedir.

Çizelge 3.7. Serbest basınç mukavemetine göre killerin sınıflandırılması (Uzuner 2007)

Kıvam (Ayrıntılı)	Serbest basınç mukavemeti q_u kN/m ²	Kıvam (Basit)
Çok yumuşak	<25	Yumuşak <50
Yumuşak	25-50	
Yumuşak-orta sert	50-100	Orta sert 50-200
Orta sert	100-200	
Sert	200-400	Sert >200
Çok sert	>400	

Serbest basınç deneyi üç eksenli kesme deneyinin özel bir halidir. Genellikle doymun kil zeminlerde ($f=0$) kayma direncinin belirlenmesinde kullanılır. Serbest basınç deneyi gerilme kontrollü ya da birim boy kısalması kontrollü olarak iki biçimde yapılmaktadır. Birim boy kısalması kontrollü deney basit olduğu için yaygın olarak kullanılmaktadır.

**Şekil 3.11.** Serbest basınç deneyi için numune alınması

Serbest basınç (tek eksenli) deneyi ASTM D 2166-00 (2000) standardına göre yapılmış olup deneyin yapılışı aşağıda anlatılmıştır.

- ❖ Örnek deney aygıtının alt tablasının ortasına yerleştirilir. Örneğin alt ve üst yüzeyleri deney aygıtının alt ve üst tablalarının merkezlerine gelecek şekilde ayarlanır. Aygıt çalıştırılarak örneğin üst tablaya hafifçe temas etmesi sağlanır.
- ❖ Deformasyon okuması ve kuvvet halkası saatleri sıfırlanır.
- ❖ Yükleme hızı örnek boyunun mm cinsinden %0,5-2'si arasında bir değer olacak şekilde ayarlanır. Örneğin yüklenmesine başlanır ve deformasyon saati ve kuvvet halkası saatinden okumalar alınır. Yükleme hızı örneğin en çok 15-20 dk içinde kırılmasını sağlayacak şekilde seçilmelidir.
- ❖ Kırılmanın gözle görülebilir olması halinde; yüklemeler örnekte kırılma düzlemi görülünceye kadar devam ettirilir. Bu durumda yükler önce artar ve bir maksimum değere ulaşır. Okumalardan birkaç tanesi sabit kalabilir. Sonraki okumalarda genelde ani azalmalar görülür ve kırılma oluşur.
- ❖ Bazı durumlarda ise kırılma düzlemi görmek mümkün değildir. Birkaç tane kırılma düzlemi ve örneğin ortasında bir genişleme meydana gelir. Kırılmanın bu şekilde olması halinde; örnek boyunun %15 kılmasına kadar yüklemeye devam edilir. %15 kılmanın gerçekleştiği durumda kırılmanın oluştuğu kabul edilir.
- ❖ Örneğin kırılma şekli çizilir veya fotoğrafı çekilir. Örnekte belirgin bir kırılma düzlemi oluşmuşsa bu düzlemin yatayla yaptığı açı ölçülür (q).
- ❖ Deney sonunda örnek 0,01 g duyarlılıklı tartıda tartılır.
- ❖ Deney sonu su içeriği belirlenir (Aytekin 2004).

Yapılan serbest basınç deneyi Şekil 3.12'de gösterilmektedir.



Şekil 3.12. Serbest basınç deneyi düzeneği

3.4.9. Kesme kutusu deneyi

Zeminlerin kayma direnci; zemine uygulanan sürekli deplasmanlar altında zemin danelerinin birbirine göre rölatif hareketlerine karşı gösterdikleri dirençtir. Kesme kutusu deneyi kohezyonlu ya da kohezyonsuz zeminlerin kayma dirençlerini belirlemek için kullanılan bir deneydir. Kesme kutusunun üst başlığı sağa doğru kaydırılarak zorlanmaktadır. Bu şekilde zemin numunesi yatay zorlanmayla kesilerek kayma parametreleri bulunabilmektedir (Aytekin 2004).

Kesme kutusu deneyi iri ve ince daneli zeminlerin örselenmemiş veya sıkıştırılmış numunelerinde, en büyük yumuşamış ve kalıntı direnç parametrelerinin, numunelerin önceden belirli yatay bir düzlem boyunca kesilmesi suretiyle ölçülmesine dairdir. Zeminin kayma parametrelerinin belirlenmesi için yapılır. Numunenin kenar boyutu; 60 mm olan kare biçimindeki, yüksekliği ise 20 mm veya fazla olmalıdır. Deney en az üç numune ile farklı normal gerilmelerde numuneler konsolide edilerek yapılır.

Kullanılan cihazlar;

- ❖ Kesme kutusu
- ❖ Yatay kuvvet uygulama sistemi
- ❖ Gözenekli taşlar
- ❖ Çelik numune alıcılar
- ❖ Numune itici
- ❖ Düşey hareketi ölçen mikrometre
- ❖ Yatay hareketi ölçen mikrometre
- ❖ Terazî
- ❖ Kronometre
- ❖ Etüv
- ❖ Su
- ❖ Palet bıçağı
- ❖ Numune kabı

Çelik numune alıcı zemine batırılarak numune tüpünden numune alınır. Numunenin alt ve üst kısmı palet bıçağı ile hiç yük uygulamadan düzeltilir. Halka + numune ağırlığı terazide tartılarak bulunur. Ardından kesme kutusu cihazına gözenekli taş ve üstüne filtre kağıdı konularak, numune itici kullanılarak numune alıcıdan numune itilerek filtre ve gözenekli taşın üstüne oturtulur. Bu sırada numuneye fazla kuvvet uygulayıp numunenin konsolide olmasına izin verilmemelidir. Numunenin üstüne filtre kağıdı ve gözenekli taş konular ve üzerine baslık oturtulur. Numuneyi koyduğumuz iki parçalı hücrenin alt parçası ana hücreye sabitlenir, üst parçası da kuvvet halkasına bağlanır. Düşey yük özengi çelik başlığın üzerindeki çelik bilyeye oturtulur. Yatay hareketi, düşey oturmayı ölçen mikrometreler sıfırlanır. Numune artık deneye hazırdır.

Deneyin yapılışı; Sol ve sağ keseye ağırlıklar konulduktan sonra havuza su konur numune konsolidasyona maruz bırakılır. Numune kum ise ani sıkışma göstereceğinden konsolidasyon süresi, mikrometre belli bir yerde durduğunda veya çok yavaş ilerlediğinde konsolidasyona son verilir. Kil gibi ince deneli zeminlerde bu

konsolidasyon suresi en az 24 saattir. Konsolidasyonda sonra numuneyi kesme işlemine geçilir. Kuvvet halkasını ve yatay ötelenmeyi ölçen mikrometreler sıfırlanarak kesme kutusu çalıştırılır. Numune belirlenen hızla (0,5mm/dak) kesme işlemi başlatılır. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16,dakika zaman aralıklarında kuvvet halkası mikrometresinden kuvvet halkası değeri ve bu değere karşılık gelen yatay ötelenmede diğer mikrometreden okunarak bu değerle düzenli bir şekilde kaydedilir. Kuvvet halkası değerleri belli bir noktadan sonra sabitlenince (gevşek kum) veya belli bir noktadan sonra düşerse (sıkı kum) deneye son verilir. İşlem tamamlandıktan sonra numunenin alt ve üst taraflarında yatay ötelenme yaptığı görülür. Numune hassas terazide tartılarak ağırlığı kaydedilir. Ardından numune, numune kabına konularak etüve atılır ve kuru ağırlığı bulunur. Kesme kutusu deneti için bu sefer ikinci ve üçüncü numune için de tekrarlanır. Bu şekilde deneye son verilir (TS 1900-2). Kesme kutusu deney aleti Şekil 3.13'te gösterilmektedir.



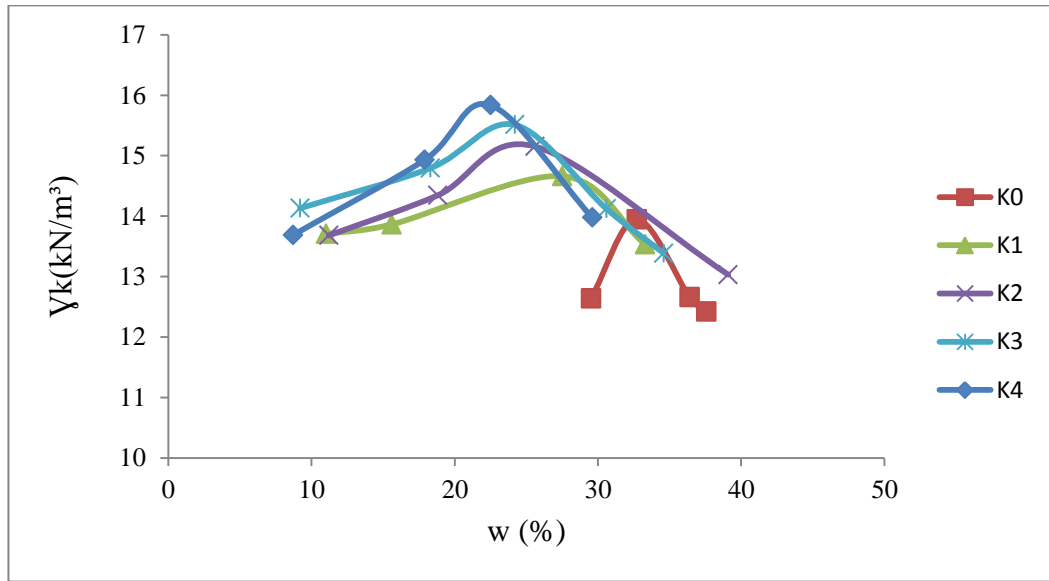
Şekil 3.13. Kesme kutusu deneyi aleti

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Laboratuvar deney programına ve ilgili standartlara uygun şekilde yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen bulgular aşağıda verilmiştir.

4.1. Kompaksiyon Deneyi Sonuçları

İki kil zemine farklı oranlarda öğütülmüş kuvars kumu katılarak kompaksiyon deneyleri yapılmıştır. Kırmızı kile belirtilen oranlarda öğütülmüş kuvars kumu katılarak (K grubu) kompaksiyon eğrileri belirlenmiştir. Kompaksiyon eğrileri Şekil 4.1’de, kompaksiyon deneyi sonuçları da Çizelge 4.1’de verilmiştir.



