



T.C.

NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

MERMER TOZ ATIKLARI İLE STABİLİZE EDİLMİŞ KİLİN
DONMA-ÇÖZÜLME DAVRANIŞININ VE KÜR SÜRELERİNİN
TEK EKSENLİ BASINÇ DEĞERİ ÜZERİNDE
ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

KEMAL AYDIN

Haziran 2018

T.C.
NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

MERMER TOZ ATIKLARI İLE STABİLİZE EDİLMİŞ KİLİN
DONMA-ÇÖZÜLME DAVRANIŞININ VE KÜR SÜRELERİNİN
TEK EKSENLİ BASINÇ DEĞERİ ÜZERİNDE
ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

KEMAL AYDIN

Yüksek Lisans Tezi

Danışman
Prof. Dr. Osman SİVRİKAYA

Haziran 2018

Kemal AYDIN tarafından **Prof. Dr. Osman SİVRİKAYA** danışmanlığında hazırlanan **“Mermer Toz Atıkları ile Stabilize Edilmiş Kilin Donma - Çözülme Davranışının ve Kür Sürelerinin Tek Eksenli Basınç Değeri Üzerinde Etkilerinin Araştırılması”** adlı bu çalışma jürimiz tarafından Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği** Ana Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Osman SİVRİKAYA Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

Üye : Doç. Dr. Zülküf KAYA Erciyes Üniversitesi

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Firdevs UYSAL Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

ONAY:

Bu tez, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenmiş olan yukarıdaki jüri üyeleri tarafından/....../20.... tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu’nun/....../20.... tarih ve sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

...../...../20...

Doç. Dr. Murat BARUT

MÜDÜR V.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

(İmza)

(Öğrencinin Adı Soyadı)

ÖZET

MERMER TOZ ATIKLARI İLE STABİLİZE EDİLMİŞ KİLİN DONMA-ÇÖZÜLME DAVRANIŞININ VE KÜR SÜRELERİNİN TEK EKSENLİ BASINÇ DEĞERİ ÜZERİNDE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

AYDIN, Kemal

Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman

: Prof. Dr. Osman SİVRİKAYA

Haziran 2018, 169 sayfa

Bu tez çalışmasında mermer toz atıkları ile stabilize edilmiş kilin donma-çözülme davranışının ve kür sürelerinin tek eksenli basınç değeri üzerinde etkileri araştırılmıştır. Deney programı kapsamında kıvam limitleri, anlık, küre ve donma çözölmeye bağı tek eksenli basınç dayanımları, malzeme kayıp oranları ayrıca hazırlanan numuneler üzerinde Scanning Electron Microscope (SEM) ve Enerji Dağılım Spektrometresi (EDS) analizleri yapılarak değışimlerin mikro yapı açısından değılendirilmesi yapılmıştır. Deneyler sonucunda, mermer toz atığı katkısı ile plastisite indisinin azaldığı, anlık ve kür süresine bağı olarak Dolomitik mermer tozu atığında kür süresi belli bir süreye kadar dayanım sağılarken Kalsitik mermer tozu atığı kür süresiyle dayanımı artırmaktadır. Donma çözölme deneylerinde çözölme süresinin yetersizliğinden dolayı mukavemette artışlar görölmüştür. SEM ve EDS analizleri incelenmiş ve kür süresinin mikro yapıya katkısının olduğı görölmüştür.

Anahtar Sözcükler: Atık; Dolomitik mermer tozu; Kalsitik mermer tozu; Stabilizasyon; Kil; İndeks özellikler; Tek eksenli basınç dayanımı; Donma-çözölme davranışı; Kür süresi

SUMMARY

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF THE CURING TIME AND FREEZE-THAW BEHAVIOUR ON THE UNCONFINED COMPRESSIVE STRENGTH VALUE OF CLAY STABILIZED BY MARBLE DUST WASTES

AYDIN, Kemal

Niğde Ömer Halisdemir University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

Supervisor

: Prof. Dr. Osman SİVRİKAYA

Haziran 2018, 169 pages

This thesis revite with marble dust in waste stabilized clay curing period of freeze-thaw behavior and uniaxial pressure value on the effects was investigated. The consistency of the scope of the program limits, try instant, single-axis, depending on the pressure to unravel the sphere and freeze resistance, material loss rates on the Scanning Electron Microscope are also prepared specimens (SEM) and Energy-dispersion Spectrometer (EDS made changes microstructure) evaluation of terms. As a result of the experiments, marble dust waste with the contribution of the plasticity index decreased, instant and Dolomitic marble powder depending on the duration of curing when curing the horse provides a certain duration of time until resistance with curing strength of marble powder waste Kalsitik . Freeze-thaw resistance increase due to lack of time to thaw in an experiment. SEM and EDS analysis of micro-structure of the curing time and contribution.

Keywords: Waste; Dolomitik marble dust; Kalsitik marble dust; Stabilisation; Clay; Index properties; Unconfined compression strength; Freezing-thawing behavior; Curing time

ÖN SÖZ

Bu tez çalışmasında mermer toz atıkları ile stabilize edilmiş kilin donma-çözülme davranışının ve kür sürelerinin tek eksenli basınç değeri üzerinde etkileri araştırılmıştır. Deney programı 4 kısıma ayrılmış olup ilk kısımda, kıvam limitleri, plastisite indisi ile zemin sınıfları belirlenmiştir. İkinci aşama kapsamında KMT ve DMT atıklarıyla hazırlanmış kil zemin numuneleri kullanılarak anlık, 7 günlük, 1 aylık ve 2 aylık kür sürelerinin tek eksenli basınç mukavemeti üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Donma çözünme etkilerinin tek eksenli basınç mukavemeti üzerindeki etkileri araştırılması deney çalışmalarının üçüncü kısmını oluşturmaktadır. 4. kısım deneylerde ise SEM ve EDS analizleri yapılarak değişimler mikro yapı açısından değerlendirilmiştir. Birinci kısımda, plastisite indisinin azalmış, ikinci kısımda ise anlık ve kür süresine bağlı olarak yapılan deneylerde mukavemette artma ve azalmalar görülmüştür. Donma çözülme deneylerinde ise artan çevrim sayısına bağlı olarak mukavemet değerlerinde de artışlar görülmüştür.

Yüksek lisans tez çalışmamın yürütülmesi sırasında bilgi, tecrübe ve yardımlarını esirgemeyerek çalışmalarımda bana her türlü desteği sağlayan danışman hocam, Sayın Prof. Dr. Osman SİVRİKAYA'ya ve çalışmalarım boyunca çıkan her türlü problem ve olumsuzlukta gerekli koordinasyonu sağlayarak desteklerini esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Firdevs UYSAL hocama müteşekkirim ifade etmek isterim.

Yalnız tez çalışmam boyunca değil bu yaşıma kadar gerek maddi gerekse manevi anlamda desteklerini esirgemeyen babam Yusuf Kenan AYDIN'a ve annem Saliha AYDIN'a sevgileriyle destek veren kardeşlerime ve çalışmalarım boyunca gerekli sabrı ve çabayı göstererek bana destek veren Ayşegül YORULMAZ arkadaşşıma teşekkürü bir borç bilirim.

Bu tez çalışması FEB 2017/10-YÜLTEP numaralı ve “Mermer Toz Atıkları ile Stabilize Edilmiş Kilin Donma-Çözülme Davranışının ve Kür Sürelerinin Tek Eksenli Basınç Değeri Üzerinde Etkilerinin Araştırılması” isimli proje ile Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
SUMMARY	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ	xiv
SİMGE VE KISALTMALAR	xv
BÖLÜM I GİRİŞ	1
BÖLÜM II KİLLİ ZEMİNLER.....	4
2.1 Kıl	4
2.2 Kıl Mineralleri	5
3.2.1 Kaolen.....	8
2.2.2 Bentonit.....	10
2.2.3. İllit.....	13
3.2.4 Klorit.....	15
BÖLÜM III ZEMİN STABİLİZASYONU	16
3.1 Zemin İyileştirme Tanımı	16
3.2 Zemin İyileştirmesinin Yapılmasının Amaçları	16
3.3 Problemlı Zeminler	17
3.4 Katkısız Yüzeysel Zemin Stabilizasyonu	18
3.5 Katkılı Yüzeysel Zemin Stabilizasyonu	18
3.5.1 Kireç ile stabilizasyon.....	19
3.5.2 Çimento ile stabilizasyon.....	20

3.5.3 Bitüm ile stabilizasyon.....	21
3.5.4 Sanayi atıkları ile stabilizasyon	22
3.5.4.1 Metal cüruf ile stabilizasyon.....	23
3.5.4.2 Silis dumanı ile stabilizasyon	24
3.5.4.3 Uçucu kül ile stabilizasyon	25
3.5.4.4 Mermer tozu ile stabilizasyon.....	27
BÖLÜM IV KİLLİ ZEMİNLERİN STABİLİZASYONU ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALAR	30
BÖLÜM V DENEYSEL ÇALIŞMALAR	38
5.1 Malzeme Özellikleri	38
5.1.1 Mineral özellikleri.....	39
5.1.2 Kimyasal içerikleri.....	40
5.1.3 İndeks özellikleri.....	41
5.2 Deney Programı	41
5.3 Deneyler.....	43
5.3.1 Su muhtevasının(w_n) belirlenmesi	43
5.3.2 Likit limitin (w_L) belirlenmesi (düşen koni yöntemi).....	43
5.3.3 Plastik limit (w_p) deneyi	45
5.3.4 Piknometre deneyi	46
5.3.5 Standart proktor deneyi.....	47
5.3.6 Serbest basınç deneyi.....	48
5.4 Katkı Malzemelerinin Kıvam Limitlerine Etkisi	50
5.5 Katkı Malzemelerinin Tek Eksenli Basınç Mukavemeti (q_u) Üzerindeki Etkisi.....	56
5.6 Kür Sürelerinin Tek Eksenli Basınç Mukavemeti (q_u) Üzerindeki Etkisi	58
5.6.1 Yedi günlük kür sonundaki tek eksenli basınç mukavemeti (q_u) değerleri ..	58
5.6.2 Bir aylık kür sonundaki tek eksenli basınç mukavemeti (q_u) değerleri	60

5.6.3 İki aylık kür sonundaki tek eksenli basınç mukavemeti (q_u) değerleri.....	62
5.6.4 Kür süresi etkilerinin karşılaştırılması.....	63
5.7 Donma Çözülme ve Malzeme Kaybının Tek Eksenli Basınç Üzerindeki Etkisi	66
5.8 SEM Analizlerine Göre Mikro Yapı.....	70
BÖLÜM VI SONUÇLAR VE ÖNERİLER	74
KAYNAKLAR	77
EKLER.....	85
ÖZGEÇMİŞ	169

ÇİZELGELER

Çizelge 2.1. Kil mineralleri ve ilgili filoslikatların sınıflandırılması	8
Çizelge 2.2. Yaygın bazı kil minerallerinin ortalama büyüklük, kalınlık ve spesifik yüzey değerleri.....	8
Çizelge 2.3. Bazı kil minerallerinin özellikleri	15
Çizelge 3.1. Zemin cinslerine göre yaklaşık kireç miktarı	20
Çizelge 3.2. Silis dumanının kimyasal kompozisyonu	24
Çizelge 3.3. Mermer tozunun fiziksel özellikleri	28
Çizelge 5.1. XRD analiz sonuçlarına göre mineral türleri.....	40
Çizelge 5.2 Bentonit, Kaolen ve atık malzemelerin kimyasal içeriği.....	41
Çizelge 5.3. Kaolen, Bentonit ve atık malzemelerin indeks özellikleri.....	41
Çizelge 5.4. Kalsitik mermer tozunun (KMT) kıvam limitlerine etkisi	51
Çizelge 5.5. Dolomitik mermer tozunun (DMT) kıvam limitlerine etkisi.....	51
Çizelge 5.6. KMT ve DMT ile stabilize edilmiş numunelerin donma - çözülme öncesi ve sonrası malzeme kayıpları.....	66
Çizelge 5.7. Katkısız Kaolen Anlık, 2 ay ve 11. çevrim EDS analiz sonuçları.....	71
Çizelge 5.8. Kaolen %50 KMT Anlık, 2 ay ve 11. çevrim EDS analiz sonuçları.....	72
Çizelge 5.9. Kaolen %50 DMT Anlık, 2 ay ve 11. çevrim EDS analiz sonuçları.....	73
Çizelge 5.10. Bentonit katkısız Anlık, 2 ay ve 11. çevrim EDS analiz sonuçları	166
Çizelge 5.11. Bentonit %50 KMT Anlık, 2 ay ve 11. çevrim EDS analiz sonuçları....	167
Çizelge 5.12. Bentonit %50 DMT Anlık, 2 ay ve 11. çevrim EDS analiz sonuçları....	168

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Kil	5
Şekil 2.2. Kil minerallerini oluşturan silis ünitesi	6
Tetrahedron (a), Tetrahedral tabaka (b)	6
Şekil 2.3 Kil minerallerini oluşturan alüminyum ünitesi.....	6
Oktahedran (c) Oktahedral tabaka (d)	6
Şekil 2.4. Silikatların ve filoslikatların sınıflandırılması	7
Şekil 2.5. Bazı katmanlı silikat yapılar	7
Şekil 2.6. Kaolenin temel haldeki görünüşü	8
Şekil 2.7. Kaolenit yapısının şematik gösterimi	9
Şekil 2.8. Kaolenitin atomik yapısı.....	9
Şekil 2.9. Montmorillonit.....	12
Şekil 2.10. Bentonitlerin su ile temas ettiklerinde yapılarında oluşan değişim.....	13
Şekil 2.11. İllitin şematik diyagramı	14
Şekil 2.12. Klorit minerallerinin yapısı	15
Şekil 3.1. Kireç taşının SEM görüntüsü	19
Şekil 3.2. Uçucu külün normal ve 2000 kat büyütülmüş görüntüsü, C sınıfı uçucu kül (a), C sınıfı uçucu külün mikroskop görüntüsü (b).....	27
Şekil 5.1. Kaolen XRD analizi.....	39
Şekil 5.2. KMT XRD analizi	39
Şekil 5.3. Kalsitik mermer tozunun XRD analizi	40
Şekil 5.4. DMT XRD analizi	40
Şekil 5.5. Düşen koni deney grafiği.....	45
Şekil 5.6. Standart Proktor deney grafiği.....	48
Şekil 5.7. Kaolen kiline eklenen atık oranlarının likit limit (w_L), plastik limit (w_p), rötre limit (w_R) ve plastisite indisi (I_p) değerleri üzerindeki etkisi.....	52
Şekil 5.8. Bentonit kiline eklenen atık oranlarının likit limit (w_L), plastik limit (w_p), rötre limit (w_R) ve plastisite indisi (I_p) değerleri üzerindeki etkisi	53
Şekil 5.9. Farklı oranlardaki KMT atığının zemin türü üzerindeki etkisi.....	54
Şekil 5.10. Farklı oranlardaki DMT atığının zemin türü üzerindeki etkisi.....	54
Şekil 5.11. Rötre limitinin(w_R) yaklaşık yöntem ile belirlenmesi	55

Şekil 5.12. Kaolen kiline ilave edilen katkı oranlarının anlık tek eksenli basınç dayanımına (q_u) etkisi	57
Şekil 5.13. Bentonit kiline ilave edilen katkı oranlarının anlık tek eksenli basınç dayanımına (q_u) etkisi	58
Şekil 5.14. Kaolen kiline ilave edilen katkı oranlarının yedi günlük kür sonucu tek eksenli basınç dayanımına (q_u) etkisi.....	59
Şekil 5.15. Bentonit kiline ilave edilen katkı oranlarının yedi günlük kür sonucu tek eksenli basınç dayanımına (q_u) etkisi.....	60
Şekil 5.16. Kaolen kiline ilave ilave edilen katkı oranlarının bir aylık kür sonucu tek eksenli basınç dayanımına (q_u) etkisi.....	61
Şekil 5.17. Bentonit kiline ilave ilave edilen katkı oranlarının bir aylık kür sonucu tek eksenli basınç dayanımına (q_u) etkisi.....	61
Şekil 5.18. Kaolen kiline ilave edilen katkı oranlarının iki aylık kür sonucu tek eksenli basınç dayanımına (q_u) etkisi.....	62
Şekil 5.19. Bentonit kiline ilave edilen katkı oranlarının iki aylık kür sonucu tek eksenli basınç dayanımına (q_u) etkisi.....	63
Şekil 5.20. Kaolen kilinin DMT ile stabilizasyonunda kür süresinin q_u üzerindeki etkisi	64
Şekil 5.21. Kaolen kilinin KMT ile stabilizasyonunda kür süresinin q_u üzerindeki etkisi	64
Şekil 5.22. Bentonit kilinin DMT ile stabilizasyonunda kür süresinin q_u üzerindeki etkisi.....	65
Şekil 5.23. Bentonit kilinin KMT ile stabilizasyonunda kür süresinin q_u üzerindeki etkisi.....	65
Şekil 5.24. Çevrim için hazırlanan numuneler	67
Şekil 5.25. DMT ile stabilize edilmiş kaolen kilinde çevrim sayısının q_u üzerindeki etkisi.....	68
Şekil 5.26. KMT ile stabilize edilmiş kaolen kilinde çevrim sayısının q_u üzerindeki etkisi.....	68
Şekil 5.27. DMT ile stabilize edilmiş bentonit kilinde çevrim sayısının q_u üzerindeki etkisi.....	69
Şekil 5.28. KMT ile stabilize edilmiş bentonit kilinde çevrim sayısının q_u üzerindeki	

etkisi.....	69
Şekil 5.29. Katkısız kaolen anlık (a), 2 ay küre bırakılan (b), 11. çevrime bırakılan (c) numunelerin SEM ve EDS analiz grafikleri	71
Şekil 5.30. Kaolen %50 KMT anlık (a), 2 ay küre bırakılan (b), 11. çevrime bırakılan (c) numunelerin SEM ve EDS analiz grafikleri.....	72
Şekil 5.31. Kaolen %50 DMT anlık (a), 2 ay küre bırakılan (b), 11. çevrime bırakılan (c) numunelerin SEM ve EDS analiz grafikleri.....	73
Şekil 5.32 Bentonit katkısız Anlık (a), 2 ay (b), 11. Çevrim (c) SEM ve EDS analiz sonuçları.....	166
Şekil 5.33. Bentonit KMT %50 Anlık (a), 2 ay (b), 11. Çevrim (c) SEM ve EDS analiz sonuçları.....	167
Şekil 5.34. Bentonit DMT %50 Anlık (a), 2 ay (b), 11. Çevrim (c) SEM ve EDS analiz sonuçları.....	168

FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

Fotoğraf 2.1. Kilin SEM görüntüsü	4
Fotoğraf 2.2. Georgia’ dan iyi kristallenmiş bir kaolenitin taramalı elektron mikrografı	10
Fotoğraf 2.3. Bentonitin temel haldeki görünüşü	11
Fotoğraf 2.4. Wyoming’ den bir sodyum montmorillonitin taramalı elektron mikrografı	12
Fotoğraf 2.5. Fithian (illinois)’ den bir illitin taramalı elektron mikrografı	14
Fotoğraf 2.6. Kloritin tipik elektron fotomikrografı	15
Fotoğraf 3.1. Kireçle stabilizasyon	20
Fotoğraf 3.2. Bitüm ile stabilizasyon	22
Fotoğraf 3.3. Metal cürufu ile stabilizasyon	23
Fotoğraf 3.4. Silis dumanı	24
Fotoğraf 3.5. Uçucu kül ile stabilizasyon	26
Fotoğraf 3.6. 15-20 tonluk mermer blokları	27
Fotoğraf 3.7. Mermer tozu atığı	28
Fotoğraf 5.1. Yaş ağırlık tartımı ve etüve konması	43
Fotoğraf 5.2. Etüvde kurutulan numuneye su eklenmesi	44
Fotoğraf 5.3. Numunenin deney aletine yerleştirilmesi	44
Fotoğraf 5.4. Plastik kıvama gelmiş çubuk numuneler	45
Fotoğraf 5.5. Piknometre deney aşamaları	46
Fotoğraf 5.6. Standart proktor deneyi	47
Fotoğraf 5.7. 50 mm çapında 100 mm yüksekliğindeki çelik silindirik numune hazırlayıcı kalıp	49
Fotoğraf 5.8. Serbest basınç deney aşamaları	49
Fotoğraf 5.9. Tek eksenli basınç deneyi numuneleri	56
Fotoğraf 5.10. Tek eksenli basınç deneylerinin gerçekleştirilmesi	56
Fotoğraf 5.11. Küre bırakılan serbest basınç numuneleri	59
Fotoğraf 5.12. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı	70

SİMGE VE KISALTMALAR

Simgeler

w	Su muhtevası
w_s	Büzülme limiti
w_p	Plastik limit
w_L	Likit limit
I_p	Plastisite indeksi
I_L	Likit limit indeksi
ϕ	İçsel sürtünme açısı
q_u	Serbest basınç mukavemeti
w_n	Doğal su muhtevası
γ_s	Dane birim hacim ağırlığı
γ_n	Doğal birim hacim ağırlığı
$\gamma_{k,maks}$	Maksimum kuru birim hacim ağırlığı
w_{opt}	Optimum su muhtevası
CL	Düşük plastisiteli kil
ML	Düşük plastisiteli silt
MH	Yüksek plastisiteli silt
CH	Yüksek plastisiteli kil

Kısaltmalar

SiO_2 T	Silikat
Al_2O_3	Alüminyum Oksit
K	Kaolen
B	Bentonit
KMT	Kalsitik Mermer Tozu
DMT	Dolomitik Mermer Tozu
USCS	Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemine
N-XRD 2	Desen Çekimi ve Mineral Analizi
N-XRF 2	Kantitatif Temel Oksit Analizi

BÖLÜM I

GİRİŞ

Yaşamsal faaliyetlerin bir parçası olan fabrikalar bizlere istediğimiz ürünleri sağlarken diğer taraftan çevreye ve sağlığa zararlı olabilecek birçok atık ürünü de beraberinde oluşturur. İnşaat sektörünü ele alarak bu durumu değerlendirmek gerekirse oluşan bu atıklar ya bertaraf edilip olası zararları en aza indirmek isteriz ya da oluşan atık malzemeleri daha faydalı olabilecek işlerde kullanırız. Bu iki seçenekten maliyet koşulları da göz önünde bulundurularak ikinciye seçmek daha yararlı olacaktır. Böylece oluşan atıklarda ekonomiye kazandırılmış ve çevreye olan zararı ortadan kaldırılmış olacaktır. Ayrıca diğer bir husus ise geleneksel yöntemlerle elde edilen inşaat malzeme kaynaklarının yetersiz kalması ve kaynaklara ihtiyaç duyulmasıdır. Gerek atık malzemelerin bertaraf edilmesi gerek ise de geoteknik ve yapı inşaatlarının sürdürülebilir olması için yeni kaynakların ve doğal atık halde bulunan imalat atıklarının değerlendirilmesi önem kazanmaktadır.

Türkiye’de atık malzemelerin değerlendirilmesinde zorluklar yaşanmaktadır. Bunun sonucu olarak kaynakların kullanımında çok büyük ekonomik kayıplar olmaktadır. Batı Avrupa ve Amerika Birleşik Devletleri’nde geri kazanım oranı % 80 mertebesinde iken ülkemizde bu oranın % 20 civarlarında olduğu belirtilmektedir. Karayolu asfalt kaplama malzemesinde kullanılan agregaların yeniden kullanımı yıllık 93 milyon tonun üzerindedir. % 90 agregadan oluşan asfalt kaplama malzemesinin yeniden kullanılmasının ekonomik ve çevresel olarak büyük bir kazanç olduğu açıktır. Mermer ocaklarından çıkarılan mermer bloklarının yaklaşık % 50’ye yakın bir oranı atık malzeme olarak açığa çıkmaktadır (Akbulut ve Gürer 2003; Gürer vd. 2004; Karaca 2009).

Zeminlerin, yapı temelleri altında taşıyıcı tabaka olarak veya inşaat malzemesi olarak inşaat projelerinde kullanımı karşımıza çıkabilmektedir. Değişik zeminlerin birbirinden farklı özellikler göstermesi, bir inşaat sahasında farklı mühendislik özelliklerine sahip zeminlerin varlığını da beraberinde getirir. Ayrıca mühendislik özellikleri, zemin cinsi yanında arazi koşullarına bağlı olarak da inşaat sahasında farklılık gösterebilir. Bu nedenle taşıyıcı olarak zemin, üzerine yapılacak yapı için uygun özelliklere sahip

olmayabilir. Bu durumda çözüm, yapı yerini değiştirmek veya zemin özelliklerini iyileştirmektir. Yapı yerinin değiştirilememesi durumunda zeminin uygun bir yöntem ile iyileştirilmesi sıkça kullanılan yöntemlerdendir. Zemin stabilizasyonu problemlili özelliklere (şişme, çökme, sıvılaşma vb.) sahip zemin yapısının katkı malzemeleri ile iyileştirilmesidir. Bu yöntemde zeminde kimyasal reaksiyonlar gerçekleşerek zemin dış kuvvetlere daha dayanıklı hale gelmektedir. Zeminin çeşitli malzemeler ile stabilizasyonu sıkça kullanılan iyileştirme yöntemlerindendir. Ülkemizin birçok bölgesinde yüksek plastisiteli killeri (CH) görülmektedir. Bu killeri hacim değiştirme özelliğine (şişme, oturma) sahip olup, yapısal hasarlara neden olmaktadır. Bu hasarların oluşmaması için uygun ve ekonomik stabilizasyon yönteminin seçilmesi gerekmektedir. Son yıllarda gerek çevreye etkileri, gerekse ekonomiye katkıları, atıkların zemin stabilizasyonunda kullanılmasına dönük çalışmalar hız kazanmıştır. Katkı malzemeleri olarak kireç, çimento, bitüm gibi malzemeler yanında, son yirmi yılda uçucu kül, silis dumanı, yüksek fırın cürufu gibi endüstriyel atık maddelerinin bu amaç için kullanımı ön plana çıkmaktadır. Kaba daneli zeminler için çimento kullanımı sıkça rastlanan yöntemlerdendir. Çimento belli oranlarda zemin içine katılıp sıkıştırılmaktadır. Bu şekilde zeminin mukavemet kazanması sağlanmaktadır. İnce daneli zeminlerin stabilizasyonunda ise katkı maddesi olarak atık malzemelerin kullanımı söz konusudur. Bu durum, zeminlere istenilen özellikleri kazandırırken atık malzemelerinde değerlendirilmesini sağlamaktadır. Doğal taşların işlenmesi esnasında oluşan ve çökme havuzlarında biriken doğal taş atık tozu bu malzemelerden biridir. Bu malzemeler zeminlerin iyileştirilmesinde ve yapı malzemesi (beton agregası, yol dolgu malzemesi vb.) olarak kullanılabilir. Karaca vd. (2012), doğal taş atıkların kullanılabilirliği en önemli ve en büyük alanın inşaat sektörü olduğunu belirtmiştir. Doğal taş tesis atıklarının zemin stabilizasyonunda kullanılması ve atık özelliklerinin zemine etkisinin ayrıntılı olarak bilinmesi, zemin özelliklerine uygun atıklara daha kolay ve daha ekonomik koşullarda ulaşılmasını sağlayacaktır.

Mevsimsel olarak değişen donma-çözülme çevrimleri zeminlerin fiziksel ve mekanik özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir. Suyun buza dönüşmesi ile oluşan kristal yapı hacmi yaklaşık %9 oranda artırmaktadır. Zemin içindeki buz, zemin daneleri arasında bağ görevi yaparak zeminin mukavemetinde ciddi artışlara neden olmaktadır. Ancak zeminin çözülmesi ile donmuş olan su zemin içinde eriyerek hapsolabilmektedir ve bu su büyük boşluk suyu basınçları meydana getirebilmektedir. Bu durum zemini

zayıflatmaktadır. Donma ve çözülmenin mevsimsel (tekrarlı) olarak devam etmesi durumunda zemin yapısı bozulmaktadır. Donma ve çözülmenin ince daneli zeminler üzerindeki olumsuz etkisini azaltmak için atık malzemeler kullanılmaktadır (Yarbaşı, 2016).

Tez altı bölümden oluşmaktadır. Bölüm 1 Giriş bölümü olup bu bölümde tezin hangi problem ve amaca dönük olduğu belirtilmiştir. Bölüm 2’de kil zeminler ve kil türleri hakkında bilgilere yer verilmiştir. Bölüm 3’de zemin stabilizasyonu, amacı, gerekli görüldüğü zeminler ve yüzeysel zemin stabilizasyon türleri anlatılmıştır. Bölüm 4’de killi zeminlerin stabilizasyonu ile ilgili literatür taraması yapılmıştır. Bölüm 5’de deneysel çalışmalar anlatılmıştır. Bölüm 6’da deneysel çalışmalar neticesinde elde edilen verilere ait irdelemeler ve sonuçlara yer verilmiştir.

Bu tez çalışmasında, problemli zemin özelliklerine sahip kil numunesinin doğal taş tesislerinde elde edilen endüstriyel bir atık malzemesi olan mermer toz ile stabilizasyonu sonucunda oluşan iyileştirmeler incelenmiştir. Çalışma kapsamında, mineral ve kimyasal içeriği belli olan bentonit ve kaolen kil numuneleri içine belirlenen doğal taş tesis atıkları (Kalsitik veya Dolomitik M.T.), farklı oranlarda katılarak stabilize edilmiş zemin numuneleri elde edilmiştir. Stabilizasyon öncesi ve sonrasında gerçekleştirilecek laboratuvar çalışmaları ile katkı malzemelerinin kür süresi de dikkate alınarak mukavemet değişimine etkisi değerlendirilmiştir. Bu çalışmada ilave olarak, atık malzeme ile iyileştirilmiş killi zeminin donma-çözülme çevrimleri sonucundaki tek eksenli basınç mukavemeti değişimleri ve malzeme kayıp oranları araştırılmıştır. Ayrıca donma-çözülme öncesi ve sonrasında SEM ve EDS analizleri gerçekleştirilerek mikro yapıdaki değişimler tespit edilmiştir.

2.2 Kil Mineralleri

Kil mineralleri, bazı kaya yapıcı minerallerin kimyasal ayrışmaları sonucunda oluşan çok küçük, kristalsi maddelerdir. Kimyasal anlamda sulu alüminosilikatlar ile diğer metalik iyonlardan oluşmuşlardır (Yüksel, 2007).

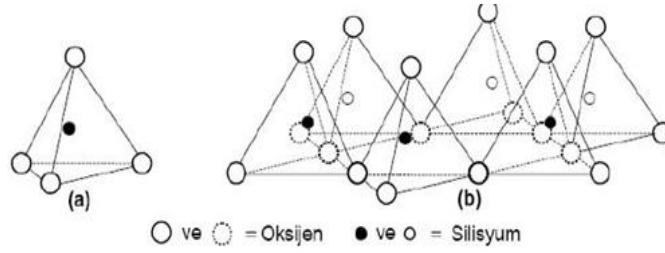
İlk zamanlarda zemindeki mineral kolloidlerin amorf ve şekillerinin yuvarlak olduğu zannedilse de günümüzde tekniğin ilerlemesi sayesinde kil parçacıklarının levha şeklinde oldukları ortaya konulmuştur (Şekil 2.1). Bütün hallerde yatay eksenleri düşey eksenlerinden uzundur (Yalçın, 1997).



Şekil 2.1. Kil (URL-7, 2018)

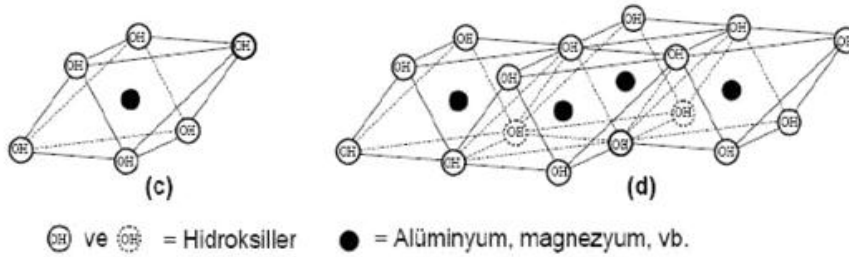
Kil kristalleri küçük katmanlardan oluşmaktadır ve XRD (X ışını kırım) çalışmaları bu katmanların atomik yapısı tekrarlanan çok sayıda kristal levhadan oluştuğunu göstermiştir. Farklı tabaka yapıları içinde farklı metalik iyonlar (Mg, Ca, K, Na, ve Fe) farklı kil minerallerini oluştururlar. Aslında, tetrahedral veya silika ile oktahedral veya alümina olmak üzere iki çeşit kristal levhası bulunmaktadır (Şekil 2.2, Şekil 2.3). Bu levhaların değişik bağlarla ve farklı metalik iyonlarla birbirine bağlanmasıyla değişik kil mineralleri oluşmaktadır (Çakar, 2013).

Silika tetrahedron, her bir tetrahedron ünitesi bir silikon atomunu çevreleyen 4 oksijen atomundan oluşmuştur (Şekil 2.2). Bütün tetrahedronların tepeleri aynı yöndedir ve tetrahedronlar yaprak şeklinde bağlıdırlar. Bütün tetrahedronların tabanını oluşturan oksijenler aynı düzlemedir. Her oksijen atomu iki tetrahedrona bağlıdır (Yalçın, 1997).



Şekil 2.2. Kıl minerallerini oluşturan silis ünitesi (tetrahedron)
Tetrahedron (a), Tetrahedral tabaka (b) (Muratoğlu, 2010)

Alümina oktahedron ve oktahedral üniteler alüminyum, magnezyum ve demir atomunu çevreleyen altı hidroksilden oluşur ve oktahedral alüminyum hidroksil ünitelerinin kombinasyonu oktahedral levhasını verir (Şekil 2.3). Metalik atom alüminyum ise Brüst, magnezyum ise Gisit olarak adlandırılır (Yalçın, 1997).

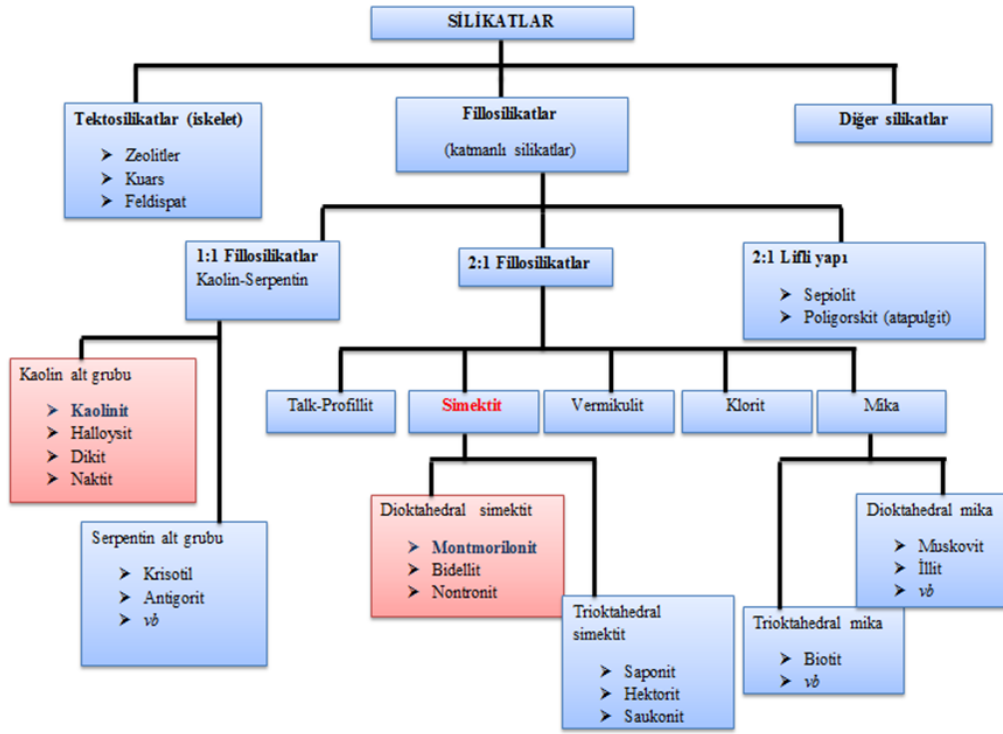


Şekil 2.3 Kıl minerallerini oluşturan alüminyum ünitesi (oktahedron)
Oktahedran (c) Oktahedral tabaka (d) (Muratoğlu, 2010)

Tetrahedranların oluşturduğu tabakaların kalınlığı 4,63 angstrom, oktahedranların ise 5,05 angstrom olarak ölçülmüştür (Aytekin, 2009).

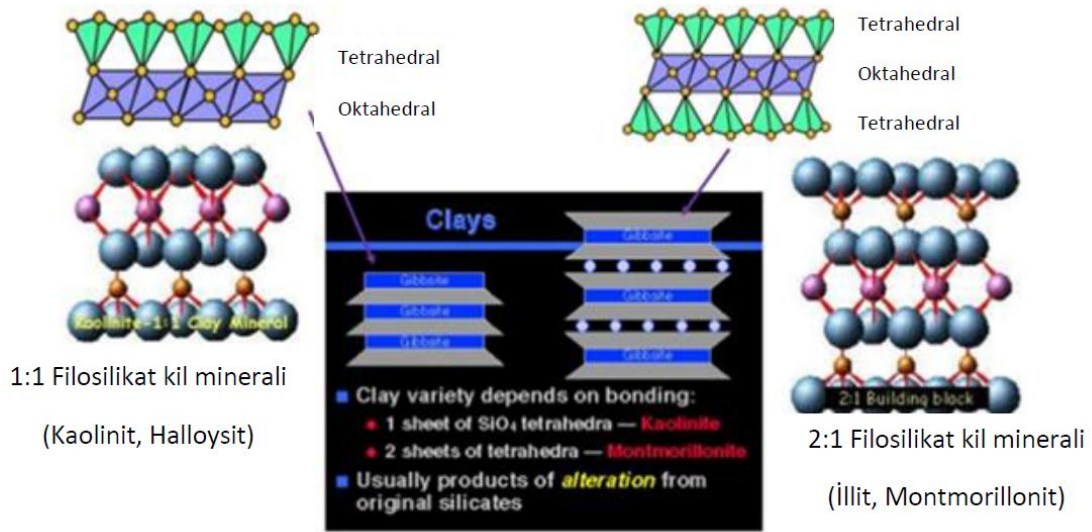
Kıl minerallerinin çok büyük ve karmaşık bir mineral dizisine sahip olmaları, içeriklerindeki yabancı maddelerin varlığı, oluşum yeri ve özelliklerinin değişikliği gibi etmenlerden dolayı kıl bir çok şekilde sınıflandırılabilirler (Şekil 2.4). Kılın minerolojik özelliklerine göre sınıflandırılmaları aşağıda verildiği gibidir (Malayoğlu, 1995).

- Kaolengrubu
- Smektit (Montmorillonit) grubu
- Klorit grubu
- İllit grubu



Şekil 2.4. Silikatların ve filosilikatların sınıflandırılması (Hancıoğlu, 2015)

Eğer oluşan tabakalar bir tetrahedral bir oktahedral ise 1:1 tabakalı, iki tetrahedral bir oktahedral 2:1 tabakalı olarak isimlendirilirler (Şekil 2.5, Çizelge 2.1). Yaygın kil minerallerine ait özellikler Çizelge 2.2 de verilmiştir.



Şekil 2.5. Bazı katmanlı silikat yapıları (URL-8, 2018)

Çizelge 2.1. Kil mineralleri ve ilgili filoslikatların sınıflandırılması (Özaydın, 2008)

Yapı Tipi	Grup	Yük
1:1 Katmanı	Serpentin- Kaolin	0
2:1 Katmanı	Talk- Pyrophyllit	0
	Smektit	0,2 – 0,6
	Vermikülit	0,6 – 0,9
	Mika	1,0
	Ufalanmış Mika	2,0
	Klorit	Değişken
2:1 Ters Dönmüş şeritler	Sepiolit- Paligorskit	Değişken

Çizelge 2.2. Yaygın bazı kil minerallerinin ortalama büyüklük, kalınlık ve spesifik yüzey değerleri (Çakar, 2015)

Kesit görünüşü	Karakteristik kalınlık (mm)	Karakteristik çap (mm)	Özgül yüzey (kg/cm ²)
 Montmorillonit	3	100-1000	0.8
 İllit	30	10000	0.08
 Klorit	30	10000	0.08
 Kaolin	50-2000	300-4000	0.015

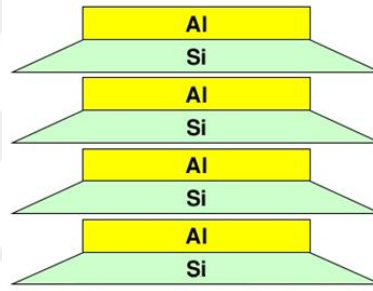
3.2.1 Kaolen

Taş halindeki görünüşü Şekil 2.6’ da gösterilen kaolen, feldispat ve kil minerallerinin doğal olarak ayrıştırılması sonucunda meydana gelen, yumuşak ve beyaz kilsli bir malzemedir. Mat ve gevşek zemin görünümünde nadiren kristal halde bulunan kaolenin sertliği 2-3, özgül ağırlığı 2.6’ dır. Erime derecesi 1760 °C olup, refrakter (ateşe dayanıklı) malzeme olarak kullanılmaktadır. Saf olduğunda beyaz, safsızlıklara bağlı olarak yeşilimsi ve sarımsı renklerde olabilir (Taytak, 2012).

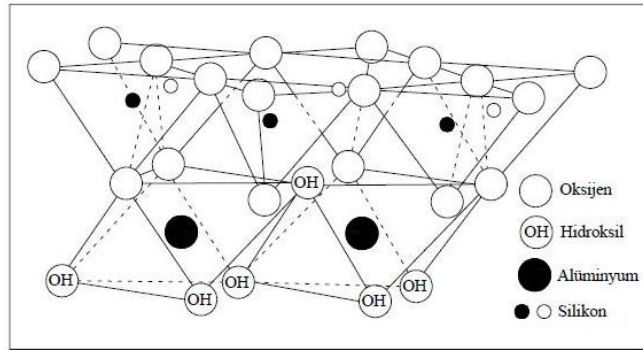


Şekil 2.6. Kaolenin temel haldeki görünüşü

Kaolenit mineralleri, 1:1 silis alüminyum minerali olarak adlandırılır. Temel olarak bir tetrahedral (silis) ve bir oktahedral (alüminyum ve gipsit) levhasının tekrarlanan katmanlarından oluşmuştur (Şekil 2.7). Bir katmanın iki levhanın birer tanesinden meydana gelmiş olmasından dolayı kaolenit 1:1 kil minerali şeklini alır. Bir katmanın yaklaşık olarak 0,72 μm olup uzanım diğer iki yönde devam etmektedir. Kil katmanın diğer bir katman ile üst üste gelmesi sonucunda tetrahedronların oksijen tabakası ile oktahedronların hidroksit tabakası karşı karşıya gelmiş olur (Şekil 2.8). İki tabakanın arasında yer alan H^+ iyonları bir OH-O bağlantısının kurulmasını sağlar. Böylece iki tabakalı kil minerallerinin yaprakçıkları arasında elektriksel bir çekim gücü meydana gelir. Bu nedenle iki tabakalı kil minerallerinin yaprakçıklarının arasına su molekülleri giremez ve yaprakçıklar birbirinden uzaklaşamaz. Bu nedenle kaolen şişme özelliğine sahip değildir. (Muratoğlu, 2010).



Şekil 2.7. Kaolenit yapısının şematik gösterimi



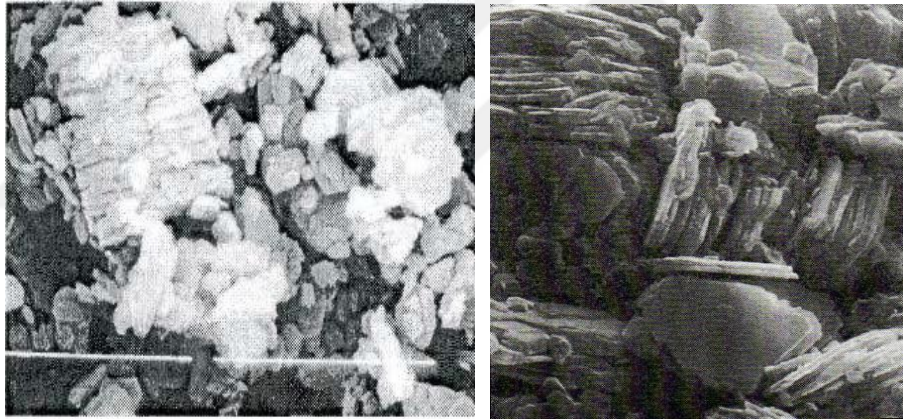
Şekil 2.8. Kaolenitin atomik yapısı (Muratoğlu, 2010)

Kaolen, granitten elde edilir. Kaolen standart mineral proses teknikleri kullanılarak yoğunlaştırılır ve saflaştırılır. Elde edilen kaolenin kurutulması neticesinde saflığı yüksek endüstriyel kaolen elde edilir.

Kaolenin ateşe karşı dayanıklılığının 1750-1770 °C arasında olması, onun en önemli teknolojik özelliğidir. Kaolenlerin önemli özelliklerinden diğeri de, soda ve bazı organik maddeler katılınca çok az su ile döküm kabiliyetini kazanabilmesidir (Seyhan, 1972).

Kaolen minerali çoğunlukla kâğıt, seramik, lastik, plastik, ilaç ve boya endüstrisinde kullanılmaktadır. Türkiye’de üretilen kaolenlerin % 80’i çimento sektöründe, % 20’si seramik, cam, kâğıt ve diğer sektörlerde tüketilmektedir. Bu da Türkiye’deki kaolenlerin ham olarak tüketildiğini göstermektedir. Avrupa ve Amerika’da ise kaolenin büyük bir kısmı kâğıt sektöründe tüketilmektedir (Özaydın, 2008).

İdeal kaolen bileşimi : % 39.50 Al₂O₃, % 46.54 SiO₂, % 13.96 H₂O içerir (Taytak, 2012). Fotoğraf 2.2’de bir kaolinitin SEM’de görüntüsü verilmiştir.



Fotoğraf 2.2. Georgia’ dan iyi kristallenmiş bir kaolinitin taramalı elektron mikrografı (Beyaz çizginin uzunluğu 5µm) (Yüksel, 2007)

Kalite ve kullanım amacına göre çok farklı kimyasal ve fiziksel özelliklerde işlenen kaolenin dünya piyasalarında \$10/ton' dan kozmetik ve ilaç sektörü için yüksek seviyede işlenmiş kalitede \$1.200/ton' a kadar geniş bir yelpazede bulunabilmektedir (<http://www.agacler.net>).

2.2.2 Bentonit

Smektit grubu kil minerallerindendir. İlk kez ABD Wyoming Eyaleti Ford-Benton yakınında bulunan plastisitesi yüksek ve kolloidal yapı özelliği gösteren bir çeşit kile

Bentonit adı verilmiştir (Fotoğraf 2.3). Aynı özellikte başka bir kil Fransa'nın Montmorillon bölgesinde bulunmuş ve "montmorillonit" adı verilmiştir. Bentonit kilinin % 80 den fazlası montmorillonit olan kildir (Can, 2014).

Bentonitler esas itibariyle suda şişen "Na- Bentonit" ve bu özelliği daha az olan "Ca- Bentonit" olmak üzere iki ana grupta sınıflandırılırlar (Malayoğlu, 1995).



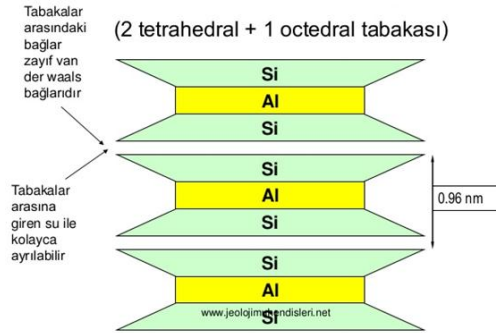
Fotoğraf 2.3. Bentonitin temel haldeki görünüşü

Değişik türleri bulunan bentonitlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri birbirinden çok farklıdır. Partikülleri tamamen veya kısmen kolloidal boyutlara sahip olduğundan su içinde uzun süre süspansiyon halinde kalabilirler. Aynı zamanda küçük boyutların etkisi ile su ve organik maddeleri absorblama yetenekleri sebebiyle plastisite özelliği gösterirler yani ıslandığında biçimlendirilebilirler. Bentonitlerin suya karşı duyarlı olmaları, kolay çözünüp dağılmaları ve hacimce genleşmeleri, sürekli bazik süspansiyon oluşturmaları ayırt edici özelliklerindendir. Bentonitler ve bentonitik killer montmorillonit mineralinden gelen değişik plastisite özelliğine sahiptir. Bu özelliği gösteren killer su içeriği sabit kaldığı halde, basınç ve sarsıntı gibi etkenlerle plastisitelerini değiştirirler ve hatta fazla basınç altında akıcı hale de gelebilirler. Daneciklerin çok ince olmasından dolayı, bentonit partikülleri ancak elektron mikroskopunda görülecek kadar küçüktür (Fotoğraf 2.4) (Taytak, 2012).



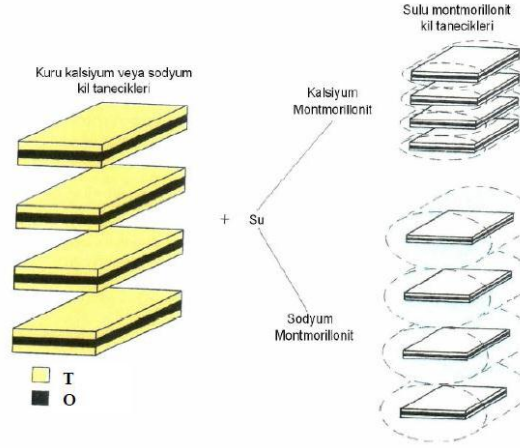
Fotoğraf 2.4. Wyoming’ den bir sodyum montmorillonitin taramalı elektron mikrografi (Beyaz çizginin uzunluğu 5 μm) (Yüksel, 2007)

Silika tepelerini birbirine bağlayan Van der Waals kuvvetlerinin zayıf olması ve oktahedral levhada net bir negatif yük boşluğu olmasından dolayı, su ve değişebilir iyonlar katmanları arasına girerek bunları ayırabilmektedir (Şekil 2.9). Bu nedenle bir montmorillonit kristali çok küçük olabilmektedir. Bentonitin, kristal yapısı son derece küçük ve plastisite indisi son derece yüksektir. Aynı zamanda çok yüksek su çekim gücüne sahiptir. Bentonit için zeminler, özellikle artan su içeriklerinde şişmeye karşı son derece duyarlıdır (Şekil 2.10). Gelişen şişme basıncı hafif yapılara ve yol kaplamalarına zarar verebilmektedir. Buna dayanarak bentonit, sondaj çamurundaki bileşenlerden biridir (Çakar, 2013).



Şekil 2.9. Montmorillonit (URL-9, 2018)

Çamur hale geldiklerinde plastik özellik gösteren bentonitler içinde kolloidal halde dağılmış diğer silikatlar da bulunmaktadır. Beyaz, açık krem, açık mavi, sarı ve kahverenginin farklı tonları ve kırmızı renkte bentonitlere rastlanmaktadır.



Şekil 2.10. Bentonitlerin su ile temas ettiklerinde yapılarında oluşan değişim (Hancıoğlu, 2015)

Bentonit yerine volkanik kil, sabun kil, mineral sabun, ağartma kili, absorplayıcı kil gibi isimlerde kullanılmaktadır fakat çoğu zaman bazı bentonitlere yüksek miktardaki ana mineralden dolayı doğrudan montmorillonit de denilmektedir. Tüm smektit grubunda olan killeri gibi bentonit de 2:1 tabakalıdır (Şekil 2.9). İki tetrahedral tabaka arasında bir oktahedral tabakası olan birim hücreye sahiptirler (Toprakezer, 2009).

