



**MİDYAT TAŞI ATIKLARININ DÜŞÜK PLASTİSİTELİ
KİL ZEMİN STABİLİZASYONUNDA
KULLANILABİLİRLİĞİ**

Vedat DUMAN

**Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Dr. Öğr. Üyesi Fatih YILMAZ
2020**

(Her Hakkı Saklıdır)

**T.C.
BAYBURT ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**MİDYAT TAŞI ATIKLARININ DÜŞÜK PLASTİSİTELİ KİL ZEMİN
STABİLİZASYONUNDA KULLANILABİLİRLİĞİ**
(Usability of Midyat Stone Waste in Low Plasticity Clay Soil Stabilization)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Vedat DUMAN

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Fatih YILMAZ

**BAYBURT
Temmuz, 2020**

ETİK VE BİLDİRİM SAYFASI

Bu tez içindeki bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu ve bu çalışmada şahsıma ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

10/07/2020

Vedat DUMAN

TEŞEKKÜR

Bu çalışma kapsamındaki deneyler, Bayburt Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Geoteknik Laboratuvarında yürütülmüştür.

Tez çalışmam süresince her türlü ilgi ve desteğini benden esirgemeyen, ufuk açıcı, yapıcı eleştirileri ile çalışmam boyunca bana yön gösteren tez danışmanım çok değerli hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Fatih YILMAZ' a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam boyunca yanımda olan çok değerli arkadaşlarım ve dostlarıma teker teker teşekkür eder, bu zorlu yolda yanımda oldukları için saygılarımı sunarım.

Yaşamımın her aşamasında, her anında yanımda olan mutluluğum ve istikbalim için hiçbir fedakarlıktan kaçınmayan sevgili annem Emine DUMAN ve sevgili babam İsmail DUMAN' a, değerli ablam Mehtap DUMAN ve kardeşlerim Gamze DUMAN, Ahmet DUMAN, Büşra DUMAN ve Şeyma Azra DUMAN' a en içten şükranlarımı sunarım.

Vedat DUMAN

Temmuz 2020

ÖZ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİDYAT TAŞI ATIKLARININ DÜŞÜK PLASTİSİTELİ KİL ZEMİN
STABİLİZASYONUNDA KULLANILABİLİRLİĞİ

Vedat DUMAN

Temmuz 2020, 75 Sayfa

Bu çalışmada düşük plastisiteli kil bir zeminin stabilizasyonunda kullanılan Midyat taşı atığı doğal zemin ile kireçsiz ve %6 kireçli olarak karıştırılmıştır. Midyat taşı atığı %0, %5, %10, %15 ve %20 oranlarında doğal ve kireçli zemine eklenmiştir. Hazırlanan numunelerin dayanım ve durabilite özellikleri irdelenmiştir. Serbest basınç dayanımı deneyleri sonuçlarına göre, 28 günlük kür sonrasında maksimum dayanım değeri SLM/10 numunesinden elde edilmiştir. SLM/10 numunesi, SL numunesine kıyasla %49 daha fazla dayanım göstermiştir. Donma-çözülme ve ıslanma-kuruma deneyleri sonuçlarına göre SLM karışımları, SM karışımlarına kıyasla daha durabil bir davranış sergilemişlerdir. Deneylerden elde edilen veriler ışığında, Midyat taşı atığının tek başına katkı maddesi olarak kullanılmasının dayanım ve durabilite üzerinde etkin sonuçlar vermediği, kireçle beraber kullanımının pozitif bir etkisinin olduğu belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Zemin stabilizasyonu, kireç, kil, Midyat taşı, dayanım, durabilite.

ABSTRACT

MASTER THESIS

USABILITY OF MIDYAT STONE WASTE IN LOW PLASTICITY CLAY SOIL STABILIZATION

Vedat DUMAN

July 2020, 75 Pages

In this study, Midyat stone waste used in the stabilization of a low plasticity clay soil was mixed with natural soil without lime and 6% lime. Midyat stone waste was added to the natural and limy soil at the rates of 0%, 5%, 10%, 15% and 20%. Strength and durability properties of the prepared specimens are examined. According to the results of unconfined compressive strength tests, the maximum strength value was obtained from the SLM/10 specimen after 28 days of curing. The SLM/10 specimen showed 49% more strength than the SL specimen. According to the results of freezing-thawing and wetting-drying tests, SLM mixtures showed a more stable behaviour compared to SM mixtures. In the light of the data obtained from the tests, it was determined that the use of Midyat stone waste as an additive alone does not give effective results on strength and durability, and its use with lime has a positive effect.

Keywords: Soil stabilization, lime, clay, Midyat stone, strength, durability.

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
ETİK VE BİLDİRİM SAYFASI	i
TEŞEKKÜR	ii
ÖZ	iii
ABSTRACT	iv
İÇİNDEKİLER	v
TABLolar DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
BİRİNCİ BÖLÜM	1
Giriş	1
Amaçlar	5
İKİNCİ BÖLÜM	6
Kaynak Özetleri	6
Zemin İyileştirme Yöntemleri	6
Mekanik stabilizasyon.	11
Kimyasal stabilizasyon.	11
Kimyasal stabilizasyon yöntemleri.	12
Yüzeysel iyileştirme yöntemleri.	14
Katkısız stabilizasyon.	14
Katkılı stabilizasyon.	16
Kireç ile zemin stabilizasyonu.	17
Çimento ile zemin stabilizasyonu.	20
Bitüm ile zemin stabilizasyonu.	22
Uçucu kül ile zemin stabilizasyonu.	22
Atık lastikler ile zemin stabilizasyonu.	24
Mermer tozu ile zemin stabilizasyonu.	26
ÜÇÜNCÜ BÖLÜM	28
Materyal ve Yöntem	28
Materyal	28
Doğal malzeme.	29

Kireç	30
Midyat taşı	31
Yöntemler.....	33
Deneylerde referans alınan standartlar.	33
Zemin sınıflandırması.....	34
Kıvam limitleri deneyleri.	34
Kompaksiyon deneyi.	35
Serbest basınç deneyi.	36
Islanma-kuruma periyodu deneyi.	37
Donma-çözülme çevrimi.	38
DÖRDÜNCÜ BÖLÜM.....	39
Araştırma Bulguları.....	39
Kıvam limitleri.	39
Kompaksiyon parametreleri.	42
Serbest basınç dayanımı.	44
Durabilite tetkikleri.	48
Islanma-kuruma periyodu.	49
Donma-çözülme çevrimi.	52
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	55
Kaynakça	58
EKLER	65
Ek 1: Düşen Koni Penetrasyon Deney Sonuçları	65
Ek-2 Kompaksiyon Deneyi Sonuçları	70
ÖZ GEÇMİŞ	75

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1. Zemin Türlerine Göre İyileştirme Metotları	7
Tablo 2. Stabilizasyon Hedefine Göre İyileştirme Metotlar	8
Tablo 3. Zemin Stabilizasyon Yöntemleri ve Kullanılma Amaçları	9
Tablo 4. Zemin Stabilizasyonunda Yaklaşık Maliyet Değerleri	10
Tablo 5. Mekanik İyileştirmede Gerekli Olan Gradasyon Sınırları	11
Tablo 6. Sıkıştırma Araçlarının Genel Özellikleri.....	15
Tablo 7. Kimyasal İyileştirmede İstenilen Katkı Malzemesi Seçimi.....	16
Tablo 8. Farklı Zemin Cinslerine Göre Yaklaşık Kireç Miktarı.....	18
Tablo 9. Tavsiye Edilen Kireç Karışım Oranları	19
Tablo 10. Farklı Zemin Cinslerine Göre Çimento Oranları.	21
Tablo 11. Kireç ile Çimento İyileştirmesinde Durabilite Değerleri.....	22
Tablo 12. Uçucu Küllerin Fiziksel Özellikleri.....	23
Tablo 13. Uçucu Küllerin Sağlaması Gereken Fiziksel Değerler	24
Tablo 14. Atık Lastiklerin Mekanik Özellikleri	25
Tablo 15. Deney Numuneleriyle İlgili Adlandırma.	29
Tablo 16. Kullanılan Kirecin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....	30
Tablo 17. Midyat Taşının Fiziksel Özellikleri	32
Tablo 18. Midyat Taşının Mekanik Özellikleri.....	32
Tablo 19. Midyat Taş Ocağından Alınan Numunelerin Kimyasal Özellikleri	33
Tablo 20. Deneylerle İlgili ASTM Standartları.	34
Tablo 21. Deneydeki Numunelerin Kıvam Limitleri Değerleri.	39
Tablo 22. SM ile SLM Karışımlarına Ait Kompaksiyon Parametreleri.	42
Tablo 23. SM ile SLM Karışımlarının Tek Eksenli Serbest Basınç Dayanım Verileri.....	46
Tablo 24. Islanma-Kuruma Periyodu Deney Sonuçları	50
Tablo 25. Islanma-Kuruma Deneyi Kütle Kaybı Yüzdeleri	51
Tablo 26. SM ve SLM Karışımlarına Ait Donma-Çözülme Çevrimleri Sonrası Tek Eksenli Basınç Dayanım Değerleri.	53

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Dane boyutuna baz alınarak zemin iyileştirme uygulamalarının saptanması.....	2
Şekil 2. Zemin iyileştirme uygulamaları.....	3
Şekil 3. Zemin üçgen gradasyonu	12
Şekil 4. Sabit kireç içeriğinde farklı cins zeminlerin zamansal mukavemet değişimi.....	19
Şekil 5. Doğal malzemenin dane boyutu dağılım eğrisi.	30
Şekil 6. Kirece ait dane boyutu dağılımı.....	31
Şekil 7. Mardin Midyat'taki taş ocağı.....	32
Şekil 8. Midyat taşının dane boyutu dağılım eğrisi.	33
Şekil 9. Düşen koni penetrasyon aleti.....	35
Şekil 10. Standart proktor deneyi yapım aşamaları.	36
Şekil 11. Tek eksenli basınç deneyi düzeneği.....	37
Şekil 12. Islanma-kuruma periyodu deneyi.	38
Şekil 13. Donma-çözülme deney düzeneği.....	38
Şekil 14. SM karışımlarına ait likit limit, plastik limit ve plastisite indisi değerleri.	41
Şekil 15. SLM karışımlarına ait likit limit, plastik limit ve plastisite indisi değerleri.....	41
Şekil 16. SM ile SLM karışımlarına ait optimum su içeriği değerleri.....	43
Şekil 17. SM ile SLM karışımlarına ait maksimum kuru yoğunluk değerleri.....	44
Şekil 18. Hazırlanan Numune örnekleri.....	45
Şekil 19. Numunelerin kür edilme aşamaları.....	45
Şekil 20. Deney numunelerinin hazırlanış aşamaları.....	45
Şekil 21. Serbest basınç deney test cihazı.....	46
Şekil 22. SM ile SLM karışımlarının 7 günlük kür sürelerine ait serbest basınç dayanımlarının karşılaştırılması.	48
Şekil 23. SM ile SLM karışımlarının 28 günlük kür sürelerine ait serbest basınç dayanımlarının karşılaştırılması	48
Şekil 24. SM ile SLM karışımlarının ıslanma-kuruma periyodundan görüntüler.	49
Şekil 25. SL ve SLM karışımlarının ıslanma-kuruma periyodundaki kütle kaybı eğrisi karşılaştırması.....	52
Şekil 26. Numunelerin donma-çözülme çevrimi deneyi.....	53
Şekil 27. SM ve SLM karışımlarının donma-çözülme çevrimleri sonrası tek eksenli basınç dayanım değerleri.	54
Şekil 28. Doğal malzemenin düşen koni penetrasyon değeri grafiği.....	65

Şekil 29. SL numunesinin düşen koni penetrasyon değeri grafiği.	65
Şekil 30. SM/5 numunesinin düşen koni penetrasyon değeri grafiği.	66
Şekil 31. SM/10 numunesinin düşen koni penetrasyon değeri grafiği.	66
Şekil 32. SM/15 numunesinin düşen koni penetrasyon değeri grafiği.	67
Şekil 33. SM/20 numunesinin düşen koni penetrasyon değeri grafiği.	67
Şekil 34. SLM/5 numunesinin düşen koni penetrasyon değeri grafiği.	68
Şekil 35. SLM/10 numunesinin düşen koni penetrasyon değeri grafiği.	68
Şekil 36. SLM/15 numunesinin düşen koni penetrasyon değeri grafiği.	69
Şekil 37. SLM/20 numunesinin düşen koni penetrasyon değeri grafiği.	69
Şekil 38. Doğal zeminin kompaksiyon eğrisi.	70
Şekil 39. SM/5 numunesinin kompaksiyon eğrisi.	70
Şekil 40. SM/10 numunesinin kompaksiyon eğrisi.	71
Şekil 41. SM/15 numunesinin kompaksiyon eğrisi.	71
Şekil 42. SM/20 numunesinin kompaksiyon eğrisi.	72
Şekil 43. SL numunesinin kompaksiyon eğrisi.	72
Şekil 44. SLM/5 numunesinin kompaksiyon eğrisi.	73
Şekil 45. SLM/10 numunesinin kompaksiyon eğrisi.	73
Şekil 46. SLM/15 numunesinin kompaksiyon eğrisi.	74
Şekil 47. SLM/20 numunesinin kompaksiyon eğrisi.	74

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

%	: Yüzde
A	: Alan
Al	: Alüminyum
Ca	: Kalsiyum
Ca(OH) ₂	: Kalsiyum Hidroksit
CaCO ₃	: Kalsiyum Karbonat
CaO	: Kalsiyum Oksit (Sönmemiş Kireç)
CH	: Yüksek Plastisiteli İnorganik Kil
CL	: Düşük Plastisiteli İnorganik Kil
cm	: Santimetre
cm ²	: Santimetrekare
cm ³	: Santimetreküp
CPT	: Koni Penetrasyon Deneyi
CO ₂	: Karbondioksit
CS ₂	: Karbondisülfür
dk	: Dakika
GC	: Killi Çakıl
GM	: Siltli Çakıl
GP	: Kötü Derecelenmiş Çakıl
gr	: Gram
GW	: İyi Derecelenmiş Çakıl
H ₂ O	: Su
JG	: Jet Grout
k	: Geçirgenlik Katsayısı
K	: Potasyum
kg	: Kilogram
km	: Kilometre
kPa	: Kilopaskal (kN/m ²)
LL	: Likit Limit
lt	: Litre

m	: Metre
m²	: Metrekare
m³	: Metreküp
Mg	: Magnezyum
MgO	: Magnezyum Oksit
MH	: Yüksek Plastisiteli İnorganik Silt
ML	: Düşük Plastisiteli İnorganik Silt
mm	: Milimetre
Na	: Sodyum
PI	: Plastisite İndisi
PL	: Plastik Limit
rpm	: Dakikadaki Devir Sayısı
s	: Saniye
SC	: Killi Kum
SM	: Siltli Kum
SP	: Kötü Derecelenmiş Kum
SPT	: Standart Penetrasyon Deneyi
SW	: İyi Derecelenmiş Kum
w	: Su Muhtevası
w_{opt}	: Optimum Su Muhtevası
w_n	: Doğal Su Muhtevası (%)
°C	: Santigrad Derece
ρ_k	: Kuru Yoğunluk
ρ_{kmax}	: Maksimum Kuru Yoğunluk

Kısaltmalar

AASHTO	Amerikan Devlet Karayolu ve Ulaştırma İdareleri Birliği
ASCE	Amerika İnşaat Mühendisleri Derneği
ASTM	Amerikan Test ve Malzeme Kurumu
CBR	Kaliforniya Taşıma Oranı
FHWA	Federal Otoyol Yönetimi (Amerika)
TS	Türk Standartları
USCS	Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi

BİRİNCİ BÖLÜM

Giriş

Modernleşme ile birlikte daha kaliteli yaşam için kullanılan arazi miktarı artmaktadır. Daha fazla ev, ofis binaları, karayolları, tüneller ve benzeri yapılar inşa edilmekte ve gelecekte de sürekli olarak inşa edilmeye devam edilecektir. İnşaat alanları için uygun geoteknik koşullara sahip araziler giderek azalmakta, yapı için elverişli olmayan ya da daha az elverişli olan zeminlerin yapıya uygun hale getirilme ihtiyacı artmaktadır.

Zeminler, kayaçların mekanik ayrışması veya kimyasal ayrışması ya da her ikisinin aynı anda meydana gelmesiyle oluşan, organik maddeler barındırabilen ve belirli ağırlıklar altında şekil değiştirmeler gösterebilen doğal malzemedir. Milyonlarca yıldan beri yerkürenin üstündeki kayalar ile zeminler yer değiştirmekte, kayalar zeminlere, zeminler kayalara dönüşmektedir.

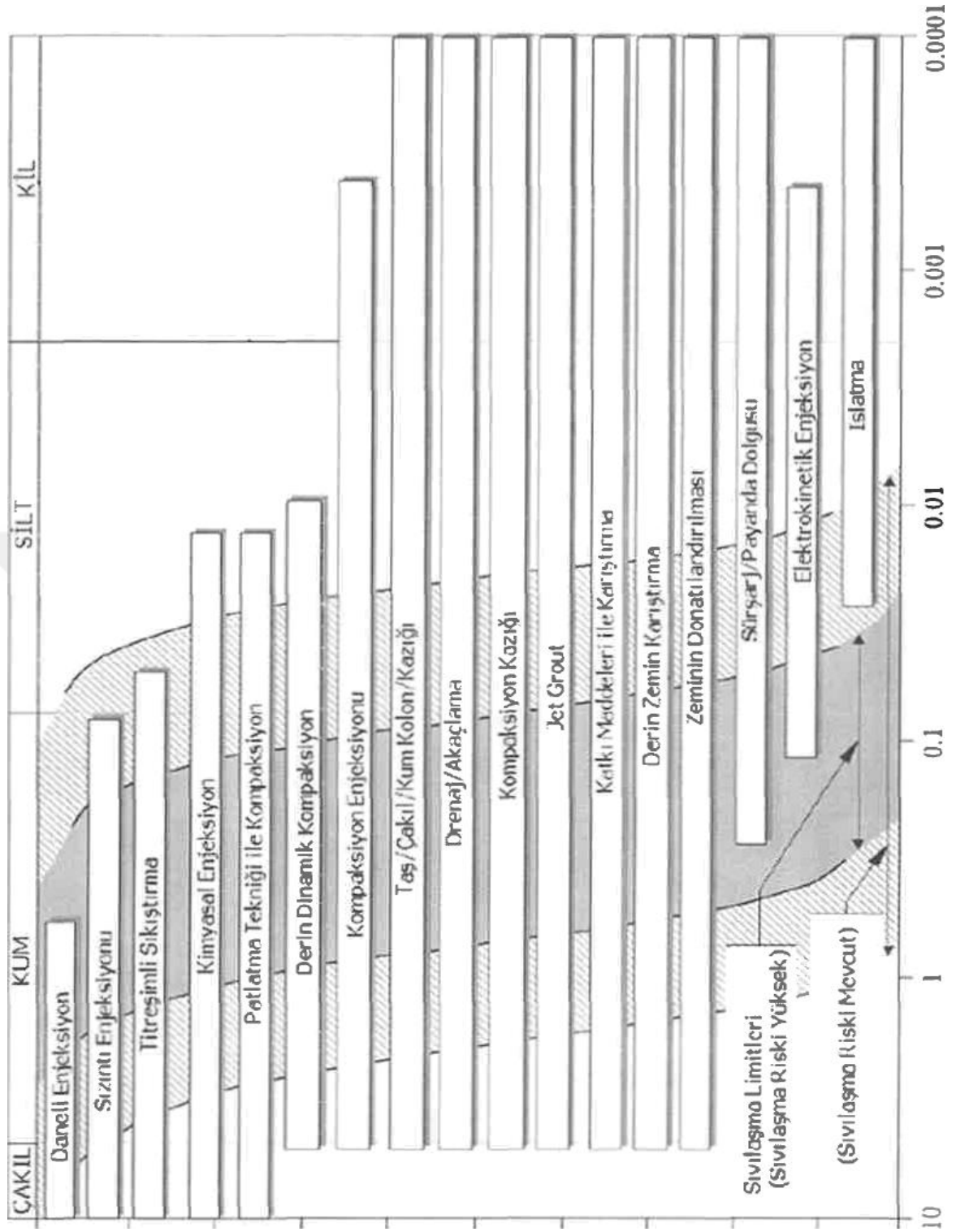
Zeminlerin davranış özelliklerini inceleyen mekanik ve hidrolik alanlarındaki kurallar ve yöntemleri baz alan bilim dalına zemin mekaniği denir. Zeminlerin fiziksel, kimyasal, mekanik ve hidrolik iyileştirilmesine ise zemin stabilizasyonu denir.

Geoteknik açısından önem arz eden zemin, yapılması düşünülen yapı için elverişli olmayabilir. Kayma direnci, geçirimsizlik, oturma gibi özelliklerinden ötürü zayıf olan zeminlerin sebep olduğu problemlerin çözümünde kullanılacak üç grup yöntem vardır;

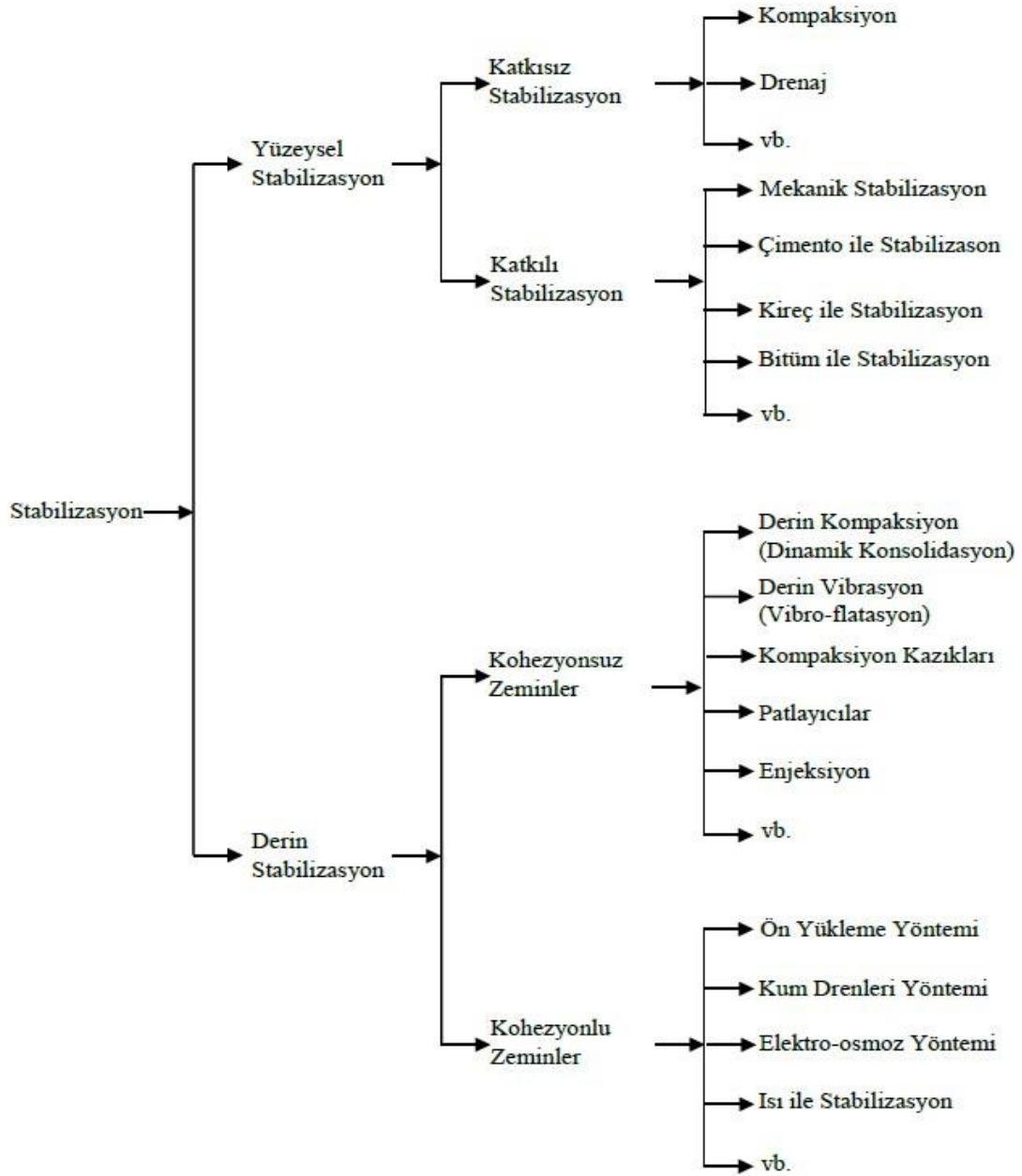
1. Yapıyı zayıf zemine göre projelendirmek veya yapıyı başka bir zemine inşa etmek.
2. Zayıf zemini, geoteknik özellikleri daha yüksek bir zemin ile değiştirmek.
3. Mevcut zeminin geoteknik özelliklerini iyileştirmek.

Oturmayı düşürmek, deformasyonu azaltmak, geçirimsizliği azaltmak veya arttırmak ve yük taşıma gücünü arttırmak iyileştirmenin temel hedefleridir (Uzuner, 2000).

Zemin çeşitlerine uygulanacak zemin iyileştirme uygulamaları ve bu uygulamaların sınıflandırılması sırasıyla Şekil 1 ve Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Dane boyutuna baz alınarak zemin iyileştirme uygulamalarının saptanması (Mitchell, & Gallagher, 1998).



Şekil 2. Zemin iyileştirme uygulamaları (Yılmaz, 2015).

Killi zeminler, toprağın barındırdığı neme bağlı olarak büyük oranda hacim değişimine (büzülme vs.) uğrayabilirler. Her sene ince daneli zeminlerin bu özelliklerinden dolayı temellerde ve yapılarda büyük oranda zararlar meydana gelmektedir. Blacklock ve Pengilly (1988) bu maddi ve manevi kayıpların her sene 5 milyardan daha fazla yapıda meydana geldiğini belirlemişlerdir. Deprem, sel ve diğer doğal felaketlerin sebep olduğu zararlara oranla; ince daneli zeminlerin hacminde meydana gelen ani değişimlerin yapılara verdikleri zararlar daha fazladır.

Bu zararların önüne geçmek amacıyla iyileştirme çalışması kapsamında bu zamana kadar birden fazla endüstriyel alternatif malzeme ile çalışılmış, uygulamalar yapılmıştır. Bu malzemelerden bazıları doğal yollarla temin edilirken, bazıları sanayi ürünü veya atığı şeklinde temin edilmiştir.

Endüstriyel atıkların stabilizasyon malzemesi şeklinde inşaat alanında kullanılması, doğanın temiz kalmasında etkili bir yöntemdir. Bu atıkların kullanımı sayesinde depolama ve geri dönüşümden kaynaklanan ek giderler minimuma düşecektir. Bu nedenlerle endüstriyel atık malzemelerin inşaat sektöründe kullanılması gittikçe önem kazanan bir seçenek olarak görülmektedir. Geoteknik alanındaki yeni teknolojik gelişmeler; zemin stabilizasyon yöntemlerinin daha tesirli, verimli ve iktisadi olmasını sağlamıştır (Han, 2015). Atık malzemelerin zemin iyileştirmede katkı maddesi olarak değerlendirilmesi hem iktisadi hem çevresel problemlerin çözümüne katkı sağlamaktadır. Dünya ile birlikte memleketimizde üretilen atık maddelerin önemli bir çoğunluğu geri dönüştürülebilir malzemelerdir. Yapılan çalışmalarda geri dönüştürülebilir malzemelerin zemin stabilizasyonunda kullanılması iktisadi çözümler üretmiş, çevresel kirlilik ve depolama gibi olumsuz etkilerin azalmasına neden olmuştur.

Endüstriyel bir malzeme olan Midyat taşının taş ocaklarından temin edilmesi ve işlenmesi kolaydır. Zemin iyileştirmede kullanılabilirliği sorgulanan ve yöresel adı katori taşı olan bu malzemeler beyaz ve sarı renkli kalkerlerdir. Bu taşlar; kesici ile ahşap gibi kesilebilmekte, delici matkap gibi aletlerle kolay delinebilmekte, kolay şekil verilebilmektedir. Midyat taşının gösterdiği bu cazip özellikler civardaki inşaat sektörlerinde itibar görmesini sağlayan en mühim nedenlerdendir (Adin, 2007)

Midyat taşının bulunduğu kalkerli arazide çok yer kaplamasının yanında arazinin kalınlığı da önemli bir etkidir. Midyat kalkerleri olarak nitelenen arazinin yaklaşık kalınlığı 500 m ile 850 m arasındadır (Biricik, 1974). Bu kaynak fazlalığı sebebiyle Midyat taşı; yörede geçmişten bugüne yapı elemanı olarak kullanılmıştır.

Midyat taşı, taş ocaklarından işlenmek üzere çıkarıldığında ilk aşamada yumuşak olmasına rağmen çeşitli yapılarda kullanıldıktan sonra zaman içinde sert bir yapı kazanmaktadır. Çıkarılan taş atmosferle etkileşim içine girmekte fiziksel ve kimyasal özellikleri değişkenlik göstermektedir. Midyat taşı ile yapılan çeşitli yapıların yüzyıllar boyunca hasar görmeden ayakta kaldığı tespit edilmiştir. Örneğin Mor Gabriel Manastırı dördüncü yüzyılda yapılmış bir yapı olmasına rağmen hala ayaktaadır (Günel, 2011). Ayrıca Midyat taş atölyeleri ile yapılan görüşme neticesinde taşların işlenmesi esnasında %15 ila 20 oranında taş atığının ortaya çıktığı tespit edilmiştir.

Kireç, yıllardır geniş bir biçimde killi zeminlerle birlikte tercih edilen bir katkı malzemesidir. (Goldberg, & Klein, 1952; Clare, & Crunchley, 1957; Terrel, Epps, Barenberg, Mitchell, & Thompson, 1979). Maliyet bakımından kirecin ucuz olması ve fazla miktarda temin edilebilmesinden ötürü kireçle iyileştirme ulaştırma ve yapı alanında oldukça yaygın uygulanan bir iyileştirme yöntemidir.