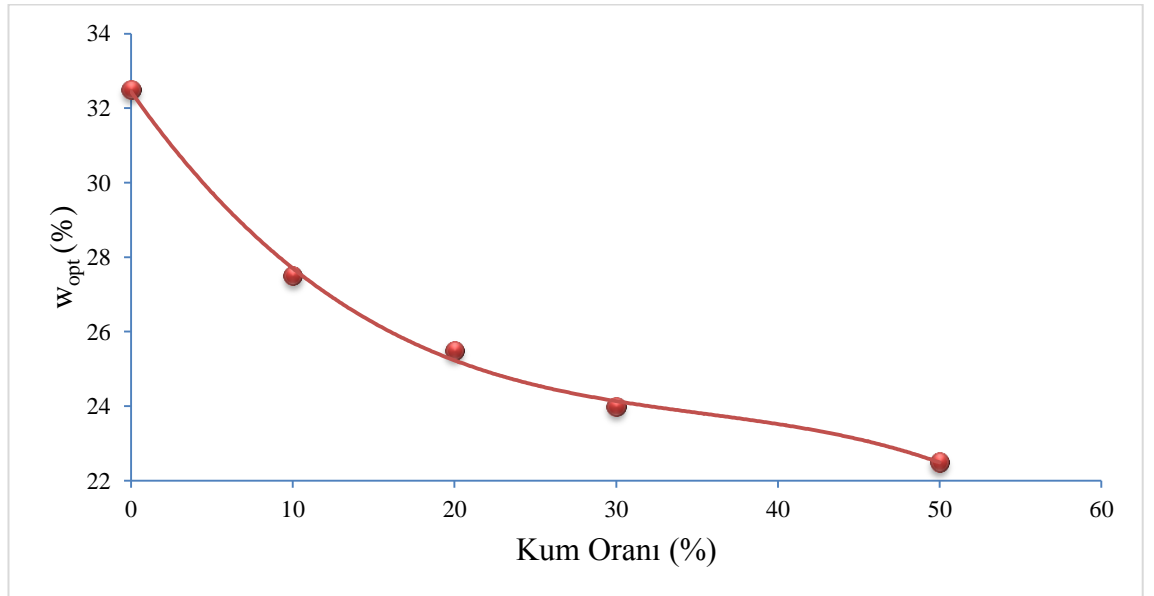
Şekil 4.1. K grubu numunelerin kompaksiyon eğrileri

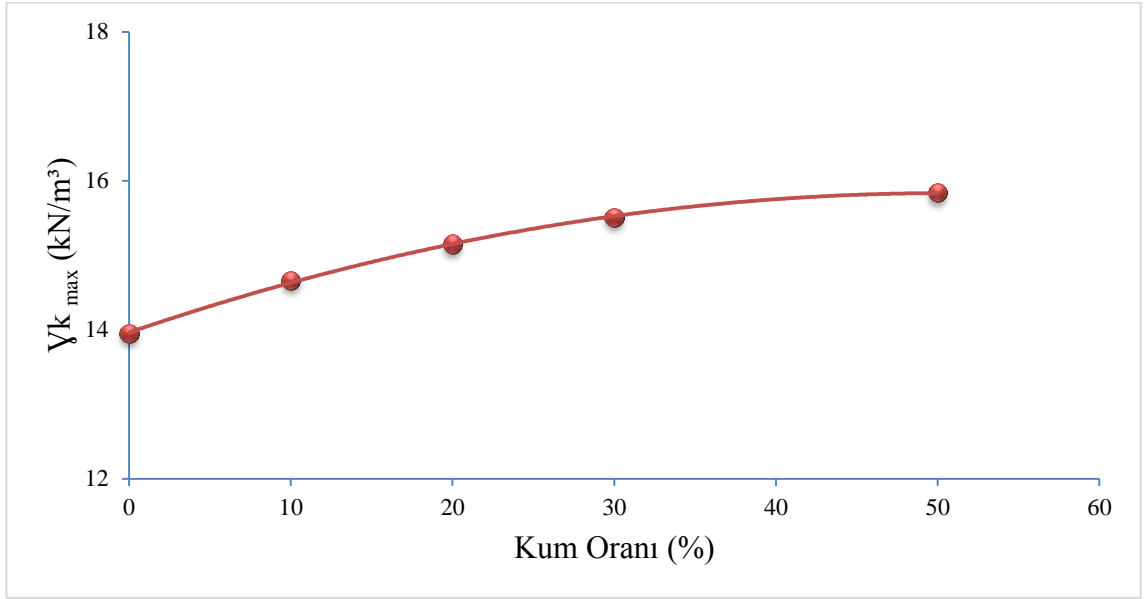
Çizelge 4.1. K grubu numunelerin kompaksiyon deneyi sonuçları

Numune	Optimum su muhtevası w_{opt} (%)	Kuru birim hacim ağırlık $\gamma_{k,max}$ (kN/m ³)
K0	32,5	13,95
K1	27,5	14,66
K2	25,5	15,15
K3	24,0	15,51
K4	22,5	15,84

Çizelge 4.1 incelendiğinde kırmızı kil için ağırlıkça %10, %20, %30, %50 kuvars kumu katkısının numunenin kuru birim hacim ağırlığını artırdığı, optimum su muhtevasını düşürdüğü görülmüştür.

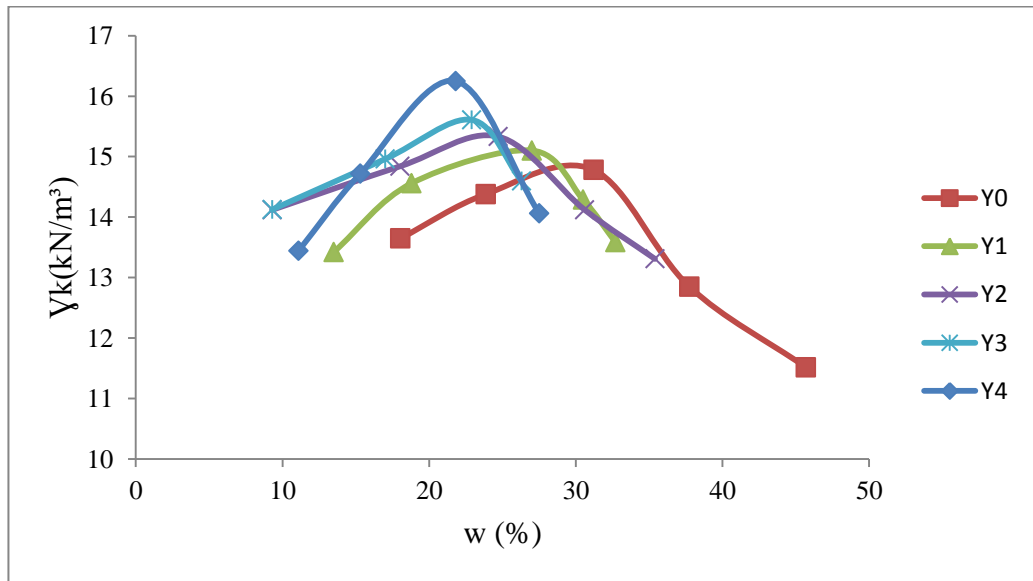
Kırmızı kil zemine artan miktarda öğütülmüş kum katıldığı zaman, optimum su muhtevasındaki değişim Şekil 4.2’de, maksimum kuru birim hacim ağırlıktaki değişim Şekil 4.3’te gösterilmiştir.

**Şekil 4.2.** Kırmızı kilin optimum su muhtevasına kuvars kumu katkısının etkisi



Şekil 4.3. Kırmızı kilin maksimum kuru birim hacim ağırlığına kuvars kumu katkısının etkisi

Yeşil kile belirtilen oranlarda öğütülmüş kuvars kumu katılarak (Y grubu) kompaksiyon eğrileri belirlenmiştir. Kompaksiyon eğrileri Şekil 4.4’de, kompaksiyon deneyi sonuçları da Çizelge 4.2’de verilmiştir.



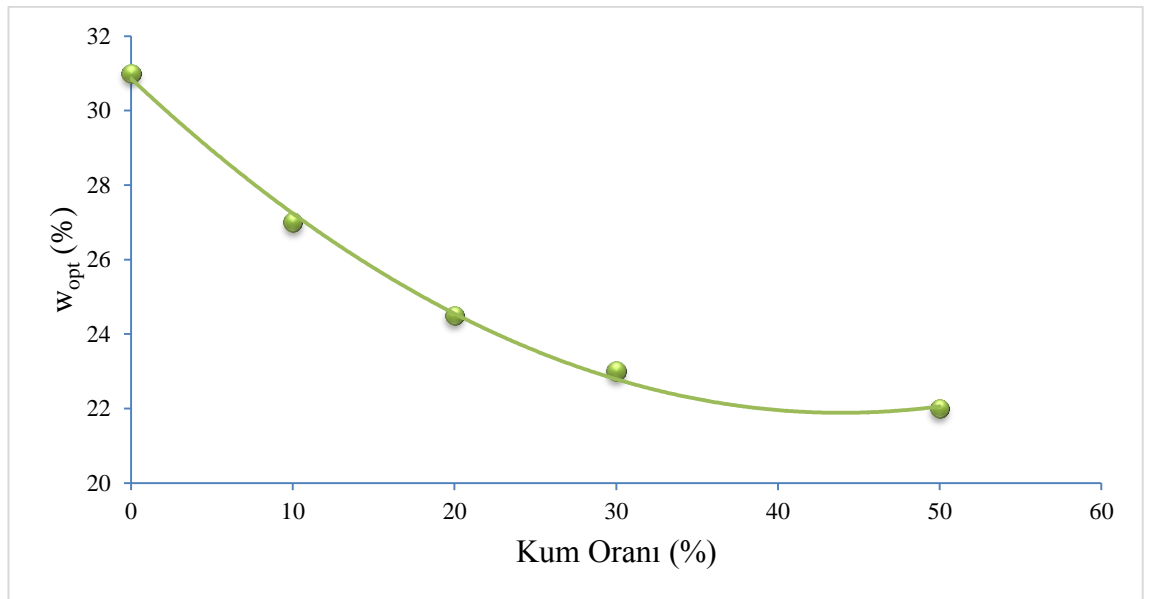
Şekil 4.4. Y grubu numunelerin kompaksiyon eğrileri

