



**TUĞLA ATIKLARININ DÜŞÜK PLASTİSİTELİ KİL
ZEMİN STABİLİZASYONUNDA KULLANILABİLİRLİĞİ**

Harun TUĞLU

**Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Dr. Öğr. Üyesi Fatih YILMAZ
2022
(Her Hakkı Saklıdır)**

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

TUĞLA ATIKLARININ DÜŞÜK PLASTİSİTELİ KİL ZEMİN
STABİLİZASYONUNDA KULLANILABİLİRLİĞİ
(Usage of Brick Dust Waste in Low Plasticity Clayey Soil Stabilization)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Harun TUĞLU

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Fatih YILMAZ

Bayburt

Ocak, 2022

TEZ ONAY SAYFASI

TUĞLA ATIKLARININ DÜŞÜK PLASTİSİTELİ KİL ZEMİN STABİLİZASYONUNDA KULLANILABİLİRLİĞİ

Dr. Öğr. Üyesi Fatih YILMAZ danışmanlığında, İnş. Müh. Harun TUĞLU tarafından hazırlanan bu tez çalışması 19/01/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul görmüştür.

Başkan : Prof. Dr. Erol ŞADOĞLU

İmza :.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Hakan Alper KAMILOĞLU

İmza :.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Fatih YILMAZ

İmza :.....

Bu tezin Bayburt Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili maddelerinde belirtilen şartları yerine getirdiğini onaylarım.

...../...../.....

Doç. Dr . Fatih GÜRBÜZ

Enstitü Müdürü

ETİK BEYANNAMESİ

Hazırlamış olduğum bu tez çalışmasında ki bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar içerisinde elde edildiği ve bu çalışmadaki şahsıma ait olmayan düşünce ve ifadelerin kaynağının kime ait olduğunu bildirdiğimi beyan ederim.

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

Harun TUĞLU



TEŞEKKÜR

Tez çalışmamda, laboratuvarlarında uygulama imkânı bulduğum Bayburt Üniversitesine teşekkür ederim.

Başından bu yana çalışmalarına her türlü desteği benden esirgemeyen, yapıcı tenkitleri ile doğru ve yanlışlarımı gösteren danışman hocam, Sayın Dr. Öğr. Üyesi Fatih YILMAZ'a bütün samimiyetimle teşekkürlerimi sunarım.

Tez aşamalarında manevi desteklerinden dolayı bütün sevdiklerime şükranlarımı sunarım.

Her daim yanımda olan ailem; başta canım annem Sebahat TUĞLU ve canım babam Mustafa TUĞLU'ya, sevgili Eşim Öznur TUĞLU'ya, değerli abim Birol TUĞLU ve kardeşlerim Betül KARAMAN, Burak TUĞLU'ya, çocuklarım Aybars, Berkay, Kutay'a ve deney çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen arkadaşım Selim BİLGİN'e en içten şükranlarımı sunarım.

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TUĞLA TOZU ATIKLARININ DÜŞÜK PLASTİSİTELİ KİL ZEMİN STABİLİZASYONUNDA KULLANILABİLİRLİĞİ

Harun TUĞLU

Ocak 2022, 56 Sayfa

Bu çalışmada, tuğla tozu atıklarının zemin stabilizasyonunda kullanılabilirliği irdelenmiştir. Çalışma kapsamında, düşük plastisiteli kil bir zemine tuğla tozu atığı %0, %5, %10, %15 ve %20 oranlarında kireçsiz ve %6 kireçli olarak karıştırılmıştır. Optimum su içeriklerinde hazırlanan numunelere serbest basınç dayanımı, donma çözülme ve ıslanma kuruma deneyleri yapılmıştır. 28 günlük kür sonunda maksimum dayanım doğal zemin, %6 kireç ve %10 tuğla tozu atığı içeren SLB/10 numunesinden elde edilmiştir. Bu numunenin doğal zemine göre 12 kat, doğal zemin ve %6 kireç içeren SL numunesine göre 2 kat fazla dayanıma sahip olduğu tespit edilmiştir. Donma-çözülme ve ıslanma-kuruma çevrimi sonuçlarına göre tuğla tozu atığı ve kireç katkısı ile hazırlanan SLB numuneleri, sadece tuğla tozu atığı ile hazırlanan SB numunelerine oranla daha durabil bir davranış göstermiştir. Deneylerden çıkan sonuçlara göre, tuğla tozu atığının kireçle birlikte düşük plastisiteli kil zeminde kullanımının dayanım ve durabiliteyi iyileştirdiğini söylemek mümkündür.

Anahtar kelimeler: Zemin stabilizasyonu, kireç, kil, tuğla tozu atığı, serbest basınç dayanımı, donma çözülme, ıslanma kuruma.

ABSTRACT

MASTER THESIS

USAGE OF BRICK DUST WASTE IN LOW PLASTICITY CLAYEY SOIL STABILIZATION

Harun TUĞLU

January 2022, 56 Pages

In this study, the usability of brick dust waste in soil stabilization was examined. Within the scope of the study, a low plasticity clayey soil and brick dust waste were mixed at 0%, 5%, 10%, 15% and 20% without lime and 6% with lime. Unconfined compressive strength, freezing-thawing and wetting-drying tests were performed on the samples prepared at optimum water contents. At the end of 28 days of curing, the maximum strength was obtained from the SLB/10 sample containing natural soil, 6% lime and 10% brick dust waste. It was determined that this sample has 12 times more strength than natural soil and 2 times more strength than SL sample, which contains natural soil and 6% lime. According to the freezing-thawing and wetting-drying cycle results, SLB samples prepared with brick dust waste and lime additives showed a more stable behavior compared to SB samples prepared with only brick dust waste. According to the results of the experiments, it is possible to say that usage of brick dust waste with lime in low plasticity clayey soil improves strength and durability.

Keywords: Soil stabilization, lime, clay, brick dust waste, unconfined compressive strength, freezing-thawing, wetting-drying.

.

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI	i
ETİK BEYANNAMESİ	i
TEŞEKKÜR.....	ii
ÖZ.....	iii
ABSTRACT	iv
İÇİNDEKİLER	v
TABLolar DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	x

BİRİNCİ BÖLÜM

Giriş	1
Amaçlar	5

İKİNCİ BÖLÜM

Kaynak Özetleri	6
Zemin İyileştirme Yöntemleri	6
Mekanik stabilizasyon.	6
Kimyasal stabilizasyon.	7
Kimyasal stabilizasyon metodları.....	8
Yüzeysel stabilizasyon metotları.	8
Katkısız stabilizasyon.	8
Kompaksiyon metodu.	9
Drenaj metodu.	10
Katkılı stabilizasyon.	10
Kireç ile zemin stabilizasyonu.	10
Çimento ile zemin stabilizasyonu.	13
Bitüm ile zemin stabilizasyonu.	14
Uçucu kül ile zemin stabilizasyonu.	15
Atık lastikler ile zemin stabilizasyonu.	16
Mermer tozu ile zemin stabilizasyonu.	17

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

Materyal ve Metod	19
Materyal	19

Metotlar	23
Deneylerde referans alınan standartlar.	23
Zemin sınıflandırması.....	23
Kıvam limitleri deneyleri.	24
Kompaksiyon deneyi.	25
Serbest basınç deneyi.	26
Islanma-kuruma periyodu deneyi.	29
Donma-çözülme çevrimi.	29

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

Araştırma Bulguları	31
Kıvam Limitleri	31
Kompaksiyon Parametreleri	34
Serbest Basınç Dayanımı	36
Durabilite Tetkikleri	39
Islanma - kuruma periyodu.	39
Donma - çözülme çevrimi.	42

BEŞİNCİ BÖLÜM

Sonuçlar ve Öneriler	45
Kaynakça	47
Ekler	51
Öz Geçmiş	56

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. <i>Mekanik İyileştirmede Gerekli Olan Gradasyon Sınırları (AASHTO, 1993)</i>	7
Tablo 2. <i>Sıkıştırma Araçlarının Genel Özellikleri (Tülek, 2007)</i>	9
Tablo 3. <i>Tavsiye Edilen Kireç Karışım Oranları (Ingles,& Metcalf, 1972)</i>	12
Tablo 4. <i>Farklı Zemin Cinslerine Göre Çimento Oranları (Tunç, 2002)</i>	13
Tablo 5. <i>Kireç ile Çimento İyileştirmesinde Durabilite Değerleri (Tunç, 2002)</i>	14
Tablo 6. <i>Uçucu Küllerin Fiziksel Özellikleri (Gücek, 2011)</i>	16
Tablo 7. <i>Uçucu Küllerin Sağlaması Gereken Fiziksel Değerler (Çalık, 2012)</i>	16
Tablo 8. <i>Atık Lastiklerin Mekanik Özellikleri (Alpyürür, 2016)</i>	17
Tablo 9. <i>Deney Numuneleriyle İlgili Adlandırma</i>	20
Tablo 10. <i>Kullanılan Kirecin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri</i>	21
Tablo 11. <i>Tuğla Tozu Fiziksel Özellikleri (Kırgız, 2007)</i>	22
Tablo 12. <i>Tuğla Tozu Ocağından Alınan Numunelerin Kimyasal Özellikleri (Çiftçi,2004 & Kırgız, 2007)</i>	23
Tablo 13. <i>Deneylerle İlgili ASTM Standartları</i>	23
Tablo 14. <i>Deneydeki Numunelerin Kıvam Limitleri Değerleri</i>	31
Tablo 15. <i>SB ile SLB Karışımlarına Ait Kompaksiyon Parametreleri</i>	34
Tablo 16. <i>SB ile SLB Karışımlarının Tek Eksenli Serbest Basınç Dayanım Verileri</i>	36
Tablo 17. <i>Islanma-Kuruma Periyodu Deney Sonuçları</i>	40
Tablo 18. <i>Islanma-Kuruma Deneyi Kütle Kaybı Yüzdeleri</i>	41
Tablo 19. <i>SB ve SLB Karışımlarına Ait Donma-Çözülme Çevrimleri Sonrası Tek Eksenli Basınç Dayanım Değerleri</i>	42

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Zemin İyileştirme Yöntemleri (Yılmaz, 2015).....	2
Şekil 2. Doğal malzeme dane boyutu dağılım eğrisi.	20
Şekil 3. Kirece ait dane boyutu dağılımı.....	21
Şekil 4. Bayburt ili Baykes Tuğla fabrikası atık deposu.....	22
Şekil 5. Düşen koni penetrasyon aleti.....	24
Şekil 6. Standart proktor deneyi yapım aşamaları.	26
Şekil 7. Tek eksenli basınç deneyi düzeneği.....	27
Şekil 8. Hazırlanan numune örnekleri.....	28
Şekil 9. Numunelerin kür edilme aşamaları.....	28
Şekil 10. Deney numunelerinin hazırlanış aşamaları.....	28
Şekil 11. Islanma-kuruma periyodu deneyi.	29
Şekil 12. Donma-çözülme deney düzeneği.....	30
Şekil 13. SB karışımlarına ait likit limit, plastik limit ve plastisite indisi sonuçları.....	33
Şekil 14. SLB karışımlarına ait likit limit, plastik limit ve plastisite indisi sonuçları.	33
Şekil 15. SB ile SLB karışımlarına ait en uygun su içeriği değerleri.	35
Şekil 16. SB ile SLB karışımlarına ait maksimum kuru yoğunluk değerleri.....	35
Şekil 17. SB ile SLB karışımlarının 7 günlük kür sürelerine ait serbest basınç dayanımlarının karşılaştırılması.....	38
Şekil 18. SB ile SLB karışımlarının 28 günlük kür sürelerine ait serbest basınç dayanımlarının karşılaştırılması.....	38
Şekil 19. SB ile SLB karışımlarının ıslanma-kuruma periyodundan görüntüler.	39
Şekil 20. SL ve SLB karışımlarının ıslanma-kuruma periyodundaki kütle kaybı eğrisi karşılaştırması.....	42
Şekil 21. SB ve SLB karışımlarının donma-çözülme çevrimleri sonrası tek eksenli basınç dayanım değerleri.	43
Şekil 22. Doğal zeminin kompaksiyon eğrisi.	51
Şekil 23. SB/5 numunesinin kompaksiyon eğrisi.	51
Şekil 24. SB/10 numunesinin kompaksiyon eğrisi.	52
Şekil 25. SB/15 numunesinin kompaksiyon eğrisi.	52
Şekil 26. SB/20 numunesinin kompaksiyon eğrisi.	53
Şekil 27. SL numunesinin kompaksiyon eğrisi.....	53
Şekil 28. SLB/5 numunesinin kompaksiyon eğrisi.....	54
Şekil 29. SLB/10 numunesinin kompaksiyon eğrisi.....	54

Şekil 30. SLB/15 numunesinin kompaksiyon eğrisi.....	55
Şekil 31. SLB/20 numunesinin kompaksiyon eğrisi.....	55



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}	: En uygun 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
TTA : Tuğla Tozu Atığı

BİRİNCİ BÖLÜM

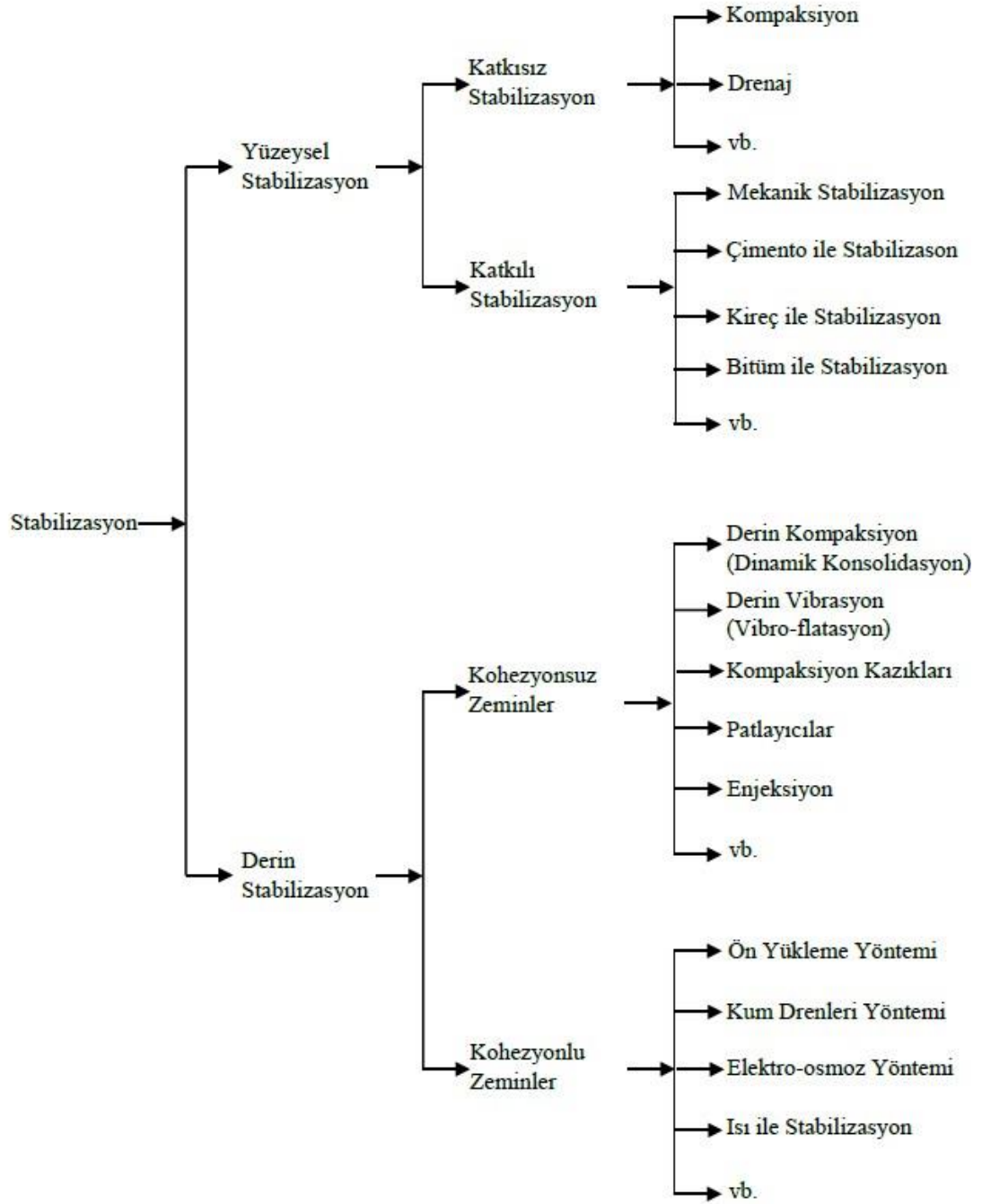
Giriş

Canlıların büyük büyük bir bölümü barınma ihtiyacı duymuştur. Bu canlılardan biri de insandır. İnsanoğlunun zekası tehditler karşısında çeşitli barınma yerleri oluşturmuştur. İnsanların tehditlere karşı ve konfor ihtiyacı doğrultusunda değişik barınma metotları, değişik teknikler kullanmasına neden olmuştur. Bu teknikleri geliştiren ve insanların hizmeti için uğraşan çeşitli meslek dalları doğmuştur. Bugün bu meslek dalları bir disiplin haline gelerek inşaat mühendisliğinin temellerini atmıştır.

Temel inşaat bilimleri ve zemin mekaniği içerisinde yer alan geoteknik, 20.yy başlarında oluşmaya başlamış daha sonra teknolojinin gelişmesiyle inşaat mühendisliği içerisinde ana bilim dalı haline gelmiştir. Geoteknik, zemin üzerine oturtulmak yoluyla oluşturulacak her yapının işlevsel ve güvenli bir şekilde inşası için çalışmaktadır. Bir başka deyişle geoteknik mühendisliği, yapıların oturtulduğu zemin ile yapı arasındaki uyumunu konu eden mühendisliğin bir alt dalıdır.

Yüksek arsa maliyetleri, komşu yapıların güvenliğinin korunması, giderek artan yapı boyutlarının getirdiği büyük gerilme limitleri, artan kentleşme sonucu yerleşim alanlarının azalması neticesinde arsa arzının yetersiz kalması, yapılaşmanın taşıma gücü düşük ve oturmaların fazla olduğu zeminlerde dahi yapılaşmayı zorunlu hale getirmiştir. Bu zorunluluk ise zemin stabilizasyon çalışmalarını kaçınılmaz kılmıştır.

Zemin iyileştirmede, taşıma gücü ve oturma kriterlerini sağlamayan zeminin yeraltı su seviyesinin düşürülmesi, zeminin su içeriğinin eksiltilmesi, mevcut boşlukların mekanik araçlarla eksiltilmesi veya çeşitli bileşimdeki karışımlarla doldurulması fiziksel, kimyasal ve biyolojik metotlar kullanılarak mevcut zeminin güçlendirilmesidir. Zemin stabilizasyonu en genel anlamda, yüzeysel ve derin stabilizasyon vardır. Yüzeysel stabilizasyon ise katkılı ve katkısız olmak ikiye ayrılmaktadır. Zemin iyileştirme uygulamalarının kısa bir özeti Şekil-1 yardımıyla sunulmuştur. Zeminlerin katkılı stabilizasyonunda kimyasal ve mekanik olmak üzere iki metot bulunmaktadır. Herhangi bir zemin kütlesinde kitlesel reaksiyon oluşturmadan, katkı maddesini herhangi bir zemin içine karıştırmadan zemin özelliklerini iyileştirme mekanik stabilizasyon olarak isimlendirilir. Katkı maddesini (kireç, uçucu kül, çimento vb.) zemine karıştırılarak zemin kitlesi içerisinde kimyasal reaksiyon meydana getirerek zeminin amacına uygun hale getirilmesi kimyasal stabilizasyon olarak isimlendirilir.



Şekil 1. Zemin iyileştirme yöntemleri (Yılmaz, 2015).

Killi zeminler, toprağın sahip olduğu neme bağlı olarak büyük oranda hacim değişikliğine (büzülme vs.) uğrarlar. Yıllar geçtikçe ince daneli zeminlerin bu özelliklerinden dolayı temellerde ve yapılarda büyük oranda deformeler görülebilmektedir. Blacklock ve Pengilly (1988) çalışmalarında ince daneli zeminlerin özelliklerinden dolayı her yıl yapıda 5 milyardan fazla maddi ve manevi kayıplar oluştuğunu belirtmişler. Yapılan çalışmalarla doğal afetlerin (deprem, sel vb.) sebep olduğu zararların göre, ince daneli zeminlerin hacminde oluşan ani değişimlerin yapılara verdikleri zararlar daha fazla olduğu belirlenmiştir.

Bu zararların önüne geçebilmek için zeminlerin iyileştirilmesi kapsamında bu zamana kadar birçok endüstriyel alternatif malzeme ile çalışmalar ve uygulamalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda kullanılan malzemelerin bir bölümü doğal malzeme iken diğer bir bölümü ise endüstriyel ürün veya sanayi atığı kaynaklı olarak tedarik edilmiştir.