Kireç ile iyileştirme neticesinde zeminin yapısında kısa sürede optimum su muhtevası ve CBR değerinde yükselmeler meydana gelmektedir. Ayrıca proktor yoğunlukları düşüşe geçmekte ve plastisite indisinde azalmalar oluşmaktadır (Kavak, 1996).

Kireçle stabilizasyonunun; zemin direncine etkisinin iyileştirme üzerinden 10 yıl geçmesinden sonra bile devam ettiği ispatlanmıştır (TRB State of Art Report-5, 1987).

Eades ve Grim (1966) gerçekleştirdikleri çalışmalarında, değişik miktarlarda kireç kullanarak serbest basınç numuneleri hazırlamış ve bu numunelerle çeşitli analizler yapmışlardır. Çalışmaları sonucunda arttırılan kireç oranı göz önüne alınarak %200-%1000 arasında direnç artışları olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Bu çalışmada çeşitli zemin stabilizasyon metotları incelenmiş ve bir endüstriyel atık olarak Midyat taşının zemin stabilizasyonunda kireç ile birlikte kullanılabilirliği laboratuvar deneyleriyle araştırılmıştır.

Amaçlar

Bu çalışmanın ana amacı; Midyat taşı endüstriyel atıklarının zemin stabilizasyonunda kullanılabilirliğinin incelenmesidir. Bir başka ifade ile Midyat taşının işlenmesi sonucunda meydana gelen endüstriyel atıkların zemin stabilizasyonunda kullanılıp kullanılamayacağını irdelemektir. Bu amaç ile Midyat taşı atığının tek başına ve kireçle birlikte zemin stabilizasyonunda kullanılması sonucunda, zeminin mühendislik özelliklerindeki (kayma direnci, geçirimsizlik, oturma, dayanım, durabilite vs.) değişimler incelenmiştir.

Çalışma kapsamında serbest basınç, donma-çözülme ile ıslanma kuruma deneyleri için toplamda 108 adet numune hazırlanmıştır. Hazırlanmış numunelere 7 ve 28 günlük kür uygulandıktan sonra tek eksenli serbest basınç deneyi yapılarak hangi oranların kullanılmasının daha etkili sonuçlar ortaya koyduğu tespit edilmeye çalışılmıştır. Hazırlanmış numuneler (28 günlük kür sonrasında) durabilite davranışlarının tespiti için ıslanma-kuruma ve donma-çözülme çevrimlerine tabi tutulmuştur.

İKİNCİ BÖLÜM

Kaynak Özetleri

Zemin iyileştirme metotları ile bu metotlara ilişkin değişik uygulamalara bu bölümde değinilmiştir.

Zemin İyileştirme Yöntemleri

Zemin, kayaçların ayrışması ve parçalanmasıyla oluşmaktadır. Kayaçların ayrışması neticesinde yerde danelerin kalmasıyla zemin tabakaları meydana gelmektedir. Bazen de rüzgar, su gibi faktörlerden oluşan kuvvetlerin etkisiyle başka bölgelere taşınabilmektedir. Taşındığı bölgelerde çökerek zemin tabakalarının oluşmasına ortam hazırlamaktadır (Fidan, 2016).

Zeminlerin kimyasal reaksiyonlar yoluyla çeşitli özelliklerinin iyileştirilmesi işlemine kimyasal stabilizasyon denir (Lambe, Khosla, & Jayaratne, 1990). Mekanik stabilizasyon zeminlerin mühendislik özelliklerinin fiziksel işlemler baz alınarak iyileştirilmesi yöntemidir.

Yüzeysel stabilizasyonda genellikle mekanik ve kimyasal stabilizasyon metotları tercih edilmesine karşın, elektiriksel ya da termal stabilizasyon metotları da kullanılabilir (Holtz, Kovacs, & Sheahan, 2015). Bu metotların tercih edilmesinin temel sebepleri, gerilmeler altındaki şekil değiştirmeleri ve ağırlık etkisindeki sıkışmaları azaltmaktır. Ayrıca yüzey bozunmalarına karşı direnci yükseltmek ve sızıntı suyu kontrolü gerçekleştirmek bu metotların tercih edilmesinin diğer sebepleridir.

Zemin iyileştirmesi için hangi yöntem tercih edilirse edilsin eldeki veriler inşaat alanında standart penetrasyon deneyi (SPT) ve koni penetrasyon deneyi (CPT) ile denetlenmelidir. Amaçlanan özelliklere ulaşmaya kadar iyileştirme işlemleri değişik şekillerde tekrarlanmalıdır (Kayabalı, 2010).

Zemin türüne ve hedefine göre stabilizasyon yöntemleri farklılık gösterir. Zemin türlerine göre iyileştirme metotları Hunt'a (1994) göre Tablo 1'de gösterilmiştir. Stabilizasyon hedefine göre iyileştirme metotları Tablo 2'de gösterilmiştir (U.S Army Corps. of Eng., 2003).

Tablo 1. *Zemin Türlerine Göre İyileştirme Metotları (Hunt, 1994)*

Zemin cinsleri		Stabilizasyon yöntemleri
Çeşitli dolgular	Sığ	Kazı/Geri dolgu
	Derin	Dinamik kompaksiyon, kum kolonlar
Organik zeminler	Sığ	Kazı/Geri dolgu, geotekstil
	Derin	Sürşarj, geotekstil, kum kolonlar
	Tabakalı	Sürşarj, patlatma tekniği, dinamik kompaksiyon, kompaksiyon enjeksiyonu, kum kolonlar, taş kolonlar
Yumuşak killer	Sığ	Kazı/Geri dolgu, geotekstil
	Derin	Sürşarj, geotekstil, kum veya kireç kolonlar
	Tabakalı	Sürşarj, dinamik kompaksiyon, kompaksiyon enjeksiyonu, kum veya kireç kolonlar
Killer		Mekanik stabilizasyon, kireç stabilizasyonu, termal(dondurma), elektro-osmoz, geosentetik, drenaj
Gevşek siltler	Sığ	Kazı/Geri dolgu, tuz katkısı
	Derin	Dinamik kompaksiyon, sürşarj, taş kolonlar, elektro-osmoz, vakum kuyuları
Gevşek kumlar	Sığ	Çimento veya bitüm stabilizasyonu, dinamik kompaksiyon
	Derin	Vibroflatasyon, vibrokompaksiyon, dinamik kompaksiyon, enjeksiyon, taş kolonlar, drenaj kuyuları, termal (dondurma)
Sıvılaşılabilen zeminler		Dinamik kompaksiyon, enjeksiyon, taş kolonlar, drenaj
Şişen zeminler		Kireç stabilizasyonu, drenaj, çimento, uçucu kül, tuz, kimyasal katkıları
Çatlaklı kayalar		Enjeksiyon, ankraj, püskürtme beton, yüzey altı yatay drenaj

Tablo 2. Stabilizasyon Hedefine Göre İyileştirme Metotları (U. S. Army Corps. of Eng., 2003)

Amaçlar	Stabilizasyon Yöntemleri
Sıvılaşma direncini artırmak, Deplasmanları azaltmak.	Vibrokompaksiyon Taş kolonlar Derin dinamik kompaksiyon Patlayıcı tekniği ile kompaksiyon Çakıl kolonlar Jet grout Kompaksiyon enjeksiyonu Granüler kolonlar (kum ve çakıl)
Farklı oturmaya maruz kalabilecek yapıların zeminlerini ıslah etmek. Farklı oturma, deformasyon ve kırılma direncini artırmak.	Kompaksiyon enjeksiyonu Mini kazıklar Jet grout
Ani oturmaları azaltmak.	Vibrokompaksiyon Derin dinamik kompaksiyon Patlayıcı tekniği ile kompaksiyon Jet grout Kompaksiyon enjeksiyonu Granüler kolonlar (kum ve çakıl)
Şişen zeminleri ıslah etmek.	Çimento stabilizasyonu Kireç stabilizasyonu Drenaj Mekanik stabilizasyon
Şev stabilitesini artırmak.	Çakıl drenler Payanda dolgusu Granüler kolonlar (kum ve çakıl) Kompaksiyon enjeksiyonu Zemin çivi ve vidaları Jet grout
Konsolidasyon oturması oranını artırmak.	Sürsarj dolgulu veya dolgunsuz yüzey drenler Granüler kolonlar (kum ve çakıl)
Konsolidasyon oturmalarını azaltmak.	Sürsarj (Ön yükleme) Jetgrout Taş kolonlar Kompaksiyon enjeksiyonu Elektro-osmoz
Sızıntı yollarını kapamak ve / veya su akımı doğrultusundaki borulamayı azaltmak.	Penetrasyon enjeksiyonu Kompaksiyon
Erozyon direncini artırmak.	Mekanik stabilizasyon Bioteknik stabilizasyon Kompaksiyon
Çatlaklardan ve bileşim yerlerinden su kaçaklarını engellemek.	Kompaksiyon enjeksiyonu
Göçen zeminleri ıslah etmek.	Derin dinamik kompaksiyon Enjeksiyon Vibrokompaksiyon

Zemin çeşitlerine ve iyileştirme hedeflerine göre stabilizasyon metotları Tablo 3'te gösterilmiştir (Öntürk, 2011).

Tablo 3. Zemin Stabilizasyon Yöntemleri ve Kullanılma Amaçları (Öntürk, 2011)

Uygulanan yöntem	Zemin türü		Zemin iyileştirme amacı				
	Daneli	Kohezyonlu	Taşıma Gücü	Oturma Kontrolü	Stabilite	Çevresel Sebepler	Sıvılaşma
Vibrokomp.	✓		✓	✓			✓
Kum Sık. Kazıkları	✓		✓	✓			✓
Kompaksiyon Kazıkları	✓		✓	✓			✓
Dinamik Kompaksiyon	✓		✓	✓		✓	✓
Patlatma	✓		✓				✓
Önyükleme		✓	✓	✓			
Düşey Direnler		✓	✓	✓			
Isıtma		✓		✓			
Soğutma	✓	✓				✓	
Geosentetikler		✓	✓	✓			
Mini Kazıklar	✓	✓	✓	✓			
Fore Kazıklar	✓	✓	✓		✓		
Zemin Çivileri	✓	✓			✓		
Donatılı Zemin	✓					✓	
Derin karıştırma	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Taş Kolonlar		✓	✓	✓	✓		✓
Permeasyon enj.	✓		✓	✓	✓	✓	
Çatlatma Enjeks.		✓	✓	✓		✓	
Komp. Enjeks.	✓	✓	✓	✓			✓
Jet Enjeks.	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Tablo 4’te Zemin stabilizasyon metotlarının yaklaşık maliyet değerleri gösterilmiştir (U.S. Army Corps. of. Eng., 2003).

Tablo 4. Zemin Stabilizasyonunda Yaklaşık Maliyet Değerleri (U.S. Army Corps. of Eng., 2003)

Metodlar	Göreceli maliyet	\$/m	\$/m ²	\$/m ³	Referans
Derin dinamik kompaksiyon	Düşük	-	8-32	5	FHWA (1998)
Vibrokompaksiyon	Düşük-Orta	Arka dolgusuz 15, granüler arka dolgulu 25	-	1-4	Ledbetter (1985)
Taş kolonlar	Orta	45-60	-	-	Adailer (1996)
Çakıl direnler	Orta	11-22	-	-	FHWA (1998)
Patlatma tekniği ile kompaksiyon	Düşük	-	-	2-4	
Jet grout	Yüksek-Çok yüksek	Sızma kontrolü 30-200 Kazı sahasının desteklenmesi 95-650	-	-	
Zemin çivileri	Orta-Yüksek	-	Geçici 165-775, Sürekli 160-400	-	
Kompaksiyon enjeksiyon	Düşük-Orta	-	-	5-50	
Derin zemin karıştırılması	Yüksek-Çok yüksek	-	-	100-150	Hayward (1996)
Kimyasal enjeksiyon	Yüksek	-	-	150-400	
Bioteknik stabilizasyon	Uygulamaya bağlı	Bitkilendirilmiş geogridler 40-100	Şevi ağ şeklinde saran bitkilendirme 275-550	-	ASCE (1997)
Zeminin değiştirilmesi	Orta	-	-	10-20	Hayward (1996)
Düşey drenler	Düşük	1.2-4	-	-	FHWA (1998)
Taneli enjeksiyon	Orta	-	-	3-30	Adailer (1996)

Yüzeysel zemin stabilizasyonu, iyileştirmenin uygulama metoduna göre mekanik ve kimyasal olmak üzere ikiye ayrılır.

Mekanik stabilizasyon.

Mekanik stabilizasyonda sıkıştırma veya kompaksiyon gibi metotlarla zemin istenilen mühendislik özellikleri seviyesine çıkarılır, zemine herhangi bir katkı malzemesi eklenmez ayrıca zemin içerisinde herhangi bir kimyasal reaksiyon meydana gelmez (Aytekin, 2004).

Mekanik iyileştirmenin amaçları; gradasyonun düzeltilmesi, dayanım, durabilite ve dren yeteneğinin artırılması, likit limit ve plastisite indisinin düşürülmesi, oturmaların azaltılması şeklinde tanımlanabilir (Winterkorn, & Fang, 1975).

Mekanik iyileştirmede kullanılacak katkı malzemelerinin yüzdesi için önceden belirlenmiş herhangi bir sistem ya da metot yoktur. Farklı cins zeminler için deneme yanılma yoluyla istenilen oranlara karar verilmektedir (Çalık, 2012). Mekanik iyileştirmenin amaçlanan sonuca ulaşması, karışım gradasyon ve ince kısmının plastik özellikleri faktörlerine bağlıdır. AASHTO'da (1993) Mekanik stabilizasyon karışımlarının uygun düşmesi gereken gradasyon sınırları belirlenmiştir. Tablo 5'te bu sınırlar verilmektedir. Tablodaki Tip I kaba gradasyonu, Tip II kumlu zeminleri göstermektedir.

Tablo 5. *Mekanik İyileştirmede Gerekli Olan Gradasyon Sınırları (AASHTO, 1993)*

	Tip I				Tip II	
	A	B	C			F
2" (50 mm)	100	100				
1" (25 mm)	---	75-95	100	100	100	100
3/8" (9.5 mm)	30-65	40-75	50-85	60-100		
No.4 (4.75mm)	25-55	30-60	35-65	50-85	55-100	70-100
No.10 (2 mm)	5-40	20-45	25-50	40-70	40-100	55-100
No.40 (0.425 mm)	5-20	15-30	15-30	25-45	20-50	30-70
No.200 (0.075 mm)	2-8	5-15	5-15	8-15	6-15	8-15

Tane boyutunun büyüklüğü zeminin işlenebilirliğini azaltmaktadır. Aynı şekil de zeminin çok ince daneli olması yüksek su muhtevasında karışmayı zorlu hale getirmektedir. Zemin kuru olduğu durumlarda topaklanmalar meydana gelmekte ve homojen karışımı oluşturmak zor hale gelmektedir.

Kimyasal stabilizasyon.

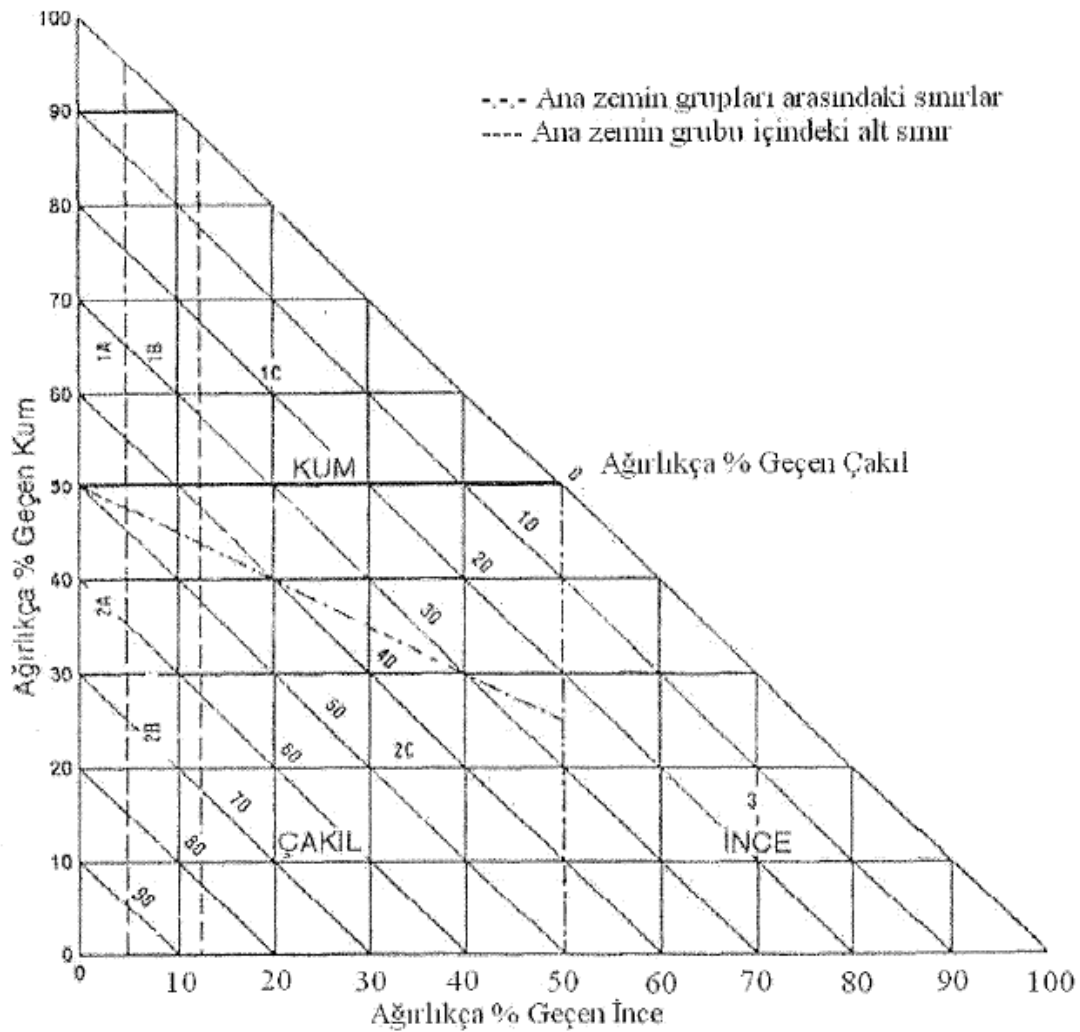
Kimyasal stabilizasyonda, zeminin geoteknik özelliklerini iyileştirmek amacıyla zemine katkı malzemeleri eklenerek kimyasal reaksiyonun gerçekleşmesi sağlanır ve iyileştirme gerçekleştirilir (Aytekin, 2004).

Zeminin iyileştirilmesi bakımından kimyasal stabilizasyon metodu en etkili ve iktisadi

metottur (Kukko, 2000) Kimyasal iyileştirmeye amaçlanan başlıca hedefler; dayanım, taşıma gücü ve durabiliteyi arttırmak, deformasyonları, oturmaları ve geçirimliliği azaltmaktır.

Kimyasal iyileştirmede katyon değişimi ve çimentolaşma olmak üzere iki kritik reaksiyon meydana gelir (Mitchell, 1993). En elverişli sonuçlara ulaşmak için katyon alışverişi ve çimentolaşma reaksiyonlarının birlikte meydana geldiği stabilizasyon uygulamaları tercih edilmelidir (Fidan, 2016).

Şekil 3'te gösterilen, zemin üçgen gradasyonun da, zemindeki incelme karakteristiğini tespit etmek için, zemin alan numarası bulunup kontrol sağlanır.



Şekil 3. Zemin üçgen gradasyonu (U.S Army Corps. of Eng., 2003).

Kimyasal stabilizasyon yöntemleri.

Enjeksiyon teknikleri.

Daneli enjeksiyon.

Daneli enjeksiyon oldukça az vizkoziteli bir şerbetin zemine enjekte edilmesi

yöntemiyle yapılır. Daneli enjeksiyon yönteminde, daneli şerbetler (Portland Çimento, puzolan vb.) ile kimyasal enjeksiyon (sodyum silikat vb.) maddeleri uygulanmaktadır. Daneli enjeksiyonunda zeminin gradasyonu çok önemlidir. İri daneli malzemenin yoğun olduğu zeminlerde her türlü enjeksiyon maddesi kullanılabilir. Daneli şerbetlerin viskozitesi, kimyasal enjeksiyon maddelerinin viskozitesine yüksektir. Zemin gradasyonunda inceliğin yoğunluklu olması enjeksiyonu etkilemekte ve tesirini önemli ölçüde azalmaktadır (Önalp, 1983; Day, 2004).

Daneli enjeksiyonda, iki temel işleyişle zemin stabilizasyonu sağlamaktadır. İlki şerbetin, farklı zemin taneleri arasındaki bağlantıyı güçlendirmesidir. Böylelikle iskelet sistemi daha güçlü ve rijit bir zemin oluşturulur. İkincisi ise enjeksiyon maddesinin zemindeki boşlukları doldurmasıdır. Böylece tekrarlı yükleme esnasında ortaya çıkacak olan sıkışma ve boşluk suyu basıncı düşürülmektedir (Day, 2004).

Kimyasal karışım enjeksiyonu.

Bu enjeksiyonda kontrollü bir şekilde düşük vizkoziteli çimento şerbeti zeminde çatlak oluşturacak şekilde uygulanır. Çatlağın meydana gelebilmesi için yüksek basınçta (4 MPa) uygulanması gerekir. Enjeksiyonun hemen sonrasında oluşan çatlakların gerilme düzlemlerine paralel olması istenmektedir. Ancak bulgular bunların genelde zayıf tabakalanma düzlemlerini izlediklerini göstermektedir. Stabilizasyon amacıyla şerbetin verilmesinden itibaren, tekrarlanan enjeksiyon zemini farklı noktalarda çatlatmaktadır. Bunun sonucunda enjeksiyon merceklerinden üç boyutlu ağ meydana gelmektedir. Enjeksiyonla birlikte zeminde bir miktar sıkışma oluşmaktadır. Ancak enjeksiyonun temel sistemi rijitlik ve mukavemet artışının sağlanmasıdır. Nitekim bu zemin kütlelerinde katılmış enjeksiyon mercekleriyle sağlanır (Day, 2004; Kramer, 2003; Yıldırım, 2002).

Jet enjeksiyonu.

Zeminin daha evvel hazırlanmış sondaj kuyusunda, güçlü basınçta ve yatay bir şekilde enjekte edilen çimento şerbetiyle karıştırılmasına jet enjeksiyonu denir. Enjeksiyon deliği şerbetin daha farklı noktalara ulaşabilmesi için döndürülür. Enjeksiyon işlemi sırasında karışıma katkıda bulunması açısından hava veya su enjekte edilebilir. Enjeksiyon, önceden açılmış kuyunun tabanından itibaren yavaşça yukarıya çekilerek zemin-çimento karışımı şeklinde kolonlar meydana getirir (Day, 2004; Yıldırım, 2002). Bu enjeksiyon türü her cins inorganik zemine ve istenilen her türlü derinliğe uygulanabilmektedir.

Yüzeysel iyileştirme yöntemleri.

Yüzeysel zemin stabilizasyonu derine inmeden yüzeysel olarak uygulanır. Yüzeysel stabilizasyon genellikle yüklenmenin fazla olmadığı yapılarda veya yol projelerinde uygulanır. Yüzeysel zemin iyileştirmesi katkılı ve katkısız başlıkları altında iki ana gruba ayrılır.

Katkısız stabilizasyon.

Katkısız stabilizasyonda zemine katkı maddesi eklenmeden iyileştirme işlemi gerçekleştirilir. Eldeki zeminin gradasyonu uygunsa bu yöntem uygulanabilir (Özaydın, 1989). Katkısız stabilizasyon 2 gruba ayrılabilir.

Kompaksiyon yöntemi.

Kompaksiyon, zeminlerin mekanik enerji vasıtasıyla sıkıştırılmasıdır. Başka bir ifade ile zemine mekanik enerji uygulayarak danelerin sıkıştırılması ile yoğunluğunun artırılması işlemidir (Özaydın, 1989). Kompaksiyon işleminde su mühim bir etkidir. Su daneler arasındaki yoğunluğu artırır ve danelerin yeniden yapılanmasına neden olur. Bununla beraber, zeminin kuru birim hacim ağırlığı yükselir. Dolayısıyla kayma mukavemeti ile zeminin taşıma kuvveti de yükselir. Kompaksiyon işlemi sırasında su içeriğinin sınır değeri aşılmaya başlandığı zaman zeminin kuru birim hacim ağırlığında düşüş yaşanır. Zeminlerin en çok sıkıştırılabildiği su içeriği değerine optimum su muhtevası denir. Optimum su muhtevasına karşılık gelen birim hacim ağırlığına, maksimum kuru birim hacim ağırlık denir (Kocabey, 2019).

Kompaksiyon işlemi sırasında; zeminin geçirimliliği, sıkışabilirliği ve oturmaları azalır. Bunların beraber kayma direnci, taşıma gücü ve birim hacim ağırlığı artar. Ayrıca zemin geçirimliliği düşer ve sıvılaşma riski kaybolabilir (Çakır, 2001). Sıkışmayı etkileyen etkenler zeminin cinsi, zemin gradasyonu ve sıkıştırma araçları şeklinde gruplandırılabilir (Kocabey, 2019).

Temel kompaksiyon araçları; silindirler, tokmaklar ile vibratörler şeklinde üçe ayrılır (Çakır, 2001). Genelde kohezyonsuz zeminlere özgü düz silindirler ile vibratörler kullanılır. Kohezyonlu zeminler söz konusu ise tekerlekli silindirler kullanılır. Sıkıştırma araçlarının temel özellikleri Tablo 6'da gösterilmektedir (Tülek, 2007). Kompaksiyon yöntemleri; titreşim, darbe, yoğurma, statik ağırlık şeklinde özetlenebilir.

Tablo 6. Sıkıştırma Araçlarının Genel Özellikleri (Tülek, 2007)

Adı	Kütlesi (ton)	Hızı (km/saat)	Titreşim (Hz)	Tabaka kalınlığı (m)	Geçiş sayısı
Titreşimli tokmak	0,30 - 0,10	-	7,00 - 10,0	0,20 - 0,40	2,0 - 4,0
Titreşimli plaka	0,06 - 0,08	1,00	10,0 - 80,0	0,15 - 0,50	2,0 - 4,0
Hafif titreşimli silindir	0,60 - 2,00	2,00 - 4,00	25,0 - 70,0	0,30 - 0,50	4,0 - 6,0
Titreşimli ayak	6,00 - 15,0	8,00 - 10,0	25,0 - 30,0	0,30 - 1,50	4,0 - 6,0
Ağır titreşimli silindir	6,00 - 15,0	6,00 - 13,0	25,0 - 40,0	0,30 - 1,50	4,0 - 6,0
Vurmalı silindir	7,00	10,0 - 14,0	-	0,50 - 3,00	30'a kadar

Drenaj yöntemi.

Zemin ile ilgili problemlerin büyük bir çoğunluğunun temel nedeni suyun varlığıdır. Su aşırı doygunluk, sıvılaşma ve benzeri sorunlara neden olur (Cedergren, 1989). Yer altı suyunun sebep olduğu başlıca mühendislik problemleri sızma basınçlarının meydana gelmesi, barajlarda borulanmanın oluşması, temelde var olan yer altı suyunun yollarda çökelmeye sebep olması ve su tablası altındaki yumuşak gradasyonlu zemin yüzünden deprem dalgalarının neden olduğu sıvılaşma örnek verilebilir (Kayabalı, & Mollamahmutoğlu, 2004).

Zeminde probleme sebep olan suyun doğal veya yapay yollarla uzaklaştırılması için geliştirilen tüm çalışmalara drenaj denir. Suyun zeminden uzaklaştırılmasıyla zeminin kesme dayanımı ile stabilitesi artırılabilir. Zemindeki su miktarının fazlalığı zeminin mühendislik özelliklerinden olan mukavemet ile taşıma gücünde düşüğe neden olur. Drenaj yöntemi, zemini üniform bir su miktarında sabit tutar (Uzuner, 2006). Drenaj yöntemi, yüzeysel veya yüzey altı drenaj şeklinde ikiye ayrılır. Yüzey altı drenaj, dren boruları kullanarak gerçekleştirilir. Boyuna yüzey altı drenajlarda ise hendekler ile su uzaklaştırılır ve dayanım artırılır (Tunç, 2001).

Yüzeysel drenaj, yağışlar nedeniyle akışa geçen suların kontrolünün sağlanmasıdır. Kontrol edilecek su akışının debisine ve amacına uygun olarak çözüm üretilir. Bu çözümler drenaj hendeği, düşüm oluğu ve benzeri şekillerde uygulanmaktadır (Tunç, 2001). Oluşturulan hendekler yardımıyla sular toplanarak uzaklaştırılır. Suların istenilen debide hareket edebilmesi için hendekler eğimli yapılır. Hendekler filtre malzemesi ile doldurularak meydana getirilir (Uzuner, 2000).

Katkılı stabilizasyon.

Problemli zeminlere farklı katkı malzemeleri ekleyerek fiziksel özelliklerinin istenilen seviyeye getirilmesine katkılı stabilizasyon denir. Bu tür iyileştirmelerde genellikle kireç, çimento, puzolan ve bitüm kullanılır. Gerçekleştirilen katkılı zemin stabilizasyonunda gradasyon, mukavemet ile durabilite bakımından gerekli minimum değerlere dikkat edilmelidir.

Kimyasal iyileştirmede istenilen katkı malzemesini (U.S. Army Corps. of Eng., 2003) tarafından oluşturulan Tablo 7’den bulabiliriz.

