

T.C.  
BURDUR MEHMET AKİF ERSOY ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ

**BURDUR İLİNDEKİ TRAVERTEN ATIKLARININ  
YOL ÜSTYAPISINDA GRANÜLER TABAKALARDA  
AGREGA OLARAK KULLANIMININ  
ARAŞTIRILMASI**

**Fettah ACAR**

**Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Altan YILMAZ**

**BURDUR, 2019**

## YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

Fettah ACAR tarafından Dr. Öğr. Üyesi Altan YILMAZ yönetiminde hazırlanan “Burdur İlindeki Traverten Atıklarının Yol Üstyapısında Granüler Tabakalarda Agrega Olarak Kullanımının Araştırılması” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi: 12 /11 /2019

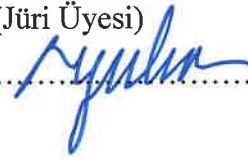
**Prof. Dr. Nihat DİPOVA**

(Başkan)

Akdeniz Üniversitesi..........(İmza)

**Dr. Öğr. Üyesi Altan YILMAZ**

(Jüri Üyesi)

Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi..........(İmza)

**Dr. Öğr. Üyesi H. Hakan İNCE**

(Jüri Üyesi)

Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi..........(İmza)

### ONAY

Bu Tez, Enstitü Yönetim Kurulu'nun \_\_\_\_\_ Tarih ve \_\_\_\_\_ Sayılı Kararı ile Kabul Edilmiştir.

(İmza)

**Prof. Dr. Ayşe Gül MUTLU GÜLMEMİS**

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

## ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum **“Burdur İlindeki Traverten Atıklarının Yol Üstyapısında Granüler Tabakalarda Agregata Olarak Kullanımının Araştırılması”** başlıklı bu tezin;

- Kendi çalışmam olduğunu,
- Sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi,
- Bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi,
- Kullandığım verilerde değişiklik yapmadığımı,
- Tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını,
- Bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı,
- Bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı,

bildirir, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

12 / 11 / 2019  
(İmza)  
Fettah ACAR

## TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli Danışman Hocam Dr. Öğr. Üyesi Altan YILMAZ'a teőekkürlerimi sunarım. Deneyletirmi yapmam için laboratuvarları bana açan ve araştırmalarında hiçbir yardımı esirgemeyen değerli hocalarıma teşekkür ederim. Ayrıca Portsan Mermer A.Ő., Başarırlar Mermer A.Ő. ve Bucak Madencilik Kum ve akıl A.Ő.'ne traverten ve kırma taş malzemelerin temin edilmesinde yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

Eğitim hayatımın her aşamasında beni her anlamda destekleyen eşime ve aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

**Kasım, 2019**

**Fettah ACAR**

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
TEŞEKKÜR .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
ŞEKİL DİZİNİ .....	iv
ÇİZELGE DİZİNİ .....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	ix
ÖZET .....	x
SUMMARY .....	xi
1. GİRİŞ .....	1
1.1. Türkiye’de Mermercilik Faaliyetleri .....	1
1.2. Mermer Atıklarının Oluşumu .....	4
1.3. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı .....	6
2. GENEL BİLGİLER .....	7
2.1. Yol Üstyapısı .....	7
2.1.1. Rijit Üstyapı .....	7
2.1.2. Esnek Üstyapı .....	7
2.1.3. Üstyapılarda Kullanılan Malzemeler .....	9
2.1.4. Agregalar .....	10
2.1.4.1. Doğal Agregalar .....	10
2.1.4.2. Yapay Agregalar .....	12
2.2. Mermer ve Özellikleri .....	13
2.3. Traverten ve Özellikleri .....	14
2.3.1. Traverten Atıklarının Yol Üstyapısında Kullanımı .....	15
2.4. Önceki Çalışmalardan Örnekler .....	16
3. MATERYAL VE YÖNTEM .....	23
3.1. Kullanılan Malzemeler .....	23
3.1.1. Traverten Atıkları .....	23
3.1.2. Doğal Agregada .....	26
3.2. Yöntem .....	27
3.2.1. Elek Analizi Deneyi .....	28
3.2.2. Kimyasal Kompozisyon Tayini .....	30
3.2.3. Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık (Donma ve Çözülme) Deneyi .....	30
3.2.4. Gevşek – Sıkışık Birim Hacim Ağırlık Deneyi .....	32
3.2.5. Kaba ve İnce Agregada Tane Yoğunluğu ve Su Emme Deneyi .....	33
3.2.5.1. İnce Agregada Tane Yoğunluğu ve Su Emme Deneyi .....	33
3.2.5.2. Kaba Agregada Tane Yoğunluk ve Su Emme Deneyi .....	35
3.2.6. Agregada Darbelene Deneyi (AIV) .....	37
3.2.7. Yassılık ve Uzunluk İndeksi Deneyi .....	39
3.2.7.1. Yassılık İndeksi Deneyi .....	39
3.2.7.2. Uzunluk İndeksi Deneyi .....	40
3.2.8. Los Angeles (Aşınma) Deneyi .....	41
3.2.9. Organik Madde Tespit Deneyi .....	43
3.2.10. Modifiye Proktor Deneyi .....	44
3.2.11. CBR (Kaliforniya Taşıma Oranı) Deneyi .....	46
3.2.12. Dinamik Üç Eksenli Deneyi .....	49
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA .....	55
4.1. Elek Analizi Deneyi Sonuçları .....	55
4.2. Kimyasal Analiz Sonuçları .....	61

4.3. Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık (Donma Çözülme) Deneyi Sonuçları .....	65
4.4. Gevşek – Sıkışık Birim Hacim Ağırlık Deney Sonuçları .....	67
4.5. İnce Agregası ve Kaba Agregası Tane Yoğunluğu ve Su Emme Deneyi Sonuçları .....	68
4.5.1. İnce Agregası Tane Yoğunluğu ve Su Emme Deneyi Sonuçları .....	68
4.5.2. Kaba Agregası Tane Yoğunluğu ve Su Emme Deneyi Sonuçları .....	70
4.6. Agregası Darbelenme Deneyi Sonuçları (AIV).....	73
4.7. Yassılık İndeksi ve Uzunluk İndeksi Deney Sonuçları .....	74
4.7.1. Yassılık İndeksi Deneyi Sonuçları .....	74
4.7.2. Uzunluk İndeksi Deneyi Sonuçları .....	74
4.8. Los Angeles (Aşınma) Deneyi Sonuçları .....	75
4.9. Organik Madde Tespit Deneyi Sonuçları .....	76
4.10. Modifiye Proktor (Sıkıştırma) Deneyi Sonuçları .....	77
4.11. CBR Deneyi Sonuçları.....	79
4.11.1. Kuru CBR Deneyi Sonuçları .....	79
4.11.2. Yaş CBR Deneyi Sonuçları .....	81
4.12. Üç Eksenli Deneyi Sonuçları .....	82
5. SONUÇ.....	89
KAYNAKLAR.....	92
EKLER.....	98
ÖZGEÇMİŞ.....	112

## ŞEKİL DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Antik Roma dönemi mermerden yapılan amfi tiyatrosu .....	2
Şekil 1.2. Mermer ocağı işletmesi .....	3
Şekil 1.3. Mermerin blok şeklinde ayrılması işlemi .....	4
Şekil 1.4. Mermer bloklarının fabrikada üretime hazırlanması.....	5
Şekil 1.5. Mermer fabrikasında bulunan mermer atık yığınları .....	5
Şekil 2.1. Karayolu üstyapısı görünüşü .....	8
Şekil 2.2. Kırmızı taş örneği.....	11
Şekil 2.3. Doğal taşların oluşumlarına göre sınıflandırılması .....	12
Şekil 2.4. Kireçtaşı kayaç görünümü .....	12
Şekil 2.5. Traverten görünüşü .....	15
Şekil 3.1. Traverten (T1) atıkları.....	24
Şekil 3.2. Traverten (T2) atıkları.....	24
Şekil 3.3. Numunelerin konkasör haznesine girebilmesi için çekiçle kırılması.....	25
Şekil 3.4. Numunelerin konkasör yardımıyla kırılması işlemi.....	25
Şekil 3.5. Konkasörde kırılmış traverten numunelerin görünüşü.....	26
Şekil 3.6. Sivişler doğal agrega ocağı.....	27
Şekil 3.7. Kırılmış traverten numuneleri.....	28
Şekil 3.8. Deney numunelerinin elek sarsma tablasında elenmesi .....	29
Şekil 3.9. Eleklerin üstünde kalan malzemelerin tane çaplarına göre ayrılması .....	30
Şekil 3.10. Hava tesirlerine karşı dayanıklılık deneyi yapılışı.....	31
Şekil 3.11. Sodyum Sülfat ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) çözeltisinden çıkarılmış deney numuneleri .....	31
Şekil 3.12. Gevşek - sıkışık birim hacim ağırlık deneyi .....	33
Şekil 3.13. İnce agrega tane yoğunluğu ve su emme deneyi için hazırlanan numuneler .....	33
Şekil 3.14. İnce agrega deneyi için numunelerin kuru yüzey doygun haline getirilmesi .....	34
Şekil 3.15. Abrahams hunisi ile kuru yüzey suya doygun halin kontrol edilmesi .....	34
Şekil 3.16. Piknometrelere numunelere su eklenip vakum pompasına yerleştirilmesi .....	35
Şekil 3.17. Kaba agrega numunelerinin suda bekletilmesi.....	36
Şekil 3.18. Arşimed terazisi ile su içinde tartım işlemi .....	36
Şekil 3.19. Kaba agrega numunelerinin yüzeylerinin bezle kurutulması .....	37
Şekil 3.20. Deney numunesi konulmuş kalıp ve darbelenme deneyi cihazı .....	38
Şekil 3.21. Deney sonrası darbelenme cihazından çıkarılan malzemeler .....	38

Şekil 3.22. Yassılık indeksi şablonu yardımıyla yassı agregaların tespit edilmesi .....	40
Şekil 3.23. Agreganın uzunluk tayin aparatı yardımıyla uzun agregaların tespit edilmesi .....	41
Şekil 3.24. Los Angeles deney cihazına numunelerin konularak cihazın çalıştırılması .....	42
Şekil 3.25. Los Angeles deneyi sonrası numunelerin görünümü .....	43
Şekil 3.26. Organik madde tespiti deneyi .....	44
Şekil 3.27. Modifiye Proktor deneyinde kullanılan malzemeler .....	45
Şekil 3.28. Modifiye Proktor deneyinin yapılışı .....	46
Şekil 3.29. CBR (Kaliforniya taşıma oranı) test cihazı .....	47
Şekil 3.30. CBR kalıbı ve hazırlanan deney numunesi .....	47
Şekil 3.31. CBR test cihazından çıkarılan numuneler .....	48
Şekil 3.32. Yaş CBR deney numunesinin suda bekletilmesi .....	49
Şekil 3.33. Dinamik üç eksenli deneyi cihazı .....	50
Şekil 3.34. Tekrarlı yükler altında oluşan plastik ve elastik şekil değiştirmeler .....	50
Şekil 3.35. Dinamik üç eksenli deneyindeki yükleme formu .....	51
Şekil 3.36. Deney numunelerinin titreşimli kompaksiyonla sıkıştırılması .....	52
Şekil 3.37. Deney numunelerinin üç eksenli cihazına yerleştirilmesi .....	52
Şekil 3.38. Deneylerin sonunda üç eksenli cihazından çıkarılan numuneler .....	53
Şekil 4.1. KTŞ (C) tipi granülometri eğrisi (yüzdelerin ortalaması) .....	59
Şekil 4.2. Traverten (T1) granülometri eğrisi .....	60
Şekil 4.3. Traverten (T2) granülometri eğrisi .....	60
Şekil 4.4. Doğal agrega (DA) granülometri eğrisi .....	61
Şekil 4.5. Traverten (T1) CaO içeriği kimyasal analiz sonuç grafiği .....	62
Şekil 4.6. Traverten (T2) CaO içeriği kimyasal analiz sonuç grafiği .....	62
Şekil 4.7. Doğal agrega (DA) CaO kimyasal analiz sonuç grafiği .....	63
Şekil 4.8. Doğal agrega (DA) MgO içeriği kimyasal analiz sonuç grafiği .....	63
Şekil 4.9. Hava tesirlerine karşı dayanıklılık deneyi sonuçları .....	66
Şekil 4.10. Gevşek birim hacim ağırlık ortalama değerleri .....	67
Şekil 4.11. Sıkışık birim hacim ağırlık ortalama değerleri .....	67
Şekil 4.12. İnce agrega görünür tane yoğunluğu değerleri .....	68
Şekil 4.13. İnce agrega hacim tane yoğunluğu değerleri .....	69
Şekil 4.14. İnce agrega su emme (absorpsiyon) yüzdesi değerleri .....	69
Şekil 4.15. Kaba agrega görünür tane yoğunluğu değerleri .....	71
Şekil 4.16. Kaba agrega hacim tane yoğunluğu değerleri .....	71
Şekil 4.17. Kaba agrega su emme (absorpsiyon) yüzdesi değerleri .....	72



Şekil 4.18. Darbelenme deneyi sonuçları.....	73
Şekil 4.19. Yassılık indeksi deneyi sonuçları.....	74
Şekil 4.20. Uzunluk indeksi deneyi sonuçları.....	75
Şekil 4.21. Los Angeles aşınma deneyi sonuçları.....	76
Şekil 4.22. Traverten (T1) modifiye Proktor eğrisi.....	77
Şekil 4.23. Traverten (T2) modifiye Proktor eğrisi.....	78
Şekil 4.24. Doğal agregata (DA) modifiye Proktor eğrisi.....	78
Şekil 4.25. Doğal agregata (DA) için kuru CBR deneyi yük-penetrasyon eğrisi.....	80
Şekil 4.26. Kuru CBR deneyinden elde edilen değerler.....	81
Şekil 4.27. Doğal agregata (DA) için yaş CBR deneyi yük-penetrasyon eğrisi.....	81
Şekil 4.28. Yaş CBR deneyinden elde edilen değerler.....	82
Şekil 4.29. Deney numunesine üç eksenli hücrede etkileyen gerilmeler.....	83
Şekil 4.30. Traverten (T1) esneklik modülü – toplam gerilme grafiği.....	83
Şekil 4.31. Traverten (T1) için elde edilen esneklik modülü – deviatör gerilme grafiği.....	84
Şekil 4.32. Traverten (T2) esneklik modülü – toplam gerilme grafiği.....	84
Şekil 4.33. Traverten (T2) için elde edilen esneklik modülü – deviatör gerilme grafiği.....	85
Şekil 4.34. Doğal agregata (DA) esneklik modülü – toplam gerilme grafiği.....	85
Şekil 4.35. Doğal agregata (DA) için elde edilen esneklik modülü – deviatör gerilme grafiği.....	86
Şekil 4.36. Maksimum ve ortalama $M_r$ değerlerinin grafik gösterilişi.....	87
Şekil 4.37. Esneklik modülü değerlerinin toplam gerilme ile değişimini gösteren toplu grafik.....	88

## ÇİZELGE DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 2.1. Doğal taş özkütleleri .....	14
Tablo 3.1. Deneyde kullanılan elekler.....	29
Tablo 4.1. Temel tabakalarında kullanılan agregalar için gerekli şartname limitleri .....	55
Tablo 4.2. Doğal agrega (DA) elek analizi gradasyon yüzdeleri.....	56
Tablo 4.3. KTŞ granüler temel tabakası gradasyon limitleri.....	57
Tablo 4.4. Traverten (T1) elek analizi gradasyon yüzdeleri.....	57
Tablo 4.5. Traverten (T2) elek analizi gradasyon yüzdeleri.....	58
Tablo 4.6. KTŞ granüler temel tabakası (C) tipi gradasyon dağılımı ortalaması .....	59
Tablo 4.7. Traverten (T1) kimyasal analiz içeriği .....	64
Tablo 4.8. Traverten (T2) Kimyasal Analiz İçeriği .....	64
Tablo 4.9. Doğal agrega (DA) kimyasal analiz içeriği.....	65
Tablo 4.10. Dolomit içeren karbonat kayaların sınıflandırılması .....	65
Tablo 4.11. Hava tesirlerine karşı dayanıklılık deneyi bulguları.....	66
Tablo 4.12. İnce agrega tane yoğunluğu deney bulguları .....	70
Tablo 4.13. Kaba agrega tane yoğunluğu ve su emme değerleri.....	73
Tablo 4.14. KTŞ limitleri ve organik madde içeriği .....	77
Tablo 4.15. Modifiye Proktor deneyi sonuçları .....	79
Tablo 4.16. Kuru CBR deneyi bulguları .....	80
Tablo 4.17. Yaş CBR deneyi bulguları .....	82
Tablo 4.18. Üç eksenli deneyi bulguları.....	86
Ek 1-Tablo 1.1. Traverten (T1) Los Angeles deneyi verileri.....	98
Ek 1-Tablo 1.2. Traverten (T2) Los Angeles deneyi verileri.....	98
Ek 1-Tablo 1.3. Doğal agrega (DA) Los Angeles deneyi verileri.....	98
Ek 2-Tablo 2.1. Traverten (T1) yassılık indeksi deneyi verileri .....	99
Ek 2-Tablo 2.2. Traverten (T2) yassılık indeksi deneyi verileri .....	99
Ek 2-Tablo 2.3. Doğal agrega(DA) yassılık indeksi deneyi verileri .....	100
Ek 3-Tablo 3.1. Traverten (T1) uzunluk indeksi deneyi verileri.....	101
Ek 3-Tablo 3.2. Traverten (T2) uzunluk indeksi deneyi verileri.....	101
Ek 3-Tablo 3.3. Doğal agrega (DA) uzunluk indeksi deneyi verileri.....	101
Ek 4-Tablo 4.1. Traverten (T1) ince agrega tane yoğunluğu verileri.....	102
Ek 4-Tablo 4.2. Traverten (T2) ince agrega tane yoğunluğu verileri.....	102

<b>Ek 4-Tablo 4.3.</b> Doğal agrega (DA) ince agrega tane yoğunluğu verileri .....	103
<b>Ek 4-Tablo 4.4.</b> Traverten (T1) ince agrega su emme yuzdesi verileri .....	103
<b>Ek 4-Tablo 4.5.</b> Traverten (T2) ince agrega su emme yuzdesi verileri .....	104
<b>Ek 4-Tablo 4.6.</b> Doğal agrega (DA) ince agrega su emme yuzdesi verileri .....	104
<b>Ek 4-Tablo 4.7.</b> Traverten (T1) kaba agrega tane yoğunluğu değerleri.....	104
<b>Ek 4-Tablo 4.8.</b> Traverten (T2) kaba agrega tane yoğunluğu değerleri.....	105
<b>Ek 4-Tablo 4.9.</b> Doğal agrega (DA) kaba agrega tane yoğunluğu değerleri.....	105
<b>Ek 4-Tablo 4.10.</b> Traverten (T1) kaba agrega su emme yuzdesi verileri.....	106
<b>Ek 4-Tablo 4.11.</b> Traverten (T2) kaba agrega su emme yuzdesi verileri.....	106
<b>Ek 4-Tablo 4.12.</b> Doğal agrega (DA) kaba agrega su emme yuzdesi verileri.....	106
<b>Ek 5 - Tablo 5.1.</b> Traverten (T1) darbelenme deneyi 1.numune verileri .....	107
<b>Ek 5 - Tablo 5.2.</b> Traverten (T1) darbelenme deneyi 2. numune verileri .....	107
<b>Ek 5 - Tablo 5.3.</b> Traverten (T2) darbelenme deneyi 1. numune verileri .....	108
<b>Ek 5 - Tablo 5.4.</b> Traverten (T2) darbelenme deneyi 2. numune verileri .....	108
<b>Ek 5 - Tablo 5.5.</b> Doğal agrega (DA) darbelenme deneyi 1. numune verileri .....	109
<b>Ek 5 - Tablo 5.6.</b> Doğal agrega (DA) darbelenme deneyi 2. numune verileri .....	109
<b>Ek 6 - Tablo 6.1.</b> Traverten (T1) gevşek-sıkışık birim hacim ağırlık deneyi verileri.....	110
<b>Ek 6 - Tablo 6.2.</b> Traverten (T2) gevşek-sıkışık birim hacim ağırlık deneyi verileri.....	110
<b>Ek 6 - Tablo 6.3.</b> Doğal agrega (DA) gevşek-sıkışık birim hacim ağırlık verileri .....	111

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<b>AASHTO</b>	: American Association of State Highway and Transportation Officials
<b>AB</b>	: Avrupa Birliği
<b>ABD</b>	: Amerika Birleşik Devletleri
<b>ASTM</b>	: Amerikan Malzeme Test Birliği
<b>BS</b>	: İngiliz Standartları
<b>CBR</b>	: Kaliforniya Taşıma Oranı
<b>CEN</b>	: Avrupa Standart Komitesi
<b>Cr</b>	: Krom
<b>EN</b>	: Avrupa Normu
<b>FeCr</b>	: Ferrokrom
<b>KTŞ</b>	: Karayolları Teknik Şartnamesi
<b>MAKÜ</b>	: Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi
<b>MgSO<sub>4</sub></b>	: Magnezyum Sülfat
<b>MTA</b>	: Maden Tetkik Arama
<b>Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>	: Sodyum Sülfat
<b>NaOH</b>	: Sodyum Hidroksit
<b>TS</b>	: Türk Standartları
<b>TSE</b>	: Türk Standartları Enstitüsü
<b>TÜİK</b>	: Türkiye İstatistik Kurumu
<b>C°</b>	: Santigrat derece
<b>g</b>	: Gram
<b>in</b>	: inch
<b>kg</b>	: Kilogram
<b>m</b>	: Metre
<b>mm</b>	: Milimetre

# ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

## Burdur İlindeki Traverten Atıklarının Yol Üstyapısında Granüler Tabakalarda Kullanılmasının Araştırılması

Fettah ACAR

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Altan YILMAZ

Kasım, 2019

Bu çalışmada Burdur ilinin Bucak ilçesindeki mermer fabrikalarında üretim sırasında ortaya çıkan traverten atıklarının karayollarının üstyapısında granüler tabakalarda kullanılabilirliği araştırılmıştır. Mermer fabrikalarının depolama sahalarından alınan atık haldeki travertenlerin laboratuvar ortamında deneylerinin yapılabilmesi için öncelikle uygun granülometrik boyutlara getirilmeleri gereklidir. Bunun için atık malzemelerin laboratuvar ortamında konkasör kullanılarak kırılması ve istenilen granülometrik boyutlara getirilmesi sağlanmıştır.

Traverten numuneleri güncel standartlara uygun şekilde deneylere tabi tutulmuş ve elde edilen sonuçlar Karayolları Teknik Şartnamesi'nde granüler tabakalar için verilen limit değerlerle kıyaslanmıştır.

Traverten ve doğal agrega numuneleri üzerinde; Elek analizi deneyi, hava tesirlerine karşı dayanım deneyi, Los Angeles deneyi, yassılık indeksi deneyi, kaba ve ince agregada tane yoğunluğu ve su emme deneyi, organik madde tespit deneyi, kimyasal kompozisyon tayini, modifiye Proktor (sıkıştırma) deneyi, CBR deneyi ve dinamik üç eksenli deneyi uygulanmıştır. Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar, şahit numune olarak kullanılan doğal kırma taş agregası sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre traverten atıklarının fiziksel ve mekanik özellikleri bakımından şartname limitlerini sağladığı ancak bazı fiziksel özellikler bakımından doğal agregaya kıyasla daha düşük değerler verdiği görülmüştür. Endüstriyel atıkların azaltılması, tarım alanlarından uzaklaştırılması ve çevresel açıdan faydaları da düşünüldüğünde, traverten atıklarının yol üstyapısının granüler tabakalarında doğal agregaya alternatif olarak değerlendirilebileceği sonucu ortaya çıkmıştır.

**Anahtar kelimeler:** mermer atıkları, mineral agrega, yol üstyapısı, traverten atıkları

## **SUMMARY**

**M. Sc. Thesis**

**Investigation of the Use of Travertine Wastes in Granular Layers of Pavements in  
Burdur Province**

**Fettah ACAR**

**Burdur Mehmet Akif Ersoy University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Civil Engineering Department**

**Supervisor: Faculty Member Altan YILMAZ, PhD**

**November, 2019**

In this study, the usability of travertine wastes produced in marble factories in Bucak district of Burdur in granular layers on pavements was investigated. The waste travertine taken from the stockpile areas of the marble factories must first be brought to the appropriate granulometric dimensions in order to be tested in the laboratory. For this purpose, the materials were crushed in the laboratory using a jaw crusher and brought to the desired granulometric dimensions.

Travertine samples were tested in accordance with current standards, and the results obtained were compared with the limit values for granular layers of pavements given in the Turkish Technical Specifications of the Highways.

On travertine and natural aggregate samples; sieve analysis test, weather resistance test, Los Angeles test, flakiness index test, particle density and water absorption test of coarse and fine aggregate, organic material detection test, chemical composition, modified Proctor (compression) test, CBR test and dynamic triaxial test were applied. The results obtained from the experiments were compared with the natural crushed-stone aggregate used as a replicate sample.

According to the results obtained from the experiments, the physical and mechanical properties of the travertine wastes have been met the technical specification limits but some physical properties have been found to be lower than the natural aggregate. Considering the reduction of industrial wastes, environmental benefits, travertine aggregate can be considered as an alternative to natural aggregate in the granular layers of the road pavements.

**Keywords:** marble wastes, mineral aggregate, pavement, travertine wastes

## 1. GİRİŞ

Bir ülkenin gelişmişlik düzeyinin en önemli göstergelerinden birisi, ülkede oluşturulmuş ulaşım ağının toplumun taleplerini karşılama yönünden yeterli bir düzeyde ve standartta olmasıdır. Türkiye’de diğer ülkelere göre, özellikle de gelişmiş ülkelere göre, ağır taşıt trafiği fazla olduğu için önemli problemlerle karşılaşılması kaçınılmazdır. Bu durum, kaynaklara kolay ulaşılamaması sebebiyle ekonomik olarak problemler oluşturduğu için ağır maliyetler getirebilmektedir. Tüm bu olumsuzluklar göz önüne alındığında karayollarının inşaatı sürecinde en verimli ve optimum faydayı sağlayacak çözümlerin üretilebilmesi büyük önem arz etmektedir (URL-1, 2019).

Karayolu taşımacılığı günümüz dünyasında hem yük hem de yolcu taşımacılığı açısından en çok tercih edilen ulaşım şeklidir. Karayollarının bakım ve onarım masraflarının yüksek olmasından dolayı, kaliteli ve uzun ömürlü yolların yapılması büyük önem arz etmektedir. Üstyapı tasarımında kullanılan malzemelerin mekanik özelliklerinin tam olarak belirlenebilmesi gerekmektedir. Yol inşaatlarında kullanılan granüler malzemeler hakkında elimizde hali hazırda bulunan bilgiler çok kısıtlıdır. Bu hususta granüler malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenebilmesi amacıyla birçok deney yöntemi ampirik olarak açıklanmaktadır. Bu uygulamalarla bulunan parametreler günümüzde uygulanan modern üstyapı tasarımı süreçlerine katkıda bulunmamaktadır. Mevcut trafiğin oluşturduğu yükler altında granüler malzemelerin mekanik özelliklerinin tespit edilebilmesi en önemli hususlardan birisidir. Diğer bir açıdan günümüzde giderek artan endüstriyel atıkların geri dönüşümle farklı sektörlerde kullanımı artmaya başlamıştır. Yol inşaatları ortaya çıkan atıkların en fazla kullanıldığı alan olmaktadır (Yılmaz, 2008).

Bu çalışmada; fabrikalarda, üretim esnasında ortaya çıkan ve çevre kirliliğine sebep olan mermer atıklarından olan traverten atıklarının yol üstyapısında granüler tabakalarda kullanımı incelenmiştir.

### 1.1. Türkiye’de Mermercilik Faaliyetleri

Mermercilik, ilk çağlardan beri yapılan bir doğal taş madenciliği türüdür. Eti uygarlığı zamanının kabartmaları ve heykelleri, Antik Yunan ve Roma döneminin amfileri, arenaları ve diğer çeşitli sanat eserleri, Selçuklu İmparatorluğu ve Osmanlı İmparatorluğu dönemlerinin kervansaray, saray, hamam, cami, medrese ve çeşmeleri, mermer işletmeciliğinin tarih boyunca gelişimini iyi bir şekilde gözler önüne sermektedir. Doğal taş sektöründe üretim ve ihracat

açısından büyüme hızı son 15 yılda yıllık yüzde 13,6'lık bir oranla Dünya'daki büyüme hızı ortalamasının iki katına kadar yaklaşmıştır. Dünya'da da kabul edildiği haliyle "Mermer", ülkemizde de kesilerek ve parlatılarak, farklı amaçlarla kullanılan doğal taş olarak bilinmektedir. Ayrıca bu uygulamanın ticari faaliyetlerine de "Mermer Sektörü" denilmektedir (Sel, 2006). Şekil 1.1'de Roma dönemine ait mermerden yapılan amfi tiyatro görülmektedir.



**Şekil 1.1.** Antik Roma dönemi mermerden yapılan amfi tiyatro

İnşaat sektöründe faaliyet gösteren kişi ve kuruluşlar tarafından istenilen boyut ve özelliklerle daha ucuza üretilen doğal taşlar, mermer sektörüne olan ilgiyi arttırmıştır. Son yıllarda maliyet açısından Çin ürünlerinin devreye girmesi Dünya çapında fiyatların düşmesine sebep olmuştur. Buna bağlı olarak insanların doğal ürünlere ilgisinin artması, gerek Türkiye'de gerekse Dünya çapında mermercilik faaliyetlerinin yaygınlaşmasını sağlamıştır. 1985 yılında ülkemizde yapılan kanun değişikliği ile mermerin maden kapsamına alınması çoğunlukla blok taş şeklinde yapılan ihracatın yerini özellikle son yıllarda işlenmiş ürünlerin almasına katkı sağlamıştır. Bu bağlamda maden ihracatından elde edilen gelir, toplam gelirin yaklaşık % 50'lik kısmını oluşturmaktadır. 2000'li yıllarda elde edilen bulgularla günümüzdeki bulgular karşılaştırıldığında birbirleri arasındaki farklar açık olarak görülebilmektedir. Dünyadaki mermer ve doğal taş rezervleri araştırıldığında Türkiye, Dünya'daki rezervler arasında sayılı ülkeler arasında yer almaktadır. Geliştirilecek teknoloji yatırımlarıyla ve nitelikli işgücünün temin edilmesi ile doğal taş sektörünün daha da yükseleceği düşünülmektedir. Mermer sektöründeki yatırımcıların iç ve dış pazarlar için ürettikleri ürünlerin kalitesinin artmasıyla ülkemizin de marka ülkeler arasına girebileceği düşünülmektedir (Kamacı, 2013). Şekil 1.2'de ülkemizde faaliyet gösteren bir mermer ocağı gösterilmektedir.





**Şekil 1.2.** Mermer ocağı işletmesi

1980 yılından itibaren ülkemizde serbest piyasa ekonomisine paralel olarak izlenen çalışmalar küreselleşme sürecini hızlandırmış, sanayide yeni arayışlar sonucunda sermayenin seyri yeni alanlara yönelmiştir. Bu alanların başında ise mermer sektörü yer almaktadır. Yapı ve ulaşım verilen önemin artmasıyla birlikte, coğrafi olarak uygun olan bölgelerde ve şehirlerde mermercilik faaliyetleri gelişmiştir. Batı Akdeniz bölgesi mermer sanayi, ekonomik kalkınma ve sürdürülebilirlik açısından sanayide ortaya çıkan diğer yeni alanlardan önemli bir şekilde farklılık göstermektedir. Batı Akdeniz’de mermercilik ve turizm faaliyetleri öne çıkmaktadır. 2012 yılı verilerine göre Batı Akdeniz bölgesinde yer alan illerdeki üretilen maden ürünlerinin ihracat sanayisinin içerisindeki ihracat payı artmıştır. Bu pay Burdur ili için % 88 oranına, Isparta ili için % 55 oranına yükselmiş olup, Antalya ili için % 28’lerde kalmıştır. Mermercilik sektöründe doğal kaynak alanlarının kullanılması, ocak ve fabrika çalışmaları, doğal taşın ürün haline getirilmesi ve satışı ekonomiye katkı sağlarken, sektörün devamlılığı için istihdam ve çevre sorunlarına da çözüm bulunması konuları gündeme getirilmeye başlanmıştır (Uzer, 2017).

Batı Akdeniz bölgesinde mevcut mermer fabrikalarının yoğun olarak bulunduğu alanlardan birisi Burdur ilinin Bucak ilçesidir. Bucak ilçesinde, gerek iç piyasa ihtiyacı gerekse ihracat amaçlı olarak mermer ürünleri üretilmektedir. Özellikle 1980 yılından sonra bulunan mermer rezervlerinin üretime açılması sonucu Bucak ilçesinde mermer taşlarını işleyen fabrika sayısında artış görülmektedir. Bucak Ticaret ve Sanayi Odası kayıtlarında Bucak ilçesinde işletilmekte olan mermer ocağı sayısının 18, faaliyette olan mermer fabrikası sayısının 50 ve mermer makineleri üretimi yapan firma sayısının ise 13 olduğu görülmektedir (URL-2, 2019). Bucak ilçesinde mermer sanayisinde çalışan işçi sayısının 1900 civarı ve mermer ocaklarında

alışan sayısının ise 300 olduğu bilinmektedir. Bucak ilçesinden Avrupa kıtası, Asya kıtası, Amerika kıtası, Ortadoğu, Afrika kıtası ve Avustralya kıtasında 43 adet temsilcilik ve satış yapan acentelikler vasıtasıyla ihracat yapılmaktadır. Bucak beyazı ve traverten ürünlerinin ihracatında in, Rusya, Hindistan, Suudi Arabistan, Birleşik Arap Emirliği, İsrail, Amerika Birleşik Devletleri, Ürdün gibi ülkeler yer almaktadır. Bucak ilçesinde başta ABD olmak üzere in, Japonya, İsrail, Suudi Arabistan, Brezilya, Güney Afrika, İtalya, İngiltere gibi yaklaşık 20 ülkeye mermer ihracatı gerçekleştirilmektedir (Duran, 2016).

## 1.2. Mermer Atıklarının Oluşumu

Mermercilik faaliyetlerinin başlangıç aşamasında, mermer ocaklarında yapılan kesme işlemleri yapılarak mermer blokları elde edilmektedir. Şekil 1.3'te mermer ocaklarında büyük parçalar halinde olan mermerin blok Şeklinde ayrılması işlemi görülmektedir.



Şekil 1.3. Mermerin blok Şeklinde ayrılması işlemi

Mermerin ocaklarda bloklar halinde hazırlanmasının ardından fabrikalara nakliye edilmesiyle üretim süreci başlamaktadır. Fabrikalara gelen mermer bloklar üretim için vinç yardımıyla fabrikanın içerisine alınmaktadır. Daha sonra mermer blokları çeşitli mermer makineleri yardımıyla kullanım alanına uygun olarak küçük boyutlara getirilmektedir. Şekil 1.4'te mermer fabrikasında üretime hazırlanan bloklar görülmektedir.



**Şekil 1.4.** Mermer bloklarının fabrikada üretime hazırlanması

Mermer fabrikalarında üretim esnasında atıklar oluşmaktadır. Bu atıklar, fabrikaların içerisinde toplanıp fabrikanın üretime engel teşkil etmeyen alanlarına gelişigüzel olarak yığılmaktadır. Bu atıkların değerlendirilmesinin ekonomiye katkı sağlayacağı düşünülmektedir (Çelik ve Emrulloğlu, 1999). Mermer fabrikalarına gelen malzemeden üretim esnasında ortalama % 30'luk kısmı parça atıklar halinde ortaya çıkmaktadır. Şekil 1.5'de mermer fabrikasında biriktirilen mermer atık yığınları gösterilmektedir.



**Şekil 1.5.** Mermer fabrikasında bulunan mermer atık yığınları

Bucak ilçesi önemli traverten üretimi yapılan bölgelerden birisidir. Burdur ilinde bulunan çamlık travertenlerinin yapısal hesaplamalar sonucunda 13.187.200 m<sup>2</sup>'lik bir alana yayıldığı saptanmıştır. Çamlık travertenleri muhtemel rezervi yaklaşık olarak 659.375.000 m<sup>3</sup>'tür. Burdur ve ilçelerinde faaliyet gösteren mermer fabrikaların sayısı 45'e ulaşmıştır. Bu fabrikaların 34 tanesi Bucak ilçesinde bulunurken 7 tanesi il merkezinde, diğerleri de

Karamanlı ve Yeşilova ilçelerinde bulunmaktadır. Bu fabrikaların üretim kapasitesi toplamı yıllık toplam 2,1 milyon m<sup>2</sup>'dir (Topay, 2011). Bucaktaki fabrikaların üretim sırasında ortaya çıkan traverten atığı miktarı yıllık ortalama 500 bin m<sup>3</sup> civarında olmaktadır.