Endüstriyel atıkların inşaat alanında zemin iyileştirme malzemesi olarak kullanılması günümüz koşullarında sera gazı emisyonlarının azaltılmasına da katkı sunmaktadır. Bu atıkların kullanım ile birlikte işletmelerde geri dönüşüm ve depolamadan kaynaklanan maliyet girdileri de asgari düzeyde tutulacaktır. Bu durumda endüstriyel atık malzemelerin inşaat sektöründe kullanılması artan bir öneme sahip olmuştur. Geoteknik alanında ortaya çıkan teknolojik yenilikler; zemin stabilizasyon metotlarının daha etkili, verimli ve ekonomik olmasını sağlamıştır (Han, 2015). Atık malzemelerin zeminlerin iyileştirilmesinde katkı maddesi olarak kullanılması ekonomik ve çevresel sorunların çözümüne de katkı sağlamıştır. Küresel ölçekte dünya devletlerinde gözlemlendiği gibi Türkiye’de de endüstriyel maddelerin atıklarının büyük bir oranı geri dönüştürülebilir malzeme olarak kabul edilmektedir. Nihai olarak geri dönüşümü mümkün olan malzemelerin zemin iyileştirilmesinde kullanılması ekonomik faydalarının yanı sıra, çevre kirliliğinin olumsuz etkilerine ve depola alanlarına olan ihtiyacın azaltılmasına katkı sunmaktadır.

Bu çalışma kapsamında, tuğla tozu atıklarının (TTA) kil zemin stabilizasyonunda kireçle beraber kullanılabilirliği araştırılmıştır. Endüstriyel bir malzeme olan tuğla tozu atığının tuğla fabrikalarından elde edilmesi ve işlenmesi kolaydır. Zemin iyileştirmede kullanılabilirliği araştırılan Tuğla Tozu Atığı (TTA) kırmızı ve kahverengi renkli kalkerlerdir.

Ülkemizde tuğla-kiremit fabrikaları üretimden dolayı çeşitli yerlere dağılmış ve çok sayıda alt birimlere ayrılmıştır. Fabrikalar hammaddesinin kolay elde edildiği küçük yerlerde yoğunlaşmıştır. İnşaat sektörüne hizmet eden yaklaşık 520 tuğla-kiremit fabrikası bulunmaktadır (Tukder, 2020). Yıllık tuğla ve kiremit hammadde kullanımı 30 milyon ton civarındadır. Ülkemizde tuğla, düşük maliyetle ve basit olarak üretilen tüketimi yaygın bir maddedir.

Ülkemizin yıllık üretim kapasitesi adet olarak bakıldığında 6 milyar adet ve ağırlık baz alınarak bakıldığında ise kapasitesi 19.000.000 tondur. Hammaddenin ocaktan çıkartılıp tuğla haline dönüşünceye kadar geçen zaman diliminde %20–25 civarında bir kayıp yaşanmaktadır. Üretim esnasında meydana gelebilen %20–25 oranındaki kayıp, tuğla üretim maliyetlerini daha da artırmaktadır. (DPT, 1993; Kırgız, 2007)

2005 yılında tuğla üretim kapasitesi %80'lerde olup, Türkiye'de yaklaşık 15.200.000 ton tuğla üretimi yapılmıştır. Tuğla üretiminde atık miktarı yaklaşık %20-25 arasında olduğundan, ülkemizdeki ortalama tuğla atık miktarı, $15.200.000 \text{ ton/yıl} \times 0,25 = 3.800.000 \text{ ton/yıl}$ olarak hesaplanabilir. (DPT, 1993; Kırgız, 2007) Günümüzde bu rakamların daha da yükselmiş olduğu düşünülmektedir. Tuğla atıklarına ait yukarıda gösterilen hesaplardan hareketle Türkiye'de yıllık 3.800.000 ton tuğla atığı olduğu öngörülmektedir. (Kırgız, 2007)

Çeşitli sebeplerden dolayı ortaya çıkan tuğla ve kiremit atıklarının öğütülmesi neticesinde elde edilen atık tozunun spor alanlarında zemin olarak veya başka amaçlarla kullanılabilmektedir. Bu atıklar üzerine yapılan bir araştırmada çeşitli nedenlerden dolayı yaklaşık %7 oranında atık madde çıktığı tespit edilmiştir. Bu kadar büyüklükteki atık materyalin değerlendirilebilmesi çevre kirliliğinin önlenmesine ve sıfır atık planlamalarına uyumlu olarak çalışılmasına büyük katkı sunacak olması nedeniyle oldukça önemlidir. Bu tür maddelerin beton ve sıvaya katkı malzemesi olarak da kullanılabileceği önerilmektedir. Endüstriyel atık birikintileri mutlaka yok edilmelidir. Aksi halde çevreye zararlı hale gelebilirler. Bu durumu göz önüne alan gelişmiş ülkeler, atıkların yeniden üretime kazandırılması çalışmalarına büyük önem vermektedirler. (Kırgız, 2018)

Kireç, uzun zamandır killi zeminlerle kullanılan önemli katkı malzemesidir. Goldberg, & Klein, (1952). Kirecin maliyetinin ucuz olması ve doğada fazla bulunmasından dolayı kireçle iyileştirme yapı, ulaşım vb. alanlarda yaygın uygulanan bir iyileştirme metodudur.

Zeminlerin kireçle iyileştirilmesi sonucunda zeminin yapısında kısa sürede en uygun su içeriği ve CBR değerinde artmalar meydana gelmiştir. Ayrıca proktor yoğunlukları ve plastisite indisinde azalmalar meydana gelmektedir. (Kavak, 1996)

Kireçle stabilizasyonun, zemin direncine etkisinin iyileştirme süreci üzerinden 10 yıl sonrasında bile etkili olduğu tespit edilmiştir. (TRB State of Art Report - 5, 1987)

Eades ve Grim (1966) yaptıkları çalışmalarda, farklı miktarlarda kireç kullanarak serbest basınç numuneleri hazırlanarak çeşitli deneyler yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda artan kireç oranı ile birlikte %200 - %1000 arasında dayanım artışları meydana geldiği görülmüştür.

Yaptığımız bu çalışmada farklı zemin iyileştirme metotları incelenmiş ve sanayi atığı olan tuğla tozu atıklarının zemin iyileştirilmesinde kireç ile beraber kullanılabilirliği laboratuvarında yapılan deneylerle incelenmiştir.

Amaçlar

Yapılan bu çalışmanın temel amacı, tuğla tozu atıklarının zemin stabilizasyonunda kullanılabilirliğinin incelenmesidir. Bu amaç ile tuğla tozu atığının kireçle ve tek başına kil zeminin iyileştirilmesinde kullanılması neticesinde zeminin mühendislik özelliklerindeki (kayma direnci, geçirimsizlik, oturma, dayanım, durabilite vs.) değişimleri araştırılmıştır.

Laboratuvar çalışmaları kapsamında toplamda 108 adet numune serbest basınç ile ıslanma kuruma ve donma-çözülme, hazırlanmıştır. Bu numunelere 7 ve 28 günlük kür süresi uygulanmıştır. Numunelere tek eksenli basınç deneyi uygulanmış ve tuğla tozu atığının hangi oranlarda kullanılmasının daha etkin sonuçlar meydana getireceği tespit edilmeye çalışılmıştır. Ayrıca hazırlanmış olan numunelere (28 günlük kür sonrasında) durabilite davranışlarını tespit edebilmek için ıslanma – kuruma ve donma – çözülme çevrimlerine tabi tutulmuştur.

İKİNCİ BÖLÜM

Kaynak Özetleri

Zemin iyileştirme yöntemleri ve bu yöntemlere ilişkin farklı uygulamalara bu kısımda değinilmiştir.

Zemin İyileştirme Yöntemleri

Zemin, herhangi bir kayacın fiziksel parçalanması veya kimyasal ayrışması ile oluşan taneli, boşluklu doğal malzemedir. Fidan (2016)'a göre kayaçların fiziksel ayrışması sonucunda danelerin yerde kalmasıyla zemin tabakaları oluşmaktadır. Fiziksel etkenlerden dolayı (su, rüzgar vb) bir bölgeden başka bir bölgeye taşınarak zamanla çökerek zemin tabakalarının oluşturmaktadır.

Lambe, Khosla, ve Jayaratne (1990)'a göre zeminlerin özellikleri kimyasal reaksiyonlar sonucu iyileştirilebilir bir yöntemle sahiptir. Yapılan bu iyileştirme çalışmaları kimyasal stabilizasyon olarak adlandırılmaktadır.

Yüzeysel iyileştirmede daha çok mekanik ve kimyasal stabilizasyon yöntemler tercih edilmesine karşın, elektriksel veya termal stabilizasyon yöntemlerde kullanılabilir (Holtz, Kovacs, & Sheahan, 2015). Bu yöntemlerin tercih edilmesiyle gerilme altındaki şekil değiştirmeler, yük etkisinde kalan oturmalar azaltılır, yüzey bozulmalarına karşı direnç artırılır ve sızıntı suyu kontrol edilmiş olur.

İnşaat alanında zemin iyileştirmesi için hangi yöntem seçilirse seçilsin standart penetrasyon deneyi (SPT) ve koni penetrasyon deneyi (CPT) gibi arazi deneyleriyle denetlenmelidir. Hedeflenen özelliklere ulaşınca kadar iyileştirme işlemleri farklı şekillerde tekrarlanmalıdır. (Kayabalı, 2010)

Mekanik stabilizasyon.

Aytekin (2004)'e göre doğal halde iken zeminin dane dağılımı ve plastisite özellikleri istenilen şartları sağlamıyorsa daha fazla sayıda zemini karıştırarak istenilen özelliklere sahip bir zemin elde edilme işlemine mekanik stabilizasyon denir. Mekanik stabilizasyonda zemine herhangi bir katkı malzemesi eklenmeyip mekanik ve kompaksiyon yöntemleriyle zemin özellikleri iyileştirilir.

Winterkorn, ve Fang (1975)'a göre zeminlerde oturmaların azalması, gradasyonun düzeltilmesi, likit limit ve plastisite indisinin düşürülmesi ile durabilite ve dayanımın artırılması mekanik iyileştirme ile sağlanabilmektedir.

Mekanik iyileştirmede hedeflenen sonuçlara erişilmesi karışımın gradasyonuna ve ince kısmın plastik özellikleri faktörlerine bağlıdır. AASHTO'da (1993) Mekanik stabilizasyon karışımlarının uygun olması gereken gradasyon sınırları Tablo 1'de sunulmuştur. Tabloda Tip I kaba gradasyonu, Tip II kumlu zemini göstermektedir.

Tablo 1. *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 (4.75 mm)	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

Dane boyutu büyüdükçe zeminin işlenebilirliği düşmektedir. Benzer şekilde zeminin tane boyutunun düşmesi yüksek su içeriğinde karışmayı güç hale getirmektedir. Zeminin kuru olduğu durumlarda topraklanmalar oluşmakta ve homojen karışımı oluşturmak güçleşmektedir.

Kimyasal stabilizasyon.

Aytekin (2004) 'e göre kimyasal stabilizasyon mekanik stabilizasyondan farklı olarak uygulamada zemine katkı malzemeleri ilave edilerek zeminin iyileştirilmesi sağlanır. Mekanik stabilizasyonun yeterli olmadığı yada uygulanmadığı durumlarda kimyasal stabilizasyon kullanılabilmektedir.

Kukko (2000)'e göre zeminlerin iyileştirilmesinde uygulanan yöntemlerden kimyasal stabilizasyon Mekanik stabilizasyondan daha ekonomiktir.

Kimyasal iyileştirmeyle amaçlanan ana hedefler; zeminin mukavemetini durabiliteyi, taşıma gücünü artırarak geçirimsizliği ve oturmaları düşürmektir.

Mitchell (1993)'e göre zemine uygulanan kimyasal iyileştirmelerde çimentolaşma reaksiyonu ve katyon değişimi olarak iki farklı reaksiyon oluşmaktadır. Fidan (2016)'a göre en etkin kimyasal stabilizasyon katyon değişimi ve çimentolaşma reaksiyonları ile birlikte sağlanabilmektedir.

Kimyasal stabilizasyon metodları.

Önalp, (1983); Day (2004)'e göre daneli enjeksiyonda zemine düşük viskoziteli bir şerbetin enjekte edilmesiyle yapılmaktadır. Daneli enjeksiyon metodunda, daneli şerbetler (çimento, bentonit, kireç puzolan vb.) ile kimyasal enjeksiyon (sodyum silikat vb.) maddeleri uygulanmaktadır. Daneli enjeksiyonda zeminin gradasyonu çok önemli olduğundan iri daneli malzemenin fazla olduğu zeminlerde uygulanabilir her türlü enjeksiyon maddesinin kullanılabilir. Daneli şerbetlerin akıcılığı kimyasal enjeksiyon maddelerinin göre yüksektir. Zemin gradasyonunda inceliğin yoğunluklu olması durumunda enjeksiyonu etkilemekte ve tesirini önemli ölçüde azalmaktadır Daneli enjeksiyon zemin statbilisasyonu iki farklı şekilde yapılmaktadır. Birincisi şerbetin zemin taneleri ile arasındaki bağı güçlendirmesi, ikincisi zemindeki boşlukların enjeksiyon malzemesi ile doldurulmasıdır. Böylece zemindeki boşluk suyu basıncını ve sıkışmayı düşürmektedir.

Day, (2004); Kramer, (2003); Yıldırım, (2002)'e göre zemine enjekte edilecek düşük viskoziteli çimento şerbeti zeminde çatlak oluşturacak şekilde kontrollü olarak yapılır. 4 Mpa uygulayarak zeminde çatlakla oluşturulur enjeksiyon sonrası çatlakların gerilme düzlemine paralel olması istenmektedir. Enjeksiyonun amacı mukavemet artışı ve rijitlik sağlamaktır. Katılma ise enjeksiyon mercekleriyle sağlanır.

Zemine sondaj kuyusu açılarak yatay ve güçlü bir basınçla enjekte edilen çimento şerbetiyle yapılan işleme jet enjeksiyonu denir. Uygulamada şerbetin zeminde farklı noktalara da ulaşılabilmesi amacıyla enjeksiyon deliği döndürülür ayrıca karışıma katkısı olması için su ve hava enjekte edilir. Uygulamanın son aşamasında ise enjeksiyon yavaşça yukarıya çekilerek zemin-çimento karışımı kolonlar oluşturulur. Bu uygulama her tür inorganik zemin ve derinlikte uygulanabilir.

Yüzeysel stabilizasyon metotları.

Derin zemin stabilizasyonunun uygun olmadığı durumlarda uygulanır. Yüzeysel stabilizasyon sıklıkla üst yapı yüklerinin fazla olmadığı yapılar, karayolu ve demir yolu projelerinde uygulanır. Yüzeysel zemin stabilizasyonu katkılı stabilizasyon ve katkısız stabilizasyonu olmak üzere iki bölüme ayrılır.

Katkısız stabilizasyon.

Özaydın, (1989)'a göre zemin gradasyonun uygun olduğu zemine katkı maddesi eklenmeden yapılan iyileştirme uygulamasıdır. Katkısız stabilizasyon, kompaksiyon, drenaj olmak üzere 2 gruba ayrılabilir.

Kompaksiyon metodu.

Kompaksiyon, zeminlerin tabakalar halinde serilerek mekanik enerji aracılığı ile sıkıştırılmasıdır. Kompaksiyon'un amacı Zeminin sıkıştırılarak maksimum kuru yoğunluğu veren su içeriğinin bulunmasıdır.

Kocabey (2019)'a göre katkısız iyileştirme metotlarından olan kompaksiyon kayma mukavemeti ve zeminin taşıma gücünü yükseltir. Zeminde bulunan su taneler arasında yoğunluğu artırır ve tanelerin yeniden yapılanmasına neden olur ayrıca kuru birim hacim ağırlığı artar. Kompaksiyon işlemi yapıldığında su içeriğinin sınır değeri aşılsa zeminin kuru birim hacim ağırlığı düşer. Zeminin en fazla sıkışabildiği su içeriği değerine optimum su muhtevası denir. Buna karşılık gelen birim hacim ağırlığına maksimum kuru birim hacim ağırlık denmektedir.

Çakır (2001)'e göre kompaksiyon işlemi, zeminde oturmaları, geçirimsizliği ve sıkışa bilirliliği azaltırken taşıma gücü, kayma direnci ve birim hacim ağırlığını artırır. Sıvılaşma riski de azalabilir. Kocabey (2019)'a göre sıkışmayı etkileyen etkenler zemin gradasyonu, zeminin türü, zeminin cinsi ve sıkıştırma araçları şeklinde gruplandırılır.

Çakır (2001)'e Kompaksiyon araçları; silindir, tokmak ve vibratör ile yapılmaktadır. Genelde kohezyonsuz zeminlerde genelde düz silindir ile vibratörler kullanılır. Sıkıştırma araçlarının ana özellikleri Tablo 2'de gösterilmektedir (Tülek, 2007). Kompaksiyon metotları; titreşim, darbe, yoğurma ve statik ağırlık şeklinde özetlenebilir.

Tablo 2. *Sıkıştırma Araçlarının Genel Özellikleri (Tülek, 2007)*

Kütlesi (ton)	Hızı (km/saat)	Titreşim (Hz)	Tabaka Kalınlığı (m)	Geçiş Sayısı
0,30-0,10	--	7,00-10,0	0,20-0,40	2,0-4,0
0,06-0,08	1.00	10,0-80,0	0,15- 0,50	2,0-4,0
0,60-2,00	2,00-4,00	25,0-70,0	0,30-0,50	4,0-6,0
6,00-15,0	8,00-10,0	25,0-30,0	0,30-1,50	4,0-6,0
6,00-15,0	6,00-13,0	25,0-40,0	0,30-1,50	4,0-6,0
7, 00	10,0-14,0	--	0,50-3,00	30'a kadar

Drenaj metodu.

Cedergren, (1989)'a göre su zeminlerle ilgili sorunların kaynağını oluşturmaktadır. Zeminlerde su, aşırı doygunluk, sıvılaşma ve benzeri sorunlara neden olur.

Kayabalı, ve Mollamahmutoğlu, (2004)'e göre yer altı suyu zemin mühendisliğinde birçok sorunları beraberinde getirmektedir. Barajlarda borulanma, yollarda çökme, deprem dalgalarının sıvılaşmaya neden olması bunlara örnek olabilir.

Uzuner, (2006)'e göre zeminde sorunlara sebep olan suyun doğal ya da yapay yollarla uzaklaştırılması işlemlerine drenaj denmektedir. Su zeminden uzaklaştırılırsa zeminin kesme dayanımı ve stabilitesi artar. Su miktarının zeminde fazla olduğu durumlarda taşıma gücü ve mukavemeti düşer. Tunç, (2001) 'a göre drenaj yüzeysel ve yer altı drenajı olmak üzere ikiye ayrılır. Dren boruları kullanılarak yeraltı drenajı, hendekler ile uzaklaştırılması yeraltı drenajıdır.

Tunç (2001)'e göre yağışlar nedeniyle akış durumuna geçen suların kontrolünün sağlanması yüzeysel drenajdır. Bu tür uygulamalar da suyun akış debisi ve hedefe uygun olarak drenaj hendeği, düşüm oluğu şeklinde çözümler üretilmektedir. Uzuner, (2000)'e göre belirli eğimlerde hendekler oluşturulur, filtre malzemeleri ile hendek içleri doldurularak suların toplanması ve uzaklaştırılması sağlanır.

Katkılı stabilizasyon.

Kocabey, (2019)'a göre zeminlerin istenilen mühendislik özelliklerine getirilmesi amacıyla kireç, çimento, bitüm, çucu kül vb. katkı maddeleri eklenerek yapılan işlemlere katkılı zemin iyileştirilmesi denir. Bu tür uygulamalarda gradasyon, mukavemet ve durabilite bakımından gerekli asgari değerler dikkate alınmalıdır. Katkılı stabilizasyon uygulamalarında metal cürufu, oto lastiği gibi değişik katkı malzemeleriyle de çalışmalar yapılabilir. Zeminin türü ve özelliklerine bağlı olarak kaldırma kuvveti, geçirimsizlik gibi özellikleri ıslah edilebilmektedir.

Kireç ile zemin stabilizasyonu.

Kızılcıçelik, (2010)'a göre kireç taşının yakılarak toz haline getirilmesiyle oluşan kalsiyum içerikli maddeye kireç denir. İçerik olarak kalsiyum karbonat veya magnezyum karbonat içerir. Bu maddeler dışında kükürt, demir, gibi elementler de değişik oranlarda bulunur.