Tablo 7. Kimyasal İyileştirmede İstenilen Katkı Malzemesi Seçimi (U.S. Army Corps. of Eng., 2003)

Alan no	Zemin sınıfı	Önerilen katkı	Kısıtlamalar	200 No.lu elekten	Açıklamalar
1A	SW SP	Bitüm Çimento K-Ç-P*	- - PI<25	-	
1B	SW SP SW-SC	Bitüm Çimento Kireç	PI<10 PI<30 PI<12	-	
1C	SM SC SM-SC	Bitüm Çimento Kireç K-Ç-P*	PI<10 ** PI>12 PI<25	En fazla %30 - - -	
2A	GW GP	Bitüm Çimento K-Ç-P*	- - PI<25	-	Çimento katkısı sadece iyi gradasyonlu zeminlerde ve 4 No.lu elekten geçen en az %45 olduğu durumlarda
2B	GW GP GW-GC GC GP-GC	Bitüm Çimento Kireç K-Ç-P*	PI<10 PI<30 PI>12 PI<25	-	
2C	GM GC GM-GC	Bitüm - Kireç K-Ç-P*	PI<10 ** PI>12 PI<25	En fazla %30 - - -	
3	CH CL ML ML-CL	Çimento Kireç	LL<40 ve PI<20 PI>12	- -	Organik ve kuvvetli asidik zeminler uygun olmamaktadır.

* K-Ç-P: Kireç-çimento-puzolan kombinasyonu

** $PI \leq 20 - ((50-200 \text{ Nolu elekten geçen yüzde})/4)$

Bunlar dışında zeminin iyileştirilmesi amacıyla metal cürufu, araba lastiği gibi farklı katkı malzemeleriyle farklı çalışmalar yapılmıştır. Zemine eklenen katkı malzemesi zeminin cinsi ile özelliklerine bağlı olmak üzere kaldırma kuvvetinden geçirimsizliğine kadar birçok özelliğini ıslah edebilmektedir (Kocabey, 2019).

Kireç ile zemin stabilizasyonu.

Kireç taşının kalsine olmasıyla elde edilen kalsiyum içerikli malzemeye kireç denilmektedir. Kireç yapı itibarıyla kalsiyum karbonat ya da magnezyum karbonat içerir. Bu elementlerin dışında demir, kükürt ve benzeri elementlerde değişik oranlarda bulunabilmektedir (Kızılçelik, 2010). Kalkerin belirli fırınlarda özel ayarlanmış sıcaklıklarda pişirilmesiyle kireç elde edilir. Kalkerle gerçekleştirilen bu pişirme işlemine kalsinasyon denir ($\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$).

Kireç ile zemin iyileştirmesi bilinen en eski stabilizasyon metotlarından bir tanesidir. Eski Babil, Mısır ve Çin gibi uygarlıklar kireçle iyileştirme metodunu kullanmışlardır. Bu uygarlıklardan Romalılar kireci yol yapımında kullanmışlardır. Romanın yakınındaki Puzoli bölgesinden volkanik kül elde edilebilmektedir. Volkanik külün kireçle reaksiyonunda büyük kararlılık elde ettiği bilinmektedir (Ghabae, 2015). Modern inşaat uygulamalarında ilk defa 1924'te kullanılmıştır. Modern anlamda kireçle iyileştirme 2. Dünya Savaşı esnasında yoğunluk kazanmıştır. Günümüzde otoyollar, demiryolları, havaalanları, yapı inşaatları ile temel ıslahında kullanımı sürdürülmektedir (Erkan, 2007).

Killi bir zeminin kireç ile stabilizasyonu zeminlerin mühendislik özelliklerinin iyileştirilmesi açısından önemlidir. Karayolu ile havaalanı gibi alanlarda kireç ile iyileştirme hem geçmişte hem de günümüzde en çok tercih edilen metottur (Tunç, 2002).

Basınç dayanımı ile CBR değeri düşüklüğü gibi çeşitli problemleri olan zeminlerin mühendislik özelliklerini iyileştirmek amacıyla; zemine sönmüş veya sönmemiş kirecin katılmasıyla gerçekleştirilen stabilizasyon çalışmasına kireç ile iyileştirme denir (Kavak vd., 2008).

Kireç renk olarak beyaz olup cinsine göre suda veya havada sertleşme davranışı gösterir. Suyu karıştırıldığında inorganik esaslı madde özelliği kazanır. Kalsinasyon reaksiyonu neticesinde ortaya çıkan CaO (sönmemiş kireç), su ile birleşirse söndürülmüş kireç meydana gelir ve etrafa ısı yayar (Ghabae, 2015).

Sönmüş ile sönmemiş kirecin en temel farkı sırasıyla birinin toz şeklinde bir madde olması, diğerinin granüller bir madde olmasıdır. Sönmemiş kirecin egzotermik özelliğinin olmaması genellikle iyileştirme yöntemlerinde tercih edilmesinin sebebidir.

Daha önce gerçekleştirilen çalışmalar sönmemiş kirecin sönmüş kirece nazaran daha etkili olduğunu göstermektedir. Ancak sönmemiş kireç egzotermik özelliği nedeniyle tehlikelidir. Bu nedenle sahada sönmemiş kireçle yapılan iyileştirme çalışmalarında, çalışan görevli personellerin derilerinde yanık oluşması riski fazladır.

Kireçle stabilizasyonda killi zeminlerin kimyasal yapısı değişir. Su ile reaksiyona giren kirecin su tutma ile şişme özelliklerini kaybetmesi, kirece stabilizasyonda üstünlük sağlar (Özdemir, 2007)

Kireç stabilizasyonunu her zemine uygulamak mümkün değildir. Organik ve kumlu zeminlerde kireç stabilizasyonun etkili olmadığı düşünülmektedir. Buna karşın çakıllı zeminlerde oldukça etkilidir (Ghabaee, 2015). Sülfat içeren killerin kireç ile stabilizasyonunda zeminde şişme sorunları meydana gelebilir (Mitchell, 1986; Hunter, 1988). Bu nedenle stabilizasyondan önce zemindeki sülfat içeriği tespit edilmelidir. Genellikle fazla organik madde barındıran zeminlerin kireçle iyileştirilmesi istenilen sonuçları vermez (Çalık, 2012). Zeminin organik madde miktarı %5'in üzerine çıktığı zaman gerçekleşen stabilizasyon reaksiyonları durma noktasına gelir (Arman, & Moonfish, 1972). Organik madde miktarının stabilizasyon üzerindeki olumsuz etkisi ıslanma-kuruma evrimlerinde ortaya çıkmaktadır (Nelson, & Miller, 1992).

Kalsiyumhidroksit hava ile temas edince karbondioksit ile reaksiyona girer ve kalsiyumkarbonatı meydana getirir. Buna karbonasyon denir. Kirecin depolanması esnasında hava akımının etkisinde kalması ile karbonasyon meydana gelir. Kirecin yüzdesini düşürdüğü için bu reaksiyonun gerçekleşmesi istenmez. (Pektaş, 2012).

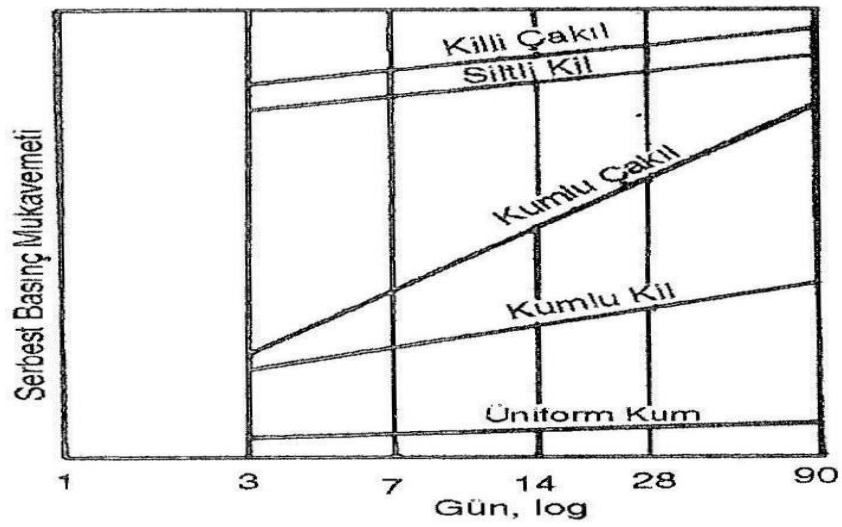
Zemin cinslerine göre kullanılması tavsiye edilen kireç değerleri Nelson ve Miller (1992) tarafından Tablo 8'de sunulmuştur. Kireç karışım değerleri Ingles ve Matcalf (1972) tarafından Tablo 9'da verilmiştir. Sabit kireç içeriğinde farklı cins zeminlerin mukavemet değişimi Şekil 4' te verilmiştir.

Tablo 8. *Farklı Zemin Cinslerine Göre Yaklaşık Kireç Miktarı (Nelson, & Miller, 1992)*

Zemin türü	Tavsiye edilen yaklaşık kireç miktarları (%)	
	Sönmemiş kireç	Sönmüş kireç
Killi çakıl (GC, GM-GC)	2-3	2-4
Siltli kil	3-8	5-10
Kil	3-6	3-8

Tablo 9. Tavsiye Edilen Kireç Karışım Oranları (Ingles, & Metcalf, 1972)

Zemin cinsi	Modifiye için (%)	Stabilizasyon için (%)
İyi derecelenmiş killi çakıl	1 ~ 3	~ 3
Siltli killer	1 ~ 3	2 ~ 4
Plastik killer	1 ~ 3	3 ~ 8
Yüksek plastisiteli killer	1 ~ 3	3 ~ 10
İnce çatlaklı kaya	2 ~ 3	-
Kumlu killer	-	~ 5
Kumlar	-	-
Organik zeminler	-	-



Şekil 4. Sabit kireç içeriğinde farklı cins zeminlerin zamansal mukavemet değişimi (Tunç, 2002).

Kireç stabilizasyonunda reaksiyonların meydana gelebilmesi için ortamda suyun varlığı şarttır (Little, 1987). Kireç ile stabilizasyon neticesinde katyon değişimi, agregasyon ve çimentolaşma meydana gelir (Fang, 1991). Kirecin kullanım amacı işlenebilirlik ve dayanımı arttırmak şeklinde tanımlanabilir (Aytekin, 2004).

Zemin sınıflandırması CL, CH, ML, MH, ML-CL, SM, SC-SM, SC, GM, GM-GC, GC olan ve bünyesinde kil, silt barındıran ince gradasyonlu zeminler kireçle iyileştirilebilir.

Eades ve Grim (1966) zemin içerisine farklı miktarlarda kireç katarak mukavemet ölçümleri yapmışlardır. Elde ettikleri veriler neticesinde kireç oranının artmasıyla birlikte %200-%1000 aralığında artışlar olduğunu tespit edilmişlerdir. Ayrıca kireçle yapılan stabilizasyonun zeminin dayanımına katkısının 10 yılı aşan sürelerde bile sürdüğünü literatürde mevcuttur (Trb, 1987).

Kavak (1996), arı bentonit, kaolin killeri ve kireçle stabilizasyon gerçekleştirip mukavemet ölçümü yapmıştır. Gerçekleştirdiği çalışmalar sonucunda kaolin kilinin 1 ayda 12 kata kadar mukavemet artışı sağladığını belirtmiştir. Bentonitin ise 1 ayda 6 kata kadar mukavemet artışına neden olduğunu bulmuştur. Ayrıca 1 aydan sonra da mukavemetlerin düşük bir ivmede artmaya devam ettiğini tespit etmiştir.

Kireçle iyileştirmede zeminde kısa ve uzun vadede birtakım değişiklikler gerçekleşmektedir. Kısa vadede gerçekleşen değişiklikler şunlardır; kuru yoğunlukları düşmekte, plastik limit artmakta, likit limit düşmekte, proktor eğrisi düzleşmekte, CBR değerlerinde artışlar olmaktadır.

Uzun vadede gerçekleşen değişiklikler ise; CBR değerleri daha da artmakta, serbest basınç mukavemeti artmakta, kayma mukavemeti artmakta, çekme gerilmeleri artmakta, şişme ile büzülmeye karşı stabilite artmakta, don etkisine karşı direnç yükselmektedir (Kavak, 1996).

Çimento ile zemin stabilizasyonu.

Çimento hidrolik bir bağlayıcı malzemedir. Hidrolik bağlayıcı malzemeler suyla tepkimeye girdiklerinde sert bir kütle meydana getirirler (Fidan, 2016). Genellikle kullanılan türü portland çimentosudur.

Çimentoyla zemin stabilizasyonu, zeminlerin mühendislik özelliklerini iyileştirmede etkili bir metottur. Bu sebeple karayolu ile hava meydanı gibi yapıların yapımında çimentoyla iyileştirme yoğun bir şekilde tercih edilmektedir. Çimentoyla zemin iyileştirmesi zeminin kuru ağırlığının %5-15'i oranında çimento katılarak uygulanır (Tumluer, 2006).

Zemin çeşidi ile su/çimento oranı, çimento ile zemin iyileştirmede en kritik faktörlerdendir. Su oranı malzemenin mukavemeti ile plastisitesine önemli miktarda etki etmektedir (Littlejohn, 1982). Stabilizasyon için gerekli optimum çimento oranı dayanım testleriyle tespit edilir. İnce daneli zeminlerde optimum su miktarının üstünde su katkısının kullanılması daha elverişli sonuçlara ulaşmamıza olanak sağlar (Uzuner, 2013).

Kum ile çakılların geçirimliliğini, çimento ile iyileştirme büyük oranda düşürmektedir. Ancak silt ile killerde geçirimliliği arttırmaktadır. Zemin cinsine ve iyileştirmedeki amacına göre stabilizasyonda kullanılacak çimento miktarı değişmektedir. Stabilizasyonda; çimento ilavesiyle zeminde likit limit ile plastisite indisi azalmaktadır. Ayrıca zeminin işlenebilirliği artmaktadır (Kılıç, 2008). Çimento bünyesinde bulunan silika puzolanik aktiviteyi meydana getirir. Bu nedenle kil minerali olmayan zeminlerde çimento ile iyileştirme uygun bir metottur (Fidan, 2016).

Çimento ile iyileştirme metodunun ilk uygulamaları, 1920’li zamanlarda ABD’nin ulaştırma alanında görülmektedir. Ülkemizde endüstriyel sektörün gelişmesiyle bu metot daha yaygın bir şekilde uygulanmaya başlanmıştır. Hava meydanları ve birçok ulaşım yolunda trafik yükü zamanla artmıştır. Bu tür yolların çoğunda çimento ile iyileştirme yapılmış temel ile alt temel uygulamaları bulunmaktadır (Mitchell, 1993; Demiröz, & Karaduman, 2009).

Çimento stabilizasyonu metodu gevşek ve akışkan olmayan zeminlerde kullanıldığında diğer zeminlere oranla daha etkilidir. Çimentoya uygulanan kür süresi uzadıkça dayanımı artar, çimento bu yönüyle kirece benzer. Farklı zemin cinslerine göre çimento oranları Tablo 10’da gösterilmiştir.

Tablo 10. Farklı Zemin Cinslerine Göre Çimento Oranları (Tunç, 2002)

AASHTO zemin sınıfı	Birleştirilmiş zemin sınıfı	Tipik çimento içeriği (% ağırlıkça)	Çimento ihtiyacı sınırları	
			Hacimce (%)	Ağırlıkça (%)
A-1-a	GW,GP,GM,SW,SP,SM	5	5-7	3-5
A-1-b	GM, GP, SM, SP	6	7-9	5-8
A-2	GM, GC, SM SC	7	7-10	5-9
A-3	SP	9	8-12	7-12
A-4	CL, ML	10	8-12	7-12
A-5	ML, MH, CH	10	8-12	8-13
A- 6	CL, CH	12	10-14	9-15
A-7	MH, CH	13	10-14	10-16

Çimento ile zemin iyileştirmesinde üzerinde önemli durulması gereken noktaları şu şekilde sıralanabilir; stabilizasyonda kullanılacak çimento nemden korunacak şekilde muhafaza edilmeli, stabilizasyondan önce uygun olmayan zemin uzaklaştırılmalı, uygulama yapılacak alan homojen hale getirilmeli ve çimentoyla zemin kuru olarak karıştırılmalı daha sonra su eklenmelidir. Bunların hemen ardından sıkıştırma işlemi gerçekleştirilmelidir.

Ayrıca; sıkıştırma 2 saatlik süre zarfı içinde bitirilmeli ve zemin 30 dakika süresince dinlenmeye bırakılmalı, sıkıştırma işleminden sonra zemin yüzeyinde biriken gevşek malzeme temizlenmeli ve iyileştirmenin amaçlanan değerde olup olmadığı ölçüm teknikleriyle denetlenmelidir (Kılıç, 2008).

Kireç ile çimento iyileştirmesinde durabilite değerleri Tablo 11’de yer almaktadır.

Tablo 11. Kireç ile Çimento İyileştirmesinde Durabilite Değerleri (Tunç, 2002)

Zemin türü	12 ıslanma-kuruma veya donma-çözülme periyodu sonucu numune ağırlığında izin verilen maksimum kayıp (%)
Granüler, PI>10	8-14
Granüler, PI<10	11-14
Kil	6-14
Silt	8-14
A-6, A7	7
A-2-6, A-2-7, A-4, A-5	10
A-1, A-2-4, A-2-5, A-3	14

Bitüm ile zemin stabilizasyonu.

Bitümlü malzemelerin; daneler arasında geçirimsizlik sağlama gibi bir özelliği mevcuttur. Kullanılacak malzemelerin kil ile organik malzemelerden arındırılmış olması gerekir. Bitümle iyileştirme zemini su geçirmez hale getirir. Ayrıca danelerin birbirine yapışmasını sağlar. Bu iyileştirme metodunda %5-10 değerleri arasında asfalt ya da katran katkısı kullanılır. Bitüm ile zemin stabilizasyonu genellikle karayolları ile yüzey kaplamalarında kullanılır (Uzuner, 2000). Bitüm ile stabilizasyonda sıcak sıvı bitümle malzeme zemine karıştırılıp kompaksiyon işlemine tabi tutulur (Fidan, 2016). Danelerin yüzeylerini kaplayan bitüm ince gradasyonlu zeminlerin su ile temasını önleyip yumuşamasını engeller. Ancak iri daneli zeminlerin kohezyon elde etmesini sağlar. Ayrıca daneler arasındaki yapışma neticesinde zeminde rüzgar ile su erozyonuna karşı direnç artar (Özaydın, 1989).

Plastik ve granüller olmayan zeminlerde bitümle iyileştirme daha güzel sonuçlar meydana getirmektedir. Kum ya da granüler maddelerde bağlayıcı filmin iki amacı vardır. İlki zemini su geçirmez hale getirmektir. İkincisi ise, zemin danelerinin birbirine bağlanmasıdır. Bunun sonucunda zeminin yük taşıma kapasitesi artar. Bundan ötürü kohezyonlu zeminlerin iyileştirilmesinde bitümlü maddenin işlevi, iyileştirilmesi gerçekleştirilen zeminin geçirimsizliğini sağlamaktır (Çakıroğlu, 2007).

Bitümlü malzeme diğer alternatif malzemelere göre daha pahalı olduğundan iyileştirmede daha az tercih edilmektedir. Bitümle iyileştirme danelerin birbiriyle yapışmasını, su ile rüzgar erozyonuna karşı dayanımını yükseltmektedir.

Uçucu kül ile zemin stabilizasyonu.

Termik santrallerde pulvarize edilmiş kömür yakılır. Yakılan bu kömürden; taban külü ile uçucu kül gibi atık malzemeler elde edilir (Aksoy, 1992). 0,09 mm inceliğinde öğütülmüş

taş ile linyit kömürlerinin termik santrallerde belirli sıcaklıklarda yakılmasıyla atmosferde uçuşan silis ile alimine silis kalıntıları oluşur. Silis ile alimine silis yanma kalıntılarına uçucu kül denir. Atmosferde sürüklenmeyecek kadar iri taneli maddelere ise taban külü denir (Mehta, 1986). Termik santral atıklarının %80 gibi büyük bir çoğunluğu uçucu kül olmakla beraber kalan diğer kısmı taban külünü oluşturmaktadır. Uçucu küller silika, alimine gibi farklı bileşikler içeren fabrika atıklarıdır. Hidrate kireç ile reaksiyona girebilmektedirler. Yol temel ve alt temel gibi katmanlarında kullanılabilirler. Genellikle %10-15 oranında uçucu küle %2-10 oranında kireç katılması karışımlar açısından uygundur (Yıldırım, 2002).

Bütün dünyada uçucu külün %25 düzeyinde geri dönüşüm amacıyla kullanıldığı bilinmektedir. Ülkemizde ise doksanlı yılların verileri baz alındığında ancak %1 civarında uçucu külün geri dönüşüm için kullanıldığı görülmektedir. Geriye kalan uçucu külün ise depolanması ya da atılmasının çevre ile kamuya zararı büyüktür (Çalık, 2012).

Uçucu küllerin fiziksel davranışlarını saptamak amacıyla spesifik yüze, özgül ağırlık gibi deneyler gerçekleştirilir. Stabilitate özelliklerini saptamak amacıyla da serbest basınç deneyleri gerçekleştirilir. Ayrıca kimyasal özelliklerini tespit etmek amacıyla kimyasal analiz kullanılır. Uçucu küllerin fiziksel ve kimyasal özelliklerini etkileyen temel etmenler mevcuttur. Bu etmenler kömürün çeşidi ile saflığı, yanma sistemleri ile öğütülme inceliği gibi faktörlerdir (Atanur,1972).

Uçucu küller içerik açısından C ile F sınıfı şeklinde iki grupta incelenirler. Kimyasal yapısında %10'un üzerinde CaO barındıran küller C tipi uçucu küller sınıfında değerlendirilir. F tipi olarak nitelendirilen küller ise %10'dan az CaO içerir. Bitümle kömürlerin yakılması neticesinde F tipi uçucu küller meydana gelir. CaO oranı düşüktür ve bu uçucu küllerin kendi başlarına çimentolaşma davranışları azdır. Ancak kireçle tepkimeye girdiklerinde puzolanik özellik gösterirler. Yüksek miktarda kireç barındıran C sınıfı uçucu küller ise linyit ile kömürün yakılması sonucunda oluşur. Kireç oranı sebebiyle başka bir katkı maddesine ihtiyaç duyulmaksızın bağlayıcı şeklinde kullanılabilirler (Tumluer, 2006).

Tablo 12'de uçucu küllerin fiziksel özellikleri gösterilmiştir. Tablo 13'te ise uçucu küllerin sağlaması gereken fiziksel değerler gösterilmiştir.

Tablo 12. *Uçucu Küllerin Fiziksel Özellikleri (Gücek, 2011)*

Çap (Mikron)	Renk	Şekil	Yoğunluk(g/cm ³)	İncelik
1 – 200	Gri	Yuvarlak	2.2 - 2.7	Yaklaşık çimento inceliğinde

Tablo 13. *Uçucu Küllerin Sağlaması Gereken Fiziksel Değerler (Çalık, 2012)*

	ASTM C 618 (2002)		TS 639 (1975)
	F sınıfı	C sınıfı	
İncelik:	34	34	-
45 mikron göz açıklıklı kalan miktar, maks. %			
Özgül yüzey, min. mm ² /g	-	-	300000
Dayanım aktivite indeksi:	75	75	70
28. gün, min. %			
Su ihtiyacı:			
Kontrol numunesine kıyasla, maks. %	105	105	-

İncelik, kimyasal bileşim ve uniformluk gibi özellikler stabilizasyonda uçucu küllerin kalitesini önemli ölçüde değiştirmektedir. Yüzeysel zemin iyileştirmede uçucu kül; çimento ve kireç gibi davranır. Uçucu küller kimyasal ve mekanik metotlar için önemli bir katkı malzemesidir. Uçucu küller ile iyileştirme genellikle şişme ve taşıma gücü sorunları bulunan zeminlerde uygulanır. Uçucu küller zemin stabilizasyonunda mukavemet ve taşıma gücünü artırır. Ayrıca ek kazı ile dolgu maliyetini azaltır. Bazı zemin stabilizasyon iyileştirmelerinde durumuna göre çimento veya kireç ile karıştırılabilirler (Çetin, 2011).

Atık lastikler ile zemin stabilizasyonu.

Lastikler, çevresel etkilere karşı dayanıklı ve yüksek molekül yapısına sahip polimerlerden üretilen malzemelerdir. Lastiklerin faydalı ömürlerini tüketmeleri neticesinde atık lastikler oluşmaktadır. Tabiatla ayrışıp yok olmaları uzun süreçler gerektiren atık lastiklerin, çevresel bir probleme sebep olmalarının temel nedeni yok olmaları değildir. Bu atıkların ayrışmaları uzun süreçler gerektirse de eninde sonunda ortadan kaldırılabilmektedirler. Yakma yöntemiyle de buna destek olunabilmektedir. Asıl önemli problem, atık lastik miktarının çok fazla miktarda olmasıdır (Emiroğlu, 2006).

Araba lastiklerinin ham maddesi kauçuktur ve ham kauçuk uzun polimer zincirlerinden meydana gelir. Polimerlerde küçük moleküllü kimyasal maddelerin birleşmesiyle oluşur. Kauçuğu oluşturan polimer zincirleri birbirinden bağımsız yapıdadır. Bu nedenle bağ kuvvetleri zayıftır. Bu nedenlerden dolayı ham kauçuk pek çok etkiye karşı dayanıksızdır ve kullanıma elverişli değildir. Parçalanmış ya da bütün şeklindeki lastik yığınlarının çevresel problemlere sebep olduğu bilinmektedir. Bu problemlerin en önemlileri;

ciddi yangınlar ile sivrisineklere üreme ortamı oluşturmalarıdır (Çetin, 2011).

Atık lastiklerin başka bir kullanım metoduysa yakılmaları neticesinde lastiklerden yakıt elde edilmesidir. Bu yöntemle atık lastiklerin %17' si bertaraf edilmektedir. Ancak yakılma neticesinde çevreye salınacak zararlı gazlar ile meydana getireceği hava kirliliği sebebiyle bu metot kullanılmamalıdır.

Atık lastiklerin ortadan kaldırılmasıyla ilgili son zamanlarda aralarında mühendislik uygulamalarının da olduğu alternatif metotlar geliştirilmiştir. Atık lastikler hafif olma, iyi drene olma gibi özellikleriyle sınıflara ayrılırlar.

İktisadi olmaları sebebiyle; atık lastikler zayıf zeminlerin dolgusu ile istinat duvarları geri dolgusu şeklinde kullanılmaktadır. Ayrıca; hafif dolgular, sınır drenleri ile asfalt donma bariyerleri gibi uygulamalarda kullanılmaktadırlar (Erol, 2008).

Atık lastik şeritlerinin özelliklerini belirleyebilmek için pek çok bilimsel çalışma yapılmıştır. Bu lastikler ilk defa, zemin içerisinde meydana gelen oturmaları azaltmak için hafif dolgu malzemesi şeklinde kullanılmıştır. Daha sonraları atık lastikler zemin yerine dolgu ya da yol temellerinde agrega olmak suretiyle pek çok defa kullanılmıştır. Gerçekleştirilen çalışmalardan elde edilen veriler incelendiğinde yapımında atık lastik şeritlerinin kullanıldığı dolgular, genellikle taşıma gücü bakımından normal dolgular kadar iyi performans göstermiştir (Çetin, 2011). Tablo 14'te atık lastiklerin mekanik özellikleri gösterilmiştir.

Tablo 14. *Atık Lastiklerin Mekanik Özellikleri (Alpyürür, 2016)*

Özellikler	Değerler
Sürtünme açısı (°)	19-26
Sıkıştırılabilirlik (%)	%20-50
Hidrolik iletkenlik (m/sn)	10^{-2} - 10^{-3} m/sn
Birim hacim ağırlığı (kN/m ³)	6,00-7,00
Poisson oranı	0,20-0,35
Elastik modülü (N/mm ²)	1-2
Özgül ağırlık (kN/m ³)	11-12,7

Otoyol dolgularının tasarımında bu lastiklerin dayanıklılık, esneklik ile yüksek sürtünme direnci gibi özellikleri önemli değişkenler olmaktadır. Buna karşın geoteknik mühendisliği uygulamalarında, atık lastik parçalarından ve tek başlarına kullanımlarından ziyade, iyileştirilecek zemine belirli oranlarda karıştırılarak kullanılırlar. Atık lastiklerin sahip

olduğu düşük kayma mukavemetlerinden ötürü meydana gelebilecek mühendislik problemlerinin önüne bu şekilde geçilmiş olur (Keskin, 2009).

Günümüzde pek çok inşaat mühendisliği uygulamasında işlenmiş atık lastikler kullanılmaktadır. Bu atık lastiklerin performansını arttırmak, risklerini belirlemek ve daha iktisadi metotlar ile kullanımını gerçekleştirmek amacıyla araştırmalar devam etmektedir.

Mermer tozu ile zemin stabilizasyonu.

Mermerin işlenmesi esnasında ortaya küçük boyutlu mermer tozu atıkları çıkar. Mermerlerin fabrikada işlenmesi esnasında %30 oranında atığın ortaya çıktığı tespit edilmiştir (Yıldız, & Eskikaya, 1995). Dünya genelinde ise bu oran %41 olduğu bilinmektedir. Fabrikalarda işlenen mermerlerden ortaya çıkan %30 oranındaki endüstriyel mermer atığı çevreye zarar vermekle beraber iktisadi olarak da kayıplara neden olmaktadır (Onargan, & Köse, 1999). Ülkemizde mermer madenleri 700 civarındaki ocaktan çıkarılmaktadır.

Taş (2020) tarafından yapılan çalışmada killi bir zemine mermer atıkları, uçucu kül atıkları ve Bayburt taşı atıkları kullanımı araştırılmıştır. Çalışma sonucunda serbest basınç dayanımı açısından Mermer tozunun uçucu kül katkısıyla kullanılmasının, Bayburt taşı atıklarının uçucu kül katkısıyla birlikte kullanılmasına nazaran daha etkili olduğu tespit edilmiştir.