Mermer üretiminin yoğun olduğu bölgelerde mermer atıklarının uzaklaştırılması, hem çevreye olumsuz etkileri olan hem de ekonomik olarak kayıplara sebep olan bir işlemdir. Atık maddelerin geri dönüştürülmesiyle alakalı çok sayıda çalışma vardır. Atıkların geri dönüştürülmesi işlemi ekstra bir bütçe gerektirmektedir. Son yıllarda tamamı geri dönüştürülemeyen atık malzemelerin farklı alanlarda kullanılabilir hale getirilmesi önemli bir çalışma konusudur (Filiz vd., 2010).

### **1.3. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı**

Özellikle son yirmi yılda işletmelerin çevreye olan hassasiyetleri, sürdürülebilirlik kavramının ortaya çıkmasına sebep olmuştur. Sürdürülebilir bir çevre politikası kapsamında traverten üretimi yapılan fabrikaların çevreye bıraktıkları çevresel atık ve molozların geri dönüşüme tabi tutularak ekonomiye kazandırılması büyük önem taşımaktadır. Bu sebeple bu çalışmada, traverten atıklarının yol inşaatında granüler tabakalarda kullanımına yönelik çalışmalar ve bilimsel analizler gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada spesifik olarak agrega yerine kullanılmasının katkı sağlayacağı düşünülen traverten üzerinde durulmuştur. Traverten üretimi yapan mermer fabrikalarında önemli miktarlarda açığa çıkan traverten atıklarının yol üstü yapısında agrega olarak değerlendirilmesi esas çalışma konusunu oluşturmaktadır. Bu amaçla laboratuvar ortamında 3. Bölümde detayı verilen deneysel çalışmalar yapılmıştır. Traverten atıklarının hem fiziksel özellikleri hem de karışım halindeki mekanik performansı test edilmiştir. Referans malzeme olarak iyi derecelenmiş doğal agrega kullanılmış ve atık malzemelerin sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Traverten atıklarının yol üstü yapısında temel ve alt temel tabakalarında kullanımı ile mekanik performansın artacağı beklenmektedir. Atık malzemelerin geri dönüşümünün sağlanması ve atık yönetiminin sürdürülebilirliği açısından da çalışmanın yararları olacağı düşünülmektedir.

Bu araştırmada amaç, atık malzemelerin mermer fabrikalarında üretim sırasında ortaya çıkan traverten atığı numunelerinin yol inşaatlarında agrega olarak kullanılabilirliğinin incelenerek ülke ekonomisine katkı sağlanmasıdır. Traverten atıklarının geri dönüşüm malzemesi olarak kullanılması endüstriyel ve çevresel açıdan kazançlar sağlamaktadır.

## 2. GENEL BİLGİLER

Çalışma kapsamında kullanılan karayolları ile ilgili bazı tanımların açıklamaları aşağıda verilmiştir.

### 2.1.Yol Üstyapısı

Genellikle alttemel, temel ve kaplama tabakasından meydana gelen, araçların seyri sırasında yola aktarılan dingil yüklerini altyapı için taşınabilir değere indirmek, altyapıyı güvende tutmak ve düzgün bir yüzey oluşturmak için altyapının üzerine yerleştirilen yol yapısına “Karayolu Üstyapısı” denilmektedir (Yılmaz, 2008).

Karayolları teknik şartnamesinde yol üst yapısı tanımı; “trafik yükünü taşımak üzere yapılan ve kaplama, temel, alttemel tabakalarını da içine alan yol yapısıdır.” şeklinde ifade edilmiştir (KTŞ, 2013).

Yol üstyapısının tasarımından beklenen en önemli unsur, hizmet ömrü boyunca deformasyon ve çatlamalara maruz kalmadan güvenli bir şekilde mevcut taşıt trafiğini karşılayacak tabaka kalınlıklarına ve malzeme özelliklerine sahip olmasıdır (Dündar, 1998).

Üstyapılar, kaplama tabakasını meydana getiren malzemelerin cinsine, özelliklerine ve yapım tekniğine göre rijit üstyapı ve esnek üstyapı şeklinde iki sınıfa ayrılmaktadır.

#### 2.1.1.Rijit Üstyapı

Rijit üstyapı tabiri genellikle Portland çimentolu beton plak tabakası ve temel tabakasından oluşan üstyapıya denilmektedir (Kök, 2008). Rijit üstyapı, 4 ana maddeden meydana gelmektedir. Bunlar iri agrega, kum, Portland çimentosu ve su karışımıdır. Rijit üst yapı hem tek hem de iki tabakalı şekilde dökülebilir. Eğer ihtiyaç olursa üst yapının altına granüler bir kaplama altı tabakası da eklenebilmektedir. Bu tip üst yapılarda yükün taşındığı alan büyük çoğunlukla elastik temel üzerine oturan plakalardır.

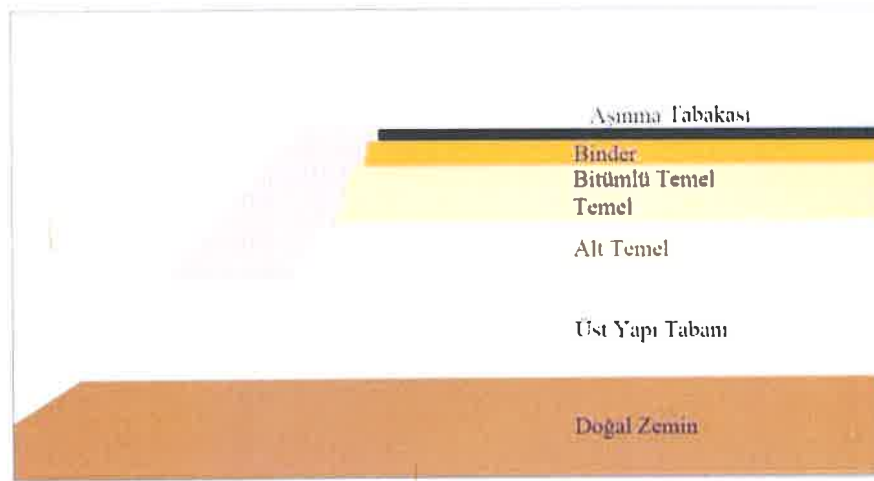
#### 2.1.2. Esnek Üstyapı

Bitümlü malzemelerin bağlayıcı şeklinde kullanımının olduğu üstyapılara esnek üstyapı denilmektedir. Esnek üstyapı, kaplama, temel ve alt temel tabakası olmak üzere üç tabakadan oluşmaktadır. Bu tabakalardan biri olan kaplama tabakası, iki şekilde oluşturulabilir. Birinci tabakayı aşınma ve binder tabakaları bulunan sıcak bitümlü karışım oluşturulmaktadır. Bunun yanında sathi kaplamada uygulanabilmektedir. Granüler bir malzeme ve az miktarda bir bağlayıcı ile hazırlanan diğer tabakalar da vardır. Esnek üstyapıda yük iletimi alt tabakalarda

daha geniş alana yayılmaktadır. Bu durum, taban zemininin yükü taşıyacağı değere indirgeme esasına dayanmaktadır (Şenol, 2019). Temel tabakasının üzerine yerleştirilen bitümlü sıcak kaplamalar yapım tekniği ve uygulanma amaçları farklı olarak sathi kaplama ve bitümlü karışımlardan oluşturulmaktadır. Trafik yoğunluğunun fazla olduğu karayollarında ve şehir merkezlerinde genellikle bitümlü karışımlardan oluşan kaplamalar, trafiğin az yoğun olduğu karayollarında ise genellikle sathi kaplamalar tercih edilmektedir (Öksüz, 2011).

Esnek üstyapı, alttemel, temel ve kaplama tabakalarından oluşmakta olup bu tabakalar çok değişik şekillerde dayanım, performans, kullanılan malzemelerin özellikleri, geçirimsizlik özellikleri ve yapım teknikleri açısından farklılık göstermektedir. Yolun yüzey kısımları daha dayanıklı ve kaliteli malzemelerden oluşmaktadır. Temel ve alt temel tabakalarına doğru inildikçe malzemelerin mekanik özellikleri ve kalitesi düşmektedir. Esnek üstyapının istenilen şekilde olmasının sağlanabilmesi için, esnek üstyapıyı oluşturan tabakaların ve taban zemininin uygulanan şartname kriterlerini sağlayacak şekilde projelendirilmesi ve uygulanması gerekmektedir (Seren, 2015).

Alttemel tabakası, granüler malzemeden oluşan taban zeminin üzerine yerleştirilen ayrıca temel tabakasını taşıyan bir üstyapı tabakasıdır. Temel tabakası, kaplama tabakasından gelen gerilmeleri alt tabakalara yaymak, don etkisini azaltmak ve drenaja yardımcı olmak amacıyla alttemel veya taban zemin tabakasının üstüne uygun kalınlıkta serilen üstyapı tabakasıdır. Kaplama tabakası ise trafik etkilerine ve iklim şartlarına dayanabilecek şekilde inşa edilen en üst tabakadır. Bu tabaka, binder ve aşınma tabakası olarak adlandırılan iki farklı kısımdan oluşmaktadır (Deniz, 2002). Şekil 2.1'de örnek bir karayolu üstyapısı gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Karayolu üstyapısı görünüşü (Seren, 2015)

Esnek yol üstyapısında granüler tabaka, kaplamanın deformasyona karşı direnme kabiliyeti ve geçirgenlik açısından yolun kullanım ömründe önemli bir yer tutmaktadır. Granüler tabakaların davranışlarını etkileyen faktörler; üstyapıda kullanılan agreganın cinsi, yapısı, agrega dane şekli, kalitesi, fiziksel özellikleri, sahip olduğu ince malzemenin çeşidi, miktarı, yüzey dokusu ile gerekli sıkıştırma seviyelerine bağlı olarak yoğunluk ve su muhtevası değerleri olarak sayılabilir (Kaya vd., 2013).

Esnek üstyapılar ülkemizde; malzeme, ekipman ve makinelerin yeterli sayıda olmasından dolayı yaygın şekilde kullanılmakta ve uzmanlaşmış ekipler tarafından uygulanmaktadır (Bağdatlı ve Yıldırım, 2017). Her türlü hava koşullarına karşı dayanıklılığı yüksek olmasından dolayı esnek üstyapılar yaygın olarak kullanılmaktadır. Esnek üstyapılarda bulunan granüler tabakaların üstyapının performansı açısından önemi büyüktür (Araya vd., 2012).

Araç yüklerinin zamanla üstyapı katmanlarında meydana getirdiği deformasyonları en aza indirebilmek için üstyapıda kullanılan malzemelerin deneylerle malzeme kalite tayininin sağlanabilmesi çok önemlidir. Deneyler sonucunda kalite düzeyinin ve performansı etkileyen faktörlerin bilinmesi ve üstyapı projelendirilmesinde dikkate alınması ile yolun kalitesi artırılıp ömrü uzatılabilir (Yılmaz vd., 2008).

### **2.1.3. Üstyapılarda Kullanılan Malzemeler**

Üst yapılarda agregalar ve bağlayıcılar yer almaktadır. Yol yapımında ana malzeme olarak agrega kullanılmaktadır. Yola etki eden yüklerin ortaya çıkardığı gerilmelerin karşılanmasında önemli bir yeri olan agregalar, üstyapının ağırlık ve hacim olarak önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Bu yönleri ile agregalar ve sahip oldukları özellikler, karayolunda çalışan yol mühendisleri için büyük bir öneme sahiptir. Bu sebeple farklı agrega tiplerinin sahip olduğu karakteristiklerin bilinmesi, yolların projelendirilmesi sürecinde önemli bir yer tutmaktadır (Şenol, 2019).

Agregalar birçok farklı alanda kullanılmakla beraber, inşaat sektöründeki kullanımı oldukça yaygın olup gereklilik arz etmektedir. Ülkemizde yol yapım işlerinin artış göstermesi, nüfusun artış gösterdiği şehirlerde kentsel büyüme ve gelişme olması sonucunda agregaya gereksinimin artmasına sebep olmuştur (Soykan vd., 2015).

Esnek ve rijit kaplamalarda agregalarda aranılan özellikler birbirine benzer olmanın yanı sıra kaplamanın tipine, kullanım amacına ve trafik hacmine göre agregalardan beklenen

özellikler farklılık gösterebilir. Örnek olarak, rijit kaplamalarda kullanılan alt temel in amacı pompaj etkisini ve don etkilerini engellemek, drenaj vb. gibi koşulları sağlamak iken esnek kaplamaların alt temel ve temel tabakalarının amacı bunlara ilave olarak trafik yükünü zemine güvenli bir şekilde aktarabilmek amacıyla yük taşımadan da sorumlu olmasıdır. Dolayısıyla bu tabakalarda kullanılacak agregaların gradasyon-yoğunluk, dayanıklılık, dane şekli, yüzey yapısı, kırılmışlık oranı, plastisite, permabilite gibi özelliklerinin gerekli koşulları sağlaması gerekmektedir (Akbulut vd., 2006).

#### **2.1.4. Agregalar**

Asfalt yolların yapımı sırasında temin edilen yol malzemelerinin yaklaşık %95'i agregalardan meydana gelmektedir. Yol yapımında kullanılmak için agregaların temini, genellikle etraftaki ocaklardan ya da doğal agregalardan sağlanmaktadır (Akbulut ve Güner, 2006).

Amerikan standartlarından ASTM D8'de agrega tanımı, "Harç veya beton oluşturmak amacıyla bağlayıcı bir madde ile veya temel tabakaları, demiryolu balastları vb. işlerde tek başına kullanılan kum, çakıl, cüruf ya da kırma taş gibi mineral kompozisyonlu granüler bir malzemedir" şeklindedir. Doğal kayalar ve mineraller "Mineral Agregalar" şeklinde isimlendirilmektedir. Agregalar; bina inşaatlarında, yol üstyapısında, köprü vb. su yapılarında ve altyapı çalışmalarında kullanılan inşaat sektörü için önemli bir hammaddedir. Agrega ve su; kişi başına düşen miktar hesaplandığı zaman Dünya'nın en yüksek oranda harcanan maddeleridir. Dünya'da üretilen agregalar, maden üretiminin tamamının % 58'ini oluşturmaktadır (Yılmaz vd., 2012). Asfalt yollar için kullanılan agregalar, doğal agregalar ve yapay agregalar olarak iki ana başlıkta incelenebilir.

##### **2.1.4.1. Doğal Agregalar**

Doğal agregalar, doğal yollarla ve fiziksel olarak oluşan agregalardır. Doğal agregalar, doğal olarak parçalanmış olarak bulunur ya da dere, teras gibi alanlardan daha büyük parçalar halinde çıkartılıp konkasörlerle istenilen boyutlara ulaştırılır. Doğal agregalar yapı itibariyle kırma taşlardır (Deniz, 2002).

Doğal agregalar, köken olarak minerallerden oluşan karışımlar halinde bulunabilmektedir. Kum ve çakıldan oluşan malzeme, tüvenan agrega şeklinde isimlendirilmektedir. "Tüvenan" sözcüğü Fransızca kökenli olup "hepsi bir arada" anlamına gelmektedir (Çobanoğlu vd., 2014).



Doğal agregalar arasında yer alan çakıl ve kum; ovalardan, teraslar ve çöllerden, derelerden ve eski dere yataklarında oluşan ocaklardan temin edilir. Kırma taş, büyük taşların, bütün agrega parçalarının kırılmış bir yüzeye sahip olacak bir biçimde kırılması neticesinde meydana gelmektedir. Ana kayaçların taş ocaklarında patlatılmasıyla parçalanan taşlar konkasörden uygun bir şekilde geçirilerek arzu edilen boyutlarda agrega elde edilir. Kırılmış taşlar, arzu edilen agrega boyutları elde edilebilmesi için uygun eleklerden geçirilirler. Kaba agregaların üretilmesinden sonra, konkasörden arta kalan silt malzemesine karşılık gelen kırma kuma filler, mıcır tozu veya taş unu denilmektedir (URL-3, 2019). Şekil 2.2’te kırma taş örneği gösterilmektedir.



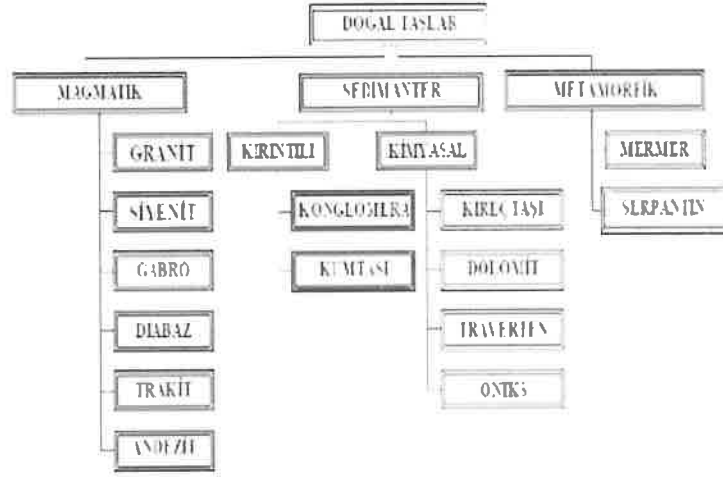
**Şekil 2.2.** Kırma taş örneği

Bu ve buna benzer agregalar çoğunlukla yıkama, kırma, eleme gibi işlem aşamalarından sonra kullanılır. İşlenmiş agregalar, kırma işlemi ve eleme işlemine tabi tutulmuş olan doğal kayaları içermektedir. Bu ve benzeri işlem aşamaları olmadan doğrudan kullanılabilir olan doğal agregalarda bulunabilmektedir (URL-4, 2019).

Doğal agregaların elde edilmesinde kullanılan kayaçlar kökenlerine göre; üç temel grupta ele alınırlar. İlk gruptaki kayaçlara, magmatik kayaç denilir. İkinci gruptaki kayaçlara, metamorfik kayaç denilir. Son olarak üçüncü gruptaki kayaçlara ise sedimanter kayaç denilir. Ayrıca ülkemizde faaliyet gösteren agrega işletmelerinde üç tip kayaç üretilmektedir. Bunlar sedimenter grubunda yer alan karbonat kayaçlar (kalsit, kireçtaşı ve dolomit), detritik kayaçlar (kumtaşı vs.) ve volkanik kökene sahip olan bazalt ve andezit olarak adlandırılan kayaçlardır (Yılmaz vd., 2012).

Araştırmacılar doğal taşlar için farklı sınıflandırılma sistemleri geliştirmiştir. Doğal taşların oluşumlarına göre sınıflandırması, yaygın olarak kullanılan bir sınıflandırma türüdür.

Şekil 2.3'te oluşumlarına göre doğal taş sınıflandırılması görülmektedir (Gürcan ve Büyüksağış, 2005).



Şekil 2.3. Doğal taşların oluşumlarına göre sınıflandırılması

Şekil 2.4'te sedimenter grubunda yer alan karbonat kayaçlar sınıfında yer alan kireçtaşı gösterilmektedir.



Şekil 2.4. Kireçtaşı kayaç görünümü (URL-5, 2019)

#### 2.1.4.2. Yapay Agregalar

Yapay agregalar, fabrikalarda üretim esnasında ortaya çıkan atıklardan elde edilen yüksek firın cüruf taşı, yüksek firın cüruf kumu, uçucu kül gibi kırılmış veya kırılmamış agregalardır (Çağlayan vd., 1999).

Doğal olan malzemelerin fırınlarda sıcaklığın yükseltilerek genişletilmesiyle üretilen ve yapay agregalardan olan yüksek fırın cürufu günümüzde çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Yapay agregalar tipik olarak hafif ağırlıklı ürünlerdir. Yapay hafif agrega olarak şist, genişletilmiş kil, uçucu kül, cüruf, arduaz ve farklı şist çeşitleri sayılabilmektedir (Yolcu ve Girgin, 2017).

## 2.2. Mermer ve Özellikleri

Yüksek miktarda sıcaklık ve basınçla başkalaşım geçirmiş olan kalkerlere mermer adı verilmektedir. Endüstriyel anlamda ise kolaylıkla cilâlanabilen ve kolaylıkla parlatılabilen taşlar, mermer olarak tanımlanmaktadır (Çetin, 2003).

Mermer, kalker ve dolomitik kalkerlerin basınç ve ısı etkileri altında başkalaşıma uğrayarak tekrar kristalleşmesiyle oluşan metamorfik kayalardır. Daha geniş bir bakış açısıyla ise mermeri, “Blok verebilen, kesilerek parlatma suretiyle cilalanabilen, dayanımı olan ve göze hoş görünen her türlü kayaç olarak tanımlanmak mümkündür (Ural ve Yakşe, 2015).

Daha farklı bir bakış açısıyla mermer, endüstriyel yönden değerlendirilebilir. Bu tanıma göre; işlenmesi mümkün olan, cilalama, parlatma ve boyutlandırma işlemleri uygulanabilen ya da dekorasyon ürünü olarak kullanılan tüm doğal taşlar mermer kapsamına alınabilmektedir. Mermer; petrografik olarak tanımlanmış ve masif bir yapıda, kabaca tekdüze irilikte olan ve kalsit kristallerinin arasında boşluk bırakmaksızın dizildiği bir mozaik olarak açıklanmaktadır (Kavas ve Kibıç, 2001).

Mermerin en önemli fiziksel özelliği sahip olduğu renk olmakla birlikte beyaz haricindeki renkler mermerin içeriğinde yer alan yabancı maddelerden dolayı oluşmaktadır. Mermerin kalitesi sahip olduğu renk, saydamlık, dayanıklılık, üzerindeki çatlak ve boşluk miktarı gibi etkenlere göre belirlenir (Kadıoğlu ve Özav, 2008).

Doğal taşların birim hacim ağırlığı, dokusal ve mineralojik bileşimine bağlıdır. Mermerlerde bu oran en az 2,5 g/cm<sup>3</sup> olarak kabul edilmektedir. Bir cismin birim hacminin kütlesine öz kütle denir. Farklı doğal taşların öz kütleleri de farklı olmaktadır. Bazı doğal taşların öz kütleleri Tablo 2.1’de listelenmiştir.(URL-6, 2019)

**Tablo 2.1.** Doğal taş öz kütleleri

Doğal taş Adı	Öz Kütle( g/cm <sup>3</sup> )
Pomza taşı	0,50 – 1,75
Volkanik tüf	1,10 – 1,75
Kalker tüfü	1,10 – 2,00
Kalker	2,00 – 2,40
Traverten	2,20 – 2,50
Dolomit	2,30 – 2,90
Kristalize kalker	2,40 – 2,70
Trahit	2,40 – 2,75
Porfir	2,45 – 2,70
Gnays	2,50 – 2,70
Serpantin	2,50 – 2,75
Granit	2,55 – 2,75
Kristalin Şist	2,60 – 3,10
Mermer	2,70 – 3,00
Siyenit	2,70 – 3,00
Diorit	2,75 – 3,20
Bazalt	2,75 – 3,20

Bilimsel isimlendirme kapsamında değerlendirildiği zaman “mermer” ismi kullanıldığı gibi, jeolojik kökenleri oldukça farklı olan diğer renkli doğal taşlara da, “traverten”, silisli taşlar grubundan “granitler”, “serpantinler” gibi farklı isimler de kullanılabilir (Sel, 2006).

### 2.3. Traverten ve Özellikleri

Ülkemizde çok farklı tipte traverten yatakları bulunmaktadır. Genellikle tabaka tipi oluşumlar şeklinde görülen başlıca traverten yatakları; Adana, Antalya, Denizli, Konya Mersin, Sivas, Van, Eskişehir, Erzurum ve Kayseri bölgelerinde bulunan traverten yataklarıdır. Bu yataklardaki travertenler genellikle beyaz, krem, beyazımsı krem, açık kahve ve sarı renkli, süngerimsi yapılı, belirsiz tabakalanmalıdır ve bol gözeneklidir (Polat, 2011). Şekil 2.5’de genellikle ülkemizde çok görülen açık renkli traverten gösterilmektedir.



a.Ocaktan çıkmış hali

b.Fabrikada işlenmiş hali

**Şekil 2.5.** Traverten görünüşü

Traverten ve tufalar, eski karbonatlı kayaçların atmosferik ve yer altı sularının etki etmesiyle çözünerek kalsiyum bikarbonatça zenginleştirdiği kaynak sularından başlayarak karasal ortamlarda tekrar  $\text{CaCO}_3$  çökeltmesiyle meydana gelen kayaç türleridir. Tufa; yüksek gözenekli, süngerimsi, yaprağımsı ve odunsu dokulu soğuk su karbonat çökellerini tanımlamada kullanılmıştır. Travertenler, oluşum şartları açısından termal kaynaklarda meydana gelmektedir (Pedley, 1990).

### **2.3.1. Traverten Atıklarının Yol Üstyapısında Kullanımı**

Endüstriyel atıklar konusunda yapılan bilimsel araştırmalar sonucunda atıkların çevre problemleri oluşturmasını engellemek amacıyla geri dönüşüm işlemine tabi tutulması planlanmıştır. Bu geri dönüşüm işlemi sadece çevre kirliliği açısından değil aynı zamanda ulaştırma sektöründe olduğu gibi farklı alanlarda ortaya çıkan atıkların bertaraf edilmesinin sağlanması ve doğa tahribatını en aza indirgeyerek üretimdeki verimliliği de artırması düşünülmektedir (Erdem ve Öztürk, 2012).

Mermer işletmeciliğinin ve doğal taş işletmeciliğinin yer aldığı bölgelerde bazı topografik ve çevresel problemler oluşabilmektedir. Doğal taş üretimi esnasında ve mermer bloklarının çıkartılması sürecinde doğal çevre morfolojisi bozulmakta ve buna bağlı olarak toprak kayması vb. topografik değişkenler oluşabilmektedir. Bu durumun yanında görüntü kirliliği de oluşabilmektedir. Mermer ocaklarında yapılan blok üretimi sürecinde oluşan ve pasa adı verilen atık maddeler işletmenin belirlediği bir pasa döküm sahasına kamyonlar vasıtasıyla götürülerek biriktirilir. Yakın bölgelerde çalışan birden fazla üretim sahasından çıkan atık maddelerin bir alana dökülmesi daha belirgin bir görüntü kirliliğinin oluşmasına sebep olmaktadır. Bu alanlarda biriktirilen pasa atık maddeleri, herhangi bir başka amaç için

kullanılmamaktadır. Mermer fabrikalarında üretim esnasında oluşan parça atıklar, paletyen adı verilen işlenmiş kırık mermer parçası şeklinde olup genellikle fabrika çevrelerinde görüntü kirliliği sağlayacak şekilde düzensiz büyük yığınlar meydana getirmektedir (Yıldız, 2008). Agregaya kaynaklarının hızla azalması, çevreye verilen zararların artması, agregaya üretimi için yapılan harcamaların yükselmesi nedeniyle karayollarının yapımı sırasında önemli bir etkisi olan üstyapı maliyetinin düşürülmesi için alternatif malzeme temin edilmesi ve uygulanabilir seçeneklerin gözden geçirilmesi gereklilik arz etmektedir (Seferoğlu vd., 2015). Uzun zamanlardan bu yana üretim süreçlerinin ardından oluşan atık malzemelerin inşaat malzemeleri yerine kullanımı ile ilgili çok farklı ve çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Teknolojik gelişmelerin gün geçtikçe artması gelişimin yanında kirlilik oranlarını da yükseltmektedir. Tüm Dünya’da bu sorunun çözümü ile ilgili birçok çalışma yapılmaktadır. Yapılan araştırmalar ortak olarak atık malzemelerin yeniden kullanımı noktasını amaçlamaktadırlar. Bu çalışmaların yanında uluslararası standartlaştırma kuruluşları ve çevre örgütleri, toplumun oluşan ihtiyaçlarını karşılamak için yeni metodolojiler ve araç-gereçler geliştirmeye yönelmektedirler.

Aşağıdaki bölümde mermer ve benzer atık yan ürünlerin yeniden kullanımı ile ilgili bazı çalışmalar derlenerek özetlenmiştir.

#### **2.4. Önceki Çalışmalardan Örnekler**

Akbulut vd. (2003), hazırlamış oldukları çalışmada; Afyon bölgesinde üretim sırasında ortaya çıkan atık mermer parçalarından oluşan agregaların Afyon Belediyesi'nin yol yapımı işlerinde kullanılabilirliğini incelemişlerdir. Türkiye'deki kaynakların kullanımında ciddi ekonomik kayıpların oluşmasının daha çok malzemelerin yeniden kullanımında ortaya çıkan zorluklar sonucunda olduğundan bahsetmişlerdir. Ayrıca Türkiye’de, Avrupa ve Amerika Birleşik Devletlerine kıyasla geri dönüşümün çok düşük olduğunu belirtmişlerdir. Karayollarında kullanılan kaplama malzemelerinin ortalama % 90 oranında agregalardan meydana geldiğinden bahsetmişlerdir. Bununla birlikte agregaların yüksek maliyetli olduğunu söylemektedirler. Asfalt malzemelerinde kullanılan agregaların sadece ekonomik kazanç sağlamakla kalmayıp çevreye ve tarım arazilerine oluşturdukları zararlarında önüne geçilmesi sağlanacağından söz etmişlerdir.

Erol (2008), yaptığı çalışmada; atık maddelerin artması sorununun çözümü için ülkelerin birçoğunun bir takım araştırmalar yaptığından söz etmiştir. Bu araştırmaların ortak amacının, halen yapılmasına devam edilen çalışmaların incelenip atık malzemelerin kullanılabilmesi için yeni çözümler üretilmesi olduğunu söylemektedir. Çalışma kapsamında atık malzemeler, yapılan analizler ve deneyler ışığında incelenmiştir. Atık malzeme kapsamına,

ekonomik ömrü dolmuş araç lastikleri, metal cürufu ve uçucu kül dâhil edilmiştir. Bu malzemelerden kullanım ömrünü doldurmuş lastikler ve uçucu kül üzerinde yapılan laboratuvar deneylerinin yanında metal cürufu için deneylerin yanı sıra nümerik analiz ve arazi uygulaması da yapılmıştır. Araştırma kapsamında inceleme altına alınan malzemelerin karayollarında temel olarak kullanılmasının yolun dayanıklılığı yönüyle bir sorun açmadığı gibi çevresel yönden de herhangi bir problem meydana gelebileceği belirtilmiştir. Çalışmanın sonucunda kullanım ömrünü doldurmuş lastik, metal cürufu ve uçucu kül atık malzemelerinin karayollarında temel malzemesi olarak kullanımının uygun olduğundan bahsetmektedir.

Ural ve Yakşe (2015), yapmış oldukları çalışmada; Bilecik ilinde ortaya çıkan mermer atıklarının yol temel malzemesi olarak değerlendirilmesi yönünde araştırmalar yapmışlardır. Bu amaçla, çalışma kapsamında; hava tesirlerine ve donmaya karşı dayanıklılık deneyi, Los Angeles deneyi, yassılık indeksi deneyi, organik madde tespiti deneyi, su emme deneyi, Atterberg kıvam limitleri deneyi ve metilen mavisi deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneyler ile karayolları teknik şartnamesinde belirtilen şartların taşınıp taşınmadığı incelenmiştir. Yapılan analizlerin sonucunda ulaşılan bilgiler ışığında, Bilecik İlinde bulunan mermer fabrikalarından elde edilen atıkların arasında yapılan kıyaslama sonucu 3 bölgeden elde edilen atıkların Karayolları Teknik Şartnamesinde belirtilen alt temel ve temel malzemesinin gerekli fiziksel özellikleri sağladığını belirtmişlerdir.

Akbulut ve Gürer (2006), yapmış oldukları çalışmalarında; Afyon-İscehisar bölgesinde yer alan homojen yapıdaki bir mermer ocağından mermer atıkları elde etmişlerdir. Toplanan atık maddeler, agrega üretiminde kullanılmış ve karşılaştırmanın yapılabilmesi için şehir içi asfalt uygulamalarında kullanılan bir şahit agrega numunesi kapsama alınmıştır. Araştırma kapsamında, Marshall stabilite akma deneyi uygulanmış ve ardından da dolaylı çekme deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda, deneyde yer alan agrega numunelerinin orta ve düşük düzeyde trafiğe maruz kalan yollarda kullanılabileceği sonucuna ulaşmışlardır.

Yılmaz ve Yıldız (2015), yapmış oldukları çalışmalarında; fabrikaların oluşturduğu atıkların bertaraf edilmesinin maliyetler oluşturduğuna dikkat çekerek bu konuda alternatif bir çözüm yolu geliştirme yolunda araştırmalar yapmışlardır. Bu konuda literatürde yapılan akademik çalışmalara atıf yapılarak, yol inşaatları kapsamında atık cürufularının kullanımı araştırılmıştır. Yapılan işlemler sonucu numunelerin doğal agrega özelliklerini gösterdiği bildirilmiştir. Bu bilgilerin yanında, atıkların geri kullanımlarında insan sağlığı ve çevre faktörlerinin de düşünülmesi gerektiğinden bahsetmişlerdir. Çalışmada bu konuda, ferrokrom (FeCr) atıklarının yer altı sularına yönelik etkileri tespit edilmeye çalışılmış ve liç deneyi de yapılarak üstyapıda yer alan atık malzemeden olabilecek sızıntılarda zararlı madde ve ağır

metallerin olma durumu incelenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda uygunluk durumlarını göstermişlerdir.

Özdemir vd. (2017), yaptıkları çalışmalarında; yol inşaatlarının temel ve alt temel tabakalarında mermer atık maddelerinin kullanılma durumlarını incelemişlerdir. Çalışmada Malatya Bej, Adıyaman Emrador ve Erzurum traverten atıklarından numuneler elde edilmiş ve numuneler üzerinde tane boyu dağılımı, su emme, Los Angeles aşınma, tane yoğunluğu, likit limit, Proktor, donmaya dayanıklılık gibi deneyler uygulanmıştır. Araştırmaların sonucunda, numunelerin temel ve alt temel tabakalarında kullanılabilir olduğundan bahsetmişlerdir.

Yılmaz ve Süttaş (2015), yaptıkları çalışmada; Antalya Eti ferrokrom tesislerinden elde edilmiş olan elektrik ark fırını cürufklarının yol üst yapısı temel tabakalarındaki kullanımlarını deneysel olarak araştırmışlardır. Analiz kapsamında, CBR ve Proktor deneyleri ve serbest basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Yapılan çalışmada ulaşılan sonuçlara göre, doğal agregaya bir alternatif olarak, endüstriyel bir atık olan ferrokrom cürufkları mekanik ve fiziksel özellikleri dikkate alındığında bu maddelerin yol üst yapısında yer alan granüler tabakalarda kullanılabilirdiğinden bahsetmişlerdir. Ayrıca bağlayıcı bir malzeme ile stabilize edilmesi durumunda özellikle yüksek trafik yoğunluğuna sahip olan karayolları için kullanışlı bir stabilizasyon malzemesi olabileceğini de anlatmışlardır.

Okubay ve Yardım (2016), yapmış oldukları çalışmada; karayolu üst yapılarında kullanılan bitümlü sıcak karışımlarda mermer atıklarına yönelik yeni bir kullanım alanı araştırmışlardır. Bu araştırmanın sonucu mermer atıklarının agrega ve filler malzemesi olarak kullanılabilirliğine yönelik bir araştırma yapılmıştır. Numuneler üzerinde standart bağlayıcı ve superpave bağlayıcı performans deneyleri yapılmış, Marshall yöntemi sayesinde agregalara yönelik fiziksel özellik bilgisine ulaşılmış, bu sayede elde edilen karışım türlerinin optimum bitüm içeriğine yönelik bilgiler elde edilmiştir. Deneylerin sonuçlarına göre, numune olarak alınan atık malzemelerin şartnamedeki değerlerini sağladığından bahsetmişlerdir

Akbulut ve Gürer (2003), yapmış oldukları çalışmalarında; Afyon mermer ocaklarından elde edilen agregaları analiz kapsamına almışlardır. Atık mermerlerin kullanımıyla Afyon belediyesinin bir yılda kullandığı doğal agrega ihtiyacının rahatlıkla karşılanabileceğinden bahsetmişlerdir. Bu gelişmenin ekonomik bir katkı da sağlaması hususuna değinmişlerdir. Şehir içi yollar gibi yüksek standart gerektirmeyen yollarda atık mermer kullanımının herhangi bir sorun oluşturmayacağı sonucuna ulaşmışlardır.

Terzi ve Karaşahin (2003), yapmış oldukları çalışmalarında; mermerlerin kesimi esnasında ortaya çıkan bir atık olan mermer tozunun asfalt betonunda kullanılan filler malzemesi yerine kullanılabilirliği yönünde bir araştırma yürütmüşlerdir. Çalışmaya göre,



Marshall stabilite deneyi ve plastik deformasyon deneyleri yapılmıştır. Sonuç olarak, mermer tozlarının kullanımı sonucunda çevresel bir katkı sağlanabileceği, bunun yanında mermer tozuna ulaşımın nispeten daha kolay olduğu yörelerde, asfalt betonu karışımı hazırlanırken taş tozu kullanımı yerine mermer tozunun filler malzemesi olarak kullanımının uygun olacağı görüşünü belirtmişlerdir.

