

Fayans Atıklarının Bitümlü Sıcak Karışımların Performans Özelliklerine Etkisi

Çağdaş Kara

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Ağustos 2012

The Effect of Waste Wall Tile on Performance Properties of Hot Mix Asphalt

Çağdaş Kara

**MASTER OF SCIENCE THESIS**

Department of Civil Engineering

August 2012

# Fayans Atıklarının Bitümlü Sıcak Karışımların Performans Özelliklerine Etkisi

**Çağdaş KARA**

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı  
Ulaştırma Bilim Dalında  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Murat KARACASU

Ağustos 2012

## ONAY

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Çağdaş Kara'nın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "Fayans Atıklarının Bitümlü Sıcak Karışımların Performans Özelliklerine Etkisi" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

**Danışman** : Yrd. Doç. Dr. Murat Karacasu

### **Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:**

**Üye** : Yrd. Doç. Dr. Murat KARACASU (Danışman)

**Üye** : Prof. Dr. Eşref ÜNLÜOĞLU

**Üye** : Yrd. Doç. Dr. Şafak BİLGİÇ

**Üye** : Yrd. Doç. Dr. Mehmet CANBAZ

**Üye** : Yrd. Doç. Dr. Yaşar VİTOŞOĞLU

<p>Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ..... tarih ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.</p> <p style="text-align: right;">Prof. Dr. Nimetullah BURNAK</p> <p style="text-align: right;">Enstitü Müdürü</p>
---

## ÖZET

Tüm dünya endüstriyel ve teknolojik yönden hızlı bir gelişim içerisinde. Bu gelişimle birlikte atık madde sorunu da gündeme gelmektedir. Yol kaplama malzemesi olarak üretilen beton asfalt, ağırlıkça yaklaşık %95 oranında agregadan oluşmaktadır. Kullanılan agreganın maliyeti yüksektir. Maliyeti düşürmek ve çevresel etkilerini azaltmak için çalışmalar yapılmaktadır. Atıkların agrega olarak değerlendirilmesi konusundaki çalışmalar bunlardan bazılarıdır.

Eskişehir-Bilecik-Kütahya bölgesindeki fayans üretimi Türkiye’deki toplam fayans üretiminin % 43,2’ sine sahiptir. Üretim sırasında oluşan atık malzemelerden elde edilebilecek agregalar, bölgede yol yapımında kullanılan yıllık agrega miktarının önemli bir kısmını karşılayacak kapasitededir.

Tez kapsamında kullanılan atık fayanslar Tip II gradasyonuna göre, agrega ağırlığının %0, 10, 20, 30, 40’ı olacak şekilde 5 seri agrega karışımı hazırlanmış, ağırlıkça 7 farklı oranda (%3,5-6,5) bitüm ilave edilerek Marshall tasarım deneyi uygulanmış ve MS ile akma değerleri kaydedilmiştir. Her seri için optimum bitüm oranları belirlenmiştir. Fayans agregası ilavesinin artmasıyla optimum bitüm oranının arttığı gözlenmiştir. Fayansın boşluklu bir yapıya sahip olması sebebiyle, BSK’da BO ve ABO değerlerinin atık oranı arttıkça arttığı, BDBO ve PÖA değerlerinin ise azaldığı söylenebilmektedir. Atık oranı arttıkça MS değeri azalmıştır, ancak optimum bitüm oranlarına karşılık gelen ortalama MS değerleri şartname limitlerini sağlamıştır. Bulunan OBO’da hazırlanan numunelere, statik ve dinamik sünme deneyleri uygulanmıştır. Deney sonuçları incelendiğinde kontrol numunelerine en yakın sonuçların %10 fayans katkılı numunelerden elde edildiği görülmüştür.

Sonuç olarak atık fayansın binder ve aşınma tabakaları için hazırlanan BSK’larda agrega olarak kullanılmasının uygun olduğu, özellikle sıcak iklimli bölgelerde bitüm kusmalarının azaltılabileceği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: BSK, Atıklar, Duvar Karosu, Yeniden Kazanma

## SUMMARY

The whole world is in a rapid development of industry and technology. With this development, industrial waste comes up as a considerable environmental problem. Road asphalt concrete, is produced coating material, consists of aggregate approximately %95, by weight. The natural aggregates used in road asphalt concrete are highly expensive. There are works conducted to reduce cost and environmental effects of waste covering studies about use of industrial waste as aggregate.

Ceramic production in Bilecik Eskişehir-Kütahya region is 43,2% of the total ceramic tile production of Turkey. The waste, formed in the region can be converted to aggregates at a low cost. The aggregates obtained from the waste materials in this region, cover a significant amount of the annual aggregate, is used in road constructions in Eskişehir.

Five different aggregate mixtures are prepared according to the Type II gradation, include 0%, 10%, 20%, 30% and 40% waste ceramic tile particles in aggregate, respectively. Bitumen was added to mentioned mixtures in 7 different ratios varying between 3.5% and 6.5% by weight. Finally Marshall Test was applied to the specimen and flow values and Marshall strength values has been noted. As a result of the porous structure of the ceramic tiles. AVR and VMA values increases, VFA and PSG values decreases by increasing waste ratio in HMA. Recycling rate decreases with increasing the value of MS. However, average MS values, correspond to optimum bitumen ratios, satisfy the code requirements. Specimens which are prepared according to determined optimum bitumen ratio, were subjected to static and dynamic creep tests. The test results of the control samples are analyzed and it is found that, the nearest results to control specimens are obtained from the specimens, which have 10% waste aggregate.

In conclusion, it is found that in HMA, which are prepared for binder and wearing courses of waste tiles, it is proper to use in HMA as aggregates. It is determined that bitumen throw up can be reduced at especially hot climate regions.

Keywords: HMA, Wastes, Ceramic Tile, Recycling Reuse

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmalarım süresince bilgisi ve görüşleriyle beni yönlendiren, destek ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Murat Karacasu'ya, teşekkür eder, en derin saygılarımı sunarım.

Yapmış olduğu yardımlardan dolayı tekniker Eyüp Ertaş'a teşekkür ederim. Eğitim öğretim hayatımda bana maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, sayesinde bugünleri yaşadığım aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

<b>ÖZET .....</b>	<b>v</b>
<b>SUMMARY .....</b>	<b>vi</b>
<b>TEŞEKKÜR .....</b>	<b>vii</b>
<b>İÇİNDEKİLER.....</b>	<b>viii</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ .....</b>	<b>xiii</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ .....</b>	<b>xvii</b>
<b>KISALTMALAR DİZİNİ .....</b>	<b>xiv</b>
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. ATIK MALZEMELERİN YENİDEN DEĞERLENDİRİLMESİ KONUSUNDA YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR.....</b>	<b>4</b>
<b>3. KARAYOLU ALTYAPI ÜSTYAPI VE ÖZELLİKLERİ.....</b>	<b>14</b>
3.1. Karayolu Altyapısı .....	15
3.2. Karayolu Üstyapısı.....	15
3.2.1. Rijit üstyapılar(Beton Yollar) .....	16
3.2.2. Yarı rijit üstyapılar.....	17
3.2.3. Esnek üstyapılar(Asfalt yollar) .....	17
3.2.4. Alttemel tabakası .....	18
3.2.5. Temel tabakası .....	19
3.2.6. Kaplama tabakası.....	20
3.2.6.1. Sathi(Yüzeysel) kaplamalar .....	21
3.2.6.2. Beton asfalt (Asfalt betonu) kaplamalar .....	21
<b>4. SERAMİK KAROLAR.....</b>	<b>26</b>
4.1. Türk Seramik Sanayi.....	26
4.2. Atık Fayansların (Duvar Karoları) Değerlendirilmesi .....	29



## İÇİNDEKİLER (devam)

### Sayfa

<b>5. ASFALT KAPLAMALARDA KULLANILAN AGREGALAR.....</b>	<b>32</b>
5.1. Agregalar.....	32
5.1.1. Esnek Üstyapı Tasarımında Kullanılan Agregaların Özellikleri.....	33
5.1.2. Gradasyon .....	33
5.1.3. Dane şekli ve biçimi .....	35
5.1.4. Porozite .....	35
5.1.5. Sağlamlık (dane dayanımı) .....	36
5.1.6. Cilalanma direnci (kaymaya karşı direnç) .....	36
5.1.7. Yüzey dokusu .....	37
5.2. Agregada Deneyleri .....	38
5.2.1. Elek analizi deneyi.....	38
5.2.1.1. Deneyin amacı .....	38
5.2.1.2. Aletler .....	38
5.2.1.3. Deney yapılışı .....	39
5.2.1.4. Hesaplama.....	40
5.2.1.5. Tez kapsamında yapılan elek analizi .....	40
5.2.2. Aşınmaya karşı dayanıklılık ve aşınma kaybı deneyi(Los Angeles).....	43
5.2.2.1. Deneyin amacı .....	43
5.2.2.2. Gerekli aletler .....	43
5.2.2.3. Deneyin yapılışı .....	44
5.2.2.4. Hesaplama.....	44
5.2.2.5. Tez kapsamında yapılan aşınma kaybı deneyi.....	45
5.2.3. Hava etkilerine karşı dayanıklılık deneyi .....	46
5.2.3.1. Deneyin amacı .....	46
5.2.3.2. Gerekli aletler .....	47
5.2.3.3. Deneyin yapılışı .....	47
5.2.3.4. Hesaplama.....	48
5.2.3.5. Hava etkilerine karşı dayanıklılık deneyi .....	49
5.2.4. İri agregada için özgül ağırlık ve su emme deneyi.....	49

## İÇİNDEKİLER (devam)

	<b><u>Sayfa</u></b>
5.2.4.1. Deneyin amacı .....	49
5.2.4.2. Gerekli aletler .....	49
5.2.4.3. Deneyin yapılışı .....	50
5.2.4.4. Hesaplama.....	50
5.2.4.5. Tez kapsamında yapılan iri agrega özgül ağırlık ve su emme deneyi ....	51
5.2.5. İnce agrega için özgül ağırlık ve su emme deneyi.....	52
5.2.5.1. Deneyin amacı .....	52
5.2.5.2. Gerekli aletler .....	52
5.2.5.3. Deneyin yapılışı .....	53
5.2.5.4. Hesaplama.....	54
5.2.5.5. Tez kapsamında yapılan ince agrega özgül ağırlık ve su emme deneyi .	54
5.2.6. Sıkışık ve gevşek birim hacim ağırlık deneyleri .....	55
5.2.6.1. Deneyin amacı .....	56
5.2.6.2. Gerekli aletler .....	56
5.2.6.3. Deneyin yapılışı .....	56
5.2.6.4. Hesaplama.....	57
5.2.6.5. Tez kapsamında yapılan sıkışık ve gevşek birim hacim ağırlık deneyi..	58
5.2.7. Yassılık indeksi tayini .....	59
5.2.7.1. Deneyin amacı .....	59
5.2.7.2. Gerekli aletler .....	59
5.2.7.3. Deneyin yapılışı .....	59
5.2.7.4. Hesaplama.....	60
5.2.8. Cilalanma deneyi .....	61
5.2.8.1. Deneyin amacı .....	61
5.2.8.2. Gerekli aletler .....	61
5.2.8.3. Deneyin yapılışı .....	61
5.2.8.4. Hesaplama.....	62
<b>6. BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIMLARDA KULLANILAN BAĞLAYICILAR.....</b>	<b>64</b>
6.1. Bitümlü Bağlayıcılar .....	64

## İÇİNDEKİLER (devam)

### Sayfa

6.2. Bağlayıcı Deneylei.....	65
6.2.1. Penetrasyon deneyi .....	65
6.2.1.1. Deneyin amacı .....	65
6.2.1.2. Gerekli aletler .....	65
6.2.1.3. Deneyin yapılışı .....	65
6.2.1.4. Hesaplama.....	67
6.2.2. Yumuşama noktası deneyi.....	67
6.2.2.1. Deneyin amacı .....	67
6.2.2.2. Gerekli aletler .....	67
6.2.2.3. Deneyin yapılışı .....	68
6.2.2.4. Hesaplama.....	69
6.2.3. Düktilite deneyi .....	70
6.2.3.1. Deneyin amacı .....	70
6.2.3.2. Gerekli aletler .....	70
6.2.3.3. Deneyin yapılışı .....	71
6.2.3.4. Hesaplama.....	72
6.2.4. Parlama noktası deneyi (Cleveland açık kap metodu).....	73
6.2.4.1. Deneyin amacı .....	73
6.2.4.2. Gerekli aletler .....	73
6.2.4.3. Deneyin yapılışı .....	74
6.2.4.4. Hesaplama.....	74
6.2.5. İnce film halinde ısıtma kabı deneyi.....	75
6.2.5.1. Deneyin amacı .....	75
6.2.5.2. Gerekli aletler .....	75
6.2.5.3. Deneyin yapılışı .....	76
6.2.5.4. Hesaplama.....	76
6.2.6. Asfalt çimentosu birim özgül ağırlık deneyi (piknometre metodu).....	77
6.2.6.1. Deneyin amacı .....	77
6.2.6.2. Gerekli aletler .....	77

## İÇİNDEKİLER (devam)

	<b><u>Sayfa</u></b>
6.2.6.3. Deneyin yapılışı .....	77
6.2.6.4. Hesaplama.....	78
6.2.7. Viskozite deneyi .....	78
6.2.7.1. Deneyin amacı .....	78
6.2.7.2. Gerekli aletler .....	79
6.2.7.3. Deneyin yapılışı .....	79
6.2.7.4. Hesaplama.....	81
6.2.8. Tez kapsamında yapılan bitüm deneylerinin genel sonuçları.....	81
<b>7. BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIM DENEYLERİ.....</b>	<b>82</b>
7.1. Marshall stabilite ve akma deneyleri.....	82
7.1.1. Deneyin amacı .....	82
7.1.2. Deney aletleri.....	82
7.1.3. Deneyin Yapılışı .....	83
7.1.4. Hesaplama .....	84
7.1.5. Tez kapsamında yapılan marshall deneyi .....	84
7.2. Statik ve Dinamik Sünme Deneyi .....	111
7.2.1. Deneyin amacı .....	111
7.2.2. Deney aletleri.....	111
7.2.3. Deneyin Yapılışı .....	111
7.2.4. Hesaplama .....	112
7.2.5. Tez kapsamında yapılan dinamik sünme deneyi .....	114
7.2.6. Tez kapsamında yapılan statik sünme deneyi.....	116
<b>8. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....</b>	<b>109</b>
<b>9. KAYNAKLAR DİZİNİ.....</b>	<b>125</b>

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1. Karayolu üstyapı enkesiti .....	15
Şekil 3.2. Karayolu üstyapı katmanları.....	18
Şekil 3.3. Bağlayıcı,agrega ve boşluk.....	22
Şekil 4.1. Seramik atıkları.....	30
Şekil 4.2. Eskişehir Toprak Seramik Fabrikası'nın depo sahasından görünüm .....	30
Şekil 4.3. Duvar, yer ve sırlı granit karo üretimlerine ait genel üretim süreci .....	31
Şekil 5.1. Agregada gradasyon tipleri .....	34
Şekil 5.2. Agregalarda porozite çeşitleri.....	36
Şekil 5.3. Elekler, etüvler ve terazi .....	39
Şekil 5.4. Deneylerde kullanılan numunelerin agrega gradasyonu .....	43
Şekil 5.5. Los Angeles Tamburu Aşınma Bilyeleri .....	43
Şekil 5.6. Donma çözülme kabini .....	47
Şekil 5.7. Özgül ağırlık sehpası .....	50
Şekil 5.10. Ölçü kapları .....	56
Şekil 6.1. Penetrasyon deney aleti .....	66
Şekil 6.2. İçi Bitümle dolu deney halkaları .....	68
Şekil 6.3. Yumuşama noktası deneyi.....	69
Şekil 6.4. Düktilite cihazı .....	70
Şekil 6.5. Pirinç düktilite kalıpları .....	71
Şekil 6.6. Düktilite deneyinden bir görünüm.....	72
Şekil 6.7 Cleveland açık kap cihazı .....	73
Şekil 6.8. Isıtma kaybı deney etüvü.....	75

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 6.9. Deney kapları.....	76
Şekil 6.10. Viskozite deney cihazı.....	79
Şekil 7.1. Numunelerin etüvden çıkarılıp bitümlle karıştırılması.....	85
Şekil 7.2. Numunelerin sıkıştırıldıktan sonra kalıptan çıkartılıp ölçülmesi .....	86
Şekil 7.3. Numunelerin stabilite ve akmasının ölçülmesi.....	87
Şekil 7.4. Bitüm oranı-pratik özgül ağırlık (kontrol numunesi için) .....	90
Şekil 7.5. Bitüm oranı-Marshall stabilitesi (kontrol numunesi için) .....	91
Şekil 7.6. Bitüm oranı-boşluk oranı (kontrol numunesi için).....	91
Şekil 7.7. Bitüm oranı-bitümlle dolu boşluk oranı (kontrol numunesi).....	92
Şekil 7.8. Bitüm oranı-VMA (kontrol numunesi).....	93
Şekil 7.9. Bitüm oranı-MQ (kontrol numunesi) .....	93
Şekil 7.10.Bitüm oranı-akma miktarı (kontrol numunesi).....	94
Şekil 7.11. Bitüm oranı-pratik özgül ağırlık (%10 fayans atığı katkılı) .....	95
Şekil 7.12. Bitüm oranı-Marshall stabilitesi (%10 fayans atığı katkılı) .....	95
Şekil 7.13. Bitüm oranı-boşluk oranı (%10 fayans atığı katkılı) .....	96
Şekil 7.14. Bitüm oranı-bitümlle dolu boşluk oranı (%10 fayans atığı katkılı).....	96
Şekil 7.15. Bitüm oranı-VMA (%10 fayans atığı katkılı).....	97
Şekil 7.16. Bitüm oranı-MQ (%10 fayans atığı katkılı) .....	97
Şekil 7.17. Bitüm oranı-akma miktarı (%10 fayans atığı katkılı).....	98
Şekil 7.18. Bitüm oranı-pratik özgül ağırlık (%10 fayans atığı katkılı) .....	99
Şekil 7.19. Bitüm oranı-Marshall stabilitesi (%10 fayans atığı katkılı) .....	99

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 7.20. Bitüm oranı-boşluk oranı (%20 fayans atığı katkılı) .....	100
Şekil 7.21. Bitüm oranı-bitümle dolu boşluk oranı (%20 fayans atığı katkılı).....	100
Şekil 7.22. Bitüm oranı-VMA (%20 fayans atığı katkılı).....	101
Şekil 7.23. Bitüm oranı-MQ (%20 fayans atığı katkılı) .....	101
Şekil 7.24. Bitüm oranı-akma miktarı (%20 fayans atığı katkılı).....	102
Şekil 7.25. Bitüm oranı-pratik özgül ağırlık (%20 fayans atığı katkılı) .....	103
Şekil 7.26. Bitüm oranı-Marshall stabilitesi (%20 fayans atığı katkılı) .....	103
Şekil 7.27. Bitüm oranı-boşluk oranı (%30 fayans atığı katkılı) .....	104
Şekil 7.28. Bitüm oranı-bitümle dolu boşluk oranı (%30 fayans atığı katkılı).....	104
Şekil 7.29. Bitüm oranı-VMA (%30 fayans atığı katkılı).....	105
Şekil 7.30. Bitüm oranı-MQ (%30 fayans atığı katkılı) .....	105
Şekil 7.31. Bitüm oranı-akma miktarı (%30 fayans atığı katkılı).....	106
Şekil 7.32. Bitüm oranı-pratik özgül ağırlık (%40 fayans atığı katkılı) .....	107
Şekil 7.33. Bitüm oranı-Marshall stabilitesi (%40 fayans atığı katkılı) .....	107
Şekil 7.34. Bitüm oranı-boşluk oranı (%40 fayans atığı katkılı).....	108
Şekil 7.35. Bitüm oranı-bitümle dolu boşluk oranı (%40 fayans atığı katkılı).....	108
Şekil 7.36. Bitüm oranı-VMA (%40 fayans atığı katkılı).....	109
Şekil 7.37. Bitüm oranı-MQ (%40 fayans atığı katkılı) .....	109
Şekil 7.38. Bitüm oranı-akma miktarı (%40 fayans atığı katkılı).....	110
Şekil 7.39. Dinamik sünme modülü- vuruş sayısı grafiği.....	114
Şekil 7.40 . Birikimli şekil değiştirme miktarı - vuruş sayısı grafiği.....	115

**ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)**

<b><u>Şekil</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
Şekil 7.41. Statik sünme modülü- vuruş sayısı grafiği .....	116
Şekil 7.42. Birikimli şekil değiştirme miktarı - vuruş sayısı grafiği.....	117
Şekil 8.1. Bitüm oranı-boşluk oranı.....	119
Şekil 8.2. Bitüm oranı-pratik özgül ağırlık .....	120
Şekil 8.3. Bitüm oranı-bitümle dolu boşluk oranı .....	120
Şekil 8.4. Bitüm oranı-Marshall stabilitesi .....	121
Şekil 8.5. Bitüm oranı-VMA .....	121
Şekil 8.6. Bitüm oranı-Akma miktarı .....	122
Şekil 8.7. Bitüm oranı-Akma miktarı .....	123



## ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1. 2008 yılı seramik üretiminin dünya üzerinde dağılımı.....	27
Çizelge 5.1. Düşük kayma direncinin sebepleri ve bunun etkileri .....	37
Çizelge 5.2. Elek analizi sonuçları.....	41
Çizelge 5.3. Deneylerde kullanılan agrega miktarları (atık miktarı %10 ve %20).....	42
Çizelge 5.4. Deneylerde kullanılan agrega miktarları (atık miktarı %30 ve %40).....	42
Çizelge 5.5. Aşınma deneyi numune tipleri.....	44
Çizelge 5.6. Tez kapsamında yapılan agrega deney sonuçları .....	60
Çizelge 5.7. Deneye alınacak minimum malzeme miktarı ve boyutları.....	63
Çizelge 6.1. Yol yapımında kullanılan kaplama sınıfı bitümün özellikleri .....	64
Çizelge 6.2. Asfalt çimentolarının katılık ve viskozite sınıflandırılması .....	65
Çizelge 6.3. Ölçümler arasında olabilecek en büyük fark .....	67
Çizelge 6.4 Basınç düzeltme değerleri .....	74
Çizelge 6.5. Isıtma kabı duyarlılık sınırları .....	77
Çizelge 6.6. Banyo deney sıcaklıkları .....	80
Çizelge 6.7. 50-70 penetrasyonlu bitümün fiziksel özellikleri .....	81
Çizelge 7.1. Beton Asfalt Dizayn Kriterleri .....	88
Çizelge 7.2. Kontrol ve %10-20-30-40 Atık Katkılı Numunelerin Deney Sonuçları...	88
Çizelge 7.3. Ortalama bitüm oranı tayini (kontrol numunesi).....	94
Çizelge 7.4. Ortalama bitüm oranı tayini (%10 fayans atığı katkı).....	98
Çizelge 7.5. Ortalama bitüm oranı tayini (%20 fayans atığı katkı).....	102
Çizelge 7.6. Ortalama bitüm oranı tayini (%30 fayans atığı katkı).....	106

Çizelge 7.7. Ortalama bitüm oranı tayini (%40 fayans atığı katkılı).....	110
Çizelge 8.1. Optimum bitüm oranlarına karşılık gelen değerler.....	122

**KISALTMALAR DİZİNİ****Kısaltmalar Açıklama**

BSK	Bitümlü Sıcak Karışım
EN	Avrupa Standartları
ISO	Uluslararası Standart Organizasyonu
KTŞ	Karayolları Teknik Şartnamesi
MDE	Mikro-Deval Katsayısı
TS	Türk Standartları
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
TSF	Türkiye Seramik Federasyonu
ABO	Agregalar arası boşluk yüzdesi
MS	Marshall Stabilitesi
MO	Marshall Oranı
OBO	Optimum Bitüm Oranı
BDBO	Bitümle Dolu Boşluk Oranı
PÖA	Pratik Özgül Ağırlık
MQ	Marshall Oranı
BO	Boşluk Oranı
AT	Avrupa Topluluğu
HMA	Hot Mix Asphalt
MS	Marshall Stability
PSG	Practical Specific Gravity
VFA	Voids of Filled with Asphalt Cement
MQ	Marshall Quotient
AVR	Air Voigt Ratio
VMA	Voids of Mineral Agregate

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Dünya nüfusunun sürekli artışı, endüstri ve teknolojinin gelişmesi sonucunda hammadde ihtiyacı artmış ve buna karşın doğal kaynaklar azalmaya başlamıştır. Mevcut sınırlı kaynakların ekonomik kullanımıyla ilgili araştırmalar yaygınlaşmış ve önem kazanmaya başlamıştır.

Tüm dünyada yük ve yolcu taşımacılığında payı %95' ler seviyesinde olan karayolu ulaşımı, sürekli güncelliğini koruyup, yaygınlaşmış, ülkemizde de en önemli inşaat yatırımlarından biri konumuna gelmiştir.

Doğal kaynak kullanımının etkin kullanımını sağlayan atıkların geri kazanımı ile ilgili yapılan araştırmalar, doğal yaşamı ve çevreyi koruma, ülke ekonomisine katkı sağlama ile ilgili çalışmaların en önemlilerinden biridir. Atıkların BSK üretiminde agrega olarak kullanımı, atıkların çevreye verdiği zararları azaltmakta ve doğal agrega kaynaklarının tüketimini düşürmektedir.

Yol yapımında kullanılan BSK' larda agrega kullanımının ağırlıkça yaklaşık %95 olması, maliyetinin yüksek olması, kaliteli agrega yataklarının gün geçtikçe azalması, agrega olarak kullanılabilir atıkların BSK içinde geri kazanımı ile ilgili çalışmaları artırmıştır. Günümüzde bazı sektörlerde oluşan atıklar, depolama alanlarında gereksiz yer işgaline sebep olmakta veya açıkta bırakılıp çevre kirliliği yaratmaktadır. Bu sektörlerden birisi de son yıllarda Türkiye' de üretim miktarı önemli ölçüde artan ve buna paralel olarak atık miktarının da fazlaştığı seramik kaplama malzemeleri sektörüdür. Türkiye seramik

kaplama malzemeleri sektöründe, dünya üretiminin %3,2'sini, Avrupa üretiminin ise %11'ini karşılamakta olup, Avrupa'nın üçüncü ve dünyanın altıncı en büyük seramik karo ihracatçısıdır. Türkiye'de seramik yalnızca inşaat sektöründe değil sağlık sektöründe de dünyada önemli bir konumdadır. Türkiye yılda 17 milyon adet üretimi ile Avrupa'nın en büyük seramik sağlık gereci üreticisi ülkesidir (TSF Sanayi Raporu, 2010).

Ülkemizde kaplama malzemelerinde yıllara göre üretimin %35-45' ini, sağlık gereçlerinde %40-60'ını ihraç eden sektör, kaplama malzemeleri üretiminde, Çin, Brezilya, İtalya, İspanya, Hindistan, İran, Endonezya ve Vietnam'ın ardından dünya dokuzunculuğuna, kaplama malzemeleri ihracatında ise, Çin, İtalya ve İspanya'nın ardından dünya dördüncülüğüne, sağlık gereçlerinde ise Avrupa'nın en büyük üreticisi ve ihracatçısı konumuna ulaşmıştır (TSF Sanayi Raporu, 2010).

Türkiye' de seramik-karo fabrikalarında yapılan fayans (duvar karosu) üretiminin yaklaşık %8' i atık (ıskarta) malzeme olarak açığa çıkmaktadır. Bu oran birinci kalite üretim yapan fabrikalarda %13' ün üzerine çıkmaktadır.

Bilecik-Eskişehir-Kütahya bölgesindeki seramik üretimi, Türkiye toplam seramik-karo üretiminin %43,2' sine sahiptir (TSF Sanayi Raporu, 2010). Bu bölgedeki oluşan duvar karo atıkları çok az bir maliyetle agregaya dönüştürülebilir. Bu bölgede oluşan atık malzemelerden elde edilebilecek agregalar, Eskişehir Bölgesinde yol yapımında kullanılan yıllık agrega miktarının önemli bir kısmını karşılayacak düzeydedir. Ülkemizde her yıl oluşan duvar-karo atıklarının agrega olarak kullanımıyla ülke kaynaklarının etkin kullanımı sağlanmış ve aynı zamanda çevreye, tarım arazilerine verilen zararlar da en aza indirgenmiş olacaktır.

Bu çalışmada; esnek üstyapıların ana malzemeleri olan agregalar ve bitümlü bağlayıcılar için geleneksel deneyler uygulanmıştır. Öncelikle Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) Yollar Fenni Şartnamesine göre agregalar için karışım tasarımı elde

edilmiştir. Şartnamedeki aşınma Tip II gradasyon sınırları kullanılmıştır. Karışımında kullanılacak optimum bitüm oranları (OBO) belirlenmiştir. Agregaya toplam agrega ağırlığının %10, %20, %30, %40 oranlarında atık fayans ilave edilmiştir (Toplam agrega ağırlığı Tip II gradasyon sınırlarının ortalama değerlerine karşılık gelen miktarlarda olmak üzere). Standart numune sonuçları ile fayans parçacıklarının ilavesi ile oluşturulan yeni numunelerin Marshall tasarım, dinamik ve statik sünme test sonuçları irdelenmiş ve bu doğrultuda atık fayans parçacıklarının BSK' ların performans özelliklerine etkileri incelenmiştir.

## BÖLÜM 2

### ATIK MALZEMELERİN DEĞERLENDİRİLMESİ KONUSUNDA YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR

Köken ve diğerleri, katı atıklarının önemli bir bölümünü oluşturan yapısal inşaat atıklarının geri dönüşümü ile ilgili çalışma yapmışlardır. Atıkların geri dönüşümü ile çevreye verilen zararların azaltılması ve büyük şehirlerde doğal agrega kaynaklarının şehir merkezlerinden uzak olmasından dolayı nakliye masraflarının yanında, nakliye esnasında harcanan iş ve zaman kaybını da azaltmak amacıyla yaptıkları bu çalışmada, beton basınç mukavemeti 20 MPa olan atık betonlardan elde edilen geri dönüşüm agregalarının fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiş, bu agregalardan farklı oranlara sahip beton numuneler üretilmiştir. 1. karışımın tamamı geri dönüşüm agregasından oluşmaktadır. 2. karışımın iri agregası geri dönüşüm agregası; ince agregası ise kırma taş kumdur. 3. karışımın ise tamamı kırma taş agregadan üretilmiştir. Bütün karışımlar aynı dozajda üretilerek birbirleriyle kıyaslanmıştır. Geri dönüşüm agregası kullanılarak üretilen betonlarda geri dönüşüm agregası oranı arttıkça betonun basınç mukavemetinde ve işlenebilirliğinde azalma olduğu tespit edilmiştir. Ancak geri dönüşüm agregalarının kullanılmasıyla, beton atıklarının oluşturduğu çevre kirliliğinin önüne geçilebileceği, doğal agrega kaynaklarının kullanımı azaltılabileceği ve böylelikle doğal yaşamın korunmasına katkı sağlanabileceği sonucuna varılmıştır (Köken, vd., 2008).

Köroğlu ve Köken, inşaat sektöründe yapısal atıkların çevreye verdiği zararların azaltılması için yapısal beton atıklarının normal beton agregası olarak tekrar kullanılması konusunda araştırma yapmışlardır. 28 günlük beton basınç mukavemeti 10 MPa olan beton atıkları öğütülerek agrega haline getirilmiş, mekanik ve fiziksel özellikleri incelenmiş ve kırmataş agregadan üretilen 300 dozlu beton karışımına %0, %50 ve %100 oranında geri dönüşüm agregası eklenerek üretilen beton numuneleri deneylere tabi tutulmuştur. Sonuçta, geri dönüşüm agregalarının taşıyıcı olmayan betonlarda kullanılabileceği ispatlanmıştır (Köroğlu ve Köken, 2009).

Emiroğlu ve diğerleri, atık lastikleri imento betonu içinde kullanmışlardır. Lastik agregalı beton etimi, normal agreganın karışım içerisinde hacimsel olarak lastik agregalar ile yer değiştirilmesi ile betonun hafifleyeceği ve maliyetin azalacağı düşünülererek % 5, 10, 15 ve 20 oranlarında agrega ile yer değiştirilerek atık katkılı numuneler elde edilmiştir. Elde edilen lastik agregalı betonların fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. 100x100x500 mm ebatlarında kiriş numuneler hazırlanmış, numuneler eğilmede çekme deneyine tabi tutulmuş, kirişlerin orta noktalarında elde edilen sehim miktarları ölçülmüştür. Deneysel olarak elastisite modülleri belirlenmiş, ampirik formüllerle hesaplanan elastisite modülleriyle arasında ilişki kurulmaya çalışılmıştır. Betondaki atık lastik miktarı arttıkça deneysel verilerle hesaplanan elastisite modülleri ile ampirik formüllerle hesaplanan elastisite modülleri arasındaki ilişkinin azaldığı belirlenmiştir. Ancak, Amerika Beton Enstitüsü (ACI) tarafından önerilen formül ile deneysel olarak hesaplanan elastisite modülü arasında oldukça yakın bir ilişki olduğu görülmüştür (Emiroğlu, vd.,2009).

Ünal ve Uygunoğlu, mermer fabrikalarında işleme sırasında açığa çıkan mermer tozunun betona belirli oranlarda ilave edilmesiyle üretilen çimentolu betonun donma - özölme sonrasında özelliklerini araştırmışlardır. Mermer tozu betona, %5, %10, %15 ve %20 oranlarında, karışımdaki ince malzeme ile hacimce yer değiştirmek suretiyle ilave edilmiştir. Su/imento oranları 0,65 olup, imento dozajı 300 ve 350 olarak belirlenmiştir. Her iki imento dozajında kontrol betonu da (%0 mermer tozu) retilerek, tüm numuneler, kalıp alındıktan 28 gün sonra 1 hafta süre ile donma-özölme deneyine tabi tutulmuştur. Numuneler üzerinde su emme, ultrases hızı ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, mermer tozunun betona %5-15 oranında ince malzeme olarak ilavesiyle ve imento dozajının 350 seçilmesiyle betonun donma-özölmeye karşı direncinin arttırdığı görülmüştür (Ünal ve Uygunoğlu, 2003).

Uğurlu ve diğerleri, boraks etimi sırasında ortaya çıkan ve kil pestili olarak adlandırılan katı atıkların beton içerisindeki davranışını araştırmışlardır. Boraksın saflaştırılması sırasında her yıl binlerce ton katı atık ortaya çıkmakta ve bunların depolanması ekonomik ve çevresel olarak problem yaratmaktadır. Boraks atıklarının kil



minerali ile aynı bileşenleri içermesi nedeniyle hafif puzolanik karakter taşımaktadır. Buradan hareketle çalışmada, söz konusu atık malzemenin çimento içerisinde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Çimento inceliğinde öğütülen kil pestili atığı Portland Çimentolu harç içerisine farklı oranlarda eklenerek karışım hazırlanmış ve elde edilen numuneler üzerinde taze ve sertleşmiş beton deneyleri yapılarak kil pestilinin çimentolu harç numuneleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bulunan sonuçlar Türk Standartları (TS) ile karşılaştırılmış ve kil pestili atıklarının beton içerisinde priz geciktirici olarak, özellikle sıcak iklimli bölgelerde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Ayrıca kil pestili atıklarının betonda, düşük yüzdelerde ultrases geçiş sürelerini artırıcı bir etkisi olduğu, betonda yoğun bir iç yapı elde edildiği tespit edilmiştir (Uğurlu, vd.,2004).