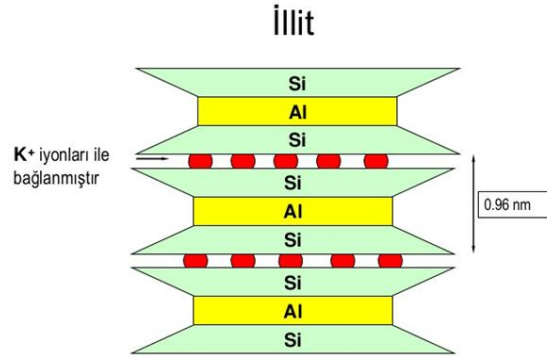
Bentonitlerin kullanım alanları şöyle sıralanabilir;

- Sondajlarda sondaj çamuru jelleştirmede,
- Döküm kumu bağlayıcısı olarak kalıpların hazırlanmasında,
- İnşaat mühendisliğinde temel ve baraj yapılarında su ve sıvı sızdırmazlığı elde etmede,
- Hayvan yemi yapımında, yemeklik sıvı yağların ağartılmasında,
- Çimento, seramik sanayinde katkı maddesi olarak (Kılıç, 2007).

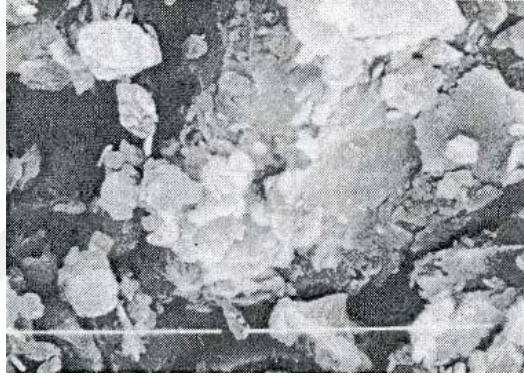
2.2.3. İllit

İllinois Üniversitesi profesörlerinden R.E Grim tarafından keşfedilen İllit, montmorillonit gibi 2:1 tabakalı mineraldir. İllitlerin katmanları arasında bağ potasyum (K) iyonu ile sağlanmaktadır (Şekil 2.11). Silis levhasında altıgen boşluğunun çapı tam tamına bir potasyum iyonu sığacak kadar olup buraya yerleşen potasyum iyonları (K+) katmanları kuvvetli bir şekilde bir arada tutmaktadır. Ayrıca silika levhasındaki silisyumun alüminyum ile izomorf yer değiştirmesi de söz konusudur. İllitin tabaka

kalınlığı 0,96 nm olup, illit minerali Kaolenve montmorillonit arasında bir davranış ortaya koymaktadır (Fotoğraf 2.5).



Şekil 2.11. İllitin şematik diyagramı (URL-9, 2018)



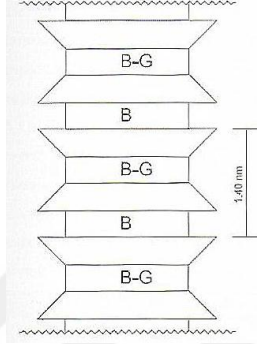
Fotoğraf 2.5. Fithian (illinois)' den bir illitin taramalı elektron mikrografı (Beyaz çizginin uzunluğu 5 μm)

İllitin kristal yapısı mika minerallerine benzese de daha az potasyum ve daha az izomorf yer değiştirme söz konusudur. Bu nedenle kimyasal olarak diğer mikalardan çok daha aktiftirler (Muratoğlu, 2010).

İllit mikaya benzeyen zeminlerde yaygın olarak karşılaşılan kil minerallerindendir. İllit mineralinde, potasyum tarafından sağlanan tabakalar arası bağ, polar sıvıların mevcut olması durumunda, bazal mesafenin sabit kalmasına (şişmenin engellenmesine) yetecek kadar kuvvetlidir (Aydın, 2010).

3.2.4 Klorit

Klorit minerallerinin yapısı değişmiş mika benzeri veya Brusit benzeri tabakalardan oluşmaktadır (şekil 2.12). Mika tabakaları arasındaki çift su tabakasının yerini oktahedral levhanın almış olması dışında, vermikülitlerin yapısına benzerdir (Aydın, 2010). Klorit mineraline ait SEM görüntüsü Fotoğraf 2.6’da verilmiştir.



şekil 2.12. Klorit minerallerinin yapısı (Aydın, 2010)



Fotoğraf 2.6. Kloritin tipik elektron fotomikrografı (Aydın, 2010)

Bazı kil minerallerine ait özellikler Çizelge 2.3’te özetlenmiştir.

Çizelge 2.3. Bazı kil minerallerinin özellikleri (Aytekin, 2009)

	Monimorillonit	İllit	Kaolinit	Klorit
Dane büyüklüğü	10 A 1- μ	0,1 μ - 2 μ	0,1 μ - 5 μ	5 μ
Dane şekli	Eř boyutlu yaprak	Pul	6 köşeli pul	Pul
Dane çapı	10 A	30 A	0,05 – 0,2	
Özgöl yüzeyi	50 - 800	65 - 100	10 - 20	5 - 50
Likit limit (%)	110 - 710	60 - 120	29 - 70	44 - 47
Plastisite indisi	51 - 100	34 - 60	26 - 38	8 - 12
şişme-büzölme	Yüksek	Orta	Düşük	Düşük
Özgöl ağırlık	2,35 – 2,70	2,60 - 3	2,6 – 2,8	2,6 – 2,8

BÖLÜM III

ZEMİN STABİLİZASYONU

3.1 Zemin İyileştirme Tanımı

Zemin iyileştirme; gerekli olan oturma ve taşıma gücü kriterlerini sağlamayan zeminin içerisindeki mevcut boşlukların mekanik araçlarla azaltılması, çeşitli bileşimdeki karışımlarla doldurulması, yeraltı su seviyesinin düşürülmesi veya zeminin su içeriğinin azaltılması ya da çeşitli değişik fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemler kullanılarak mevcut zeminin güçlendirilmesidir (Ayan, 2009).

Zeminlerin stabilizasyonunda mekanik ve kimyasal olmak üzere iki yol vardır. Herhangi bir katkı maddesini zemin içine karıştırmadan ve zemin kütlesinde herhangi bir kitlesel reaksiyon oluşturmaktan zemin özelliklerini iyileştirmek kısaca mekanik stabilizasyon olarak adlandırılır. Herhangi bir katkı maddesini (kireç, bitüm, reçine vb.) zemin içerisine karıştırmak suretiyle zemin kitlesi içerisinde kimyasal reaksiyon oluşturarak zeminin amaca uygun hale getirilmesi ise kimyasal stabilizasyon olarak adlandırılır (Gücek, 2011).

3.2 Zemin İyileştirmesinin Yapılmasının Amaçları

Zemin iyileştirmesinin amaçları şunlardır;

- Zayıf zeminlerin taşıma gücünü artırmak,
- Toplam oturmaya en aza indirmek ve deformasyonu azaltmak,
- Dolgu ve yarma stabilitesini artırmak,
- Geçirimliliği azaltmak,
- Zeminin iksa duvarı gibi çalışmasını sağlamak,
- Zeminin sıvılaşma potansiyelini azaltmak,
- Kayma mukavemetini artırmak,
- Boşluk suyu basıncını azaltmak,
- Şişme ve kabarma etkilerini azaltmak,

Zemin ıslah yöntemleri uygulandığında zeminin;

- Kumlu zeminlerde sıkılık, killi zeminlerde kıvam iyileşir,

- Mevsimsel değişimlerde zeminde hacim değişimleri olur,
- Sıkışabilirlik azalır,
- Permabilitesi azalır,
- Mukavemet artar,
- Borulanma riskine karşı mukavemet artar,
- Sıvılaşma potansiyeli azalır (Çınar, 2014).

3.3 Problemli Zeminler

Aşağıda ifade edilen problemli zeminlerin yapılacak yapı için iyileştirilmesi gerekir.

Yumuşak killer: İyileştirme yöntemleri ile temel zemini olarak kullanılabilir hale getirilmesi zorunlu olan yumuşak killerin taşıma gücü çok düşüktür ve küçük büyüklükte yükler altında bile büyük oturmalar yapabilirler.

Turba ve bataklık zeminler: Hiç karşılaşılmak istenmeyen bir zemin türü olmakla beraber ihtiva ettikleri bitkisel maddelerin çürümesi ile büyük şekil değişimi yapabilme kapasitesine sahip olup taşıma güçleri yok denecek kadar azdır.

Gevşek kumlar ve yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu yumuşak, kalın alüvyonlar: Tekrarlı yükler etkisi altında dayanım kaybına bağlı olarak taşıma gücünde azalma ve aşırı oturma beklenebilen bu tip zeminler, orta büyüklükte yükler taşıyabilir ve bu yükler altındaki deformasyon değerleri de sınırlı kalabilir.

Çökelebilen zeminler: Zayıf, boşluklu ve düşük nem içeriği gibi özelliklere sahip zemin yapısı yük altında yüksek hacim değişimi gösterir. Su oranının artmasına bağlı olarak zaten zayıf özelliğe sahip daneler arasındaki bağ, iyice zayıflamakta ve zeminde çökmeler meydana gelmektedir. Danecikleri bir arada tutan bağlar genelde kil veya karbonat bağları olup çökme mekanizmasında önemli yer tutmaktadır. Diğer önemli faktörler ise su ve yüküdür.

Dispersif zeminler: erozyon ve borulanma açısından “Şüpheli zeminler” olarak değerlendirilen bu zeminler su içerisinde kendiliğinden dağılma özelliği gösterirler ve

“dispersif kil veya dispersif zemin” olarak bilinirler. Yapısal olarak stabil olduklarından kolayca dağılabilir ve yüksek derecede erozyona uğrayabilirler. Kilin dispersibilite özelliğinden kaynaklanan erozyon; kilin minerolojisi, kimyasal yapısı ile zemin boşluklarındaki ve erozyona neden olan suyun içerisindeki çözünmüş tuz muhtevasının niteliğine ve miktarına bağlıdır. Olası bir probleme sebebiyet vermemesi açısından bu tip zeminler yapı öncesinde iyi tanınmalı ve uygun teknikler kullanılmalıdır.

3.4 Katkısız Yüzeysel Zemin Stabilizasyonu

Kompaksiyon zeminlerin çeşitli yöntemler vasıtasıyla tabakalar halinde serilerek, zeminin boşluk oranının azaltılması ve zemin danelerinin birbirine yaklaştırılması sonucu zeminin daha sıkı hal almasını sağlayan mekanik işlemlere verilen addır. Burada amaç, zemin danelerini birbirine daha fazla yaklaştırarak zeminin taşıma gücünü artırmaktır.

Katkısız yüzeysel zemin stabilizasyonunda zeminin kuru birim hacim ağırlığı (γ_{maks}) maksimum değere getirilmek istenir. Tabi ki maksimum değer için zemini muhteva etmesi gereken bir su değeri olacaktır. İşte maksimum kuru birim hacim ağırlığı verecek olan bu su değerine optimum su muhtevası (w_{opt}) değeri denir. Maksimum kuru birim hacim ağırlık ve bu değeri verecek optimum su muhtevası değeri laboratuvar deneyleri yapılarak bulunur. Laboratuvar ortamında standart ve modifiye proktor deneyleri kullanılarak değişik su muhtevalarında zeminler hazırlanır ve uygulanan deneyler sonrasında elde edilen grafikler yardımıyla γ_{maks} ve w_{opt} değerleri belirlenir. Arazi deneylerinde ise doğal birim hacim ağırlık (γ_n) hesabı için gerekli olan hacim kum konisi, lastik balon, penetrometre veya nükleer yoğunluk ölçer deneyleri ile belirlenir ve aşağıdaki formül yardımıyla kuru birim hacim ağırlık hesaplanır.

$$\gamma_k = \gamma_n / (1 + w) \quad (3.1)$$

3.5 Katkılı Yüzeysel Zemin Stabilizasyonu

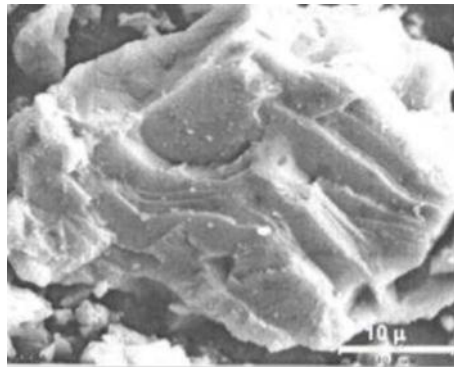
Katkısız yüzeysel zemin stabilizasyonunda zemine herhangi bir katkı maddesi katılmadan mekanik yöntemlerle stabilize edilirken, katkılı stabilizasyon yönteminde zemine birtakım kimyasal malzeme ile karıştırılarak zemin stabilize edilmektedir. Bu

amaçla kullanılan katkı maddeleri arasında kireç, çimento, bitüm ve uçucu kül verilebilir.

3.5.1 Kireç ile stabilizasyon

Geçmişten günümüze çok sayıda katkı maddeleri kullanılarak zemin stabilize edilmeye çalışılmıştır. Bunlardan biri olan kireç zemin stabilizasyonunda kullanılarak özellikle killerin şişme potansiyeli kontrol altında tutulması amaçlanmıştır. Özellikle karayolu projelerinde sıkça kullanılan kireç, zeminde meydana gelebilecek şişmeyi en aza indirmede oldukça başarılı sonuçlar vermiştir. Katkı maddesi olarak kireç kullanılan zeminlerin mühendislik özelliklerinden sorumlu mekanizmalar olan katyon değişimi, kilin folükülasyonu ve puzolanik reaksiyonlar üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Bunlardan ilk iki reaksiyon hızlı olur. Kürsüz dayanım ve yük deformasyonlarına ilaveten plastisite, işlenebilirlik ve şişme özelliklerinde de ani değişimlere neden olur. Puzolanik reaksiyonlar ise zamana bağlıdır (Türköz, 2006).

Genel olarak kireç ile kabarma potansiyeli, şişme basınçları ve plastisite azalır. Zamana bağlı olan puzolanik reaksiyon sonucu bir çeşit çimentolanma nedeniyle zeminin mukavemeti artar. Kireç stabilizasyonu için hidrate kireç (sönmiş kireç, Ca(OH)_2 kalsiyum hidroksit) kullanılmaktadır (Tumluer, 2006). Şekil 3.1’de kireç taşının SEM görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.1. Kireç taşının SEM görüntüsü

Çizelge 3.1’de zemin stabilizasyonunda zemin türüne göre tavsiye edilen kireç oranları verilmiştir. Arazide uygulanmasına ait durum Fotoğraf 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Zemin cinslerine göre yaklaşık kireç miktarı (Çınar, 2014)

Zemin cinsi	Kuru zeminin ağırlıkça yüzdesi olarak
İyi derecelenmiş çakıl	3
Kumlar	Tavsiye edilmez
Kumlu kil	5
Siltli kil	2-4
Plastik kil	3-8
Yüksek plastisiteli kil	3-10
Organik zeminler	Tavsiye edilmez



Fotoğraf 3.1. Kireçle stabilizasyon (URL-2, 2018)

3.5.2 Çimento ile stabilizasyon

Hammadeleri kalker, kil ve alçı taşı olan çimentonun kenetlenme özelliğini yerine getirebilmesi için mutlaka suya ihtiyaç vardır. Stabilizasyonda çimento kullanımı ilk olarak Amerika Birleşik Devletleri'nde eyalet karayollarının 1920'li yıllardaki uygulamaları ile başlamıştır. Gelişen teknolojilere bağlı olarak üretilen taşıtların sayısı nedeni ile ulaşım yolları ve hava alanlarının temel ve alt temellerinin iyileştirilmesini zorunlu kılmıştır.

Killi zeminler için;

- 200 nolu elekten geçen malzeme miktarı $< \% 40$
- Likit limit $< \% 45-50$
- Plastisite indisi $< \% 25$

olduğu durumlarda kumlu ve düşük plastisiteli killi zeminler için uygun bir yöntemdir (Çınar, 2014).

Killi zeminlerin çimento ile stabilizasyon sonuçları, kireçle yapılan stabilizasyona benzemektedir. Çimento uygulaması ile likit limit, plastisite indisi, zeminin hacim değişikliği potansiyeli azalır. Ancak portland çimentosu yüksek plastisiteli killer için kireç kadar etkili değildir. Kireç ile iyileştirilemeyen zeminlerde, çimento kullanımı genellikle başarılı olmaktadır. Portland çimentosunun hidratasyonu, değişik bileşik ve jeller oluşturan karmaşık bir pozolanik reaksiyondur. Portland çimentosunun etkili olduğu killer için karıştırma, kireç uygulamasında yapıldığı gibi yapılmaktadır. Ancak bu teknikte çimento ilavesi ile son karıştırma arasında geçen zaman, portland çimentosu daha kısa hidratasyon ve priz süresine sahip olduğundan kireç uygulamasında dikkate alınandan daha kısa olmalıdır. Çünkü % 2-6 oranında portland çimentosu muhtevası, zeminin yarı rijit bir kaplama gibi davranmasına yol açar. Ancak çimento ile stabilize edilen bir malzemenin çatlama eğilimi olduğundan dolayı kullanmadan önce ve sonra bu etkisi göz önünde bulundurulmalıdır (Ünver, 2015).

3.5.3 Bitüm ile stabilizasyon

Daha önce bahsedilen kireç ve çimento ile stabilizasyon birer pozolanik reaksiyon ile zemin mukavemetini artırırken bitüm ile stabilizasyonda zemin suyun zararlı etkenlerinden korunur ve daneleri birleştirici rol oynar. Asfalt danelerin yüzeyini kaplayarak ince daneli zeminlerin suda yumuşamasını kaba daneli zeminlerin ise kohezyon kazanmasını sağlar. Bunun yanında ayrıca daneleri birbirine yapıştırarak su ve rüzgâr erozyonunun etkisini de en aza indirir.

Bitümle stabilizasyon kumlu zeminlerde kullanılmakla birlikte iyi derecelendirilmiş ve organik zemin içermeyen kumlarda mukavemeti daha yüksek zeminler oluşturur. Bu zeminler kaplamalarda alt temel tabakası olarak da kullanılabilir (Fotoğraf 3.2). Tabaka kalınlığının azalmasına bağlı olarak ekonomik olarak da tasarruf edilmiş olmaktadır. Eğer bağlayıcı olarak asfalt çimentosu kullanılacak ise kum ve asfalt ısıtılmalıdır. Bu nedenle plentte sıcak karışım hazırlanır ve yola serilir. Ancak mukavemet yönünden bakıldığı zaman sıvı asfaltın zemine doğru püskürtülüp daha sonra karıştırılarak sıkıştırılması işlemleri ile daha dayanıklı zeminler elde edilmektedir. Kohezyonlu

zeminler optimum su içeriğinde sıkıştırıldığında belli bir mukavemet kazanır. Ancak bu mukavemet suya karşı duyarlıdır. Zira yüksek su içeriği karşısında zemin şişme gösterebilir ve yumuşama ile stabilitesi azalır. Bu nedenle, bitümle stabilize edilen zeminlerin daneleri asfalt filmi ile sarılır ve boşlukların bir kısmı asfalt ile doldurularak su geçirimsiz bir kitle sağlandığı gibi asfaltın bağlayıcılık özelliğinden dolayı yüksek kohezyonlu bir zemin elde edilebilir (Tumluer, 2006).



Fotoğraf 3.2. Bitüm ile stabilizasyon (URL-1, 2018)

3.5.4 Sanayi atıkları ile stabilizasyon

Yaşadığımız ortamda kullanım süresi dolan her şey birer atık olarak değerlendirilir. Bu atıklar evde, okulda, hastanede, bahçelerde, endüstride ve daha birçok yerde oluşabilir. Ülkemizde çöp bileşenleri; % 68 organik atık, % 13 değerlendirilebilir katı atık, % 19 diğer atıklardır (Öntürk, 2011).

Altyapı ve yol inşaatlarında killi zeminler ile karşılaşan birçok firma yollara belli aralıklarla agrega sererek zemini sağlamlaştırmak istemektedir. Ancak kısa süre içerisinde agrega zemine batmakta ve kil tekrar kapilarite etkisi ile yolun yüzeyine çıkmaktadır. Defalarca agrega serilmesine rağmen çözüm bulunamamakta ve yolda yaşanan olumsuzluklar devam etmektedir. Birçok defa agreganın yola serilme maliyeti ise zemin iyileştirilmesinde kullanılan maliyete göre daha yüksek fiyatlardadır. Bu maliyetlerin önüne geçebilmek için, esas zemine atık malzemeler ilave edildiğinde hem maliyet açısından daha uygun bir proje elde edilmiş olunur hem de sadece agrega serilmesi ile karşılaşılan agreganın zemine batması, kapilarite etkisi ve yolda oluşan diğer olumsuzlukların önüne bir nebze olsun geçilmiş olunmaktadır. Bu amaçla

kullanılan atık malzemelere metal cürufu, silis dumanı uçucu kül ve mermer tozu örnek verilebilir (Öntürk, 2011).

3.5.4.1 Metal cüruf ile stabilizasyon

Zeminlerin yüzeysel stabilizasyonunda son yıllarda ortaya çıkmış farklı bir alternatif malzeme de metal cürufudur. Metal cürufu (Fotoğraf 3.3), tamamen saf olmayan metallerin sıcak haddede eritilmesiyle ortaya çıkan ve yoğunluk farkıyla yüzeyde biriken atık bir sanayi ürünüdür. Bünyesinde çeşitli hafif metalleri ve esas olarak silikatlar (SiO_2), kireç ve alüminyum oksidi (Al_2O_3) ihtiva eder. Ayrıca az miktarda da olsa, demir oksit (FeO), magnezyum oksit (MgO) ve sodyum oksit (Na_2O) gibi bazik oksitlere de rastlanır.

Hafif metallerin havayla temas edip oksitlenmesiyle oluşan metal cürufu, metal küfü olarak da bilinir. Tüm sıvı çelik üretiminin, % 8 veya % 10'u kadar cüruf oluşmaktadır. 2010 yılı verileri temel alındığında bu rakam yüzbinlerce ton cüruf olarak belirlenmiştir.



Fotoğraf 3.3. Metal cürufu ile stabilizasyon (URL-3, 2018)

Metal cürufu bir sanayi atığı olup son yıllarda Geoteknik mühendisliği çerçevesinde, alternatif yüzeysel zemin stabilizasyonu malzemesi olarak kullanılmaya başlanmıştır. Böylece hem atık maddelerin çevreye olan zararları kontrol altına alınmış olup hem de inşaat sektöründe temel altı dolgusu olarak yumuşak zemin stabilizasyonu sağlamaktadır (Çetin, 2011).

3.5.4.2 Silis dumanı ile stabilizasyon

Silis dumanı elektrometalürji sanayinde silisyum ferrosilisyum alaşımlarının üretiminde bir yan ürün olarak elde edilir. Kuvarsın 2000 °C ısıtılmasıyla elde edilen silis dumanı, puzolanik değeri yüksek olup çok küçük küresel daneli yapıdadır (Fotoğraf 3.4). Silis dumanı ile ilgili çalışmalar 1952 yılında Norveç'te başlamış, çalışma sonuçları 1970'lerin başında açıklanmış ve 1970'lerin sonlarında beton sektöründe pratik olarak kullanılmaya başlanmıştır (Günaydın, 2011)



Fotoğraf 3.4. Silis dumanı

Toplam silis dumanı üretimi dünyada yaklaşık 1 milyon tondur. ABD'de 130.000 ton, Norveç'te 120.000 ton ve geriye kalanı diğer ülkelerde üretilmektedir. Kuzey Amerika'da 13 adet silikon, silis dumanı ve ferrosilikon üreten santral vardır.

Normal portland çimentosu üretimi enerji tüketimi pahalı bir yöntem olduğundan beton dayanımını artırmada silis dumanı, cüruf, uçucu kül ve doğal puzolan gibi mineral katkıları kullanılmaktadır. Silis dumanı beton içine katılarak deniz sularına karşı dayanıklı beton üretilir. Silis dumanının minerolojik bileşimi Çizelge 3.2'de verilmiştir

Çizelge 3.2. Silis dumanının kimyasal kompozisyonu (Topçu, 2004)

Bileşenler Bileşen	Bileşen Miktarları (%)
Silisyumdioksit (SiO ₂)	91
Alüminyumoksit (Al ₂ O ₃)	0.58
Demiroksit (Fe ₂ O ₃)	0.24
Kalsiyumoksit (CaO)	0.71

Magnezyumoksit (MgO)	0.33
Kükürttrioksit (SO ₃)	1.06
Klorür (Cl)	0.09

Yıldız ve ark. çalışmalarında, Antalya Etibank Elektrometalurji İşletmesi Tesisleri'nde tutulan silis dumanlarının birlikte kartonpiyer alçısının kullanılabilirliği araştırılmıştır. Kartonpiyer alçısının SiFeCr baca tozu ile hacimce %5, %10, %15, %20 ve %25 oranlarında yer değiştirilmesi neticesinde elde edilen numuneler, birim ağırlık, boşluk oranı ve eğilmede çekme dayanımı açısından kontrol numuneleri ile karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışma neticesinde; silis dumanı katkısının, kartonpiyer alçısının birim ağırlığı ve boşluk miktarında azalma, eğilmede çekme dayanımında ise artış meydana getirdiği belirlenmiştir. Çalışmanın sonucu olarak, SiFeCr baca tozunun kartonpiyer alçısı ile %10-%15 oranında yer değiştirmesi neticesinde en iyi sonucun alındığı belirlenmiştir.

El-Shourbagy ve arkadaşları, silis dumanı ve kirecin killi zeminlerin mühendislik özellikleri üzerine etkilerini incelemiştir. Kirecin % 5–9 ve silis dumanının % 10 oranında eklenmesi ile hazırlanan numunelerde mühendislik özelliklerini artırdığı gözlemlenmiştir. Fiziksel özelliklerde (kıvam limitleri, kabarma potansiyeli) gelişmeler gösterdiği sonucuna varılmıştır (Günaydın, 2011).

3.5.4.3 Uçucu kül ile stabilizasyon

Uçucu kül, alüminyum, silisyum, çeşitli oksitle ve alkaliler içeren puzolanik bir malzemedir (Fotoğraf 3.5). Kendi kendine bağlayıcılık özelliği hiç olmayan ya da çok az olan, ancak su ve kireçle birlikte kimyasal reaksiyona girdiklerinde bağlayıcılık özelliği kazanan malzemelere puzolan malzeme denir.

Kullanımı binlerce yıl önceye dayanan Puzolanik maddeler ilk defa Napoli yakınlarındaki “Pozzuoli” kasabasından elde edilmiştir. Vezüv yakınlarındaki bu zemin, camlaşmış volkan zemini olup günümüzde kullanılan “puzolan” sözcüğü buradan gelmektedir (Çetin, 2011).

Uçucu küller, birçok farklı sektörde en çok kullanılan yapay puzolanlardır. Uçucu kül, termik santraller içinde öğütülmüş kömürün yanması ile ortaya çıkan bir atık üründür.

Santralde ortaya çıkan baca gazları içindeki hafif ve ince tozların, gazların atmosfere salınmadan önce elektro filtreler ile tutulmasıyla elde edilir. Ayrıca kömürün yanması sırasında baca gazları ile karışmadan kazan tabanına çöken daha iri daneli küllere ise taban külü (bottom ash) denmektedir. Uçucu küllerin bacalarda tutulması çevreye karşı olası zararları da önlemiş olmaktadır.



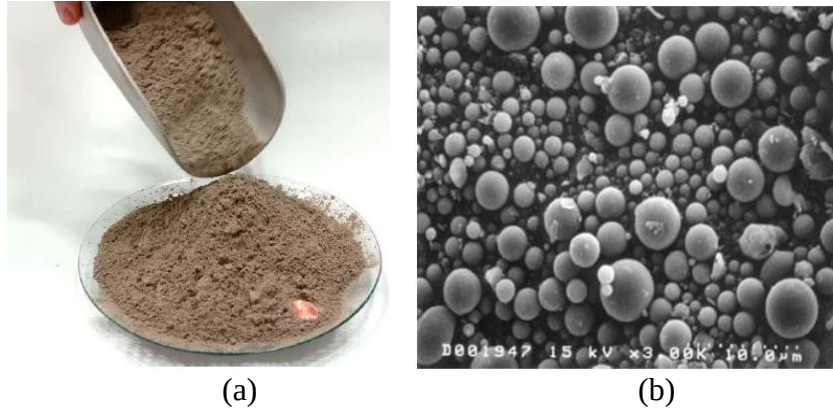
Fotoğraf 3.5. Uçucu kül ile stabilizasyon (URL-4, 2018)

Rüzgâr erozyonu ve tozlanma, uçucu küllerin havuzlarda çökeltilmesi veya ıslatılarak taşınması sayesinde önlenebilmektedir. Yukarıda sayılan sorunların çözülmesi, uçucu küllerin çeşitli kullanım alanlarında değerlendirilerek ülke ekonomisine kazandırılması ile mümkün görünmektedir. Uçucu küllerin değerlendirildiği sektörlerin başında ağırlıklı olarak inşaat sektörü gelmektedir. Uçucu kül, kimya, seramik, cam, döküm-metal sanayi, tarım sektöründe zemin ıslahı, çevre sondaj çalışmaları, buzlanmanın önlenmesi ve maden ocaklarında “filler” olmak üzere çeşitli alanlarda kullanılmaktadır.

Son yıllarda Geoteknik mühendisliğinde uçucu külün kullanım alanlarının artması, alınan olumlu sonuçlara bağlıdır. Özellikle yumuşak zeminlerin stabilizasyonunda alternatif bir yöntem olarak uçucu kül kullanımı ile başarılı sonuçlar elde edilmeye başlanmıştır. Yüzeysel stabilizasyonda uçucu kül uygulaması temel olarak yumuşak zeminin uçucu kül ile karıştırılması ve ardından sıkıştırıcılar yardımıyla sıkıştırılması şeklindedir.

Genellikle yüzeysel zemin stabilizasyonu uygulamalarında, C sınıfı uçucu küller tercih edilmektedir. C sınıfı bir uçucu kül uygulaması temel olarak yumuşak zeminin uçucu kül ile karşılaştırılması ve ardından sıkıştırıcılar yardımıyla sıkıştırılması şeklindedir. C

sınıfı bir uçucu kül ve 2000 kat büyütülmüş görünümü Şekil 3.2’ de gösterilmiştir (Çetin, 2011).



Şekil 3.2. Uçucu külün normal ve 2000 kat büyütülmüş görüntüsü (Moseley ve Kirsch, 2004) C sınıfı uçucu kül (a), C sınıfı uçucu külün mikroskop görüntüsü (b)

3.5.4.4 Mermer tozu ile stabilizasyon

Mermer tozu, mermer işleme tesislerinde blokların kesilmesi neticesinde oluşurlar (Fotoğraf 3.6). Boyutları çoğunlukla 300 mikron altında olan mermer tozları kesim aşamasında su kullanılması ile çökeltme havuzuna taşınırlar ve daha sonra atık sahalarına alınırlar. Ülkemizde yaklaşık 660 bin ton mermer tozunun değerlendirilmeden atıldığı söylenmektedir (Gücek, 2011).



Fotoğraf 3.6. 15-20 tonluk mermer blokları

Mermer, saf kalsiyum karbonat bileşiminde olduğu zaman beyaz ve yarı saydamdır. Renkleri genellikle beyaz ve grimsidir. Fakat yabancı maddeler nedeniyle sarı, pembe, kırmızı, mavimsi, esmerimsi ve siyah gibi renklerde de olabilirler (Gücek, 2011).

Yaşadığımız çevrede mermer tozu atıkları çevreye ait fiziksel, kimyasal ve biyolojik bileşenlere önemli ölçüde etki eder (Fotoğraf 3.7). Örneğin karada zemin porozitesini ve su emmesini azalttığı için ürün verimini düşürür. Bu alanlarda bitkisel yaşam yok olur. Ayrıca havada uçuşan küçük parçalar hava kirliliğine neden olur. Suların kalitesini düşürerek insan sağlığını olumsuz etkiler. Mermer işleme tesislerinin yoğunlaştığı bölgelerdeki mermer atık sahaları kamuoyu gözünde çevre ve doğal güzelliğe zarar verdiği gerekçesiyle tepkilere neden olmaktadır (Turan, 2002).



Fotoğraf 3.7. Mermer tozu atığı (URL-5, 2018)

Mermerlerin ocaktan çıkarılması, blok mermerin fabrikada işlenmesi ve mamul mermer üretiminden geriye kalan bütün mermer parça ve tozları atık olarak adlandırılıp sınıflandırılmaktadır. Toz atığı olarak sınıflandırılabileceğimiz mermer tozu atıkları, işlenen mermerlerin yaklaşık olarak % 30'unu oluşturmaktadır. İnşaat malzemesi olarak kullanılacak mermer atıklarının fiziksel ve mekanik özellikleri önemli olmaktadır. Mermer toz atıklarının değişik alanlarda kullanabilme imkânını belirleyen en önemli özellikler; kimyasal bileşim, tane boyutu ve renktir. Mermer tozlarının kimyasal bileşimindeki CaCO_3 oranının büyüklüğü kullanım alanını genişletmekte ve endüstride oldukça fazla ihtiyaç duyulan kalsitin yerine kullanabilme imkânı oluşturmaktadır (Alişer, 2013). Mermer tozuna ait fiziksel özellikler Çizelge 3.3 de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Mermer tozunun fiziksel özellikleri (Gücek, 2011)

Hacim Yoğunluğu (g/cm^3)	1.3
Gerçek Yoğunluk (g/cm^3)	3.6
Partikül Boyut Dağılımı (μm)	300-45
Yüzey Alanı (m^2/g)	6.37
Nemlilik (%)	8

Atık mermer tozunun asfalt kaplamalarda kullanımının bitüm viskozitesini artırmak ve erimesine engel olmak gibi katkıları da mevcuttur. Çeşitli yerlerde kullanılan mermer parçalarını parça ve toz olarak ayırmak gerekirse parçalar; sıkıştırılmış yol zemini, baraj ve inşaatlarda dolgu malzemesi, demir yolu zemin malzemesi, yer döşeme malzemesi vb. alanlarda kullanılmaktadır. Toz mermer atıkları ise; zirai toprak, yem ve mineral içerikli besinler, sıva katkı malzemeleri, çimento ve kireç üretimi, cam üretimi, kâğıt üretimi, kalsine dolomit üretimi gibi birçok değişik alanda değerlendirilebilmektedir (www.mermertozu.com).

Bunlara ek olarak çimento sanayinde her ne kadar çok miktarda CaCO_3 bileşimli hammaddeler kullanılsa da, mermer sadece beyaz portland çimentosu yapımında kullanılmaktadır. Normal portland çimentosu bileşimindeki kalker yerine hammadde olarak mermer, kil yerine de kaolen kullanılmasıyla beyaz portland çimentosu elde edilmiş olur (Yamanel, 2015).

Ayrıca plastik sanayinde plastik malzemelere doluluk ve sıklık vermek amacı ile bünyeye çeşitli dolgu maddeleri katılmaktadır. Bu dolgu maddelerinde biri de mermerdir. Ayrıca, mermer plastik bünyeye girince yüksek sıcaklığa karşı dayanım ve taneli yapı kazandırma gibi özellikleri bünyeye katar (Sağlam, 2012).

BÖLÜM IV

KİLLİ ZEMİNLERİN STABİLİZASYONU ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Literatürde yüksek fırın cürufu, silis dumanı, uçucu kül vb. atık malzemelerin killi zeminlerin stabilizasyonu üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla birçok çalışma yapılmıştır. Aşağıda özellikle mermer tozu atığı kullanımı başta olmak üzere atıkların zemin stabilizasyonu üzerindeki etkileri ile ilgili çeşitli çalışmalara yer verilmiştir.

Muntohar ve Hantoro (2000)'un yaptığı çalışmada ise mermer toz atıklarını üç farklı zemin numunesi içerisine %0, 2, 4, 6, 8, 10 ve 12 ağırlık oranlarında karıştırılarak, Atterberg limitleri, proktor ve permeabilite deneyleri yapılmıştır. Grafikselsel olarak nispi eğilimler görülse de belirgin bir sonuç elde edilememiştir. Huat vd. (2005) tarafından yapılan çalışmada %0, 10, 20, 30 ve 40 olarak mermer tozu oranların artırımı ile yukarıdaki belirsizliğin nedeni anlaşılmış; bu oranlarda dahi değişimin küçük miktarlarda olduğu, çok yüksek oranlarda olmadığı belirlenmiştir. Küçük oranlardaki deneysel analizler istenilen sonuçları veremezken, yüksek oranlarda (%10, 20, 30, 40) kullanılan mermer tozu atıklarının ise daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Terzi ve Karaşahin (2003), çalışmalarında, mermer tozu atıklarının asfalt betonunda mineral filler olarak kullanımını araştırmıştır. Bağlayıcı olarak 90/100 penetrasyonlu asfalt, mineral filler olarak Modülmer ve İşmer Mermer fabrikalarından alınan mermer toz atıkları ve mineral agrega olarak da Iskarta civarındaki Gümüşgün taşocağından alınan kırmataş kullanılmıştır. Karşılaştırma yapmak amacı ile kireç tozu ve 7 cins mermer de yine mineral filler olarak kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda mermer toz atıklarının bitümlü karışımlarda doğrudan kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Zorluer ve Usta (2003), zemin numunesi olarak Meşelik kilini kullandığı çalışmalarında mermer fabrika atığı olan mermer tozunu iyileştirme için katkı malzemesi olarak seçmiştir. Numuneler Meşelik kilinin ağırlığına göre atık mermer tozu ile belli oranlarda hazırlanmış olup standart proktor deneyine tabi tutulmuştur. Odometre deneyi ile de numunelerin şişme yüzdeleri belirlenmiştir. Deney sonuçları atık mermer tozunun

killerin şişme potansiyelini etkilediğini ve sonuç olarak da zemin iyileştirilmesinde kullanılabileceğini göstermiştir

Usta (2004) çalışmasında, stabilizasyon katkı maddesi olarak atık mermer tozunu kullanılmıştır. Mermer tozu, zeminin kuru ağırlığına göre % 3-5-8 ve 10 oranlarda kullanılmıştır. Çalışma sonucunda kompaksiyon karakterlerine göre maksimum kuru yoğunluk katkı miktarının artışına paralel olarak arttığı görülmüştür. Mermer tozu katkı miktarındaki artışın eksenal gerilme değerlerinde artış sağladığı yapılan serbest basınç deneylerinden gözlenmiştir.

Yıldız vd. (2004), donma ve çözülme, mukavemet ve geçirgenlik etkilerini kireç ile stabilize edilmiş iki killi zemin numunelerinin (yüksek ve düşük plastisiteli) üzerindeki etkilerini araştırmak amacı ile deneyler yapmışlardır. Stabilizasyondan önce ve sonra, numunelerinin geçirgenliği ve mukavemeti, çeşitli donma çözülme döngüleri ile belirlenmiştir. Bu çalışmanın sonuçları, her iki kil için de % 6 kireç ilavesinin numunelerin hidrolik iletkenliğini 1000 kat arttırdığını göstermiştir. Bununla birlikte, kilin % 6 kireç ile hidrolik iletkenliği sadece 3 donma çözülme döngüsünden sonra 10-20 kez artmıştır. Mukavemet testlerinin sonuçları farklı eğilimler sergilemiştir. Yüksek plastisiteli kilinin gücü, 28 günlük kür sonunda yaklaşık 15 kat artarken, stabilize edilmiş düşük plastisiteli kilin gücü sadece yaklaşık 3 kat artmıştır. Donma-çözülme döngülerinin sonunda stabilize killerin mukavemeti % 10-15 azalmıştır.

Akbulut ve Gürer (2006) çalışmalarında mermer atığının asfalt kaplamalarda (binder tabakasında) agrega olarak değerlendirilmesini araştırmışlardır. Afyon-İscehisar bölgesindeki homojen bir mermer ocağı atıklarından agrega üretilmiş ve bu numuneyi karşılaştırmak için de Afyon şehir içi asfalt kaplamalarında kullanılan kireçtaşı kökenli agrega kontrol numunesi olarak hazırlanmıştır. Yapılan deneyler sonucu mermer atıklarının hafif ve orta trafik yüklü yollarda binder tabakasında agrega olarak kullanımının uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Zorluer vd. (2006) çalışmalarında, Afyon mermer tozlarının donma ve çözülme özelliğine etkisini araştırmıştır. %10 bentonit +%90 kaolen karışımı ile hazırlanan kil tabakası üzerine üzerine %5, %10, %15 oranında mermer tozu ilave edilmiştir. Elde edilen bu karışımlar üzerinde yapılan donma-çözülme deneyi sonuçlara göre %10 ve

%15'lik mermer tozu ilave edilen karışımların kayıp miktarında sırasıyla %13,5 ve %12,5 azalma gözlenmiştir. Sonuç olarak, geçirimsiz kil tabakalarda çevresel şartlara karşı %10 ve %15 mermer tozu ilavesi mukavemeti artırdığı görülmüştür.

Erol (2007) deneysel çalışması kapsamında, belli oranlar dahilinde Turgutlu yöresinden tedarik edilen portland çimentosu, C sınıfı uçucu kül ve silt zemini optimum su muhtevalarında karıştırarak kıvam limitleri belirlenmiş, standart proktor, serbest basınç ve donma-çözülme deneyleri yapmıştır. Buna göre:

- İlave edilen % 10 uçucu kül zeminin likit limiti ve plastisite indisi artırmış, daha büyük uçucu kül oranlarında likit limit değeri sabitlenirken plastik limit artışı devam etmiş ve buna bağlı olarak da plastisite indisi önce arttıktan sonra azalışa geçmiştir.
- Standart proktor deneyleri sonucunda artan uçucu kül miktarına paralel artan hidratlanma sonucu fazla suya ihtiyaç duyulmasına bağlı optimum su muhtevası artmış, özgül ağırlığa bağlı olarak ise kuru birim hacim ağırlık azalmıştır.
- Zemin belli oranları aşmamak kaydıyla ne kadar çok uçucu kül ve çimento ilave edilirse zeminin dayanımı o kadar artmıştır. Bu dayanım ikisinin belli oranlarda karışımıyla elde edilmiştir.
- Kür süresinin artışıyla serbest basınç dayanımları çok büyük artışlar göstermiştir. Özellikle 28 günlük kürde dayanımlar çok büyük değerlere ulaşmıştır.

Yıldız ve diğerleri (2008), yol inşaatında teknik açıdan mermer atık çamurunun zemin stabilizasyon malzemesi olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Antalya, Burdur, Isparta ve Afyon il sınırları içerisinde bulunan yol güzergahından ve atık çamurları aynı bölgedeki mermer işletmelerinden toplanarak analizler yapılmış, %0-40 arasında değişen oranlarda doğal taş toz atıklarının çamur halinde ilavesi ile deney numuneleri hazırlamışlardır. Yapılan analizler sonucunda; endüstride uygulanan işlemler nedeniyle

kısmi kireç özelliği gösteren atıkların, yol zemini inşaatında kullanılan zemin malzemelerini önemli derecede iyileştirdiği gözlenmiştir.

Başer (2009), tarafından yapılan çalışmada mermer endüstrisinin atıkları olan kireçtaşı tozu atığı ve dolomitik mermer tozu atıklarının şişen zeminlerin stabilizasyonu üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Laboratuvarında Kaolen ve bentonit kullanılarak hazırlanan şişen zemine önceden belirlenmiş %0 - %30 arasında değişen oranda Kireçtaşı tozu atığı ve dolomitik mermer tozu atığı 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. Numuneler üzerinde dane dağılımı, kıvam limitleri, kimyasal ve mineralojik bileşim, şişme yüzdesi ve şişme hızı deneyleri yapılmış ve katkı yüzdesinin artmasıyla şişme yüzdesinin düştüğü ve şişme hızının attığı görülmüştür. 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.

Başer ve Çokca (2010), şişen zeminlerin iyileştirilmesi konusunda atık malzeme olarak %5 ve %30 oranlarında mermer tozu ve kireç tozunu kullanmışlardır. Bu numuneler üzerinde hidrometre, Atterberg limitleri, özgül ağırlık, serbest şişme oranı, serbest şişme deneyleri yapılmış ayrıca 7 ve 28 günlük kürlü numuneler üzerinde de serbest şişme deneyleri yapmışlardır. Her iki atık malzemede de atık malzeme oranı arttıkça şişme oranında düşme gözlenmiştir, ayrıca kür ile birlikte şişme oranlarının azaldığı hatta azalma miktarının %58'lere ulaştığı görülmüştür.

Cömert vd. (2010) tarafından yapılan çalışmada, iki farklı doğal zemine uçucu kül, mermer tozu ve atık kum katkılarını ilave etmişlerdir. Farklı karışım oranlarında zemin-atık karışımlarının, optimum su içerikleri (w_{opt}) ve maksimum kuru birim hacim ağırlıkları (γ_{kmaks}) belirlenmiştir. Numuneler kür sürelerine tabi tutulmuş ve serbest basınç dayanımları ve dane çapı dağılımları bulunmuştur. Deney sonuçlarına göre iki farklı doğal zemine, atık malzemelerden %40 ilave edildiğinde numunelerin maksimum kuru birim hacim ağırlıkları açısından yol alt temelinde kullanılabileceği belirlenmiştir. Numunelerde tek eksenli basınç mukavemeti (q_u) açısından optimum yüzdelерinin ise %20 uçucu kül, %5-10 mermer tozu ve %5 atık kum olduğu bulunmuştur.

Ghazavi ve Roustaie (2010) tarafından yapılan çalışmada, çelik ve polipropilen elyafları olan bir kaolenit kili güçlendirilmiş ve maksimum 10 kapalı sistem donma-çözülme döngüsüne maruz bırakılmıştır. Donma-çözülme döngülerinin sayısının arttırılmasının, kil numunelerinin tek eksenli basınç mukavemetinin (q_u) %20-25 oranında azalmasına neden olduğu bulunmuştur. Üstelik kil numunelerine fiber eklenmesi, zeminin tek eksenli basınç mukavemetini arttırmış ve donma dayanımını azaltmıştır. Ayrıca, çalışmanın sonuçları, %3 polipropilen elyaf ilavesinin, donma çözülme döngülerini %60 ile % 160 oranında uygulamadan önce ve sonra zeminin tek eksenli basınç mukavemetinin artmasına ve donma dayanımının %70 azalmasına neden olduğunu göstermiştir.

Hazırba ve Güllü (2010) tarafından yapılan çalışmada, ince daneli bir zemine CBR testlerini uygulanarak, donma çözülme koşullarının etkisi incelenmiştir. Ayrıca donma çözülme koşullarının geofiber ve sentetik sıvı ihtiva eden zemin numuneleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Sonuçlar, sentetik sıvı ile birlikte geofiber ilavesinin, donma çözülme etkisine karşı direnç sağlamada başarılı olduğunu göstermektedir. sentetik sıvının tek başına eklenmesinin donma-çözülmenin zararlı etkisine karşı çok etkili olmadığı anlaşılmıştır. Donma-çözülme döngüsüne tabi tutulmuş örneklerin sonuçları sentetik akışkan içeren numuneler için yetersiz CBR performansı gösterirken, tek başına geofiberler ile iyileştirilen numuneler genel olarak daha iyi performans sağlamıştır.

Liu ve ark. (2010) çalışmalarında, çimento ve kireç ile stabilize edilmiş zeminlerde, donma çözülme döngülerinde farklı karışım oranları ile dinamik üç eksenli testler gerçekleştirmiştir. Sonuçlar tekrarlanan donma-çözülme döngülerinden sonra, stabilize killerin, stabilizasyon öncesinden daha iyi performans sergilediklerini göstermiştir. Çimento stabilizeli kil, kireç stabilizeli kilden daha iyi sonuç vermiştir.

Paudel ve Wang (2010) çalışmalarında, Kanada Mackenzie vadisindeki iki heyelan bölgesinden örnek numuneler alarak ince daneli zeminlerde konsolidasyon özelliklerine yönelik donma-çözülme etkisinin laboratuvar test sonuçlarını irdelemiş ve numuneler 0, 3, 5 ve 10 döngü donma ve çözülme sonrasında konsolidasyon ve hidrolik iletkenlik katsayısı bakımından test edilmiştir. Sonuçlar, zeminler donma ve çözülmeye maruz

kaldıktan sonra konsolidasyon katsayısının büyük bir oranda keskin bir şekilde arttığını göstermektedir.

Muratoğlu (2010) çalışmasında, atık olarak mermer tozunu kullanarak zeminlerin konsolidasyon ve permeabilite özelliklerinin nasıl değiştiği incelemiştir. Bu amaç doğrultusunda Afyon Kocatepe Üniversitesi ANS Kampüsü alanında 6 farklı kil zemin alınarak, laboratuvar ortamında %5, %10, %15 oranında atık mermer tozu ilave edilmiş ve mermer tozu katkısı ile 25 farklı killi zemin numunesi oluşturularak bu zeminler üzerinde tanımlama deneyleri yapmıştır. Daha sonra hazırlanan numuneler üzerinde konsolidasyon ve permeabilite deneylerini yaparak çalışmaları sonucunda kil zeminlere %10-15 oranında atık mermer tozunun ilave edilebileceği sonucuna varmıştır.

Gücek (2011) çalışmasında, kil zeminlerin iyileştirilmesinde mermer tozu ve uçucu külün kullanılabilirliği araştırmıştır. Kil zemin kuru ağırlığına göre %5, %10 ve %15 oranlarında mermer tozu, %10, %20 ve %30 oranlarında ise uçucu kül karıştırılarak deney numuneleri elde edilmiştir. Karışımlar, %15 ve %20 su muhtevalarında standart proktor sıkıştırma enerjisinde hazırlanmış olup Eksenel basınç, Kaliforniya taşıma oranı (CBR), şişme, donma-çözülme ve donma-çözülme sonrası eksenel basınç deneylerine tabi tutulmuştur. Deney sonuçlarına göre; mermer tozu ve uçucu kül katkısının dayanımı yükselttiği, şişmeyi azalttığı gözlenmiştir. Mermer tozu ve uçucu külün zemin iyileştirmesinde kullanımı ile atıklar ekonomiye kazandırılırken çevre kirliliği de azaltılmış olacaktır.

Cömert (2012) tarafından yapılan çalışmada, her biri % 5-40 oranlarda iki farklı doğal zemine endüstriyel atık olan kum, mermer tozu ve uçucu külün karıştırılarak bu üç katı atığın karayolu dolgusunda değerlendirilmesi araştırılmıştır. Kürlenmiş ve kürlenmemiş karışım numunelerine dinamik, fiziksel ve mekanik deneyler yapılmıştır. XRD, SEM ve EDX analizleri ile oluşan değişimlerin mikro yapı ile ilişkisini belirlenmiştir. Çalışma deney sonuçları bu üç katı atığın kara yolu dolgusunda kullanılacak yaş CBR'ı düşük (% 8, 13) CI ve CL sınıfı plastik zeminlerin iyileştirilmesinde zemin/atık oranı olarak 85/15 oranında kullanılabileceğini göstermiştir.

Yıldız ve Soğancı (2012) çalışmalarında kireç ile stabilize edilmiş iki killi zemin numunelerinde (yüksek ve düşük plastisiteli) stabilizasyondan önce ve sonra donma ve

çözülme, mukavemet ve geçirgenlik etkilerini araştırmıştır. Bu çalışmanın sonuçları, her iki kil için de % 6 kireç ilavesinin numunelerin hidrolik iletkenliğini 1000 kat artırdığını, kilin % 6 kireç ile hidrolik iletkenliği sadece 3 donma çözülme döngüsünden sonra 10-20 kez artırdığı görülmüştür. Mukavemet testlerinin sonuçları farklı eğilimler sergilemiştir. Dengelenmiş yüksek plastisiteli kilinin gücü, 28 günlük kür sonunda yaklaşık 15 kat artarken, stabilize edilmiş düşük plastisiteli kilin gücü sadece yaklaşık 3 kat artmıştır. Donma-çözünme döngülerinin sonunda stabilize killerin mukavemeti % 10-15 azalmıştır.