Ergezer (2018), yapmış olduğu çalışmada; traverten atık maddelerinin yol temel ve alt temel tabakalarında kullanılabilirliğini incelemiştir. Bu kapsamda Sivas ili sıcak çermik bölgesi traverten atıklarını numune olarak kullanmıştır. Elde edilen atık mermerler laboratuvar ortamında deneylerde kullanılabilir bir hale getirilmiştir. Numunelerin fiziksel özelliklerinin belirlenmesi amacıyla; yassılık indeksi deneyi, elek analizi deneyi, kaba ve ince agregada su emme deneyi, hava tesirlerine karşı dayanıklılık deneyi, Los Angeles deneyi, likit limit ve plastik limit deneyi, metilen mavisi deneyi, organik madde tespit deneyi ve modifiye Proktor deneyi uygulanmıştır. Deney sonuçlarına bakıldığında beklenen değerlerin üzerinde olduğu ortaya konulmuştur.

Ok ve Demir (2018), yapmış oldukları çalışmalarında; granüler malzemenin doğal yollardan temininin, maliyetlerinin yüksek olması sebebiyle alternatif olarak kentsel dönüşüm projesi sonuçlarına göre incelendiğinde depreme karşı dayanıklı olmadığı belirlenen yapıdan alınan yıkıntı atıklarının birtakım işlemlerden geçirilerek geri dönüşümü yapılmasından bahsetmişlerdir. Laboratuvarda yapılan fiziksel ve mekanik özellik belirleme deneyleri ile bu malzemenin karayollarında dolgu malzemesi olarak kullanımı tespit edilmeye çalışılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda binalardan elde edilen yapım ve yıkım atıklarının geri dönüştürülerek karayolu dolgularında kullanılmasına engel olabilecek herhangi bir sonuç ile karşılaşmadığını anlatmışlardır.

Yılmaz (2017), yapmış olduğu çalışmada; doğal agregaya alternatif olarak kullanılabilir olan atık maddelerin çevresel etkileri üzerinde bir analiz gerçekleştirmiştir. Bu sebeple, ferrokrom (FeCr) cüruf atıklarının kullanımı esnasında mevcut yer altı sularına oluşturabileceği etkilerin saptaması amacıyla liç deneyleri yapılmıştır. Deney kapsamında atık maddenin muhtemel zararları standartlara uygunluğu belirlenmeye çalışılmıştır. Hazırlanan karışımlarda %10 çimento olan liç deneylerinin sonuçları olumlu olmuştur. Gözlemlenen sonuçlara göre, Atık cürufün çimento ile karıştırılması sayesinde Cr gibi kirleticiler atık maddenin bünyesinde kalmakta ve yeraltı sularına kirlilik oluşmamaktadır diye izah etmiştir.

Ontürk vd. (2014), yapmış oldukları çalışmalarında; endüstrilerin üretimlerini gerçekleştirirken ortaya çıkan katı atık maddelerin otoyol temel malzemesi olarak kullanılması durumunu analiz etmişlerdir. Bu kapsamda, incelenen atık maddelerin temel tabakaları

üzerindeki serbestlik dayanımı ile rijitlikleri incelenmiştir. Farklı oranlarda ilaveler ile bir dizi deney yapılarak otoyol alt temel yapısında değerlendirilmesi için 7-14 gün arasında küre maruz bırakılmıştır. Yapılan işlemin sonunda standart kompaksiyon değerlerinin yanında Kaliforniya taşıma oranı (CBR) değerlerindeki değişimler izlenmiş ve Kaliforniya taşıma oranında artış kaydedildiğinden bahsetmişlerdir.

Üstüncöl ve Turabi (2010), yapmış oldukları çalışmalarında; bitümlü sıcak karışımlarda, sudan kaynaklanan bozulmaların azaltılması ve mümkün olan en düşük düzeye çekilmesi amacıyla çalışmalar yapmışlardır. Bu kapsamda, suyun kohezyon etkisini ortaya çıkarmak ve endüstriyel atık ve filler malzemelerinin en elverişsiz durumlarını belirlemek amacıyla Marshall deneyi uygulanmıştır. Yapmış oldukları çalışmada, değişik özelliklere sahip olan endüstriyel atıkların (fosfo alçı, mermer tozu, cam tozu, uçucu kül) asfalt betonunun aşınma tabakasında kullanılması durumundaki fiziksel ve mekanik etkilerini araştırmışlardır. Farklı bitüm oranlarını kullanarak hazırladıkları numuneler için Marshall metodunu uygulamışlardır. Sabit bitüm miktarına karşılık olarak % 0 oranında taş tozu ve % 7 oranında endüstriyel atık filler kullanarak hazırladıkları bitümlü karışımlara suyun sıkıştırılmış bitümlü karışımların kohezyonuna etkisini belirlemek amacıyla Marshall deneyi yapmışlardır. Ayrıca stabilite ve akma değerlerinin değişimini incelemişlerdir. Deney sonuçlarına göre, kullanılan endüstriyel atık filler malzemelerin yüksek sıcaklıklarda ve değişen kür şartlarında, asfalt betonu kaplamalarda taş tozunun filler yerine kullanılabileceğinden bahsetmişlerdir.

Çobanoğlu vd. (2014), yaptıkları çalışmada; mermer ocaklarının üretim alanlarında oluşan traverten parçalarının betonlarda agrega yerine kullanılması durumunu araştırmıştır. Öncelikle atık malzemelerden elde edilen agregalar fiziksel özellikleri ve mekanik özellikleri yönüyle incelenmiştir. Daha sonra denemek amacıyla beton karışımları hazırlanmıştır. Farklı sürelerde sürdürülen deneylerde kullanılan beton, kırma agregalı beton ile kıyaslanmıştır. Yapılan deneylerin göstergelerine göre, travertenden elde edilen agrega kullanılarak hazırlanan betonun C30 sınıfı beton dayanıklılık değerlerini taşıdığını göstermişlerdir.

Ceylan ve Mança (2013), yapmış oldukları çalışmada; mermer ocaklarında oluşan iri parçalı atıkların beton agregası yerine kullanılma durumunu incelemişlerdir. Beton üretiminde kullanılan doğal agrega, mermer atıklarından hazırlanan agrega ile kıyaslanarak deneyler uygulanmıştır. Yapılan deneyler sonucunda, iri parçalı mermer atıklarının doğal agrega yerine kullanımının uygun olduğunu anlatmışlardır.

Güven (2015), yapmış olduğu çalışmasında; Denizli ilinde ihracat ürünleri arasında çok önemli bir yer tutan traverten fabrikalarındaki travertenin üretimi sırasında ortaya çıkan traverten atıklarının tarıma zarar vermesini azaltmayı, atıklardan oluşan yığınları azaltmayı,

traverten fabrikalarında atık maddelerin ortaya çıkardığı maliyetleri düşürmeyi ve traverten atıklarının kullanılması sonucu betonun mekanik özelliklerinde iyileştirmeler yapmayı amaçlamıştır. Traverten üretiminde ortaya çıkan çamurun çimentonun içine % 5, % 10, % 15, % 20, % 25 ve % 30 seviyelerinde eklenmesiyle hazırlanan numunelerin, farklı yaş grupları için deneyler uygulanmıştır. Şahit olarak sadece çimento ile üretilen numunelerin sonuçları ile diğer sonuçlar karşılaştırılmıştır. Ayrıca mineral katkı olarak betona eklenen traverten çamuru için deneyler uygulanmıştır. Deney numunelerinin hazırlanması için traverten çamuru % 3, % 6 ve % 9 oranlarında eklenmiştir. Çimentoda katkı maddesi olarak hazırlanan numunelerin deneylerindeki gibi şahit numuneyle sonuçlar kıyaslanmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçların irdelenmesiyle en uygun traverten katkı oranlarının bulunmasıyla katkı maddesi olarak daha ekonomik olan atık kullanılmasıyla üretilen parke ve bordürlerin kullanılmasından bahsetmiştir.

Kamacı (2013), yapmış olduğu çalışmada; Türkiye'deki traverten üretiminin ve traverten işletmelerinin sayısının çok fazla olduğundan söz etmiştir. Bununla birlikte traverten işletmelerinin standartlarını yükseltebilmesinin ülke ekonomisine katkısı olacağını söylemiştir. Bu nedenle çalışmada, traverten işletmelerinde hataların tespit edilebilmesi için firma üretim yetkilileriyle karşılıklı görüşülmesi gerektiğinden bahsetmiştir. Bu amaçla sorunların tespiti için anket hazırlanmıştır. Çalışmadaki soruların bazıları işletmeyi tanımlayabilmek için bazıları da sorunların tespiti için hazırlanmıştır. Traverten, doğal taşlardan ayıran birçok farklılıklar bulunmaktadır. Bu farklılıklar neticesinde endüstriyel işleyiş aşamalarında meydana gelen sorunlarda değişiklik göstermektedir. Bu değişikliklerin sonucunda ortaya çıkan sorunların tespiti için 44 firma ile karşılıklı görüşülme ile anket çalışması yapılmıştır. Çalışmanın sonunda, traverten yüzey işleme işlemleri olan cilalama, eskitme ve dolgu safhalarındaki problemler ile alakalı olarak tüm firmalardan elde edilen bulgular istatistik çalışmalarıyla irdelenmiştir. Sorulara verilen cevapların anlamlılığının tespit edilebilmesi için çeşitli hipotez testleri hazırlanıp uygulanmış ve tavır farklılıkları incelenmiştir. Özetle, travertenin işlenmesi safhalarında sorunlarının neler olduğu tespit edilmeye çalışılmıştır.

Dipova yapmış olduğu çalışmada (2005), Antalya ilindeki tufa platosunun jeolojik kökenini açıklamış ve yapılan laboratuvar deneylerinden elde edilen sonuçlarla tespit edilen mühendislik özelliklerinden bahsetmiştir. Antalya tufasının çok fazla aralıklı farklılık gösteren yapısal özellikleri ve karstik boşluklarına ilave olarak, yüzeyinde kırmızı topraklar (terra-rossa) ve zayıf çimentolu birimler bulunduğunu tespit etmiştir. Antalya ilindeki buna benzer zeminlere uygulanan çöken zemin deneyleri sonucunda % 1 ila % 10 değerlerinde çökme potansiyeli tespit edildiğinden bahsetmiştir. Çalışmada ayrıca, zemin özelliği gösteren başka

bir unsur olarak karstik ayrışma aşamalarının sonucunda ortaya çıkan ürün olan kırmızı toprak(terra-rosa) hakkında ayrıntılı bilgiler vermiştir.

Literatür çalışmaları incelendiğinde traverten atıklarının çoğunlukla beton agregası şeklinde kullanımından bahsedilmiştir. Karayolu üstyapısında agrega olarak kullanımı konusunda yeterli çalışma olmadığı görülmektedir. Bu nedenle traverten atıklarının yol üstyapısında agrega olarak kullanımı önem arz etmektedir. Bu tez çalışmasının literatürdeki bazı eksik noktaları tamamlayarak katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada, Burdur ili Bucak ilçesinde faaliyet gösteren mermer fabrikalarından elde edilen traverten atıkları incelemeye tabi tutulmuştur. Bucak ilçesinin seçilmesinin nedeni Burdur ilindeki en fazla mermer fabrikasının olduğu Organize Sanayi Bölgesinin burada yer almasıdır. Bu kapsamda, Bucak ilçesinde yerleşik olan ve traverten ocaklarına sahip olan Portsan Mermer A.Ş. ve Başarılar Mermer A.Ş. fabrikaları ile görüşülerek üretim sırasında ortaya çıkan ve fabrikada kullanılma imkânı olmayan traverten atıklarından numuneler alınarak incelenmiştir.

Traverten atıkları sadece fabrika sahasında değil mermer ocaklarında kesim esnasında da ortaya çıkmaktadır. Ancak ocakların lokasyonu ve ortaya çıkan traverten atıklarının boyutlarının işlenmeye uygun olmamasından dolayı sadece mermer fabrikalarında ortaya çıkan traverten atıkları incelenmiştir.

Çalışmada şahit numune olarak taş ocaklarından elde edilen kırma-taş kullanılmıştır. Doğal kırma-taş Bucak ilçesi Avdancık köyü Sivişler mahallesinde bulunan Bucak Madencilik Tic. A.Ş. dolomit ocağından alınmıştır. Aşağıdaki bölümde bu malzemeler hakkında daha detaylı bilgiler verilmiştir.

##### 3.1.1. Traverten Atıkları

İnşaat sektöründe ve sanayinin diğer kollarında önemli hammaddelerden biri olan mermerin yanı sıra traverten de aynı alanlarda kullanımı gün geçtikçe artan bir hammadde konumuna gelmiştir. Tıpkı mermer gibi travertende sahip olduğu görsel zenginliklerini uzun bir süre üzerinde muhafaza etmektedir. Maruz kalacağı sıcak havaya ve soğuk havaya karşı yalıtkan özelliği bulunmaktadır. Temizlik yönünden büyük kolaylık sağlayan traverten aynı zamanda bakımı kolay bir taştır. Sahip olduğu renk çeşitliliği ve bunun yanında desen yönünden çok zengin bir içerik potansiyeline sahip bir taştır. Sahip olduğu renkler sıralandığında, ağırlıklı olarak beyaz, açık beyaz ve kirli beyaz gibi beyaz tonlarının yanında sarı ve açık bej renkler de yaygın olarak görülmektedir. Ocakların etrafındaki tarımsal amaçlı alanlar açısından mermer ve traverten atık yığınlarının birikmesi görüntü kirliliğinin yanı sıra fiziksel kirlilik de oluşturmaktadır. Mermer ve traverten atıkları çimento, seramik, metalürji, kağıt, gübre ve yem gibi sanayideki birçok alanda ve karayolu inşaatında değerlendirilme potansiyeline sahiptir (Kadıoğlu ve Özav, 2008).

Bu çalışmada bahsi geçen Portsan Mermer A.Ş. mermer fabrikasının mermer üretimi esnasında ortaya çıkan traverten atıkları Traverten (T1), Başarırlar Mermer A.Ş. mermer fabrikasının traverten üretimi sırasında ortaya çıkan traverten atıkları ise Traverten (T2) olarak adlandırılmıştır. Traverten numunelerinin alımında standart numune alım yöntemleri uygulanmıştır. Traverten (T1) atıkları Şekil 3.1’de gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Traverten (T1) atıkları

Traverten (T2) atıkları Şekil 3.2’de gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Traverten (T2) atıkları

Fabrikalardan alınan numuneler ilk işlem olarak, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Laboratuvarına getirilmiş ve ardından çekiç yardımıyla konkasör haznesine girecek şekilde Şekil 3.3’teki gibi kırılmıştır.



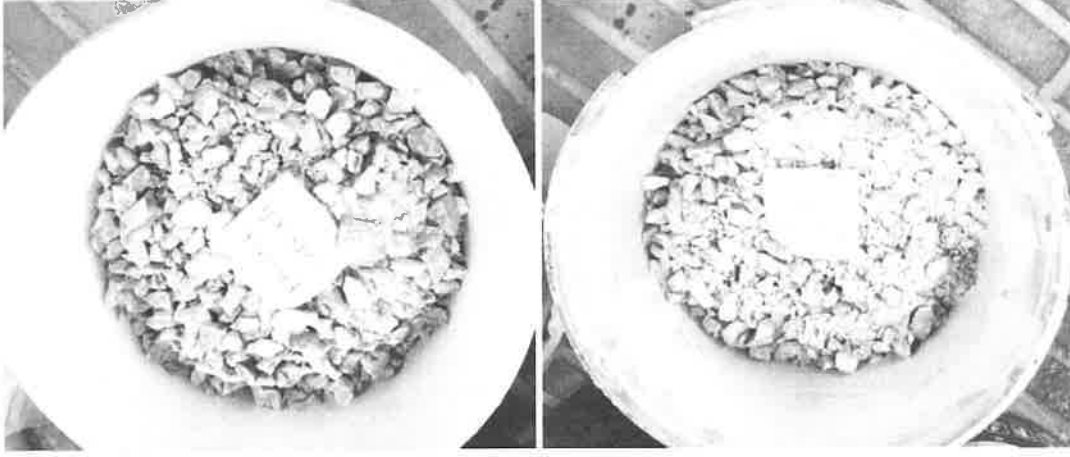
**Şekil 3.3.** Numunelerin konkasör haznesine girebilmesi için çekiçle kırılması

Traverten numuneleri, deney için uygun ebatlara getirilmesi için Şekil 3.4'te görüldüğü gibi konkasör yardımıyla kırma işlemi yapılmıştır.



**Şekil 3.4.** Numunelerin konkasör yardımıyla kırılması işlemi

Konkasörün haznesine girecek şekilde küçültülen numuneler daha sonra konkasör yardımıyla kırılıp Şekil 3.5'de görüldüğü gibi kovalara konularak deneylere hazır hale getirilmiştir.



**Şekil 3.5.** Konkasörde kırılmış traverten numunelerin görünüşü

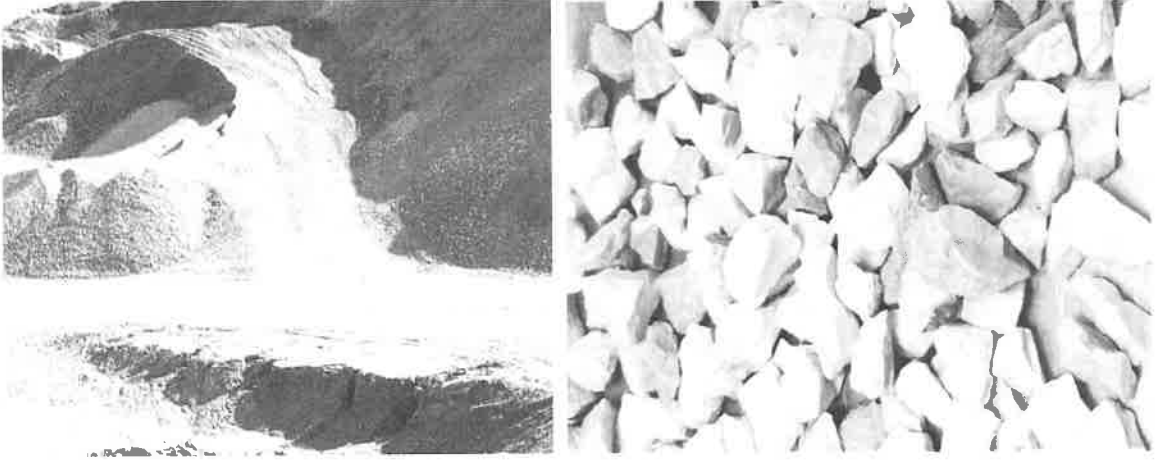
### 3.1.2. Doğal Agregalar

Laboratuvar deneylerinde kullanılan traverten numunelerinin sonuçlarını karşılaştırmak amacıyla şahit numune olarak kullanılan kırma-taş numuneleri, Bucak ilçesinin Avdancık köyü Sivişler mahallesinde faaliyet göstermekte olan Bucak Madencilik Tic. A.Ş. dolomit ocağından temin edilmiştir. Şekil 3.6'da deneyde kullanılan dolomit numunelerinin alındığı agrega ocağı gösterilmiştir.

Dolomit, kireçtaşında kalsiyum ile birlikte magnezyumun yer alması sonucu meydana gelen bir mineraldir. Özgül ağırlığı magnezyum oranına göre 2,71 ile 2,87 ton/m<sup>3</sup>, sertlik değeri ise 3,5 ile 4 arasında yer almaktadır. Dolomit malzemesinin; kalsine dolomit, ham dolomit ve yanmış dolomit olmak üzere üç farklı kullanım biçimi mevcuttur. Oldukça geniş bir kullanım alanı olan dolomitin sahip olduğu rezervler gayet yeterli seviyededir. Dünya'daki dolomit üretiminin neredeyse yarısı olan 120 milyon ton civarı üretim Amerika Birleşik Devletlerinde gerçekleştirilmektedir. Dolomit, yeryüzü alanının % 75 'i gibi geniş bir alanı kaplayan kayaç çeşitlerinden sedimenter kayaç grubunda yer almaktadır (Alptuna, 2009).

Sivişler mahallesinde faaliyet göstermekte olan dolomit ocağından alınan agregalar, bu çalışmada Doğal Agregalar (DA) olarak adlandırılmıştır. Numuneler ince agrega, orta boy agrega ve iri agrega olarak temin edilmiştir. Doğal agrega numuneleri, deneylerin yapılabilmesi için MAKÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü Laboratuvarına getirilerek sınıflandırılmıştır. Şekil 3.6'da Doğal Agregalar (DA) numune örneği gösterilmiştir.





**Şekil 3.6.** Sivişler doğal agrega ocağı

### **3.2. Yöntem**

Traverten atıkları ve şahit numune olarak doğal agregaların mekanik özelliklerinin ve yol üstyapısında kullanılabilirliğinin irdelenebilmesi için devam eden bölümlerde detaylandırılan standart deneyler sırasıyla uygulanmıştır.

Uygulanan deneyler şunlardır;

1. Elek analiz deneyi
2. Kimyasal kompozisyon tayini
3. Hava tesirlerine karşı dayanıklılık (Donma ve çözülme) deneyi
4. Gevşek – sıkışık birim hacim ağırlık deneyi
5. Tane yoğunluğu ve su emme deneyi
6. Agregada darbelene deneyi (AIV)
7. Yassılık ve uzunluk indeksi deneyi
8. Los Angeles (aşınma) deneyi
9. Organik madde tespit deneyi
10. Modifiye Proktor deneyi
11. CBR Deneyi
12. Üç eksenli deneyi

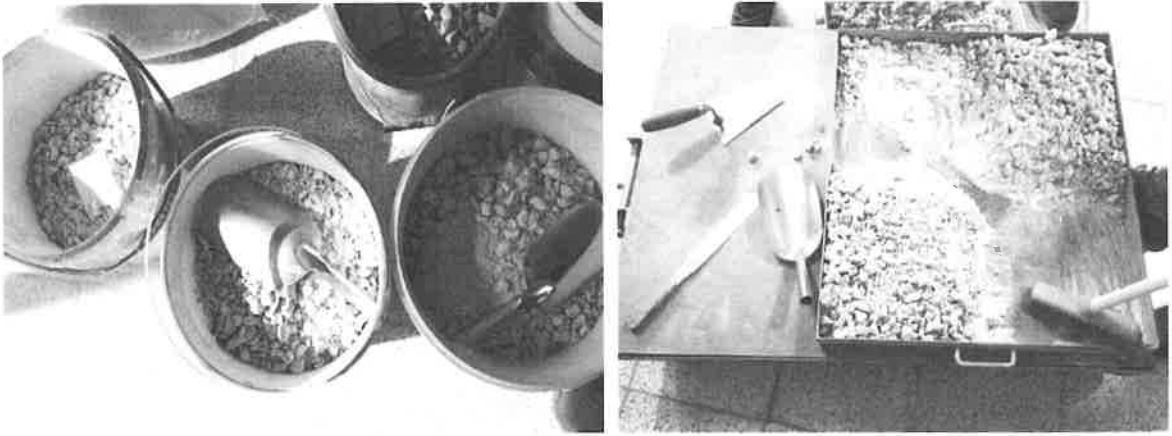
Devam eden bölümlerde deney standartları ve yöntemleri açıklanmıştır.

### 3.2.1.Elek Analizi Deneyi

Agregalar fiziksel olarak farklı boyutlardaki tanelerden oluşmaktadır. Granülometri bileşiminin yani tane boyutu dağılımının belirlenebilmesi için elek analizi deneyi, TS EN 933-1 deney standardına göre uygulanmıştır.

Kırılmış olan traverten numuneleri kovalara doldurularak deneyler için uygun hale getirilmiştir. Doğal agregaya numuneleri kırılmış olarak temin edildiği için konkasörde kırma işlemi sadece traverten numunelerine uygulanmıştır. Doğal agregaya numuneleri; ince agregaya, orta boy agregaya ve iri agregaya boyutlarındaki agregalar karıştırılarak hazırlanmıştır.

Elek analizi deneyi için hazırlanan traverten malzeme Şekil 3.7'de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Kırılmış traverten numuneleri

Hazırlanan numuneler, deney standardına uygun bir şekilde küçük tepsilere konularak 105 C°'lik etüvde 24 saat kurumaya bırakılmıştır.

Elek analizinde agregalar elle ve elek sarsma tablasına konularak elenmiştir. Elek analizi tayini için Tablo 3.1'de görülen elekler kullanılarak dane boyutu dağılımının bulunması sağlanmıştır.

**Tablo 3.1.** Deneyde kullanılan elekler

Elek Çapı (in)	Elek Çapı (mm)
1"	25 mm
3/4"	19 mm
3/8 "	9,5 mm
No:4	4,75 mm
No:10	2 mm
No: 40	0,425 mm
No:200	0,075 mm

Elekler büyük çaptan küçük çaplıya doğru birbirinin içine geçirilerek en altında da pan (tava) olacak şekilde yerleştirilmiştir. Her seferinde ortalama 2 kg'lık etüvde kurutulmuş malzeme en büyük gözlü eleğin üstüne dökülüp kapak kapatılarak elek sarsma tablasına yerleştirilmiştir. Şekil 3.8'de gösterildiği gibi malzemelerin elek sarsma tablasıyla düzenli bir biçimde ayrıştırılması sağlanmıştır.



**Şekil 3.8.** Deney numunelerinin elek sarsma tablasında elenmesi

Bütün deney numunelerine aynı işlemler uygulanarak Şekil 3.9'da görüldüğü gibi elek üzerinde kalan malzemeler çaplarına göre ayrılarak elektronik terazi vasıtasıyla tartılmış ve istiflenmiştir. Eleklerden geçen malzemelerin toplam malzeme miktarıyla kıyaslamasının yapılması ile yüzdeleri hesaplanmıştır. Ardından Karayolları Teknik Şartnamesinde yer alan granüler temel tabakasında kullanılan agregalar için uygun olan gradasyon dağılımı tespit edilmiştir. Bölüm 4.1'de elde edilen bulgular verilmiştir.



**Şekil 3.9.** Eleklerin üstünde kalan malzemelerin tane çaplarına göre ayrılması

### 3.2.2. Kimyasal Kompozisyon Tayini

Traverten ve doğal agrega numuneleri, öğütülerek No:200 elek çapına sahip elek kullanılarak eleme işlemi yapılmıştır. Malzemeler elendikten sonra elektronik terazide tartılarak hazırlanan 10 g'lık traverten ve doğal agrega numuneleri poşetlere konularak hazır hale getirilmiştir. Traverten ve doğal agrega numuneleri üzerinde ana oksit analizi için MAKÜ Bilimsel ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde XRD analizi (X-Işını Toz Difraktometresi) yapılmıştır.

### 3.2.3. Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık (Donma ve Çözülme) Deneyi

Donma ve çözülme etkilerine karşı dirençlilik deneyi olarak da adlandırılan bu deney agregaların iklim şartlarına karşı dayanıklılığını tespit edebilmek için yapılmaktadır. Kullanılacak agreganın gerçek iklim şartlarında maruz kaldığı etkiler hakkında elde yeterli bilginin olmadığı durumlarda laboratuvar ortamında yapılan hızlandırılmış bir deneydir. Özellikle Türkiye gibi soğuk iklim bölgelerinin fazla olduğu ortamlarda önemli bir deneydir. Hava tesirlerine karşı dayanıklılık deneyi sodyum sülfat ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) veya magnezyum sülfat ( $\text{MgSO}_4$ ) kimyasalları kullanılarak yapılmaktadır. Bu çalışmada, TS EN 1367-2 deney standardı dikkate alınarak sodyum sülfat ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) kimyasalı kullanılarak deney yapılmıştır. Traverten ve doğal agrega numuneleri, TS 1367-2 deney standardına göre, her numuneden 2 adet ortalama 420 g kadar malzeme tartılıp çelik tel sepetlere konulduktan sonra 5 kg su ile 7,5 kg lık sodyum sülfat ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) çözeltisi bir kovaya konulup spatül yardımıyla karıştırılarak çözelti hazırlanmıştır. Çelik tel sepete konulmuş olan numuneler sodyum sülfat ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) çözeltisinin içerisinde bekletilmiştir. Şekil 3.10'da deneyin aşamaları gösterilmiştir.



**Şekil 3.10.**Hava tesirlerine karşı dayanıklılık deneyi yapılışı

Sepetin içindeki numuneler; çözelti içerisinde 16 saat bekletildikten sonra, 2 saat eğik bir şekilde tepsi içerisinde süzdürülmüştür. Sepetteki süzülen numuneler 105 C°'lik etüvde 24 saat kurumaya bırakılmıştır. Etüvden çıkarılan numuneler tekrar 5 saat süreyle bekletildikten sonra, aynı işlemler 5 döngü olacak şekilde deney aşamaları tekrarlanmıştır. Şekil 3.11'de sodyum sülfat ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) çözeltisinde bekletildikten sonra süzölmeye bırakılan deney numuneleri gösterilmektedir.



**Şekil 3.11.** Sodyum Sülfat ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) çözeltisinden çıkarılmış deney numuneleri

5 döngü bittikten sonra deney numuneleri sodyum sülfat çözeltisi temizleninceye kadar musluğun altında yıkanmıştır. Daha sonra numuneler 105 C°'lik etüvde 24 saat kurumaya bırakılmıştır. Etüvden çıkarılan numuneler göz açıklığı 10 mm olan elekten elenerek, eleğin

üstünde kalan numunelerin kurutulmuş ağırlıkları tartılarak kaydedilmiştir. Aşağıdaki denklem (3.1) yardımıyla numunelerin, hava tesirlerine karşı dayanım kaybı oranları bulunmuştur.

$$D = (A - B / A) \times 100 \quad (3.1)$$

D: Hava tesirlerine karşı dayanıklılık kaybı oranı (%)

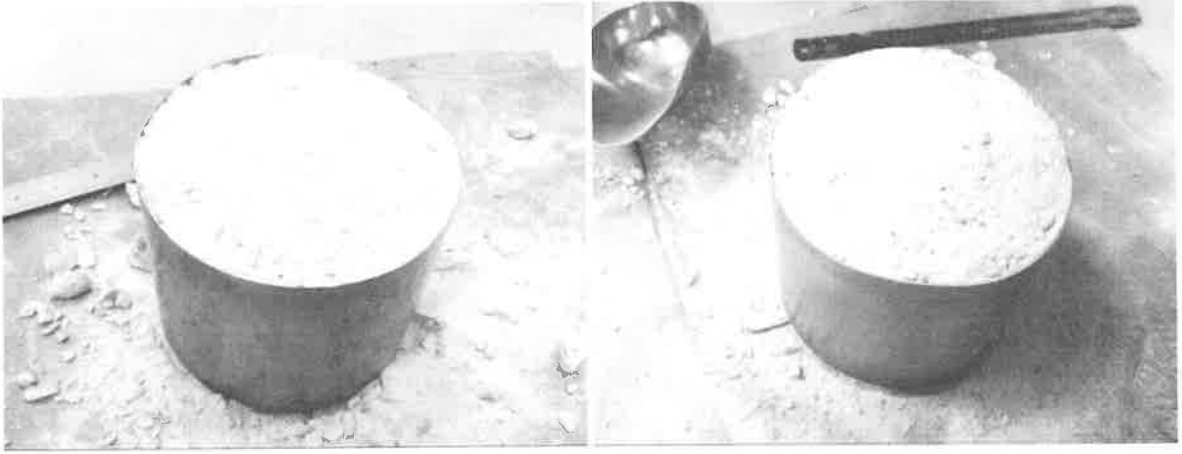
A: Numunenin ilk baştaki ağırlığı, g

B: Deney sonunda elek üstünde kalan numunenin kurutulmuş ağırlığı, g

Karayollarında uzun süre hava tesirleri altında kalan agregalarda, donma ve çözülme gibi iklim olaylarının sonucunda gradasyon bozulması oluşmaktadır. Yol yapısının bozulmaması için agregalar, don ve çözülme olaylarına karşı dayanıklı olmalıdır.

#### **3.2.4. Gevşek – Sıkışık Birim Hacim Ağırlık Deneyi**

Traverten ve doğal agrega numunelerinin gevşek ve sıkışık olarak kapladıkları hacmin hesaplanması amacıyla TS 3529 standardına göre deney yapılmaktadır. Agreganın hacmi 2 litre olan bir kap içerisine konularak bulunan ağırlığının kabın hacmine bölünmesiyle gevşek ve sıkışık birim hacim ağırlıklarının bulunması sağlanmıştır. Öncelikle kabın boş ağırlığı tartılarak kaydedilmiştir. Daha sonra gevşek birim hacim ağırlık deneyi için kabın tamamı sıkıştırılmadan doldurulup üzeri elle düzeltilmiş ve ağırlığı belirlenmiştir. Sıkışık birim hacim ağırlık değerinin belirlenebilmesi için kap yarısına kadar malzemeyle doldurulup 25 kere şişlenerek sıkıştırılmıştır. Kabın geri kalan kısmı da malzemeyle doldurulup tekrar 25 kere şişlenerek sıkıştırılmıştır. Yine aynı şekilde kabın ağırlığı belirlenmiştir. Diğer numuneler için de deney tekrar edilmiştir. Şekil 3.12'de gevşek - sıkışık birim hacim ağırlık tayini için deney numunesiyle doldurulmuş kap gösterilmiştir.



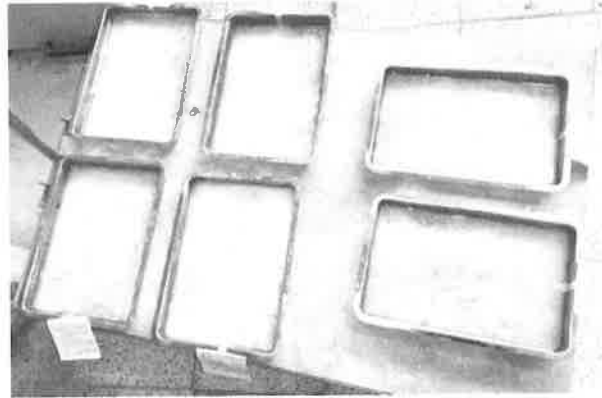
**Şekil 3.12.** Gevşek - sıkışık birim hacim ağırlık deneyi

### **3.2.5. Kaba ve İnce Agregada Tane Yoğunluğu ve Su Emme Deneyi**

TS EN 1097-6 standardına göre; Tane yoğunluğu, kütlenin, hacme oranından hesaplanmaktadır. İnce agrega ve kaba agrega için ayrı ayrı tane yoğunluğu ve su emme oranı tayini yapılmıştır.

#### **3.2.5.1. İnce Agregada Tane Yoğunluğu ve Su Emme Deneyi**

Piknometre deneyi olarak da adlandırılan bu deney için öncelikle agrega dane dağılımını temsil edecek şekilde 4,75 mm ile 0,075 mm elekler arasında kalan ince malzemeden yaklaşık 500'er gram olarak hazırlanmıştır. İnce agrega tane yoğunluğu ve su emme deneyi, TS EN 1097-6 standardına göre yapılmıştır. Şekil 3.13'te tepsilere konulan numunelerin üzerini geçecek şekilde su eklenerek 24 saat bekletilen numuneler gösterilmiştir.



**Şekil 3.13.** İnce agrega tane yoğunluğu ve su emme deneyi için hazırlanan numuneler

Daha sonra 24 saat suda bekleyen numunelerin kuru yüzey suya doymun birim hacim ağırlığının tespit edilebilmesi için kurutma makinesi ve spatül yardımıyla şekil 3.14'te gösterildiği gibi kurutma işlemi yapılmıştır.



**Şekil 3.14.** İnce agrega deneyi için numunelerin kuru yüzey doymun haline getirilmesi

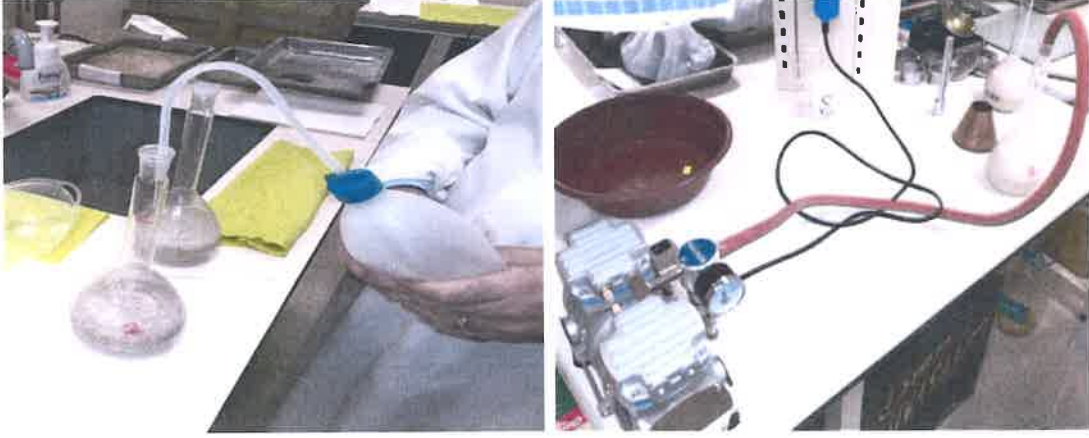
Numunelerin yeterli şekilde yüzeyinin kuruyup kurumadığını belirleyebilmek için Abrahams hunisi kullanılarak malzeme huninin üstündeki açıklıktan doldurulmuştur. Abrahams hunisinin üst kısmındaki boşluktan 25 defa tokmak vurularak numuneler sıkıştırılmıştır. Şekil 3.15'de görüldüğü gibi numunelerin denemeler sonucunda kuru yüzey doymun numune haline gelmesi sağlanmıştır.