Tanyıldızı ve Coşkun, çalışmalarında, mineral katkı olarak Elazığ yöresine ait vişne çürüğü mermer tozu, agrega olarak da pomza taşı kullanılarak elde edilen taşıyıcı hafif betonun basınç dayanımını ve ultrasonik ses geçirgenliğini araştırmışlardır. Deneylerde mermer tozu, çimento ile ağırlıkça %0-10-20 oranlarında yer değiştirilerek kullanılmıştır. Numunelerde maksimum tane çapı ( $d_{max}$ ) 16mm olan pomza taşı kullanılmış olup, basınç dayanımı ve ultrasonik ses geçirgenliği deneyleri için de 150×150×150 mm ölçülerindeki küp numuneler hazırlanmıştır. Kür uygulanan numunelere basınç dayanımı deneyleri yapılmış ve ultrasonik ses geçirgenlik hızları ölçülmüştür. %10 mermer tozu katkısı içeren beton numuneler 28. günden sonra kontrol numunelerine göre daha yüksek dayanım göstermiştir. Ayrıca %20 mermer tozu katkılı hafif betonun basınç dayanımı, kontrol betonuna göre daha düşük çıkmıştır (Tanyıldızı ve Coşkun, 2011).

Senthamarai ve diğ, seramikli izolasyon atıklarının normal beton içerisinde kaba agrega olarak kullanılmasının çimentolu betonun performans özelliklerine etkilerini araştırmışlardır. Bu atıkların betondaki işlenebilirlik, çekme ve eğilme dayanım miktarları, elastisite modüllerinde doğal agregaya yakın sonuçlar elde etmişlerdir. Seramik agregalarının geleneksel betonun su geçirimsizlik değerlerine göre daha büyük değerlere ulaştığını, fakat fazla fark yaratmadığını tespit etmişlerdir. Atık katkılı betonun geçirimsizlik değerinin su-çimento oranında yapılacak değişikliklerle uygun

değerlere getirilebileceği ve geri dönüştürülmüş atık seramiklerin çimento betonlarında kullanılabilir olduğunu ortaya koymuşlardır (Senthamarai, et al., 2011).

Brito ve diğerleri, yapı endüstrisinde meydana gelen seramik atıklarının miktarını azaltmak için betonda agrega olarak kullanımını araştırmışlardır. Çalışmada seramik agregalarının temel özelliklerinin, taze ve sertleşmiş betonun özelliklerine etkisi incelenmiştir. Yapı endüstrisi atıklarının yeniden kullanımını arttırmak için yapılan bu çalışmada seramik katkılı BSK' ların özellikleriyle, kırma taştan elde edilen normal agregalardan üretilen BSK' ların deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda, seramik agregaların, basınç dayanımının öncelikli istendiği yapı elemanları yerine çekme dayanımı ve aşınma direncinin istendiği yapı elemanlarında kullanılmasının daha uygun olduğu tespit edilmiştir (Brito, et al., 2005).

Pacheco ve diğerleri, seramik atıklarının beton içerisinde kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Seramik katkılı beton karışımlarının deney sonuçlarından elde edilen değerlere bakıldığında, seramik tozlarının puzolanik özellik göstermesinden dolayı dayanımda küçük bir azalma olduğu görülmüş, fakat basınç dayanımları, kılcal su emme, oksijen geçirgenliği ve difüzyon değerlerinde kontrol numunelerine daha olumlu sonuçlar alınmış ve durabilite değerinin de arttığı tespit edilmiştir (Pacheco, et al., 2009).

Medina ve diğerleri, sıhhi seramik atıklarını normal beton içerisinde kullanmayı amaçlamışlardır. Seramik atıklarını belirli oranlarda (%15, %20, %25) kaba agrega yerine kullanılarak yaptıkları deney sonuçlarını incelemişlerdir. Sonuçlar normal çimento beton sonuçlarıyla karşılaştırıldığında, seramik katkılı çimento betonundan daha yüksek mekanik sonuçlar (çekme ve basınç dayanımları) alınmış olup, seramik ilavesinin hidrasyon süresini etkilemediği görülmüştür (Medina, et al., 2012).

Deniz ve Lav, Granüler sülfürle (GSF) modifiye edilmiş bitümün BSK özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Çalışmada Marshall numuneleri hazırlanmış ve bu numunelere stabilite-akma deneyleri uygulanmıştır. OBO' ları belirlemek için Marshall tasarım Yöntemi kullanılmıştır. Laboratuarda, toplam bitüm ağırlığının %10,

%20, %30, %40 ve %50 GSF malzemesi B50/70 bitüm yerine BSK' ya ilave edilmiştir. Geleneksel BSK ile GSF ilaveli karışım arasında karşılaştırma yapılmıştır. Karışım içindeki GSF miktarı arttıkça Marshall Stabilitesi değerinin de arttığı gözlenmiştir. Stabilitate, %50 GSF ilavesiyle en yüksek değerine ulaşmıştır. Ayrıca ülkemizdeki rafinelere açığa çıkan sülfür miktarının gittikçe arttığı ve bu atığın BSK içinde kullanılmasıyla çevresel boyutta faydalı olacağı görüşüne varılmıştır (Deniz ve Lav, 2010).

Arabani ve Mirabdolazimi, demir tozu katkılı BSK' ların dinamik yükler altında yorulma davranışlarını incelemek için yaptıkları araştırmada demir tozunun BSK' ların çekme mukavemeti üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Dolaylı çekme deneyi sonuçlarına göre demir tozlarının BSK' ların çekme dayanımlarını arttırdığı ve tekrarlı yükler altında yorulma ömrünü uzattığını tespit etmişlerdir (Arabani, et al., 2011).

Alataş ve diğerleri, Ereğli Demir-Çelik Fabrikası (EDÇF) cürufunun BSK' da agrega olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Atık olarak stok sahalarında depolandığı için ekonomik açıdan faydalanılamadığı gibi, çevre kirliliği de yaratan demir-çelik cürufunun asfalt betonunda kullanılarak değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Aşınma tabakası için verilen Tip II gradasyonu ortalama limitlerine göre EDÇF çelikhane cürufu ile hazırlanmış ve Adapazarı Taşkısığı taş ocağından alınan kalker kökenli malzeme ile üretilen numuneler üzerinde Marshall deneyi, dolaylı çekme deneyi, statik sünme deneyi yapılmış, veriler değerlendirilmiştir. EDÇF çelikhane cüruflarının kaplamanın optimum bitüm oranına ve diğer fiziksel özelliklerine etkisi incelenmiştir. Cürufu numunelerin Marshall stabilite deneyi, dolaylı çekme rijitlik modülü deneyi ve sünme modülü deneyi sonuçları kalker atıklı numunelere göre daha yüksek; akma sonuçları ise daha düşük çıkmıştır. EDÇF çelikhane cürufunun BSK' ların performansını artırdığı ve agrega olarak karayolu üst yapısında kullanılabilir olduğu ortaya koyulmuştur (Alataş, vd., 2006).

Yılmaz ve Süttaş, Antalya Ferrokrom İşletmesi' nin elektrik-ark fırınlarından ortaya çıkan atık ferrokrom (FrCr) cüruflarının BSK kaplama tabakalarında filler olarak kullanılabilirliğini incelemiş ve klasik olarak kullanılan "mineral filler"e alternatif

olacak performansı gösterip göstermediğini araştırmışlardır. Çalışmada, öncelikle cüruf atıkları 200 No' lu elekten elenerek, uygun gradasyona getirilmiş, malzemenin fiziksel özellikleri belirlenmiştir. BSK kaplama tabakasını temsilen, ferrokrom cürufu içeren numuneler hazırlanmış, Marshall karışım tasarımı uygulanarak OBO' ları belirlenmiştir. Ağırlıkça %0- 2.5- 5- 7- 10 atık filler oranları ile üretilen numuneler üzerinde stabilite ve akma deneyleri uygulanmıştır. Bulunan sonuçlar doğal taş tozu ile üretilen numunelerle karşılaştırılmıştır. FeCr cürufu katkılı numunelerin, birim ağırlık, boşluk yüzdesi, BDBO değerleriyle, taş tozu fillerin kullanıldığı numuneler yakın sonuçlar vermiştir. Stabilite değerleri taş tozu katkılı numunelere kıyasla daha yüksek çıkmıştır. Yüksek filler oranlarında hem stabilite değerlerinin taş tozundan yüksek çıktığı görülmüş ve FeCr cürufunun BSK' larda filler olarak %5-10 arasındaki oranlarda kullanılabilceği sonucuna varılmıştır (Yılmaz ve Süttaş, 2008).

Ahmedzade ve diğerleri, olarak, TÜPRAŞ' tan alınan siyah karbonun (HAF N-326) asfalt betonunda filler olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Aynı agrega gradasyonuna sahip kalker ve siyah karbon fillerini içeren BSK numuneleri hazırlanmış ve Marshall tasarımı ile OBO' ları belirlenmiştir. Siyah karbon ilaveli, kalker ilaveli numuneler ve kontrol numuneleri Marshall stabilitesi, indirek çekme deneyleri ve sünme deneylerine tabi tutulmuş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. BSK' larda kalker filler malzemesi yerine siyah karbon kullanılmasının, asfalt betonunun performansını geliştirdiği, özellikle sıcak karışımın stabilitesini ve durabilitesini (dayanıklılık) artırdığı, tekerlek izi oluşumu ile ilgili sorunları da azalttığı görülmüştür. Siyah karbonun BSK' larda filler olarak kullanılmasının, karışımların mekanik (stabilite, durabilite, çekme mukavemeti) özelliklerini geliştirdiği sonucuna varılmıştır (Ahmedzade, vd., 2008).

Üstümkol ve Turabi, mermer tozu, uçucu kül, fosfoalçı ve cam tozu gibi endüstriyel atıkların BSK kaplamalarda %0-7 arasında değişen değerlerde filler malzeme olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Marshall tasarım yöntemi ile optimum bağlayıcı yüzdesi %4.9 olarak belirlenmiştir. Endüstriyel atıkların filler olarak BSK numunelerinde kullanılmasıyla, Marshall dayanımlarının yüksek çıktığı görülmüştür. Mermer tozu ve cam tozu filler katkısıyla hazırlanmış karışımların boşluk

oranlarının şartname limitleri olan %3 - %5 arasında kaldığı, fakat uçucu kül ve fosfoalçı boşluk değerlerinin ise şartname limitlerinin üzerinde çıktığı görülmüştür. Bu sebeple, geçirimsizlik istenen durumlarda uçucu kül ve fosfoalçının BSK da kullanılamayacağı sonucuna varılmıştır (Üstünkol ve Turabi, 2009).

Çelik, atık otomobil lastiği katkı BSK numunelerinin özelliklerini incelemiş ve bu atığın yorulma davranışına etkisini değerlendirmiştir. Sabit basınç deney yöntemi kullanılarak yapılan bu deneyde değişen bağlayıcı miktarlarının etkisi incelenmiştir. Bitümün otomobil lastiği ile modifikasyonunun asfalt betonunun yorulma süresini önemli bir ölçüde artırdığı ve % 5 oranında küçük bir katkının, 50/70 penetrasyonlu bitüm için yorulma süresini 2 kat artırırken 70/100 penetrasyonlu bitümle yapılan modifikasyon sonucu yorulma süresinin 23 kat arttığını gözlemlemiştir (Çelik, 2001).

Deniz ve diğerleri, lastik atıkların yorulma direniminin yüksek olmasına dayanarak yaptıkları çalışmada kullanılmış otomobil lastiklerinin, bitümlü sıcak karışımların performansı üzerindeki etkisini incelemiştir. Geleneksel karışımlarla karşılaştırılmak üzere, granül hale getirilen lastik parçacıkları, farklı oranlarda (%2,0, %1,0, %0,7 ve %0,5) bitümlü sıcak karışıma katılarak, farklı sıcaklıklarda dolaylı çekme, statik sünme ve Marshall stabilite deneylerine tabi tutulmuştur. Sonuçta %0.5 oranında kullanılan lastik atıklarının BSK' lara katılması halinde, soğuk iklimli bölgelerde kalıcı deformasyonlara karşı olumlu etki yapacağı görülmüştür (Deniz vd., 2009)

Cao tarafından, lastik kirliliğinin önüne geçmek ve lastik içerikli asfaltın özelliklerini geliştirmek için yapılan çalışmadaki deneylerde toplam karışım ağırlığının %1, %2, %3' ü olmak üzere 3 farklı oranda lastik atığı kullanılmıştır. Yapılan tekerlek izi testi, dolaylı çekme deneyi ve varyans analizi sonuçlarına dayanarak atık lastik içeren asfaltlarda yüksek sıcaklıkta kalıcı deformasyonlara karşı direnç geliştirmede ve düşük sıcaklıkta çatlamaya karşı direnç geliştirmede etkili olduğu vurgulanmıştır (Cao, 2007).

Arabani, farklı sıcaklık koşullarında, agrega oranlarına ve cam atık katkı miktarlarına bağlı karışım deneyleri yapmıştır. Yapılan dolaylı çekme rijitlik modülü deney sonuçlarına göre, cam katkılı BSK' larda atık miktarı arttıkça karışımın rijitlik modülü değerinin arttığı ve optimum atık içeriğinin %15 olduğu tespit edilmiştir. Daha önceden yapılmış cam atığı ilaveli BSK üretimi konusunda yapılan çalışmalardaki deney sonuçlarının, bu çalışmadaki deney sonuçlarıyla aynı doğrultuda olduğu görülmüştür (Arabani, 2011 ).

Su ve Chen, 23 milyon nüfuslu bir ülke olan Tayvan' da her yıl 5 milyon ton cam atığı meydana gelmesinden yola çıkarak, çalışmalarında malzeme olarak camı seçmişlerdir. Asfalt betonu içerisine agrega toplam ağırlığının %0, 5, 10 ve 15' i olacak şekilde cam atığı katarak 10 cm yüksekliğinde ve 6,35 cm çapında numuneler hazırlamışlardır. Bu numunelerin Marshall dayanımı, kuru-ıslak nem oranı, kayma direnci, ışığı yansıtma ve su geçirgenliği gibi pek çok özelliğini ASTM ve AASHTO standartlarına göre test etmişlerdir. Atık oranının arttıkça BSK' ların stabilite değerlerinin düştüğünü fakat bitüm emme oranı çok düşük olan camın BSK' larda kullanımıyla ekonomik avantajlar sunabileceğini ortaya koymuşlardır (Su and Chen 2002).

Neşer ve diğerleri tarafından tekne üretiminde kullanılan cam takviyeli polyester atıkların BSK kaplamalarında kullanımı incelenmiştir. Atık malzeme, BSK içerisinde agrega olarak kullanılmak üzere, uygun boyutlarda kesilip, parçalanmış ve BSK numuneleri oluşturulmuştur. Marshall dayanımı deneyi ve dolaylı çekme deneyleri, yapılmış ve deney sonuçlarına göre polyester atıkların BSK kaplamalarda kullanılabilmesi sonucuna ulaşılmıştır. BSK' larda %3 cam takviyeli polyester atık malzemesinin optimum içerik olduğu görülmüştür (Neşer, vd., 2010).

Do ve diğerlerinin yaptığı çalışmada, asfalt betonunun içerisine mineral filler olarak eklenen atık kireç miktarlarına göre alınan deney sonuçları gözlenmiştir. Ağırlıkça % 25, %50, %75, %100 filler oranlarında kireç atıkları eklenmiştir. Yapılan deneylerde, atık kireç katkılı BSK' da, geleneksel BSK' ya göre, kalıcı deformasyon direnci ve soyulma direncinde artış olduğu tespit edilmiştir. BSK' da kullanılan atık

kireç katkısının özellikle yüksek sıcaklıklarda asfaltın kalıcı deformasyon direncini artırdığı için de mineral filler malzemesi olarak kullanılabilmesi tespit edilmiştir (Do, 2008).

Perez ve diğerleri, inşaat ve yıkım atıklarının BSK' larda kaba agrega olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Çimento ve kirecin filler olarak kullanıldığı BSK' larda, atık malzeme % 0, %20, %40, %60 oranlarında kullanılmıştır. Marshall tasarım sonuçlarının teknik şartname değerlerine uygun olduğu saptanmış, bununla birlikte soyulma direnci düşük çıkmıştır. Sonuç olarak yıkım atıklarından elde edilen kaba agreganın düşük hacimli yollar için kullanılabilmesi ortaya konulmuştur (Perez, vd., 2012).

Beale ve You, düşük trafik hacmine sahip yollar için beton agregalı BSK' ların mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmada beton agregaları sıcak asfalt içerisine %25, 35, 50 ve 75 oranlarında eklenerek, numunelerde dinamik modül değerleri hesaplanmış, nem hassasiyet değerleri ölçülmüş, dolaylı çekme deneyleri yapılmıştır. Karışımdaki beton agregası oranı arttıkça bu değerlerin azaldığı tespit edilmiştir. Kullanılan oranlardan yalnızca %75 atık oranı içeren numuneye ait değerlerin istenilen sınırlar içerisinde olmadığı gözlemlenmiştir. Beton agrega ilaveli BSK' ların düşük hacimli yollarda kullanılabilmesini saptanmıştır (Beale and You, 2010).

Chen ve diğ. yaptıkları bir çalışmada, atık tuğla tozlarının ve kireç tozunun alternatif filler olarak BSK' larda kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Yapılan dolaylı çekme, statik ve dinamik sünme deneyleri, suya duyarlılık testi ve yorulma testleri sonucunda, tuğla tozu ile hazırlanan karışımların kireç tozu ile hazırlanan karışımlardan daha iyi mekanik özelliklere sahip olduğu görülmüştür (Chen, vd., 2011).

Akbulut ve Gürer, Afyon-İscehisar bölgesindeki bir mermer ocağı atıklarından agrega elde etmiş ve bu numuneleri şehir içi asfalt karışımlarında kullanılan agrega numuneleri ile karşılaştırmışlardır. Atık mermerden üretilen ve doğal agregadan elde edilen numuneler üzerinde standart agrega deneyleri, BSK' da Marshall stabilite-akma deneyleri ve dolaylı çekme deneyi yapılmıştır. Deney sonuçları, atık mermer katkılı

BSK' ların dayanım ve akma değerlerinin sınır şartları içerisinde kaldığını ve bu malzemelerin orta ve düşük trafik hacimli asfalt kaplamaların binder tabakalarında agrega olarak değerlendirilebileceğini göstermiştir (Akbulut ve Gürer, 2006).

Huang ve diğ, atık seramik malzemelerini asfalt betonu ve Portlant imentolu betona ekleyerek BSK' larda ve betondaki davranışını incelemişlerdir. Asfaltta dinamik kayma reometresi deneyi, dolaylı çekme deneyi gibi deneyler yapılmıştır. Asfalt binder katmanı için yapılan performans test sonuçlarına göre ağırlıkça %15 e kadar eklenen atık seramik parçalarının kalıcı deformasyonlara (tekerlek izine) karşı direnci arttırdığı görülmüş, içerisine %2.5 oranında filler eklendiğinde numunelerde dolaylı çekme dayanımı, akma değeri, dinamik modülü değerlerinde olumlu yönde değişmeler olduğu gözlenmiştir (Huang, et al., 2009).



## BÖLÜM 3

### KARAYOLU ALTYAPISI, ÜSTYAPISI VE ÖZELLİKLERİ

Karayolu; trafik için, kamunun yararlanmasına açık olan arazi şeridi, köprüler ve alanlardır. Karayolu, önceden belirlenen, geometrik standartlara uygun olarak saptanmış olan bir güzergah boyunca, doğal zeminin istenilen yüksekliklere (kotlara) getirilmesi ve üzerinde motorlu taşıtların güvenlik, konfor ve istenilen hız koşullarında hareketlerinin sağlanabilmesi amacıyla inşa edilen yapıların tümü olarak da tanımlanabilir. Karayolu, altyapı ve üstyapı olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır (İlçalı vd., 2001)

#### 3.1. Karayolu Altyapısı

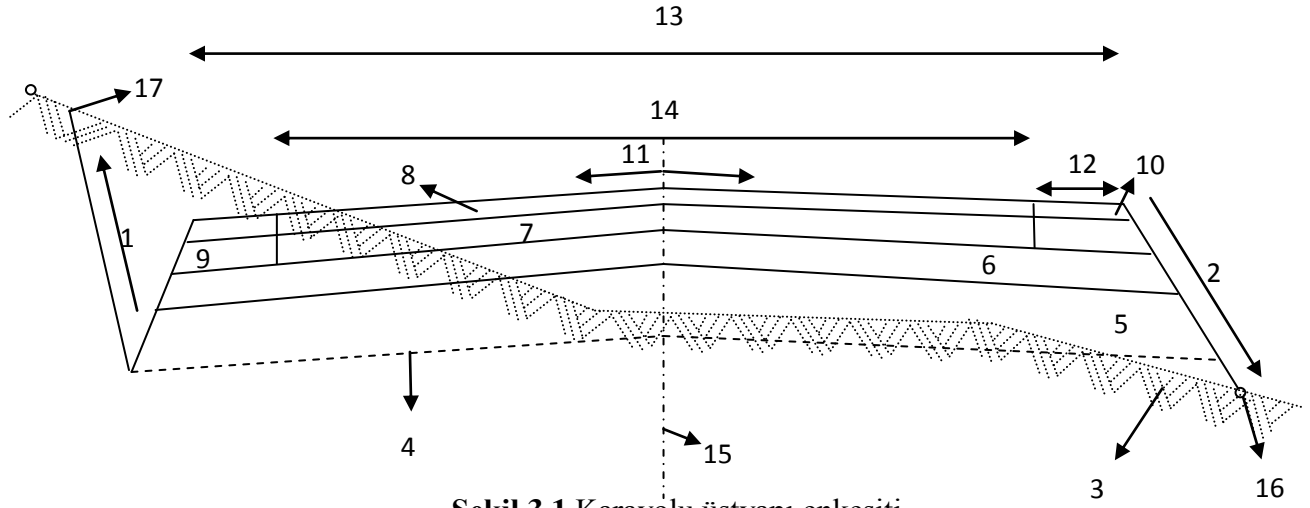
Yapımı tamamlanmış bir karayolunda, tesviye sathıyla doğal zemin çizgisi arasında kalan bölgeye “altyapı” adı verilir. Altyapı; yolun dolgu kesimlerinde, dışarıdan getirilen toprakla oluşturulmuş bir toprak gövde; yarma kısımlarında ise doğal zemindir. Ancak, yarma kısımlarında tesviye yüzeyini oluşturmak amacıyla yapılan dolgu çalışmaları da alt yapıya dahildir. Ayrıca; köprü, viyadük, tünel, menfez ve istinat duvarı gibi sanat yapıları da altyapı olarak kabul edilir (İlçalı vd., 2001)

Su, karayolu altyapı ve üstyapısına büyük hasarlar verebileceğinden drenaj önemli bir konudur. Su, zeminlerle temas ettiğinde donma-çözülme etkisiyle zemini gevşeterek taban zemininin taşıma gücünü düşürmektedir. Taban zeminin, taşıma gücünü düşürmesiyle, öncelikle taban zemininin ve buna bağlı olarak da üstyapının bozulmasında büyük etki yaratan suyun yol yapı gövdesinden uzak tutulması ya da tahliye edilip

uzaklaştırılması gerekmektedir. Bu sanat yapılarıyla ve iyi tasarlanmış bir drenaj sistemiyle sağlanabilir.

### 3.2. Karayolu Üstyapısı

Taşıtlardan aktarılan trafik yüklerini altyapının taşıma kapasitesine indirerek, altyapıya iletmek, altyapıyı korumak amacıyla altyapı üzerine yerleştirilen genellikle kaplama, temel ve alttemel tabakalarından oluşan, yol yapısına “Karayolu Üstyapısı” adı verilmektedir (Yılmaz, 2008). Yol üstyapı katmanları ve isimleriyle Şekil 3.1. deki gibidir.



Şekil 3.1 Karayolu üstyapı enkesiti

Açıklamalar:

1. Yarma şevi
2. Dolgu şevi
3. Doğal zemin çizgisi
4. Yol gövdesi (Taban zemini)
5. Seçme malzeme (Gerekli olduğu durumlarda serilir)
6. Alt temel

7. Temel
8. Kaplama ( Aşınma ve binder tabakalarından oluşur)
9. Banket temeli
10. Banket
11. Yol enine eğimi
12. Banket genişliği
13. Kaplama genişliği
14. Platform genişliği
15. Yol ekseni
16. Etek noktası
17. Kret noktası

Üstyapılar, kaplama tabakasında kullanılan malzeme özelliklerine çeşitlerine ve yapım yöntemlerine göre rijit (beton yol), yarı rijit ve esnek üstyapı (asfalt yol) olarak üç gruba ayrılmaktadır. Bu türlerin içinden, taban zeminine, trafiğe, çevre koşullarına ve ekonomik şartlara bağlı olarak en uygun olanı seçilerek projelendirme yapılmaktadır.

### **3.2.1. Rijit üstyapılar (Beton Yollar)**

Üzerine gelen dingil yüklerini kendi rijitliği ile taşıyan ve kaplamanın betonarme olarak tasarlandığı üstyapı türüdür. Bu kaplama türünün performans özellikleri, kaplamayı oluşturan beton plaklar, alttemel, temel tabakalarına, ve bu tabakalarda kullanılan malzemenin özelliklerine bağlıdır (Ektaş, 2011).

Alttemel (kaplama altı) tabakası, beton kaplamaya zarar verebilecek donma etkisi, yüksek hacim değişmesi gösteren topraklarda şişme ve büzülme etkisi, ince daneli topraklarda pompaj etkisi gibi durumlarda beton plak ile taban zemini veya taban zemini

üzerine seçme malzeme tabakası serilmesi halinde bu tabaka ile beton plak arasına serilen daneli tabakadır (Ağar vd., 1998)

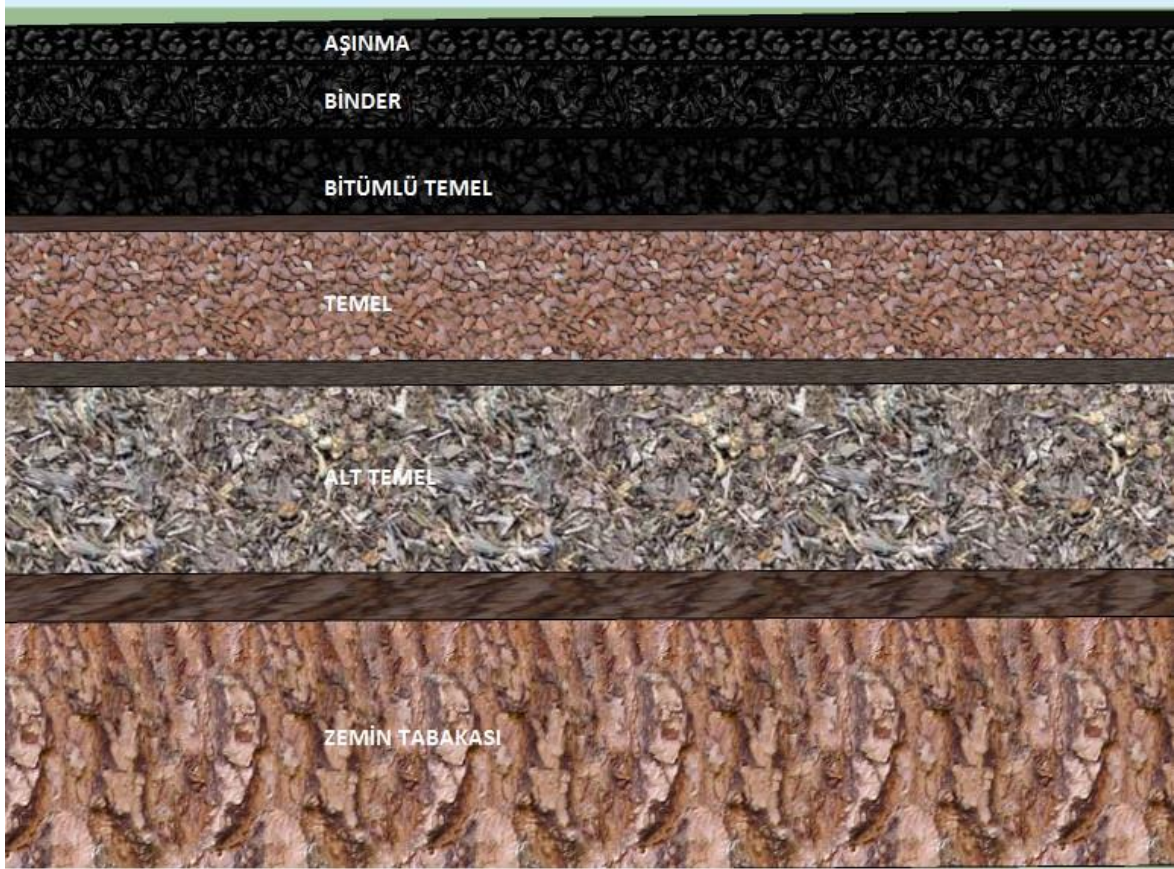
Beton plak tabakası, rijit üstyapının trafik yüklerinin doğrudan etkisinde kalan tabakasıdır. Boyuna ve enine eğim, beton plaklarda göz önüne alınması gereken en önemli iki unsurdur. Beton yolların tutucu, pürüzlü olmasından dolayı, kayma tehlikesi yaratmadığından boyuna eğim değerleri %7 lere ulaşabilir.(Ağar vd., 1998).

### **3.2.2. Yarı rijit üstyapılar**

Yarı rijit üstyapılarda, esnek üstyapılardan farklı olarak granüler temel veya alttemel yerine çimento bağlayıcılı granüler temel veya çimento ile stabilize edilmiş alttemel kullanılır. Bu tabakaların üzerine sırasıyla bitümlü temel, binder ve aşınma tabakaları serilir. Türkiye 'de trafik yükü fazla olan devlet yolları ve otoyollarda bu tür üstyapılar kullanılmaktadır (Önal ve Kahramangil, 1993)

### **3.2.3. Esnek üstyapılar (BSK kaplamalar)**

Üzerine gelen trafik yüklerini bünyesindeki çeşitli tabakalardan geçirerek, iyi bir yüzeysel temas sağlanan taban zeminine ileten, en alttan en üste doğru kalite ve taşıyıcılık bakımından daha iyi malzemelerden üretilen ve ülkemizde kullanımı çok yaygın üstyapı tipidir. Esnek üstyapılarda agrega kilitlenmesi, partikül sürtünmesi değerleri ile kohezyona dayanıklılık değerlerinin yüksek olması, dolayısıyla yüksek dayanım beklentisi vardır. Çünkü üstyapılarda performans özelliklerini kaplamanın stabilitesi belirler. Aynı zamanda, trafiği güvenli olarak ve ekonomik bir şekilde taşımak zorundadır (Fındık, 2005). Karayolu üstyapı katmanları Şekil 3.2.'deki gibidir.



Şekil 3.2. Karayolu üstyapı katmanları

#### 3.2.4. Alttemel tabakası

Taban zemini (yol altyapısı) ile temel tabakası arasında bulunan sıkıştırılmış daneli malzeme veya uygun bir bağlayıcı malzeme ile stabilize edilmiş malzeme tabakası alttemel tabakasıdır (Umar ve Ağar, 1991; Öksüz' den, 2011). Asıl görevi, bitümlü tabakaların inşaaı için çalışma platformu oluşturmak olan alttemel tabakasında kullanılan malzemeler genel olarak temel tabakasına göre daha düşük kalitededir. Alttemel tabakasının zemin tabakasının sağlam olduğu bölgelerde yapılması zorunlu değildir. Ekonomik ve çevresel etkenler dikkate alındığında molozlar, cüruflar inşaat atıkları gibi malzemelerin yol inşaatlarında kullanımı elverişlidir (Saltan, 1999).

### **3.2.5. Temel tabakası**

Temel tabakası; üstyapının oturduğu, ince tesviye yüzeyi veya alt temel tabakası arasında bağlantıyı kuran, doğal zemin olan taban zeminini koruyan, bir veya birden fazla tabakadan oluşabilen, kaplama tabakasından gelen trafik yüklerini alt tabakalara dağıtan tabakadır. Temel tabakasının asıl görevi kaplama tabakasına dayanak sağlayarak, taşıtların geçişlerinden dolayı oluşan gerilmeleri taban zemininin taşıma gücü sınırları içinde yaymaktır. Temel tabakası duruma göre çimentolu veya bitüm bağlayıcılı karışım, stabilize edilmiş veya dikkatle seçilmiş granüler malzeme olabilir. Trafik hacminin yüksek olduğu kesimlerde bitümlü karışımlar daha yaygın olarak kullanılmaktadır. (Fındık, 2005)

Karayolu yapımında üç çeşit temel kullanılmaktadır:

**Plent-miks Temel (PMT) :** KTŞ' ye göre hazırlanan Tip 1 ve Tip 2 olmak üzere şartnamesi bulunan (Dmax 37,5mm) BSK altında bulunan temel tabaka tipidir. PMT tabakasında kil, silt, gibi yabancı maddeler bulunmamalıdır. Kaliteli agregadan üretilmesi durumunda yolda yüksek verim eldilir. Trafik Dingil yüküne göre hesaplanan kalınlıkları gelende 15-25 cm arasında değişiklik gösterir.

**Granüler Temel (GT):** Bu tabakada, iyi derecelenmiş ve şartnamede istenilen gradasyon değerlerine sahip agregaların, optimum su içeriğinde yola serilmesiyle oluşur. Bu temel tipinde trafik yükleri altında kalıcı deformasyonlar gözlemlenmediğinden dolayı bu temele, “mekanik stabilizasyon temel” de denir. Kullanılan malzemeler kaba agrega, çakıl, kırma çakıl, kırma taş veya cüruf olabilir. İnce agrega olarak ise; kırılmış çakıl, kırma kum, doğal kum ve cüruf kumu kullanılır. Mekanik stabilizasyon temel, diğer temel tiplerine göre daha ekonomiktir ancak stabilizesi daha azdır (Tunç, 2004).

**Çimento Bağlayıcılı Granüler Temel (ÇBGT):** Karışımın plent içerisinde belli bir oranda çimento katılarak hazırlanması, bu temel tabakasının plentmiks temelden tek

farkıdır. Kaba agregası, granüler temelde kullanılan malzemeyle aynı, kullanılan ince agrega plentmiks temel de kullanılan agrega ile aynı özelliklerdedir. Kullanılacak çimento miktarı, proktor deneyi ile tespit edilir. Geleneksel betona göre daha düşük çimento miktarına sahiptir.