Ghabaee, (2015)'e göre kireç ile stabilizasyon uygarlıkların doğuşundan günümüze dek süre gelen yöntemlerden biri olarak karşımıza kullanılmaktadır. Yapılan araştırmalarda Romalılar, Babil, Mısır ve Çin gibi uygarlıklar kireçle iyileştirme yöntemini kullandıkları belirlenmiştir. Söz konusu uygarlıklardan Romalıların kireci yol yapımında kullandıkları bilinmektedir. Erkan, (2007)'e göre kireç modern inşaat uygulamalarında ilk kez 1924'te kullanılmıştır. Kireçle iyileştirme günümüz dede otoyollar, demiryolları, havaalanları, yapı inşaatları ile temel ıslahında kullanımı sürdürmektedir.

Tunç, (2002)'e göre killi zeminlerin stabilizasyonunda kireç önemli bir malzemedir. Geçmişten günümüze kadar birçok inşaat yapılarında karayolları, havaalanları ve demiryollarında kireç önemli bir zemin iyileştirme malzemesidir.

Kavak vd., (2008)'a göre CBR değerleri ve basınç dayanımı düşük olan zeminlerde sönmüş veya sönmemiş kireç kullanılarak zemin stabilizasyonu yapılmaktadır.

Ghabaee, (2015)'e göre beyaz renkli olan kireç, türüne göre suda veya havada sertleşme davranışı gösterir. Kirecin suyla karışımı sonrasında inorganik madde özelliği kazandığı görülmektedir. Kalsinasyon reaksiyonu sonucunda ortaya çıkan CaO (sönmemiş kireç), su ile teması halinde söndürülmüş kireç oluşarak ve çevresine ısı yayar.

Sönmüş kireç toz şeklinde iken sönmemiş kireç granüller madde şeklindedir. Sönmüş kirecin egzotermik özelliğinin olmaması zemin iyileştirme yöntemlerinde tercih edilmesine neden olmaktadır.

Süre gelen çalışmalar zemin iyileştirmelerinde sönmemiş kirecin sönmüş kirece nazaran fazlaca etki yaptığını göstermiştir ama sönmemiş kireç egzotermik özelliği sebebiyle çalışma metodu olarak daha tehlikelidir. Bu sebeple sönmemiş kireçle yapılan iyileştirme çalışmaları sırasında, çalışanların iş kazalarına uğrama ihtimali yüksektir.

Özdemir (2007)'e göre kireçle stabilizasyon killi zeminlerin kimyasal yapısını değiştirir. Kireç su ile tepkimeye girerek zeminin şişme özelliğini kaybetmesini sağlayarak zemin stabilizasyonunda üstünlük sağlar.

Ghabaee, (2015)'e göre katkı malzemesi olarak kullanılan kireç her zemine uygun değildir. Organik ve kumlu zeminlere uygun olmayıp çakıllı zeminlerde etkin sonuçlar vermektedir. Mitchell, (1986); Hunter, (1988)'e göre kireç ile iyileştirmelerde sülfat içeren killerde zeminde şişme sorunları oluşmaktadır. Çalık, (2012)'a göre kireç ile yapılacak zemin stabilizasyonunda zeminin sülfat içeriğinin belirlenmesi önemlidir. Zeminde sülfat içeriği belirlenmeden ve genellikle organik madde bulunduran zeminlerde kireçle iyileştirme uygun sonuç vermemektedir. Arman, & Moonfish, (1972)'e göre zeminde organik madde miktarı

%5'den fazla olduğu zaman stabilizasyondaki kimyasal reaksiyonlar durma noktasına gelir. Nelson ve Miller (1992)'e göre organik madde miktarının ıslanma-kuruma çevrimlerinde de zemin stabilizasyonunda olumsuz etkileri vardır.

Pektaş, (2012)'a göre depolanan kirecin hava akımı etkisinde kalması sonucunda karbonasyon olayı meydana gelir. Kireç yüzdesini düşürdüğünden dolayı karbonasyonun gerçekleşmesi istenmez. Kireç karışım değerleri Ingles ve Metcalf (1972) tarafından Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. *Tavsiye Edilen Kireç Karışım Oranları (Ingles,& Metcalf, 1972)*

Zemin Cinsi	Modifiye İçin (%)	Stabilizasyon İçin (%)
İyi derecelenmiş killi akıl	1 - 3	~ 3
Siltli killer	1 - 3	2 - 4
Plastik killer	1 - 3	3 - 8
Yüksek plastisiteli killer	1 - 3	3 - 10
İnce atlaklı kaya	2 - 3	-
Kumlu killer	-	~ 5
Kumlar	-	-
Organik zeminler	-	-

Aytekin (2004)'e göre kireç zeminlerin stabilizasyonunda kullanılabilecek etkili bir maddedir.

Kirecin zemine karıştırılması ile zemine ait plastisite indisinin (PI) azalması, zemin yapısının değiştirilmesi, şişmenin azaltılması, kısa ve uzun vadeli dayanımının artırılması sağlanabilmektedir.

Zeminin sınıflandırılması CH, CL, MH, ML, ML-CL, SC, SM, GC, GM-GC, GM olan ve içeriğinde silt,kil bulunduran ince gradasyonlu zeminler kireçle iyileştirilebilir.

Eades ve Grim (1966)'e göre zemine farklı oranlarda kireç ilave edilerek mukavemet ölçümü yapılmış ve elde edilen verilerle % 200- % 1000 aralığında mukavemet artışları olduğu belirlenmiştir. Kireçle yapılan stabilizasyonun zeminin dayanımına katkısı 10 yılı aşan sürelerde dahi devam edebilir. (Trb, 1987)

Kavak, (1996)'a göre kireçle yapılan iyileştirme zeminde kısa vadede; kuru yoğunlukları, likit limiti düşürmekte, plastik limiti ve CBR değerlerini artırmakta, proktor eğrisini ise dzleştirmektedir. Uzun vadede ise CBR değeri gittikçe artmakta, serbest basınç mukavemeti ve büzülme ile şişmeye karşı stabilite artmakta ayrıca don etkisine karşı direnç yükselmektedir.

Çimento ile zemin stabilizasyonu.

Fidan, (2016)'a göre hidrolik bir bağlayıcı olan çimento su ile reaksiyona girdiğinde sert bir kütle oluşur. Zemin iyileştirmesinde çoğunlukla portland çimento kullanılmaktadır.

Tumluer, (2006)'e göre zeminin stabilizasyonunda, çimento kullanımı etkili bir yöntemdir. Uygulamanın etkili olması sebebiyle havayolu ve karayolu gibi yapıların inşaatında çoğunlukla kullanılmaktadır. Zeminin kuru ağırlığının %5-15'i oranında çimento eklenerek uygulanabilir.

Kılıç, (2008)'a göre kumlu ve killi zeminlerde kullanılır. Bu yöntem akışkan olmayan ve gevşek zeminlerde uygulanması daha uygundur. Çimento eklenmesi zeminin likit limitini azaltırken plastik limit değerini ve işlenebilirliğini de artırmaktadır.

Littlejohn, (1982)'a göre çimento ile zemin iyileştirmede zeminin çeşidi ve su/çimento oranı en önemli etkidir. Su oranının malzemenin mukavemeti ve plastisitesinde önemli bir etkisi vardır. Uzuner (2013)'e göre çimentoyla zemin iyileştirmesinde çimento oranı dayanım testleriyle tespit edilir.

Mitchell, (1993); Demiröz ve Karaduman (2009)'a göre ilk uygulama 1920'li yıllarda Amerika Birleşik Devletlerinde ulaştırma alanında görülmüştür. Ülkemizde ise endüstriyel sektörün gelişmesiyle daha yaygın bir şekilde uygulanmaya başlanmıştır. Havayolu ve karayolu trafik yükünün zamanla artmasıyla bu yolların temel ve alt temel uygulamalarında kullanılmıştır.

Gevşek ve akışkan olmayan zeminlerde kullanıldığında ise diğer zeminlere kıyasla etkindir. Çimentoya uygulanan kür süresi uzadıkça dayanıma olan etkisi artmıştır. Farklı zemin cinslerine göre çimento oranları Tablo 4'de gösterilmiştir.

Tablo 4. Farklı Zemin Cinslerine Göre Çimento Oranları (Tunç, 2002)

AASHTO Zemin Sınıfı	Birleştirilmiş Zemin Sınıfı	Tipik Çimento İçeriği (% ağırlıkça)	Çimento İhtiyacı 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

Kılıç (2008)'a göre stabilizasyonda kullanılacak çimento nemden korunacak, homojen hale getirilecek çimento zemin ile kuru olarak karıştırılacak daha sonra ise su ilavesi yapılmalıdır. Bundan sonra ise sıkıştırma işlemi gerçekleştirilmelidir. Ayrıca, sıkıştırma 2 saatlik süre zarfı içinde sonlandırılmalı ve zemin 30 dakika dinlenmeye bırakılmalıdır. Sıkıştırma işleminden sonra zemin yüzeyinde biriken gevşek malzeme alınmalı ardından uygulamanın amaçlanan değerde olup olmadığı ölçüm yöntemleriyle ölçülerek denetlenmelidir.

Kireç ve çimento ile yapılan katkılı stabilizasyon dayanımının yanı sıra durabilite üzerinde de oldukça etkin sonuçlar verebilmektedir.

Kireç ile çimento iyileştirmesinde durabilite değerleri Tablo 5’de yer almaktadır.

Tablo 5. *Kireç ile Çimento İyileştirmesinde Durabilite Değerleri (Tunç, 2002)*

Zemin Türü	12 Islanma-Kuruma Veya Donma-Çözülme Periyodu Sonucu Numune Ağırlığında İzin 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.

Uzuner (2006)'e göre Bitümlü malzemeler ile yapılan iyileştirmelerde daneler arasında geçirimsiz özellik oluşturmaktadır. Zemine su su geçirmez ve danelerin birbirine yapışmasını sağlamaktadır. Bitüm Kullanılacak yerin kil ve organik maddelerden temizlenmiş olması gerekmektedir. Bu uygulama genellikle karayollarının ve yüzey uygulamalarında kullanılmaktadır. Bu iyileştirme yönteminde %5-10 aralığında asfalt veya katran ilavesi kullanılmaktadır. Fidan (2016)'ya göre Bitüm ile yapılan stabilizasyonda bitüm ısıtılır ve zeminle karıştırılarak kompaksiyon işlemi uygulanır. Özaydın (1989)'a göre bitümle yapılan iyileştirmelerde taneleri kaplayan bitüm ince taneli zeminlerin su ve rüzgar erozyonunu önler, iri taneli zeminlerde kohezyon oluşturmaktadır.

Witczak ve Yolder (1973)'e göre Bitümle yapılacak stabilizasyonlarda bitümün miktarı ve cinsinin stabilizeyi etkilediği, bitümün iklim koşullarına ve zeminin türüne göre seçilmesi gerektiğini, sıcak iklimlerde yavaş sertleşen katbek asfaltları, soğuk iklimler dede çabuk

kuruyan katbek kullanılması gerektiğini belirtmiştir. Soğuk iklimlerde ve fazla miktarda daneli malzeme bulunduran zeminlere hemen kuruyan katbek asfalt kullanılmalıdır. Asfalt emülsiyonları genellikle sıcak iklimlerde yol katranlarının RT-3'den ve RT-10'a kadar olan tipleri ise nemli iklimlerde kullanılır. Bitümlü malzemelerin ekonomik maliyetleri yüksek olduğu için iyileştirmede daha az kullanılmaktadır.

Uçucu kül ile zemin stabilizasyonu.

Anon (2003)'e göre kömürün yanma esnasında yanma kazanlarından dışarı çıkan gazlar taşınan çok ince parçalara ayrılmış tortulara uçucu kül denilmektedir. Bu küller, kömür yakıtı kullanılarak elektrik ve buhar elde eden tesislerden elde edilmektedir. Kömürün hava etkisi ile yanma sağlamak için yanma odalarına hava verilir, yanma sonucu tortular oluşur. Kazanlardan gelen su ısı kazan borularıyla çıkarılarak baca gazının soğuması ve erimiş haldeki mineral tortuların sertleşmesini sağlamaktadır. (Türker, vd.2007), (TUIK, 2008)'e göre günümüzde dünyada oluşacak uçucu kül miktarının, yıllık 600 milyon ton arasında olduğu belirtilmiştir. Ülkemizde Afşin-Elbistan, Çatalağzı, Çayırhan vb. 11 termik santral bulunmaktadır. Bu santrallerden yıllık ortalama 16 milyon ton uçucu kül üretilmektedir. Fakat doğalgaz santrallerinin artmasıyla bu değerler her yıl değişmektedir.

Yıldırım (2002)'e göre yol, alt temel gibi inşaat yapılarında kullanılan ve kimyasal yapı olarak silika, alümina gibi çeşitli bileşikler kapsayan fabrika atıklarıdır. Hidrate kireçle tepkimeye girmektedirler. Stabilizede kullanılmasında uygun oranlar %10-15 uçucu küle %2-10 oranında kireç katılarak uygulanmasıdır.

Atanur (1973)'e göre özgül ağırlık deneyleri ile Uçucu küllerin fiziksel davranışları belirlenir. serbest basınç deneyleriyle de stabilite özelliklerini saptanabilir. Kimyasal analiz yöntemleriyle de kimyasal özelliklerini tespit edilir. Ayrıca kömürün saflığı, çeşidi, öğütme inceliği yanma sistemleri ile fiziksel ve kimyasal özelliklerini etkilemektedir.

Tumluer (2006)'e göre Uçucu küllerin içeriği açısından C ile F sınıfı olmak üzere iki grupta incelenmektedir. Bitümle kömürün yakılması sonucu oluşan uçucu küller F tipi uçucu kül olup Kimyasal yapısında %10'dan düşük CaO olan küller dir. CaO oranı düşük olan bu küller çimentolaşma davranışları kendi başına çok azdır. Fakat kireçle reaksiyona girdiğinde puzolanik özellik gösterir. Linyit kömürünün yakılması ile oluşan küllerde C sınıfı uçucu küllerdir. Kireç oranı yüksektir. Yüksek kireç oranından dolayı başkaca bağlayıcıya gerek duymadan bağlayıcı olarak kullanılabilirler. Tablo 6'da uçucu küllerin fiziksel özellikleri, Tablo 7'de ise uçucu küllerin sağlaması gereken fiziksel değerler gösterilmiştir.

Tablo 6. *Uçucu Küllerin Fiziksel Özellikleri (Gücek, 2011)*

Çap (Mikron)	Renk	Şekil	Yoğunluk(g/cm ³)	İncelik
1 – 200	Gri	Yuvarlak	2.20 - 2.70	Yaklaşık çimento inceliğinde

Tablo 7. *Uçucu Küllerin Sağlaması Gereken Fiziksel Değerler (Çalık, 2012)*

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

Çetin (2011)'e göre yüzeysel zemin iyileştirmelerinde uçucu küller çimento ve kireç gibi davranmaktadır. Uçucu küllerin kimyasal özellikleri tane boyutu uniform dağılımı stabilizasyonda önemli ölçüde etkilemektedir. Yüzeysel zemin iyileştirmelerinde uçucu kül çimento ve kireç gibi davranmaktadır. Mekanik ve kimyasal yöntemlerde etkin malzemedir.

Atık lastikler ile zemin stabilizasyonu.

Emiroğlu (2006)'na göre moleküler yapıları yüksek polimerlerden üretilen malzemelere lastikler en uygun örnektir. Lastikler aynı zamanda çevre direnci yüksek ürünler olup, ekonomik ömürlerini bitirmeleri sonrasında atık lastik sınıfına girmektedirler. Polimer ürünlerin genel özellikleri doğada ayrışmalarının uzun yıllar sürmesidir. Bu yönleri dikkate alındığında lastiklerin geri dönüşümde kullanılması ve yeniden ekonomiye kazandırılması çevre kirliliğinin önlemede önemli yer tutmaktadır. Lastiklerin geri dönüşümleri genellikle lisanslı yakma tesislerinde gerek enerji eldesi gerekse yeni bir ürünün ham maddesi olarak ısıtılma işleme tabi tutularak ekonomiye kazandırılmaktadır.

Çetin (2011)'e göre lastiklerin ham maddesi uzun polimer zincirlerden oluşan kauçuktur. Polimerleri ise küçük molekülü kimyasal maddeler oluşturmaktadır. Kauçuğu oluşturan polimer zincirler birbirleri ile tamamen bağımsız yapıdadırlar. Bu yönleri ile kauçukların bağ kuvvetleri zayıf olup dış etkilere karşı dayanıksız olduğundan elverişli olarak kullanılamazlar.

Atık lastiklerin şeritlerinin özelliklerinin belirlenebilmesi amacıyla bugüne kadar oldukça fazla bilimsel araştırmalar yapılmıştır. Yapılan araştırmalarda lastik atıkların zemin içerisinde meydana gelen oturmaları azaltmasına yönelik bulgular ışığında hafif dolgu malzemesi olarak kullanılabileceği belirlenmiştir. Çeşitli yol temellerinde agrega olarak kullanılan atık lastik şeritlerinin sonuçları incelendiğinde kullanıldığı dolguların taşıma gücü yönünden diğer dolgular kadar iyi performans gösterdikleri görülmüştür. Tablo 8’de atık lastiklerin mekanik özellikleri sunulmuştur.

Tablo 8. *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 hakim 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

Keskin (2009)’e göre Otoyollarda kullanılan dolgularının tasarlanmasında atık lastiklerin esnekliği, dayanıklılığı ve yüksek sürtünme direnci özellikleri önemli görülen değişkenler olarak görülmektedir. Bu nedenle zemin uygulamalarında, atık lastik parçaları tek başlarına kullanımları etkin olmayıp, belirli oranlarda karışımlarla kullanılması daha etkindir. Düşük kayma mukavemetleri nedeniyle dolayı oluşabilecek mühendislik problemlerinin önüne geçilmesi mümkündür.

Mermer tozu ile zemin stabilizasyonu.

Yıldız ve Eskikaya (1995)’ya göre mermer işlenirken çeşitli boyutlarda mermer tozu atığı oluştuğu ve bununda %30 oranında olduğu görülmüştür. Onargan ve Köse (1997)’ye göre bu oran dünya genelinde %41 dir. Bu atıkların çevreye zarar vermesi yanı sıra ülke olarak iktisadi ve ekonomik kayıplar meydana getirmektedir.

Taş (2020)’a göre mermer tozunun uçucu kül ile kullanılmasının serbest basınç dayanımı üzerine etkisini, Bayburt taşının uçucu kül ile yaptığı karışımlarına göre kıyasladığında mermer tozunun daha etkin sonuçları verdiğini tespit etmiştir.

Gücek (2011)’e göre killi zemine uçucu kül ve mermer atıkları ile çalışma yapmış, bu katlılar ile serbest basınç dayanımlarının arttığını şişme yüzdelerinin ise düştüğünü tespit

etmiştir. Ayrıca en etkin katkı oranının %10 mermer atığı ile %20 uçucu kül karışımında olduğunu tespit etmiştir.

Taşpolat (2006)'a göre mermer tozu atıkları oranı artırılarak oluşturulan karışımlara donma çözülme dayanımı testleri yapmış ve mermer tozu oranı artıkça donma – çözülme mukavemetlerinin arttığını tespit etmiştir.



ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

Materyal ve Metod

Çalışmanın ana amacı; tuğla tozu atığının zemin stabilizasyonunda kireçli ve kirecsiz kullanılarak zeminin geoteknik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Çalışma içeriğinde hazırlanmış karışımlara fiziksel ve mekanik özelliklerini tespit etmek için zemin mekaniği deneyleri, referans alınan standartlara göre deney karışımları hazırlanıp, adlandırılarak kür süreleriyle ilgili bilgilere bu kısımda yer verilmiştir.

Materyal

Tez kapsamında; doğal malzeme, tuğla tozu atığı ve kireç kullanılmıştır. Doğal malzeme Bayburt il merkezinde 1,5 m derinliğindeki gözlem çukuru açılarak elde edilmiştir. Bayburt Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Geoteknik Laboratuvarı'na getirilen doğal malzeme deneyler öncesi etüvde 24 saat kurutulmuştur.