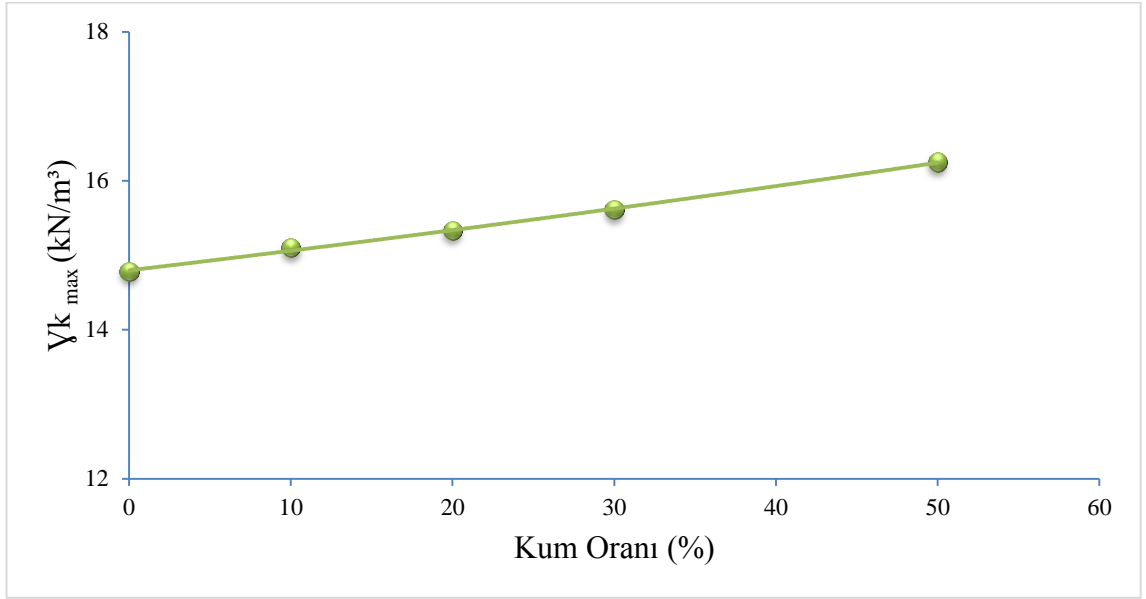
Çizelge 4.2. Y grubu numunelerin kompaksiyon deneyi sonuçları

Numune	Optimum su muhtevası w_{opt} (%)	Kuru birim hacim ağırlık $\gamma_{k_{max}}$ (kN/m ³)
Y0	31,0	14,78
Y1	27,0	15,10
Y2	24,5	15,33
Y3	23,0	15,61
Y4	22,0	16,25

Çizelge 4.2 incelendiğinde yeşil kil için ağırlıkça %10, %20, %30, %50 kuvars kumu katkısının numunenin kuru birim hacim ağırlığını artırdığı, optimum su muhtevasını düşürdüğü görülmüştür.

Yeşil kil zemine artan miktarda öğütülmüş kum katıldığı zaman, optimum su muhtevasındaki değişim Şekil 4.5'te, maksimum kuru birim hacim ağırlıktaki değişim Şekil 4.6'da gösterilmiştir.

**Şekil 4.5.** Yeşil kilin optimum su muhtevasına kuvars kumu katkısının etkisi



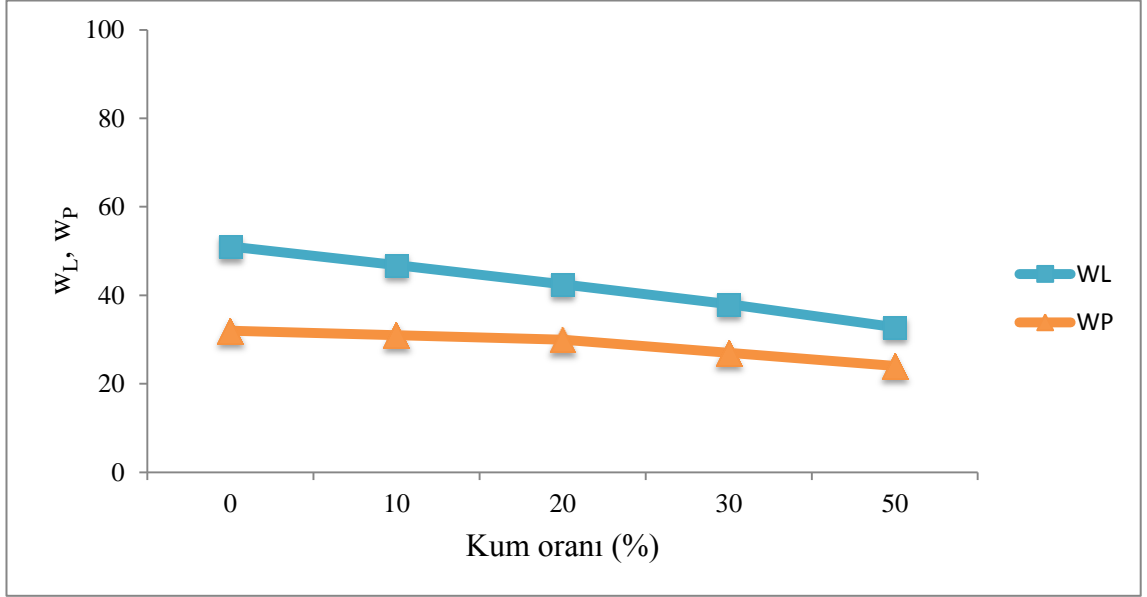
Şekil 4.6. Yeşil kilin maksimum kuru birim hacim ağırlığına kuvars kumu katkısının etkisi

4.2. Kıvam Limitleri Sonuçları

İki farklı kil zemine farklı oranlarda öğütülmüş kuvars kumu katılarak likit limit ve plastik limit deneyleri yapılmıştır. Kırmızı kilin kıvam limitlerine öğütülmüş kuvars kumu katkısının etkisi incelenmiştir. K grubu numunelerin likit limit ve plastik limit deney sonuçları Çizelge 4.3'te, kum katkısının kıvam limitlerine etkisi Şekil 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.3. K grubu numunelerin likit limit ve plastik limit deney sonuçları

Numune Adı	K0	K1	K2	K3	K4
Likit Limit (w_L)(%)	72,5	68,2	57,5	53,2	44,7
Plastik Limit (w_P)(%)	35,0	34,0	33,0	31,0	29,0
Plastisite İndisi (I_p)(%)	37,5	34,2	24,5	22,2	15,7



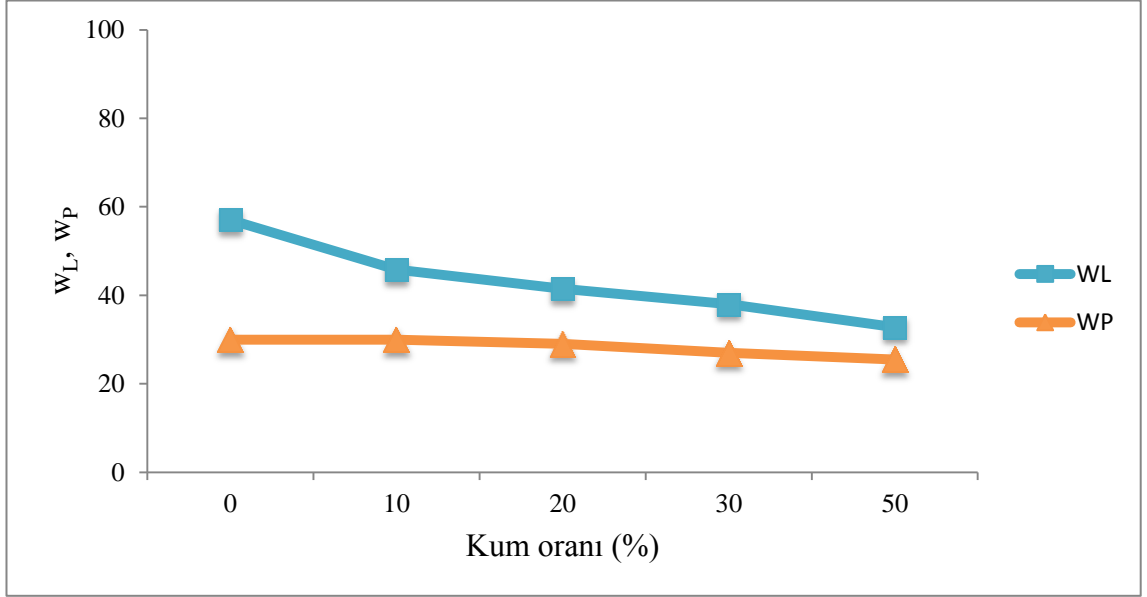
Şekil 4.7. Kırmızı kile öğütülmüş kum katkısının kıvam limitlerine etkisi

Kırmızı kil için ağırlıkça %10, %20, %30, %50 kuvars kumu katkısının kilin kıvam limitlerini düşürdüğü görülmüştür.

Yeşil kilin kıvam limitlerine öğütülmüş kuvars kumu katkısının etkisi incelenmiştir. Y grubu numunelerin likit limit ve plastik limit deney sonuçları Çizelge 4.4'te, kum katkısının kıvam limitlerine etkisi Şekil 4.8'de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Y grubu numunelerin likit limit ve plastik limit deney sonuçları

Numune Adı	Y0	Y1	Y2	Y3	Y4
Likit Limit (w_L)(%)	57,0	45,8	41,5	38,0	32,8
Plastik Limit (w_p)(%)	30,0	30,0	29,0	27,0	25,5
Plastisite İndisi (I_p)(%)	27,0	15,8	12,5	11,0	7,3

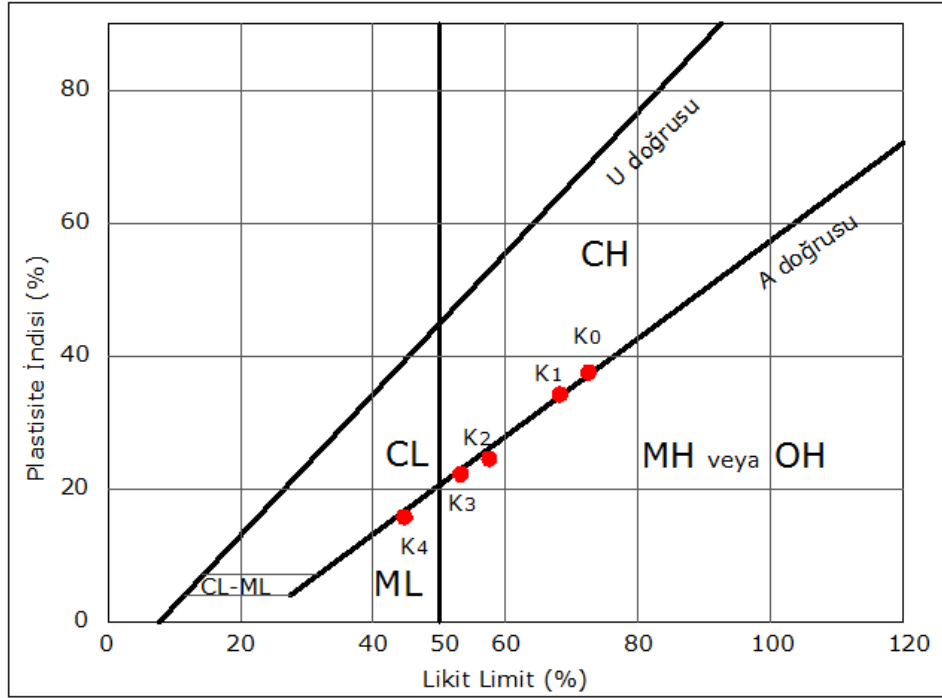


Şekil 4.8. Yeşil kile öğütülmüş kum katkısının kıvam limitlerine etkisi

Yeşil grubu kil için ağırlıkça %10, %20, %30, %50 kuvars kumu katkısının kilin kıvam limitlerini düşürdüğü görülmüştür.