### **3.2.6. Kaplama tabakası**

Üstyapının trafik yüklerine doğrudan maruz kalan en üst tabakası kaplama tabakasıdır. Trafik yükleri nedeniyle oluşan basınç ve çekme gerilmelerinin en yüksek seviyede olması nedeniyle kaplama tabakası, üstyapının diğer tabakalarına göre daha yüksek bir elastisite modülüne sahip olmalıdır. Bu tabaka, gerekirse aşınma ve binder olarak iki kısımdan oluşur. Aşınma tabakasının çok kaliteli inşa edilmesi gerekir; trafiğe dayanım yanında su geçirimsizliğini sağlamak ve sürtünme oluşturmakla görevlidir. Binder tabakası ise kaplama tabakasının kalın olması durumunda sıkıştırmada kolaylık ve ekonomi sağlamak için, aşınma tabakasına göre daha iri agregalardan inşa edilen tabakadır.

Kaplama tabakasının trafiği emniyetli ve konforlu bir şekilde geçirebilmesi için yeterli pürüzlülükte üniform bir yuvarlanma yüzeyine sahip olması gerekir. Ayrıca, taşıtlardan su sıçramasını ve yol yüzeyindeki küçük havuzcukların oluşmasını önlemek için drenaj tesislerine de sahip olması gereklidir (Umar ve Açar, 1991)

Trafik yüklerinin kaplama, temel ve alttemel tabakalarından geçerek taban zeminine iletilmesi, zeminlerin içindeki klasik yük dağılışı gibidir. Yani trafik yükleri altında esnek üstyapı deformasyonlara uğrar ve her bir tabaka, üzerine gelen yükü bir alttakine biraz daha yayarak iletmektedir. Böylece, en son taban zeminine ulaşan yük kısmen büyük bir alana yayılmış olur. Esnek üstyapıda oluşan gerilme değerleri yolun en üst tabakasından alta inildikçe düştüğü için, kullanılacak malzemelerin performans özelliklerinin de bu gerilmeleri karşılayacak düzeyde olması istenir. Asfalt betonundan yapılan kaplama tabakası, trafik ve çevre etkilerine doğrudan maruz kaldığı için, yüksek elastisite modülü, kayma direnci, geçirimsizlik özelliği gibi özelliklere sahip olması istenir. Esnek üstyapılar

iyi projelendirilmezse, aşağıdaki iki nedenden biri yolun tahribatına yol açabilir (Sezgin, 2003).

1. Yol altyapısında veya üstyapıyı oluşturan tabakaların birinde meydana gelen gerilmelerin, malzemenin sınır gerilme değerini aşması ve i dengenin bozulması.

2. Taban zeminindeki veya yol üstyapısı tabakalarının birindeki yüksek basınç gerilmeleri ve tabakadaki nem oranı değişmeleri altında oldukça farklı oturmaların ortaya çıkması.

Esnek styapılarda sathi (yzeyssel) kaplamalar ve beton asfalt (BSK) kaplamalar olmak üzere iki tür kaplama vardır.

### **3.2.6.1. Sathi (Yzeyssel) kaplamalar**

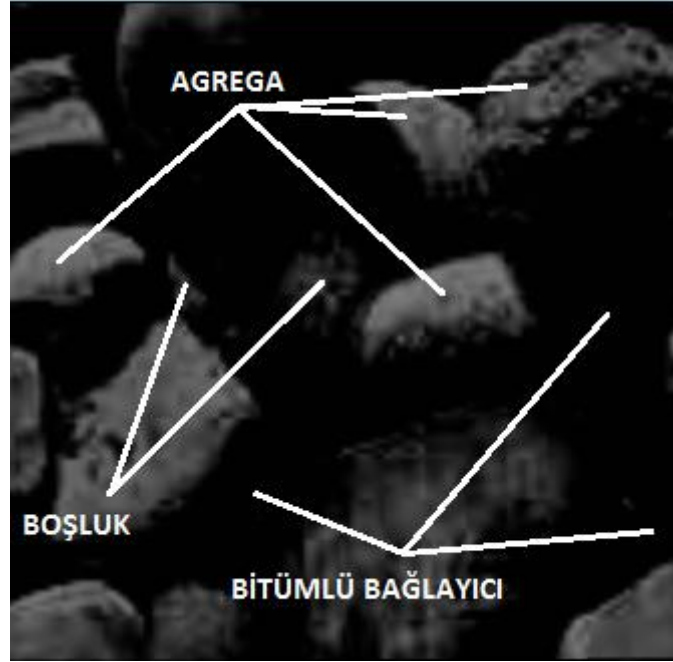
Bu kaplama çeşidi yapım tekniği olarak bağlayıcının ve agreganın peşpeşe serildiği tiplerdir. nce yolun yapılacağı temel tabakası üzerine ince bir film halinde asfalt püskürtülür. Bu asfaltın üzerine belli bir gradasyona sahip kırmataş dökülür ve bir silindir vasıtasıyla sıkıştırılır. Sıkışma lkemizde genellikle yolun üzerinden geçen trafik yükleri tarafından sağlanır. Ancak bu tip kaplamalar, özellikle hava sıcaklığının fazla olduğu ve kışın tuzlamanın yapıldığı yerlerde iyi dayanım gösterememesinden dolayı tavsiye edilmemektedir (Ektaş, 2011).

### **3.2.6.2. Beton asfalt (Asfalt betonu) kaplamalar**

Beton asfalt kaplamalar, çok dikkatli şekilde oranları saptanmış bitümlü bağlayıcı, agregası ve fillerin sabit karıştırma tesislerinde sıcaklık, nem ve karışım bakımından çok sıkı



bir kontrol altında karıştırılmasıyla elde edilir. Bitümlü sıcak karışım, agrega, bitümlü bağlayıcı ve boşluk olarak üç fazdan oluşmuş bir sistem olarak düşünülebilir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Bağlayıcı, agrega ve boşluk

İri agregadan fillere kadar her agrega boyutundan yeterli malzeme bulduracak şekilde granülometriye sahip agregaya, sürekli derecelenmiş agrega ve hazırlanan sıcak karışıma da asfalt betonu adı verilir. Asfalt betonu adı verilen karışımlar en gelişmiş kaplama türü olup, ağır trafikli yollarda, otoyollarda, hava alanı pistlerinde uygulanır ve maliyetleri oldukça yüksektir (Ceylan, 2006).

İyi bir BSK kaplamada şu özellikler aranmaktadır;

- Yüksek stabilite ve akma değeri,
- Yüksek kayma direnci,
- Yüksek durabilite (dayanıklılık) değeri,
- Yeterli düzeyde yüzey pürüzlülüğü,

- Geçirimsizlik, esneklik,
- İşlenebilirlik,
- Ekonomi.

**Stabilite:** Bitümlü kaplamanın, trafik yüklerinden kaynaklanan sürekli dinamik yüklere, uzun süreli statik yüklere ve hızlanma veya yavaşlama esnasında tekerlek etkileri ile oluşan basınç, çekme ve kesme kuvvetine karşı gösterdiği dirençtir. Bitüm ve agreganın karakteristik özelliklerinin stabilite üzerindeki etkileri, karışımın bileşimi kadar önemlidir. Bitümün sertliği, bir başka ifade ile penetrasyonu karışımın stabilitesine etki eden diğer bir faktördür. Daha düşük penetrasyonlu bitümlü bağlayıcı kullanıldığı zaman, kaplamanın stabilite değerinin daha yüksek olacağı düşünülebilir. Kaplamanın stabilitesi için yolda görülebilecek en büyük sıcaklık derecesi dikkate alınmalıdır. Bu da ülkemiz için 60 °C olarak belirlenmiştir. Trafik, çevre ve zemin koşulları da göz önünde bulundurularak en uygun agrega granülometrisi ve bitüm oranı kullanılarak istenen stabilite sağlanabilir (Ceylan, 2006).

Akma direnci kaplama üzerindeki kuvvetin sabit kalmasına rağmen kalıcı deformasyonun başladığı gerilme değeri olarak tanımlanır. Stabilite ile akma değerleri arasındaki ilişkilere bakarak malzeme hakkında bilgi sahibi olunabilmektedir. BSK' larda yüksek stabilite değeri istenmesine rağmen, yüksek stabiliteye sahip ve düşük akma değeri olan bir BSK' nın gevrek malzeme olduğu söylenebilir. Gevreklik ise BSK' larda istenmeyen bir durumdur.

**Kayma direnci:** Kayma direnci, araçların frenleme sırasında emniyetli durabilmesi ve kurbalarda merkezkaç kuvvetinden ötürü savrulmaması için teker ile kaplama arasında gereken sürtünme kuvvetini ifade eder. Kayma direnci genel olarak, düşük asfalt miktarı, cilalanma direnci yüksek agrega, kırmataş ve pürüzlü yüzeyli agrega, açık ve kaba gradasyonlu karışım ile artmaktadır. Kaplama yüzeyinin pürüzlülüğünün sağlanması ve cilalanma etkisine karşı, kayma direncinin oluşturulması birinci derecede önemlidir.

Agregaların cilalanması, kaplama yüzeyindeki agregaların pürüzlülüğünün yok olup, yuvarlanmasıyla pürüzlülüğün azalması veya kaybolmasıdır. Kaplamanın yüzey düzgünlüğü arttıkça sürüş konforu artmakta fakat kayma direnci de önemli ölçüde azalmaktadır. Asfalt kaplamaların yüzey pürüzlülüğü veya toplam kayma direnci makro ve mikro pürüzlülüğe bağlıdır. Mikro pürüzlülük agreganın yüzey yapısına bağlı iken, makro pürüzlülük ise asfalt karışımında kullanılan agreganın dane çapı ile ilgilidir (Tunç, 2004).

**Dayanıklılık (Durabilite):** Bir BSK' nın durabilitesi, trafik, su, hava ve sıcaklık değişimlerinin etkilerine karşı gösterdiği mukavemettir. Bir başka deyişle durabilite, bir kaplamanın aşınmaya, kabarmaya, soyulmaya ve oksidasyona gösterdiği dirençtir. Asfalt betonu stabil olduğu kadar durabil olmalıdır. Yüksek durabilitenin elde edilmesi, yoğun granülometrilili ve soyulma direnci yüksek agrega ile yüksek bitüm yüzdesi kullanılarak karışımın yüksek geçirimsizlik verecek şekilde dizayn edilip sıkıştırılması ile mümkündür. Yüksek su absorpsiyonuna sahip agregalar soyulmaya karşı daha yüksek dirence sahip oldukları için dayanıklılık bakımından da daha fazla öncelik alırlar (Ceylan, 2006).

**Esneklik (Fleksibilite):** Taban zemininde meydana gelen oturma ve çökme hareketlerine, yol gövdesinin çatlamadan karşı koyabilme (uyum sağlayabilme) yeteneğidir. Temel tabakası kadar kaplama tabakasının da esnek olması istenmektedir. Esneklik yetersizliği, yol yüzeyinde çatlamalara sebep olur. Karışımındaki mineral filler oranı; bitümün oranı, kıvamı ve sıcaklığa duyarlılığı (genleşmesi) esnekliğe etki eder. Fakat esneklik özelliği yüksek olan BSK' ların stabilitesi düşük olabilir (Guirguis et al., 1990).

**İşlenebilirlik:** BSK' ların karıştırma-serme-sıkıştırma esnasında gösterdiği kolaylığın ölçüsü olarak tanımlanır. İşlenebilirlik genel olarak,

- Maksimum dane boyutu,
- Kaba agrega miktarı,
- Asfaltın viskozluğu,

- Agregaya yüzeyinin pürüzlülüğü ve kırılmışlığı,
- Ara boyutlu malzeme miktarı
- Filler miktarı
- Kırmataş agregaya kullanımı

arttıkça azalır. Buna karşın,

- Karışım sıcaklığı,
- Asfalt penetrasyonu

arttıkça artmaktadır.

İşlenebilirliği düşük olan karışımların serilmesi ve özellikle sıkıştırılması esnasında birtakım güçlükler oluşmaktadır. Hatta bu sebeple yeterli sıkışma sağlanamadığından karışımın stabilitesi azalmaktadır. İşlenebilirliği yeterli olmayan karışımlar kaplamaların homojen olmayan bir yapıya sahip olmasına neden olmaktadır. Bunun yanı sıra işlenebilirliği çok yüksek olan karışımlar genellikle içsel sürtünmesi az olan dere malzemesi agregalar ve yüksek penetrasyonlu asfaltlar ile üretildiklerinden, stabiliteyi de düşük olmaktadır (Tunç, 2004).

**Geçirimsizlik:** BSK 'daki hava boşluğu yüzdesi ile belirlenir. Karışımdaki boşlukların birbiri ile bağlantılı olması ve boşlukların yüzeye irtibatlı olması, geçirimsizliğe etki eden başlıca faktörlerdir. Karışım dizaynında boşluk yüzdesinin yüksek olması, su ve havanın kolaylıkla karışım içerisine girerek, oksidasyona ve agregaların ayrışmasına neden olmaktadır (Ceylan, 2006).

## BÖLÜM 4

### SERAMİK KAROLAR

Seramik karolar, inşaat sektöründe yer ve duvar yüzeylerinde kaplama malzemesi olarak kullanılan, inorganik malzeme içerikli ürünlerdir. Seramik karolar gelişen ve değişen teknoloji ile sırlı-sırsız; yer-duvar karoları, granitler; iç mekan, dış mekan olmak üzere üretimde bazı sınıflara ayrılmaktadır. Seramik karoların bu sınıflandırılmaları ve ayrıca fiziksel-kimyasal özellikleri, Avrupa Topluluğu'nca (AT) oluşturulmuş olan (ISO-EN) seramik karo standartlarına göre yapılmaktadır (Kayacı, 2006).

Duvar karolarının en belirgin özelliği toz halinde preslenerek şekillendirilmesi, ve su emmesinin %10 un üzerinde olmasıdır. Bu oran sırlı granit ve yer karoları için %3'ün altındadır.

#### 4.1. Türk Seramik Sanayi

8000 Yıl öncesine dayanan Anadolu topraklarındaki seramik sanatı, 1950'li yılların başlarından itibaren Türkiye'de seramik sanayi haline dönüşmeye başlamıştır. Bugün ülkemizde, kaliteli ve zengin seramik hammaddeleri kullanılmakta ve Türkiye dünya seramik üretiminde 9. sırada bulunmaktadır (TSF, 2010).

Türk Seramik Sektörü, 1980'li yıllardan itibaren hızlı bir gelişme içerisine girmiştir. Ülkemizde dünya üzerindeki en yeni üretim teknolojileri ve en modern seramik üretim hatları kullanılmaktadır.

Türkiye, 2009 yılında Seramik Kaplama Malzemelerinde 360 milyon m<sup>2</sup> ye, seramik sağlık gereçlerinde 21 milyon parçaya ulaşan kurulu kapasitesiyle, 100 milyon m<sup>2</sup> ye ulaşan seramik kaplama malzemeleri ihracatı ile 8 milyon parçaya ulaşan seramik

sağlık gereçleri ihracat rakamıyla dünyadaki en büyük üretici ülkeler arasındaki yerini almıştır. Seramik üretiminin kaplama malzemelerinde yıllara göre %35-45'ini, sağlık gereçlerinde %40-60'ını ihraç eden sektör, kaplama malzemeleri üretiminde Çin, Brezilya, İtalya, İspanya, Hindistan, İran, Endonezya ve Vietnam'ın ardından dünya dokuzunculuğuna, kaplama malzemeleri ihracatında ise, Çin, İtalya ve İspanya'nın ardından dünya dördüncülüğüne, sağlık gereçlerinde ise Avrupa'nın en büyük üreticisi ve ihracatçısı konumuna ulaşmıştır (TSF Sanayi Raporu, 2010).

Türkiye seramik kaplama malzemeleri üretiminin Dünya üzerindeki konumu 2008 yılı sonuçlarına göre grafik 1'de gösterilmektedir.

**Çizge 4.1.** 2008 yılı seramik üretiminin dünya üzerinde dağılımı



İnşaat sektöründeki gelişmeyle birlikte son 20 yılda sektörde üretim yapan şirket sayısı ve üretim miktarı hızla artmıştır. Seramik kaplama malzemeleri sektöründe faaliyette bulunan 28 üretici vardır (TSF Sanayi Raporu, 2010).

Türkiye’de seramik kaplama malzemeleri; Çanakkale, İstanbul, Bilecik, Eskişehir, Kütahya, Uşak, İzmir, Aydın ve Yozgat illerinde üretilmektedir. Seramik kaplama malzemelerin buldukları yörelere göre;

- %18,7’si Çanakkale’ de,
- %43,2’si Bilecik-Eskişehir-Kütahya bölgesinde,
- %27’si İzmir-Manisa-Aydın bölgesinde,
- %10,6’sı Uşak’ ta,
- % 0,5’i Yozgat’ ta kurulmuşlardır.

Kuruluş bakımından ağırlık Eskişehir-Bilecik-Kütahya bölgesinde bulunmaktadır (TSF Sanayi Raporu, 2010).

Yer karosu üretimlerinde 1970’li yıllardan itibaren yavaş pişirimden hızlı pişirime geçilmiştir. Bünyelerde, engop ve sırlarda günümüze kadar pek çok farklı çalışmalar yapılmıştır (Sacmi, 2002: Kayacı’ dan (2006). Günümüzde yer karoları 1180 – 1200 °C’ de, 28 – 45 dakika tek pişirime tabi tutulmaktadır.

Granit karolar sırlı ve sırsız olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Su emmesi %0,05’in altında olan karolar sırsız granit, %0,5’ in altında olan karolar ise sırlı granit olarak tanımlanırlar. 1990’lı yılların başında İtalya’da yüksek mukavemetli ve düşük su emmeli, parlatılmış ve parlatılmamış olarak sırsız granit karo üretimine başlanmıştır. 2000’li yıllara gelindiğinde ise fonksiyonel olarak seramik yer karolarının yerine kullanılabilir, daha yüksek mukavemet ve dayanıma sahip karo arayışına istinaden sırsız granit karo bünyeler geliştirilmiş ve üretimine başlanmıştır. Günümüzde sırlı granit karolar 1200-1220 °C’de, 30–50 dakikalık pişirme rejimlerine tabi tutulmaktadır (Sacmi, 2002: Kayacı’ dan (2006).

İtalya' nın Faenza şehrinden ismini alan ve doğu kökenli bir malzeme olan fayans; kil, kaolen, feldspat, kuvars gibi inorganik hammaddelerin öğütülüp belirli oranlarda karıştırılarak plaka halinde şekillendirildikten sonra, sırlı veya sırsız, 1050-1190 °C aralığında tek ve çift hızlı pişirim teknolojileri ile üretilebilen, inşaat sektöründe kullanılan seramik malzemedir. Su emmesi minimum % 10'dur.

Duvar karosu üretimlerinde tünel fırınlarında uzun sürelerde pişirme işlemi 80'li yılların ortasında başlamıştır. İlk adımda, yeni bir fayans bünyesi yapılırken aynı zamanda tek pişirim sürecinin modernleşmesi, pişme zamanının kısalması ve roller fırınlara geçiş yaşanmıştır (Kayacı, 2006). Son yıllarda yeni üretim tesislerinde genellikle tek pişirim (monoporosa) duvar karosu üretimi tercih edilmektedir.

#### **4.2. Atık fayansların (duvar karoları) değerlendirilmesi**

BSK' larda malzeme seçimi yapılırken malzemenin hem ekonomik olması hem de kendinden beklenen performans değerlerini sağlaması istenir. Atık malzeme içeren numuneler geleneksel BSK numunelerine yakın özellikler göstermeli, teknik şartnameye uygun özelliklerde olmalıdır.

Bu çalışmada kullanılan atık malzemeler endüstriyel fayans atıklarıdır. Ülkemizde fayans üretiminden yaklaşık %8 oranında atık oluşmaktadır. Bu oran birinci kalite üretim yapan fabrikalarda ortalama %13' ün üzerine çıkmaktadır. Bilecik-Eskişehir-Kütahya bölgesindeki seramik üretimi, Türkiye toplam üretimin %43,2' sine sahiptir (TSF Sanayi Raporu, 2010). Sadece bu bölgede yılda yaklaşık 100 000 ton' luk bir atık birikimi oluşmaktadır. Bu atık malzemenin BSK' larda kullanımı, olumsuz çevresel etkilerinin azaltılması, ülke ekonomisine katkı ve kaynakların etkin kullanımı bağlamında büyük faydalar sağlayacaktır. Şekil 4.1. ve Şekil 4.2 de Eskişehir Toprak Seramik Fabrikası'ndaki fayans üretiminden oluşan atıkların depo sahasındaki görüntüleri verilmiştir.



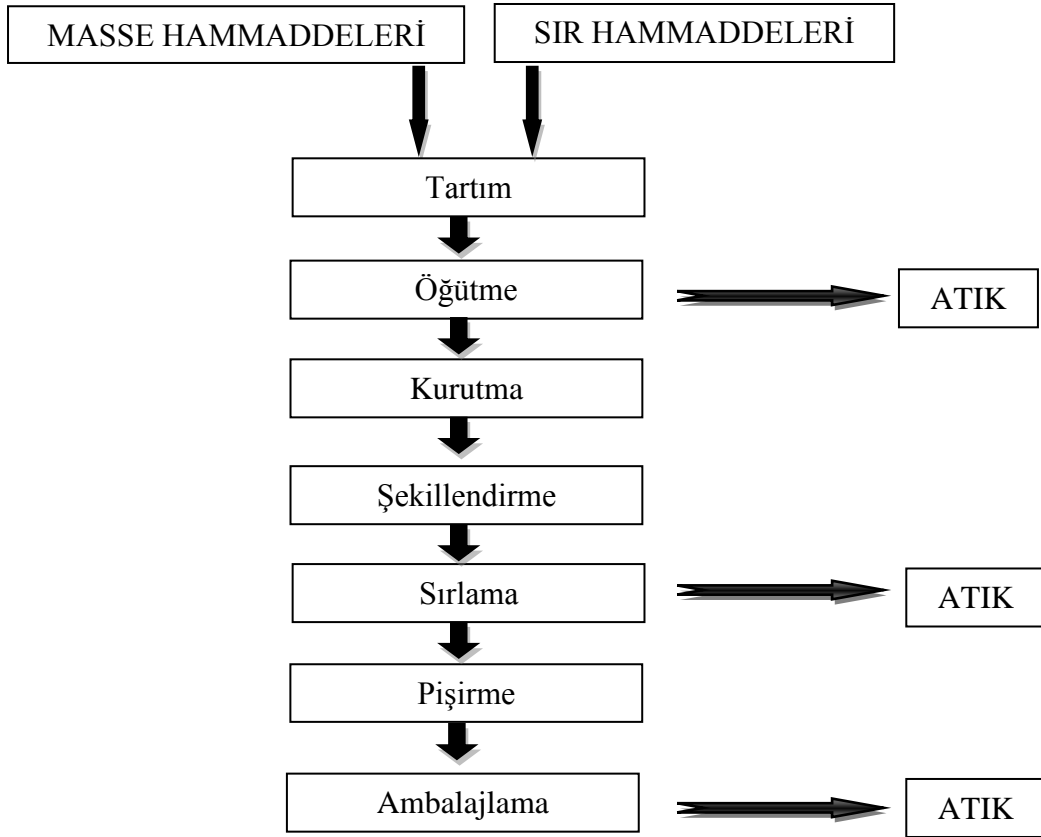


**Şekil 4.1.** Seramik atıkları



**Şekil 4.2.** Eskişehir Toprak Seramik Fabrikası'nın depo sahasından görünüm

Duvar, yer ve sırlı granit karo üretimlerine ait genel üretim süreci Şekil 4.3.' te ana hatlarıyla verilmiştir.



**Şekil 4.3.** Duvar, yer ve sırlı granit karo üretimlerine ait genel üretim süreci

Yapılan çalışmadaki kullanılan duvar karo atıkları, sırlamada imalattan oluşan hatalar ve özellikle de ambalajlama, nakliye esnasında oluşan çizilme, çatlama ve kırılmalar nedeniyle ıskartaya (atık) ayrılan ürünlerden oluşmaktadır.

## BÖLÜM 5

### ASFALT KAPLAMALARDA KULLANILAN AGREGALAR

#### 5.1. Agregalar

Bitümlü sıcak karışım kaplamalarının performansına doğrudan etki eden agreganın görevi yük taşıma kapasitesini sağlamaktır. Agregaların yol yapımında kullanılabilmesi için aşınmaya ve donmaya karşı dirençlerinin, özgül ağırlık, su absorpsiyonu, soyulma değerlerinin, elek analizleri ve dane şekillerinin, sürtünme etkileri ile meydana gelebilecek cıllanmaya karşı olan dirençlerinin bilinmesi gereklidir. Fakat bu özelliklerin hepsinin üstyapıda kullanılacak her malzeme için bilinmesine gerek yoktur. Örneğin temel tabakasında kullanılacak bir agregaya cıllanma deneyinin uygulanmasına gerek yoktur (Konya 2006).

Agregaların sınıflandırılması şu şekildedir:

#### 1) Elde Ediliş Şekline Göre Sınıflama

- ✓ Doğal agregası (Doğal taş agregası): Doğal taş agregası; teraslardan, nehirlerden, denizlerden, göllerden ve taş ocaklarından elde edilen kırılmış veya kırılmamış agregadır.
- ✓ Yapay agregası (Sanayi ürünü agregası): Yüksek fırın cüruf taşı veya yüksek fırın cüruf kumu gibi sanayi ürünü olan kırılmış veya kırılmamış agregadır (Yapay taş veya yapay kum da denir).

#### 2) Dane Boyutlarına Göre Sınıflama

- ✓ İnce Agregası (4,75 mm altı)

- Kum: Kırılmamış tanelerden meydana gelen ince agregadır.
  - Kırma kum: Kırılmış tanelerden meydana gelen ince agregadır. Çakılın kırılması ile elde edilir.
  - Yapay kum: İzabe cürufu veya yüksek fırın cüruf kumundan oluşur.
- ✓ İri Agregada: 4,75mm'lik elek üzerinde ve 12,5mm'lik elek altında kalan agregadır.
- Çakıl: Kırılmamış tanelerden meydana gelen iri agregadır.
  - Kırmataş (mıcır): Kırılmış tanelerden meydana gelen iri agregadır.
  - Yapay taş: Yüksek fırın cüruf taşından yapılır.
- ✓ Taşunu (Filler): 0,075 mm altı tanelerden meydana gelir (Avcı 2009).

### 5.1.1 Esnek Üstyapı Tasarımında Kullanılan Agregaların Özellikleri

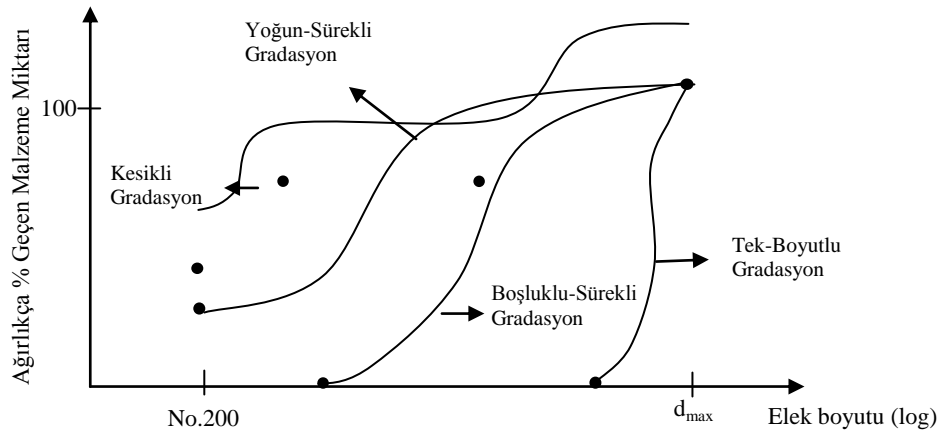
#### 5.1.1.1. Gradasyon

Yol üstyapısını meydana getiren her tabakanın kalınlığı ve performans özellikleri farklıdır. Bu nedenle her tabakada kullanılacak agreganın gradasyonu da farklı olmalıdır.

Agregalar gradasyon yönünden aşağıdaki gibi sınıflandırılır (Yelken, 2009):

- ❖ **Yoğun-Sürekli gradasyon:** Bu tip gradasyon elek analiz grafiğinde sürekli bir eğri çizer. Minimum boşluk (veya maksimum yoğunluk) içermektedir. Yoğun bir gradasyonda en kaba malzemeden en ince malzemeye kadar gradasyon değerleri birbirinin boşluklarını dolduracak şekilde ayarlandığı için agrega karışımının yoğunluğu yüksektir.

- ❖ **Boşluklu-sürekli gradasyon (Açık gradasyon):** Bu tip gradasyon ince agrega içermediğinden karışımın boşluk oranı yüksektir. Bu sebeple drenaj, filtre, vb. amaçlar ile dona duyarlı tabakalar için kullanılırlar. Ayrıca düşük standartlı yolların temel tabakasında da kullanılabilir. Ancak bu tip malzemelerde trafik yükleri altında zamanla sıkışma kaçınılmazdır. Alttemel ve bağlayıcısız granüler temel tabakalarının iyi dren olmaları için elek No.100 ve No.200'den geçen kısım az olmalıdır. Bu nedenle, gradasyonun alt kısmı boşluklu olmalı yani ince malzeme hiç olmamalı veya az olmalıdır.
- ❖ **Tek-Boyutlu gradasyon:** Hemen hemen aynı boyuttaki agregalardan oluşan bu gradasyon tipi, sathi kaplama ve koruyucu-örtü tabakası gibi düşük standartlı yol kaplamalarında kullanılmaktadır.
- ❖ **Kesikli gradasyon:** Bu tip gradasyon belirli bir tane çap aralığı içermediğinden, boşluk oranı yüksektir. Yol inşaatlarında genelde kullanılmamaktadır. Betonlarda ancak belirli limitler dahilinde olmak kaydıyla, kesikli gradasyonun kullanımına izin verilmektedir.



**Şekil 5.1.** Agregada gradasyon tipleri (Tunç 2004)

Üstyapıda tabaka kalınlığı arttıkça, kullanılan agreganın dane boyutu da artar. Kaplama tasarımında kullanılan genel kurala göre; bir kat serilip sıkıştırılmış tabaka kalınlığı, kaplamada kullanılan agreganın maksimum dane boyutunun 1,5 katından az ve 3 katından da fazla olamaz (Ektaş, 2011)

Aşınma tabakalarında ise büyük boyutlu agrega kullanmak yerine gradasyonu daha yoğun agrega grupları tercih edilir. Ancak gradasyon yoğun olunca agregalar arasındaki boşluk azalacağından, burada kullanılan asfalt bağlayıcı için gerekli boşluk miktarı da azalmış olmaktadır. Bu nedenle gradasyonu açmak için bu tabakalarda filler malzeme kullanmak gerekir (Tunç, 2004).

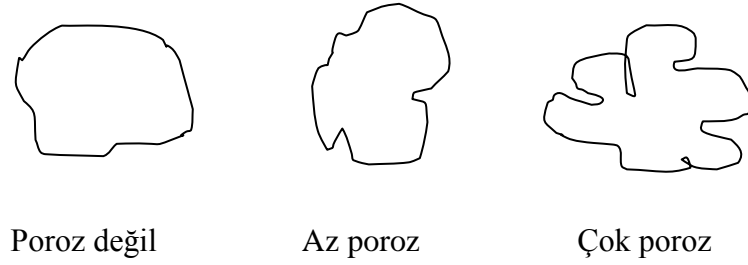
#### **5.1.1.2 Dane şekli ve biçimi**

Kaplamanın performansını belirleyen en önemli faktörlerden biri agreganın şekli ve yapısıdır. Kübik, köşeli ve açısız kenarlı (kırmataş) agregaların asfalt betonu içerisindeki dayanımı ve kenetlenme özelliği; yassı, uzun ve yuvarlak şekle sahip agregalardan (dere agregaları) çok daha fazladır. Trafik yüklerinden kaynaklanan en büyük gerilmeleri ilk karşılayan üst tabakalarda kırmataş kullanılması şartı vardır (Tunç, 2004).

#### **5.1.1.3. Porozite**

Agrega danelerinin porozitesi su emme yeteneğine sahip boşlukların miktarı ile yeterli poroziteye sahip agrega daneleri, bitümün emilmesine olanak sağlayacağından dolayı agrega ile bağlayıcı film tabakası arasında kuvvetli bir adezyon oluşturarak stabilitenin artmasına sebep olmakta ve suyun etkisiyle film tabakasının soyulmasını engellemektedir. Ancak aşırı poroz agregaların özgül ağırlıklarının az olmasından dolayı yoğunluğunun ve dayanım değerinin düşmesine neden olmaktadır. Ayrıca gereğinden fazla asfalt kullanımı sıcak havalarda kumaşleme problemleri yaratmaktadır. Bu nedenle bitümlü sıcak karışımlarda dere

malzemesi gibi poroz olmayan veya aşırı poroziteye sahip agregalar kullanılmamalıdır. Porozite, Şekil 3.7' de görüldüğü gibi, poroz olmayan, az poroz ve çok poroz olmak üzere sınıflandırılır (Yelken, 2009).



**Şekil 5.2.** Agregalarda porozite çeşitleri

#### **5.1.1.4. Sağlamlık (dane dayanımı)**

BSK' larda kullanılan agregalar, istenilen özellikte BSK yapımına elverişli olacak kadar dayanıklı olmalıdır.

Üstyapı kaplamalarında kullanılan agregalar trafik yükleri altında digradasyona karşı direnç göstermelidir. Açık gradasyonlu tabakalar, yoğun gradasyonlu tabakalara göre digradasyona daha elverişlidirler. Esnek kaplamalarda üst katmanlara çıkıldıkça katmanın maruz kaldığı gerilmeler artacağından üst katmanlarda daha yoğun gradasyonlu malzeme tercih edilmelidir (Tunç, 2004).

#### **5.1.1.5. Cilalanma direnci (kaymaya karşı direnç)**

Kaplamanın yüzey yapısı, kaymaya dayanıklı yol kaplama inşaatında ve kayma dayanımının korunmasında önemli olan bir özelliktir.

Aşınma tabakası kaplamadaki en büyük gerilmeleri aldığından bu katmanda kullanılacak agregaların da bu gerilmelere, trafiğin aşındırma etkisine karşı dayanıklı olması istenir.

