

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BOR VE AMORF SİLİKANIN BENTONİTİN MÜHENDİSLİK
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

Burak DERELİ

**Danışman
Yrd.Doç.Dr.Ömür ÇİMEN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2013**

© 2013 [Burak DERELİ]

TEZ ONAYI

Burak DERELİ tarafından hazırlanan "**Bor ve Amorf Silikanın Bentonitin Mühendislik Özelliklerine Etkisi**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman

Yrd. Doç. Dr. Ömür ÇİMEN
Süleyman Demirel Üniversitesi



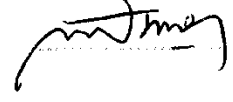
Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. Soner UZUNDURUKAN
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Doç. Dr. Mesut ÇİMEN
Süleyman Demirel Üniversitesi.



Enstitü Müdürü

Prof. Dr. Mehmet Cengiz KAYACAN

TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Burak DERELİ



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET	ii
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	10
3. MATERYAL VE YÖNTEM	14
3.1. Kullanılan Malzemelerin Tanıtılması	14
3.1.1. Bentonit.....	14
3.1.2. Bor.....	16
3.1.2.1. Kolemanit	19
3.1.3. Amorf Silika.....	21
3.1.4. Kireç.....	22
3.2. Deneysel Çalışmalar	23
3.2.1. Kıvam Limitleri Deneyi	23
3.2.1. Standart Proktor (Kompaksiyon) Deneyi.....	23
3.2.2. Serbest Basınç Deneyi.....	24
3.2.3. Sabit hacimli şişme deneyi.....	25
3.2.4. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizleri	26
3.2.5. X-ray Difraksiyon Analizleri	33
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	37
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	46
KAYNAKLAR.....	48
EKLER	51
EK A. SEM görüntüleri	52
EK B. SEM Analizleri ve EDX çekimleri	57
ÖZGEÇMİŞ.....	62

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BOR VE AMORF SİLİKANIN BENTONİTİN MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Burak DERELİ

**Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Ömür ÇİMEN

Bu tez çalışmasında, yüksek şişme özelliği gösteren bentonit kilinin içine belli oranlarda amorf silika ve bor grubu oksitlerden olan kolemanit minerali ayrı ayrı karıştırarak mühendislik özelliklerine olan etkileri araştırılmıştır. Bu deney sonuçları değerlendirilerek iki katkı arasından amorf silika seçilerek; %5 kireç katkısı sabit tutularak deneyler tekrarlanmıştır. %5 kireç katkılı amorf silikalı numuneler 7, 14, 28 gün küre bırakılarak serbest basınç deneyleri yapılmıştır.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda %2 kolemanit katkısı ve %6 amorf silika katkısının şişen zeminlerde iyileştirme amaçlı kullanılabileceği belirlenmiştir. %5 kireç katkısı sabit tutularak amorf silika değişiminin incelendiği deneylerde ise artan amorf silika miktarının serbest basınç mukavemetini arttırdığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Zemin iyileştirme, Bentonit, Bor, Amorf silika

2013, 62 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

BORON AND AMORPHOUS SILICA'S THE EFFECT OF ENGINEERING PROPERTIES AT BENTONITE

Burak DERELİ

**Süleyman Demirel University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering**

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Ömür ÇİMEN

In this study, we research the effect of engineering specifications by mixing separately the colemanite mineral which is formed by the certain amount of amorphous silica and oxides of boron group put into bentonite clay being properties of a high proportion of swelling. This experiment results are evaluated. By selecting amorphous silica amongst admixture, these samples are repeated by keeping constant of the %5 addition of lime. %5 amorphous silica admixture limestone samples are left 7,14 and 28 days into the cure and unconfined compression tests are carried out.

As a result of experimental work, the contribution of %2 colemanite and %6 amorphous silica are determined to us for improving the swelling soils. In the experiments, the changes of amorphous silica are investigated by keeping constant the %5 addition of lime and it is determined that the increasing amount of the amorphous increases the unconfined compression strength of materials.

Keywords: Ground Improvement, Bentonite, Colemanite, Amorphous Silica

2013, 62 pages

TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni ynlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrbesi ile aşmamda yardımcı olan Danışman Hocam Sayın Yrd. Do. Dr. mr İMEN'e, bilgi ve tecrbelerini benden esirgemeyen değerli hocam, Doç. Dr. Metin DAVRAZ'a, her konuda kendime örnek edindiğim çok değerli hocam, Öđr. Gör. Remzi YAŐAR'a, deneysel çalışmalar sırasında yardımlarını esirgemeyen Teknisyen Erol Yılmaz'a ve tüm bölüm hocalarıma teŐekkürlerimi arz ederim.

Tez alışmasına 3237-YL1-12 no'lu proje kapsamında maddi destekte bulunan Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkür ederim.

Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Burak DERELİ
ISPARTA, Eylül 2013

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Jeolojik Dönüşüm Çemberi	1
Şekil 1.2. Kil minerali ve oluşumları	2
Şekil 1.3. Kil minerallerinin yapı taşı	3
Şekil 1.4. Kaolin minerali	3
Şekil 1.5. Klorit minerali	4
Şekil 3.1. Türkiye’de bulunan killer ve bentonit yatakları	14
Şekil 3.2. Doğal bentonitin standart kompaksiyon eğrisi	15
Şekil 3.3. Kolemanit.....	20
Şekil 3.4. Amorf silikanın alındığı bölge	21
Şekil 3.5. Kompaksiyon sonrası sıkıştırılmış numune	24
Şekil 3.6. Serbest basınç deneyi	25
Şekil 3.7. Karbon kaplaması yapılmış numuneler	28
Şekil 3.8. LEO 1430VP marka SEM analiz cihazı	29
Şekil 3.9. Sönmüş kirecin SEM görüntüsü	30
Şekil 3.10. Doğal bentonitteki monmorillonit mineralinin görüntüsü	30
Şekil 3.11. Amorf silikanın SEM görüntüsü	31
Şekil 3.12. Doğal bentonit + %5 kireç katkıli numunenin SEM görüntüsü	31
Şekil 3.13. Doğal bentonit + %6 amorf silika katkıli numunenin SEM görüntüsü ...	32
Şekil 3.14. Doğal bentonit + %5 kireç + %6 amorf silika katkıli numunenin SEM görüntüsü	32
Şekil 3.15. X-ray difraksiyon cihazı	33
Şekil 3.16. Doğal bentonitin XRD analiz görüntüleri	34
Şekil 3.17. Doğal bentonit + %5 kireç katkıli numunenin XRD analiz görüntüleri ..	34
Şekil 3.18. Doğal bentonit + %5 kireç + %2 amorf silika katkıli numunenin XRD analiz görüntüleri	35
Şekil 3.19. Doğal bentonit + %5 kireç + %6 amorf silika katkıli numunenin XRD analiz görüntüleri	35
Şekil 3.20. Doğal bentonit + %5 kireç + %10 amorf silika katkıli numunenin XRD analiz görüntüleri	36
Şekil 4.1. Doğal bentonite kolemanit ilave edilmesiyle elde edilen likit limit deney sonuçları	37
Şekil 4.2. Doğal bentonite amorf silika ilave edilmesiyle elde edilen likit limit deney sonuçları	37
Şekil 4.3. Doğal bentonite kireç ve amorf silika ilave edilmesiyle elde edilen deney sonuçları	38
Şekil 4.4. Doğal bentonite kolemanit ilave edilmesiyle elde edilen kompaksiyon deney sonuçları	39
Şekil 4.5. Doğal bentonite amorf silika ilave edilmesiyle elde edilen kompaksiyon deney sonuçları	39
Şekil 4.6. Doğal bentonite kireç ve amorf silika ilave edilmesiyle elde edilen kompaksiyon deney sonuçları	40
Şekil 4.7. Doğal bentonite kolemanit karıştırılarak yapılan serbest basınç deneyleri	41
Şekil 4.8. Doğal bentonite amorf silika karıştırılarak yapılan serbest basınç deneyleri	41

Şekil 4.9. Doğal bentonite kireç ve amorf silika karıştırılarak elde edilen serbest basınç deneyleri	42
Şekil 4.10. 7 Gün küre bırakılmış numunelerin gerilme - eksenel boy değişimi.....	43
Şekil 4.11. 14 Gün küre bırakılmış numunelerin gerilme - eksenel boy değişimi.....	44
Şekil 4.12. 28 Gün küre bırakılmış numunelerin gerilme - eksenel boy değişimi.....	44
Şekil 4.13. Doğal bentonite %5 kireç oranı sabit tutularak amorf silika ilave edilmesiyle yapılan kürlü serbest basınç deney sonuçları.....	45
Şekil A.1. Katkısız doğal bentonitin SEM görüntüsü	52
Şekil A.2. %2 KO + %98 DB SEM görüntüsü	52
Şekil A.3. %4 KO + %96 DB SEM görüntüsü	52
Şekil A.4. %6 KO + %94 DB SEM görüntüsü	53
Şekil A.5. %8 KO + %92 DB SEM görüntüsü	53
Şekil A.6. %10 KO + %90 DB SEM görüntüsü	53
Şekil A.7. %2 AS + %98 DB SEM görüntüsü	54
Şekil A.8. %4 AS + %96 DB SEM görüntüsü.....	54
Şekil A.9. %6 AS + %94 DB SEM görüntüsü.....	54
Şekil A.10. %8 AS + %92 DB SEM görüntüsü.....	55
Şekil A.11. %10 AS + %90 DB SEM görüntüsü.....	55
Şekil A.12. %5 K + %95 DB SEM görüntüsü	55
Şekil A.13. %5 K + %2 AS + %93 DB SEM görüntüsü	56
Şekil A.14. %5 K + %6 AS + %89 DB SEM görüntüsü	56
Şekil A.15. %5 K + %10 AS + %85 DB SEM görüntüsü	56
Şekil B.1. Doğal bentonitin SEM görüntüsü ve EDX çekimleri.....	57
Şekil B.2. DB + %2 KO katkılı numunenin SEM görüntüsü ve EDX görüntüsü	58
Şekil B.3. DB + %6 AS katkılı numunenin SEM görüntüsü ve EDX çekimleri	59
Şekil B.4. DB + %5 K numunenin SEM görüntüsü ve EDX çekimleri	60
Şekil B.5. DB + %5 K + %6 AS katkılı numunenin SEM görüntüsü ve EDX çekimleri	61

ÇİZELGELER DİZİNİ

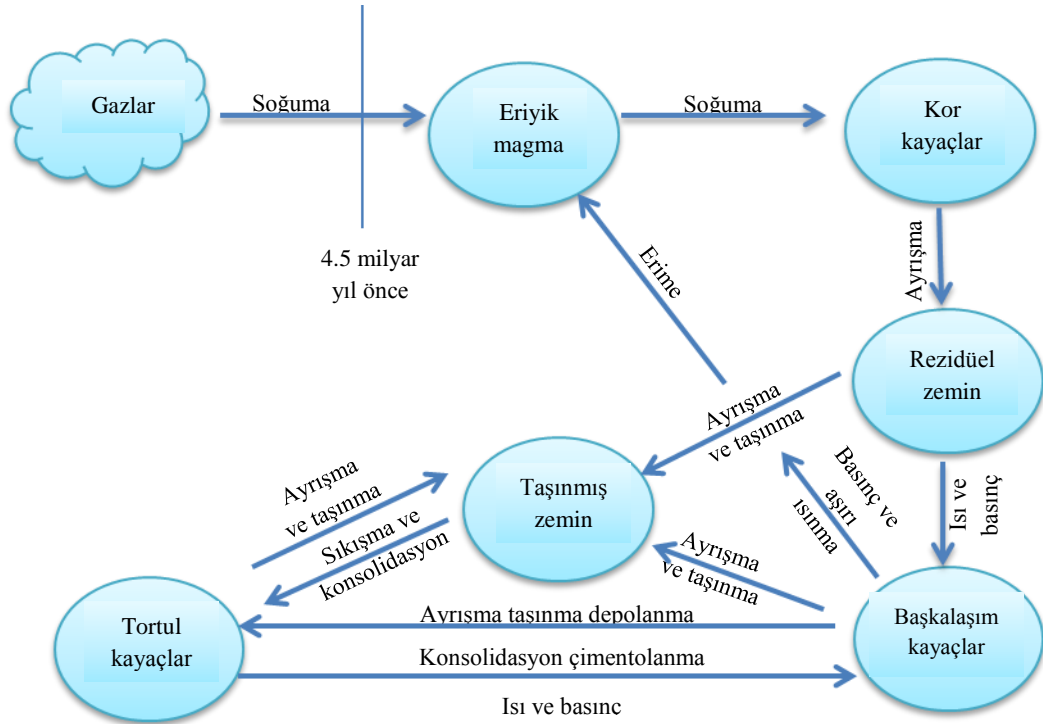
	Sayfa
Çizelge 1.1. Yaygın kil minerallerinin spesifik yüzey ve kalınlıkları	7
Çizelge 3.1. Doğal sodyum bentonitin kimyasal ve fiziksel özellikleri.....	15
Çizelge 3.2. Doğal sodyum bentonitin mühendislik özellikleri.....	15
Çizelge 3.3. Ticari önemi bulunan boratlar	17
Çizelge 4.1. Kıvam limitleri, standart kompaksiyon, sabit hacimli şişme ve serbest basınç deney sonuçları	43

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AS	Amorf silika
ASTM	American society for testing and materials
DB	Doğal bentonit
EDX	Enerji dağılımlı x-ışını spektroskopisi
Ev	Elektron volt
Gs	Özgül ağırlık
K	Kireç
kEv	Kiloelektron volt
KO	Kolemanit
LL	Likit limit değeri
LP	Plastik limit değeri
PI	Plastisite indisi değeri
Pşişme	Sabit hacimli şişme basıncı
qu	Serbest basınç mukavemeti
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
TEM	Transmisyon elektron mikroskobu
TS	Türk standartları
XRD	X-ray difraksiyon
γ_k	Kuru birim hacim ağırlığı
γ_{kmax}	Maksimum kuru birim hacim ağırlığı
ε	Eksenel şekil değiştirme
ω	Su muhtevası
ω_{opt}	Optimum su muhtevası

1. GİRİŞ

Zeminler, çeşitli kayaç ve minerallerin kimyasal ve fiziksel faktörlerin etkisiyle ayrışması sonucunda; yerinde veya taşınma şeklinde oluşan taneli, boşluklu doğal malzemelerdir. Kayaçlar ise bir veya birden fazla mineralin bir araya gelerek oluşturduğu mineral topluluğudur. Kayaçlar magmatik, sedimanter ve metamorfik kayaçlar olmak üzere üç ana grupta incelemektedir. Magmatik kayaçlar, magmanın yerin içinden yüzeye doğru hareketi sırasında yüzeye yakın bir yerde veya yüzeyde soğuması sonucunda oluşan kayaçlardır. Sedimanter kayaçlar, yer yüzeyinde oluşmuş kayaçların çevresel faktörlerin etkisiyle ayrışması, taşınması, çökmesi ve taşlaşması sonucunda oluşan kayaçlardır. Metamorfik kayaçlar ise; magmatik, sedimanter ve diğer kayaçların sıcaklık, basınç, gerilme ve kimyasal etkilere maruz kalması sonucu oluşan kayaçlar olarak tanımlanmaktadır. Şekil 1.1’de kayaçların oluşumları şematik olarak görülmektedir (Cernica, 1995; Ünsal, 2001).

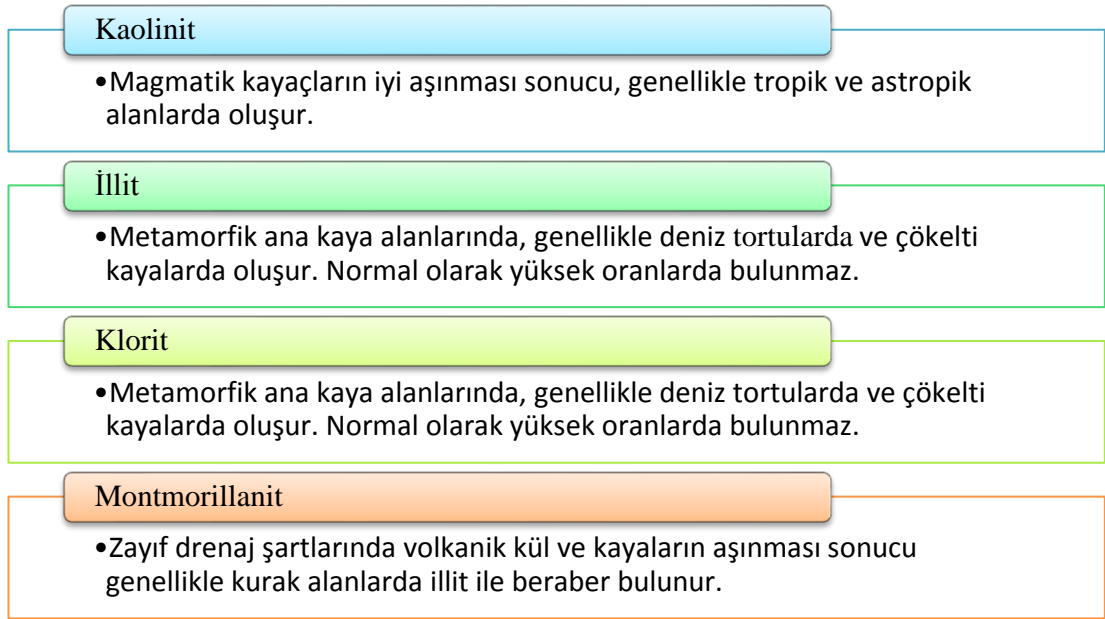


Şekil 1.1. Jeolojik Dönüşüm Çemberi (Cernica, 1995)

Kayaçların kimyasal etkilerle ayrışması sonucu kayaçların yapısal özellikleri değişir. Havadaki oksijen ve karbondioksiti eriterek alan yağmur suyu, yüzey toprağındaki asitleri alarak, kayaçlarda kimyasal tepkimeye yol açar. Bu kimyasal tepkime

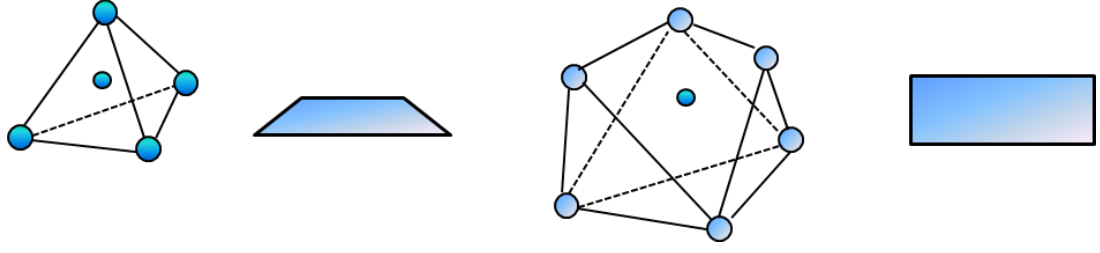
sonucunda genellikle çok ince taneli zemin olan killer meydana gelir. Killer alüminyum ve/veya demir, magnezyum silikatlarıdır. Kil taneleri küçük boyutlu olup (0,002mm) elektron mikroskobu yardımıyla görünür (Uzuner, 2005).

Doğada 15'den fazla kil minerali olmasına rağmen oluşumlarına göre yaygın olarak Kaolin, İllit, Klorit ve Montmorillonit olmak üzere dört ana grup altında incelenmektedir. Bu kil minerallerinin oluşumları Şekil 1.2'de görülmektedir.



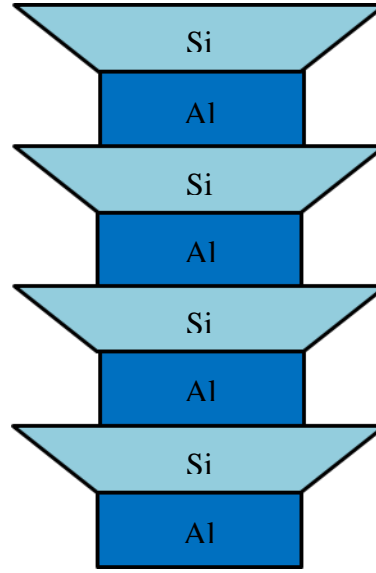
Şekil 1.2. Kil minerali ve oluşumları (Aydın, 2010)

Kil minerallerinin, atomik yapısı incelenecek olursa tek silis atomunu kuşatan dört oksijen atomundan oluşan silika (tetrahedron) ve alüminyum, magnezyum vb. atomları kuşatan altı oksijen veya hidroksilden oluşan alümina (oktahedron) olmak üzere iki çeşit kristal yapı taşından oluşmaktadır. Bunların atomik yapısı ve temsili sembolleri Şekil 1.3'de görülmektedir. Bu kristal levhaların değişik bağlarla ve farklı metalik iyonlarla birbirine bağlanması sonucunda çok sayıda kil minerali oluşmaktadır. Bu oluşan kil mineralleri X-Ray difraksiyon (XRD) analizi ile belirlenebilmektedir (Holtz ve Kovacs, 2010).



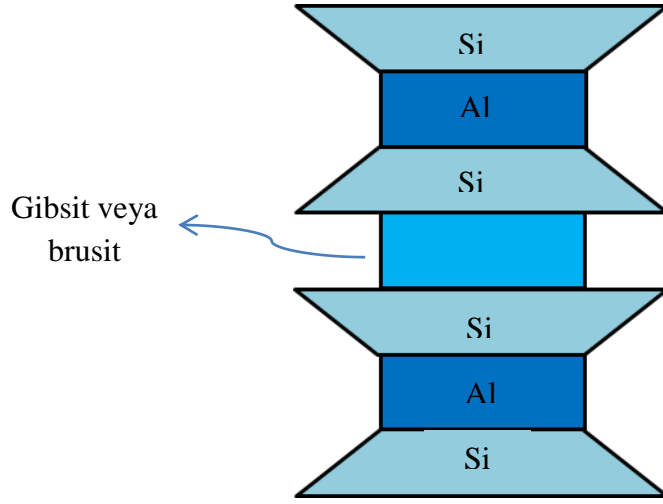
Şekil 1.3. Kil minerallerinin yapı taşı (Cernica, 1995)

Kaolin grubu, bir silika ve bir alümina levhasının tekrarlanan katmanların kuvvetli hidrojen bağları ile bağlanması ile oluşur (Şekil 1.4). Bu katmanın kalınlığı yaklaşık olarak $7,2 \times 10^{-10}$ metre olup 1:1 kil minerali şeklinde anılır (Holtz ve Kovacs, 2010).



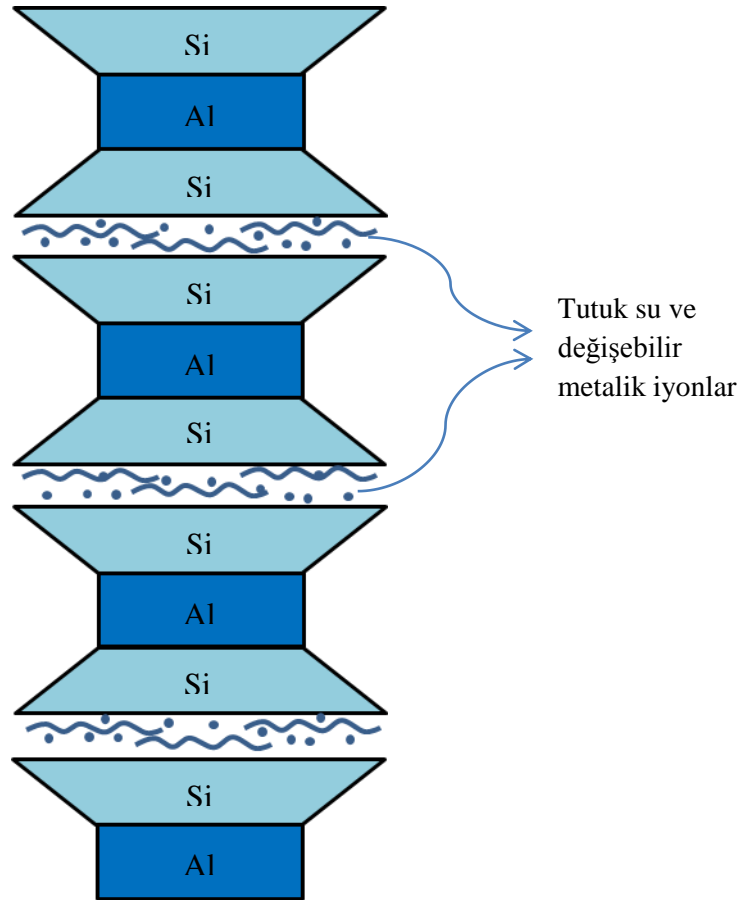
Şekil 1.4. Kaolin minerali (Cernica, 1995)

Klorit grubu, bir silis, bir alümina, bir diğer silis levhası ve sonra da gipsit (Al) ve brusit (Mg) levhasından oluşmaktadır. Klorit mineralinin şematik görüntüsü Şekil 1.5'de verilmiştir. Katmanın kalınlığı yaklaşık 14×10^{-10} m olup 2:1:1 minerali şeklinde anılır. Kloritte fazla miktarda yer değiştirme söz konusu olup bazen brusit veya gipsit katmanı eksik olabilir. Bu katmanların eksikliğinden dolayı su levhalar arasına kolaylıkla girerek şişmeye karşı duyarlı hale getirmektedir. Klorit minerali monmorillonit mineralinden daha az aktif özellik göstermektedir (Holtz ve Kovacs, 2010).