Gücek (2011) yaptığı çalışmada killi zemine, uçucu kül ve mermer atıklarının etkisini araştırmıştır. Bu katkıların serbest basınç dayanımını artırdığı ve şişme yüzdesini düşürdüğü tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda optimum katkı oranının %10 mermer ile %20 uçucu kül katkılı karışımlarda ortaya çıktığı gözlenmiştir.

Zorluer ve Usta (2003) deneysel çalışmalarında farklı karışımlar için standart kompaksiyon ve farklı katkı miktarları ile hazırlanan numunelere şişme deneyi gerçekleştirilmiştir. Her katkı oranı için ayrı ayrı şişme yüzdesi sonuçlarının ortalama değerlerine bakılmıştır. Mermer atıklarının katkı oranları arttıkça şişme yüzdesi değerlerinde azalmalar meydana geldiği gözlenmiştir (Başer, & Çokca, 2010).

Taşpolat, Zorluer ve Koyuncu (2006) gerçekleştirdikleri çalışmada mermer tozu atıklarının oranının yükseltilmesi ile meydana getirilen karışımların donma ve çözülme dayanımlarını artmışlardır. Çalışma neticesinde %15 mermer tozu ilavesi ile donma ve çözülme değerlerinde %12,5 ve %10 mermer tozu ilavesinde ise %13,5 dane kaybı meydana gelmiştir.

Usta (2004) yaptığı çalışmada dört farklı katkı oranında mermer atıkları ilave etmiştir. Çalışma neticesinde kompaksiyon değerlerinde gerçekleştirilen katkı artışıyla beraber maksimum kuru yoğunluk değerinde de artışlar tespit edilmiştir.

Huat, Mail ve Mohamed (2005) gerçekleştirdikleri çalışmalarında farklı oranlarda ilave edilen katkılarla meydana getirilen numunelerde artan katkı miktarlarında olumlu değerlere ulaşılmıştır.



ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

Materyal ve Yöntem

Yapılan bu çalışmadaki temel amaç; Midyat taşı atığının zemin stabilizasyonunda kireçsiz veya kireçle birlikte kullanımının zeminin bazı geoteknik özelliklerine etkisinin incelenmesidir. Bu çalışma bünyesinde hazırlanan karışımların fiziksel ve mekanik özelliklerinin saptanması amacıyla yapılan zemin mekaniği deneyleri, uygulamada referans alınan standartlar ile deney karışımlarının hazırlanması, isimlendirilmesi ve kür süreleriyle ilgili bilgilere bu bölümde yer verilmiştir.

Materyal

Bu tez çalışması kapsamında kullanılan malzemeler; doğal malzeme, Midyat taşı atığı ve kireçtir. Doğal malzeme Bayburt ilinin Merkez ilçesinde bulunan yaklaşık 1,5 m derinliğindeki bir gözlem çukurdan temin edilmiş ve Bayburt Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Geoteknik Laboratuvarı'na getirilmiştir. Tüm deneylerden önce doğal malzeme etüvde 24 saat kurutulmuştur.

Doğal karışımlarda kullanılan kireç; Karsan Kireç Sanayi Ticaret A.Ş. tarafından üretilen sönmüş kireçtir. Midyat taşı olarak, Mardin iline bağlı Midyat ilçesinde bulunan bir taş ocağından alınan ham ve kırılmış Midyat taşı agregası kullanılmıştır.

Deneylerde kullanılacak numuneler doğal malzemeye, Midyat taşı atığının tozu ve kireç katılmasıyla hazırlanmıştır. Çalışma bünyesinde Midyat taşı atığının dayanım ve durabilite, üzerindeki etkisi kireçli ve kireçsiz numuneler hazırlanarak ayrı ayrı test edilmiştir. Doğal malzemeye %5, %10, %15 ve %20 oranlarında Midyat taşı atığının tozu katılarak, kireç ilavesiz ve kireç ilaveli (%6) deney numuneleri hazırlanmıştır. Deney numuneleriyle ilgili adlandırmalar Tablo 15'te gösterilmiştir.

Tablo 15. Deney Numuneleriyle İlgili Adlandırma

Deney numunelerinin karışım oranları	Notasyon
Doğal zemin	S
Doğal zemin ve Midyat taşı atığı	SM
Doğal zemin ve kireç	SL
Doğal zemin, kireç ve Midyat taşı atığı	SLM
Zemin ve %5 Midyat taşı atığı	SM/5
Zemin ve %10 Midyat taşı atığı	SM/10
Zemin ve %15 Midyat taşı atığı	SM/15
Zemin ve %20 Midyat taşı atığı	SM/20
Zemin, kireç ve %5 Midyat taşı atığı	SLM/5
Zemin, kireç ve %10 Midyat taşı atığı	SLM/10
Zemin, kireç ve %15 Midyat taşı atığı	SLM/15
Zemin, kireç ve %20 Midyat taşı atığı	SLM/20

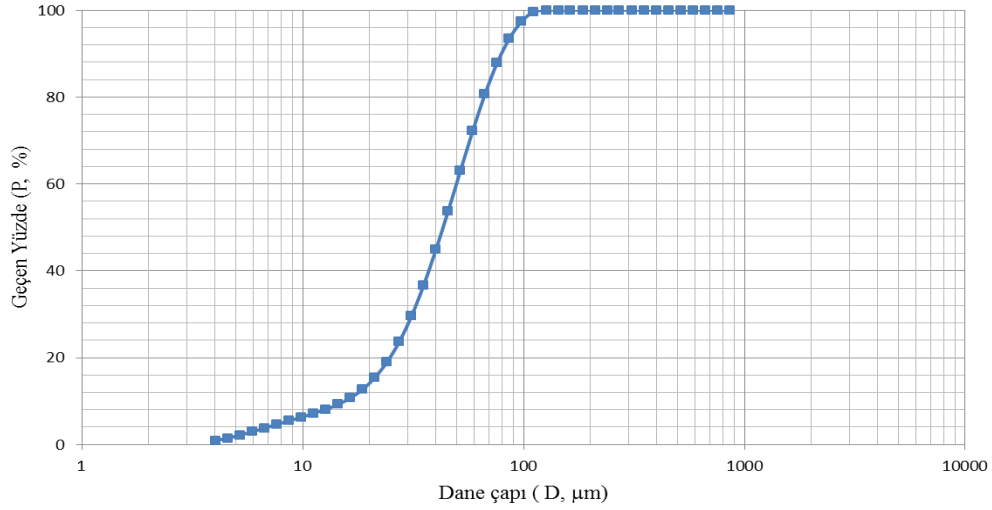
Doğal malzeme.

Tez çalışması kapsamındaki deneylerde kullanılan doğal malzeme (zemin malzemesi) Bayburt ilinin Merkez ilçesindeki bir araştırma çukurundan alınıp Bayburt Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Geoteknik laboratuvarına getirilmiştir. Geoteknik laboratuvarında deneylerde kullanılacak malzeme haline getirilmesi için zemin 4 nolu elekten geçirilmiştir.

Deneylerde kullanılan doğal malzemenin başlangıç olarak sınıfının belirlenmesi gerekir. ASTM D 2487 (2011) standardına göre deneysel çalışma esnasında kullanılacak zemin cinsi düşük plastisiteli kil (CL) olarak tespit edilmiştir.

Zemini sınıflandırmada yıkamalı elek analizi ve hidrometre yönteminden daha etkin bir yöntem olması sebebiyle (Özer, & Orhan, 2007) lazer kırınım yöntemi kullanılmıştır.

Bayburt Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezinde 0,075 mm elek altı zeminin dane boyutu lazer kırınım yöntemiyle belirlenmiştir. Şekil 5'te doğal malzemenin dane boyutu dağılım eğrisi sunulmuştur.



Şekil 5. Doğal malzemenin dane boyutu dağılım eğrisi.

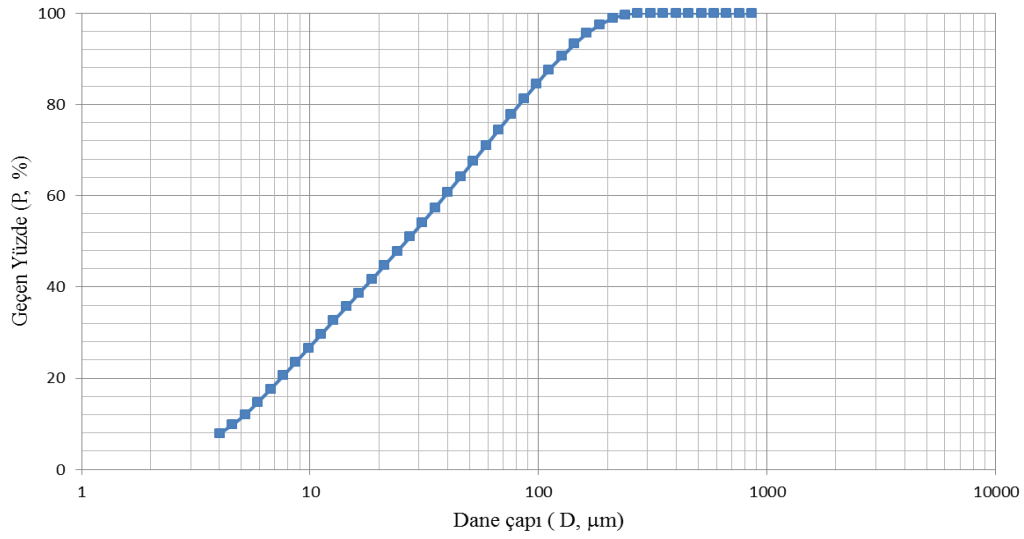
Kireç.

Tez kapsamında deneylerde kullanılan kireç malzemesi Karsan Kireç Sanayi Ticaret A.Ş. adlı firma tarafından üretilen SKK80-Söndürülmüş Kalker Kirecidir. Kullanılan kirecin fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 16’da gösterilmiştir.

Tablo 16. *Kullanılan Kirecin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri*

KİMYASAL ANALİZLER	
SiO ₂ (%)	0,23
Al ₂ O ₃ (%)	0,11
Fe ₂ O ₃ (%)	0,4
Aktif CaO (%)	65
MgO (%)	1,4
Ca(OH) ₂ (%)	85,8
FİZİKSEL ANALİZLER	
75 p elek üzeri (%)	3,8
Özgül Ağırlık	2,37
pH Değeri	12,4
Yoğunluk (Mg/m ³)	0,48

Numunelerde kullanılması gerekli kireç oranı Yılmaz (2015), Mathew ve Rao (1997) yaptıkları çalışmalar göz önünde bulundurularak optimum kireç oranı %6 olarak saptanmıştır. Kirecin dane boyutu dağılım eğrisi Şekil 6’da gösterilmiştir.



Şekil 6. Kirece ait dane boyutu dağılımı.

Midyat taşı.

Güneydoğu Anadolu Bölgesi, Senozoyik-Paleosen yaşlı Üst Germav şeylleriyle başlayıp Alt Eosen Becirman kireçtaşı ve Gercüş klastik formasyonu izlemekte, bunların da üzerine Orta Üst Eosen yaştaki Midyat kireçtaşları gelmektedir (Tolun, 1960). Bununla beraber Midyat Formasyonu adıyla bilinen Alt Eosenden başlayıp Alt Miyosen' nin sonuna kadar süren, Midyat Kireçtaşı ve Gaziantep tebeşirli Fırat kireçtaşı gibi litolojik birimler bulunmaktadır.

Midyat taşı Midyat platosunda geniş bir araziye yayılmıştır. Midyat taşının kimyasal birleşiminde %40'lara varan MgO içeriğinden dolayı söz konusu taşın dolomit veya dolomitik kireçtaşı olduğu tespit edilmiştir (Kaya, 2008).

Midyat taşı fiziksel özellikleri açısından değerlendirildiğinde ısı transferi bakımından 0.715 W/mK ısı iletkenlik ile $4.679 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ ısı yayılım katsayısıyla granit, mermer ile kum taşına göre daha elverişli olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca 6.127 N/mm^2 'lik basınç dayanımı ile 1.03 N/mm^2 'lik çekme dayanımı gibi özellikleriyle beton, biriket, tuğla gibi yapay malzemelerin dayanımına yakın özellikleri bünyesinde barındırır (Adin, 2007).

Midyat taşları ince yapıda olmakla beraber tebeşirimsi bir özellik sunmaktadırlar. Bu taşların sertliği, aşınması ve dayanımı gibi özellikleri taş suyunu verdikten sonra artmaktadır. Ayrıca suyunu veren taşlarda ağırlık kaybı yaşanmakta ve bu taşların hafiflemesine sebep olmaktadır. Bununla beraber bu taşlar bol gözenekli ve %90 doluluk oranına sahiptirler (Önenç, Kıral, Erkanol, & Tullukçu, 2006). Bu özellikleri nedeniyle taşlar rahat

kesilebilmekte, rahat yontulabilmekte ve taşlara istenilen şekil verilebilmektedir (Günel, 2011).

Midyat taşları beyazımsı sarı renklidirler ve bu taşların nem oranları yüksektir. Donma gibi olumsuz nedenlerden ötürü çatlama ya da dağılma gibi durumlar görülmez (Adin, 2007). İşlenmelerinin ardından hava ve güneş ile temas eden Midyat taşı sertleşme özelliği gösteren bir malzemedir (Günel, 2011).

Yüksek lisans çalışması kapsamında Mardin iline bağlı Midyat ilçesinde bulunan Turgün fabrikasından alınan ham Midyat taşı atığının agregası kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan Midyat taşı atığının alındığı tesise ait fotoğraflar Şekil 7’de verilmiştir.



Şekil 7. Mardin Midyat’taki taş ocağı.

Çalışma kapsamında kullanılan Midyat taşına taşına ait fiziksel analizler Tablo 17’de, mekanik analizler Tablo 18’de ve kimyasal analizler Tablo 19’da verilmektedir. Lazer kırınım sonrası Midyat taşının dane boyutu grafiği şekil 8’de verilmiştir.

Tablo 17. Midyat Taşının Fiziksel Özellikleri (Kaya, Yapıcı, & Anıl, 2008)

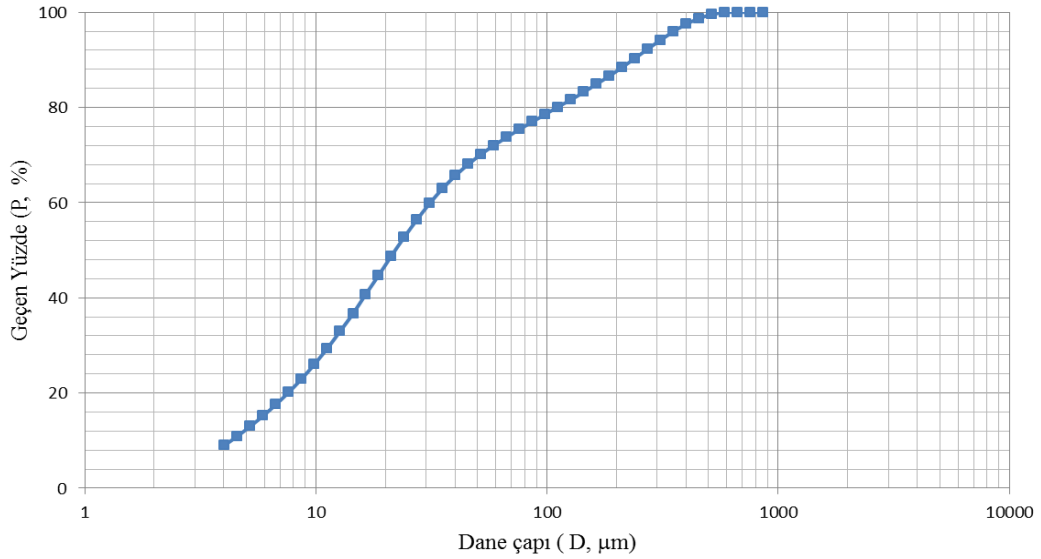
Numune	Birim Hacim Ağırlık (gr/cm ³)	Özgül ağırlık do(gr)	Porozite (%)	Su Emme (%)	Sonik. Hız (km/sn)
Midyat taşı	1,75	2,25	21,14	12,4	2,59

Tablo 18. Midyat Taşının Mekanik Özellikleri (Kaya, vd., 2008)

Numune	Tek Eksenli BasmaDay. (MPa)	Nokta Yük İndeksi (Is)	Darbe Dayanımı (Kgcm/cm ³)	Aşınma Dayanımı d (cm ³ /50cm ²)	Eğilme Dayanımı (kgfcm/cm ³)
Midyat taşı	8,75	1,62	6	44,9	10,75

Tablo 19. Midyat Taş Ocağından Alınan Numunelerin Kimyasal Özellikleri (Kaya, vd., 2008)

Numune	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	As ₂ O ₃ %	BaO %	CaO %	Cr ₂ O ₃ %	
Midyat taşı	1,136	0,321	0,019	0,085	56,376	0,111	
	CuO %	Fe ₂ O ₃ %	MgO %	SrO %	V ₂ O ₅ %	PbO %	
Midyat taşı	0,034	1,04	40,701	0,018	0,025	0,016	0,117
Elementler %							
	Si	Al	As	Ba	Ca	Cr	Cu
M1	0,531	0,17	0,015	0,076	40,292	0,076	0,027
	Fe	Mg	Sr	V	Pb	S	
M1	0,727	24,544	0,015	0,014	0,015	0,047	



Şekil 8. Midyat taşının dane boyutu dağılım eğrisi.

Yöntemler

Bu kısımda tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen deneylerle ilgili standartlara yer verilmiş olup deneylerde kullanılan yöntemlere değinilmiştir.

Deneylerde referans alınan standartlar.

Tez çalışması bünyesinde uygulanan deneyler ile referans alınan ASTM standartları Tablo 20’de gösterilmiştir.

Tablo 20. Deneylerle İlgili ASTM Standartları

Deneyin adı	Standart
X-ışını kırınım analizi	ASTM D 934 (2003)
Elek analizi	ASTM D 422 (2007)
Kıvam limitlerinin belirlenmesi	ASTM D 4318 (2010)
Standart kompaksiyon deneyi	ASTM D 698 (2007)
Serbest basınç deneyi	ASTM D 2166 (2006)
Donma çözülme deneyi	ASTM D 560 (1996)
Islanma-kuruma deneyi	ASTM D 559 (2003)

Zemin sınıflandırması.

Zemin gradasyonunun belirlenmesiyle zemin bünyesindeki diğer geoteknik özellikler hakkında önemli bilgiler elde edilebilir. Deneysel çalışmada kullanılan zeminin sınıfının belirlenmesi amacıyla ıslak elek analizi yöntemi uygulanmıştır. Yıkamalı elek analizi metodu ince daneli zemin miktarının fazla olduğu durumlarda uygulanmaktadır.

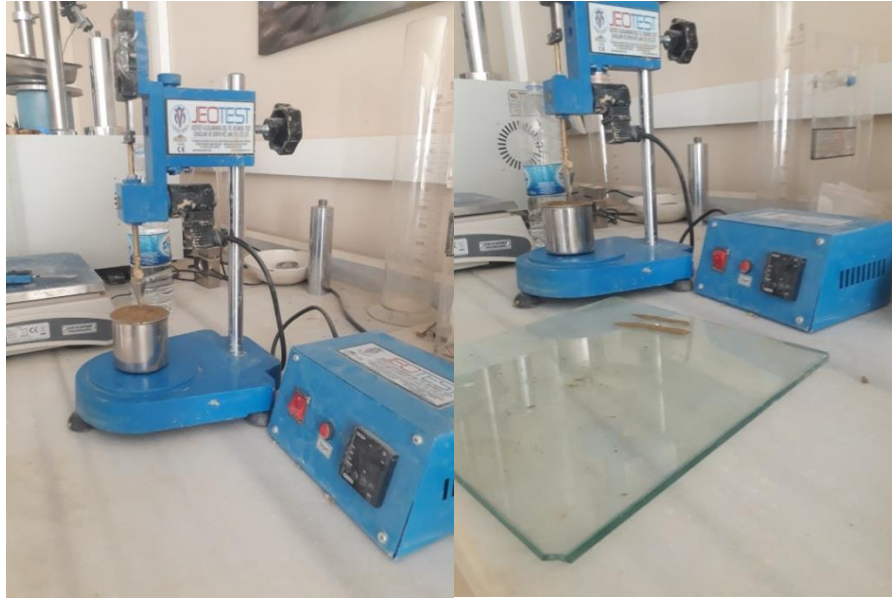
Zemin sınıflandırması Bileşik Zemin Sınıflandırma Sistemi referans alınarak belirlenmiştir. 200 nolu elek altı malzemeye tez çalışması kapsamında lazer kırınım metodu uygulanmıştır.

Kıvam limitleri deneyleri.

Atterberg 1911 yılında zeminlerin su oranına bağlı olarak davranışlarındaki değişikliği deneysel olarak tespit etmiş ve likit limit, plastik limit ile rötre limiti şeklinde sınırlar belirlemiştir (Atterberg, 1911).

Zeminin kendi kütlesi altındaki akma sınırı için gerekli su miktarına likit limit denilmektedir. Likit limit deneysel olarak Casagrande ya da düşen koni penetrasyon metodu şeklinde iki farklı yolla tespit edilmektedir.

Çalışma kapsamında likit limit tespiti için koni penetrasyon metodu uygulanmıştır. Standart koninin zeminde 5 saniyede 20mm batmasına denk gelen su miktarına o zeminin likit limiti denilmektedir. Önceden içerisi zemin ile doldurulan kaba, belirli ağırlıktaki ucu sivri bir koninin 5 saniyedeki batma miktarı ölçülerek, batma miktarı su muhtevası ilişkisini tespit edilip likit limit belirlenmektedir. Deneysel çalışmada kullanılan düşen koni penetrasyon metoduna ait alet Şekil 9’da gösterilmiştir.



Şekil 9. Düşen koni penetrasyon aleti.

Deneysel çalışmada kullanılmak üzere 40 nolu elekten elenmiş belirli bir miktar zemin içerisine su ilavesi yapılarak karıştırılır. Daha önceden desikatörde 24 saat bekletilen malzeme en az 10 dakika boyunca karıştırılır. İyice karıştırılıp hazırlanan karışım metal deney kabına konulup yüzeyi düzeltilir. Sivri uçlu koni zemin yüzeyine temas etmeyecek veya batmayacak şekilde indirilir ve alet sıfırlanıp deneyi başlatan düğmeye basılır. 5 saniye sonunda okuma yapılır. Sivri uçlu koni kaldırılır ve koni deliğinin etrafından su muhtevasının tespiti için bir miktar numune alınır. Bu işlem su muhtevası değişikliği yapılarak tekrarlanır. Alınan numuneler darası belirlenen kaba konulup tartılır ve su muhtevası tespiti için etüve konulur. Elde edilen verilerden 20 mm penetrasyon değerine karşılık gelen su içeriği likit limit olarak tespit edilir.

Zeminin plastik kıvamdan yarı plastik kıvama geçtiği sınır değerine plastik limit denilmektedir. 40 nolu elekten geçirilen bir miktar zemine su ilave edilerek yoğrulur ve çapları 3 mm olan silindir şeklinde zemin numuneleri üretilir. Bu numuneler cam bir plaka üzerinde yuvarlanır. Bu şekilde bir miktar suyunu kaybeden silindir numunelerin hareketi azalır ve silindirler üzerinde parçalanmalar ve kırılmalar meydana gelir. Bu durumdaki zeminin su içeriğine zeminin plastik limiti adı verilmektedir.

Kompaksiyon deneyi.

Kompaksiyon, zeminin tabakalar halinde serilerek sıkıştırılması şeklinde gerçekleştirilen mekanik bir işlemdir. Kompaksiyon işlemi ile zeminin boşluk oranı azaltılarak daneler birbirine yaklaştırılır. Kompaksiyonla zemin mukavemeti, taşıma gücü ve geçirimsizlik artırılır, otumalar azaltılır (Fidan, 2016).

Kompaksiyon işlemi standart ile ağır kompaksiyon şeklinde iki farklı biçimde gerçekleştirilir. Bu tez çalışması kapsamında standart proktor deneyi uygulanmıştır. Bu deneyde maksimum kuru birim hacim ağırlık değerine karşılık gelen optimum su içeriği değerinin bulunması amaçlanmaktadır. Bu deneyi gerçekleştirmek için kurutulmuş bir miktar zemin kullanılmaktadır. Deney numunesi için zemine belirli bir oranda su aktararak zemin karıştırılır. Hazırlanmış zemin numunesi standartlara uygun bir şekilde silindirik çelik kalıba 3 aşamada düzgün bir şekilde yerleştirilmekle beraber her aşamada 25 defa tokmakla vurulur ve çelik kalıbın içerisine sıkıştırılır. Sıkıştırılmış zemin numunesi kalıptan çıkarılır. Kalıptan çıkarılan sıkıştırılmış zeminden bir miktar numune alınarak etüve konulur ve su muhtevası tespiti yapılır. Bu işlem zemine su ilavesi yapılarak en az 5 kez tekrar edilir. Deney sonuçlarından elde edilen değerler ile ρ_k -w grafiği oluşturulur ve kompaksiyon eğrisi çizilir. Bu kompaksiyon eğrisinden ρ_{max} ile w_{opt} değerlerine ulaşılır. Uygulamalı olarak gerçekleştirilen standart proktor deneyine dair görüntüler şekil 10'da gösterilmiştir.

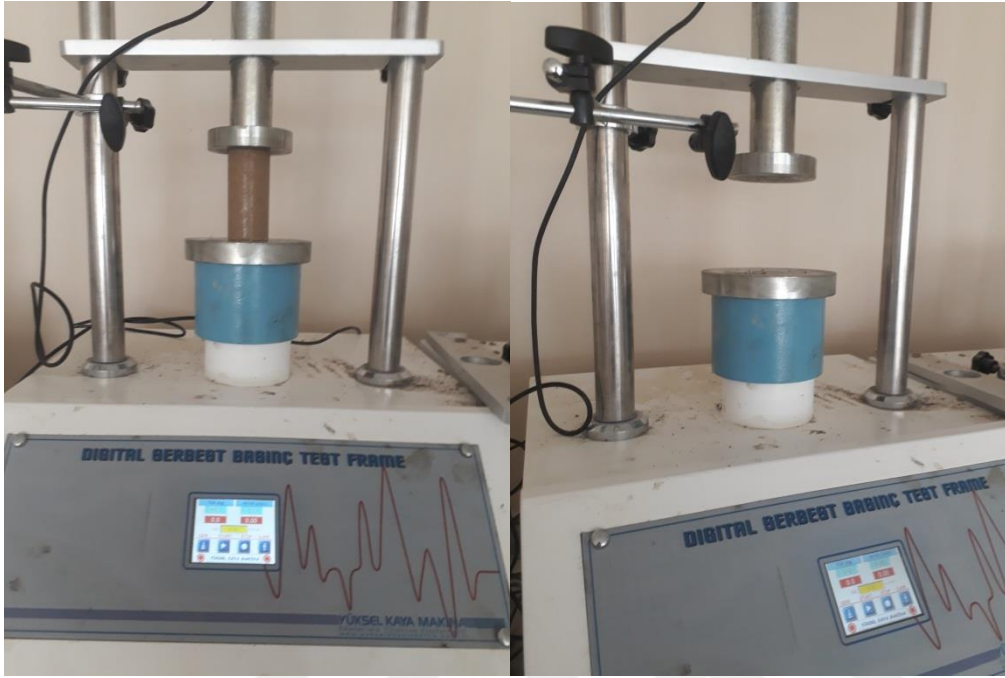


Şekil 10. Standart proktor deneyi yapım aşamaları.

Serbest basınç deneyi.

Çoğunlukla suya doymuş killi zeminler için kayma dayanımlarının saptanması adına uygulanan bir deneydir. Numunelerin boylarının enlerine oranı minimum iki olmak zorundadır. Bunun sebebi numunelerde meydana gelen kayma düzleminin alt ile üst yükleme başlıklarıyla kesişmesinin önüne geçmektedir.

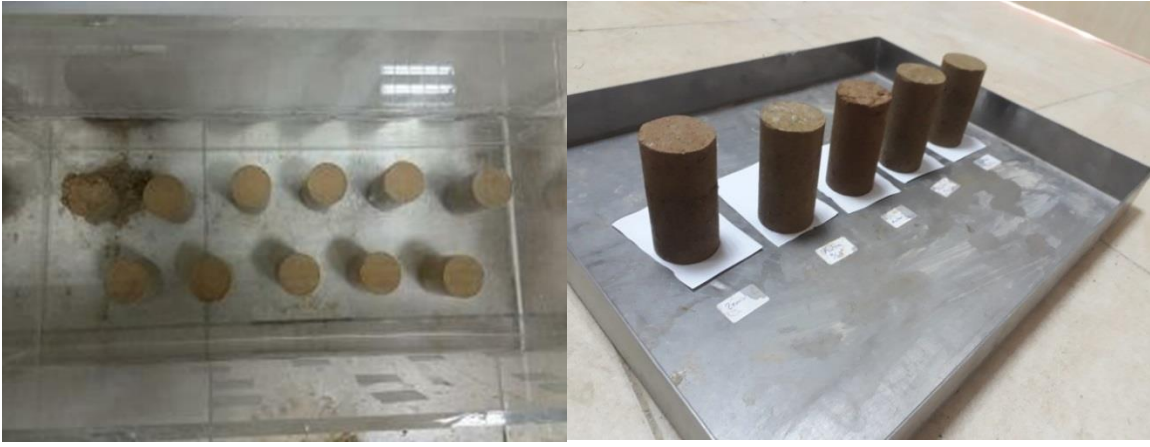
Çalışma bünyesinde hazırlanan numuneler 100 mm yüksekliğinde ve 50 mm ölçüsünde silindirik bir şekilde hazırlanmıştır. Deney numuneleri 7 ve 28 gün süresince kür edilmiş ve desikatörde bekletilmiştir. Serbest basınç deneyi tespiti için tek eksenli basınç deneyi metodu uygulanmıştır. Şekil 11’de tek eksenli basınç deney düzeneği gösterilmektedir



Şekil 11. Tek eksenli basınç deneyi düzeneği.

Islanma-kuruma periyodu deneyi.