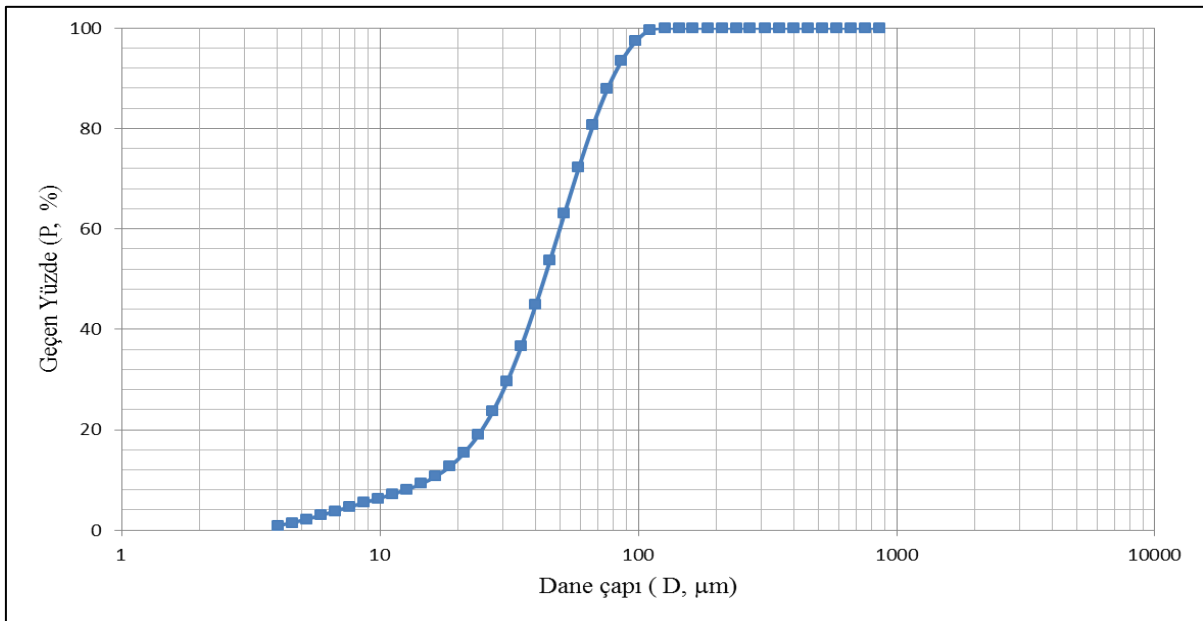
Karışımlarda kullanılan kireç; Karsan Kireç Sanayi Ticaret A.Ş. nin üretmiş olduğu sönmüş kireçtir. Tuğla tozu atığı, Bayburt ilinde Baykes Tuğla Fabrikasından alınan ham ve kırılmış tuğla atıklarıdır.

Deneylerde kullanılan numuneler doğal malzemeye, tuğla tozu atığının ve kireç 'in katılmasıyla elde edilmiştir. Çalışma bünyesinde tuğla tozu atığının kireçli ve kirecsiz numuneler hazırlanarak dayanım, durabilite üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Doğal malzemeye %5, %10, %15 ve %20 oranlarında atık tuğla tozu ilave edilmiş, kireçli ve kirecsiz deney numuneleri hazırlanmıştır. Deney numuneleriyle ilgili isimlendirmeler Tablo 9'da gösterilmiştir.

Tablo 9. Deney Numuneleriyle İlgili Adlandırma

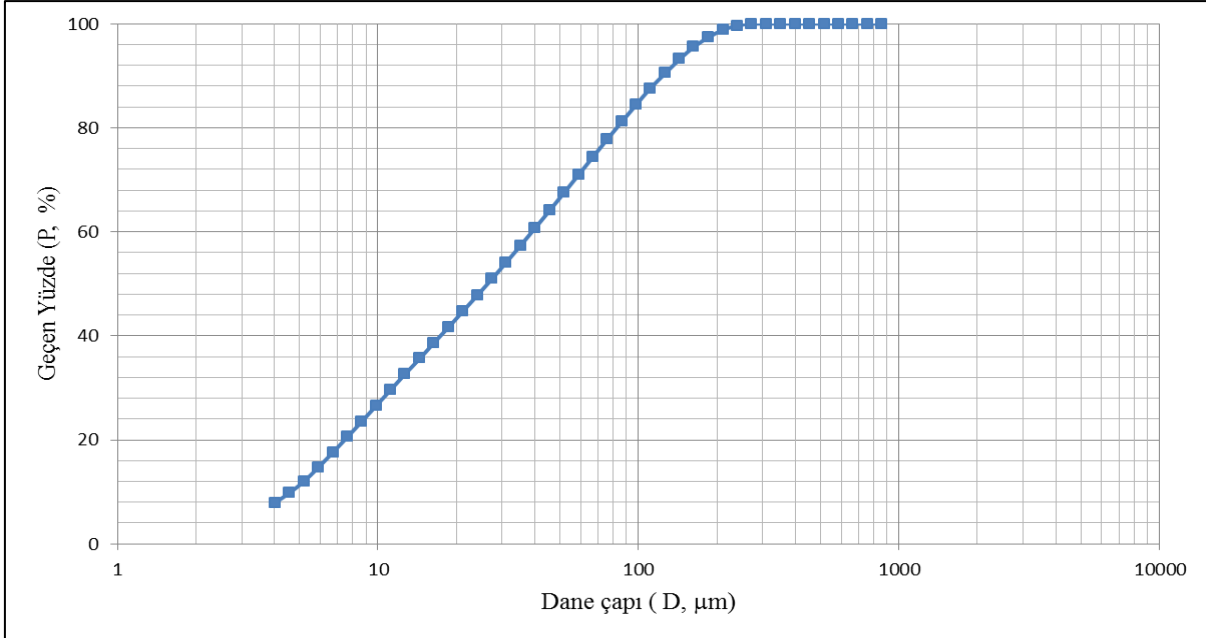
Deney Numunelerinin Karışım Oranları	Notasyon
Doğal zemin	S
Doğal zemin ve tuğla tozu atığı	SB
Doğal zemin ve kireç	SL
Doğal zemin, kireç ve tuğla tozu atığı	SLB
Zemin ve %5 tuğla tozu atığı	SB/5
Zemin ve %10 tuğla tozu atığı	SB/10
Zemin ve %15 tuğla tozu atığı	SB/15
Zemin ve %20 tuğla tozu atığı	SB/20
Zemin, kireç ve %5 tuğla tozu atığı	SLB/5
Zemin, kireç ve %10 tuğla tozu atığı	SLB/10
Zemin, kireç ve %15 tuğla tozu atığı	SLB/15
Zemin, kireç ve %20 tuğla tozu atığı	SLB/20

ASTM D 2487 (2011) standardına göre deney çalışmasında doğal malzeme türü düşük plastisiteli kil (CL) olarak tespit edilmiştir. Şekil 2’te doğal malzemenin dane boyutu dağılım eğrisi sunulmuştur.



Şekil 2. Doğal malzeme dane boyutu dağılım eğrisi.

Deney numunelerinde kullanılan gerekli kireç oranı Yılmaz (2015), Mathew ve Rao (1997) çalışmaları göz önünde bulundurularak %6 olarak alınmıştır. Kirecin dane boyutu dağılım eğrisi Şekil 3’da gösterilmiştir. Kireç’e ait fizikokimyasal özellikler ise tablo 10’da gösterilmiştir.



Şekil 3. Kirece ait dane boyutu dağılımı.

Tablo 10. Kullanılan Kirecin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

KİMYASAL ANALİZİ	
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 ANALİZLERİ	
75 p elek üzeri (%)	3,8
Özgül Ağırlık	2,37
pH Değeri	12,4
Yoğunluk (Mg/m ³)	0,48

Bayburt il merkezindeki Baykes tuğla fabrikası tesisinden alınan tuğla atıkları laboratuvarında öncelikle çekiçle kırılarak uzun çeneli kırıcının haznesinden geçebilecek boyutlara dönüştürülmüştür. Çeneli kırıcıda öğütülen numuneleri silindir bilyeli değirmende öğütülerek toz haline getirilmiş. Öğütülen tozlar 200 mikronluk eleklerden elenendik ten sonra edilmiştir. Elek üstünde kalanlar bilyeli değirmende tekrar öğütülerek istenilen boyuta gelmesi sağlanmıştır.

Tuğla atığı, düzenli kalıplanmamış, renk bozukluğu, çatlak ve boyut bozukluğu olan tuğlalardır. Tuğla yoğun, ince taneli, kenar ve yüzeyleri düzgün, iyi pişmiş, çatlak yarık ve boşlukları bulunmayacak, su emme oranları basınç dayanımları donda dayanıklı ve uygun boyutları, renk bozukluğu, çatlak, gibi şartnameler ve standartlara uymayanları fırında çıkarıldıktan sonra ayıklanarak depolanmaktadır. Deneylerde kullanılan tuğla tozu atığının alındığı fabrikanın fotoğrafları Şekil 4’de verilmiştir.



Şekil 4. Bayburt ili Baykes tuğla fabrikası atık deposu.

Çalışma kapsamında kullanılan Tuğla tozu taşına ait fiziksel analizler Tablo 11’de kimyasal analizler Tablo 12’de verilmektedir.

Tablo 11. *Tuğla Tozu Fiziksel Özellikleri (Kırgız, 2007)*

Yoğunluk (gr/cm ³)	2,79
Özgül Yüzey (blaine) (cm ² /gr)	4400
Su emme oranı (%)	40,1

Tablo 12. *Tuğla Tozu Ocağından Alınan Numunelerin Kimyasal Özellikleri (Çiftçi,2004 ; Kırız, 2007)*

Kimyasal Özellikler	Tuğla Tozu
SiO ₂	58,5
Al ₂ O ₃	16,5
Fe ₂ O ₃	8
CaO	9
MgO	10
SO ₃	11
Na ₂ O	12
K ₂ O	13
LOI(Kızdırma Kaybı)(%)	11,3
TiO ₂ (%)	0,88
pH	11,2

Metotlar

Bu bölümde tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen deneylerle ait standartlara yer verilmiş ve deneylerde kullanılan metotlara değinilmiştir.

Deneylerde referans alınan standartlar.

Tez çalışması bünyesinde uygulanan deneyler ile referans alınan ASTM standartları Tablo 13’da gösterilmiştir.

Tablo 13. *Deneylerle İlgili ASTM Standartları*

Deneyin adı	Standart
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 tane büyüklüğü dağılımının belirlenmesiyle zemin içerisinde diğer geoteknik özellikleri hakkında önemli verilere ulaşılabilir. Zeminin sınıfının belirlenmesinde ıslak elek analizi yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntem ince daneli (74 mikrondan küçük) zemin miktarının fazla olduğu durumlar için kullanılır.

Zemin sınıflandırması, Bileşik Zemin Sınıflandırma Sistemi esas alınarak yapılmıştır. 200 nolu elek altı malzemeye lazer kırınım yöntemi uygulanmıştır.

Kıvam limitleri deneyleri.

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

 nce daneli zeminlerin sınıflandırılmasında kıvam limitlerinin belirlenmesi için ASTM D4318 standardına uygun kıvam limiti deneyleri hazırlanmıştır. Likit limit zeminin kendi ağırlığı altında akabilece i en düşük su muhtevasıdır. Likit limit deneysel olarak Casagrande ya da d   en koni penetrasyon metodu şeklinde iki farklı yolla tespit edilmektedir.

Yapılan deney çalışmasında likit limit tespiti için koni penetrasyon yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntemde bir kabın içine hazırlanan zemin numuneleri dokunma pozisyonuna getirilen koninin kendi kütle etkisi ile 5 saniye süreyle zemine batması sağlanır aynı işlem zeminin değişik su muhtevasında da tekrarlanır. Likit limit Deney konisinin 20 mm batmasına karşılık gelen su içeriği olarak tanımlanır. Deney çalışmasında kullanılan d   en koni penetrasyon aleti  ekil 5’de gösterilmiştir.



Şekil 5. D   en koni penetrasyon aleti.

Bu  alı mamızda 40 nolu elekten elenmi  ve desikatörde 24 saat bekletilen zeminden bir miktar alınarak zemine su ilavesi yapılır en az 10 dakika karıştırılır. Homojen olarak karı tırılmı  zeminden metal deney kabına konularak yüzeyi düzeltilir. Zemine dokunma pozisyonuna getirilecek kadar indirilir ve koni penetrasyon aleti sıfırlanarak deneyi başlatan butona basılarak 5 saniye sonundaki okumaya bakılır. Koni kaldırılır ve koni deliğinin etrafından su içeriğinin tespit etmek için bir miktar numuneden alınır. Bu işlem su içeriği

değişikliği yapılarak tekrarlanır. Aldığımız numunelerin darası bilinen kaba konularak tartılır akabinde su içeriği tespiti için etüve konur. 24 saat etüvde bekletilen numuneler tartılarak elde edilen verilerden 20 mm penetrasyon değerine karşılık gelen su içeriği likit limit olarak tespit edilir.

Plastik limit zeminin plastik kıvamdan yarı katı kıvama geçişi anındaki su içeriğidir. 40 nolu elekten geçmiş ve içerisine bir miktar su katılarak yoğrulmuş malzemenin cam plaka üzerinde avuç içiyle yuvarlanarak 3 mm kalınlıkta oluşan çatlamalara karşılık gelen su muhtevası olarak da tanımlanabilir. 40 nolu elekten geçmiş ve içerisine bir miktar su katılarak yoğrulmuş malzemeden bir miktar alınır ve numune cam levha üzerine konulup avuç içiyle yuvarlanmak suretiyle çubuklar oluşmasına çalışılır. Zemin çubukları 3 mm çapında silindir çubuklar haline gelmeden çatlamar olursa numune üzerine çok az miktarda su ilave edilerek yoğrulur ve tekrar cam üzerinde yuvarlanır. Zemin çubukları 3 mm çapında silindirik çubuklar haline geldiğinde darası bilinen kap içerisine konularak tartılır ve etüve konularak 24 saat beklenir daha sonra etüvden çıkarılan numuneler tartılarak su muhtevası belirlenmiş olur.

Kompaksiyon deneyi.

Kompaksiyon, zeminlerin dayanım, geçirimsizlik ve oturmaya karşı iyileştirilmesi veya erozyon olayına karşı sağlamlaştırılması için tabakalar halinde serilerek sıkışması olarak tanımlanabilir. (Aytekin, 2004)

Kompaksiyon işlemi standart ve ağır kompaksiyon olmak üzere iki şekilde yapılabilmektedir. Tez çalışmamda standart proktor deneyi uygulanmıştır. Proktor deneyimizle azami kuru birim hacim ağırlık miktarına karşılık gelen en uygun su muhtevası değerinin bulunması amaçlanmıştır. Deneyimiz için taban plakası ve yakası ile kompaksiyon kabı, kompaksiyon tokmağı aletleri kullanılmıştır. Kurutulmuş bir miktar zemin alınarak belirli bir oranda su katılarak zemin karıştırılır, hazırlanan bu zemin numunesi standartlara uygun bir şekilde silindir kaba 3 aşamalı olmak ve her aşamasında 25 vuruş yapılarak zemin sıkıştırılır. Daha sonra silindir kaptan çıkarılan malzemeden homojen olarak numune alınarak darası bilinen kapla tartılarak etüve konulur ve su muhtevası belirlenir. Bu şekilde zemine su ilavesi yapılarak en az 5 kez tekrar edilir. Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar ile ρ_k -w grafiği oluşturulur ve kompaksiyon eğrisi çizilir. Çizilen bu kompaksiyon eğrisinden ρ_{max} ile w_{opt} değerleri elde edilir. Standart proktor deneyine ait görüntüler Şekil 6'da gösterilmiştir.

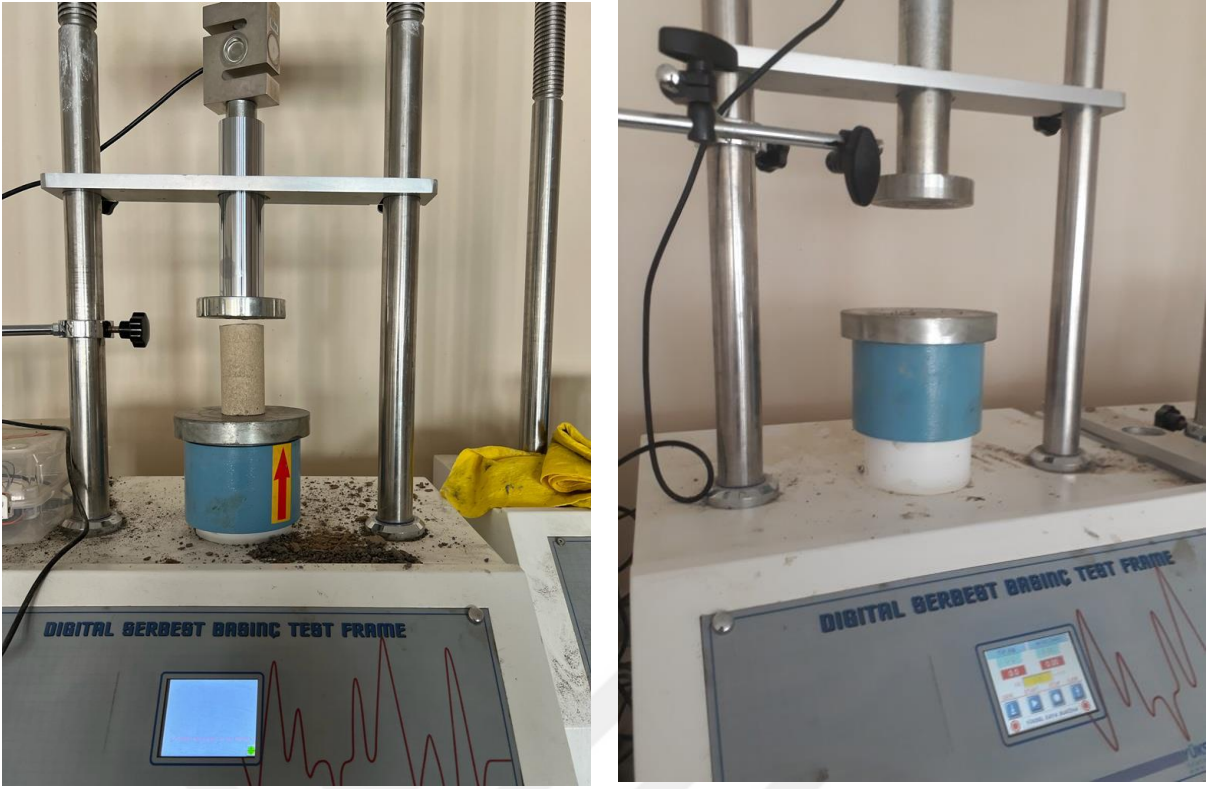


Şekil 6. Standart proktor deneyi yapım aşamaları.

Serbest basınç deneyi.

İnce daneli ve kendini tutabilen zeminlerin tek eksenli basınç dayanımlarının saptanması için yapılan deneydir.

Tez kapsamında hazırlanan numuneler, 50 mm çapında ve 100 mm yüksekliğinde silindirik numunelerden oluşmaktadır. Bu numuneler 7 ve 28 gün süresince kür edilerek desikatörde muhafaza edilmiştir. Şekil 7’de tek eksenli basınç deney düzeneği gösterilmektedir.



Şekil 7. Tek eksenli basınç deneyi düzeneği.

Kompaksiyon deneyi ile en uygun su içerikleri belirlenen karışımlara serbest basınç deneyi yapılmıştır. Deney boyunca 108 adet numune hazırlanmıştır. Serbest basınç dayanımı üzerinde kür süresinin etkisini belirlemek için hazırlanan numuneleri streç film ile sarılarak kür süresince desikatörde bekletilmiştir. Numuneler uygun koşullarda belirtilen sürelerde kür edildikten sonra her kür süresi için 3'er numune hazırlanarak ortalamaları alınmıştır. Belirlenen kür süreleri sonunda tek eksenli basınç deneyleri uygulanmış ve kireç ilavesiz ile kireç ilaveli tuğla tozu atığı katkılı doğal zeminin dayanım değerleri araştırılmıştır. Şekil 8'de numune örnekleri ile Şekil 9'de kür edilme aşamaları gösterilmiştir.

Serbest basınç deneyi killi zeminlerin için kayma dayanımlarının saptanması adına uygulanan bir deneydir. Numunelerde yükseklik/çap oranı ikidir. Bunun sebebi numunelerde meydana gelen kayma düzleminin alt ile üst yükleme başlıklarıyla kesişmesinin önüne geçmektedir.



Şekil 8. Hazırlanan numune örnekleri.



Şekil 9. Numunelerin kür edilme aşamaları.

Serbest basınç deneyi 3 aşamada yapılmıştır. Doğal zemin 4 nolu elekten geçirilmiştir. Elenen zemin %5, %10, %15 ile %20 oranlarında Tuğla tozu ve kireç ilaveli Tuğla tozu standart proktor kalıbına yerleştirilerek sıkıştırılmıştır. Deneyin son aşama ise sıkıştırılmış numunelerin, numune çıkarıcıyla çıkarılıp hazırlanmıştır. Deney numunelerinin hazırlanış süreçleri Şekil 10'da gösterilmiştir.



Şekil 10. Deney numunelerinin hazırlanış aşamaları.

Bu işlemlerden sonra kıvam ve kompaksiyon değerleri önceden bilinen numunelerin ASTM D 2166 standartlarına göre olarak 7 ve 28 günlük kür sürelerinin sonunda dayanımlarını tespit etmek için, tek eksenli serbest basınç dayanım testleri yapılmıştır.