Şekil 1.5. Klorit minerali (Mitchell, 2005)

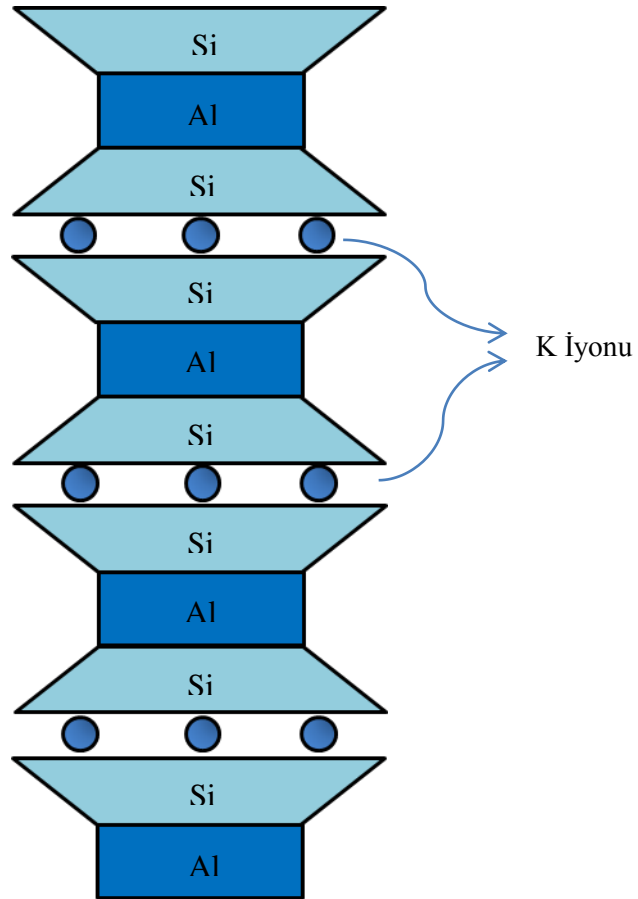
Montmorillonit grubu, iki silis ve bir alümina levhasından oluşan önemli bir kil mineralidir (Şekil 1.5). Katmanın kalınlığı yaklaşık $9,6 \times 10^{-10}$ m olup 2:1 kil minerali şeklinde anılır (Holtz ve Kovacs, 2010).



Şekil 1.5. Montmorillonit minerali (Cernica, 1995)

Bu grubun kimyasal bileşimi $(OH)_4Al_4Si_8O_{20}nH_2O$ formülü ile ifade edilir. Levhalar arası bağlar van der Waals ve katyonlarla sağlandığı için su ile temas ettiklerinde bu kil minerali çok fazla şişer bunun karşıtı olarak bünyesindeki suyu kaybettiği zaman ise hacminde azalma buna bağlı olarak da büzülme ve çatlama meydana gelmektedir. Bu özellikleri nedeniyle mühendislik bakımından çok önem arz etmektedir (Cernica, 1995).

İllit grubu, bu grubun kil minerallerinin yapısı genel olarak montmorillonit grubunun kil minerallerine benzerlik göstermektedir. Buna karşılık kimyasal bileşimi farklı olup $(OH)_4K_y(Al_4Fe_4Mg_4)(Si_{8-y},Al_y)O_{20}$ formülü ile tanımlanır. Formülde y değeri 1-1,5 arasında değişmektedir. Kil tabakasının yaklaşık boyutu 10×10^{-10} m'dir. İllitin sembolik yapısı Şekil 1.6'de görülmektedir (Cernica,1995).

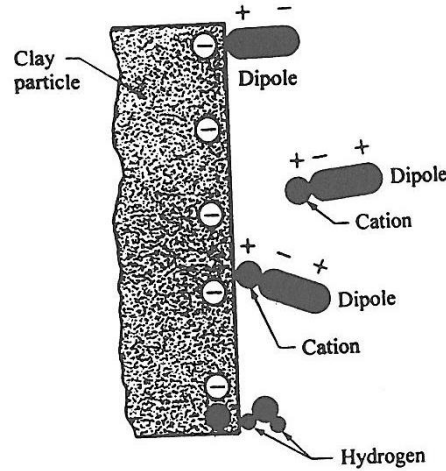


Şekil 1.6. İllit minerali (Cernica, 1995)

Mühendislik yapılarında meydana gelen hasarların birçoğu zemin hareketlerinden kaynaklanmaktadır. Geoteknik Mühendisliği açısından en önemli zemin türü hacim değiştirme özellikleri fazla olan kil minerallerine sahip killi zeminlerdir.

Dünyada birçok bölgesinde olduğu gibi ülkemizde de killi zeminler yaygındır. Ülkemizde Orta ve Güneydoğu Anadolu ile Batı Anadolu'nun bazı kesimlerinde geniş bir alana yayıldığı dikkate alındığında, hızlı artan kentleşme, yapılaşma, demir yolu, karayolu inşası gibi faktörler nedeniyle şişen killerin hacim değişiklikleri kontrol altına alınması gerekmektedir (Aydın, 2010).

Hacim değişikliğinin temel nedeni ise killerin su ile olan ilişkisinden kaynaklanmaktadır. Su dipolar yani biri negatif biri pozitif olmak üzere iki yük merkezinden oluşmaktadır. Kil daneleri ise negatif elektrik akımı ile yüklü oldukları için birbirlerini çekerler (Şekil 1.7). İkinci sebep ise sudaki hidrojenin kil yüzeyindeki oksijenler veya hidroksiller tarafından çekilmesidir (Holtz ve Kovacs,2010).



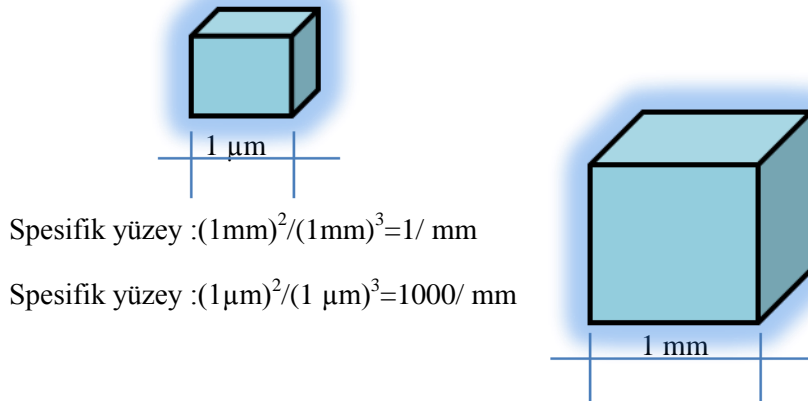
Şekil 1.7. Kil minerallerinin dipolar oksijen molekülleri ile etkileşimi (Das, 2008)

Kil minerallerinin su ile etkileşimini etkileyen diğer bir faktör ise spesifik yüzey kavramıdır. Spesifik yüzey bir materyalin yüzey alanının hacmine oranı veya yüzey alanının kütlesine oranı olarak tanımlanmaktadır. Yani yüzey alanı küçüldükçe spesifik yüzey değeri büyümekte buna bağlı olarak kil mineralini saran su miktarı aynı oranda artmaktadır. Çizelge1.1'de bazı kil minerallerinin spesifik yüzey değerleri görülmektedir (Das, 2008).

Çizelge 1.1. Yaygın kil minerallerinin spesifik yüzey ve kalınlıkları (Das, 2008)

Kil Minerali	Spesifik Yüzey (m ² /gr)	Kil Kalınlıkları
Kaolinit	10-20	3
İllit	80-100	25
Klorit	5-50	20
Montmorillonit	800	100

Spesifik yüzey kavramını görsel olarak tanımlamak için biri 1 mm diğeri de 1 µm boyutlarında olan farklı boyutta iki küp numunesini kıyaslırsak yüzey alanı küçük olan küpün spesifik yüzey alanının diğer küpe göre daha büyük olduğu Şekil 1.8' de görülmektedir.



Şekil 1.8. Spesifik yüzey kavramı

Killi zeminlerde genişlemenin ana nedeni zeminde mevcut olan montmorillonit mineralinin içeriğidir. Montmorillonitin su ile olan ilişkisi yukarıda açıklanmaya çalışılmıştır. Bu zeminler kuru iklimlerde yüzeydeki buharlaşma yoluyla ya da yer altı su seviyesinin alçalmasıyla büzülür, iklimin değişerek zeminin tekrar suyla temas etmesi halinde hacimlerinde büyük artışlar meydana gelir. Bu tür zeminler üzerine inşa edilen havaalanı, karayolu, istinat duvarları gibi birçok hafif yapı düşük düşey basınç nedeniyle farklı oturmalara veya genişlemeye maruz kalmakta ve büyük hasarlar meydana gelmektedir. Bu hasarların önüne geçmek için mühendisler, yapının temelini zeminin geoteknik şartlarına uygun olarak tasarlamalı veya zemini en uygun şartlarda iyileştirmeyi tercih etmelidirler.

Kil minerali içeren zeminler genellikle kimyasal iyileştirme yöntemleri tercih edilerek iyileştirilmektedir. Bunun nedeni ise, kil minerali içerisindeki yüksek değerlikli katyonların daha düşük değerlikli katyonlar ile yer değiştirebilmesidir. Ayrıca iyon değeri ne kadar büyükse değişim gücü de o kadar büyük olmaktadır. Artan değişim gücüne göre iyon sıralaması $Al^{+++} > Ca^{++} > Mg^{++} > NH_4^+ > K^+ > H^+ > Na^+ > Li^+$ şeklinde olmaktadır. Bu serideki bir katyon sağındaki iyonun yerine geçebilir (Holtz ve Kovacs, 2010).

Buna örnek olarak kireç (CaOH), kalsiyum iyonu sodyum iyonundan daha büyük yer değiştirme gücüne sahip olduğundan, zemin içindeki sodyum ile yer değiştirerek sodyum kilini dengeler ve daha büyük tanecikler oluşur. Bu sebeple; Sodyum montmorilloniti içeren killerin şişme potansiyeli kireç eklemek suretiyle önemli ölçüde azaltılabilmektedir (Holtz ve Kovacs, 2010).

İyon değiştirme yöntemi çeşitli sanayi kollarında da kullanılmaktadır. Örneğin; normal pencere camı Na^+ ve Ca^{++} iyonları içerir ve sert bir darbe aldığı anda kırılır. Bu ürünü güçlendirmenin yolu Na^+ ile K^+ iyonlarının yer değiştirmesidir. K^+ iyonunun çapı Na^+ çapından büyük olduğu için yüzeydeki boşlukları doldurarak, cam kırılmaya karşı direnç kazanmaktadır (Petrucci vd., 2002).

Çakılcıoğlu (2007) killi zeminlerin kireç ile reaksiyonu neticesinde, çöktürme-yığışma tepkimeleriyle kil parçacıkları birbirlerine yönelerek, kil mineralleri ile kireç arasında oluşan yapışma sayesinde kilin mikro yapısı değişerek, daha büyük parçacıklar oluşur. Böylece, zemin kil özelliğini kaybederek silt gibi davranmaya başlar ve sertleşerek plastik kıvamdan katı kıvama geçer. Bu durum, kireç ilavesi ile kalsiyum iyonu almış olan kilin çevresi kireç ile kaplandığından dolayı emme ve şişme özelliğini kaybettiği şeklinde açıklanmaktadır. Bu sayede zemine katılan kireç, likit limitin azalmasını, plastik limitin artmasını, plastisite indisinin azalmasını, büzülme limitinin artmasını, işlenebilirliğin artmasını, direnç ve deformasyon özelliklerinin iyileştirilmesini sağlamaktadır (Şengül, 2010).

Bu tez çalışmasında montmorillonit minerallerinden oluşan bentonit kilinin yüksek iyon değiştirme özelliğinden yararlanılarak Keçiözümlü yöresi Amorf Silika ile Eti

Maden Bigadiç Bor İşletmesinden getirilen Kolemanit ve sönmemiş kireç belli oranlarda karıştırılarak bentonitin mühendislik özelliklerine etkisi araştırılmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Kavak ve Bilgen (2005), yaptıkları çalışmada bentonit kiline belli oranlarda yüksek firın cürufu ve kireç ilave ederek serbest basınç deneyleri yapmıştır. Ağırlıkça %5 oranında yüksek firın cürufu ve %7,5 oranında kireç karışımı numunenin 28 günlük kür süresi sonunda katkısız numuneye göre yaklaşık 25 kat daha fazla yük taşıdığını gözlemlemişlerdir.

Süt (2006), yaptığı çalışmada Ankara Çukurambar semtinden aldığı zemin numunesine %2, %4, %6 ve %8 oranlarında kireç karıştırıp kıvam limitleri deneylerini yapmış, artan kireç yüzdelere göre likit limitte azalma, plastik limitte artış gözlemlemiştir. Buna bağlı olarak plastisite indisinde düşüş ve %2 üzerindeki kireç katkılarında zeminin non-plastik davrandığını belirlemiştir. Kompaksiyon ve CBR deneyleri sonucunda çalışmada kullanılan numunenin mühendislik özelliklerini iyileştirmek için ağırlıkça optimum kireç yüzdesinin %3~4 arasında olduğunu belirlemiştir.

Türköz (2006), yaptığı çalışmada Eskişehir Meşelik kili üzerinde farklı iki sıkıştırma enerjisinde ve farklı katkı oranlarının şişmeye olan etkisini incelemiş, standart proktor ve modifiye proktor enerjisinde yapılan şişme deneylerinde yüksek sıkışma gösteren modifiye proktor deneyinin şişme yüzdesinin fazla olduğunu ayrıca kireç katkısının serbest şişme yüzdesinin kontrolünde önemli bir etkiye sahip olduğunu belirtmiştir.

Çakılcıoğlu (2007), yaptığı çalışmada bentonit kiline %10 kireç oranı sabit tutularak %5,%10,%15, %20, %25 oranlarında uçucu kül ve zeolit eklemiş ve bu numuneler üzerinde özgül ağırlık, likit limit ve plastik limit, kompaksiyon, serbest basınç, konsolidasyonsuz drenajsız üç eksenli basınç deneyi, CBR deneyi ve kesme kutusu deneyleri yaparak karışım oranlarının etkisini incelemiştir. Yapılan deneyler neticesinde %100 kil+ %10 kireç + %5 uçucu kül katkılı karışımların stabilize edilecek zeminlerde temel tabakası olarak kullanılabilceğini belirlemiştir.

Aytekin (2009), İllit ağırlıklı Almanpınar kiline uçucu kül ilave ederek 1-8-16-32 gün küre bırakılmış numuneler üzerinde konsolidasyon ve üç eksenli basınç

deneyleri yapmıştır. Uçucu kül ilave edilen numunelerin kesme mukavemeti ve konsolidasyon hızının arttığı; permeabilitenin ise azaldığını ayrıca kür sürelerinin artmasıyla doğru orantılı olarak numunelerinin dayanım değerlerinin arttığını belirtmiştir.

Bilgen vd. (2010), yaptıkları çalışmada saf bentonitin serbest basınç mukavemeti 260 kPa iken % 7,5 kireç ve %5 cürufun katkı olarak kullanıldığında 28 günde serbest basınç mukavemetinin 5000 kPa değerini aştığını ayrıca birim deformasyonların ise % 10-15 mertebelerinden % 1-2'lere düştüğünü gözlemlemişlerdir.

Kızılcelik (2010), yaptığı çalışmada yüksek plastisiteli Uzunçiftlik kiline sönmüş ve sönmemiş kireç katkıları ekleyerek deney yapmış, serbest basınç mukavemetlerinin kür süreleriyle doğru orantılı olarak arttığını, deformasyonların azaldığını gözlemlemiştir. Ayrıca yaptığı CBR deneylerinde doğal katkısız numune ile %5 kireç katkılı numuneyi kıyasladığında %5 kireç katkılı numunenin doğal numuneye göre CBR değerinin yaklaşık 5 kat arttığını, şişme miktarının ise 2,75 mm'den 0,45 mm'ye indiğini gözlemlemiştir.

Tüylüce (2010), yaptığı çalışmada Bursa ilinin Gemlik mevkisinden alınmış olan deniz kiline %5 oranında kireç ilave etmiştir. Saf deniz kiline oranla % 5 kireçli deniz kilinin CBR değerlerinde yaklaşık olarak beş kata kadar artış ve şişme potansiyelinde altı kata kadar azalma gözlemlenmiştir. Ayrıca kompaksiyon deneyleri sonucunda saf deniz kiline oranla % 5 kireçli deniz kilinin dayanımında standart kompaksiyon için yaklaşık olarak yedi kat, modifiye kompaksiyon için yaklaşık olarak dört kat artış gözlemlenmiştir.

Sarılioğlu (2010), yaptığı çalışmada Ulubey T1 tünel güzergâhındaki (Ordu - Ulubey) yol üstyapı tabanında yer alan bentonit kili üzerinde iki farklı katkı olarak yüksek kalsiyumlu kireç ve Consolid444+Solidry (C+S) malzemeleri kullanılmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda CBR değerleri açısından her iki katkı da oldukça iyi artış oranlarına ulaşırken, (C+S) katkısı daha yüksek sonuçlar alınmıştır. Karayolları Teknik Şartnamesi 'ne uygun bir üstyapı tabanı malzemesi oluşturması açısından, %7 oranında kireç katkısı yeterli olmuştur. %2 oranında (C+S) katkısının da LL, PI ve γ_{kmax} kriterleri dışında, stabilizasyon şartlarını sağladığını belirlemiştir. Her iki

katkının artan oranlarıyla kür edilen zeminin serbest basınç dayanımlarında artış gözlenmiştir. Üç eksenli basınç (UU) deney sonuçlarına göre, kohezyon değerlerinin benzer mertebelerde azaldığı ve içsel sürtünme acısı değerlerinin de arttığı görülmüştür. Ancak yapılan deneyler ve maliyet analizi değerlendirildiği zaman kireç ile stabilizasyonun daha ekonomik olduğunu belirtmiştir.

Aydın (2010), Ankara Yenikent yerleşim alanında mevcut killeri sönmüş kireç ve uçucu kül kullanılarak geoteknik özelliklerindeki iyileşmeyi incelemiştir. Yapılan deneyler sonucundan kireç katkısının bölgedeki CH killerin iyileştirilmesinde uçucu kül katkısına göre daha etkili olduğu ve Yenikent kil zeminlerinde, şişme ve serbest basınç dayanımı parametrelerinde iyileştirme için, optimum kireç katkısının %7 olarak kullanılabileceğini belirlemiştir. Ayrıca, %5 ve %10 oranlarda uçucu kül katkısının, zeminin serbest basınç dayanımında, iyileştirmede önemli etkisinin olmasının yanında, şişme özellikleri bakımından çok az bir etkiye sahip olduğunu tespit etmiştir.

Kalay (2010), çalışmasında pomza, mermer ve kireç katkılı yüksek plastisiteli bir kil üzerinde deneyler yaparak her bir katkının ideal oranlarını belirlemiştir. Daha sonra bu ideal oranları belirlemiştir. Daha sonra bu ideal oranlı karışımlara ikinci bir katkı malzemesi olarak pomza, mermer tozu veya kireç ilave ederek deneysel çalışmalar yapmıştır. Yüksek plastisiteli kile katkı olarak %6 oranlarında kireç ilave edildiğinde en yüksek serbest basınç mukavemetine ulaşıldığını göstermiştir. %30 ideal pomza katkısınca farklı oranlarda mermer tozu veya kireç katarak yaptığı deneylerde ise kireçli karışımlarda daha yüksek serbest basınç mukavemeti elde edildiğini belirtmiştir.

Kamal (2012), yaptığı çalışmada İstanbul Beylikdüzü' den alınan yüksek plastisiteli bir kil üzerinde iki farklı granülometriye sahip numuneler hazırlamıştır. Bu numunelere %20 uçucu kül ve %3 kireç ve %40 uçucu kül ve %3 kireç ilave ederek farklı ufalama seviyesine bağlı olarak sönmüş kireç ve uçucu külün zemin üzerindeki etkisini araştırmıştır. Deney sonuçları neticesinde ince granülometriye sahip numune iri granülometriye sahip numuneye göre daha iyi iyileşme özelliği göstermiştir. Ayrıca deney sonuçları %20 uçucu kül + %3 kireç ve %40 uçucu kül + %3 kireç ilavesi ile çok etkin iyileştirme sağlandığını göstermektedir. Sadece uçucu kül ve

sadece kireç kullanıldığı takdirde bu seviyede iyileştirme sağlanmadığını tespit etmiştir.

Bilgen vd. (2012), yaptıkları çalışmada kirecin deniz suyu ile birlikte kullanılması durumunda, bentonit kilinin mukavemet değeri üzerine etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Bu çalışma sırasında, bentonit kili, kireç ve deniz suyu ile hazırlanan numuneler, standart kompaksiyon ile sıkıştırdıktan sonra 0, 1, 7 ve 28 gün küre bırakılmıştır. Çeşme suyu ve deniz suyu ile hazırlanan numuneler 28 gün sonra serbest basınç deneyine tabi tutulduğu zaman deniz suyunun çeşme suyuna göre q_u değeri yaklaşık 2 kata varan artış göstermiştir. Buna ilave olarak kireç deniz suyu bentonit ile birlikte kullanıldığı zaman 28 gün sonunda q_u değerinde 7 kat artığını tespit etmişlerdir.

Akcanca vd. (2012), yaptıkları çalışmada sızdırmazlık amaçlı kullanılabilen bentonitin kumlu ve kireçli karışımların kompaksiyon ve kayma direnci parametrelerini incelemişlerdir. Deney numuneleri bentonite karışım ağırlığının %50, %60, %70 ve %80 oranlarında kum ve her bir kum karışımı için %0, %1, %2 ve %3 oranlarında kireç katılmasıyla hazırlanan numuneler üzerinde kompaksiyon ve kesme kutusu deneyleri yapmışlardır. Yapılan deneyler sonucunda, kum bentonit karışımlarına kireç ilavesiyle optimum su muhtevasının arttığı ve maksimum kuru yoğunluğun azaldığını karışımdaki bentonit oranı arttıkça kohezyonun arttığı ve içsel sürtünme açısının azaldığı gözlemlenmiştir.

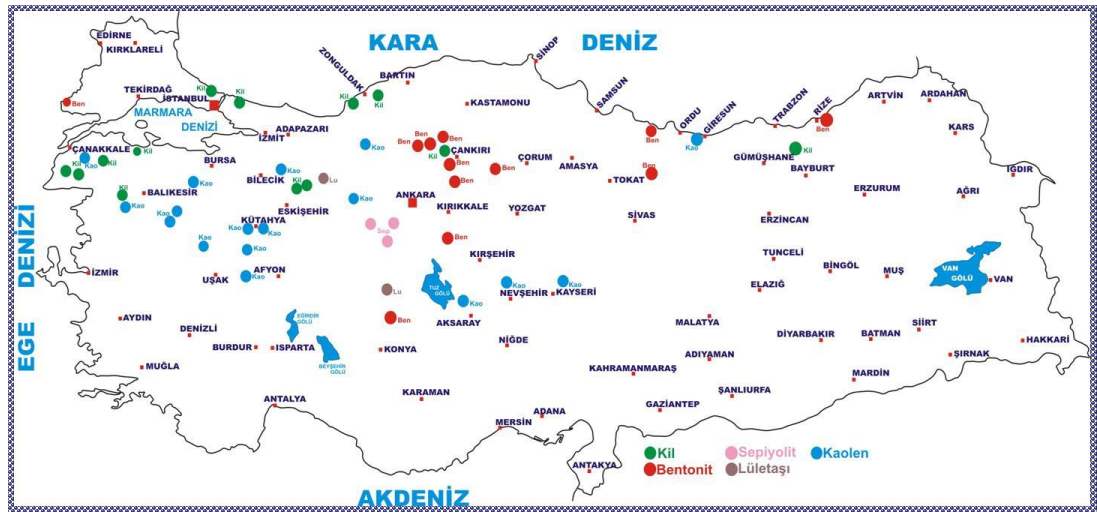
Bu çalışmada ise bentonite farklı oranlarda amorf silika ve kolemanit ilave edilerek mühendislik özelliklerindeki değişimler incelenmiştir. Bu iki malzemeye ait deney sonuçları arasından amorf silika seçilerek %5 kireç sabit olacak şekilde bentonite amorf silika karıştırılarak yapılan deney sonuçları birlikte değerlendirilmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Kullanılan Malzemelerin Tanıtılması

3.1.1. Bentonit

Bentonit, montmorillonit ailesinin bir parçası ve %500 ya da daha yüksek likit limit değerine sahip bir kil mineralidir. Alüminyum ve magnezyum içeriği zengin volkanik kül, tuf ve lavların kimyasal ayrışmasıyla veya bozulması sonucunda oluşurlar. Türkiye’de bulunan bentonit yatakları Şekil 3.1’de görülmektedir (Önem, 2000; Mitchell ve Soga, 2005; Karakaya Bentonit, 2013).