**Şekil 3.15.** Abrahams hunisi ile kuru yüzey suya doymun halin kontrol edilmesi



Deneyde kullanılan piknometrelerin boş ağırlıkları tartılarak kaydedilmiştir. Daha sonra mevcut numuneler huni yardımıyla piknometrelerin içerisine yerleştirilmiştir. Şekil 3.16'da piknometrelerin içerisine konulup saf su eklenen malzemenin tanelerinin arasında hava boşluğu kalmaması için vakum pompası ile hava boşluklarının çekilmesi işlemi gösterilmektedir.



**Şekil 3.16.** Piknometrelere numunelere su eklenip vakum pompasına yerleştirilmesi

Piknometrenin içinde hava boşlukları alınan numuneler vakum pompasından çıkarılıp piknometredeki çizgiye kadar saf su katılıp tartılarak kaydedilmiştir. Deney için ağırlıklar kaydedildikten sonra piknometre içerisindeki numunelerin suyu boşaltılarak tepsilere alınan numunelerin kuru yoğunluklarının tespit edilmesi için 24 saat etüvde 100 C° de kurutulmaya bırakılmıştır. Diğer numuneler için de işlem aynı şekilde tekrar edilmiştir.

### **3.2.5.2. Kaba Agregada Tane Yoğunluk ve Su Emme Deneyi**

TS 1097-6 standardına uygun şekilde numunelerin hazırlanmasıyla deneye başlanmıştır. Her numune için 2000 g malzeme karışımı tepsilere konulmuştur. Her numunenin üzerini geçecek şekilde su eklenerek 24 saat Şekil 3.17'deki gibi suda bekletilmiştir.



**Şekil 3.17.** Kaba agrega numularının suda bekletilmesi

Numuneler tel sepete konulduktan sonra hava boşlukları giderilerek terazideki numunelerin sudaki ağırlığı kaydedilmiştir. Tel sepetten çıkarılan agrega numunelerine bir bez yardımıyla kuru yüzey suya doymun hal sağlanmıştır. Daha sonra kuru yüzey suya doymun numunelerin ağırlıkları kaydedilmiştir. Şekil 3.18'de deneyde kullanılan Arşimed terazisi görülmektedir.



**Şekil 3.18.** Arşimed terazisi ile su içinde tartım işlemi

Şekil 3.19'da kaba agregaların kuru yüzey suya doymun halinin sağlanabilmesi amacıyla bir bez kullanılarak agrega yüzeylerinin kurutulma işlemi gösterilmektedir.



**Şekil 3.19.** Kaba agrega numunelerinin yüzeylerinin bezle kurutulması

Kaba agregaların hepsi tekrar tepsilere konularak etüvde 24 saat 100 C° de kurutulmaya bırakılmıştır. Kurutulan numuneler tartılarak ağırlıkları kaydedilmiştir. Diğer numuneler için de aynı işlemler tekrarlanmıştır.

### **3.2.6. Agregada Darbelenme Deneyi (AIV)**

Yol üstyapısında kullanılan agregalar tekrar eden yükler altında parçalanmaya karşı yeterli direnci sağlamalıdır. Traverten ve doğal agrega numuneleri için darbelenme deneyi TS-EN 1097-2 deney standardına göre, 8 mm ile 12,5 mm'lik elekler arasında kalan malzemeye uygulanmıştır. Öncelikle iç çapı 75 mm ve iç yüksekliği 50 mm olan darbe deney makinesinin kalıbının tamamı deney için hazırlanan malzeme ile doldurulup üzeri düzleştirilmiştir. Darbe deney makinesine yerleştirilen malzemeye 13,6 kg'lık ağırlık, 370 mm yükseklikten 10 kez darbe uygulanarak parçalanmıştır.

Şekil 3.20'de numune doldurulmuş kalıp ve agrega darbelenme deney cihazı gösterilmiştir.



**Şekil 3.20.** Deney numunesi konulmuş kalıp ve darbelenme deneyi cihazı

Şekil 3.21’de darbelenme deney makinesinden çıkarılan numuneler gösterilmiştir.



**Şekil 3.21.** Deney sonrası darbelenme cihazından çıkarılan malzemeler

Parçalanmış malzeme başka bir kaba alınarak 8 mm’lik elekten başlayarak 5 mm, 2 mm, 0,63 mm ve 0,2 mm’lik eleklerden elenmiştir. Deney numuneleri için beş deney eleğinin ve tavanın üzerinde kalan malzemenin kütle değeri, deneyden önceki deney numunesinin ise kütlece yüzde değeri olarak hesaplanmıştır. Deneyde eleklerden geçen malzeme miktarlarının kütlece yüzdeleri toplanmış ve kütle miktarının toplamı yüzde şeklinde ifade edilmiştir.

Darbe ile parçalanma değeri SZ, yüzde şeklinde aşağıdaki formüller (3.2) yardımıyla hesaplanmıştır.

$$SZ = M/5 (\%) \quad (3.2)$$

SZ: Darbe değeri

M: Beş deney eleğinin her birinden ayrı ayrı geçen kütlelerin %'sinin toplamı

Agrega numuneleri için elde edilen darbelenme değerinin düşük çıkması agreganın parçalanmaya dayanıklılığının yüksek olduğunu göstermektedir. Darbelenme deneyinin yöntem olarak İngiltere merkezli olması nedeniyle darbelenme limit değerleri için İngiliz Standartları dikkate alınmaktadır. BS 812- 112 standardına göre agreganın darbelenme değeri 10'dan düşük olan agregalar oldukça dayanıklı, 10 ile 35 arasında olan agregalar kabul edilebilir, 35'ten fazla olan agregalar ise çok zayıf agregalar olarak değerlendirilmektedir.

### 3.2.7. Yassılık ve Uzunluk İndeksi Deneyi

Karayolu inşaatlarında yol malzemesi olarak kullanılan agregaların şekil açısından yassı ve uzun olmaması tercih edilmektedir. Yapılan deneylerde kaba agreganın danelerinin 63 mm göz açıklığı olan elekten 6,3 mm göz açıklığı olan elek arasında kalan kısmının yassılık indeksi ve uzunluk indeksi değerlerinin bulunması amaçlanmıştır. Deney için hazırlanan numuneler, 20 mm ile 14 mm göz açıklığına sahip elekler arasında kalan 2000 g, 14 mm ile 10 mm arasında kalan 1000 g, 10 mm ile 6,3 mm açıklıklı elek arasında kalan malzemeden 500 g alınarak hazırlanan deney numuneleri öncelikle tepsilere konularak etüvde 24 saat 100 C° de kurutulmaya bırakılmıştır. Yassılık indeksi ve uzunluk indeksinin bulunabilmesi için deneyler aşağıdaki gibi yapılmıştır.

#### 3.2.7.1. Yassılık İndeksi Deneyi

Yassılık indeksi deneyi, BS 812-105.1: (1989) deney standardına göre yapılmıştır. Agreganın danelerinin kalınlığının, nominal boyutunun 0,6'sından daha küçük olması durumunda agregaların yassı olarak kabul edilmesini sağlayan bir yöntemdir. Yassılık indeksi, belirli boyutlarda göz açıklıkları olan yassılık indeksi şablonu kullanılarak ayrılan yassı danelerin ağırlığının, toplam numune ağırlığına oranının yüzdesi olarak ifade edilmektedir.

Deney için hazırlanmış olan numuneler yassılık indeksi ölçme şablonu yardımıyla yassı olan agreganın numuneleri tespit edilip tartılarak kaydedilmiştir.

Şekil 3.22'de yassılık indeksi şablonu kullanılarak yassı agregaların tespit edilebilmesi için şablondaki fraksiyonlara göre düzenlenen boşluklar yardımıyla ayrıştırılması gösterilmektedir.



**Şekil 3.22.** Yassılık indeksi şablonu yardımıyla yassı agregaların tespit edilmesi

Deneyden elde edilen değerler yardımıyla hem her fraksiyon için ayrı ayrı, hem de bütün fraksiyonlara ait ağırlıklar toplamı için aşağıdaki denkleme (3.3) göre yassılık indeksi hesaplanmıştır.

$$FI = (B/A) \times 100 \quad (3.3)$$

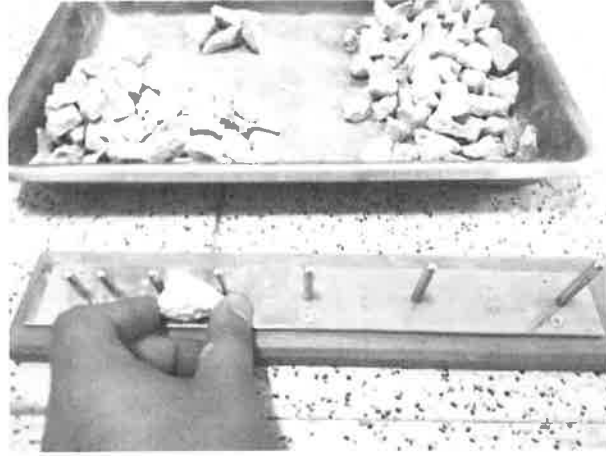
FI = Yassı dane % 'si

A = Deneye alınan malzeme, g

B = Yassı dane ağırlığı, g

### 3.2.7.2. Uzunluk İndeksi Deneyi

Uzunluk indeksi deneyi, BS 812-105.2: (1990) deney standardına göre yapılmıştır. Deney için hazırlanmış olan numunelerin 28-20 mm, 20-14 mm, 14-10 mm ve 10-6,3 mm fraksiyonlarına ait uzun danelerin yüzdelerinin tespit edilebilmesi için Şekil 3.23'te gösterildiği gibi agrega uzunluk tayin aparatı ile uzun olan agrega numuneleri tespit edilip tartılarak kaydedilmiştir.



**Şekil 3.23.** Agrega uzunluk tayin aparatı yardımıyla uzun agregaların tespit edilmesi

Deneyden elde edilen değerler yardımıyla hem her fraksiyon için ayrı ayrı, hem de bütün fraksiyonlara ait ağırlıklar toplamı için aşağıdaki denkleme (3.4) göre uzunluk indeksi hesaplanmıştır.

$$EI = (D/C) \times 100 \quad (3.4)$$

EI = Uzun dane %'si

C = Yassı olmayan dane ağırlığı, g

D = Uzun dane ağırlığı, g

### 3.2.8. Los Angeles (Aşınma) Deneyi

Traverten ve doğal agrega numunelerinin aşınma dirençlerinin tespit edilmesi için TS EN 1097-2 deney standardına göre Los Angeles (aşınma) deneyi yapılmıştır. Deney için hazırlanan agrega numuneleri 5000 g olacak şekilde, 10 mm ile 12,5 mm eleklerinin arasında kalan malzemeden %35 (1250 g), 12,5 mm ile 14 mm'lik elekler arasında kalan malzemeden %65 (3750 g) karıştırılarak hazırlanmıştır. Tozlarından arındırılması için eleklerden yıkanarak hazırlanan numuneler 24 saat 105 C° de kurutulmaya bırakılmıştır. Etüvden çıkarılan numuneler ve 10 adet çelik bilye, Şekil 3.24'te görüldüğü gibi Los Angeles deney cihazının tamburunun içerisine yerleştirilip 500 devir döndürülmüştür.



**Şekil 3.24.** Los Angeles deney cihazına numunelerin konularak cihazın çalıştırılması

500 devir sonrası tamburun içindeki deney numuneleri tepsiye aktarılmıştır. Tepsiye dökülen agrega numuneleri 1,6 mm açıklıklı elekten lavaboda su altında elenmiş ve eleğin üzerinde kalan kısım tepsiye konularak 24 saat boyunca 105 C° sıcaklık altında kurutulmaya bırakılmıştır. Etüvden çıkartılan numuneler terazide tartılmıştır.

Diğer numuneler içinde deney tekrarlanarak sonuçlar elde edilmiştir. TS EN 1097-2 standardı dikkate alınarak hesaplama işlemi aşağıda verilen denklem (3.5) yardımıyla tüm numuneler için yapılmıştır.

$$\text{LA Katsayısı (Aşınma Yüzdesi)} = (A-B/A) \times 100 \quad (3.5)$$

A: Numunenin ilk ağırlığı (kuru)

B: Numunenin son ağırlığı (kuru)

Şekil 3.25'te Los Angeles deneyinden sonra aşınmış olan traverten ve doğal agrega numuneleri görülmektedir.





**Şekil 3.25.** Los Angeles deneyi sonrası numunelerin görünümü

Los Angeles deneyinin sonunda numunelerin şartname sınırlarında kalması, agregaların gradasyonlarının bozulmaması, segregasyona uğramaması ve trafik yüklerine karşı gerekli mukavemeti sağlayabilmesi önemli bir husustur.

### **3.2.9. Organik Madde Tespit Deneyi**

Organik madde tespit deneyi sodyum hidroksit (NaOH) kullanılarak yapılmaktadır. Deneyin nicel bir sonucu olmayıp gözlemsel olarak bilgi veren bir deneydir. Deney agrega numunelerinin organik madde bulundurup bulundurmadığının tespiti için yapılmaktadır. Agregaların organik madde içermesi kimyasal tepkimelere sebep olabilmektedir. Organik madde tespit deneyi için TS EN 1744-1 (Madde 15.1) deney standardına göre cam mezurlara 80 mm yüksekliğe kadar % 3 lük sodyum hidroksit çözeltisi doldurulur (% 3 lük sodyum hidroksit çözeltisi, 1 litre suda 30 g sodyum hidroksit katılarak elde edilmektedir). Daha sonra cam mezurlara Traverten ve doğal agrega numuneleri 120 mm yüksekliğe kadar eklenir. Şişenin içindeki karışım yaklaşık bir dakika süreyle çalkalandıktan sonra karanlık bir yerde bekletilmiştir. 24 saat bekletildikten sonra sıvı kısmının rengi değerlendirilerek irdelenmiştir. Sıvı olan kısmın berrak veya açık renkte görünmesi agrega içerisinde zararlı olabilecek organik madde olup olmadığı hakkında bilgi vermektedir. Şekil 3.26'daki gibi çözeltinin renginin berrak veya hafifçe renklenmiş olması durumu traverten ve agrega numunelerinde organik madde bulunmadığını göstermektedir.



**Şekil 3.26.** Organik madde tespiti deneyi

Ortaya çıkan rengin kahverengi veya koyu kahverengi olması durumunda agreganın kullanılmaya elverişli olmadığı hakkında değerlendirme yapılmaktadır. Agregalarda organik madde bulunması, az miktarda bile olsa sakıncalı bir durum olarak değerlendirilmektedir.

### **3.2.10. Modifiye Proktor Deneyi**

Modifiye Proktor deneyi, yol inşaatlarının yapımı sırasında sıkıştırma işleminin tam olarak sağlanabilmesi için temel tabakalarına verilmesi gereken su miktarının ve maksimum birim ağırlığın tespiti için yapılmaktadır.

Kompaksiyon deneylerinin amacı; optimum su muhtevasına karşılık gelen en büyük kuru yoğunluğun bulunmasıdır. Kompaksiyon, boşluk hacminin azalmasıyla danelerin birbirine yaklaşarak yoğunluğunun artması ile tarif edilebilir. Zeminlerin bu özellikleri Proktor deneyleri ile elde edilir. Yoğunluğun artmasıyla, zeminlerin kayma mukavemetleri artarken, oturmaları ve hidrolik geçirgenlikleri azalmaktadır. Traverten ve doğal agregalar için granülometri özelliklerine göre modifiye Proktor deneyi TS 1900-1 standartlarına göre yapılmıştır. Deney numuneleri KTSŞ'de belirtilen granüler temel tabakası Tip C granülometrisine uygun olarak hazırlanmıştır. Maksimum tane boyutu 20 mm olan 5 kg agrega karışımı kullanılmıştır. Hazırlanan deney numuneleri 24 saat etüvde kurutulmuştur. Şekil 3.27'de modifiye Proktor deneyinde kullanılan çapı: 152,4 mm, boyu: 115,5 mm olan metal kalıp ve 4,5 kg'lık metal tokmak gösterilmiştir.



Şekil 3.27. Modifiye Proktor deneyinde kullanılan malzemeler

Agrega numunelerine önce % 4 su eklenerek deneye başlanmıştır. Ortalama 1 kg ağırlığında malzeme kalıba eklenmiştir. 4,5 kg ağırlığındaki tokmak 45,8 cm yükseklikten numune yüzeyinin tamamını sıkıştırarak şekilde 56 kez serbestçe düşürülmüştür. Daha sonra cetvelle, sıkışan malzemeden sonra kalan kalıp yüksekliği ölçülmüştür. Gerekli sıkışmanın tam uygun olup olmadığına göre diğer 5 tabaka için sıkıştırma işlemi tekrarlanmıştır. En son tabaka sıkıştırıldıktan sonra metal kalıbın üstündeki yaka çıkarılarak kalıp yüzeyindeki malzeme bıçakla düzlenerek tartılmıştır. Kalıptan çıkarılan malzemeden alüminyum kâselere numuneler alınarak tartıldıktan sonra 24 saat etüvde kurutulmaya bırakılmıştır. Numuneler etüvden çıkarıldıktan sonra ağırlıkları deney föyüne işlenmiştir. Sıkıştırma işlemi için su muhtevası ve kuru birim ağırlık değerleri hesaplanmıştır.

Aşağıdaki denklemle (3.6) birim ağırlık hesaplanmıştır.

$$\text{Birim ağırlık: } \gamma = (W_2 - W_1) / V \quad (3.6)$$

$W_1$ : Kalıp ağırlığı

$W_2$ : Kalıp + sıkıştırılmış zemin ağırlığı

$V$  : Kalıbın hacmi

Aşağıdaki denklemle (3.7) kuru birim ağırlık hesaplanmıştır.

$$\text{Kuru birim ağırlık: } \gamma_d = 100\gamma / (100 + w) \quad (3.7)$$

$w$  : Su muhtevası

Daha sonra artan su oranları için deney tekrarlanmıştır. Kalıp ve numune ağırlığı bir önceki su oranındaki gibi düşüldüğü zaman deney tamamlanmıştır. Optimum su oranı grafik çizilerek tespit edilmiştir. Şekil 3.28’de modifiye Proktor deneyinin yapım aşamaları gösterilmiştir.

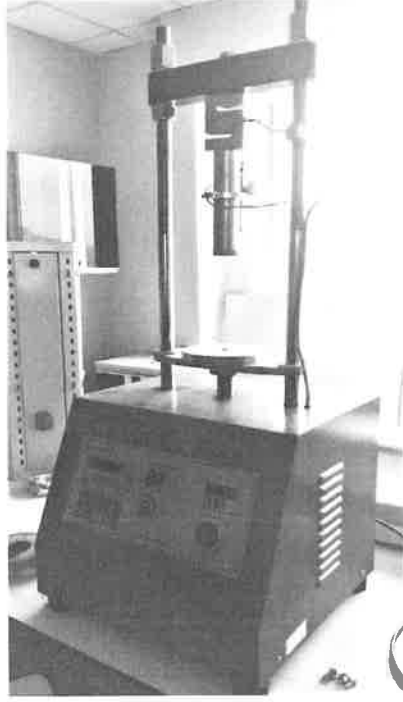


Şekil 3.28. Modifiye Proktor deneyinin yapılışı

### 3.2.11. CBR (Kaliforniya Taşıma Oranı) Deneyi

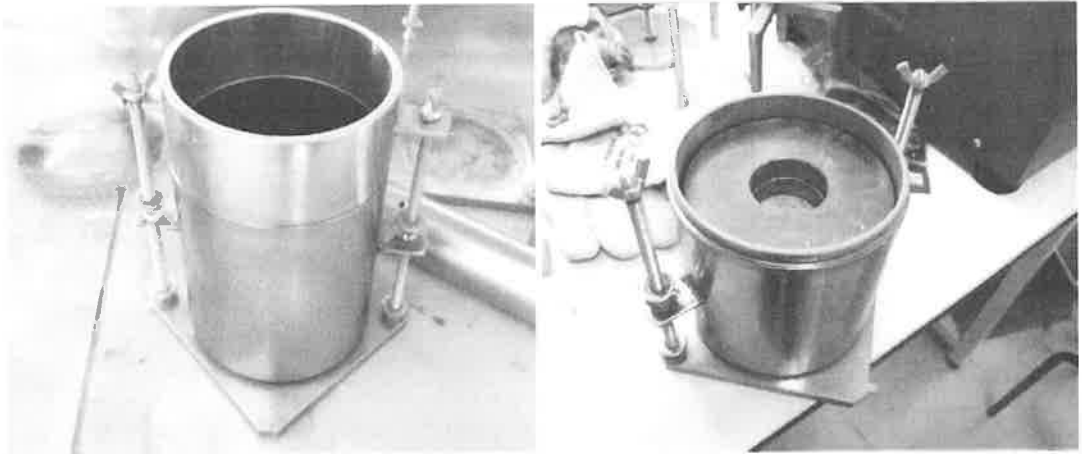
CBR değeri, penetrasyonun herhangi bir değeri için ölçülen yükün standart olan bir yüke oranı olarak açıklanabilmektedir. ASTM D183 deney standardına göre Kaliforniya taşıma oranı (CBR) deneyi kuru ve yaş olmak üzere iki çeşittir. 20 mm’lik elekten geçen granüler temel Tip C gradasyona uygun şekilde hazırlanan malzemelerle deney yapılmaktadır. Traverten ve doğal agrega numuneleri yaklaşık 5 kg olarak hazırlanmıştır. Bağlayıcısız olarak hazırlanan numuneler için deney yapılmıştır.

CBR Deneyi için etüvde kurutulmuş agrega numuneleri üzerine modifiye Proktor deneyi ile bulunan optimum su muhtevalarını sağlayacak şekilde su ilave edilmiştir. Şekil 3.29’da CBR test cihazı gösterilmektedir.



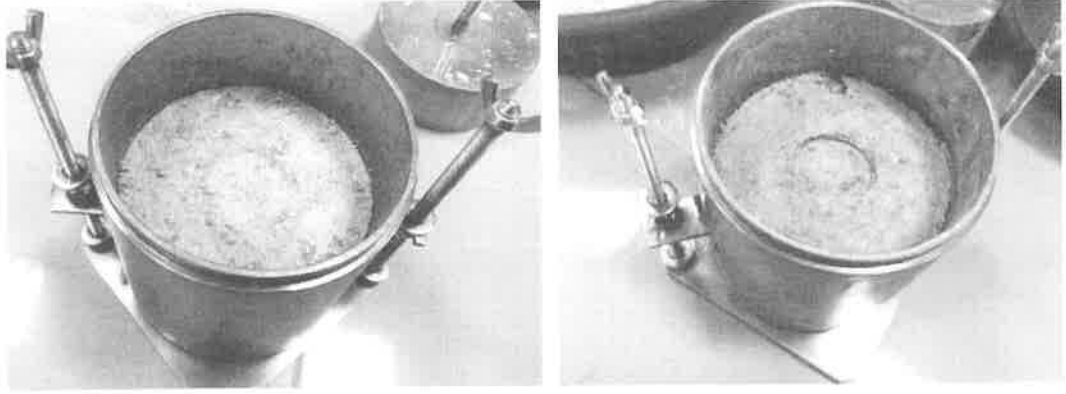
**Şekil 3.29.** CBR (Kaliforniya taşıma oranı) test cihazı

5 kg numuneden ortalama 1 kg'lık malzeme kalıba konulmuştur. Daha sonra 4,5 kg ağırlığındaki tokmak 45,8 cm yükseklikten numune yüzeyine 56 kez serbestçe düşürülmüştür. 5 tabaka halinde sıkıştırma işlemi yapılmıştır. En son tabaka sıkıştırıldıktan sonra metal kalıbın üstündeki yaka çıkarılarak alt kalıp yüzeyindeki malzeme bıçakla düzlenerek tartılmıştır. Numunenin üzerine gerekli görülen ağırlıklar konulmuştur. Kalıp, taban plakası takılmış ancak üst yüzeyi açık olacak şekilde içindeki numuneye birlikte basınç aletinin plakası üzerine yerleştirilmiştir. Şekil 3.30'da CBR kalıbı ve hazırlanan deney numunesi gösterilmiştir.



**Şekil 3.30.** CBR kalıbı ve hazırlanan deney numunesi

Test cihazı çalıştırılarak farklı penetrasyon değerlerine karşılık gelen yükler kaydedilmiştir. Metal kalıp içindeki malzeme kalıptan çıkarılarak içinden numune alınmış ve bu numuneler etüvde kurutulduktan sonra su muhtevası hesaplanmıştır. Şekil 3.31’de deneyin sonucunda CBR test cihazından çıkarılan deney numuneleri gösterilmektedir.



**Şekil 3.31.** CBR test cihazından çıkarılan numuneler

Traverten ve doğal agrega numunelerine yaş CBR deneyi de uygulanmıştır. Aynı şekilde numuneler üzerine modifiye Proktor deneyi ile bulunan optimum su muhtevalarını sağlayacak şekilde su ilave edilerek kuru CBR deneyindeki aşamalar tekrarlanmıştır. İlave olarak delikli plaka ile temasta olan 25 mm kapasiteli komparatör saati yerleştirilen numune, büyükçe bir su kabının içine yerleştirilmiştir. Su seviyesi yakanın üst kenarının hemen altında tutularak numunenin üstüne gerekli görülen kütleler yerleştirilmiştir. Numune suyun içinde 24 saat bekletilmiştir. Daha sonra sudan çıkarılan numune CBR deney aletine yerleştirilip kuru CBR deneyindeki gibi standart deney işlemleri yapılmıştır. Şekil 3.32’de yaş CBR deneyinde suda bekletilen deney numunesi gösterilmektedir.



**Şekil 3.32.**Yaş CBR deney numunesinin suda bekletilmesi

### 3.2.12. Dinamik Üç Eksenli Deneyi

Modifiye Proktor ve CBR (Kaliforniya taşıma oranı) gibi deneyler yalnız başına malzemelerin sahip olduğu davranışların belirlenmesinde tam olarak yeterli değildir. Karayolu üstyapısının tasarlanmasında gerçekçi deneysel verilerin elde edilebilmesi için dinamik yüklemelerde yapılabildiği gelişmiş deney yöntemleri uygulanmalıdır. Dinamik deneyler ile laboratuvar ortamında gerilme durumunun en gerçekçi şekilde uygulanabilmesi sağlanmaktadır.

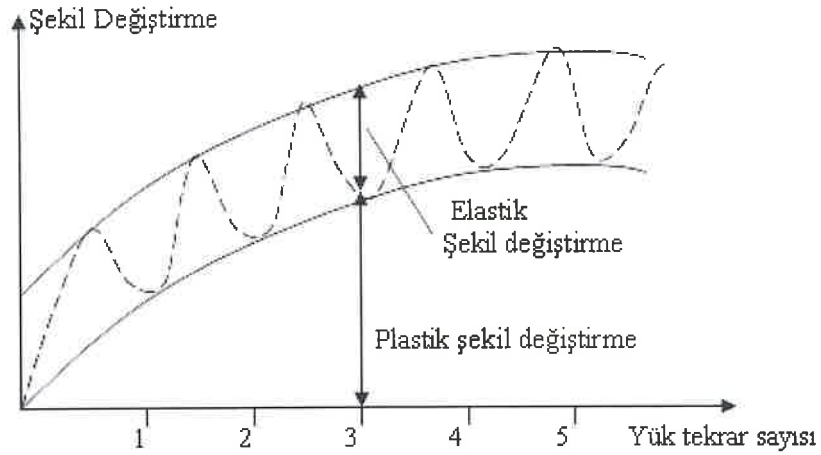
Esneklik modülü bir malzemenin tekrarlanan yüklere maruz kalması durumunda üstyapı tabakalarının yükü dağıtma kabiliyetinin bir göstergesidir. Esneklik modülü, kaplamanın altında trafiğin etkisiyle yorulma ve çatlaklara sebep olan çekme gerilmelerinin ve üstyapı tabakalarında meydana gelen basınç gerilmelerinin ortaya çıkardığı kalıcı deformasyonları kontrol etmektedir (Barksdale, 1993). Bu deneyin sonucunda yol malzemelerinin “Esneklik modülü” ve “Plastik şekil değiştirmesi” değerleri elde edilebilmektedir. Üç eksenli deney hücresinin kullanılma amacı, silindirik numuneye çevre basıncı uygulayabilecek kapalı bir ortam oluşturmaktır (Yılmaz vd., 2008).

Şekil 3.33’deki üç eksenli basınç deneyi için kullanılan hidrolik yüklemeli dinamik üç eksenli basınç deney cihazı gösterilmektedir.



**Şekil 3.33.** Dinamik üç eksenli deneyi cihazı (Yılmaz vd, 2008)

Dinamik üç eksenli deneylerinin temel prensibi malzemelerin tekrarlı yük koşulları altındaki elastik rijitliğinin tespit edilmesidir. Trafik yükleri kaplama aracılığıyla zemine tekrarlayan yük olarak aktarılmakta ve zeminde oluşturduğu deformasyonların büyük bir kısmı elastik deformasyonlar meydana gelmektedir. Şekil 3.34'te tekrarlı yüke maruz kalan malzeme için elastik ve plastik şekil değiştirme gösterilmektedir.

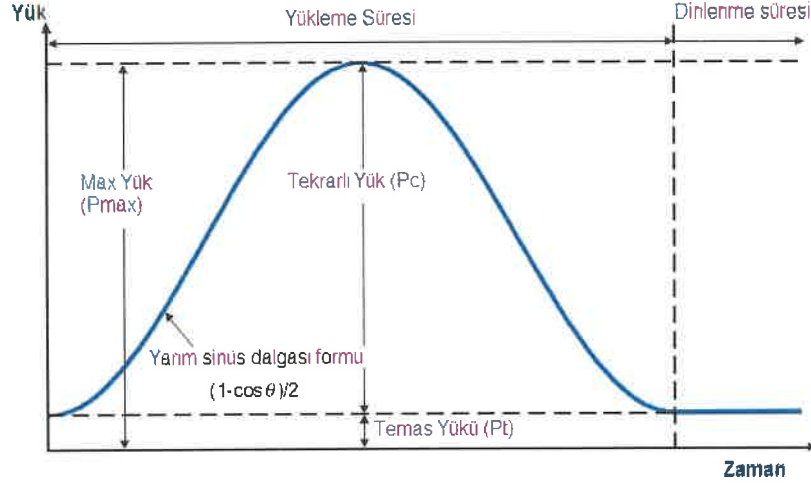


**Şekil 3.34.** Tekrarlı yükler altında oluşan plastik ve elastik şekil değiştirmeler

Dinamik üç eksenli deneyindeki yarım sinüs dalgası şeklindeki yükleme formu Şekil 3.35'te görülmektedir. Şekil 3.35'te görülen yük uygulama süresi 0,1 sn ve dinlenme süresi de 0,9 sn olarak standartlarda tanımlanmıştır. Bu 0,1 sn'lik süre, ortalama 70 Km/sa hızla yoldan



geçen bir aracın dingil yükünün, yolun 70 cm derinliğindeki bir cisme etkime süresini temsil etmektedir (Huang, 1993). Bu yükleme hızı ancak hidrolik sistemlerde mümkün olabilmektedir. Pnömatik sistemlerde ise yükleme süresi 0,5-0,9 sn arasında değişmektedir (Marr v.d., 2003).



Şekil 3.35. Dinamik üç eksenli deneydeki yükleme formu (LTPP P46, 1996)

Şekil 3.35'te görülen maksimum yük ile temas yükü arasındaki fark ( $P_{maks} - P_{temas}$ ) uygulanan deviatör gerilmeyi göstermektedir. Deneyde yükleme süresi, deviatör gerilmenin uygulama süresini ( $\Delta t$ ), dinlenme süresi ise deviatör gerilmenin uygulama aralığını (dakikadaki yük uygulama sayısını) ifade ettiğinden gerilmenin büyüklüğünün yanı sıra gerilmenin her bir tekrardaki uygulama süresi ile gerilmenin tekrar aralığı da deneyin sonucu açısından önem taşımaktadır.

Deney numuneleri hazırlanırken en büyük dane çapı 25 mm'nin altında kalan malzemelerden karışım hazırlanmıştır. Daha önce modifiye Proktor deneyinde elde edilen optimum su muhtevasını sağlayacak şekilde kuru yoğunlukta yaklaşık 12 kg'lık deney numunesi hazırlanmıştır. Hazırlanan numune için dikkat edilmesi gereken en önemli hususlardan birisi malzemenin sıkışma durumunun temsil edilebilmesi için optimum su muhtevasında, maksimum kuru birim ağırlığın en az % 95'inin sağlanmasıdır. Öncelikle 15 cm çapındaki ve 30 cm yüksekliğindeki iki parçalı metal kalıbın içerisine latex membran yerleştirilmiştir. Daha sonra deney numuneleri metal kalıbın içerisine konularak 5 tabaka şeklinde titreşimli kompaksiyon uygulanmak suretiyle sıkıştırma işlemi yapılmıştır. Şekil 3.36'da numunelerin metal kalıba yerleştirilerek sıkıştırılması işlemi gösterilmektedir.



**Şekil 3.36.** Deney numunelerinin titreşimli kompaksiyonla sıkıştırılması

Deney numuneleri sıkıştırma işlemi son tabaka için de yapıldıktan sonra kalıbın içerisinden düzgünce çıkarılmıştır. Sıkıştırma işleminde numunede dağılma olmaması için vakum işlemi uygulanmıştır. Çıkarılan numuneler, üç eksenli deney hücresine yerleştirilerek deneye başlanmıştır. Şekil 3.37’de üç eksenli deney aletine yerleştirilen deney numunesi gösterilmektedir.



**Şekil 3.37.** Deney numunelerinin üç eksenli cihazına yerleştirilmesi

Numunenin yerleştirildiği üç eksenli hücresinin içerisine basınç uygulanarak numunenin mevcut şeklini koruması sağlanmıştır. Bilgisayar yardımıyla AASHTO TP46-94 standardına uygun şekilde numuneye belirli bir çevre basıncı altında tekrarlı aksenal yükler uygulanmıştır. İlk yükleme olarak 500 kez tekrar edecek şekilde şartlandırma uygulanmıştır. Daha sonra 15 farklı yükleme 100 tekrar olacak şekilde yapılmıştır. Numuneye her iki eksen

uygulanan gerilmeler elektro-valfler aracılığıyla kontrol edilmiştir. Traverten ve doğal agrega numuneleri için belirli basınçlar ve gerilmeler altında esneklik modülü değerleri belirlenmiştir. Deneilerin sonunda üç eksenli deney cihazından çıkarılan numuneler Şekil 3.36'da gösterilmektedir.



Şekil 3.38. Deneilerin sonunda üç eksenli cihazından çıkarılan numuneler

Üç eksenli ve tekrarlı yük koşulları altında test edilen malzemeler için esneklik modülü aşağıdaki formüller (3.8) ile hesaplanmıştır.

$$M_r = \frac{\sigma_d}{\epsilon_r} \quad (3.8)$$

$M_r$  : Esneklik Modülü

$\sigma_d$  : Deviatör gerilme

$\epsilon_r$  : Esnek birim şekil değiştirme (Eksenel yönde)

Granüler temel veya alt temel tabakasının direnci, gerilmeler sistemiyle doğrudan ilişkilidir. Üstyapıya etkileyen gerçek gerilmeler; tekrarlı düşey ve yatay gerilmelerle birlikte kesme gerilmesinden meydana gelir. Bu gerilmeler tekerlek yükü aracılığıyla oluşan  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$  asal gerilmelerinin bir varyasyonudur (Shaw, 1980). Her üç eksenindeki asal gerilmelerin toplam değeri olan "θ" numuneye etkileyen gerilmelerin mertebesini gayet iyi bir biçimde belirlemektedir.

Esneklik modülünün asal gerilmelere bağı olarak değişimini göstermekte sıklıkla kullanılan eşitlik (toplam gerilme modeli) aşağıdaki denklemlerle (3.9) hesaplanmaktadır (Allen ve Thompson, 1974; Barksdale ve Alba, 1997).

$$M_r = k_1 \cdot (\theta)^{k_2} \quad (3.9)$$

$$\theta = 3\sigma_3 + \sigma_d \text{ (Asal gerilmelerin toplam değeri)}$$

$k_1$  ve  $k_2$ ; malzeme ile ilgili olan katsayılar olarak tanımlanmaktadır (Yılmaz vd., 2008).

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde, Traverten (T1), Traverten (T2) ve Doğal agregata (DA) numunelerinin fiziksel ve mekanik özelliklerinin tespit edilmesi için yapılan deneylerden elde edilen bulgular ve sonuçlar açıklanmıştır.

Tablo 4.1'de Karayolları Teknik Şartnamesinde temel tabakalarında kullanılan agregaların sağlamaları gereken şartname limitleri gösterilmektedir.