Sivrikaya ve ark. (2013) çalışmalarında, zemin özelliklerine en uygun doğal taş atık türü seçiminin ve killi zeminlerin stabilasyonu açısından killi zeminlerin indeks ve kompaksiyon parametreleri üzerindeki etkisinin belirlenmesiyle doğal taş endüstriyel atıkların değerlendirilmesine katkısı incelenmiştir. Bu amaçla kalsitik mermer, dolomitik mermer ve granit tesis atıklarının killi zeminlerin iyileştirmesi için katkı maddesi olarak kullanılabilirliğini kıyaslayarak araştırılmıştır. Kil malzemesi bentonit ve kaolenden oluşup düşük ve yüksek plastisiteli zeminler kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, kullanılan tüm atık atık taş tozları stabilizasyon malzemesi olarak kullanılabilir olacakla birlikte, kimyasal içerik açısına bağlı olarak da özellikle dolomitik mermer atık tozunun diğerlerine göre daha efektif katkı sağladığı görülmüştür.

Zaimoğlu ve diğerleri (2013), soğuk iklim bölgelerindeki mevsimsel donma etkisine dikkat çekmek amacı ile donma-çözülme deneylerini numune üzerinde yükün olması ve olmaması durumuna göre yapmıştır. Numuneler ince daneli zeminin standart proktor enerjisi altında sıkıştırılması ile hazırlanmıştır. Geleneksel yöntemde yapılan deneylerde 1, 3, 5 ve 10 çevrim sonunda numunelerin serbest basınç mukavemet değerleri belirlenmiştir. Daha sonra bu değerlerin % 25, % 35 ve % 50'sine karşılık gelen yük numuneler üzerinde iken donma-çözülme deneyleri tekrarlanmıştır. Her iki yöntem ile yapılan deneyler sonucunda numunelerin donma-çözülme dayanımları belirlenmiştir. Deney sonuçlarından üzerinde yük olan zeminlerin donma-çözülme dayanım değerlerinin geleneksel yöntem ile bulunanlardan daha az olduğu görülmüştür.

Ontürk vd. (2014) çalışmalarında, doğal zemine %5, %10 ve % 15 gibi farklı oranlarda uçucu kül ve mermer tozu isimli atık malzemeleri ilave ederek temel tabakası

stabilizasyonundaki tek eksenli basınç mukavemeti ve rijitlikleri üzerine etkisi incelemiştir. Hazırlanan numuneler 7 ve 14 gün boyunca küre tabi tutularak tüm karışım numunelerinin hem standart kompaksiyon değerleri hem de kaliforniya taşıma oranı (CBR) değerleri belirlenmiştir. Zemine ilave edilen atık malzemeler (uçucu kül ve mermer tozu) sonucunda CBR değerlerinde artış olduğu görülmüştür.

Yaling ve Binbin (2014) çalışmalarında, lős türü zeminlerde donma-çözölme etkisinin, mukavemeti nasıl etkilediğini araştırmak için, direk kesme deneyleri gerçekleştirmiştir. Farklı su içeriğı ve farklı çimento içeriğine sahip zemin numunelerinin kesme mukavemeti ve indeks özellikleri üzerindeki donma ve çözölme etkisinin analizi yapılmıştır. Sonuç olarak, donma ve çözölme davranışının zeminin kohezyonunu artırdığı ancak içsel sürtünme açısında belirgin bir değışime neden olmadığını göstermiştir.

Yarbaşı (2015) yaptığı çalışmasında, atık lastik parçalarının standart proktor enerjisi altında sıkıştırılması ile hazırlanan kil numunelerin donma-çözölme sonucu mukavemetlerindeki değışimini incelemiştir. Bu killi zemin örneğine %0.5, %1 ve %2 atık lastik ilavesi yapılarak 0, 1, 7 ve 28 günlük çalışma odası sıcaklığındaki (+21 °C) kür sonucu, serbest basınç mukavemetleri belirlenmiştir. Elde edilen verilerden atık lastik ile güçlendirilen kil zeminin serbest basınç mukavemeti %32.9 oranında azaldığı, kütle kayıplarının ise %13.7 olduğu belirlenmiştir.

BÖLÜM V

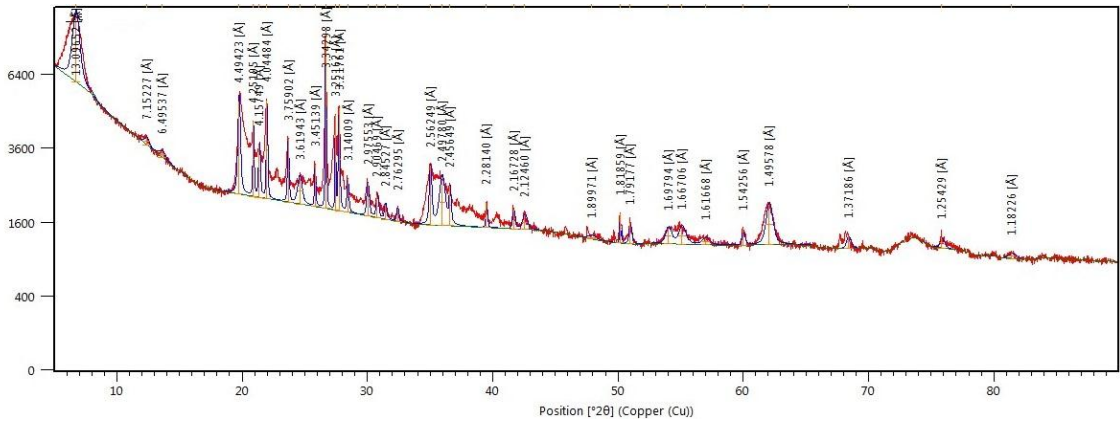
DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1 Malzeme Özellikleri

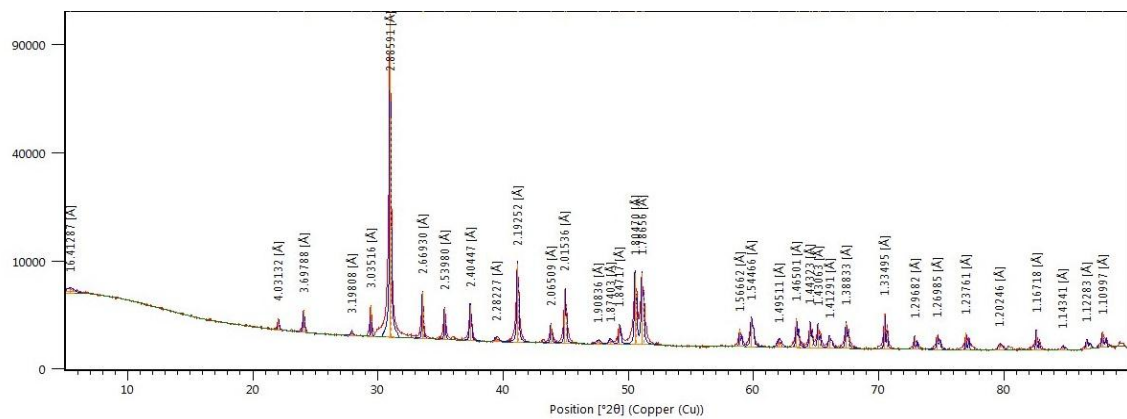
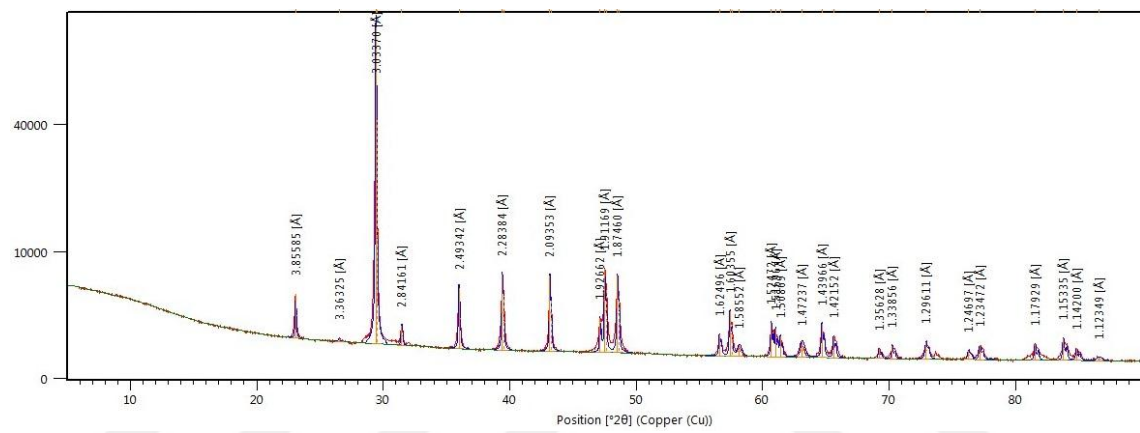
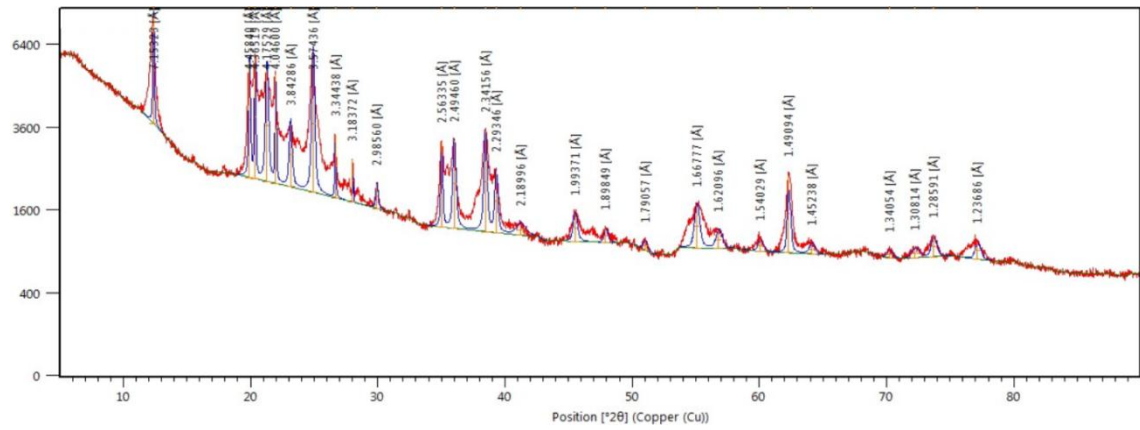
Laboratuvarda gerçekleştirilen deneylerin malzeme temini, laboratuvar çalışmalarının ilk adımını oluşturmuştur. Bu çalışmada kil malzemesi olarak Kaolen ve Bentonit, atık malzemesi olarak ise Kalsitik ve Dolomitik mermer tozu kullanılmıştır. Kaolen ve Bentonit piyasadan, Kalsitik ve Dolomitik mermer tozu atıkları ise Afyon ve Aydın'da bulunan fabrikalardan alınarak Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Geoteknik Laboratuvarı'na getirilmiştir.

5.1.1 Mineral özellikleri

Deneyler kapsamında ilk etapta Kaolen, Bentonit ve atık malzemelerin (Kalsitik ve Dolomitik Mermer Tozu) mineral özelliklerini belirlemek amacıyla Üniversitemiz Merkez Laboratuvarı'nda N-XRD 2 Desen Çekimi ve Mineral Analizi (Kalitatif Değerlendirme) yapılmıştır. Yapılan N-XRD 2 Desen Çekimi ve Mineral Analizi (Kalitatif Değerlendirme) sonuçları her bir malzeme için Şekil 5.1, Şekil 5.2, Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'verilmiştir.



Şekil 5.1. Kaolen XRD analizi



Yapılan XRD 2 analizi sonucunda Bentonit, Kaolen ve atık malzemelerine ait bulunan mineral içerikleri Çizelge 5.1’ de verilmiştir.

Çizelge 5.1. XRD analiz sonuçlarına göre mineral türleri

Bentonit	%	Kaolen	%	KMT	%	DMT	%
Sanidin	39	Kaolenit	51	Kalsit	100	Dolomit	98
Kil	46	Kalsiyum	41	-		Kalsit	2
Kuvars	9	Kristobalit	8	-		-	-
Opal-CT	6	-		-		-	-

5.1.2 Kimyasal içerikleri

Kaolen, Bentonit ve atık malzemelerin (KMT ve DMT) kimyasal içeriklerini belirlemek amacıyla Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi merkez laboratuvarında N-XRF 2 analizleri yapılmıştır. Analizler sonucunda Kaolen, Bentonit ve atık malzemelerin sahip oldukları kimyasal içerikler ve “ % ” değerleri Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2 Bentonit, Kaolen ve atık malzemelerin kimyasal içeriği

	Bentonit	Kaolen	KMT	DMT
% SiO ₂	60,354	61,758	0,102	0,175
% Al ₂ O ₃	19,783	24,045	0,046	0,072
% Fe ₂ O ₃	4,703	1,399	0,029	0,317
% CaO	2,051	0,601	56,056	31,677
% MgO	1,866	0,501	0,267	20,030
% K ₂ O	1,564	-	0,015	0,004
% TiO ₂	0,822	1,210	0,044	0,055
% SrO	-	-	0,011	0,010
% SO ₃	-	-	0,010	0,013
% Mn ₃ O ₄	-	-	0,001	0,017
% V ₂ O ₅	-	-	0,001	-
% BaO	-	-	-	0,023
% NiO	-	-	-	0,001
% L.O.I.	7,970	9,950	41,000	45,000

5.1.3 İndeks özellikleri

Kaolen, Bentonit ve atık malzemelerin indeks özelliklerini belirlemek amacıyla piknometre (TS 1900-1), kıvam limiti (TS 1900-1) ve standart proktor (ASTM D698-78A) deneyleri yapılmıştır. Kıvam limiti deneylerinde likit limitleri (w_L) değerleri düşen koni deney aleti kullanılarak belirlenmiştir. Rötire limiti (w_R) değerleri ise plastisite kartından hareketle yaklaşık yöntem (Holtz vd., 1979) ile bulunmuştur. Deneylerde,

etüvden çıkan malzeme ve damıtılmış su kullanılmıştır. Malzemelerin zemin sınıfı, indeks ve kompaksiyon özellikleri belirlenmiş ve Çizelge 5.3’ te verilmiştir.

Çizelge 5.3. Kaolen, Bentonit ve atık malzemelerin indeks özellikleri

	W _L (%)	W _P (%)	W _R (%)	I _p (%)	γ _s kN/m ³	W _{opt} (%)	γ _{kmaks} (kN/m ³)	USCS
Kaolen	65	44	32	21	23.8	44	11,5	MH
Bentonit	85	36	20	49	22.4	37	12,5	CH
KMT	-	-	-	-	27.7	-	-	-
DMT	-	-	-	-	27.8	-	-	-

5.2 Deney Programı

Deney programı temelde dört aşamadan oluşmaktadır. Buna göre;

İlk aşama kapsamında, Bentonit ve Kaolen killeri %0, %5, %10, %20, %30 ve %50 oranlarında KMT ve DMT atıklar katılarak oluşturulan kil numunelerinin kıvam limitleri, plastisite indisi ve zemin türleri belirlenmiştir.

İkinci aşamada ise %0, %5, %10, %20, %30 ve %50 oranlarında atık malzemesi katılarak oluşturulan karışımların mukavemet değerleri için anlık Serbest Basınç deneyleri yapılmış ve tek eksenli basınç mukavemeti (q_u) değeri belirlenmiştir. Mikro yapıdaki değişimi tespit etmek amacı ile Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi merkez laboratuvarında SEM analizleri gerçekleştirilmiştir. SEM analizleri, bu aşamada her iki kil numunesi için de %0 ve %50 oranlarında kalsitik ve dolomitik mermer tozu atığı ile hazırlanan kil zemin numuneleri üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Üçüncü aşamada, kür etkisinin belirlenmesi kapsamında yapılan deneylerde %0, %5, %10, %20, %30 ve %50 oranlarında katkı malzemesi kullanılarak hazırlanan numuneler 7 gün, 30 gün ve 60 gün süre ile desikatörlerde küre tabi tutulmuştur. Daha sonra küre tabi tutulan numunelerin Serbest Basınç deneyleri yapılarak tek eksenli basınç mukavemeti (q_u) değerleri belirlenmiştir. Atık malzemelerin kür süresine bağlı olarak stabilizasyona etkisini araştırmak amacıyla, bentonit ve kaolenin %0 ve %50 oranlarında her iki atık kullanılarak oluşturulmuş kil numunelerinin 60 günlük kür süresi sonunda SEM analizleri yapılmıştır.

Son olarak dördüncü aşamada ise, kaolen ve bentonitin %0, %5, %10, %20, %30 ve %50 oranlarında katkı malzemesi kullanılarak hazırlanan kil numunelerinin, donma çözülme (TS EN 1367-1, ASTM D 560-96) deneyleri yapılmıştır. Donma çözülme işlemi, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Malzemesi Lab. 1 de yer alan Donma-Çözülme Kabini'nde gerçekleştirilmiştir. Bu işlem için bir çevrim -20°C de 6 saat ile $+20^{\circ}\text{C}$ de 6 saatten oluşmakta olup bu bir çevrimi ifade etmektedir. Daha sonra Serbest Basınç deneyleri yapılmış ve serbest basınç mukavemeti (q_u) değerleri bulunmuştur. Atık malzemelerin donma-çözünme üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla bentonit ve kaolenin %0 ve %50 oranlarında katkı malzemesi kullanılarak hazırlanan kil numunelerinin SEM analizleri yapılmıştır.

5.3 Deneyler

5.3.1 Su muhtevasının(w_n) belirlenmesi

Deney TS 1900-1 standardına uygun olarak yapılmıştır. Su muhtevasının belirlenmesi birçok deneyde gerekli olan bir işlemdir. İlk olarak zemin numunesinin konulacağı temiz ve kuru kabın ağırlığı 0,01 g hassasiyetindeki terzi ile belirlenir (M_1).



Fotoğraf 5.1. Yaş ağırlık tartımı ve etüve konması

Daha sonra su muhtevası belirlenmesi istenen numuneden bir miktar alınarak ağırlığı bilinen kap içerisine konur ve kap + yaş numune ağırlığı tartılır (M_2). Kap ile birlikte tartılan numune zemin türüne göre genelde $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta 24 saat boyunca değişmez ağırlığa gelene kadar kurutulur (Fotoğraf 5.1). Etüvden çıkan numune tekrar tartılarak kap + kuru ağırlığı belirlenir (M_3). Elde edilen değerler ve aşağıdaki formül yardımıyla su muhtevası değeri yüzde olarak hesaplanır.

$$w = (M_2 - M_3) / (M_3 - M_1) * 100 \quad (5.1)$$

Burada;

M_1 = Kabin kütlesi (g),

M_2 = Kap + yaş numune kütlesi (g),

M_3 = Kap + kuru numune kütlesi (g) dir.

5.3.2 Likit limitin (w_L) belirlenmesi (Düşen koni yöntemi)

Likit limit deneyi TS 1900-1 standardına uygun olarak yapılmıştır. Deneyde kullanılacak malzeme ilk olarak 40 nolu elekten elenerek danelerin en fazla 0,425 mm büyüklüğünde olması sağlanır. Deney yapılacak kadar alınan numune tamamen kuru hale gelmesi için 105 ± 5 °C sıcaklığındaki etüvde 24 saat boyunca bekletilir.



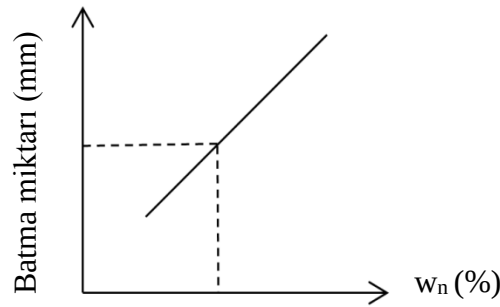
Fotoğraf 5.2. Etüvde kurutulan numuneye su eklenmesi

Etüv kuru numune bir miktar su ile bir kaba alınarak iyice karıştırılır (Fotoğraf 5.2). Oluşan karışım standartlara uygun olan düşen koni kabına yerleştirilerek üzeri tıraşlanır. Daha sonra 80 gr ağırlığında konik uç hazırlanan zemin üzerine temas edecek biçimde yerleştirilir ve ağırlığın 5 saniye boyunca batma miktarı ölçülür (Fotoğraf 5.3).



Fotoğraf 5.3. Numunenin deney aletine yerleştirilmesi

Batma miktarı belirlenen numune, batmanın olduğu noktadan bir miktar alınarak su muhtevasını belirlemek amacı ile etüve konur. Geriye kalan numune içerisine belli bir miktar su katarak deney 3-4 defa tekrarlanır. Su muhtevası değerleri batma miktarı 15-25 mm aralığında olacak biçimde ayarlanmalıdır. Deney sonunda elde edilen veriler yatay ekseninde su muhtevaları değerleri, düşey ekseninde batma miktarları değerleri olan grafik üzerine işaretlenir (Şekil 5.5). Değerlerin çakıştığı noktaların birleştirilmesi sonucu oluşan doğruya 20 mm batmaya karşılık gelen su muhtevası değeri likit limit (w_L) olarak belirlenir.

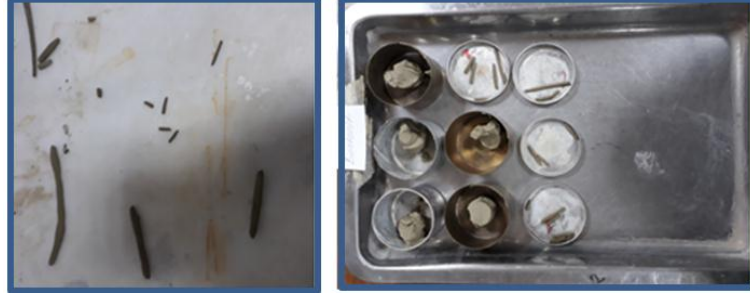


Şekil 5.5. Düşen koni deney grafiği

5.3.3 Plastik limit (w_P) deneyi

Plastik limit deneyi TS 1900-1 standardına uygun olarak yapılmıştır. Plastik limit deneyi için hazırlanan numune likit limit deneyinde hazırlanan numune ile aynıdır. Homojen bir duruma gelene kadar karıştırılmış olan numune plastik bir kıvama gelene

kadar el yardımıyla yoğrulmaya devam edilir. Plastik kıvama geldiğine karar verilen numune cam plaka veya mermer gibi pürüzsüz bir yüzey üzerine konur. Pürüzsüz yüzey ve el ayası arasında 3 mm çapında ince bir çubuk haline gelene kadar yuvarlanır (Fotoğraf 5.4).



Fotoğraf 5.4. Plastik kıvama gelmiş çubuk numuneler

Eğer 3 mm çapına geldiğinde kopma olmuyorsa numune tekrar topak haline getirilerek plastik kıvam alana kadar yoğrulur. Bu işlem 3mm çapında kopmalar oluncaya kadar devam edilir. 3 mm kopma gözlemlendiğinde kopan parçalar bir kaba konularak su muhtevası değerlerine bakılır. Deney birkaç kez tekrarlanarak elde edilen değerlerin ortalaması alınır.

5.3.4 Piknometre Deneyi

Piknometre deneyi TS 1900-1 standardına uygun olarak yapılmıştır. Piknometre deneyinde 105 ± 5 °C sıcaklığında etüvde kurutulmuş 40 nolu elek altı malzeme kullanılır. İlk olarak 0,01 g hassasiyette bir terazi yardımıyla kuru zemin kütlesi tartılır (W_1). Daha sonra piknometre şişesinin boyun bölgesindeki çizgisine kadar damıtılmış su doldurularak piknometre + su kütlesi belirlenir (W_2).



Fotoğraf 5.5. Piknometre deney aşamaları

100 ml piknometre içindeki su 1/3 oranında kalacak şekilde boşaltılarak içerisine etüv kurusu numuneden 20 gr eklenir. Eklenen kuru numune ile birlikte içerisine giren havayı almak için iyice sallanır ve piknometre ağzından vakum uygulanır. Piknometreye 1/3 kadar daha su eklenir ve tekrar havası alınır. Son piknometre çizgisine kadar su dolunca piknometre + su + zemin ağırlığı tartılır (W_3) (Fotoğraf 5.5). Tüm ağırlıklar kullanılarak dane birim hacim ağırlığı (γ_s) aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanır (Fotoğraf 5.5).

$$\gamma_s = W_1 / ([W_1 - (W_3 - W_2)]) \quad (5.2)$$

5.3.5 Standart Proktor Deneyi

Deney ASTM D698-78A standardına uygun olarak yapılmıştır. 4 nolu elekten elekten geçen belli miktardaki etüv kurusu numune geniş bir leğen içerisine konur. İçerisine bir miktar su katılarak homojen olarak karışana kadar iyice karıştırılır. Karışım sağlandıktan sonra numune 3 eşit parçaya bölünerek her parça daha önceden ağırlığı ölçülen standart ebattaki proktor kalıbına yerleştirilir.



Fotoğraf 5.6. Standart proktor deneyi

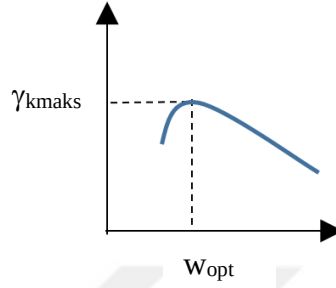
Numune kalıba yerleştirildikten sonra 2,5 kg ağırlığındaki tokmak 305 mm yüksekten her bir tabaka için 25 defa düşürülerek sıkıştırma sağlanır. Sıkıştırma işlemi bittikten sonra kalıbın yaka kısmı çıkarılarak fazlalık olan kısımlar metal bir araçla tıraşlanarak düzlenir ve sıkıştırılan numunenin ağırlığı ölçülür. Tartılan kalıp + yaş numune ağırlığından kalıp ağırlığı çıkarılarak $W_{\text{yaş}}$ ağırlığı bulunur. Bu ağırlık kalıp hacmine bölünerek zeminin doğal birim hacim ağırlığı (γ_n) hesaplanır.

$$\gamma_n = W_{(\text{yaş}+\text{kap})} - W_{\text{kap}} / V_{\text{kalıp}} \quad (5.3)$$

Kalıpla birlikte ağırlığı ölçülen numune Fotoğraf 5.6’da gösterilen cihaz yardımıyla proktor kalıbından çıkarılır ve bir parça alınarak su muhtevası hesaplanması için etüve konur. Daha önce bulunan γ_n değeri bulunan su muhtevası değerinin bir fazlasına bölünerek her bir su muhtevası değeri için kuru birim hacim ağırlık (γ_k) değeri bulunur.

$$\gamma_k = \gamma_n / (1 + w) \quad (5.4)$$

Su muhtevası için örnek alındıktan sonra kalan numune tekrar parçalanarak 4 nolu elekten geçecek duruma getirilir. Elenen numune üzerine belli miktar su katarak deney 4-5 defa tekrar edilir. Her deney sonucunda elde edilen “ γ_k ” ve “ w ” değerleri ile Şekil 5.6’da gösterilen grafik oluşturulur. Elde edilen grafiğe bakılarak eğrinin pik noktasındaki en iyi sıkışmayı veren w_{opt} ve γ_{kmaks} değerleri belirlenir (Şekil 5.6).



Şekil 5.6. Standart Proktor deney grafiği

5.3.6 Serbest Basınç Deneyi

Serbest Basınç deneyi TS- 1900-2 standardına uygun olarak yapılmıştır. Deney ince daneli zeminlerin, örselenmemiş veya sıkıştırılmış haldeki dayanımlarını ölçmek için kullanılır. Deney için kullanılacak etüvde kurutulmuş malzeme bir kap içerisine alınır. Malzeme maksimum sıkışmayı veren optimum su oranında homojen bir karışım oluşturana kadar iyice karıştırılır. Hazırlanan karışımdan belirlenen bir ağırlıkta tartılır. Daha sonra 3 tabaka halinde, 5 cm çapında ve 10 cm boyundaki özel tasarlanıp imal edilen deney aletine yerleştirilmek üzere tartılan malzeme 3 ayrı kaba aynı ağırlıkta bölünür (Fotoğraf 5.7). Fotoğraf 5.8’de, tek eksenli basınç deney için kullanılan tüm ekipmanlar gösterilmiştir.



Fotoğraf 5.7. 50 mm çapında 100 mm yüksekliğindeki çelik silindirik numune hazırlayıcı kalıp



Fotoğraf 5.8. Serbest basınç deney aşamaları

Bunlar silindirin ayrılan iki parçası, alt ve üst bilezik, silindir tablası, silindir yakası ve tokmaktır. Bu parçalar sökülerek her biri malzemenin yapışmadan çıkması için yağlanır. Yağlanan silindirin iki parçası alt ve üst bilezikleri takılarak silindir haline getirilir. Daha önce 3 kaba ayrılan zeminin ilk tabakası silindire dökülerek silindir boyunun 1/3' ünün dolması için tokmakla sıkıştırılır. İşlem sonrası tabakalar arası karışım sağlamak için alt tabakanın üzerine çentikler atılır. Her üç tabaka da sıkıştırıldıktan sonra yaka kısmı çıkarılarak artan kısım kıl testeresi ile kesilerek düzlenir. Daha sonra numune kalıptan Fotoğraf 5.8'de gösterilen makine yardımıyla çıkarılır. Çıkarılan numunenin ağırlığı 0,01 hassasiyetle tartılarak deney raporuna kaydedilir. Hazırlanan numune dayanımı belirlenmek üzere serbest basınç aletindeki presin alt tarafına ortalanarak konur. Daha sonra üst başlık numune üst yüzeyine rahatça ve tam değecek şekilde indirilir. Boy değişimini ölçen komparatör saati de deney aleti üzerine sabitlenir. Basıncı ve düşey deplasmanı ölçen komparatörler sıfırlandıktan sonra deney başlatılır. Deney, numunede kesin göçme (kırılma) elde edilene, en büyük dayanımın belirmediği yumuşak killerde ise % 20 birim boy kısalmasına kadar sürdürülür. Deney sonunda numuneden bir miktar alınarak su muhtevası için etüve konur. Okuma sonuçları uygun

bağıntılarda yerine konarak numunenin belli deplasmanlardaki normal gerilmeleri hesaplanır ve serbest basınç grafiği çizilir. Bu bağıntılar (5.5), (5.6) ve (5.7)' de verilmiştir. Deney sonunda maksimum gerilme değeri serbest basınç değeri (q_u) olarak alınır.

Numunede aksenal birim şekil değiştirme (ϵ) (%):

$$\epsilon = \frac{\Delta H}{H_0} \times 100 \quad (5.5)$$

Olup burada;

ΔH numunede ölçülen aksenal şekil değiştirme (mm), H_0 numunenin ilk boyu (mm) dir.

Düzeltilmiş alan (A_f) (cm^2) :

$$A_f = \frac{A_0}{1-\epsilon} \times 100 \quad (5.6)$$

Olup burada;

ϵ düşey yöndeki aksenal birim şekil değiştirmesi, A_0 numunenin deney başındaki kesit alanı (cm^2) dir.

Numunenin tek aksenli basınç mukavemeti (q_u) (kPa) :

$$q_u = \frac{P_f}{A_f} \quad (5.7)$$

Olup burada;

P_f göçmeyi sağlayan yük (kN) tür.

5.4 Katkı Malzemelerinin Kıvam Limitlerine Etkisi

Katkı malzemelerinin kıvam limitlerine etkisini araştırmak için Bentonit ve Kaolen killerine %5, %10, %20, %30 ve %50 oranlarında atıklar (KMT ve DMT) katılarak, stabilize edilmiş kil numuneleri oluşturulmuştur. Oluşturulan bu kil numunelerinin w_L (düşen koni yöntemi), w_P ve w_R (yaklaşık yöntem) değerlerini bulmak için kıvam limiti deneyleri yapılmış olup elde edilen sonuçlara göre plastisite indisi değerleri ve Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemine göre zemin türleri belirlenmiştir. Her iki kil numunesi için de elde edilen deney sonuçları Çizelge 5.4 ve Çizelge 5.5'de verilmiştir. Yapılan likit limit deneylerine ait detaylar bu EK-A1-A10'da, plastik limit deneylerine ait detaylar ise EK-A11-A14'te verilmiştir.

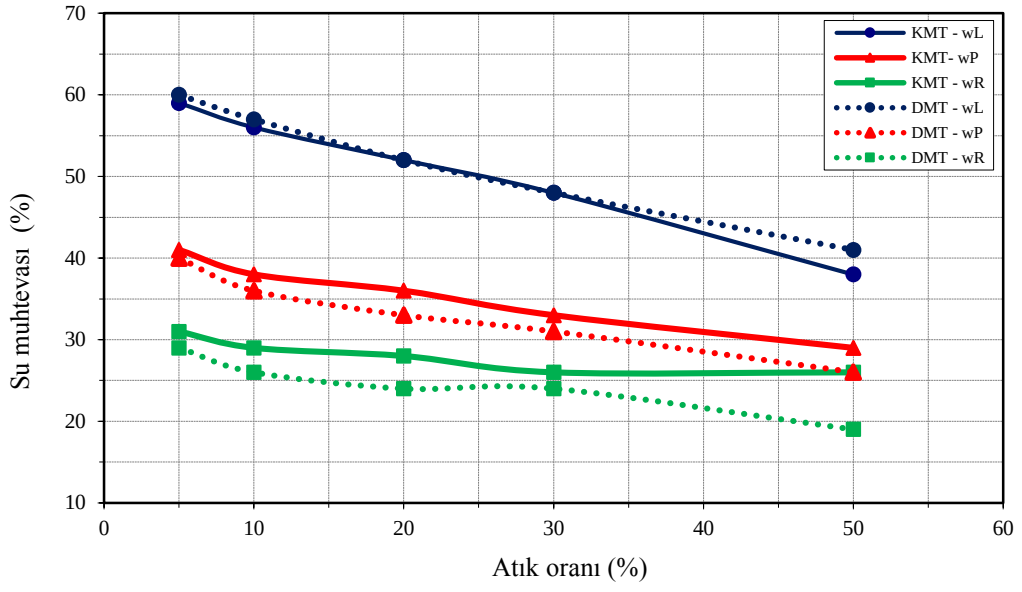
Çizelge 5.4. Kalsitik mermer tozunun (KMT) kıvam limitlerine etkisi

KMT (%)	Kaolen					Bentonit				
	WL (%)	WP (%)	WR (%)	IP (%)	ZEMİN CİNSİ	WL (%)	WP (%)	WR (%)	IP (%)	ZEMİN CİNSİ
0	65	44	32	21	MH	85	36	20	49	CH
5	59	41	31	18	MH	81	30	16	47	CH
10	56	38	29	18	MH	75	29	16	46	CH
20	52	36	28	16	MH	65	27	16	38	CH
30	48	33	26	15	ML	59	24	16	35	CH
50	38	29	26	9	ML	48	22	16	26	CL

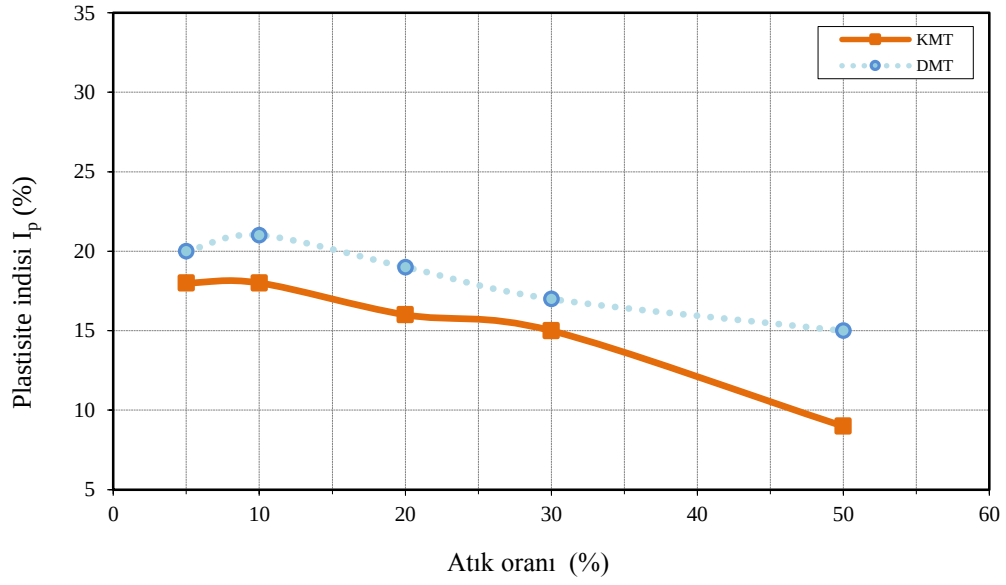
Çizelge 5.5. Dolomitik mermer tozunun (DMT) kıvam limitlerine etkisi

DMT (%)	Kaolen					Bentonit				
	WL (%)	WP (%)	WR (%)	IP (%)	ZEMİN CİNSİ	WL (%)	WP (%)	WR (%)	IP (%)	ZEMİN CİNSİ
0	65	44	32	21	MH	85	36	20	49	CH
5	60	40	29	20	MH	76	29	16	47	CH
10	57	36	26	21	MH	73	26	15	47	CH
20	52	33	24	19	MH	66	25	14	41	CH
30	48	31	24	17	ML	60	24	14	36	CH
50	41	26	19	15	ML	48	18	12	29	CL

Kil numuneleri içindeki mermer tozu atığı oranının artması ile likit limit (w_L), plastik limit (w_p), rötre limit (w_R) ve plastisite indisi (I_p) değerleri azalmaktadır (Şekil 5.7, Şekil 5.8). Atık toz türü etkisinin ise çok etkili olmadığı gözlenmiştir. Deney sonuçları incelendiğinde, iki atık tozunun kil numuneleri üzerindeki etkileri benzer bir eğilimde olduğu görülmektedir. Plastisite indisinin düşmesi, işlenebilirliğinin artmasına ve şişme potansiyelinin azalmasına neden olacaktır. Bu da stabilizasyonun uygunluğu anlamına gelmektedir.

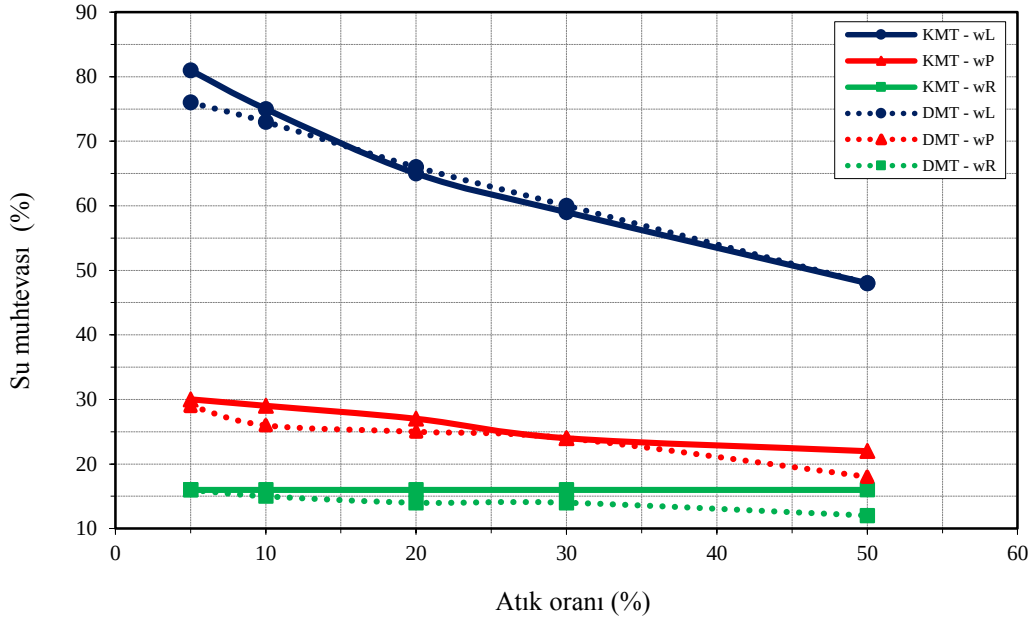


(a)

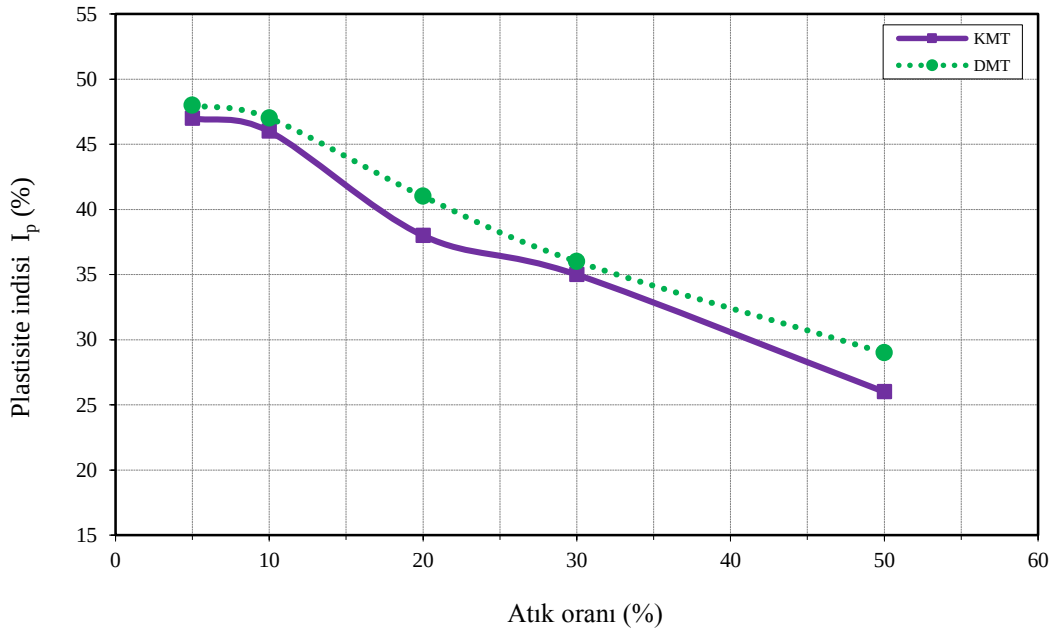


(b)

Şekil 5.7. Kaolen kiline eklenen atık oranlarının likit limit (w_L), plastik limit (w_P), rötre limit (w_R) ve plastisite indisi (I_p) değerleri üzerindeki etkisi

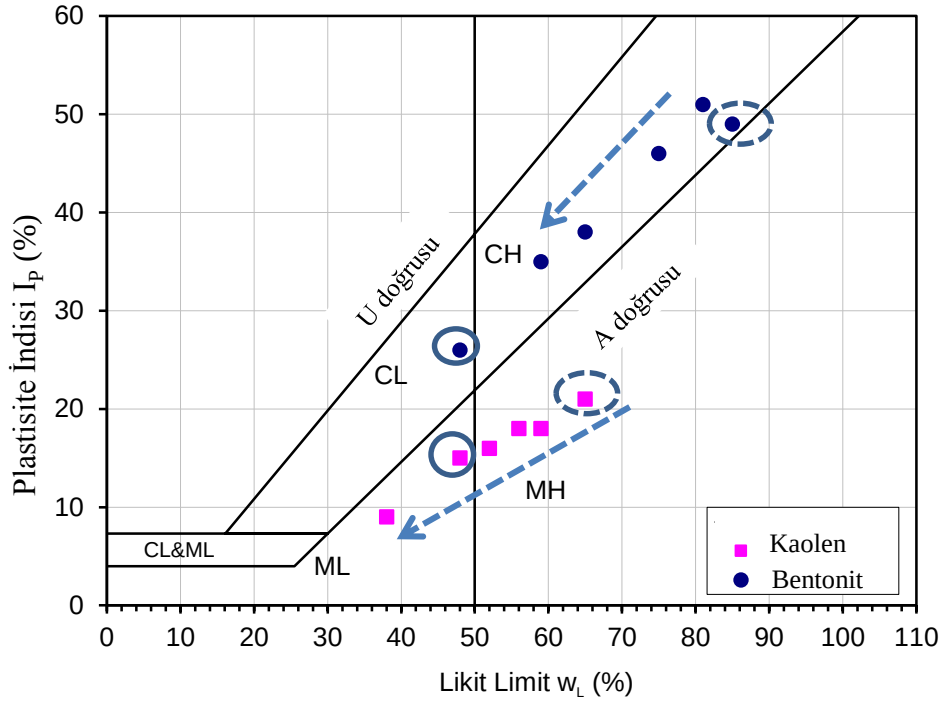


(a)

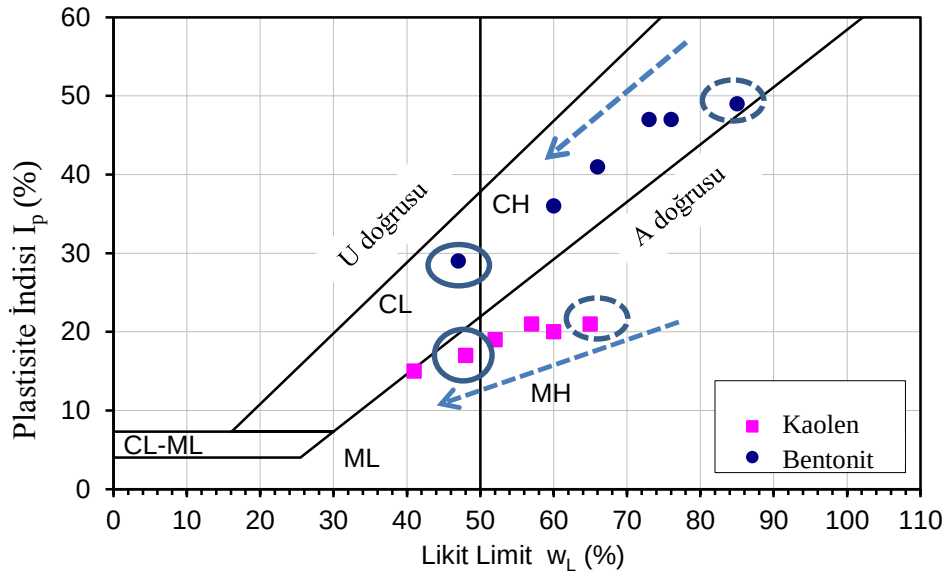


(b)

Şekil 5.8. Bentonit kiline eklenen atık oranlarının likit limit (w_L), plastik limit (w_P), rötre limit (w_R) ve plastisite indisi (I_p) değerleri üzerindeki etkisi



Şekil 5.9. Farklı oranlardaki KMT atığının zemin türü üzerindeki etkisi

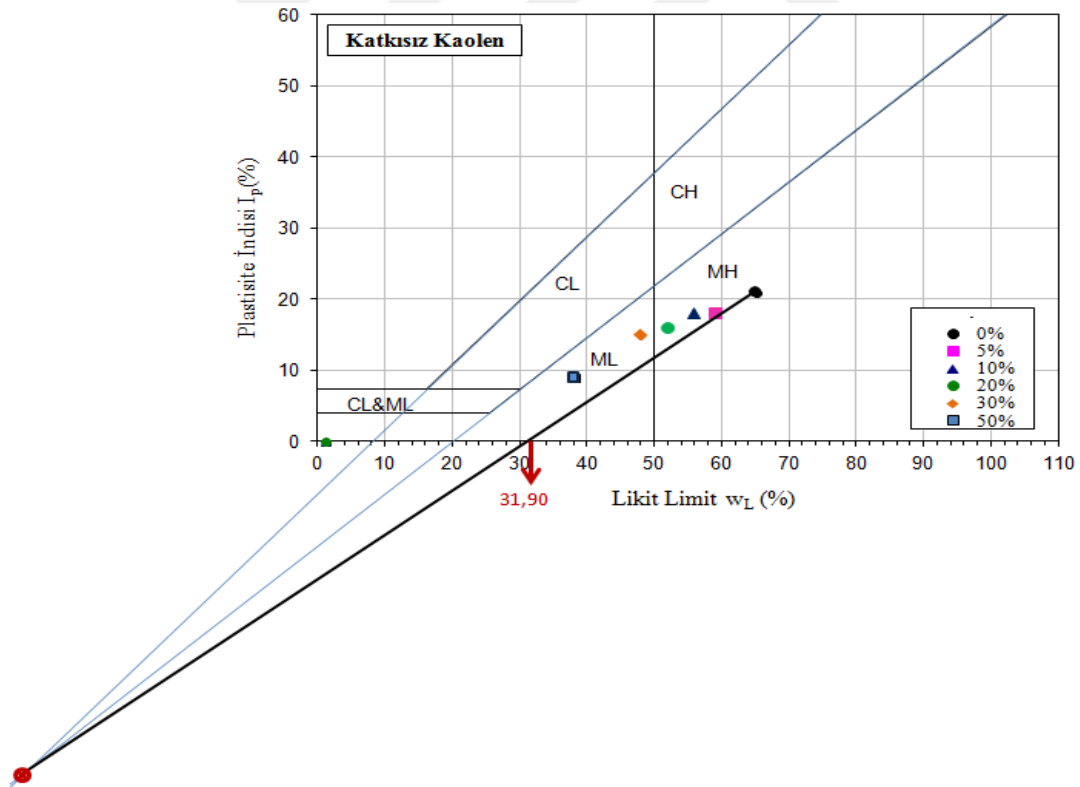


Şekil 5.10. Farklı oranlardaki DMT atığının zemin türü üzerindeki etkisi

Ayrıca farklı oranlarda ilave edilmiş mermer toz atıkları ile stabilize edilmiş numuneler plastisite kartında incelendiğinde, mermer toz atığı oranı arttıkça numunelerin USCS'ye göre zemin sınıfı değişmemekle birlikte plastisitelerinin azaldığı görülmüştür. Atık mermer tozlarının belli oranlarda Bentonite ilavesi ile CH, CL'ye, Kaolene ilavesiyle

MH ML'ye dönüştüğü gözlenmiştir. (Şekil 5.9 ve Şekil 5.10). Pekdemir (2013), yaptığı tez çalışmasında katkısız kil numunelere katılan kırmızı çamur, silis dumanı ve kirecin katkısız kilin likit limit değerini azaltıp plastik limit değerini artırarak plastisite indisini düşürmesinden dolayı katkısız kilin USCS'ye göre yüksek plastisiteli kil (CH) olan zemin sınıfını, yüksek plastisiteli silt (MH) olarak değiştirdiğini göstermiştir. Deney sonucu literatür ile benzerlik göstermektedir.

Şekil 5.11'de kaolen kilinin rötre limitinin (w_R) yaklaşık yöntem ile plastisite kartından nasıl bulunduğu gösterilmiştir. Bunun için A ve U hattı uzantıları birleştirilmiş daha sonra birleştirilen noktadan rötresi bulunmak istenen noktaya bir doğru çizilerek bu doğrunun x eksenini kestiği nokta rötre limit değeri olarak alınmıştır. % 5, % 10, %20, % 30 ve % 50 oranlarında katkı malzemesi kullanılarak oluşturulan kil numunelerine ait rötre limit değerleri de aynı şekilde bulunmuştur. Rötre limitlerinin bulunmasına ait detaylar EK-A15-A25'te verilmiştir.