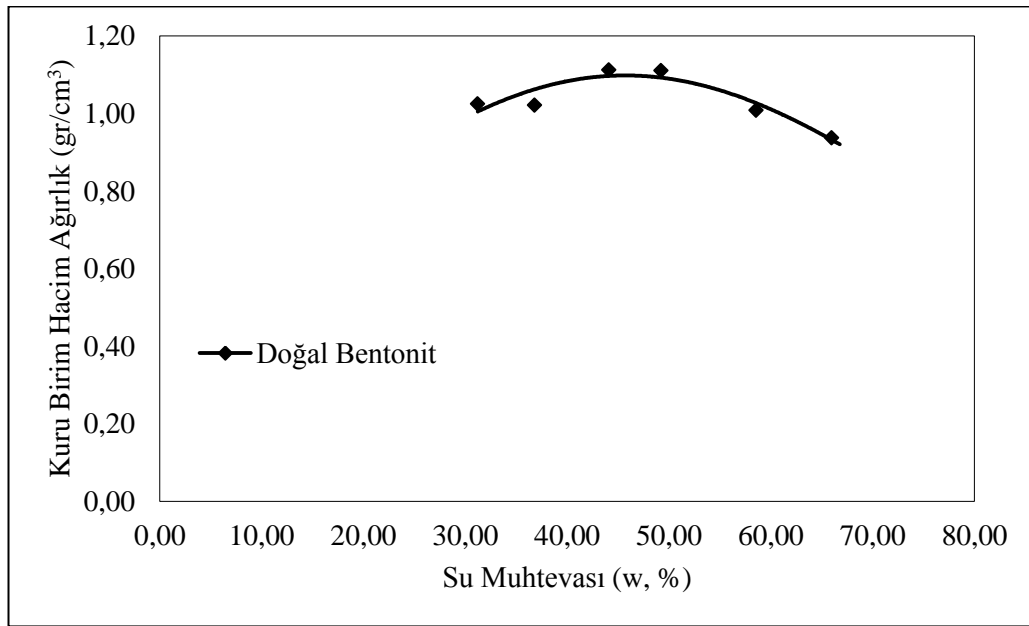
Şekil 3.1. Türkiye’de bulunan killer ve bentonit yatakları (MTA, 2013)

Ca, Na ve Na-Ca montmorillonitlerden oluşmasına göre üç tip bentonit bulunmaktadır. Bu bentonitlerin oluşumları bakımından jeolojik özellikleri farklılık göstermektedir. Bunlar içerisinde ticari olarak önemi bulunan sodyum bentonittir. Ancak sodyum bentonitin tabiatta rezervi az bulunmaktadır. Bu nedenle fazla şişme özelliği göstermeyen kalsiyum ve sodyum-kalsiyum bentonitler çeşitli kimyasal yöntemlerle sodyum bentonite dönüştürülmektedir (Özdemir ve Özcan, 2005). Bu tez çalışmasında Karakaya Bentonit’den temin edilen doğal sodyum bentonit kullanılmıştır. Doğal sodyum bentonite ait kimyasal ve fiziksel özellikler Çizelge 3.1 de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Doğal sodyum bentonitin kimyasal ve fiziksel özellikleri

Kimyasal Analiz		Fiziksel Özellikler	
SiO ₂	%61.28	Nem (%)	8.0
Al ₂ O ₃	%17.79	Elek Analizi (200 mesh) %	1.24
Fe ₂ O ₃	%3,01	Viskozite 600 rpm 'de	46
CaO	%4,54	Plastik Viskozite (PV)	15.6
Na ₂ O	%2.70	YP(YieldPoint/plastic)	0,4
MgO	%2.10	Filtrasyon Hacmi	11,2
K ₂ O	%1.24		

Ayrıca Karakaya Bentonit'den alınan doğal sodyum bentonit alınan Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Geoteknik Anabilim dalı Zemin Mekaniği laboratuvarında kıvam limitleri, piknometre, standart kompaksiyon, sabit hacimli şişme ve serbest basınç deneyleri yapılmıştır. Bentonit numunesine ait kompaksiyon eğrisi Şekil 3.1'de diğer deney sonuçları Çizelge 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.2. Doğal bentonitin standart kompaksiyon eğrisi

Çizelge 3.2. Doğal sodyum bentonitin mühendislik özellikleri

Özellikler	LL(%)	PL(%)	PI(%)	$\gamma_{kmax}(gr/cm^3)$	$w_{opt}(%)$	Gs	$q_u(kg/cm^2)$
	640	28	612	1,12	48	2,69	1,87

Burada LL (Likit Limit), PL (Plastik Limit), PI (Plastisite İndisi), γ_{kmax} (Maksimum Kuru Birim Hacim Ağırlık), w_{opt} (Optimum Su Muhtevası), G_s (Özgül Ağırlık), q_u (Serbest Basınç Mukavemeti)'ni göstermektedir.

3.1.2. Bor

Bor, yeryüzünde yaygın olarak bulunan bir elementtir. Yüksek konsantrasyonda ve ekonomik boyutlardaki bor yatakları borun oksijen ile bağlanmış bileşikleri olarak daha çok Türkiye ve ABD'nin kurak, volkanik ve hidrotermal aktivitesinin yüksek olduğu bölgelerde bulunmaktadır (BOREN, 2013).

Bor, periyodik tabloda B simgesi ile gösterilen, atom numarası 5, atom ağırlığı 10,81 olan metalle ametalarası yarı iletken özelliğe sahip bir elementtir. Periyodik cetvelin 3A grubunun ilk ve en hafif üyesidir. Çeşitli metal veya ametal elementlerle yaptığı bileşiklerin gösterdiği farklı özellikler, bor bileşiklerinin birçok endüstride kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Bor, bileşiklerinde metal dışı bileşikler gibi davranır, ancak, farklı olarak saf bor, karbon gibi elektrik iletkenidir. Kristalize bor, görünüm ve optik özellikleri açısından elmasa benzer ve neredeyse elmas kadar serttir. Bor, yerkabuğunda yaygın olarak bulunan 51. elementtir. Bor tabiatta hiçbir zaman serbest halde bulunmaz, Oksijenle bileşik halde(bor oksit olarak) bulunur. Kimyasal formülü B_2O_3 olan bor oksit'in Na, Ca, Mg gibi metal elementlerle yaptığı bileşiklere borat adı verilir. Dünyada en çok bulunan bor mineralleri bu boratlardır. Doğada yaklaşık 230 çeşit bor minerali olduğu bilinmektedir. Bunlardan ticari önemi olan boratlar, Boraks (Tinkal), Kolemanit, Üleksit, Probertit, Kernit (Razorit), Hidroborasit ve Pandermittir. Bu boratların buldukları bölgeler ve kimyasal formülleri Çizelge 3.3'de gösterilmiştir (BOREN, 2013).

Çizelge 3.3. Ticari önemi bulunan boratlar (BOREN, 2013)

TİP	MİNERAL	BİLEŞİM	%B ₂ O ₃	NOTLAR
Hidrojen Boratlar	SASOLİT	H ₃ BO ₃	56,3	Doğal borik asittir ve sadece İtalya'da bulunmaktadır
Sodyum Boratlar	TİNKAL	Na ₂ B ₄ O ₇ .10H ₂ O	36,5	Tinkal yatakları Eskişehir Kırka'da bulunmaktadır.
	TİNKALKONİT	Na ₂ B ₄ O ₇ .5H ₂ O	47,8	Genellikle aksesuar olarak kullanılmaktadır.
	KERNİT	Na ₂ B ₄ O ₇ .4H ₂ O	51,0	Kernit yatakları Arjantin'in Tincalayu ve Blanca bölgelerinde bulunmaktadır.
Sodyum-Kalsiyum Boratlar	ÜLEKSİT	NaCaB ₅ O ₉ .8H ₂ O	43,0	Üleksit yatakları, Şili, ABD ve Türkiye'de bulunmaktadır.
	PROPERTİT	NaCaB ₃ O ₉ .5H ₂ O	49,6	ABD'de Dealt Walley bor yataklarında bulunmaktadır.
Kalsiyum Boratlar	KOLEMANİT	Ca ₂ B ₆ O ₁₁ .5H ₂ O	50,8	En büyük rezerv Türkiye'dedir.
	PANDERMİT	CaB ₁₀ O ₁₉ .7H ₂ O	49,8	Bigadiç ve Kırka bor yataklarında bulunmaktadır.
Kalsiyum Borosilikatlar	DATOLİT	CaBSiO ₄ OH	24,9	Datolit yatakları esas olarak Rusya'nın Doğu bölgelerinde bulunmaktadır.
Magnezyum Boratlar	HİDROBORASİT	CaMgB ₆ O ₁₁ .6H ₂ O	50,5	Arjantin'de kolemanit ile birlikte hidroborasit oluşumu da bulunmakta ve ağırlıklı olarak seramik sanayinde kullanılmaktadır.
	AŞARİT	MgBO ₂ OH	41,4	Bu mineral oluşumu ağırlıklı olarak Kazakistan'da bulunmaktadır.
	BORASİT	Mg ₃ B ₇ O ₁₃ Cl	62,2	Türkiye'de Emet, Kırka, Bigadiç borat yataklarında oldukça sık görülür. Kolemanit, Üleksit bazen Tünelit ve Veaçit-A ile birlikte rastlanır.

Cam sanayinde; bor erimiş haldeki cam ara mamulüne katılığında onun vizkozitesini arttırıp, yüzey sertliği ve dayanıklılığını yükselttiğinden ısıya karşı izolasyonun gerekli görüldüğü cam mamullerine katılarak kullanılmaktadır. Bor, pencere camı, şişe camı vb. sanayilerde ender hallerde kullanılmaktadır. Özel camlarda ise borik asit vazgeçilemeyen bir unsur olup, rafine sulu/susuz boraks, borik asit veya kolemanit/boraks gibi doğal haliyle kullanılmaktadır. Çok özel durumlarda potasyum pentaborat ve bor oksitler kullanılmaktadır. Bor, erimiş haldeki cam ara mamulüne katıldığında onun viskozitesini arttırıp, yüzey sertliğini ve dayanıklılığını yükselttiğinden ısıya karşı izolasyonunun gerekli görüldüğü cam mamullerine katılmaktadır. A.B.D.' de kullanılan bor oksitin % 9'u, Batı Avrupa'da % 31'i cam v.b. sanayilerde gerçekleşmektedir (Anonim, 2001).

Seramik Sanayisinde; borla kaplanan emaye onun paslanmasını ve seramiği çizilmeye karşı dayanıklı kılması açısından kullanılmaktadır. Emayelerin vizkozitesini ve doyunlaşma ısısını azaltan borik oksit % 20'ye kadar kullanılabilir. Özellikle emayeye katılan hammaddelerin % 17-32'si borik oksit olup, sulu boraks tercih edilir. Bazı hallerde borik oksit veya susuz boraks da kullanılır. Metalle kaplanan emaye onun paslanmasını önler ve görünüşüne güzellik katar. Çelik, alüminyum, bakır, altın ve gümüş emaye ile kaplanabilir. Emaye asite karşı dayanıklılığı arttırır. Mutfak aletlerinin çoğu emaye kaplamalıdır. Banyolar, kimya sanayi teçhizatı, su tankları, silahlar vb.' de kaplanır. Seramiği çizilmeye karşı dayanıklı kılan bor % 3-24 miktarında kolemanit halinde sırlara katılır (Anonim, 2001).

İnşaat ve çimento sanayisinde; çimento için dayanıklılık artırıcı ve izolasyon özelliği sağlaması açısından kullanılmaktadır. Ayrıca bor katkılı çimentonun diğer çimentoya göre daha dayanıklı olduğu ve daha hızlı soğuduğu kanıtlanmış ve bu özelliği sebebiyle yol çalışmalarında kullanımı önem kazanmıştır (Anonim, 2001).

Yanmayı önleyici/geciktirici madde olarak ise; bor, erime noktasının çok yüksek olması sebebiyle yanmayı önleyici madde olarak kullanılmaktadır. Nükleer uygulamalarda; Atom reaktörlerinde borlu çelikler, bor karbürler ve titanbor alaşımları kullanılır. Paslanmaz borlu çelik, nötron absorbanı olarak tercih edilmektedir. Yaklaşık her bir bor atomu bir nötron absorbe etmektedir. Atom

reaktörlerinin kontrol sistemleri ile soğutma havuzlarında ve reaktörün alarm ile kapatılmasında (B₁₀) bor kullanılır (Anonim, 2001).

Tarım uygulamalarında; Bor mineralleri bitki örtüsünün gelişmesini artırmak veya önlemek maksadıyla kullanılmaktadır. Bor, değişken ölçülerde, birçok bitkinin temel besin maddesidir. Bor eksikliği görülen bitkiler arasında yumru köklü bitkiler (özellikle şeker pancarı) kaba yoncalar, alfaalfalar, meyve ağaçları, üzüm, zeytin, kahve, tütün ve pamuk sayılmaktadır. Bu gibi hallerde susuz boraks ve boraks pentahidrat içeren karışık bir gübre kullanılmaktadır. Bu da, suda çok eriyebilen sodyum pentaborat (NaB₅O₈.5H₂O) veya disodyum oktaboratın (Na₂B₈O₁₃) mahsulün üzerine püskürtülmesi suretiyle uygulanmaktadır. Bor, sodyum klorat ve bromosol gibi bileşiklerle birlikte otların temizlenmesi veya toprağın sterilleştirilmesi gereken durumlarda da kullanılmaktadır (Anonim, 2001).

Diğer kullanım alanları; Ahşap, malzeme prezervasyonu için sodyum oktaborat kullanılır. % 30'luk sodyum oktaborat çözeltisi ile muamele görmüş tahta malzeme yavaş yavaş kurutulursa bozulmadan ve küllenmeden uzun süre kullanılabilir. Silisyum üretiminde bor triklorür, polimer sanayiinde, esterleme ve alkilleme işlemlerinde ve etil benzen üretiminde bor trifluorür katalizör olarak kullanılmaktadır. Bor karbür ve bor nitrür; döküm çeperlerinde yüksek sıcaklığa dayanıklı (refrakter) malzeme püskürtme memelerinde de aşınmaya dayanıklı (abrasif) malzeme olarak kullanılan önemli bileşiklerdir. Araçların soğutma sistemlerinde korozyonu önlemek üzere boraks, antifiriz karışımına katkı maddesi olarak da kullanılır. Tekstil sanayiinde, nişastalı yapıştırıcıların viskozitlerinin ayarlanmasında, kazeinli yapıştırıcıların çözücülerinde, proteinlerin ayrıştırılmasında yardımcı madde boru ve tel çekmede akılcılığı sağlayıcı madde, dericilikte kireç çöktürücü madde olarak boraks kullanılmaktadır (Anonim, 2001).

3.1.2.1. Kolemanit

Monoklinik sistemde kristallenir. Sertliği 4-4,5, özgül ağırlığı 2,42 g/cm³'dir. B₂O₃ içeriği %50,8' dir. Suda yavaş, HCl asitte hızla çözülür. Bor bileşikleri içinde en yaygın olanıdır. Türkiye'de Emet, Bigadiç ve kestelek yataklarında, Dünya'da A.B.D' de bulunur (Anonim, 2001).



Şekil 3.3. Kolemanit

Bu çalışmada kullanılan kolemanit ETİ Maden Balıkesir Bigadiç Bor işletmelerinden temin edilmiştir. Kullanılan malzemenin fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.4’ de verilmiştir.

Çizelge 3.4. Kolemanitin fiziksel ve kimyasal özellikleri

İçerik	Birim	Değer
B ₂ O ₃	%	40.00+/-0.50
CaO	%	27.00+/-1.00
SiO ₂	%	4.00-6.50
SO ₄	%	0.60 Max.
As	ppm	35 Max.
Fe ₂ O ₃	%	0.08 Max.
Al ₂ O ₃	%	0.40 Max.
MgO	%	3.00 Max.
SrO	%	1.50 Max.
Na ₂ O	%	0.35 Max.
Kızdırma Kaybı	%	24.60 Max.
Nem	%	1.00 Max.
Dökme yoğunluğu	ton/m ³	1.00 Max.

3.1.3. Amorf Silika

Amorf silika, volkanik-hidrotermal sistemler içinde; doymuş silikadan direkt çökelmeyle yeraltı damarları biçiminde, H¹ nötr, kloritli sular yakınında ve yüzeyde ise silika tortuları olarak veya birincil kuvars hariç bütün orijinal minerallerin yer aldığı amorf silika + kristobalit + doğal kükürt + alunit + kaolin + limonit gibi ikincil mineral topluluğunda ornatılan oluşum olarak, yüzey veya yan kayaçlarının asit alterasyonundan oluşan ve yataklanan tortul bir kayadır (Davraz ve Gündüz, 2003).

Amorf silika kayacı genellikle beyaz olmasına rağmen gri, siyahımsı gri, krem, yeşil, portakal, kahverengi ve hatta kırmızı renklere bile bulunabilir (Şekil 3.4). Genellikle sert ve yoğun olmasına karşılık, süngerimsi dokulu çok poroz türleri de yaygındır (Davraz, 2004).



Şekil 3.4. Amorf silikanın alındığı bölge

Amorf silika, açık rengi, hafifliği (birim hacim ağırlığı $< 1\text{gr/cm}^3$), mikro gözenekli yapısına bağlı yüksek porozitesi ve su emme kabiliyeti, gevrek ve kolay kırılabilir oluşu ile diğer silikatlı kayaçlardan kolayca ayırt edilebilir. Dünyada bilinen en yaygın kullanım alanı inşaat sektörüdür. Beton dayanımını artırıcı ve priz hızlandırıcı

polimer esaslı kimyasal maddeler, uçucu küller, zeolit grubu mineraller ile endüstriyel yan ürün/atık olarak elde edilen silis dumanı gibi, doğal amorf silika da dünyanın bazı bölgelerinde beton katkı maddesi olarak yaygın biçimde kullanılmaktadır. Beton dayanımı artırıcı ve priz hızlandırıcı polimer esaslı kimyasal maddeler, uçucu küller, zeolit grubu mineraller ile endüstriyel yan ürün gibi, doğal amorf silika da Yeni Zelanda ve civarı ülkelerinde beton katkı maddesi olarak yaygın biçimde kullanılmaktadır (Davraz ve Gündüz, 2003; Davraz, 2004). Isparta Keçiborlu yöresi amorf silika kayacının fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.5’ de verilmiştir.

Çizelge 3.5. Amorf silikanın kimyasal ve fiziksel özellikleri (Davraz ve Gündüz, 2003)

Kimyasal Özellikler	
SiO ₂	%92,48
Al ₂ O ₃	%2,60
Fe ₂ O ₃	%0,09
CaO	%0,31
Na ₂ O	%1,08
MgO	%0,00
K ₂ O	%0,04
TiO ₂	%1,34
SO ₃	%0,09
A.K	%1,85
Fiziksel Özellikler	
Renk	Açık Krem
Sertlik	5,5-6
Özgül Ağırlık	2,39gr/cm ³
Kuru Birim Hacim Ağırlığı	630 kg/m ³
Görünür Porozite	%45
Su Emme (ağırlıkça)	%50

3.1.4. Kireç

Kireç, doğal kireçtaşından üretilir. Kireçtaşı sedimanter bir kayaç olup yüksek kalsiyumlu, magnezyumlu veya dolomitik yapıda olabilir. Kireçtaşının yapısına ve üretim sürecine bağlı olarak özel tipte kireçler elde edilir. Zemin iyileştirilmesinde en yaygın kullanılan kireç tipleri; yüksek kalsiyumlu sönmemiş kireç (CaO), monohidrate dolamatik kireç (Ca(OH)₂MgO) ve yüksek kalsiyumlu sönmüş kireç (Ca(OH)₂) dir (Kalay, 2010). Bu tez çalışmasında sönmemiş yüksek kalsiyumlu kireç kullanılmıştır. Kullanılan kirecin kimyasal özellikleri Çizelge 3.6’ da verilmiştir.

Çizelge 3.6. Sönmüş kirecin kimyasal özellikleri (Kalay, 2010)

Kimyasal Özellikler	
SiO ₂	0,1
Al ₂ O ₃	<0,1
Fe ₂ O ₃	0,1
CaO	79,3
Na ₂ O	<0,1
MgO	0,4
K ₂ O	<0,1
TiO ₂	<0,1
SiO ₂	0,1
MnO	<0,1
P ₂ O ₅	<0,1
A.Za.	19,85

3.2. Deneysel Çalışmalar

Doğal sodyum bentonitin mühendislik özelliklerini iyileştirmek için bentonite ağırlıkça %2, %4, %6, %8, %10 oranlarında ayrı ayrı kolemanit ve amorf silika ilave edilerek kıvam limitleri, standart kompaksiyon, serbest basınç ve sabit hacimli şişme deneyleri yapılmıştır. Daha sonra literatür taraması sonucu karar verilen ağırlıkça %5 kireç oranı sabit tutularak bentonite, (bentonit-amorf silika-kireç) %2, %6, %10 oranlarında amorf silika ilave edilmiştir. Bu karışımlar üzerinde kıvam limitleri, standart kompaksiyon, serbest basınç ve sabit hacimli şişme deneyleri yapılmıştır.

3.2.1. Kıvam Limitleri Deneyi

Her bir numunenin plastik limit, likit limit ve platisite indisi değerlerinin belirlenmesinde ASTM D4318-05 deney metodu kullanılmıştır. Kolemanit, amorf silika ve kireç 200 no.lu elekten elenerek yukarıda belirtilen oranlarda bentonite ilave edilmiştir. Deney sonuçları bulgular kısmında verilmiştir.

3.2.1. Standart Proktor (Kompaksiyon) Deneyi

Numunelerin kompaksiyon özelliklerinin belirlenmesi için ASTM D698 standartlarındaki standart kompaksiyon deneyi yapılmıştır. Numune hazırlama

sırasında bentonite ilave edilen katkı malzemelerin homojen olarak karışmasına özen gösterilmiştir. Kompaksiyon deneyi yapım aşaması Şekil 3.5’de görülmektedir.



Şekil 3.5. Kompaksiyon sonrası sıkıştırılmış numune

Kompaksiyon deneylerinden elde edilen sonuçlarla kompaksiyon eğrileri çizilmiş optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlık değerleri belirtilmiştir. Deney sonuçları bulgular kısmında verilmiştir.

3.2.2. Serbest Basınç Deneyi

Kolemanit, amorf silika ve kirecin doğal sodyum bentonite olan etkisini araştırmak için farklı oranlarda karıştırılarak standart kompaksiyon deneyi yapılmıştır. Standart kompaksiyon sonuçlarından yararlanarak serbest basınç numuneleri hazırlanmıştır. Numuneler sıkıştırılırken kuru birim hacim ağırlıklarının ve optimum su muhtevalarının değişmemesine dikkat edilmiştir. Numuneler standart kompaksiyon deneyinde elde edilen 5,956 bar basınçla tek seferde özel olarak tasarlanan pirinç kaba konularak hidrolik presle sıkıştırılarak hazırlanmıştır. Numuneler hazırlanırken; $2 \leq \text{Yükseklik}/\text{Çap} \leq 2,5$ oranı dikkate alınmıştır. Şekil 3.6’da hidrolik pres kullanılarak numune hazırlama aşaması görülmektedir. Hazırlanan numuneler 0,50 mm/sn yükleme hızıyla serbest basınç deneyine tabi tutulmuştur. Karışım numuneleri üzerinde kürsüz ve 7, 14, 28 gün kuru küre bırakılmış olmak üzere 4 farklı aşamada serbest basınç deneyi yapılmıştır. Aynı karışım numunesinden en az 2 numune

hazırlanıp ortalaması alınmıştır. Serbest basınç deneylerinde elde edilen gerilme deformasyon eğrileri ve deney sonuçları Bulgular kısmında verilmiştir.