**Çizelge 5.1.** Düşük kayma direncinin sebepleri ve bunun etkileri (KGM)

<b>DÜŞÜK KAYMA DİRENCİ</b>	
<b>Sebepl</b>	<b>Etki</b>
Fazla bitüm %' si	Kusma, düşük kayma direnci
Agrega gradasyonunun iyi olmaması	Çok düzgün yüzeyli kaplama, suyun yüzeyden drene olması ve düşük kayma direnci
Agrega cilalanma değerinin düşük olması	Pürüzlülüğün azalması ve düşük kayma direnci

(Bitümlü karışımlar laboratuvarı çalışmaları, KGM,2012)

#### **5.1.1.6. Yüzey dokusu**

Agregaların yüzey dokuları, agrega-asfalt adhezyonuna etki eden diğer bir faktördür. Yüzeyi pürüzsüz ve cilalı diye tabir ettiğimiz agregalar asfalt bağlayıcıyı üzerlerinde pek tutmazlar. Bunların soyulma mukavemetleri düşüktür. Kırmataş agregaların yüzeyleri daha pürüzlü yapıya sahip olduğundan kaplamalarda bu agregalar tercih edilir. Bu agregalar cilalı agregalara göre bağlayıcıyla daha iyi bir adhezyon sağlar ve bağlayıcıyı yüzeylerinde daha çok tutarlar. Bu da kaplamanın stabilitesini büyük ölçüde artırır (Tunç, 2004).



## 5.2. Agrega Deneyleri

Agrega için uygulanan bütün deneylerin, agregaların değerlendirilmesinde güvenilir olabilmesi için denenecek numunelerin çok özenle alınmış temsili numuneler olması gerekir. Aksi halde o numune için yanlış değerler bulunacaktır. Bitümlü sıcak karışım kaplamalarında kullanılacak agreganın özelliklerini belirlemek amacıyla aşağıda verilen kalite kontrol deneyleri uygulanır (Konya 2006).

1. Elek Analizi
2. Aşınmaya Dayanıklılık ve Aşınma Kaybı Deneyi (Los Angeles Deneyi)
3. Hava Etkilerine Karşı Dayanıklılık Deneyi
4. Cilalanma Deneyi
5. Su Etkilerine Karşı Dayanıklılık (Soyulma) Deneyi
6. Yassılık İndeksi Deneyi
7. Özgül Ağırlık ve Su Emme (Absorbsiyonu) Deneyi
8. Birim Hacim Ağırlık Deneyi

### 5.2.1. Elek analizi deneyi (TS EN 933-10)

#### 5.2.1.1 Deneyin amacı

Standart deney eleklerinden karışımda kullanılacak agregaların eleme yoluyla dane boyutu dağılımlarının saptanması sağlanır

#### 5.2.1.2 Aletler

**Elekler:** Eleme tek bir elek veya çeşitli nominal göz açıklığı olan elek serisi ile yapılır. Eleklerin en üstünde bir kapak ve altında da bir elek altı bulunur. BSK lar için

kullanılan elekler genellikle yukarıdan aşağıya doğru; 25 mm, 19 mm, 12,5 mm, 9,5 mm, 4,75 mm, 2 mm, 0,425 mm, 0,180 mm, 0,075 mm göz açıklığı olan eleklerdir.

**Terazi:** Numuneleri en az 0,1 gram hassasiyetle tartabilecek bir terazi.

**Etüv:** 165 °C' ye ayarlanabilen ve yeterli büyüklükte bir etüv.



a

b



c

Şekil 5.3. Elekler, etüvler ve terazi

### 5.2.1.3. Denevin yapılışı

- Agrega numunesi iyice karıştırılarak homojen hale getirilir. Numune 110 °C 'ye ayarlı etüvde 24 saat kurutulur ve oda sıcaklığında bekletilerek tartılır ( $W_0$ ).

- Elekler, göz açıklıkları giderek küçülecek şekilde yukarıdan aşağıya doğru sıralanır ve elek sarsma makinesine yerleştirilir ve numune en üstteki eleğin içine koyulup elek sarsma makinesi ile eleme işlemine başlanır. Bu işlem her elek için yaklaşık 2 dakika uygulanır.
- Eleme süresinin yeterli olduğu, herhangi bir elekte sarsma süresinde elekten geçen yaklaşık malzeme miktarlarının, elek üstünde kalan malzeme miktarlarının %1' inden daha az olması ile anlaşılır. Eleme işlemi sonunda her elekte kalan malzeme 0,1 gr hassasiyetteki terazi ile tartılır ( $W_u$ ) (Özen, 2005).

#### **5.2.1.4. Hesaplama**

Elek analizi deneyi sonucunda her elek üstünde kalan malzeme oranı, bütün deney numunesinin ağırlığının yüzdesi olarak şu formülle hesaplanır.

$$S_u = \frac{W_u}{W_0} \times 100$$

Formülde;

$S_u$ : Herhangi bir göz açıklığında, elek üstünde kalan malzeme oranı (%)

$W_u$ : Herhangi bir göz açıklıklı elekte kalan malzeme ağırlığı (gr)

$W_0$ : Deney numunesinin ağırlığı (gr)

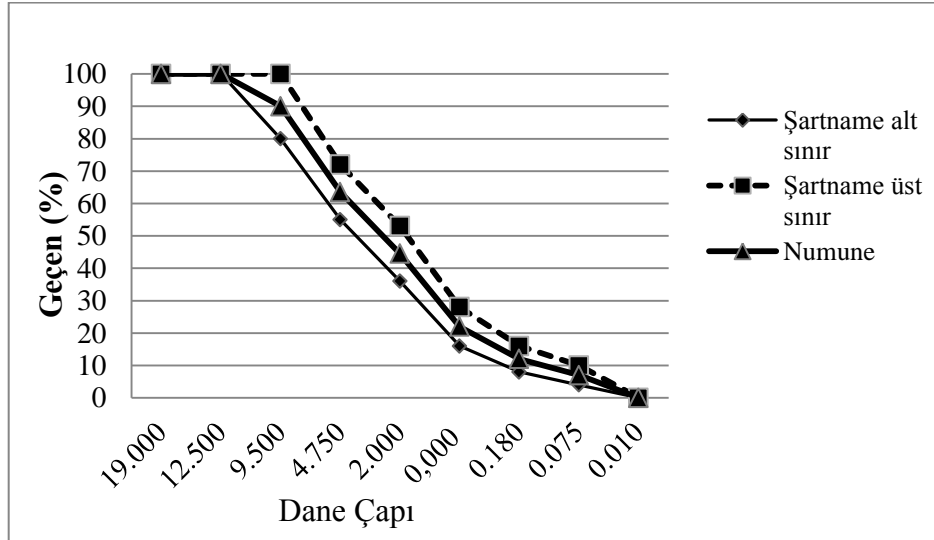
#### **5.2.1.5. Tez kapsamında yapılan elek analizi**

Numuneler aşınma tabakası için hazırlandığından, en büyük agrega dane boyutu 12,5 mm olarak seçilmiştir. Numuneler 1100' er gram olacak şekilde hazırlanmış doğal agrega ve fayans agregası için teknik şartnamedeki alt ve üst sınırların ortalaması

alınmıştır (Şekil 5.4.). Doğal agrega için kullanılan elek analizi değerleri çizelge 5.2.'de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Elek analizi sonuçları

Elek Boyutu (mm)	Gradasyon Sınırları	Geçen Miktar (%)	Kalan Miktar (%)	Kalan Miktar (gr)	Kümülatif Birikim (gr)
19,00	100-100	100	0	0	0
12,50	100-100	100	0	0	0
9,50	80-100	90	10	110	110
4,75	55-72	63,5	36,5	291,5	401,5
2,00	36-53	44,5	55,5	209	610,5
0,425	16-28	22	78	247,5	858
0,180	8-16	12	88	110	968
0,075	4-10	7	93	55	1023
Filler	—	0	100	77	1100



Şekil 5.4. Deneylerde kullanılan numunelerin agrega gradasyonu

Deneylerde kullanılan doğal agrega ve fayans agregası miktarlarının birbirlerine oranları çizelge 5.3. ve çizelge 5.4.' te gösterilmiştir.

**Çizelge 5.3.** Deneylerde kullanılan agrega miktarları (atık miktarı %10 ve %20)

<b>Elek Çapı (mm)</b>	<b>Atık Miktarı (%10)</b>	<b>Numune Miktarı (%90)</b>	<b>Atık Miktarı (%20)</b>	<b>Numune Miktarı (%80)</b>
<b>9,5 (3/8)</b>	11,0	99,0	22,0	88,0
<b>4,75 (# 4)</b>	29,15	262,4	58,3	233,2
<b>2,0 (# 10)</b>	20,9	188,1	41,8	167,2
<b>0,425 (# 40)</b>	24,75	222,8	49,5	198,0
<b>0,180 (# 80)</b>	11,0	99,0	22,0	88,0
<b>0,075 (# 200)</b>	5,5	49,5	11,0	44,0
<b>&lt;0,075</b>	7,7	69,2	15,4	61,6

**Çizelge 5.4.** Deneylerde kullanılan agrega miktarları (atık miktarı %30 ve %40)

<b>Elek Çapı (mm)</b>	<b>Atık Miktarı (%30)</b>	<b>Numune Miktarı (%70)</b>	<b>Atık Miktarı (%40)</b>	<b>Numune Miktarı (%60)</b>
<b>9,5 (3/8)</b>	33,0	77,0	44,0	66,0
<b>4,75 (# 4)</b>	87,45	204,1	116,6	174,9
<b>2,0 (# 10)</b>	62,7	146,3	83,6	125,4
<b>0,425 (# 40)</b>	74,25	173,3	99,0	148,5
<b>0,180 (# 80)</b>	33,0	77,0	44,0	66,0
<b>0,075 (# 200)</b>	16,5	38,5	22,0	33,0
<b>&lt;0,075</b>	23,1	53,8	30,8	46,2

## 5.2.2. Aşınmaya karşı dayanıklılık ve aşınma kaybı deneyi (Los Angeles deneyi) (TS EN 1097-2)

### 5.2.2.1. Denevin amacı

Doğal ve yapay agregaların aşınma direncini belirler. Genelde kaba agregalar üzerinde Los Angeles aşınma aleti (Los Angeles Tamburu) ile tayin edilir. Sonuç % cinsinden kayıp olarak bulunur.

### 5.2.2.2. Gerekli aletler

**Bilyeli tambur:** Deney aleti, içi boş çelik silindirden (tambur) meydana gelmiş bir aşındırma aletidir. Tamburun iç çapı yaklaşık 70 cm, iç uzunluğu yaklaşık 50 cm olmalı, uzunluğu yönündeki eksenini etrafında yatay olarak dönecek şekilde yataklanmış ve dakikada 30-35 devir yapmalıdır.

**Aşındırma bilyeleri:** Dökme demir veya çelikten yapılmış, yaklaşık 4,8 cm çapında, her birinin ağırlığı 390-450 gram arasında olan 12 adet bilyedir.

**a****b**

**Şekil 5.5.** Los Angeles Tamburu ve Aşınma Bilyeleri

### **5.2.2.3. Denevin yapılışı**

- Deneyde kullanılacak kadar agrega numunesi yıkanarak elenir ve tane sınıflarına ayrılır. Her tane sınıfı etüvde kurutulduktan sonra oluşturulmak istenen numune tipi için gerekli olan miktarlara ayrılarak tambura konur ( $W_1$ ).
- Granülometrik sınıfı belirlenen numunenin aşındırma yükü, yani kaç küre kullanılacağı tespit edilir. Tamburun kapağı sıkıca kapatıldıktan sonra hızı dakikada 30-33 dönüş olacak şekilde 100 dönüş yaptırılır. Numune dışarı alınır ve 1,4 mm elekten elenir. Elek üstünde kalan agrega 0,1 gram hassasiyetli terazi ile tartılır ( $W_2$ ).

**Çizelge 5.5. Aşınma deneyi numune tipleri**

<b>Numune Tipi</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>
<b>Bilye Sayısı</b>	11	8	6	12	12	12	11
<b>Bilye ağırlıkları</b>	4575	3325	2500	5000	5000	5000	4575
	±25	±20	±15	±25	±25	±25	±25

- Elek üstünde kalan ve elekten geçen agregalar, bilyeler tekrar tambura konur. Bilyelere A, B, C, D tipi numunelerde ilk 100 dönüş ek olarak 400 dönüş, E, F, G tipi numunelerde ise ilk 100 dönüş ek olarak 900 dönüş daha yaptırılır. Numune dışarı alınır ve 1,4 mm elekten elenir. Elek üzerinde kalan agrega ağırlığı ( $W_3$ ) ölçülür (Özen, 2005).

### **5.2.2.4. Hesaplama**

Kullanılan agreganın aşınma direnci, agreganın 100 ve 500-1000 dönüş sonunda 1,4 mm elekten geçen kısmının, ilk numune ağırlığına oranı aşınma olarak, aşağıdaki formüllerle hesaplanır.

$$a_1 = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 (\%)$$

$$a_2 = \frac{W_1 - W_3}{W_1} \times 100 (\%)$$

Formüllerde;

$a_1$ : 100 dönüş sonundaki aşınma oranı

$a_2$ : A, B, C, D tipi numunelerde 500 dönüş, E, F, G tipi numunelerde 1000 dönüş sonundaki aşınma oranı

$W_1$ : Numunenin etüv kurusu ağırlığı (gr)

$W_2$ : Numunenin 100 dönüş sonundaki aşınmayan kısmının ağırlığı (gr)

$W_3$ : Numunenin 500 veya 1000 dönüş sonundaki aşınmayan kısmının ağırlığı (gr)

➤ Aşınma direnci deneyinde, deney sonuçları arasındaki fark 2 veya daha küçük ise sonuçların ortalaması agreganın aşınma oranı olarak kabul edilir.

### **5.2.2.5. Tez kapsamında yapılan aşınma kaybı deneyi**

B Tipi Numune İçin;

Numune ağırlığı 5000 gram ( $W_1$ )

Bilye Sayısı: 11 (Toplam bilye ağırlığı: 4581 gram)

Agrega İçin;

100 dönüş sonunda 1,4 mm elek üstünde kalan malzeme: 4869 gram ( $W_2$ )

$$(a_1) = \frac{(W_1) - (W_2)}{(W_1)} \times 100 = \frac{5000 - 4869}{5000} \times 100 = 2,62 \Rightarrow \% 2,62$$



500 dönüş sonunda 1.4 mm elek üstünde kalan malzeme: 3791 gram ( $W_3$ )

$$(a_2) = \frac{(W_1) - (W_3)}{(W_1)} \times 100 = \frac{5000 - 3791}{5000} \times 100 = 24,18 \Rightarrow \%24,18$$

Fayans Atığı İçin;

100 dönüş sonunda 1.4 mm elek üstünde kalan malzeme: 4766 gram ( $W_2$ )

$$(a_1) = \frac{(W_1) - (W_2)}{(W_1)} \times 100 = \frac{5000 - 4766}{5000} \times 100 = 4,68 (\%)$$

500 dönüş sonunda 1.4 mm elek üstünde kalan malzeme: 3953 gram ( $W_3$ )

$$(a_2) = \frac{(W_1) - (W_3)}{(W_1)} \times 100 = \frac{5000 - 3953}{5000} \times 100 = 20,94 \Rightarrow \%20,94$$

- ❖ KTŞ' de agregadaki aşınmanın ağırlıkça %35' ten küçük olması istenmektedir. Geleneksel agrega ve fayans agregalar için tespit edilen değerler şartname sınırı içerisinde kalmaktadır.

### **5.2.3. Hava etkilerine karşı dayanıklılık deneyi (TS 3449; TSE CEN/TS 12390-9)**

#### **5.2.3.1. Deneyin amacı**

Ülkemizdeki gibi don etkisinin sık sık yaşandığı bölgelerde agregaların dayanıklı olması, parçalanmaması gerekmektedir. Bu deney metodu agregaların doymun sodyum sülfat ( $Na_2SO_4$ ) veya magnezyum sülfat ( $MgSO_4$ ) çözeltileri ile parçalanmaya karşı dayanıklılığının belirlenmesini sağlar.

### **5.2.3.2. Gerekli aletler**

**Deney elekleri:** Standart deney elekleri

**Terazi:** 2000 g çekerli 0,1 gram hassasiyette terazi

**Donma çözülme kabini:** Düşey ve yatayda hava dolaşımı sağlayan kabin



**Şekil 5.6.** Donma çözülme kabini

**Etüv:** Sıcaklığı 110 °C' de sabitleyebilen hava dolaşımli bir etüv

**Su:** Deiyonize veya damıtık su. (İşlemin laboratuvar ortamında daha kısa sürede gerçekleşmesi istenirse, su yerine sodyum ve magnezyum sülfat çözeltileri de kullanılabilir)

**Metal kutular:** Kaynaklı veya dikişsiz çekilmiş 0,6 mm et kalınlığına sahip korozyona dayanıklı metal malzemedden yapılmış, 2000 ml kapasiteli, 120 mm ilâ 140 mm' lik iç çap ve 170 mm ilâ 220 mm' lik iç yüksekliğe sahip olan metal kutular.

### **5.2.3.3. Denevin yapılışı**

- Deney numuneleri, damıtık veya deiyonize su içerisinde bulunur. Metal kutulardaki, su seviyesi deney boyunca numunenin en az 10mm üzerinde

tutulacak şekilde ayarlanıp kutuların ağızları kapatılır.  $20 \pm 3$  °C' de,  $24 \pm 1$  saat süreyle atmosfer basıncı altında tutulur.

➤ Her taraftan eşit şekilde ısı alınmasını sağlamak amacıyla, metal kutular ile dolabın yan duvarları arasındaki mesafenin 50mm' den az olmamasına ve kutuların birbirine değmemesine dikkat ederek, deney numunelerinin içinde bulunduğu metal kutular dolaba yerleştirilir. Sonraki işlemler şu şekildedir:

1. Dolaptaki numuneler, 10 defa donma-çözülme döngüsüne tâbi tutulur. Sıcaklık,  $150 \pm 30$  dakikada  $20 \pm 3$  °C' den 0 (sıfır) °C' ye düşürülür ve  $210 \pm 30$  dakika süreyle 0 °C' de tutulur.
2. Sıcaklık,  $180 \pm 30$  dakikada 0 (sıfır) °C' tan  $-17,5 \pm 2,5$  °C' a düşürülür ve en az 240 dakika süreyle  $-173,5 \pm 2,5$  °C' ta tutulur.
3. Deney boyunca, hava sıcaklığının,  $-22$  °C'nin altına düşmesine izin verilmemelidir.
4. Her bir döngü tamamlandıktan sonra, kutu muhtevası, yaklaşık  $20$  °C' deki suya batırılmak suretiyle çözülür. Sıcaklık,  $(20 \pm 3)$  °C' a ulaştığı anda, çözme işlemi hemen hemen tamamlanmış sayılır.
5. Her bir çözme aşaması tamamlandıktan sonra, kutular  $(20 \pm 3)$  °C' ta ki suda en fazla 10 saat süreyle tutulur. Her bir donma-çözülme döngüsü, 24 saat içinde tamamlanmalıdır. Deney sonunda numune tartılır ( $M_2$ ) (Gürer 2005; Özen, 2005).

#### **5.2.3.4. Hesaplama**

Donma çözülme deneyi sonrası kütlece yüzde kaybı (F), aşağıdaki eşitlikten hesaplanır

$$F = \frac{(W_1) - (W_3)}{(W_1)} \times 100 (\%)$$

Bu formülde;

F: Don kaybı oranı (%)

$W_1$ : Numunenin deney başlangıcındaki etüv kurusu ağırlığı (gr)

$W_2$ : Numunenin deney sonundaki ağırlığı (gr)

### **5.2.3.5. Tez kapsamında yapılan hava etkilerine karşı dayanıklılık deneyi**

4.75mm üstü fayans agregası için;

$M_1 = 298$  gr (Deneyden önceki numune kuru ağırlığı)

$M_2 = 289$  gr (Deneyden sonraki numune kuru ağırlığı)

$$\text{Donma kaybı} = \frac{(M_1) - (M_2)}{(M_1)} \times 100 = \frac{298 - 289}{298} \times 100 = 3,302 (\%)$$

### **5.2.4. İri agrega için özgül ağırlık ve su emme deneyi (TS 3526; ISO 6783 NEQ)**

#### **5.2.4.1. Denevin amacı**

İri agregaların (4.75 mm elek üzeri) özgül ağırlık ve su emme yüzdesi tayini amacıyla yapılır.

#### **5.2.4.2. Gerekli aletler**

**Terazi:** 20 kg çekerli, 1 gr duyarlı ve su içinde de tartım yapabilen bir terazi.

**Kafes örgülü sepet:** 4 mm göz açıklı elek telinden yapılmış bir sepet.

**Kova:** Tel sepetin sığabileceği büyüklükte bir kova.

**Bezler:** Havlu veya benzeri malzemedan yapılmış bezler.

**Özgül ağırlık sehpası:** Su içinde tartım yapmayı sağlayan alet



Şekil 5.7. Özgül ağırlık sehpası

#### **5.2.4.3. Denevin Yapılışı**

- Denev numunesi su içinde 24 saat bekletildikten sonra çıkarılır, yüzeyi kurutulur ve tartılır (c). Doygun kuru yüzey halindeki numune tartıdan hemen sonra kafes örgülü tel sepete konarak su dolu kovanın içine su yüzeyinden en az 5 cm daha aşağıda kalacak şekilde daldırılır. Su yüzüne çıkarılmadan kovanın içinde en az 10 kez sertçe kaldırılıp indirilerek sağa sola sallanarak taneler arasında kalabilecek hava kabarcıkları çıkarılır.
- Sepetin kova kenarına temas etmemesine dikkat edilerek ve özel düzenle terazi kafesinin ortasına yerleştirilerek dovgun malzemenin sudaki ağırlığı bulunur (b).
- Numune sudan çıkarılır ve etüv kurusu durumuna getirilir. Oda sıcaklığına kadar soğutulur ve havadaki kuru ağırlığı kaydedilir (a) (Özen,2005).

#### **5.2.4.4. Hesaplama**

İri agreganın özgül ağırlığı ve su emme oranı sırası ile aşağıdaki formülle yüzde bir hanesine yuvarlatılarak hesaplanır.

$$\text{Özgül ağırlık} = \frac{A}{A - B} \text{ (gr/cm}^3\text{)}$$

$$\text{Su emme oranı} = \frac{C - A}{A} \times 100 \text{ (\%)}$$

Bu formülde;

A : Numunenin havadaki ağırlığı (gr)

B : Numunenin sudaki ağırlığı (gr)

C : Numunenin doymun yüzey kuru ağırlığı (gr)

#### **5.2.4.5. Tez kapsamında yapılan iri agrega özgül ağırlık ve su emme deneyi**

Numune kuru ağırlığı = Agrega:1989,1 gram

Numune doymun yüzey kuru ağırlığı= 2000,6 gram

$W_1 = 1989,1$  gram (Numunenin havadaki ağırlığı)

$W_2 = 2000,6$  gram (Numunenin doymun yüzey kuru ağırlığı)

$W_3 = 1268,2$  gram (Numunenin sudaki ağırlığı)

İri agrega için,

$$\text{Özgül ağırlık} = \frac{W_1}{W_1 - W_3} = \frac{1989,1}{1989,1 - 1268,2} = 2,7103 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Su emme oranı} = \frac{2000,6 - 1989,1}{1989,1} = 0,00578 = \% 0,578$$

İri fayans atığı için,

Numune kuru ağırlığı= 996,8 gram

Numune doygun yüzey kuru ağırlığı = 1090 gram

$W_1 = 996.8$  gram (Numunenin havadaki ağırlığı)

$W_2 = 1090$  gram (Numunenin doygun kuru yüzey ağırlığı)

$W_3 = 565.3$  gram (Numunenin sudaki ağırlığı)

$$\text{Özgül ağırlık} = \frac{W_1}{W_1 - W_3} = \frac{996.8}{996.8 - 565.3} = 2,31 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Su emme oranı} = \frac{1090 - 996.8}{1090} = \frac{93.2}{1090} = 0,0855 = \% 8,55$$

- ❖ KTS' de agregaların su emme oranının ağırlıkça %2,5 in altında olması istenmektedir. Geleneksel agrega su emme oranı şartnamedeki değeri sağlamakta, ancak fayans agregaları bu sınırı aşmaktadır. Boşluklu yapıya sahip olmasından dolayı su absorpsiyonunun yaklaşık %10 olması fayans agregalarının fiziksel özellikleri arasında yer almaktadır.

### 5.2.5. İnce agrega için özgül ağırlık ve su emme deneyi (TS 3526; ISO 6783 NEQ)

#### 5.2.5.1. Denevin amacı

İnce agregaların (4.75 mm elek altı) özgül ağırlık ve su emme yüzdelerinin tayininde kullanılır.

#### 5.2.5.2. Gerekli aletler

**Terazi:** 2 kg çekerli ve 0,1 gr hassasiyette bir terazi

**Tablalı ısıtıcı veya hava üfleli ısıtıcı:** Deney numunesinin yakın çevresindeki sıcaklığı  $105 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$  çıkarabilecek, gaz veya elektrik ısıtmalı hava üfleli bir ısıtıcı

**Cam levha:** Ölçü kabının üstünü kapatabilecek büyüklükte bir cam levha

**Ölçü kabı (Piknometre):** 500 veya 1000 ml' lik cam bir ölçü kabı

**Sıkıştırma çubuğu:** Yaklaşık olarak 25 mm çap ve 350 gr ağırlığında, pirinçten yapılmış, ucu yuvarlatılmamış, bir çubuk.

**Metal kalıp:** Üst iç çapı 38 mm, alt iç çapı 89 mm ve yüksekliği 73 mm olan kesik koni biçimli metal bir kalıp.

**Bezler:** Havlu veya benzeri kurutma bezleri, mala, tavalar, vantilatör, desikatör, termometre (bir °C bölüntülü).

### **5.2.5.3. Denevin Yapılışı**

- Deney numunesi tartıldıktan (f) sonra su içerisinde 24 saat bekletilir. İnce taneleri kaybolmayacak şekilde suyu süzülerek akıtılır ve bir tava içine yayılır. Tava, tablalı ısıtıcı üzerine konarak kurutulur. Numunenin çok kurumamasına dikkat edilmelidir. Doygun kuru yüzey durumuna getirilmiş olan numune tartılır ve doygun kuru yüzey ağırlığı kaydedilir (e).
- Etüv kurusu durumuna getirilir. Bir desikatöre konarak oda sıcaklığına gelinceye kadar soğutulur. Cam ölçü kabı (Piknometre) tartılır (a). Soğumuş numune cam ölçü kabına doldurulur ve birlikte tartılır (c). Ölçü kabının daha önce saptanmış olan ağırlığı bu tartıdan çıkarılarak numunenin kuru ağırlığı belirlenir.
- Ölçü kabı yaklaşık 20 °C' deki su ile yarıya kadar doldurulur ve düz bir yüzey üzerinde hafif hafif vurularak ve aynı zamanda döndürülerek hava kabarcıklarının çıkması sağlanır.
- Bir saat beklendikten sonra ölçü kabı yaklaşık 20 °C' deki su ile 500 ml (veya 1000 ml) işaret çizgisine kadar doldurulur ve tartılır (d). Bu ağırlıktan numune kuru ağırlığı çıkarılarak "cam ölçü kabı + su ağırlığı" bulunur (b) (Özen, 2005).



#### **5.2.5.4. Hesaplama**

İnce agreganın özgül ağırlığı ve su emme oranı sırası ile aşağıdaki formüller ile yüzde bir hanesine yuvarlatılarak hesaplanır.

$$\text{Özgül ağırlık} = \frac{C - A}{(B - A) - (D - C)}$$

$$\text{Su emme (\%)} = \frac{E - F}{F} \times 100$$

Bu formüllerde;

A: Piknometre boş ağırlığı (gr)

B: Piknometrenin su ile dolu ağırlığı (gr)

C: Piknometrenin numune ile dolu ağırlığı (gr)

D: Piknometrenin su ve numune ile dolu ağırlığı (gr)

E: Numunenin doymun yüzey kuru durumundaki ağırlığı (gr)

F: Numunenin etüv kurusu ağırlığı (gr)

#### **5.2.5.5 Tez kapsamında yapılan ince agreganın için özgül ağırlık ve su emme deneyi**

İnce agreganın için;

Numune kuru ağırlığı= Agreganın: 499,35 gram

Numune doymun kuru yüzey ağırlığı = 525,19 gram

a= 239,61 gram (Piknometre boş ağırlığı)

b= 1273,87 gram (Su ile dolu piknometre ağırlığı)

c= 738,96 gram (Piknometre + kuru malzeme)

d= 1589,82 gram (Piknometre + su + kuru malzeme)

$$\text{Özgül ağırlık} = \frac{c-a}{(b-a)-(d-c)} = \frac{738,96-239,61}{(1034,26)-(850,86)} = \frac{499,35}{183,4} = 2,723 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Su emme oranı} = \frac{510,19-499,35}{499,35} = \frac{10,84}{499,35} = 0,021708 = \% 2,1708$$

İnce fayans için;

A = 239,61 gram (Piknometre boş ağırlığı)

B = 1258,77 gram (Su ile dolu piknometre ağırlığı)

C = 739,59 gram (Piknometre + kuru malzeme)

D = 1558,65 gram (Piknometre + su + kuru malzeme)

E = 542,2 (Numunenin doygun yüzey kuru durumundaki ağırlığı)

F = 495,3 gr(Numunenin etüv kurusu ağırlığı)

$$\frac{C-A}{(B-A)-(D-C)} = \frac{499,8}{(1019,16)-(819,06)} = \frac{499,8}{200,1} = 2,4977 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Su emme oranı} = \frac{E-F}{F} = \frac{542,2-495,3}{495,3} = \frac{1,2}{110,3} = 0,0947 = \% 9,47$$

## 5.2.6. Sıkışık ve gevşek birim hacim ağırlık deneyleri (TS 3529)

### 5.2.6.1 Deneyin amacı

Agregaların sıkışık ve gevşek durumlarındaki birim hacim ağırlıklarının hesaplanması işlemidir.

### **5.2.6.2 Gerekli aletler**

**Terazi:** 20 kg çekerli, 1 gr duyarlı bir terazi.

**Şişleme çubuğu:** Çelikten yapılmış, 600 mm boyunda, 16 mm çapında, ucu yarım küre biçimli düz çubuk.

**Ölçü kapları:** Belli hacimde, silindir şeklinde, su geçirmez, deforme olmayacak kadar dayanıklı metalden yapılmış, her iki tarafta kulpları bulunan kaplar.



**Şekil 5.8.** Ölçü kapları

### **5.2.6.3. Deneyin Yapılışı**

**Sıkışık birim hacim ağırlığı için;**

- Ağırlığı tartılmış ve hacmi belli olan bir kaba üçte biri kadar numune doldurulur. Yüzeyi her bir tarafına 25 vuruş yapılarak sıkıştırma yapılır.
- Sıkıştırma işlemi kap ikinci defa 2/3' ü ve üçüncü defa tamamı taşarcasına doldurularak oluşturulan ikinci ve üçüncü tabakalar için de 25'er defa şişlenerek sıkıştırılır.
- Ölçü kabı üst yüzü sıyırılarak düzeltilir. Daha sonra ölçü kabı agregası ile tartılır.

### **Gevşek birim hacim ağırlığı için;**

- Ağırlığı tartılmış ve hacmi belli olan bir ölçü kabına kap üst yüzünden 5 cm' den fazla yükseğe kaldırılmamasına dikkat edilerek numuneler doldurulur.
- Ölçü kabı üst yüzeyindeki iri agrega elle sıyırılarak düzlenir, sıyırma düzleminden taşan iri agrega varsa yerine elle ince agrega ilave edilir.
- Ölçü kabı içerisindeki agrega ile birlikte tartılır (Gürer, 2005).

#### **5.2.6.4. Hesaplama**

Sıkışık birim hacim ağırlığı aşağıdaki formülden hesaplanır:

$$\Delta_s = \frac{W_2 - W_1}{V} (kg/m^3)$$

Fomülde;

$\Delta_s$  : Sıkışık birim hacim ağırlığı (kg / m<sup>3</sup>)

$W_2$  : Sıkışık agrega ile dolu ölçü kabı ağırlığı (gr)

$W_1$  : Ölçü kabı boş ağırlığı (kg)

$V$  : Ölçü kabının iç hacmi (m<sup>3</sup>)

Gevşek birim hacim ağırlığı ise aşağıdaki formülden hesaplanır :

$$\Delta_g = \frac{W_2 - W_1}{V} (kg/m^3)$$

Formülde;

$\Delta_g$  : Gevşek birim hacim ağırlığı (kg / m<sup>3</sup>)

$W_2$  : Gevşek agrega ile dolu ölçü kabı ağırlığı (gr)

$W_1$  : Ölçü kabı boş ağırlığı (kg)

$V$  : Ölçü kabının iç hacmi (m<sup>3</sup>)

### **5.2.6.5. Tez kapsamında yapılan sıkışık ve gevşek birim hacim ağırlığı deneyi**

Numune ağırlığı: 6600 gram

$B_s$ =Sıkışık birim ağırlık ( $\text{kg/m}^3$ )

$V$ = Ölçü kabı iç hacmi ( $\text{m}^3$ )

$W_1$ =Ölçü kabı boş ağırlığı (kg)

$W_2$ = Agregaya ile dolu ölçü kabı ağırlığı (kg)

Not: Gevşek birim hacim ağırlıkta numuneye şişleme işlemi uygulanmamıştır.

#### **Sıkışık birim hacim ağırlık ;**

Agrega için;

$$W_1 = 4,2575 \text{ kg} \quad W_2 = 9,9936 \text{ kg} \quad V = 3 \text{ dm}^3 = 0,003 \text{ m}^3$$

$$B_s = \frac{W_2 - W_1}{V} = \frac{9,9936 - 4,2575}{0,003} = 1912,03 \text{ kg/m}^3$$

#### **Gevşek birim hacim ağırlık**

Agrega için;

$$W_1 = 4,2589 \text{ kg} \quad W_2 = 9,5270 \text{ kg} \quad V = 3 \text{ dm}^3 = 0,003 \text{ m}^3$$

$$B_g = \frac{W_2 - W_1}{V} = \frac{9,5270 - 4,2589}{0,003} = 1756,03 \text{ kg/m}^3$$

### **5.2.7. Yassılık indeksi tayini (TS EN 933-3:2012(EN))**

#### **5.2.7.1. Denevin amacı**

Bu deney, kalınlığı, nominal boyutunun 0.6'sından daha küçük olan agrega danelerinin yassı olarak sınıflandırılmasına dayanan bir deneydir. İki elek arasında kalan danelerin nominal boyutu, bu iki elek açıklığının aritmetik ortalamasıdır (Ilıcalı vd., 2001).

#### **5.2.7.2 Gerekli aletler**

**Teraziler:** Biri en az 15 kg kapasitede ve 1 gram hassasiyette, diğeri 2-3 kg kapasitede 0,1 gram hassasiyette 2 adet terazi.

**Yassılık indeksi şablonu:** Belirli boyutlardaki malzemelerin deneneceği, üzerinde elipsoit açıklığa sahip deliklerin bulunduğu şablondur.