Şekil 5.11. Rötrelimitinin(w_R) yaklaşık yöntem ile belirlenmesi

5.5 Katkı Malzemelerinin Tek Eksenli Basınç Mukavemeti (q_u) Üzerindeki Etkisi

İkinci seri deneylerin ilk kısmını oluşturan bu kısımda; katkı malzemelerinin anlık tek eksenli basınç dayanım (q_u) değerlerine etkisi etkisini araştırmak için Kaolen ve Bentonit kil numunelerine %0, %5, %10, %20, %30 ve %50 oranlarında KMT ve DMT katkıları karıştırılarak kil numuneleri oluşturulmuştur. Bunun için Fotoğraf 5.7’de gösterilen 50 mm çapında, 100 mm yüksekliğinde tasarlanan yarık silindirik çelik tüp ve numune hazırlayıcı set kullanılmıştır.

Oluşturulan numuneler Fotoğraf 5.9’da gösterilmiştir. Belirlenen oranlarda katkı katılarak oluşturulmuş kil numuneleri 1.00 mm/dk hız ile yüklenerek kırılma işlemine tabi tutulmuştur (Fotoğraf 5.10).

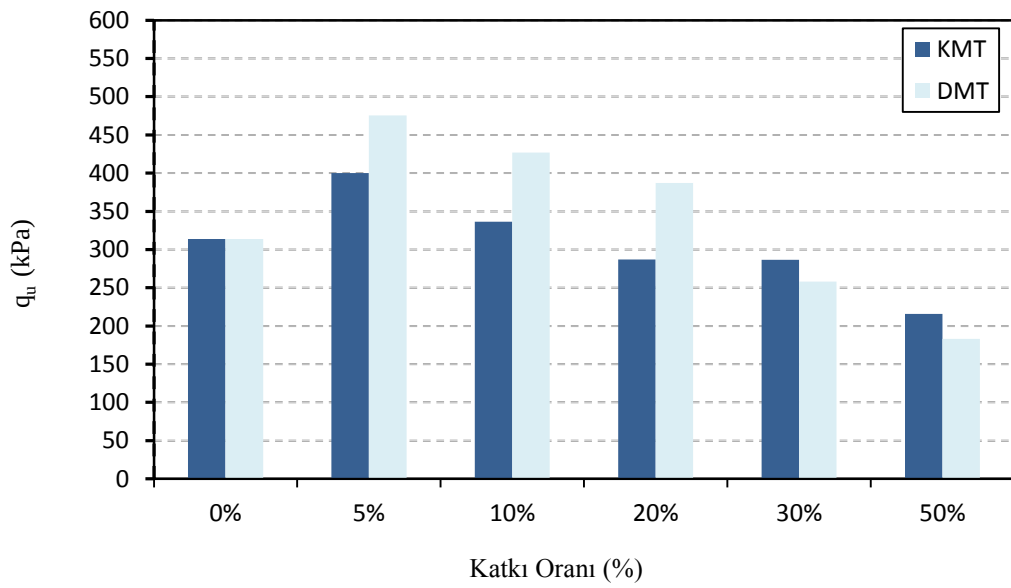


Fotoğraf 5.9. Tek eksenli basınç deneyi numuneleri



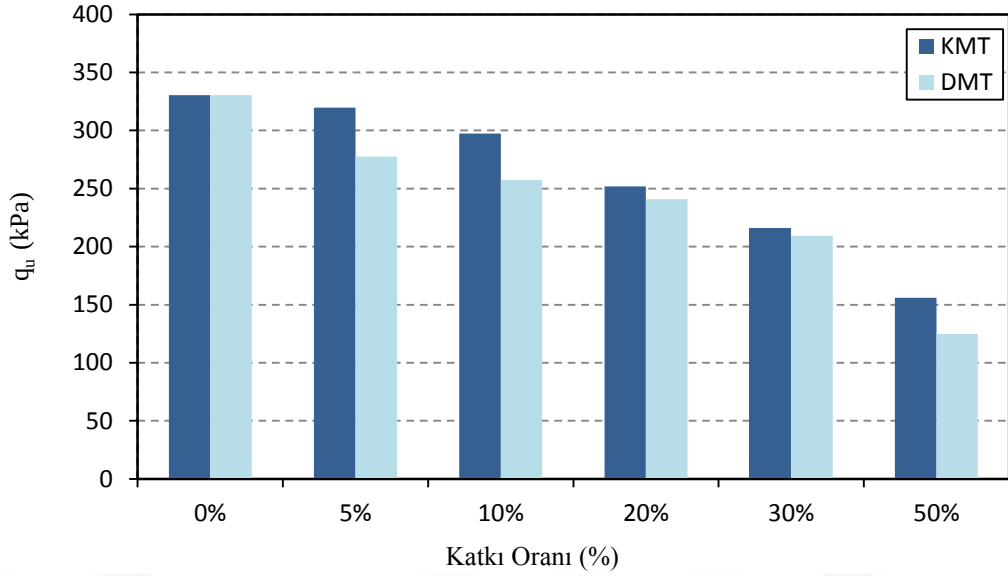
Fotoğraf 5.10. Tek eksenli basınç deneylerinin gerçekleştirilmesi

Deney sonuçları incelendiği zaman kaolen ve bentonit killерinin atık malzemesi oranlarının artması ile bir kısım farklı davranış sergilediği görölmektedir. Kaolen kilinin, her iki mermer toz atığı stabilizasyonu ile benzer şekilde davrandığı görölmektedir (Şekil 5.12). Her iki katkı malzemesinin %5 oranında dayanıma önemli derecede katkı sağladığı tespit edilmiştir. Katkı malzemesi oranının %5'ten daha fazla olması durumunda ise, tek eksenli basınç dayanımının azaldığı görölmekle birlikte DMT ile stabilize edildiğinde %30 oranına ve KMT ile stabilize edildiğinde ise %20 oranına kadar olumlu etkisi olduğu görölmüştür.



Şekil 5.12. Kaolen kiline ilave edilen katkı oranlarının anlık tek eksenli basınç dayanımına (q_u) etkisi

Bentonit kilinin, her iki mermer toz atığı stabilizasyonu ile benzer şekilde davrandığı görölmektedir (Şekil 5.13). Katkı ilave etmeksizin elde edilen tek eksenli basınç dayanımının en yüksek değere sahip olduğu görölmektedir. Mermer tozu ilavesinin dayanımı düşürdüğü görölmektedir.



Şekil 5.13. Bentonit kiline ilave edilen katkı oranlarının anlık tek eksenli basınç dayanımına (q_u) etkisi

Erol (2007), uçucu kül ve çimento katkılı numuneler üzerinde yaptığı tek eksenli basınç deneyi sonucunda artan kür sürelerine bağlı olarak dayanımda artışların olduğunu göstermiştir. Elde ettiğimiz sonuçlarda KMT her iki kil türü içinde literatürle benzerlik göstermiş olup DMT katkısı kullanılan numunelerde farklılıklar göstermiştir. Bu farklılıkların kil numunelerinin tamamen saf olmaması ve içerisinde farklı mineralleri barındırmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

5.6 Kür Sürelerinin Tek Eksenli Basınç Mukavemeti (q_u) Üzerindeki Etkisi

Mermer tozu atığı stabilizasyonunun, zamana bağlı etkisini incelemek için hazırlanan katkısız ve katkılı kil numuneleri çeşitli kür sürelerine bırakılmıştır. Bu kür süreleri yedi gün, bir ay ve iki ay olup, elde edilen sonuçlar farklı başlıklar altında sunulmuştur.

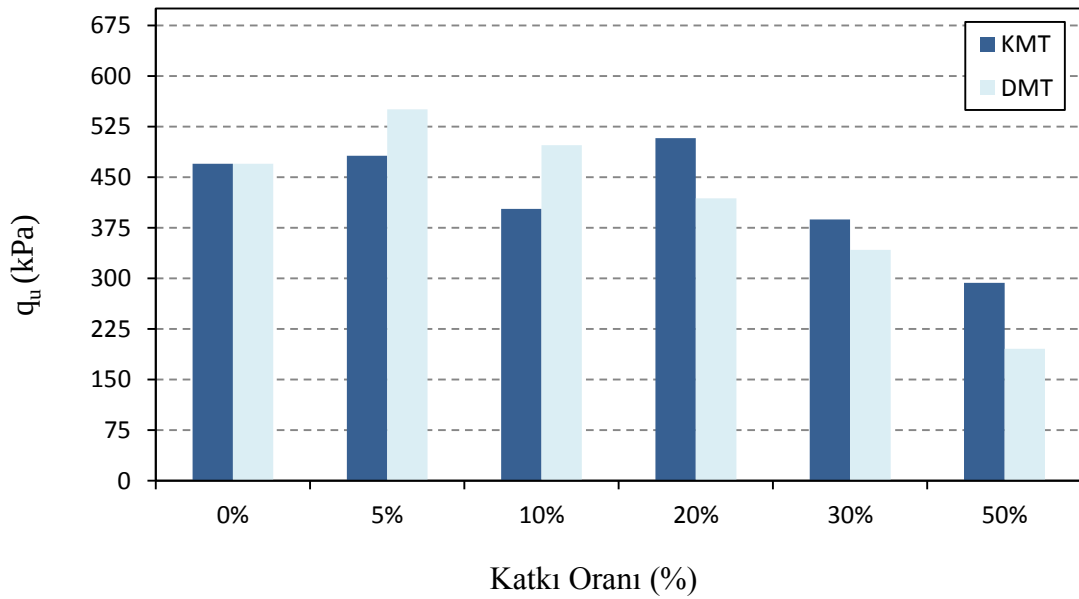
5.6.1 Yedi günlük kür sonundaki tek eksenli basınç mukavemeti (q_u) değerleri

Mermer tozu atığı stabilizasyonunun, zamana bağlı etkisini incelemek için hazırlanan katkılı kil numuneleri ilk etapta yedi günlük kür süresine bırakılmıştır. Bu serideki numuneler anlık deneylerde olduğu gibi hazırlanarak, nemli ortamda desikatörde bekletilmiştir (Fotoğraf 5.11).



Fotoğraf 5.11. Küre bırakılan serbest basınç numuneleri

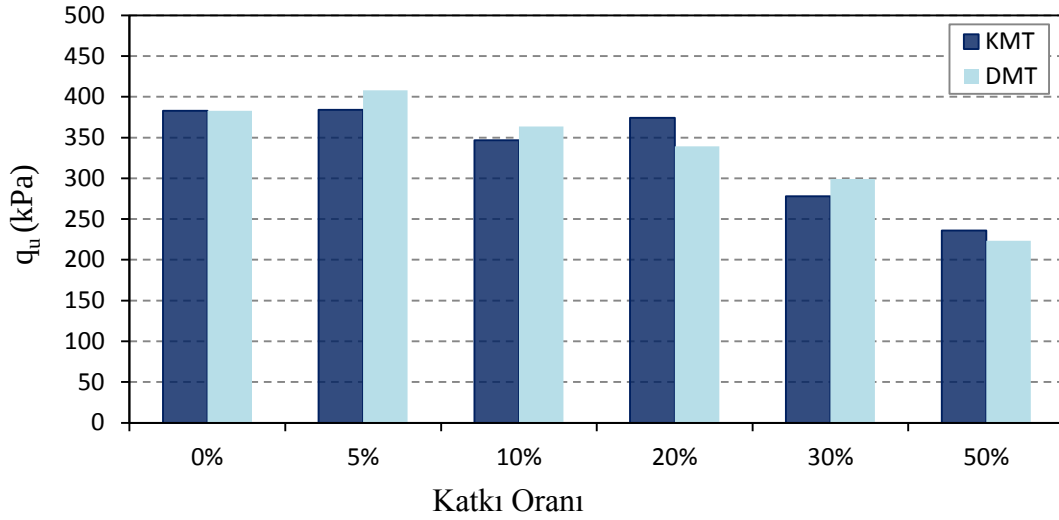
Kür süresi tamamlandıktan sonra, tek eksenli basınç deneyi sonucunda elde edilen tek eksenli basınç dayanımının katkı oranlarına bağlı olarak değişimi incelenmiştir (Şekil 5.14 ve Şekil 5.15).



Şekil 5.14. Kaolen kiline ilave edilen katkı oranlarının yedi günlük kür sonucu tek eksenli basınç dayanımına (q_u) etkisi

Yedi günlük kür süresi sonunda kaolen ve bentonit kilinin DMT atığı ile stabilizasyonu sonucu elde edilen dayanım değişimi anlık deneylerdeki ile aynı eğilim göstermektedir. Kaolen ve bentonit kilinin KMT ile stabilizasyon sonucunda elde edilen dayanım değişiminin ise anlık deneylerdeki ile benzer eğilimde olmadığı görülmektedir. Yedi

günlük kür süresi sonunda %10 oranlarına kadar dayanımın düştüğü, %20 oranında ise belirgin bir artışın olduğu ve dayanımın tekrar düştüğü görülmektedir (Şekil 5.14, Şekil 5.15).

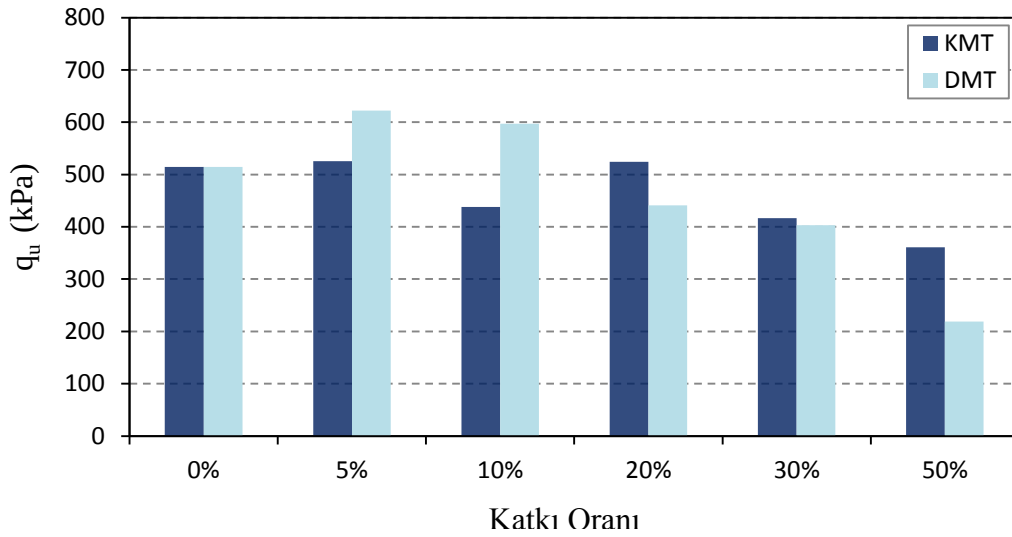


Şekil 5.15. Bentonit kiline ilave edilen katkı oranlarının yedi günlük kür sonucu tek eksenli basınç dayanımına (q_u) etkisi

5.6.2 Bir aylık kür sonundaki tek eksenli basınç mukavemeti (q_u) değerleri

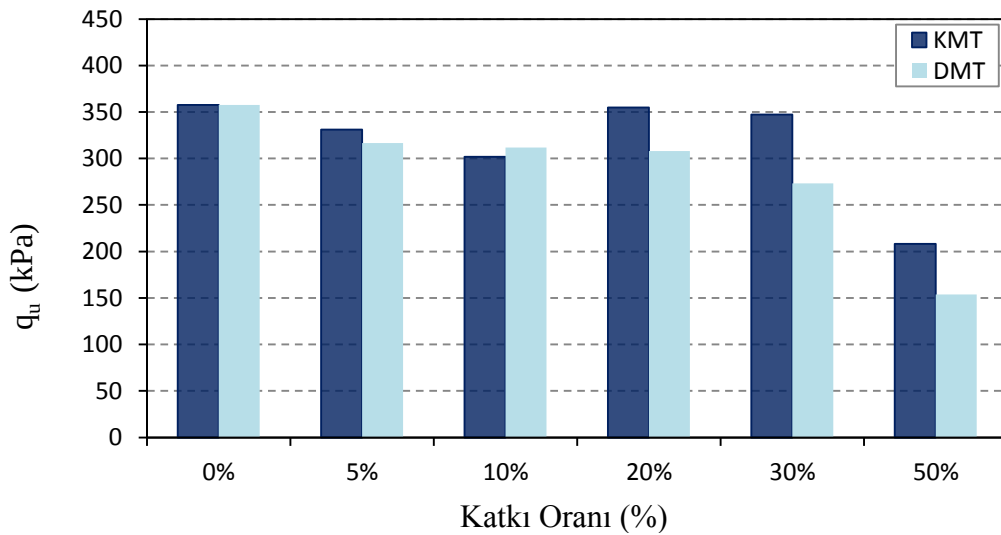
Atık stabilizasyonun zamana bağlı etkisinin incelendiği ikinci seri deneylerde katkısız ve katkılı kil numuneleri bir aylık kür süresine bırakılmıştır. Bu seride hazırlanan numuneler desikatörde bir ay bekletilmiş ve tek eksenli basınç deneyleri gerçekleştirilmiştir.

DMT ile stabilize edilen kaolen kilinin bir ay kür süresi sonucunda elde edilen dayanım değişimi, anlık ve yedi günlük küre bırakılan malzeme dayanım değişimi ile aynı eğilim göstermektedir. %5 katkı oranında hazırlanan karışım en yüksek dayanımı gösterirken, sonraki oranlarda dayanımda azalmalar görülmektedir. Kalsitik mermer tozu ile stabilize edilen kaolen kilinin bir ay kür süresi sonucunda elde edilen dayanım değişimi, yedi günlük küre bırakılan malzeme dayanım değişimi ile aynı eğilim göstermektedir (Şekil 5.16).



Şekil 5.16. Kaolen kiline ilave edilen katkı oranlarının bir aylık kür sonucu tek eksenli basınç dayanımına (q_u) etkisi

KMT ile stabilize edilen bentonit kilinin bir ay kür süresi sonucunda elde edilen dayanım değişimi, yedi günlük küre bırakılan malzeme dayanım değişimi ile aynı eğilim göstermektedir. Dayanım değeri, %10 katkı oranında düşmektedir, %20 oranında artış gösterip, artan katkı oranlarında dayanım tekrar düşmektedir. DMT ile stabilize edilen bentonit kilinin bir ay kür süresi sonucunda elde edilen dayanım değişimi anlık dayanım değişime benzer olup, yedi günlük dayanım değeri değerlerinden farklıdır. Dayanım değeri artan katkı oranlarında azalma göstermektedir (Şekil 5.17).

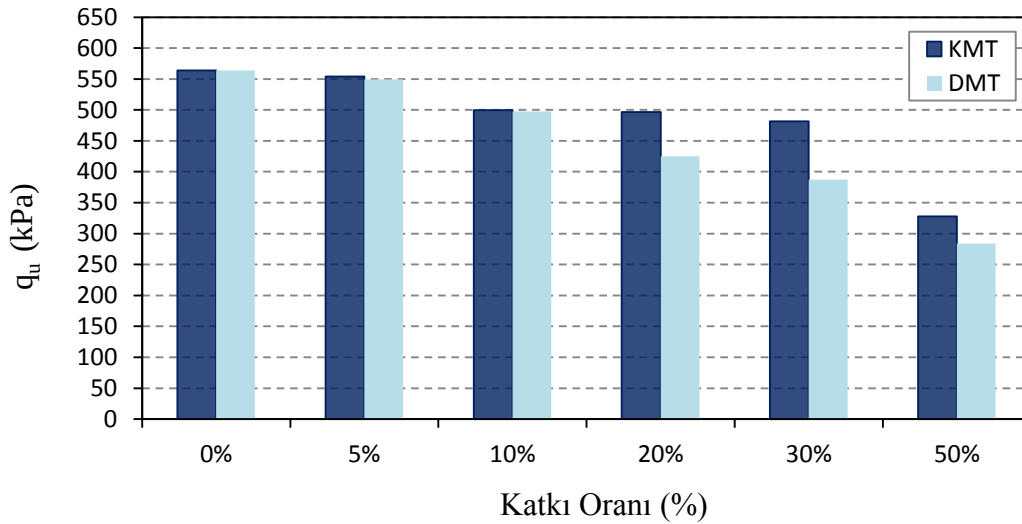


Şekil 5.17. Bentonit kiline ilave edilen katkı oranlarının bir aylık kür sonucu tek eksenli basınç dayanımına (q_u) etkisi

5.6.3 İki aylık kür sonundaki tek eksenli basınç mukavemeti (q_u) değerleri

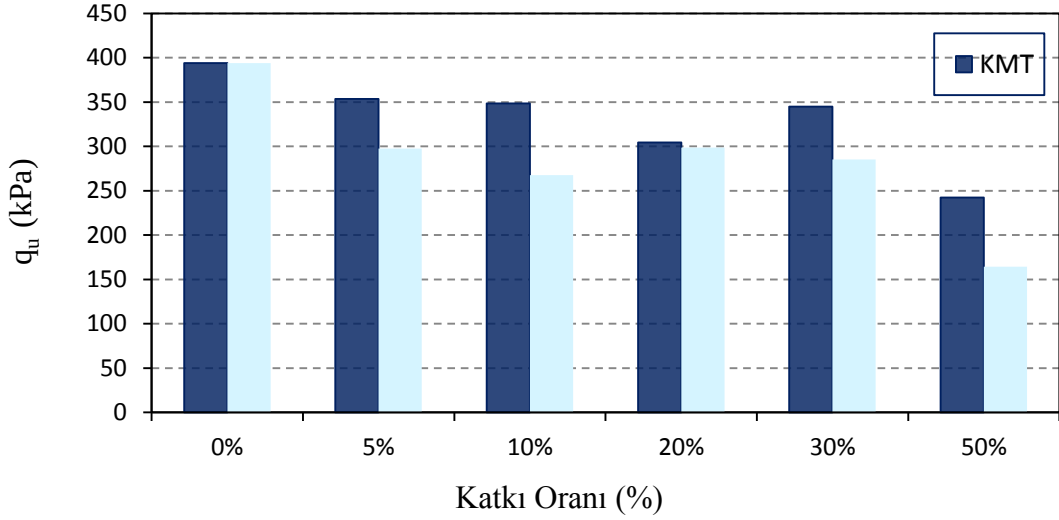
Atık stabilizasyonun zamana bağlı etkisinin incelendiği üçüncü seri deneylerde, katkısız ve katkılı kil numuneleri iki aylık kür süresine bırakılmıştır. Seride kullanılan numuneler, önceki serilerde kullanılan numuneler gibi hazırlanmış ve aynı şekilde küre tabi tutulmuştur.

Öncelikle, KMT ve DMT atıklarının kaolen kilindeki performansı değerlendirilmiştir (Şekil 5.18). Her iki atığın artan oranları ile dayanımı azalttığı görülmektedir. Bu durum iki aylık süresi için, atık malzeme oranının artmasının dayanım artışına katkı sağlaması yerine olumsuz bir etkiye neden olduğu şeklinde yorumlanabilir.



Şekil 5.18. Kaolen kiline ilave edilen katkı oranlarının iki aylık kür sonucu tek eksenli basınç dayanımına (q_u) etkisi

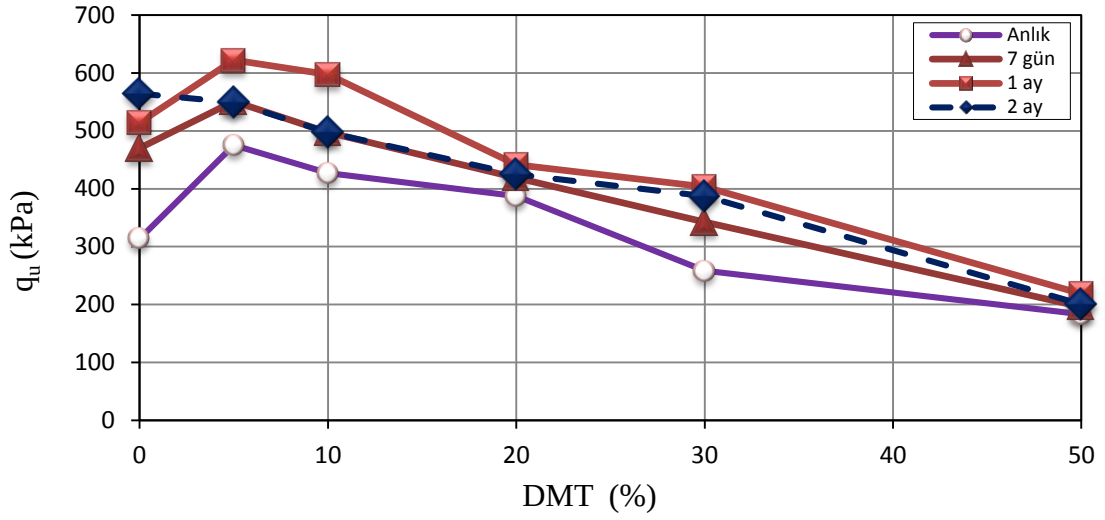
İkinci olarak, KMT ve DMT atıklarının bentonit kilinin dayanımına etkisi değerlendirilmiştir. KMT atığının %30 oranına kadar dayanımı azalttığı, %30 oranında çarpıcı bir şekilde arttırıp, sonraki oranda ise yeniden düşüşe neden olduğu görülmektedir. DMT atığı da KMT'ye benzer bir eğilim göstermiştir. Ancak, atık oranı %20'ye kadar dayanım düşmüş, %20'de artış gösterip, sonraki oranda (%50) radikal bir düşüşe neden olmuştur (Şekil 5.19).



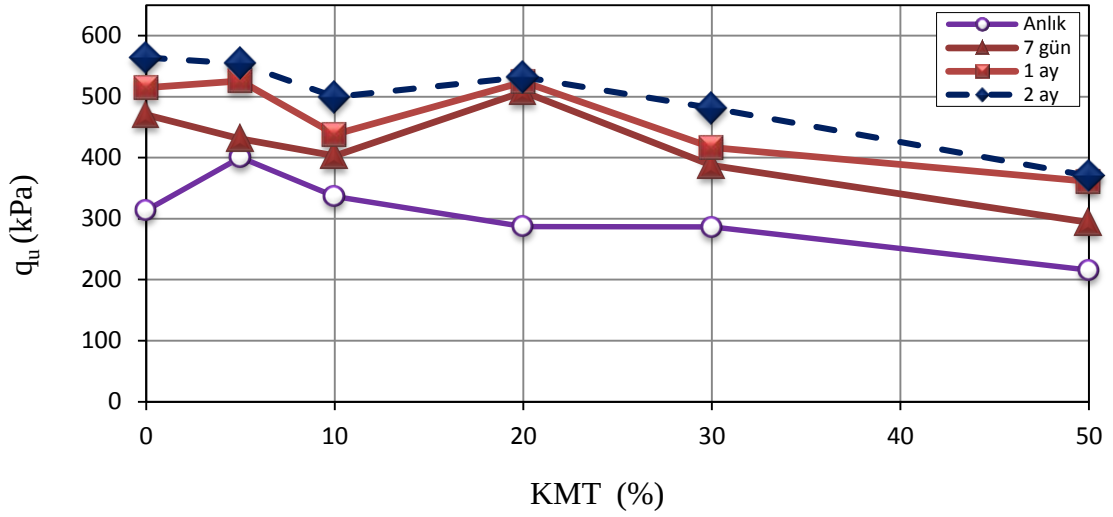
Şekil 5.19. Bentonit kiline ilave edilen katkı oranlarının iki aylık kür sonucu tek eksenli basınç dayanımına (q_u) etkisi

5.6.4 Kür süresi etkilerinin karşılaştırılması

Mermer tozu atığı stabilizasyonunun tek eksenli basınç dayanımına etkisinin anlık ve zamana bağlı etkisini incelemek için dört seri deney yapılmıştır. Bu sonuçlar önceki bölümlerde detaylı olarak verilmiştir. Bu etkilerin kendi uyumlarını görmek için deney sonuçları birlikte değerlendirilmiştir (Şekil 5.20, Şekil 5.21, Şekil 5.22 ve Şekil 5.23). Deney eğrileri incelendiği zaman, kaolen kilinde DMT atığının dört seri deneyde de benzer eğilim gösterdiği, KMT atığında ise bazı farklılıkların olduğu görülmektedir. DMT atığının bentonit kilinde de benzer şekilde davrandığı, artan katkı oranlarında dayanımının düştüğü görülmüştür. KMT atığının da bentonitin dayanımında düzenli bir değişime neden olmadığı görülmüştür. Bununla birlikte, kür süresi arttıkça tek eksenli basınç mukavemetinin arttığı açıktır.

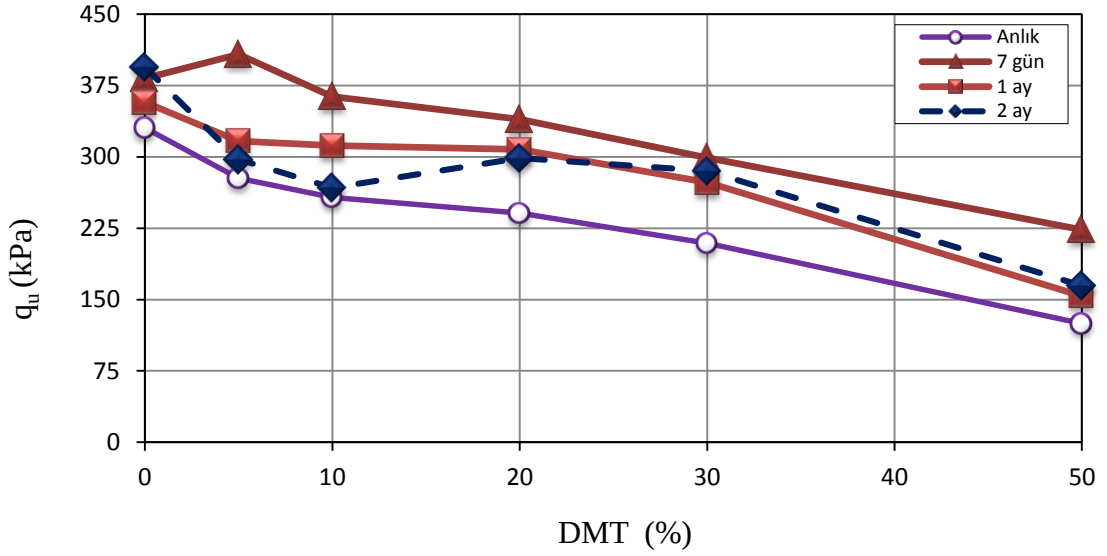


Şekil 5.20. Kaolen kilinin DMT ile stabilizasyonunda kür süresinin q_u üzerindeki etkisi

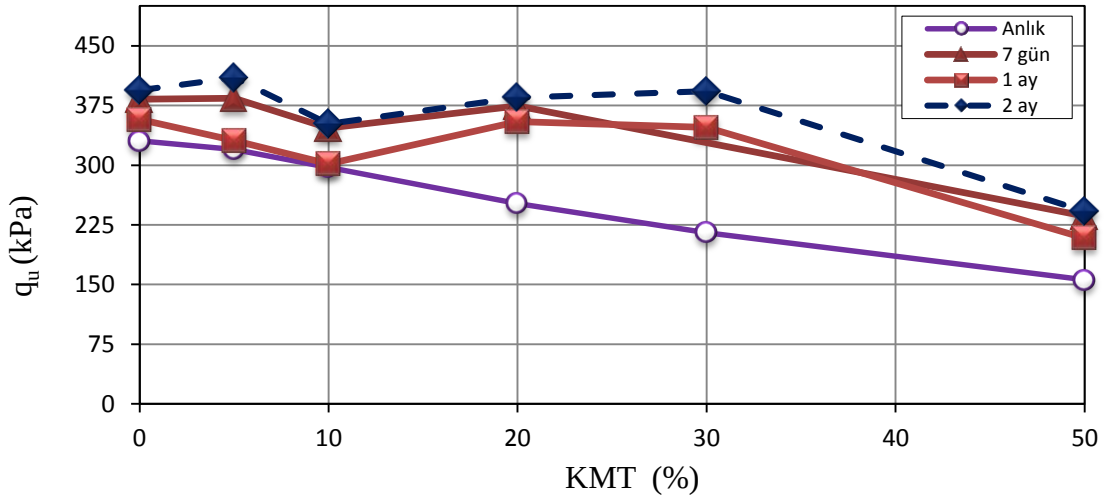


Şekil 5.21. Kaolen kilinin KMT ile stabilizasyonunda kür süresinin q_u üzerindeki etkisi

Kaolene DMT atığı ilave edildiğinde kür süresinin 1 aylık kür süresine kadar olumlu etki yaptığı ve dayanımı atığı görülmüştür. Fakat 2 aylık kür süresi numunelerin tek eksenli basınç mukavemetinde düşüşe neden olmuştur. KMT atığı ilavesinde ise artan kür süresinin dayanımı artırdığı görülmüştür.



Şekil 5.22. Bentonit kilinin DMT ile stabilizasyonunda kür süresinin q_u üzerindeki etkisi



Şekil 5.23. Bentonit kilinin KMT ile stabilizasyonunda kür süresinin q_u üzerindeki etkisi

Bentonitte ise atık türü fark etmeksizin dayanımın en fazla 7 günlük kür süresine kadar arttığı ve bundan daha fazla kürün dayanım üzerinde olumsuz etki yaptığı görülmüştür. Kür süresi boyunca herhangi bir çevresel zorlamaya maruz kalmayan deney numunelerinin uzun vadede şişerek dayanım kaybettiğini ve bu yüzden fazla kürün tek eksenli basınç mukavemeti üzerinde olumsuz etki yaptığını söyleyebiliriz.

Nasirpur (2014), ise yaptığı çalışmada kireç ve portland çimentosunu katkı malzemesi olarak kullanarak hazırladığı numuneleri küre bırakarak tek eksenli basınç

mukavemetlerini incelemiştir. Sonuçlar kür süresinin kısa vadede artmasına karşın uzun vadede dayanımı azalttığını göstermiştir. Bu sonuç her iki kil türünde DMT ile yapılan stabilizasyonla benzerlik göstermektedir. Aytekin vd. (2009), yaptıkları çalışmada Trabzon ilinden sarı, kahverengi ve kırmızı renkli zeminler alarak çimento ve kireç katkılarıyla stabilize etmişlerdir. Sonuçlara göre, basınç dayanımındaki artışın kireç için belli bir katkı oranının (%15) üzerinde olması halinde etkili olmadığı, artan kireç katkısıyla dayanımın düştüğü görülmüştür. Çimentoda bu etkinin tam tersi olduğu söylenmiştir. Bu da katkı türü, oranı ve malzemenin saflığının sonuçlar üzerinde etkili olduğunu göstermektedir. Kalay (2010), çalışmasında kil zemin üzerine mermer tozu ve kireç atık malzemelerinin farklı oranlarda karışımları ile deneyler yapmış ve diğer katkı oranları sabit tutup mermer tozu etkisini araştırdığında mermer tozu atığının %5 seviyesine kadar dayanım gösterip fazla atık oranlarında dayanım kaybettiğini göstermiştir. Alişer (2013), cam elyaf ve mermer tozu katkıları kullanılarak oluşturduğu harçlarda basınç dayanımının %40 oranına kadar artış sağlarken %50 oranında dayanımda azalmalar meydana gelmiştir. Sülfat çözeltisi içindeki numuneler incelendiğinde mermer tozunun boşlukları doldurarak sülfat zararını azalttığı gözlenmiştir.

5.7 Donma Çözülme ve Malzeme Kaybının Tek Eksenli Basınç Üzerindeki Etkisi

Donma çözülme çevrimlerinin serbest basınç değerleri üzerindeki etkisini incelemek amacıyla her iki kil numunesi için belirlenen %0, %5 ve %50 oranlarında KMT ve DMT atıkları kullanılarak numuneler hazırlanmıştır (Şekil 5.24). Hazırlanan numunelerin donma-çözülme öncesi ağırlıkları (M_1) ve donma ağırlıkları (M_2) tartılmıştır. Daha sonra $(M_1 - M_2)/M_1 \times 100$ formülü yardımıyla numunelere ait malzeme kayıp oranları bulunmuştur (Çizelge 5.6).

Çizelge 5.6. KMT ve DMT ile stabilize edilmiş numunelerin donma - çözülme öncesi ve sonrası malzeme kayıpları (%)

		1. Ç		3. Ç		5. Ç		7. Ç		11. Ç	
		KMT	DMT	KMT	DMT	KMT	DMT	KMT	DMT	KMT	DMT
K	0%	6	7	18	18	20	20	27	27	25	25
	5%	5	6	17	15	20	18	24	25	25	24
	50%	4	5	12	13	15	14	17	18	16	17

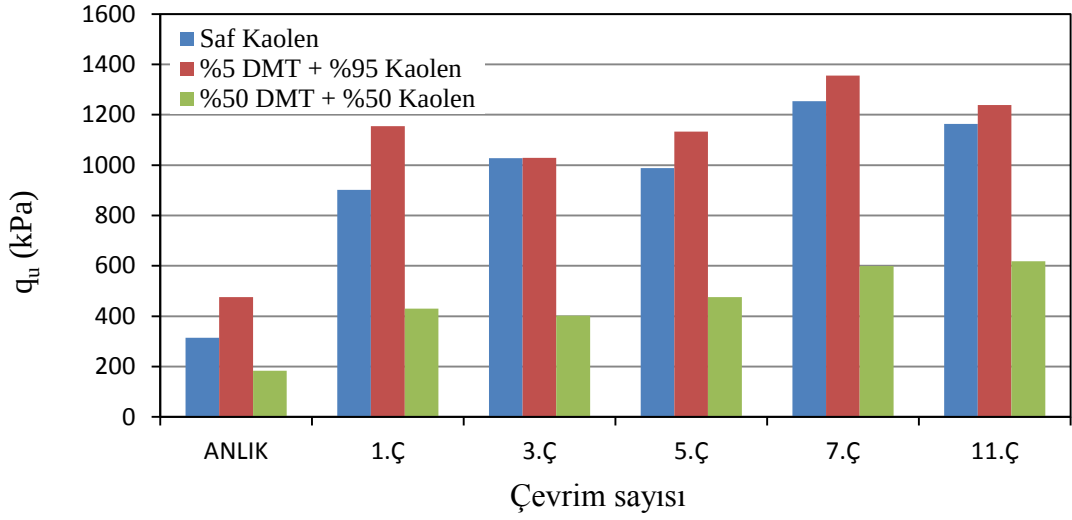
B	0%	6	6	10	9	11	11	15	15	14	14
	5%	5	5	9	9	10	11	14	14	13	13
	50%	4	4	8	8	9	9	13	12	12	11

Çizege 5.6 incelendiğinde malzeme kayıp oranlarındaki artışın çevrim sayılarıyla orantılı olarak arttığı görülmüştür. Genel anlamda her iki kil ve atık türü içinde en düşük değerlerin %50 ve en yüksek değerlerin ise katkısız numunelerde olduğu görülmektedir. Bu durum fazla katkı miktarının, numuneler üzerinde daha gevşek bir yapı oluşturarak, donma çözülme çevrimlerinde katkısız ve %5 ilaveli numunelere göre daha az hasar almalarına neden olmuştur. Gücek (2011), mermer tozu ve uçucu kül atıklarını kullandığı çalışmasında artan katkı oranının malzeme kaybına karşı dayanımı artırarak dayanımı azalttığını göstermiştir. Bu bakımdan sonuçlar literatürle paralellik göstermektedir.

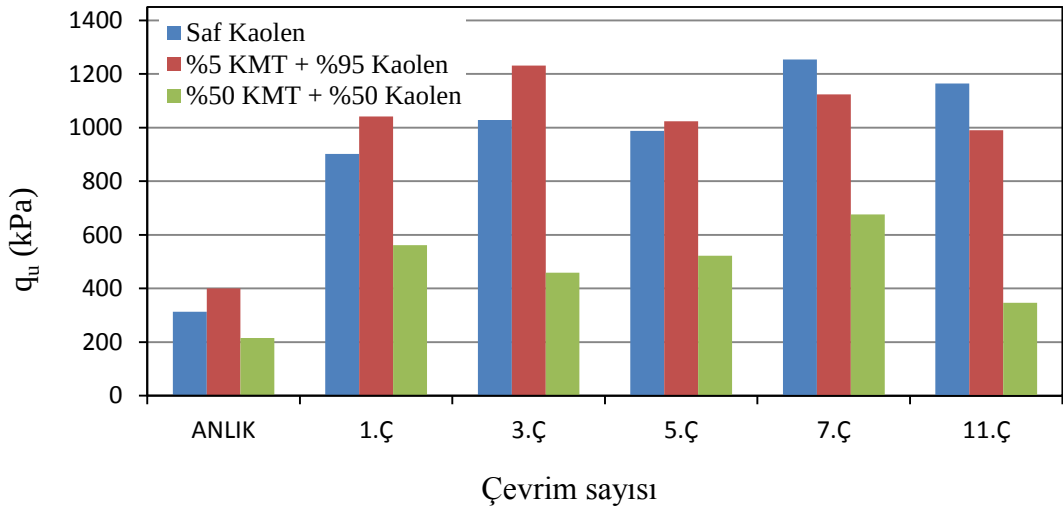


Şekil 5.24. Çevrim için hazırlanan numuneler

Hazırlanan numuneler (Şekil 5.24) 1.Ç, 3.Ç, 5.Ç, 7.Ç ve 11.Ç olmak üzere 5 adet çevrime tabi tutulmuştur. 6 saat +20 °C ve 6 saat -20 °C sıcaklıklarda bekletilmesi işlemi 1 çevrim olmak üzere gerçekleştirilen tüm çevrimler sonucundaki deney sonuçları Şekil 5.25, 5.26, 5.27, 5.28’ de gösterilmiştir.

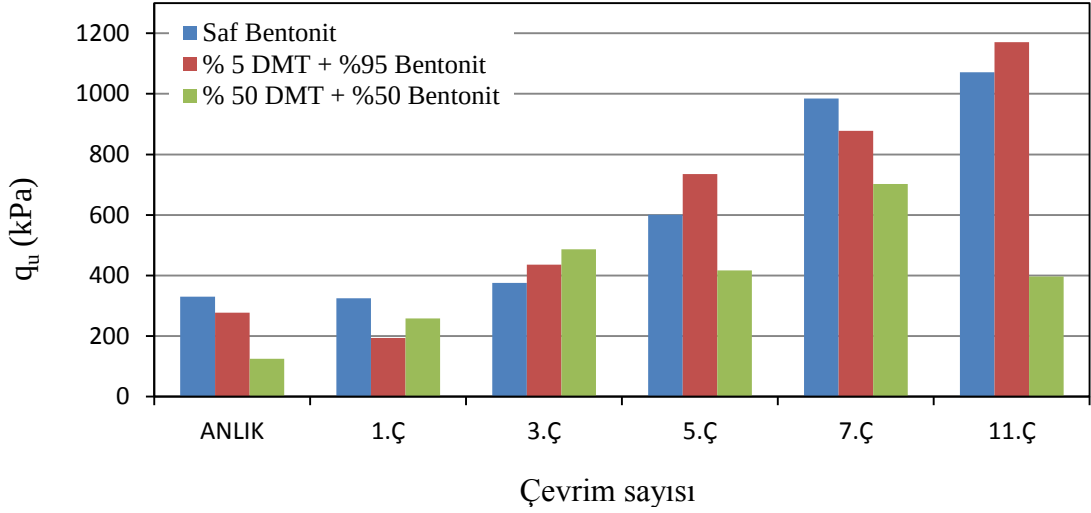


Şekil 5.25. DMT ile stabilize edilmiş kaolen kilinde çevrim sayısının q_u üzerindeki etkisi

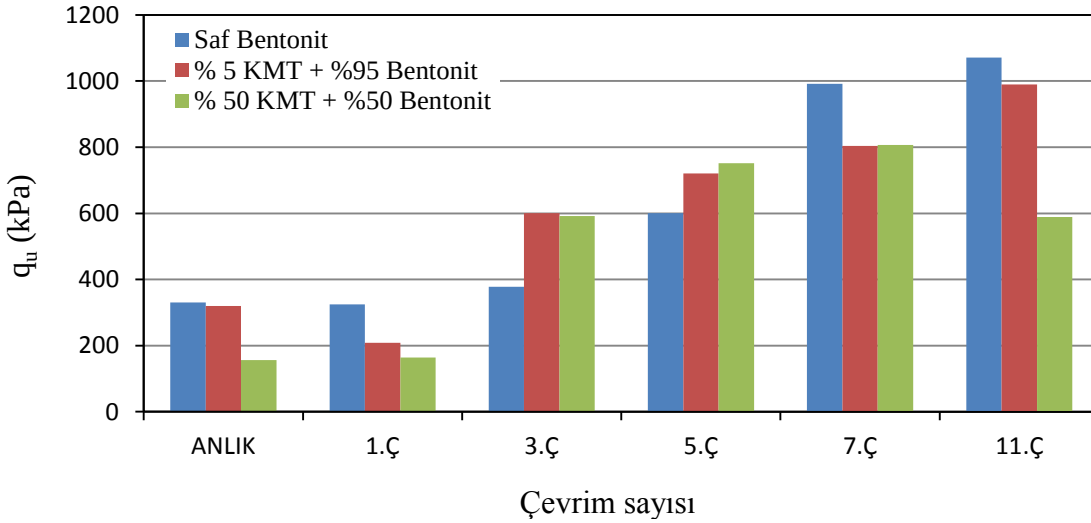


Şekil 5.26. KMT ile stabilize edilmiş kaolen kilinde çevrim sayısının q_u üzerindeki etkisi

Deney sonuçları incelendiğinde, Kaolen kiline %50 oranında KMT ve DMT atıkları katıldığında artan çevrim sayılarıyla birlikte mukavemette de artışlar görülmüştür. Her ne kadar mukavemet artışlarında bir dalgalanma gözükse de genel olarak sonuçlarda artışlar meydana gelmiştir. Mukavemet değerlerindeki bu dalgalanmanın kullanılan bentonit veya kaolen malzemelerinin tamamen saf olmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Malzemelerin kimyasal analiz sonuçlarında Sanidin mineralinin varlığı da bu görüşü desteklemektedir.



Şekil 5.27. DMT ile stabilize edilmiş bentonit kilinde çevrim sayısının q_u üzerindeki etkisi



Şekil 5.28. KMT ile stabilize edilmiş bentonit kilinde çevrim sayısının q_u üzerindeki etkisi

Bentonit kili için sonuçlar kaolenle benzerlik gösterip artan çevrim sayılarıyla mukavemette artışlar görülmüştür. Alper (2007), uçucu kül ve çimento katkılarıyla yaptığı çalışmada en büyük mukavemet kayıplarının katkısız numunelerde olduğunu ve artan çevrim sayılarıyla birlikte mukavemette azalmaların olduğunu göstermiştir. Nasirpur (2014), kireç ve portland çimentosunu katkı malzemesi olarak kullanarak hazırladığı numuneler donma-çözülme işlemine tabi tutmuş ve elde ettiği sonuçlara göre mukavemet değerlerinde azalmalar gözlemlemiştir fakat oranların %3-10 aralığında olması sebebiyle zemin stabilizasyonunda kullanılabileceği sonucuna varmıştır. Zimoğlu ve ark. (2013), Erzurum Oltu yöresinden aldıkları kil zemin üzerinde yaptıkları

donma çözölme deneylerinde, donma-çözölme süresince, boşluklardaki suyun buza dönüşmesi ile oluşan buz kuvvetinin zemin danelerini birbirinden ayırması ve boşluk hacminin artmasının artan çevrim sayısının numunenin mukavemetini düşürdüğünü göstermiştir. Bu tez kapsamında yapılan deneylerde artan çevrim sayına bağlı mukavemette azalmalar beklense de bu artışın, donma-çözölme deneyindeki çözölme süresinin yeterli olmadığından ve donmaya maruz kalıp çözölmemeyen numunelerin yüksek mukavemet kazanmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

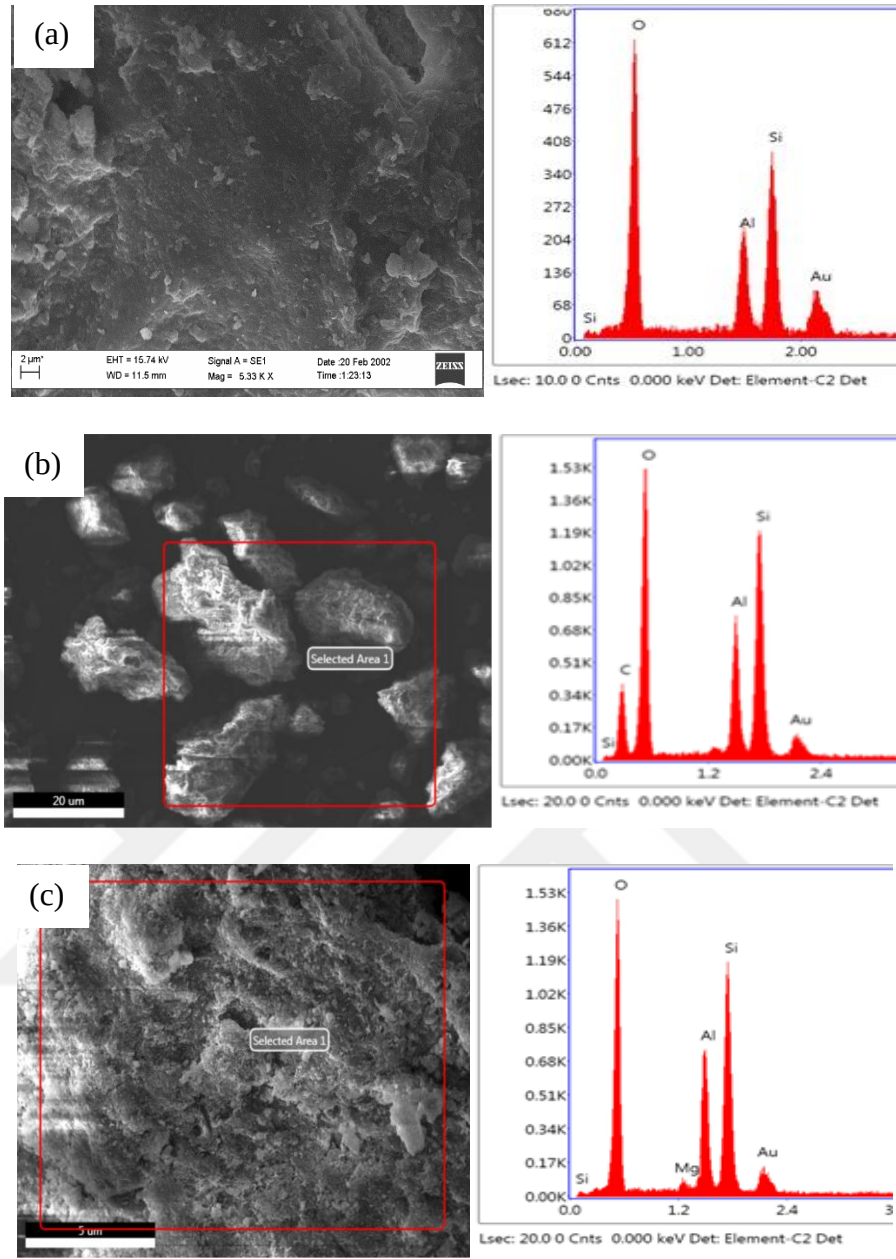
5.8 SEM Analizlerine Göre Mikro Yapı

Atık mermer tozu ile stabilizasyon sonunda mikro yapıdaki değişimleri takip etmek için SEM (Scanning Electron Microscopy) analizleri gerçekleştirilmiştir. SEM analizlerine ilave olarak, EDS (Energy Dispersive Spectroscopy) analizleri yapılarak, incelenen zemin numunesinde bölgesel ya da genel mineral dağılımı incelenmiştir. SEM ve EDS analizleri, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Merkez Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir (Fotoğraf 5.12). SEM ve EDS analizleri, anlık dayanım deney numunelerinden, 2 aylık küre bırakılan ve 11 çevrime maruz kalan numunelerden çeşitli oranlar için gerçekleştirilmiştir.