Şekil 3.6. Serbest basınç deneyi

3.2.3. Sabit hacimli şişme deneyi

İncelenen zemin numunelerinin şişme basınçları, sabit hacim ödometre deney yöntemi ASTM D 4546 – 90 Metot C kullanılarak belirlenmiştir. Zemin numuneleri 71,5 mm çapında 17 mm yüksekliğindeki ödometre ringi içerisine, önceden

belirlenen başlangıç koşullarına sahip olacak şekilde dinamik olarak 10 mm yüksekliğinde sıkıştırılmıştır. Bentonit numunesi aşırı şişme gösterdiği için 7 mm şişme payı ödometre ringinde bırakılmıştır. Sıkıştırma işlemi sırasında zemin numunelerinin su muhtevalarının ve başlangıç kuru birim hacim ağırlıklarının değişmemesine özen gösterilmiştir. Ring içerisindeki numune ödometre hücresine yerleştirildikten sonra kapiler yolla alt taraftan poraz taş seviyesine kadar su ilave edilmiştir. Böylelikle şişme olayı kontrollü bir şekilde devam etmiştir. Hücre tamamen su ile doldurularak numuneye serbestçe su girişine izin verilmiş, ancak numunenin hacmi sabit tutulacak şekilde yüklemeler uygulanmıştır. Yüklemelerin uygulanması sırasında, deformasyonların 0.005 mm de tutulmasına ve 0.01 mm den büyük deformasyonların meydana gelmemesine dikkat edilmiştir. Daha fazla yükleme yapılmaksızın numune hacminde herhangi bir artış eğiliminin gözlenmediği durumda deneye son verilmiştir. Zemin numunesine uygulanan nihai basınç, şişme basıncı olarak belirlenmiştir. Deney sonrasında ring içerisindeki numune kurutularak tartılmış ve numunelerin istenilen başlangıç koşullarında hazırlanıp hazırlanmadığı kontrol edilmiştir. Yapılan kontroller neticesinde, kuru birim hacim ağırlık ve su muhtevası değerleri için, genellikle %1'den daha küçük sapmaların olduğu belirlenmiştir. İncelenen zemin numuneleri için, sabit hacim ödometre deneyleri, amorf silika ve kolemanit katkılılar genellikle 7 günde, kireç katkılı numuneler 2 günde şişmesini tamamlamıştır. İncelenen numuneler için sabit hacim ödometre deneylerinden elde edilen sonuçlar Bulgular ve Tartışma bölümünde verilmiştir.

3.2.4.Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizleri

Taramalı Elektron Mikroskobu, çok küçük bir alana odaklanan yüksek enerjili elektronlarla yüzeyin taranması prensibiyle çalışır. Manfred von Ardenne öncülüğünde 1930'lı yıllarda geliştirilmiştir. En sık kullanıldığı biçimiyle, yüzeyden yayılan ikincil (secondary) elektronlarla yapılan ölçüm, özellikle yüzeyin engebeli (topografik) yapısıyla ilişkili bir görüntü oluşturur (Lovenn, 2013).

Temel olarak Taramalı elektron mikroskobu, Tungsten, Lantan hekza borit katottan veya alan emisyonlu (FEG) gun'dan ortaya çıkan elektronların kullanımı incelenecek malzeme yüzeyine gönderilmesi sonucu oluşan etkileşmelerden yararlanılması esasına dayanır (TAEK, 2013).

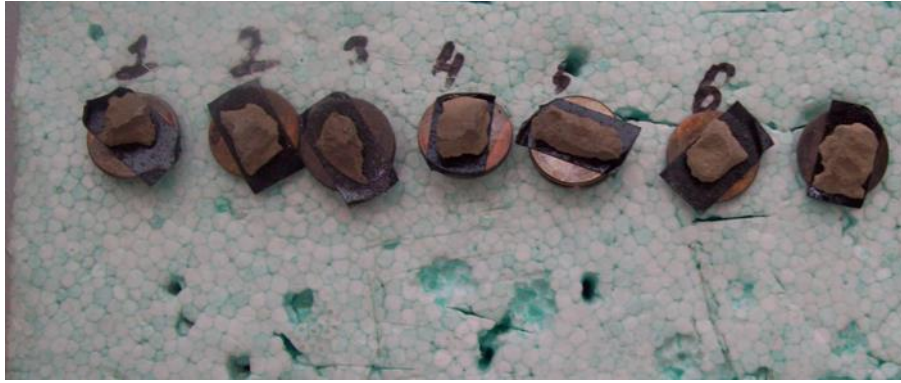
Elektron mikroskopları iki çeşittir. Bunlar: Transmisyon Elektron Mikroskobu (TEM): Bu mikroskopta elektron ışını çok ince bir örneğe yönlendirilir. Elektron mikroskobunda, projeksiyon mercekleri olarak adlandırılan mercekler gerçek görüntüyü flouresans ya da fotografik film üzerine düşürmelidir, çünkü gözümüz elektron görüntüsünü doğrudan göremez. TEM için kullanılan örnekler çok ince olmalıdır. 10-20 nm kadar ince örnekler özel yöntemlerle hazırlanabilmektedir. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM): Daha kalın örnekler elektron ışınlarının yüzeyden yansımaları ile incelenebilir. Bu inceleme SEM ile yapılabilmektedir. Elektron ışını örnek yüzeyine odaklanır ve örnek yüzeyini taramaya başlar. Işının örnek yüzeyini taramaya başlamasıyla yüzeyden yansıyan elektronlar örneğe göre birkaç yüz volt pozitif voltajda tutulan anot ile toplanır. Toplayıcı anottaki akım yükseltilir ve katot ışın tüpündeki mikroskop ışını ile eşzamanlı olarak taranan elektron ışınlarını değiştirmek için kullanılır. Bu nedenle katot ışın tüpü örneğin oldukça büyütülmüş olan görüntüsünü alır. SEM'in ayırma gücü 10 nm mertebesindedir. Taramalı Elektron Mikroskobunda (SEM) görüntü, yüksek voltaj ile (200-300 eV dan 100 keV a kadar değişebilir) hızlandırılmış elektronların numune üzerine odaklanması, bu elektron demetinin numune yüzeyinde taratılması sırasında elektron ve numune atomları arasında oluşan çeşitli girişimler sonucunda meydana gelen etkilerin uygun algılayıcılarda toplanması ve sinyal güçlendiricilerinden geçirildikten sonra bir katot ışınları tüpünün ekranına aktarılmasıyla elde edilir. Modern sistemlerde bu algılayıcılardan gelen sinyaller dijital sinyallere çevrilip bilgisayar monitörüne verilmektedir (Elektroteknoloji, 2013).

Gelen elektron demetinin incelenen örnek yüzeyi ile yapmış olduğu diğer bir etkileşim ise (yaklaşık 1000 nm derinlik civarında), karakteristik X ışınlarının çıktığı durumdur (enerjileri keV mertebesindedir). Buna göre örneğe çarpan elektron, örnekteki atomun iç yörüngesinden bir elektron kopmasına neden olunca, enerji dengelenmesi gereği bir üst yörüngedeki elektron bu seviyeye geçer ve geçerken de ortama bir X ışını yayar ve buna da karakteristik X ışını adı verilir. Bu X ışını mesela 10 mm² çapındaki bir Si (Li) detektörle algılanır, ortaya çıkan sinyal yükselticiye, oradan çok kanallı analizöre ve daha sonra da SEM sistemin bilgisayarına gönderilir. Sonuçta ortaya çıkan karakteristik X ışını SEM'de incelenen malzemenin element bakımından muhtevasının nitel ve nicel olarak tespit edilmesine yardımcı olur (TAEK, 2013).

Seçilen karışım oranları için numunelerin taramalı elektron mikroskop altında görüntüleri Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama Merkezi laboratuvarında alınmıştır.

SEM analizleri serbest basınç deney sonrası kalan numuneler ile yapılmıştır. Numune yüzeyinden iyi bir sinyal almak için tozdan arındırıldıktan sonra karbon kaplama yapılmıştır. Karbon kaplama, vakum altında düşük gerilim verilerek oluşturulan arkta karbon zerreciklerinin buharlaşması esasına dayanmaktadır (Erdin, 1987).

Numuneler karbon kaplama cihazına konularak, hücre içerisindeki hava boşaltıldıktan sonra numune 4-5 dk. karbon ile kaplanmıştır. Kaplama sonunda çıkan numuneler Şekil 3.7’de görülmektedir.



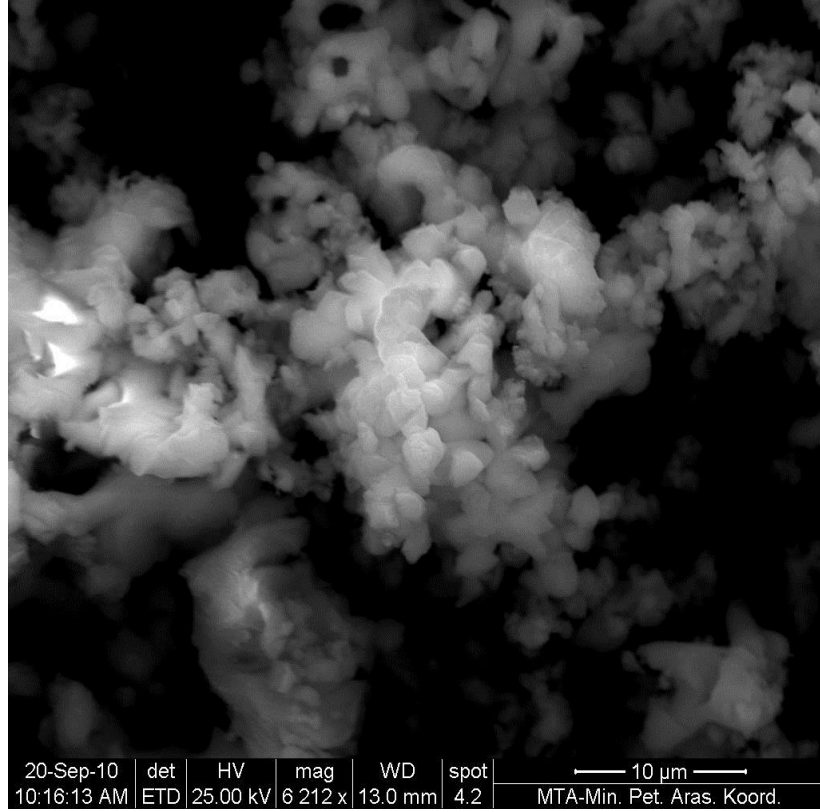
Şekil 3.7. Karbon kaplaması yapılmış numuneler

Kaplanan numuneler’den yedi tanesi taramalı elektron mikroskobuna yerleştirilmiş ve cihaz vakumlamaya bırakılmıştır (Şekil 3.8). Vakumlama işleminin ardından SEM görüntüleri alınmaya başlanmıştır.



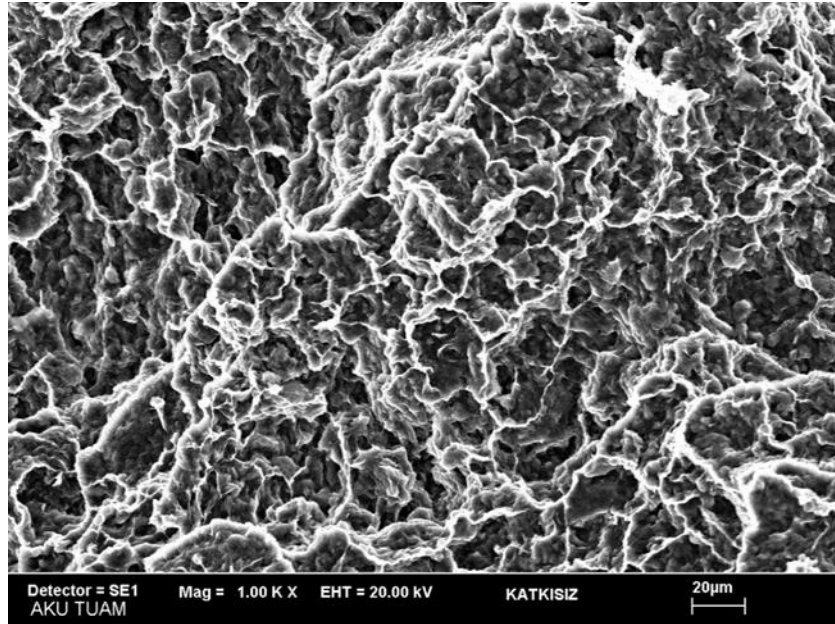
Şekil 3.8. LEO 1430VP marka SEM analiz cihazı

Deneye tabi tutulan tüm numuneler için SEM görüntüsü alınmıştır. Bu görüntülerden bir kısmı Şekil 3.9, Şekil 3.10, Şekil 3.11, Şekil 3.12, Şekil 3.13 ve Şekil 3.14’de görülmektedir. Geri kalanları ise Ek A’da verilmiştir. Ayrıca deney sonuçları neticesinde SEM görüntülerine ek olarak doğal bentonit, doğal bentonit + %2 kolemanit, doğal bentonit + %6 amorf silika, doğal bentonit + %5 kireç ve doğal bentonit + %5 kireç + %6 amorf silika karışımları için EDX (Enerji dağılımlı x-ışını spektroskopisi) analizleri yapılmıştır. Yapılan EDX analizleri Ek B’de verilmiştir.

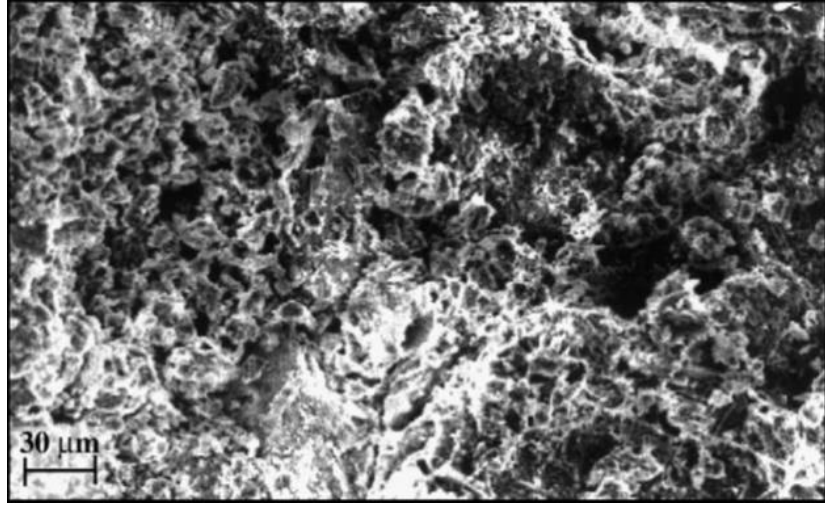


Şekil 3.9. Sönmüş kirecin SEM görüntüsü (Kalay, 2010)

Şekil 3.9’da belirtilen kısımlarda kalsit kristali görülmektedir. Şekil 3.10’da ağırlıklı olarak montmorillonit minerali görülmektedir.

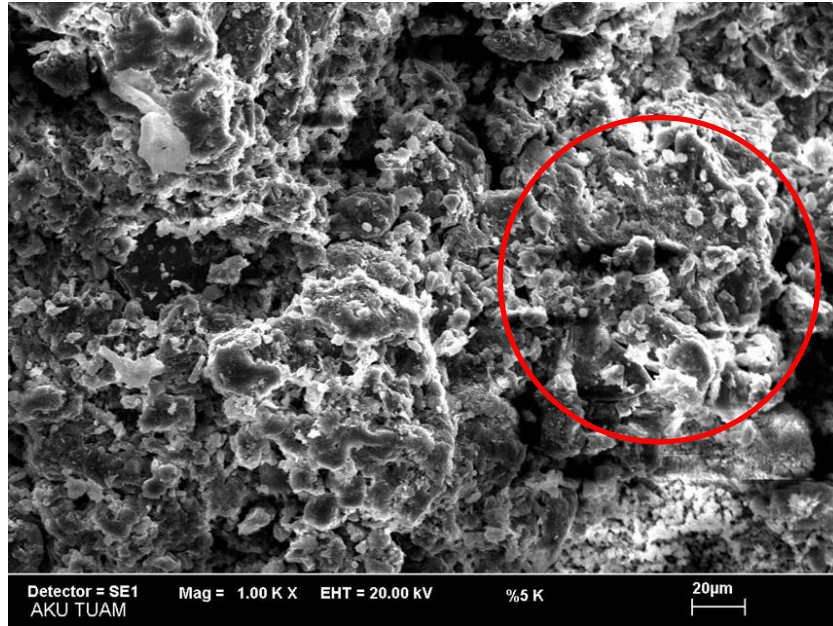


Şekil 3.10. Doğal bentonitteki monmorillonit mineralinin görüntüsü

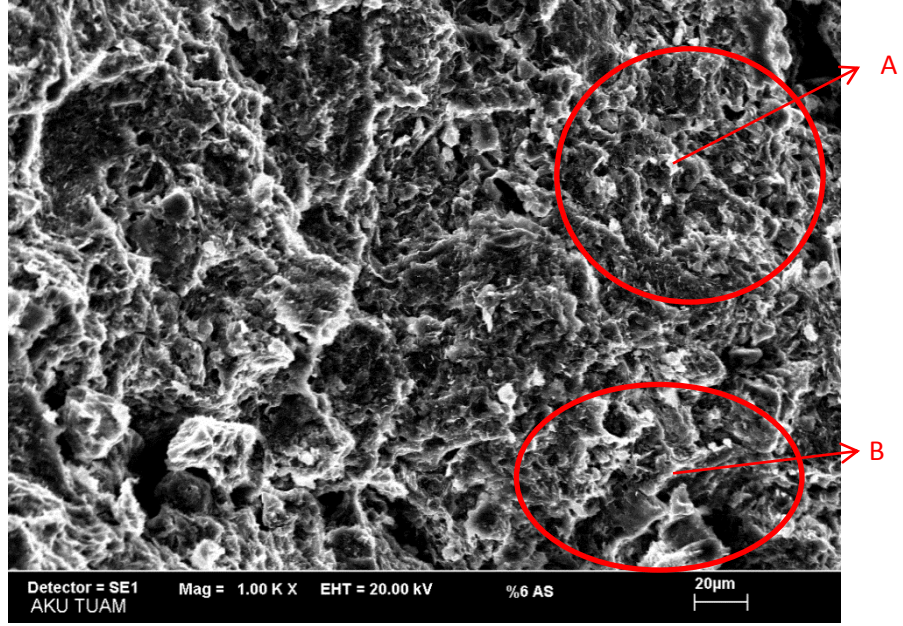


Şekil 3.11. Amorf silikanın SEM görüntüsü (Davraz ve Gündüz, 2005)

Şekil 3.11’de amorf silikanın SEM görüntüsü görülmektedir. Şekil 3.12’de ise doğal bentonite %5 kireç ilave edilen numunenin görüntüsü verilmiştir. Bu şekilde kırmızı ile gösterilen kısımlarda Portland (CH) birleşimleri görülmektedir.

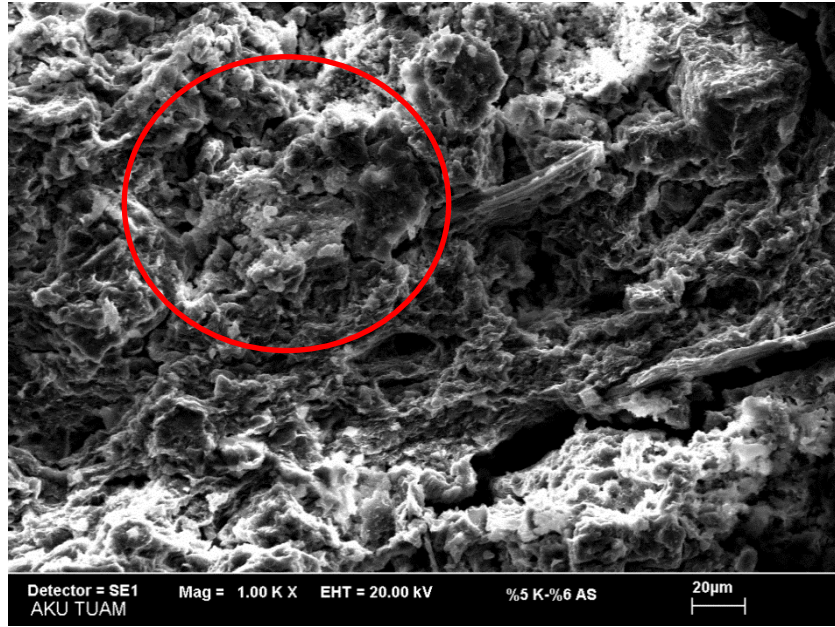


Şekil 3.12. Doğal bentonit + %5 kireç katkılı numunenin SEM görüntüsü



Şekil 3.13. Doğal bentonit + %6 amorf silika katkılı numunenin SEM görüntüsü

Şekil 3.13’de Doğal bentonite %6 amorf silika ilave edilmiş SEM görüntüsü görülmektedir. Şekil 3.13’de A ile gösterilen kısımda amorf silika, B ile gösterilen kısımlarda montmorillonit minerali görülmektedir.



Şekil 3.14. Doğal bentonit + %5 kireç + %6 amorf silika katkılı numunenin SEM görüntüsü

Şekil 3.14’de kırmızı daire ile gösterilen kısımda doğal bentonit kireç amorf silika tepkimesinden oluşan Tobermorit minerali görülmektedir.

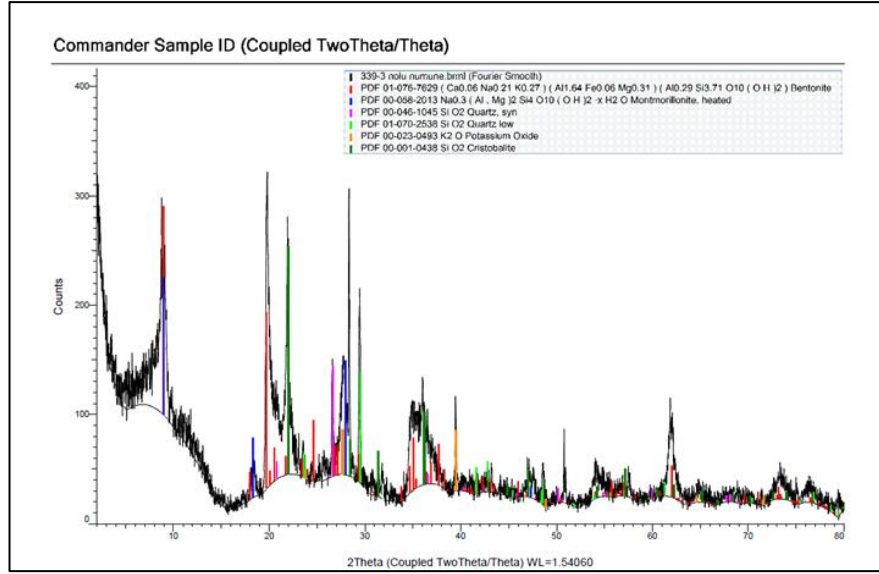
3.2.5. X-ray Difraksiyon Analizleri

Zeminlerin mineralojik karakteristiklerinin belirlenmesinde en sık kullanılan yöntemlerden biri X-ray difraksiyon analizleridir. X-ray difraksiyon analizleri, her kristal fazının kendine özgü bir X-ray difraksiyon modeli (paterni) olduğu prensibine dayanmaktadır. Karışık durumda bulunan fazlarda, fazlardan her biri diğerlerinden bağımsız olarak kendi modelini vermektedir. X-ray difraksiyon grafikleri, farklı şiddet ve θ açısı değerlerindeki yansımalarından oluşmaktadır. Bu şekilde zemin içerisinde bulunan çeşitli mineral fazları, X-ray difraksiyon grafiklerinde, kendilerine özgü yansıma değerlerinden belirlenebilmektedir (Uzundurukan, 2006). Bu tez çalışmasında X ray difraksiyon analizleri Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Araştırma Uygulama Merkezinde yapılmıştır (Şekil 3.15).



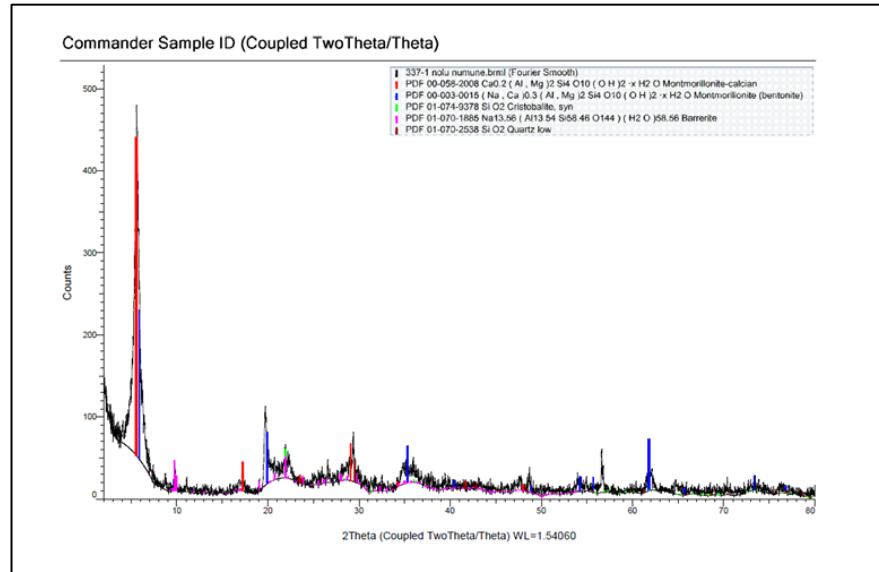
Şekil 3.15. X-ray difraksiyon cihazı

Doğal bentonit üzerinde yapılan X-Ray sonuçlarına göre görülen mineraller çokluk sırasına göre; Bentonit, Montmorillonit, Kuartz, Potasyum oksit ve Kristobalite olarak elde edilmiştir (Şekil 3.16).