**Tablo 4.1.** Temel tabakalarında kullanılan agregalar için gerekli şartname limitleri (KTŞ)

Deney Adı	Şartname Limitleri	Deney Standardı
Organik Madde Tayini Deneyi (% 3 NaOH ile)	Negatif	TS EN 1744-1 (Madde 15.1)
Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık, MgSO <sub>4</sub> ile kayıp, %	≤ 20 (MS <sub>20</sub> )	TS EN 1367/2
Parçalanma Direnci(Los Angeles), %	≤ 35 (LA <sub>35</sub> )	TS EN 1097/2* ASSHTO T-96
Yassılık İndeksi, %	≤ 30	BS812
Su Emme(Kaba ve İnce Agregada), %	≤ 3.0 (WA <sub>243</sub> )	TS EN 1097/6 (Madde 8)
* Referans Metot		

##### 4.1. Elek Analizi Deneyi Sonuçları

Doğal agregata (DA) numunelerinin elek analizi deneyinden elde edilen değerler Tablo 4.2'de gösterilmiştir.

**Tablo 4.2.** Doğal agrega (DA) elek analizi gradasyon yüzdeleri

ELEK ÇAPI		GEÇEN(%)
mm	in	
25	1"	100
19	3/4"	98,58
9,5	3/8"	78,20
4,75	No.4	57,72
2	No.10	36,24
0,425	No.40	17,87
0,075	No.200	3,47

Tablo 4.2'de görüleceği gibi 25 mm göz açıklığına sahip elekten doğal agreganın tamamı geçmiştir. 4,76 mm göz açıklığına sahip elekten doğal agrega malzemesinin % 57,72'si geçmiştir. 0,075 mm göz açıklığına sahip elekten doğal agrega malzemesinin % 3,47'lik kısmı geçmiştir.

KTŞ'ne göre granüler temel tabakası; çakıl, kırılmış curuf veya kırmataş ile ince malzeme kullanılarak Tablo 4.3'de verilen gradasyon limitleri içerisinde sürekli gradasyon verecek şekilde hazırlanan malzemenin, su ile karıştırılması ile şartnameye uygun olarak hazırlanmış taşıma gücü yeterli taban veya alttemel tabakası üzerine bir veya birden fazla tabakalar halinde, projesinde belirtilen plan, profil ve enkesitlere uygun olarak serilip sıkıştırılmasıyla oluşturulan tabaka şeklinde ifade edilmiştir.

**Tablo 4.3.** KTŞ granüler temel tabakası gradasyon limitleri

Elek Açıklığı		% Geçen		
mm	in	A	B	C
50	2	100		
37,5	1 1/2	80-100	100	
25	1	60-90	70-100	100
19	3/4	45-80	60-92	75-100
9,5	3/8	30-70	40-75	50-85
4,75	No.4	25-55	30-60	35-65
2	No.10	15-40	20-45	25-50
0,425	No.40	8-20	10-25	12-30
0,075	No.200	2-8	0-12	0-12

Bu gradasyon tablosu, elek analizi deneyinden elde edilen sonuçlara en yakın gradasyon limitinin belirlenebilmesi ve numune karışımlarının hazırlanmasında kullanılmaktadır. Tablo 4.4'de Traverten (T1) numunelerinin gradasyon yüzdeleri gösterilmiştir.

**Tablo 4.4.** Traverten (T1) elek analizi gradasyon yüzdeleri

ELEK ÇAPI		GEÇEN(%)
mm	in	
25	1"	100
19	3/4"	96,50
9,5	3/8"	66,00
4,75	No.4	38,29
2	No.10	19,86
0,425	No.40	9,09
0,075	No.200	4,10

Tablo 4.4'de görüleceği gibi 25 mm göz açıklığına sahip elekten traverten malzemenin tamamı geçmiştir. 4,76 mm göz açıklığına sahip elekten traverten malzemenin % 38,29'u geçmiştir. 0,075 mm göz açıklığına sahip elekten traverten malzemenin % 4,10'luk kısmı geçmiştir.

Traverten (T2) numunelerinin elek analizi deneyinden elde edilen değerleri Tablo 4.5’de gösterilmiştir.

**Tablo 4.5.** Traverten (T2) elek analizi gradasyon yüzdeleri

ELEK ÇAPI		GEÇEN(%)
mm	in	
25	1”	100
19	3/4”	97,72
9,5	3/8”	67,89
4,75	No.4	37,31
2	No.10	19,13
0,425	No.40	8,82
0,075	No.200	4,11

Tablo 4.5’de görüleceği gibi 25 mm göz açıklığına sahip elekten traverten malzemenin tamamı geçmiştir. 4,76 mm göz açıklığına sahip elekten traverten malzemenin % 37,31’i geçmiştir. 0,075 mm göz açıklığına sahip elekten traverten malzemenin % 4,11’lik kısmı geçmiştir.

Elek analizi tayini deneyinin sonucunda Traverten (T1), Traverten (T2) ve Doğal agrega (DA) numunelerini gradasyon dağılımlarına göre incelediğimizde KTş gradasyon Tip (C) dağılımına göre deney karışımlarının hazırlanmasının uygun olacağı belirlenmiştir. KTş gradasyon Tip (C) dağılımının her elek çapı için ortalaması alınarak deneylerde kullanılacak olan agrega karışımlarının oranları tespit edilmiştir. Granüler temel tabakası (C) tipi gradasyon yüzdesi dağılımının ortalaması Tablo 4.6’da gösterilmiştir.

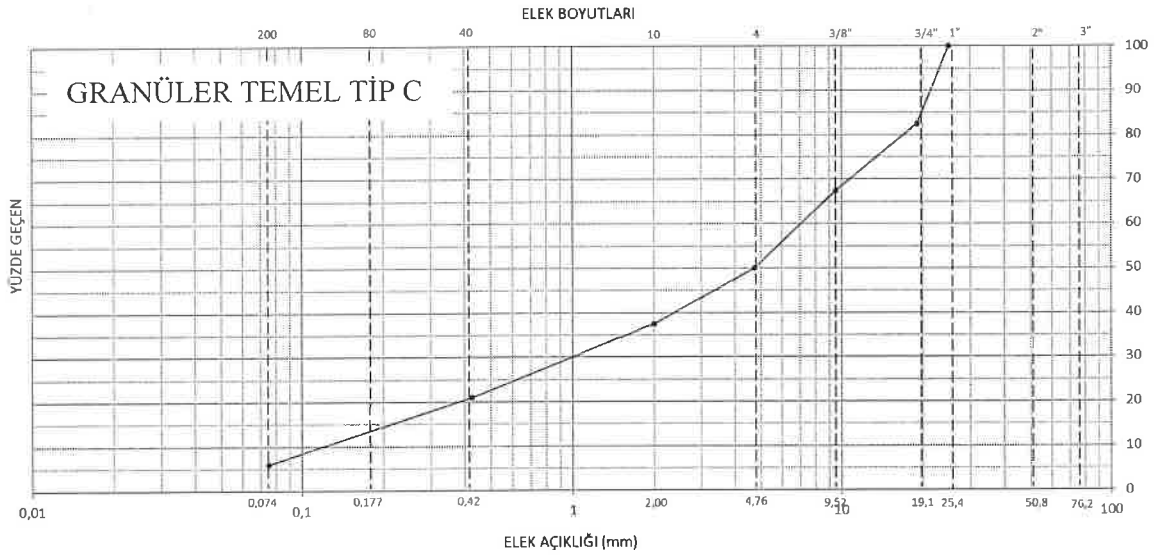


**Tablo 4.6.** KTŞ granüler temel tabakası (C) tipi gradasyon dağılımı ortalaması

ELEK ÇAPI		GEÇEN(%) (C)
mm	İn	
25	1"	100
19	3/4"	82,50
9,5	3/8"	67,50
4,75	No.4	50,00
2	No.10	37,50
0,425	No.40	21,00
0,075	No.200	6,00

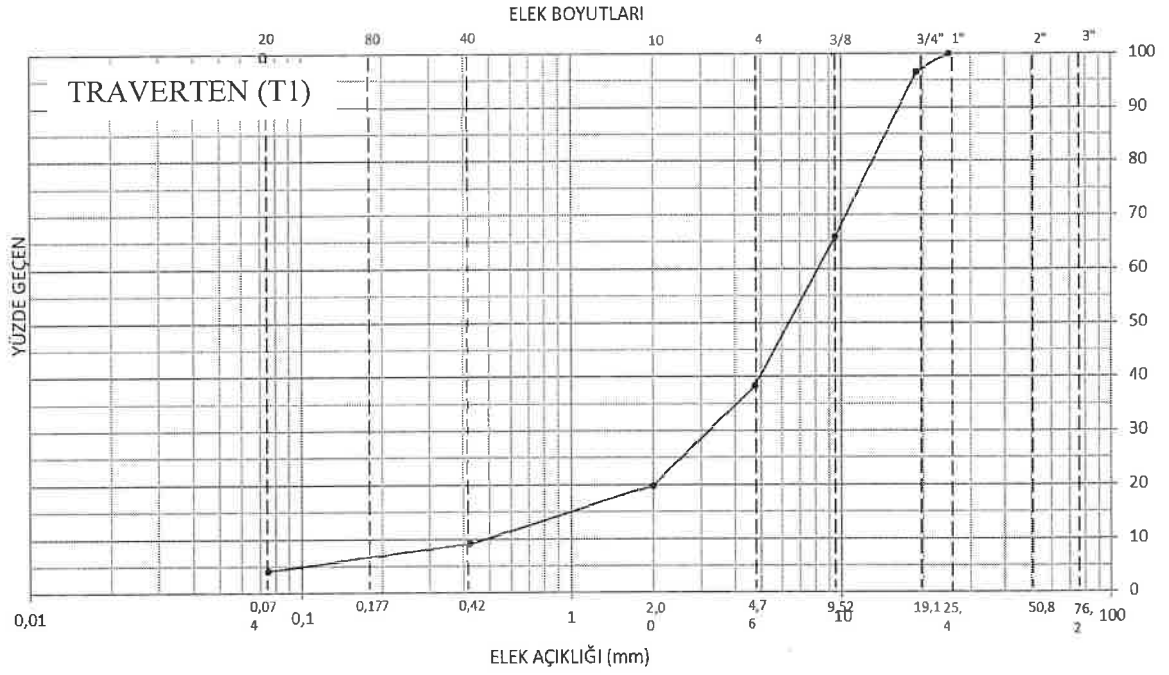
Agrega karışımının % 50 sinin iri agregada % 50 sinin ince agregadan oluştuğu görülmektedir.

Tablo 4.6'da görülen agregada karışım oranlarının granülometri eğrisi olarak gösterilişi aşağıda Şekil 4.1'de verilmiştir.



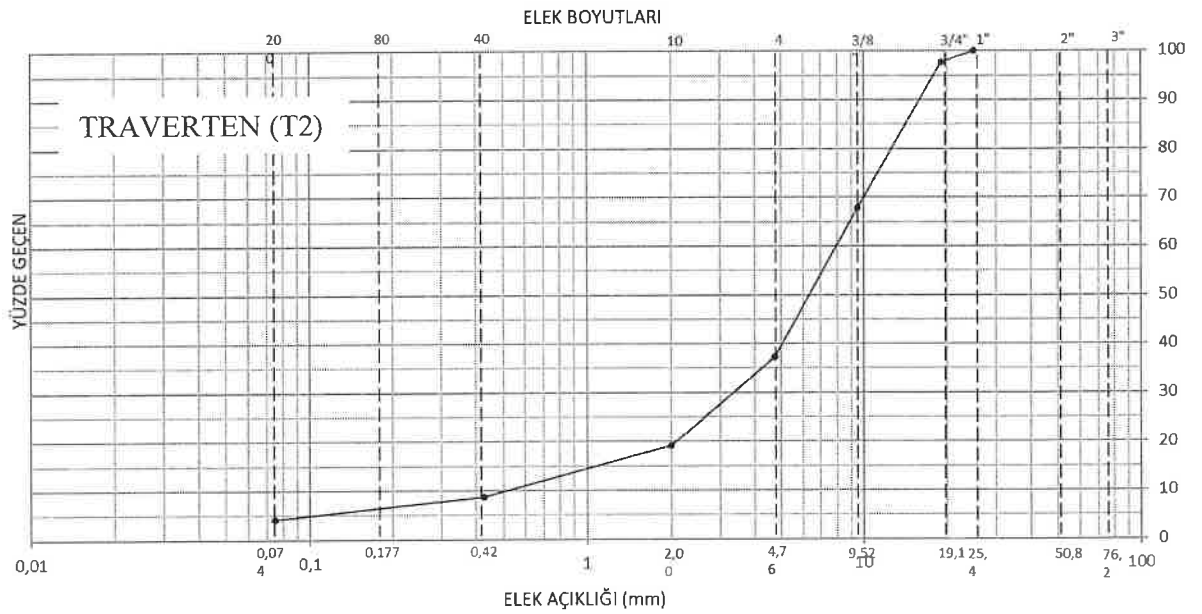
**Şekil 4.1.** KTŞ (C) tipi granülometri eğrisi (yüzdelerin ortalaması)

Elek analizi deneylerinin sonucunda elde edilen veriler ışığında traverten ve doğal agregada numuneleri için granülometri eğrileri elde edilmiştir. Traverten (T1) numunelerinin granülometri eğrisi Şekil 4.2'de görülmektedir.



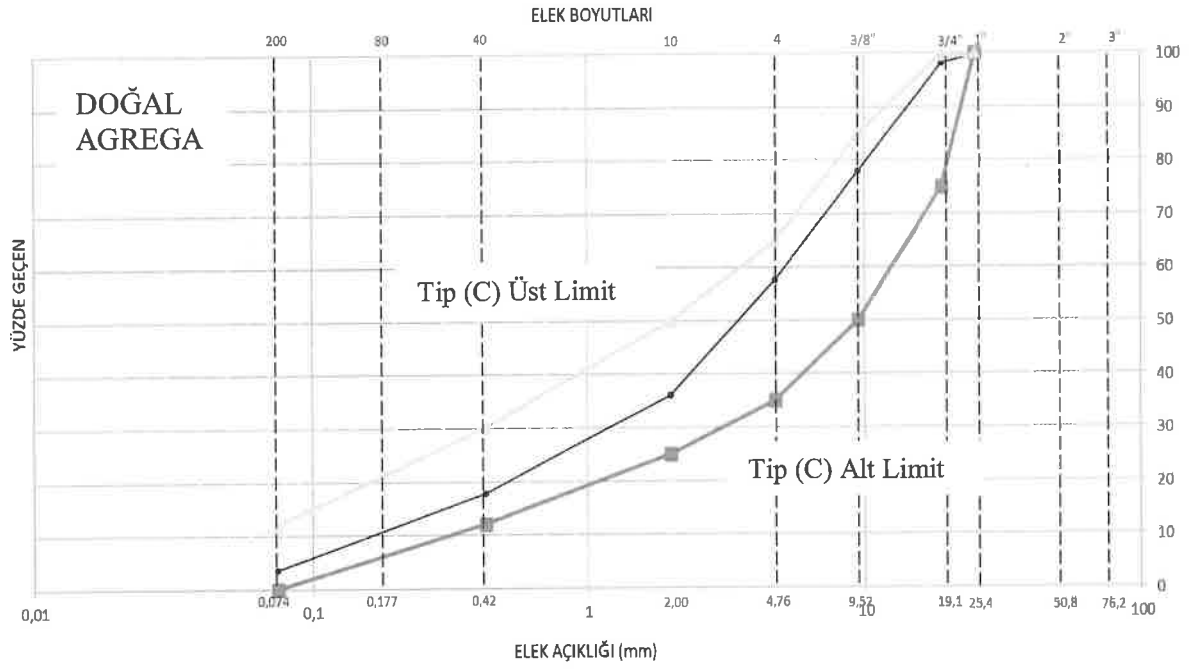
Şekil 4.2. Traverten (T1) granülometri eğrisi

Traverten (T2) numunelerinin granülometrisi Şekil 4.3'de görülmektedir.



Şekil 4.3. Traverten (T2) granülometri eğrisi

Doğal Agrega (DA) numunelerinin granülometri eğrisi Şekil 4.4’de verilmiştir.



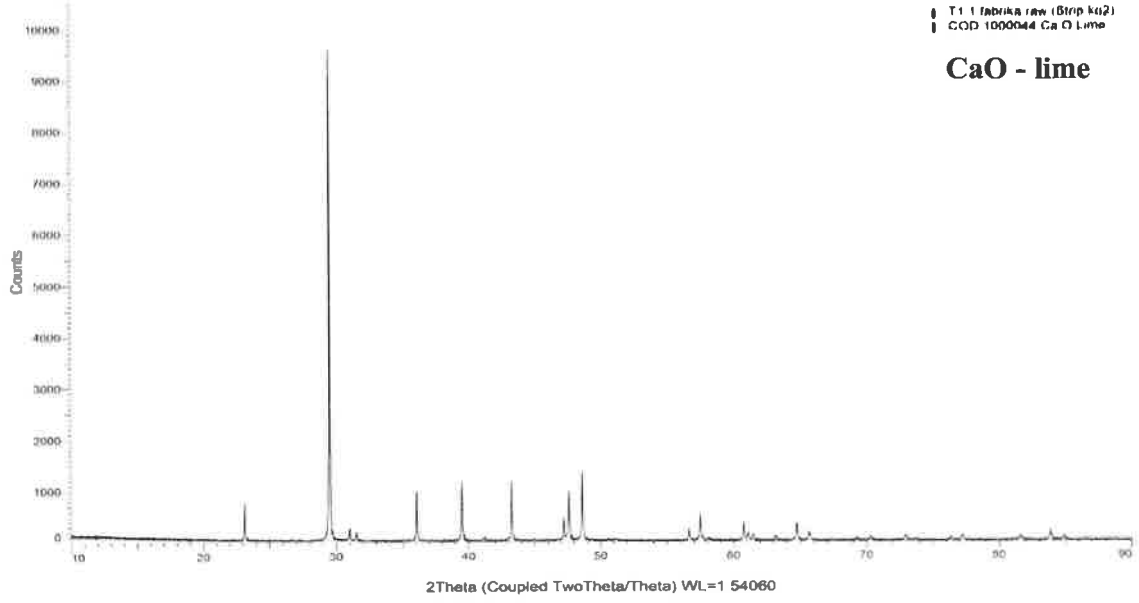
Şekil 4.4. Doğal agrega (DA) granülometri eğrisi

## 4.2. Kimyasal Analiz Sonuçları

Traverten ve doğal agrega numuneleri için ana oksit analizi için MAKÜ Bilimsel ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'ne teslim edilen numuneler için XRD analizi (X-Işını Toz Difraktometresi) yapılmıştır. Analiz sonucunda hem traverten numunelerinde hem de doğal agrega numunelerinde, CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, MnO, Na<sub>2</sub>O, SiO<sub>2</sub> minerallerin olduğu tespit edilmiştir. Analiz neticesinde T1 ve T2 numunelerinde en yüksek oranda bulunan CaO minerali ve DA numunelerinde en yüksek oranda bulunan CaO ve MgO mineralleri için analiz sonuç grafikleri aşağıda verilmiştir.

Şekil 4.5'te Traverten (T1) CaO içeriği kimyasal analiz sonuç grafiği gösterilmektedir.

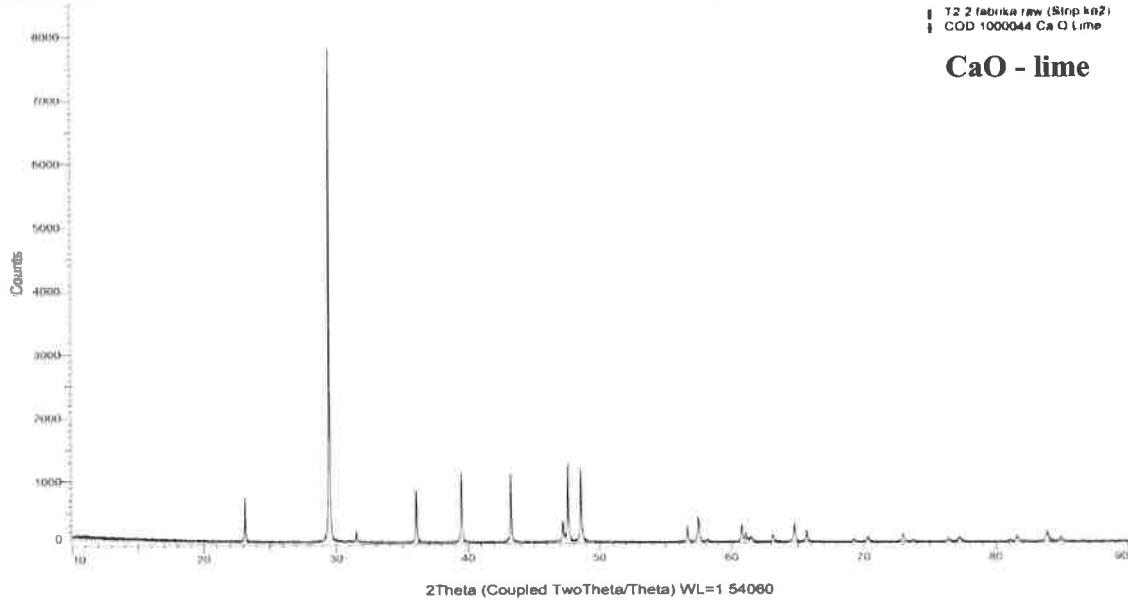
Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



Şekil 4.5.Traverten (T1) CaO içeriği kimyasal analiz sonuç grafiği

Şekil 4.6'da Traverten (T2) CaO içeriği kimyasal analiz sonuç grafiği gösterilmektedir.

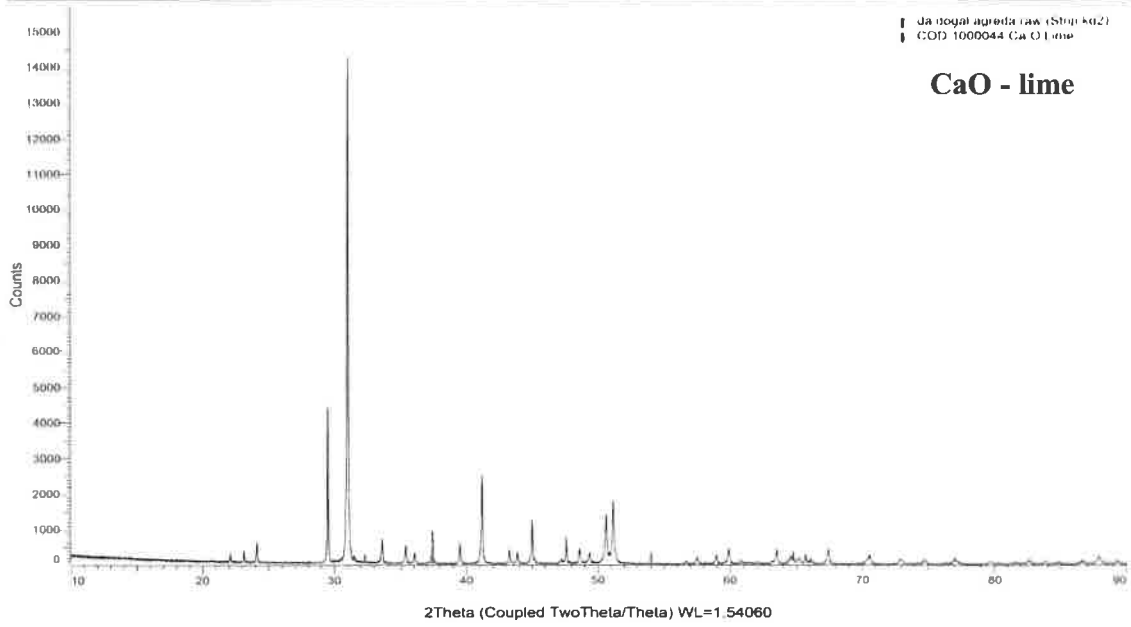
Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



Şekil 4.6.Traverten (T2) CaO içeriği kimyasal analiz sonuç grafiği

Şekil 4.7'de Doğal agrega (DA) için CaO içeriğinin kimyasal analiz sonuç grafiği gösterilmektedir.

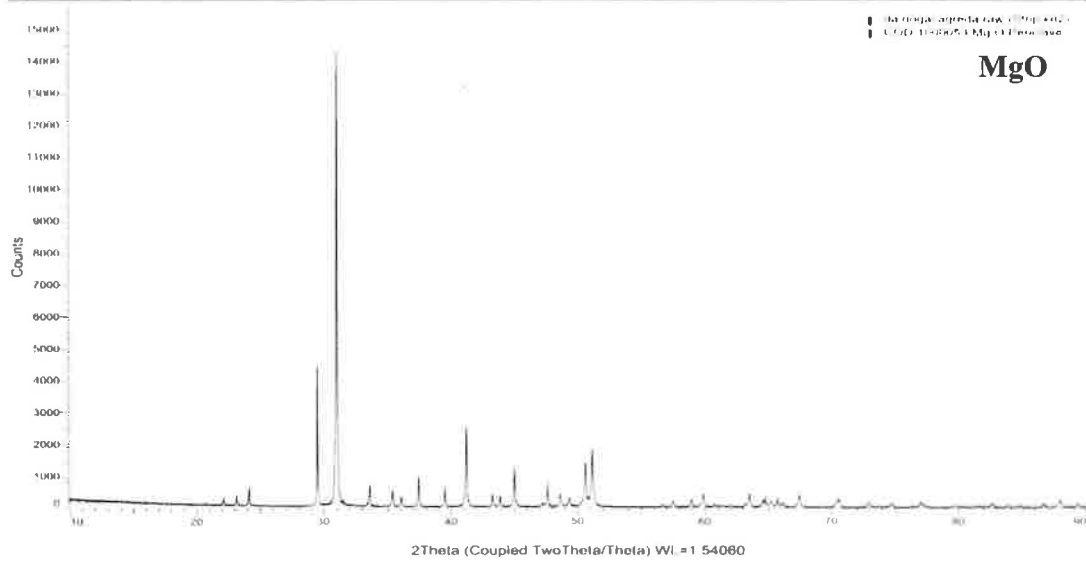
Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



Şekil 4.7. Doğal agregat (DA) CaO kimyasal analiz sonuç grafiği

Şekil 4.8'de Doğal agregat (DA) MgO içeriği kimyasal analiz sonuç grafiği gösterilmektedir.

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



Şekil 4.8. Doğal agregat (DA) MgO içeriği kimyasal analiz sonuç grafiği

MAKÜ Bilimsel ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde yapılan XRD analizinde numune içerisindeki ağırlıklı minerallerin varlığı tespit ediliyor ancak net oranları

verilemiyordu. Dolayısıyla numunelerin temin edildiği işletmelerin bağımsız kuruluşlara kendi yaptırdıkları analiz sonuçları da alınarak aşağıda detaylı bir şekilde kompozisyonlar verilmiştir.

Traverten (T1) numuneleri için kimyasal analiz sonuçları Tablo 4.7'de gösterilmektedir.

**Tablo 4.7.** Traverten (T1) kimyasal analiz içeriği

<b>Mineral</b>	<b>Yüzde (%)</b>
SiO <sub>2</sub>	0,07
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,06
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,03
<b>CaO</b>	<b>55,70</b>
MgO	0,29
Na <sub>2</sub> O	0,01
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,01
SO <sub>3</sub>	0,04
SrO	0,04
Kızdırma Kaybı (LOI)	43,70

Traverten (T2) numuneleri için kimyasal analiz sonuçları Tablo 4.8'de gösterilmektedir.

**Tablo 4.8.** Traverten (T2) Kimyasal Analiz İçeriği

<b>Mineral</b>	<b>Yüzde (%)</b>
SiO <sub>2</sub>	0,04
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,06
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,05
<b>CaO</b>	<b>55,42</b>
MgO	0,36
Na <sub>2</sub> O	0,01
SO <sub>3</sub>	0,02
K <sub>2</sub> O	0,01
Kızdırma Kaybı (LOI)	43,98

Doğal agrega (DA) numuneleri için kimyasal analiz sonuçları Tablo 4.9'da gösterilmektedir.

**Tablo 4.9.** Doğal agrega (DA) kimyasal analiz içeriği

<b>Mineral</b>	<b>Yüzde (%)</b>
SiO <sub>2</sub>	0,07
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,08
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,04
CaO	<b>31,52</b>
MgO	<b>21,58</b>
SO <sub>3</sub>	1,18
K.Kaybı (LOI)	46,82

Tablo 4.9'da elde edilen bulgulara göre CaO miktarı % 31,52, MgO miktarı % 21,58 çıkmıştır. Folk'un (1959) kalsit ve dolomit oranlarına göre yapmış olduğu ve Tablo 4.10'da gösterilen karbonatlı kayaç sınıflandırmasına göre analizi yapılan doğal agrega dolomitik kireçtaşı olarak adlandırılmaktadır.

**Tablo 4.10.** Dolomit içeren karbonat kayaların sınıflandırılması (Folk, 1959; Tuncay vd, 2015)

<b>Kalsit Oranı (%)</b>	<b>Dolomit Oranı</b>	<b>Tanımı</b>
%95'den Fazla	% 5'den az	Kireçtaşı
% 90-95 Arası	% 5-10 Arası	Mg'lu Kireçtaşı
% 50-90 Arası	% 10-50 Arası	Dolomitik Kireçtaşı
% 10'dan Az	% 90'dan fazla	Dolomit

### **4.3. Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık (Donma Çözülme) Deneyi Sonuçları**

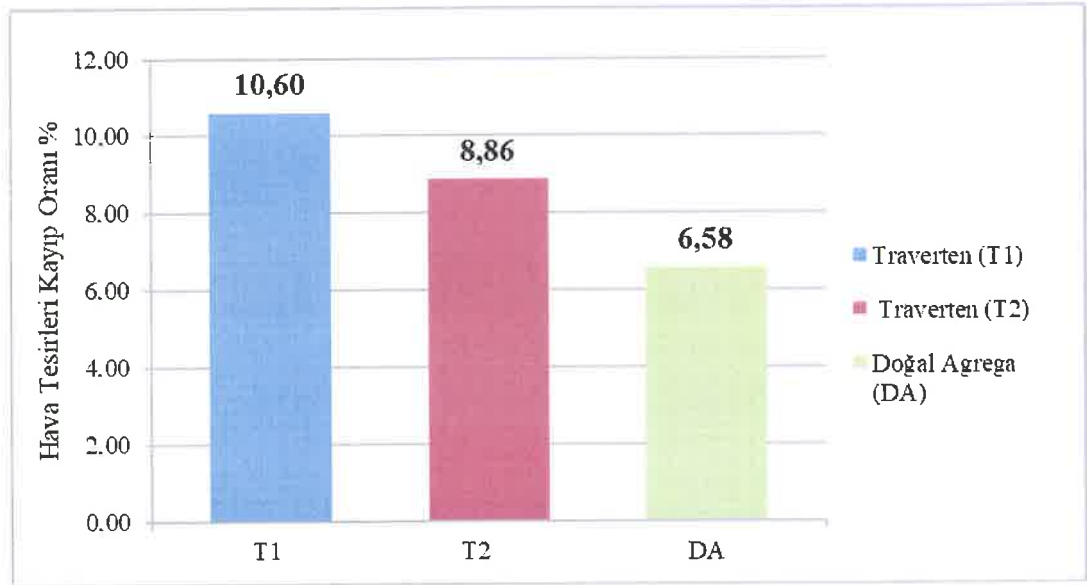
TS EN 1367-2 deney standardına göre hesaplanan hava tesirleri kayıp oranları Tablo 4.11'de traverten ve doğal agrega numuneleri için gösterilmektedir.

**Tablo 4.11.** Hava tesirlerine karşı dayanıklılık deneyi bulguları

Numune Adı	Traverten (T1)	Traverten (T2)	Doğal Agregata (DA)
Numunenin ilk baştaki ağırlığı (g)	424,66	425,43	426,18
Elek üstünde kalan numunenin ağırlığı (g)	379,66	387,72	398,12
Hava Tesirleri Kayıp oranı (%)	10,60	8,86	6,58

KTŞ'nde temel tabakalarında kullanılan kaba agregalar için belirlenmiş olan hava tesirleri kayıp oranı  $\leq$  % 20 olması gerekmektedir.

Hava tesirlerine karşı dayanıklılık deneyinden elde edilen sonuçlara göre hazırlanmış olan grafik Şekil 4.9'da gösterilmektedir.



**Şekil 4.9.** Hava tesirlerine karşı dayanıklılık deneyi sonuçları

Traverten (T1) numuneleri % 10,60 kayıp oranıyla en yüksek kayba sahip olmuştur. Doğal Agregata (DA) numuneleri % 6,58 kayıp oranıyla en düşük kayba sahip olmuştur. Hava tesirlerine karşı dayanıklılık deneyinin sonucunda bütün numuneler % 20 değerinden düşük olup gerekli şartları sağlamıştır.



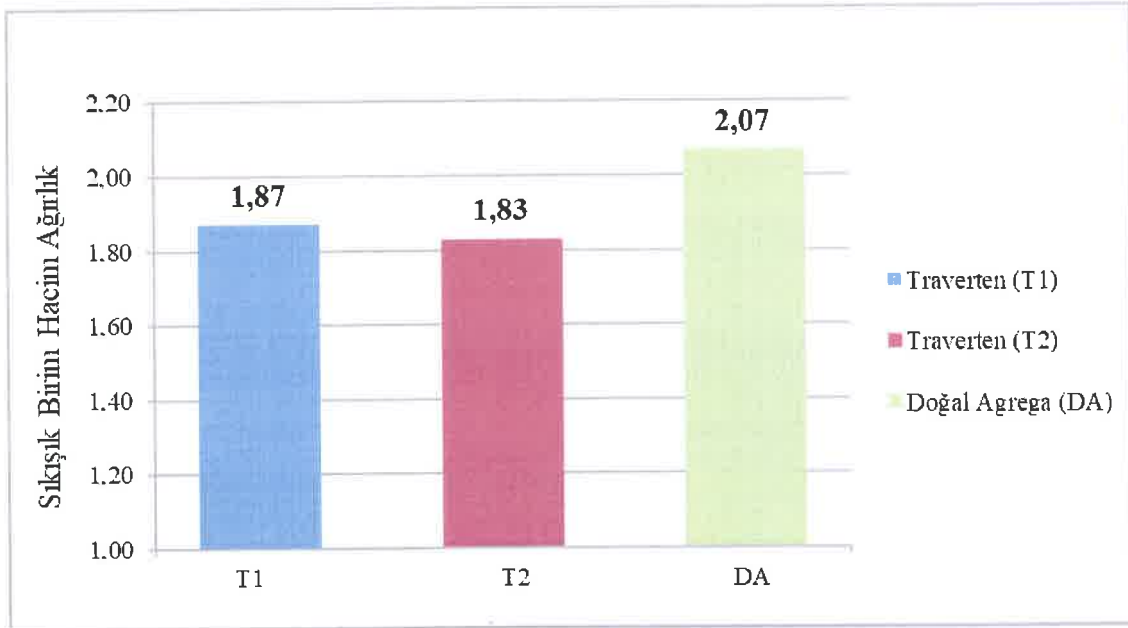
#### 4.4. Gevşek – Sıkışık Birim Hacim Ağırlık Deney Sonuçları

Traverten ve doğal agrega numuneleri için yapılan deneylerin sonucunda Şekil 4.10’da gevşek birim hacim ağırlık ortalamaları gösterilmiştir.



Şekil 4.10. Gevşek birim hacim ağırlık ortalamaları değerleri

Traverten ve doğal agrega numuneleri için yapılan deneylerin sonucunda Şekil 4.11’de sıkışık birim hacim ağırlık ortalamaları gösterilmiştir.



Şekil 4.11. Sıkışık birim hacim ağırlık ortalamaları değerleri

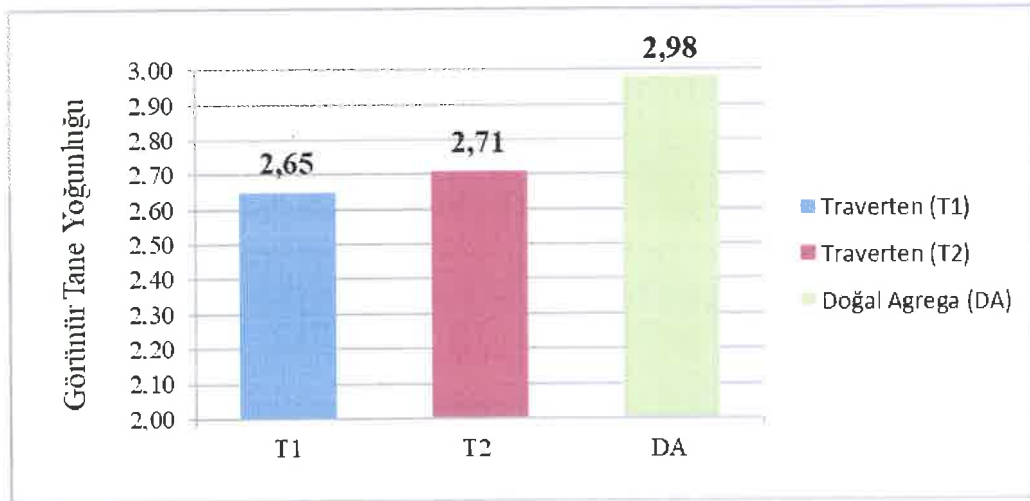
Travertenlerin gevşek ve sıkışık birim hacim ağırlıkları birbirine çok yakın değerler elde edilmiştir. Doğal agregaya (DA) numuneleri için daha yüksek gevşek ve sıkışık birim hacim ağırlık değerleri elde edilmiştir.