Islanma-kuruma periyodu deneyi.

Hazırlanan numuneler deney için desikatörde 28 gün kür edilerek bekletilir. Desikatör içerisinde bulunan numuneler önce tartılır sonra suya bırakılır daha sonra kütle kaybının ölçülmesi için 24 saat süresince suyun içerisine bekletilirler. Bir gün sonra numuneleri bırakıldıkları su ile dolu deney düzeneğinden alınarak 24 saat süreyle kurumaya bırakılır ve bir gün sonra tartılır. Islanma - kuruma periyodu için hazır hale getirilmiş ve 12 çevirime tabi tutulmuştur. Bu sistem 12 ıslanma-kuruma periyodu olacak şekilde devam eder ve deney sonunda elde edilmiş veriler incelenir numunelerin kütle kayıpları belirlenir. Şekil 11’de numunelerin ıslanma-kuruma periyodu gösterilmiştir. 12 periyot çevrim yapılan numunelerin maksimum ağırlık azalmaları %14 geçmemesi gerekmektedir.(Fidan, 2016)



Şekil 11. Islanma - kuruma periyodu deneyi.

Donma-çözülme çevrimi.

Deney için hazırlanmış numuneler donma – çözülme deneyi için desikatörde 28 gün kür edilmiştir. Sonra bu Deney numuneleri donma- çözülme çevrimi için ASTM D 560 (1996) standartlarına göre - 20 ve 24 °C de 1 gün olmak üzere 7 çevrime tabi tutulmuştur. Donma-çözülme makinasında gerçekleştirilen deney sürecinden sonra numuneler serbest basınç deneyine uygulanmış ve dayanım ölçümleri yapılmıştır. Şekil 12’de donma-çözülme cihazı ve hazırlanan örnekler gösterilmiştir.



Şekil 12. Donma - çözülme deney düzeneği.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

Araştırma Bulguları

Bayburt il merkezinden alınan doğal zeminin, Bayburt il merkezinde bulunan baykes tuğla fabrikasından alınan tuğla tozu atığını ile stabilize edilmesi bu tezin ana konusunu oluşturmaktadır. Bu Tez çalışmasında %6 oranında kireçli ve kireçsiz doğal zemine %5, %10, %15 ve %20 oranlarında tuğla atığı tozu eklenerek numuneler hazırlanmıştır. Bu numunelere kıvam limitleri, serbest basınç, kompaksiyon deneyleri ile durabilite deneyleri yapılmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçların değerlendirilmesi bu bölümde detaylı bir şekilde ifade edilmiştir.

Kıvam Limitleri

ASTM D 4318 (2010) standartları göz önüne alınarak gerçekleştirilen kıvam limitleri deneylerinden elde edilen değerler Tablo 14’de sunulmuştur.

Tablo 14. Deneydeki Numunelerin Kıvam Limitleri Değerleri

Deney Numuneleri	Likit Limit (%)	Plastik Limit (%)	Plastisite İndisi (%)
S	47,8	27,2	20,6
SB/5	54,9	28,5	26,4
SB/10	54	29,8	24,2
SB/15	53,9	30,3	23,6
SB/20	52,9	30,2	22,7
SL	45,5	34,2	11,3
SLB/5	46,8	32,8	14
SLB/10	46,2	33,2	13
SLB/15	44,9	33,7	11,2
SLB/20	43,2	33,6	9,6

Kıvam limit deneyleri karışımlar oluşturulduktan hemen sonra kıvam limit deneyleri yapılmıştır.

Tablo 14’de veriler incelendiğinde Likit limit(LL) değerleri doğal numuneye kireç ilave edilmesi ile azalmıştır. Plastik limit(PL) değeri ise artmıştır.

SB numunelerinin Likit limitleri artan tuğla tozu atığı oranlarında azalışlar göstermiştir.

SLB numunelerin ’de de artan tuğla tozu oranları ile birlikte LL değerlerinde azalmalar meydana gelmiştir.

PL değerleri incelendiğinde doğal numunenin PL değerinin tüm numunelerden düşük olduğu, SB ve SLB numunelerinde artan tuğla tozu atıkları oranı ile birlikte önemli değişim meydana gelmemiştir.

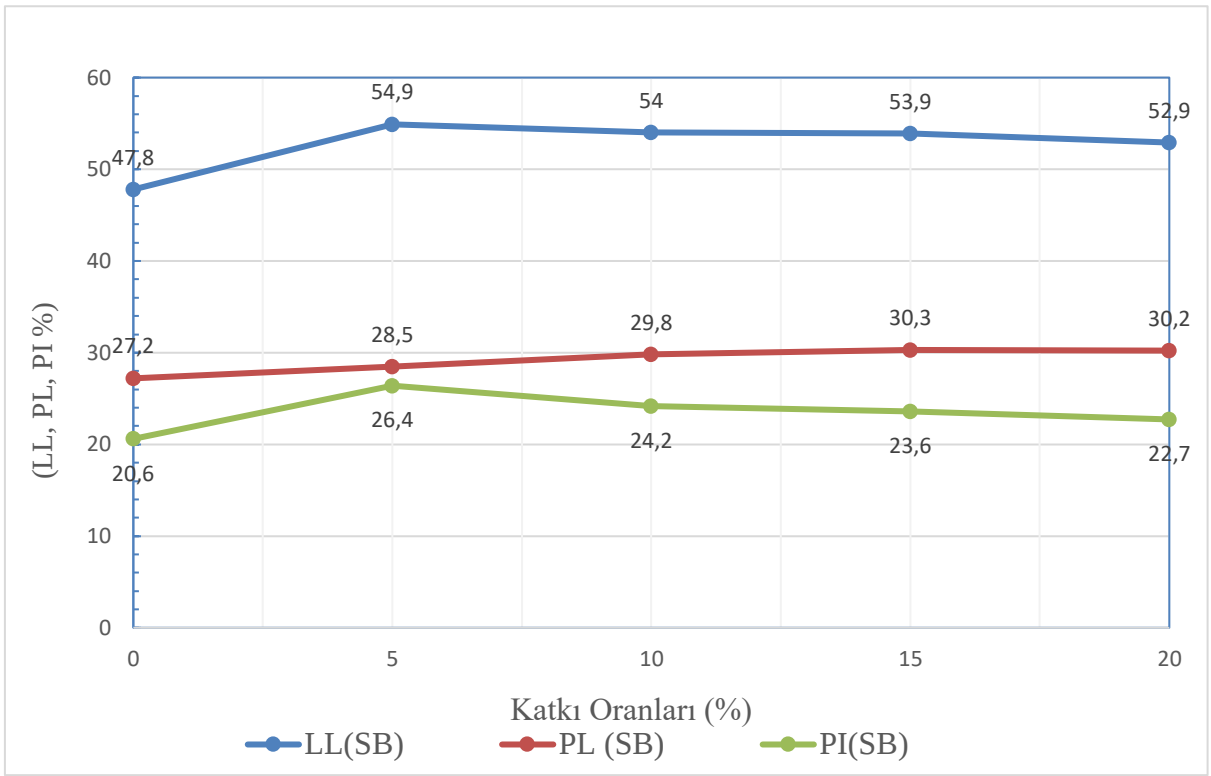
S numunesinin PI (Plastisite İndisi) SB numunelerinden düşük SL ve SLB numunelerinden yüksek çıkmıştır.

SB karışımlarının likit limit değerlerinde artan katkı oranlarında düşüşler görülmüştür. SLB karışımlarında likit limit değerinin en fazla olduğu numune SLB/5’tir, diğer numunelerde az miktarda da olsa düşüşler yaşanmıştır.

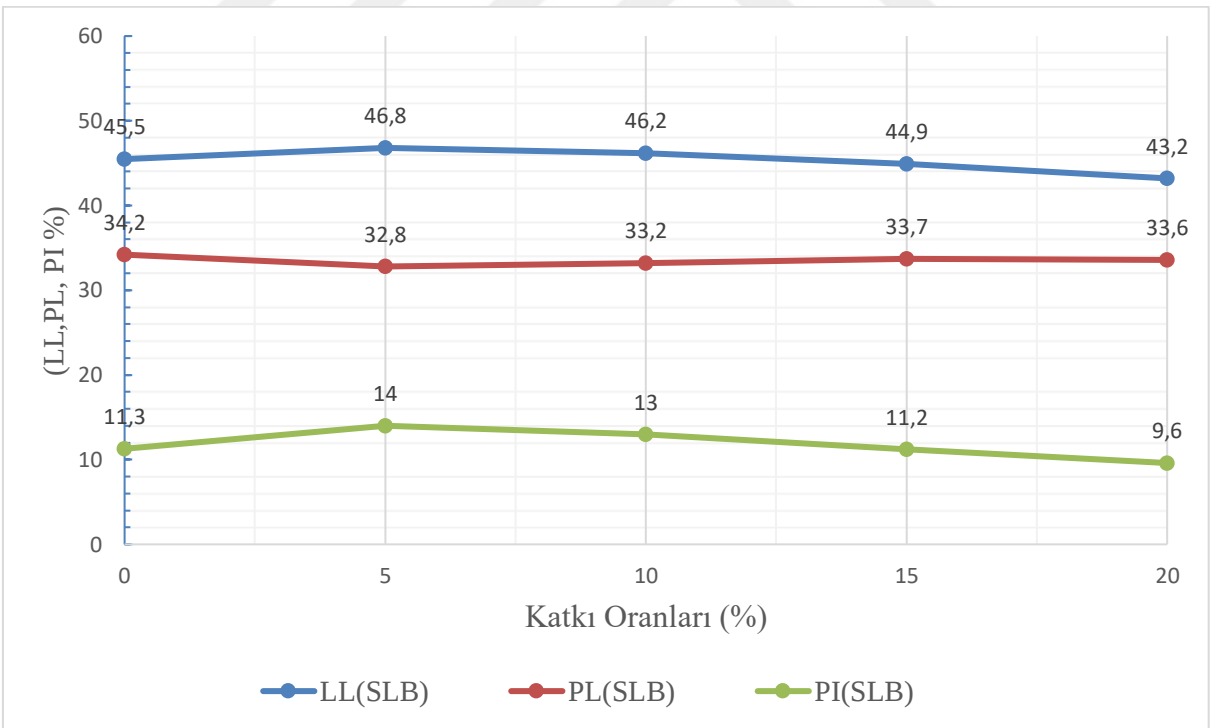
SB karışımlarında tuğla tozu miktarı arttıkça plastisite indisi değerlerinde düşüşler görülmüştür. SB karışımlarının plastisite indisleri SL karışımına göre yüksek olduğu görülmüştür.

SB karışımlarının plastik limit değerleri SLB karışımlarına göre plastik limit değerleri düşük çıktığı görülmüştür. SB numuneleri arasındaki en düşük plastik limit değeri SB/5 numunesindedir.

SB karışımlarına ait LL, PL ve PI grafikleri Şekil 13’te, SLB karışımlarına ait LL, PL ve PI grafikleri Şekil 14’de gösterilmiştir.



Şekil 13. SB karışımlarına ait likit limit, plastik limit ve plastisite indisi sonuçları.



Şekil 14. SLB karışımlarına ait likit limit, plastik limit ve plastisite indisi sonuçları.

Kompaksiyon Parametreleri

Bu çalışmada 10 çeşit karışım hazırlanmıştır. Bu karışımlara toplamda 60 adet kompaksiyon deneyi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen deneyler neticesinde elde edilen veri grafikleri Ek-1’de sunulmuştur. SB ile SLB karışımlarına ait w_{opt} ile p_{max} değerleri Tablo 15’de sunulmuştur.

Tablo 15. SB ile SLB Karışımlarına Ait Kompaksiyon Parametreleri

Numune	Maksimum kuru yoğunluk (Mg/m ³)	En uygun su içeriği (%)
S	1,64	22,8
SB/5	1,65	21,9
SB/10	1,65	21,7
SB/15	1,66	20,9
SB/20	1,66	20,4
SL	1,61	24,7
SLB/5	1,62	25,9
SLB/10	1,62	25,7
SLB/15	1,63	25,2
SLB/20	1,63	24,9

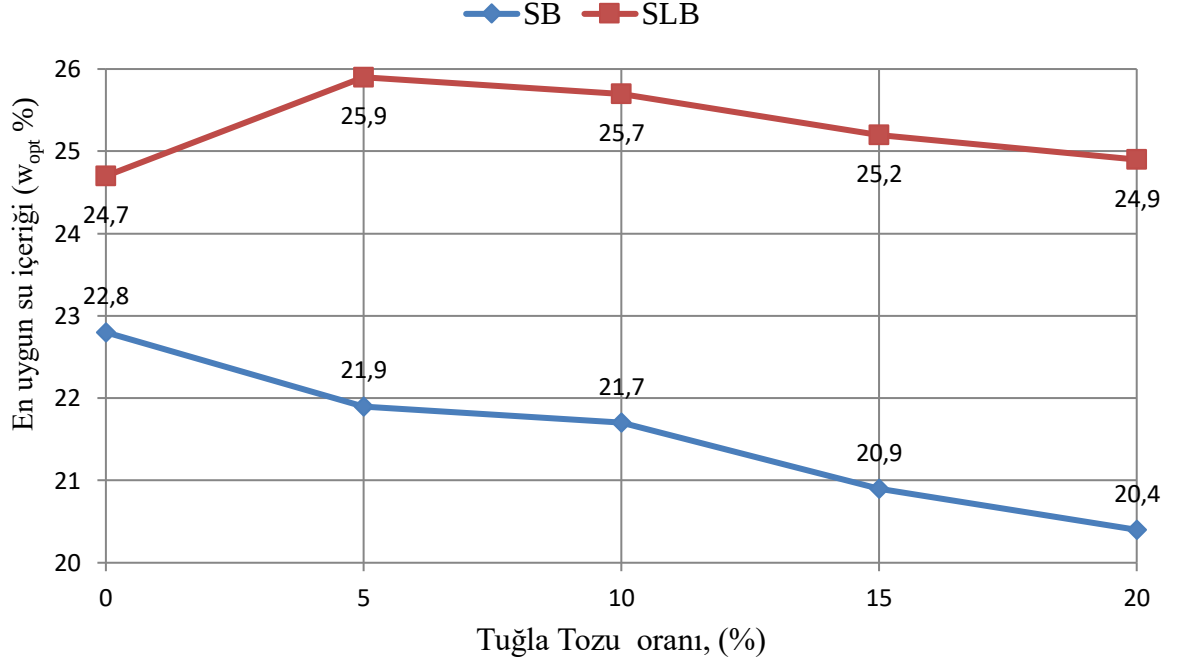
Doğal zemine sadece kireç ilave edilerek yapılan SL karışımının kompaksiyon deneyi sonuçları incelendiğinde, kireçli numunede en uygun su içeriği değerinin doğal malzemeye göre yükseldiği, maksimum kuru yoğunluk değerinin ise düştüğü görülmüştür. Özetle doğal zemine %6 kireç katılmasıyla en uygun su içeriği değeri artmıştır. Maksimum kuru yoğunluk değeri ise azaldığı görülmüştür.

SB numunelerinin doğal zemine göre maksimum kuru yoğunlukları yükselirken, en uygun su içeriklerinde ise azalmalar görülmüştür. SLB karışımlarında doğal zemin göre maksimum kuru yoğunlukları düşerken, en uygun su içerikleri yükseliş göstermiştir. SLB numunelerinin, SL numunesine kıyasla maksimum kuru yoğunlukları ve en uygun su içeriklerinin yüksek olduğu belirlenmiş ve tuğla tozu atığının kompaksiyon değerleri üzerindeki etkisi ortaya konmuştur. SLB ile SB karışımlarının maksimum kuru yoğunluk değerleri SL karışımına göre yükseliş göstermiştir. En uygun su içeriği değerlerine bakıldığında ise SB karışımlarında düşüşler meydana geldiği, SLB karışımlarında küçük yükselişler olduğu görülmüştür.

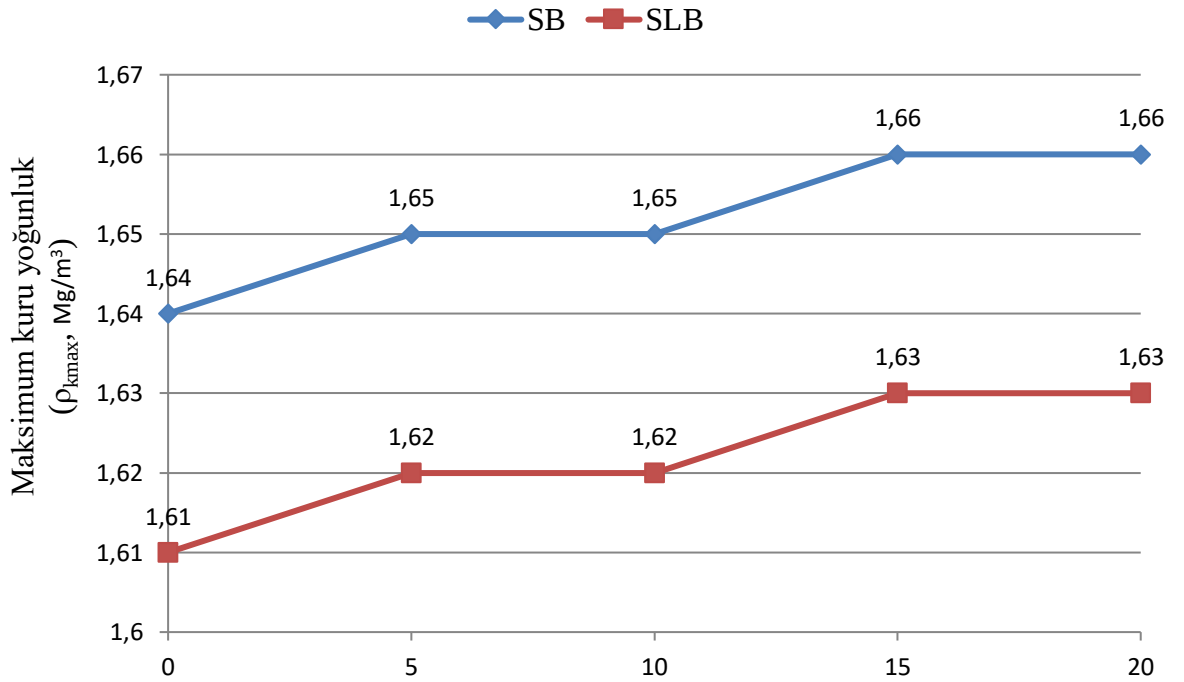
Katkılı karışımların maksimum kuru yoğunluk değerleri 1,61-1,66 Mg/m³ arasındadır. Kireçli numuneler incelendiğinde, en uygun su içeriği değerlerinde %1 ile %1,5 arasında değişimler olduğu görülmüştür. SB karışımların da en düşük optimum su muhtevası değeri, SB/20 karışımında görülmüştür.

Yapılan deneylerde maksimum kuru yoğunluk ve en uygun su içeriğine SLB numunelerinde görülmüştür. SB numuneleri ise en düşük optimum su muhtevasına ve en yüksek maksimum kuru yoğunluk değerleri görülmüştür.

Deney karışımlara ait en uygun su içeriği grafikleri Şekil 15’de, maksimum kuru yoğunluk grafikleri ise Şekil 16’da sunulmuştur.



Şekil 15. SB ile SLB karışımlarına ait en uygun su içeriği değerleri.



Şekil 16. SB ile SLB karışımlarına ait maksimum kuru yoğunluk değerleri.

Serbest Basınç Dayanımı

Çalışma kapsamında serbest basınç dayanımlarını belirlemek için 7 ve 28 günlük kür süreleri ve toplamda 60 adet deney numunesi hazırlanmıştır. Tablo 16’da Tuğla tozu katkılı doğal zemin ile Tuğla tozu ve kireç katkılı doğal zemine ait serbest basınç dayanım sonuçları sunulmuştur.

Tablo 16. SB ile SLB Karışımlarının Tek Eksenli Serbest Basınç Dayanım Verileri

Numune	Tek Eksenli Basınç Dayanımı (kPa)	
	7.gün	28.gün
S	157,8	161,8
SB/5	180,3	201,2
SB/10	215,9	270,5
SB/15	253,2	281,3
SB/20	278,6	302,1
SL	400,3	985,7
SLB/5	680,6	1412,1
SLB/10	939,7	1984,5
SLB/15	917,3	1982,8
SLB/20	900	1497,6

Yapılan Tek eksenli serbest basınç dayanımı deneylerinde 7 ve 28 günlük kür sürelerinde sonuçlar incelendiğinde doğal zemin numunelerinde önemli değişiklik görülmemiştir. SL numunesinin dayanımı doğal zemine göre 7 günlük kür süresi sonunda yaklaşık 2.5 kat, 28 günlük kür süresi sonunda 6 kat artmıştır. Kireç ilaveli karışımların kırım esnasında gevrek bir şekilde davranış sergilediği, kirecsiz karışımların sünek bir kırılma davranışı gösterdiği tespit edilmiştir

SB numunelerinde 7 günlük kür süresinde en fazla dayanım değeri SB/20 numunesinde 278,6 kPa dir. Doğal zemine göre %76,55 oranında dayanımı artmıştır. Doğal zemine, %6 kireç ve tuğla tozu eklendiğinde SLB numunelerinde ise 7 günlük kür süresi sonunda en yüksek dayanım değeri SLB/10 numunesinde 939,7 kPa olarak elde edilmiştir. 7 günlük SLB numunesi doğal zemine göre 5,95 kat, SL numunesine göre 2,35 kat artış göstermiştir.