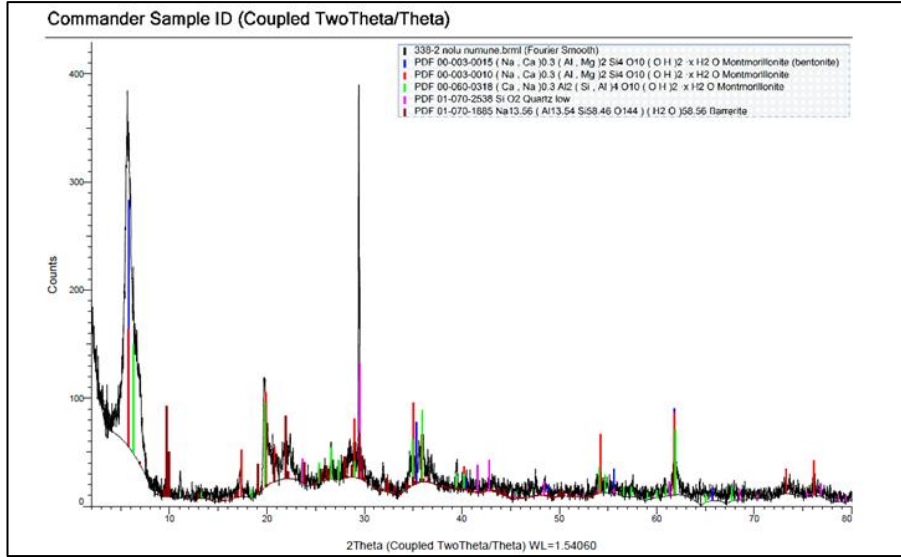
Şekil 3.16. Doğal bentonitin XRD analiz görüntüleri

Doğal bentonite %5 kireç karıştırılarak yapılan X-Ray sonuçlarına göre görülen mineraller çokluk sırasına göre; Kalsiyum Montmorillonit, Montmorillonit, Kristobalite, Barit ve az miktarda Kuartz görülmüştür (Şekil 3.17).



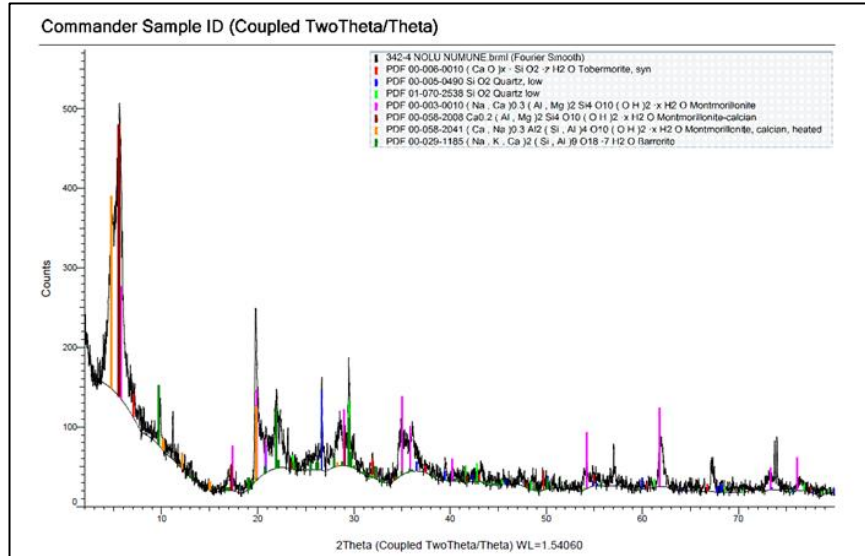
Şekil 3.17. Doğal bentonit + %5 kireç katkılı numunenin XRD analiz görüntüleri

Doğal bentonite %5 kireç + %2 amorf silika karıştırılarak yapılan X-Ray sonuçlarına göre belirlenen mineraller çokluk sırasına göre; Montmorillonit, az miktarda Kuartz, ve Barit görülmüştür (Şekil 3.18).



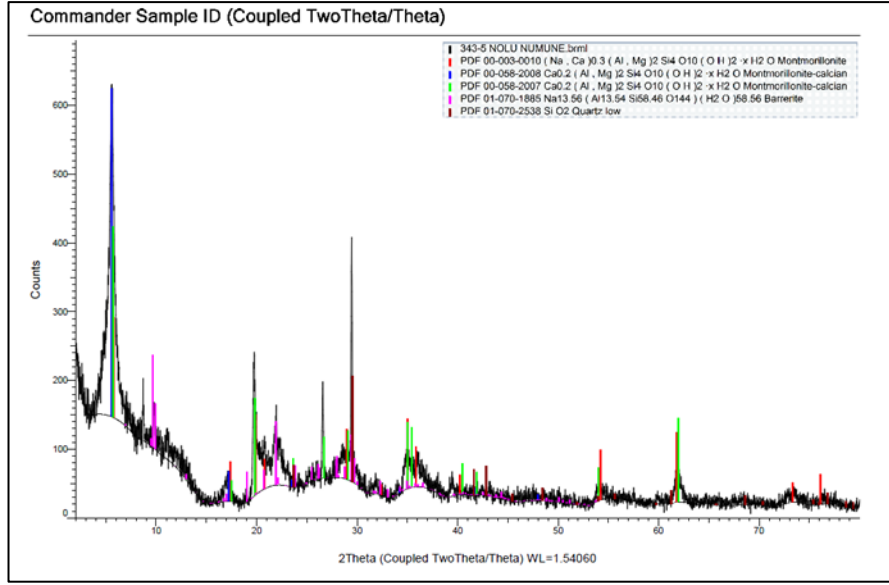
Şekil 3.18. Doğal bentonit + %5 kireç + %2 amorf silika katkılı numunenin XRD analiz görüntüleri

Doğal bentonite %5 kireç + %6 amorf silika karıştırılarak yapılan X-Ray sonuçlarına göre belirlenen mineraller çokluk sırasına göre, Tobermolit, az miktarda Kuartz, Montmorillonit, Kalsiyum Montmorillonit ve Barit olarak görülmüştür (Şekil 3.19).



Şekil 3.19. Doğal bentonit + %5 kireç + %6 amorf silika katkılı numunenin XRD analiz görüntüleri

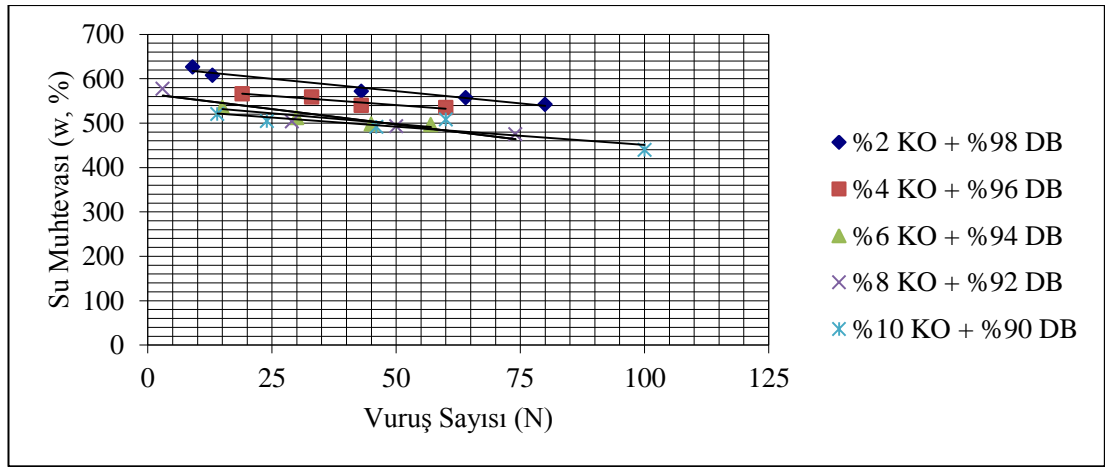
Doğal bentonite %5 kireç + %10 amorf silika karıştırılarak yapılan X-Ray sonuçlarına göre belirlenen mineraller çokluk sırasına göre, Montmorillonit, Barit ve az miktarda Kuartz görülmüştür (Şekil 3.20).



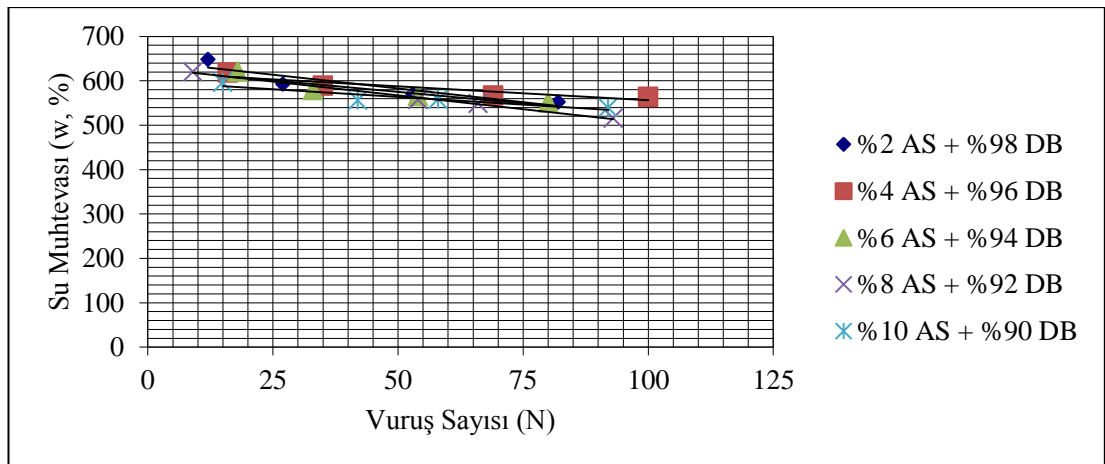
Şekil 3.20. Doğal bentonit + %5 kireç + %10 amorf silika katkılı numunenin XRD analiz görüntüleri

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu çalışmada doğal bentonite (DB), kolemanit (KO), amorf silika (AS) ve kireç (K) katkıları karıştırılarak kıvam limitleri, standart kompaksiyon, sabit hacimli şişme ve serbest basınç deneyleri yapılmıştır. Doğal bentonite %2, %4, %6, %8, %10 oranlarında kolemanit, amorf silika ilave edilerek yapılan likit limit deney sonuçlarından elde edilen vuruş sayıları su muhtevası ilişkisi Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de görülmektedir.

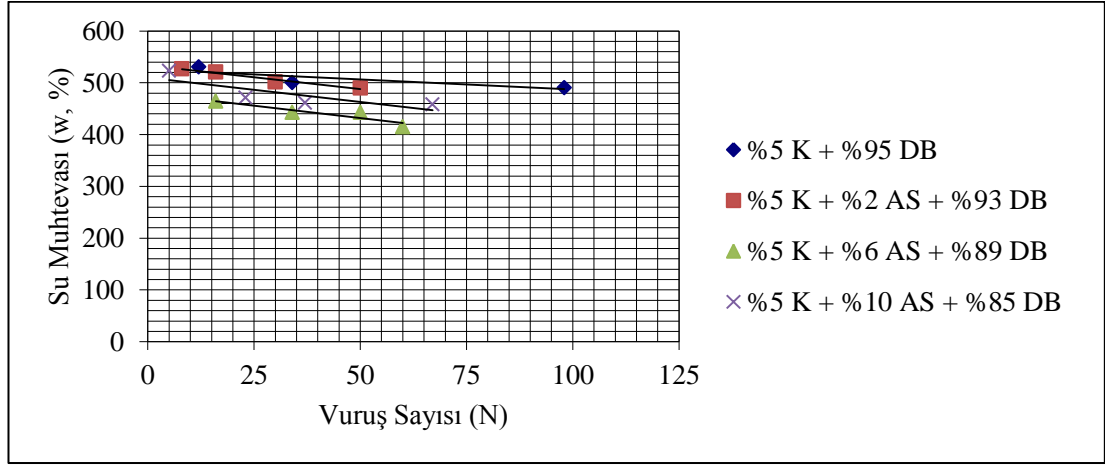


Şekil 4.1. Doğal bentonite kolemanit ilave edilmesiyle elde edilen likit limit deney sonuçları



Şekil 4.2. Doğal bentonite amorf silika ilave edilmesiyle elde edilen likit limit deney sonuçları

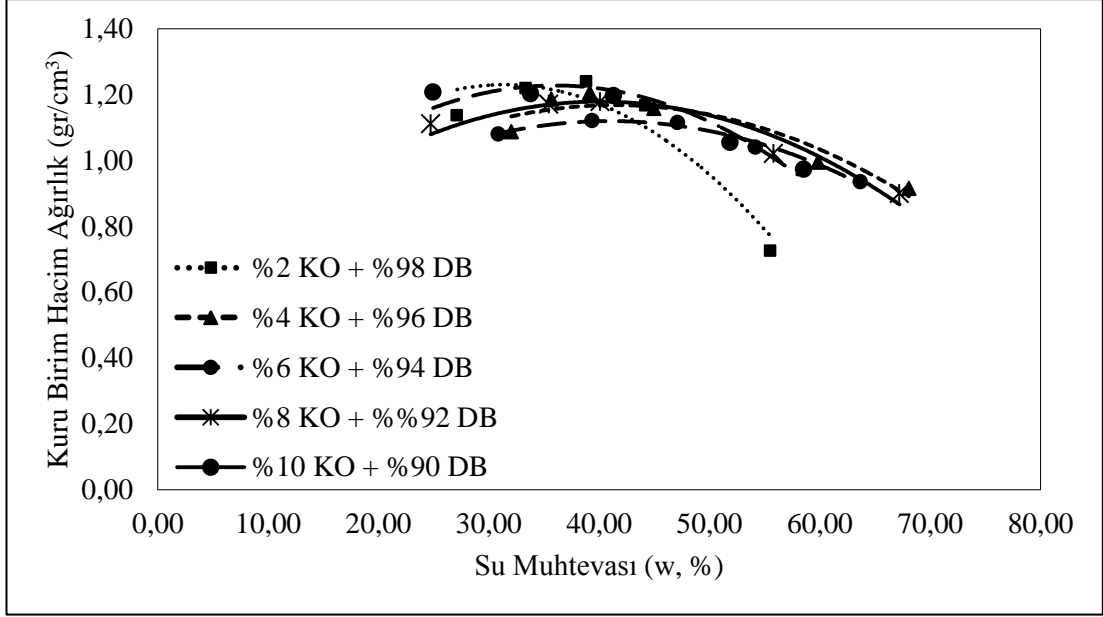
Doğal bentonite %5 kireç oranı sabit tutularak %2, %6, %10 oranlarında amorf silika ilave edilerek likit limit deney sonuçları Şekil 4.3’de görülmektedir.



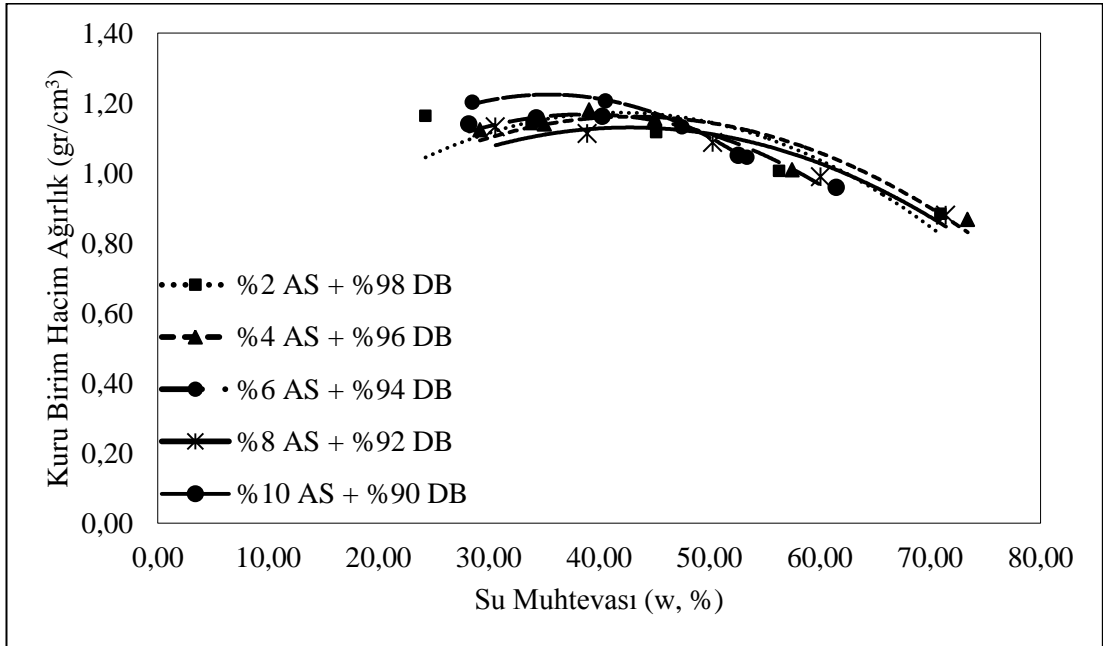
Şekil 4.3. Doğal bentonite kireç ve amorf silika ilavesiyle elde edilen deney sonuçları

Likit limit deney sonuçları incelendiğinde kolemanit ve amorf silika katkısının artmasının likit limitte daha fazla azalmaya neden olduğu görülmektedir. Kireç ve amorf silikanın birlikte ilave edilmesi ise likit limiti diğer katkılara göre daha fazla azaltmıştır.

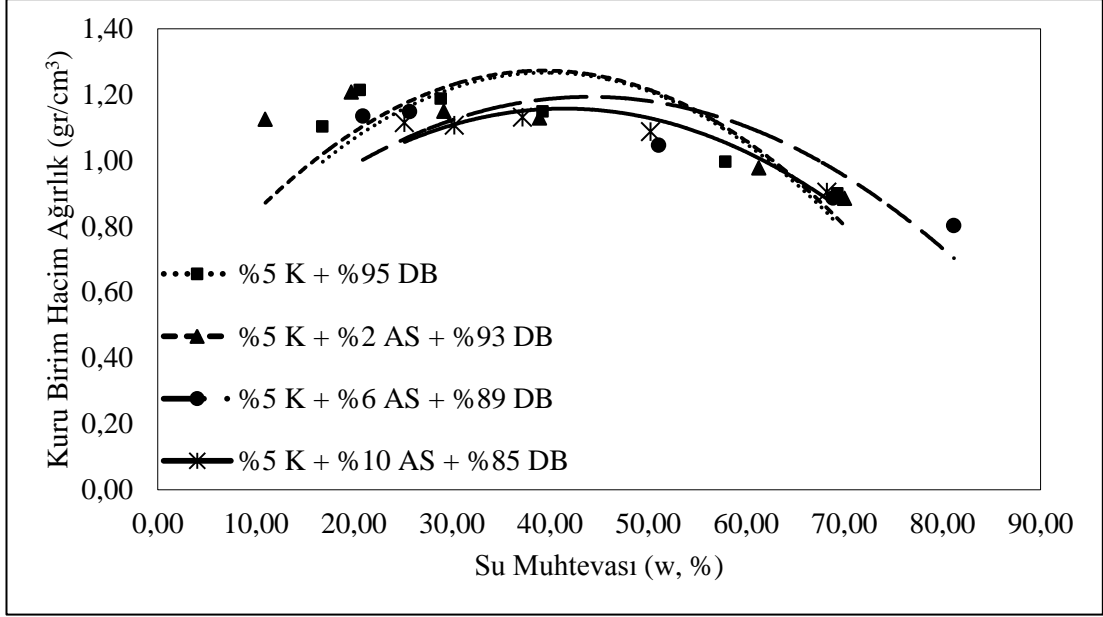
Doğal bentonite %5 kireç sabit tutularak amorf silika ilavesi doğal bentonite aynı oranlarda kolemanit, amorf silika ilavesiyle yapılan kompaksiyon deneyinden elde edilen kompaksiyon eğrileri Şekil 4.4, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6’da görülmektedir.



Şekil 4.4. Doğal bentonite kolemanit ilave edilmesiyle elde edilen kompaksiyon deney sonuçları



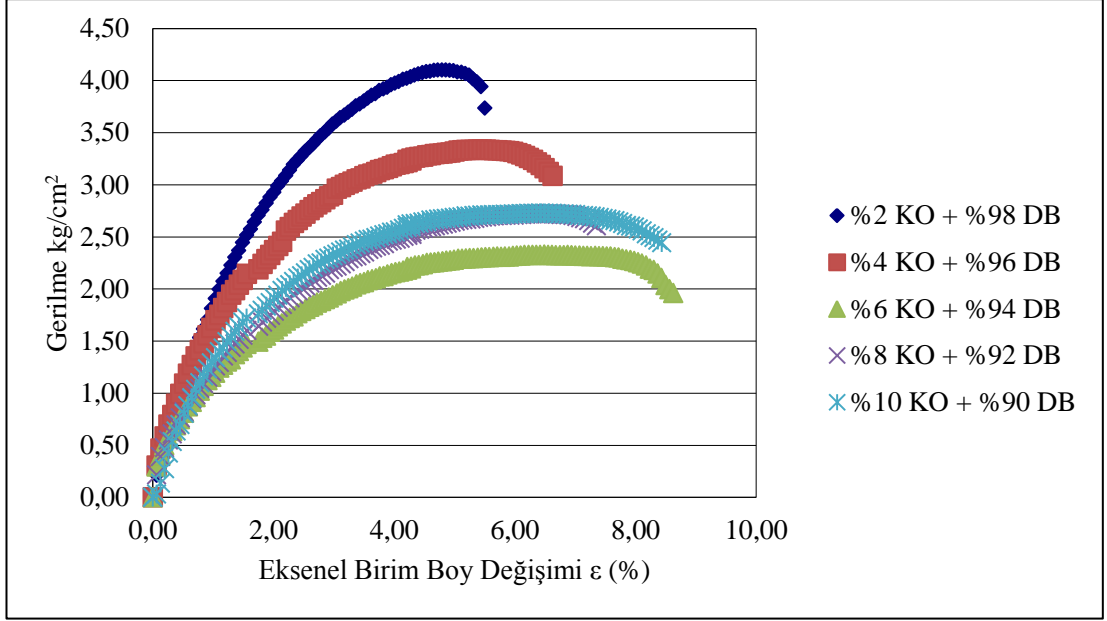
Şekil 4.5. Doğal bentonite amorf silika ilave edilmesiyle elde edilen kompaksiyon deney sonuçları



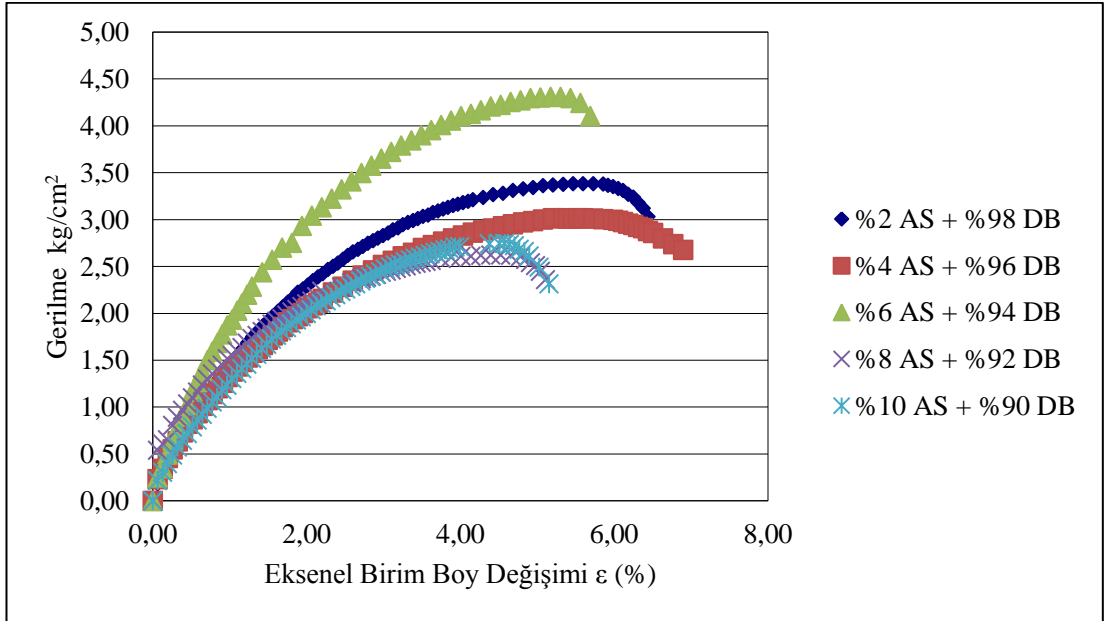
Şekil 4.6. Doğal bentonite kireç ve amorf silika ilave edilmesiyle elde edilen kompaksiyon deney sonuçları

Doğal bentonitin standart kompaksiyon deney sonuçları karşılaştırıldığında, %2 oranlarında kolemanit veya %6 oranlarında amorf silika karıştırılması maksimum kuru birim hacim ağırlığı arttırırken, optimum su muhtevasını azaltmaktadır.