Fotoğraf 5.12. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı

SEM ve EDS analiz sonuçları ayrı ayrı verilerek değerlendirilmiştir. İlk seri analizlerde kaolen malzemesinin katkısız, iki aylık süre bırakılmış ve 11 çevrime maruz kalan örnekleri ile yapılan SEM ve EDS analiz sonuçları Şekil 5.29’da verilmiştir.

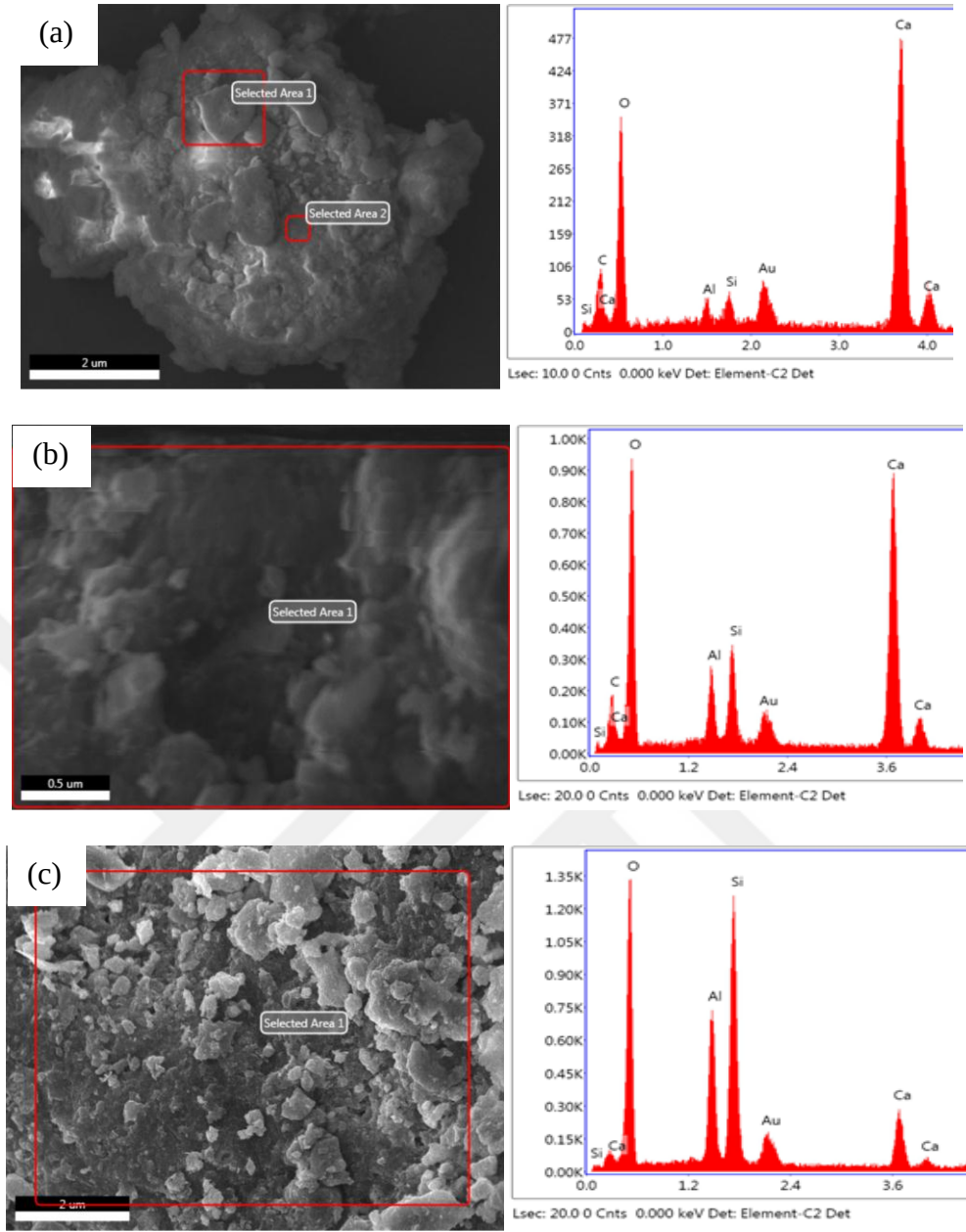


Şekil 5.29. Katkısız kaolen anlık (a), 2 ay küre bırakılan (b), 11. çevrime bırakılan (c) numunelerin SEM ve EDS analiz grafikleri

EDS analiz grafikleri ile elde edilen değerler tablo olarak Çizelde 5.7’da verilmiştir. Sonuçlar değerlendirildiği zaman, katkısız kaolen kilinde zamana ve donma çözölmeye maruz bırakılması durumunda mineral miktarlarında anlamlı bir değişim görülmemektedir.

Çizelge 5.7. Katkısız Kaolen Anlık, 2 ay ve 11. çevrim EDS analiz sonuçları

	O			Al			Si			Mg		
	ANLIK	2 AY	11. Ç	ANLIK	2 AY	11. Ç	ANLIK	2 AY	11. Ç	ANLIK	2 AY	11. Ç
Weight %	49,57	47,59	52,19	12,84	8,84	14,79	22,57	16,41	27,82	-	-	0,01



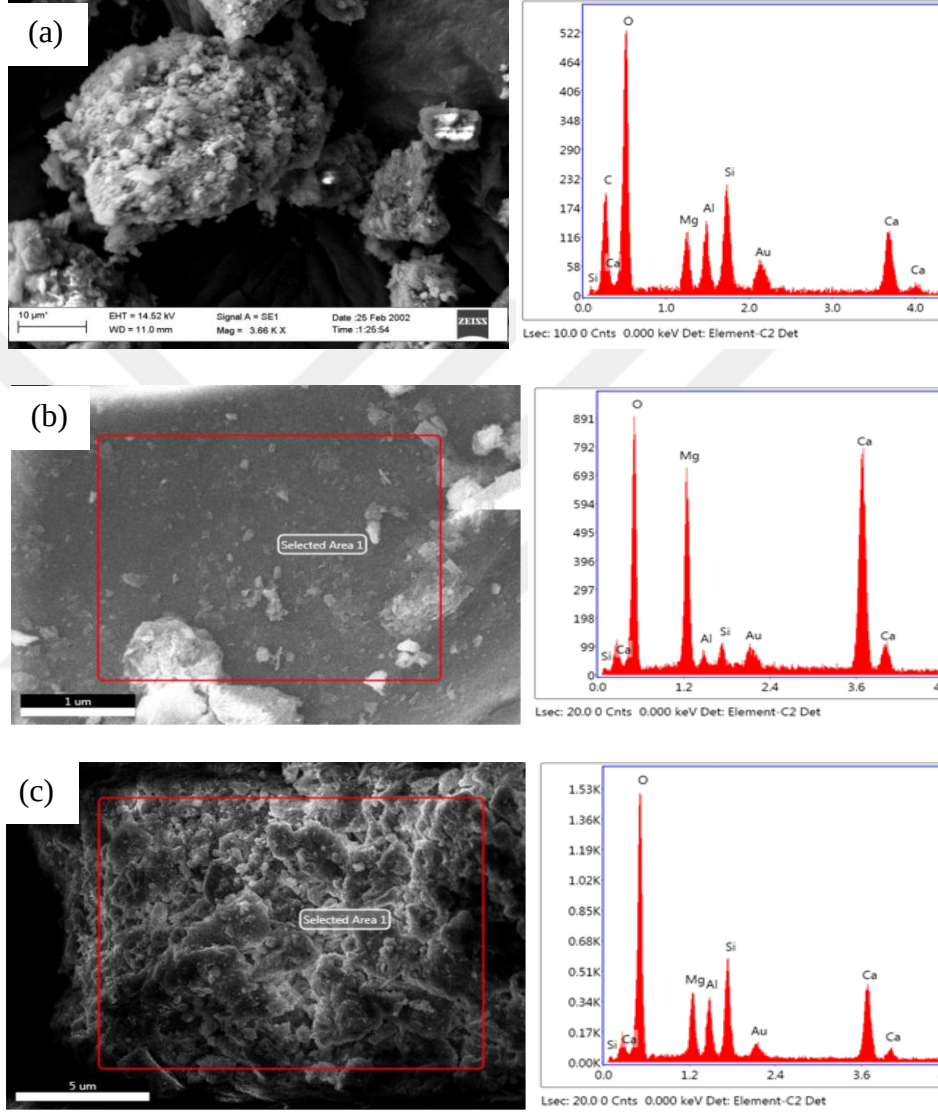
Şekil 5.30. Kaolen %50 KMT anlık (a), 2 ay küre bırakılan (b), 11. çevrime bırakılan (c) numunelerin SEM ve EDS analiz grafikleri

Çizelge 5.8. Kaolen %50 KMT Anlık, 2 ay ve 11. çevrim EDS analiz sonuçları

	O			Al			Si			Ca		
	ANLIK	2 AY	11. Ç	ANLIK	2 AY	11. Ç	ANLIK	2 AY	11. Ç	ANLIK	2 AY	11. Ç
Weight %	45,05	54,20	50,10	0,96	3,59	11,80	1,39	4,85	22,31	43,92	29,70	9,56

Kaolen kilinin %50 katkılı, iki aylık süre bırakılmış ve 11 çevrime maruz kalan örnekleri ile yapılan SEM ve EDS analiz sonuçları verilmiştir (Şekil 5.29, Şekil 5.30, Şekil 5.31). Ayrıca EDS analiz sonuçları Çizelge 5.7, Çizelge 5.8 ve Çizelge 5.9’da

verilmiştir. EDS analizlerine göre O, Al ve Ca minerallerinde zamana ve donma çözölmeye bağlı olarak artış olduğu görölmektedir. Ayrıca donma çözünme işleminde bu artışın çok daha fazla olduğu görölmektedir. Si mineralinde ise tersi olarak zamana ve donma çözölmeye bağlı olarak azalma görölmektedir. Donma çözünme işleminde azalış miktarı daha fazladır. Bentonit kiline ait sonuçlar EK-J1-J3'te verilmiştir.



Şekil 5.31. Kaolen %50 DMT anlık (a), 2 ay küre bırakılan (b), 11. çevrime bırakılan (c) numunelerin SEM ve EDS analiz grafikleri

Çizelge 5.9. Kaolen %50 DMT Anlık, 2 ay ve 11. çevrim EDS analiz sonuçları

	O			Al			Si			Ca /Mg		
	ANLIK	2 AY	11. Ç	ANLIK	2 AY	11. Ç	ANLIK	2 AY	11. Ç	ANLIK	2 AY	11. Ç
Weight %	50,08	51,19	59,06	3,81	0,75	5,95	8,34	1,23	9,52	13,41	30,31	16,11
										3,4	14,39	7,14

BÖLÜM VI

SONUÇLAR

Kil numunelerinin endüstriyel bir atık malzemesi olan mermer toz ile stabilizasyonunun incelendiği bu tez çalışmasında, mineral ve kimyasal içeriği belli olan bentonit ve kaolen kil numuneleri içine farklı oranlarda doğal taş tesis atıkları (KMT ve DMT), katılarak stabilize zemin numuneleri elde edilmiştir. Stabilizasyon öncesi ve sonrasında gerçekleştirilecek laboratuvar çalışmaları ile katkı malzemelerinin kür süresi ve donma çözülme etkisi kapsamında tek eksenli basınç mukavemet değerlerine etkisi araştırılmıştır. Ayrıca donma-çözülme öncesi ve sonrasında SEM analizleri gerçekleştirilerek mikro yapıdaki değişim SEM ve EDS analizleri ile tespit edilmiş olup çalışma kapsamında aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Deneyler kapsamında Kaolen ve Bentonit ve atık malzemelerin mineral özelliklerini belirlemek amacıyla yapılan N-XRD 2 Desen Çekimi ve Mineral Analizi (Kalitatif Değerlendirme) sonuçlarına göre, bentonit malzemesinin %46 mertebesinde kil, %39 mertebesinde alkali feldispat grubu kil minerallerinden sanidin mineralini içermektedir. Kaolen malzemesi ise %51 oranında kaolenit minerali başta olmak üzere % 41 oranında dikit mineralini içermektedir.
- Kaolen ve bentonit killerinin kimyasal içeriklerini belirlemek amacıyla N-XRF 2 analizleri yapılmıştır. Bu analiz sonuçlarına göre, Bentonit kilinde %60 oranında SiO_2 bileşiğine ve % 20 mertebelerinde de Al_2O_3 bileşiğine rastlanmıştır. Kaolen ve bentonitin benzer oranlarda aynı bileşiğe sahip olduğu, ancak bentonitin çok azda olsa CaO ihtiva ettiği görülmüştür.
- Killerin katkısız, %5, %10, %20, %30 ve %50 oranlarında atık malzemeler (KMT ve DMT) ile karıştırılması sonucu elde edilen numunelerin indeks özellikleri belirlenmiştir. Her iki atığın kil numuneleri üzerinde benzer değişimlere neden olduğu görülmüştür. Her iki atık malzeme de artan atık oranlarında, likit limit (w_L), plastik limit (w_p), rötre limit (w_R) ve plastisite indisi (I_p) değerlerini azalttığı görülmüştür. KMT'nun, DMT'na göre az da olsa stabilizasyon açısından daha uygun görülmüştür. Ayrıca USCS'ye göre atık

oranlarının artmasına bağlı olarak bentonite CH'den, CL'ye, Kaolen'de ise MH'den ML'ye doğru bir geçiőe neden olduğu grlmektedir.

- Katkı malzemelerinin anlık tek eksenli basınç dayanım (q_u) değerlerine etkisi etkisini araştırmak için Kaolen ve Bentonit kil numunelerine katkısız, %5, %10, %20, %30 ve %50 oranlarında KMT ve DMT atıkları ilave edilerek eőtli karışımlar elde edilmiştir. Deney sonuçlarına göre Kaolen anlık deneylerde atık türü farketmeksizin yüksek dayanıma %5 katkı oranında ulaőtılmıőt olsa da KMT %20, DMT ise %30 oranlarındaki atık miktarlarına kadar anlamlı etkisinin olduğu grlmőtr. Bentonit için ise, en yüksek dayanıma katkısız durumda ulaőtılmıőt olup her iki katkı türünde de artan katkı oranlarına bağlı olarak dayanımlar azalmıőtir.
- Atık malzemeleri ile stabilize edilen numunelerin kr süresine bağlı olarak dayanım değişimini incelemek için bir seri deney yapılmıőtir. Bu seride kaolen ve bentonit killeri için KMT ve DMT atıklarından katkısız, %5 ve %50 oranlarda karıřtırılmıőtir. Hazırlanan stabilize kil numuneleri 7 günlük, 1 aylık ve 2 aylık kr sürelerine tabi tutulmuştur. 7 günlük kür sonucunda Kaolen en yüksek değeri KMT'unda %20, DMT'unda ise %5 de elde etmiőt olsa da, KMT ilavesinde %30, DMT ilavesinde ise %20 oranına kadar anlamlı bir etkisi olduğu grlmőtr. Bentonit için en yüksek dayanım değerleri Kaolen ile benzerlik gstermiőt olup, her iki atık türü için de %20 oranına kadar anlamlı bir sonuç elde edilmiştir.
- 1 aylık kr sonucunda kaolen en yüksek değerler bakımından 7 günlük krle benzer sonuçlar gstermiőt olup ancak %20 oranına kadar, Bentonitte ise ancak % 30 oranına kadar anlamlı bir etki göstermiştir.
- 2 aylık kr sonuçlarında ise kaolen ve bentonitte en yüksek değerler katkı ilave edilmemiőt numunelerde gözlenmiştir. Kaolen kil için artan katkı miktarıyla mukavemette azalmalar görülürken, Bentonitte ancak % 30 oranına kadar anlamlı bir etkisi olmuştur.

- Donma çözülmenin tek eksenli basınç mukavemeti üzerindeki etkisi belirlemek amacı ile kaolen ve bentonit killlerinin katkısız, %5 ve %10 oranlarında KMT ve DMT atıkları stabilize edilmiş kil numuneleri oluşturulmuştur. Bu numuneler 1, 3, 5, 7 ve 11 adet çevrime tabi tutulmuştur. Daha sonra stabilize edilmiş numunelere ait malzeme kayıp oranları belirlenmiştir. Deney sonuçlarına göre, meydana gelen malzeme kayıp oranlarında katkı maddesinin artmasına bağlı olarak kayıp oranının azaldığı ve sıkı yapıya sahip katkısız ve % 5 katkılı numunelerde malzeme kaybının fazla olduğu görülmüştür. Donma çözülme deneyleri sonucunda ise çözülme süresinin numunelerin çözülmesi için yeterli olmadığı ve çözülmeden donmaya maruz kalan numunelerin mukavemetlerinde artışların olduğu gözlenmiştir.
- Kaolen ve bentonit killlerine KMT ve DMT atıkları katılarak oluşturulan numunelerin anlık, kür ve donma çözülme sonrasında meydana gelen mikro yapıdaki değişimleri belirlemek amacıyla SEM ve EDS analizleri yapılmıştır. Sonuçlar değerlendirildiği zaman, katkısız kaolen kilinde zamana ve donma çözünmeye maruz bırakılması durumunda mineral miktarlarında anlamlı bir değişim görülmemiştir. Genel anlamda kür süresi ve donma çözülme deneylerinin mikro yapıya etkisine bakıldığında olumlu etkisinin olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

Alişer, B., “Mermer tozu ve cam elyaf katkılı çimento harçlarının sülfat dayanıklılığının araştırılması”, Yüksek L,sans Tezi, **Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Elazığ, s. 3-4, 2013.

Akbulut, H. ve Gürer, C., “Mermer Atıklarının Çevresel Etkileri ve Yol Katmanlarında Kullanarak Faydalanma ve Atık Azaltma İmkanları”, **Türkiye IV. Mermer Sempozyumu**, Afyon, 18-19 Aralık, 271-276, 2003.

Akbulut H. ve Gürer C., “Atık Mermerlerin Asfalt Kaplamalarda Agregada olarak Değerlendirilmesi”, **İMO Teknik Dergi**, 3943-3960, 2006.

Ayan, E., “ Derin iyileştirme örnekleri ve uygulamadan örnekler”, Yüksek Lisans Tezi, **İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, s. 5-6 , 2009.

Aydın, S., “Yenikent (ankara) yerleşim alanı killerin kireç ve uçucu küllü geoteknik özelliklerinin iyileştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, s. 9-10, 2010.

Aytekin, S., “Uçucu küllerinin killi zeminlerin ıslahında kullanımı”, Yüksek Lisans Tezi, **Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Fakültesi**, Adana, s. 16-54, 2009.

Başer, O., “Şişen Zeminlerin Atık Mermer Tozu Kullanılarak Stabilizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, **Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 2009.

Başer O. ve Çokca E., “Şişen zeminlerin atık mermer tozu kullanılarak iyileştirilmesi”, **Zemin mekaniği ve Temel Mühendisliği 13. Ulusal kongresi**, 143. s., İstanbul, 2010.

Çakar, E., “Killi zeminlerde yılanma etkisinin çeşitli çözeltiler varlığında incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Manisa, s 24-25, 2013.

Can, S.A., “Niğde yerleşim alanı killi zeminlerin şişme potansiyelinin belirlenmesi ve kireç ile iyileştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, s. 5-6, 2014.

Çetin, A.Y., “Yüksek plastisiteli kil zeminlerin alternatif malzemeler ile yüzeysel zemin stabilizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, **İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, s. 36-37, 2011.

Çınar, H., “Zemin iyileştirmesinde jet grout yöntemi ve uygulamaya yönelik proje çalışmaları”, Yüksek Lisans Tezi, **Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Kayseri, s. 41-42, 2014.

Cömert A., Fırat S. ve Yılmaz G., Sümer M., “Uçucu kül, mermer tozu ve atık kumun yol alt temel dolgusunda kullanımı”, **Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 13.Ulusal Kongresi**, İstanbul, 2010.

Gürer, C., Akbulut, H. ve Kürklü, G., “İnşaat endüstrisinde geri dönüşüm ve bir hammadde kaynağı olarak farklı yapı malzemelerinin yeniden değerlendirilmesi”. **5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu**, İzmir, 13-14 Mayıs, 28-36, 2004.

El-Shourbagy, M., Abd El-Aziz, A. and Abo-Hashema A., "The Effect Of LimeSilica Fume Stabilizer on Engineering Properties of Clayey Subgrade", Mısır Erdoğan, T. Y., 2003. **Beton**, Metu Press, Ankara, 2001.

Erol, A., “C sınıfı uçucu kül katkılı siltlerin dayanım ve donma-çözülme direncinin deneysel olarak incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, 2007.

Ghazavi, M., and Roustaie, M., “The influence of freeze-thaw cycles on the unconfined compressive strength of fiber-reinforced clay”, *Cold Regions Science and Technology* 61, 125-131, 2009.

Gücek, S., “Mermer tozu ve uçucu külün kil zeminlerin iyileştirilmesinde kullanımı”, Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Afyon, s. 20-21, 2011.

Günaydın M., “İyi Derecelendirilmiş zeminlerin silis dumanı ve fosfojips ile stabilizasyonu” Yüksek Lisans Tezi, *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sivas, s. 3-4, 2011.

Hancıoğlu, Ç., “Kaolin ve bentonit türü killerde bulunan silikaların belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, s. 3-4, 2015.

Hazırbaşı, K. ve Güllü, H., “California Bearing Ratio improvement and freeze-thaw performance of finegrained soils treated with geofiber and synthetic fluid”, *Cold regions science and technology*, 63., 50-60, 2010.

Holtz R.D., Kovacs W.D. and Sheahan T.C., An Introduction To Geotechnical Engineering, Çeviri Editörü, **Prof. Dr. Erken A.**, s. 232-233, İstanbul, 1979.

Karaca, Z., “Natural Stone Industry and Environment. *Symposium of Evaluation of Marble Wastes and Decreasing Environmental Effects*”, Diyarbakır, Turkey, 16-17 October, s. 325-338, 2009.

Kalay E., “Sıkıştırılmış yüksek plastisiteli kil zemin stabilizasyonunda pomza, mermer tozu ve kirecin kullanılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, 2010.

Kılıç, M., “Bentonit kili üzerinde DDVP pestisitinin adsorpsiyon özelliklerinin GC ve GC/MS ile tayini”, Yüksek Lisans Tezi, **Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Van, s. 12-13, 2007.

Liu, J., Wang, T. and Tian, Y., “Experimental study of the dynamic properties of cement- and lime- modified clay soils subjected to freeze-thaw cycles”, **Cold regions science and technology**, 61., 29-33, 2010.

Malayoğlu, U. ve Akar, A., “Killerin sınıflandırmasında ve kullanım alanlarının saptanmasında aranan kriterlerin irdelenmesi”, **Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu. Köse ve Kızıl (eds)** © İzmir / 21-22 Nisan 1995.

Muntohar, A.S. ve Hantoro, G., “Influence of Rice Husk Ash and Lime on Engineering Properties of a Clayey Subgrade”, **EJGE**, Vol 5, pp. 19., 2000.

Muratoğlu, İ., “Atık mermer tozu katkılı killi zeminlerin konsolidasyon ve permeabilite özelliklerinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Afyon, s. 7-9, 2010.

Nasirpur O., “Kum zeminlerin serbest basınç mukavemeti ve donma-çözülme özelliklerinin iyileştirilmesinde polimerlerin kullanılabilirliği” Yüksek Lisans Tezi, **Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, 2014.

Öntürk, K., “Zemin iyileştirmesinde polisaj, kireç ve uçucu külün kullanımı”, Yüksek Lisans Tezi, **Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Sakarya, s 5-6, 2011.

Öntürk, K., Fırat S., Vural İ. ve Khatip J.M., “Uçucu Kül ve Mermer Tozu Kullanarak Yol Altyapısının İyileştirilmesi”, **Politeknik Dergisi**, cilt:17, sayı:1,s.35-42,2014

Özaydın, E.T., “Kaolinit kilinin mössbauer spektroskopisiyle incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Selçuk Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi**, Konya, s.6-7, 2008.

Pekdemir Y., “Silis Dumanı, Kırmızı Çamur ve Kireç ile Muamele Edilmiş Mikronize Bir Kilin Bazı Geoteknik Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Erzurum, s. 52-53, 2013.

Sağlam, G., “Çimento üretiminde atık mermer tozu ve atık alçının kullanılabilirliği”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, s. 28, 2012.

Sivrikaya O., Kayadelen C. and Cecen E., “Prediction of the Compaction Parameters for Coarse-grained Soils with Fines Content by MLR and GEP”, **Acta Geotechnica Slovenica**, s 29-41, 2013.

Taşpolat, L.T., “Afyon Atık Mermer Tozlarının ve Şırnak Asfaltitlerinin Atık Depolama Alanları tabakalarında Kullanılması”, Yüksek Lisans Tezi, **AKÜ., Fen Bilimleri Enstitüsü**, Afyonkarahisar, 2006.

Taytak, B., “Biyopolimer katkılarının killi zeminlerin kompaksiyon, permeabilite ve kayma dayanımına etkisinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Manisa, s. 22-23, 2012.

Terzi, S. ve Karaşahin M., “Mermer Toz Atıklarının Asfalt Betonu Karışımında Filler Malzeme Olarak Kullanımı”, **T.M.M.O.B. İnşaat Mühendisleri Odası Teknik Dergi**, No.14[2]:2003-2903, 2003.

Topçu, İ. B. ve Canbaz, M., Antalya Etibank Elektrometalurji İşletmesi Atığı Silis Dumanının Hazır Betonda Kullanımı, **Osmangazi Üniv., İnşaat Müh. Böl.**, 2004.

Toprakezer, F., “Nanokompozit sentezinde kullanılacak na-bentonit kilinin saflaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Fakültesi**, Adana, s. 14-16, 2009.

Turan, Y., “Atık mermer tozu ve cam elyaf katkısının birlikte kullanımının betonun mekanik özelliklerine etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, **Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Elazığ, s. 26-27, 2002.

Tumluer, G., “Çimento katkılı kumlu zeminlerin mukavemeti”, Yüksek Lisans Tezi, **Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Fakültesi**, Adana, s. 45-68, 2006.

Tüdeş E., “Zeminlerin kireç ve çimento katkısı ile çözümü”, Yüksek Lisans Tezi, **Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Trabzon, 1996.

Türköz, M., “Şişen killerin kireç katkısı ile stabilizasyonu ve Eskişehir – Meşelik killerine uygulanması” **Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Müh.Mim.Fak.Dergisi** C.XIX, S.2, 2006.

URL-1, <https://www.dunya.com/d/news/3893.jpg?v=1248607414> 28 Haziran 2018

URL-2 https://osman.midilli.com/wpcontent/uploads/2007/12/Bitumen_85_100_80_100_85_100_9976_7.jpg 28 Haziran 2018

URL-3 <https://ua.all.biz/img/ua/catalog/middle/1599227.jpeg> 28 Haziran 2018

URL-4 http://www.kutahyacimento.com/kul_resimleri/Resim4.jpg 28 Haziran 2018

URL-5 https://www.burdurgazetesi.com.tr/media/k2/items/cache/2a8e1377a86b78fb480ecd3a62e761cd_XL.jpg 28 Haziran 2018

URL-6 https://www.gla.ac.uk/media/media_51895_en.png 28 Haziran 2018

URL-7 <https://image.slidesharecdn.com/kilvekilmineralleri-151222184628/95/kil-ve-kil-mineralleri-20-638.jpg?cb=1451057231> 28 Haziran 2018

URL-8 <https://image.slidesharecdn.com/beneficiationandmineralprocessingofclay>

[minerals-160323151818/95/beneficiation-and-mineral-processing-of-clay-minerals-13-638.jpg?cb=1515416343](https://image.slidesharecdn.com/kilvekilmineralleri-151222184628/95/kil-ve-kil-mineralleri-33-638.jpg?cb=1515416343) 28 Haziran 2018

URL-9 <https://image.slidesharecdn.com/kilvekilmineralleri-151222184628/95/kil-ve-kil-mineralleri-33-638.jpg?cb=1451057231> 28 Haziran 2018

Usta, M., “Atık Mermer Tozunun Zeminlerin Serbest Basınç Dayanımına Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, **AKÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü**, Afyon, 2004.

Ünver, E., “Problemlili kil zeminlerin uçucu kül ile iyileştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Eskişehir, s. 56-57, 2015.

Yalçın, M., “Çevresel kirlilik şartlarının bentonit kilinin şişme/büzülme özelliklerine etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, **Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Eskişehir, s. 20-21, 1997.

Yamanel, K., “Kayseri yöresi atık mermer tozu katkılı harçların özelliklerinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Kayseri, s. 4-5, 2015.

Yarbaşı N., “The freezing-thawing behavior of clayey soils reinforced with scrap tires pieces”, **Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilim Dergisi**, 22(6): 559-562, 2016.

Yıldız, M., Soğancı, A.S., Demiröz, A. ve Albayral, V., “Tekrarlı donma ve çözülmenin kireç ile stabilize edilmiş kil zeminlerin mukavemet ve permeabilitesine etkisi”, **Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onuncu Ulusal Kongresi**, (10):2-3, 2004.

Yıldız, S., Yalınbaş, M. ve Keleştemur, O.. Silis Dumanı Katkılı Yapı Alçılarında Eğilmede Çekme Dayanımının Araştırılması, **Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.** Cilt 20, No 3, 2005.

Yıldız, A.H., Karaşahin, M., Çavuş U.Ş. ve Taciroğlu, M., “Mermer Endüstrisi Atık Çamurlarının Yol İnşaatında Stabilizasyon Malzemesi Olarak Değerlendirilmesi”, **VI. Mermer ve Doğaltaş Sempozyumu**, Afyon, sayfa 97-107, 2008.

Yüksel, B., “Konsolidasyon süresince kil yapısındaki değişimin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi”, **İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, s. 5-6, 2007.

Zaimoğlu, A.Ş., Hattatoğlu, F. ve Akbulut, R.K., “Yüke Maruz İnce Daneli Zeminlerin Donma-çözülme Davranışı”, **Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi** 19, 3, 117-120, 2013.

Zorluer, İ. ve Usta, M., “Zeminlerin Atık Mermer Tozu İle İyileştirilmesi”, **Türkiye IV. Mermer Sempozyumu**, Afyonkarahisar, sayfa 305-312, 2003.

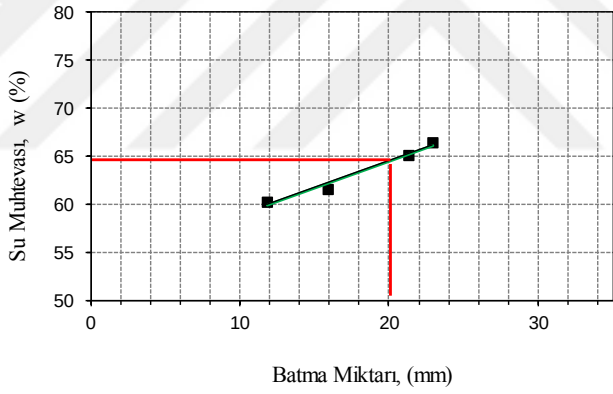
Zorluer İ., “Taşpolat L.T. ve Koyuncu H., “Atık Mermer Tozunun Geçirimsiz Kil Tabakalarda Donma-Çözünmeye Etkisi”, **Yapı Teknoloji Elektronik Dergisi**, sayfa 11-16, 2006.

Zorluer, İ. ve Gücek, S., “The Effects Of Marble Dust And Fly Ash On Clay Soil”, **Science And Engineering Of Composite Materials**, 21(1),Ss.59–67, 2013.

Ek-A Kıvam limitleri deney sonuçları

Ek-A1

		NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ, GEOTEKNİK ABD ZEMİN MEKANİĞİ DENEYLERİ				
LİKİT LİMİT DENEYİ (Düşen Koni Yöntemi)						
Deneyi Yapan : FEB 2017/10-YÜLTEP		Deney Tarihi: 19 Ocak 2018 Cuma				
Numunenin Sınıfı: Kaolen		Deney No:				
Deney No.	Kabin kütlesi (g) W_c	Kap+yaş zemin kütlesi (g) W_w	Kap+kuru zemin kütlesi (g) W_d	Batma Miktarı (mm) N	Su muhtevası (%) w	Fit su muhtevası (%) w
1	18,51	29,78	25,54	11,82	60,31	59,78
2	19,18	29,31	25,45	15,84	61,56	62,50
3	22,98	41,05	33,92	21,3	65,17	65,25
4	19,28	38,50	30,83	22,93	66,41	65,93
Likit limit w_L , (%) =		64,66				
Doğrunun eğimi =		-0,147				



The graph plots Water Content (w, %) on the y-axis (ranging from 50 to 80) against Penetration (N, mm) on the x-axis (ranging from 0 to 30). Four data points are plotted, showing a positive linear relationship. A horizontal red line is drawn at w_L = 64.66%. A vertical red line is drawn at N = 20 mm. The intersection of these two lines is marked on the trend line.

Batma Miktarı, N (mm)	Su Muhtevası, w (%)
11,82	60,31
15,84	61,56
21,3	65,17
22,93	66,41

Onaylayan :	Prof.Dr.Osman SİVRİKAYA
--------------------	-------------------------



NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ, GEOTEKNİK ABD
ZEMİN MEKANİĞİ DENEYLERİ

LİKİT LİMİT DENEYİ (Düşen Koni Yöntemi)

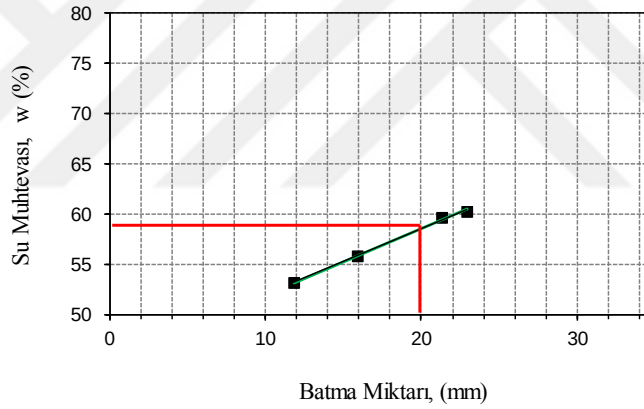
Deneyi Yapan : FEB 2017/10-YÜLTEP

Deney Tarihi: 19 Ocak 2018 Cuma

Numunenin Sınıfı: Kaolen+%5 KMT

Deney No: _____

Deney No.	Kabın kütlesi (g) W_c	Kap+yaş zemin kütlesi (g) W_w	Kap+kuru zemin kütlesi (g) W_d	Batma Miktarı (mm) N	Su muhtevası (%) w	Fit su muhtevası (%) w
1	51,21	62,97	58,89	11,82	53,13	52,94
2	51,24	62,77	58,64	15,84	55,81	56,18
3	51,59	68,16	61,97	21,3	59,63	59,45
4	18,47	31,66	26,70	22,93	60,27	60,27
Likit limit w_L , (%) =		58,76				
Doğrunun eğimi =		-0,195				



Onaylayan : _____

Prof.Dr.Osman SIVRIKAYA



NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ, GEOTEKNİK ABD
ZEMİN MEKANİĞİ DENEYLERİ

LİKİT LİMİT DENEYİ (Düşen Koni Yöntemi)

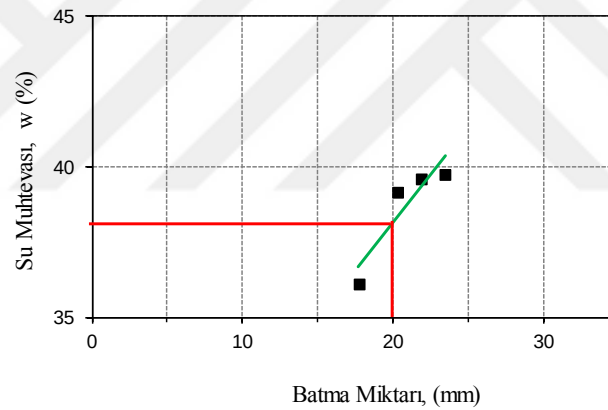
Deneyi Yapan : FEB 2017/10-YÜLTEP

Deney Tarihi: 22 Ocak 2018 Pazartesi

Numunenin Sınıfı: Kaolen+ %50 KMT

Deney No: _____

Deney No.	Kabın kütlesi (g) W_c	Kap+yaş zemin kütlesi (g) W_w	Kap+kuru zemin kütlesi (g) W_d	Batma Miktarı (mm) N	Su muhtevası (%) w	Fit su muhtevası (%) w
1	50,57	66,33	62,15	17,74	36,10	36,58
2	51,21	67,45	62,88	20,26	39,16	38,35
3	51,24	64,46	60,71	21,86	39,60	39,37
4	51,59	66,95	62,58	23,46	39,76	40,32
Likit limit w_L , (%) =		38,18				
Doğrunun eğimi =		-0,353				



Onaylayan : _____

Prof.Dr.Osman SİVRİKAYA



NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ, GEOTEKNİK ABD
ZEMİN MEKANİĞİ DENEYLERİ

LİKİT LİMİT DENEYİ (Düşen Koni Yöntemi)

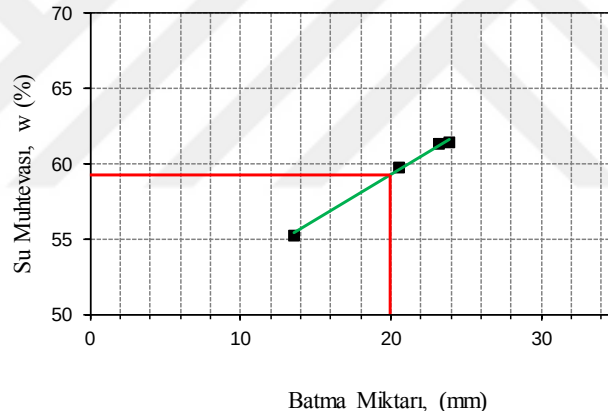
Deneyi Yapan : FEB 2017/10-YÜLTEP

Deney Tarihi: 22 Ocak 2018 Pazartesi

Numunenin Sınıfı: Kaolen+%5 DMT

Deney No: _____

Deney No.	Kabin kütlesi (g) W_c	Kap+yaş zemin kütlesi (g) W_w	Kap+kuru zemin kütlesi (g) W_d	Batma Miktarı (mm) N	Su muhtevası (%) w	Fit su muhtevası (%) w
1	50,05	62,04	57,77	13,56	55,31	55,30
2	30,96	44,78	39,61	20,54	59,77	59,86
3	37,78	51,54	46,31	23,15	61,31	61,17
4	19,96	35,91	29,84	23,88	61,44	61,51
Likit limit w_L , (%) =		59,56				
Doğrunun eğimi =		-0,189				



Onaylayan : _____

Prof.Dr.Osman SİVRİKAYA



NIĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ, GEOTEKNİK ABD
ZEMİN MEKANİĞİ DENEYLERİ

LİKİT LİMİT DENEYİ (Düşen Koni Yöntemi)

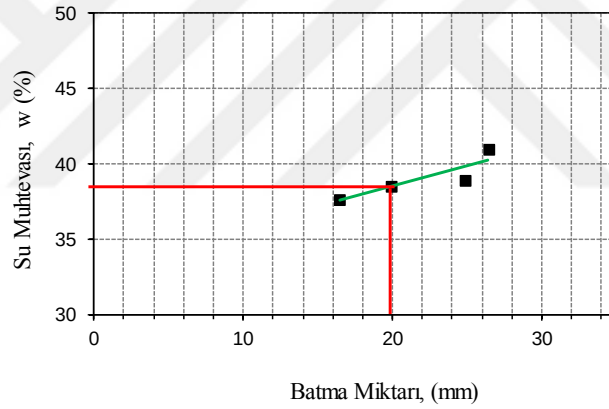
Deneyi Yapan : FEB 2017/10-YÜLTEP

Deney Tarihi: 22 Ocak 2018 Pazartesi

Numunenin Sınıfı: Kaolen+%50 DMT

Deney No: _____

Deney No.	Kabın kütlesi (g) W_c	Kap+yaş zemin kütlesi (g) W_w	Kap+kuru zemin kütlesi (g) W_d	Batma Miktarı (mm) N	Su muhtevası (%) w	Fit su muhtevası (%) w
1	18,42	38,23	32,81	16,45	37,67	37,52
2	18,53	36,54	31,53	19,9	38,54	38,58
3	21,75	38,95	33,96	24,82	38,87	39,81
4	14,88	28,81	24,76	26,41	40,99	40,16
Likit limit w_L , (%) =		38,00				
Doğrunun eğimi =		-0,142				



Onaylayan : _____

Prof.Dr.Osman SIVRIKAYA



NIĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ, GEOTEKNİK ABD
ZEMİN MEKANİĞİ DENEYLERİ

LİKİT LİMİT DENEYİ (Düşen Koni Yöntemi)

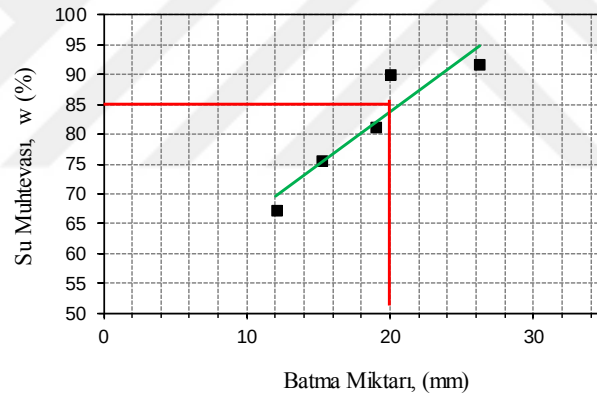
Deneyi Yapan : FEB 2017/10-YÜLTEP

Deney Tarihi: 23 Ocak 2018 Salı

Numunenin Sınıfı: Bentonit

Deney No:

Deney No.	Kabin kütlesi (g) W_c	Kap+yaş zemin kütlesi (g) W_w	Kap+kuru zemin kütlesi (g) W_d	Batma Miktarı (mm) N	Su muhtevası (%) w	Fit su muhtevası (%) w
1	18,53	32,79	27,05	12,03	67,37	68,06
2	21,76	34,01	28,78	15,22	75,50	75,85
3	14,88	29,24	22,85	18,94	81,18	83,10
4	21,18	38,38	30,33	20,03	89,98	84,96
5	32,19	46,92	39,95	26,22	91,82	93,88
Likit limit w_L , (%) =		84,91				
Doğrunun eğimi =		-0,418				



Onaylayan :

Prof.Dr.Osman SIVRİKAYA



NIĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ, GEOTEKNİK ABD
ZEMİN MEKANİĞİ DENEYLERİ

LİKİT LİMİT DENEYİ (Düşen Koni Yöntemi)

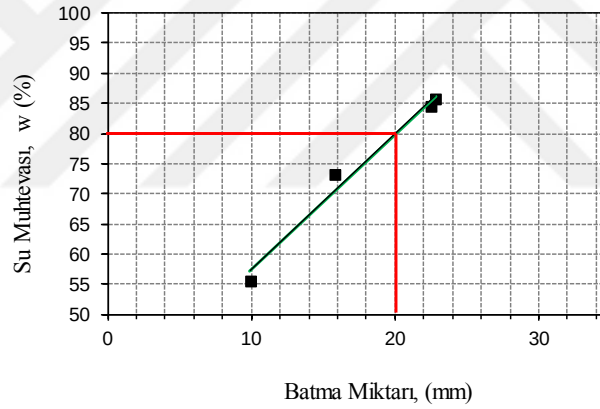
Deneyi Yapan : FEB 2017/10-YÜLTEP

Deney Tarihi: 23 Ocak 2018 Salı

Numunenin Sınıfı: Bentonit+%5 KMT

Deney No: _____

Deney No.	Kabin kütlesi (g) W_c	Kap+yaş zemin kütlesi (g) W_w	Kap+kuru zemin kütlesi (g) W_d	Batma Miktarı (mm) N	Su muhtevası (%) w	Fit su muhtevası (%) w
1	18,45	29,78	25,73	9,9	55,63	55,95
2	18,91	30,40	25,54	15,82	73,30	72,56
3	22,98	39,62	32,00	22,47	84,48	84,99
4	19,28	32,63	26,47	22,85	85,67	85,59
Likit limit w_L , (%) =		80,87				
Doğrunun eğimi =		-0,508				



Onaylayan : _____

Prof.Dr.Osman SIVRIKAYA



NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ, GEOTEKNİK ABD
ZEMİN MEKANİĞİ DENEYLERİ

LİKİT LİMİT DENEYİ (Düşen Koni Yöntemi)

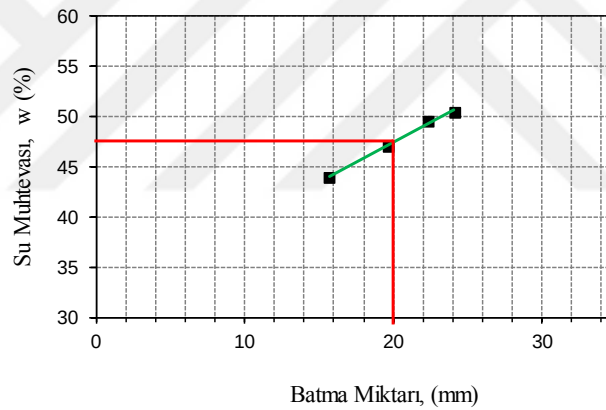
Deneyi Yapan : FEB 2017/10-YÜLTEP

Deney Tarihi: 23 Ocak 2018 Salı

Numunenin Sınıfı: Bentonit+%50 KMT

Deney No: _____

Deney No.	Kabın kütlesi (g) W_c	Kap+yaş zemin kütlesi (g) W_w	Kap+kuru zemin kütlesi (g) W_d	Batma Miktarı (mm) N	Su muhtevası (%) w	Fit su muhtevası (%) w
1	35,74	53,77	48,26	15,69	44,01	43,88
2	34,56	56,74	49,65	19,68	46,98	47,39
3	36,66	59,73	52,08	22,28	49,61	49,31
4	34,74	51,76	46,05	24,1	50,49	50,52
Likit limit w_L , (%) =		47,64				
Doğrunun eğimi =		-0,329				



Onaylayan : _____

Prof.Dr.Osman SIVRIKAYA



NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ, GEOTEKNİK ABD
ZEMİN MEKANİĞİ DENEYLERİ

LİKİT LİMİT DENEYİ (Düşen Koni Yöntemi)

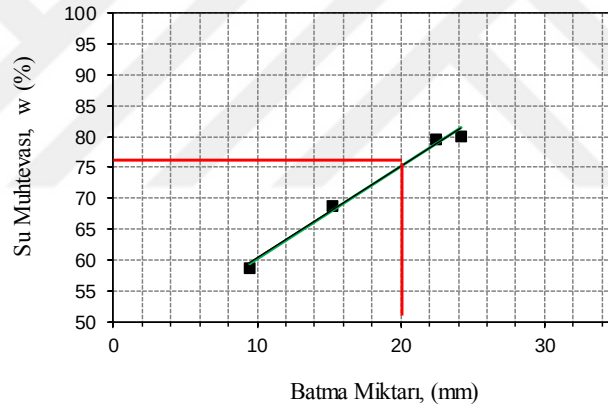
Deneyi Yapan : FEB 2017/10-YÜLTEP

Deney Tarihi: 23 Ocak 2018 Salı

Numunenin Sınıfı: Bentonit+%5 DMT

Deney No: _____

Deney No.	Kabin kütlesi (g) W_c	Kap+yaş zemin kütlesi (g) W_w	Kap+kuru zemin kütlesi (g) W_d	Batma Miktarı (mm) N	Su muhtevası (%) w	Fit su muhtevası (%) w
1	50,05	67,18	60,83	9,46	58,91	58,57
2	30,96	45,77	39,73	15,18	68,87	69,67
3	37,79	52,00	45,70	22,42	79,65	78,83
4	19,96	36,83	29,32	24,16	80,24	80,58
Likit limit w_L , (%) =		76,15				
Doğrunun eğimi =		-0,339				



Onaylayan : _____

Prof.Dr.Osman SIVRIKAYA



NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ, GEOTEKNİK ABD
ZEMİN MEKANİĞİ DENEYLERİ

LİKİT LİMİT DENEYİ (Düşen Koni Yöntemi)

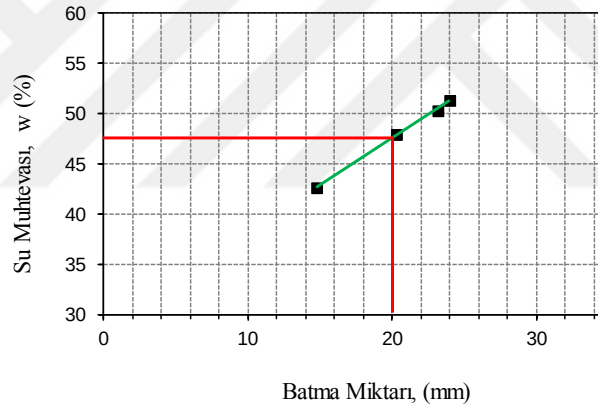
Deneyi Yapan : FEB 2017/10-YÜLTEP

Deney Tarihi: 23 Ocak 2018 Salı

Numunenin Sınıfı: Bentonit+%50 DMT

Deney No: _____

Deney No.	Kabin kütlesi (g) W_c	Kap+yaş zemin kütlesi (g) W_w	Kap+kuru zemin kütlesi (g) W_d	Batma Miktarı (mm) N	Su muhtevası (%) w	Fit su muhtevası (%) w
1	18,92	31,87	28,00	14,77	42,62	42,56
2	23,01	39,62	34,31	20,3	47,99	48,15
3	19,29	36,63	30,90	23,2	50,35	50,50
4	18,42	32,46	27,76	23,97	51,32	51,07
Likit limit w_L , (%) =		47,89				
Doğrunun eğimi =		-0,377				



Onaylayan : _____

Prof.Dr.Osman SIVRIKAYA

Ek-A11

TARİH :	19.01.2018
DENEYİ YAPAN :	FEB 2017/10-YÜLTEP
NUMUNE SINIFI :	Kaolen

Deney No	W _{kap} (g)	W _{kap+yaş} (g)	W _{kap+kuru} (g)	w (%)	Plastik Limit w _p (%)
1	9,04	10,53	10,1	40,57	44,17
2	9,7	10,67	10,39	40,58	
3	8,27	9,31	8,95	51,36	

TARİH :	19.01.2018
DENEYİ YAPAN :	FEB 2017/10-YÜLTEP
NUMUNE SINIFI :	Kaolen + %5 KMT

Deney No	W _{kap} (g)	W _{kap+yaş} (g)	W _{kap+kuru} (g)	w (%)	Plastik Limit w _p (%)
1	18,53	20,4	19,85	41,667	40,66
2	21,75	23,24	22,82	39,252	
3	14,89	16,23	15,84	41,053	

TARİH :	19.01.2018
DENEYİ YAPAN :	FEB 2017/10-YÜLTEP
NUMUNE SINIFI :	Kaolen + %10 KMT

Deney No	W _{kap} (g)	W _{kap+yaş} (g)	W _{kap+kuru} (g)	w (%)	Plastik Limit w _p (%)
1	23,1	24,91	24,44	35,075	38,09
2	21,15	23,05	22,52	38,686	
3	15,28	17,37	16,8	37,500	

TARİH :	19.01.2018
DENEYİ YAPAN :	FEB 2017/10-YÜLTEP
NUMUNE SINIFI :	Kaolen + %20 KMT

Deney No	W _{kap} (g)	W _{kap+yaş} (g)	W _{kap+kuru} (g)	w (%)	Plastik Limit w _p (%)
1	61,87	63,69	63,21	35,821	36,04
2	59,71	61,59	61,09	36,232	
3	61,09	63,09	62,56	36,054	