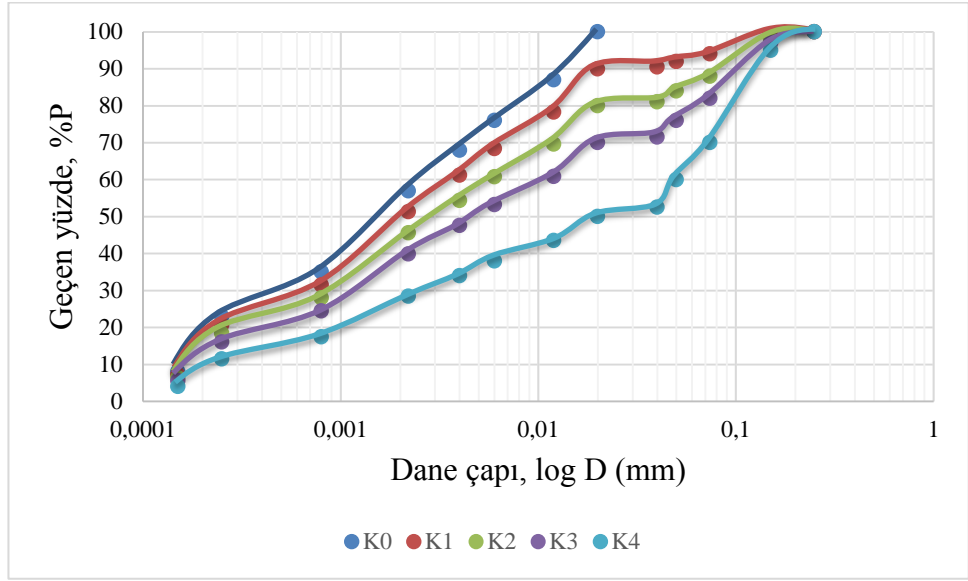
4.3. Zemin Sınıflandırma Deney Sonuçları

K gurubu killer üzerinde yapılan kıvam limitleri deneylerinin plastisite abağı üzerinde gösterimi Şekil 4.9'da verilmiştir. Buradan kırmızı kilin CH, yüksek plastisiteli kil olduğu görülmektedir.



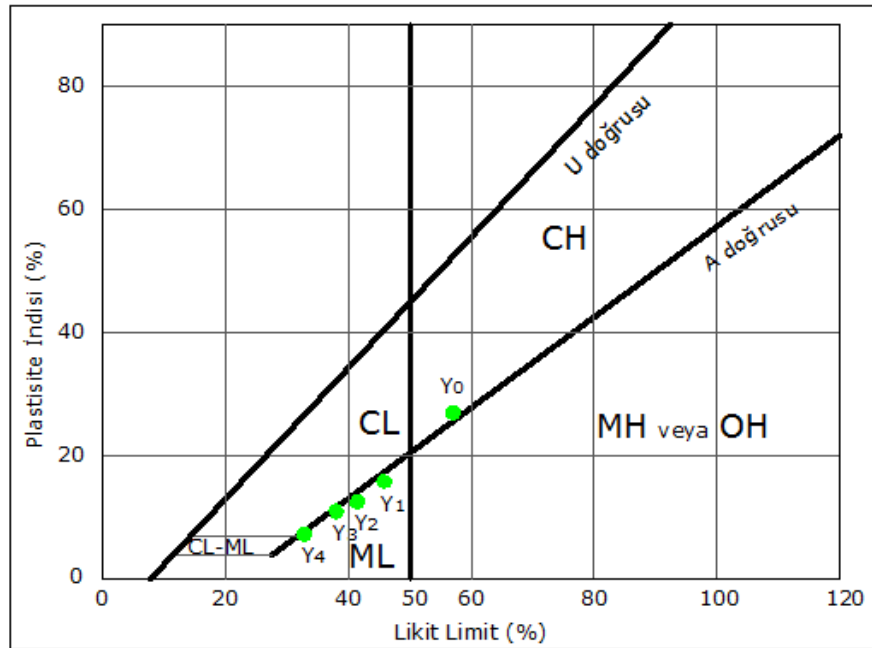
Şekil 4.9. K grubu numunelerin Plastisite Abağında gösterimi

Şekil 4.9. incelendiğinde K0 (Doğal kırmızı kil) 'in ve K1'in Zemin sınıfının CH (yüksek plastisiteli kil) olduğu, K2 ve K3,'ün Zemin sınıfının MH (yüksek plastisiteli silt) olduğu, K4'ün ise ML (düşük plastisiteli silt) olduğu görülmüştür. Kum katkısının zeminin sınıfını değiştirdiği görülmüştür. K grubu numunelerin dane çapı dağılım eğrileri Şekil 4.10'da verilmiştir.



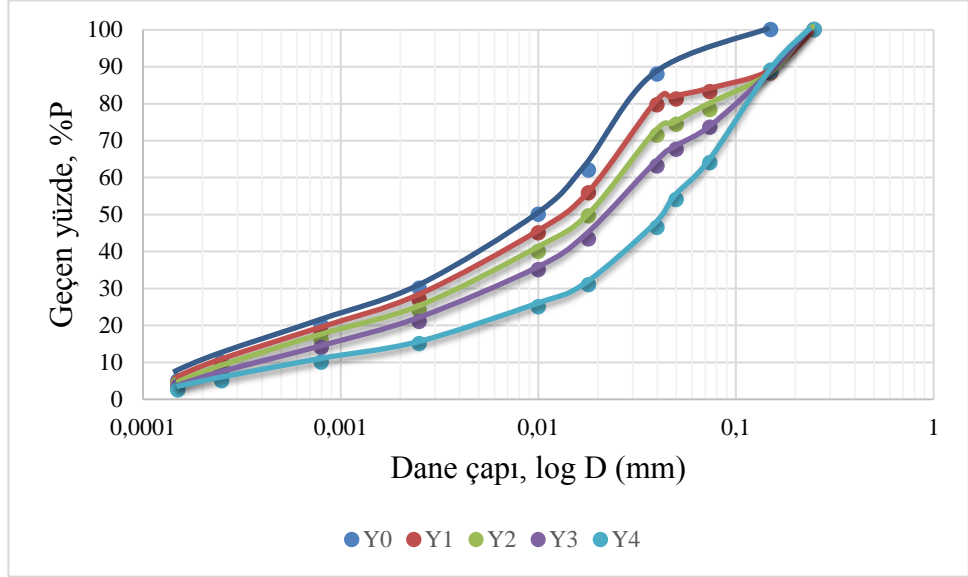
Şekil 4.10. K grubu numunelerin dane çapı dağılım eğrileri

Y grubu killeri üzerinde yapılan kıvam limitleri deneylerinin plastisite abağı üzerinde gösterimi Şekil 4.11’de verilmiştir. Buradan yeşil kilin CH, yüksek plastisiteli kil olduğu görülmektedir.



Şekil 4.11. Y grubu numunelerin Plastisite Abağında gösterimi

Şekil 4.11 incelendiğinde Y0 (Doğal yeşil kil)'ın zemin sınıfının CH (yüksek plastisiteli kil) olduğu, Y1, Y2, Y3, Y4'ün ise ML (düşük plastisiteli silt) olduğu görülmüştür. Kum katkısı ile zeminin sınıfının değiştiği görülmüştür. Y grubu numunelerin dane çapı dağılım eğrileri Şekil 4.12'de verilmiştir.



Şekil 4.12. Y grubu numunelerin dane çapı dağılım eğrileri

4.4. Şişme Deneyi Sonuçları

İki farklı kil zemine belirtilen oranlarda kuvars kumu katılarak şişme basınçları belirlenmiştir. Şişme basıncı sonuçları Çizelge 4.5'te verilmiştir.