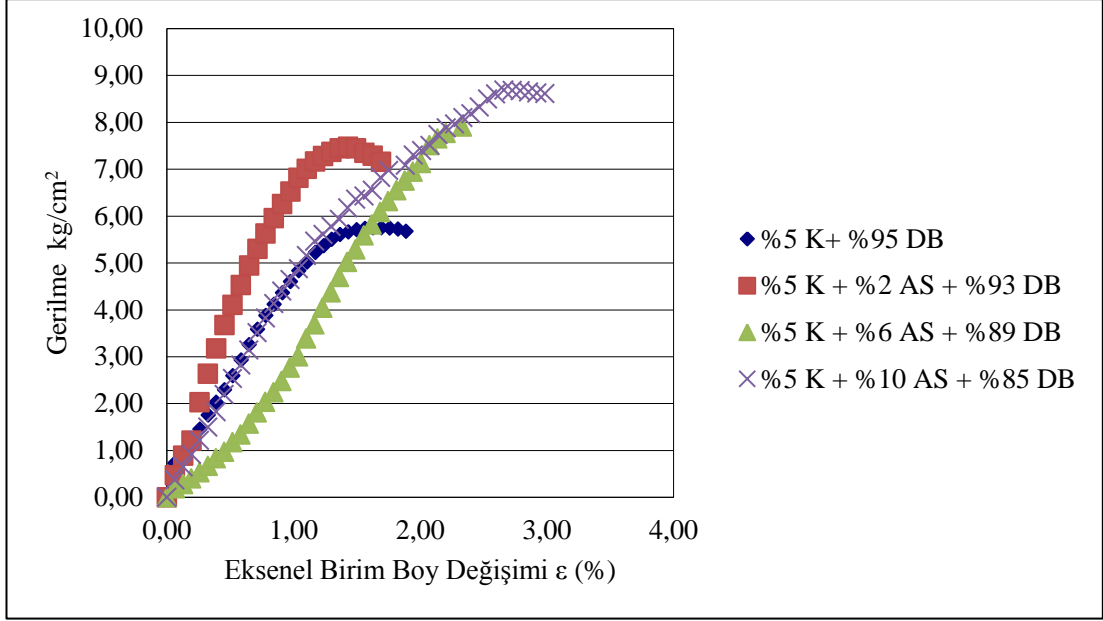
Kompaksiyon deney şartlarında hazırlanan numuneler üzerinde serbest basınç deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerden elde edilen gerilme deformasyon eğrileri Şekil 4.7, Şekil 4.8 ve Şekil 4.9’da verilmiştir.



Şekil 4.7. Doğal bentonite kolemanit karıştırılarak yapılan serbest basınç deneyleri



Şekil 4.8. Doğal bentonite amorf silika karıştırılarak yapılan serbest basınç deneyleri



Şekil 4.9. Doğal bentonite kireç ve amorf silika karıştırılarak elde edilen serbest basınç deneyleri

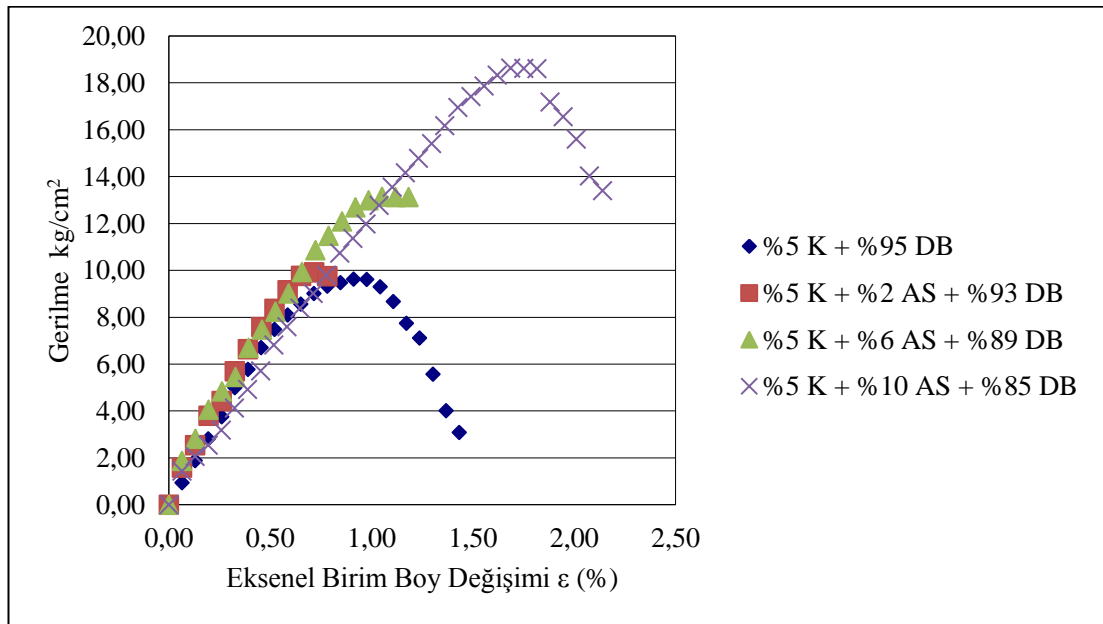
Şekil 4.7-4.9'da verilen, serbest basınç deneylerinden elde edilen gerilme aksel boy değişimi eğrileri incelendiğinde kireç ve amorf silika katkılarının ilave edilmesiyle oluşturulan karışım numunelerinde diğerlerine göre daha az aksel birim boy değişimi daha yüksek gerilme görülmüştür. Amorf silika ve kolemanit katkılı numuneler kendi arasında değerlendirildiğinde amorf silikalı numuneler daha az aksel birim boy değişimi görülürken, gerilme miktarının kolemanitli numunelere göre fazla değişmediği görülmektedir.

Gerilme deformasyon eğrilerinden yararlanılarak numunelerin serbest basınç mukavemeti değerleri belirlenmiştir. Kıvam limitleri, kompaksiyon, sabit hacimli şişme ve serbest basınç deney sonuçları Çizelge 4.1'de görülmektedir.

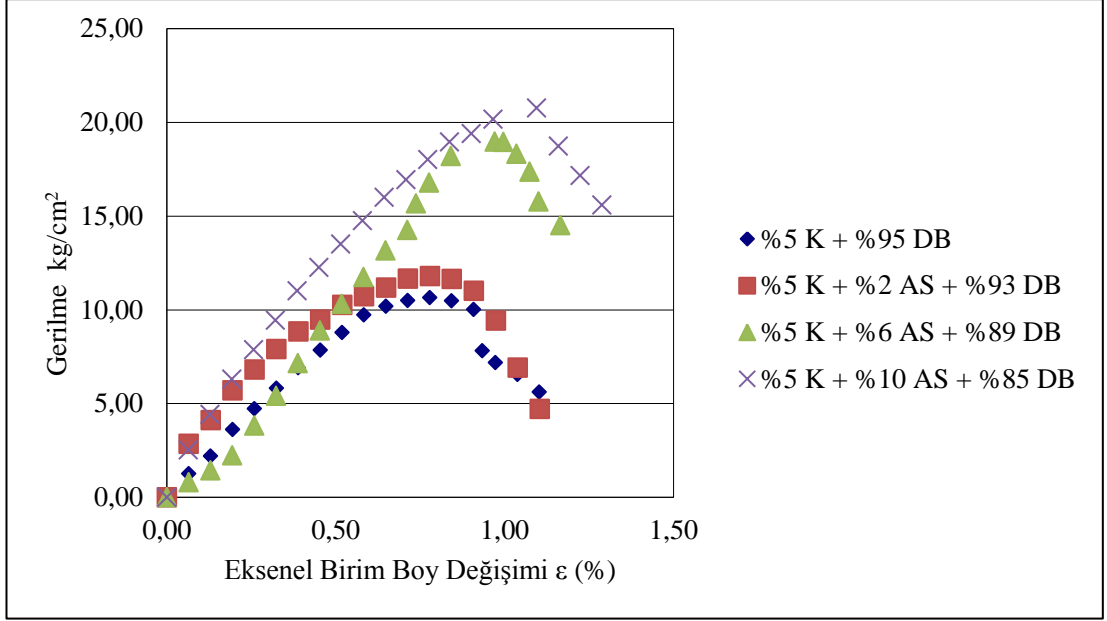
Çizelge 4.1. Kıvam limitleri, standart kompaksiyon, sabit hacimli şişme ve serbest basınç deney sonuçları

Numune Özellikleri	LL(%)	PL(%)	PI(%)	γ_{kmax} (gr/cm ³)	w _{opt} (%)	Pşişme (kg/cm ²)	qu (kg/cm ²)
Doğal Bentonit	640	28	612	1,12	48	5,12	1,87
%2 KO+%98 DB.	598	36	562	1,25	38	5,23	4,10
%4 KO+%96 DB.	570	31	539	1,20	40	5,29	3,31
%6 KO+%94 DB	522	32	490	1,13	46	3,86	2,31
%8 KO+%92 DB	530	31,5	499	1,16	40	3,67	2,72
%10 KO+%90 DB.	512	32	480	1,20	38	3,59	2,72
%2 AS+%98 DB	612	36,5	575,5	1,18	38	5,91	3,38
%4 AS+%96 DB	603	36,5	529,5	1,19	44	5,44	3,01
%6 AS+%94 DB	600	29	571	1,24	38	5,76	4,30
%8 AS+%92 DB	600	31	569	1,18	44	5,58	2,62
%10 AS+%90 DB	582	30	552	1,19	46	4,45	2,74
%5 K+%95 DB	517	32	485	1,21	32	1,43	5,87
%5 K+%2 AS+%93 DB	511	35	476	1,21	32	0,73	7,21
%5 K+%6 AS+%89 DB	486	43	443	1,19	38	0,57	7,99
%5 K+%10 AS+%85 DB	456	37	419	1,18	42	0,54	8,60

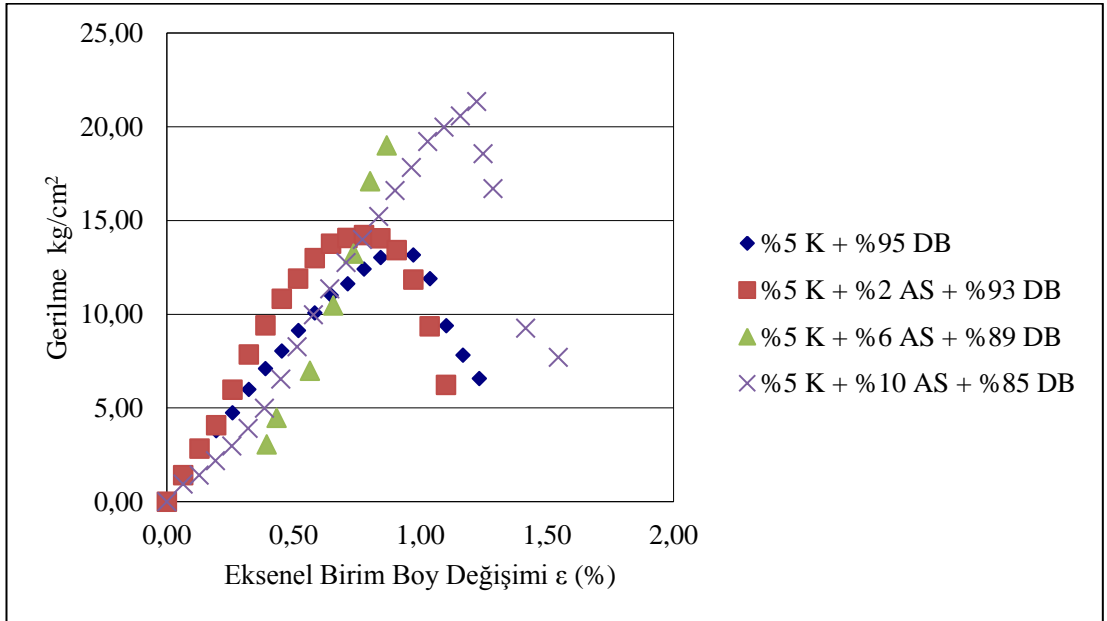
%5 Kireç oranı sabit tutularak %2, %6, %10 amorf silika ilave edilen numunelerde 7, 14, 28 günlük kuru küre bırakılmış numuneler üzerinde serbest basınç deneyleri yapılmıştır. Deneylerden elde edilen gerilme-eksenel birim boy değişim eğrileri Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de görülmektedir.



Şekil 4.10. 7 Gün küre bırakılmış numunelerin gerilme - eksenel boy değişimi



Şekil 4.11. 14 Gün küre bırakılmış numunelerin gerilme - eksenel boy değişimi

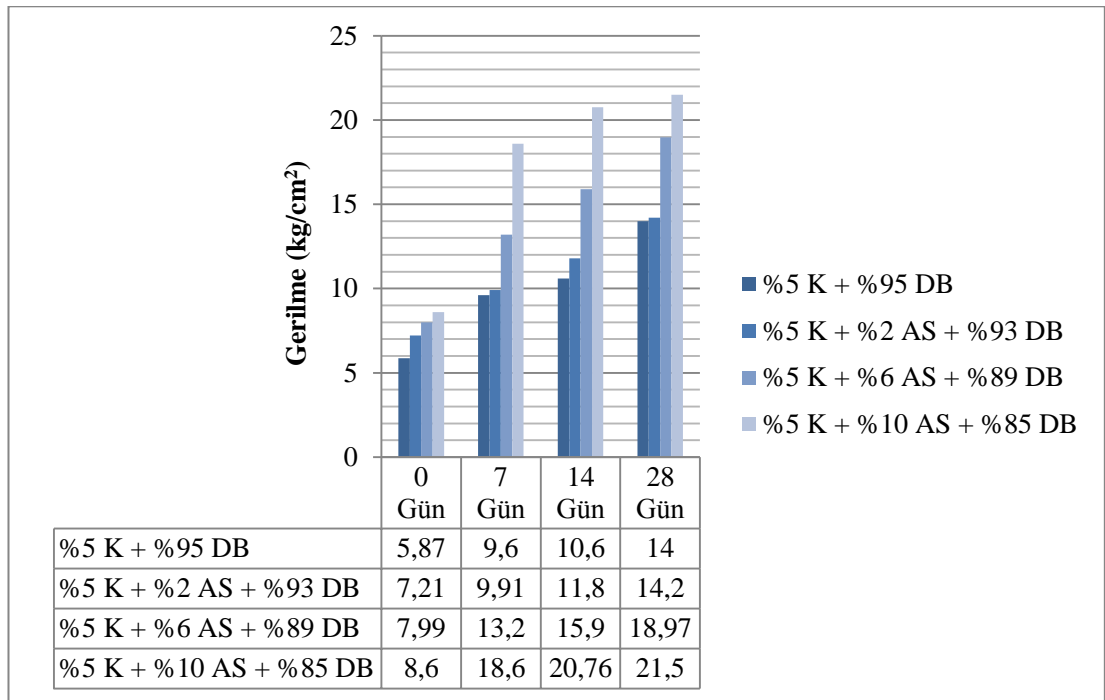


Şekil 4.12. 28 Gün küre bırakılmış numunelerin gerilme - eksenel boy değişimi

7, 14 ve 28 gün küre bırakılmış numunelerin gerilme-eksenel birim boy değişim eğrisi incelendiğinde AS miktarının artmasıyla gerilmenin ve birim boy değişiminin arttığı görülmektedir. Ayrıca kür sürelerine göre incelendiğinde kür süresinin artmasıyla eksenel birim boy değişiminin azaldığı, gerilmenin ise arttığı görülmüştür.

Yapılan kürlü serbest basınç deneylerin'den elde edilen serbest basınç mukavemeti değerleri Şekil 4.13'de görülmektedir. Şekil 4.13'den görüldüğü gibi kür miktarına göre serbest basınç mukavemetinde artış görülmektedir. Doğal bentonitin serbest basınç değeri 1.87 kg/cm^2 iken Amorf silika ilave edildiğinde artan Amorf silika miktarına göre kürsüz serbest basınç değeri de artmaktadır.

Küre bırakılmış serbest basınç mukavemeti değerleri incelendiğinde %5 kireç sabit tutulup amorf silika miktarı arttığında serbest basınç mukavemetinde artış meydana gelmiştir. Bu artış kirecin tek başına kullanıldığı durumdan daha fazla olmuştur.



Şekil 4.13. Doğal bentonite %5 kireç oranı sabit tutularak amorf silika ilave edilmesiyle yapılan kürlü serbest basınç deney sonuçları

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Doğal bentonite kolemanit, amorf silika ve %5 kireç sabit tutularak amorf silika ilave edilerek yapılan deneysel çalışmadan aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Doğal bentonite %2, %4, %6, %8, %10 oranlarında kolemanit katıldığında likit limit, plastisite indisi azalmaktadır. %2 kolemanit katkılı numunede en yüksek maksimum birim hacim ağırlık ve en az optimum su muhtevası elde edilirken serbest basınç mukavemeti de maksimum olmuştur. Kolemanit katkılı numuneler kendi içerisinde değerlendirildiğinde %2 kolemanit katkısının ideal olduğu belirlenmiştir. Şişme basıncının azaltılmasında ise kolemanitin daha yüksek oranlarda kullanılması gerekmektedir.

Doğal bentonite %2, %4, %6, %8 ve %10 amorf silika ilave edildiğinde likit limit plastisite indisi azalmaktadır. Serbest basınç mukavemeti %6 amorf silika katkılı numunede en yüksek değer olan $4,30 \text{ kg/cm}^2$ olarak elde edilmiştir. Amorf silika katkılı numuneler kendi içerisinde değerlendirildiğinde %6 amorf silika katkısının ideal olduğu belirlenmiştir.

Doğal bentonite ayrı ayrı kolemanit ve amorf silika ilave edilmesi şişme basıncı açısından değerlendirildiğinde yüksek katkı oranlarında iyileştirme görüldüğü belirlenmiştir. Bunun ilerideki çalışmalarında değerlendirilecek şekilde yüksek oranlarda karıştırarak deneylerin yapılması düşünülmektedir. Doğal bentonite %5 kireç katkısı sabit tutularak artan amorf silika değişmesine göre likit limit ve plastisite indisi azalmaktadır. %5 kireç + %10 amorf silika katkılı numunede en yüksek serbest basınç mukavemeti değeri elde edilmiştir. Şişme basıncı ise %5 kireç + %2 amorf silika katkılı numune ile en düşük şişme basıncı elde edilmiştir.

%5 kireç katkısı sabit tutulduğunda artan amorf silika miktarına göre 7, 14, 28 gün küre bırakılmış numunelerde kür miktarı ve amorf silika miktarı artarken serbest basınç mukavemetinde artış olmuştur.

Serbest basınç deneylerinden elde edilen gerilme aksenal boy değişimi eğrileri incelendiğinde kireç ve amorf silika katkılarının ilave edilmesiyle oluşturulan

karışım numunelerinde diğerlerine göre daha az aksel birim boy değişimi daha yüksek gerilme görülmüştür. Amorf silika ve kolemanit katkılı numuneler kendi arasında değerlendirildiğinde amorf silikalı numuneler daha az aksel birim boy değişimi görülürken gerilme miktarının kolemanitli numunelere göre fazla değişmediği görülmektedir.

Katkısız ve katkılı numunelerde yapılan X-Ray ve SEM analizlerine göre amorf silika ve kireç katkılı numunelerde reaksiyon sonucu oluşan Tobermolit kristali görülmüştür. Serbest basınç mukavemetindeki artış bu kristalin oluşmasıyla açıklanabilir.

Doğal bentonite kolemanit, amorf silika ve kireç ilave edilerek yapılan çalışmalarda numunede hem kısa hem de uzun sürede iyileşme görülmüştür. Kıvam limitlerinin, optimum su muhtevasının ve maksimum kuru birim hacim ağırlığın değişimi kısa süreli etki ile açıklanırken, serbest basınç mukavemeti değişimi uzun süreli etki ile açıklanabilir.

Serbest basınç mukavemeti artması, şişme basıncının azalması katyon değiştirme kapasitesi, flokülasyon ve aglomerasyon reaksiyonlarından ve zemin katkı karışımındaki puzolanik reaksiyonlardan kaynaklanmaktadır.

Yapılan deneysel çalışmalarla kolemanit ve amorf silikanın killerle karıştırılarak dolgu amaçlı kullanılabilceği göstermiştir. Ayrıca amorf silika ve kirecin birlikte karıştırılarak kullanılması kirecin tek başına kullanılmasından daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.. %5 kireç ve amorf silikanın karıştırılması durumunda maksimum serbest basınç mukavemeti elde edilmiştir.

KAYNAKLAR

- Akcanca, F., AYTEKİN, M., VEKLI, M., 2012. Kum ve Kireç Katkılı Bentonitin Kompaksiyon ve Kayma Direnci Parametrelerinin İncelenmesi. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Ondördüncü Ulusal Kongresi, 4-5 Ekim, Isparta, 659-668.
- Aydın, S., 2010. Yenikent (ANKARA) Yerleşim Alanı Killerinin Kireç Ve Uçucu Külle Geoteknik Özelliklerinin İyileştirilmesi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 198s, Ankara.
- AYTEKİN, S., 2009. Uçucu Küllerinin Killi Zeminlerin İslahında Kullanımı. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 82s, Adana.
- ASTM D 4318-05, 2010. Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils. ASTM, USA.
- ASTM D 4546-90, 1993. Standard Test Method for One-Dimensional Swell or Settlement Percent of Cohesive Soils. ASTM, USA.
- ASTM D 698-07 E1, 2009. Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort. ASTM, USA.
- Bilgen, G., 2010. Öğütülmüş Çelikhane Cürufu, Kireç Ve Deniz Suyunun Killerin İyileştirilmesinde Kullanımı. Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 278s, Kocaeli.
- Bilgen, G., Kavak, A., Çapar, Ö.F., 2012. Deniz Suyu ve Kirecin Bentonit Kilinin Mukavemet Değerlerine Etkisi. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Ondördüncü Ulusal Kongresi, 4-5 Ekim, Isparta, 581-590.
- Cernica, J. N., 1995. Geotechnical Engineering Soil Mechanics John Wiley & Sons, 453s, USA.
- Çakılcıoğlu, İ., 2007. Yüksek Plastisiteli Killerin Stabilizasyonu, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 72s, Sakarya.
- Das, B. M., 2008. Advanced Soil Mechanics Third Edition. Taylor & Francis, 567s, USA.
- Davraz, M., 2004. Isparta Keçiborlu Yöresi Doğal Amorf Silika Oluşumlarının Geleneksel Ve Hafif Beton Endüstrilerinde Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 244s, Isparta.
- Davraz, M., Gunduz, L., 2005. Engineering properties of amorphous silica as a new natural pozzolan for use in concrete. Cement and Concrete Research, 35, 1251-1261

- Davraz, M., Gündüz, L., 2003. Isparta Yöresi Amorf Silika Kayacının Katkı Maddesi Olarak Beton Dayanımına Etkisi, 3-4 Aralık, İstanbul, 36-42.
- Devlet Planlama Teşkilatı (DPT), 2001 Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı. Erişim Tarihi:16.06.2013. <http://ekutup.dpt.gov.tr/madencil/sanayiha/oik619.pdf>
- Elektrotekno, 2013.Elektron Mikroskobu. Erişim Tarihi:12.08.2013. <http://www.elektrotekno.com/about16948.html>
- Erdin, N., 1987. Tarama Elektron Mikroskobunun Temel Prensipleri ve Numune Hazırlama , İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Dergisi, 36(2), 102-124.
- Holtz, R., Kovacs, W.,2010. Geoteknik Mühendisliğine Giriş. Çev. Kayabalı, K. Gazi Kitabevi, 636s. Ankara.
- Kalay, E., 2010. Farklı Katkı Maddeleri İle Zemin İyileştirilmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 53s, Isparta.
- Kamal, N., 2012. Kireç Ve Uçucu Kül İle Stabilize Edilmiş Killerin Yol Üstyapı Malzemesi Olarak Kullanılması. İstanbul Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 188s, İstanbul.
- Karakaya Bentonit, 2013.Bentonit Nedir. Erişim Tarihi:12.05.2012. http://www.karakaya.com.tr/?page_id=96
- Kavak, A., Bilgen, G., 2005. Yüksek Fırın Cürufu ve Kirecin Katkı Olarak Kil Üzerindeki Etkileri ve Yol Yapımında Kullanımının Araştırılması. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Geoteknik Sempozyumu 2005 Adana Bildiriler Kitabı, 393-407.
- Kızılcılık, M. M., 2010. Yüksek Plastisiteli Bir Kilin Kireç ile Stabilizasyonu. Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 118s, Kocaeli.
- Lovenn, 2013.Elektron Mikroskobu Nedir. Erişim Tarihi:12.07.2013. <http://lovennn.blogspot.com/2011/09/elektron-mikroskobu-nedir.html>
- Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA), 2013 Bentonit Yatakları. Erişim Tarihi:16.06.2013. http://www.mta.gov.tr/v2.0/images/turkiye_maden/maden_yataklari/b_h/kil_bentonit.jpg
- Mitchell, J.K., Soga, K., 2005, Fundamentals of Soil Behavior Third Edition. John Wiley & Sons, 577s, New York.
- Önem, Y., 2000. Sanayi Madenleri. Kozan Ofset, 386s, Ankara.
- Özdemir, A., Özcan, E., 2005. Bentonitin Sondaj Mühendisliği Özellikleri. Erişim Tarihi:01.07.2013. http://www.adilozdemir.com/dosyalar/1278920712_62.pdf