**Elekler:** Yassılık indeksi tayini elek seti.

#### **5.2.7.3. Denevin Yapılışı**

- Numuneye öncelikle elek analizi yapılır. Elek analizi sonucu malzemenin dane boyutu dağılımı 63 mm elekten geçip 6,3 mm elek üzerinde kalacak şekilde ayarlanır. Yassılık elek seti kullanılarak her elek arasında en az yine tablodaki miktarlarda numune elenerek deneye hazırlanır.
- Düzeltilmiş dane boyutu dağılımına göre iki elek arasında kalan malzeme oranı %5 'ten az ise o aralıktaki malzeme deneye alınmaz ve yassı dane oranı sıfır olarak kabul edilir.

- Her elek arasında kalan malzeme, kendi elek açıklığına karşılık gelen şablondan geçip geçmediği, el yordamıyla teker teker denenir ve her grubun yassı tanelerinin ağırlığı tartılarak kaydedilir (Özen, 2005).

**Çizelge 5.6.** Deneye alınacak minimum malzeme miktarı ve boyutları

Elek Açıklıkları (mm)	Her Fraksiyon için Minimum Malzeme Miktarı (kg)
63-50	25
50-37,5	18
37,5-25	8
25-19	2,5
19-12	1
12-9,5	0,5
9,5-6,3	0,25

#### **5.2.7.4. Hesaplama**

Aşağıda verilen formülde gösterilen şekilde her fraksiyonun yassı dane yüzdesi, ayrı ayrı hesaplanır. Her fraksiyona ait yassı dane yüzdesi, o fraksiyonun düzeltilmiş gradasyon yüzdesi ile çarpılarak gerçek yüzde hesaplanır. Her fraksiyona ait yüzdelere toplamı, malzemenin yassılık indeksini verecektir.

$$\text{Yassı dane yüzdesi} = \frac{W_2 \times 100}{W_1} (\%)$$

Bu formülde;

$W_1$ : Deneye alınan malzeme ağırlığı (gr)

$W_2$ : Deneyde bulunan yassı malzeme ağırlığı (gr)

## 5.2.8. Cilalanma deneyi (TS EN 1097-2)

### 5.2.8.1. Denevin amacı

Bu deneydeki amaç, aşınma tabakasındaki agregaların yol üzerinden akan trafik etkisiyle aşınarak ne dereceye kadar cilalanacaklarını laboratuvarda kısa bir zamanda tayin etmektir.

### 5.2.8.2 Gerekli aletler

**Terazi:** Deney numunesi ve aşındırıcı malzemeyi, deney kısmı kütlesinin % 0,1' ine karşılık gelen doğrulukla tartabilen.

**Elek seti:** 1,6mm, 8,0mm, 10mm, 11.2mm (veya 12,5mm) ve 14,0 mm göz açıklıklı.

**Hava dolaşımli etüv:** Sıcaklığı (110 ± 5) °C' ta tutulabilen.

**Uygun gereç:** Elenmiş numuneyi yıkamak için.

**Uygun donanım:** Bir deney kısmı elde etmek amacıyla ve laboratuvar numunelerinin EN932-2'ye uygun olarak azaltılması için donanım.

**Ölçülü cam silindir:** (2,5 ± 0,05) L suyu ölçebilen silindir.

### 5.2.8.3. Denevin Yapılışı

- Her bir deney numunesi, ayrı bir tamburun içine yerleştirilir ve tamburlara, 5000 gr'lık (± 5 gr) bir yük oluşturmak için yeterli miktarda çelik bilye ilâve edilir.
- Her birine 2,5 L (± 0,05 L) su ilâve edilen tamburlar, (100 ± 5) devir / dk. hızla (12000 ± 10) devir tamamlanıncaya kadar döndürülür.
- Deney sonrasında, oluşabilecek agrega kaybı olmamasına dikkat edilerek, agrega ve çelik bilyeler bir kaptan toplanır.



- Tüm malzeme ve yıkama suları, 8 mm göz açıklıklı koruyucu bir elek ile korunan 1,6 mm göz açıklıklı elek üzerine dökülür ve dökülen malzeme, temiz su ile yıkanır.
- Agregataneleri elle veya elek üzerindeki bilyeler mıknatıs kullanılarak agregadan ayıklanır.
- 8 mm göz açıklıklı koruyucu elekte tutulan agregataneleri ve 1,6 mm göz açıklıklı elekte tutulan agregataneleri de aynı tepsi içerisine dökülür. Tepsi ve içerisindeki malzeme, etüvde,  $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$  ta kurutulur. 1,6 mm göz açıklıklı elekte tutulan kütle miktarı (m), en yakın grama yuvarlatılarak kaydedilir (Özen, 2005).

#### **5.2.8.4. Hesaplama**

Her bir deney numunesi için mikro-deval katsayısı (MDE), 0,1 birim yaklaşımla aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanır. İki deney numunesinden elde edilen değerler kullanılarak, mikro-deval katsayısının ortalama değeri hesaplanır. Hesaplanan ortalama değer, laboratuvara teslim edilen numunenin mikro-deval katsayısı olarak kaydedilir. Ortalama değer, en yakın tamsayı olarak ifade edilir.

$$\text{MDE} = \frac{500 - m}{5}$$

Bu formülde;

MDE: Mikro deval katsayısı (yaş olarak)

m: 1,6 mm açıklıklı elek üzerinde tutulan malzeme kütlesi (gr)

Tez kapsamında yapılan deneylerin sonuçları bir tablo halinde gösterilirse;

**Çizelge 5.7.** Tez kapsamında yapılan agrega deney sonuçları

Malzeme özelliği	Deney sonucu				İlgili standart	İstenilen sınırlar
	Taze Agregası		Atık fayans			
	İnce	Kaba	İnce	Kaba		
Özgül ağırlık ( $gr/cm^3$ )	2,723	2,71	2,498	2,31	TS3526	—
Su emme (%)	2,17	0,58	9,47	8,55	TS3526	< 2
Aşınma kaybı (%)	24,18		20,94		TS EN 1097-2	< 30
Donma-Çözülme kaybı (%)	4,05		3,302		ASTM C 131 TS 3694	< 10

## BÖLÜM 6

### BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIMLARDA KULLANILAN BAĞLAYICILAR

#### 6.1.Bitümlü Bağlayıcılar

Bitümün, kimyasal bileşimi oldukça karışık ve değişken bir malzeme olup petrolün destilasyonundan veya doğal yatlardan elde edilir. Buna belirli granülometrilere agrega eklenerek bir hidrokarbon olan BSK oluşturulur. Asfalt; yolların, hava alanlarının kaplanmasında, çatı izolasyonunda, su ile ilgili olan yapılarda su geçirimsizliğini sağlamada kullanılabilir. Bitüm malzemesi, katı, kahverengi-siyah, yoğunluğu l'e yakın, 50 ile 100°C arasında yumuşayan, petrol eterinde erimeyen, ama karbon sülfürde eriyen bir maddedir. Bilinen en eski maden yatakları Ürdün vadisinde (Yahuda bitümü) ve Lût gölü sahillerindedir. Fransa'da Pyrimont ve Seyssel'de (Ain), Gard ile Puy-de-Dome bölgelerinde bulunur. Bitüm yönünden zengin olan kalkerlere Antiller' de (Trinidad gölü), Venezuela' da, Küba' da rastlanır. Asfaltın ve karbon adlı hidrokarbonlardan meydana gelen bitüm, ham petrolün en ağır kısmıdır; ya çok düşük bir basınç altında damıtılarak veya bir çökeltim yoluyla çıkarılır.

**Çizelge 6.1.** Yol yapımında kullanılan kaplama sınıfı bitümün özellikleri (KGM, 2006)

DENEY ADI	Standart	Birim	Sınır Değerler
Penetrasyon, 25°C	TS EN 1426	1/10 mm	50/70, 70/100, ...
Yumuşama Noktası	TS EN 1427	°C	46 - 54
Düktilite, 25°C	TS 119	cm	100 (en küçük.)
Parlama Noktası	TS EN ISO 2592	°C	230 (en büyük.)
Yanma Noktası	TS EN ISO 2592	°C	270 (en küçük)
İ. F. Hal. Isıtma. Kaybı	TS 121	%	0,5 (en büyük)
Özgül Ağırlık, 25°C	TS 1013 EN ISO 3675	kg/m <sup>3</sup>	1,0 - 1,1

**Çizelge 6.2.** Asfalt çimentolarının katılık ve viskozite sınıflandırılması (KGM, 2006)

<b>Penetrasyon (25°C, 100gr, 5 saniye)</b>	<b>Viskozite (60°C, Poise)</b>	<b>Asfalt Tipi (Penetrasyon Sınıflaması)</b>	<b>Asfalt Tipi (Viskozite Sınıflaması)</b>
<b>40</b>	4000±800	40-50 Pen, AC	AC-40
<b>60</b>	2000±400	60-70 Pen, AC	AC-20
<b>80</b>	1000±200	85-100 Pen, AC	AC-10
<b>140</b>	500±100	120-150 Pen, AC	AC-5
<b>220</b>	250±50	200-300 Pen, AC	AC-2,5

## 6.2. Bağlayıcı deneyleri

### 6.2.1. Penetrasyon deneyi (TS EN 1426)

#### 6.2.1.1 Deneyin amacı

Yarı katı veya akıcı olmayan bağlayıcıların kıvamlarının ölçülmesi penetrasyon deneyi ile yapılmaktadır. Bir iğnenin, belli bir yük altında, belirli bir sıcaklıktaki bağlayıcıya belli bir süre içerisindeki batma miktarını tayin etmeye yarayan bir deneydir.

#### 6.2.1.2 Gerekli aletler

**Penetrasyon cihazı (Penetrometre):** Kalibre kontrolü yapılmış ve standartlara uygun, otomatik penetrasyon cihazı.

**Penetrasyon iğnesi:** TS 2535 e uygun martensitik paslanmaz çelikten yapılmış, tam sertleştirilmiş, temperlenmiş ve parlatılmış Rockwell sertliği C54-C60 arasında olan iğne.

**Numune kabı:** Cam veya metalden mamul silindirik biçimli kap. Numune kabının derinliği 35 mm altında olmamalı, iç çapı ise en az 55mm olmalı ve 70mm'yi geçmemelidir.

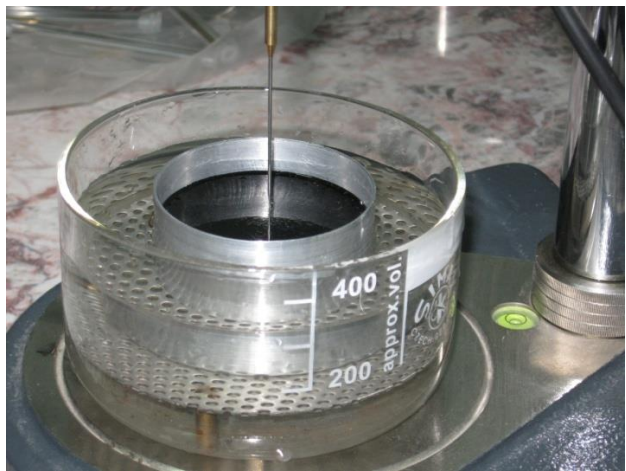
**Aktarma kabı:** En az 350 cm<sup>3</sup> kapasiteli ve numune kabının tamamen su ile çevrilmesini sağlayacak olan kaptır.

### **6.2.1.3. Deneğin Yapılışı**

- Penetrometre düzgün bir yere yerleştirilir ve gösterge sıfıra getirilir. (Numune istenen 25 °C sıcaklıkta olmalıdır).
- İğne istenilen ağırlıkta hazırlanmış (genellikle 100 gr) numune yüzeyine ancak degecek şekilde ayarlanır.
- İğne belirli bir zaman aralığında serbest bırakılır.
- Genellikle 5 sn'lik zaman bitiminde penetrasyon değeri okunur.
- Kabın kenarından ve birbirinden 1'er cm'lik uzaklıkta en az 3 okuma yapılır. Bu okumalar en kısa zamanda yapılmalıdır. İğne, her seferinde uygun bir çözücü ile (Karbon tetra klorür, tri klor etilen, benzin) ısıtılmış bezle silinir. Sonra kuru bezle temizlenir (Gürer, 2005)



a



b

**Şekil 6.1. Penetrasyon deney aleti**

Normal yol yapımlarında kullanılan asfaltların penetrasyonu 30 ile 300 arasında değişir. Penetrasyonu aynı olan iki asfalttan yumuşama noktası yüksek olan sığağa daha dayanıklıdır. (Umar ve Ağar, 1991).

#### **6.2.1.4. Hesaplama**

Kabul edilebilir okumaların (milimetrenin onda biri cinsinden) aritmetik ortalaması en yakın tam sayıya yuvarlanarak penetrasyon değeri olarak alınır.

**Çizelge 6.3.** Ölçümler arasında olabilecek en büyük fark

<b>0.1 mm olarak penetrasyon</b>	<b>&lt;49</b>	<b>50-149</b>	<b>150-249</b>	<b>&gt;250</b>
<b>En büyük fark</b>	2	4	6	8

#### **6.2.2. Yumuşama noktası deneyi (TS EN 1427)**

##### **6.2.2.1. Denevin amacı**

Bu deney bitümlü bağlayıcılarda kıvamlılığın tayin edilmesi amacıyla yapılmaktadır.

##### **6.2.2.2 Gerekli aletler**

**Isıtıcı:** Otomatik veya yarı otomatik deney aleti.

**Halkalar:** Uygun boyutlu, pirinç esaslı, omuzları kare olacak biçimde iki adet.

**Bilyeler:** Çapları  $9,50 \pm 0,05$  mm olan, kütlesi ( $3,5 \pm 0,05$ gr) olan iki adet çelik bilye.

**Kap:** İç çapı 8,5 cm ve yüksekliği 12 cm'den küçük olmayan ısıya dayanıklı cam beher (600 veya 800 cm<sup>3</sup> 'lük beherler) bu deney için uygundur.

**Karıştırıcı:** Banyonun her yerinde düzgün bir sıcaklık elde etmek amacıyla, beher dibinde dönecek bir mıknatıs.

**Su:** Damıtılmış ve yeni kaynatılmış su. Suyun yeni kaynatılmış olması deney sonucunu

etkileyen bir faktördür. Çünkü kaynatma işlemi deney numunesi yüzeyindeki hava kabarcıklarını önleme açısından önemlidir.

**Termometre:** Uygun bir cıvalı termometre.

### **6.2.2.3. Denevin Yapılışı**

- Bitüm numunesi ısıtılarak akıcı hale getirilir ve içinde hava kabarcığı kalmayınca kadar karıştırılır. Bir pirinç levha üzerine yapışmayı önleyici bir madde (vazelin gibi) sürüldükten sonra halkalar levha üzerine konulur.
- İçinde hava kabarcığı kalmayacak şekilde karıştırılan numune bu halka içine halkanın üst seviyesini geçecek şekilde dökülür. Numune 1 saat süre ile soğutulur ve halka üzerinde taşan bitüm numuneleri ıslatılmış spatula yardımıyla kesilip atılır.



**Şekil 6.2.** İçi Bitümlü deney halkaları

- Cam kaba 8,25 cm (3,25 inç)'lik yüksekliğe ulaşacak şekilde 5°C' lik saf su konur. İçinde numune bulunan halka suyun içine sarkıtılır. Halkanın alt yüzü cam kabın dibinden 2,52 cm (1 inç) yukarıda, üst yüzey ise su seviyesinden 5,08 cm (2 inç) aşağıda bulunacak şekilde ayarlanır.

- Daha sonra bilye su dolu beher içine konulur. Termometre suya batırılır. Termometrenin cıva haznesinin altı halkanın alt yüzeyi ile aynı olacak seviyede ve halkaya yaklaşık 0,5 cm mesafede yerleştirilir. Ardından bilye alet yardımıyla beher tabanından alınarak halka üzerine numunenin ortasına yerleştirilir. Su sıcaklığı dakikada 5°C artacak şekilde beher ısıtılmaya başlanır.
- Deneyin ilk 3 dakikadan sonraki en fazla 1 dakika aralıkta müsaade edilen sıcaklık yükselme hızından sapma en fazla 0,5°C olmalıdır. Yumuşama noktası tayini iki numune ile yapılır (Atatürk Üniversitesi Deney Föyü, 2009-2010).



a



b

**Şekil 6.3.**Yumuşama noktası deneyi

#### **6.2.2.4. Hesaplama**

Halka içindeki bitümlü maddenin cam kabın dibine temas ettiği anda termometrede okunan sıcaklık yumuşama noktası değeridir.

İki bilyeden her biri için elde edilen sıcaklıklar arasındaki fark, yumuşama noktası 80 °C' nin altında olan numuneler için 1°C, 80°C' nin üzerinde olan numuneler için 2 °C' yi geçerse deney tekrar edilmelidir.



### 6.2.3. Düktilite Deneyi (TS 119)

#### 6.2.3.1. Denevin amacı

Bu deney, bitümlü bağlayıcıların kopmadan uzama kabiliyetini ölçmek için yapılır. Bitümlü bir bağlayıcının düktilitesi; standart bir kalıpta hazırlanmış bir bitüm numunesinin her iki ucundan çekilerek uzatılması sonucunda koptuğu andaki mesafenin cm cinsinden ifadesidir.

#### 6.2.3.2 Gerekli aletler

**Düktilite Cihazı:** Standart kalıpta hazırlanmış bitüm numunesini su içinde her iki ucundan tutarak belli bir hızda çekebilecek özellikte cihaz.



**Şekil 6.4.** Düktilite cihazı

**Prinç Kalıp:** Standartlara uygun düktilite kalıpları. Kalıplar şu ölçülerde olmalıdır;

- En dar kesit:  $1\text{cm}^2$
- Kalınlık: : 1cm

- Toplam uzunluk: 7,45 cm-7,55 cm
- Maşalar arasındaki mesafe: 2,97 cm-3,03 cm
- Maşa ağzının genişliği: 1,98 cm- 2,02 cm



a

b

Şekil 6.5. Pirinç düktilite kalıpları

**Tuz ve metil alkol:** Deney esnasında suyun özgül ağırlığını ayarlama için kullanılabilir.

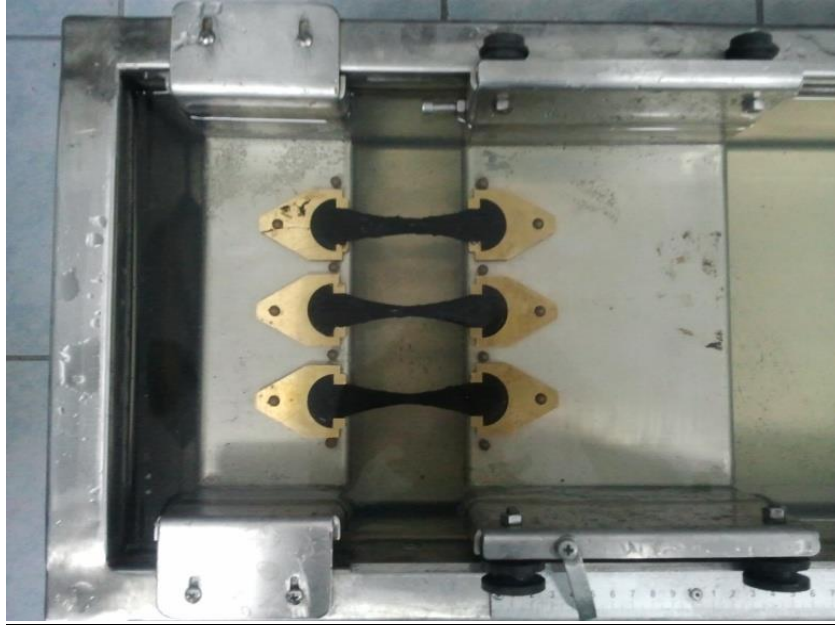
**Su Banyosu:** En az 10 lt su alabilecek hacimde ve sıcaklığı 0,1 °C hassasiyette sabit tutacak donanıma sahip olmalıdır. Ayrıca bitüm numunesini dipten 5 cm yukarıda ve su yüzeyinden 10 cm derinlikte tutabilecek delikli bir rafa sahip olmalıdır.

### **6.2.3.3. Deneyin Yapılışı**

- Deney yapılacak bitüm numunesi mümkün olabilecek en düşük sıcaklıkta ısıtılarak akıcı hale getirilir. Sonra numune No. 50 elekten (297 mikron) süzülür.
- Numune kalıba dökülmeden önce kalıp düz bir pirinç levha üzerine oturtulmalı ve numunenin levhaya yapışmaması için gerekli tedbirler alınmalıdır (vazelinle yağlanmalıdır). Numunenin standart kalıba dökülürken parçalarının birbirinden

ayrılmamasına dikkat edilmelidir. Bitüm numunesi standart kalıbın üst seviyesini geçinceye kadar doldurulur.

- Kalıp içerisindeki numune 30–40 dakika oda sıcaklığında bekletilir. Soğuduktan sonra da 25°C'lik su banyosunda 30 dakika bekletilir.
- Su banyosundan çıkartılan kalıp içerisindeki numunenin kalıp üzerine taşan kısımları ısıtılmış spatula ile kesilir ve bitüm numunesi ile kalıbın üst kısmı aynı seviyeye getirilir. Numune tekrar 25 °C su banyosunda 1,5 saat bekletilir. Kalıp içindeki numune su banyosundan çıkartılır. Kalıbın altındaki pirinç ile yanlardaki kalıplar sökülür ve numune bekletilmeden düktilite cihazına yerleştirilir.
- Asfalt numunesinin içinde bulunduğu kalıptaki delikler cihazın pimlerine takılır. Numune 5 cm/dakika'lık bir hızla kopuncaya kadar çekilir.
- Asfalt numunesi koştugu anda cihazın kenarındaki cetvelden kopma mesafesi tespit edilir. Çekme sırasında düktilite cihazı içindeki su haznesinin numunenin alt ve üstünde en az 2,5 cm'lik bir tabaka oluşturması gerekmektedir (Atatürk Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Laboratuvarı – I Deney Föyü, 2009-2010).



**Şekil 6.6.** Düktilite deneyinden bir görünüm

#### **6.2.3.4. Hesaplama**

Yukarıda anlatıldığı gibi yapılan üç deney sonucunun ortalaması alınarak numunenin düktilitesi bulunur.

#### **6.2.4. Parlama noktası deneyi (Cleveland açık kap metodu) (TS EN ISO 2592 )**

##### **6.2.4.1. Deneğin amacı**

Parlama noktası, ısıtılan deney numunesinin buharına, deney alevinin temas ettirilmesi sonucunda numunenin parladığı fakat yanmaya devam etmediği en düşük sıcaklıktır. Bu deney parlama noktası 79 °C'nin üstünde olan petrol ürünlerine uygulanır ve petrol ürünlerinin parlama noktalarının bilinmesi, uygulamalar sırasında oluşabilecek tehlikelerin önlenmesi açısından oldukça önemlidir.

##### **6.2.4.2 Gerekli aletler**

**Cleveland açık kap cihazı:** Cihaz, deney kabı, ısıtma levhası, deney alevi çubuğu ve termometreden (-6 °C ile +400 °C) meydana gelir.



**Şekil 6.7. Cleveland açık kap cihazı**

### **6.2.4.3. Denevin Yapılışı**

- Denev yapılacak bitümlü bağlayıcı çalışma sıcaklığına kadar (140 - 160 °C) ısıtıldıktan sonra denev kabına yüzeyinde hava kabarcığı kalmayacak şekilde seviye çizgisine kadar (seviye çizgisi bulunmuyorsa üstten 1 cm aşağıda kalacak şekilde) doldurulur.
- Başlangıçta sıcaklığı 14–17°C/dk artırılacak şekilde ayarlanmış numunenin beklenen parlama noktasına 28°C yaklaştığı anda sıcaklık dakikada 5 – 6 °C artacak şekilde ayarlanır.
- Beklenen parlama noktasına en az 28 °C önceden başlanarak sıcaklığın her 3°C yükselmesinde numune üzerinden denev alevi geçirilir. Denev alevinin çapı 4mm olmalıdır. Numune yüzeyinde herhangi bir noktada tutuşma görüldüğü anda termometreden okunan sıcaklık değeri parlama noktası olarak kaydedilir. Denev alevinin etrafında arada oluşabilen mavimsi alevi gerçek parlama ile karıştırmamak gerekmektedir.
- Numunenin yanma noktasını tayin etmek için ısıtmaya aynı hızla devam edilir. Tatbik edilen alev sonucu numune yüzeyinde 5 saniyeden fazla yanma meydana geldiği anda termometreden okunan sıcaklık “yanma noktası” olarak kaydedilir (Atatürk Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Laboratuvarı – I Denev Föyü, 2009-2010).

### **6.2.4.4. Hesaplama**

Ortamda atmosfer basıncı < 95.3 kPa ise sonuçlara düzeltme değerleri eklenir.

**Çizelge 6.4.** Basıncı düzeltme değerleri

<b>Atmosfer Basıncı kPa (mbar)</b>	<b>Düzeltilme, °C</b>
95,3-88,7	2
88,6-81,3	4
81,2-73,3	6

İki aynı laboratuvarında alınan sonuçlar arasındaki fark  $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'den fazla olmamalıdır.

### **6.2.5. İnce film halinde ısıtma kaybı deneyi (TS 121)**

#### **6.2.5.1. Deneyin amacı**

Bitümlerin sıcaklık ve hava etkilerine karşı göstermiş oldukları davranışı belirlemek amacıyla yapılır.

#### **6.2.5.2 Gerekli aletler**

**Etüv:** Sıcaklığı  $163 \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$  de tutabilen, ön tarafında etüv kapağını açmadan sıcaklık ölçümlerinin okunmasına olanak tanıyacak bir penceresi olan, yaklaşık 250 mm çapında, delikli, yuvarlak, döner alüminyum bir rafı bulunan etüvdür.



**Şekil 6.8.** Isıtma kaybı deney etüvü

**Deney kabı:** Metal veya camdan imal edilmiş, 15 cm çapında, 3,5 mm derinliğinde dibi düz, silindirik bir kap.



**Şekil 6.9.** Deney kapları

### **6.2.5.3. Denevin Yapılışı**

- Bitümlü malzemenin nemsiz olmasına dikkat edilerek ağırlığı önceden tespit edilen deney kabına  $50 \pm 0,5$  gr koyulur. Bitüm dolu numune kabı tartılır ( $W_1$ ).
- Etüv  $163 \text{ }^\circ\text{C}$ ' ye ayarlanarak çalıştırılır ve istenilen sıcaklığa ulaştığında, bitümle dolu deney kabı etüvün raflarından birine konularak etüv kapağı kapatılır. Etüvün döner rafı dakikada 5-6 devir/dakika yapmalıdır.
- Numune etüv içerisinde bu şekilde 5 saat süre ile bekletilir. Bu süre sonunda numune etüvden çıkarılır ve oda sıcaklığına kadar soğutularak tartılır ( $W_2$ ) (Özen, 2005).

### **6.2.5.4. Hesaplama**

Bitümlü bağlayıcının ısıtma kaybı aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanır;

$$\text{Isıtma kaybı (\%)} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100(\%)$$

**Çizelge 6.5.** Isıtma kaybı duyarlılık sınırları

Isıtma Kaybı Değeri (%)	Sayısal Düzeltme	Isıtma Kaybının Gerçek Değeri (%)
5,0	±0,50	4,50-5,50
5,5	±0,51	4,99-6,01
6,0	±0,52	5,48-6,52
10,0	±0,60	9,40-10,60
15,0	±0,70	14,30-15,70
25,0	±0,90	24,10-25,90
40,0	±1,20	38,80-41,20

#### **6.2.6. Asfalt çimentosu birim özgül ağırlık deneyi (piknometre metodu) (TS 1013 EN ISO 3675)**

##### **6.2.6.1. Deneğin amacı**

Bitümlü bağlayıcılarda özgül ağırlık tayini için kullanılan bir deneğdir.

##### **6.2.6.2 Gerekli aletler**

**Terazi:** Analitik terazi (0,1 mg hassasiyetle tartım yapabilen)

**Piknometre:** Camdan yapılmış, konik veya silindirik biçimde bir piknometre.

**Su banyosu:** İstenilen sıcaklığa ( $\pm 0,5$  °C duyarlılıkta) ayarlanabilecek bir su banyosu.

##### **6.2.6.3. Deneğin Yapılışı**

- Boş piknometre kabı kuru olarak tartılır, daha sonra su ile doldurulur ve tekrar tartılır. Piknometre kabı boşaltılır, kurutulur, içine uygun miktarda bağlayıcı



genellikle yüksekliğin 2/3'üne kadar ya küçük parçalar halinde yada eritilmiş malzeme akıtılarak konur.

- Eğer ısıtılmış malzeme akıtılacak ise malzeme içinde hava kabarcıkları kalmamasına dikkat edilmesi gereklidir. Piknometre içinde kalan boşluk su ile doldurulur ve tartılır.
- Deneyde kullanılacak su saf su olmalıdır.
- Deney, genellikle 25 °C 'de yapılır. Farklı sıcaklıklarda yapılacaksa 25 °C' ye çevirmek için çeşitli abaklardan yararlanır (Umar ve Ağar 1991)

#### **6.2.6.4. Hesaplama**

$$\text{Özgöl ağırlık} = \frac{C - A}{(B - A) - (D - C)}$$

Formülde;

A= Piknometre ağırlığı(gr)

B= Su ile dolu piknometre ağırlığı (gr)

C= Piknometre ve asfalt ağırlığı (gr)

D= Piknometre, asfalt ve su ağırlığı

#### **6.2.7. Viskozite deneyi (TS 1451 EN ISO 3104)**

##### **6.2.7.1. Deneyin amacı**

Bağlayıcının kullanılacağı bitümlü kaplamanın performansına etki eden en önemli özelliklerinden biri olan akma özelliğinin, uygulama esnasında ısıtıldıkları sıcaklık sınırlarında tayin edilmesi amacıyla kullanılan bir deneydir.

### **6.2.7.2 Gerekli aletler**

**Saybold vizkozimetre tüpü:** Standartlara uygun boyutlarda metal esaslı ve korozyona dayanıklı bir tüp.

**Kronometre:** 0,1 saniye taksimatlı olacaktır.

**Termometre:** 0,05 °C hassasiyetli ve 0,1 °C bölmeli termometre.

**Banyo:** Tüpleri dik olarak tutabilecek şekilde yapılmış, karıştırma ve soğutma yapabilen bir banyo.



**Şekil 6.10.** Viskozite deney cihazı

### **6.2.7.3. Denevin Yapılışı**

- Denev tüpünün üst seviyesinden 6 mm aşağıda olacak bir seviyeye kadar banyo yağı doldurulur.

- Her deney sıcaklığı için banyo şartları aşağıdaki çizelgede gösterilen şekilde olmalıdır.

**Çizelge 6.6.** Banyo deney sıcaklıkları

Deney Sıcaklığı (°C)	Tavsiye Edilen Banyo ortamı	Maksimum Sıcaklık farkı	Minimum Sıcaklık Toleransı
21,0	Su	±0,1	±0,05
25,0	Su	±0,1	±0,05
38,0	Su ve yağ, Viskozite 83.0 °C 50 ila 70 sn.	+0,25	±0,05
50,0	Su ve yağ, Viskozite 83.0 °C 120 ila 150 sn.	+0,5	±0,05
51,0	Su ve yağ, Viskozite 83.0 °C 120 ila 150 sn.	+1,0	±0,1
82,0	Su ve yağ, Viskozite 83.0 °C 330 ila 370 sn.	+1,5	±0,1
99,0	Su ve yağ, Viskozite 83.0 °C 330 ila 370 sn.	+2,0	±0,1

- Tüpe konulan numune sıcaklığı, deney sıcaklığını aşmayacak ve numunenin alevlenme noktasının da 10 °C altındaki sıcaklığı geçmeyecek şekilde ısıtılmış olacaktır. Deney tüpünün altına sıvı sızmayacak şekilde ve kolaylıkla girip çıkabilen mantar tıpa takılır.
- Numune 160 mikronluk elekten süzöldükten sonra deney tüpünün galeri seviyesini biraz geçecek şekilde tüpe doldurulur. Cam baget yardımıyla bir dakika süre ile karıştırılır.
- Toplama balonu, deney tüpünün altına ve ilk damla balonun kenarına değecek şekilde ve özenle yerleştirilir. Deney tüpünün ucundaki mantar çekilir. İlk damla toplama balonunun kenarına değdiği anda süre başlatılır ve numune balonun boyundaki çizgiye geldiği anda süre biter. Akma süresi saniye cinsinden kaydedilir (Özen, 2005).

#### **6.2.7.4. Hesaplama**

Bulunan akma süresi bir düzeltme katsayısı ile çarpılarak gerçek viskozite değeri hesaplanır. Akma süresi 200 saniyeden az olan değer 0,1 yakınlıkla, 200 saniyeden yukarı olan değer ise ondalık kesri tam sayıya yuvarlanarak verilir.

#### **6.2.8. Tez kapsamında yapılan bitüm deneylerinin genel sonuçları**

50-70 penetrasyonlu bitümün fiziksel özellikleriyle ilgili yapılan deney sonuçları ve teknik şartnamede istenen sınır değerler aşağıdaki çizelgedeki gibidir.

**Çizelge 6.7.** 50-70 penetrasyonlu bitümün fiziksel özellikleri (KGM, K.T.Ş. 2006)

<b>Malzeme özelliği</b>	<b>Deney sonucu</b>	<b>İlgili standart</b>	<b>İstenilen sınırlar</b>
Penetrasyon (25°C, 1/10 mm)	53,6	TS EN 1426	50-70
Yumuşama noktası	50	TS EN 1427	46-54
Düktilite (25°C 5cm/dk)	>100	TS 119	-
Parlama noktası (°C)	322	TS EN ISO 2592	>230
Isıtma kaybı (%)	0,42	TS 121	0.5
Özgül ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	1,035	TS 1013 EN ISO 3675	-

## BÖLÜM 7

### BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIM DENEYLERİ

#### 7.1. Marshall stabilite ve akma deneyleri

##### 7.1.1. Deneyin amacı

Bu deney, Marshall tasarım metodu uygulanarak BSK' ların laboratuvar tasarımı için kullanılmaktadır. Marshall deney metodunda, asfalt-agrega karışımının ısıtılması, karıştırılması ve sıkıştırılması ile 101,6 mm çapında ve yaklaşık 60 mm yüksekliğinde hazırlanan numuneler Marshall deney cihazında test edilerek stabilite ve akma değerleri belirlenir. Ayrıca numunelerin BO, BDBO, pratik özgül ağırlık, ABO, MO, değerleri tespit edilir. Tüm bu tespitler sonucunda trafik yüklerine doğrudan maruz kalan, BSK tabakasının en üst katmanı olan aşınma tabakasında kullanılmak üzere, istenilen agregası cinsi ve gradasyonu için optimum bitüm muhtevası belirlenir (Anadolu Üniversitesi Deney Katalogları, 2009).

##### 7.1.2. Deney aletleri

**Marshall tokmağı:** Genelde yaklaşık 4536 gr ağırlığında üretilen silindirik tokmağın, 45,7 cm yükseklikten, sıkışacak malzeme üzerine serbest düşme yapmasını sağlayan düzenektir. Yol yapımında silindirin görevini laboratuvar ortamında bu cihaz üstlenir.