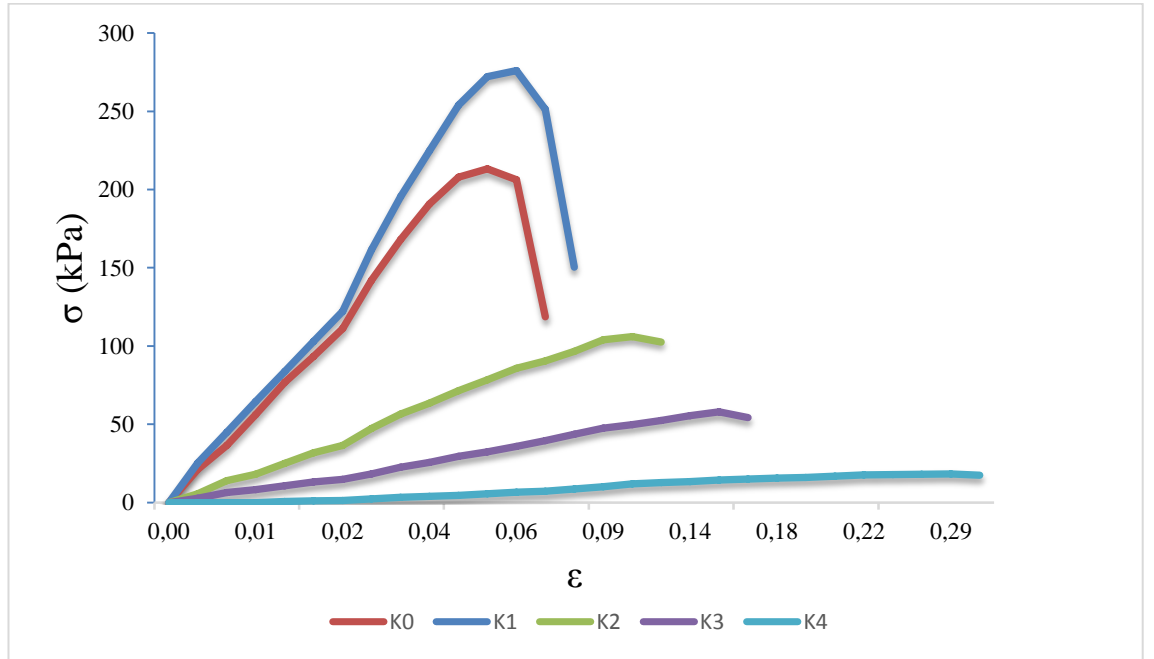
Çizelge 4.5. K ve Y grubu numunelerin şişme basıncı değerleri (Yılmaz 2012)

Numune	Şişme Basıncı(kPa)	Numune	Şişme Basıncı(kPa)
K0	127,3	Y0	32,6
K1	122,2	Y1	27,8
K2	99,1	Y2	24,7
K3	70,8	Y3	17,6
K4	50,2	Y4	12,0

Şişme basıncı değerlerine bakıldığında kum oranı arttıkça şişme basıncının azaldığı görülmektedir. %50 kum katıldığı zaman şişme basıncında K grubu killerde %60 azalma, Y grubu killerde ise %63 azalma görülmüştür.

4.5. Serbest Basınç Deney Sonuçları

K grubu numunelerin birim deformasyon–gerilme grafiği Şekil 4.13'te gösterilmektedir.



Şekil 4.13. K grubu numunelerin birim deformasyon–gerilme grafiği

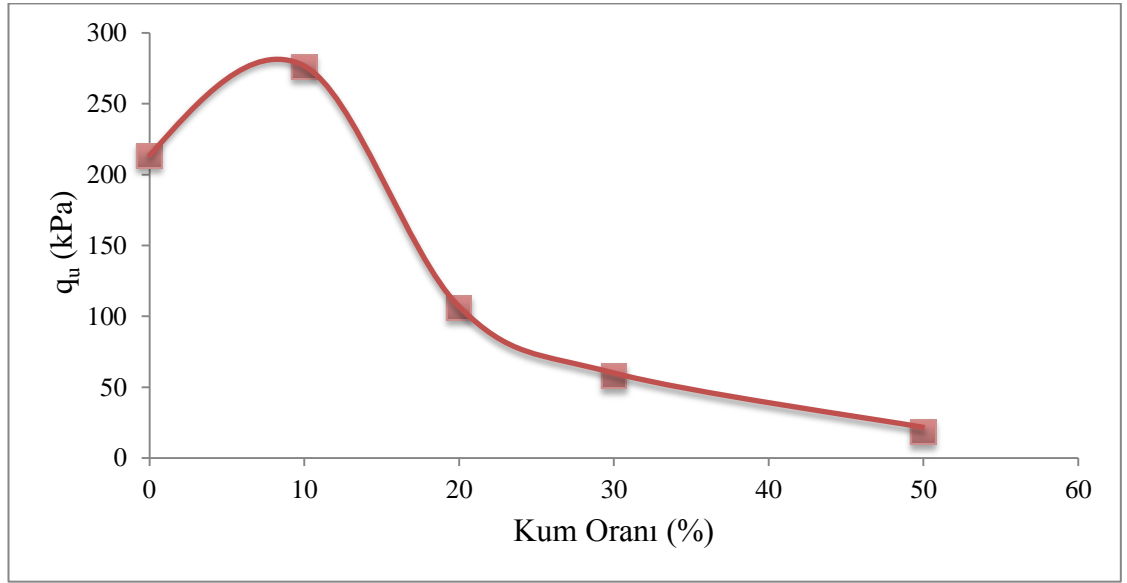
Çizelge 4.6. K grubu numunelerinin serbest basınç mukavemetleri

Numune Adı	K0	K1	K2	K3	K4
Serbest Basınç mukavemeti (kPa)	213	276	106	58	18

Çizelge 4.6 incelendiğinde kırmızı kil için ağırlıkça %10 oranındaki kuvars kumu katkısının (K1 numunesi), kilin (K0 numunesine göre) serbest basınç mukavemetini

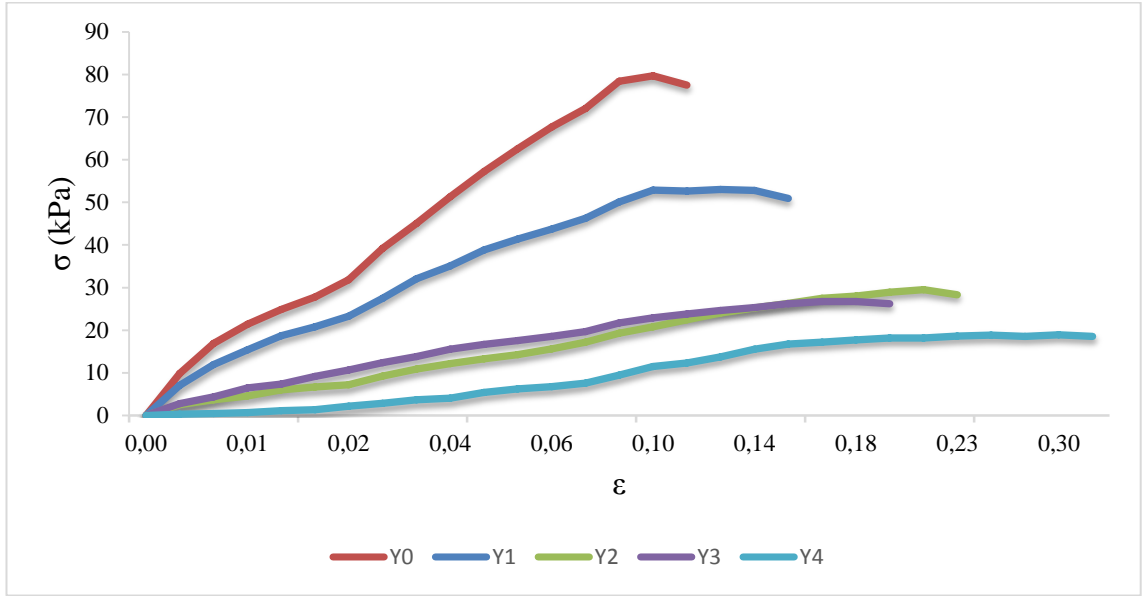
%30 civarında artırdığı, ağırlıkça %20, %30, %50 kuvars kumu katkısının kilin serbest basınç mukavemetini çok büyük oranda düşürdüğü görülmüştür.

Şekil 4.14'te öğütülmüş kuvars kum katkısının kırmızı kilin serbest basınç mukavemetine etkisi (q_u) gösterilmiştir.



Şekil 4.14. Öğütülmüş kuvars kum katkısının kırmızı kilin serbest basınç mukavemetine etkisi (q_u)

Y grubu numunelerin birim deformasyon–gerilme grafiği Şekil 4.15'te gösterilmektedir.



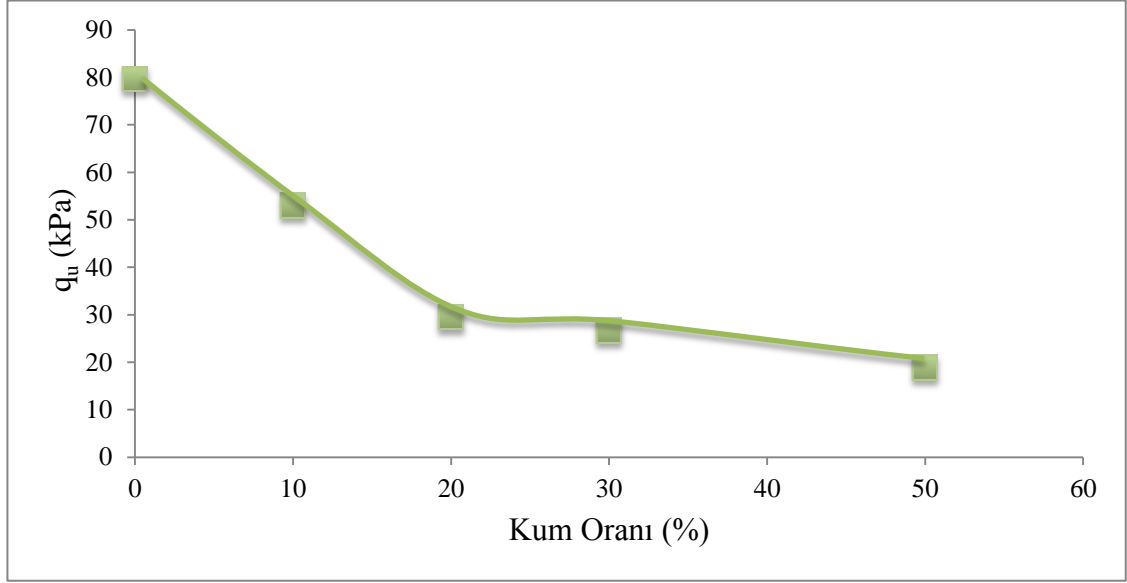
Şekil 4.15. Y grubu numunelerin birim deformasyon–gerilme grafiği

Çizelge 4.7. Y grubu numunelerinin serbest basınç mukavemetleri

Numune Adı	Y0	Y1	Y2	Y3	Y4
Serbest Basınç mukavemeti (kPa)	80	53	30	27	19

Çizelge 4.7. incelendiğinde yeşil kil için ağırlıkça %10, %20, %30, %50 kuvars kumu katkısının kilin serbest basınç mukavemetini çok büyük oranda düşürdüğü görülmüştür.

Şekil 4.16'da öğütülmüş kuvars kum katkısının yeşil kilin serbest basınç mukavemetine etkisi (q_u) gösterilmiştir.