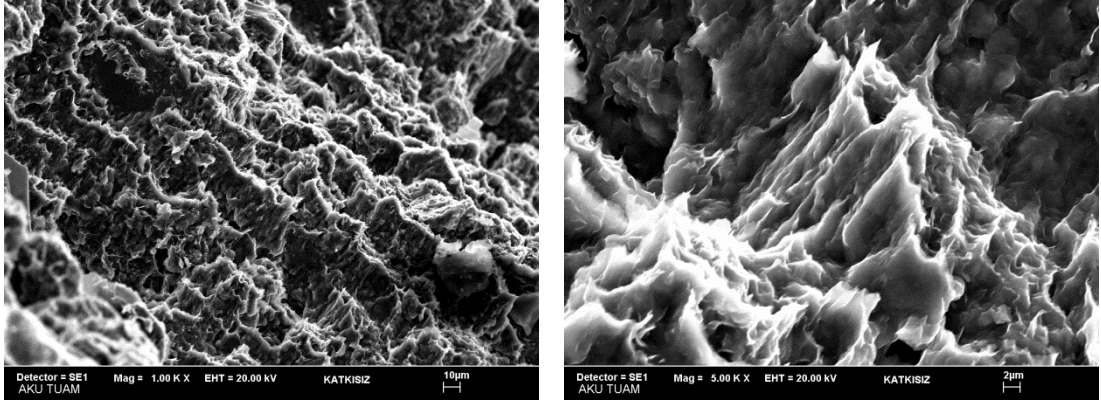
- Petrucci, R.H., Harwood, W.S., Herring, F.G.,2002. Genel Kimya 1 İlkeler ve Modern Uygulamalar. Çev. Uyar, T., Aksoy, S. (Ed), Palme Yayıncılık, 577s. Ankara.
- Sarılioğlu, Ş., 2010. Ulubey T1 Tünel Güzergâhındaki Yol Üstyapı Tabanında Yeralan Bentonit Killerinin Çeşitli Katkı Malzemeleriyle İyileştirilmesi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 146s, Ankara.
- Süt, İ., 2006. Kohezyonlu Zeminlerin Kireçle İyileştirilmesinin CBR Değeri Üzerindeki Etkisinin İrdelenmesi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 110s, Ankara.
- Şengül, E., 2010.Yüksek Su Muhtevalı Killi Yol Taban Zemininin Kireç Stabilizasyonu ve Hücresel Dolgu Sistemiyle İyileştirilmesi. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 100s, Trabzon.
- Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK), 2013 Taramalı elektron mikroskobu. Erişim Tarihi: 11.06.2013. <http://www.taek.gov.tr/malzeme-teknolojisi/595-taramali-elektron-mikroskobu-sem-nasil-calisir.html>
- Türköz, M., 2006. Şişen kilerin kireç katkısı ile stabilizasyonu ve Eskişehir-Meşelik kilerine uygulanması , Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, XIX(2), 75-88.
- Tüylüce, F., 2010. Deniz Killerinin Kireç Stabilizasyonu İle İyileştirilmesi. Kocaeli Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 117s, Kocaeli.
- Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü (BOREN), 2013 Bor Elementi. Erişim Tarihi: 16.06.2013. <http://www.boren.gov.tr/icerik.php?id=24>
- Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü (BOREN), 2013 Bor Minerali. Erişim Tarihi: 16.06.2013. <http://www.boren.gov.tr/icerik.php?id=25>
- Uzundurukan, S., 2006. Zeminlerin Şişme Özelliklerine Etkiyen Temel Parametrelerin Belirlenmesi Ve Modellenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 185s, Isparta.
- Uzuner, B.A., 2005. Temel Zemin Mekaniği. Derya Kitabevi, 485s, Trabzon.
- Ünsal, N., 2001. İnşaat Mühendisleri İçin Jeoloji. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, 306s, Ankara.

EKLER

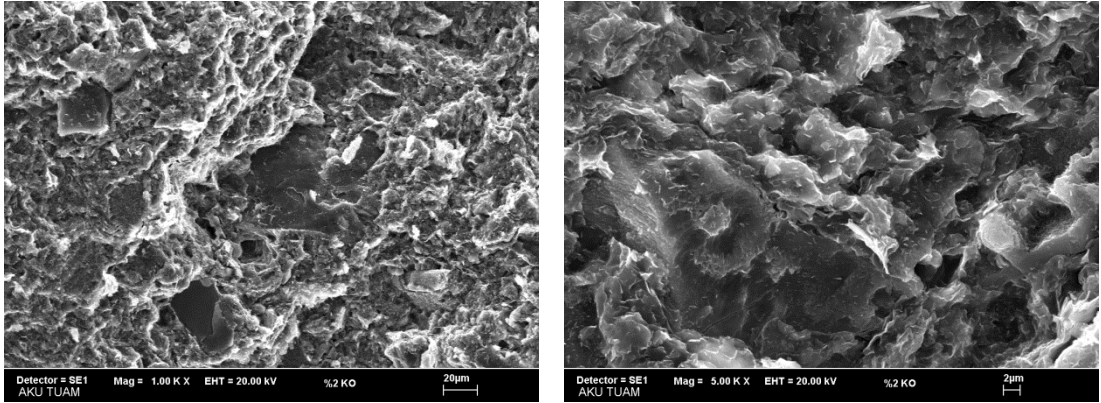
EK A. SEM Analizleri

EK B. SEM Analizleri ve EDX Çekimleri

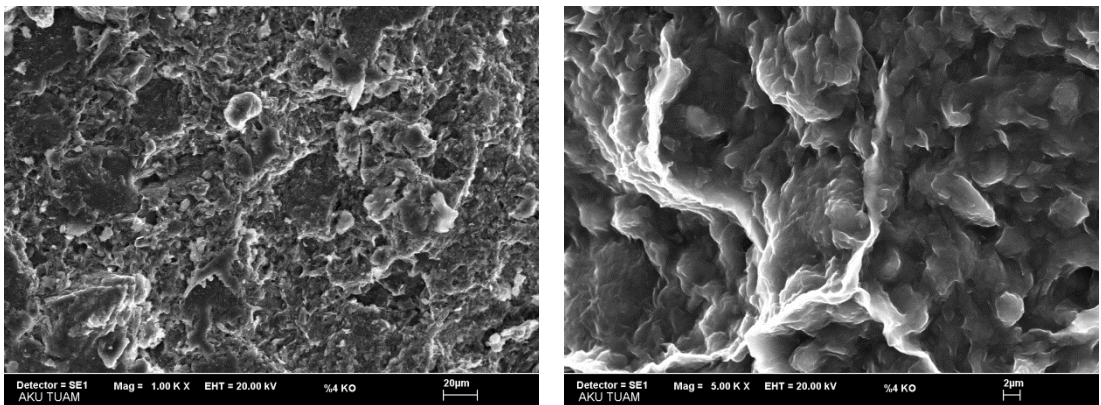
EK A. SEM görüntüleri



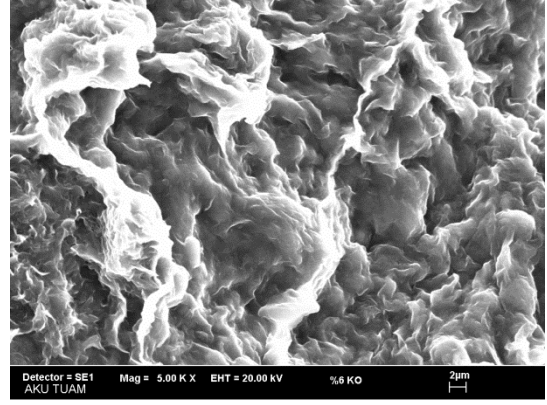
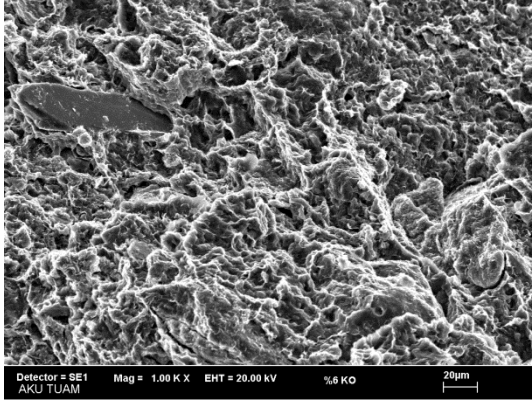
Şekil A.1. Katkısız doğal bentonitin SEM görüntüsü



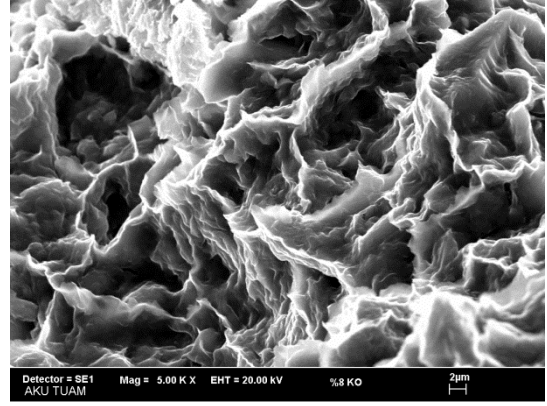
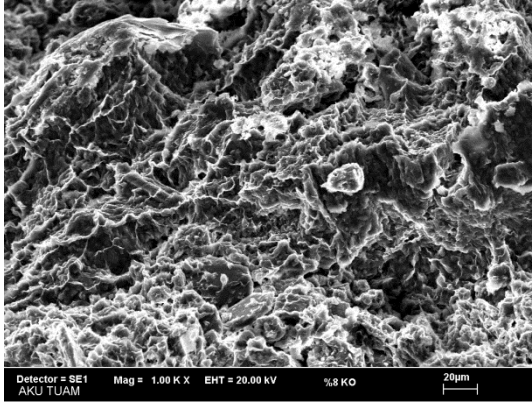
Şekil A.2. %2 KO + %98 DB SEM görüntüsü



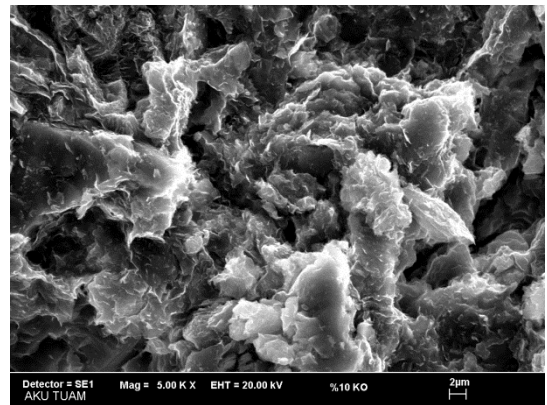
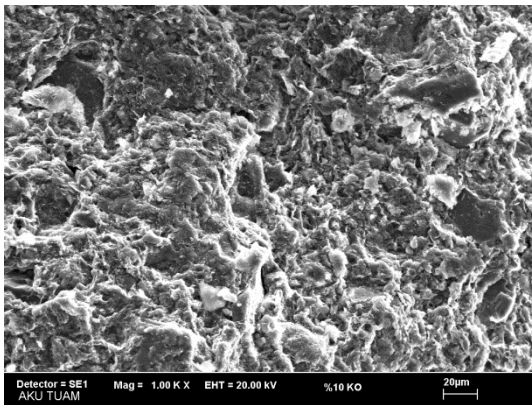
Şekil A.3. %4 KO + %96 DB SEM görüntüsü



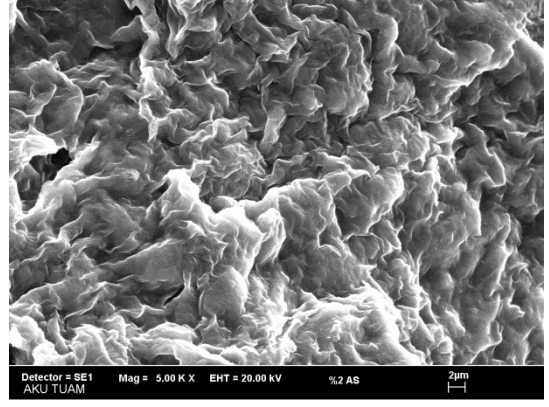
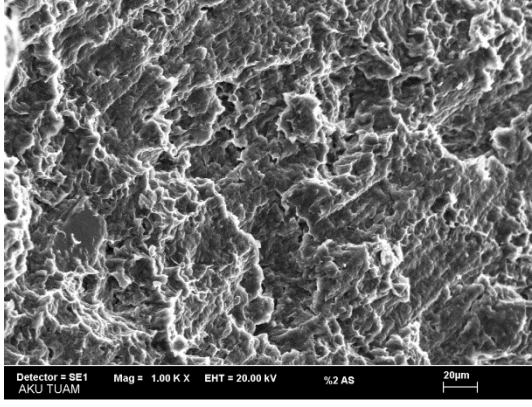
Şekil A.4. %6 KO + %94 DB SEM görüntüsü



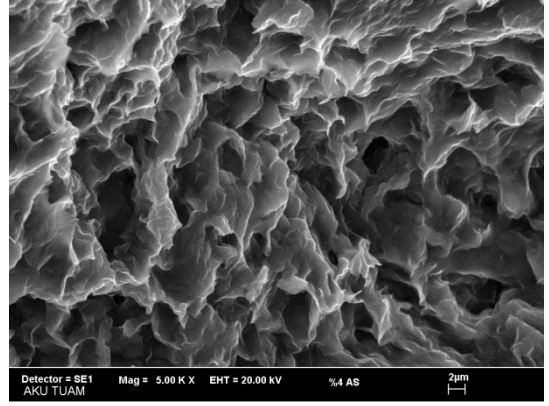
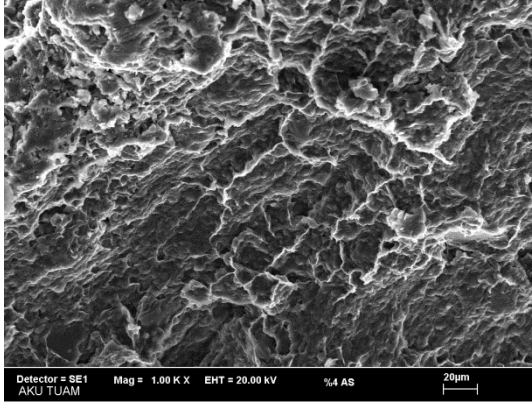
Şekil A.5. %8 KO + %92 DB SEM görüntüsü



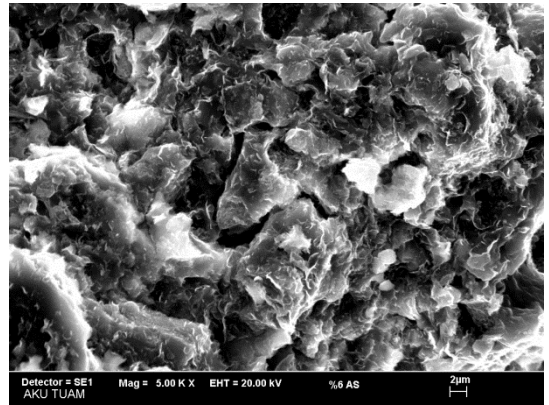
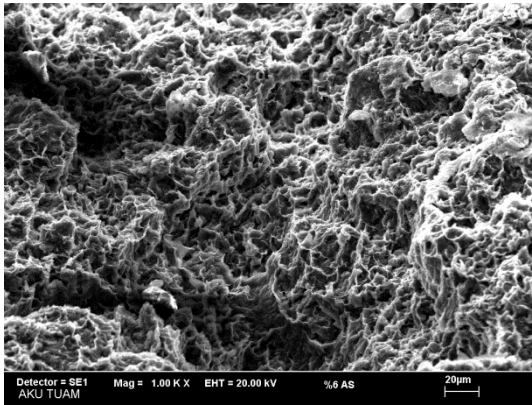
Şekil A.6. %10 KO + %90 DB SEM görüntüsü



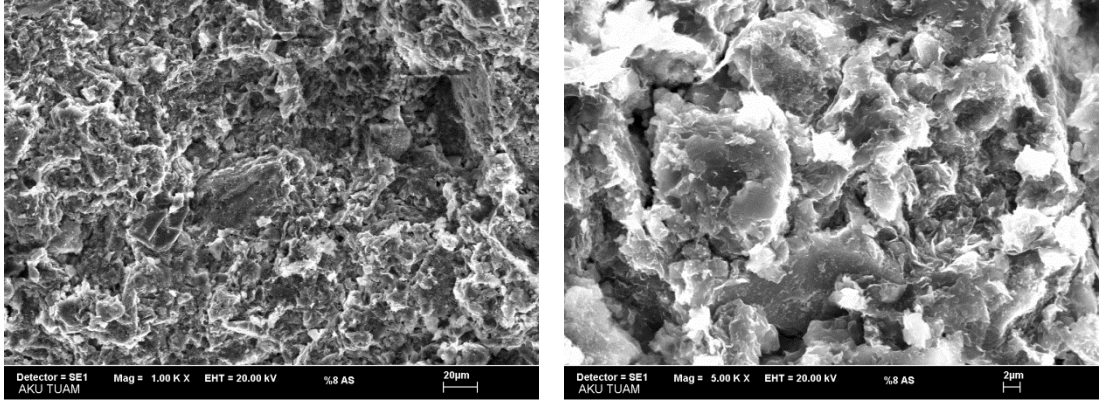
Şekil A.7. %2 AS + %98 DB SEM görüntüsü



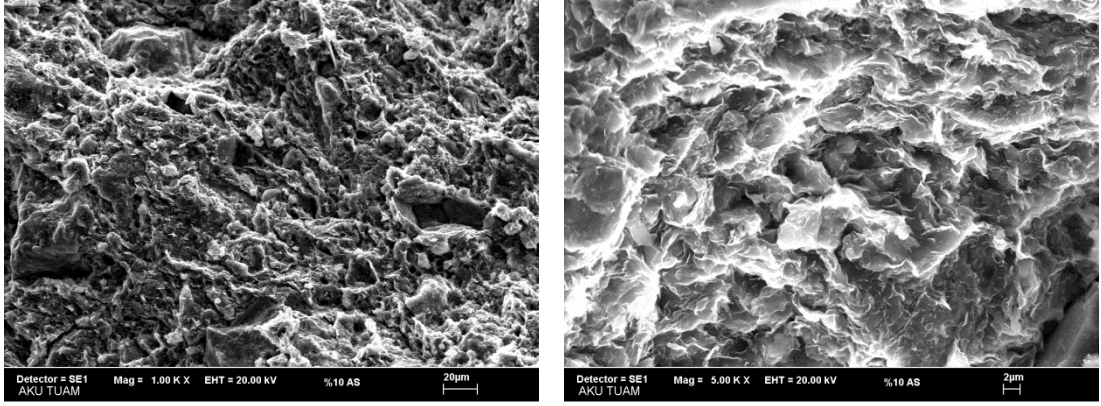
Şekil A.8. %4 AS + %96 DB. SEM görüntüsü



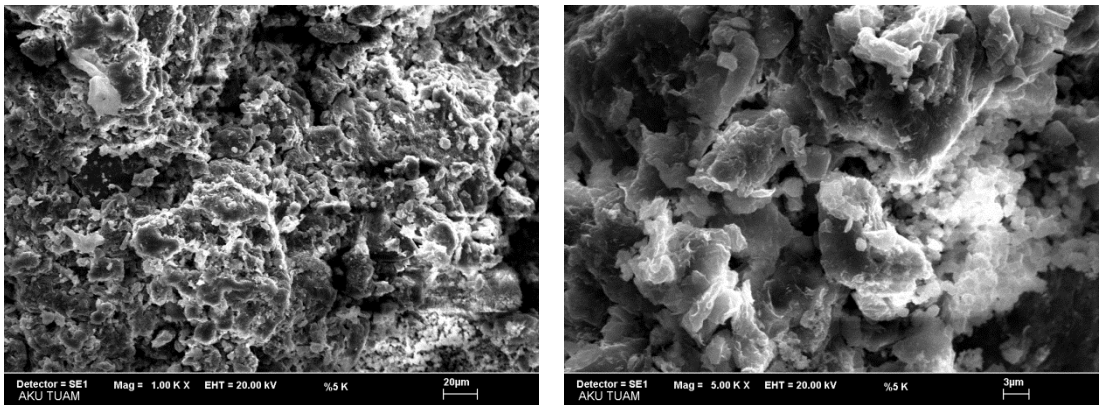
Şekil A.9. %6 AS + %94 DB SEM görüntüsü



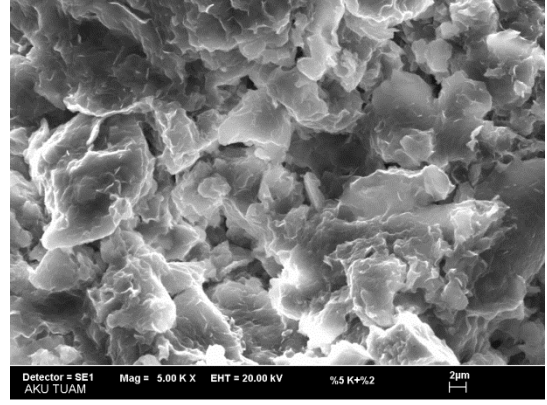
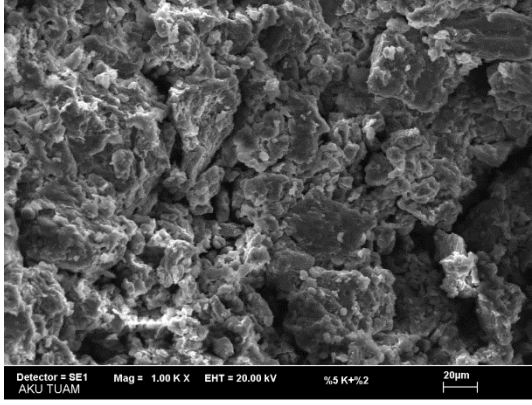
Şekil A.10. %8 AS + %92 DB SEM görüntüsü



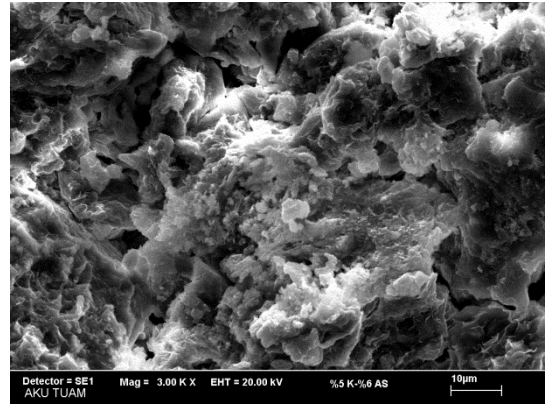
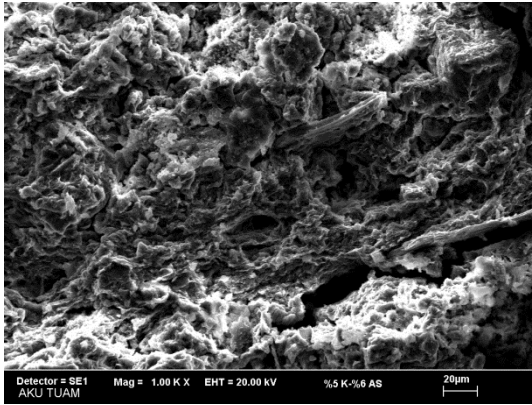
Şekil A.11. %10 AS + %90 DB SEM görüntüsü



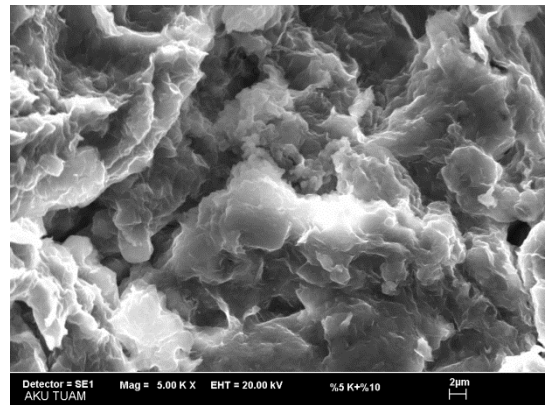
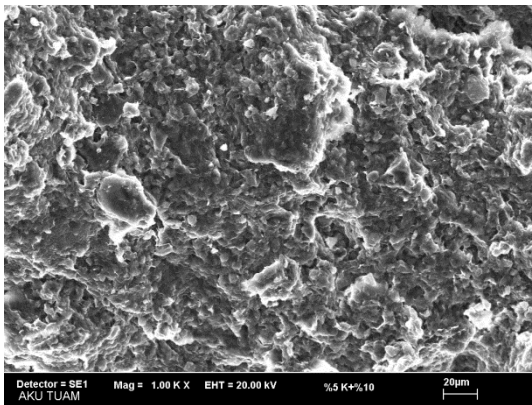
Şekil A.12. %5 K + %95 DB SEM görüntüsü