28 günlük serbest basınç dayanımı değerlerine bakıldığında SB numunelerindeki en yüksek dayanım değeri SB/20 numunesinde 302,1 kPa dır. Doğal zemine göre %86,7 oranında dayanım artışı sağlanmıştır. 28 günlük kür süresi sonucunda SLB numunelerinde en fazla dayanım değeri SLB/10 numunesinde 1984,5 kPa olarak elde edilmiş ve Kireç ilaveli doğal

zemine göre %101 oranında dayanım artışı meydana gelmiştir. SLB/10 numunesi 28 gün kür sonunda doğal zemine göre 12,26 kat dayanım kazanmıştır.

Serbest basınç dayanımı verileri irdelendiğinde sadece kireç içeren SL numunesinin doğal zemin numunesine göre 7 ve 28 günlük kür süreleri sonunda sırasıyla 2,54 ve 6,1 kat dayanım artışı gösterdiği tespit edilmiştir.

Kireç ve tuğla tozu atıkları içeren SLB numunelerinde maksimum dayanımlar SLB numunesinden elde edilmiştir. Bu numunede ise doğal numuneye göre 7 ve 28 günlük kür süreleri sonunda dayanım artışları sırasıyla 5,95 ve 12,26 kat olması, tuğla tozu atıklarının kireçle beraber kil bir zemin stabilizasyonunda kullanılabilir olduğunu ve doğal zeminin mukavemetin dede etkin bir rolünün olduğunu göstermiştir.

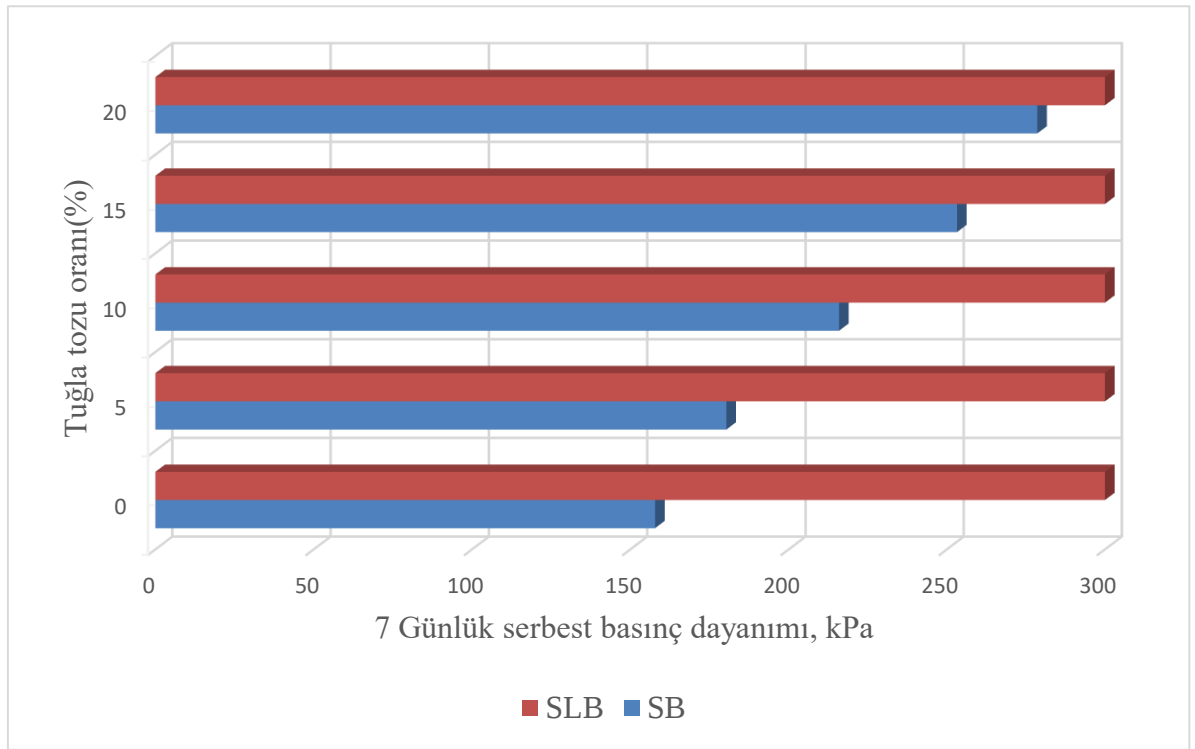
Kireç içermeyen SB karışımlarının sonuçları irdelendiğinde maksimum dayanımlar 7 ve 28 günlük kür süreleri sonunda SB/20 numunesinden elde edilmiştir. Bu numunenin dayanımı doğal zemine göre 7 günlük kür süresi sonunda 1,76 kat, 28 günlük kür süresi sonunda ise 1,86 kat dayanım artışı göstermiştir.

Buradan çıkarılacak ilk sonuç kireçsiz SB numunelerinde kür süresinin etkin olmadığıdır.

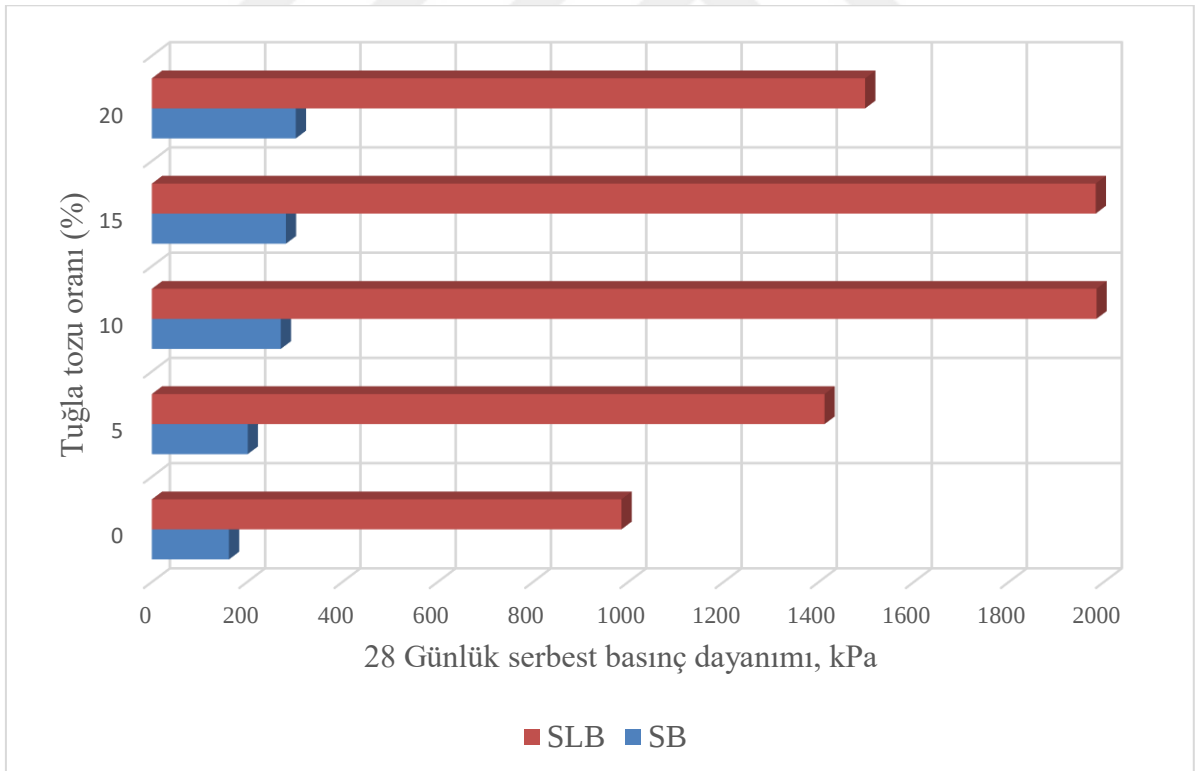
SB numunelerinin dayanım değeri sadece kireç içeren SL numunesinden düşüktür. Buradan çıkarılacak sonuç ise tuğla tozu atıklarının tek başına bağlayıcılık özelliğinin olmadığıdır.

SLB numuneleri ile SB numuneleri kıyaslandığında ise tuğla tozu atıklarının kireçle beraber kullanıldığında etkin performans ortaya koyduğu görülmektedir.

Yapılan tek eksenli serbest basınç deneyi değerlerine göre 28 gün kür sonrası SLB grubunun SB grubuna göre daha iyi dayanım sonuçları verdiği tespit edilmiştir. Karışımların 7 ve 28 günlük kür sonrası serbest basınç dayanım testi verileri Şekil 17 ve Şekil 18'de gösterilmiştir.



Şekil 17. SB ile SLB karışımlarının 7 günlük kür sürelerine ait serbest basınç dayanımlarının karşılaştırılması.



Şekil 18. SB ile SLB karışımlarının 28 günlük kür sürelerine ait serbest basınç dayanımlarının karşılaştırılması.

Duman tarafından 2020 yılında yapılan çalışmada kullanılan aynı doğal zemin ile stabilizasyon Midyat taşı atıkları kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Duman, çalışması neticesinde Midyat taşı atıklarının tek başına kil bir zeminin dayanımında etkin sonuçlar vermediğini tespit etmiştir. Midyat taşı atıklarının kireçle beraber kullanımının 7 günlük kür süresi sonrasında doğal zemine göre 4,65 kat kireçli zemine göre 1,83 kat artış gösterdiği belirlenmiştir. 28 günlük kür süreleri sonunda bu oranlar sırasıyla 9,07 ve 1,49 kat olarak tespit edilmiştir.

Tuğla tozu atıklarının düşük plastisiteli kil zemin iyileştirilmesinde kullanılabilirliğini araştıran bu çalışmada elde edilen dayanım verileri Midyat taşı atıklarına göre daha yüksektir. Buna göre kil bir zemin stabilizasyonu için tuğla tozu atıklarının kireçle beraber kullanılabilirliğinin Midyat taşı atıklarına göre daha uygun olduğu söylenebilir.

Durabilite Tetkikleri

Bu çalışmada farklı çevresel etkilere karşı numunelerin göstereceği dayanım davranışlarını tespit etmek önemlidir. Bu nedenle deney numunelerine ıslanma-kuruma ve donma-çözülme deneyleri uygulanmıştır.

Islanma - kuruma periyodu.

Donma-çözünme deneyi için hazırlanan numuneler 12 çevrim yapılan numunelerin maksimum ağırlık kayıpları ilgili referans aralığına göre %14'ü geçmemelidir. Bu verilere uygunluğun belirlenmesi amacıyla 50 mm çap ile 100 mm yüksekliğinde 9 adet numune hazırlanmıştır. Numuneler 28 gün küre maruz tutulmuştur. 28 günlük kürden sonra 12 ıslanma-kuruma çevrimi uygulanmıştır. Şekil 19'da SB ile SLB karışımlarının ıslanma-kuruma deneylerinden resimleri sunulmuştur. Deney sonucunda Tablo 17'deki sonuçlara ulaşılmıştır.



Şekil 19. SB ile SLB karışımlarının ıslanma - kuruma periyodundan görüntüler.

Tablo 17. *Islanma - Kuruma Periyodu Deney Sonuçları*

Numune/ Gün	S	SB/5	SB/10	SB/15	SB/20	SL	SLB/5	SLB/10	SLB/15	SLB/20
İlk Ağırlık (gr)	377,9	378,4	377,1	379,4	382,1	386,1	382,9	383,9	384,4	385,4
1.Çevrim	375,3	372,9	371,3	376,7	374,6	362,8	367,4	371,9	372,5	371,3
2.Çevrim	-	-	-	-	-	358,4	365,2	370,7	371,4	370,9
3. Çevrim	-	-	-	-	-	350,2	364,2	370,4	370,4	368,8
4. Çevrim	-	-	-	-	-	342,5	362,6	367,6	370,1	365,5
5. Çevrim	-	-	-	-	-	338,7	350,7	366,5	363,3	360,9
6. Çevrim	-	-	-	-	-	322,5	341,6	361,9	360,3	352,7
7. Çevrim	-	-	-	-	-	284,1	317,3	353,7	350,9	348,1
8. Çevrim	-	-	-	-	-	251,6	301,9	344,7	348,9	344,1
9. Çevrim	-	-	-	-	-	-	283,4	333,4	338,6	342
10. Çevrim	-	-	-	-	-	-	268,4	327,9	329,7	341,6
11. Çevrim	-	-	-	-	-	-	254,7	321,3	327,1	341,2
12. Çevrim	-	-	-	-	-	-	248	314,3	321,9	340,7

Yapılan deneylerde SB/5, SB10, SB/15, SB/20 numuneleri ıslanma-kuruma çevrimi sonunda 1.günde hacimsel bütünlüklerini tamamen kaybetmişlerdir.

Doğal zemin numunesi ve SB numuneleri 1 çevrim sonunda durabilitesini tamamen kaybetmişlerdir.

SL numunesi 5. çevrimin sonuna kadar gerekli durabilite kriterlerini sağlarken 8. çevrimin sonunda %34,61 kütle kaybına uğramış ve hacimsel bütünlük tamamen kaybolmuştur.

SLB numuneleri ise 12 adet ıslanma-kuruma periyoduna direnç gösterip hacimsel bütünlüklerini korumuşlardır.12 çevrimden sonra izin verilen kütle kaybı şartını sağlayan sadece SLB/20 numunesidir. Bu da gösteriyor ki kireç ilaveli doğal zemin ve tuğla tozu atığı karışımında Tuğla tozu atığı miktarının artırılması ıslanma-kuruma periyoduna karşı direnci arttırdığı tespit edilmiştir.

SLB/5 numunesi 6 çevrim boyunca durabilitesini korumuş, 12 çevrim sonunda %34,83 kütle kaybına uğramıştır. SLB/10 numunesi 11 çevrim boyunca durabilite kriterlerini sağlayarak SLB/5 numunesinden daha iyi değerlere sahiptir

SLB/10 Numunesi %18,13 kütle kaybına uğramıştır. SLB/15 karışımlarının durabilite değerleri %16,25 dir. SLB/20 karışımı %11,22 kütle kaybı ile bütün çevrimleri %6-14 sınır değerleri arasında kalmıştır.

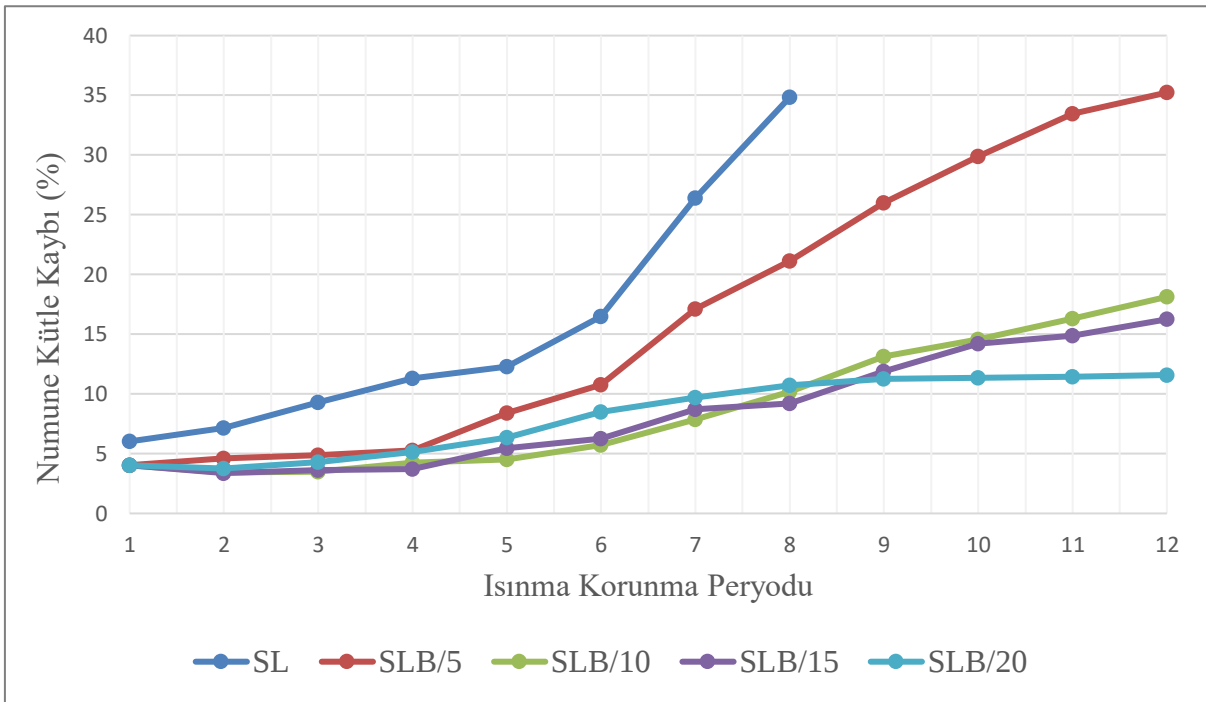
50 mm çapında, 100 mm yüksekliği olan S, SB, SL ile SLB karışım numunelerinin 12 kez ıslanma-kurumaya maruz kalmasından sonra hacimsel stabiliteyi esas alan kriterler incelenmiş ve S, SB ile SL karışım numuneleri hacimsel bütünlüğünü koruyamadığı, SLB numunelerinin hacimsel bütünlüklerini koruduğu belirlenmiştir. SLB/10 numunesi Serbest basınç dayanımı değerlerinde en iyi sonucu vermiş, SLB/20 numunesi de ıslanma-kuruma periyodu deneyinde direnç göstererek başarılı sonuçlar verdiği ve durabilite kriterini sağladığı görülmüştür.

Tablo 18’de ıslanma - kuruma periyodu deney numunelerinin her birinin kötü kaybı yüzdeleri verilmiştir.

Tablo 18. *Islanma - Kuruma Deneyi Kötü Kaybı Yüzdeleri*

Numune/Kayıplar (Gün, %)	S	SB/ 5	SB/ 10	SB/ 15	SB/ 20	SL	SLB/ 5	SLB/ 10	SLB/ 15	SLB/ 20
İlk Ağırlık (%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
1. evrim	0,68	1,45	1,53	0,71	1,96	6,03	4,04	3,12	3,09	3,65
2. evrim	-	-	-	-	-	7,17	4,62	3,43	3,38	3,76
3. evrim	-	-	-	-	-	9,29	4,88	3,51	3,64	4,3
4. evrim	-	-	-	-	-	11,29	5,3	4,24	3,72	5,16
5. evrim	-	-	-	-	-	12,27	8,4	4,53	5,48	6,35
6. evrim	-	-	-	-	-	16,47	10,78	5,73	6,26	8,48
7. evrim	-	-	-	-	-	26,41	17,13	7,86	8,71	9,7
8. evrim	-	-	-	-	-	34,83	21,15	10,21	9,23	10,74
9. evrim	-	-	-	-	-	-	25,98	13,15	11,91	11,26
10. evrim	-	-	-	-	-	-	29,9	14,58	14,22	11,36
11. evrim	-	-	-	-	-	-	33,48	16,3	14,9	11,46
12. evrim	-	-	-	-	-	-	35,23	18,13	16,25	11,59

Islanma-kuruma periyoduna deneyi sonucunda SL ve SLB numunelerinin bulunan kötü kaybı yzdelерinin grafikleri Şekil 20’de verilmiştir.



Şekil 20. SL ve SLB karışımlarının ıslanma - kuruma periyodundaki kütle kaybı eğrisi karşılaştırması.

Donma - çözülme çevrimi.

Bu çalışma kapsamında hazırlanan numunelere donma-çözülme çevrimi uygulanmıştır. Bu çevrim 28 günlük külden sonra 7 tekrarlı şekilde yapılmış ardından serbest basınç dayanımı verileri elde edilmiştir. Donma - çözülme çevrimi için toplamda 3 numune ve birinden 3'er adet olmak üzere hazırlanmıştır. Karışımlara ait donma - çözülme çevrimi sonrası dayanım değerleri tablo 19' da sunulmuştur.