**Mikser:** Asfalt içindeki agregası ve bitümün birbirine homojen şekilde karıştırılmasını sağlayan cihazdır. Isı kaybının önlenmesi için, mikser ucunun etüv içerisinde sıcak halde bekletilip karışım yapılacağı zaman mikser takılması gerekir.

**Mikser ısıtma kabı:** Agregası ve bitümün mikser tarafından karıştırılırken ısı kaybını önlemek için kullanılan cihaz.

**Numune kalıpları:** 10 cm çapında, 6,35 cm yüksekliğinde silindirik bir kalıptır. Üstünde ilave bir kalıp ve altında kalıp taban plakası vardır.

**Kriko:** Sıkışmış numuneleri kalıplardan düzgün bir şekilde çıkarmaya yarayan düzeneç.

**Dijital terazi:** Numuneleri en az 0,1 gram hassasiyetle tartabilecek bir terazi.

**Sıcak su banyosu:** Kalıptan çıkarılan numuneleri su içerisinde 60 °C' lik bir sıcaklıkta tutmaya yarayan banyo.

**Marshall test cihazı:** Marshall briketlerinin stabilitesini ve akmasını ölçmeye yarayan ölçme aleti.

### 7.1.3. Deneyin yapılışı

- Granülometrik şartlara uygun 1100 gr agregası 160 °C' ye ayarlı etüve yaklaşık 18 saat önceden konulur. Etüvden çıkarılan agregası üzerine, 160 °C' ye ayarlı yaklaşık 4 saat etüvde kalmış olan bitüm, terazide hassas bir tartım yapılarak istenilen miktarda eklenir.
- Etüvden çıkarılan kabın içerisine koyulan agregası ve bitüm numuneleri mikserde 90 sn boyunca karıştırılır. Karışım yapılırken sıcaklığın düşmemesi için karışımın bulunduğu mikser kabı, karıştırma işlemi esnasında ısıtmalı kap içerisinde tutulur.
- Malzeme karıştırıldığı sırada, etüvden çıkarılan numune kalıbının içi yağlanır ve taban kısmına daha önceden uygun boyutlarda kesilmiş yağlı kağıt konulur. Numune karışım işlemi bitirildikten sonra, yağlı kalıbın dibine yağlı kağıt koyulur ve karışım numune etüvden çıkan bir kürek yardımıyla kalıba konulur. Karışımın boşluksuz olması için, her bir kürekte sonra karışım, etüvden çıkardığımız şişleme çubuğu ile şişlenir. Son olarak üstüne de yağlı kağıt konulur. Aynı işlemler bir seri tamamlanana kadar devam edilir.
- Marshall tokmağı aletine yerleştirilen kalıp her iki tarafına 50 vuruş yapılarak sıkıştırma işlemi tamamlanır. Tokmaktan çıkarılan kalıp, içerisindeki kağıtlar alındıktan sonra soğumak üzere bırakıldıktan sonra briketler kriko yardımıyla çıkarılır (Kriko yardımıyla numuneleri çıkarmak için soğuma bekleme süresi en az 3 saattir).

- Bir kişinin mikser başında karışım yapması, diğer bir kişinin kullanılan aletlerin temizliğini yapması, bir diğer kişinin de soğutma, kalıptan çıkarma ve kalıp temizleme işlerini yapması ile bu deney minimum 3 kişi ile yürütülebilmektedir.
- Yüksekliği ölçülen briketler oda sıcaklığında bir gün bekletildikten sonra 60 °C sıcaklıktaki su banyosu içerisinde 40 dakika tutulur. Sonrasında su banyosundan çıkartılır, kurulanır ve Marshall test aletine yerleştirilir. Cihazdaki okunan stabilite ve akma değerleri kaydedilir. Briketlerin Marshall stabilite ve akma değerleri hesaplanır (Özen, 2005).

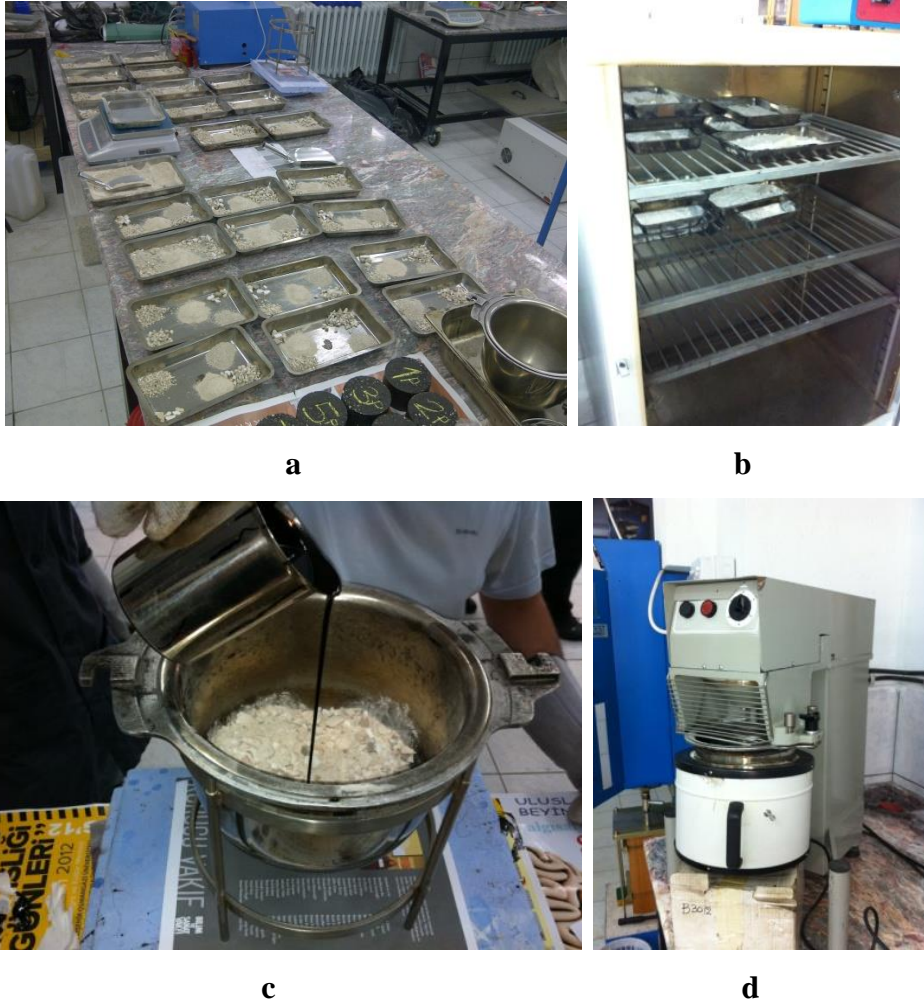
#### **7.1.4. Hesaplama**

Marshall test cihazında, Dialgeyçten stabilite, Flowmetreden akma okunur. Briketlerin ölçülen yüksekliklerine bağlı olarak sonuçlar düzeltme faktörleri ile çarpılarak stabilite değerleri elde edilir.

#### **7.1.5. Tez kapsamında yapılan marshall deneyi**

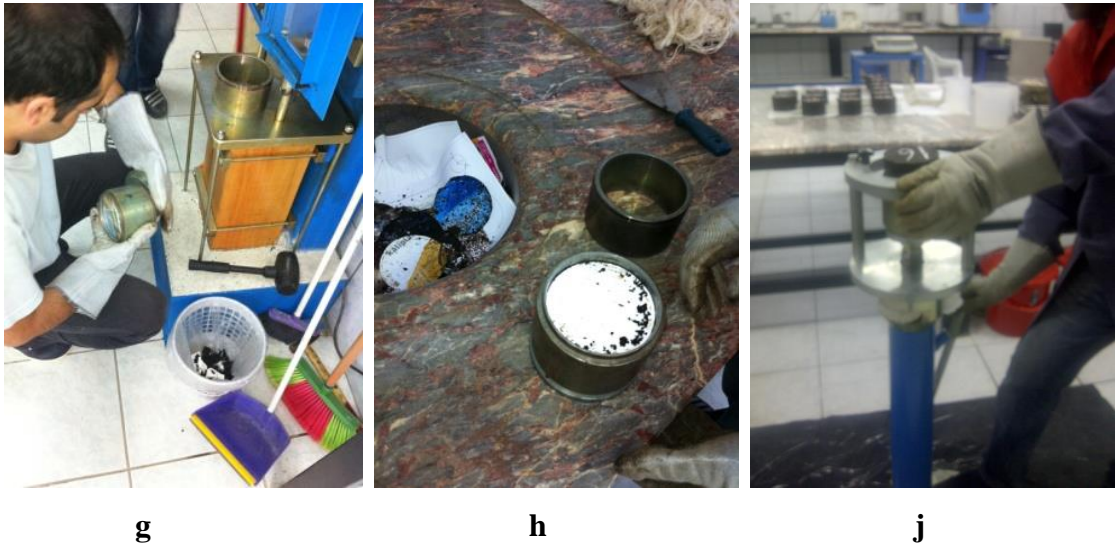
Granülometrik şartlara uygun 1100 gr fayans - agrega karışımı (a) 160 °C' ye ayarlı etüve yaklaşık 18 saat önceden konulmuştur (b). Etüvden çıkarılan agrega üzerine, 160 °C' ye ayarlı yaklaşık 4 saat etüvde kalmış olan bitüm, terazide hassas bir tartım yapılarak istenilen miktarda eklenmiştir (b). Etüvden çıkarılan kabın içerisine koyulan agrega ve bitüm numuneleri mikserde 90 sn boyunca karıştırılmıştır (c). Karışım yapılırken sıcaklığın düşmemesi için karışımın bulunduğu mikser kabı, karıştırma işlemi esnasında ısıtmalı kap içerisinde tutulmuştur (d). Malzeme karıştırıldığı sırada, etüvden çıkarılan numune kalıbının içi yağlanmış ve taban kısmına daha önceden uygun boyutlarda kesilmiş yağlı kağıt koyulmuştur (e). Numune karışım işlemi bitirildikten sonra karışan numune etüvden çıkan bir kürek yardımıyla kalıba konulmuştur (f). Karışımın boşluksuz olması için, her bir kürekte sonra karışım, etüvden çıkardığımız şişleme çubuğu ile şişlenmiştir. Son olarak üstüne de yağlı kağıt konularak Marshall tokmağı aletine yerleştirilen kalıp 50 vuruş yapıldıktan sonra diğer

yüzüne çevrilip 50 vuruş daha yapılarak sıkıştırma işlemi tamamlanmıştır (g). Tokmaktan çıkarılan kalıp, içerisindeki kağıtlar alındıktan sonra soğumak üzere en az 3 saat bekletilmiştir (h). Briketler kalıplardan kriko yardımıyla çıkarılmıştır (j). Bir kişinin mikser başında karışım yapması, diğer bir kişinin kullanılan aletlerin temizliğini yapması, bir diğer kişinin de soğutma, kalıptan çıkarma ve kalıp temizleme işlerini yapması ile bu deney minimum 3 kişi ile yürütülebilmektedir. Yüksekliği ölçülen briketler (k), oda sıcaklığında bir gün bekletildikten sonra 60 °C sıcaklıktaki su banyosu içerisinde 40 dakika tutulmuştur (l). Sonrasında su banyosundan çıkartılıp, kurulanmış, Marshall test aletine yerleştirilmiş ve kırılmıştır (m). Cihazdaki okunan stabilite ve akma değerleri kaydedilmiştir (Özen, 2005).



Şekil 7.1. Hazırlanan numunelerin etüvden çıkarılıp bitümlle karıştırılması





Şekil 7.2. Sıkıştırılan numunelerin kalıptan çıkartılıp ölçülmesi



m

n

**Şekil 7.3.** Numunelerin stabilite ve akmasının ölçülmesi

- Bu çalışmada yapılan deneylerde Eskişehir Toprak Seramik Fabrikası' nda üretilen fayans (duvar karo) atıkları kullanılmıştır.
- Fayans atıkları çeneli kırıcıda daha küçük boyutlara ufalanarak elekler yardımıyla 9,5mm–0,075mm açıklıklı eleklerden elenerek sınıflandırılmıştır. Numuneler aşınma tabakası olarak tasarlandığı için en büyük dane boyutu 9,5 mm seçilmiştir.
- Deneyde kullanılan fayans ve doğal agrega toplam karışım ağırlığı 1100' dır.
- Fayans agregaları, her elek aralığında doğal agregayla aynı gradasyon oranlarında olacak şekilde, toplam agrega ağırlığının %0, 10, 20, 30 ve 40' ı oranlarında 5 seri halinde hazırlanmıştır.
- Her bir seri için 50-70 penetrasyona sahip bitümden, toplam agrega ağırlığının %3,5, 4, 4,5, 5, 5,5, 6, 6,5' i oranlarında agregalara eklenmiş ve her bitüm oranından üçer karışım olacak şekilde 21 adet numune hazırlanmıştır.
- Doğabilecek karışıklığı önlemek için numaralandırılan briket boyutları ölçülerek kaydedilmiştir.
- Numuneler Marshall testlerine tabi tutulmuştur. Hesaplamalarda çıkan değerlerin, Karayolları Teknik Şartnamesi' ne uygunluğu kontrol edilmiştir.

**Çizelge 7.1.** Beton Asfalt Dizayn Kriterleri (KGM, Karayolu Teknik Şartnamesi, 2006)

ÖZELLİKLER	BİNDER		AŞINMA	
	MİN.	MAKS.	MİN.	MAKS.
Marshall Stabilitesi (kg)	750	—	900	—
Boşluk (%)	4	6	3	5
Bitümle Dolu Boşluk (%)	60	75	65	75
Akma (mm / 10 <sup>-2</sup> inç)	2(8)	4(16)	2(8)	4(16)
Filler/Bitüm Oranı	—	1,4	—	1,5
Bitüm (Ağırlıkça %)	3,5	6,5	4,0	7,0

Marshall cihazından elde ettiğimiz stabilite değerleri, briket yüksekliklerine göre düzenlenmiş Marshall düzeltme katsayıları ile çarpılarak hesaplanmış ve 5 seri numune (kontrol, %10, 20, 30, 40 fayans atık katkılı numuneleri) için bitüm oranlarına bağlı olarak , pratik özgül ağırlık (PÖA), Marshall stabilitesi (MS), boşluk oranı (BO) ve bitümle dolu boşluk oranı (BDBO), akma, toplam boşluk yüzdesi (ABO), ve Marshall Oranı (MO) değerleri hesaplanmış ve çizelge 7.2 oluşturulmuştur.

**Çizelge 7.2.** Kontrol ve %10-20-30-40 Fayans Katkılı Numunelerin Deney Sonuçları

Kontrol (%0 Atık) 50-70	Bitüm Oranı (%)	ABO	Bitümle Dolu Boşluk Oranı (%)	Boşluk Oranı (%)	Pratik Özgül Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	Marshall Stabilite (kg)	Akma	MO
1	3,5	15,28	50,98	7,49	2,38	1980,77	2,02	1023,06
2	4	14,41	62,44	5,41	2,42	2121,94	2,46	885,46
3	4,5	14,26	71,09	4,12	2,44	1950,62	2,72	720,75
4	5	14,30	78,74	3,04	2,45	1761,09	2,25	799,40
5	5,5	14,43	85,71	2,06	2,46	1380,60	2,67	532,25
6	6	15,04	89,06	1,64	2,45	1158,10	3,00	387,02
7	6,5	15,82	90,89	1,44	2,44	982,30	4,05	242,84

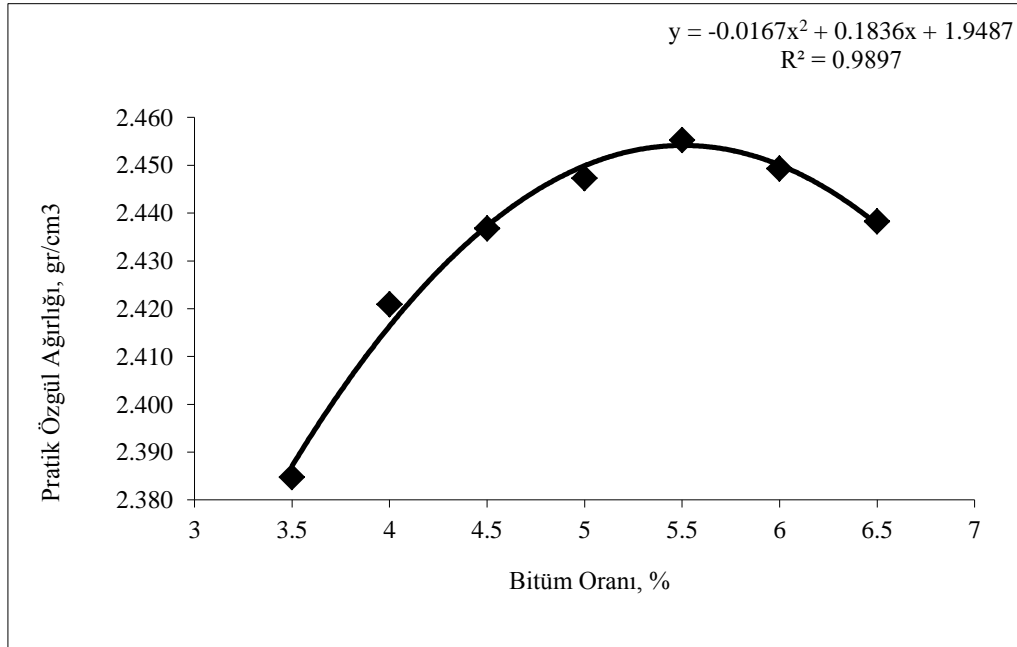
<b>%10 Atık 50-70</b>	<b>Bitüm Oranı (%)</b>	<b>ABO</b>	<b>Bitümle Dolu Boşluk Oranı (%)</b>	<b>Boşluk Oranı (%)</b>	<b>Pratik Özgül Ağırlık (gr/cm3)</b>	<b>Marshall Stabilite (kg)</b>	<b>Akma</b>	<b>MO</b>
1	3,5	17,96	41,67	10,47	2,29	1380,20	1,81	814,93
2	4	17,81	48,12	9,24	2,31	1455,78	2,21	668,08
3	4,5	17,49	55,32	7,82	2,33	1655,90	2,02	826,36
4	5	16,90	64,06	6,08	2,35	1690,44	1,96	890,05
5	5,5	16,12	74,58	4,10	2,39	1716,42	2,14	800,61
6	6	15,85	83,02	2,69	2,41	1708,17	2,55	669,25
7	6,5	16,25	87,29	2,06	2,41	1431,20	3,42	420,62

<b>%20 Atık 50-70</b>	<b>Bitüm Oranı (%)</b>	<b>ABO</b>	<b>Bitümle Dolu Boşluk Oranı (%)</b>	<b>Boşluk Oranı (%)</b>	<b>Pratik Özgül Ağırlık (gr/cm3)</b>	<b>Marshall Stabilite (kg)</b>	<b>Akma</b>	<b>MO</b>
1	3,5	20,40	35,29	13,20	2,20	1027,77	2,21	503,08
2	4	20,38	40,38	12,15	2,21	1121,51	2,72	436,34
3	4,5	20,02	46,45	10,72	2,23	1275,84	2,49	516,14
4	5	19,39	53,69	8,98	2,26	1446,52	2,35	615,03
5	5,5	19,24	59,64	7,76	2,28	1500,91	2,87	523,34
6	6	18,65	67,61	6,04	2,31	1549,74	2,77	567,35
7	6,5	18,52	73,89	4,83	2,32	1482,11	2,99	501,08

<b>%30 Atık 50-70</b>	<b>Bitüm Oranı (%)</b>	<b>ABO</b>	<b>Bitümle Dolu Boşluk Oranı (%)</b>	<b>Boşluk Oranı (%)</b>	<b>Pratik Özgül Ağırlık (gr/cm3)</b>	<b>Marshall Stabilite (kg)</b>	<b>Akma</b>	<b>MO</b>
1	3,5	22,58	30,74	15,64	2,12	807,36	2,40	344,55
2	4	22,39	35,50	14,44	2,14	977,74	2,33	435,56
3	4,5	22,16	40,48	13,19	2,16	1173,19	2,66	448,59
4	5	22,13	45,05	12,16	2,17	1234,54	2,85	447,88
5	5,5	21,73	50,72	10,71	2,19	1387,25	3,05	479,17
6	6	21,53	56,00	9,47	2,20	1496,46	3,19	471,97
7	6,5	20,96	62,80	7,80	2,23	1562,45	2,89	546,85

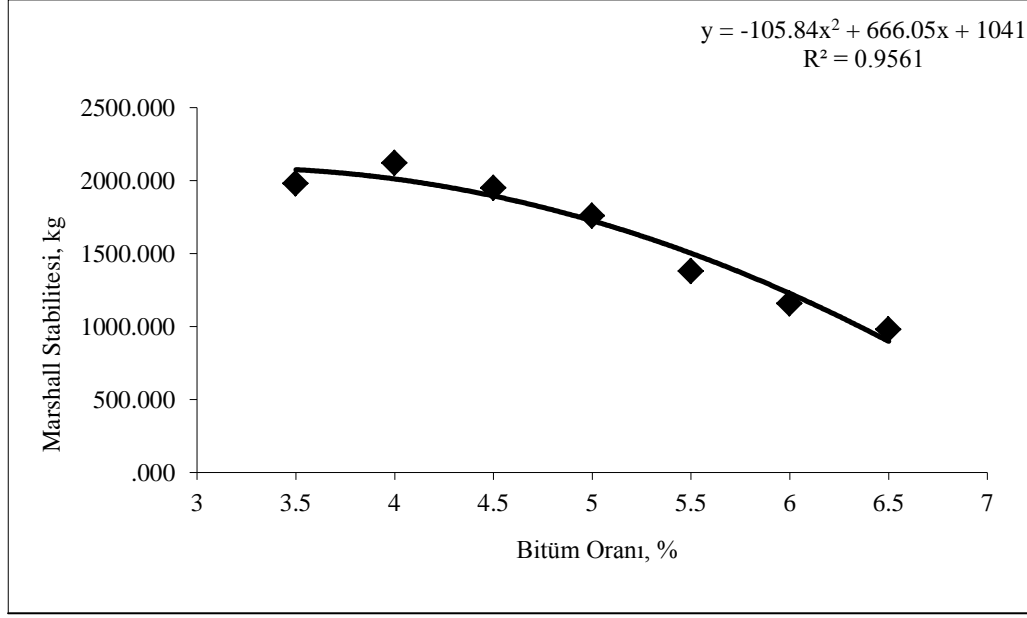
%40 Atık 50-70	Bitüm Oranı (%)	ABO	Bitümle Dolu Boşluk Oranı (%)	Boşluk Oranı (%)	Pratik Özgül Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	Marshall Stabilite (kg)	Akma	MO
1	3,5	23,77	28,51	16,99	2,07	810,91	3,19	254,21
2	4	23,52	33,02	15,75	2,09	958,07	2,08	464,85
3	4,5	23,52	37,15	14,78	2,10	1054,66	2,93	371,27
4	5	23,54	41,24	13,83	2,11	1250,03	1,88	686,54
5	5,5	23,40	45,72	12,70	2,12	1335,44	1,74	765,54
6	6	23,26	50,26	11,57	2,14	1376,58	2,88	480,53
7	6,5	23,52	53,65	10,90	2,14	1429,39	2,07	710,33

5 seri numuneye (kontrol, %10, 20, 30, 40 fayans atık katkı numuneleri) ait bitüm oranlarına bağlı olarak , pratik özgül ağırlık (PÖA), Marshall stabilitesi (MS), boşluk oranı (BO) ve bitümle dolu boşluk oranı (BDBO), akma, ABO, ve MO değerleri değişim grafikleri çizilmiş olup, Çizelge 7.2. yardımıyla kontrol numunelerine ait çizilen grafikler aşağıdaki gibi sırasıyla gösterilmiştir. Bu grafiklerden her atık oranı için ayrı ayrı optimum bitüm oranları tayin edilmiştir.

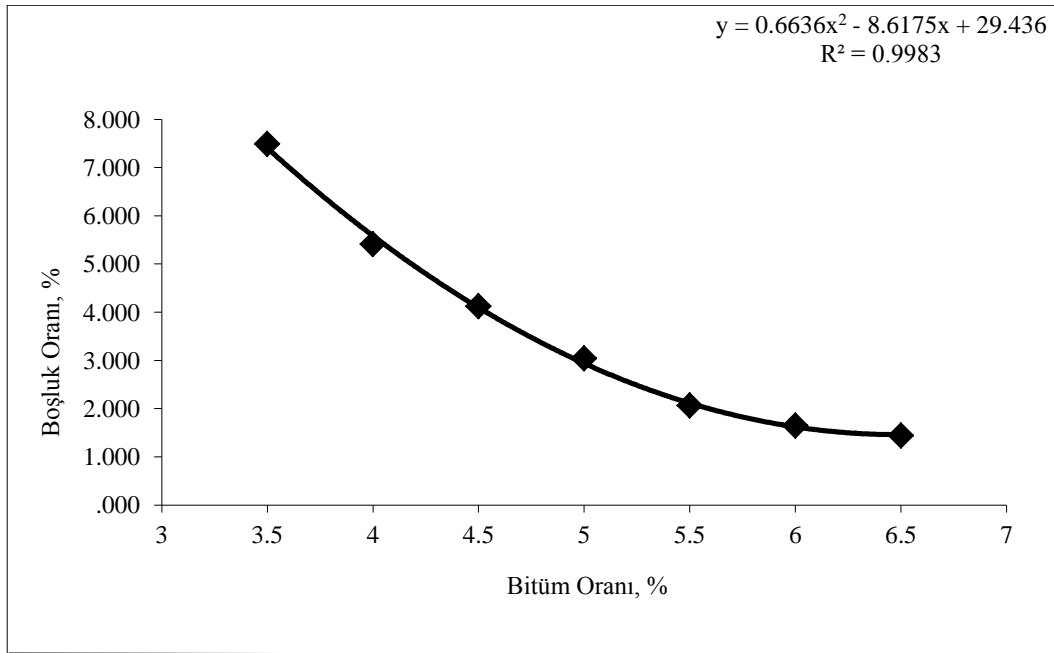


Şekil 7.4. Bitüm oranı- pratik özgül ağırlık (kontrol numunesi için)

Pratik özgül ağırlık değerleri, bitüm oranı arttıkça hava boşluklarının yerini bitümün doldurması nedeniyle artmaktadır. Agregaya göre daha boşluklu bir yapıya sahip olması nedeniyle fayans ilavesinin artmasıyla özgül ağırlık oranı azalmaktadır.

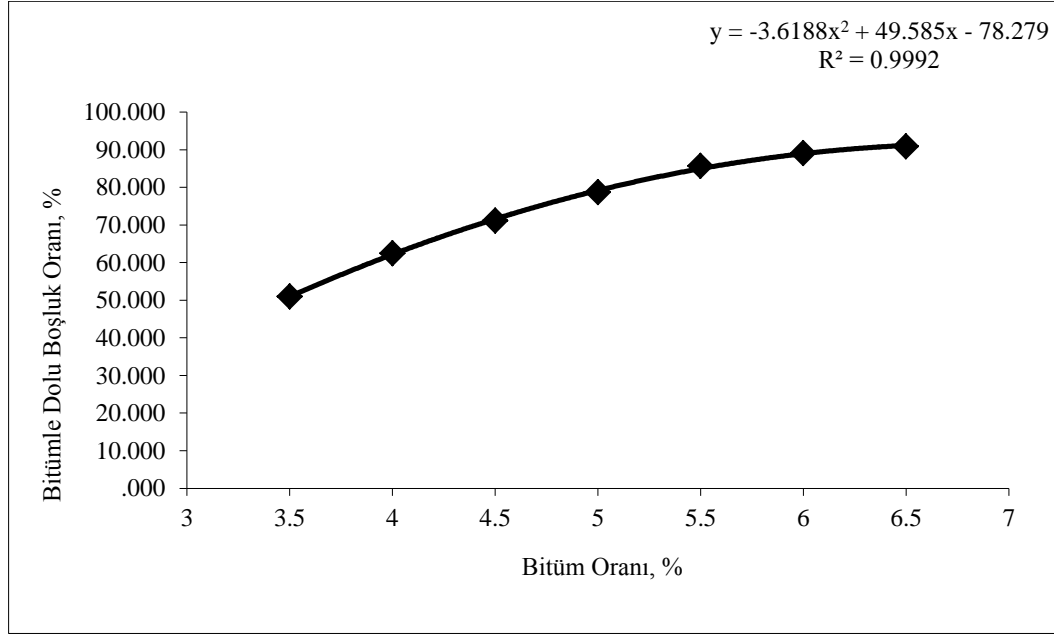


Şekil 7.5. Bitüm oranı-Marshall stabilitesi (kontrol numunesi için)



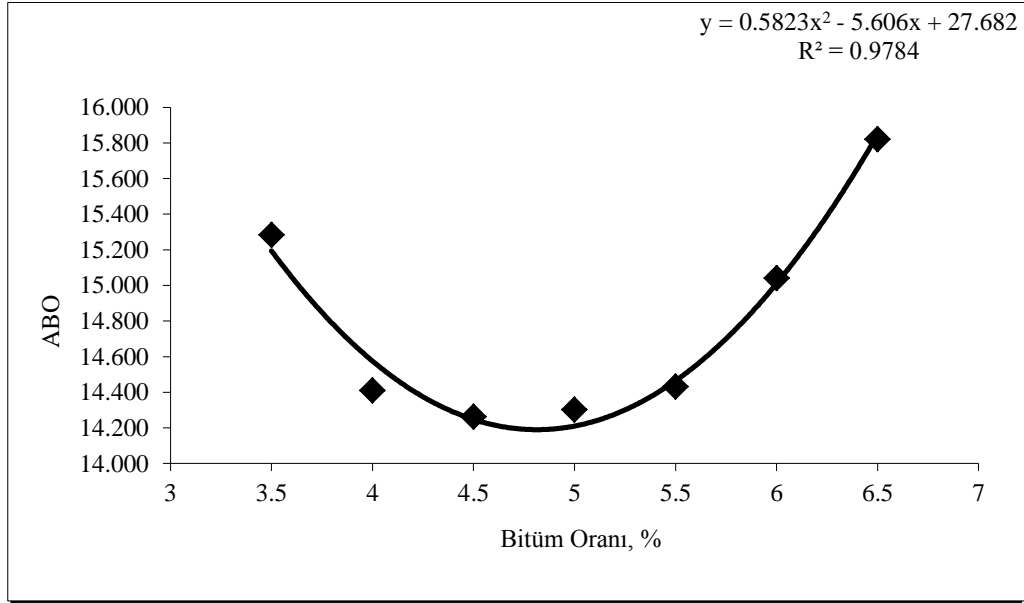
Şekil 7.6. Bitüm oranı-boşluk oranı (kontrol numunesi için)

Boşluk oranı burda da genelde olduğu gibi bitüm yüzdesinin artmasıyla azalma göstermekte ve en sonunda minimum boşluk oranına yaklaşma göstermektedir. Şartname kriterlerine göre boşluk oranının %3 ila % 5 arasında olması istenmektedir. (Çizelge 7.1.)



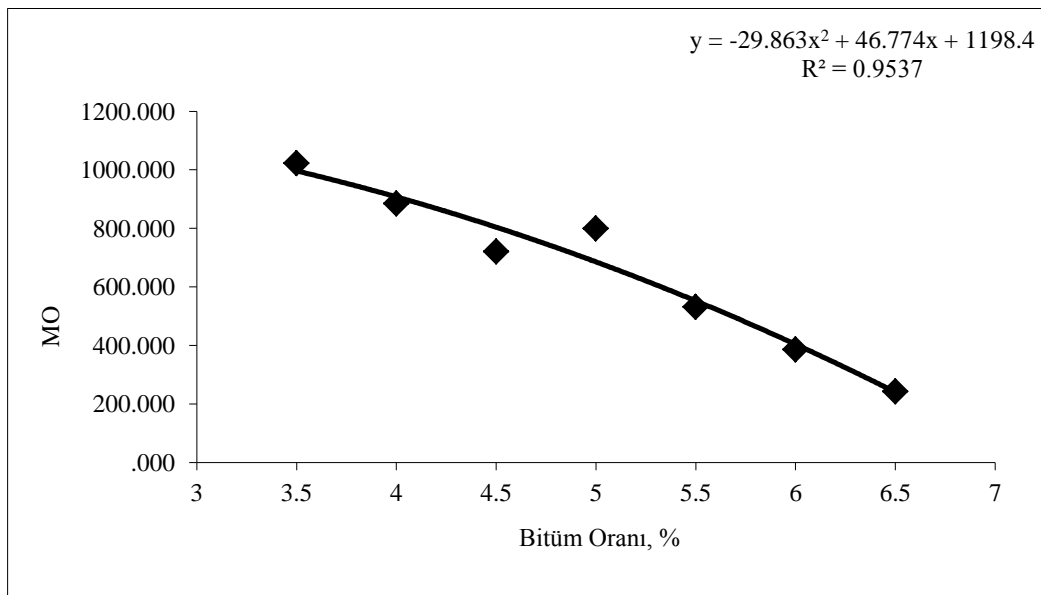
**Şekil 7.7.** Bitüm oranı-bitümle dolu boşluk oranı (kontrol numunesi)

Bitümle dolu boşluk oranı, daneler arası boşluğun bitümlü bağlayıcı ile dolu yüzdesidir. Bitüm oranı arttıkça BDBO değeri artmakta, atık fayans ilavesi arttıkça bu değer azalmaktadır. Teknik şartnamede BDBO değeri %65-75 arasında olması istenmektedir. Bitümle dolu boşluk oranının şartnamedeki limit değerlerinin altında kalması halinde agregaları çevreleyen bitüm film tabakasının az olduğu görülür. Bitüm film tabakasının yeterli kalınlıkta olmaması, kaplamanın kırılmasına ve hava koşullarına karşı performansının düşmesine neden olmaktadır. Limit değerinin üstünde bir BDBO değeri olması halinde ise BSK' nın durabilitesi için gerekli olan boşlukların bitümle dolmasına ve sıcak mevsimlerde BSK' nın bitümü kusmasına ve trafik yüklerinin etkisiyle oluşan deformasyonlara karşı gösterdiği direncin kırılmasına sebep olmaktadır (Öksüz, 2011).