#### 4.5. İnce Agregaya ve Kaba Agregaya Tane Yoğunluğu ve Su Emme Deneyi Sonuçları

Kaba agregaya ve ince agregaya için deney sonuçları TS EN 1097-6 standardındaki hesaplama yöntemlerine göre hesaplanmıştır. İnce agregaya ve kaba agregaya için ayrı ayrı deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneylerden elde edilen bulgular aşağıdaki grafiklerde gösterilmiştir.

##### 4.5.1. İnce Agregaya Tane Yoğunluğu ve Su Emme Deneyi Sonuçları

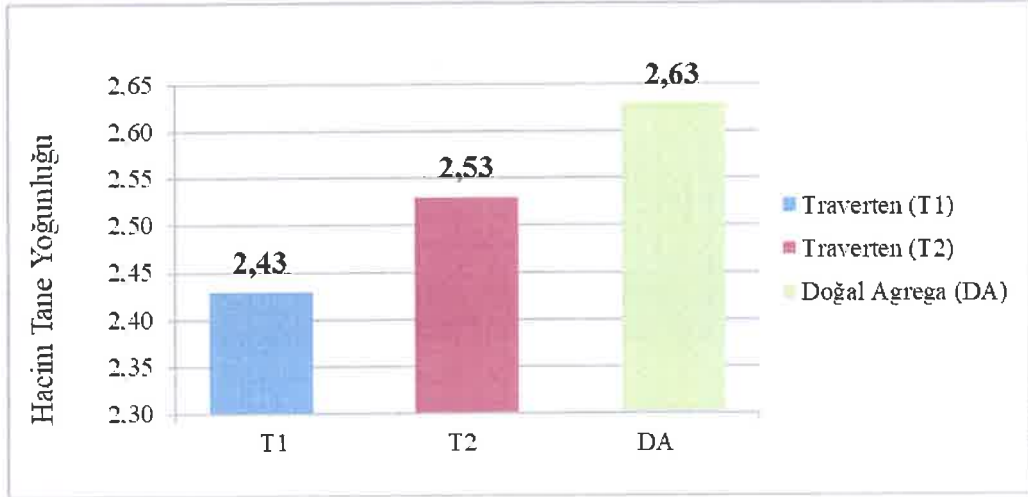
Traverten numuneleri ve Doğal agregaya (DA) için bulunan görünür tane yoğunluğu Şekil 4.12'de gösterilmiştir.



Şekil 4.12. İnce agregaya görünür tane yoğunluğu değerleri

Deneyin sonucunda Traverten (T1) için hesaplanan ince agregaya görünür tane yoğunluğu: 2,65, Traverten (T2) için hesaplanan görünür tane yoğunluğu: 2,71 ve doğal agregaya (DA) için hesaplanan görünür tane yoğunluğu: 2,98 olarak hesaplanmıştır. Traverten (T1) için bulunan görünür tane yoğunluğu değeri en düşük, Doğal agregaya (DA) için bulunan görünür tane yoğunluğu değeri en yüksek çıkmıştır.

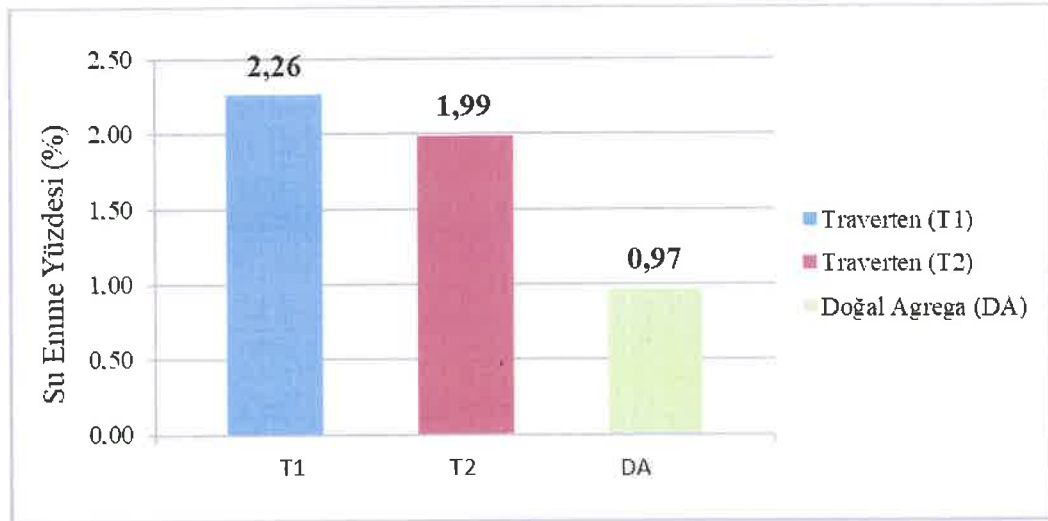
Bulunan ince agregaya hacim tane yoğunluğu Şekil 4.13'te gösterilmiştir.



**Şekil 4.13.** İnce agregası hacim tane yoğunluğu değerleri

Deneilerin sonucunda Traverten (T1) için ince agregası hacim tane yoğunluğu: 2,43, Traverten (T2) için hacim tane yoğunluğu: 2,53 ve Doğal agregası (DA) için hacim tane yoğunluğu: 2,63 olarak hesaplanmıştır. Deney sonucunda Traverten (T2) için elde edilen ince agregası hacim tane yoğunluğu değeri, Traverten (T1) için elde edilen ince agregası hacim tane yoğunluğu değerinden yüksektir. Traverten (T1) için elde edilen ince agregası hacim tane yoğunluğu değeri en düşüktür. Doğal agregası (DA) için elde edilen ince agregası hacim tane yoğunluğu değeri en yüksektir.

TS EN 1097-6 standardına göre yapılan deneyde su emme (absorpsiyon) yüzdeleri Şekil 4.14'de gösterilmiştir.



**Şekil 4.14.** İnce agregası su emme (absorpsiyon) yüzdeleri değerleri

Deney sonuçlarından elde edilen verilere göre Traverten (T1) için ince agrega su emme (absorpsiyon) yüzdesi: % 2,26, Traverten (T2) için su emme (absorpsiyon) yüzdesi: % 1,99 ve Doğal Agregada (DA) numuneleri için su emme (absorpsiyon) yüzdesi: % 0,97 olarak bulunmuştur. Deney sonucunda, Traverten (T1) numuneleri için diğer numunelere göre en yüksek su absorpsiyon yüzdesi elde edilmiştir. Doğal agrega (DA) numunelerinin analizinde ise en düşük su emme yüzdesi elde edilmiştir.

KTŞ'ne göre temel tabakalarında kullanılan ince agregaların izin verilen su emme (absorpsiyon) yüzdesinin % 3,00 değerinden düşük olması gerekmektedir. Hem traverten numuneleri hem de doğal agrega numuneleri, KTŞ'nde temel tabakalarında kullanılan ince agregalar için izin verilen su emme şartname limitlerini sağlamıştır.

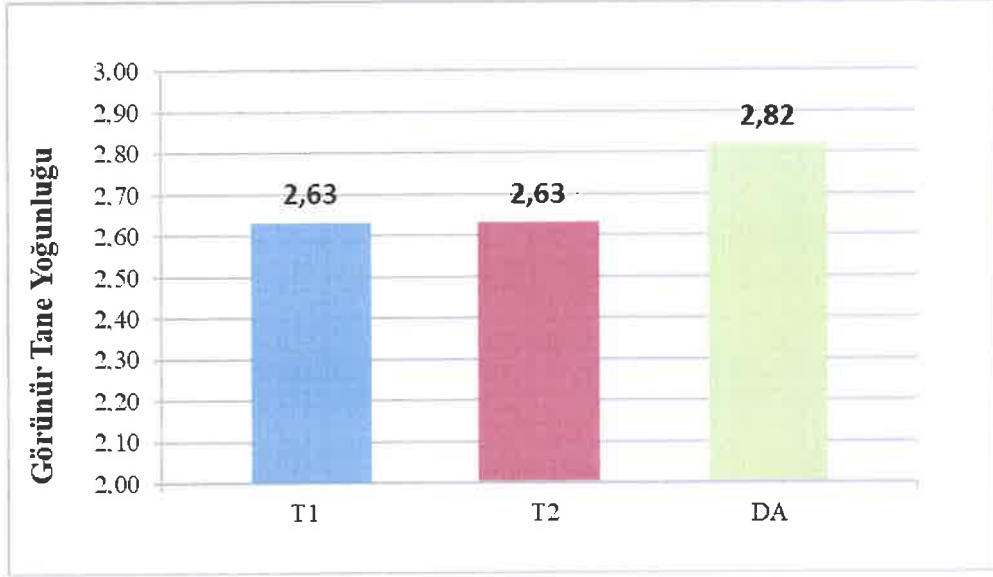
Tablo 4.12'de traverten ve agrega numuneleri için tane yoğunluğu ve su emme deneyinin sonucunda elde edilen veriler gösterilmektedir.

**Tablo 4.12.** İnce agrega tane yoğunluğu ve su emme deneyi bulguları

Numune Adı	Traverten (T1)	Traverten (T2)	Doğal Agregada (DA)
Görünür Tane Yoğunluğu	2,65	2,71	2,98
Hacim Tane Yoğunluğu	2,43	2,53	2,63
Su emme yüzdesi (%)	2,26	1,99	0,97

#### 4.5.2. Kaba Agregada Tane Yoğunluğu ve Su Emme Deneyi Sonuçları

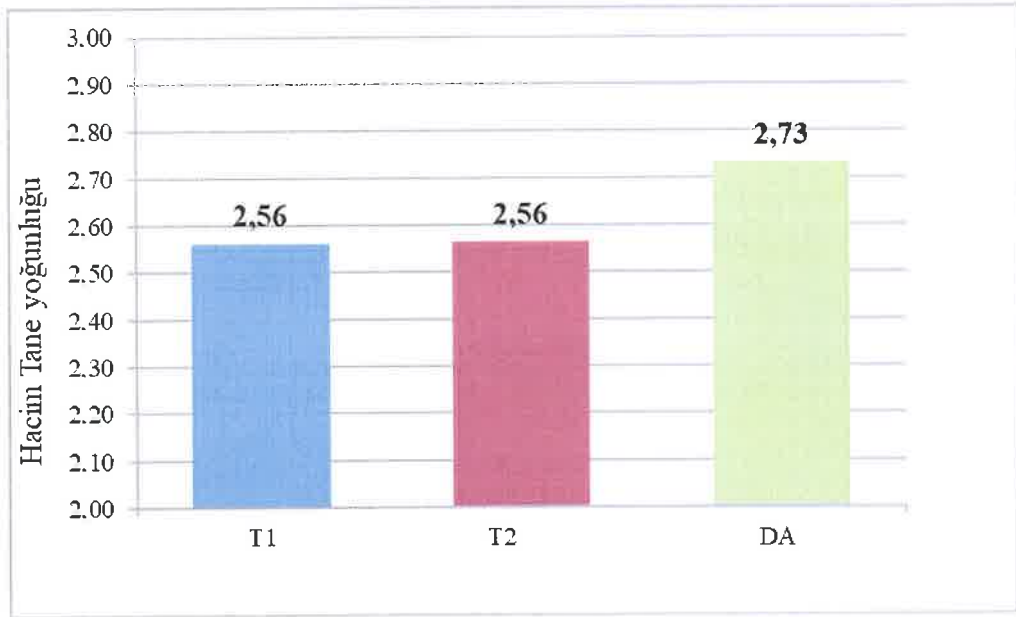
Traverten ve doğal agrega numunelerinin kaba agrega tane yoğunluğu ve su emme deneyinin sonucunda elde edilen görünür tane yoğunluğu değerleri Şekil 4.15'te gösterilmiştir.



**Şekil 4.15.** Kaba agrega görünür tane yoğunluğu değerleri

Traverten (T1) için görünür tane yoğunluğu: 2,63, Traverten (T2) için görünür tane yoğunluğu: 2,63 ve Doğal agrega (DA) için görünür tane yoğunluğu: 2,82 olarak bulunmuştur. Doğal agrega (DA) görünür tane yoğunluğu değeri, travertenlerin görünür tane yoğunluğu değerlerinden daha yüksek bulunmuştur.

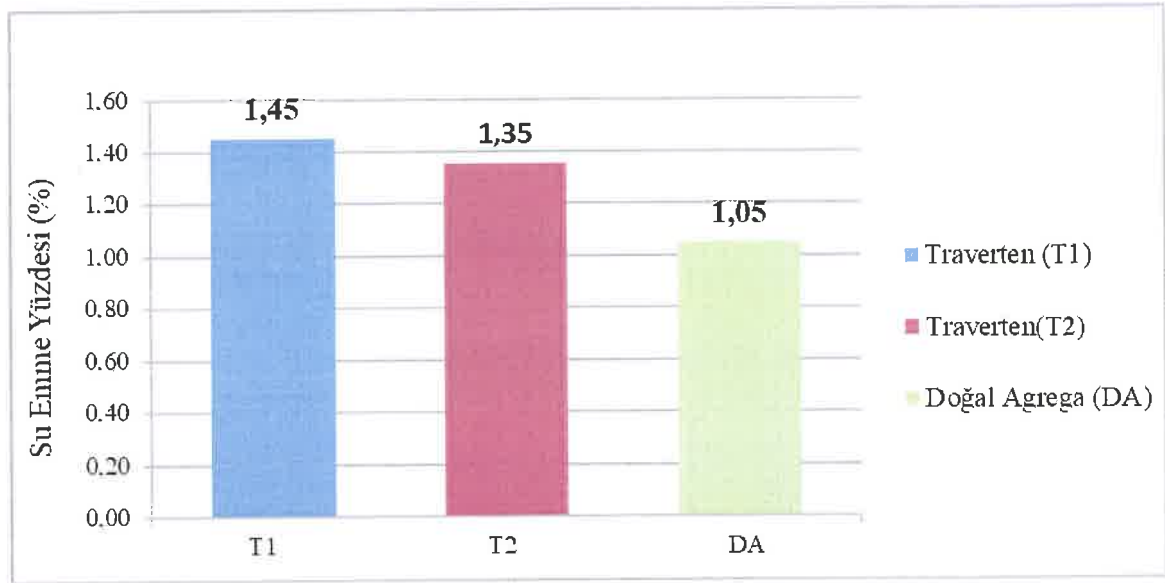
Traverten ve doğal agrega numunelerinin deney sonucunda elde edilen hacim tane yoğunluğu değerleri Şekil 4.16'da gösterilmiştir.



**Şekil 4.16.** Kaba agrega hacim tane yoğunluğu değerleri

Deneyin sonucunda Traverten (T1) için hacim tane yoğunluğu: 2,56, Traverten (T2) için hacim tane yoğunluğu: 2,56 ve Doğal agrega (DA) için hacim tane yoğunluğu: 2,73 olarak bulunmuştur. Doğal agrega hacim özgül ağırlığı, traverten numunelerine göre daha yüksek çıkmıştır.

Traverten ve doğal agrega numunelerinin deneyi sonucunda elde edilen kaba agrega su emme (absorpsiyon) yüzdeleri Şekil 4.17’de gösterilmiştir.



Şekil 4.17. Kaba agrega su emme (absorpsiyon) yüzdesi değerleri

KTŞ’ne göre kaba agregaların karayollarında izin verilen su emme yüzdesi % 3,00’den düşük olması gerekmektedir. Deney sonuçlarından elde ettiğimiz verilere göre Traverten (T1) için kaba agrega su emme (absorpsiyon) yüzdesi : % 1,45, Traverten (T2) için su emme (absorpsiyon) yüzdesi: % 1,35 ve Doğal agrega (DA) için su emme (absorpsiyon) yüzdesi: % 1,05 olarak bulunmuştur. Deney sonucunda traverten numuneleri, doğal agrega numunelerine göre su emme yüzdesi daha yüksek çıkmıştır. Ancak traverten numuneleri de KTŞ’nde izin verilen kaba agrega su absorpsiyon yüzdesinden daha düşük yüzdeleri sağlamıştır. Traverten numunelerinin gözle görünür şekildeki boşluklu yapısı su emme değerlerinin daha yüksek çıkmasına sebep olmaktadır.

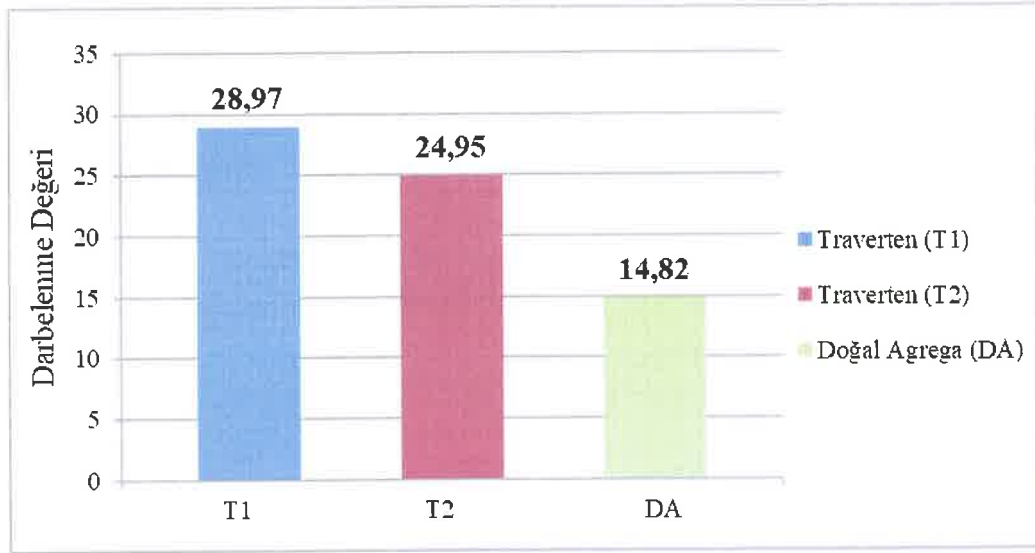
Kaba agrega tane yoğunluğu ve su emme deneyinin sonucunda elde edilen bulgular Tablo 4.13’te gösterilmektedir.

**Tablo 4.13.** Kaba agrega tane yoğunluğu ve su emme değerleri

Numune Adı	Traverten (T1)	Traverten (T2)	Doğal Agregta (DA)
Görünür Tane Yoğunluğu	2.63	2.63	2.82
Hacim Tane Yoğunluğu	2.56	2.56	2.73
Su emme yüzdesi(%)	1.45	1.35	1.05

#### 4.6. Agregta Darbelenme Deneyi Sonuçları (AIV)

Traverten ve doğal agrega numunelerinin darbelenme deneyinin sonucunda elde edilen bulgular Şekil 4.18’de gösterilmektedir.



**Şekil 4.18.** Darbelenme deneyi sonuçları

Darbelenme değerinin düşük çıkması agregta numunesinin parçalanmaya karşı direncinin yüksek olduğunu göstermektedir.

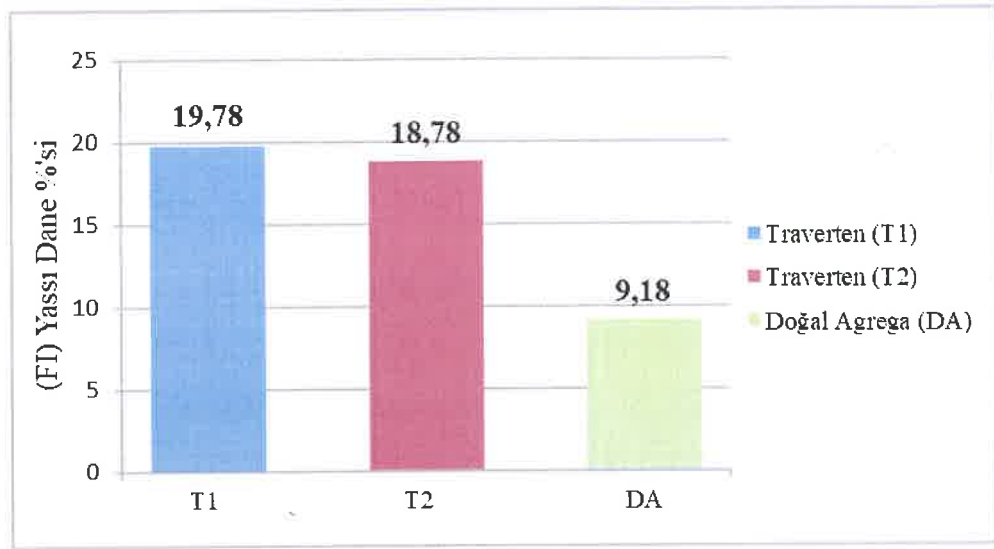
Şekil 4.18’deki grafikten görüldüğü gibi test edilen agregaların darbelenme değerleri 20,43 ile 25,75 arasında değerler almıştır. Traverten numuneleri için birbirine yakın darbelenme değerleri elde edilmiştir. Doğal agrega (DA), traverten numunelerinden daha yüksek parçalanma direnci göstermiştir. BS 812- 112 standardına göre agrega darbelenme değeri 10’den düşük olan agregalar oldukça dayanıklı, 10 ile 35 arasında olan agregalar kabul edilebilir, 35’ten fazla olan agregalar ise çok zayıf agregalar olarak değerlendirilmektedir. Traverten numuneleri ve Doğal agrega (DA) numuneleri kabul edilebilir darbe direncine sahiptir.

#### 4.7. Yassılık İndeksi ve Uzunluk İndeksi Deney Sonuçları

Karayollarında kullanılan agregaların şekli üstyapının kullanım ömrü ve mukavemeti açısından önemlidir. Traverten numuneleri ve doğal agrega numuneleri için yassılık indeksi ve uzunluk indeksi deneyleri ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir.

##### 4.7.1. Yassılık İndeksi Deneyi Sonuçları

BS812-105.1: (1989) deney standardına göre yassılık indeksi deneyi yapılarak elde edilen bulgular Şekil 4.19'da gösterilmiştir.



Şekil 4.19. Yassılık indeksi deneyi sonuçları

Her iki traverten numunesi için yassılık indeksi sonuçları birbirine çok yakın çıkmıştır. Şekil 4.19'da yer alan sonuçlara bakıldığında traverten numunelerinin doğal agrega numunelerinden daha yassı olduğu görülmüştür. Deneyin sonucunda traverten numuneleri ve doğal agrega numuneleri için deneylerden elde edilen yassılık indeksi değerleri KTSŞ'ndeki izin verilen yassılık indeksi limit değeri olan % 30'dan daha düşük değerlerde kalmıştır.

##### 4.7.2. Uzunluk İndeksi Deneyi Sonuçları

BS812-105.2: (1990) deney standardına göre uzunluk indeksi deneyi yapılarak elde edilen bulgular Şekil 4.20'de gösterilmiştir.



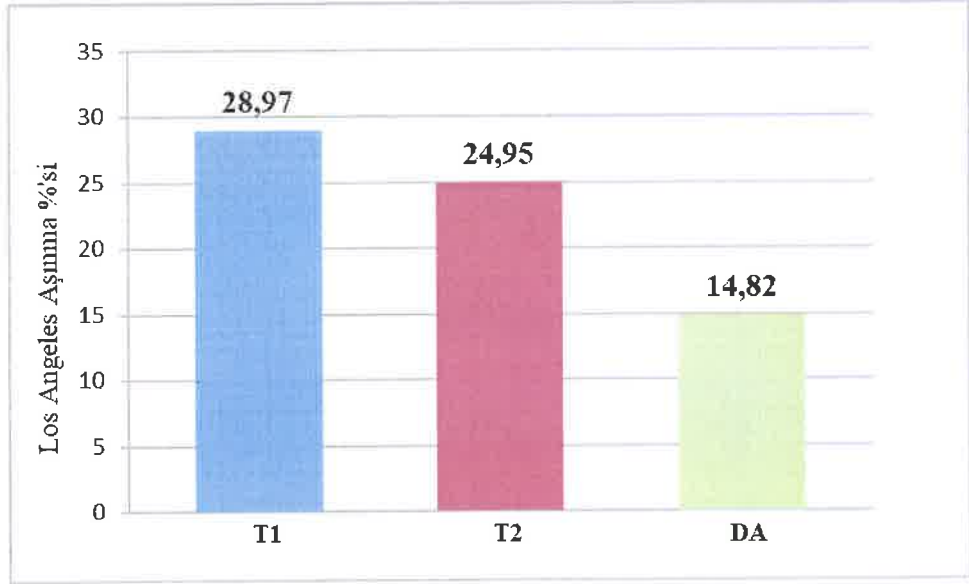


**Şekil 4.20.** Uzunluk indeksi deneyi sonuçları

Her iki traverten numunesi için uzunluk indeksi sonuçları birbirine çok yakın % 15 civarında çıkmıştır. Analiz sonucuna göre traverten numuneleri, doğal agrega numunelerine göre daha ince-uzun sonucuna ulaşmak mümkündür. Deneyin sonucunda traverten ve doğal agrega numuneleri için deneylerden elde edilen uzunluk indeksi değerleri KTŞ'ndeki izin verilen uzunluk indeksi limit değeri olan % 30'dan daha düşük değerlerde kalmıştır ve şartname kriterini sağlamıştır.

#### **4.8. Los Angeles (Aşınma) Deneyi Sonuçları**

Los Angeles (aşınma) deneyinin sonucunda aşınma yüzdeleri Traverten (T1) için % 28,97, Traverten (T2) için % 24,95, Doğal agrega (DA) için % 14,82 olarak bulunmuştur. Traverten numuneleri ve doğal agrega numuneleri için deney sonuçları Şekil 4.21'deki grafikte görülmektedir.



**Şekil 4.21.** Los Angeles aşınma deneyi sonuçları

Deney sonucunda en çok aşınma yüzdesi Traverten (T1) numunelerinden elde edilmiştir. Traverten (T2) numuneleri, Traverten (T1) numunelerinden daha az aşınmıştır. Deney sonucunda en az aşınma yüzdesi Doğal agrega (DA) numunelerinden elde edilmiştir.

Karayollarında kullanılan agregalar için KTŞ Los Angeles deneyi şartname limit değeri %35'ten düşük olduğu için traverten numuneleri ve doğal agrega numuneleri deney standartlarını sağlamaktadır.

#### **4.9. Organik Madde Tespit Deneyi Sonuçları**

KTŞ'nde ince agrega ve kaba agregada organik madde olmaması istenmektedir. Organik madde deneyi sonucunda, traverten numuneleri ve Doğal agrega (DA) numunelerinin kaba tanelerinde organik madde tespit edilememiştir. İnce malzemeler için yapılan organik madde tespit deneyi sonucunda, çözeltinin renginin değişmediği gözlenmiştir. Traverten ve doğal agrega numuneleri için organik madde içeriğinin olmadığı tespit edilmiştir. Tablo 4.14'de deney sonuçları verilmiştir.

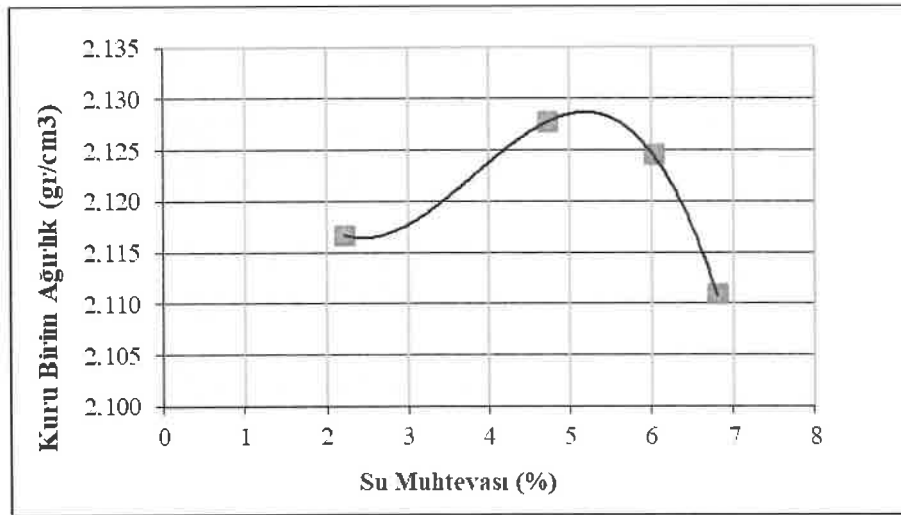
**Tablo 4.14.** KTŞ limitleri ve organik madde içeriği

Numune Adı	NaOH Renk Değişikliği	Organik Madde	KTŞ Şartname Limitleri
T1 Kaba Agregası	-	0	Negatif
T1 İnce Agregası	YOK	0	Negatif
T2 Kaba Agregası	-	0	Negatif
T2 İnce Agregası	YOK	0	Negatif
DA Kaba Agregası	-	0	Negatif
DA İnce Agregası	YOK	0	Negatif

#### 4.10. Modifiye Proktor (Sıkıştırma) Deneyi Sonuçları

Traverten ve doğal agrega numuneleri için yapılan modifiye Proktor deneyinin sonucunda su muhtevaları bulunduğundan sonra kuru birim hacim ağırlık değerleri tespit edilmiştir. Elde edilen değerlerle Proktor eğrileri hem traverten numuneleri hem de doğal agrega numuneleri için çizilerek maksimum kuru birim hacim ağırlık ve optimum su muhtevası belirlenmiştir.

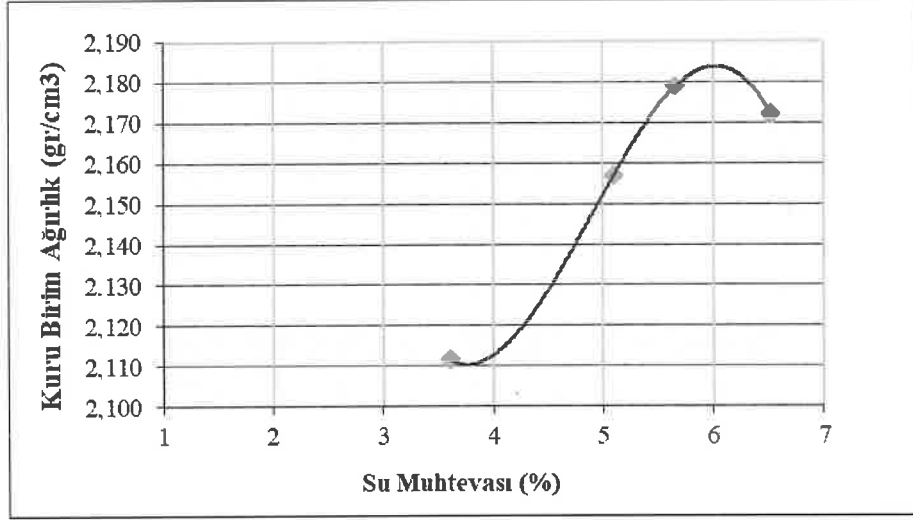
Şekil 4.22’de Traverten (T1) numuneleri için Proktor eğrisi gösterilmiştir.



**Şekil 4.22.** Traverten (T1) modifiye Proktor eğrisi

Şekil 4.22'teki grafikten Traverten (T1) numuneleri için maksimum kuru birim ağırlık  $2,129 \text{ g/cm}^3$  ve optimum su muhtevası % 5,10 olarak elde edilmiştir.

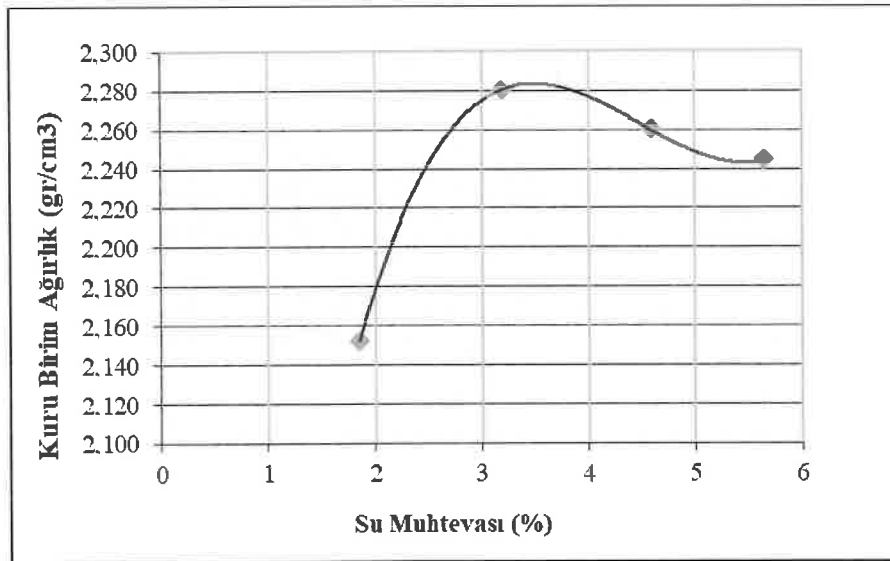
Şekil 4.23'da Traverten (T2) numuneleri için Proktor eğrisi gösterilmiştir.



Şekil 4.23. Traverten (T2) modifiye Proktor eğrisi

Şekil 4.23'deki grafikten Traverten (T2) için maksimum kuru ağırlık  $2,185 \text{ g/cm}^3$  ve optimum su muhtevası % 5,97 olarak elde edilmiştir.

Şekil 4.24'de Doğal agrega (DA) numuneleri için modifiye Proktor eğrisi gösterilmiştir.



Şekil 4.24. Doğal agrega (DA) modifiye Proktor eğrisi

Şekil 4.24'deki grafikten Doğal agregaya (DA) numuneleri için maksimum kuru birim ağırlık  $2,282 \text{ g/cm}^3$  ve optimum su muhtevası % 3,26 olarak elde edilmiştir. Tablo 4.15' te traverten ve doğal agregaya numunelerinin maksimum kuru birim ağırlık ve optimum su muhtevası değerleri gösterilmektedir.

**Tablo 4.15.** Modifiye Proktor deneyi sonuçları

	<b>Maksimum Kuru Birim Ağırlık</b>	<b>Optimum Su Muhtevası (%)</b>
<b>Traverten (T1)</b>	$2,129 \text{ g/cm}^3$	5,10
<b>Traverten (T2)</b>	$2,185 \text{ g/cm}^3$	5,97
<b>Doğal Agregaya (DA)</b>	$2,282 \text{ g/cm}^3$	3,26

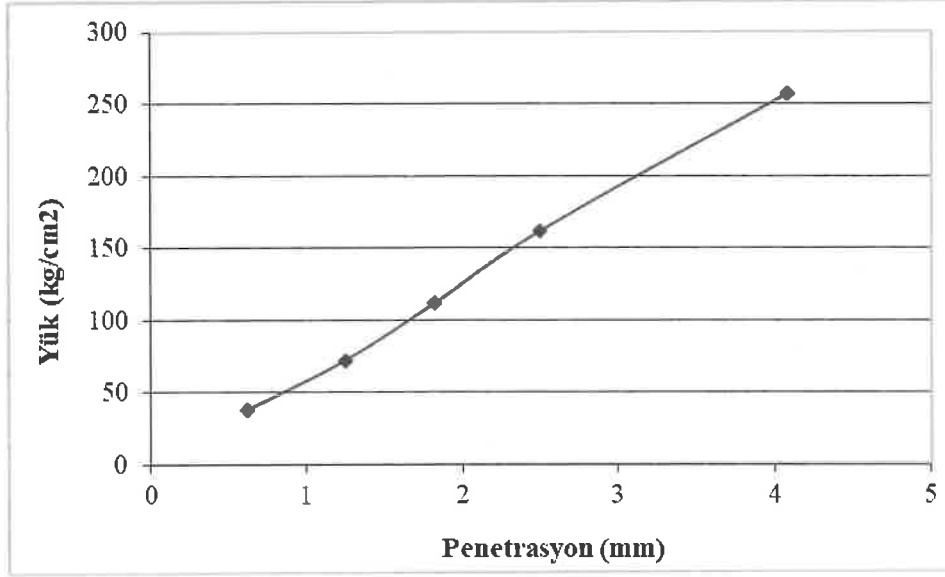
Tablo 4.15'deki tabloda gösterildiği gibi traverten numunelerinin optimum su muhtevası değerleri daha yüksek bulunmuştur. Traverten (T1) numuneleri için elde edilen maksimum kuru birim ağırlık değeri en düşük bulunmuştur. Traverten (T2) numuneleri için elde edilen optimum su muhtevası değeri en yüksek bulunmuştur. Doğal agregaya numuneleri için optimum su muhtevası değeri en düşük bulunmuştur.

#### **4.11. CBR Deneyi Sonuçları**

Kuru CBR deneyi ve yaş CBR deneyi uygulanan traverten ve doğal agregaya numuneleri için elde edilen bulgular aşağıda verilmiştir. Deneyden elde edilen bulgular kuru CBR ve yaş CBR için ayrı ayrı açıklanmıştır.

##### **4.11.1. Kuru CBR Deneyi Sonuçları**

Şekil 4.25'te doğal agregaya numunelerine uygulanan kuru CBR deneyinden elde edilen yük-penetrasyon eğrisi gösterilmiştir.