Tablo 19. SB ve SLB Karışımlarına Ait Donma - Çözülme Çevrimleri Sonrası Tek Eksenli Basınç Dayanım Değerleri

Numune	Tek Eksenli Serbest Basınç Dayanımı (kPa)
S	53,9
SB/5	66,2
SB/10	103,6
SB/15	129,6
SB/20	170,2
SL	528,3
SLB/5	783,9
SLB/10	940,7
SLB/15	999,4
SLB/20	911,5

Donma - çözülme çevrimi sonrasındaki 28 günlük serbest basınç değerleri incelendiğinde SB ile SLB karışımlarının serbest basınç değerlerinde düşüşler meydana geldiği belirlenmiştir.

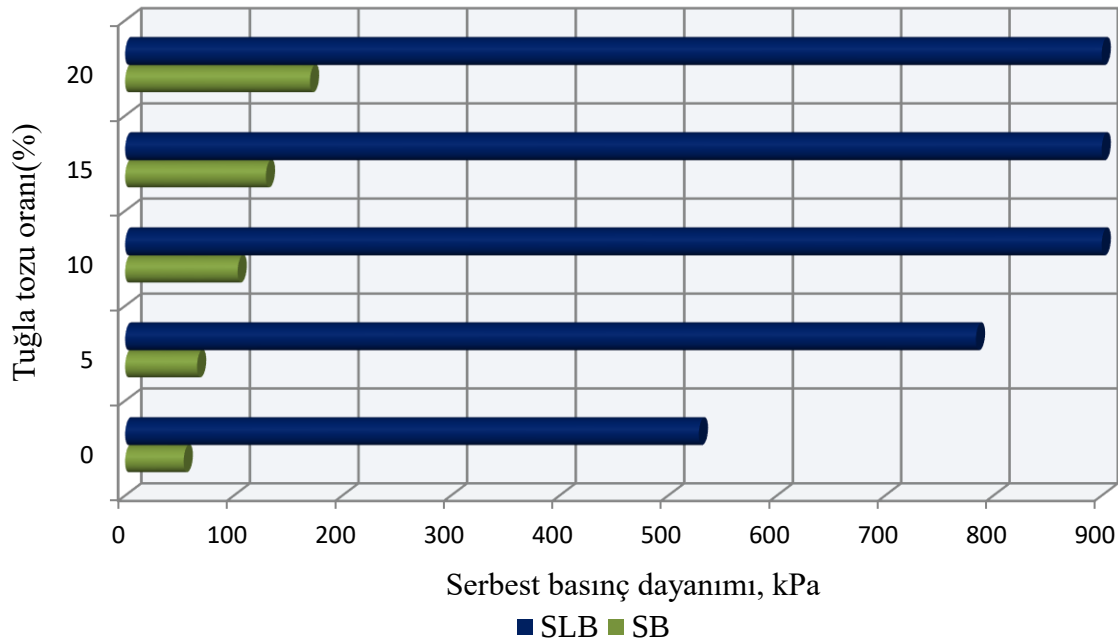
SB karışımları donma-çözülme sonrası dayanım değerleri 28 günlük küre tabi tutulan numunelerinin dayanım değerleri ile karşılaştırıldığında SB karışımlarında %43 ile %50 gibi bir oranda dayanımda düşüş görülmüştür. SB/5, %67 dayanım kaybıyla 201,2 kPa'dan 66,2 kPa'ya kadar düşmüştür. SB karışımlarında en fazla dayanım kaybı SB/5 numunesinde görülmüştür.

SLB karışımlarında ise %39-%53 oranında dayanım kaybı yaşanmıştır. SLB/10, %53 dayanım kaybıyla 1984,5 kPa'dan 940,7 kPa kadar düşüş görülmüştür. Dayanım kaybının en fazla olduğu numune SLB/10 numunesinde görülmüştür.

SLB karışımlarının donma - çözülme sonrası en fazla dayanım değeri 999,4 kPa olan SLB/15 karışımında meydana gelmiştir. Tuğla tozu atığı oranının artışı dayanımı arttırmıştır.

Kirecsiz Tuğla tozu ile yapılan karışımların, kireç ilaveli tuğla tozu ile yapılan karışımlara nazaran donma - çözülme yüzde değişim farkının daha fazla olduğu görülmüştür. SLB numunelerinin, SB numunelerine göre donma-çözülmede daha etkin olduğu görülmüştür. Kireç, tuğla tozu birlikte kullanımının daha güçlü dayanım sonuçlarına ulaşılmaktadır.

SB ile SLB karışımlarına ait donma-çözülme çevrimi sonrası tek eksenli dayanım testi veri sonuçları Şekil 21'de verilmiştir.



Şekil 21. SB ve SLB karışımlarının donma-çözülme çevrimleri sonrası tek eksenli basınç dayanım değerleri.

Duman tarafından yapılan çalışma ile bu çalışmada donma-çözölme verileri karşılaştırıldığında tuğla tozu atıklarının Midyat taşı atıklarına göre donma-çözölme çevrim sonrasında daha yüksek dayanım performansı ortaya koydukları görölmüşür.



BEŞİNCİ BÖLÜM

Sonuçlar ve Öneriler

Düşük plastisiteli kil zeminin stabilizasyonunda, %6 oranında kireçli ve kirecsiz %5, %10, %15 ve %20 katkılı tuğla tozu atığının kullanılmasıyla hazırlanan numunelerinin dayanım ve durabilite tetkiklerinin yapıldığı bu çalışma sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- ✓ Kirecsiz numunelerin kıvam deneyleri verilerine göre LL ve PI değerlerinde düşüşler meydana gelirken, PL değerlerinde artış tespit edilmiştir. SL numunesinde doğal zemine göre LL ile PI değerlerinde düşüş olurken, PL değerinde artış meydana gelmiştir. SLB numunelerinin, SB numunelerine göre likit limit ve plastisite indisi değerlerinde düşüşler oluşurken, plastik limit değerlerinde artışlar tespit edilmiştir.
- ✓ SB karışımlarına ait kompaksiyon değerleri incelendiğinde doğal zemine göre maksimum kuru yoğunlukları artmış, optimum su muhtevaları azalmıştır. SLB karışımlarının doğal zemine göre maksimum kuru yoğunluk değerlerinde önemli derecede farklar görülmemiştir fakat optimum su muhtevalarında önemli artışlar olduğu belirlenmiştir.
- ✓ SB numuneleri 7 günlük kür süresi sonunda doğal zemine göre 1,76 kata varan dayanım artışları göstermiştir. SLB numunelerinde, SB numunelerine göre 5,95 kata varan artışlar olduğu görülmüştür. SB karışımlarında en yüksek dayanım değeri SB/20 numunesinden, SLB karışımlarında ise SLB/10 numunesinden elde edilmiştir.
- ✓ SLB karışımlarının 28 günlük serbest basınç dayanım verilerine göre en yüksek değer 1984,5 kPa olarak SLB/10 numunesinde meydana gelmiştir. SB karışımlarında en yüksek dayanım SB/20 numunesine ait olup 302,1 kPa değerindedir. SL numunesinin 28 günlük kür sonundaki serbest basınç dayanımı, doğal zeminin dayanımından 6 kat fazladır. SLB/10 numunesinin 28 günlük kür süreci sonrasında tek eksenli serbest basınç dayanımı SL numunesine göre yaklaşık %101 artmıştır. SLB numunelerinde, farklı kür sürelerinin dayanım değerlerinde etkili olduğu görülmüştür.
- ✓ İslanma kuruma deneyi verilerine göre sadece tuğla tozu atığı ve doğal malzeme içeren SB/5, SB10, SB/15 ve SB/20 numuneleri ilk ıslanma-kuruma çevrimi sonrasında hacimsel bütünlüklerini tamamen kaybetmişlerdir. SL numunesi 8. çevrim sonunda hacimsel bütünlüğünü kaybetmiştir. SLB karışımları irdelendiğinde, numunelerin 12

ıslanma kuruma çevrimi sonrasında hacimsel bütünlüklerini korudukları gözlemlenmiştir. Tuğla tozu atığının tek başına kullanılmasının ıslanma kuruma deneylerinde etkin olmadığı fakat kireçle birlikte kullanımında etkin olduğu belirlenmiştir.

✓ Donma-çözülme deneyi sonuçlarına göre en yüksek dayanım SLB/15 numunesinden elde edilmiştir. SLB numunelerinde, SB numunelerine oranla daha az bir dayanım kaybı meydana gelmiştir. Buna göre, tuğla tozu atıklarının kireçle beraber kullanılmasının donma-çözülme verileri üzerinde daha etkin olduğunu söylemek mümkündür.

✓ Tuğla tozu atıklarının düşük plastisiteli kil zemin stabilizasyonunda kireçle beraber kullanılmasının tek başına kullanılmasına göre daha etkin sonuçlarının olduğu tespit edilen bu çalışma, geçirimsizlik, şişme gibi farklı deneyler yapılarak genişletilebilir. Bunun yanı sıra, elde edilen laboratuvar deneyleri arazi deneyleriyle desteklenebilir.

Kaynakça

- American Association of State Highway and Transportation Officials. (AASHTO). (1993). Guide for Design of Pavement Structures. USA: AASHTO M 147, 63-65.
- Alpyürür, M. (2016). *Zemin iyileştirmesinde öğütülmüş gaz beton kullanımı* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 439701) Ankara: T. C. Bayındırlık Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü Yayınları (s.219).
- Anon, 2003; "Flyash Facts for Highway Engineers", American Coal Ash Association, Technical Report Documentation Page, 1-75.
- 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, USA.
- 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,USA.
- ASTM D 698, (2007). *Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort*, ASTM, Pennsylvania,USA.
- ASTM D 934, (2003). *Standard Practices for Identification of Crystalline Compounds in Water- Formed Deposits*, ASTM, Pennsylvania,USA.
- ASTM D 2166, (2006). *Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil*, ASTM, Pennsylvania,USA.
- ASTM D 2487, (2011). *Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)*, ASTM, Pennsylvania,USA.
- ASTM D 4318, (2010). *Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils*, ASTM, Pennsylvania,USA.
- Atanur, A. (1973). *Kireç Stabilizasyonu ve Yol Yapımındaki Tahkikatı*. Ankara: Karayolları Genel Müdürlüğü Matbaası 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). *Deneyisel 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.
- Cedergren, H. R. (1989). *Seepage, Drainage, and Flow Nets* (3. Baskı). Florida: John Wiley and Sons Inc, 232-255.
- 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)

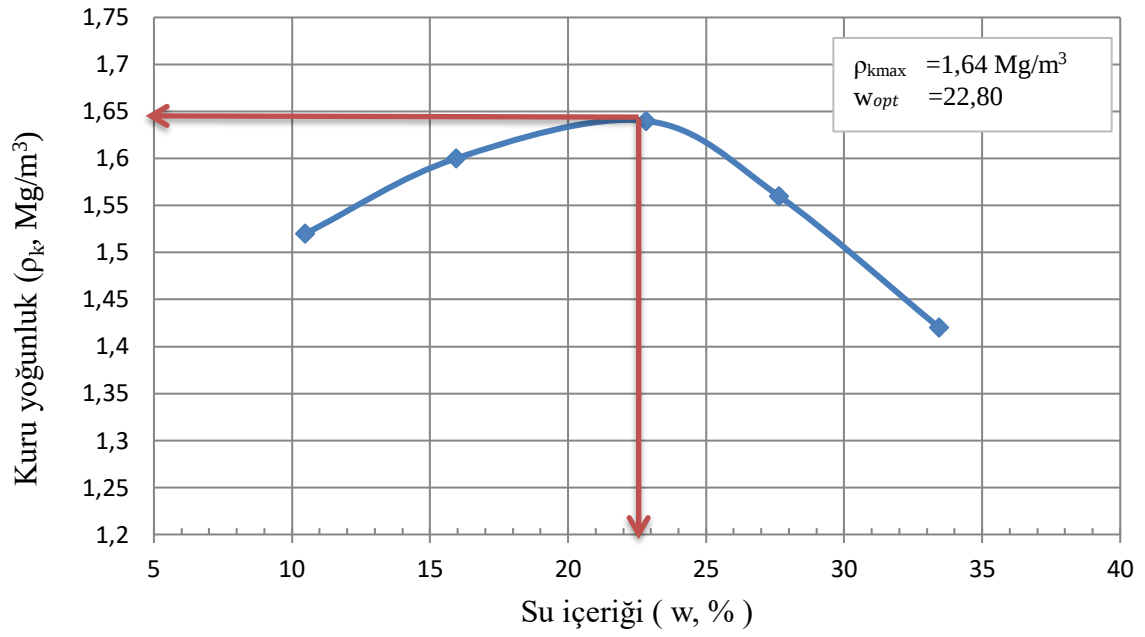
- Çiftci, M. (2004). *Samsun-Kavak Tuğla Ununun çimento harcında puzolanik katkı maddesi olarak kullanılabilirliği* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 156022)
- Çetin, A. Y. (2011). *Yüksek Plastisiteli Kil Zeminlerin Alternatif Malzemeler ile Yüzeysel 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 Kitabevi.
- Demiröz, A., & Karaduman, M. (2009). Zemin iyileştirme metodları. *Selçuk-Teknik Dergisi*, Cilt 8, Sayı: 3.
- Duman, V. (2020). *Midyat taşı atıklarının düşük plastisiteli kil zemin stabilizasyonunda kullanılabilirliği* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 633580)
- 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 lastiğin 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 iyileştirilmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 212405).
- Erol, B. (2008). *Atık maddelerin yol inşaatlarında temel malzemesi olarak kullanımı*, (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir (Tez No. 252486)
- Fang, H. Y. (1991). *Foundation Engineering Handbook*. Londra: Van Nostrand Reinhold Publishing.
- FHWA, 1998. Ground Improvement Technical Summaries Final Draft, FHWA Demonstration Project No.116 Contact No. DTFH61-93-R-00145 by Elias V., Welsh J., Warren J., Lukas R., USA.
- Fidan, D. (2016). *Killerin stabilizasyonunda doğal puzolanik katkı maddesi inceliğinin dayanım ve durabiliteye etkisi* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 44951)
- Ghabaee, S. (2015). *Kireç ile stablize 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.
- Gücek, S. (2011). *Mermer tozu ve uçucu külün kil zeminlerin iyileştirilmesinde 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).
- Ingles, O. G., & Metcalf, J. B. (1973). *Soil Stabilization*. John Wiley&Sons. New York.

- 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.*
- 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)
- Kırgız, M.S., 2007. *Mermer ve tuğla endüstrisi atıklarının çimento üretiminde mineralojik katkı olarak kullanılması* (Doktora Tezi). Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 228s, Ankara.
- Kızılçelik, 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* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 533972)
- 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 inceliğin 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
- Littlejohn, G. S. (1982). *Design of Cement Based Grouts-Grouting in Geotechnical Engineering*. In Proc. of an ASCE Conference. New York.
- Mathew, P. K. & Rao, S. N. (1997). Effect of Lime Cation Exchange 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.
- Onargan, T., & Köse, H. (1997). *Marble. D.E.Ü. Faculty of Engineering Publications*. İzmir 220, 209s.
- Önalp, A. (1983). *İnşaat Mühendislerine Geoteknik Bilgisi (Cilt 2)*. Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi. 3, 1225.
- Özaydın, K. (1989). *Zemin Mekaniği*. İstanbul: Birsen Yayınevi. 261 s.
- Özdemir, A., & Özdemir, M. (2007). *Zayıf Zeminlerin İyileştirilmesi ve Son Yıllarda Yaygın Olarak Kullanılan Bazı Zemin İyileştirme Metodleri*. Sondaj Dünyası. 3.

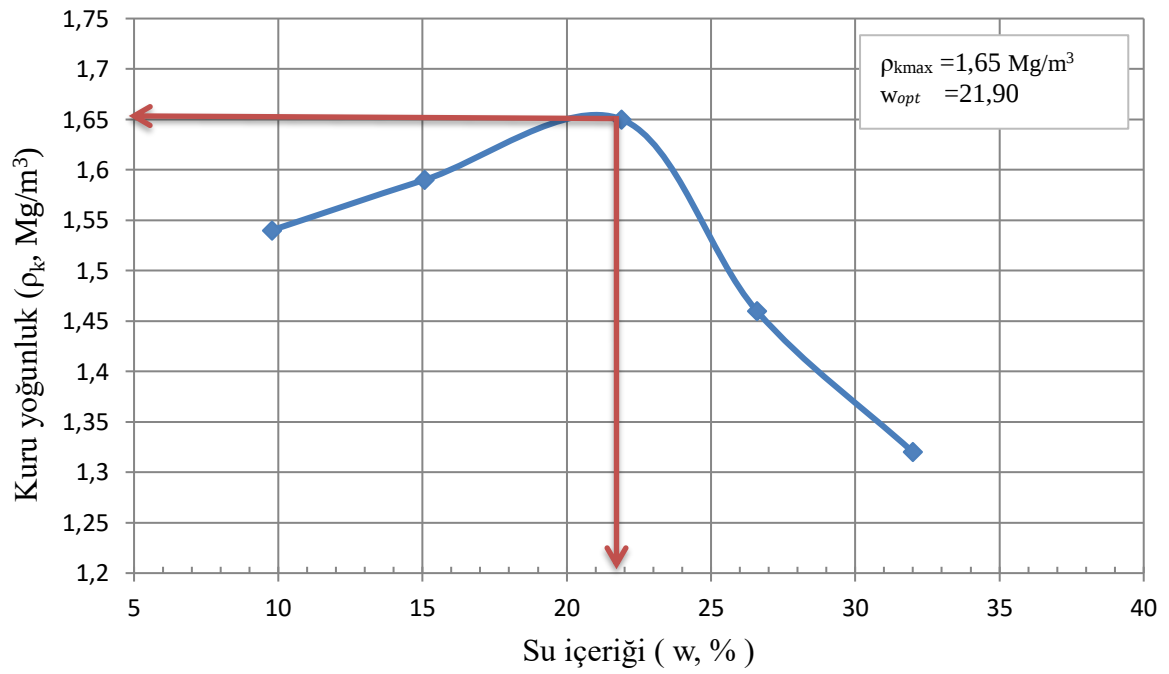
- Pektaş, C. (2012). *Muhtelif Katkı maddeleri ve/veya donatı kullanımı ile yapılan zemin iyileştirme (stabilizasyon) metodlerinin teorik ve deneysel olarak ayrıntılı bir irdeleme ve değerlendirilmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 327224)
- Taş, (2020). *Uçucu kül, Bayburt taşı ve mermer tozu endüstriyel atıklarının zemin stabilizasyonunda kullanılabilirliğinin araştırılması* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 609976)
- Taşpolat, (2006). Atık mermer tozunun geçirimsiz kil tabakalarında donma – çözülmeye etkisi. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*. 2006 (2) 11-16.
- 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.
- 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. *Atlas Yayın Dağıtım*, İstanbul. 325.
- Tunç, A. (2002). Yol mühendisliğinde geoteknik ve uygulamaları. *Atlas Yayın Dağıtım*, İstanbul. 912.
- Tülek, M. (2007). *Kimyasal atık alçıların zemin stabilizasyonunda kullanılabilirliğinin araştırılması* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 177873)
- Tukder, (2020). U. S. Army Corps. of Eng. (2003). *Guidelines on Ground Improvement for Structures and Facilities*. Dept of the Army. Washington.
- Türker, P., & Erdoğan, B., & Katnaş, F., & Yeğinobalı, A., 2007; *Türkiye'deki Uçucu Küllerin Sınıflandırılması ve Özellikleri*. Ar-Ge Enstitüsü Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği Ankara, 1-102, TUİK 2008
- 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.
- Witczak, M. W., & Yoder, E., J., 1975, 'Principles of Pavement Design', USA..
- Yıldırım, S. (2002). *Zemin İncelemesi ve Temel Tasarımı*. İstanbul: Birsen Yayınevi. 466.
- Yıldız, Ö., & Eskikaya, Ş. (1995). *Evaluation of Afyon Marble Powder Waste. I. Turkey Marble Symposium*. 1, 45-52.
- Yılmaz, F. (2015). *Tüfit taşların zemin stabilizasyonunda kireçle birlikte kullanılabilirliğinin standart deneyler ve bilgisayarlı tomografi tekniği ile araştırılması* (Doktora Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 397321)