Şekil 7.8. Bitüm oranı-ABO (kontrol numunesi)

Agrega içerisindeki boşluklar, ABO, toplam hacmin bir yüzdesi olarak ifade edilen, efektif bitüm içeriği ile hava boşluklarını içeren sıkıştırılmış bir kaplama karışımı içerisindeki agrega daneleri arasında bulunan, danecikler arası boş alanlar olarak tanımlanmaktadır (Asfalt El Kitabı, 2002). ABO genellikle bir minimum değere inmekte ve daha sonra bitüm içeriğiyle birlikte artış göstermektedir. Elde edilen değerlere göre karışımların ABO yüzdesi atık fayans oranı arttıkça artmaktadır



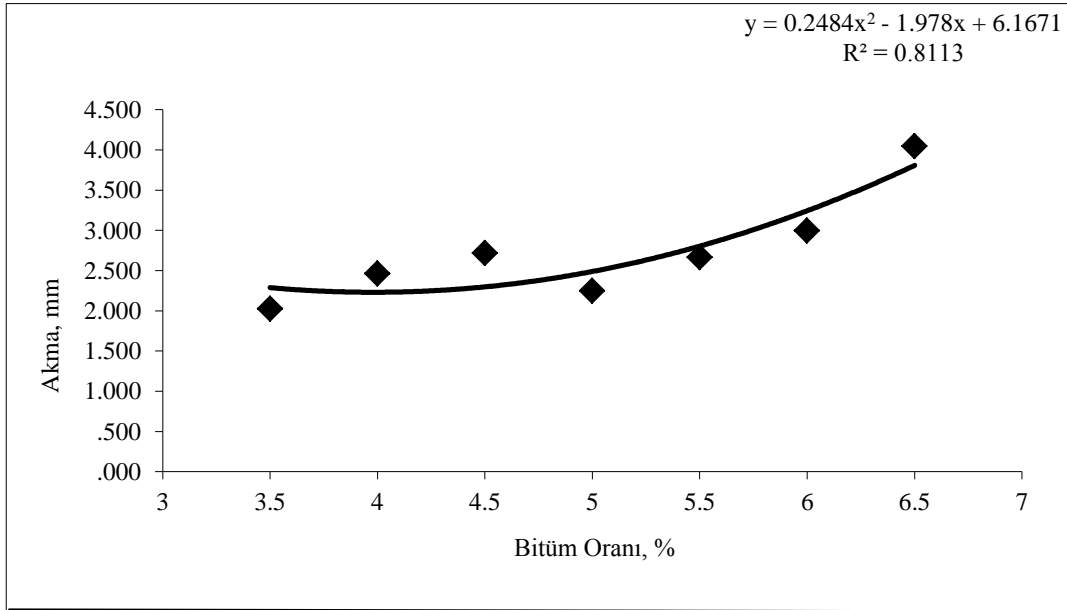
Şekil 7.9. Bitüm oranı-MO (kontrol numunesi)



Çizelge 7.3. Ortalama bitüm oranı tayini (kontrol numunesi)

	Oran	PÖA	MS	BO	BDBO	Akma	ABO	MO
<b>PÖA</b>	5.50	<b>2.45</b>						
<b>MS</b>	3.15		<b>2088.86</b>					
<b>BO</b>	4.54			<b>4.00</b>				
<b>BDBO</b>	4.41				<b>70.00</b>			
<b>ORT</b>	<b>4.40</b>	<b>2.43</b>	<b>1923.28</b>	<b>4.37</b>	<b>69.79</b>	<b>2.27</b>	<b>14.29</b>	<b>826.65</b>

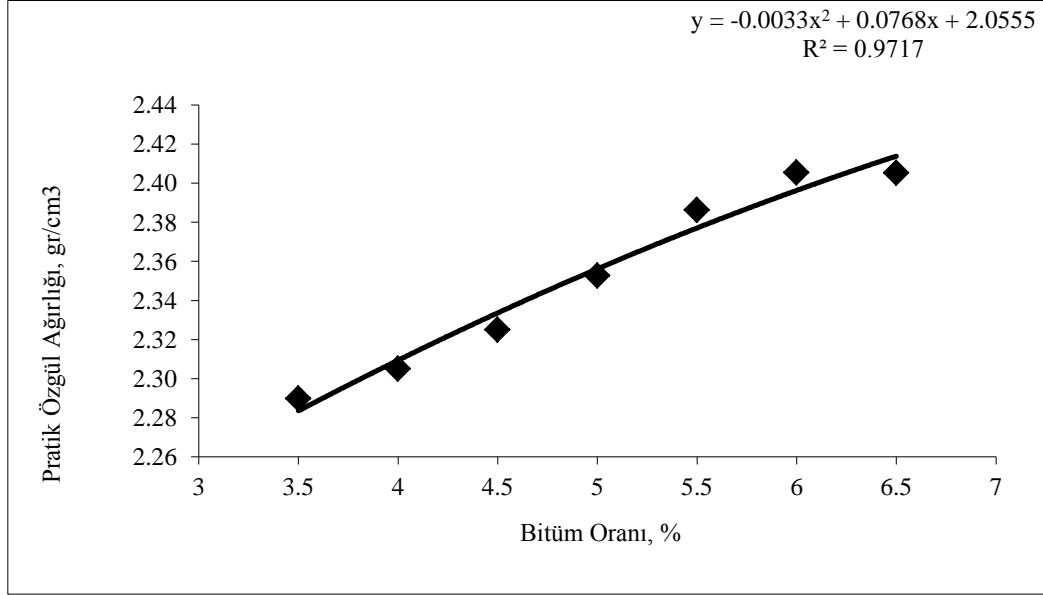
1. seriye ait Şekil 7.10 ile 6,24 numaralı grafikler incelendiğinde; maksimum stabilite, maksimum birim ağırlık, % 4 boşluk oranı ve %70 asfalt ile dolu boşluk oranı değerlerini sağlayan bitüm yüzdeleri sırası ile % 5,5, 3,15, 4,54 ve 4,41' dir. 1. seriye ait optimum bitüm oranı % 4,4 bulunmuştur.



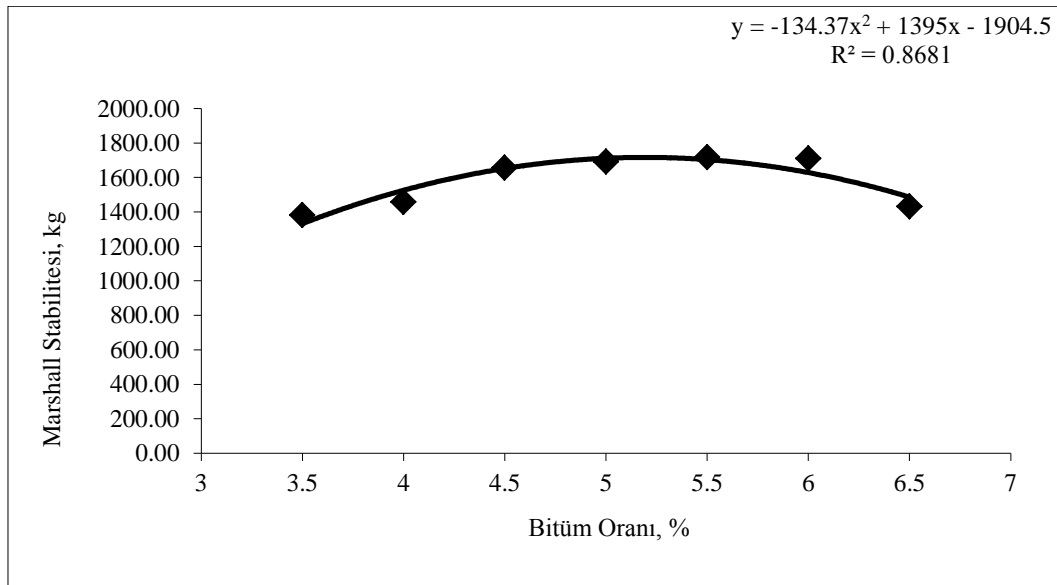
Şekil 7.10. Bitüm oranı-akma miktarı (kontrol numunesi)

Çizelge 7.2.b den faydalanarak, optimum bitüm oranı 4,39 a karşılık gelen akma değeri şekil 7.3.'te 2,27 mm bulunmuştur. BSK kaplamalarda akma değeri; dingil yükleri altındaki davranışlarını belirleyen, kaplamanın plastiklik ve esneklik özelliklerini kontrol eden bir değeridir. Numunelerin kırıldığı yük (asfalt deformasyon değeri) olan Marshall akma değeri, sıkıştırılmış karışımlarda içsel sürtünmenin

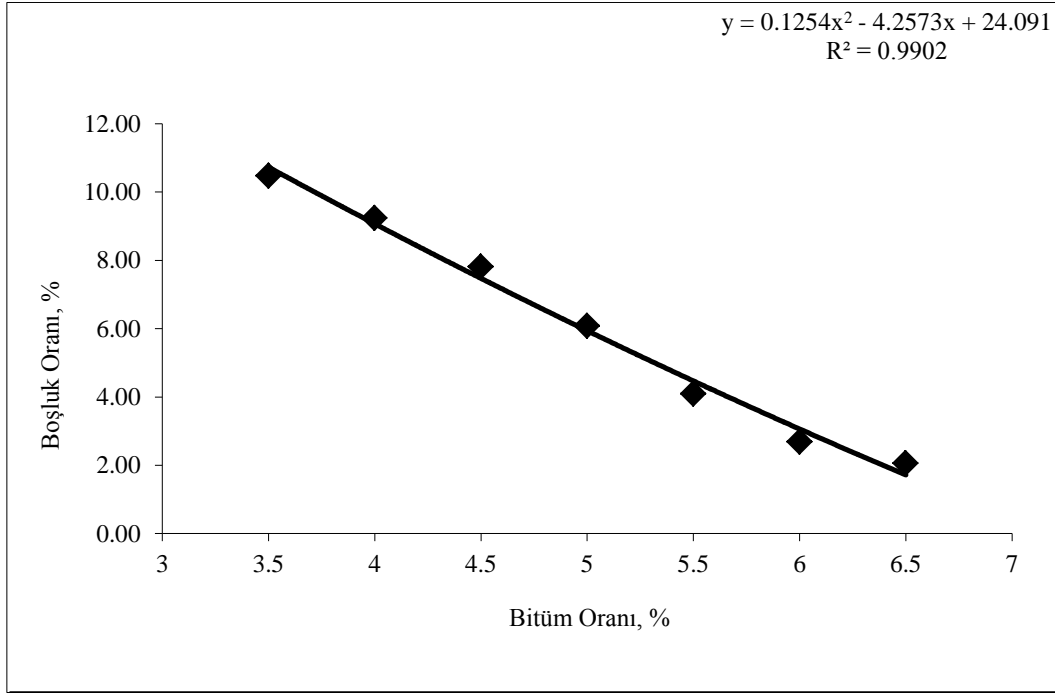
ölçüsüdür. Akma değeri ile iç sürtünme arasında doğrusal ters bir ilişki vardır. Şartnamelerde belirtilen en yüksek akma değeri, karışımın plastikliğini ve kullanılabilir en yüksek bağlayıcı yüzdesini, en alt değeri ise karışımın gevrekliğini ve dayanıklılığını kontrol eder (Umar ve Ağar, 1991)



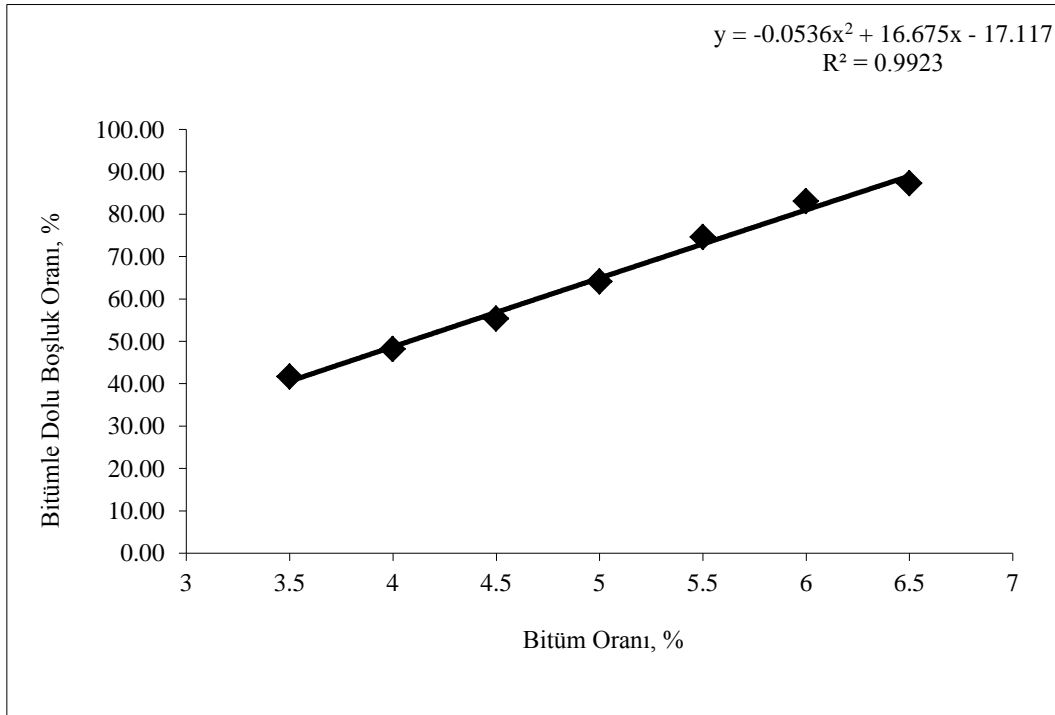
Şekil 7.11. Bitüm oranı- pratik özgül ağırlık (%10 fayans atığı katkılı)



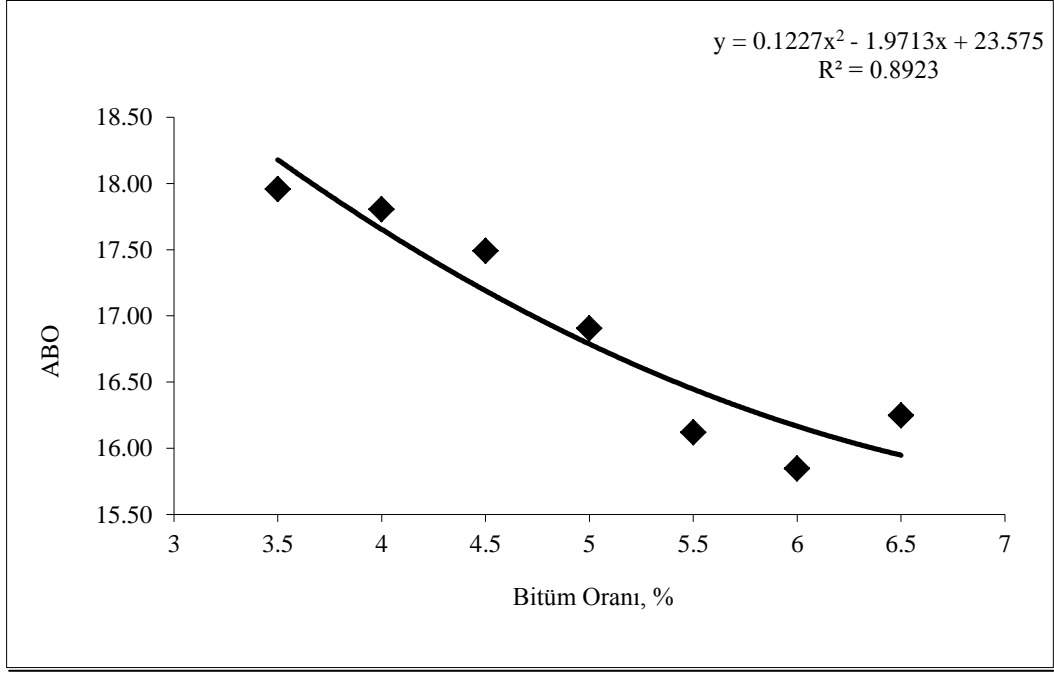
Şekil 7.12. Bitüm oranı-Marshall stabilitesi (%10 fayans atığı katkılı)



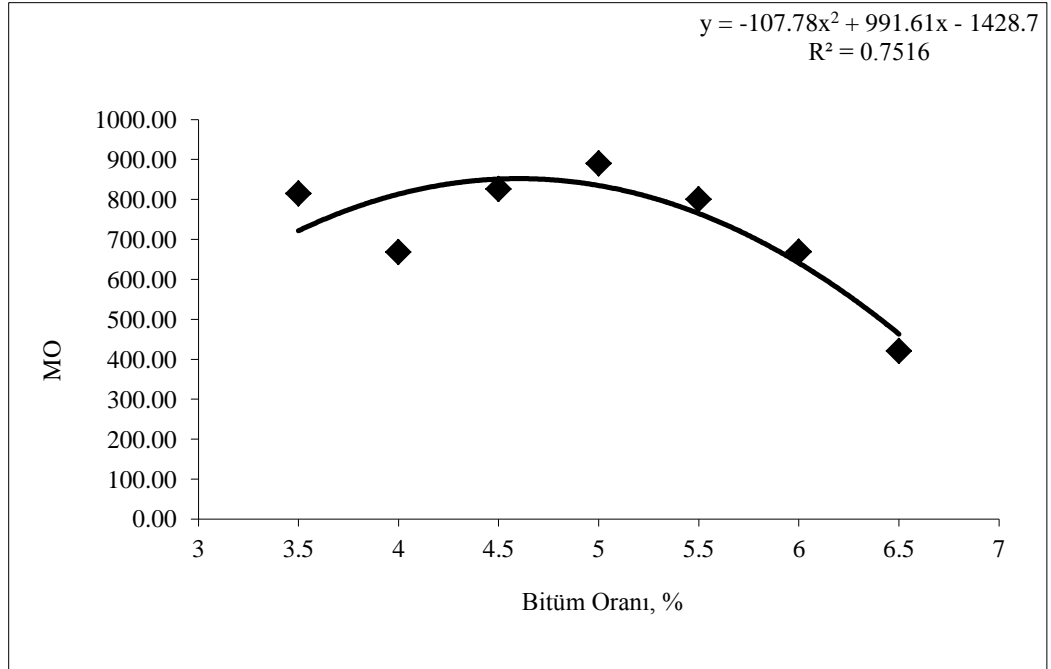
Şekil 7.13. Bitüm oranı-boşluk oranı (%10 fayans atığı katkıli)



Şekil 7.14. Bitüm oranı-bitümle dolu boşluk oranı (%10 fayans atığı katkıli)



Şekil 7.15. Bitüm oranı-ABO (%10 fayans atığı katkı)

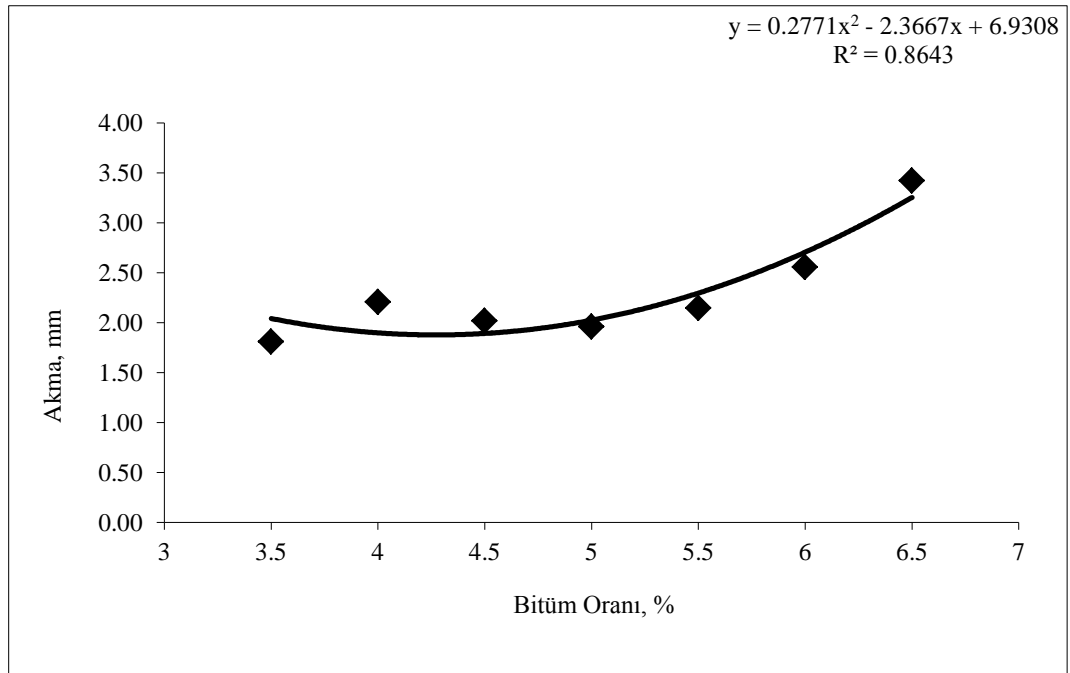


Şekil 7.16. Bitüm oranı-MO (%10 fayans atığı katkı)

Çizelge 7.4. Ortalama bitüm oranı tayini (%10 fayans atığı katkılı)

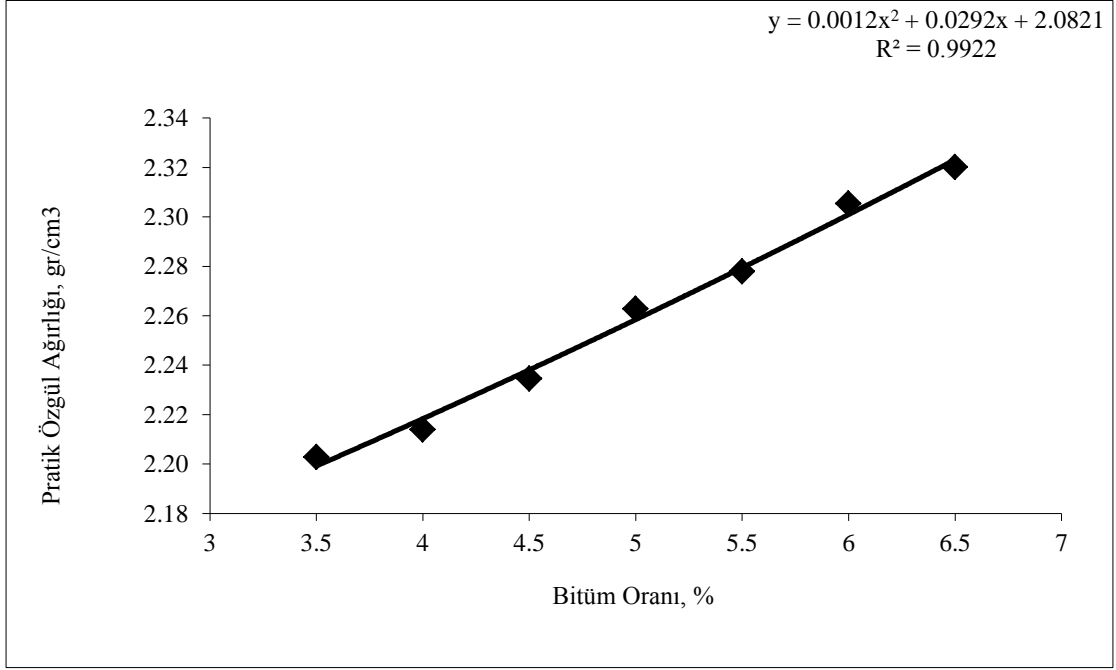
	Oran	PÖA	MS	BO	BDBO	Akma	ABO	MO
<b>PÖA</b>	6,50	<b>2,42</b>						
<b>MS</b>	5,19		<b>1716,1</b>					
<b>BO</b>	5,66			<b>4,0</b>				
<b>BDBO</b>	5,32				<b>70,0</b>			
<b>ORT</b>	<b>5,67</b>	<b>2,38</b>	<b>1685,6</b>	<b>4,0</b>	<b>75,7</b>	<b>2,42</b>	<b>16,34</b>	<b>729,3</b>

2. seriye ait şekil 7,11., 7,12., 7,13., 7,14 incelendiğinde; kabul edilebilir maksimum MS ve maksimum PÖA, % 4 BO ve %70 BDBO değerlerini sağlayan bitüm yüzdeleri sırası ile %6,50, 5,19, 5,66 ve 5,32'dur. 2. seriye ait optimum bitüm oranı 4 değerlerin ortalaması alınarak % 5,67 bulunmuştur.

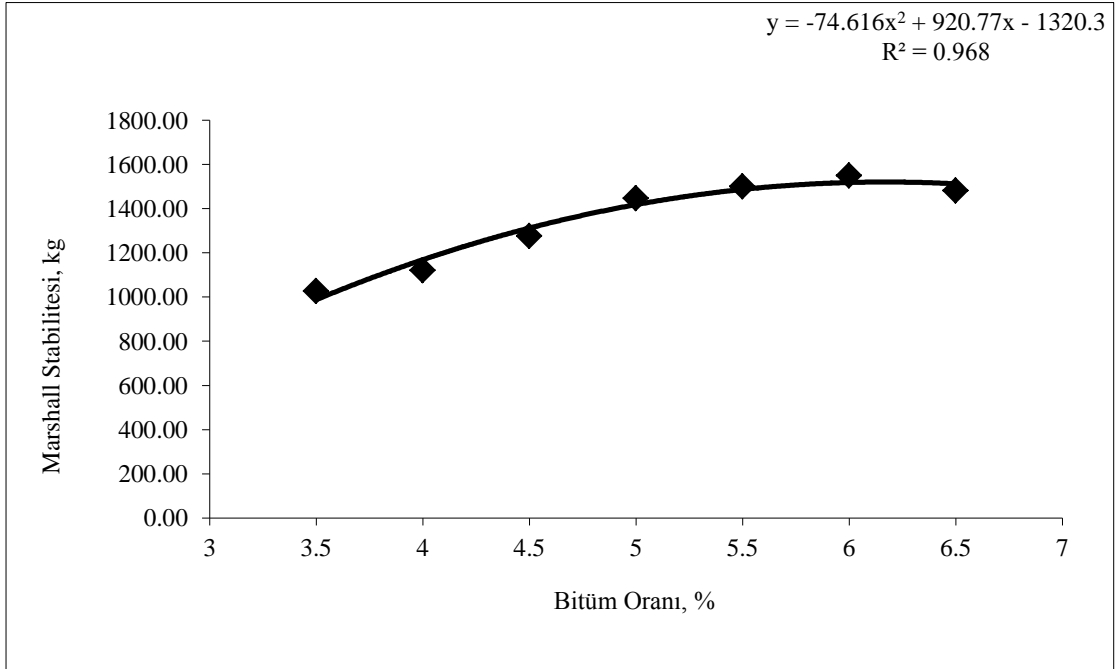


Şekil 7.17. Bitüm oranı-akma miktarı (%10 fayans atığı katkılı)

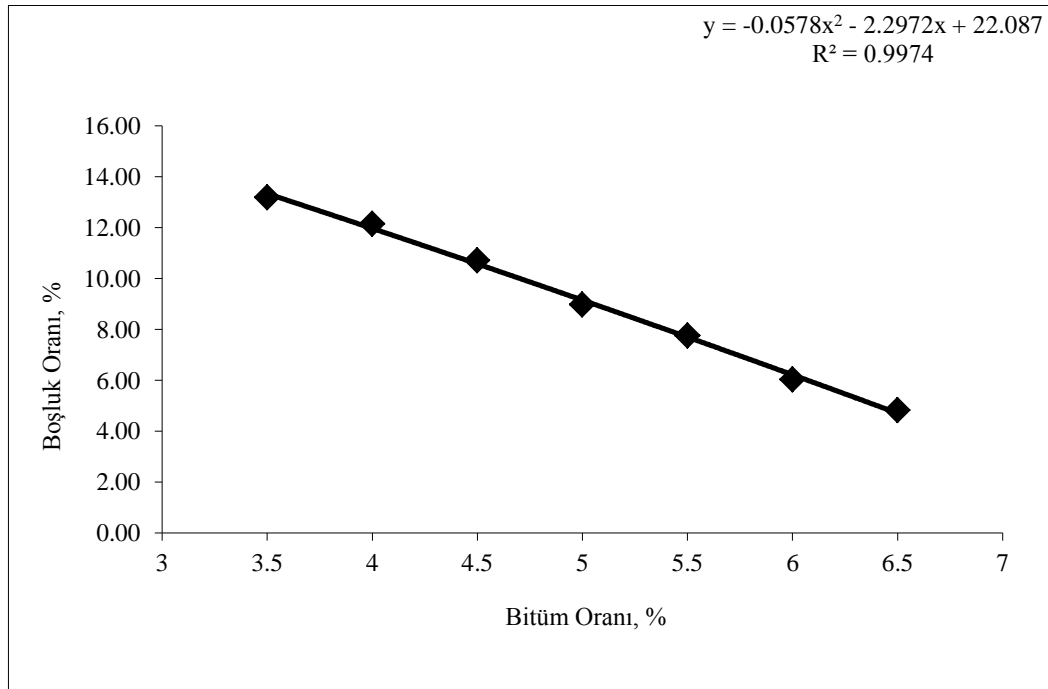
Çizelge 7.4.' ten faydalanarak, optimum bitüm oranı 5,67' ye karşılık gelen akma değeri şekil 7.10. dan **2,42 mm** bulunmuştur.



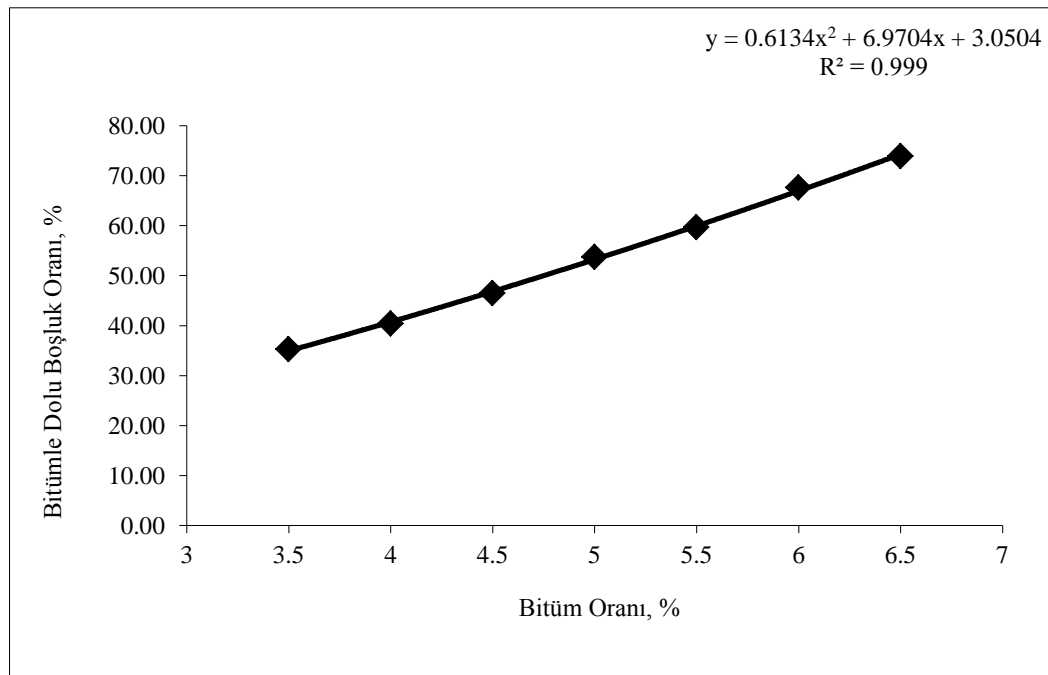
Şekil 7.18. Bitüm oranı- pratik özgül ağırlık (%20 fayans atığı katkılı)



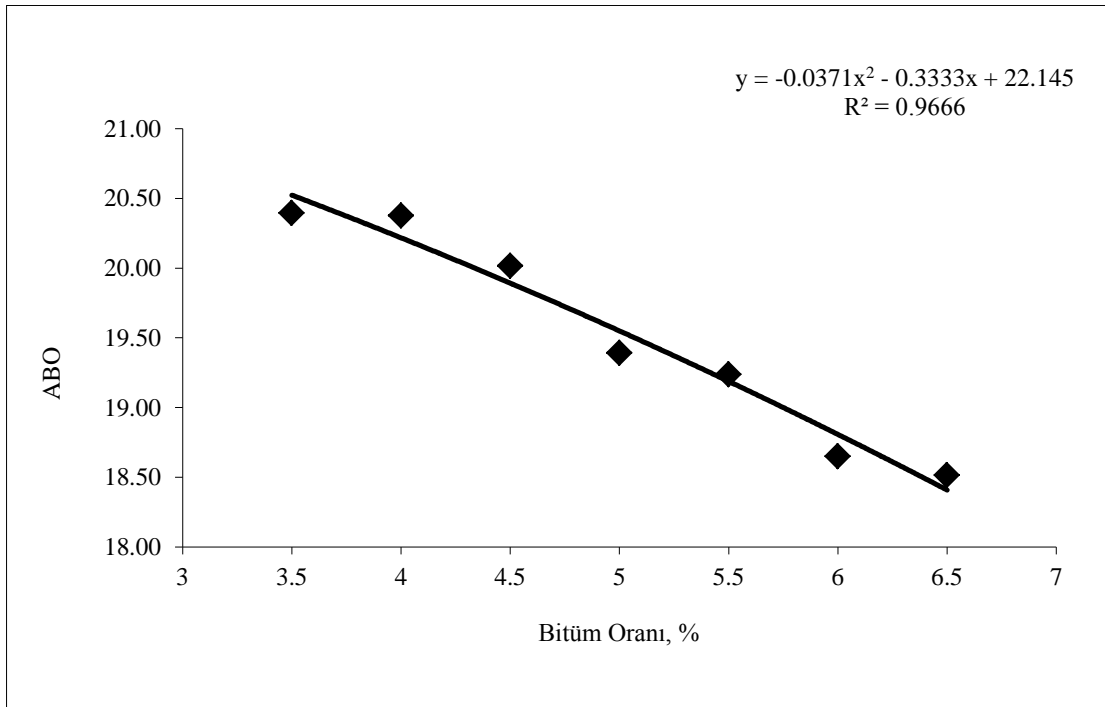
Şekil 7.19. Bitüm oranı-Marshall stabilitesi (%20 fayans atığı katkılı)