Desikatör içerisinde 28 gün kür edilerek bekletilen deney numuneleri ıslanma ile kuruma periyodu için hazır hale getirilmiş ve ASTM D 559 (2003) standartlarına göre 12 çevrime tabi tutulmuştur. Bu deneyde desikatör içerisinde çıkarılan numuneler suya bırakılmadan önce tartılır, sonra kütle kaybını ölçmek amacıyla 24 saat süresince suyun içerisine bırakılırlar. Bir gün sonra numuneler bırakıldıkları su dolu deney düzeneğinden alınıp 24 saat süreyle kurumaya bırakılır ve bir gün sonra tartılır. Bu prosedür 12 ıslanma-kuruma periyodu biçiminde devam eder ve deney sonucunda elde edilen veriler incelenerek numunelerin kütle kayıpları belirlenir. Şekil 12’de numunelerin ıslanma-kuruma periyodu gösterilmiştir.



Şekil 12. Islanma-kuruma periyodu deneyi.

Donma-çözülme çevrimi.

Desikatör içerisinde 28 gün kür edilerek bekletilen deney numuneleri donma- çözülme çevrimi için hazır hale getirilmiş ve ASTM D 560 (1996) standartlarına göre -20 ve 24 °C de 1 gün olmak üzere 7 çevrime tabi tutulmuştur. Kapalı sistem ile havada donma - çözülme makinasında gerçekleştirilen deney sürecinin ardından numuneler basınç deneyine tabi tutulmuş ve dayanım ölçümleri yapılmıştır. Şekil 13'te donma-çözülme cihazı ve hazırlanan örnekler gösterilmiştir.



Şekil 13. Donma-çözülme deney düzeneği.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

Araştırma Bulguları

Bayburt il merkezinden temin edilen zeminin kireç ve Midyat taşı atığının tozuyla stabilize edilmesi ve sonuçların değerlendirilmesi bu çalışmanın ana konusunu teşkil etmektedir. Yapılan çalışma bünyesinde %6 oranında kireçli ve kireçsiz doğal malzemeye %5, %10, %15 ve %20 oranlarında Midyat taşı atığının tozu ilave edilerek numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelere kıvam limitleri, kompaksiyon, serbest basınç deneyleri ile durabilite testleri yapılmıştır. Deneylerden elde edilen bulguların değerlendirilmesi bu bölümde ayrıntılı bir şekilde anlatılmaktadır.

Kıvam limitleri.

Tez çalışması bünyesinde ASTM D 4318 (2010) standartları göz önünde bulundurularak gerçekleştirilen kıvam limitleri deneylerinden elde edilen sonuçlara ait değerler Tablo 21’de sunulmuştur.

Tablo 21. Deneydeki Numunelerin Kıvam Limitleri Değerleri

Deney Numuneleri	Likit Limit (%)	Plastik Limit (%)	Plastisite İndisi (%)
S	47,8	27,2	20,60
SM/5	48,5	27	21,5
SM/10	47,5	28,4	19,1
SM/15	45	27,8	17,2
SM/20	44,3	27	,17,3
SL	45,5	34,2	11,3
SLM/5	45,1	33,4	11,7
SLM/10	44,5	34,1	10,4
SLM/15	43,9	33,9	10
SLM/20	43,5	33,2	10,3

Kıvam limit deneyleri karışımlar oluşturulduktan hemen sonra gerçekleştirilmiştir. Doğal malzemenin likit limit ve plastisite indisi değeri SM/5 numunesi dışındaki diğer bütün numunelerden daha fazla çıkmıştır. Doğal malzemenin plastik limitinin ise hazırlanan karışımlardan SM/5 ile SM/20 numuneleri dışındaki diğer bütün numunelerin plastik limitlerinden düşük olduğu tespit edilmiştir.

SL karışımının zemin numunesine göre likit limit ile plastisite indisi değerlerinde azalmalar olduğu saptanmıştır. SLM karışımlarının likit limit değerleri SL karışımının likit limit değerinden daha azdır.

SM karışımlarının likit limit değerlerinde aran katkı oranlarında düşüşler görülmüştür. SLM karışımlarının en yüksek likit limit değeri SLM/5'te elde edilirken, daha sonraki yüzdelerde az miktarda da olsa bir düşüş yaşanmıştır.

SM karışımlarında artan Midyat taşı atığının miktarına bağlı olarak plastisite indisi değerlerinde düşüşler yaşanmıştır. SM karışımlarının SL karışımına göre daha yüksek plastisite indisi değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir.

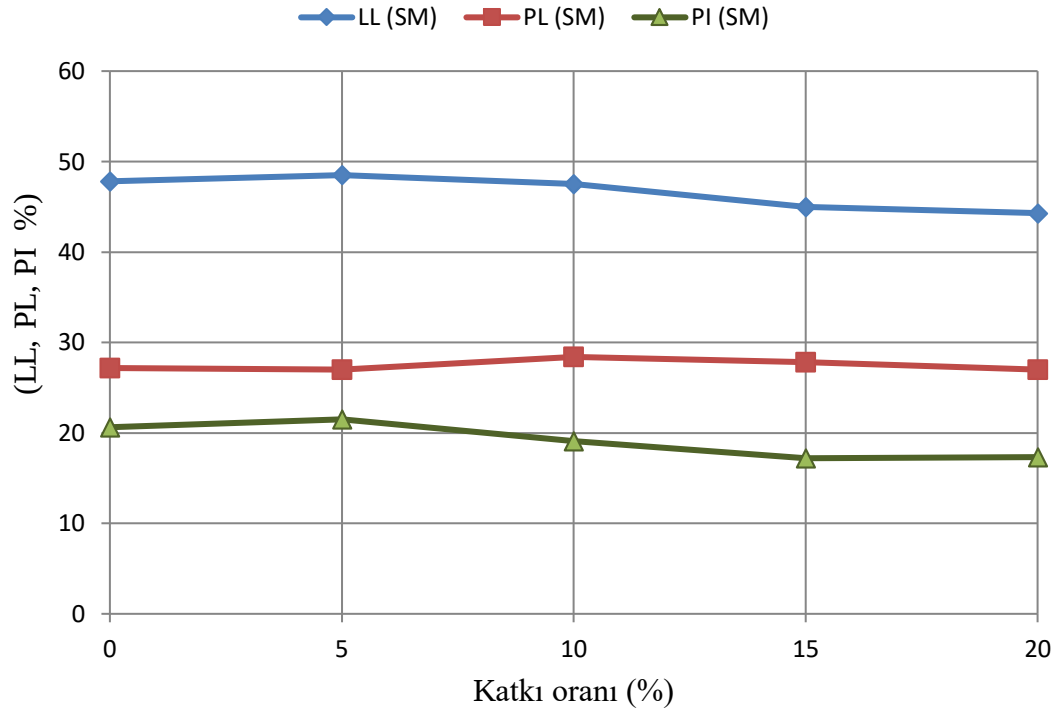
SM ile SLM karışımlarında doğal malzemeye ve katkı oranının artmasına bağlı olarak plastisite indisi değerlerinde genel olarak azalmalar meydana gelirken, likit limit değerlerinde SM/5 dışındaki diğer bütün karışımlarda düşüşler meydana gelmiştir. plastik limit değerlerinde ise düzensiz bir davranış gözlenmiştir.

SM karışımlarının SLM karışımlarına göre plastik limit değerleri düşük çıkarken, oluşturulan numuneler arasında en düşük plastik limit değerine SM/5 ile SM/20 numunelerinde rastlanmıştır. Bu karışımların plastik limit değerlerinde %10'a kadar Midyat taşı atığının oranı arttıkça artış olduğu daha yüksek oranlarda plastik limit değerinin düşüşe geçtiği belirlenmiştir.

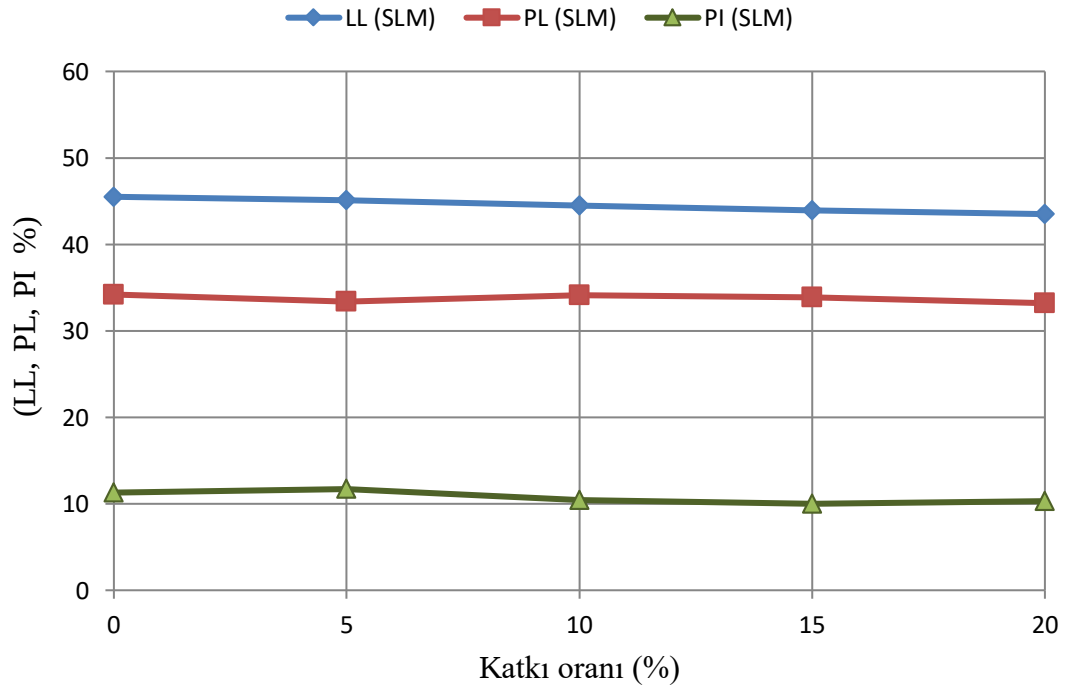
Hazırlanan numunelere Midyat taşı atığıyla beraber kirecin eklenmesi ile likit limit değerlerinde azalmalar meydana gelirken, plastik limit değerlerinde artışlara sebep olmuştur. Kirecin plastisite indisi üzerindeki etkisi düzensiz davranış olarak tespit edilmiştir.

Numunelerin likit limit değerlerinin saptanmasında kullanılan düşen koni penetrasyon yönteminin değerleri EK-1'de gösterilmiştir.

SM karışımlarına ait LL, PL ve PI grafikleri Şekil 14'te, SLM karışımlarına ait LL, PL ve PI grafikleri Şekil 15'te sunulmuştur.



Şekil 14. SM karışımlarına ait likit limit, plastik limit ve plastisite indisi değerleri.



Şekil 15. SLM karışımlarına ait likit limit, plastik limit ve plastisite indisi değerleri.

Kompaksiyon parametreleri.

Tez çalışması kapsamında 10 farklı karışım hazırlanmıştır. Belirtilen karışımlara toplamda 60 adet kompaksiyon deneyi yapılmıştır. Gerçekleştirilen deneyler neticesinde ulaşılan veri grafikleri Ek-2’de sunulmuştur. SM ile SLM karışımlarına ait w_{opt} ile p_{max} değerleri Tablo 22’de sunulmuştur.

Tablo 22. SM ile SLM Karışımlarına Ait Kompaksiyon Parametreleri

Numune	Maksimum kuru yoğunluk (Mg/m^3)	Optimum su içeriği (%)
S	1,64	22,8
SM/5	1,67	20,8
SM/10	1,67	20,20
SM/15	1,69	18,7
SM/20	1,67	18,9
SL	1,61	24,7
SLM/5	1,62	26,0
SLM/10	1,62	26,20
SLM/15	1,64	25,60
SLM/20	1,67	25,5

Doğal malzemeye sadece kireç ilave edilmesi ile elde edilen SL karışımlarının kompaksiyon deneyi sonuçları incelendiğinde, optimum su içeriği değerinin kireçli numunede doğal malzemeye göre arttığı, maksimum kuru yoğunluk değerinin ise azaldığı görülmüştür. Yani doğal malzemeye %6 kireç katılmasıyla maksimum kuru yoğunluk değeri azalmış ve optimum su içeriği değeri de artmıştır.

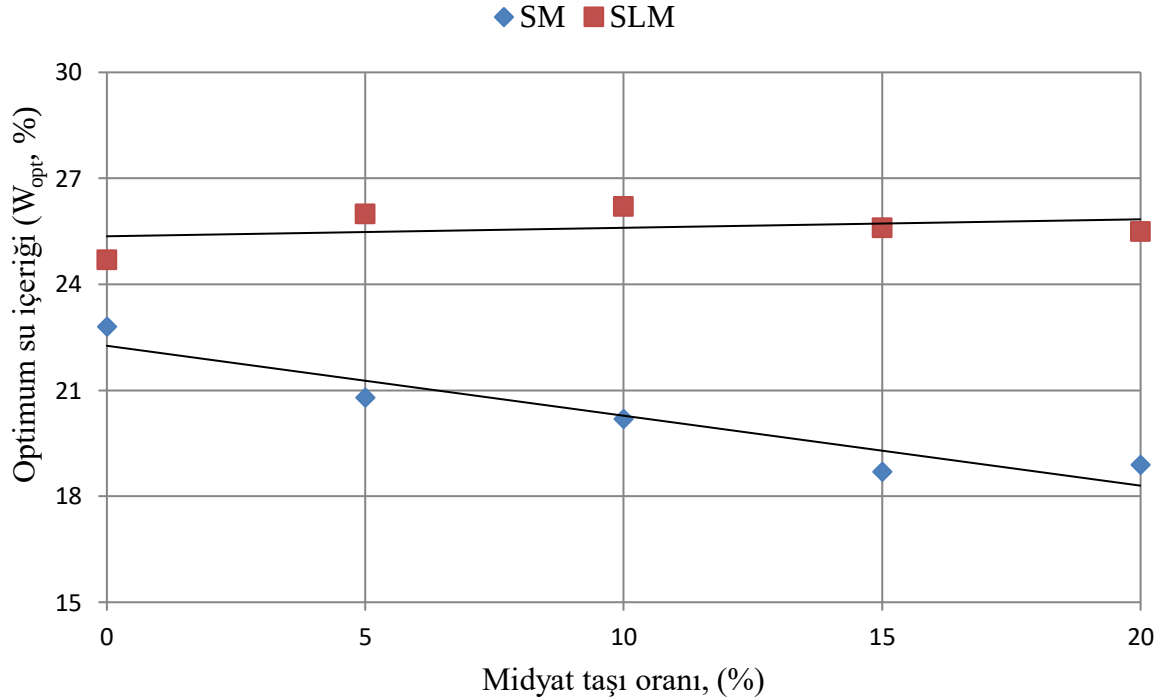
SM numunelerinin genel olarak doğal malzemeye göre maksimum kuru yoğunlukları artarken, optimum su içeriklerinde ise az da olsa düşüşler olduğu saptanmıştır. SLM karışımlarının ise doğal malzemeye göre maksimum kuru yoğunlukları SLM/20 karışımı dışında azalırken, optimum su içerikleri %15’e kadar artış sergilemiştir. SLM numunelerinin, SL numunelerine kıyasla maksimum kuru yoğunlukları ve optimum su içeriklerinde artışlar olduğunu belirlenmiş ve Midyat taşı atığının kompaksiyon değerleri üzerindeki etkisi ortaya konmuştur. SLM ile SM karışımlarının maksimum kuru yoğunluk değerleri SL karışımına

göre artış göstermiştir. Optimum su içeriği değerleri incelendiğinde ise SM karışımlarında azalmaların meydana geldiği, SLM karışımlarında artışların yaşandığı gözlemlenmiştir. SLM karışımlarında maksimum kuru yoğunluk değerlerinde Midyat taşı atığı oranlarının artması sonucunda artış olduğu görülmüştür. SM karışımlarının maksimum kuru yoğunluk değerleri SL karışımına göre artarken, optimum su içeriği değerlerinde ise azalmalar meydana gelmiştir.

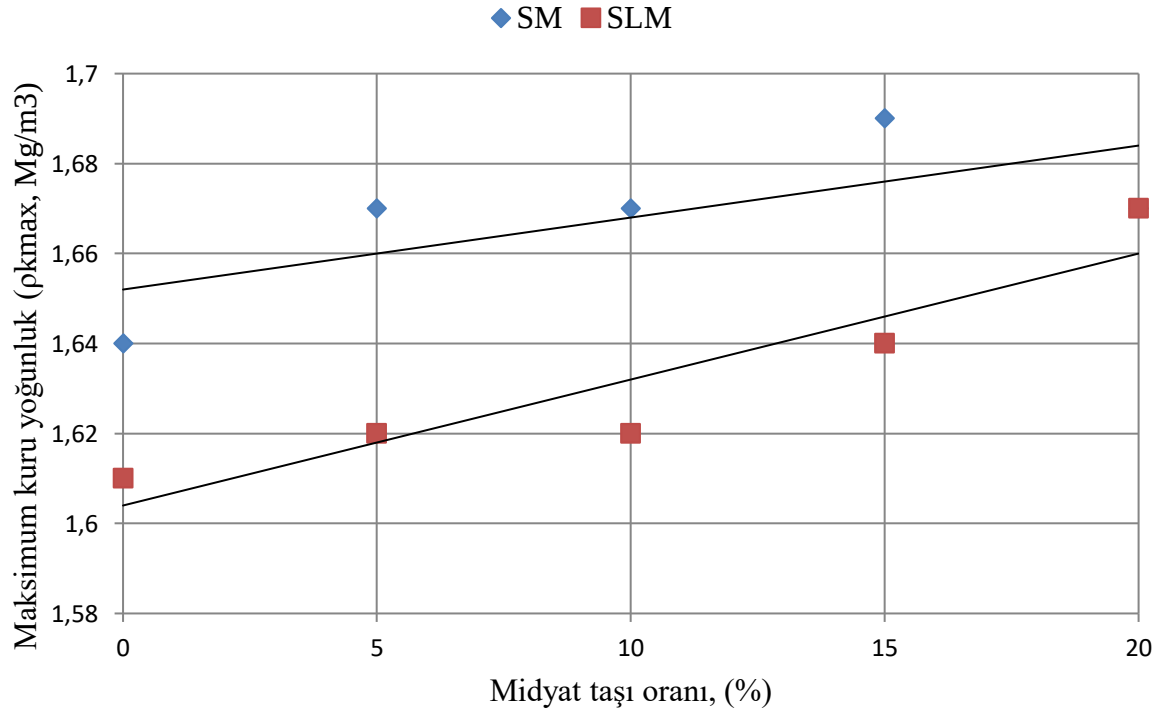
Genel olarak katkılı karışımların maksimum kuru yoğunluk değerleri 1,61-1,67 Mg/m³ arasında değişim göstermiştir. Kireçli numuneler incelendiğinde, optimum su içeriği değerlerinde %12 ile %15 arasında değişimler meydana geldiği görülmüştür. SM karışımların da en düşük optimum su içeriği değeri, %15 Midyat taşı atığı katkılı SM/15 karışımında görülmüştür.

Çalışma kapsamında en düşük maksimum kuru yoğunluk ile en yüksek optimum su içeriğine SLM numunelerinde ulaşılırken, en yüksek maksimum kuru yoğunluk ile en düşük optimum su içeriği değerleri SM numunelerinde görülmüştür.

Karışımlara ait optimum su içeriği grafikleri Şekil 16'da, maksimum kuru yoğunluk grafikleri ise Şekil 17'de sunulmuştur.



Şekil 16. SM ile SLM karışımlarına ait optimum su içeriği değerleri.



Şekil 17. SM ile SLM karışımlarına ait maksimum kuru yoğunluk değerleri.

Serbest basınç dayanımı.

Kompaksiyon deneyi ile optimum su içerikleri belirlenen karışımlara serbest basınç deneyi uygulanmıştır. 50 mm çap ile 100 mm yüksekliğe sahip silindirik numunelerden 108 tane hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler uygun koşullarda 7 ve 28 gün boyunca kür edilmiştir. Deney bünyesinde her kür süresi için 3'er numune hazırlanmış ve değer analizinde üçünün ortalaması alınmıştır. Belirlenen kür süreleri neticesinde tek eksenli basınç deneyleri uygulanmış ve kireç ilavesiz ile kireç ilaveli Midyat taşı katkılı doğal zeminin dayanım değerleri araştırılmıştır. Şekil 18'de numune örnekleri ile şekil 19'da kür edilme aşamaları gösterilmiştir.



Şekil 18. Hazırlanan numune örnekleri.



Şekil 19. Numunelerin kür edilme aşamaları.

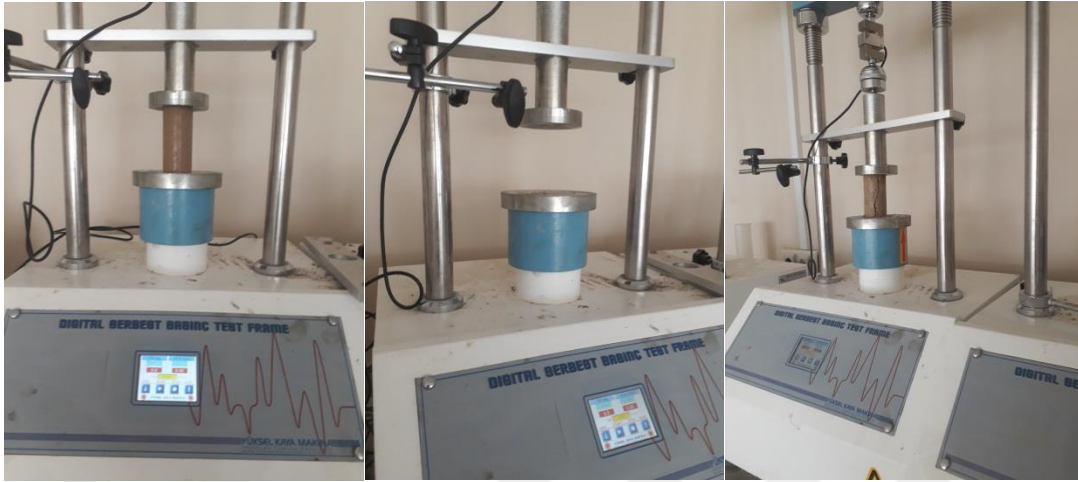
Deney 3 ana kademe de yapılmıştır. Öncelikle ana zemin 4 nolu elekten elenmiştir. Elenen zemin %5, %10, %15 ile %20 oranlarında Midyat taşı ve kireç ilaveli Midyat taşıyla standart proktor kalıbında sıkıştırılmıştır. Deneydeki son aşama ise sıkıştırılmış haldeki numunelerin numune çıkarıcı yardımıyla çıkarılması ve hazırlanmasıdır. Deney numunelerinin hazırlanış aşamaları Şekil 20’de gösterilmiştir.



Şekil 20. Deney numunelerinin hazırlanış aşamaları.

Bu aşamaların ardından kıvam ve kompaksiyon değerleri önceden bilinen numunelerin dayanımlarını tespit etmek amacıyla, ASTM D 2166 standartlarına uygun olarak 7 ve 28

günlük kür sürelerinin ardından tek eksenli serbest basınç dayanım testleri yapılmıştır. Deney ekipmanı Şekil 21’de gösterilmiştir. Tablo 23’te Midyat taşı katkılı doğal zemin ile Midyat taşı ve kireç katkılı doğal zemine ait serbest basınç dayanım sonuçları sunulmuştur.



Şekil 21. Serbest basınç deney test cihazı.

Tablo 23. SM ile SLM Karışımlarının Tek Eksenli Serbest Basınç Dayanım Verileri

Numune	Tek Eksenli Basınç Dayanımı (kPa)	
	7.gün	28.gün
S	157,8	161,8
SM/5	158,3	172,8
SM/10	180,8	186,2
SM/15	196,7	224,2
SM/20	175,3	188,7
SL	400,3	985,7
SLM/5	435,9	1059,1
SLM/10	734,3	1468,5
SLM/15	703,5	1394,9
SLM/20	700,9	1365,4

Tek eksenli serbest basınç dayanımlarında 7 ve 28 günlük kür süreleriyle beraber doğal zeminde anlamlı bir değişiklik meydana gelmemiştir. Doğal zeminin 7 günlük serbest basınç dayanımı 157,8 kPa iken, 28. günün sonunda 161,8 kPa olarak belirlenmiştir. SL numunesinin dayanımı doğal zemine göre 7 günlük kür süresi sonunda yaklaşık 2.5 kat, 28 günlük kür ile birlikte yaklaşık 6 kat artmıştır. Kireçli karışımlar gevrek bir şekilde kırılma davranışı sergilerken, kireç ilavesiz karışımların sünek kırılma davranışı gösterdiği tespit edilmiştir.

Sadece doğal zemin ve Midyat taşının katıldığı SM numunelerinde 7 günlük kür süresi sonucunda elde edilen dayanım değerlerinde herhangi etkin bir değişme olmamakla beraber

en yüksek dayanım değeri SM/15 katkı oranıyla 196,7 kPa olarak elde edilmiş ve doğal zemine göre %24,7 oranında dayanım artışı sağlanmıştır. Doğal zemin, %6 kireç ve Midyat taşının katıldığı SLM numunelerinde ise 7 günlük kür süresi sonucunda elde edilen en yüksek dayanım değeri SLM/10 numunesinde 734,3 kPa olarak elde edilmiş ve kireç ilaveli doğal zemine göre %83,5 dayanım artışı sağlanmıştır. Bununla beraber, SLM/10 numunesi 7.günün sonunda kireç ilavesiz doğal zemine göre %365 dayanımı arttırmıştır.

Artan Midyat taşı oranlarında kirecsiz numunelerde %15 oranına dek eklenen Midyat taşı katkısıyla dayanımda artış olurken kireç ilaveli numunelerde %10 oranına kadar artışlar gerçekleşmiştir. Midyat taşı oranının daha fazla arttırılması ile dayanımda düşüşler meydana gelmiştir.

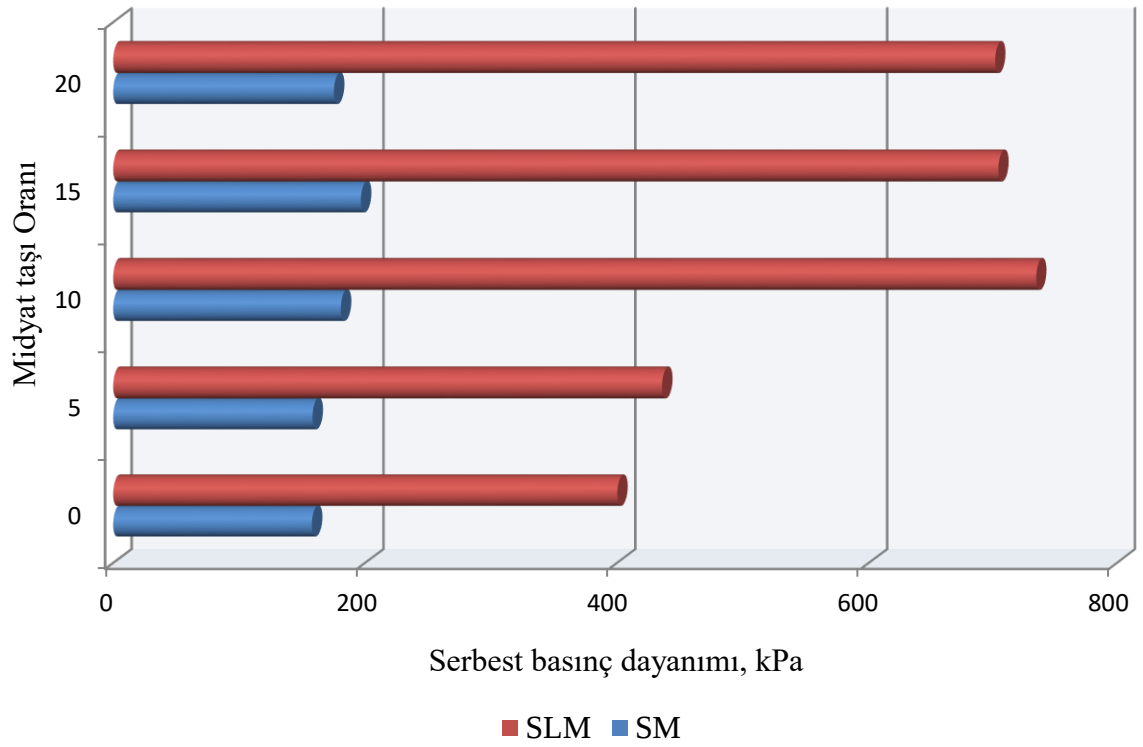
28 günlük basınç dayanımı değerlerine bakıldığında SM numunelerinde 28 günlük kür süresi sonucunda elde edilen en yüksek dayanım değeri SM/15 katkı oranıyla 224,2 kPa olarak elde edilmiş ve doğal zemine göre %40 oranında dayanım artışı sağlanmıştır. SLM numunelerinde ise 28 günlük kür süresi sonucunda elde edilen en yüksek dayanım değeri SLM/10 numunesinde 1468,5 kPa olarak elde edilmiş ve kireç ilaveli doğal zemine göre %49 gibi önemli bir oranda dayanım artışı meydana gelmiştir. SLM/10 numunesi 28 gün kür sonunda kireç ilavesiz doğal zemine göre 9.4 kat dayanım kazanmıştır.

SLM karışımlarının serbest basınç deneylerinde 28 günlük kür sonundaki değerlere bakıldığında artan kür süresinin dayanımı olumlu etkilediği, SLM numunelerinin sadece Midyat taşı ile hazırlanan SM numunelerine göre dayanım değerleri artmış ve kireç katkılı Midyat taşının serbest basınç değerlerinde etkili oldukları sonucuna varılmıştır.