Ekler

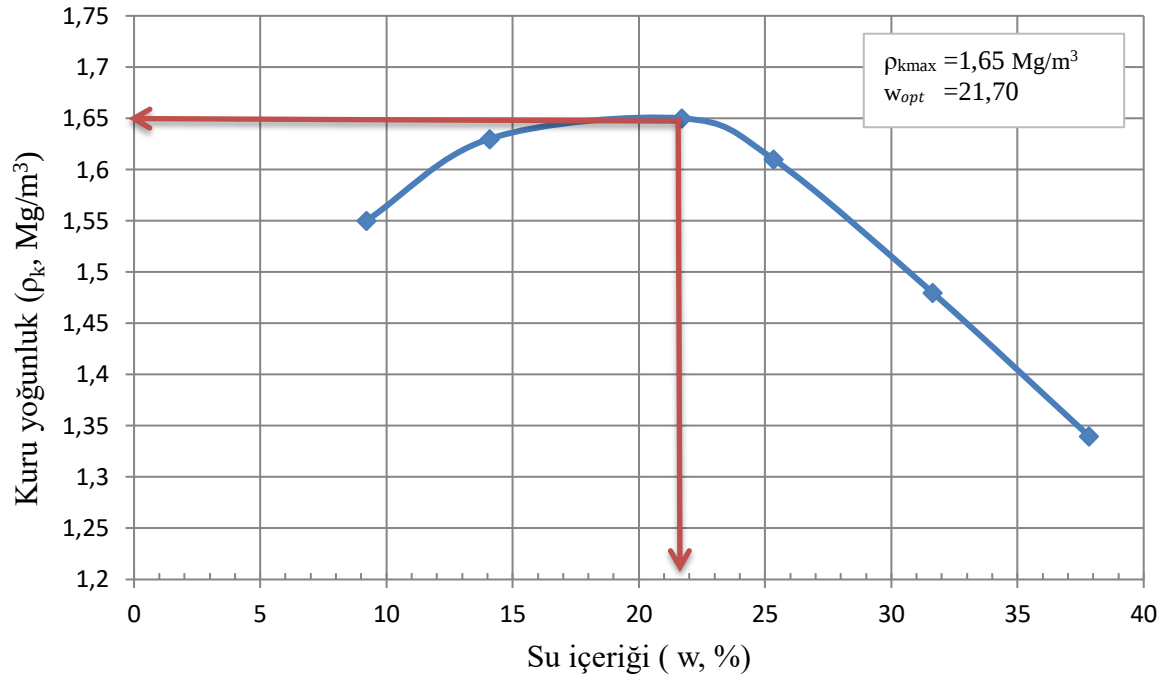
Ek-1 Kompaksiyon deneyi sonuçları



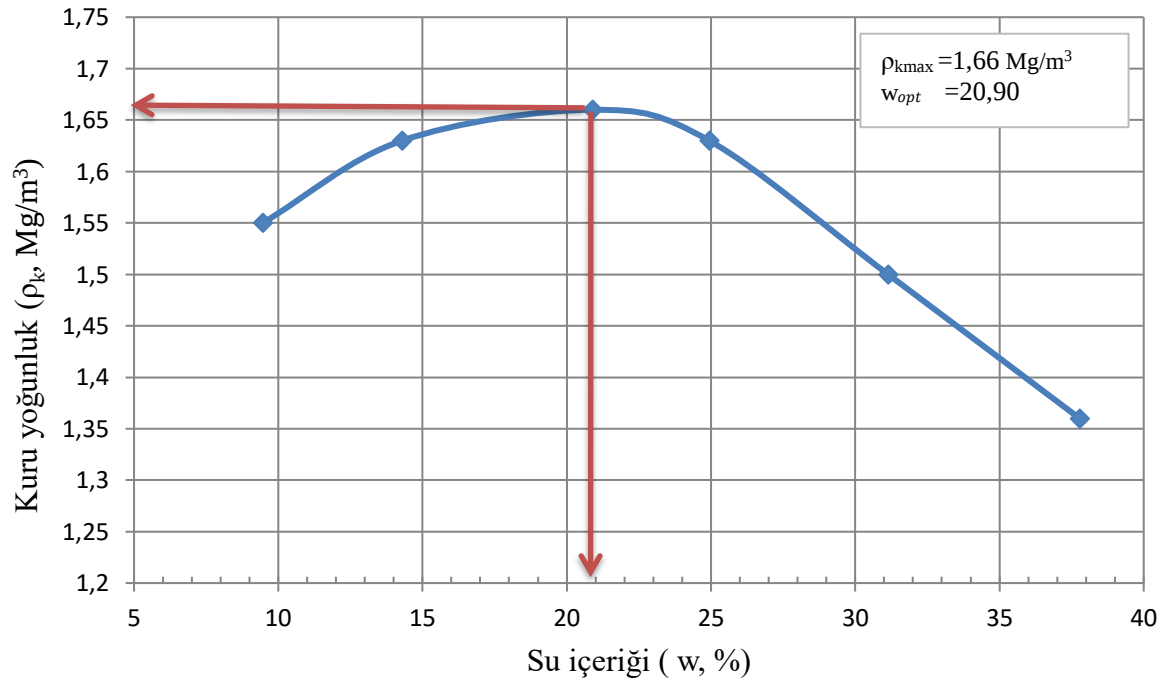
Şekil 22. Doğal zeminin kompaksiyon eğrisi.



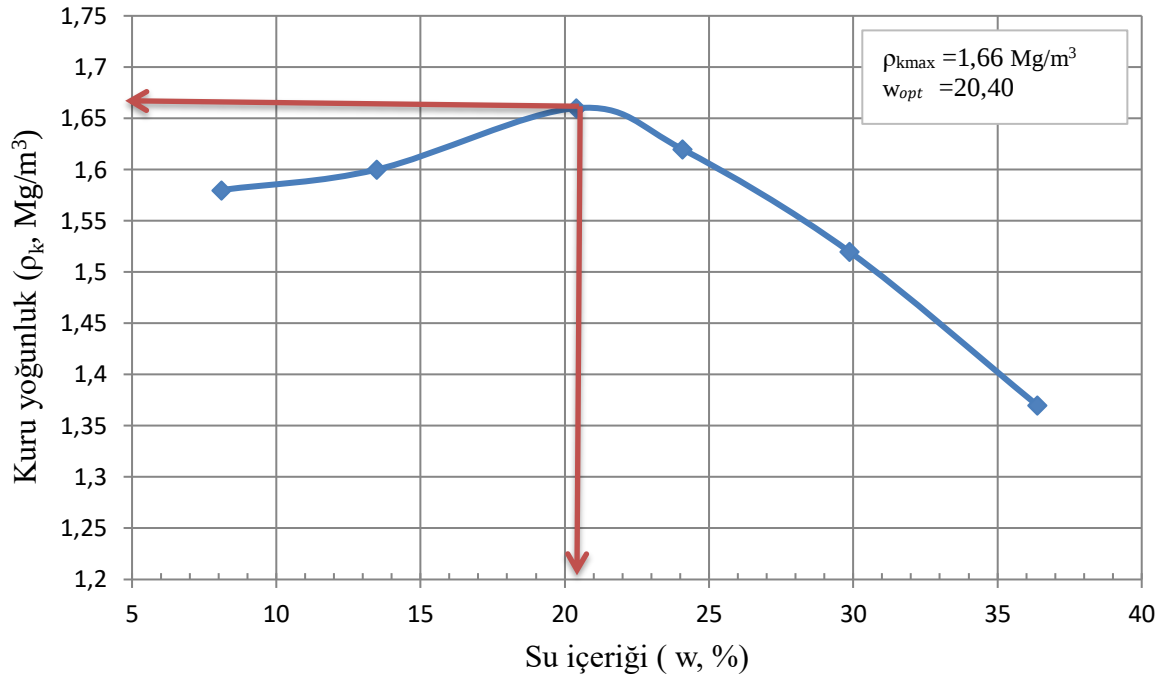
Şekil 23. SB/5 numunesinin kompaksiyon eğrisi.



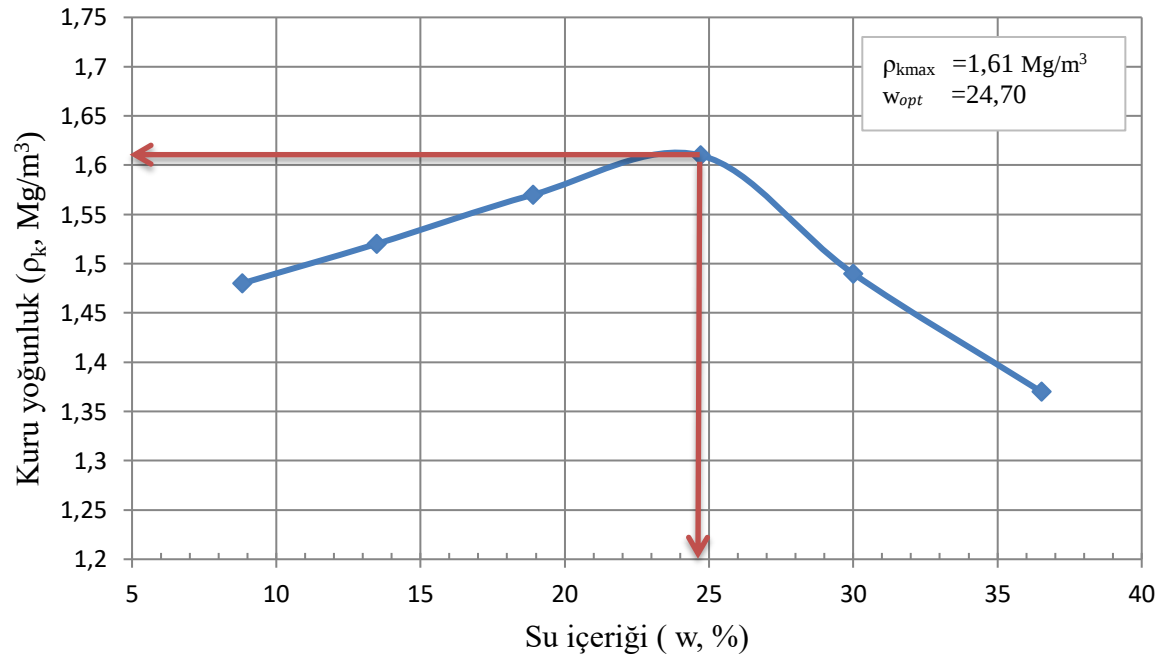
Şekil 24. SB/10 numunesinin kompaksiyon eğrisi.



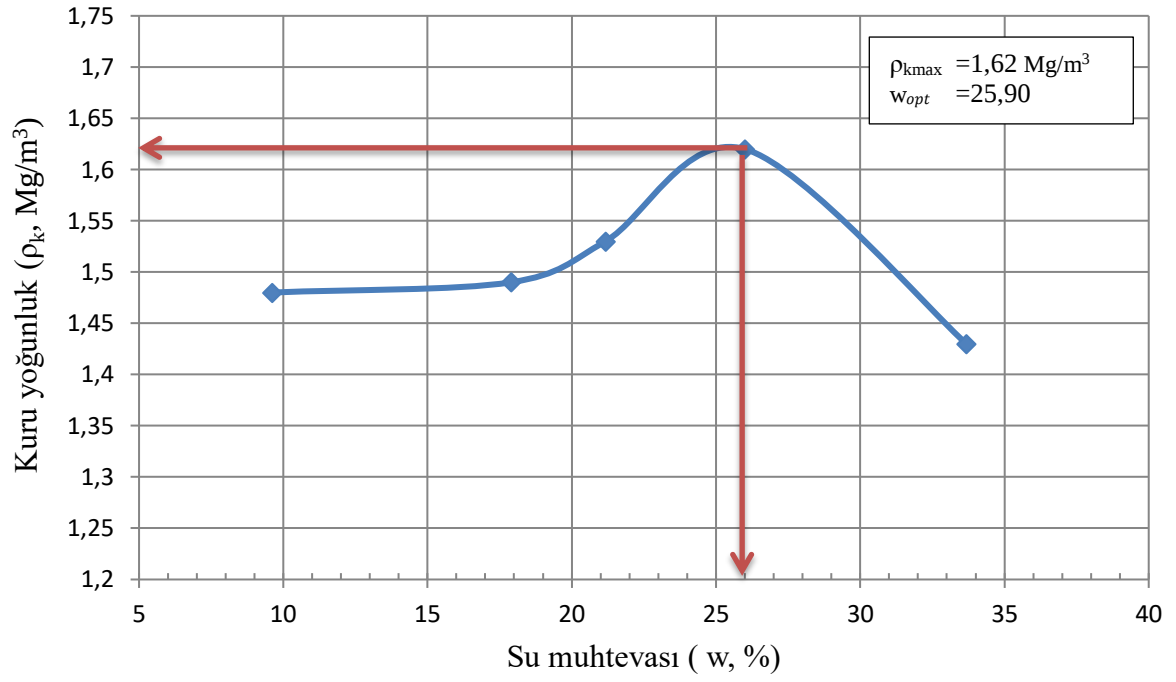
Şekil 25. SB/15 numunesinin kompaksiyon eğrisi.



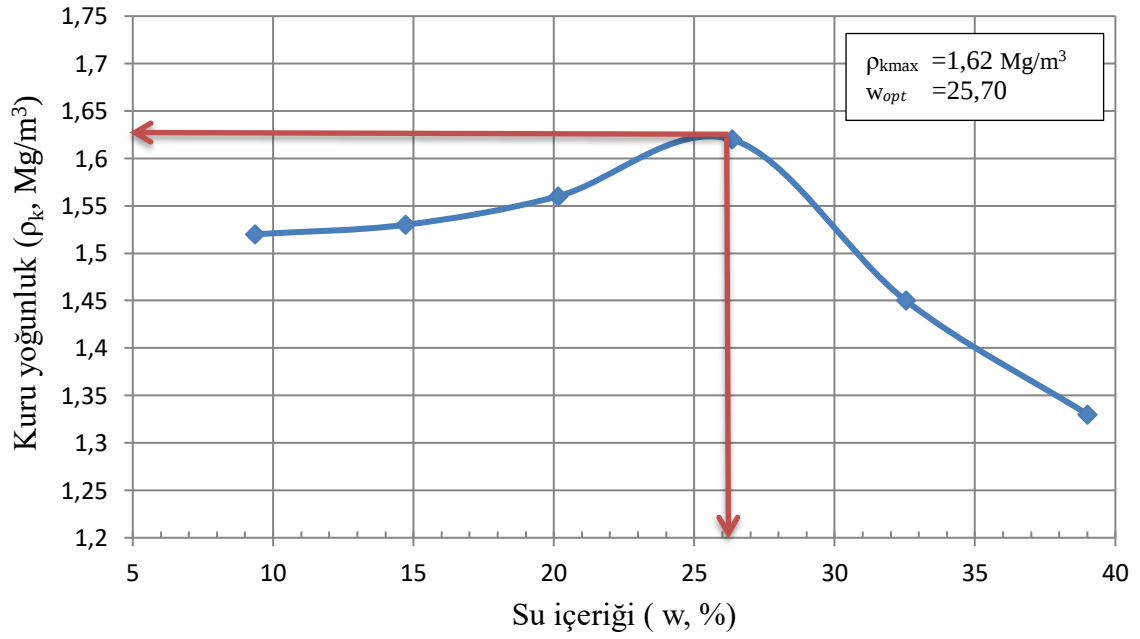
Şekil 26. SB/20 numunesinin kompaksiyon eğrisi.



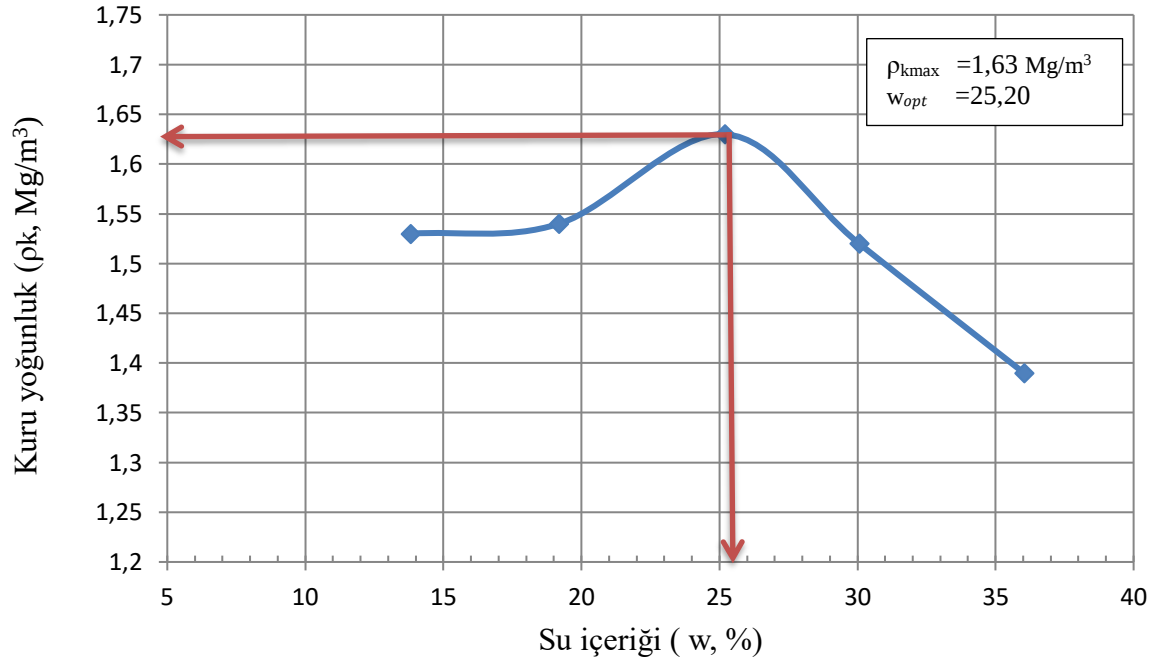
Şekil 27. SL numunesinin kompaksiyon eğrisi.



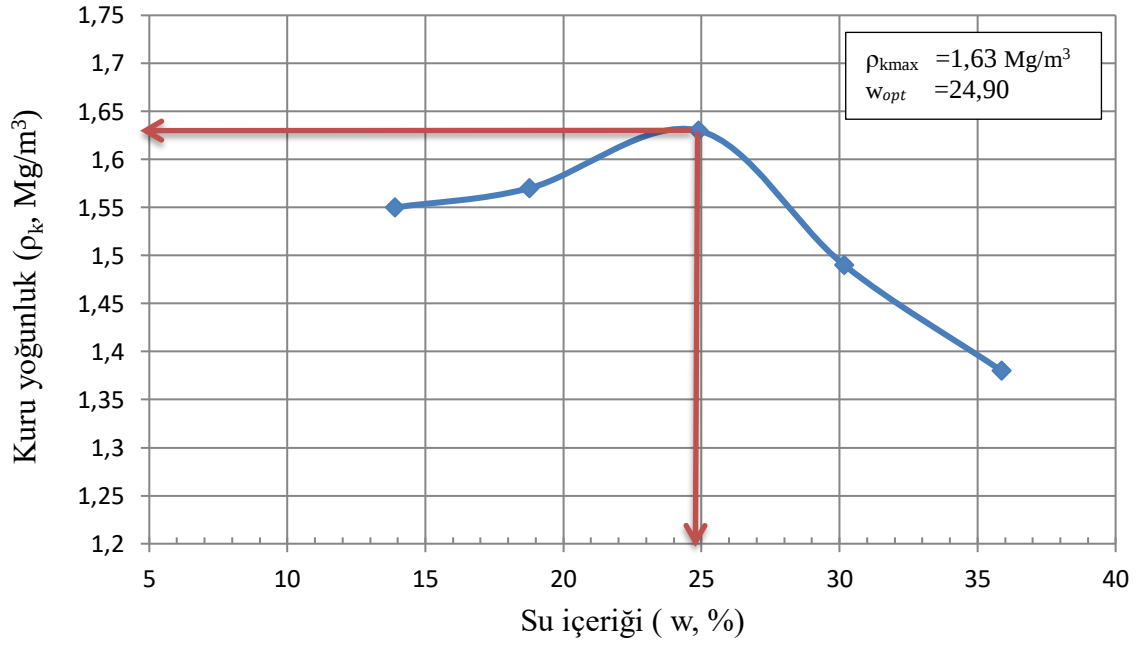
Şekil 28. SLB/5 numunesinin kompaksiyon eğrisi.



Şekil 29. SLB/10 numunesinin kompaksiyon eğrisi.



Şekil 30. SLB/15 numunesinin kompaksiyon eğrisi.



Şekil 31. SLB/20 numunesinin kompaksiyon eğrisi.

Öz Geçmiş

Harun TUĞLU, ... yılında ...'te doğdu. İlköğrenimini ... İlköğretim Okulu ve Cumhuriyet İlköğretim Okulunda, orta-lise öğrenimini ise Lisesi'nde tamamladı. ... yılında başladığı yükseköğrenimini Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünde tamamladı. ... yılında Konsorsiyumunda Karadeniz Sahil Yolu projesinin Araklı-iyidere arası yol yapım işinde arazi şefi olarak 2 yıl görev yaptı, Mühendislik firması ile proje-müteahhitlik işleri yaptı, yıl Yapı Denetim firma sahibi olarak çalıştı. ... Mühendislik Mimarlık Şirketini kurdu. senesindeÜniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı.