TARİH :	19.01.2018
DENEYİ YAPAN :	FEB 2017/10-YÜLTEP
NUMUNE SINIFI :	Kaolen + %30 KMT

Deney No	W _{kap} (g)	W _{kap+yaş} (g)	W _{kap+kuru} (g)	w (%)	Plastik Limit w _p (%)
1	51,77	52,84	52,58	32,099	32,55
2	62,93	64,58	64,17	33,065	
3	54,42	56,01	55,62	32,500	

TARİH :	22.01.2018
DENEYİ YAPAN :	FEB 2017/10-YÜLTEP
NUMUNE SINIFI :	Kaolen + %50 KMT

Deney No	W _{kap} (g)	W _{kap+yaş} (g)	W _{kap+kuru} (g)	w (%)	Plastik Limit w _p (%)
1	70,8	72,37	72,02	28,689	28,68
2	53,91	55,26	54,96	28,571	
3	62,14	63,93	63,53	28,777	

Ek-A12

TARİH :	23.01.2018
DENEYİ YAPAN :	FEB 2017/10-YÜLTEP
NUMUNE SINIFI :	Kaolen + %5 DMT

Deney No	W _{kap} (g)	W _{kap+yaş} (g)	W _{kap+kuru} (g)	w (%)	Plastik Limit w _p (%)
1	10,97	12,17	11,83	39,535	40,36
2	9,03	10,28	9,91	42,045	
3	9,69	10,82	10,5	39,506	

TARİH :	23.01.2018
DENEYİ YAPAN :	FEB 2017/10-YÜLTEP
NUMUNE SINIFI :	Kaolen + %10 DMT

Deney No	W _{kap} (g)	W _{kap+yaş} (g)	W _{kap+kuru} (g)	w (%)	Plastik Limit w _p (%)
1	19,4	20,76	20,41	34,653	36,13
2	30,71	33,01	32,39	36,905	
3	87,55	88,85	88,5	36,842	

TARİH :	23.01.2018
DENEYİ YAPAN :	FEB 2017/10-YÜLTEP
NUMUNE SINIFI :	Kaolen + %20 DMT

Deney No	W _{kap} (g)	W _{kap+yaş} (g)	W _{kap+kuru} (g)	w (%)	Plastik Limit w _p (%)
1	84,06	85,99	85,52	32,192	33,04
2	83,44	85,75	85,18	32,759	
3	94,16	96,83	96,15	34,171	

TARİH :	23.01.2018
DENEYİ YAPAN :	FEB 2017/10-YÜLTEP
NUMUNE SINIFI :	Kaolen + %30 DMT

Deney No	W _{kap} (g)	W _{kap+yaş} (g)	W _{kap+kuru} (g)	w (%)	Plastik Limit w _p (%)
1	51,2	52,55	52,25	28,571	30,51
2	50,06	51,66	51,28	31,148	
3	51,29	53,03	52,61	31,818	

TARİH :	23.01.2018
DENEYİ YAPAN :	FEB 2017/10-YÜLTEP
NUMUNE SINIFI :	Kaolen + %50 DMT

Deney No	W _{kap} (g)	W _{kap+yaş} (g)	W _{kap+kuru} (g)	w (%)	Plastik Limit w _p (%)
1	10,98	13,04	12,51	34,641	24,22
2	9,04	10,8	10,44	25,714	
3	9,7	10,78	10,58	22,727	

Ek-A13

TARİH :	23.01.2018
DENEYİ YAPAN :	FEB 2017/10-YÜLTEP
NUMUNE SINIFI :	Bentonit

Deney No	W _{kap} (g)	W _{kap+yaş} (g)	W _{kap+kuru} (g)	w (%)	Plastik Limit w _p (%)
1	10,89	11,83	11,59	34,286	35,54
2	19,96	20,97	20,7	36,486	
3	24	24,72	24,53	35,849	

TARİH :	23.01.2018
DENEYİ YAPAN :	FEB 2017/10-YÜLTEP
NUMUNE SINIFI :	Bentonit + %5 KMT

Deney No	W _{kap} (g)	W _{kap+yaş} (g)	W _{kap+kuru} (g)	w (%)	Plastik Limit w _p (%)
1	19,39	21,06	20,67	30,469	30,12
2	30,76	32,55	32,16	27,857	
3	87,48	89,64	88,69	78,512	

TARİH :	23.01.2018
DENEYİ YAPAN :	FEB 2017/10-YÜLTEP
NUMUNE SINIFI :	Bentonit + %10 KMT

Deney No	W _{kap} (g)	W _{kap+yaş} (g)	W _{kap+kuru} (g)	w (%)	Plastik Limit w _p (%)
1	84,06	85,94	85,5	30,556	28,70
2	83,44	85,37	84,96	26,974	
3	94,17	95,79	95,,43	28,571	

TARİH :	23.01.2018
DENEYİ YAPAN :	FEB 2017/10-YÜLTEP
NUMUNE SINIFI :	Bentonit + %20 KMT

Deney No	W _{kap} (g)	W _{kap+yaş} (g)	W _{kap+kuru} (g)	w (%)	Plastik Limit w _p (%)
1	98,31	100	99,64	27,068	27,30
2	93,44	94,79	94,54	22,727	
3	86,64	88,4	88,02	27,536	

TARİH :	23.01.2018
DENEYİ YAPAN :	FEB 2017/10-YÜLTEP
NUMUNE SINIFI :	Bentonit + %30 KMT

Deney No	W _{kap} (g)	W _{kap+yaş} (g)	W _{kap+kuru} (g)	w (%)	Plastik Limit w _p (%)
1	87,92	89,45	89,15	24,390	23,77
2	93,84	95,63	95,3	22,603	
3	79,53	81,78	81,34	24,309	

TARİH :	23.01.2018
DENEYİ YAPAN :	FEB 2017/10-YÜLTEP
NUMUNE SINIFI :	Bentonit + %50 KMT

Deney No	W _{kap} (g)	W _{kap+yaş} (g)	W _{kap+kuru} (g)	w (%)	Plastik Limit w _p (%)
1	10,97	12,14	11,93	21,875	21,96
2	9,04	10,5	10,24	21,667	
3	9,7	10,85	10,64	22,340	

Ek-A14

TARİH :	23.01.2018
DENEYİ YAPAN :	FEB 2017/10-YÜLTEP
NUMUNE SINIFI :	Bentonit + %5 DMT

Deney No	W _{kap} (g)	W _{kap+yaş} (g)	W _{kap+kuru} (g)	w (%)	Plastik Limit w _p (%)
1	18,54	19,85	19,56	28,431	29,02
2	21,76	23,42	23,03	30,709	
3	14,89	16,54	16,18	27,907	

TARİH :	23.01.2018
DENEYİ YAPAN :	FEB 2017/10-YÜLTEP
NUMUNE SINIFI :	Bentonit + %10 DMT

Deney No	W _{kap} (g)	W _{kap+yaş} (g)	W _{kap+kuru} (g)	w (%)	Plastik Limit w _p (%)
1	23,1	24,62	24,3	26,667	26,45
2	21,15	22,99	22,6	26,897	
3	15,28	16,89	16,56	25,781	

TARİH :	23.01.2018
DENEYİ YAPAN :	FEB 2017/10-YÜLTEP
NUMUNE SINIFI :	Bentonit + %20 DMT

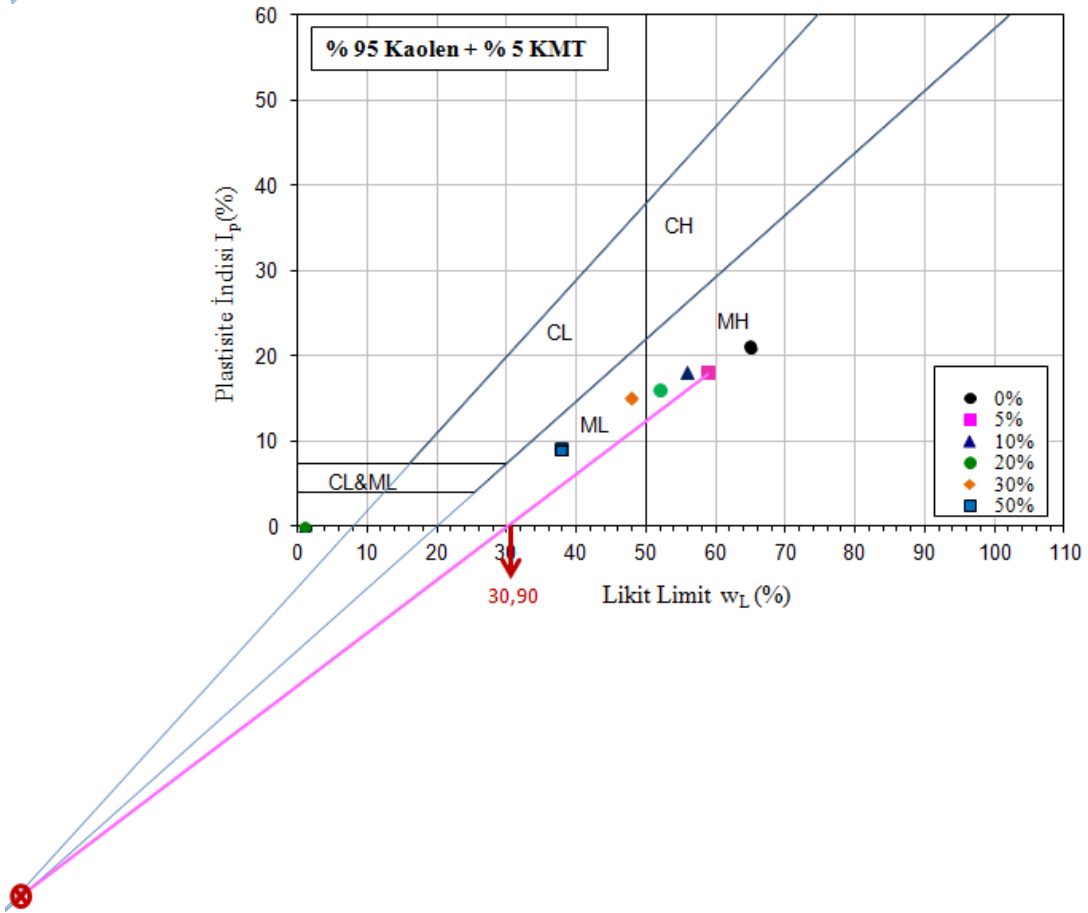
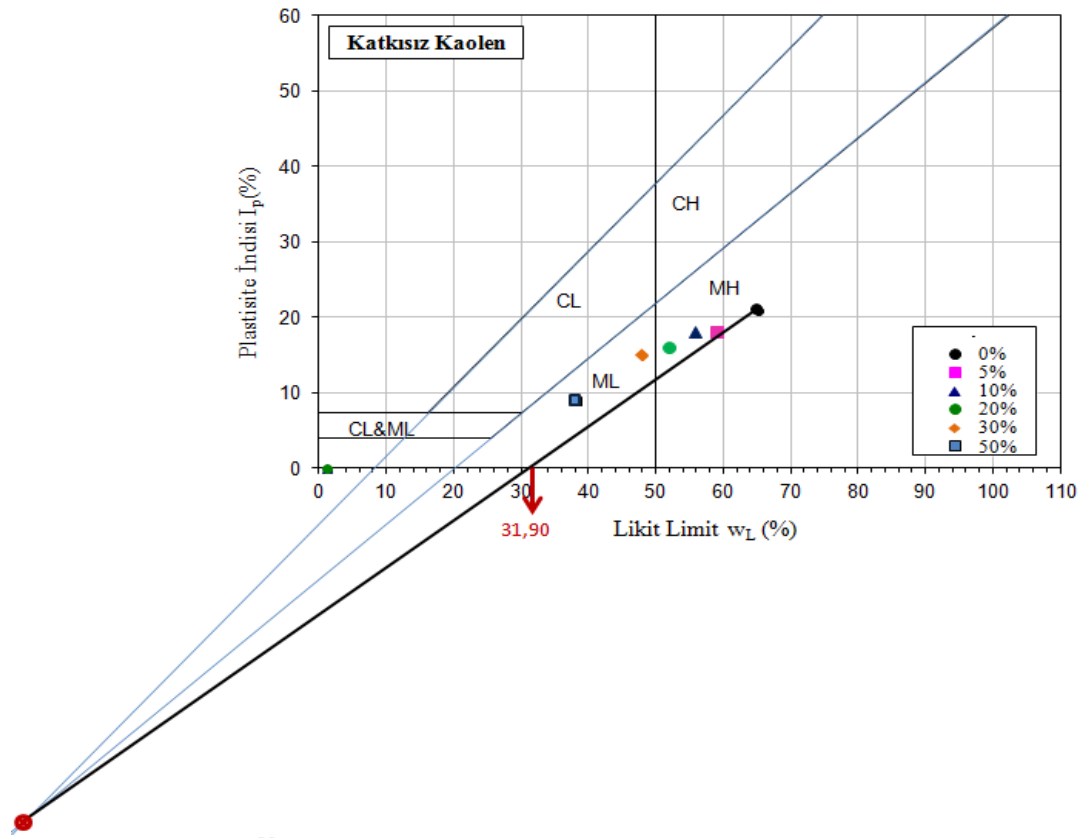
Deney No	W _{kap} (g)	W _{kap+yaş} (g)	W _{kap+kuru} (g)	w (%)	Plastik Limit w _p (%)
1	32,13	33,74	33,42	24,806	24,96
2	32,02	33,21	32,98	23,958	
3	33,43	35,41	35	26,115	

TARİH :	23.01.2018
DENEYİ YAPAN :	FEB 2017/10-YÜLTEP
NUMUNE SINIFI :	Bentonit + %30 DMT

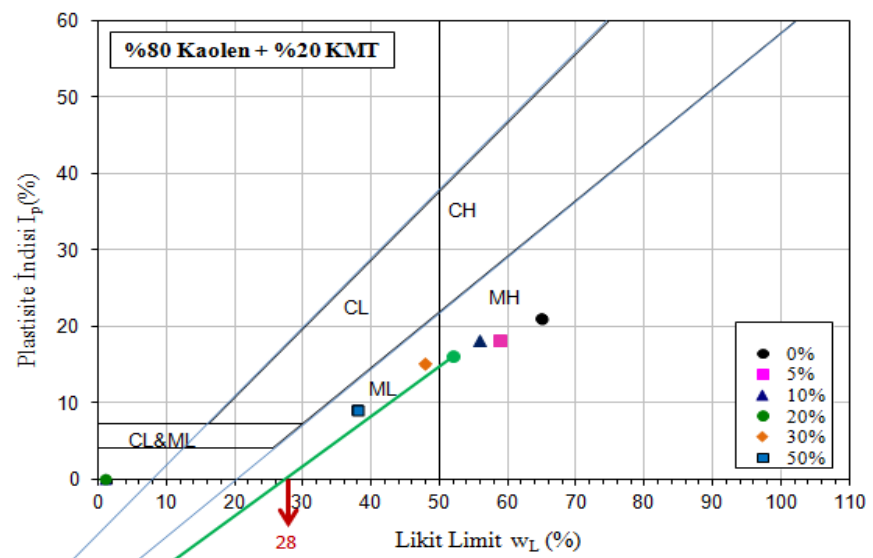
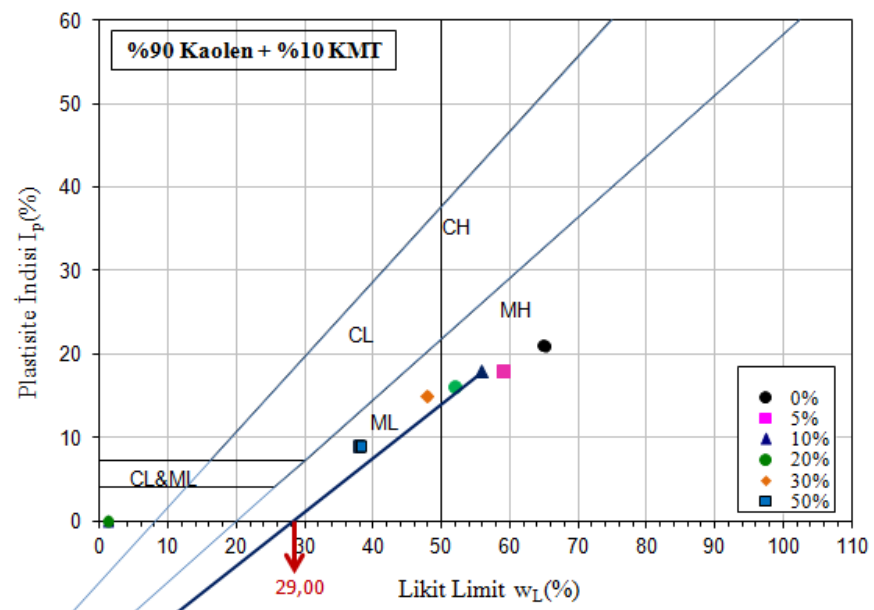
Deney No	W _{kap} (g)	W _{kap+yaş} (g)	W _{kap+kuru} (g)	w (%)	Plastik Limit w _p (%)
1	48,99	50,72	50,39	23,571	23,98
2	32,09	34,64	34,14	24,390	
3	35,76	37,5	37,2	20,833	

TARİH :	23.01.2018
DENEYİ YAPAN :	FEB 2017/10-YÜLTEP
NUMUNE SINIFI :	Bentonit + %50 DMT

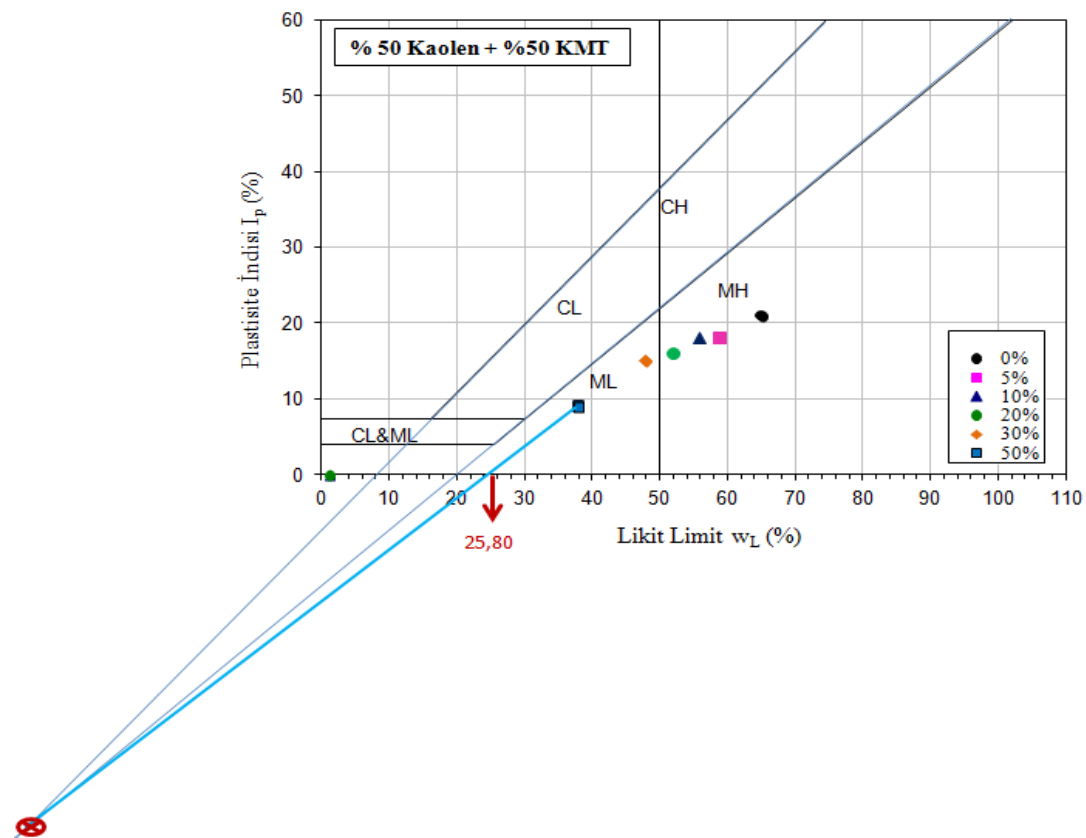
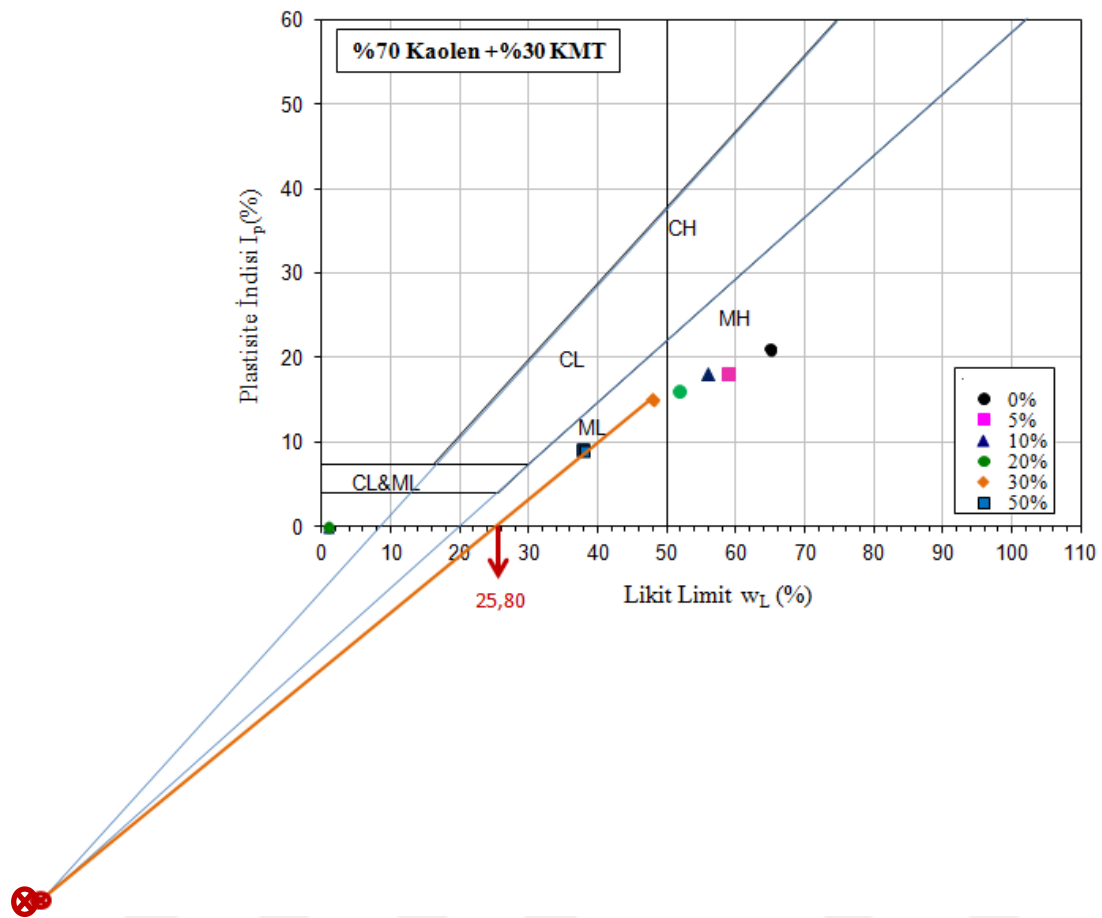
Deney No	W _{kap} (g)	W _{kap+yaş} (g)	W _{kap+kuru} (g)	w (%)	Plastik Limit w _p (%)
1	34,58	37,3	36,87	18,777	18,31
2	36,69	38,37	38,12	17,483	
3	34,75	37,23	36,84	18,660	



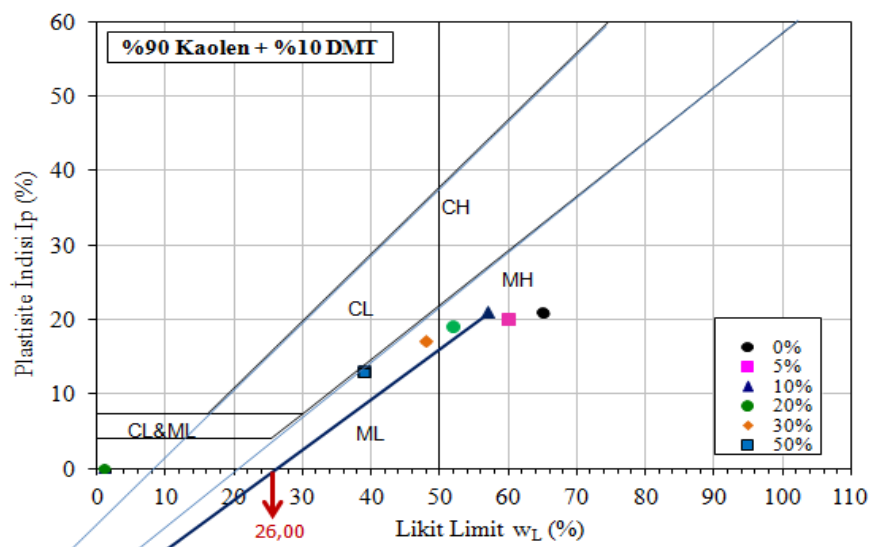
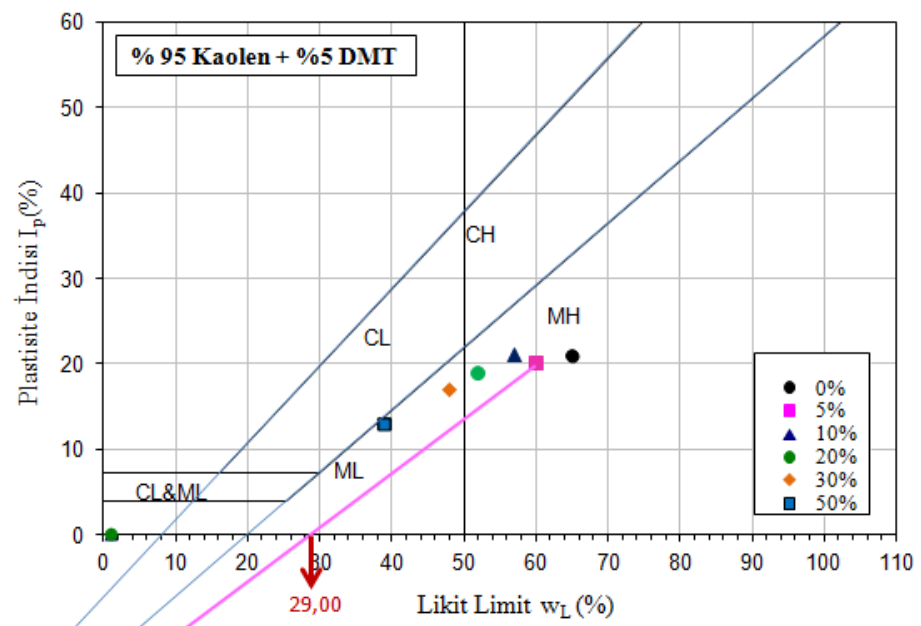
Ek-A16

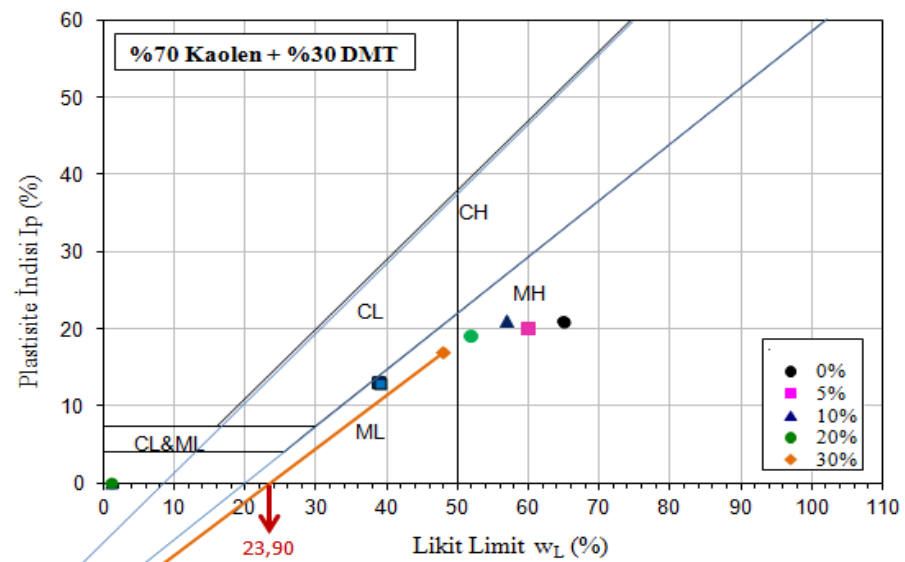
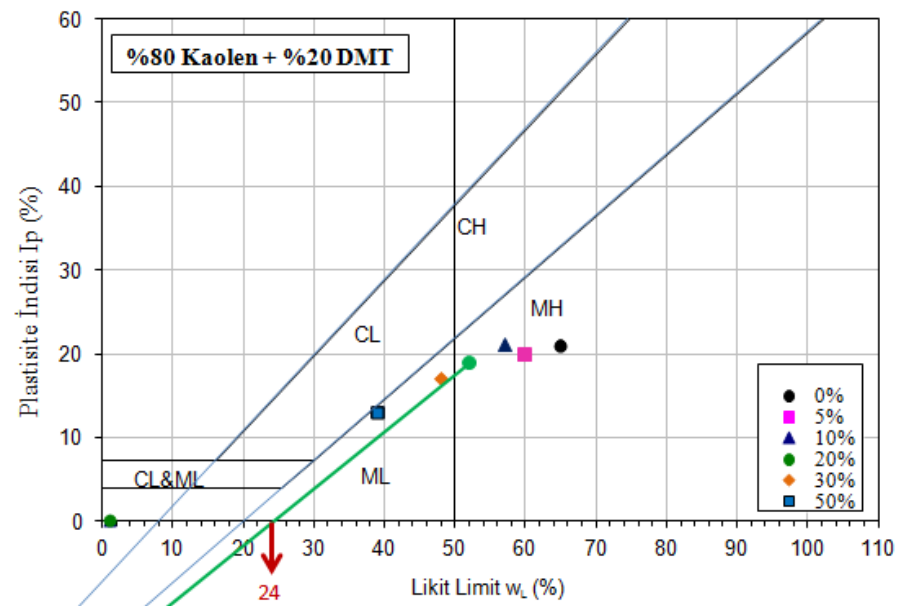


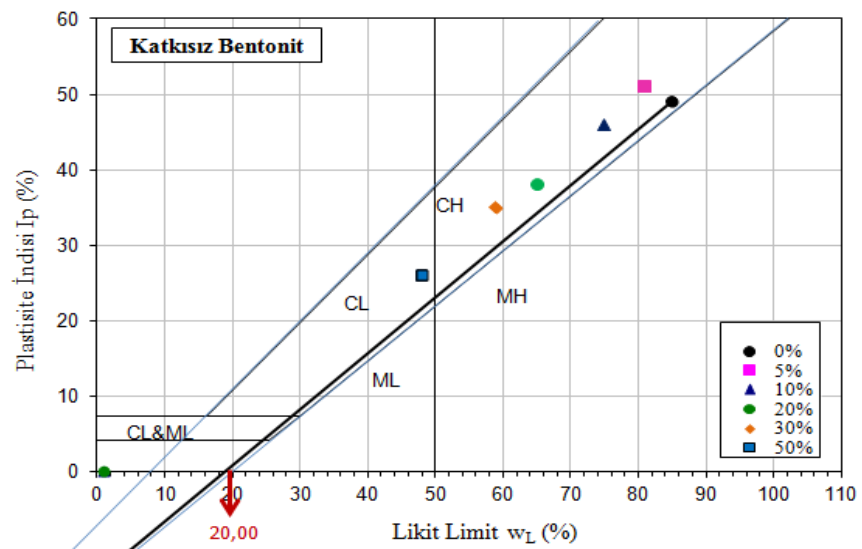
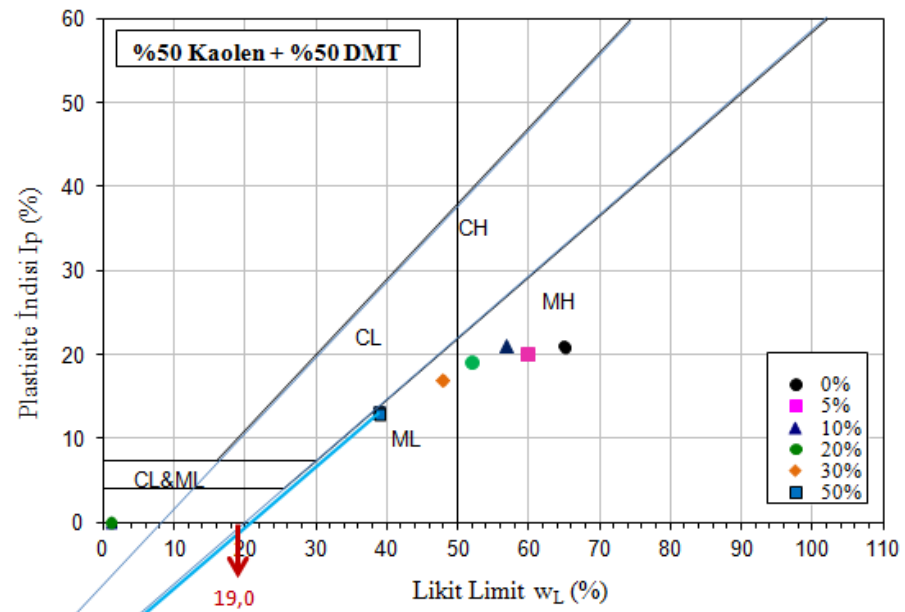
Ek-A17



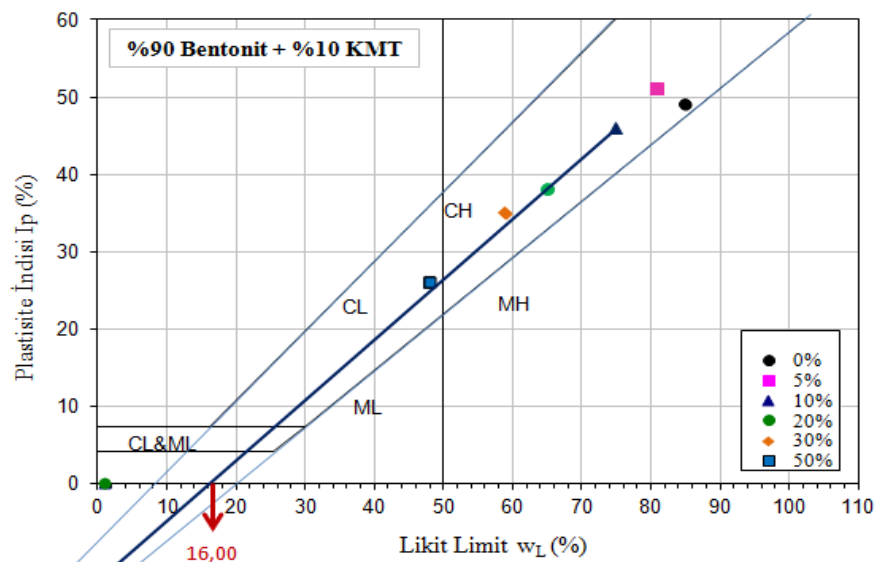
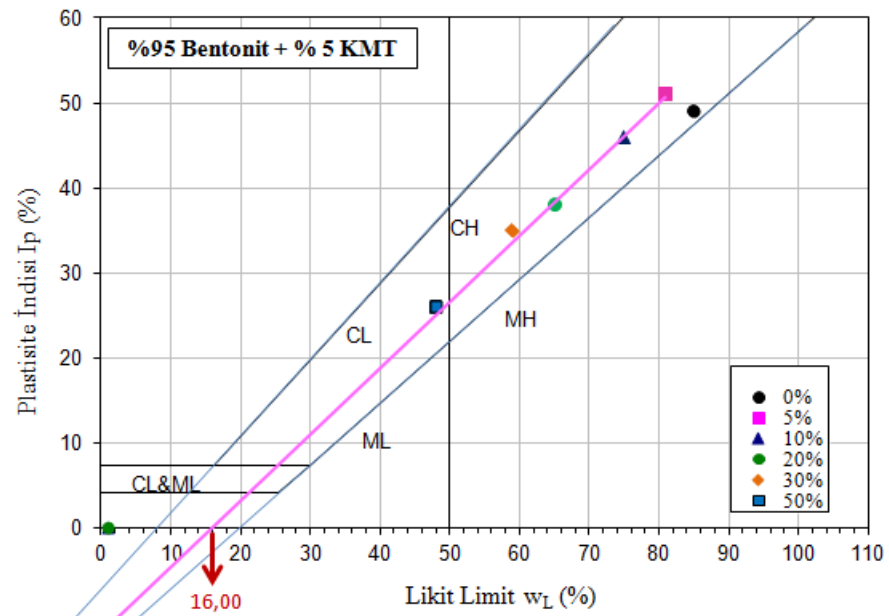
Ek-A18

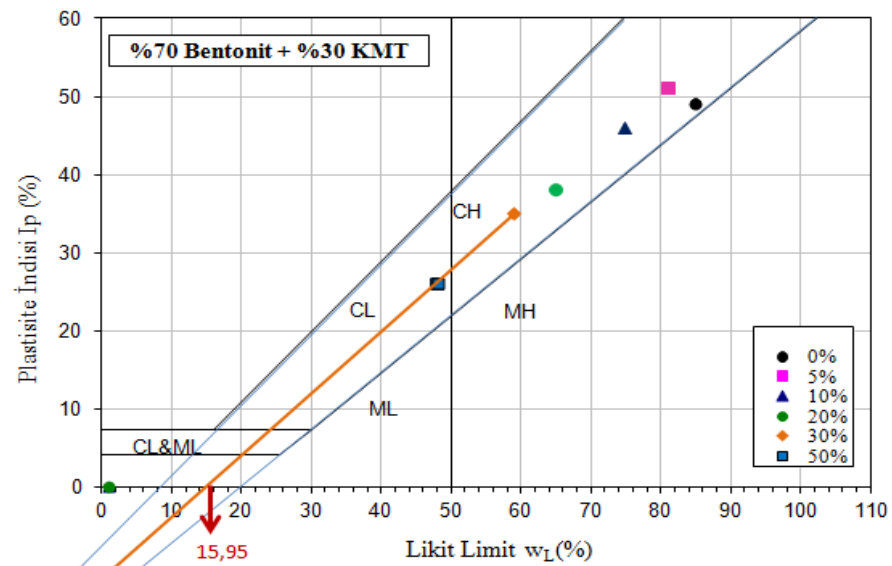
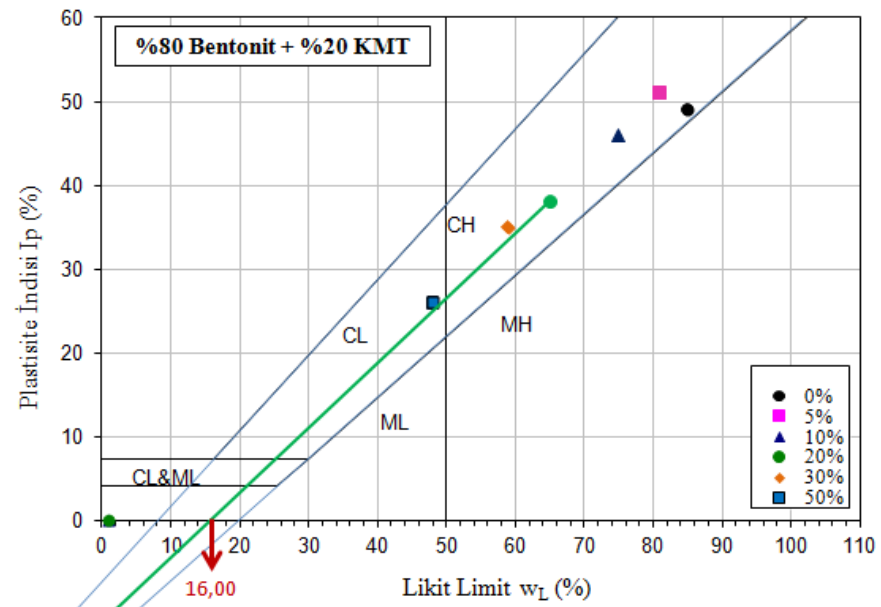




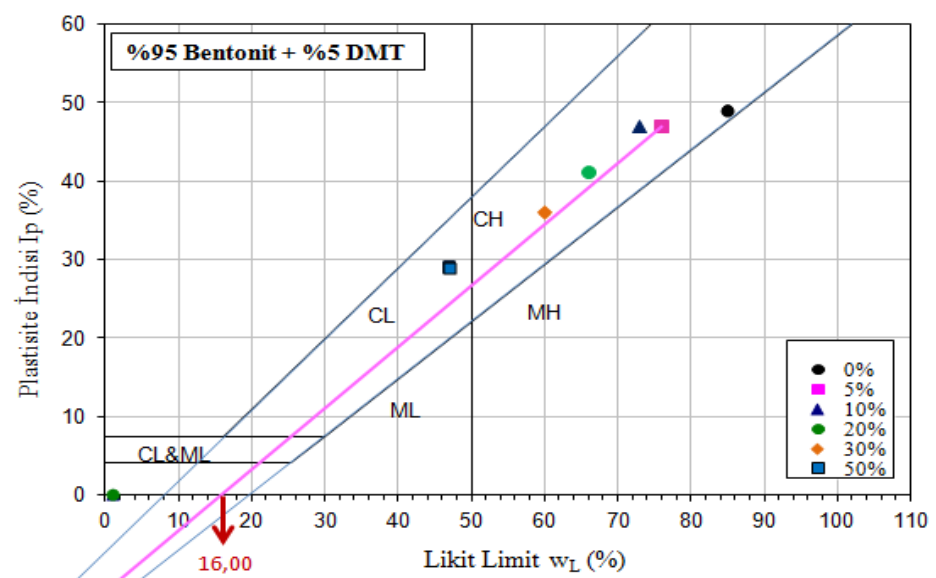
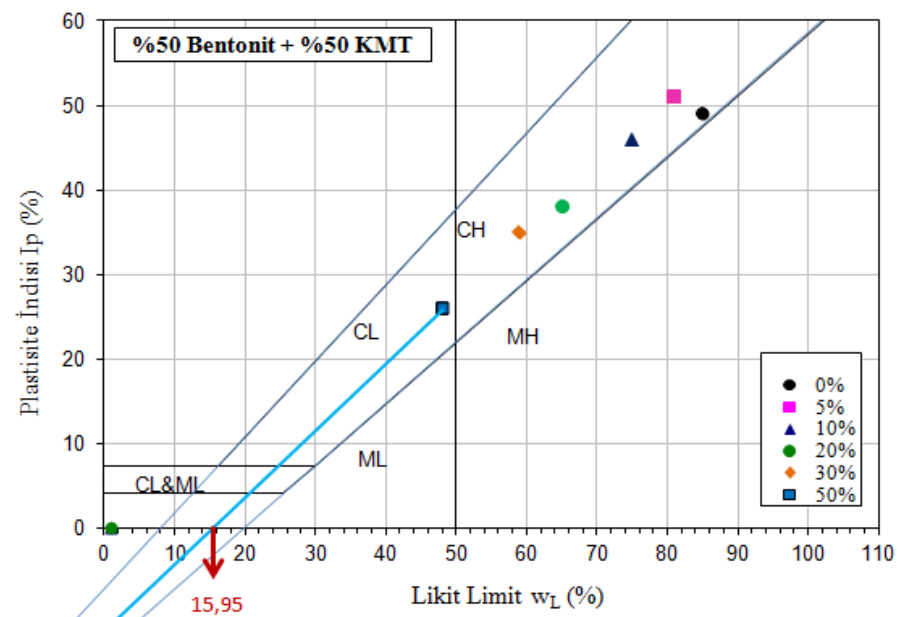


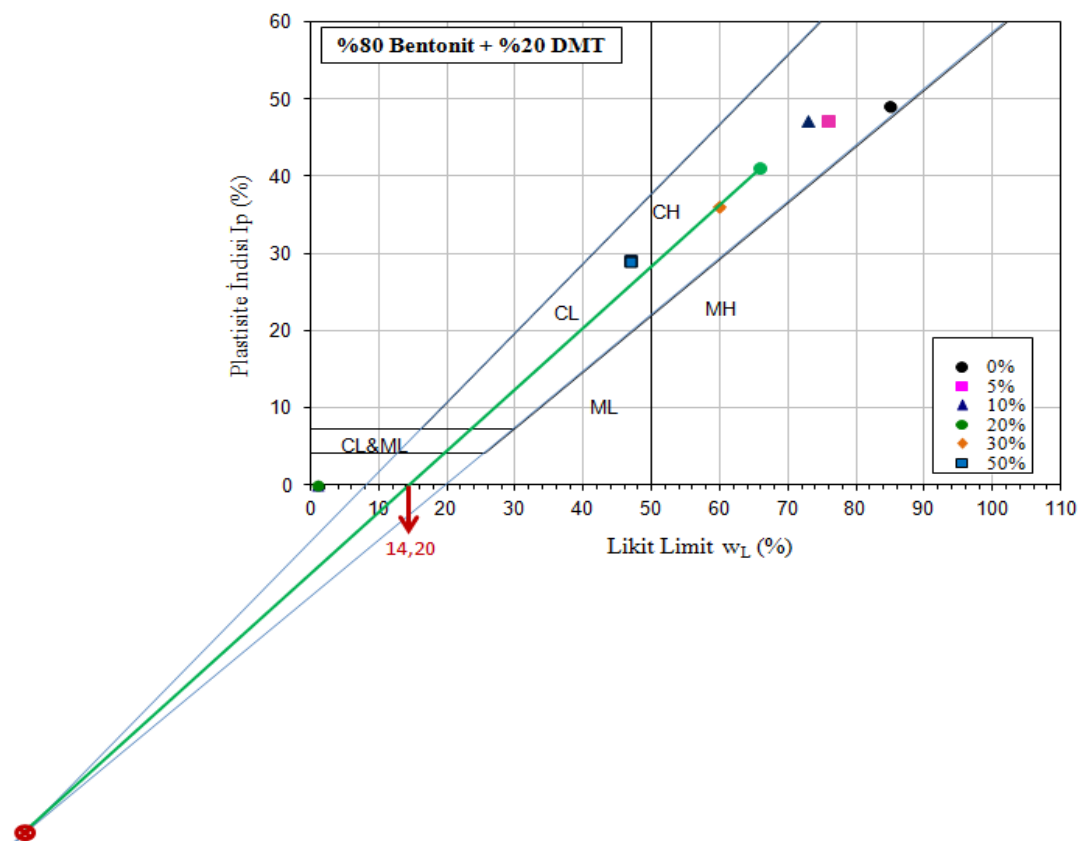
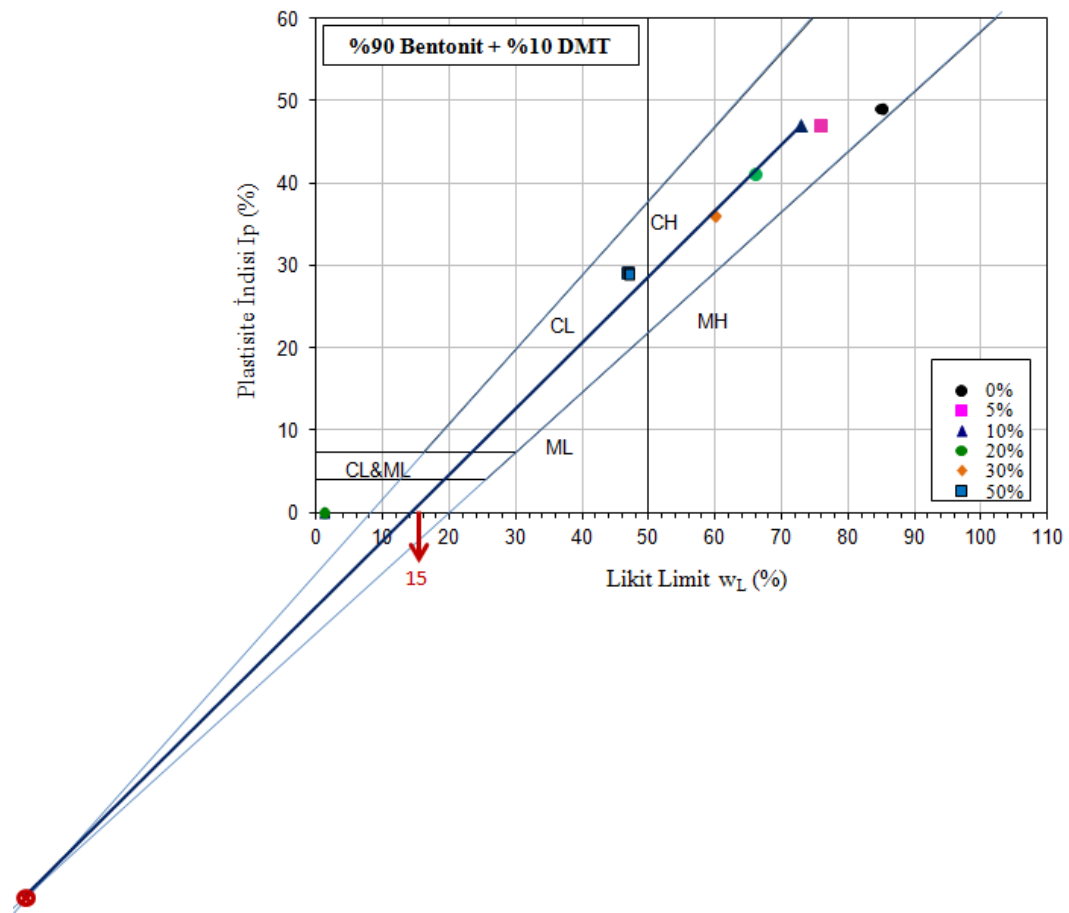
Ek-A21

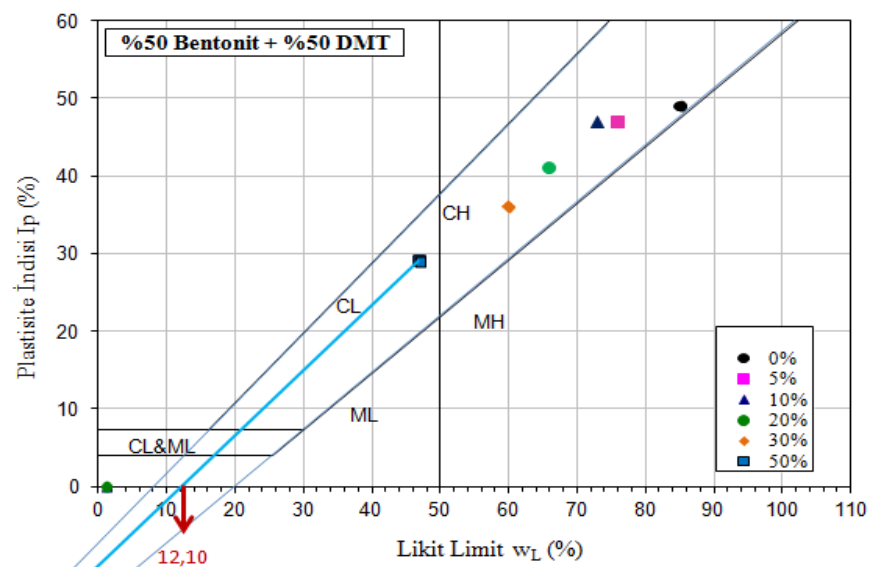
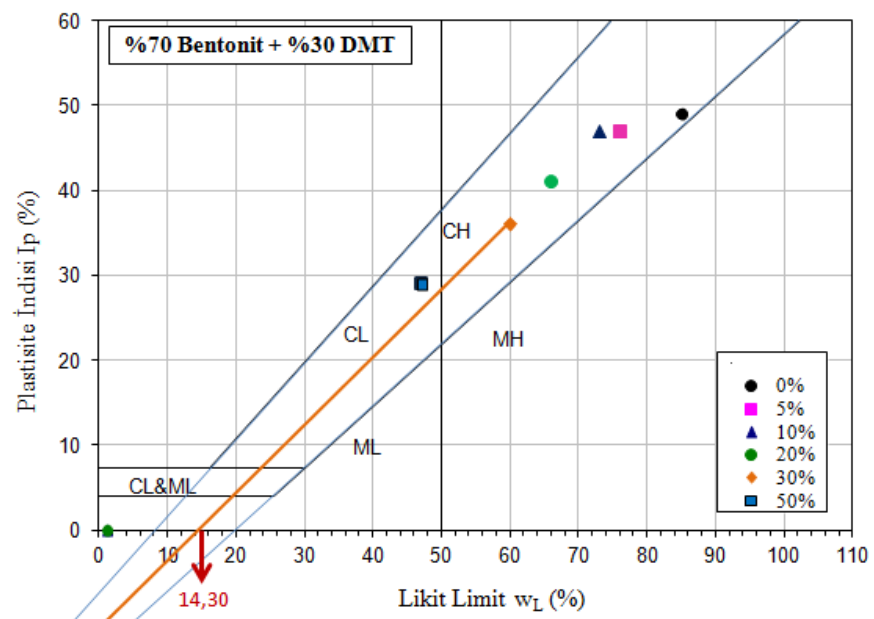