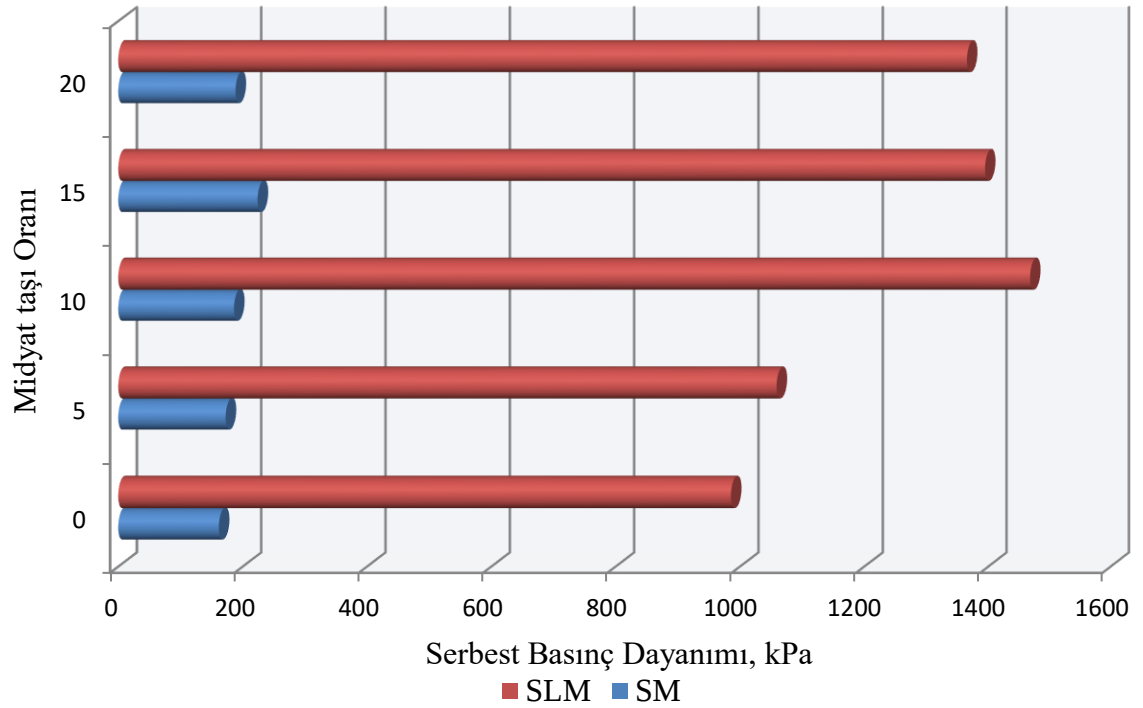
28 günlük kür sürelerinde SL, 985.7 kPa değerinde dayanım gösterirken, SLM/10, 1468,5 kPa dayanım sağlamıştır. Midyat taşının tek başına sağladığı dayanım katkısı 28 günlük kür süresi sonucunda %49 olarak tespit edilmiştir

Midyat taşı atığının tek başına 7 ve 28 gün sonundaki dayanım sonuçları arasındaki fark kireç ilaveli numunelerinin kendi içindeki dayanım farklarından daha düşüktür. Yani kür süresi uzadıkça kireç katkılı numunelerin dayanım sonuçlarında artış olduğu belirlenmiştir. Buradan kür süresinin kireç ilaveli Midyat taşı için daha etkin olduğunu söylemek mümkündür.

İncelenen tek eksenli serbest basınç deneyi değerlerine göre 28 gün kür sonrası SLM grubunun SM grubuna göre daha iyi dayanım sonuçları verdiği saptanmıştır. Karışımların 7 ve 28 günlük kür sonrası serbest basınç dayanım testi verileri Şekil 22 ve Şekil 23'te gösterilmiştir.



Şekil 22. SM ile SLM karışımlarının 7 günlük kür sürelerine ait serbest basınç dayanımlarının karşılaştırılması.



Şekil 23. SM ile SLM karışımlarının 28 günlük kür sürelerine ait serbest basınç dayanımlarının karşılaştırılması.

Durabilite tetkikleri.

Tez çalışması bünyesinde meydana getirilen karışımların değişik çevresel koşullarda gösterdiği dayanım davranışlarını tespit etmek çok önemlidir. Bu amaçla meydana getirilen deney numunelerine ASTM D 559 (2003) baz alınarak ıslanma-kuruma, ASTM D 560 (1996) baz alınarak donma-çözülme deneyleri uygulanmıştır.

Islanma-kuruma periyodu.

Kireç ve çimento gibi katkılarla gerçekleştirilen iyileştirme çalışmalarında baz alınacak durabilite ölçütleri Tablo 12’de sunulmuştur. 12 çevrime tabi tutulan numunelerin maksimum ağırlık kayıpları ilgili standartlara göre %14’ü geçmemelidir. Bu ölçütlere uygunluğun saptanması amacıyla 50 mm çap ile 100 mm yüksekliğinde 9 adet numune hazırlanmıştır. Deneyde kullanılacak numuneler 28 gün süresince küre tabi tutulmuştur. 28 günlük kür aşamasından sonra ASTM D 559 (2003) standardı baz alınarak 12 ıslanma-kuruma çevrimi uygulanmıştır. Şekil 24’te SM ile SLM karışımlarının ıslanma-kuruma deneylerinden görüntüler gösterilmiştir. Deney sonucunda Tablo 24’teki sonuçlara ulaşılmıştır.

Şekil 24. SM ile SLM karışımlarının ıslanma-kuruma periyodundan görüntüler.



Tablo 24. *Islanma-Kuruma Periyodu Deney Sonuçları*

Numune/ Gün	S	SM/5	SM/10	SM/15	SM/20	SL	SLM/5	SLM/10	SLM/15	SLM/20
İlk Ağırlık (gr)	377,9	376,6	376,5	380,4	390,1	386,1	388,6	383,3	385,5	388,1
1.Çevrim	375,3	370,2	375,2	375,9	387,8	362,8	373,5	378,6	381,3	385,7
2.Çevrim	x	354,6	353,7	x	x	358,4	373,3	377,5	379,5	383,4
3. Çevrim	x	x	x	x	x	350,2	371,9	375,1	376,1	381,1
4. Çevrim	x	x	x	x	x	342,5	368,7	373,2	375,3	380,1
5. Çevrim	x	x	x	x	x	338,7	359,3	364,9	364,7	379,4
6. Çevrim	x	x	x	x	x	322,5	353,4	363,6	359,1	375,1
7. Çevrim	x	x	x	x	x	284,1	328,2	340,2	339,5	364,7
8. Çevrim	x	x	x	x	x	251,6	307,6	331,3	325,9	360,6
9. Çevrim	x	x	x	x	x	x	295,1	325,2	321,7	357,6
10. Çevrim	x	x	x	x	x	x	285,6	316,6	314,6	352,3
11. Çevrim	x	x	x	x	x	x	272,2	305,9	304,6	345,7
12. Çevrim	x	x	x	x	x	x	267,3	300,9	299,7	340,8

Yapılan deneylerde SM/15 ve SM/20 numuneleri ıslanma-kuruma çevrimi sırasında hacimsel bütünlüklerini 1. günün sonunda, SM/5 ve SM/10 numuneleri ise 2. günün sonunda tamamen kaybetmişlerdir. Doğal zemin numunesi ilk günkü ıslanma-kuruma çevriminden sonra hacimsel bütünlüğünü tamamen kaybetmiştir. Islanma-kuruma periyodu deneyleri kapsamında; SM numunelerinin durabiliteye ilişkin olarak kayda değer bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir.

SL numunesi 5. çevrimin sonuna kadar durabilite kriterlerini sağlarken, daha sonraki periyotlarda hacimsel bütünlüğünün bozulmaya başladığı görülmüştür ve 8. çevrimin sonunda %34,83 kütle kaybına uğrayarak hacimsel bütünlüğünü tamamen kaybettiği gözlenmiştir.

SLM karışımlar ile hazırlanan numuneler 12 adet ıslanma-kuruma periyoduna direnç gösterip hacimsel bütünlüklerini korumuşlardır fakat bu karışımlardan 12 çevrimden sonra izin verilen maksimum kütle kaybı aralığında kalıp durabilite şartlarını sağlayan sadece SLM/20 numunesi olmuştur. Kireç ilaveli doğal zeminde Midyat taşı atığı miktarının artırılması ıslanma-kuruma periyoduna karşı direnci arttırdığı gözlenmiştir.

SLM/5 numunesi durabilite kriterlerini 6 çevrim boyunca koruyabilmiş sonrasında hacimsel bütünlüğü zayıflamaya başlamıştır ve 12 çevrim sonucunda %31,21 kütle kaybına

uğramıştır. SLM/10 numunesi 8 çevrim boyunca durabilite kriterlerini sağlayarak SLM/5 numunesinden daha iyi sonuçlar vermiştir. Hacimsel bütünlüğünü 12 çevrimin sonuna kadar korumayı başaran SLM/10 numunesi %21,51 kütle kaybına uğramıştır. SLM/15 karışımıyla hazırlanan numune 7 kez ıslama-kuruma periyodunun bitiminde durabilite kriterlerini sağlasa da 12 kez olan periyodun sonunda hacimsel kütle kaybı gerçekleştiği görülmüştür. SLM/20 karışımı ile hazırlanan numuneler izin verilen maksimum kütle kaybı olan %6-14 kriterini 12 çevrim boyunca sağlamış ve 12 çevrimin sonunda %12,19 kütle kaybıyla hacimsel bütünlüğünü korumuştur.

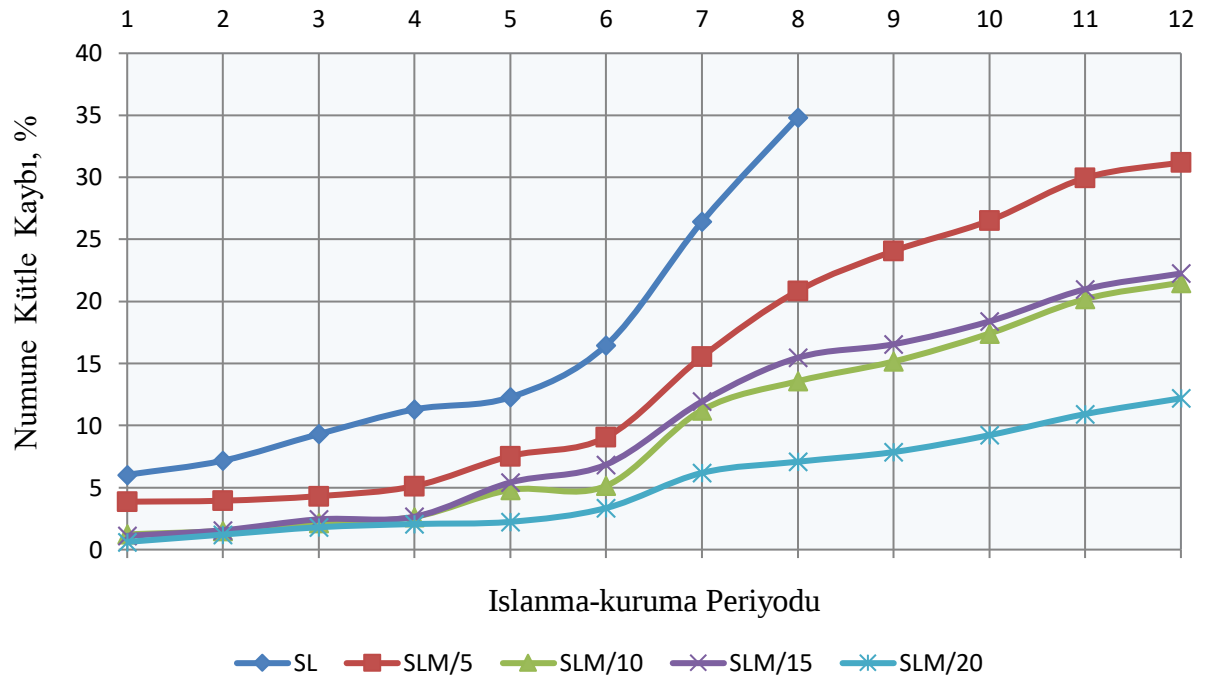
Çapı 50 mm, yüksekliği 100 mm olan S, SM, SL ile SLM karışım numunelerinin 12 kez ıslanma-kurumaya maruz kalması sonrasında Tablo 12'deki hacimsel stabiliteyi esas alan kriterler incelenmiş ve S, SM ile SL karışım numunelerinin hacimsel bütünlüğü koruyamadığı, SLM numunelerinin hacimsel bütünlüklerini koruduğu belirlenmiştir. Serbest basınç dayanımı değerlerinde, SLM/10 numunesinin en iyi sonucu vermesine karşın ıslanma-kuruma periyodu deneyinde SLM/20 numunesinin direnç göstererek başarılı sonuçlar verdiği ve durabilite kriterini sağladığı görülmüştür.

Tablo 25'te ıslanma-kuruma periyodu deney numunelerinin her birinin kütle kaybı yüzdeleri verilmiştir.

Tablo 25. *Islanma-Kuruma Deneyi Kütle Kaybı Yüzdeleri*

Numune/Kayıplar (Gün, %)	S	SM/ 5	SM/ 10	SM/ 15	SM/ 20	SL	SLM/ 5	SLM/ 10	SLM/ 15	SLM/ 20
İlk Ağırlık (%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
1. Çevrim	0,7	1,7	0,4	1,18	0,61	6,03	3,86	1,23	1,11	0,62
2. Çevrim	x	5,84	6,06	x	x	7,17	3,94	1,51	1,56	1,21
3. Çevrim	x	x	x	x	x	9,31	4,31	2,14	2,44	1,8
4. Çevrim	x	x	x	x	x	11,3	5,12	2,64	2,65	2,06
5. Çevrim	x	x	x	x	x	12,28	7,54	4,81	5,41	2,24
6. Çevrim	x	x	x	x	x	16,47	9,06	5,14	6,85	3,35
7. Çevrim	x	x	x	x	x	26,42	15,54	11,24	11,93	6,18
8. Çevrim	x	x	x	x	x	34,83	20,84	13,57	15,46	7,08
9. Çevrim	x	x	x	x	x	x	24,06	15,16	16,55	7,86
10. Çevrim	x	x	x	x	x	x	26,51	17,41	18,39	9,22
11. Çevrim	x	x	x	x	x	x	29,95	20,19	20,98	10,92
12. Çevrim	x	x	x	x	x	x	31,21	21,51	22,25	12,19

Islanma-kuruma periyoduna deneyi sonucunda SL ve SLM numunelerinin bulunan kütle kaybı yüzdelerinin grafikleri Şekil 25'te verilmiştir.



Şekil 25. SL ve SLM karışımlarının ıslanma-kuruma periyodundaki kütle kaybı eğrisi karşılaştırması.

Donma-çözülme çevrimi.

Tez kapsamında hazırlanan numunelere ASTM D 560 standartları baz alınarak donma-çözülme çevrimi uygulanmıştır. Numuneler 28 günlük kür sürecinden sonra 7 çevrim şeklinde donma çözülme deneyine tabi tutulmuştur. 7 çevrim sonucunda numunelerin dayanımlarının tespit edilmesi için tek eksenli basınç deneyi uygulanmıştır. Kireç ilaveli ve kireç ilavesiz hazırlanan 10 adet Midyat taşı atığı katkılı karışımın her birinden 2'ser adet olmak üzere 20 adet numune hazırlanmış ve basınç dayanımlarının ortalamaları baz alınmıştır. Şekil 26'da numunelerin donma-çözülme çevrimi deneyinden bir görüntü sunulmuştur. Deney neticesinde numunelerin dayanım testi sonuçları Tablo 26 ile verilmiştir.



Şekil 26. Numunelerin donma-çözülme çevrimi deneyi.

Tablo 26. SM ve SLM Karışımlarına Ait Donma-Çözülme Çevrimleri Sonrası Tek Eksenli Basınç Dayanım Değerleri

Numune	Tek Eksenli Serbest Basınç Dayanımı (kPa)
S	53,9
SM/5	51,4
SM/10	61,9
SM/15	78,4
SM/20	56,9
SL	528,3
SLM/5	585,2
SLM/10	784,2
SLM/15	804,4
SLM/20	846,2

Donma-çözülme sonrasındaki serbest basınç değerleri irdelendiğinde genel olarak SM ile SLM karışımlarının serbest basınç değerlerinde bir düşme meydana geldiği belirlenmiştir.

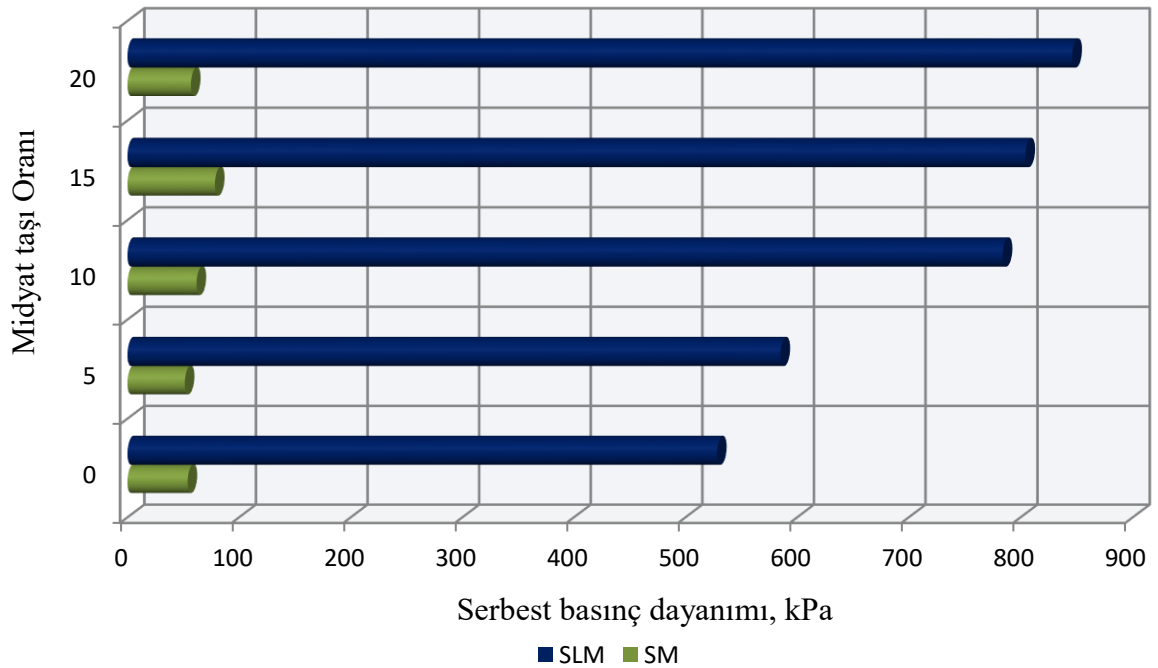
SM karışımları ile hazırlanan numunelerin donma-çözülme sonrası dayanım değerleri 28 günlük küre tabi tutulan numunelerinin dayanım değerleri ile karşılaştırıldığında SM karışımlarında %65 ile %70 gibi ciddi bir oranda dayanım kaybı olduğu gözlenmiştir. SM/5, %71 dayanım kaybıyla 173 kPa'dan 51,4 kPa'ya kadar düşmüştür. SM karışımlarında en fazla dayanım kaybı SM/5 numunesinde tespit edilmiştir.

Donma çözölmeye tabi tutulan SLM karışımlarında ise %40-%50 oranında dayanım kaybı yaşanmıştır. SLM/10, %46,6 dayanım kaybıyla 1468,5 kPa'dan 784,2 kPa kadar düşüş yaşamıştır. En fazla dayanım kaybı SLM/20 numunesinde tespit edilmiştir.

Midyat taşı atığı ve %6 kireç oranıyla hazırlanan SLM karışımlarının donma-çözölme sonrası en yüksek dayanım değeri 846,2 kPa olan SLM/20 karışımında meydana gelmiştir. Kireçli Midyat taşı atığı oranının artışı dayanımı arttırmıştır.

Kireç ilavesiz Midyat taşı ile yapılan karışımların, kireç ilaveli Midyat taşı ile yapılan karışımlara göre donma-çözölme yüzde değışim farkının daha fazla olduğı saptanmıştır. SLM numunelerinin, SM numunelerine göre donma-çözölmede daha etkin olduğı tespit edilmiştir. Midyat taşının kireçle birlikte kullanımının daha güçlü dayanım sağladığı sonucuna ulaşılmıştır. Bu sonuçlara göre kireç ilaveli Midyat taşının, kireç ilavesiz Midyat taşı karışımına göre serbest basınç değeriinde daha etkin olduğı, donma-çözölme çevriminde bu etkinliğin devam ettiğı tespit edilmiştir.

SM ile SLM karışımlarına ait donma-çözölme çevrimi sonrası tek eksenli dayanım testi değeri sonuçları şekil 27'de verilmiştir.



Şekil 27. SM ve SLM karışımlarının donma-çözölme çevrimleri sonrası tek eksenli basınç dayanım değeri.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Zayıf zeminlerin iyileştirilmesinde kimyasal ve mekanik stabilizasyonu temel alan metotların aynı anda kullanımı tesirli bir çözüm olmakla birlikte iktisadi kolaylık da sağlar. Bu çalışmada düşük plastisiteli zeminin stabilizasyonunda, optimum oranda kireç ile %5, %10, %15 ve %20 katkı oranında Midyat taşı atığının kullanılmasıyla hazırlanan numunelerin geoteknik özellikleri irdelenmiştir. Midyat taşı atığı miktarının ve kür süresinin oluşturulan numunelerin dayanım ve durabiliteleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

Çalışma kapsamında aşağıda verilen sonuçlara varılmıştır:

- ✓ Kireç katkısız karışımlardan elde edilen kıvam deneyi değerlerine göre, doğal malzeme ile Midyat taşı atığı barındıran karışımların LL ve PI değerlerinde düşüşler görülürken, PL değerlerinde artışlar olduğu tespit edilmiştir.
- ✓ Doğal malzemeye sadece %6 oranında kireç katılmasıyla elde edilen karışımın kireç katkısız doğal malzemeye göre LL ile PI değerlerinde düşüşler tespit edilirken, PL değerinde artış gözlemlenmiştir.
- ✓ Kireç ilaveli doğal malzemeye göre SLM karışımlarının LL ile PL değerlerinde düşüşler görülürken PI değerlerinde doğal malzemeye göre düzensiz davranış olduğu belirlenmiştir. En düşük PL değerlerine SM/5 ve SM/20 numunelerinde rastlanırken en düşük PI değeri SLM/15 numunesinde görülmüştür. Ayrıca en yüksek LL değeri SM/5 numunesinden elde edilmiştir.
- ✓ SLM numunelerinin, SM numunelerine göre likit limit ile plastisite indisi değerlerinde azalmalar meydana gelirken, plastik limit değerlerinde artış tespit edilmiştir.
- ✓ SM numunelerinin kompaksiyon parametreleri irdelendiğinde genel olarak doğal malzemeye nazaran maksimum kuru yoğunlukları artış gösterirken, optimum su içeriklerinde ise az da olsa düşüşler meydana geldiği görülmüştür.
- ✓ Doğal malzemeye optimum oranda kireç ilavesiyle oluşturulan karışımların kompaksiyon değerleri irdelendiğinde, SLM karışımlarının doğal malzemeye göre maksimum kuru yoğunluk değerlerinde ciddi manada değişimler görülmemiş ancak optimum su muhtevalarında kayda değer artışlar olduğu tespit edilmiştir.
- ✓ SLM karışımlarının SL karışımlarına göre optimum su içerikleri ile maksimum kuru yoğunlukları artmıştır. Ulaşılan sonuçlara göre Midyat taşı atığı katkısının kireç ve doğal malzeme ile beraber kullanımında kirecin etkisini arttırarak optimum su

içeriklerinde artışlar meydana getirdiği görülmüştür.

- ✓ Oluşturulan karışımlarda en düşük maksimum kuru yoğunluk değerine SL numunesinde, en yüksek optimum su içeriği değeri ise SLM/10 numunesinde görülmüştür.
- ✓ SL numunesine 28 günlük kür süreci sonunda uygulanan serbest basınç testi neticesinde dayanım değerlerinin doğal zemine göre yaklaşık 6 kat arttığı tespit edilmiştir.
- ✓ SM numunelerine uygulanan 7 günlük kür süresinden sonra serbest basınç dayanım sonuçları irdelendiğinde, doğal malzemeye göre dayanım değerlerinin çok az miktarda arttığı görülmüştür. SLM karışımlarında ise SM karışımlarına nazaran daha fazla artışlar görülmüş ve Midyat taşı atığıyla beraber optimum oranda kireç ilavesinin dayanım sonuçlarında daha etkin olduğu saptanmıştır.
- ✓ SLM karışımlarının 7 günlük basınç dayanımları irdelendiğinde SL karışımlarına nazaran daha yüksek dayanımlar elde edilmiştir. SM karışımlarında en yüksek dayanım değeri SM/15 numunelerinde, SLM karışımlarında ise SLM/10 numunelerinde alınmıştır.
- ✓ 28 günlük kür süreci neticesinde SM karışımlarında en yüksek dayanıma ulaşan %15 katkılı karışımların dayanımı doğal malzemeye göre yaklaşık %38,6 oranında artmıştır. Sadece Midyat taşı atığı ile hazırlanan numunelerde artış oranının doğal zemine göre az da olsa yüksek olması Midyat taşı atığının etkisini göstermektedir.
- ✓ 28 günlük kür süreci sonrasında tek eksenli basınç dayanım testine tabi tutulan SLM karışımlarının dayanımlarının SL karışımlarına göre yaklaşık %49 arttığı görülmüş ve en yüksek dayanım sonucu SLM/10 karışımından elde edilmiştir.
- ✓ SLM karışımlarının 28 günlük basınç dayanım sonuçlarına göre en yüksek değer 1468,5 ile SLM/10 karışımlarında meydana gelmiştir. SM karışımlarında en yüksek değer SM/15 karışımlarına ait 224,2 kPa olarak elde edilmiştir.
- ✓ 7 ile 28 günlük kür sürelerinden sonra dayanım değerleri karşılaştırıldığında, kür süresinin arttırılmasının en çok SLM numunelerinde etkin olduğu belirlenmiştir.
- ✓ İslanma kuruma deney verileri sonuçlarına göre SM/15 ve SM/20 numuneleri hacimsel bütünlüklerini 1. günün sonunda, SM/5 ve SM/10 numuneleri ise 2. günün sonunda kaybetmişlerdir. Midyat taşı atığının tek başına katkı maddesi olarak kullanılmasının ıslanma kuruma deneylerinde etkin olmadığı belirlenmiştir.

- ✓ SL numunesi 8 günün sonunda hacimsel bütünlüğünü kaybederken, SLM karışımları içeren tüm numuneler 12 ıslanma-kuruma çevrimine karşı yapısal bütünlüklerini korumuştur. Midyat taşı atığının kireçle beraber katkı maddesi olarak kullanılmasının ıslanma kuruma deneylerinde etkin olduğu saptanmıştır. SLM karışımlarının SM karışımlarına göre daha durabil oldukları tespit edilmiştir.
- ✓ Donma çözülme deneyleri sonrasında ulaşılan dayanım verileri irdelendiğinde SLM/20 numunelerinin en iyi sonuçları verdikleri tespit edilmiştir. Elde edilen bu sonuçlara göre, 28 günlük tek eksenli serbest basınç dayanımlarına oranla SLM/20 numunelerinde yaklaşık %38 oranında düşüşler yaşanmıştır. SM karışımlarından en yüksek dayanım değerinin elde edildiği SM/15 karışımında ise yaklaşık %65 oranında azalma meydana gelmiştir. Bu sonuçlara göre, Midyat taşı atığının tek başına kullanımında donma-çözölmeye karşı dayanıksız olduğu kanaatine varılmıştır.

Bu konuyla ilgili yapılabilecek tez çalışmalarında yol göstermesi amacıyla verilebilecek öneriler şunlardır:

- ✓ Midyat taşı atığının farklı zeminlerde katkı maddesi olarak kullanılabilirliği incelenebilir
- ✓ Laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiş bu deneyler sahada gerçekleştirilen çalışmalarla desteklenebilir.
- ✓ Değişik endüstriyel atıkların geoteknik özellikleri zayıf olan zeminlerin stabilizasyonunda etkisi araştırılabilir.

Kaynakça

- American Association of State Highway and Transportation Officials. (AASHTO). (1993). *Guide for Design of Pavement Structures*. USA: AASHTO M 147, 63-65.
- Adin, H. (2007). Mardin ve Midyat'ta Kullanılan Bina Yapı Taşlarının Bazı Fiziksel Özellikleri, *Mühendis ve Makina*, Cilt 1, Sayı: 2.
- Aksoy, İ. H. (1992). Uçucu Külün Geoteknikte Kullanımı. *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 4. Ulusal Kongresi*, İstanbul.
- Alpyürür, M. (2016). *Zemin İyileştirmesinde Öğütülmüş Gaz Beton Kullanımı* (Yayımlanmamış Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
- Ankara: T. C. *Bayındırlık Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü Yayınları* (s.219).
- Arman, A., & Moonfish, G. A. (1972). *Lime Stabilization of Organic Soils*, Research Record No. 381. *Highway Research Record*, Washington, 37-45.
- ASTM D 422, (2007). *Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils*, ASTM, Pennsylvania.
- ASTM D 559, (2003). *Standard Test Methods for Wetting and Drying Compacted Soil-Cement Mixtures*, ASTM, Pennsylvania.
- ASTM D 560, (1996). *Standard Test Methods for Freezing and Thawing Compacted Soil-Cement Mixtures*, ASTM, Pennsylvania.
- ASTM D 698, (2007). *Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort*, ASTM, Pennsylvania.
- ASTM D 934, (2003). *Standard Practices for Identification of Crystalline Compounds in Water- Formed Deposits*, ASTM, Pennsylvania.
- ASTM D 2166, (2006). *Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil*, ASTM, Pennsylvania
- ASTM D 2487, (2011). *Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)*, ASTM, Pennsylvania.
- ASTM D 4318, (2010). *Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils*, ASTM, Pennsylvania.