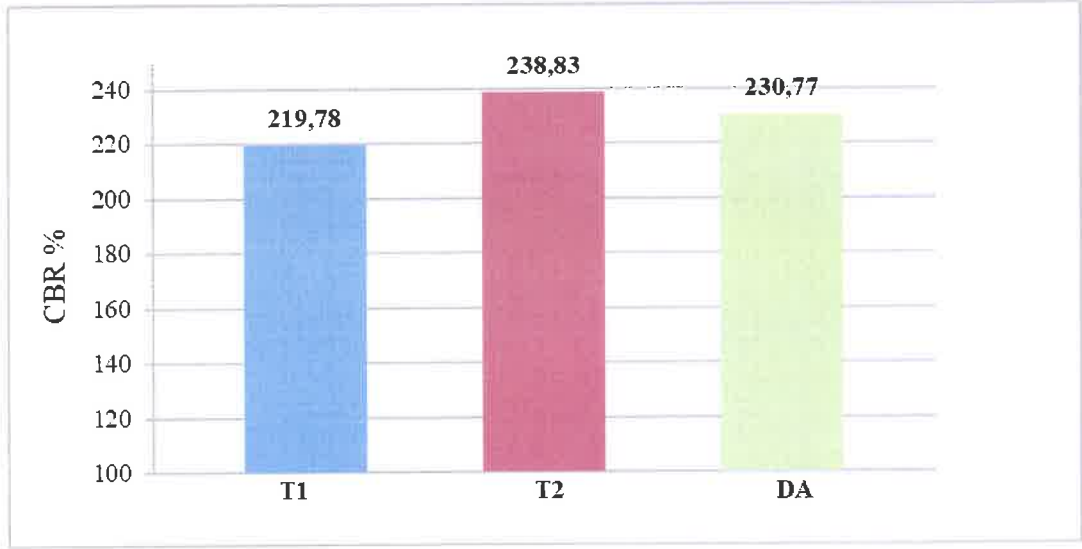
Şekil 4.25. Doğal agrega (DA) için kuru CBR deneyi yük-penetrasyon eğrisi

Yapılan kuru CBR deneyleri sonucunda elde edilen değerler Tablo 4.16'da gösterilmiştir.

Tablo 4.16. Kuru CBR deneyi bulguları

Malzeme	Sıkıştırma Yöntemi	CBR (%)
Traverten (T1)	Modifiye Proktor	219,78
Traverten (T2)	Modifiye Proktor	238,83
Doğal Agrega	Modifiye Proktor	230,77

KTŞ'ne göre temel malzemesinde CBR değeri en az 100 olarak ifade edilmektedir. Tablo 4.16'da görüldüğü gibi her üç malzeme de temel tabakası malzemesi olarak yeterli CBR değerini karşılamıştır. Şekil 4.26'da kuru CBR deneyi için elde edilen değerler gösterilmiştir.

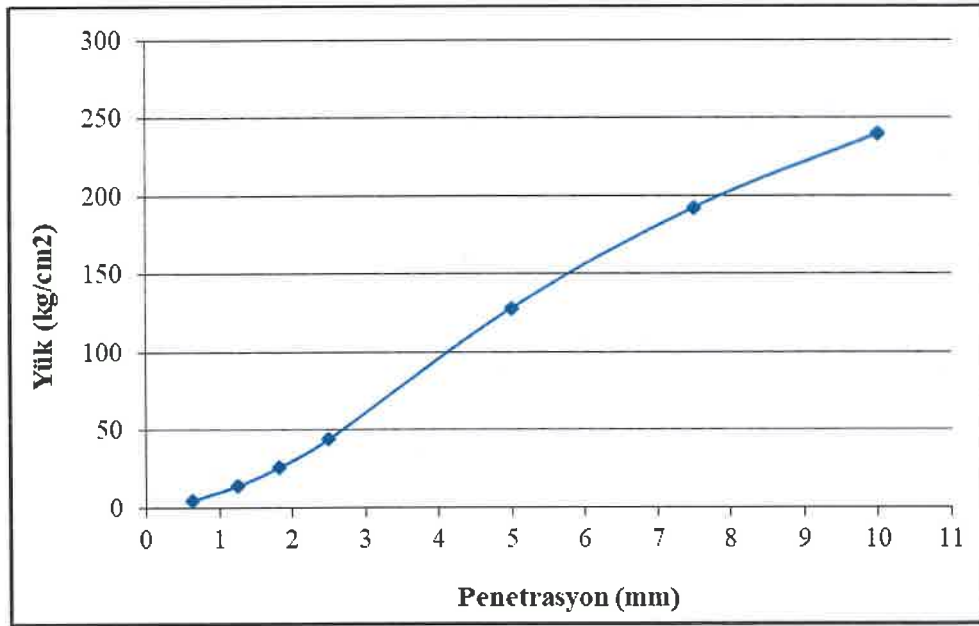


Şekil 4.26. Kuru CBR deneyinden elde edilen değerler

#### 4.11.2. Yaş CBR Deneyi Sonuçları

Yaş CBR deneyinin sonucunda traverten ve doğal agrega numunelerinde şişme gözlenmemiştir.

Şekil 4.27'de Doğal agrega (DA) numunelerine uygulanan yaş CBR deneyinin sonucunda elde edilen yük-penetrasyon eğrisi gösterilmiştir.



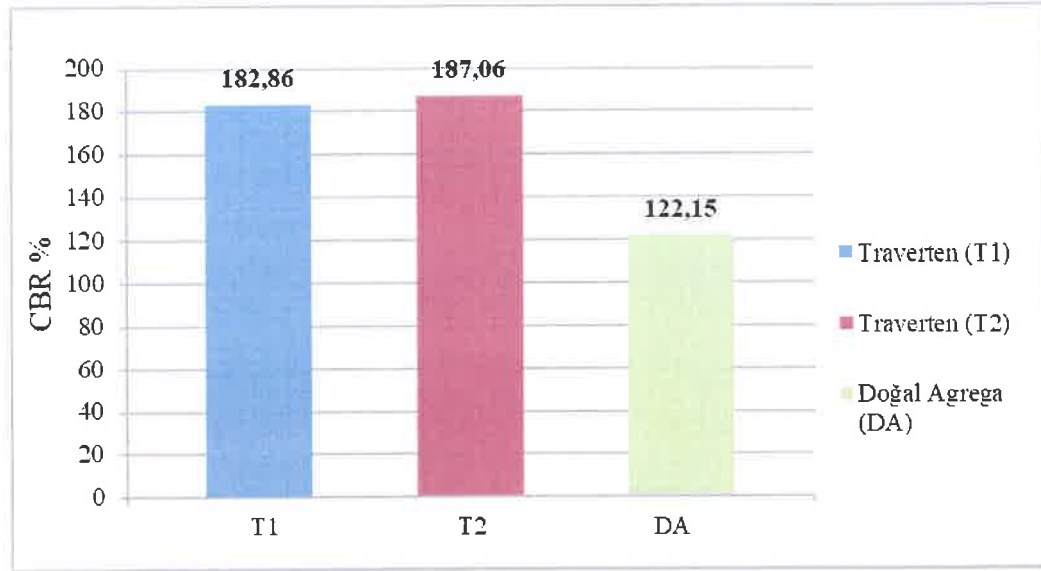
Şekil 4.27. Doğal agrega (DA) için yaş CBR deneyi yük-penetrasyon eğrisi

Yaş CBR deneyinin sonucunda elde edilen değerler Tablo 4.17’de gösterilmiştir.

**Tablo 4.17.** Yaş CBR deneyi bulguları

Malzeme	Sıkıştırma Yöntemi	CBR (%)
Traverten (T1)	Modifiye Proktor	182,86
Traverten (T2)	Modifiye Proktor	187,06
Doğal Agrega	Modifiye Proktor	122,15

Şekil 4.28’de yaş CBR deneyi için elde edilen değerler gösterilmiştir.



**Şekil 4.28.** Yaş CBR deneyinden elde edilen değerler

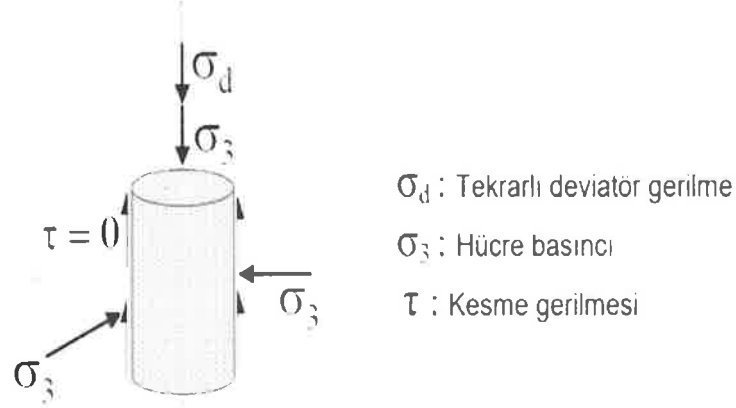
Kuru CBR sonuçları her üç malzeme için birbirine oldukça yakın sonuçlar vermişken traverten numunelerinde yaş CBR sonuçları Doğal agregaya (DA) numunelerine kıyasla daha yüksek elde edilmiştir. Burada travertenin boşluklu yapısından dolayı suyu emerek tanelerin arasındaki kaymayı azalttığı söylenebilir.

#### 4.12. Üç Eksenli Deneyi Sonuçları

AASHTO'nun 1986 yılında çıkardığı üstyapı tasarım rehberinde ve sonraki güncellemelerinde bağlayıcısız yol malzemeleri için esneklik modülünün başlıca tasarım parametresi olarak kullanılması önerilmektedir. Dinamik üç eksenli deneyleri sırasında numuneye uygulanan yanal ve düşey gerilmeler, Şekil 4.29’da gösterildiği şekilde uygulanmaktadır. Kesme gerilmesi için tekerlek ekseninin altında sıfır olduğu kabulü



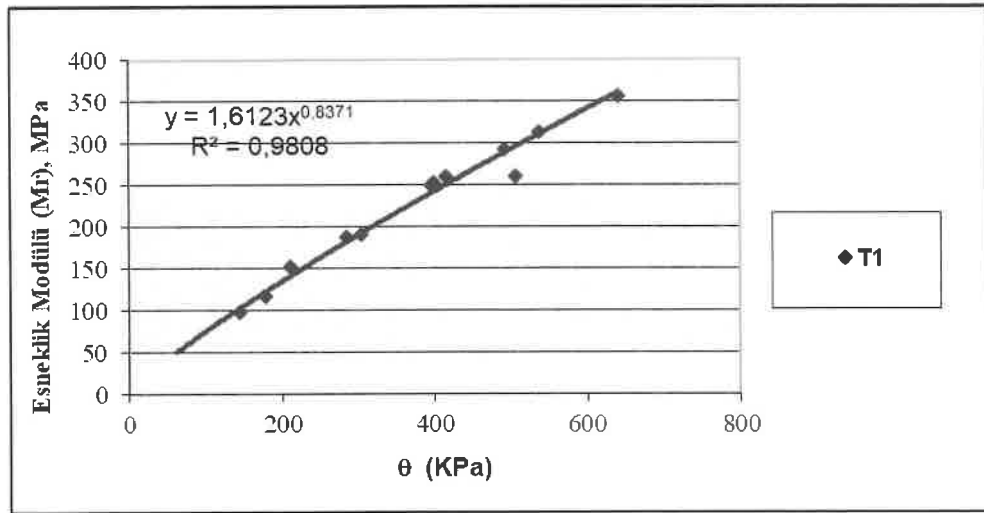
yapılmaktadır. Aşağıda numuneye uygulanan gerilmeler ( $\sigma_d$  = Deviator gerilme,  $\sigma_3$  = Çevre basıncı,  $\sigma_d + \sigma_3$  = Toplam aksel gerilme) ifade edilmektedir (Yılmaz vd., 2008).



**Şekil 4.29.** Deney numunesine üç eksenli hücresinde etkiyen gerilmeler (Yılmaz vd., 2008)

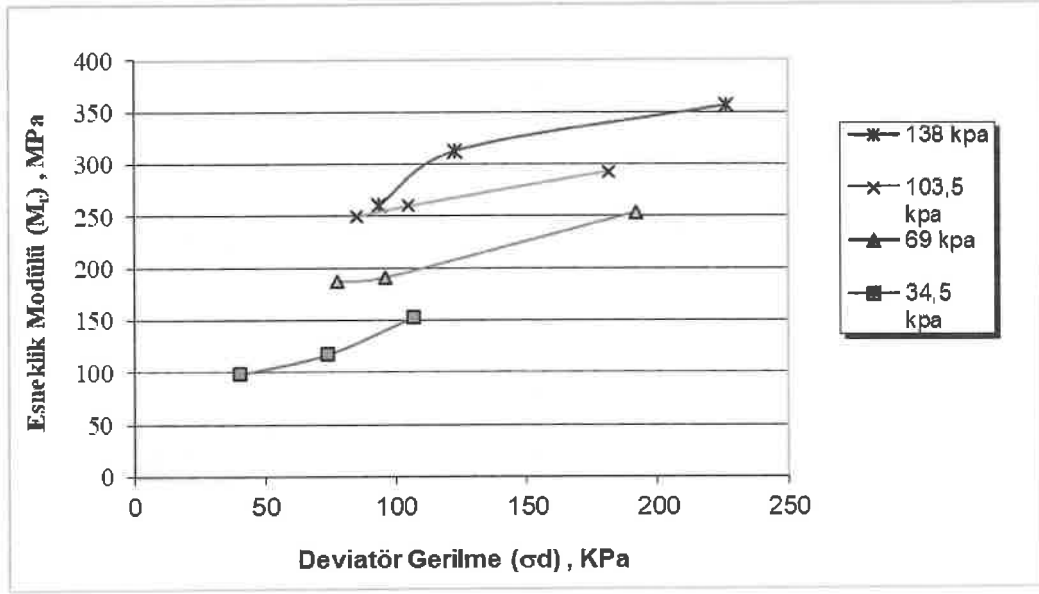
Üç eksenli deneyi sonucunda numuneler için Esneklik Modülü ( $M_r$ ) değeri elde edilmiştir. Esneklik modülünün uygulanan deviator gerilme ve toplam gerilme ile değişimi gösteren grafikler aşağıda verilmiştir.

Traverten (T1) numunesi için yapılan üç eksenli deneyinden elde edilen esneklik modülü – toplam gerilme grafiği Şekil 4.30’da gösterilmiştir.



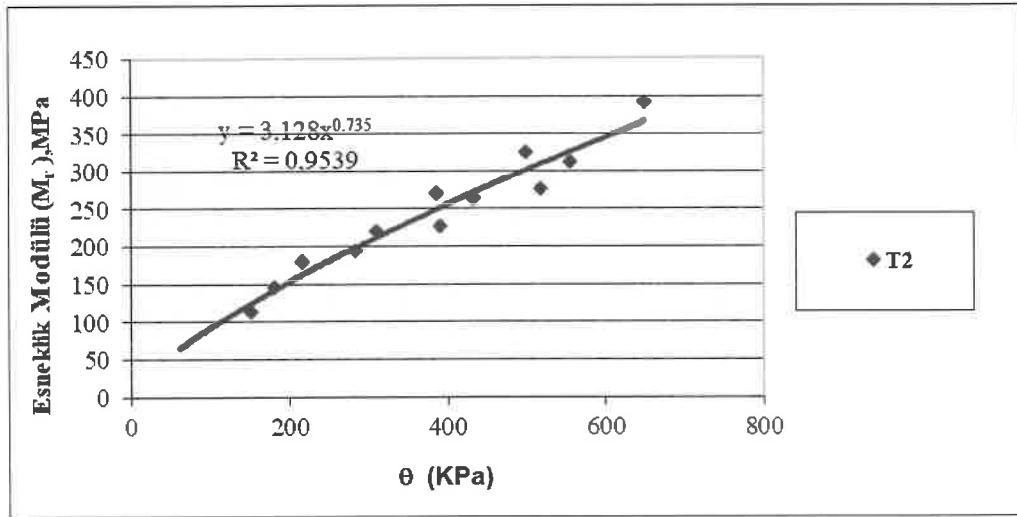
**Şekil 4.30.** Traverten (T1) esneklik modülü – toplam gerilme grafiği

Traverten (T1) numunesi için yapılan üç eksenli deneyinden elde edilen esneklik modülü - deviator gerilme grafiği Şekil 4.31’de gösterilmiştir.



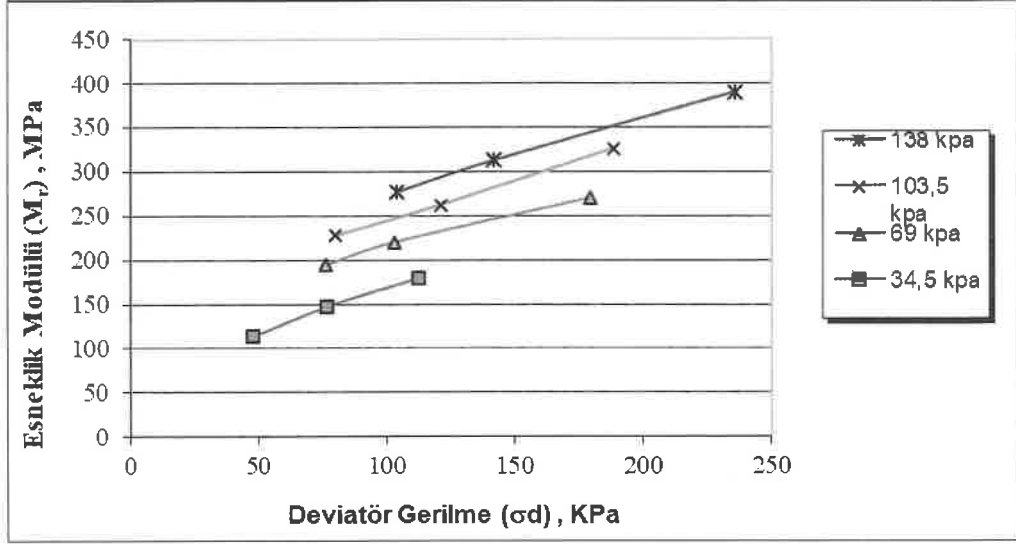
Şekil 4.31. Traverten (T1) için elde edilen esneklik modülü – deviatör gerilme grafiği

Traverten (T2) numunesi için yapılan üç eksenli deneyinden elde edilen esneklik modülü – toplam grafiği Şekil 4.32’de gösterilmiştir.



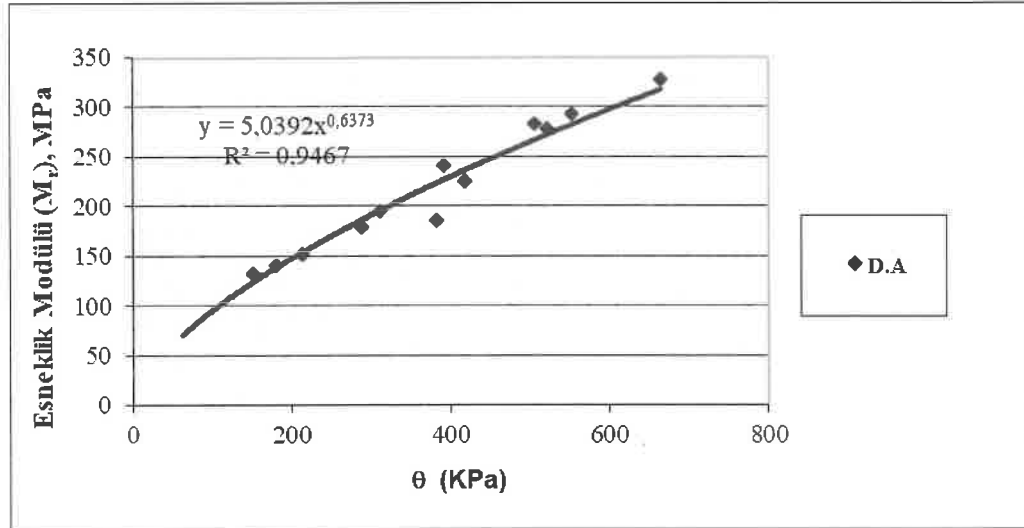
Şekil 4.32. Traverten (T2) esneklik modülü – toplam gerilme grafiği

Traverten (T2) numunesi için yapılan üç eksenli deneyinde esneklik modülü - deviatör gerilme grafiği Şekil 4.33’de gösterilmiştir.



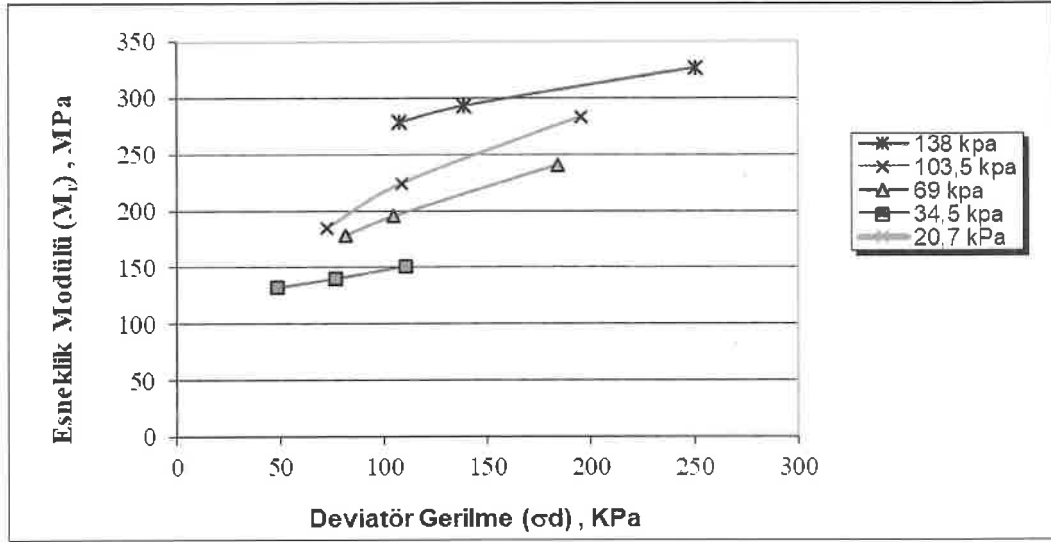
Şekil 4.33. Traverten (T2) için elde edilen esneklik modülü – deviatör gerilme grafiği

Doğal agrega (DA) numunesi için yapılan üç eksenli deneyinden elde edilen esneklik modülü – toplam gerilme grafik Şekil 4.34'te gösterilmiştir.



Şekil 4.34. Doğal agrega (DA) esneklik modülü – toplam gerilme grafiği

Doğal agrega (DA) numunesi için yapılan üç eksenli deneyinde esneklik modülü - deviatör gerilme grafiği Şekil 4.35'te gösterilmiştir.



Şekil 4.35. Doğal agrega (DA) için elde edilen esneklik modülü – deviyör gerilme grafiği

Esneklik modülü numuneye uygulanan gerilmeye göre lineer olmayan bir şekilde değişim göstermektedir. Bu non-linear değişimi modellemek amacıyla araştırmacılar tarafından pek çok formül geliştirilmiştir. M<sub>r</sub> tahmin modellerinden en çok kabul gören K- θ Modeli burada ele alınmıştır. Denklem (4.1) aşağıda gösterilmektedir.

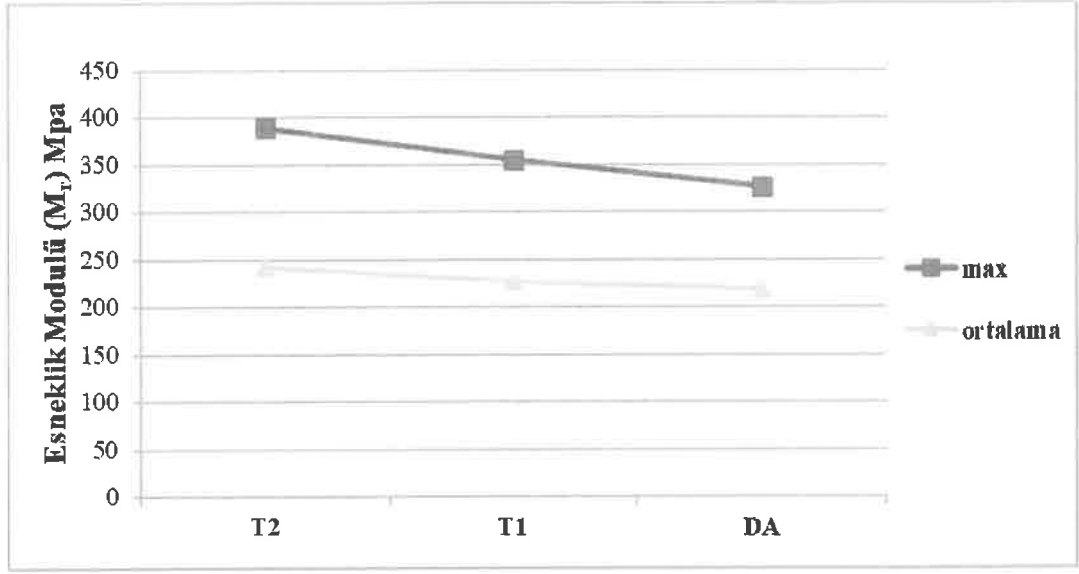
$$M_r = k_1 \theta^{k_2} \quad (\text{k-}\theta \text{ Modeli}) \quad (4.1)$$

Modelde k<sub>2</sub> parametresi M<sub>r</sub>- θ grafiğindeki eğrinin eğimini ifade etmektedir. k<sub>1</sub> değeri ise M<sub>r</sub>- θ grafiğindeki eğrinin “y” eksenini kestiği noktadır. İri malzeme oranı fazla olan karışımlar için k<sub>2</sub> değeri daha büyüktür, ince malzeme miktarı arttıkça k<sub>2</sub> değeri azalır. Bu durum kaba gradasyonlu karışımlar için gerilme-bağımlılığının daha etkili olduğunu göstermektedir (Yılmaz vd., 2008). Deneysel bulguların bu modellerde yerine konulması ile elde edilen “k” malzeme parametreleri ve R<sup>2</sup> değerleri belirlenmiştir. Tablo 4.18'de bu veriler görülmektedir.

Tablo 4.18. Üç eksenli deneyi bulguları (k-θ Modeli)

Malzeme türü	Malzeme parametreleri		Belirleme katsayısı R <sup>2</sup>
	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	
T1	1,612	0,837	0,980
T2	3,128	0,735	0,953
DA	5,039	0,637	0,946

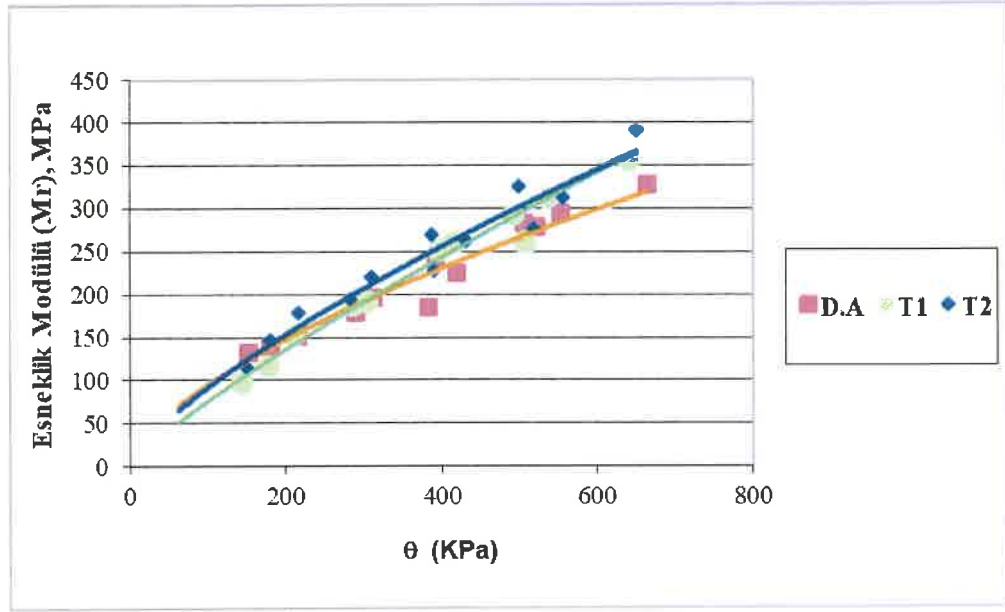
Esneklik modülü değerlerini kıyaslayabilmek amacıyla, elde edilen farklı M<sub>r</sub> değerlerinin max ve ortalama değerleri Şekil 4.36'da grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.36. Maksimum ve ortalama  $M_r$  değerlerinin grafik gösterilişi

Şekil 4.36'daki grafikten görüleceği gibi Traverten (T2) numunesi için hem maksimum gerilme değeri hem de ortalama gerilme değeri olarak en yüksek değerler elde edilmiştir. Traverten (T1) numunesi için maksimum ve ortalama gerilme değerleri Traverten (T2)'ye göre daha düşük Doğal agrega (DA) numunesinden daha yüksek değerler elde edilmiştir.

Traverten (T1), Traverten (T2) ve Doğal agrega (DA) numuneleri için üç eksenli deneyinin sonucunda elde edilen  $M_r$  değerlerinin  $\theta$  ile değişimini gösteren toplu grafik Şekil 4.37'de gösterilmiştir.



Şekil 4.37. Esneklik modülü değerlerinin toplam gerilme ile değişimini gösteren toplu grafik

Şekil 4.38'deki grafikten görüleceği gibi düşük ( $\theta$ ) toplam gerilme değerleri için Traverten (T2) ve Doğal agrega (DA) numunelerinin  $M_r$  değerleri Traverten (T1) numunelerine göre nispeten daha yüksek değerler almıştır. Yüksek ( $\theta$ ) toplam gerilme değerleri için Traverten (T1) ve Traverten (T2) numunelerinin  $M_r$  değerleri birbirine yaklaşmıştır.

Doğal agrega (DA) numuneleri düşük ( $\theta$ ) toplam gerilme değerleri için  $M_r$  değerleri Traverten numunelerine yakın sonuçlar gösterirken yüksek ( $\theta$ ) toplam gerilme değerleri için Traverten numunelerinden ayrılarak daha düşük  $M_r$  değerleri elde edilmiştir.

## 5. SONUÇ

Bu Çalışmada, Burdur ili Bucak ilçesinde bulunan ve traverten üretimi yapan 2 farklı mermer fabrikasında üretim esnasında ortaya çıkan traverten atıklarının karayolu esnek üstyapısının granüler temel tabakalarında agrega olarak kullanılabilirliği incelenmiştir. Şahit numune olarak kullanılan doğal agrega (dolomit) ile elde edilen deneysel veriler ile karşılaştırılmıştır.

Traverten atıklarının karayolu üstyapısında granüler tabakalarda agrega olarak kullanımı amaçlandığı için bu malzemenin KTŞ'nde belirtilen kriterlere uygunluğu deneysel çalışmalar ile incelenmiştir. Çalışmada, hem agregaların fiziksel ve kimyasal özellikleri hem de kapalı gradasyona sahip agrega karışımların mekanik performansları tespit edilmiştir.

Los Angeles (Aşınma) deneyinin sonucunda aşınma yüzdeleri Traverten (T1) numunesi için % 28,97 ve Traverten (T2) numuneleri için % 24,95 olarak hesaplanmıştır. Aynı deneyde doğal agrega için % 14,82 olarak bulunmuştur. Traverten numuneleri ve doğal agrega numunesi karayollarında kullanılan agregalar için şartname limit değeri % 35'in altında kalarak izin verilen limitleri sağlamıştır. Doğal agrega numunelerinden elde edilen veriler istenilen aşınma değerine daha yakın çıkmıştır.

Su emme deneyi sonucunda Traverten (T1) numunesi için % 2.26, Traverten (T2) numunesi için % 1.99 ve doğal agrega numunesi için ise % 0,97 su emme değerleri elde edilmiştir. Traverten numunelerinin su emme değeri doğal agreganın yaklaşık iki katı oranında fazla bulunmuştur. Tüm numuneler % 3,00 olan KTŞ limitini sağlamıştır.

Hava tesirlerine karşı dayanıklılık deneyi (donma çözülme deneyi) sonucunda, Traverten (T1) numuneleri için % 10,60 kayıp oranı, Traverten (T2) numuneleri için % 8,86 kayıp oranı ve doğal agrega numuneleri için % 6,58 kayıp oranı elde edilmiştir. Su emme düzeyleri nispeten yüksek çıkan traverten numunelerinin beklenildiği gibi hava tesirleri kayıp oranı da doğal agregadan yüksek çıkmıştır. Buna rağmen traverten numuneleri için KTŞ'nde izin verilen hava tesirleri kayıp oranı % 20 değerinden düşük değerler elde edilmiştir.

Yassılık indeksi ve uzunluk indeksi deneyinde traverten numunelerinin doğal agrega numunelerine göre hem daha yassı hem de daha ince-uzun olduğu tespit edilmiştir. Bu olgunun sebebi traverten numunelerinin laboratuvarında çeneli kırıcı ile kırılmış olmasından kaynaklanmaktadır. Traverten numuneleri için KTŞ'nde izin verilen limitler sağlanmıştır.

Traverten ve doğal agrega numuneleri için kuru CBR deneyi ve yaş CBR deneyi uygulanarak yük taşıma kapasiteleri belirlenmiştir. Traverten ve doğal agrega numuneleri KTŞ'nde belirtilen % 100 CBR değerinden daha yüksek değerler sağlamıştır. Kuru CBR

sonuçları her üç malzeme için birbirine oldukça yakın sonuçlar vermişken traverten numunelerinde yaş CBR sonuçları Doğal agregaya (DA) numunelerine kıyasla daha yüksek elde edilmiştir. Burada travertenin boşluklu yapısından dolayı suyu emerek tanelerin arasındaki kaymayı azalttığı söylenebilir.

Üç eksenli deneyleri sonucunda Traverten (T1), Traverten (T2) ve doğal agreganın esneklik modülü ( $M_r$ ) değerleri bulunmuştur. Düşük ( $\theta$ ) toplam gerilme değerleri için Traverten (T2) ve Doğal agregaya (DA) numunelerinin  $M_r$  değerleri Traverten (T1) numunelerine göre nispeten daha yüksek değerler almıştır. Yüksek ( $\theta$ ) toplam gerilme değerleri için Traverten (T1) ve Traverten (T2) numunelerinin  $M_r$  değerleri birbirine yaklaşmıştır. Doğal agregaya (DA) numuneleri düşük ( $\theta$ ) toplam gerilme değerlerinde  $M_r$  değerleri için traverten numunelerine yakın sonuçlar gösterirken yüksek ( $\theta$ ) toplam gerilme değerleri için traverten numunelerinden ayrılarak daha düşük  $M_r$  değerleri elde edilmiştir. Traverten (T1) ve Traverten (T2) numuneleri için esneklik modülü doğal agregaya yakın ya da daha yüksek değerler aldığı için karayolu üst yapısında granüler tabakalarda kullanılabileceği değerlendirilmektedir.

Deneylerden elde edilen sonuçlara göre her iki traverten örneğinin de KTŞ'nde belirtilen esnek üst yapı granüler temel tabakası kriterlerini ve şartname limitlerini sağladığı görülmüştür. Ancak Doğal agregaya (DA) ile kıyaslandığında traverten numunelerinin Los Angeles aşınma yüzdesi, su emme yüzdesi, hava tesirleri kayıp oranı, yassılık ve uzunluk indeksi, darbelenme değeri, CBR % değerleri daha yüksek bulunmuştur.

Gevşek-sıkışık birim hacim ağırlık, zahiri özgül ağırlık, hacim özgül ağırlık değerleri Doğal agregaya (DA) ile kıyaslandığında daha düşük elde edilmiştir. Doğal agregaya (DA) numuneleri fiziksel ve kimyasal özellikler açısından daha iyi sonuçlar verirken Traverten numunelerinin dinamik yükler altında ölçülen esneklik modülü daha yüksek değerler almıştır.

Traverten agregaların karayolu üst yapısında granüler tabakalarda kullanılmakta olan geleneksel doğal agregaya iyi bir alternatif ürün olacağı değerlendirilmektedir. Ancak, atık traverten nakliye maliyetleri de burada dikkate alınmalıdır. Atıkların ortaya çıktığı mahalden uzaklaştıkça nakliye maliyetlerinden dolayı birim maliyetler de artacaktır.

Traverten atıklarının karayolu inşaatlarında agregaya olarak değerlendirilmesi, çevreye duyarlılık açısından atıkların azaltılması ve tarım alanlarından uzaklaştırılması yönleriyle de büyük faydalar sağlayacağı aşikârdır. Traverten atıklarının agregaya olarak değerlendirilmesi, büyük oranda mermer üretimi yapan bölgelerde sağlıklı ve göze daha hoş gözüken bir çevre sağlanması açısından da oldukça önemlidir.

Sonuç olarak Burdur ilinin kanayan bir yarası olan atık mermer sorununun ele alınmasının bu konuyla alakalı olan resmi ve gayri-resmi kurumların faaliyetlerine de önemli



ölçüde katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Bu ve benzeri çalışmalar neticesinde mermer sektörüne yönelik tepkilere yol açan mermer atıklarının, hem çevresel açıdan daha az sakıncalı bir içerikle doğaya bırakılması hem de ülke ekonomisine katkısının arttırılması yönünde ciddi adımlar atılabileceği düşünülmektedir.