Ek-A23







Ek-B Kaolen ve bentonitin anlık tek eksenli basınç mukavemeti sonuçları

Ek-B1

SERBEST BASINÇ DENEYİ

Proje : FEB2017/10-YÜLTEP

Numune No : Kaolen

Tarih : 02.04.18

Derinlik (m) :

Muayene

Çukur No : 0

H₀ (mm) = 100

ω (%) = 44

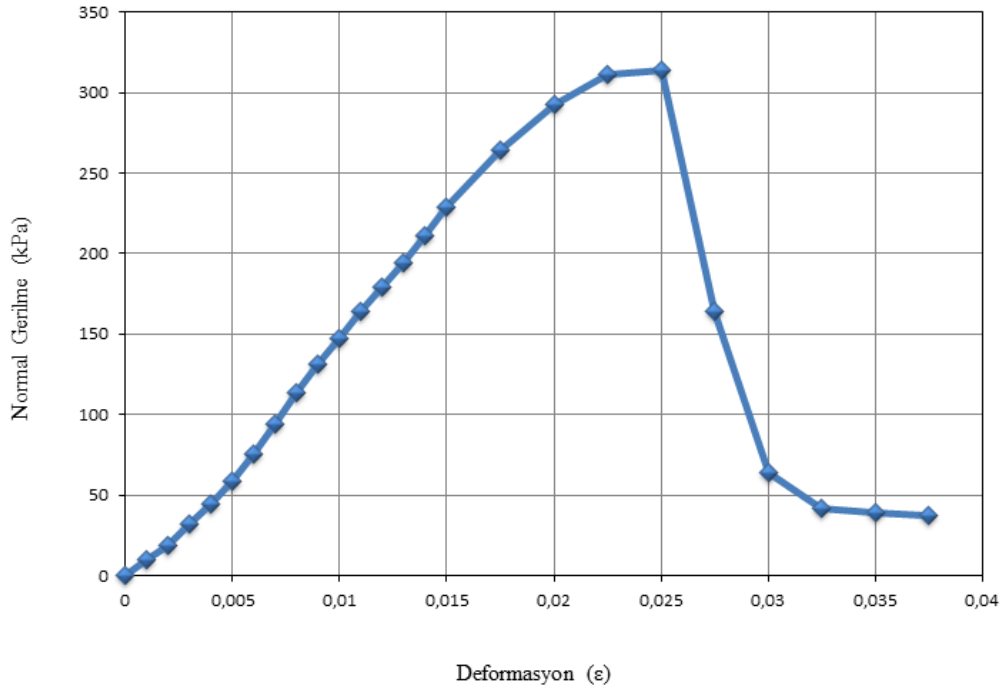
D₀ (mm) = 50

γ_n (g/cm³) = 1,50

q_u (kPa) = 313,78

c_u (kPa) = 156,89

Serbest Basınç Deney Eğrisi



SERBEST BASINÇ DENEYİ

Proje : FEB2017/10-YÜLTEP Numune No : Kaolen-%5 KMT
Tarih : 02.04.18 Derinlik (m) :

Muayene

Çukur No : 0

H_o (mm) = 100

ω (%) = 42

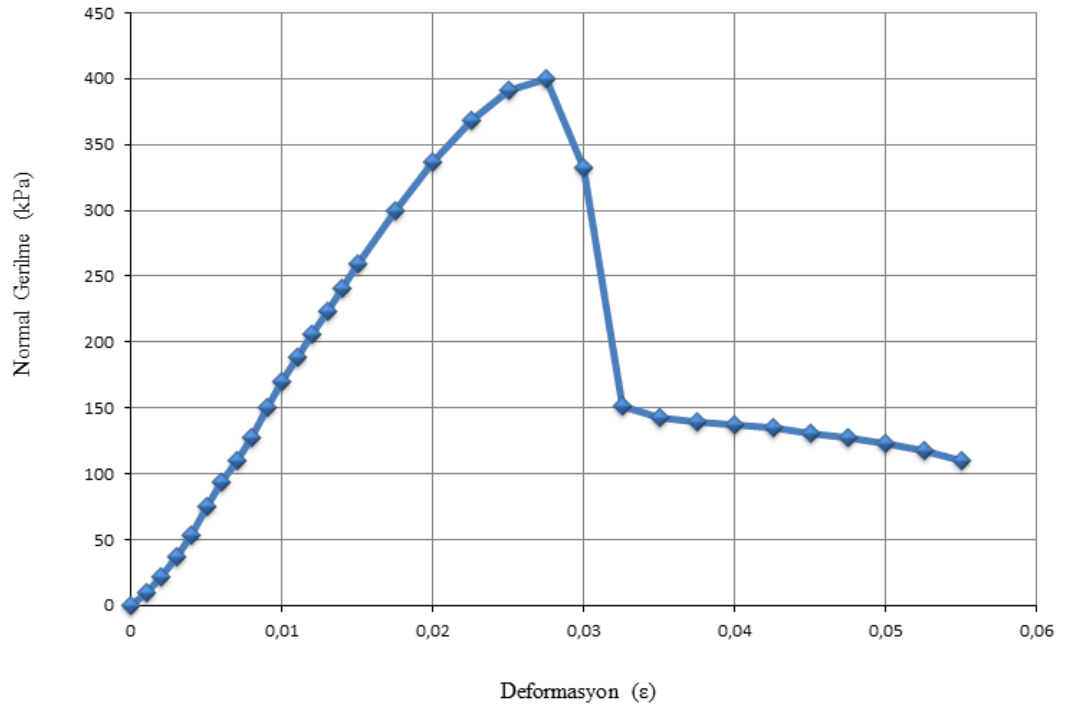
D_o (mm) = 50

γ_n (g/cm³) = 1,53

q_u (kPa) = 400,20

c_u (kPa) = 200,10

Serbest Basınç Deney Eğrisi



SERBEST BASINÇ DENEYİ

Proje : FEB2017/10-YÜLTEP Numune No : Kaolen.-%50 KMT
Tarih : 02.04.18 Derinlik (m) :

Muayene

Çukur No : 0

H₀ (mm) = 100

ω (%) = 26

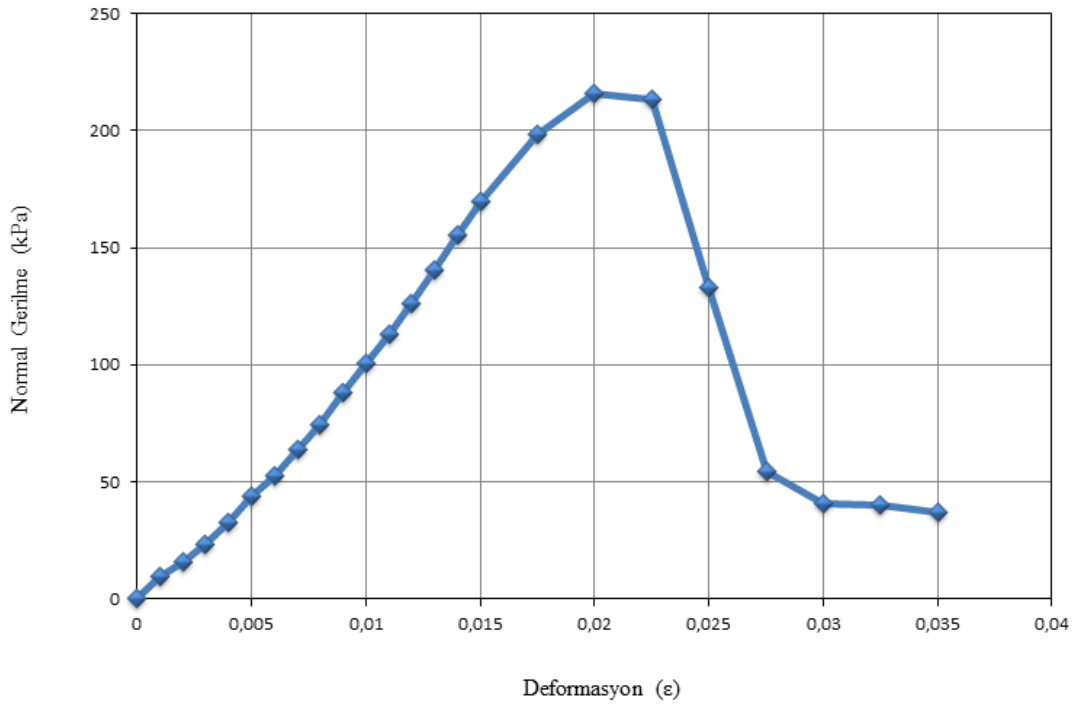
D₀ (mm) = 50

γ_n (g/cm³) = 1,54

q_u (kPa) = 215,60

c_u (kPa) = 107,80

Serbest Basınç Deney Eğrisi



SERBEST BASINÇ DENEYİ

Proje : FEB2017/10-YÜLTEP Numune No : Kaolen-%5 DMT
Tarih : 08.03.18 Derinlik (m) :

Muayene

Çukur No : 0

H₀ (mm) = 100

ω (%) = 42

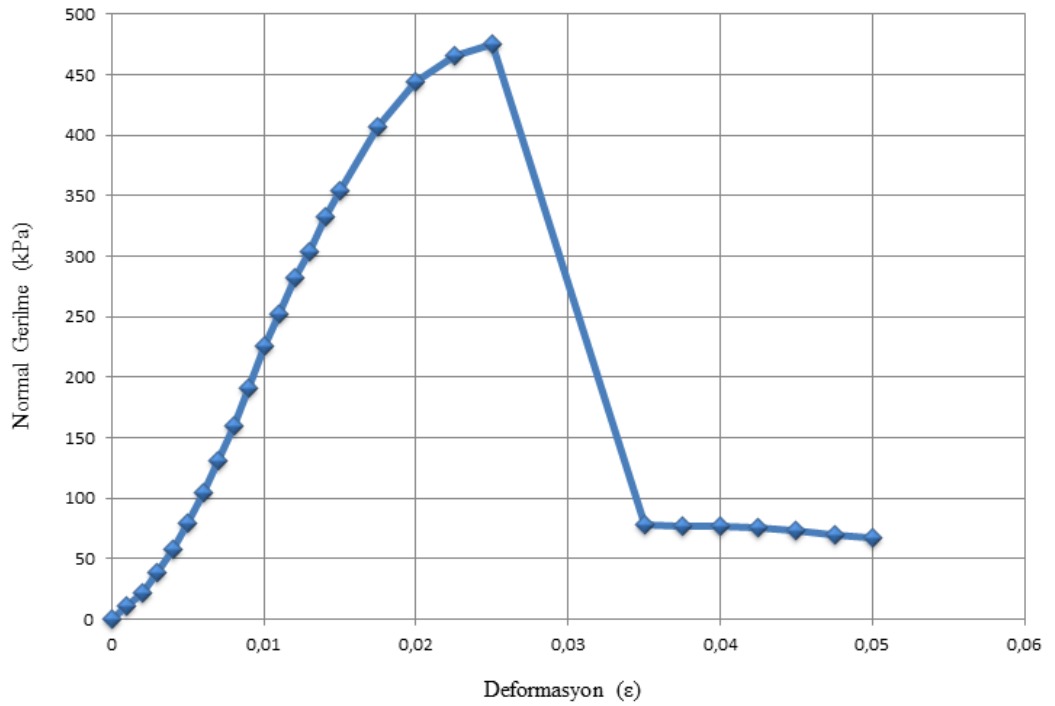
D₀ (mm) = 50

γ_n (g/cm³) = 1,52

q_u (kPa) = 475,30

c_u (kPa) = 237,65

Serbest Basınç Deney Eğrisi



SERBEST BASINÇ DENEYİ

Proje : FEB2017/10-YÜLTEP Numune No : Kaolen.-%50 DMT

Tarih : 02.04.18

Derinlik (m) :

Çukur No : 0

H₀ (mm) = 100

ω (%) = 26

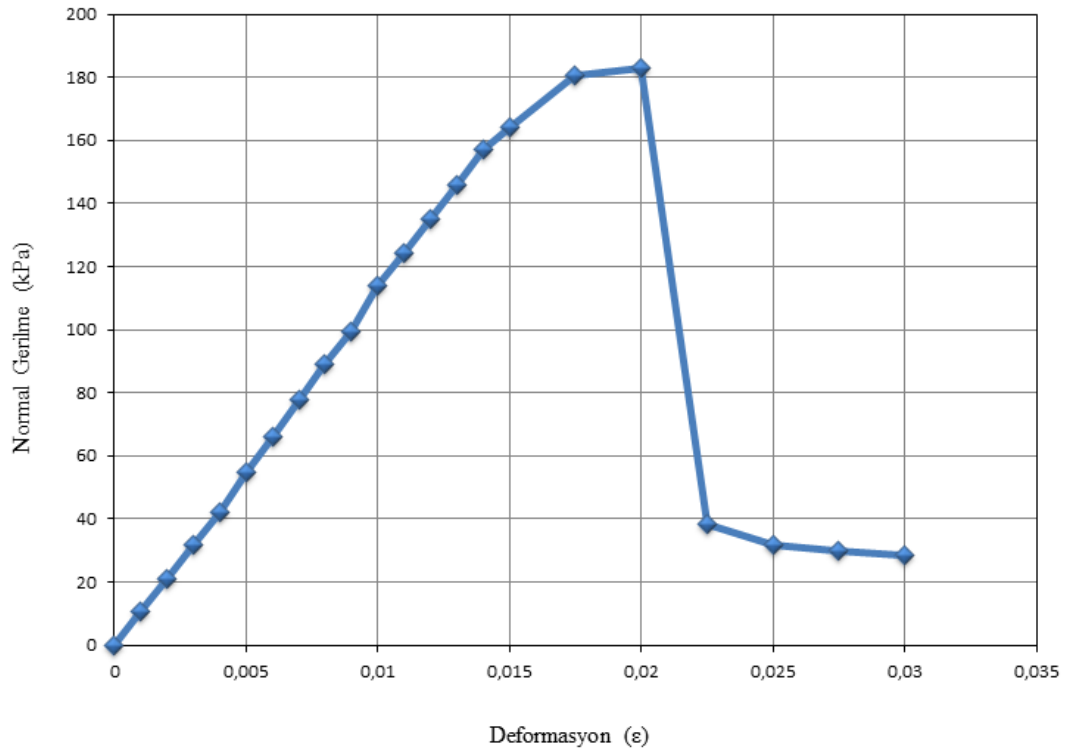
D₀ (mm) = 50

γ_n (g/cm³) = 1,58

q_u (kPa)= 183,03

c_u (kPa) = 91,51

Serbest Basınç Deney Eğrisi



SERBEST BASINÇ DENEYİ

Proje : FEB2017/10-YÜLTEP

Numune No : Bentonit

Tarih : 02.04.18

Derinlik (m) :

Çukur No : 0

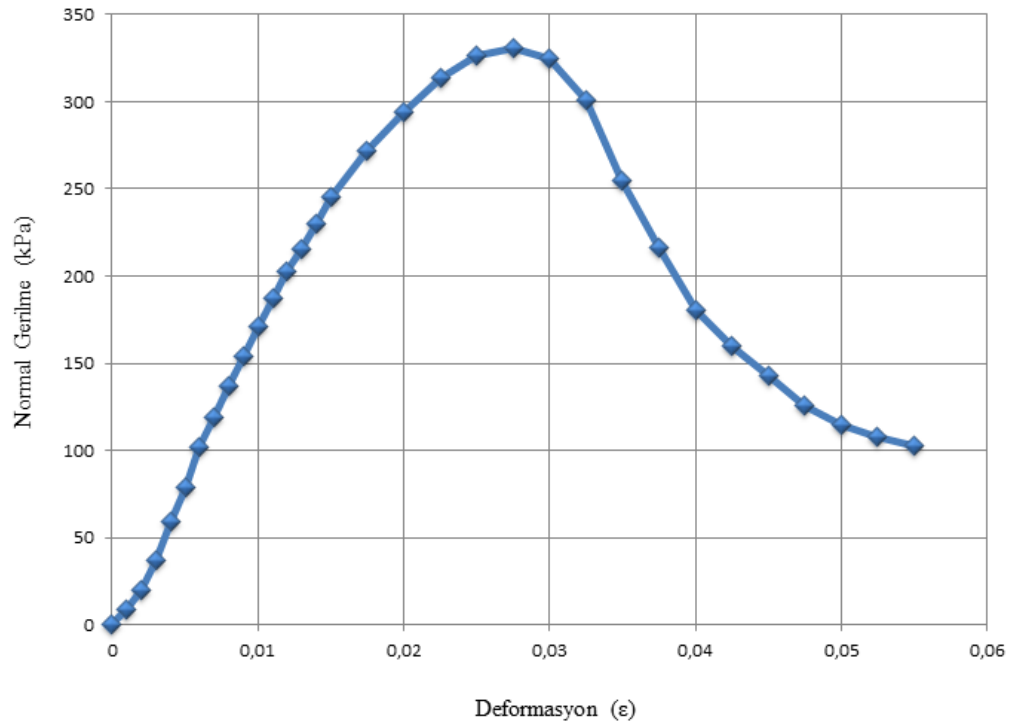
Ho (mm) = 100

 ω (%) = 34

Do (mm) = 50

 γ_n (g/cm³) = 1,58 q_u (kPa) = 330,42 c_u (kPa) = 165,21

Serbest Basınç Deney Eğrisi



SERBEST BASINÇ DENEYİ

Proje : FEB2017/10-YÜLTEP Numune No : Bentonit-%5 KMT

Tarih : 16.04.18 Derinlik (m) :

Çukur No : 0

H_o (mm) = 100

ω (%) = 32

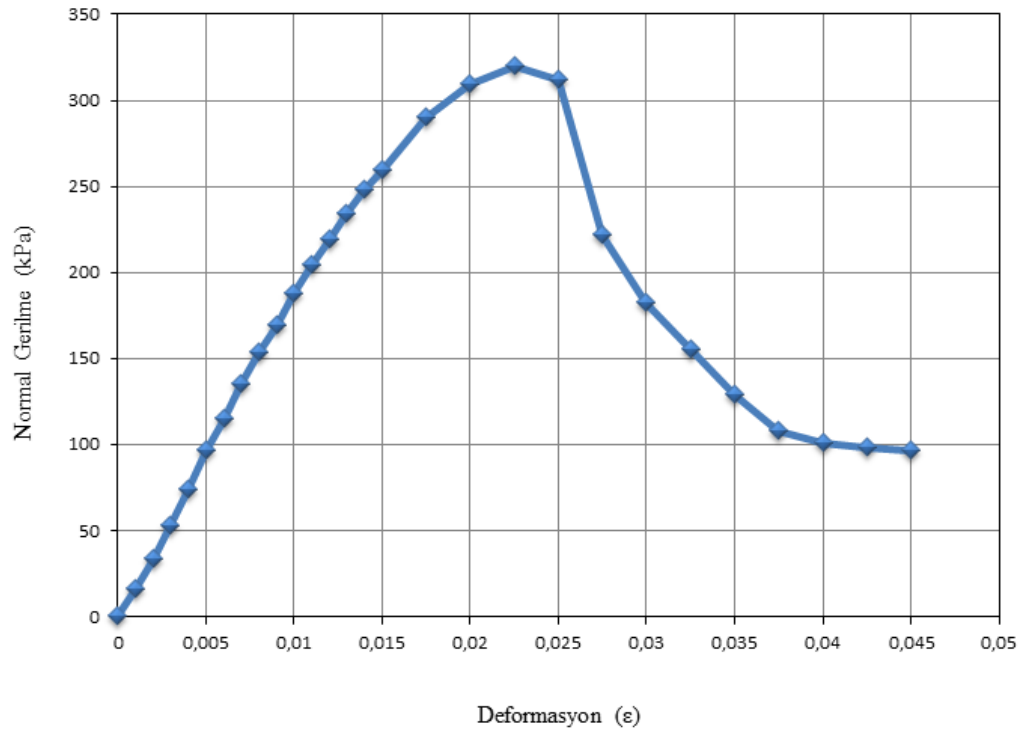
D_o (mm) = 50

γ_n (g/cm³) = 1,57

q_u (kPa) = 319,74

c_u (kPa) = 159,87

Serbest Basınç Deney Eğrisi



SERBEST BASINÇ DENEYİ

Proje : FEB2017/10-YÜLTEP Numune No : Bentonit-%50 KMT

Tarih : 16.04.18 Derinlik (m) :

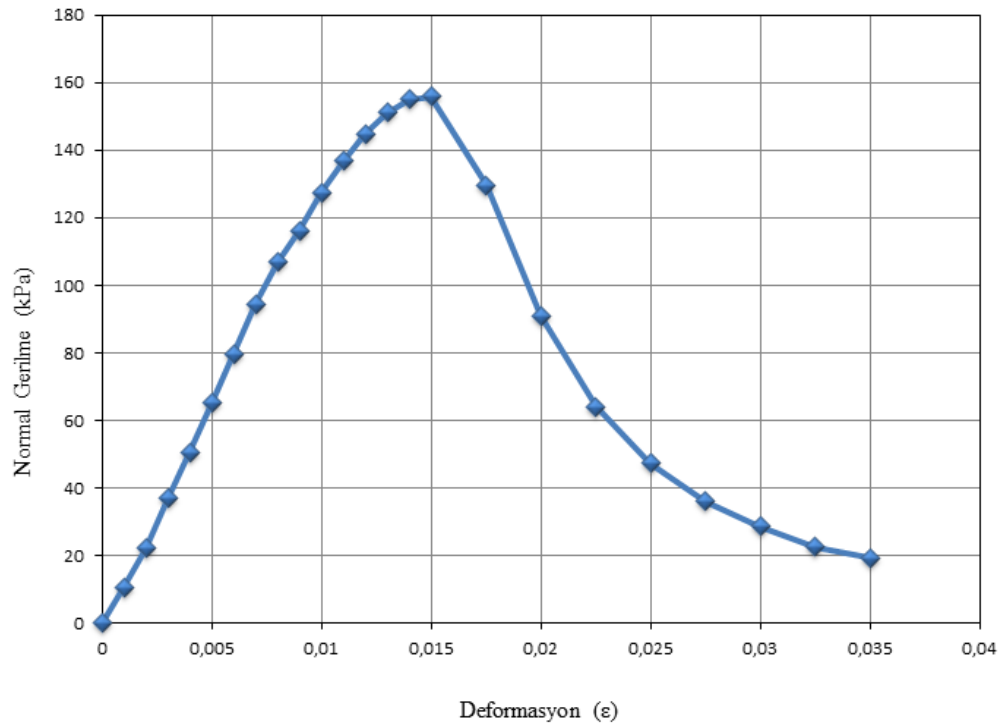
Çukur No : 0

H_0 (mm) = 100 ω (%) = 21

D_0 (mm) = 50 γ_n (g/cm³) = 1,57

q_u (kPa) = 155,90 c_u (kPa) = 77,95

Serbest Basınç Deney Eğrisi



SERBEST BASINÇ DENEYİ

Proje : FEB2017/10-YÜLTEP Numune No : **Bentonit-%5 DMT**

Tarih : 02.04.18 Derinlik (m) :

Çukur No : 0

H_o (mm) = 100

ω (%) = 32

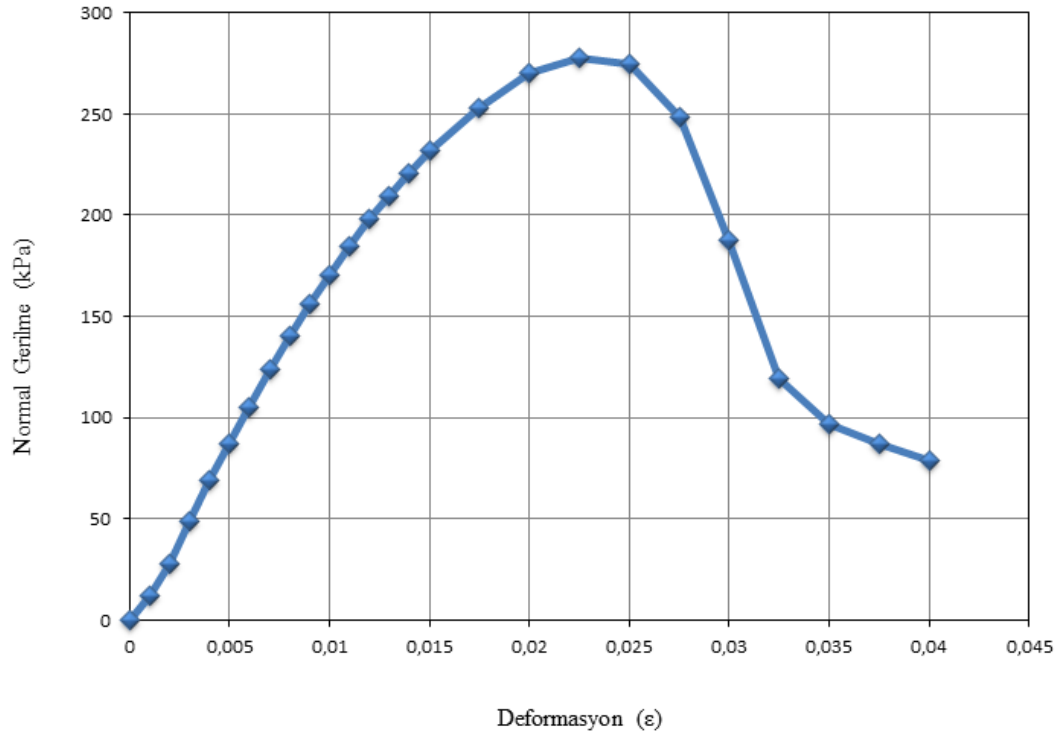
D_o (mm) = 50

γ_n (g/cm³) = 1,55

q_u (kPa) = 277,45

c_u (kPa) = 138,73

Serbest Basınç Deney Eğrisi



SERBEST BASINÇ DENEYİ

Proje : FEB2017/10-YÜLTEP Numune No : Bentonit-%50 DMT

Tarih : 02.04.18 Derinlik (m) :

Çukur No : 0

H_0 (mm) = 100

ω (%) = 22

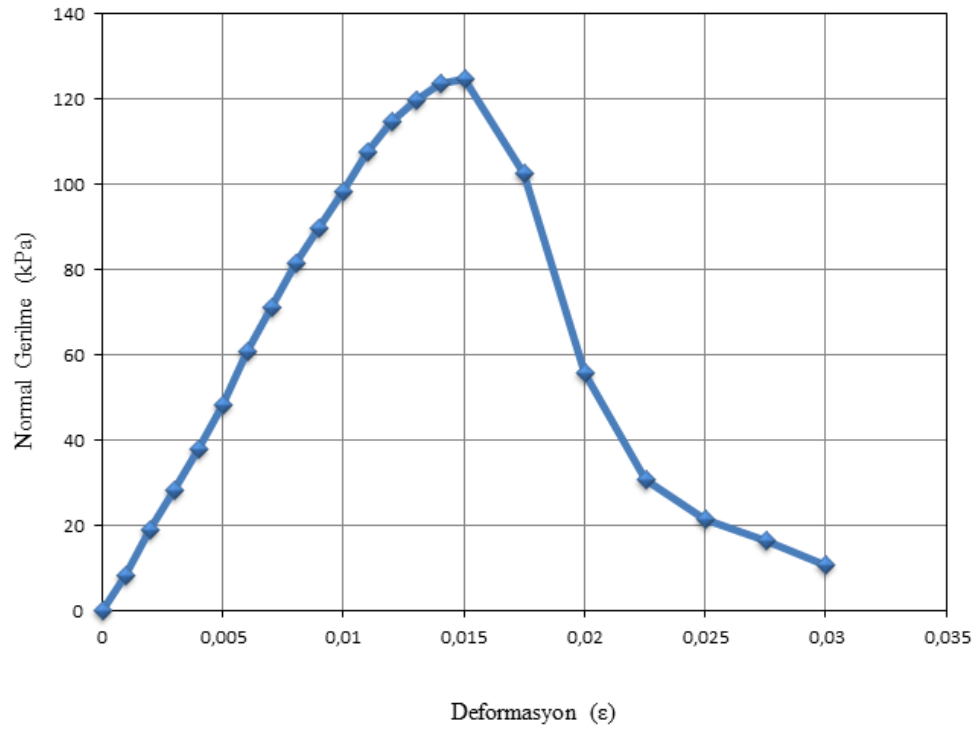
D_0 (mm) = 50

γ_n (g/cm³) = 1,56

q_u (kPa) = 124,72

c_u (kPa) = 62,36

Serbest Basınç Deney Eğrisi



Ek-C Kaolen ve bentonitin 2 aylık tek eksenli basınç mukavemeti sonuçları

Ek-C1

SERBEST BASINÇ DENEYİ

Proje : FEB2017/10-YÜLTEP Numune No : Kaolen

Tarih : 14.05.18 Derinlik (m) :

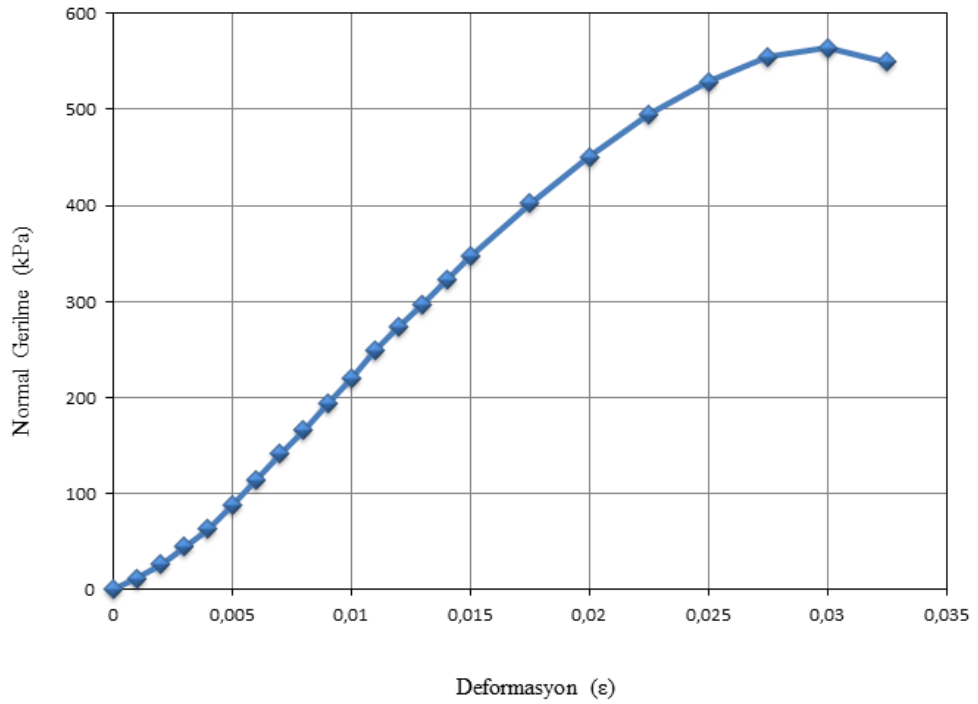
Çukur No : 0

H_o (mm) = 100 ω (%) = 21

D_o (mm) = 50 γ_n (g/cm³) = 1,53

q_u (kPa) = 563,96 c_u (kPa) = 281,98

Serbest Basınç Deney Eğrisi



SERBEST BASINÇ DENEYİ

Proje : FEB2017/10-YÜLTEP

Numune No : Kaolen-%5 KMT

Tarih : 15.05.18

Derinlik (m) :

Muayene

Çukur No : 0

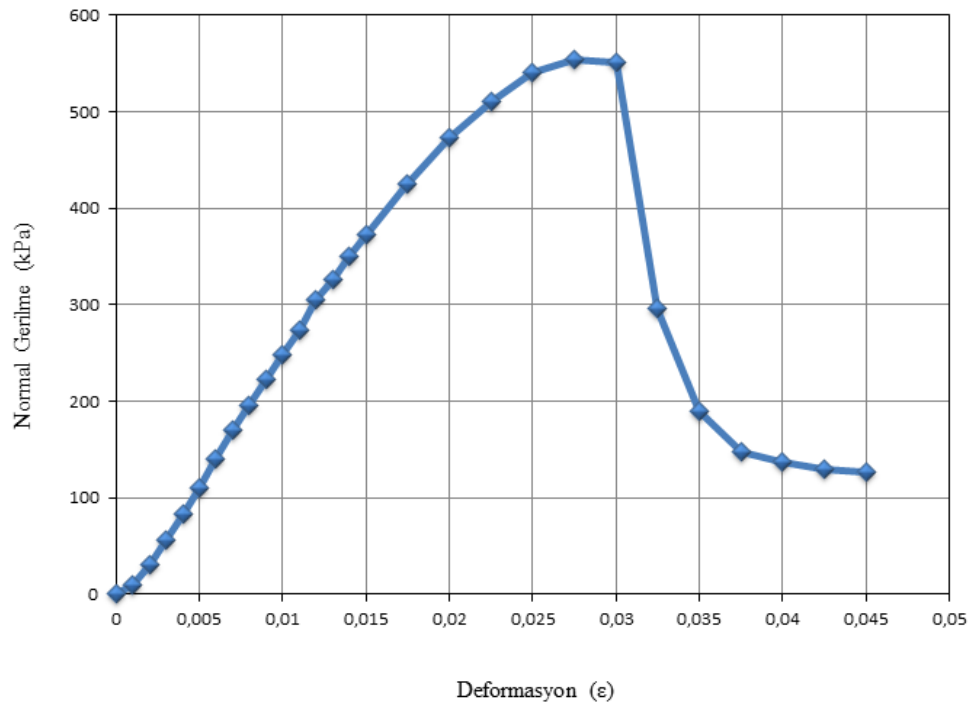
Ho (mm) = 100

 ω (%) = 42

Do (mm) = 50

 γ_n (g/cm³) = 1,57 q_u (kPa) = 554,12 c_u (kPa) = 277,06

Serbest Basınç Deney Eğrisi



SERBEST BASINÇ DENEYİ

Proje : FEB2017/10-YÜLTEP Numune No : Kaolen-%50 KMT
Tarih : 15.05.18 Derinlik (m) :

Muayene

Çukur No : 0

Ho (mm) = 100

ω (%) = 26

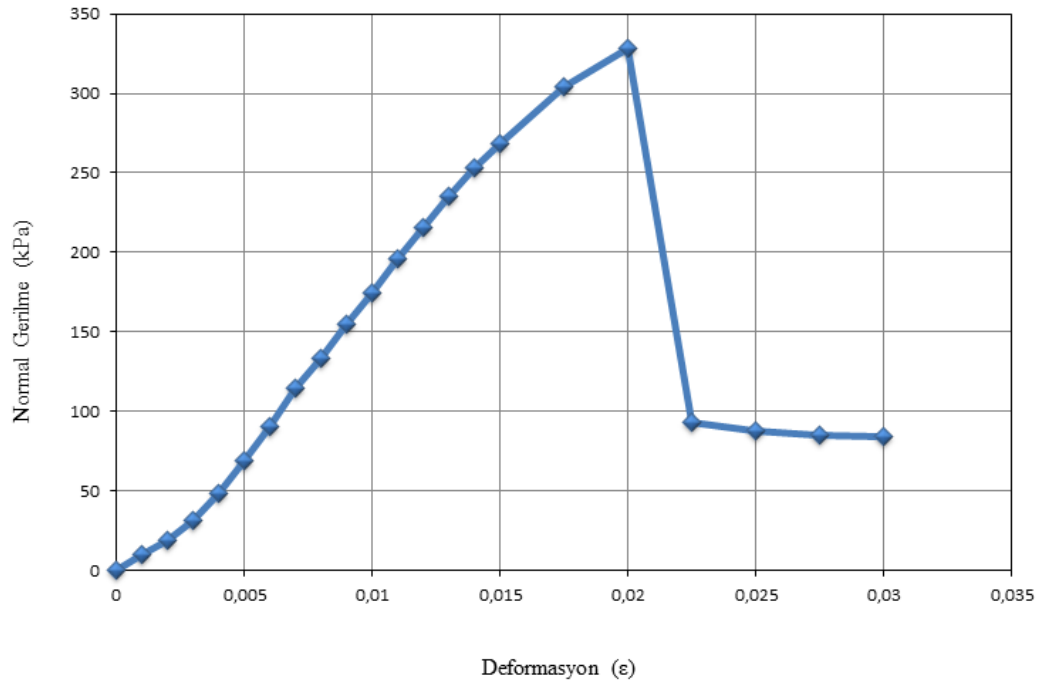
Do (mm) = 50

γ_n (g/cm³) = 1,55

q_u (kPa) = 327,80

c_u (kPa) = 163,90

Serbest Basınç Deney Eğrisi



SERBEST BASINÇ DENEYİ

Proje : FEB2017/10-YÜLTEP

Numune No : Kalolen-%5 DMT

Tarih : 14.05.18

Derinlik (m) :

Çukur No : 0

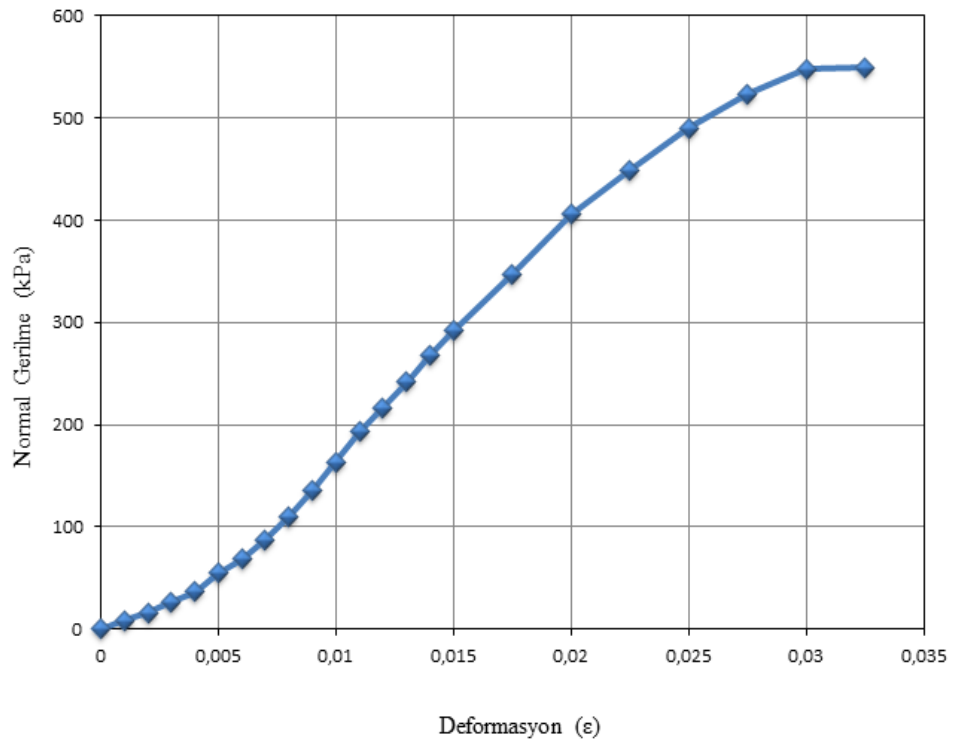
Ho (mm) = 100

 ω (%) = 42

Do (mm) = 50

 γ_n (g/cm³) = 1,54 q_u (kPa) = 549,23 c_u (kPa) = 274,62

Serbest Basınç Deney Eğrisi



SERBEST BASINÇ DENEYİ

Proje : FEB2017/10-YÜLTEP

Numune No : Kaolen-%50 DMT

Tarih : 14.05.18

Derinlik (m) :

Muayene

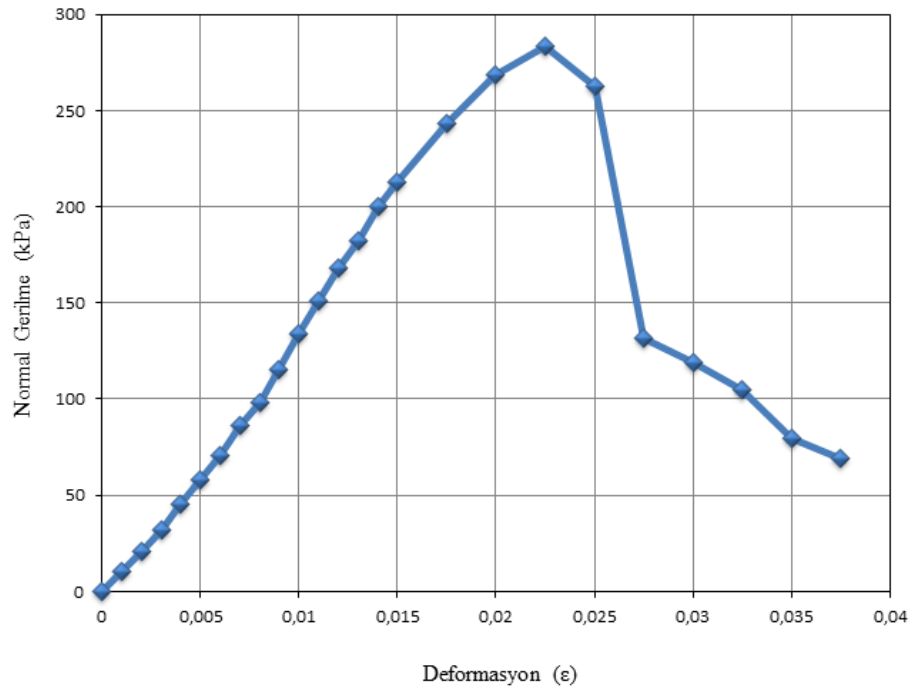
Çukur No : 0

H_o (mm) = 100

ω (%) = 26

D_o (mm) = 50γ_n (g/cm³) = 1,54q_u (kPa) = 283,64c_u (kPa) = 141,82

Serbest Basınç Deney Eğrisi



SERBEST BASINÇ DENEYİ

Proje : FEB2017/10-YÜLTEP Numune No : Bentonit

Tarih : 15.05.18 Derinlik (m) :

Çukur No : 0

H_o (mm) = 100

ω (%) = 34

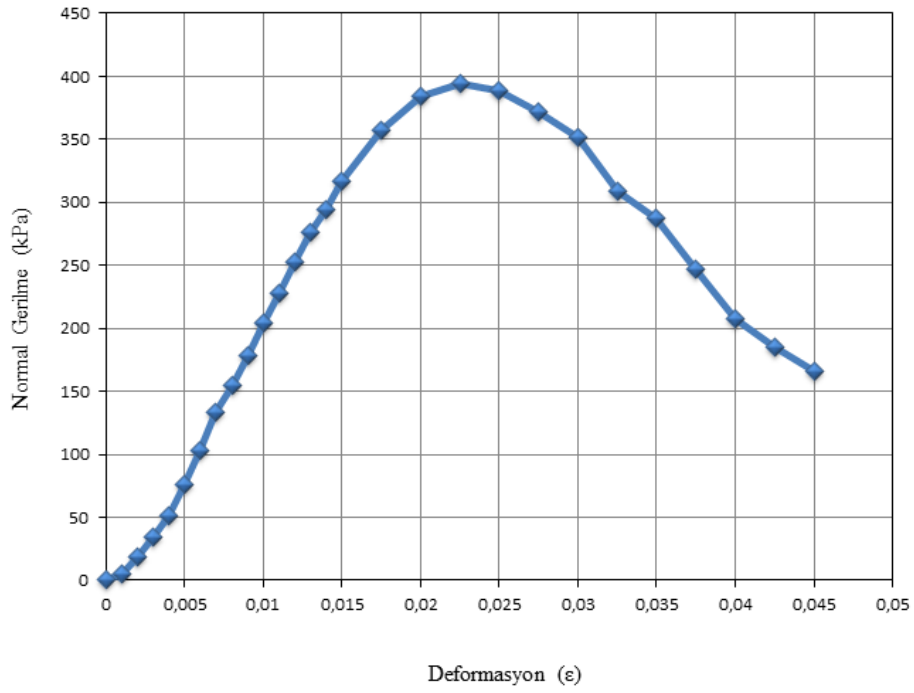
D_o (mm) = 50

γ_n (g/cm³) = 1,62

q_u (kPa) = 394,01

c_u (kPa) = 197,00

Serbest Basınç Deney Eğrisi



SERBEST BASINÇ DENEYİ

Proj : FEB2017/10-YÜLTEP Numune No : Bentonit-%5 KMT

Tarih : 19.05.18 Derinlik (m) :

Çukur No : 0

Ho (mm) = 100

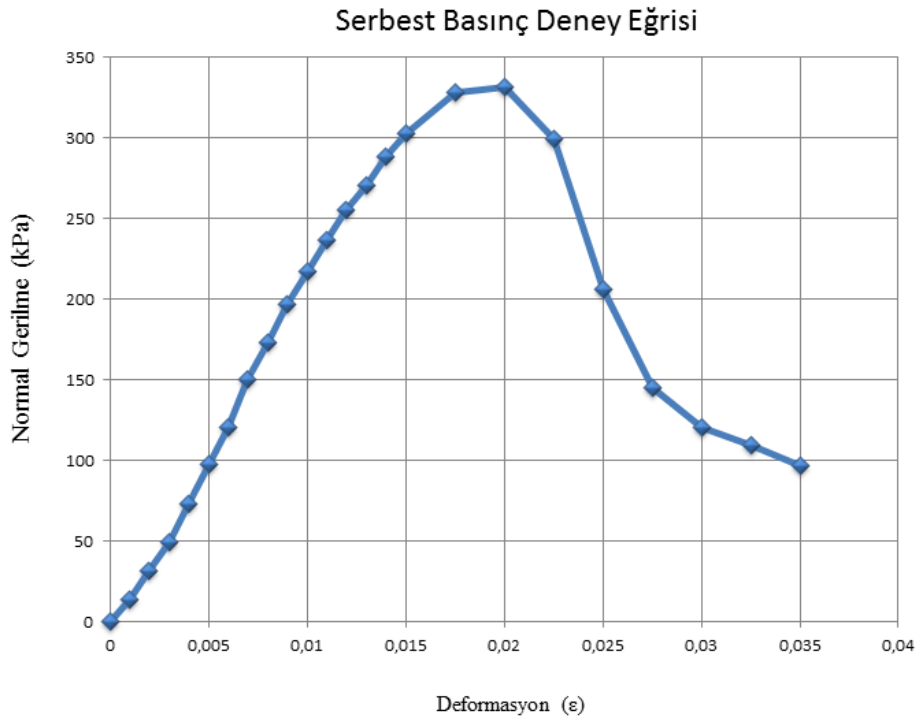
ω (%) = 32

Do (mm) = 50

γ_n (g/cm³) = 1,57

q_u (kPa) = 353,40

c_u (kPa) = 176,70



SERBEST BASINÇ DENEYİ

Proje : FEB2017/10-YÜLTEP Numune No : Bentonit-%50 KMT

Tarih : 19.05.18

Derinlik (m) :

Çukur No : 0

H_o (mm) = 100

ω (%) = 21

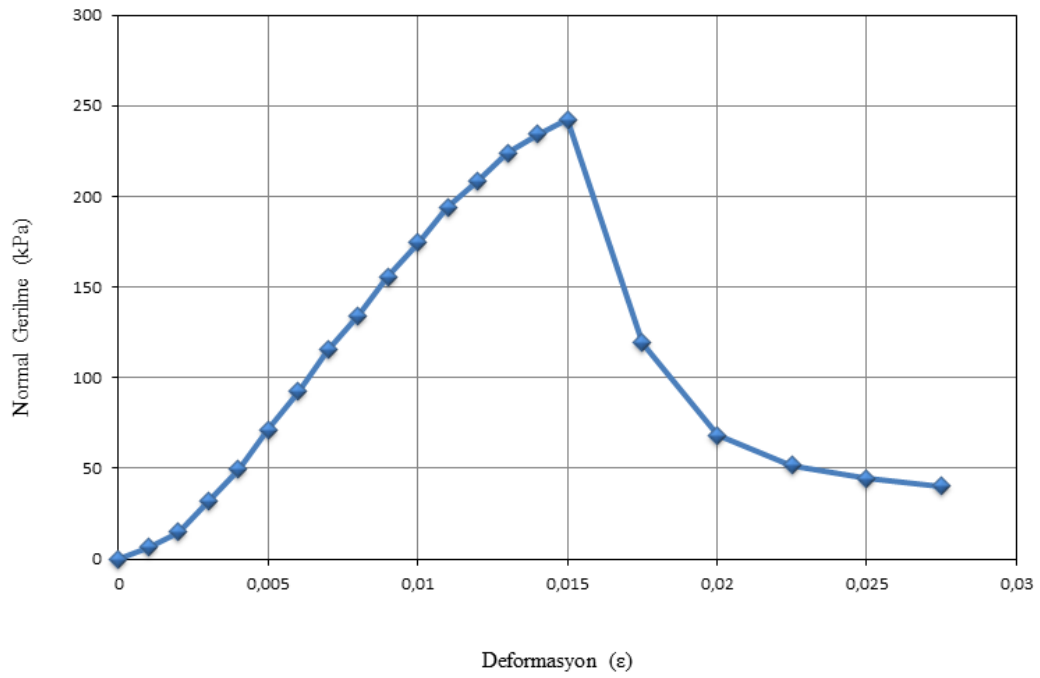
D_o (mm) = 50

γ_n (g/cm³) = 1,60

q_u (kPa) = 242,17

c_u (kPa) = 121,08

Serbest Basınç Deney Eğrisi



SERBEST BASINÇ DENEYİ

Proje : FEB2017/10-YÜLTEP Numune No : Bentonit-%5 DMT

Tarih : 19.05.18 Derinlik (m) :