Şekil 4.16. Öğütülmüş kuvars kum katkısının yeşil kilin serbest basınç mukavemetine etkisi (q_u)

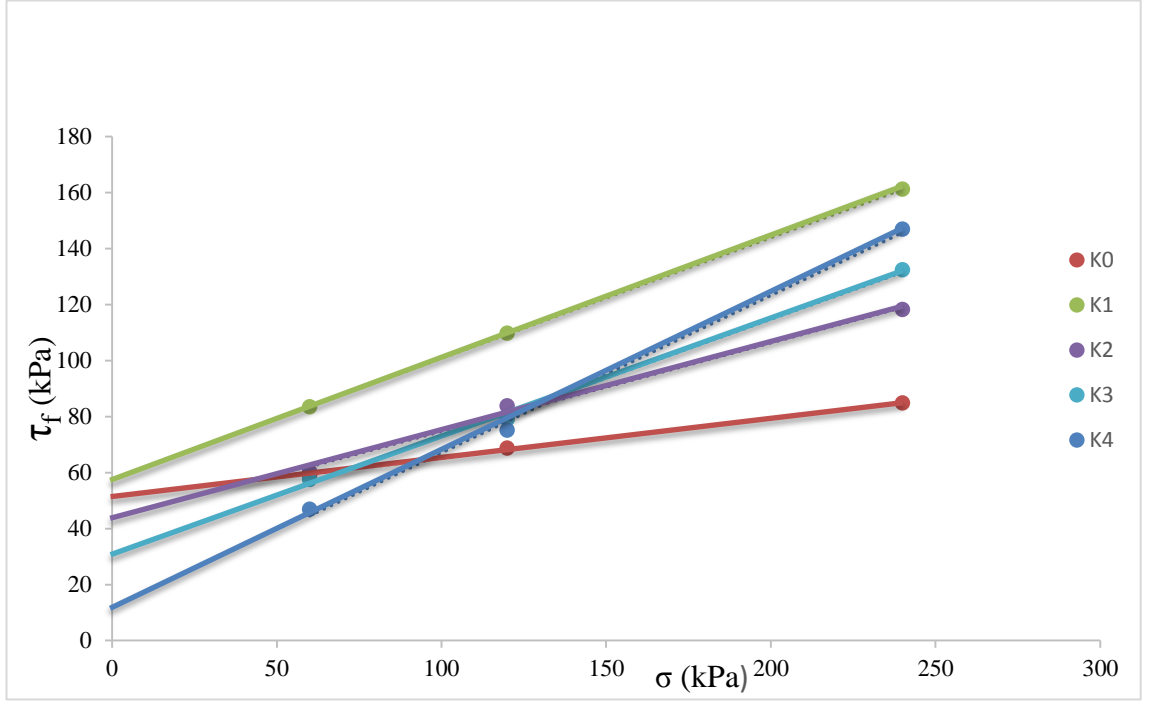
4.6. Kesme Kutusu Deney Sonuçları

Kırmızı kile öğütülmüş kuvars kumu katılmış, optimum su muhtavesında sıkıştırılmış ve kesme kutusu deneyleri yapılmıştır. K grubu numunelerinin c , ϕ bulguları Çizelge 4.8’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.8. K grubu numunelerinin c , ϕ bulguları

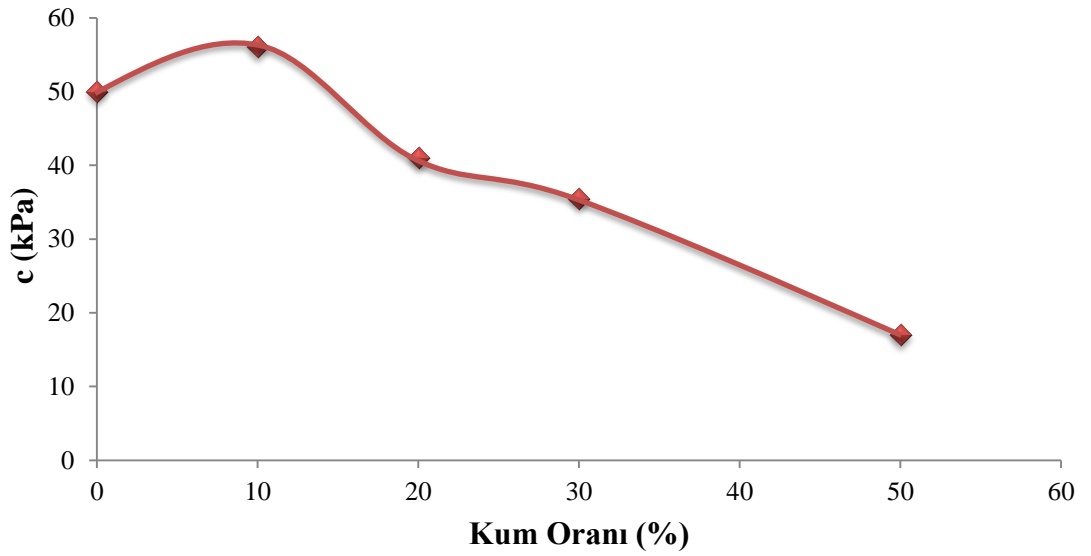
Numune Adı	K0	K1	K2	K3	K4
c (kPa)	50	56	41	35,5	17
ϕ (°)	8	24	18	21	23

K grubu numunelerinin $\tau_f - \sigma$ grafiği Şekil 4.17 ‘de gösterilmektedir.



Şekil 4.17. K grubu numunelerin τ_f – σ grafiği

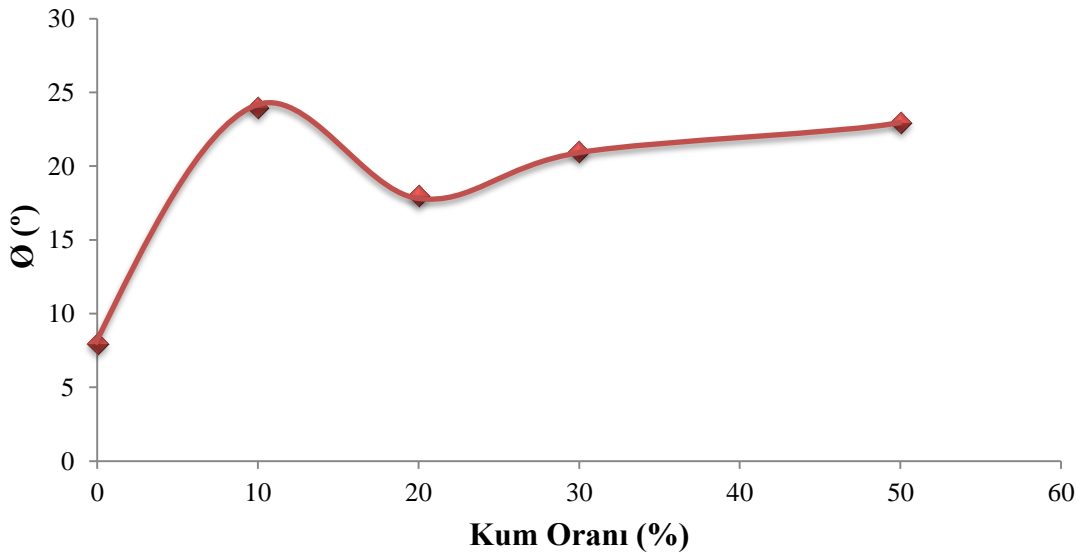
Şekil 4.18’de Kırmızı kile katılan kum oranının kohezyona etkisi görülmektedir.



Şekil 4.18. Öğütülmüş kuvars kum katkısının kırmızı kilin kohezyonuna etkisi

Şekil 4.18 incelendiğinde K0 numunesinin kohezyonunun 50 kPa olduğu, %10 kum katkısının kohezyonu %12 oranında artırarak 56 kPa'ya çıkardığı görülmektedir. %20, %30, %50 oranındaki kum katkısının ise kohezyonu düşürdüğü görülmüştür.

Şekil 4.19'da Kırmızı kile katılan kum oranının içsel sürtünme açısına etkisi görülmektedir.



Şekil 4.19. Öğütülmüş kuvars kum katkısının kırmızı kilin içsel sürtünme açısına etkisi

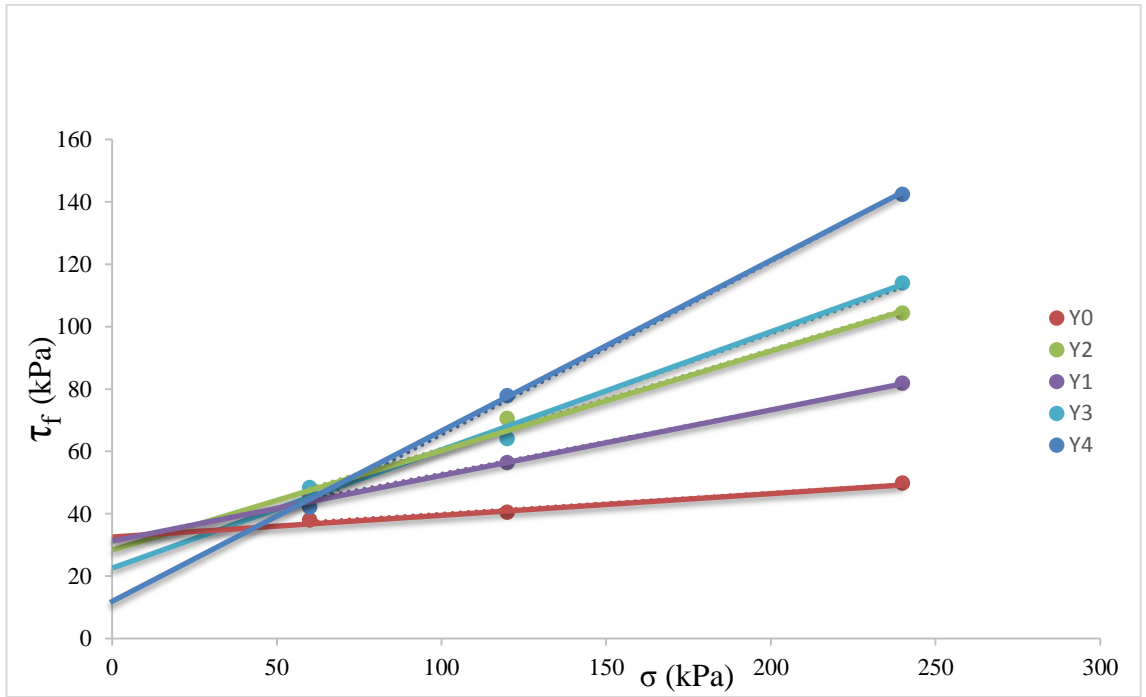
Şekil 4.19. incelendiğinde K0 numunesinin içsel sürtünme açısının 8 ° olduğu, %10 kum katkısının içsel sürtünme açısının %200 oranında artırarak 24° 'ye çıkardığı görülmektedir. %20, %30, %50 oranındaki kum katkısının ise içsel sürtünme açısını sırasıyla 18 °'ye, 21 °'ye, 23 °'ye çıkardığı görülmüştür.