Şekil A.13. %5 K + %2 AS + %93 DB SEM görüntüsü

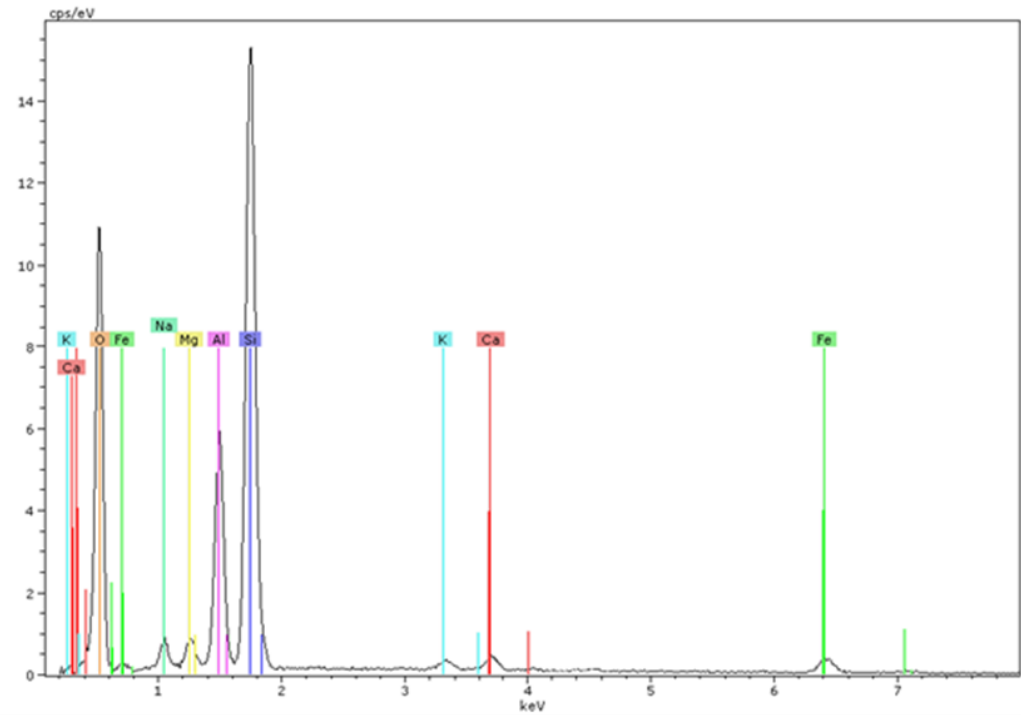
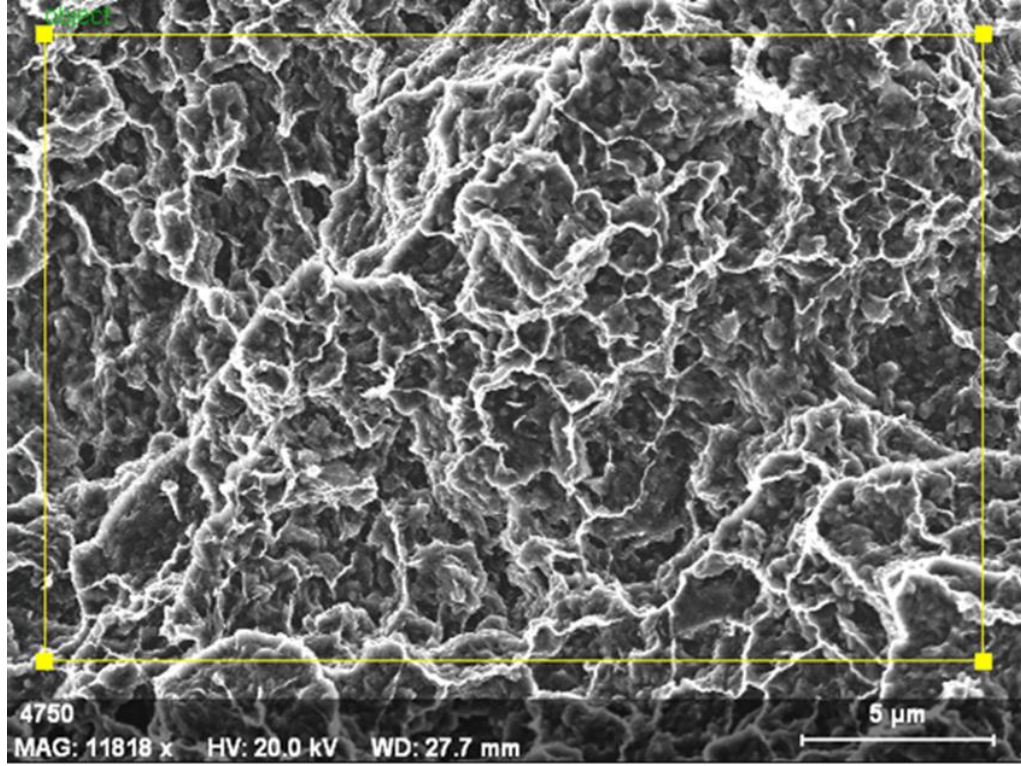


Şekil A.14. %5 K + %6 AS + %89 DB SEM görüntüsü

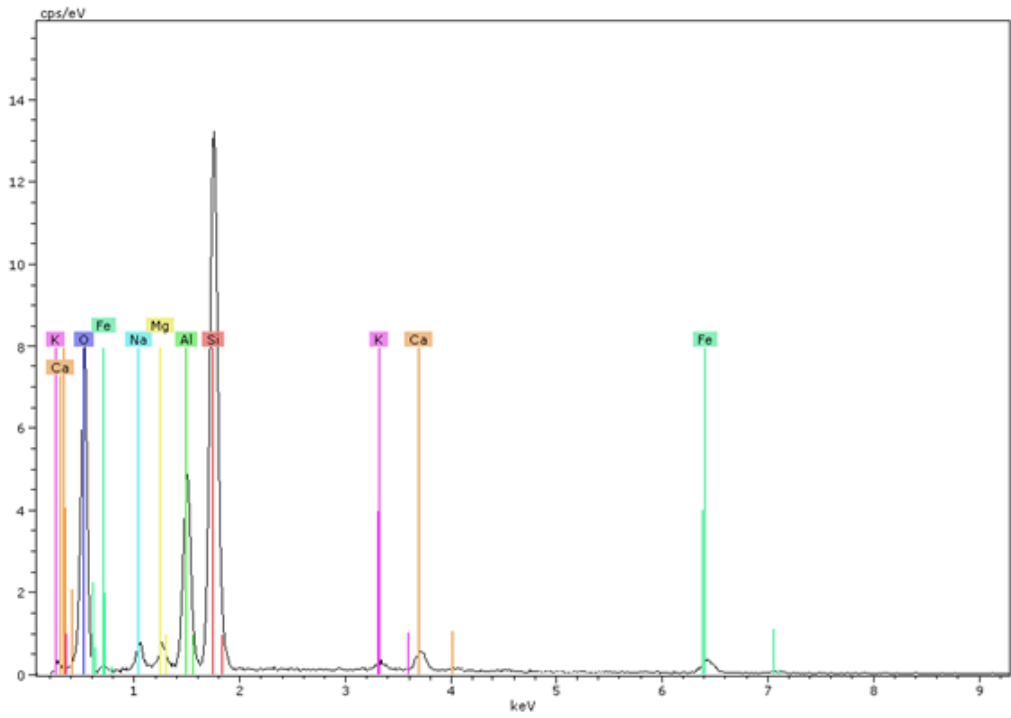
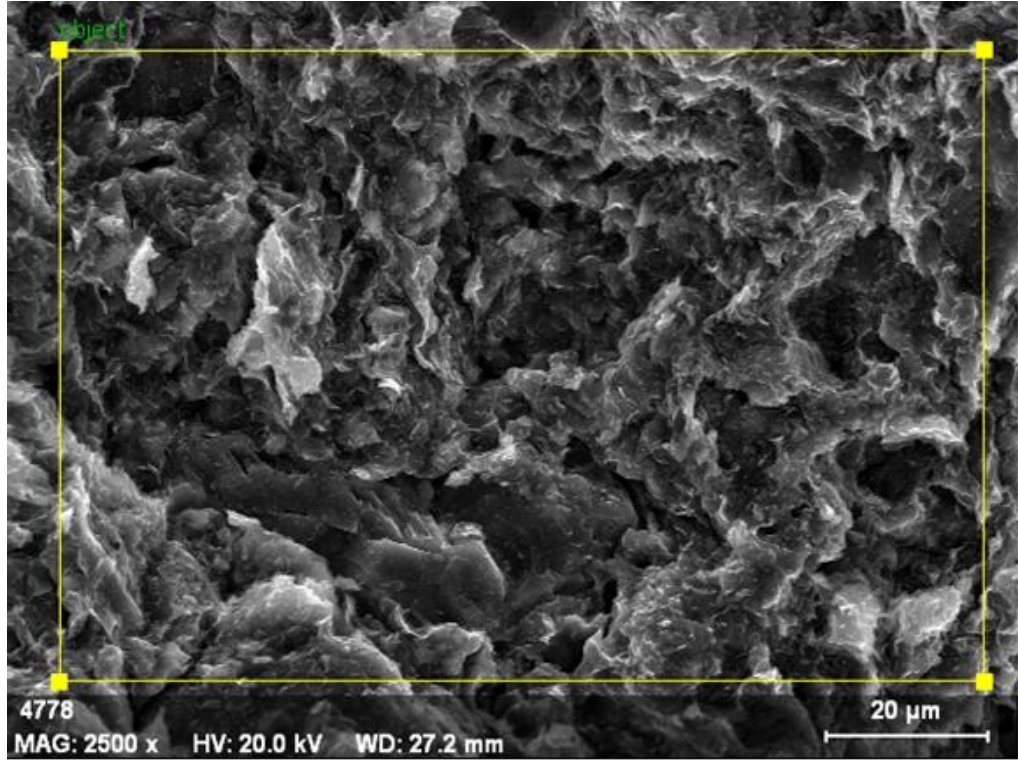


Şekil A.15. %5 K + %10 AS + %85 DB SEM görüntüsü

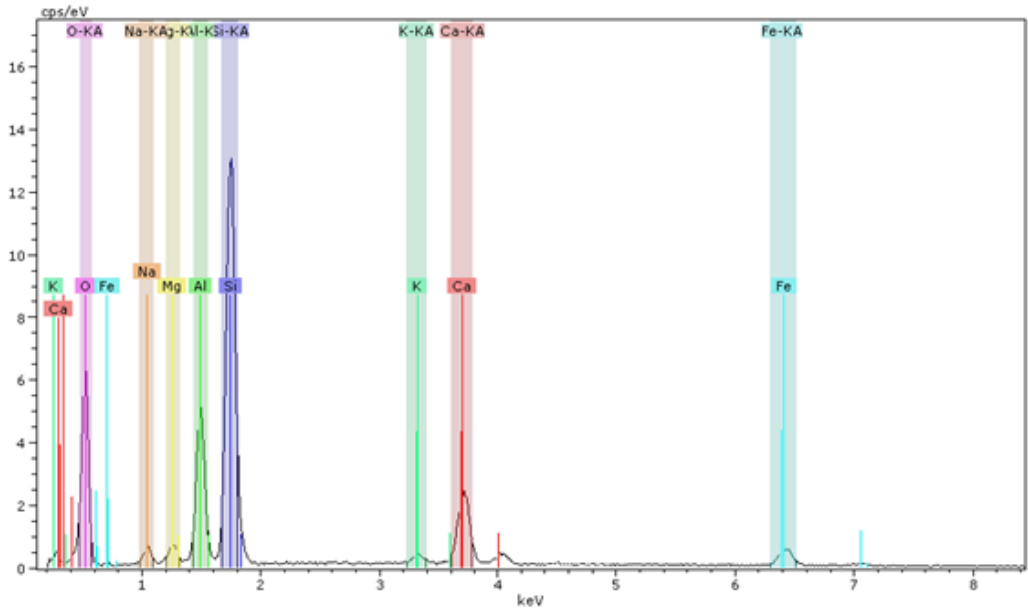
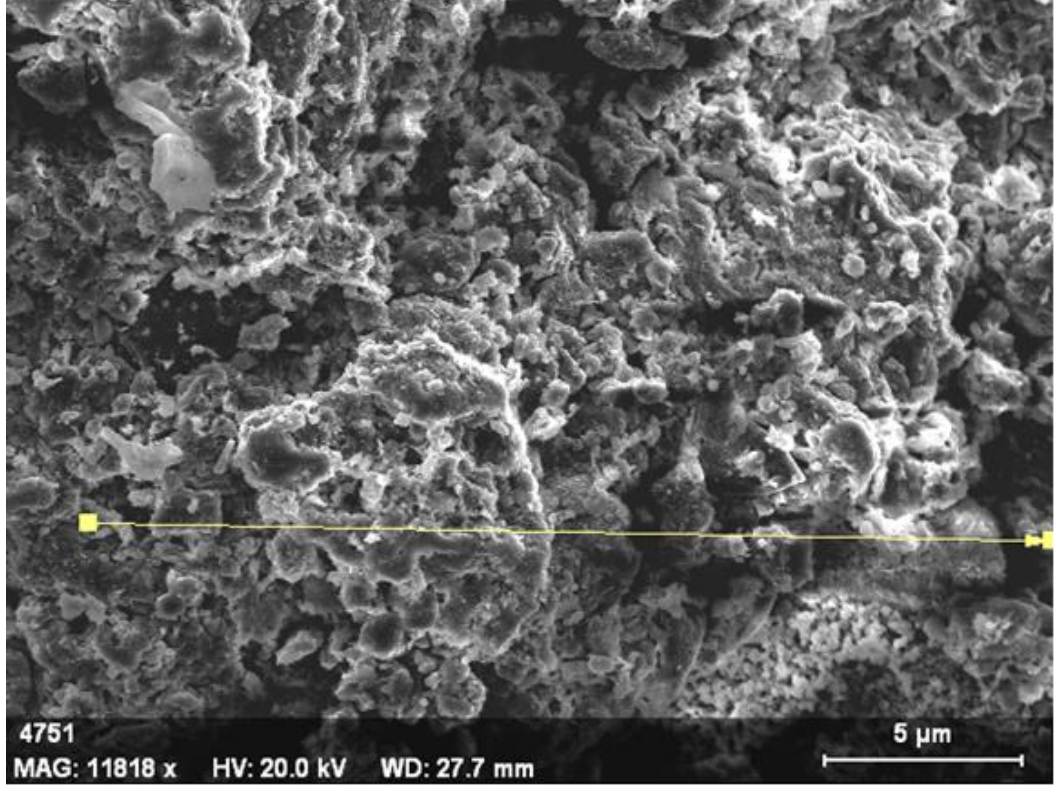
EK B. SEM Analizleri ve EDX çekimleri



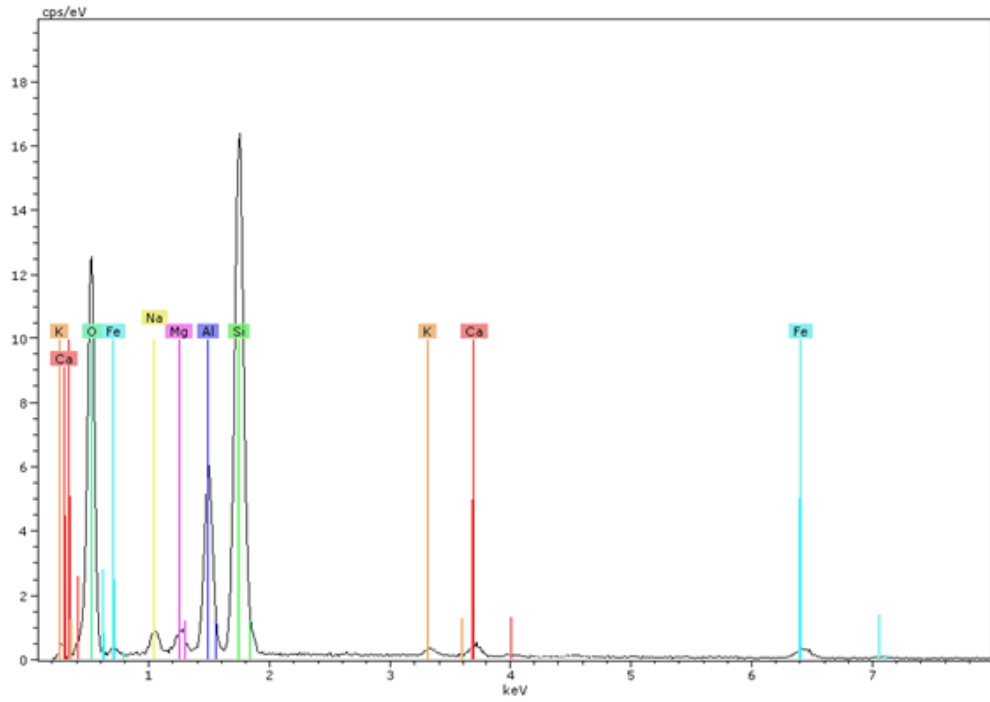
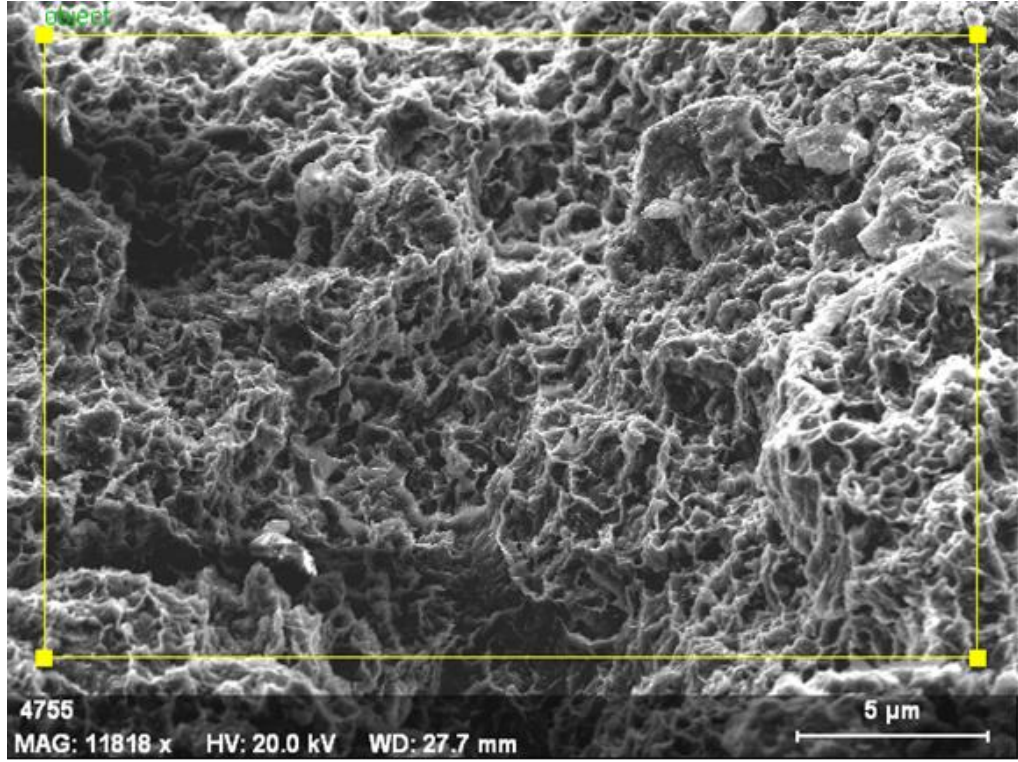
Şekil B.1. Doğal bentonitin SEM görüntüsü ve EDX çekimleri



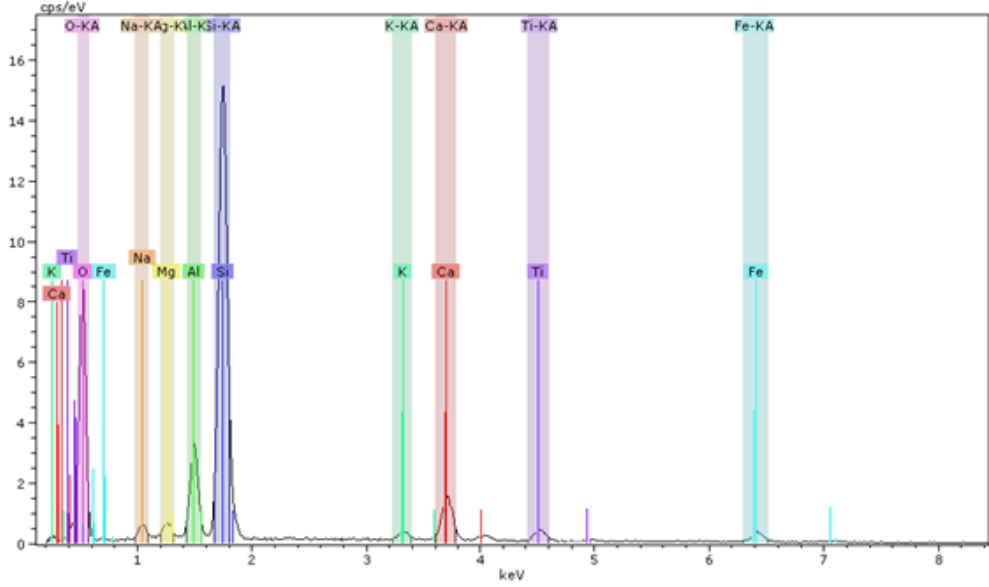
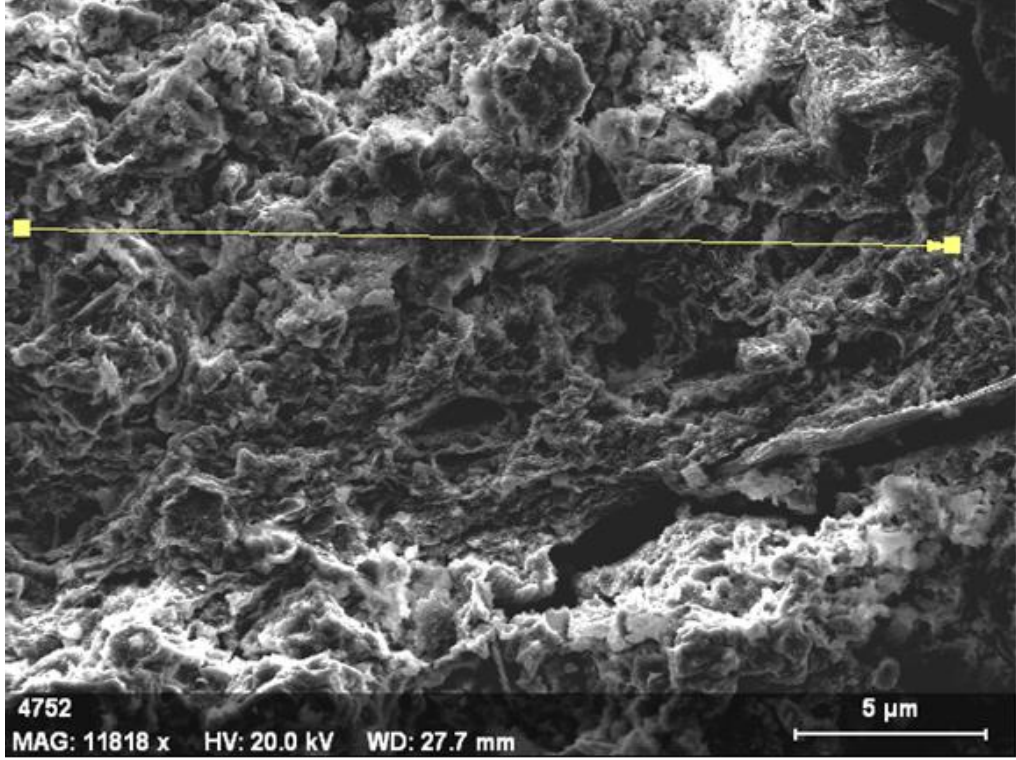
Şekil B.2. DB + %2 KO katkılı numunenin SEM görüntüsü ve EDX görüntüsü



Şekil B.3. DB + %6 AS katkılı numunenin SEM görüntüsü ve EDX çekimleri



Şekil B.4. DB + %5 K numunenin SEM görüntüsü ve EDX çekimleri



Şekil B.5. DB + %5 K + %6 AS katkıli numunenin SEM görüntüsü ve EDX çekimleri

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Burak DERELİ
Doğum Yeri ve Yılı : Isparta, 1986
Medeni Hali : Bekar
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : burak_dereli@hotmail.com

Eğitim Durumu

Lise : Ankara Etimesgut Mehmetçik Lisesi, 2003
Ön Lisans : SDÜ, Isparta Meslek Yüksek Okulu, İnşaat Teknolojisi
Lisans : Cumhuriyet Üni., Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği
Yüksek Lisans : SDÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği

Mesleki Deneyim

0702-90 Lisanslı Harita Kadastro Mühendislik Bürosu 2010-2012
SAR Gayrimenkul Değerleme İnşaat Danışmanlık 2011-2012
Keleşoğlu İnşaat Taahhüt Ticaret Sanayi A.Ş. 2013-.....(halen)