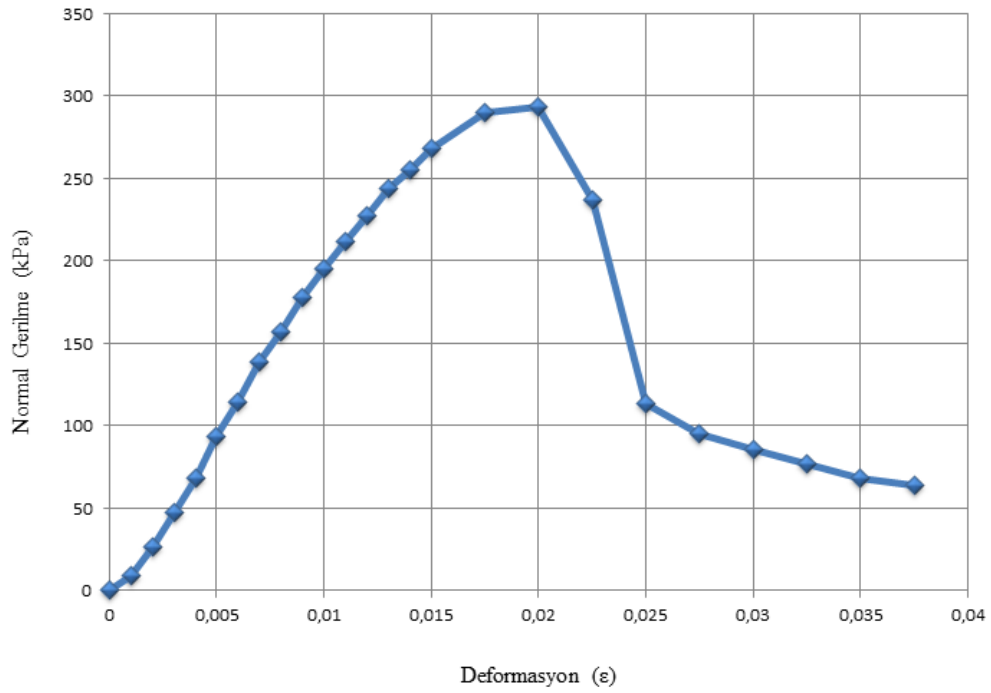
Çukur No : 0

H_0 (mm) = 100 ω (%) = 26

D_0 (mm) = 50 γ_n (g/cm³) = 1,56

q_u (kPa) = 297,40 c_u (kPa) = 148,70

Serbest Basınç Deney Eğrisi



SERBEST BASINÇ DENEYİ

Proje : FEB2017/10-YÜLTEP Numune No : Bentonit-%50 DMT

Tarih : 19.05.18 Derinlik (m) :

Çukur No : 0

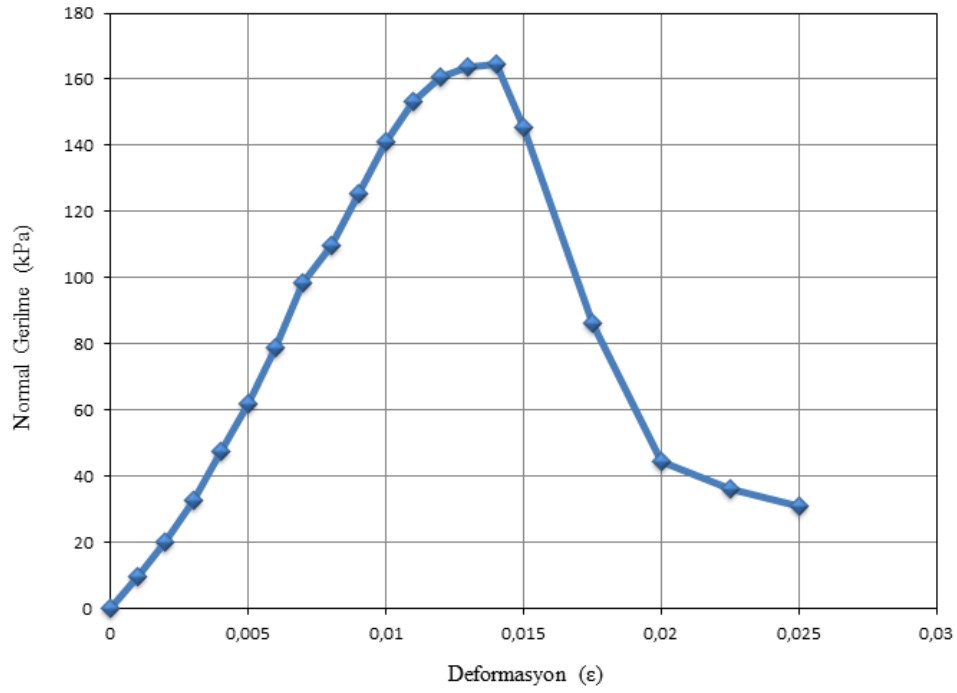
Ho (mm) = 100

 ω (%) = 22

Do (mm) = 50

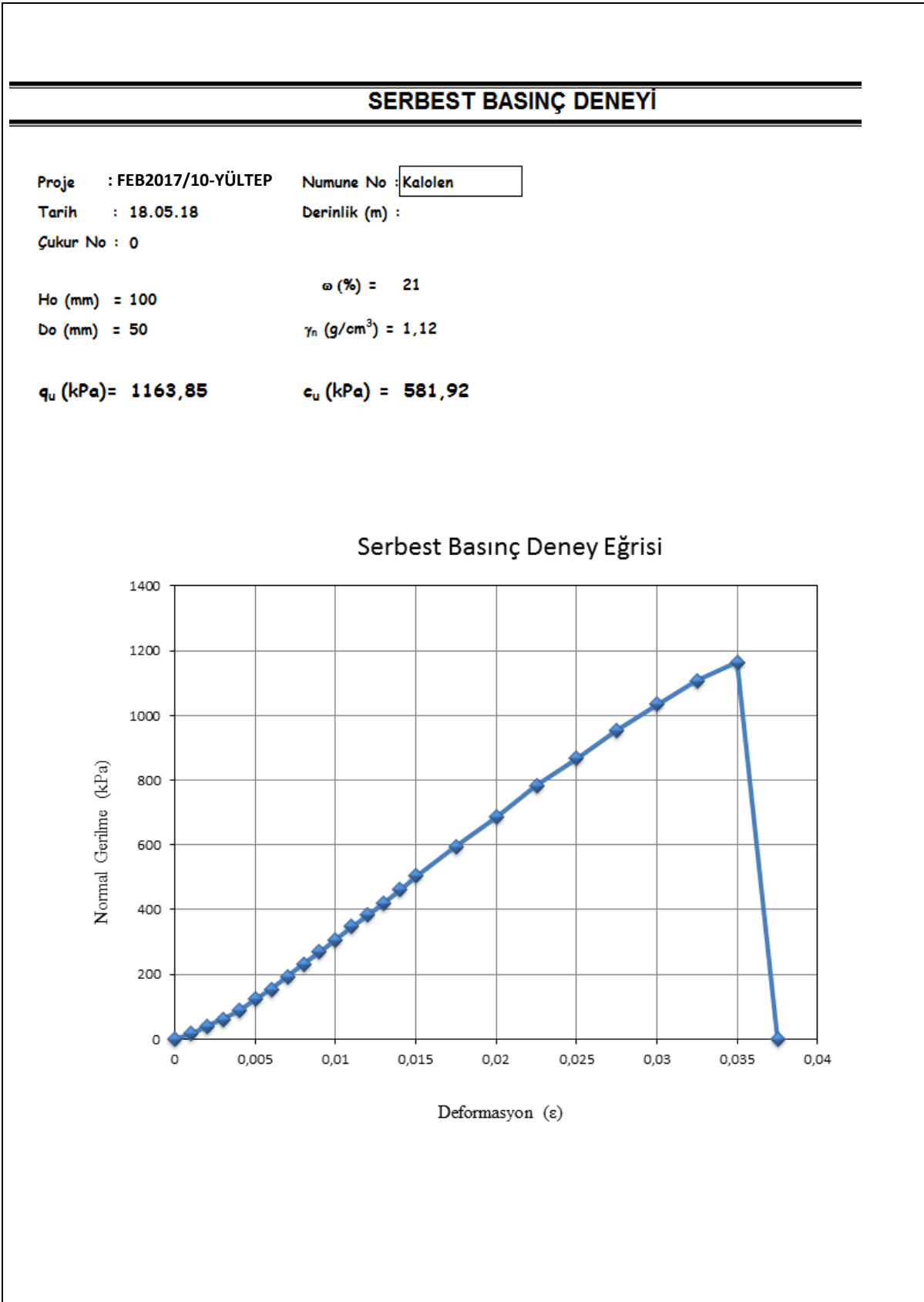
 γ_n (g/cm³) = 1,59 q_u (kPa) = 164,38 c_u (kPa) = 82,19

Serbest Basınç Deney Eğrisi



Ek-D Kaolen ve bentonitin 11. çevrim tek eksenli basınç mukavemeti sonuçları

Ek-D1



SERBEST BASINÇ DENEYİ

Proje : FEB2017/10-YÜLTEP Numune No : Kaolen-%5 KMT
Tarih : 18.05.18 Derinlik (m) :

Muayene

Çukur No : 0

Ho (mm) = 100

ω (%) = 42

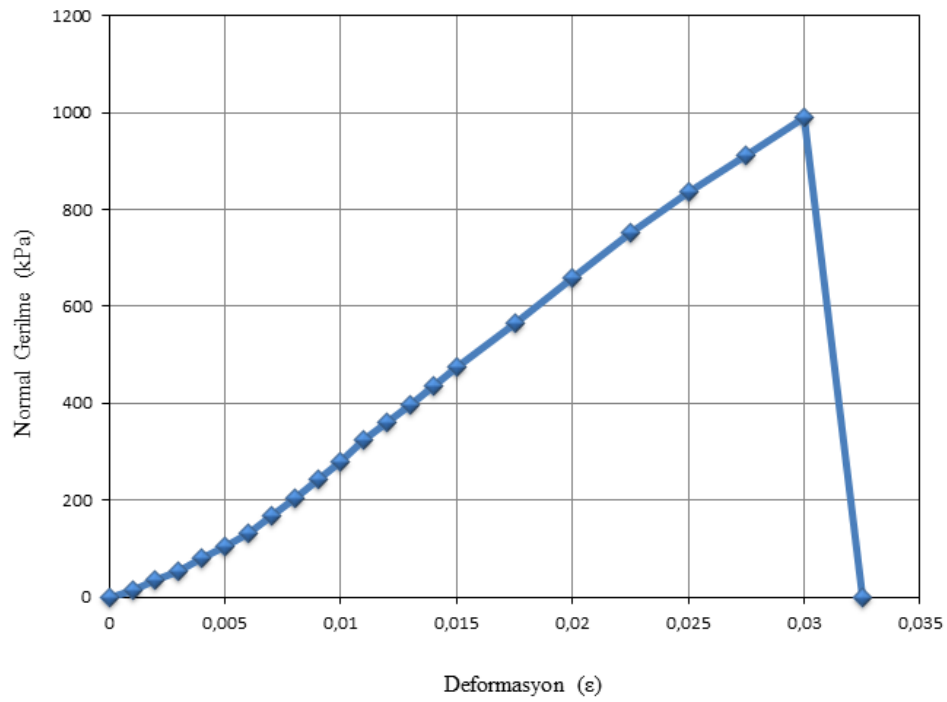
Do (mm) = 50

γ_n (g/cm³) = 1,13

q_u (kPa) = 989,74

c_u (kPa) = 494,87

Serbest Basınç Deney Eğrisi



SERBEST BASINÇ DENEYİ

Proje : FEB2017/10-YÜLTEP Numune No : Kaolen-%50 KMT
Tarih : 18.05.18 Derinlik (m) :

Muayene

Çukur No : 0

H₀ (mm) = 100

ω (%) = 26

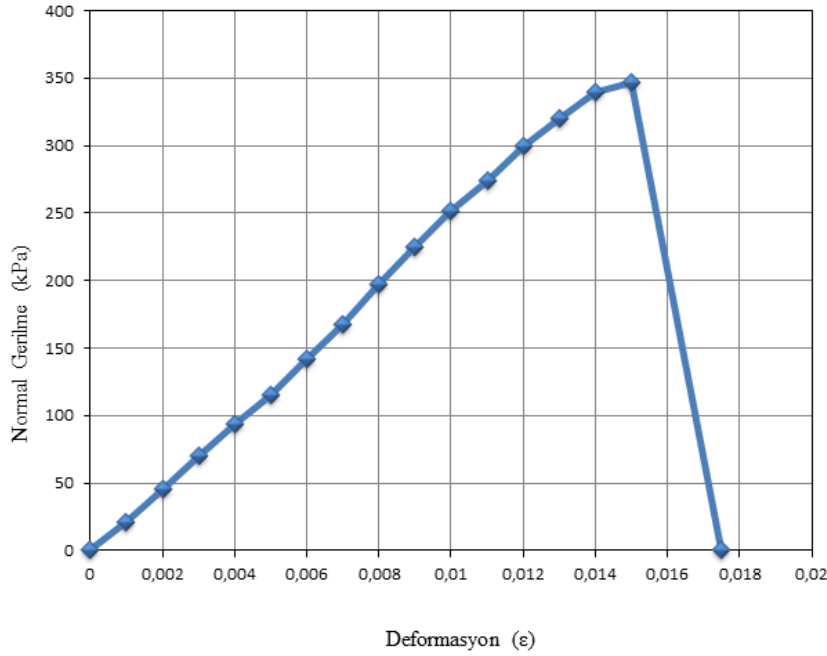
D₀ (mm) = 50

γ_n (g/cm³) = 1,27

q_u (kPa) = 347,14

c_u (kPa) = 173,57

Serbest Basınç Deney Eğrisi

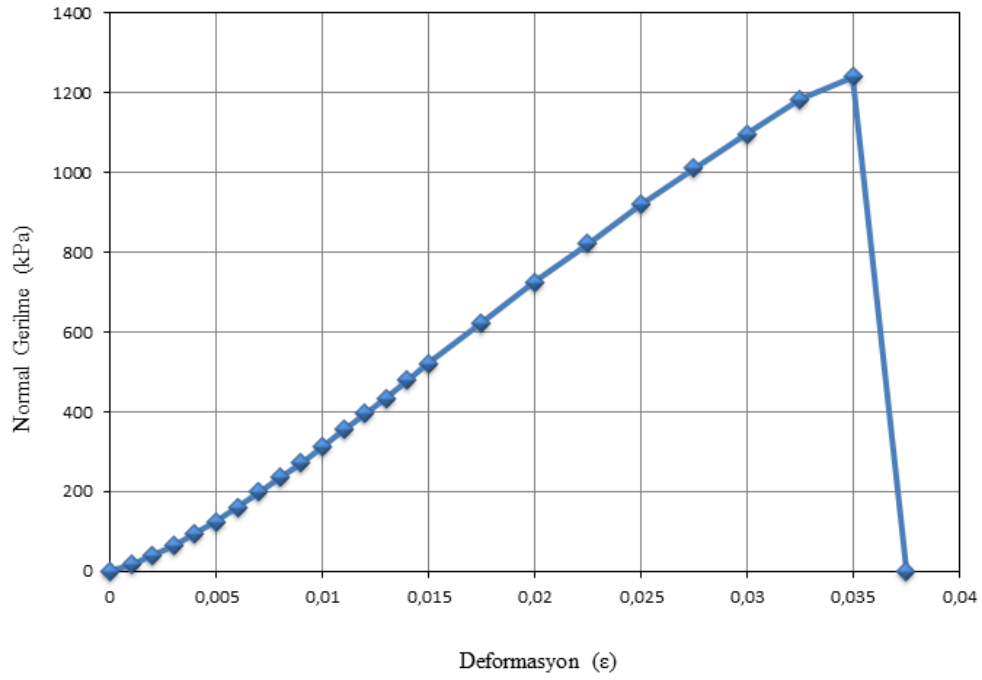


SERBEST BASINÇ DENEYİ

Proje : FEB2017/10-YÜLTEP Numune No : Kalolen-%5 DMT
Tarih : 18.05.18 Derinlik (m) :
Çukur No : 0

H_o (mm) = 100 ω (%) = 42
 D_o (mm) = 50 γ_n (g/cm³) = 1,18
 q_u (kPa) = 1239,20 c_u (kPa) = 619,60

Serbest Basınç Deney Eğrisi



SERBEST BASINÇ DENEYİ

Proje : FEB2017/10-YÜLTEP Numune No : Kaolen-%50 DMT

Tarih : 18.05.18 Derinlik (m) :

Muayene

Çukur No : 0

H₀ (mm) = 100

ω (%) = 26

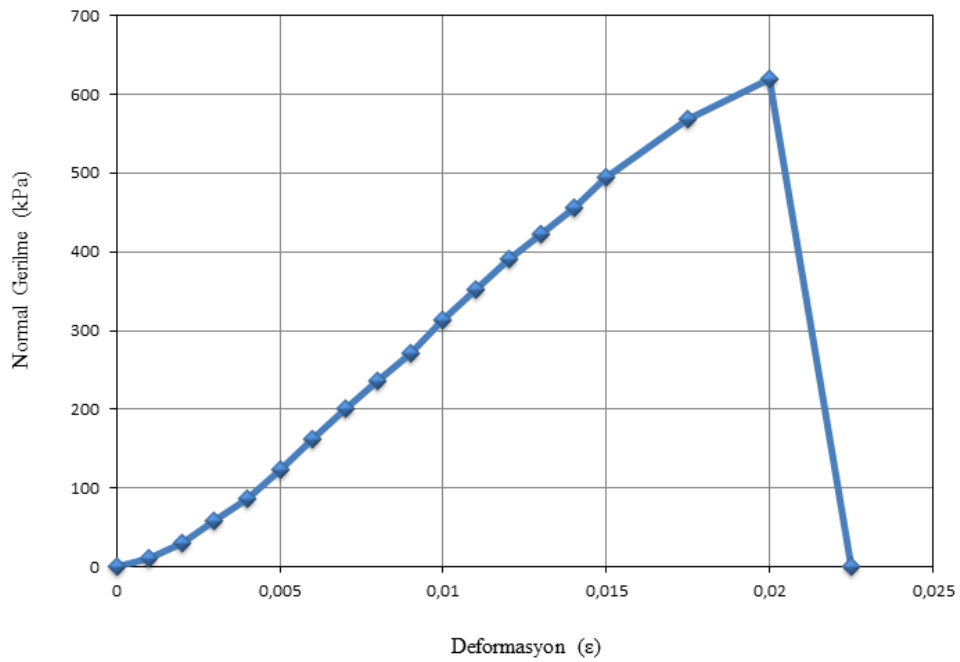
D₀ (mm) = 50

γ_n (g/cm³) = 1,34

q_u (kPa) = 618,37

c_u (kPa) = 309,19

Serbest Basınç Deney Eğrisi



SERBEST BASINÇ DENEYİ

Proje : FEB2017/10-YÜLTEP Numune No : Bentonit

Tarih : 18.05.18 Derinlik (m) :

Çukur No : 0

H₀ (mm) = 100

ω (%) = 34

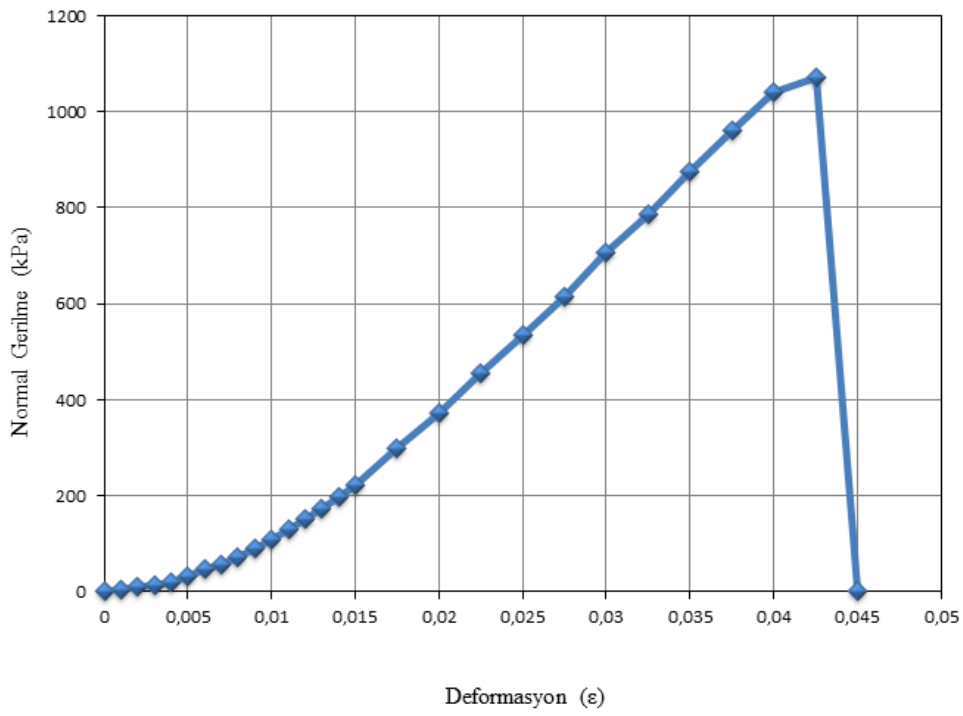
D₀ (mm) = 50

γ_n (g/cm³) = 1,34

q_u (kPa) = 1070,94

c_u (kPa) = 535,47

Serbest Basınç Deney Eğrisi



SERBEST BASINÇ DENEYİ

Proje : FEB2017/10-YÜLTEP Numune No : Bentonit-%5 KMT

Tarih : 18.05.18 Derinlik (m) :

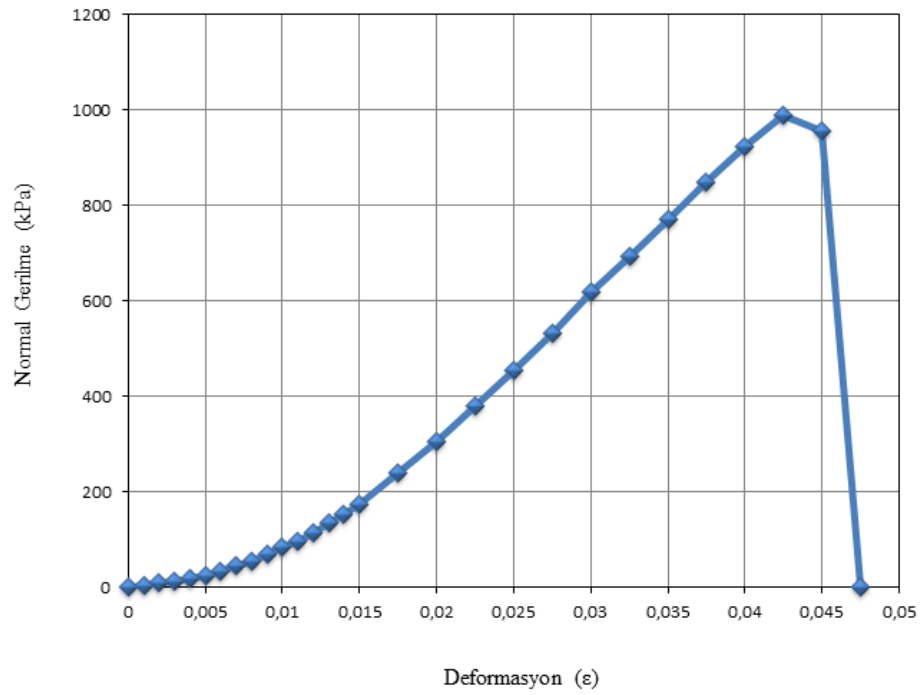
Çukur No : 0

H_0 (mm) = 100 ω (%) = 32

D_0 (mm) = 50 γ_n (g/cm³) = 1,31

q_u (kPa) = 990,12 c_u (kPa) = 495,06

Serbest Basınç Deney Eğrisi



SERBEST BASINÇ DENEYİ

Proje : FEB2017/10-YÜLTEP Numune No : Bentonit-%50 KMT

Tarih : 18.05.18

Derinlik (m) :

Çukur No : 0

H₀ (mm) = 100

ω (%) = 21

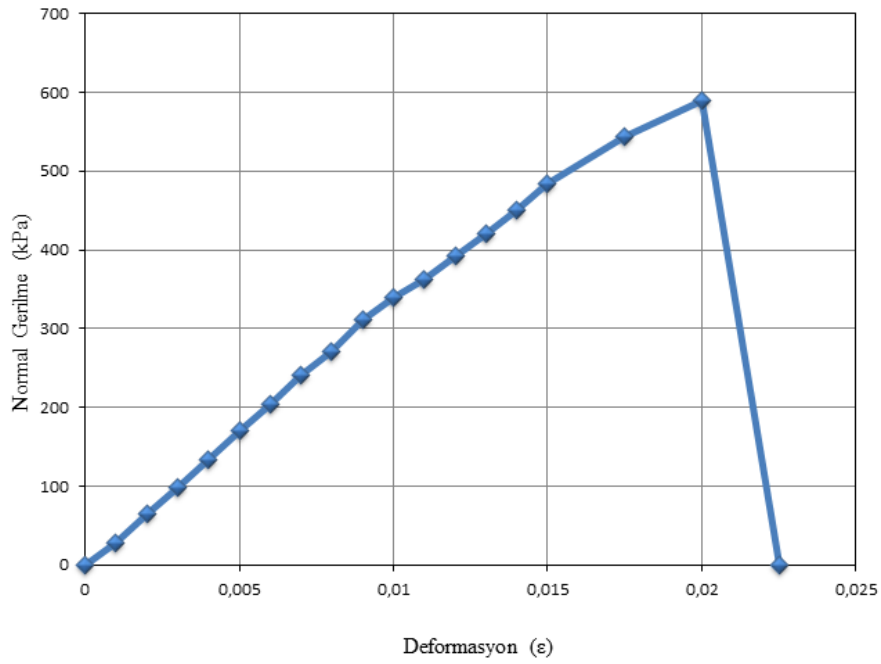
D₀ (mm) = 50

γ_n (g/cm³) = 1,39

q_u (kPa) = 589,42

c_u (kPa) = 294,71

Serbest Basınç Deney Eğrisi



SERBEST BASINÇ DENEYİ

Proje : FEB2017/10-YÜLTEP

Numune No : Bentonit-%5 DMT

Tarih : 18.05.18

Derinlik (m) :

Çukur No : 0

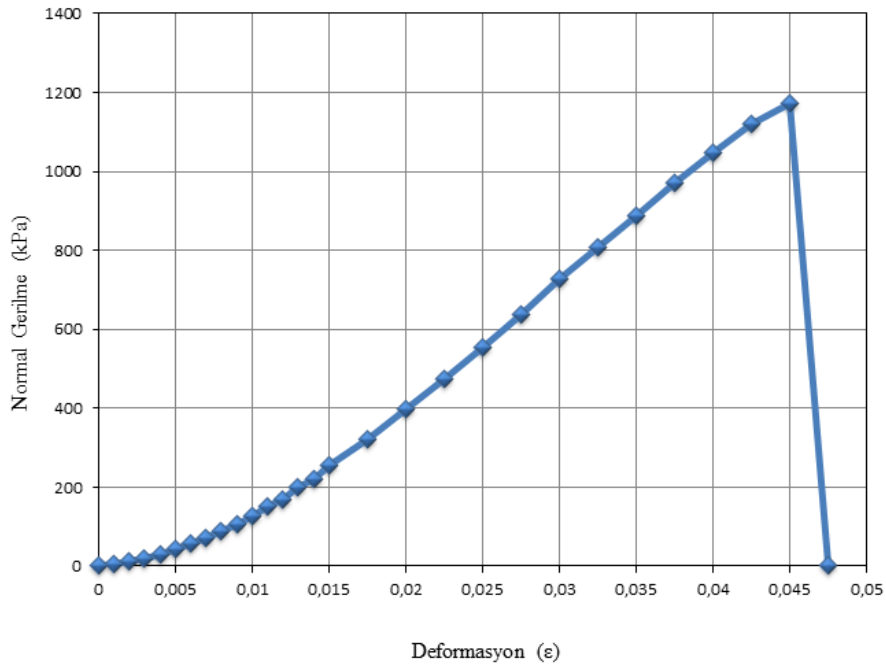
Ho (mm) = 100

 ω (%) = 32

Do (mm) = 50

 γ_n (g/cm³) = 1,33 q_u (kPa) = 1170,93 c_u (kPa) = 585,47

Serbest Basınç Deney Eğrisi



SERBEST BASINÇ DENEYİ

Proje : FEB2017/10-YÜLTEP Numune No : Bentonit-%50 DMT

Tarih : 18.05.18 Derinlik (m) :

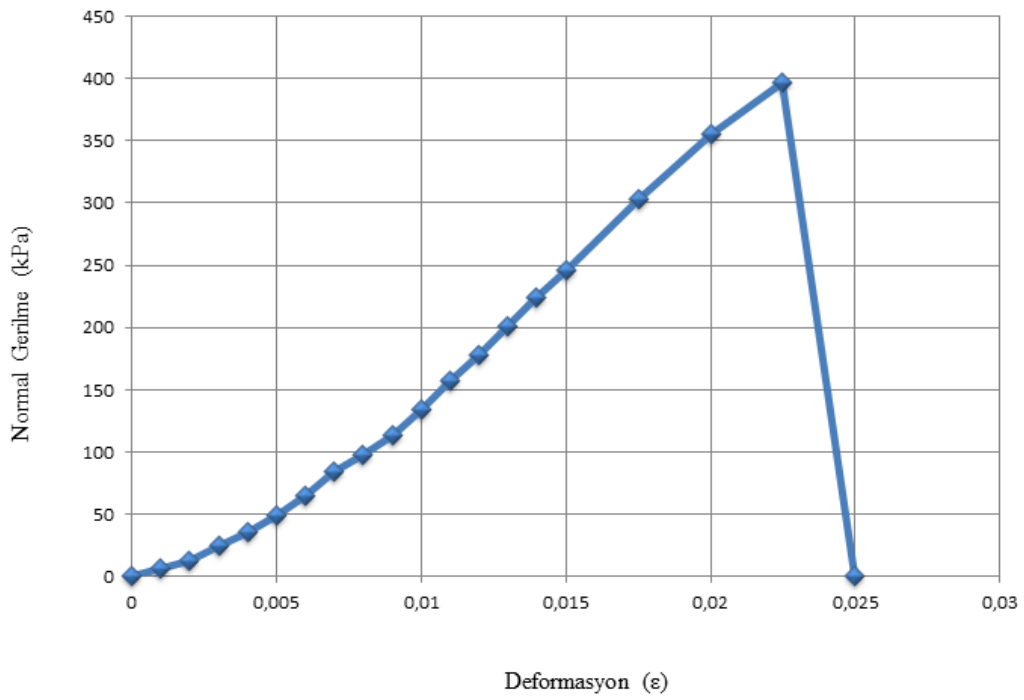
Çukur No : 0

H_o (mm) = 100 ω (%) = 22

D_o (mm) = 50 γ_n (g/cm³) = 1,40

q_u (kPa) = 397,10 c_u (kPa) = 198,55

Serbest Basınç Deney Eğrisi





Ek-E Kaolen ve bentonitin kırım sonrası anlık tek eksenli basınç mukavemeti resimleri

Ek-E1



Anlık Kaolen



Anlık Kaolen + %5 KMT



Anlık Kaolen + %10 KMT



Anlık Kaolen + %20 KMT



Anlık Kaolen + %30 KMT



Anlık Kaolen + %50 KMT

Ek-E2



Anlık Kaolen + %5 DMT



Anlık Kaolen + %10 DMT



Anlık Kaolen + %20 KMT



Anlık Kaolen + %30 KMT



Anlık Kaolen + %50 KMT



Anlık Bentonit



Anlık Bentonit + %5 KMT



Anlık Bentonit + %10KMT



Anlık Bentonit + %20 KMT



Anlık Bentonit + %30 KMT



Anlık Bentonit + %50 KMT

Ek-E4



Anlık Bentonit + %5 DMT



Anlık Bentonit + %10 DMT



Anlık Bentonit + %20 DMT



Anlık Bentonit + %30 DMT



Anlık Bentonit + %50 DMT

Ek-F Kaolen ve bentonitin kırım sonrası 7 gün. kür tek eksenli basınç mukavemeti resimleri

Ek-F1



7 Gün Kaolen



7 Gün Kaolen + %5 KMT



7 Gün Kaolen + %10 KMT



7 Gün Kaolen + %20 KMT



7 Gün Kaolen + %30 KMT



7 Gün Kaolen + %50 KMT

Ek-F2



7 Gün Kaolen + %5 DMT



7 Gün Kaolen + %10 DMT



7 Gün Kaolen + %20 DMT



7 Gün Kaolen + %30 DMT



7 Gün Kaolen + %50 DMT

Ek-F3



7 Gün Bentonit



7 Gün Bentonit + %5 KMT



7 Gün Bentonit + %10 KMT



7 Gün Bentonit + %20 KMT



7 Gün Bentonit + %30KMT



7 Gün Bentonit + %50 KMT



7 Gün Bentonit + %5 DMT



7 Gün Bentonit + %10 DMT



7 Gün Bentonit + %20 DMT



7 Gün Bentonit + %30 DMT



7 Gün Bentonit + %50 DMT

Ek-G Kaolen ve bentonitin kırım sonrası 1 aylık kür tek eksenli basınç mukavemeti resimleri

Ek-G1



1 Ay Kaolen + %5 KMT



1 Ay Kaolen + %10 KMT



1 Ay Kaolen + %20 KMT



1 Ay Kaolen + %30 KMT



1 Ay Kaolen + %50 KMT

Ek-G2



1 Ay Kaolen + %5 DMT



1 Ay Kaolen + %10 DMT



1 Ay Kaolen + %20 DMT



1 Ay Kaolen + %30 DMT



1 Ay Kaolen + %50 DMT

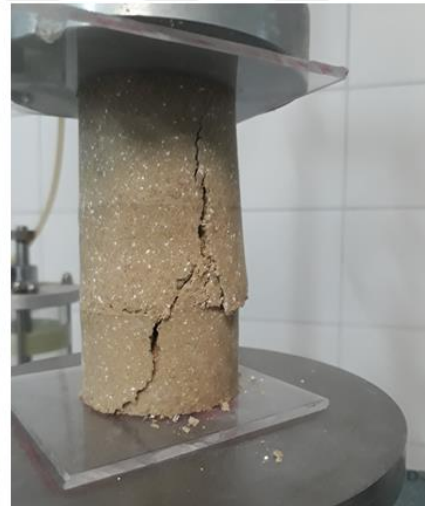
Ek-G3



1 Ay Bentonit+ %5 KMT



1 Ay Bentonit+ %10 KMT



1 Ay Bentonit + %20 KMT



1 Ay Bentonit + %30 KMT



1 Ay Bentonit + %50 KMT

Ek-G4



1 Ay Bentonit + %5 DMT



1 Ay Bentonit + %10 DMT



1 Ay Bentonit + %20 DMT



1 Ay Bentonit + %30 DMT



1 Ay Bentonit + %50 DMT

Ek-H Kaolen ve bentonitin kırım sonrası 2 aylık kür tek eksenli basınç mukavemeti resimleri

Ek-H1



2 Ay Kaolen + %5 KMT



2 Ay Kaolen + %10 KMT



2 Ay Kaolen + %20 KMT



2 Ay Kaolen + %30 KMT



2 Ay Kaolen + %50 KMT

Ek-H2



2 Ay Kaolen



2 Ay Kaolen + %5 DMT



1 Ay Kaolen + %10 DMT



1 Ay Kaolen + %20 DMT



2 Ay Kaolen + %30 DMT



2 Ay Kaolen + %50 DMT

Ek-H3



2 Ay Bentonit



2 Ay Bentonit + %5 KMT



2 Ay Bentonit + %10 KMT



2 Ay Bentonit + %20 KMT



2 Ay Bentonit + %30 KMT



2 Ay Bentonit + %50 KMT

Ek-H4



2 Ay Bentonit + %5 DMT



2 Ay Bentonit + %10 DMT



2 Ay Bentonit + %20 DMT



2 Ay Bentonit + %30 DMT



2 Ay Bentonit + %50 DMT

Ek-I Kaolen ve bentonitin kırım sonrası çevrim kür tek eksenli basınç mukavemeti resimleri

Ek-I1



1.Çevrim Kaolen



1.Çevrim Kaolen + %5 KMT



1.Çevrim Kaolen + %50KMT



1. Çevrim Kaolen+ %5 DMT



1. Çevrim Kaolen+%50DMT



1. Çevrim Bentonit



1. Çevrim Bentonit %5 KMT



1. Çevrim Bentonit %50 KMT



1. Çevrim Bentonit %5 DMT



1. Çevrim Bentonit %50 DMT



1. Çevrim Kaolen



1. Çevrim Kaolen + %5 KMT



1. Çevrim Kaolen + %50 KMT



1. Çevrim Kaolen + %5 DMT



1. Çevrim Kaolen + %50 DMT



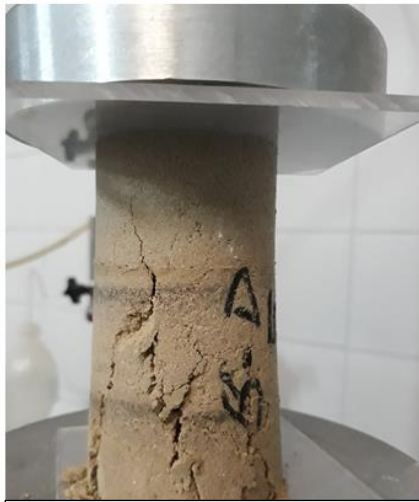
3. Çevrim Bentonit



3. Çevrim Bentonit + %5 KMT



3.Çevrim Bentonit+%50 KMT



3.Çevrim Bentonit+%5 DMT



3.Çevrim Bentonit+%50 DMT



5. Çevrim Kaolen



3. Çevrim Kaolen + %5 KMT



3.Çevrim Kaolen + % 50 KMT



5. Çevrim Kaolen + %5 DMT



5. Çevrim Kaolen + %50 DMT



5. Çevrim Bentonit



3. Çevrim Bentonit+ %5 KMT



3.Çevrim Bentonit +% 50KMT



5. Çevrim Bentonit + %5DMT



5.Çevrim Bentonit+ %50DMT



7. Çevrim Kaolen



7. Çevrim Kaolen+ %5 KMT



7. Çevrim Kaolen+ %50 KMT



7. Çevrim Kaolen+ %5 DMT



7. Çevrim Kaolen+ %5 DMT



7. Çevrim Bentonit



7. Çevrim Bentonit + %5 KMT



7. Çevrim Bentonit + %50 KMT



7. Çevrim Bentonit + %5 DMT



7. Çevrim Bentonit + %5 DMT



11. Çevrim Kaolen



11. Çevrim Kaolen + %5KMT



11. Çevrim Kaolen + %50KMT



11. Çevrim Kaolen + %5DMT



11. Çevrim Kaolen +%50DMT



11. Çevrim Kaolen



11. Çevrim Kaolen + %5KMT



11. Çevrim Kaolen + %50KMT



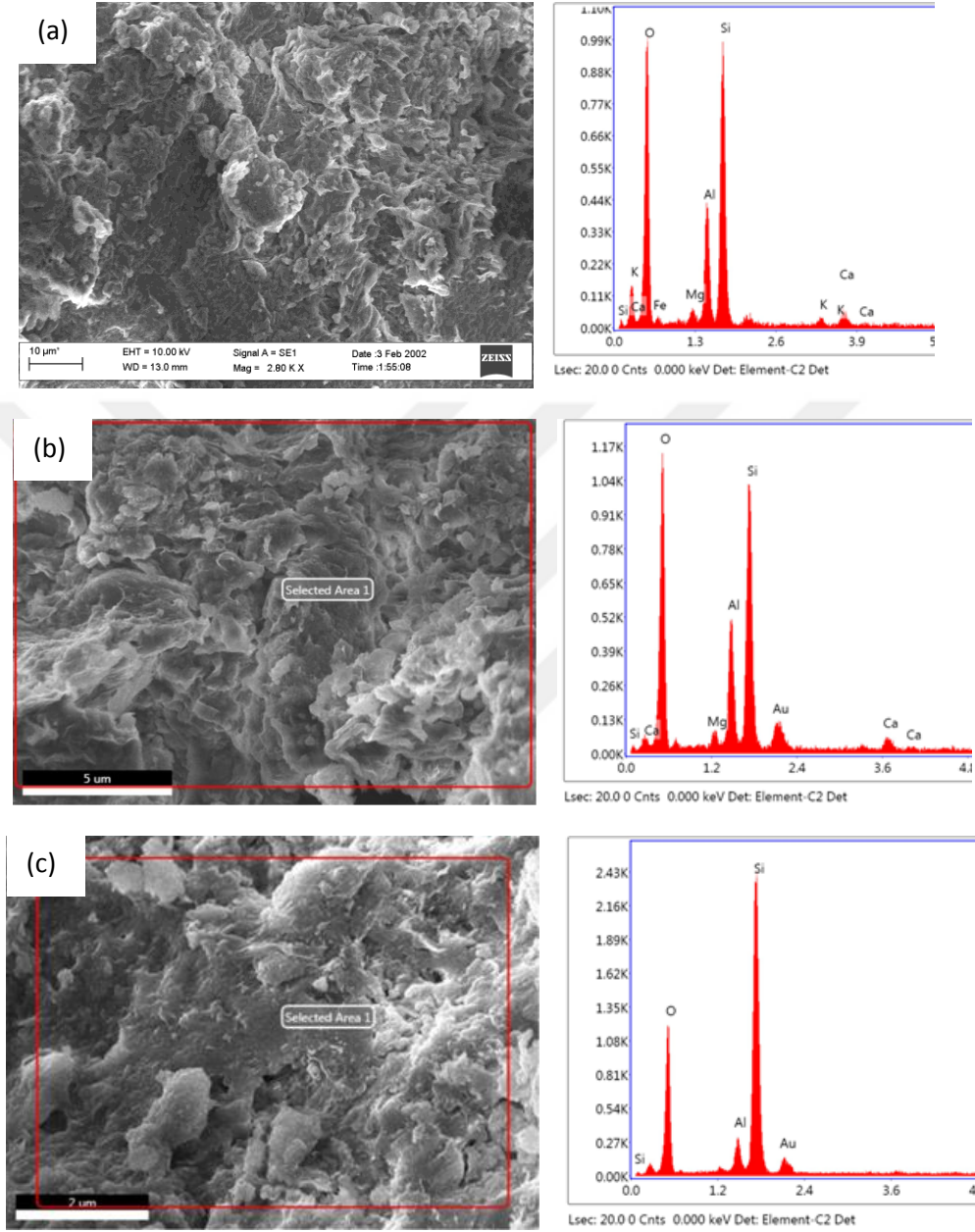
11. Çevrim Kaolen + %5DMT



11. Çevrim Kaolen + %50DMT

Ek-J Bentonit anlık, 2 aylık ve 11. çevrim SEM e EDS analizi sonuçları

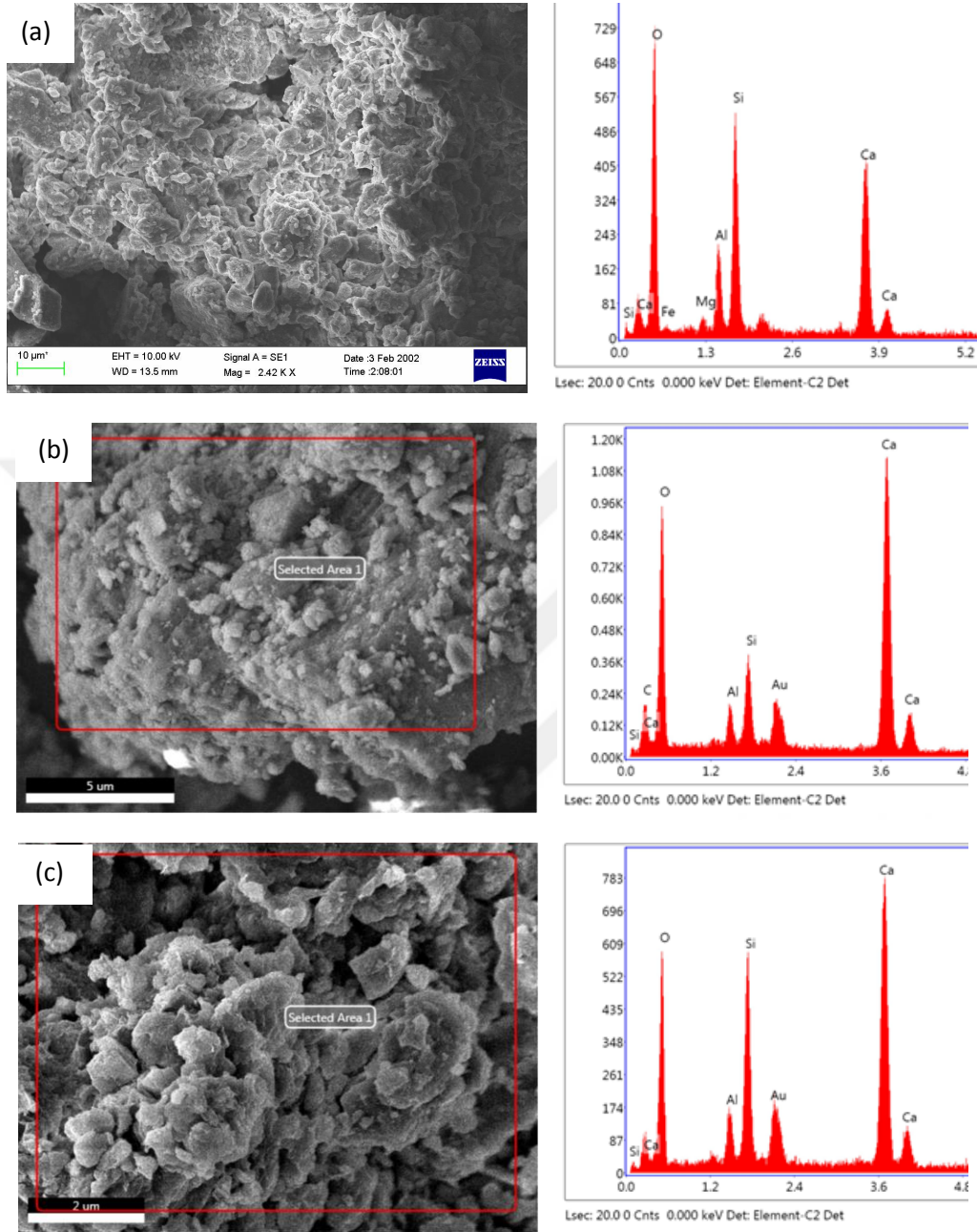
Ek-J1



Şekil 5.32. Bentonit katkısız Anlık (a), 2 ay (b), 11. Çevrim (c) SEM ve EDS analiz sonuçları

Çizelge 5.10. Bentonit katkısız Anlık, 2 ay ve 11. çevrim EDS analiz sonuçları

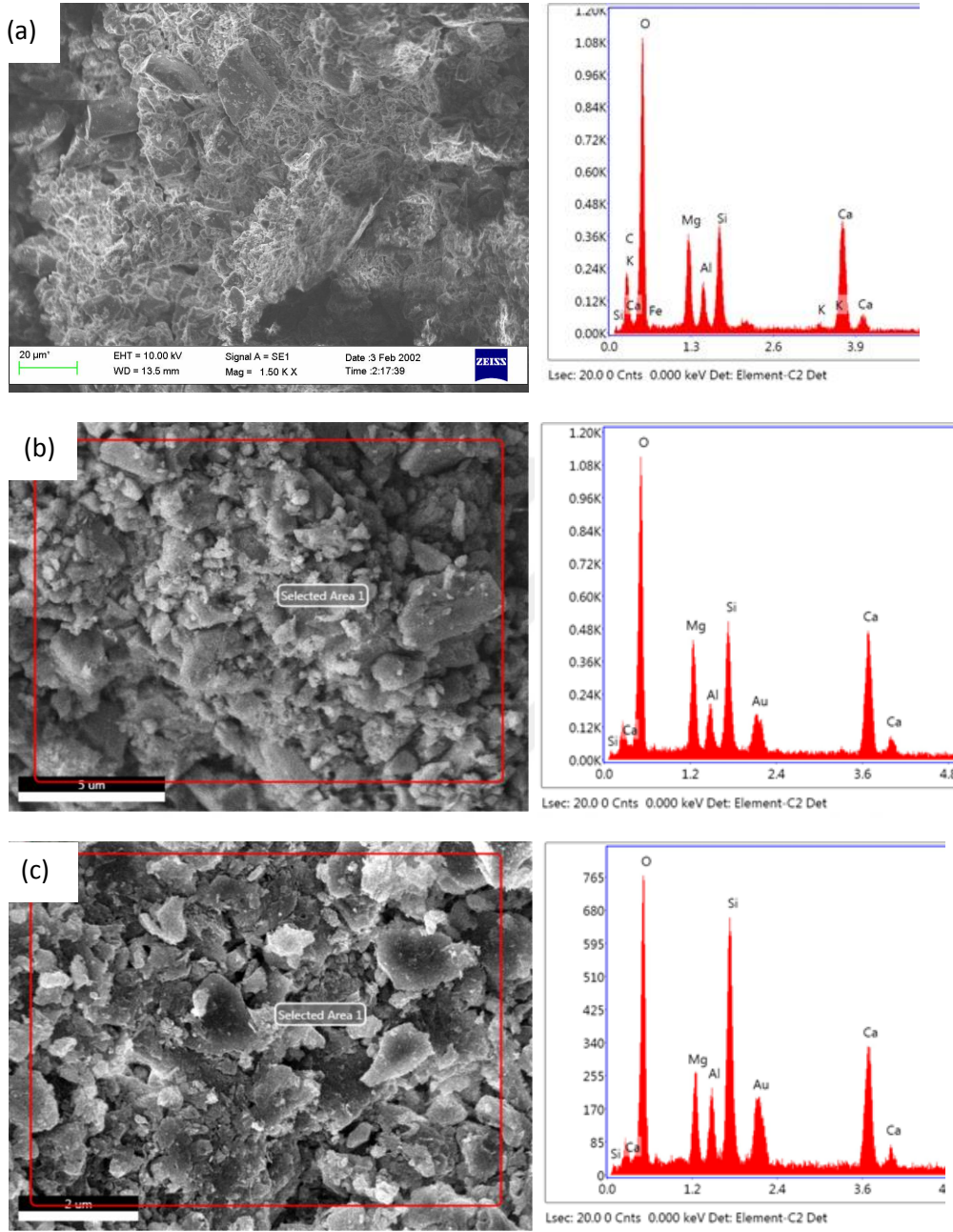
	O			Al			Si			Ca		
	ANLIK	2 AY	11. Ç	ANLIK	2 AY	11. Ç	ANLIK	2 AY	11. Ç	ANLIK	2 AY	11. Ç
Weight %	21,32	53,25	43,08	19,79	11	4,39	62,32	28,70	46,26	3,20	1,96	-



Şekil 5.33. Bentonit KMT %50 Anlık (a), 2 ay (b), 11. Çevrim (c) SEM ve EDS analiz sonuçları

Çizelge 5.11. Bentonit %50 KMT Anlık, 2 ay ve 11. çevrim EDS analiz sonuçları

	O			Al			Si			Ca		
	ANLIK	2 AY	11. Ç	ANLIK	2 AY	11. Ç	ANLIK	2 AY	11. Ç	ANLIK	2 AY	11. Ç
Weight %	54,86	51,41	44,79	12,85	1,68	2,32	39,05	4,44	10,47	43,29	34,50	35,64



Şekil 5.34. Bentonit DMT %50 Anlık (a), 2 ay (b), 11. Çevrim (c) SEM ve EDS analiz sonuçları

Çizelge 5.12. Bentonit %50 DMT Anlık, 2 ay ve 11. çevrim EDS analiz sonuçları

	O			Al			Si			Ca /Mg		
	ANLIK	2 AY	11. Ç	ANLIK	2 AY	11. Ç	ANLIK	2 AY	11. Ç	ANLIK	2 AY	11. Ç
Weight %	55,34	53,64	47,51	13,51	3,38	3,81	16,46	9,11	15,31	22,09	19,04	17,57
										43,89	8,84	5,29

ÖZ GEÇMİŞ

Kemal Aydın 31.01.1991 tarihinde Ankara’da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Ankara’da tamamladı. 2010 yılında girdiği Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nden Haziran 2014 yılında mezun oldu. 2014 yılında Yapı Denetim şirketinde Kontrol elemanı olarak göreve başlayıp halen çalışmaktadır. 2016-2017 yılında Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi’nde yüksek lisans öğrenimine başlamış olup halen devam etmektedir.