Yeşil kile öğütülmüş kuvars kumu katılmış, optimum su muhtavesında sıkıştırılmış ve kesme kutusu deneyleri yapılmıştır. Y grubu numunelerinin c, Ø bulguları Çizelge 4.9. 'da gösterilmektedir.

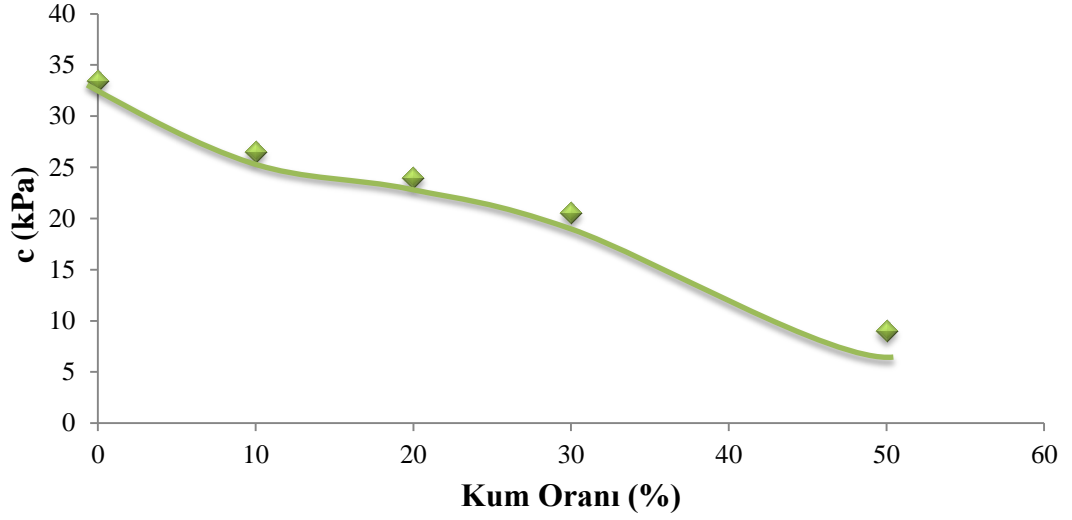
Çizelge 4.9. Y grubu numunelerinin c , ϕ bulguları

Numune Adı	Y0	Y1	Y2	Y3	Y4
c (kPa)	33,5	26,5	24	20,5	9
ϕ (°)	4	13	19	22	29

Y grubu numunelerinin $\tau_f - \sigma$ grafiği Şekil 4.20'de gösterilmektedir.

**Şekil 4.20.** Y grubu numunelerin $\tau_f - \sigma$ grafiği

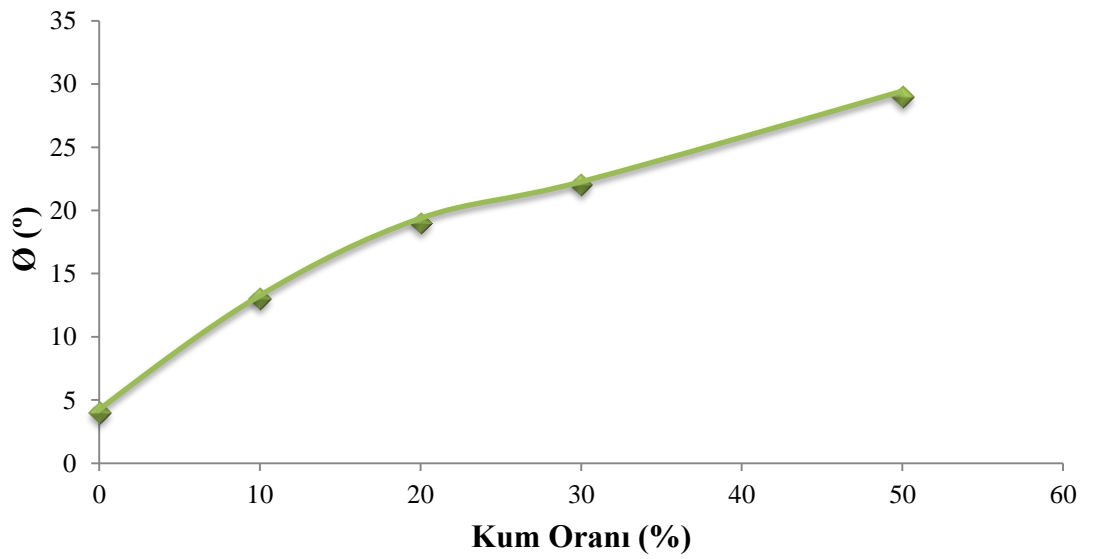
Şekil 4.21'de Yeşil kile katılan kum oranının kohezyona etkisi görülmektedir.



Şekil 4.21. Öğütülmüş kuvars kum katkısının yeşil kilin kohezyonuna etkisi

Şekil 4.21. incelendiğinde Y0 numunesinin kohezyonunun 33,5 kPa olduğu, %10, %20, %30, %50 oranındaki kum katkısının kohezyonu düşürdüğü görülmüştür.

Şekil 4.22.'de Yeşil kile katılan kum oranının içsel sürtünme açısına etkisi görülmektedir.



Şekil 4.22. Öğütülmüş kuvars kum katkısının yeşil kilin içsel sürtünme açısına etkisi

Şekil 4.22. incelendiğinde Y0 numunesinin içsel sürtünme açısının 4° olduğu, %10, %20, %30, %50 oranındaki kum katkısının içsel sürtünme oldukça arttırdığı görülmüştür.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu tez kapsamında, Erzurum Oltu – Narman yöresinde bulunan iki farklı bölgeden yüzeyden 1 m. derinlikte normal konsolide olmuş kırmızı ve yeşil kil tabakalardan numune alınmıştır. Kil numuneleri öğütülmüş, kurutulmuş ve 40 nolu elekten elendikten sonra deneye hazır hale getirilmiştir. Her iki kil numunesine de ağırlıkça %10, %20, %30 ve %50 oranlarında öğütülmüş kuvars kumu eklenmiş, optimum su içeriği değerlerine göre hazırlanan karışımların geoteknik özelliklerini incelemek amacıyla deneyler yapılmıştır.

Katkısız kırmızı kilin optimum su muhtevası %32,5 iken kile %50 öğütülmüş kuvars kumu katıldığı zaman optimum su muhtevası %22,5 olmuştur. Maksimum kuru birim hacim ağırlık ise katkısız kilde $13,95 \text{ kN/m}^3$ iken %50 kum katıldığı zaman $15,84 \text{ kN/m}^3$ olmuştur. Katkısız yeşil kilin optimum su muhtevası %31 iken kile %50 öğütülmüş kuvars kumu katıldığı zaman optimum su muhtevası %22 olmuştur. Maksimum kuru birim hacim ağırlık ise katkısız kilde $14,78 \text{ kN/m}^3$ iken %50 kum katıldığı zaman $16,25 \text{ kN/m}^3$ olmuştur. Kırmızı ve yeşil kile öğütülmüş kuvars kumu katılması durumunda optimum su muhtevalarının düştüğü, maksimum kuru birim hacim ağırlıklarının ise arttığı görülmüştür. Sonuçlar literatürle uyum içerisindedir.

Katkısız kırmızı kilin likit limiti (w_L) %72,5 iken %50 kum katkısıyla %44,7 olmuştur. Plastik limitide (w_P) %35 den %29 a düşmüştür. Katkısız yeşil kilin likit limiti (w_L) %57 iken %50 kum katıldığında bu değer %32,8 olmuştur. Plastik limiti de (w_P) aynı şekilde %30 dan %25,5 a düşmüştür. Kil zemine kum katılması durumunda kıvam limitlerinin düştüğü görülmüştür.

Kırmızı kile öğütülmüş kuvars kumu katıldığı zaman zeminin sınıfı da değişmektedir. K0 (doğal kırmızı kil) 'ın ve K1(%10 kum+%90 kırmızı kil)'in zemin sınıfının CH (yüksek Plastisiteli kil) olduğu, K2 (%20 kum+%80 kırmızı kil) ve K3 (%30 kum+%70 kırmızı kil)'ün zemin sınıfının MH (yüksek plastisiteli silt) olduğu ve K4 (%50

kum+%50 kırmızı kil)'ün ise ML (düşük plastisiteli silt) olduğu görülmüştür. Y0 (doğal yeşil kil) 'ın zemin sınıfının CH (yüksek Plastisiteli kil) olduğu, Y1 (%10 kum+%90 yeşil kil), Y2 (%20 kum+%80 yeşil kil), Y3 (%30 kum+%70 yeşil kil) ve Y4 (%50 kum+%50 yeşil kil)'ün ise ML (düşük plastisiteli silt) olduğu görülmüştür. Kum katkısının kil zemin sınıfını CH (yüksek plastisiteli kil)'dan ML (düşük plastisiteli silt)'ye dönüştürdüğü görülmüştür.

Kırmızı kile ağırlıkça %10 oranında öğütülmüş kuvars kumu katkısının (K1 numunesi), serbest basınç mukavemetini katkısız kile (K0) göre %30 oranında artırdığı görülmüştür. Kile katılan öğütülmüş kum yüzdesi arttıkça serbest basınç mukavemeti önemli miktarda azalmıştır. Yeşil kile öğütülmüş kum katkısı serbest basınç mukavemetini önemli miktarda düşürmüştür.

Kesme deneyi sonuçlarına göre; kırmızı kile ağırlıkça %10 oranındaki kuvars kumu katkısı (K1 numunesi), kilin (K0 numunesine göre) kohezyonunu 50 kPa'dan, %12 oranında artırarak 56 kPa'ya çıkarmıştır. %20, %30, %50 oranındaki kum katkısı ise kohezyonu düşürmüştür. Katkısız kırmızı kil (K0 numunesi) numunesinin içsel sürtünme açısı 8° iken, %10 (K1 numunesi) kum katkısı içsel sürtünme açısını %200 oranında artırarak 24° 'ye çıkarmıştır. Kırmızı kil zemine %20, %30, %50 oranındaki kum katkısı ise içsel sürtünme açısını sırasıyla 18° , 21° ve 23° 'ye çıkarmıştır. Katkısız yeşil kil zeminin kohezyon 33,5 kPa olup, %10, %20, %30, %50 oranındaki kum katkısı kohezyonu düşürmüştür. Katkısız yeşil kilin içsel sürtünme açısı 4° iken, ağırlıkça %10, %20, %30 ve %50 öğütülmüş kuvars kumu katıldığı zaman içsel sürtünme açıları sırasıyla, 4° , 13° , 19° , 22° ve 29° olmuştur.