- Atanur, A. (1973). Kireç Stabilizasyonu ve Yol Yapımındaki Tahkikatı. *Karayolları Genel Müdürlüğü Matbaası*. Ankara. 11-17.
- Atterberg, A. (1911). The Behaviour of Clays with Water, Their Limits of Plasticity and Their Degrees of Plasticity. *Kungliga Lantbruksakademiens Handlingar Och Tidskrift*, 50/2, 132-158.
- Aytekin, M. (2004). *Deneysel Zemin Mekaniği*. Ankara: Teknik Yayınevi, 217-218.
- Blacklock, J. R., & Pengilly, A. D. (1988). Soil treatment for foundations on expansive clay B.M. *Special Topics in Foundations*, 73–92.
- Biricik, A. S. (1974). Mardin ve Mücavir Mıntıkasının Jeomorfolojisi, *Türk Coğrafya Dergisi*, Cilt 0, Sayı: 26.
- Cedergren, H. R. (1989). *Seepage, Drainage, and Flow Nets (3. Baskı)*. Florida: John Wiley and Sons Inc, 232-255.
- Clare, K. E., & Crunchley, A. E. (1957). *Laboratory experiments in the stabilization of clays with hydrated lime*, *Geotechnique* Vol, 5, 97-111.
- Çakılcıoğlu, İ. (2007). *Yüksek Plastisiteli Killerin Stabilizasyonu* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 216270).
- Çakır, M. (2001). *Uçucu Küllerin Zemin Stabilizasyonunda Kullanımı* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 98397)
- Çalık, Ü. (2012). *Perlitin Puzolanik Katkı Olarak Kireçle Birlikte Zemin Stabilizasyonunda Kullanımı* (Doktora Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir.(Tez No. 300926)
- Çetin, A. Y. (2011). *Yüksek Plastisiteli Kil Zeminlerin Alternatif Malzemeler ile Yüzeysel Zemin Stabilizasyonu* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 295471)
- Day, R. W. (2004). *Geoteknik Deprem Mühendisliği El Kitabı*. (Mollomahmutoğlu, M., Kayabali, K, çev. Ed.). Ankara, Gazi Kitapevi.
- Demiröz, A., & Karaduman, M. (2009). Zemin İyileştirme Metodları, *Selçuk-Teknik Dergisi*, Cilt 8, Sayı: 3.
- Eades, J. L., & Grim, R. E. (1966). A Quick Test to Determine Lime Requirements for Soil

Stabilization. *Highway Research Board*, 61-72.

- Emiroğlu, M. (2006). *Atık taşıt lastiğın beton içerisinde kullanımı ve betonun karakteristiklerine etkisi* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 185330).
- Erkan, İ. H. (2007). *Yumuşak Killi Zeminlerin Kireç Kolonlarıyla Mukavemet Özelliklerinin İyileştirilmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 212405).
- Erol, B. (2008). *Atık Maddelerin Yol İnşaatlarında Temel Malzemesi Olarak Kullanımı*, (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
- Fang, H. Y. (1991). *Foundation Engineering Handbook*. Londra: Van Nostrand Reinhold Publishing.
- Fidan, D. (2016). *Killerin Stabilizasyonunda Doğal Puzolanik Katkı Maddesi İnceliğinin Dayanım ve Durabiliteye Etkisi* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 44951)
- Ghabaee, S. (2015). *Kireç ile Stabilize Edilmiş Bentonitin Kür Süresinin Mukavemet Üzerindeki Etkisi* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 397856)
- Goldberg, I., & Klein, A. (1952). *Some effects of treating expansive clays with Calcium hydroxide*, ASTM Special Publication 142, Symp. on Exchange Phenomenon in Soils, 112-128.
- Günel, V. (2011). Turizmin Olumlu Etkileri ve Midyat İlçesindeki Geleneksel Taşçılık Sanatı Örneği, *Marmara Coğrafya Dergisi*, Cilt 0, Sayı 24
- Günel, A. (2011). *Midyat Taşı ve Coğrafi Çevre Arasında İlişkiler* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 300494)
- Gücek, S. (2011). *Mermer Tozu ve Uçucu Külün Kil Zeminlerin İyileştirilmesinde Kullanımı* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 284513).
- Han, J. (2015). *Principles and Practice of Ground Improvement*. New Jersey: Wiley
- Holtz, R. D., Kovacs, W. D. & Sheahan, T. C. (2015). *An Introduction To Geotechnical Engineering* (Çev. A. Erken).

- Hunt, R. E. (1986). *Geotechnical Engineering Techniques and Practices*. McGraw Hill. USA.
- Hunt, R. E. (1994). *Geotechnical Engineering Investigation Manual*. McGraw Hill. USA.
- Ingles, O., G., & Metcalf, J. B. (1973). *Soil Stabilization*. John Wiley&Sons. New York.
- Karamer, S. L. (2003). *Geoteknik Deprem Mühendisliği* (1. Baskı), Gazi Kitapevi, Ankara.
- Kavak, A. (1996). *The Behavior of Lime Stabilized Clays Under Cyclic Loading* (Doktora Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 50492)
- Kavak, A., Güngör, A. G., Avşar, C., & Atbaş, B. (2008). Kireç ile Zemin Stabilizasyonu. *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 12. Ulusal Kongresi*. Konya.
- Kaya, A. C. (2008). *Midyat Taşının Kaplama ve Yapıda Kullanılabilirliğinin Araştırılması* (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye
- Kaya, A. C., Yapıcı, N., & Anıl. M. (2008). Midyat Taşının Kaplama ve Yapı Taşı Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Cilt 19, Sayı: 3.
- Kayabalı, K., & Mollamahmutoğlu, M. (2004). *Geoteknik Mühendisliği Elkitabı*, McGraw-Hill El Kitapları, Robert W. Day. Ankara. Gazi Kitabevi
- Kayabalı, K. (2010). *Geoteknik Mühendisliğine Giriş*, Ankara: Gazi Kitapevi, 636.
- Keskin, S. M. (2009). *Güçlendirilmiş kumlu şevlere oturan yüzeysel temellerin deneysel ve teorik analizi* (Doktora tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 244360)
- Kızılcı, M. (2010). *Yüksek Plastisiteli Bir Kilin Kireç ile Stabilizasyonu* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 275771)
- Kılıç, G. (2008). *Çimento ile Zemin Stabilizasyonu* (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
- Kukko, H. (2000). Stabilization of Clay with Inorganic Products. *Journal of Materials In Civil Engineering*. 12, 4, 307-309.
- Kocabey, S. (2019). *Düşük Plastisiteli Killerin Kireçle Stabilizasyonunda İnceliğin Etkisi* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 533972)
- Lambe, P. C., Khosla, N. P., & Jayaratne, N. N. (1990). *Soil Stabilization in Pavement*

- Structures. *Transportation Studies Research. Sacramento*. 545-589
- Little, N. D. (1987). Fundamentals of the Stabilization of Soil with Lime. *National Lime Association. Arlington*, 19-20.
- Littlejohn, G. S. (1982). Design of Cement Based Grouts-Grouting in Geotechnical Engineering. *In Proc. of an ASCE Conference*. New York.
- Mehta, P. K. (1986). Concrete-Structure, Properties and Materials, *New Jersey: PrenticeHall*. 350-400.
- Mathew, P. K. & Rao, S. N. (1997). Effect of Lime Cation Exchang Capacity of Marine Clay, *Journal of Geotechnical and Geonvironmental Engineering*, 123,2, 183-185.
- Mitchell, J. K. (1986). Practical Problems from Suprising Soil Behavior. *Journal of Geotechnical Engineering*. 112, 3, 259-289
- Mitchell, J. K., & Gallagher, P. M. (1998). Guidelines for Ground Improvement of Civil Works and Military Structures and Facilities. *U.S. Army of Corps. Of Engineers. Washington*. 109.
- Mitchell, J. K., & Gallagher, P. M. (1993). Fundamentals of Soil Behavior Behaviour 2 nd edition. *New York: John Wiley & Sons Inc*. 437
- Nelson, J. D., & Debora D. J. (1992). Expansive Soils-Problems and Practice in Foundation and Pavement Engineering. *Londra: John Willey and Sons Inc*. 259-261.
- Önalp, A. (1983). *İnşaat Mühendislerine Geoteknik Bilgisi (Cilt 2)*. Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi. 3, 1225.
- Öntürk, K. (2011). *Zemin İyileştirmesinde Polısaj, Kireç ve Uçucu Külün Kullanımı* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 287312)
- Önenç, D. İ., Kıral, N., Erkanol, D., & Tullukçu, E. (2006). Medeniyetlerin Taşı Mardin Taşı ve Özellikleri, 59. *TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri kitabı* (sayfa nosuz), Ankara.
- Özaydın, K. (1995). *Zemin Mekaniği*. İstanbul: Birsen Yayınevi. 261 s.
- Özdemir, A., & Özdemir, M. (2007). Zayıf Zeminlerin İyileştirilmesi ve Son Yıllarda Yaygın Olarak Kullanılan Bazı Zemin İyileştirme Yöntemleri. *Sondaj Dünyası*. 3.
- Özer, M., & Orhan, M. (2007). Lazer Kırınım Yöntemiyle Zeminlerin Tane Büyüklüğü Dağılımının Belirlenmesi: Genel İlkeler ve Örnek Hazırlama Yöntemi. *Gazi*

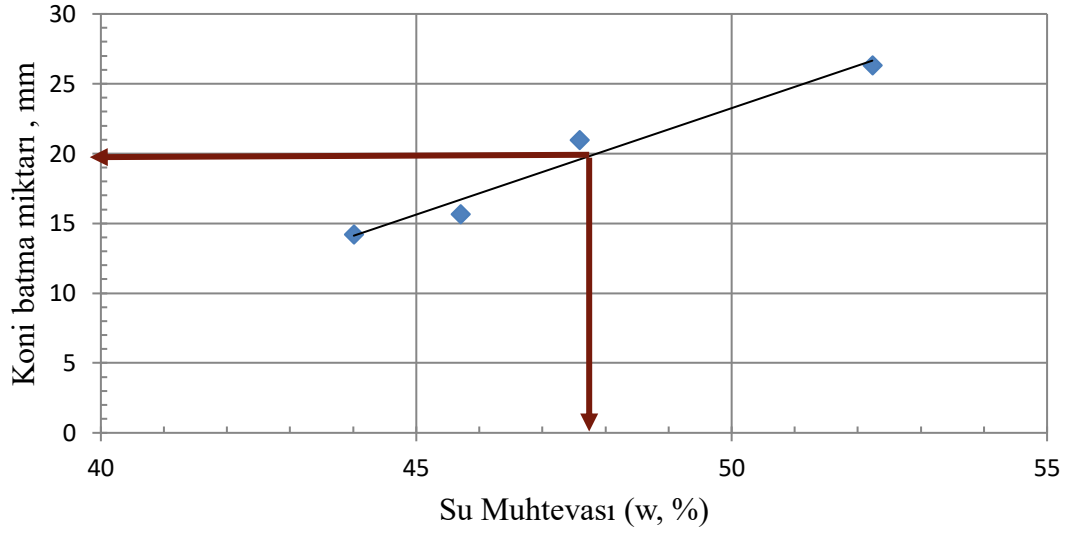
- Pektaş, C. (2012). *Muhtelif Katkı Maddeleri ve/veya Donatı Kullanımı ile Yapılan Zemin İyileştirme (Stabilizasyon) Yöntemlerinin Teorik ve Deneysel Olarak Ayrıntılı Bir İrdeleme ve Değerlendirilmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 327224)
- Terrel, R. L., Epps, A., Barenberg, J. E., Mitchell, J. K., & Thompson, M. R. (1979). *Soil stabilization*, FHWA. U.S. Department of Transportation.
- Trb, (1987). State of the Art Report 5. *Transportation Research Board*. Washington.
- TS 639, (1975). *Uçucu Küller*. Türk Standartları Enstitüsü. Ankara.
- Tolun, N., & Ternek, Z. (1952). Mardin Bölgesinin Jeolojisi. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, Cilt 3, Sayı: 21-20.
- Tumluer, G. (2006). *Çimento Katkılı Kumlu Zeminlerin Mukavemeti* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 183645)
- Tunç, A. (2001). *Yol Malzemeleri ve Uygulamaları*. İstanbul: Atlas Yayın Dağıtım. 325.
- Tunç, A. (2002). *Yol Mühendisliğinde Geoteknik ve Uygulamaları*. İstanbul: Atlas Yayın Dağıtım. 912.
- Tülek, M. (2007). *Kimyasal Atık Alçıların Zemin Stabilizasyonunda Kullanılabilirliğinin Araştırılması* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 177873)
- U. S. Army Corps. of Eng. (2003). *Guidelines on Ground Improvement for Structures and Facilities*. Dept of the Army. Washington.
- Uzuner, B. A. (2006). *Temel Mühendisliğine Giriş (3.Baskı)*. Trabzon: Derya Kitabevi. 310-360.
- Uzuner, B. A. (2013). *Temel Mühendisliğine Giriş (5.Baskı)*. Trabzon: Derya Kitabevi. 342-359.
- Uzuner, B. A. (2000). *Temel Mühendisliğine Giriş (2.Baskı)*. Trabzon: Derya Kitabevi. 245- 270.
- Winterkorn, H. F., & Fang, H. Y. (1975). *Foundation Engineering Handbook*. Londra: VanNostrand Reinhold Publication. 176.
- Yıldırım, S. (2002). *Zemin İncelemesi ve Temel Tasarımı*. İstanbul: Birsan Yayınevi. 466.

Yılmaz, F. (2015). *Tüfit Taşların Zemin Stabilizasyonunda Kireçle Birlikte Kullanılabilirliğinin Standart Deneyler ve Bilgisayarlı Tomografi Tekniği ile Araştırılması* (Doktora Tezi). Yüksek öğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 397321)

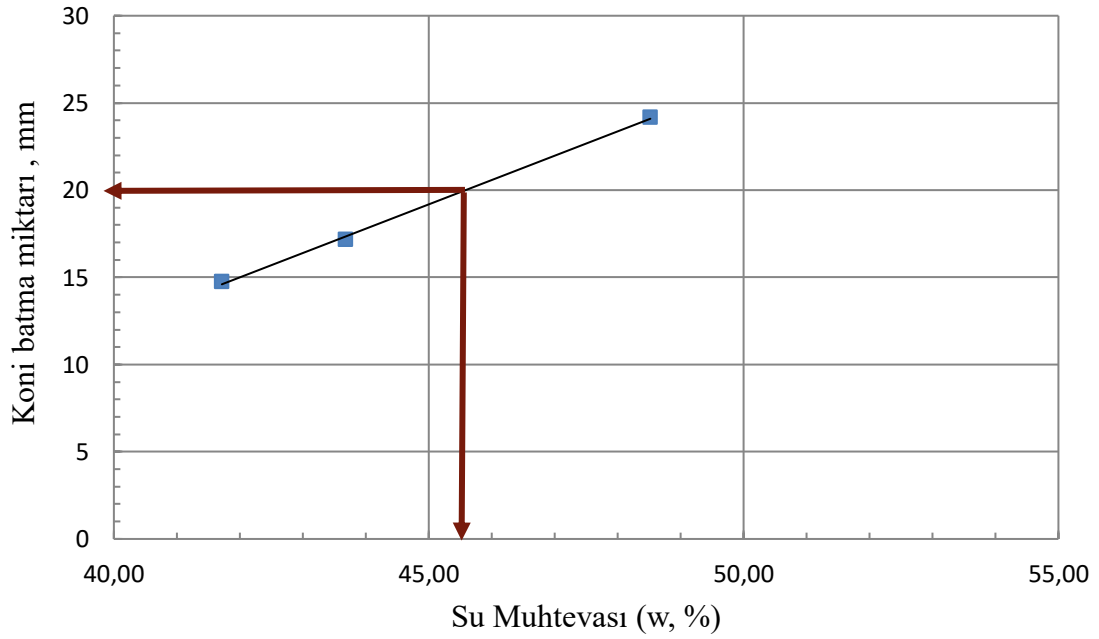


EKLER

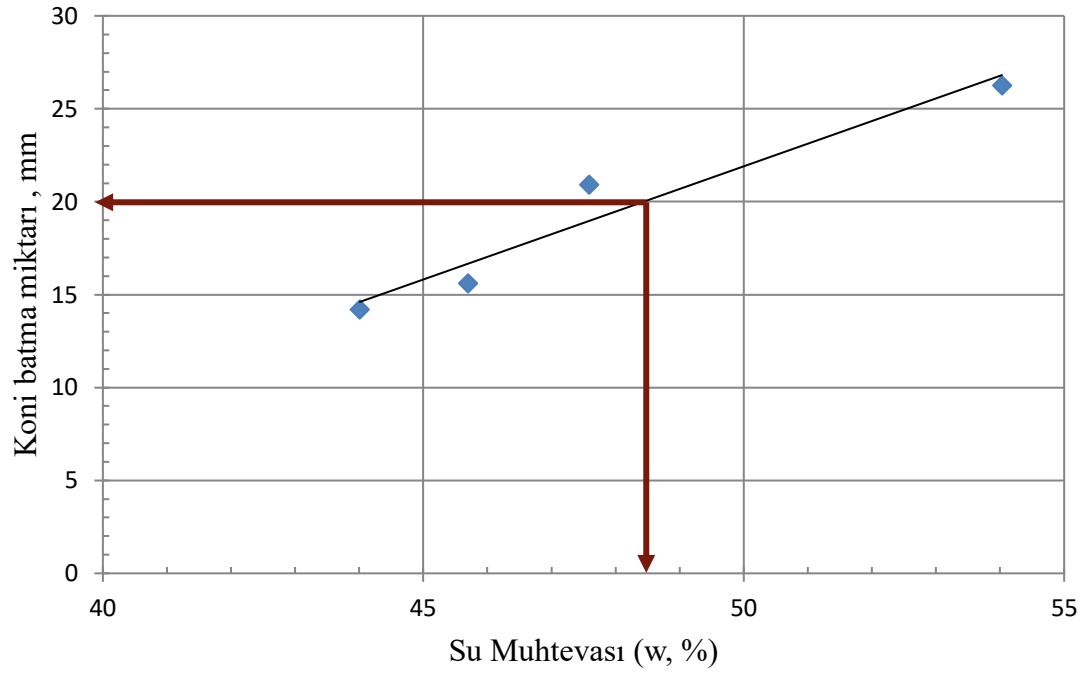
Ek 1: Düşen Koni Penetrasyon Deney Sonuçları



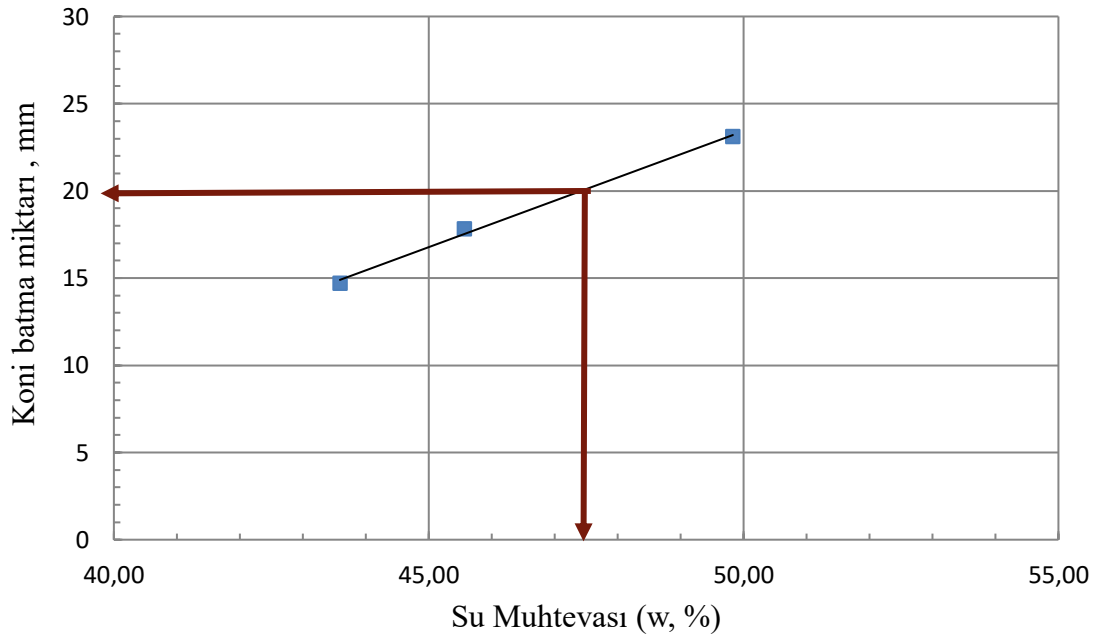
Şekil 28. Doğal malzemenin düşen koni penetrasyon değeri grafiği.



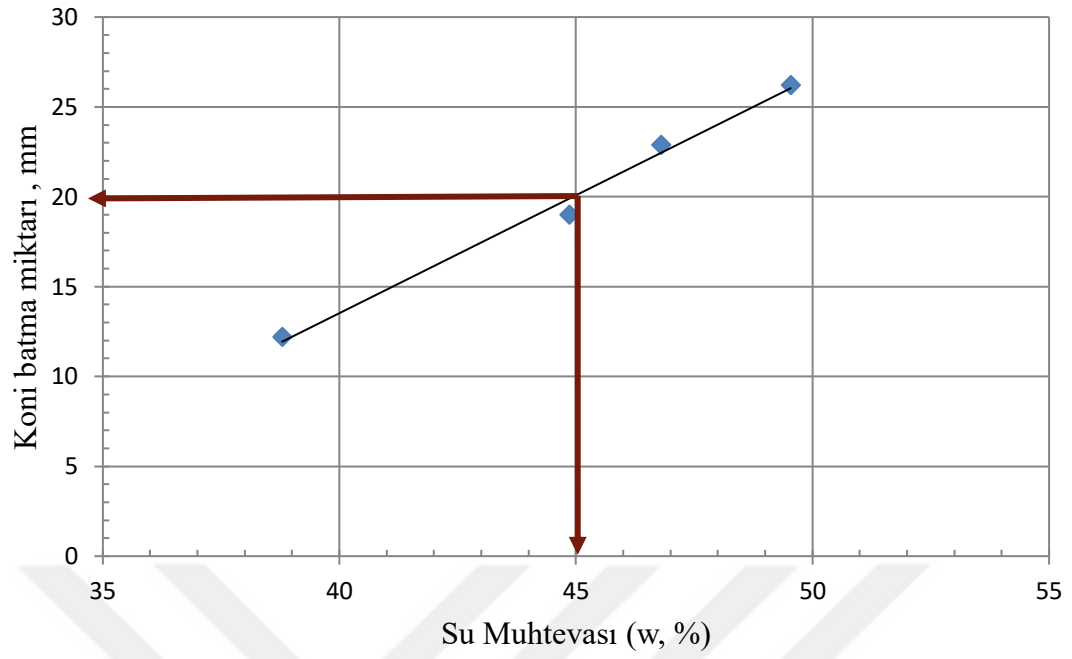
Şekil 29. SL numunesinin düşen koni penetrasyon değeri grafiği.



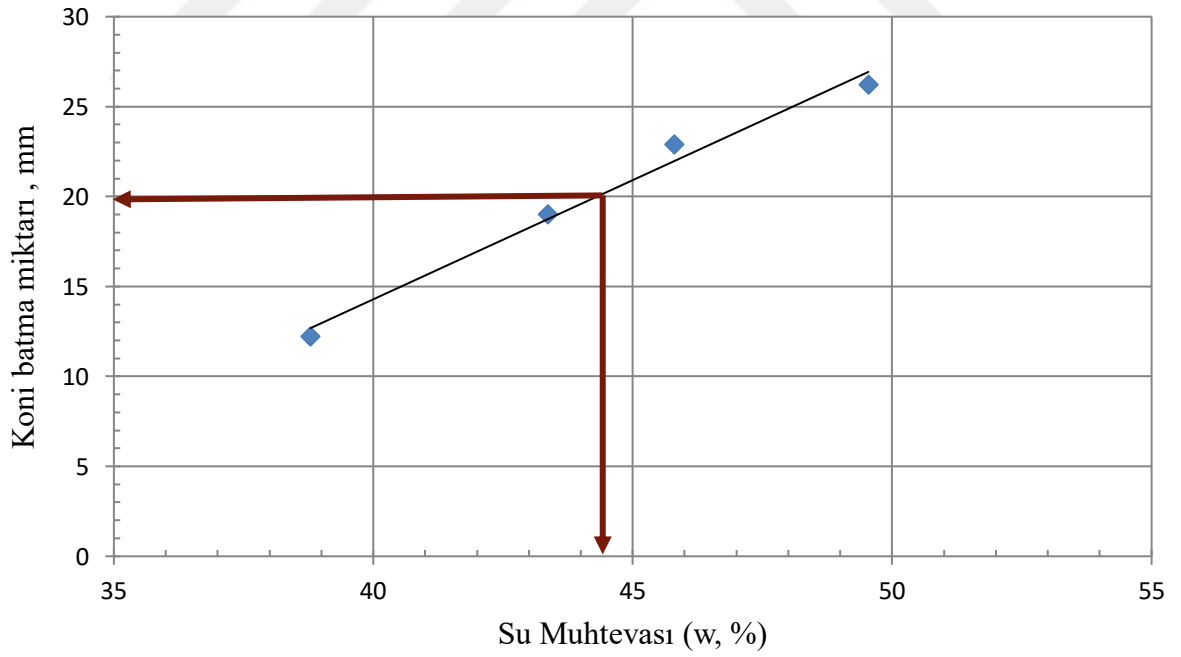
Şekil 30. SM/5 numunesinin düşen koni penetrasyon değeri grafiği.



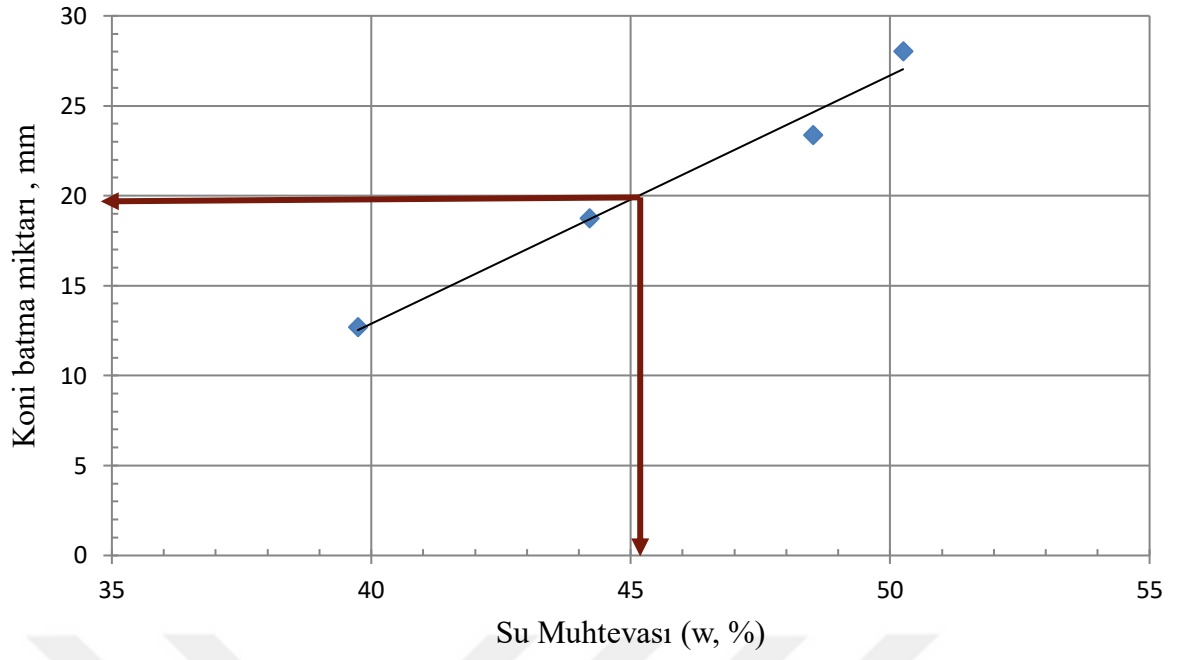
Şekil 31. SM/10 numunesinin düşen koni penetrasyon değeri grafiği.



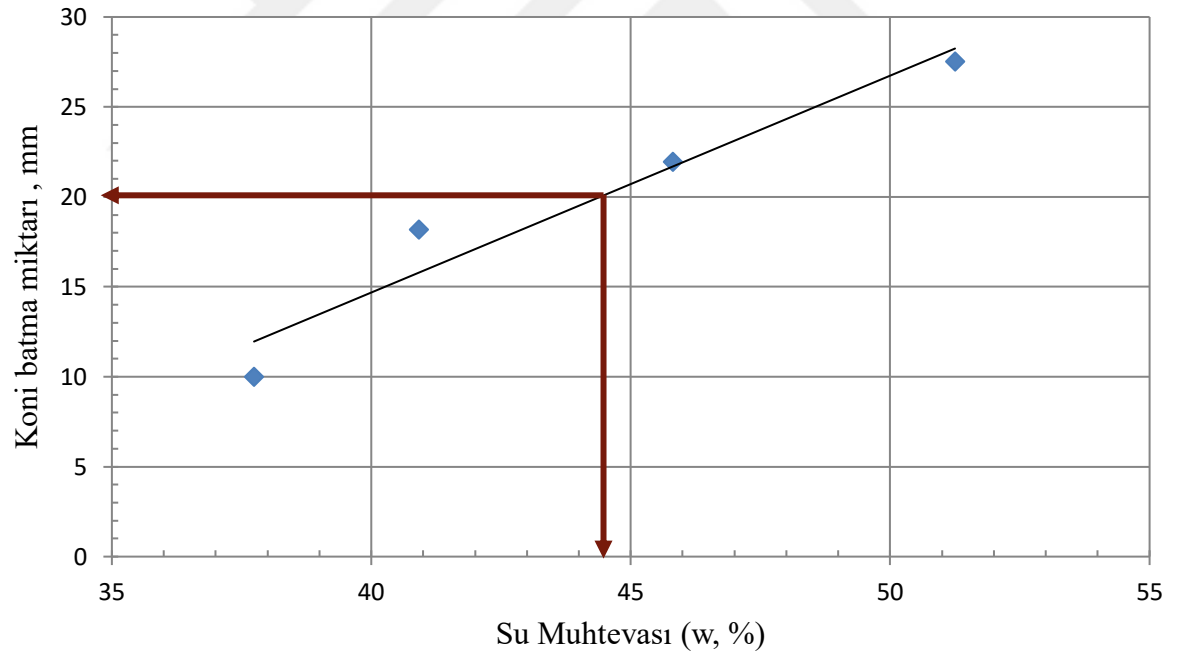
Şekil 32. SM/15 numunesinin düşen koni penetrasyon değeri grafiği.