Bu çalışmada elde edilen bulgular ve araştırma sonuçlarının ileride yapılacak çalışmalara bir altlık oluşturacağı düşünülmektedir. Ayrıca bu ve benzeri çalışmaların uygulamaya geçirilebilmesinin sağlanması neticesinde farklı bölgelerdeki traverten üzerine olan çalışmalara da örnek teşkil edeceği düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

- Akbulut, H., Gürer, C., 2006. Atık mermerlerin asfalt kaplamalarda agrega olarak değerlendirilmesi. *İMO Teknik Dergi*, Yazı 261, 3943-3960.
- Akbulut, H., Gürer, C., 2003. Mermer Atıklarının Çevresel Etkileri ve Yol Katmanlarında Kullanarak Faydalanma ve Atık Azaltma İmkanları, *Türkiye IV. Mermer Sempozyumu (Mersem'2001) Bildiriler Kitabı*, Afyonkarahisar, 371-378.
- Akbulut, H., İçağa, Y., Gürer, C., 2003. Atık Agregaların Asfalt Yol Kaplamalarında Tekrar Kullanım İmkanları ve CEN Standartları, *III Ulusal Kırmataş Sempozyumu*, İstanbul, 271-276.
- Allen, J.J., Thompson, M.R. 1974. Resilient response of granular materials subjected to time dependent lateral stresses. *Transportation Research Record*, 510, 1-13.
- Alptuna G., 2009. Dolomit Kökenli Agregaların Alkali-Karbonat Reaktivitesinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, Türkiye.
- Araya, A.A.,Huurman, M., Molenaar, A.A.A., Houben, L. J. M., 2012. Investigation of the resilient behavior of granular base material swith simple test apparatus, *Materials and Structures*, 45, 695–705.
- AASHTO, 1994. *Standard test method for determining the resilient modulus of soils and aggregate materials*, TP 46, AASHTO, USA.
- ASTM C131, 2014. *Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasionand Impact in the Los Angeles Machine*, American Society for Testing and Materials, USA.
- ASTM D8-18c, 2018. *Standard Terminology Relating to Materials for Roads and Pavements*, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM D 1883, 2000. *Standard Test Method for CBR (California Bearing Ratio) of Laboratory-Compacted Soils*, USA.
- Bağdatlı, M.E.C., Yıldırım, M.Ş., 2017. Karayolu Üstyapılarındaki Bozulmaların Bakım Maliyetlerine Etkisi. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6, 102-111.
- Barksdale, R.D., 1993. Comprehensive Stress Pulse Times in Flexible Pavements for Use in Dynamic Testing. *Transportation Research Record*, 537, 32-44.
- Barksdale, R.D., Alba, J. 1997. *Laboratory Determination of Resilient Modulus for Flexible Pavement Design: Final Report*, The National Academic Press, Washington D.C. 464.
- BS 812-105.1, 1989. *Flakiness Index of Coarse Aggregate*, British Standard, England.
- BS 812-105.2, 1990. *Elongation Index of Coarse Aggregate*, British Standard, England.

- Büyüksağış, S., Gürcan, S., 2005. ASTM ve TSE doğal taş standartlarının karşılaştırılması. *Madencilik*, 44 (1), 33-41.
- Ceylan, H., Mança, S., 2013. Mermer parça atıklarının beton agregası olarak değerlendirilmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Teknik Bilimler Dergisi*, 3(2), 21-25.
- Çağlayan, M., Haberveren, S., İpekoğlu, B., Kurşun, İ., 1999. Beton Yapımında Kullanılan Agregaların Özellikleri ve Örnek Bir Kuruluş 'İston', 2. *Ulusal Kıрма Taş Sempozyumu*, İstanbul. 69-79.
- Çelik, M.Y., Emrulloğlu, Ö.F., 1999. Mermer atıklarından polyester bağlayıcılı suni mermer blok ve levha üretiminin araştırılması. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 1-1, 35-50.
- Çetin, T., 2003. Türkiye mermer potansiyeli, üretimi ve ihracatı. *Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 23(3), 243-256.
- Çobanoğlu, İ., Çelik, S.B., Çam, O., Etiz, H., Kurşun, M., 2014. Denizli bölgesi traverten atıklarının beton agregası olarak kullanılabilirliğinin incelenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(3), 92-99.
- Deniz, M.T., 2002. Numune Yüksekliği ve Sıkıştırma Enerjisinin Marshall Stabilesi ile Dolaylı Çekme Modülüne Etkisi, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Dipova, N., 2005. Antalya Tufa Platosundaki Zeminlerin Mühendislik Özellikleri. *Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi*, Antalya, 22-25.
- Duran, G., 2016. Kümelenme düzeyi üzerine bir araştırma: Bucak ilçesi mermer sektörü örneği. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 8(15), 147-163.
- Dündar, G., 1998. Esnek Üstyapı Tasarım Yöntemlerinin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Erdem, R.T., Öztürk, A.U., 2012. Mermer tozu katkısının çimento harcı donma-çözünme özellikleri üzerine etkisi. *Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 1, 85-91.
- Ergezer, F., 2018. Sıcak çermik bölgesi (Sivas) traverten atıklarının yol temel ve alt temel tabakalarında kullanılabilirliğinin araştırılması. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22, 181-188.
- Erol, B., 2018. Atık maddelerin Yol İnşaatlarında Temel Malzemesi Olarak Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Filiz, M., Özel, C., Soykan, O., Ekiz, Y., 2010. Atık mermer tozunun parke taşlarında kullanılması. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6(2), 57-72.
- Güven, H., 2015. Denizli ve Çevresindeki Traverten Atıklarının Betonda Katkı Malzemesi Olarak Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, Türkiye.

- Hicks, R.G., Monismith, C. L., 1971. Factors influencing the resilient response of granular materials highway soils engineering. *Highway Research Record*, 345, 15-31.
- Huang, Y.,H., 1993. *Pavement Analysis and Design*, Prentice-Hall, New Jersey.
- Kadıoğlu, Y., Özav L., 2008. Denizli ilinde önemli bir ekonomik fonksiyon özelliği kazanan endüstriyel doğal taşlar : Mermer ve traverten. *Marmara Coğrafya Dergisi*, 8, 253-271.
- Kamacı, C., 2013. Traverten İşlenmesi Sırasında Karşılaşılan Problemler, Yüksek Lisans Tezi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, Türkiye.
- Kavas, T., Kibıcı, Y., 2001. Afyon Bölgesi Mermer Atıklarının Portlant Kompoze Çimentosu Üretiminde Katkı Maddesi Olarak Kullanım Olanakları, *Türkiye 3. Mermer Sempozyumu, MERSEM 2001*, Afyon. 327-335.
- Kaya, Z., Çetin, A., Çetin, B., Aydilek, A., 2013. Granüler temel tabakasının mekanik davranışına sıkıştırma yöntemleri ve agrega özelliklerinin etkisi. *İnşaat Mühendisleri Odası Teknik Dergi*, Yazı 404, 6463-6470.
- Kök, E., 2008. Karayolu ve Havaalanı Üstyapı Tasarım Yöntemleri, Karşılaştırması ve Türkiye Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- KTŞ, 2013. *Karayolları Teknik Şartnamesi (Yol Üstyapısı, Sanat Yapıları, Köprü ve Tüneller, Üstyapı ve Çeşitli İşler)*, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü Matbaası, Ankara.
- LTPP Protocol P46, 1996. *Resilient Modulus of Unbound Granular Base/Subbase Materials and Subgrade Soils, Long-Term Pavement Performance*, Federal Highway Administration, Virginia.
- Marr, W.A., Hankour, R., Werden, S.K., A Fully, 2003. *Automated Computer Controlled Resilient Modulus Testing System, Resilient Modulus Testing for Pavement Components*, ASTM STP 1437, *ASTM International*, West Conshohocken PA.
- Ok, B., Demir, A., 2018. Yapım yıkım atıklarının yol temellerinde kullanılabilirliğinin incelenmesi. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7, 224-236.
- Okubay M., Yardım M.S., 2016. Mermer atıklarının bitümlü sıcak karışımların stabilite özelliklerine etkisi. *Engineering Sciences*, 11, 73-82.
- Ontürk, K., Firat, S., Vural, I., Khatib, J. M., 2014. Uçucu kül ve mermer tozu kullanarak yol altyapısının iyileştirilmesi. *Politeknik Dergisi*, 17(1), 35-42.
- Öksüz, B., 2011. Asfalt Betonu Kaplamalarda Volkanik Cüruf ve Cam Atıklarının Filler Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, Türkiye.

- Özdemir, E., Sarıcı, D.E, Sarıcı, T., 2017. Doğu anadolu bölgesinde bulunan bazı mermer atıklarının yol temel ve alt temel tabakalarında kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi. *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 39, 13-20.
- Polat, S., 2011. Türkiye’de traverten oluşumu, yayılış alanı ve korunması. *Marmara Coğrafya Dergisi*, 23, 389 - 428.
- Pedley, H.M., 1990, Classification and environmental models of cool freshwater tufas. *Sedimentary Geology*, 68, 143 – 154.
- Rada, G., Witczak, M.W. 1981. *Comprehensive evaluation of laboratory resilient modulus results for granular material*. Transportation Research Record, 810, 23-33.
- Shaw, P. 1980. Stres-Strain Relationships for Granular Materials Under Repeated Loading. Ph.D. Thesis. University of Nottingham, Nottingham UK. 199.
- Seferoğlu, A.G., Seferoğlu, M.T., Akpınar, M.V., 2015. Yol Aşınma Tabakasının Geri dönüşüm Malzemesi Olarak Ulaşım Üstyapısında Kullanılabilirliğinin Araştırılması, *2<sup>nd</sup> International Sustainable Building Symposium*, Ankara, 281-287.
- Sel, E., 2006. Dünya ve Türkiye Ölçeğinde Doğal Taş ve Seramik Kaplama Malzemelerinin Sektörel Analizi, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Seren, I.S, 2015. Elektrik Ark Fırını Cürufunun Yapay Agregalar Olarak Esnek Üstyapılarda Çimento Bağlayıcı Granüler Temel Tabakasında Kullanılabilirliğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Soykan, O., Özel, C., Öcal, C., 2015. Arduvaz ve andezit’in beton agregası olarak kullanılabilirliğinin araştırılması. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 19 -1, 69-74.
- Terzi, S., Kardeşin, M., 2003. Mermer toz atıklarının asfalt betonu karışımında filler malzemesi olarak kullanımı. *İMO Teknik Dergi*, Yazı 193, 2903-2922.
- Topay, M.H., 2011. Bucak İlçesinin (Burdur) Beşeri ve Ekonomik Coğrafya Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi. Selçuk Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Konya, Türkiye.
- TSE, 2011. *Agregaların Termal ve Bozunma Özellikleri İçin Deneyler - Bölüm 2: Magnezyum Sülfat Deneyi*, TS EN 1367-2, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TSE, 2013. *Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler 6: Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranı Tayini*, TS EN 1097-6, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TSE, 2015. *Agregaların geometrik özellikleri için deneyler - Bölüm 1: Tane büyüklüğü dağılımının tayini - Eleme yöntemi*, TS EN 933-1, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

- TSE, 2015. *İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri - Bölüm 1: Fiziksel Özelliklerin Tayini*, TS 1900-1:2006-T2, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Ural, N., Yakşe, G., 2015. Atık mermer parçalarının yol temel malzemesi olarak değerlendirilmesi. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2(2), 53-62 s.
- URL-1, 2019. *Yol üstyapısı, Karayolu Yol Üstyapısı Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü 2010-2011 Güz Dönemi Ders Notları*, Sivas. <https://docplayer.biz.tr-2791440-Karayolu-yol-üst-yapisi.html>, (Erişim tarihi: 20/05/2019)
- URL-2, 2019. *Bucak Ekonomik Veriler*, Bucak Sanayi ve Ticaret Odası, Bucak Ekonomi, <http://www.bucaktso.org.tr/BUCAK/Ekonomi/tabid/16218/Default.aspx> (Erişim Tarihi: 23.07.2019)
- URL-3, 2019. *Agregalar*, [http://kisi.deu.edu.tr/halit.yazici/YM2/YM II%234\\_AGREGALAR-1.pdf](http://kisi.deu.edu.tr/halit.yazici/YM2/YM II%234_AGREGALAR-1.pdf) (Erişim Tarihi:25.05.2019)
- URL-4, *Yapı Malzemesi*, 2019. *Agregalar*, [http://insaatmuh.cbu.edu.tr/db\\_images/file/yapi-malzemesi-agregalar-1-4119TR.pdf](http://insaatmuh.cbu.edu.tr/db_images/file/yapi-malzemesi-agregalar-1-4119TR.pdf),(Erişim tarihi:25.05.2019)
- URL-5, 2019. *Kireçtaşı*, <http://www.bilgiyasam.com/kirectasi-nedir-kirectasinin-kullanim-alanlari-nelerdir-7022/> (Erişim Tarihi: 20.05.2019)
- URL-6, 2019. *Kayaçların Özgül Kütleleri*, <http://teknikrehber.net/kayaclarin-ozgul-kutleleri/>, (Erişim tarihi:25.05.2019)
- Uzer, O., 2017. Mermercilik Sektörünün Ekonomik Ve Toplumsal Kalkınmaya Etkilerinin Sosyolojik Analizi: Batı Akdeniz Örneği, Yüksek Lisans Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Isparta, Türkiye.
- Üstüncöl, F.N., Turabi, A., 2010. Endüstriyel atık filler malzemelerin kullanılabilirliğinin araştırılması. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12(1), 3-18.
- Yıldız, A.H., 2008. Mermer Toz Atıklarının Yol İnşaatında Değerlendirilmesi, Doktora Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, Türkiye.
- Yılmaz, A., Saltan, M., Akıllı, A., 2012. Göller yöresinde işletilen kireçtaşı agregalarının yol inşaatı malzemesi olarak kullanılabilirliğinin araştırılması, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 18(3), 199-207.
- Yılmaz, A., 2017. Yol üstyapısında kullanılan cüruf atıklarının çevresel etkilerinin incelenmesi. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8, 123-134.
- Yılmaz, A., Sütaş, İ., 2008. Ferrokrom cürufunun yol temel malzemesi olarak kullanımı. *İMO Teknik Dergi*, Yazı 294, 4455-4470.
- Yılmaz, A., Yıldız, A.H., 2015. Cüruf Atıklarının Yol İnşaatında Kullanılması Durumunda Çevresel Etkileri, *International Burdur Earthquake & Environment Symposium*, Burdur, 267-279.

- Yılmaz, A., 2008. Ferrokrom ve Silikoferrokrom Cürufları ile Silis Dumanının Yol Üstyapısında Kullanımı, Doktora Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, Türkiye.
- Yılmaz, A., Kardeşahin, M., Çağlar, M.F., 2008. Granüler yol malzemeleri için düşük maliyetli dinamik üç eksenli test cihazı geliştirilmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12(1), 26-34 s.
- Yolcu, C., Girgin, Z.C., 2017. Dünyada yapay hafif agregalı yapısal beton uygulamaları ve doğal pomza agreganın kullanılabilirliği, *Aurum Mühendislik Sistemleri ve Mimarlık Dergisi*, Cilt 1(2), 59-67 s.

## EKLER

### EK-1 Los Angeles Deneyi Değerleri

Ek 1-Tablo 1.1. Traverten (T1) Los Angeles deneyi verileri

LOS ANGELES (AŞINMA) DENEYİ	
01.05.2019	
Deney tarihi	Traverten (T1)
Numunenin cinsi	4956
Numunenin başlangıç ağırlığı(M1)	3520
Numunenin son ağırlığı (M2)	28,97497982
LA (Los Angeles Katsayısı)	

$$LA (\text{Aşınma \% 'si}) = \frac{M1 - M2}{M1} \cdot 100$$

Ek 1-Tablo 1.2. Traverten (T2) Los Angeles deneyi verileri

LOS ANGELES (AŞINMA) DENEYİ	
Deney tarihi	01.05.2019
Numunenin cinsi	Traverten (T2)
Numunenin başlangıç ağırlığı(M1)	4862
Numunenin son ağırlığı (M2)	3649
LA (Los Angeles Katsayısı)	24,94858083

$$LA (\text{Aşınma \% 'si}) = \frac{M1 - M2}{M1} \cdot 100$$

Ek 1-Tablo 1.3. Doğal Agreg (DA) Los Angeles deneyi verileri

LOS ANGELES (AŞINMA) DENEYİ	
Deney tarihi	01.05.2019
Numunenin cinsi	DA(Doğal Agreg)
Numunenin başlangıç ağırlığı(M1)	4837,5
Numunenin son ağırlığı (M2)	4120,5
LA (Los Angeles Katsayısı)	14,82170543

$$LA (\text{Aşınma \% 'si}) = \frac{M1 - M2}{M1} \cdot 100$$



## EK.2 Yassılık İndeksi Deneyi Tabloları

Ek 2-Tablo 2.1. Traverten (T1) yassılık indeksi deneyi verileri

Tane büyüklüğü (mm)	AĞIRLIK (gr) (A)	Toplamda oranı (%) (D)	Yassı geçen (gr) (B)	oranı $C=(B/A)*100$	Ağırlıklı yassılık oranı $(D/100)*C$
28-20	1000	22,22	498	49,80	11,07
20-14	2000	44,44	170	8,50	3,78
14-10	1000	22,22	120	12,00	2,67
10-6.3	500	11,11	102	20,40	2,27
TOPLAM	4500		890		19,78
				FI= Yassılık indeksi	19,78

Ek 2-Tablo 2.2. Traverten (T2) yassılık indeksi deneyi verileri

Tane büyüklüğü (mm)	AĞIRLIK (gr) (A)	Toplamda oranı (%) (D)	Yassı geçen (gr) (B)	oranı $C=(B/A)*100$	Ağırlıklı yassılık oranı $(D/100)*C$
28-20	1000	22,22	538	53,80	11,96
20-14	2000	44,44	152	7,60	3,38
14-10	1000	22,22	54	5,40	1,20
10-6.3	500	11,11	101	20,20	2,24
TOPLAM	4500		845		18,78
				FI= Yassılık indeksi	18,78

**Ek 2-Tablo 2.3.** Doğal agrega (DA) yassılık indeksi deneyi verileri

Tane büyüklüğü (mm)	Ağırlık (gr) (A)	Tutulan Yüzde (%) (D)	Uzun parçacıkların Ağırlığı (gr) (B)	Tekil Uzama İndeksi $C=(B/A)*100$	Ağırlıklı Uzama İndeksi $(D/100)*C$
28-20	1000	22,22	22	2,20	0,49
20-14	2000	44,44	218	10,90	4,84
14-10	1000	22,22	232	23,20	5,16
10-6.3	500	11,11	78	15,60	1,73
TOPLAM	4500		550		12,22
				EF= Uzunluk indeksi	12,22

### EK.3 Uzunluk İndeksi Deneyi Tabloları

Ek 3-Tablo 3.1. Traverten (T1) uzunluk indeksi deneyi verileri

Tane büyüklüğü (mm)	Ağırlık (gr) (A)	Tutulan Yüzde (%) (D)	Uzun parçacıkların Ağırlığı (gr) (B)	Tekil Uzama İndeksi $C=(B/A)^*$ 100	Ağırlıklı Uzama İndeksi $(D/100)*C$
28-20	1000	22,22	19	1,90	0,42
20-14	2000	44,44	344	17,20	7,64
14-10	1000	22,22	248	24,80	5,51
10-6.3	500	11,11	84	16,80	1,87
TOPLAM	4500		695		15,44
				EI= Uzunluk indeksi	15,44

Ek 3-Tablo 3.2. Traverten (T2) uzunluk indeksi deneyi verileri

Tane büyüklüğü (mm)	Ağırlık (gr) (A)	Tutulan Yüzde (%) (D)	Uzun parçacıkların Ağırlığı (gr) (B)	Tekil Uzama İndeksi $C=(B/A)*100$	Ağırlıklı Uzama İndeksi $(D/100)*C$
28-20	1000	22,22	56	5,60	1,24
20-14	2000	44,44	270	13,50	6,00
14-10	1000	22,22	269	26,90	5,98
10-6.3	500	11,11	97	19,40	2,16
TOPLAM	4500		692		15,38
				EI= Uzunluk indeksi	15,38

Ek 3-Tablo 3.3. Doğal agregata (DA) uzunluk indeksi deneyi verileri

Tane büyüklüğü (mm)	Ağırlık (gr) (A)	Tutulan Yüzde (%) (D)	Uzun parçacıkların Ağırlığı (gr) (B)	Tekil Uzama İndeksi $C=(B/A)*100$	Ağırlıklı Uzama İndeksi $(D/100)*C$
28-20	1000	22,22	22	2,20	0,49
20-14	2000	44,44	218	10,90	4,84
14-10	1000	22,22	232	23,20	5,16
10-6.3	500	11,11	78	15,60	1,73
TOPLAM	4500		550		12,22
				EI= Uzunluk indeksi	12,22

#### EK.4. Tane yoğunluğu ve Su Emme Deneyi Tabloları

**Ek 4-Tablo 4.1.** Traverten (T1) ince agrega tane yoğunluğu deneyi verileri

	Numune No	1 (gr)	2 (gr)	Ortalama
A	Piknometre ağırlığı	145,98	132,27	
B	Piknometre + su ağırlığı	645,44	630,86	
C	Piknometre + doymun yüzey kuru numune ağırlığı	556,38	542,57	
D	Piknometre + numune + su ağırl.	887,56	873,52	
E	Kuru numune ağırlığı	384,69	382,20	
G <sub>ia</sub>	Görünür tane yoğunluğu	2,688	2,729	2,709
G <sub>ib</sub>	Hacim tane yoğunluğu	2,430	2,438	2,434

$$\text{Görünür tane yoğunluğu, } G_{ia} = \frac{E}{B + E - D}$$

$$\text{Hacim tane yoğunluğu, } G_{ib} = \frac{C - A}{B + C - A - D}$$

**Ek 4-Tablo 4.2.** Traverten(T2) ince agrega tane yoğunluğu verileri

	Numune No	1 (gr)	2 (gr)	Ortalama
A	Piknometre ağırlığı	145,98	132,27	
B	Piknometre + su ağırlığı	645,44	630,86	
C	Piknometre + doymun yüzey kuru numune ağırlığı	557,53	544,52	
D	Piknometre + numune + su ağırl.	894,31	881,58	
E	Kuru numune ağırlığı	399,91	401,03	
G <sub>ia</sub>	Görünür tane yoğunluğu	2,638	2,658	2,648
G <sub>ib</sub>	Hacim tane yoğunluğu	2,520	2,543	2,532

$$\text{Görünür tane yoğunluğu, } G_{ia} = \frac{E}{B + E - D}$$

$$\text{Hacim tane yoğunluğu, } G_{ib} = \frac{C - A}{B + C - A - D}$$

**Ek 4-Tablo 4.3.** Doğal agregata (DA) ince agregata tane yoğunluğu verileri

Doğal Agregata(DA)		1 (gr)	2 (gr)	Ortalama
	Numune No			
A	Piknometre ağırlığı	145,98	132,27	
B	Piknometre + su ağırlığı	645,44	630,86	
C	Piknometre + doymuş yüzey kuru numune ağırlığı	559,43	546,21	
D	Piknometre + numune + su ağırlığı	902,38	887,81	
E	Kuru numune ağırlığı	389,74	382,39	
G <sub>ia</sub>	Zahiri özgül ağırlığı	2,924	3,037	2,981
G <sub>ib</sub>	Hacim özgül ağırlığı	2,632	2,627	2,629

$$\text{Görünür tane yoğunluğu, } G_{ia} = \frac{E}{B + E - D}$$

$$\text{Hacim tane yoğunluğu, } G_{ib} = \frac{C - A}{B + C - A - D}$$

**Ek 4-Tablo 4.4.** Traverten (T1) ince agregata su emme yüzdesi verileri

İNCE AGREGATA SU EMME		Numune No	1 (gr)
	Traverten	T1	
A	Kuru malzemenin havadaki ağırlığı		398
B	Doymuş yüzey kuru malzemenin havadaki ağırlığı		407
100*(B-A)/A	Absorpsiyon yüzdesi		2.261

**Ek 4-Tablo 4.5.** Traverten (T2) ince agrega su emme yüzdesi verileri

İNCE AGREGA SU EMME		Numune No	
	Traverten	T2	Traverten (T2)
A	Kuru malzemenin havadaki ağırlığı(g)		402
B	Doygun yüzey kuru malzemenin havadaki ağırlığı(g)		410
$100*(B-A)/A$	Absorpsiyon yüzdesi(%)		1.99

**Ek 4-Tablo 4.6.** Doğal agrega (DA) ince agrega su emme yüzdesi verileri

	Doğal Agregada (DA)	1 (gr)
A	Kuru malzemenin havadaki ağırlığı	411
B	Doygun yüzey kuru malzemenin havadaki ağırlığı	415
$100*(B-A)/A$	Absorpsiyon yüzdesi	0,973

**Ek 4-Tablo 4.7.** Traverten (T1) kaba agrega tane yoğunluğu değerleri

	Numune No	1 (gr)	2 (gr)	Ortalama
A	Kuru malzemenin havadaki ağırlığı	1995	1998	
B	Doygun yüzey kuru malzemenin havadaki ağırlığı	2016	2018	
C	Doygun yüzey kuru malzemenin sudaki ağırlığı	1235	1240	
$A/(A-C)$	Görünür tane yoğunluğu (Gka)	2,625	2,636	2,630
$A/(B-C)$	Hacim tane yoğunluğu (Gkb)	2,554	2,568	2,561

**Ek 4-Tablo 4.8.** Traverten (T2) kaba agrega tane yoğunluğu değerleri

	Numune No	1 (gr)	2 (gr)	Ortalama
A	Kuru malzemenin havadaki ağırlığı	1996	2000	
B	Doygun yüzey kuru malzemenin havadaki ağırlığı	2016	2019	
C	Doygun yüzey kuru malzemenin sudaki ağırlığı	1236	1239	
A/(A-C)	Görünür tane yoğunluğu (Gka)	2,626	2,628	2,627
A/(B-C)	Hacim tane yoğunluğu (Gkb)	2,559	2,564	2,561

**Ek 4-Tablo 4.9.** Doğal agrega (DA) kaba agrega tane yoğunluğu değerleri

	Numune No	1 (gr)	2 (gr)	Ortalama
A	Kuru malzemenin havadaki ağırlığı	1999	1997	
B	Doygun yüzey kuru malzemenin havadaki ağırlığı	2021	2022	
C	Doygun yüzey kuru malzemenin sudaki ağırlığı	1290	1291	
A/(A-C)	Görünür tane yoğunluğu (Gka)	2,819	2,829	2,824
A/(B-C)	Hacim tane yoğunluğu (Gkb)	2,735	2,732	2,733

**Ek 4-Tablo 4.10.** Traverten (T1) kaba agrega su emme yüzdesi verileri

	Numune No	1 (gr)
A	Kuru malzemenin havadaki ağırlığı	1998
B	Doygun yüzey kuru malzemenin havadaki ağırlığı	2027
$100*(B-A)/A$	Absorpsiyon yüzdesi	1,451

**Ek 4-Tablo 4.11.** Traverten (T2) kaba agrega su emme yüzdesi verileri

	Numune No	1 (gr)
A	Kuru malzemenin havadaki ağırlığı	1996
B	Doygun yüzey kuru malzemenin havadaki ağırlığı	2023
$100*(B-A)/A$	Absorpsiyon yüzdesi	1,353

**Ek 4-Tablo 4.12.** Doğal agrega (DA) kaba agrega su emme yüzdesi verileri

	Numune No	1 (gr)
A	Kuru malzemenin havadaki ağırlığı	1999
B	Doygun yüzey kuru malzemenin havadaki ağırlığı	2020
$100*(B-A)/A$	Absorpsiyon yüzdesi	1,051



## EK 5 Darbelenme Deneyi Tabloları

Ek 5 - Tablo 5.1. Traverten (T1) darbelenme deneyi 1.numune verileri

Numune Adı	Elek no	Darbelenme Sonrası Elek Üstü Ağ. (gr)	Darbelenme Sonrası Elek Üstü Ağ. (%)	Darbelenme Sonrası Elek Altı Ağ. (%)
Traverten (T1)	8mm	106,70	35,83	64,17
	5mm	85,00	28,54	35,63
	2mm	46,38	15,57	20,06
	0,5mm	43,32	14,55	5,51
	0,25mm	3,81	1,28	4,23
	Tava	12,61	4,23	0,00
	Toplam	297,82	100,00	129,61

Darbelenme ile parçalanma  
değeri Sz:

25,92

Ek 5 - Tablo 5.2. Traverten (T1) darbelenme deneyi 2.numune verileri

Numune Adı	Elek no	Darbelenme Sonrası Elek Üstü Ağ. (gr)	Darbelenme Sonrası Elek Üstü Ağ. (%)	Darbelenme Sonrası Elek Altı Ağ. (%)
Traverten (T1)	8mm	106,37	36,56	63,44
	5mm	81,30	27,94	35,50
	2mm	46,60	16,02	19,48
	0,5mm	41,20	14,16	5,32
	0,25mm	3,45	1,19	4,14
	Tava	12,04	4,14	0,00
	Toplam	290,96	100,00	127,89

Darbelenme ile parçalanma  
değeri Sz:

25,58

**Ek 5 - Tablo 5.3.** Traverten (T2) darbelenme deneyi 1.numune verileri

Numune Adı	Elek no	Darbelenme Sonrası Elek Üstü Ağ. (gr)	Darbelenme Sonrası Elek Üstü Ağ. (%)	Darbelenme Sonrası Elek Altı Ağ. (%)
Traverten (T2)	8mm	111,81	37,31	62,69
	5mm	80,55	26,88	35,81
	2mm	47,32	15,79	20,02
	0,5mm	41,00	13,68	6,34
	0,25mm	4,10	1,37	4,97
	Tava	14,90	4,97	0,00
	Toplam	299,68	100,00	129,84

Darbelenme ile parçalanma  
değeri Sz:

25,97

**Ek 5 - Tablo 5.4.** Traverten (T2) darbelenme deneyi 2.numune verileri

Numune Adı	Elek no	Darbelenme Sonrası Elek Üstü Ağ. (gr)	Darbelenme Sonrası Elek Üstü Ağ. (%)	Darbelenme Sonrası Elek Altı Ağ. (%)
Traverten (T2)	8mm	124,94	41,01	58,99
	5mm	76,26	25,03	33,95
	2mm	44,52	14,61	19,34
	0,5mm	40,58	13,32	6,02
	0,25mm	3,80	1,25	4,77
	Tava	14,54	4,77	0,00
	Toplam	304,64	100,00	123,08

Darbelenme ile parçalanma  
değeri Sz:

24,62

Ek 5 - Tablo 5.5. Doğal agregada (DA) darbelenme deneyi 1.numune verileri

Numune Adı	Elek no	Darbelenme Sonrası Elek Üstü Ağ. (gr)	Darbelenme Sonrası Elek Üstü Ağ. (%)	Darbelenme Sonrası Elek Altı Ağ. (%)
Doğal Agregada (DA)	8mm	149,83	47,35	52,65
	5mm	78,70	24,87	27,78
	2mm	36,04	11,39	16,39
	0,5mm	40,15	12,69	3,70
	0,25mm	3,50	1,11	2,59
	Tava	8,20	2,59	0,00
	Toplam	316,42	100,00	103,10

Darbelenme ile parçalanma değeri Sz:

20,62

Ek 5 - Tablo 5.6. Doğal agregada (DA) darbelenme deneyi 2.numune verileri

Numune Adı	Elek no	Darbelenme Sonrası Elek Üstü Ağ. (gr)	Darbelenme Sonrası Elek Üstü Ağ. (%)	Darbelenme Sonrası Elek Altı Ağ. (%)
Doğal Agregada (DA)	8mm	149,86	48,03	51,97
	5mm	78,91	25,29	26,69
	2mm	32,65	10,46	16,22
	0,5mm	39,32	12,60	3,62
	0,25mm	3,00	0,96	2,66
	Tava	8,30	2,66	0,00
	Toplam	312,04	100,00	101,16

Darbelenme ile parçalanma değeri Sz:

20,23

## EK 6 Gevşek – Sıkışık birim hacim ağırlık deneyi tabloları

Ek 6 - Tablo 6.1. Traverten (T1) gevşek-sıkışık birim hacim ağırlık deneyi verileri

### GEVŞEK - SIKIŞIK BİRİM AĞIRLIK DENEY ÇİZELGESİ

SIKIŞIK BİRİM AĞIRLIK	1.DENEY	2.DENEY
Ölçü Kabı Boş Ağırlığı (W1)	721,83	721,83
Ölçü Kabı Hacmi (V)	2120,58	2120,58
Agrega ile Dolu Ölçü Kabı Ağırlığı (W2)	4681,09	4707,02
Sıkışık Agregası Ağırlığı (W2-W1)	3959,26	3985,19
Sıkışık Birim Ağırlık (Bg)	1,87	1,88
<b>ORTALAMA</b>	<b>1,87</b>	<b>1,88</b>

GEVŞEK BİRİM AĞIRLIK	1.DENEY	2.DENEY
Ölçü Kabı Boş Ağırlığı (W1)	721,83	721,83
Ölçü Kabı Hacmi (V)	2120,58	2120,58
Agrega ile Dolu Ölçü Kabı Ağırlığı (W2)	4298,95	4349,13
Gevşek Agregası Ağırlığı (W2-W1)	3577,12	3627,3
Gevşek Birim Ağırlık (Bg)	1,69	1,71
<b>ORTALAMA</b>	<b>1,70</b>	<b>1,71</b>

Ek 6 - Tablo 6.2. Traverten (T2) gevşek-sıkışık birim hacim ağırlık deneyi verileri

### GEVŞEK - SIKIŞIK BİRİM AĞIRLIK DENEY ÇİZELGESİ

SIKIŞIK BİRİM AĞIRLIK	1.DENEY	2.DENEY
Ölçü Kabı Boş Ağırlığı (W1)	721,83	721,83
Ölçü Kabı Hacmi (V)	2120,58	2120,58
Agrega ile Dolu Ölçü Kabı Ağırlığı (W2)	4567,45	4654,77
Sıkışık Agregası Ağırlığı (W2-W1)	3845,62	3932,94
Sıkışık Birim Ağırlık (Bg)	1,81	1,85
<b>ORTALAMA</b>	<b>1,83</b>	<b>1,85</b>

GEVŞEK BİRİM AĞIRLIK	1.DENEY	2.DENEY
Ölçü Kabı Boş Ağırlığı (W1)	721,83	721,83
Ölçü Kabı Hacmi (V)	2120,58	2120,58
Agrega ile Dolu Ölçü Kabı Ağırlığı (W2)	4272,98	4323,08
Gevşek Agregası Ağırlığı (W2-W1)	3551,15	3601,25
Gevşek Birim Ağırlık (Bg)	1,67	1,70
<b>ORTALAMA</b>	<b>1,69</b>	<b>1,70</b>

Ek 6 - Tablo 6.3. Doğal Agregada (DA) gevşek-sıkışık birim hacim ağırlık verileri

GEVŞEK - SIKIŞIK BİRİM AĞIRLIK DENEY ÇİZELGESİ

SIKIŞIK BİRİM AĞIRLIK	1.DENEY	2.DENEY
Ölçü Kabı Boş Ağırlığı (W1)	721,83	721,83
Ölçü Kabı Hacmi (V)	2120,58	2120,58
Agrega ile Dolu Ölçü Kabı Ağırlığı (W2)	5086	5135
Sıkışık Agregada Ağırlığı (W2-W1)	4364,17	4413,17
Sıkışık Birim Ağırlık (Bg)	2,06	2,08
<b>ORTALAMA</b>	<b>2,07</b>	<b>2,07</b>

GEVŞEK BİRİM AĞIRLIK	1.DENEY	2.DENEY
Ölçü Kabı Boş Ağırlığı (W1)	721,83	721,83
Ölçü Kabı Hacmi (V)	2120,58	2120,58
Agrega ile Dolu Ölçü Kabı Ağırlığı (W2)	4810	4880,5
Gevşek Agregada Ağırlığı (W2-W1)	4088,17	4158,67
Gevşek Birim Ağırlık (Bg)	1,93	1,96
<b>ORTALAMA</b>	<b>1,94</b>	<b>1,94</b>

## ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı :Fettah ACAR  
Doğum Yeri ve Yılı :Burdur/Bucak 1982



<u>Eğitim Durumu</u>		<u>Yıl</u>
Lise	:Burdur Anadolu Öğretmen Lisesi	1999
Lisans	:Süleyman Demirel Üniversitesi İnşaat Mühendisliği	2003
Yüksek Lisans	:Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi İnşaat Mühendisliği	-

<u>Çalıştığı Kurum / Kurumlar</u>	<u>Yıl</u>
1- ACAR MÜHENDİSLİK Serbest İnşaat Mühendisi	2003-2019
2- AVEO İNŞAAT LTD.ŞTİ. Proje Müdürü	2018
3- EKC TARIM LTD.ŞTİ. Şantiye Şefi	2015
4- İSKAR İNŞAAT LTD.ŞTİ. Saha Mühendisi	2007
5- ALBETON ALTINBAŞAK LTD.ŞTİ. Stajer	2001