Öğütülmüş kuvars kumu katkısının genel olarak kil zeminlerin Geoteknik açıdan bazı özelliklerinin iyileştirilmesinde kullanılabileceği söylenebilir.

KAYNAKLAR

- Akbulut, S., Gürses, A., Arasan, S., Korucu, M., E., Kurt, Z., N., 2011. Kil Tanelerin (Nanokil) Kristal Yapılarının Poliorganiklerle Desteklenerek Killerin Hidrolik İletkenlik ve Mukavemet Özelliklerinin İyileştirilmesi, Tübitak Projesi.
- Akıncı, Ö. 1968. Seramik killeri ve jeolojisi, Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Dergisi 71. Sayı, Ankara.
- Akkaya, R., 2011. Doğal kuvars mineralinin termolüminesans özellikleri ve kinetik parametrelerinin belirlenmesi, Adıyaman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Adıyaman.
- Alagöz, T., 2008. Değişik Oranlarda Kum İçeren Örselenmiş Ankara Kilinin Serbest Basınç Dayanımı İle Direkt Çekme Dayanımının İlişkilendirilmesi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale.
- Angın, Z. and Angın, A., 2005. Şişen Killerin Geoteknik Özelliklerinin İyileştirilmesi. Geoteknik Sempozyumu, Adana.
- ASTM D 2166-00, 2000. Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of
- Aytekin, M., 2004. Deneysel Zemin Mekaniği. Teknik Yayınevi, Ankara.
- Başer, O., Çokça, E., 2010. Şişen Zeminlerin Atık Mermer Tozu Kullanılarak İyileştirilmesi, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onüçüncü Ulusal Kongresi, İstanbul, s. 143-152.
- Bayoğlu, E., 1995. Kum-Kil Karışımlarının Kayma Dayanımı ve Sıkışabilme Özellikleri. ODTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Coduto, P., 2006. (Çev. Mollamahmutoğlu, M.) Geoteknik Mühendisliği İlkeler ve Uygulamalar, s: 39-80, s: 600-680.
- Çanakçı, H. ve Güllü, H. 2007. Kil-Kum Karışımı Zeminlerde Karışım Oranının İçsel Sürtünme Açısı Üzerine Etkisinin İncelenmesi, 2. Geoteknik Sempozyumu, Adana, s. 430-436.
- Çetin, M., 2003. Değişik çevresel koşullar altında, şişen zeminlerin özelliklerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kütahya
- Çimen, Ö., Keskin, S., N., Şimşek, S., Kalay, E., 2010. Yüksek Plastisiteli Bir Kilin Mühendislik Özelliklerine Pomza ve Mermer Tozunun Etkisi, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onüçüncü Ulusal Kongresi, İstanbul, s. 855-862.
- Dağdeviren, U., Güven, C., Gündüz, Z. 2008. Yüksek Plastisiteli Kilin Kayma Direncine Ve Porozitesine Üniform Kumun Etkisi, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onikinci Ulusal Kongresi, Konya, s. 345-354.
- Das, B., M., 1995. Principles of Foundation Engineering, PWS Publishing Company, a division of International Thomson Publishing Inc. Boston, USA, 828 p.
- Durmuş, S., 2007. Düşük Plastisiteli Killi Kumların Kayma Direnci Parametrelerinin İncelenmesi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü yüksek lisans tezi, Sakarya.
- Grim, R. E., 1959. Physiochemical Properties of Soils, Clay Minerals, J.Soil Mech. Found. Div.,ASCE, vol. 85, no. SM2.
- Güven, C., 2007. Yüksek Plastisiteli Bir Kilde Kum Miktarının Kayma Mukavemetine Etkileri. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü yüksek lisans tezi, Sakarya

- Holtz, R.D. and Kovacs, W.D., 1998. Geoteknik Mühendisliğine Giriş. Gazi Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş., İstanbul.
- Hudyma, N. ve Avar, B. B., (2006), "Changes in swell behavior of expansive clay soils from dilution with sand", *Environmental & Engineering Geoscience*, 12 (2), 137-145.
- İkizler, S., B., Aytekin, B., Vekli, M., Yavuz, H., İ., Tandoğan, M., 2008. Bentonitin Çimento, Uçucu Kül ve Kum ile Stabilizasyonu, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onikinci Ulusal Kongresi*, Konya, s. 689-698.
- Karabüyük, E., 2001. Kumlu Zeminlerin Stabilizasyonunda Bentonitin Kullanılmasının Geoteknik Özelliklere Etkisi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, Erzurum.
- Konta, J., 1995. Clay and man: Clay raw materials in the service of man, *Applied Clay Science*, 10, 275.
- Kumar, A., Walia, B. S. ve Mohan, J. (2006), "Compressive Strength of Fiber Reinforced Highly Compressible Clay", *Construction and Building Materials*, Vol.20, 1063-1068.
- Miessler, G.L., Tarr, D.A., 1999. *Inorganic Chemistry*, part 7, St.Olaf College, Northfield, Minnesota. Prentice-Hall, 0-13-841891-8. Çev.Ed.: Karacan, N., Gürkan, P., Gazi Üniversitesi, Ankara 219-220.
- Mollins, L.H., Stewart, D.I., Cousens, T.W., 1996. Predicting the properties of bentonite– sand mixtures. *Clay Miner.* 31, 243– 252.
- Moore, D., Reynolds, R.C., 1997. *X-Ray Diffraction and The Identification and Analysis of Clay Minerals*, 2nd ed., Oxford University Press, New York.
- Ölmez, M., S., Ergun, M., U., 2008. Kil - Kum Karışımlarının Kayma Dayanımı Özellikleri, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onikinci Ulusal Kongresi*, Konya, s. 303-312.
- Önalp, A., 2002. *Geoteknik Bilgisi I*. Birsen Yayınevi Ltd.Şti., İstanbul.
- Özaydın, K., 1997. *Zemin Mekaniği*, Birsen Yayınevi, pp. 185, 192-202, İstanbul.
- Özaydın, K., 2012. *Zeminlerin İyileştirilmesi*. *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Ondördüncü Ulusal Kongresi*.
- Özpinar, Y., Hançer, M., Semiz, B., 2006. Belevi (Çal) Kil Yatakları, *Çal Sempozyumu*, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, s:188-99.
- Preusser, F., Chithambo, M.L., Götte, T., Martini, M., Ramseyer, k., Sendereza E., Susino, G., Wintle, A., 2009. Quartz as a natural luminescence dosimeter. *Earth Science Reviews* 97,184-214.
- Rao M. K., GiriBabu, G., Rani Suda, Ch., 2006. Influence of Coarse Fraction on Swelling Characteristics, *EJGE*, No:0627.
- Satyanarayana, B., 1969. Behavior of Expansive Soil Treated or Cushioned with Sand, *Proceedings, 2nd International Conference on Expansive Clay Soils*, Texas A&M University, College Station, TX, 308-316.
- Studds, P.G., Stewart, D.I., Cousens, T.W., 1998, The effects of salt solutions on the properties of bentonite– sand mixtures. *Clay Miner.* 33, 651–661.
- Şağbanoğlu, E., 2012. *Kuars Mineralinin Işıma Özelliklerinin Farklı Tanecik Boyutlarına Göre İncelenmesi*, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, Bornova-İzmir.

- TS 1900-1. 2006. İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri-Bölüm 1: Fiziksel Özelliklerin Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, pp. 10-14, 14-17, 24-26, 31-33, 37-40, 51-59, 60-65, Ankara.
- TS 1900-2. 2006. İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri-Bölüm 1: Fiziksel Özelliklerin Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, pp. 55-63, Ankara.
- Tumluer, G., 2006. Çimento Katkılı Kumlu Zeminlerin Mukavemeti, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Adana.
- Uğur, F., A., 2005. Kil Minerallerinin Radyoaktif Maddeleri Tutma Özelliklerinin, Kilin Yapısına Ve İşlem Koşullarına Bağlılığının İncelenmesi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Adana.
- Uzuner, B.A., 2007. Temel Zemin Mekaniği, Derya Kitabevi, 560 s., Trabzon.
- Ünverdi, A., 2006. İnce Çakıl İçeriğinin Yüksek Plastisiteli Kil Zeminlerin Kayma Dayanımına Etkisi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Vallejo ve Mawby, 2000. "Porosity Influence on the Shear Strength of Granular Material-Clay Mixtures", Engineering Geology, Vol 58, 125-136.
- Wasti, Y., Alyanak, I., 1968. Kil Muhtevasının Zeminin Davranışına Tesiri. İnşaat Mühendisleri Odası Türkiye İnşaat Mühendisliği IV. Teknik Kongresi, Ankara
- Wiebe, B., Graham, J., Tang, G.X. ve Dixon, D., 1998. Influence of pressure, saturation and temperature on the behavior of unsaturated sand- bentonite. Canadian Geotechnical Journal 35, 194-205.
- Xu, Y.F., Matsuoka, H., Sun, D. A., 2003. Swelling characteristics of fractal-textured bentonite and its mixtures, Applied Clay Science 22, 197- 209.
- Yıldırım, S., 2004. Zemin İncelemesi ve Temel Tasarımı, Birsen Yayınevi, pp. 439, 453-İstanbul.
- Yılmaz, M., 2012. Killerin Şişme Basıncı ve Konsolidasyon Özelliklerine Öğütülmüş Kumunun Etkisinin Araştırılması, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Erzurum.
- Zorluer, İ., Usta, M., 2003. Zeminlerin Atık Mermer Tozu İle İyileştirilmesi, Türkiye IV. Mermer Sempozyumu (Mersem '2003) Bildiriler Kitabı, Afyon.

ÖZGEÇMİŞ

1982 yılında Erzurum'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Erzurum'da tamamladı. 2001 yılında girdiği Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden 2005 yılında mezun oldu. 2007-2008 öğretim yılında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda başladığı yüksek lisans öğrenimine başladı.