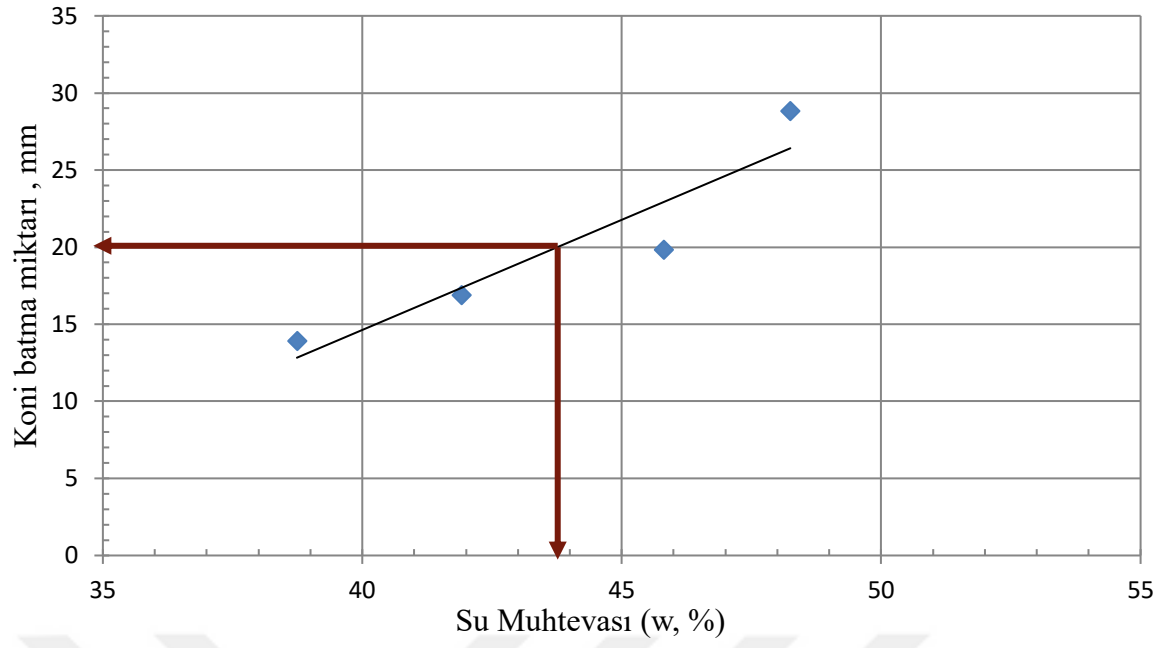
Şekil 33. SM/20 numunesinin düşen koni penetrasyon değeri grafiği.



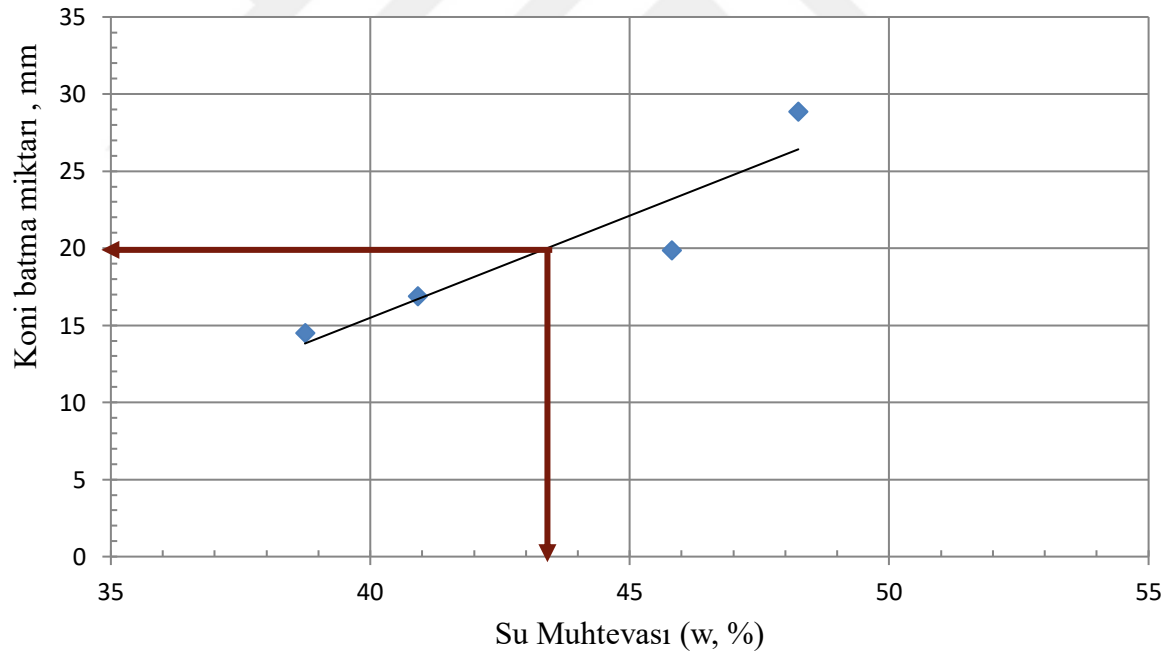
Şekil 34. SLM/5 numunesinin düşen koni penetrasyon değeri grafiği.



Şekil 35. SLM/10 numunesinin düşen koni penetrasyon değeri grafiği.

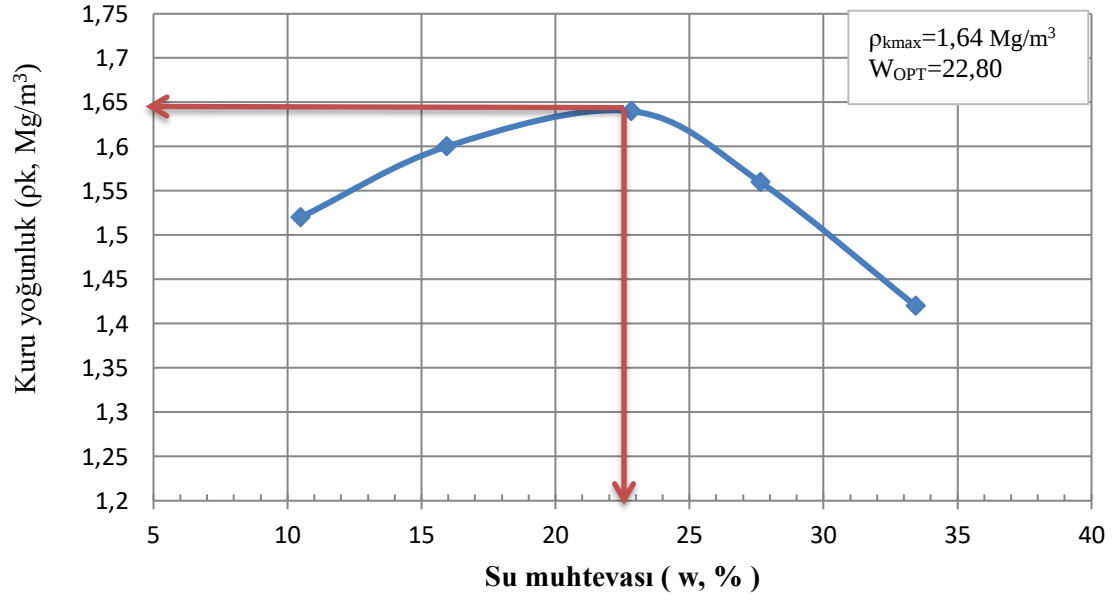


Şekil 36. SLM/15 numunesinin düşen koni penetrasyon değeri grafiği

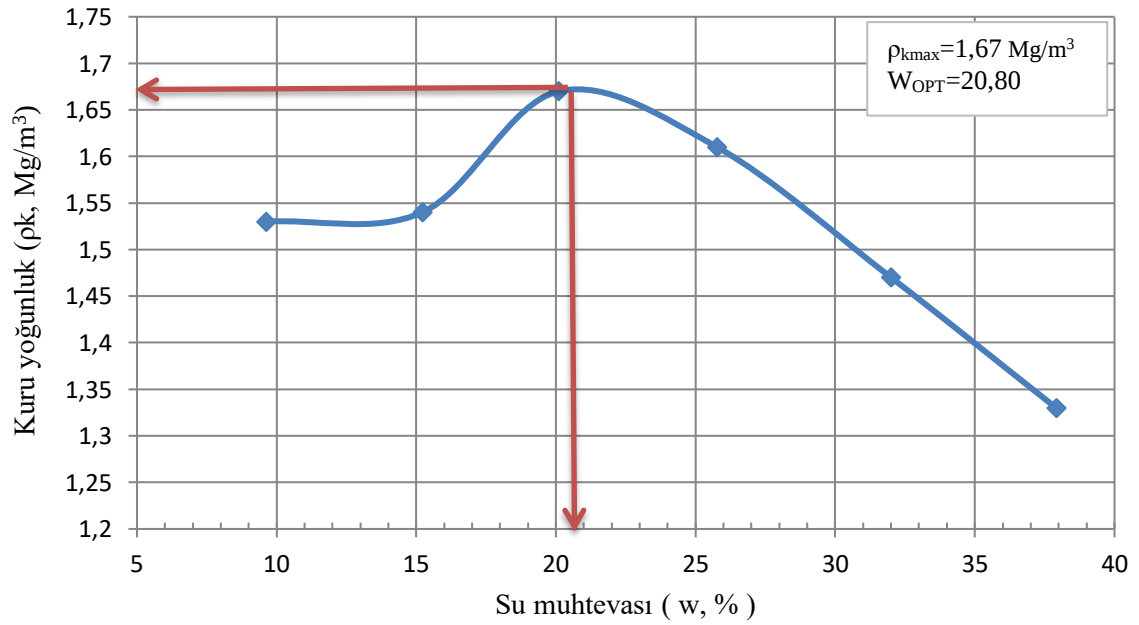


Şekil 37. SLM/20 numunesinin düşen koni penetrasyon değeri grafiği.

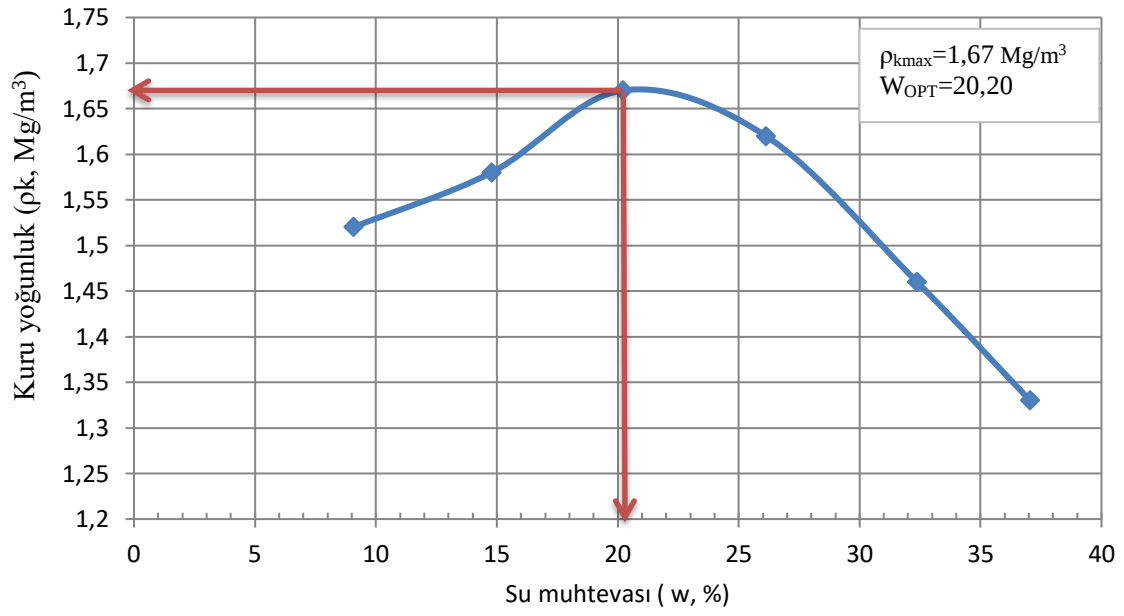
Ek-2 Kompaksiyon deneyi sonuçları



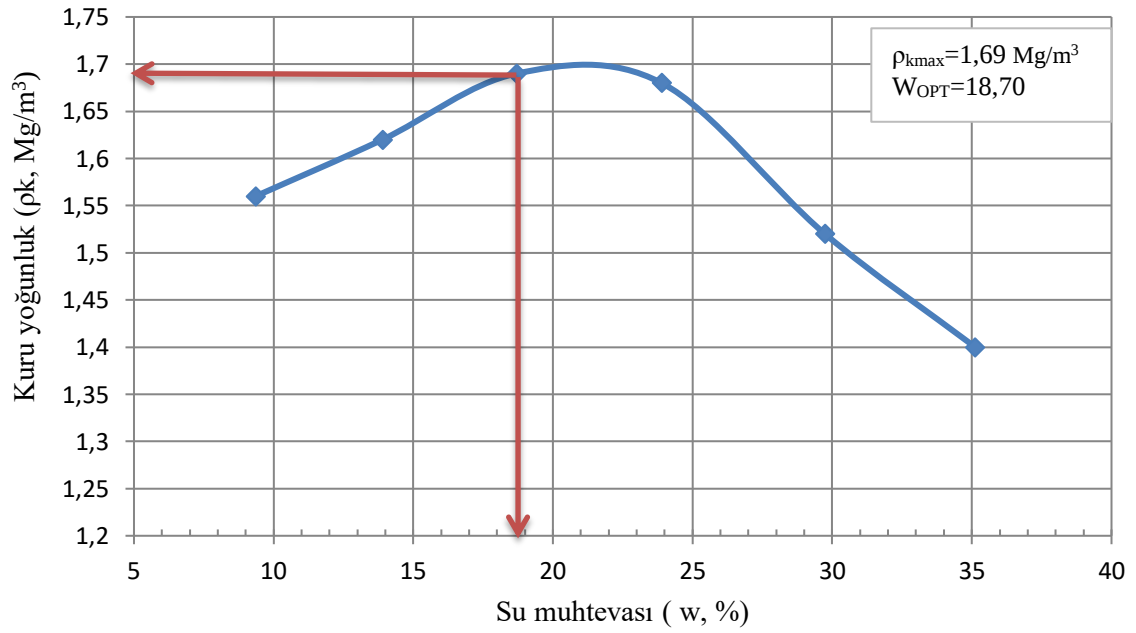
Şekil 38. Doğal zeminin kompaksiyon eğrisi.



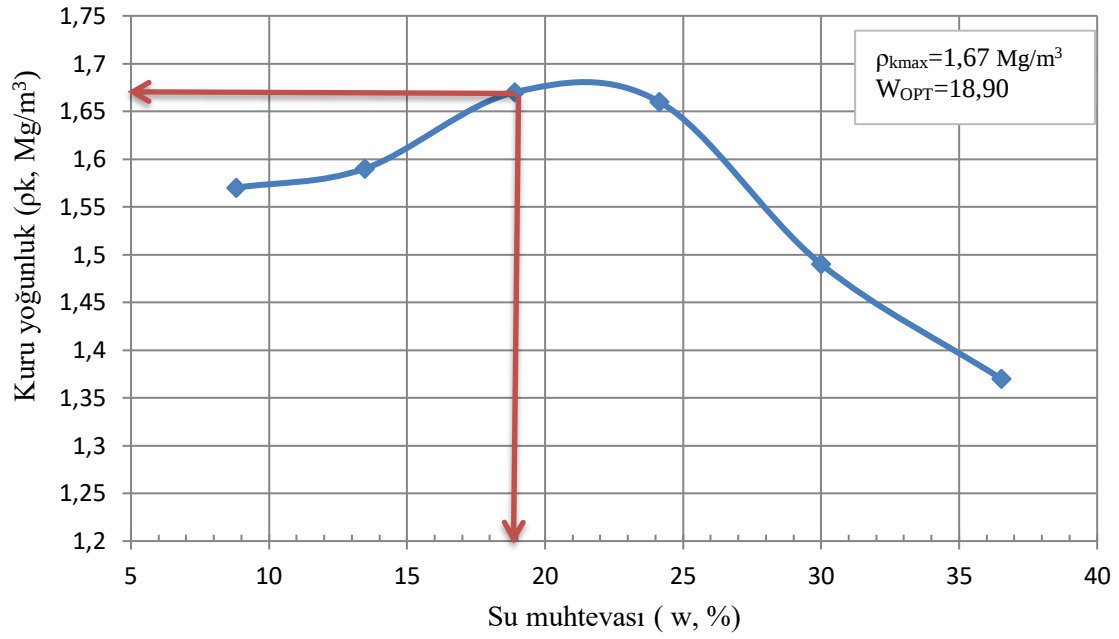
Şekil 39. SM/5 numunesinin kompaksiyon eğrisi.



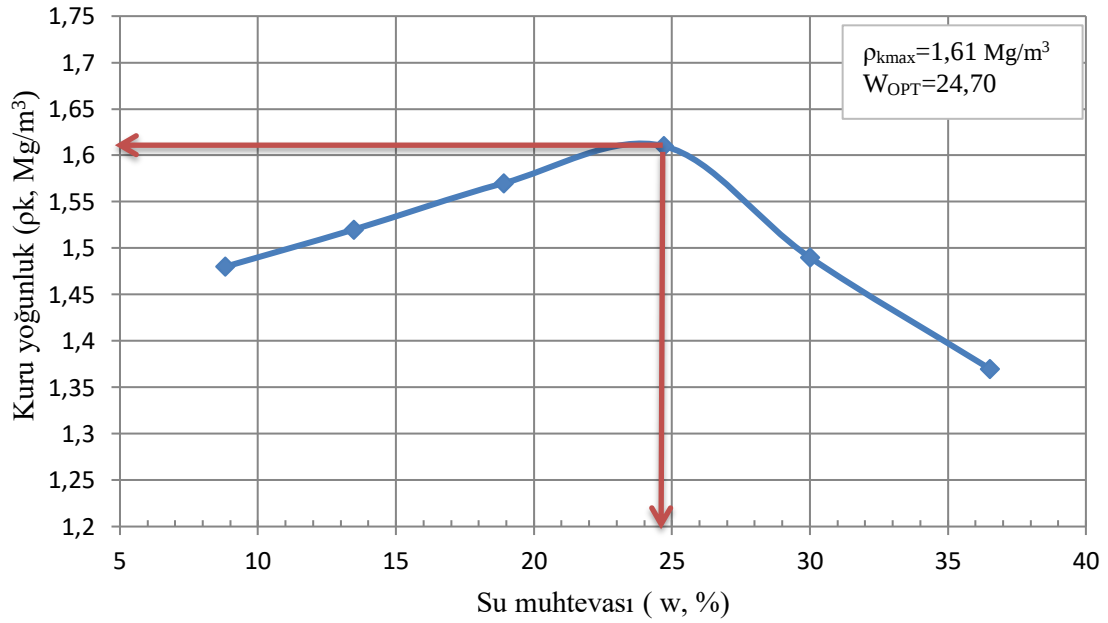
Şekil 40. SM/10 numunesinin kompaksiyon eğrisi.



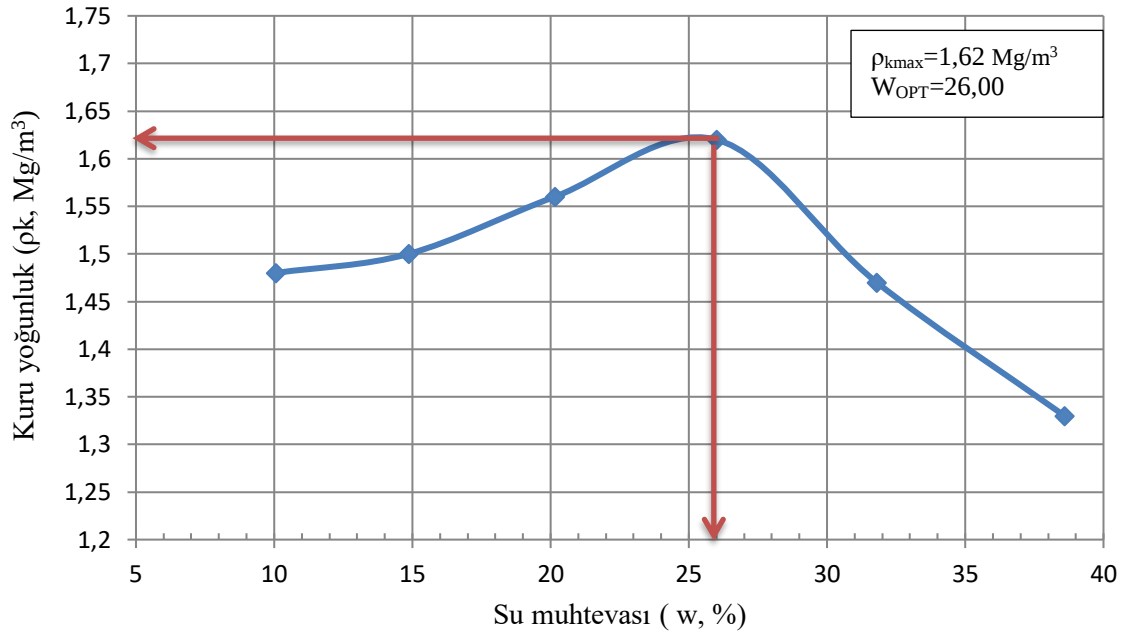
Şekil 41. SM/15 numunesinin kompaksiyon eğrisi.



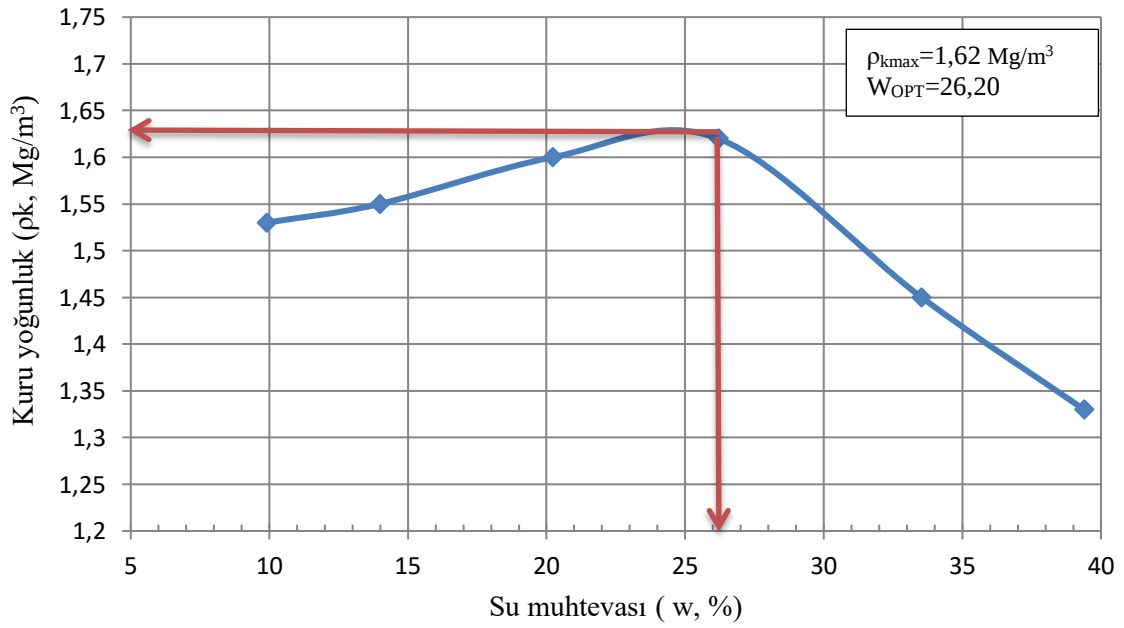
Şekil 42. SM/20 numunesinin kompaksiyon eğrisi.



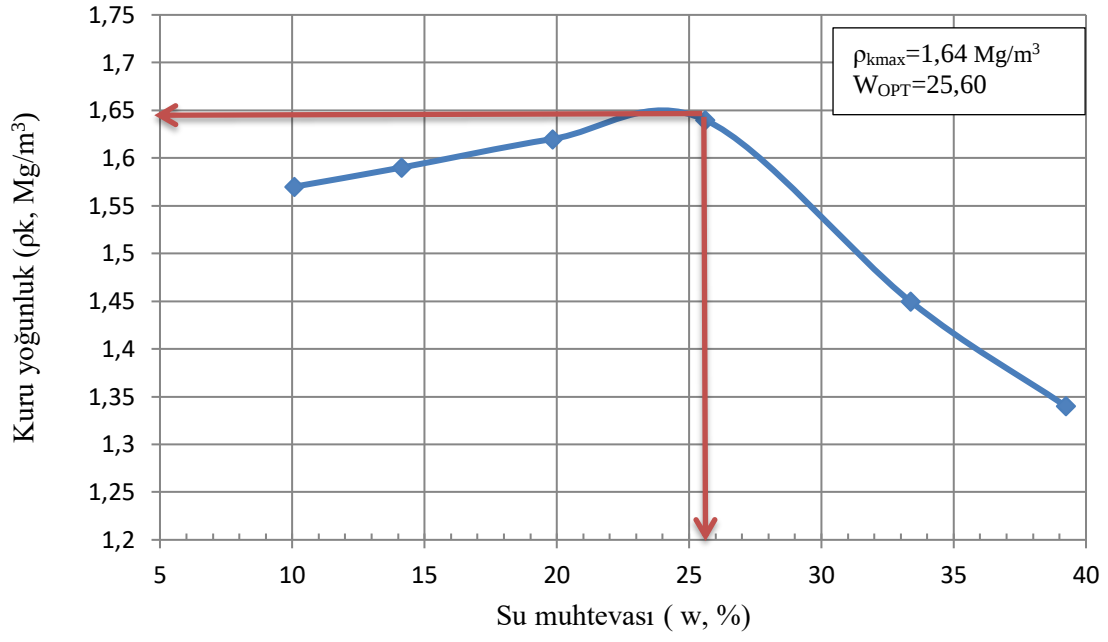
Şekil 43. SL numunesinin kompaksiyon eğrisi.



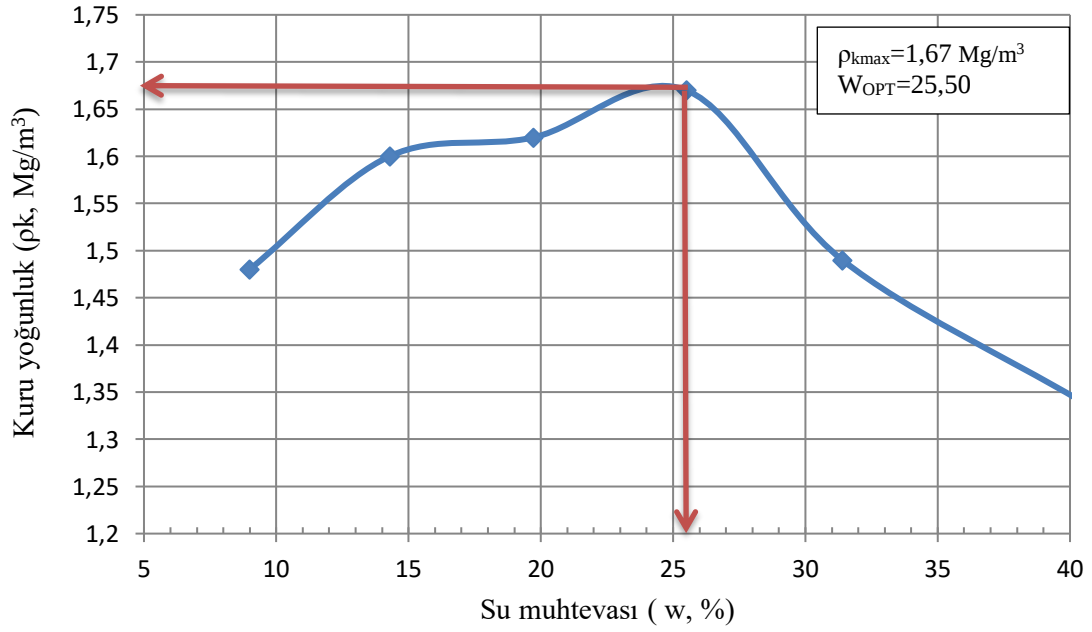
Şekil 44. SLM/5 numunesinin kompaksiyon eğrisi.



Şekil 45. SLM/10 numunesinin kompaksiyon eğrisi.



Şekil 46. SLM/15 numunesinin kompaksiyon eğrisi.



Şekil 47. SLM/20 numunesinin kompaksiyon eğrisi.

ÖZ GEÇMİŞ

Vedat DUMAN, 1994 yılında Mardin’de doğdu. İlköğrenimini İstanbul Çağlayan İlköğretim Okulu ve Mardin Kızıltepe Bağrıbüün İlköğretim Okulunda, orta öğrenimini ise Mardin Mezopotamya Anadolu Lisesi’nde tamamladı. 2013 yılında başladığı yükseköğrenimini Bayburt Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünde tamamladı. Ardından çeşitli kurumlarda yaklaşık 1.5 yıl öğretmenlik yaptı. 2017 yılında Bayburt Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans eğitimine başladı.