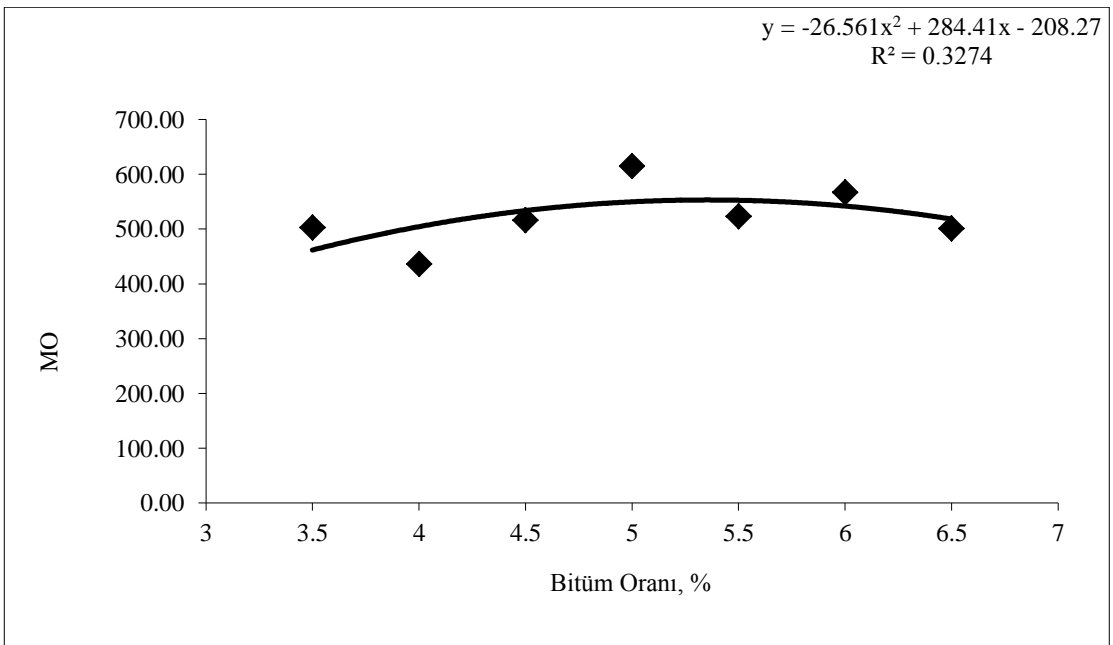
Şekil 7.20. Bitüm oranı-boşluk oranı (%20 fayans atığı katkılı)



Şekil 7.21. Bitüm oranı-bitümle dolu boşluk oranı (%20 fayans atığı katkılı)



Şekil 7.22. Bitüm oranı-ABO (%20 fayans atığı katkılı)



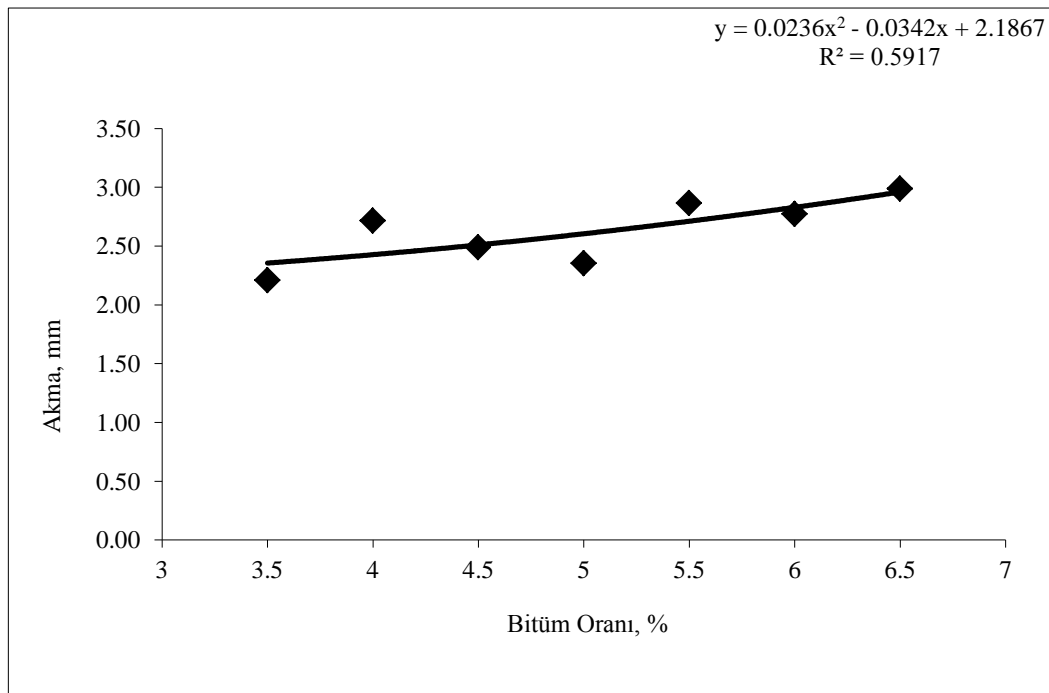
Şekil 7.23. Bitüm oranı-MO (%20 fayans atığı katkılı)



Çizelge 7.5. Ortalama bitüm oranı tayini (%20 fayans atığı katkılı)

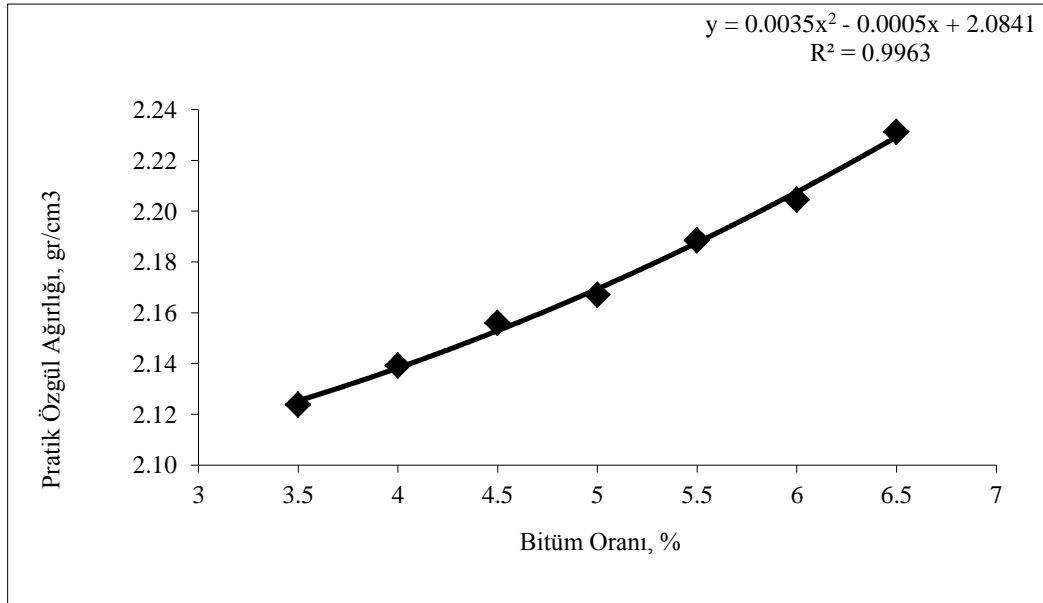
	Oran	PÖA	MS	BO	BDBO	Akma	ABO	MO
<b>PÖA</b>	6,50	<b>2,323</b>						
<b>MS</b>	6,17		<b>1520,3</b>					
<b>BO</b>	6,50			<b>4,7</b>				
<b>BDBO</b>	6,21				<b>70,0</b>			
<b>ORT</b>	<b>6,34</b>	<b>2,32</b>	<b>1518,0</b>	<b>5,18</b>	<b>72,0</b>	<b>2,92</b>	<b>19,8</b>	<b>527,0</b>

3. seriye ait şekil 7,18., 7,19., 7,20., 7,21 incelendiğinde; maksimum PÖA ve %4 BO değerlerine karşılık gelen bitüm oranları, grafiğin doğrusala yakın olması ile %6,5 bitüm oranının çok üzerinde çıkmaktadır. %6,5 üzerinde kullanılan bitüm oranları BSK' nın maliyetini yükselteceğinden PÖA ve BO' ya ait OBO değerleri %6,5; olarak alınmıştır. Maksimum MS ve %70 BDBO' ya karşılık gelen OBO değerleri sırasıyla, %6,17 ve %5,32'dir. 3. seriye ait optimum bitüm oranı 4 değerlerin ortalaması alınarak %6,34 bulunmuştur.

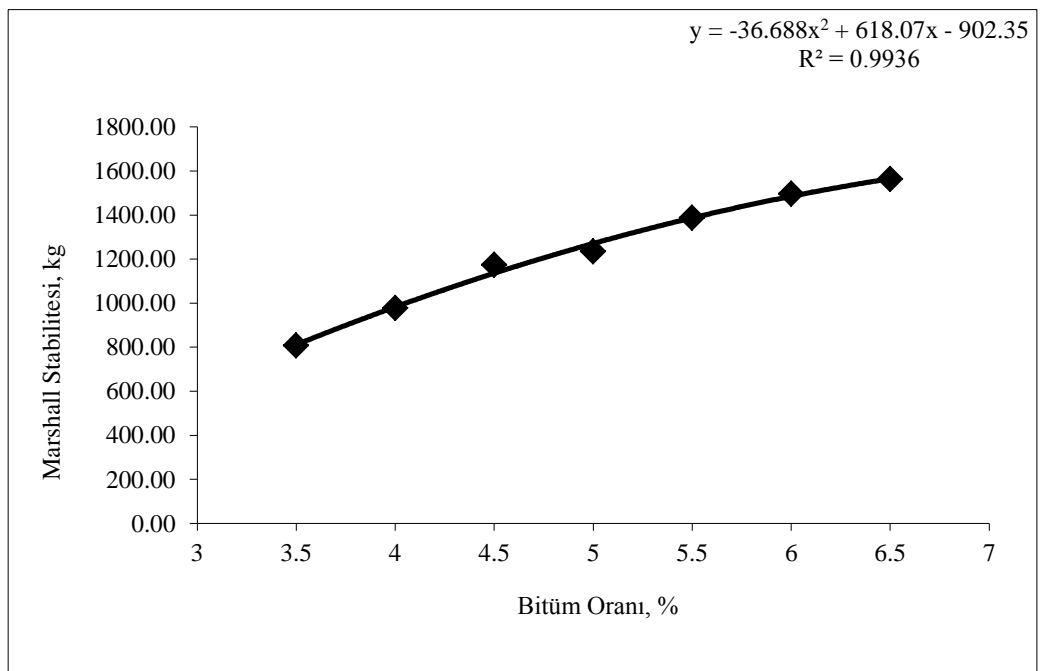


Şekil 7.24. Bitüm oranı-akma miktarı (%20 fayans atığı katkılı)

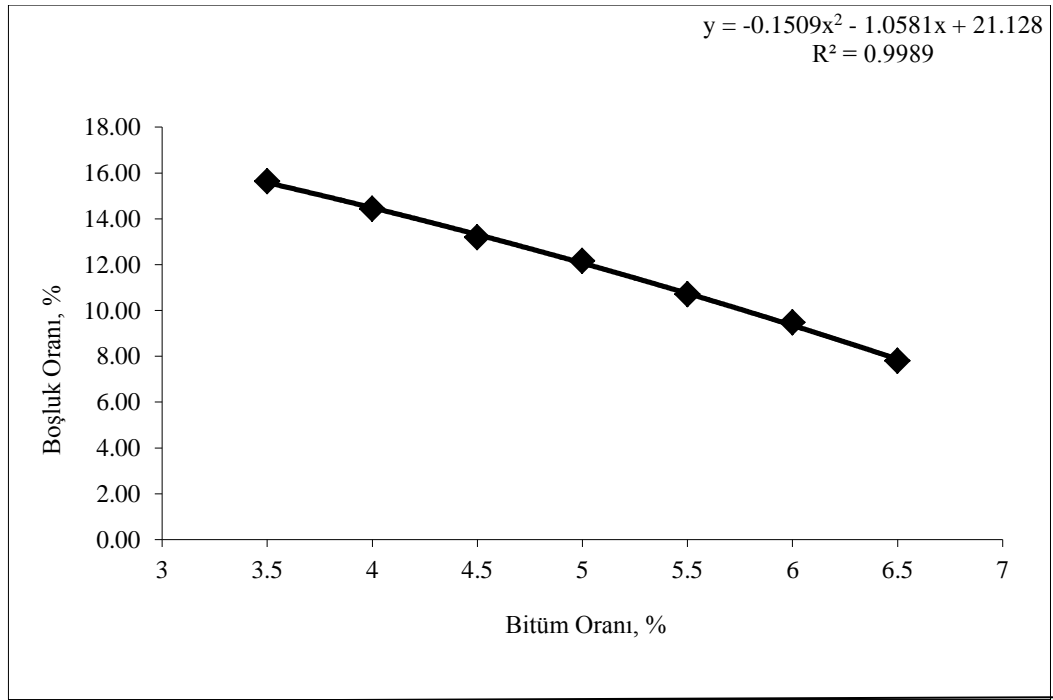
Çizelge 7.5.' ten faydalanarak, optimum bitüm oranı % 6.35' e karşılık gelen akma değeri şekil 5.10. da **2.92 mm** bulunmuştur.



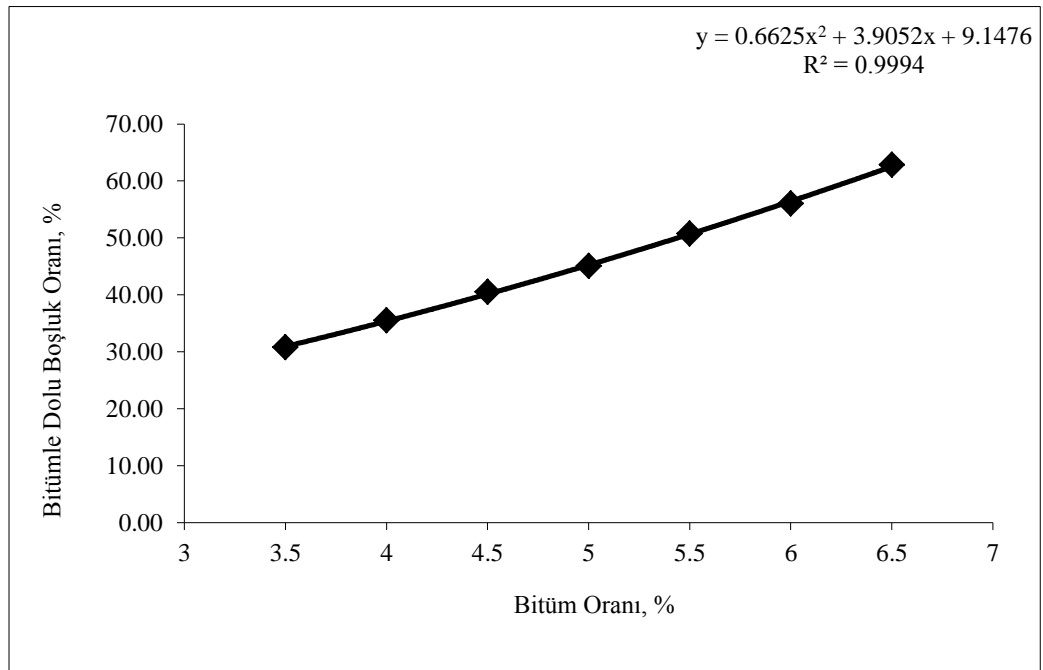
Şekil 7.25. Bitüm oranı- pratik özgül ağırlık (%30 fayans atığı katkılı)



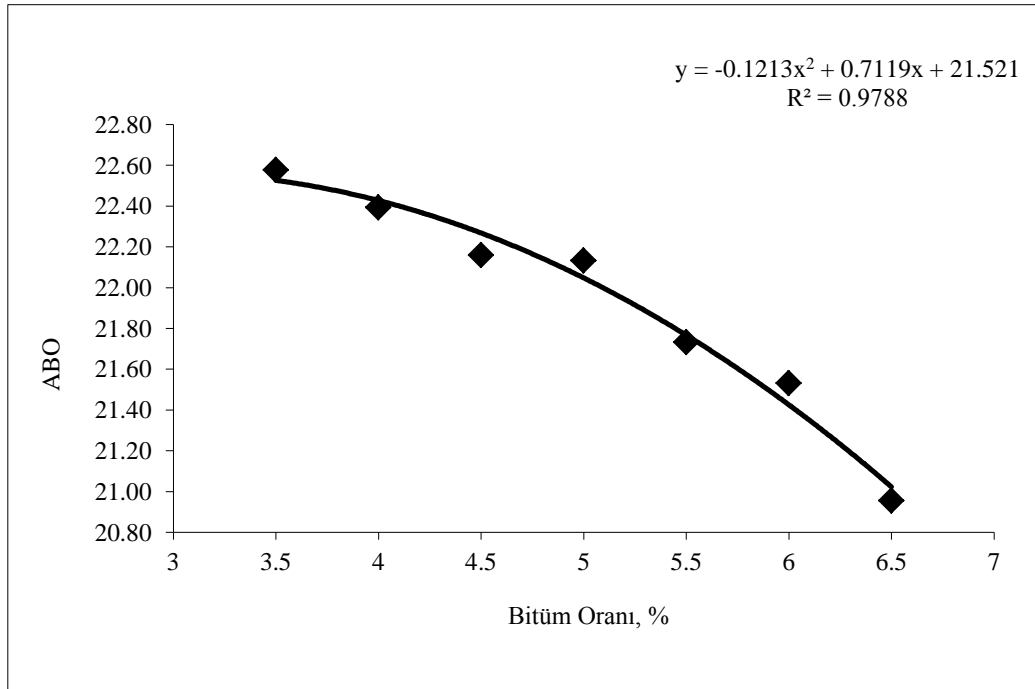
Şekil 7.26. Bitüm oranı-Marshall stabilitesi (%30 fayans atığı katkılı)



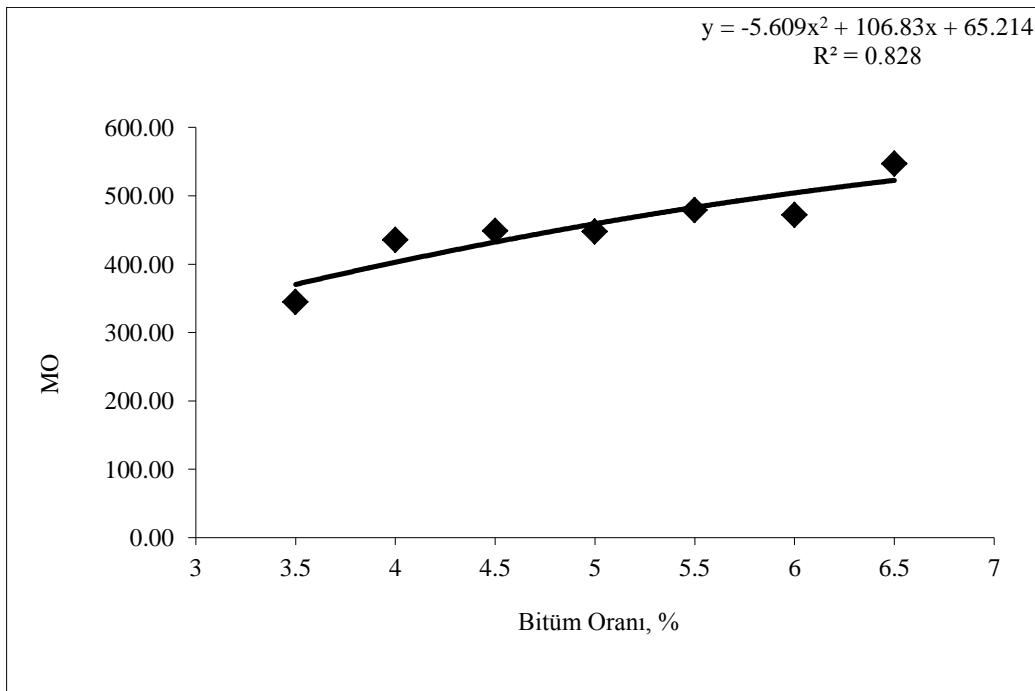
Şekil 7.27. Bitüm oranı-boşluk oranı (%30 fayans atığı katkılı)



Şekil 7.28. Bitüm oranı-bitümle dolu boşluk oranı (%30 fayans atığı katkılı)



Şekil 7.29. Bitüm oranı-ABO (%30 fayans atığı katkı)

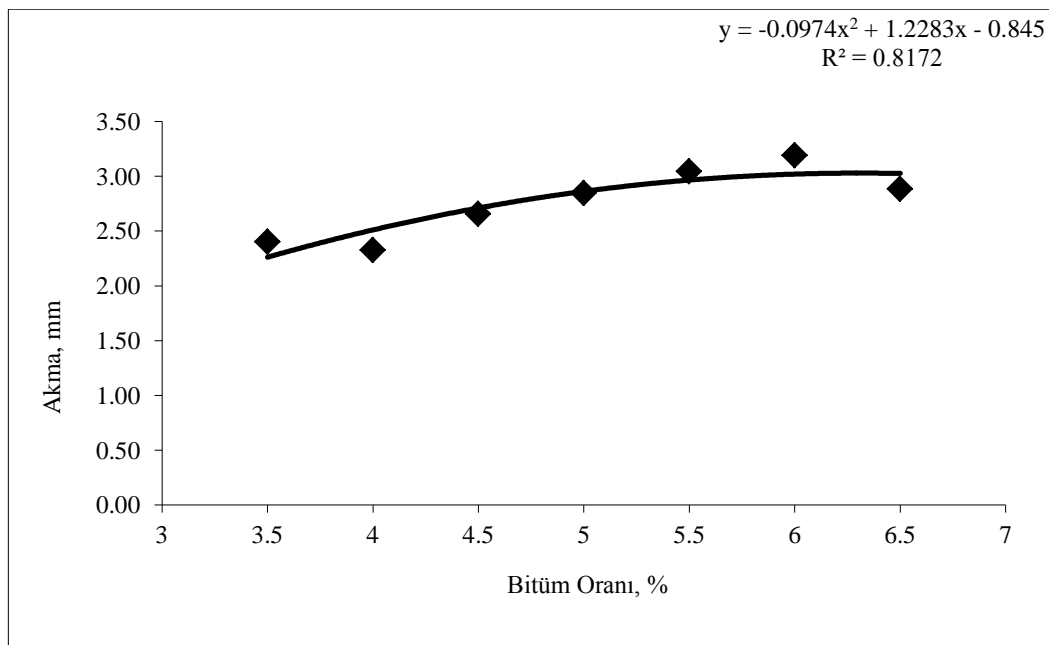


Şekil 7.30. Bitüm oranı-MO (%30 fayans atığı katkı)

Çizelge 7.6. Ortalama bitüm oranı tayini (%30 fayans atığı katkılı)

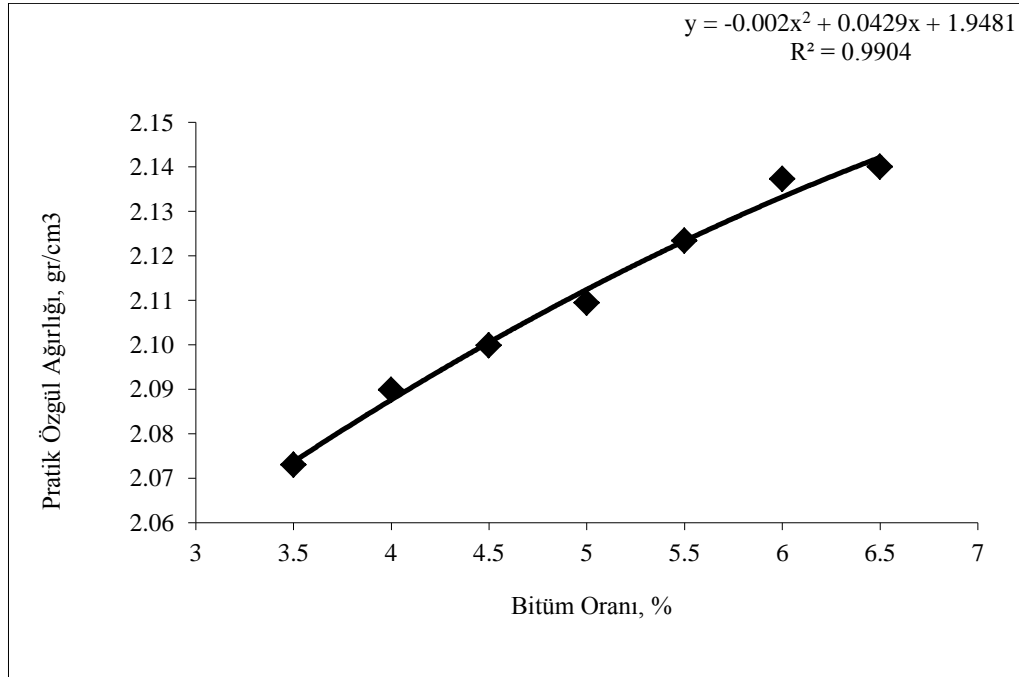
	Oran	PÖA	MS	BO	BDBO	Akma	ABO	MO
<b>PÖA</b>	6,50	<b>2,23</b>						
<b>MS</b>	6,50		<b>1565,04</b>					
<b>BO</b>	6,50			<b>7,87</b>				
<b>BDBO</b>	6,50				<b>62,52</b>			
<b>ORT</b>	<b>6,50</b>	<b>2,23</b>	<b>1565,04</b>	<b>7,87</b>	<b>62,52</b>	<b>3,02</b>	<b>21,02</b>	<b>522,63</b>

4. seriye ait şekil 7,25., 7,26., 7,27., 7,28 incelendiğinde; bitüm oranlarına bağlı, maksimum PÖA ve maksimum MS, % 4 BO ve % 70 BDBO değerleri, grafiklerin doğrusala yakın olmasıyla, OBO değerlerinin % 6,5' in üzerinde değerlere karşılık geldiği görülmüştür. % 6,5 üzerinde kullanılan bitüm oranları BSK' nın maliyetini yükselteceğinden, MS, BDBO, PÖA ve BO' ya ait OBO değerleri sırasıyla % 6,50, 6,50, 6,50 ve 6,50 alınmıştır. 4. seriye ait optimum bitüm oranı 4 değer in ortalaması alınarak % 6,50 bulunmuştur.

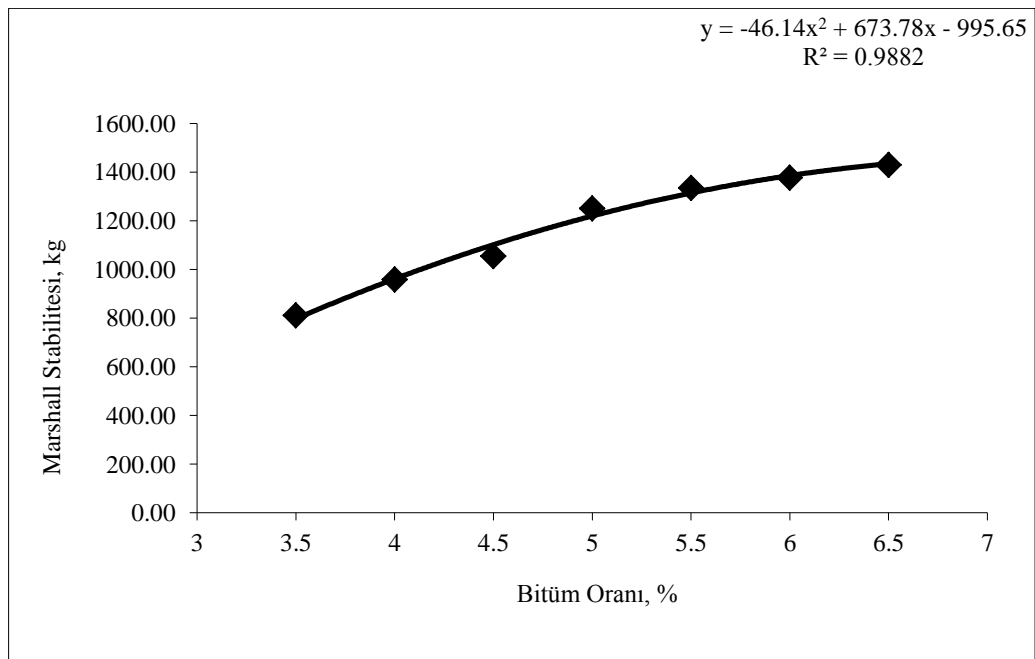


Şekil 7.31. Bitüm oranı-akma miktarı (%30 fayans atığı katkılı)

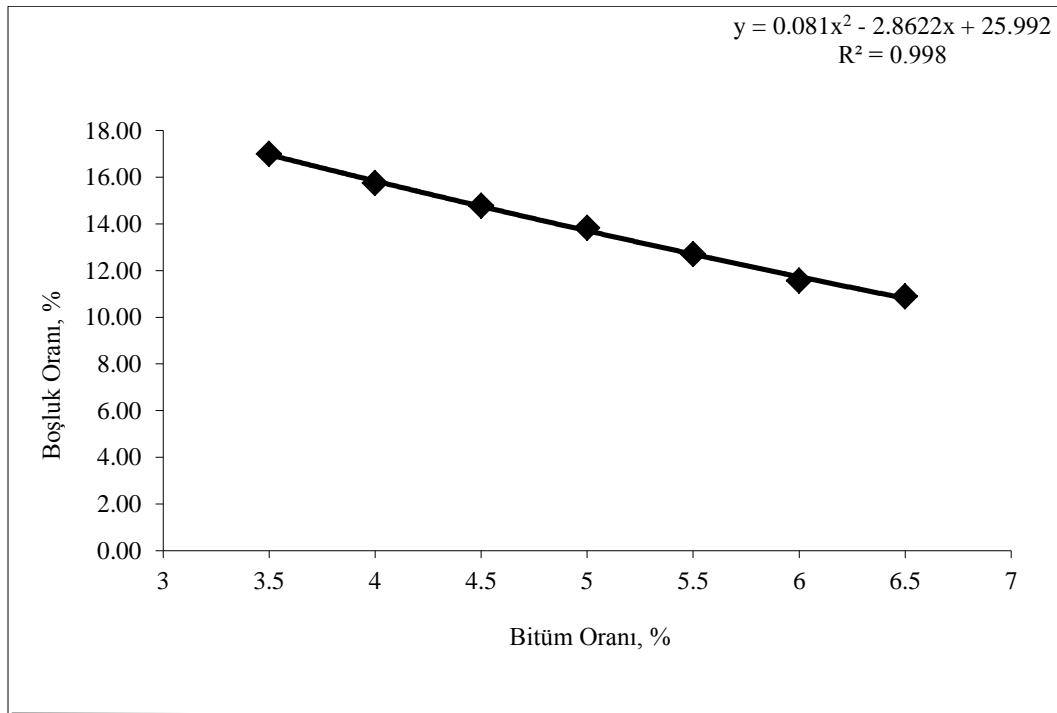
Çizelge 7.6.' dan faydalanarak, optimum bitüm oranı 6,50' ye karşılık gelen akma değeri şekil 7.31' de **3,02 mm** bulunmuştur.



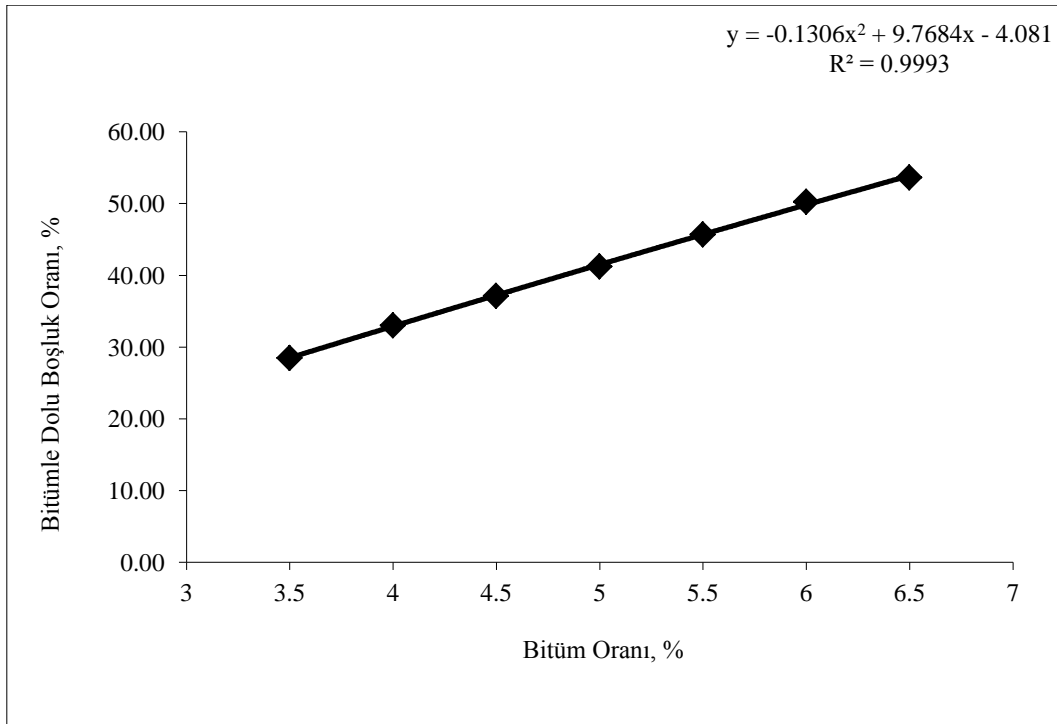
Şekil 7.32. Bitüm oranı- pratik özgül ağırlık (%40 fayans atığı katkı)



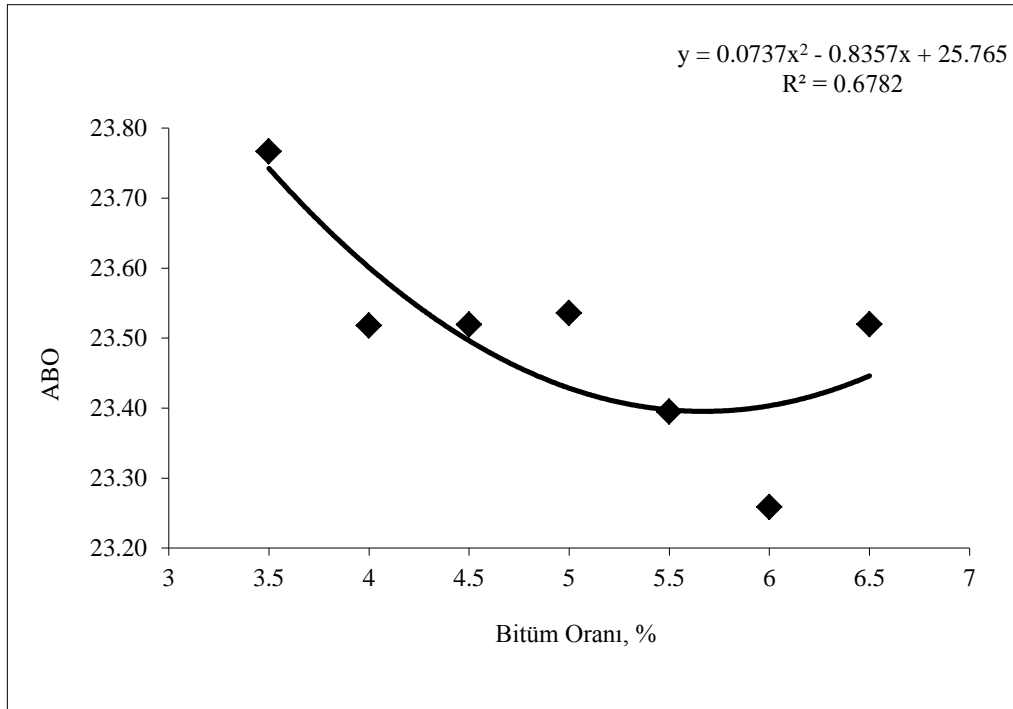
Şekil 7.33. Bitüm oranı-Marshall stabilitesi (%40 fayans atığı katkı)



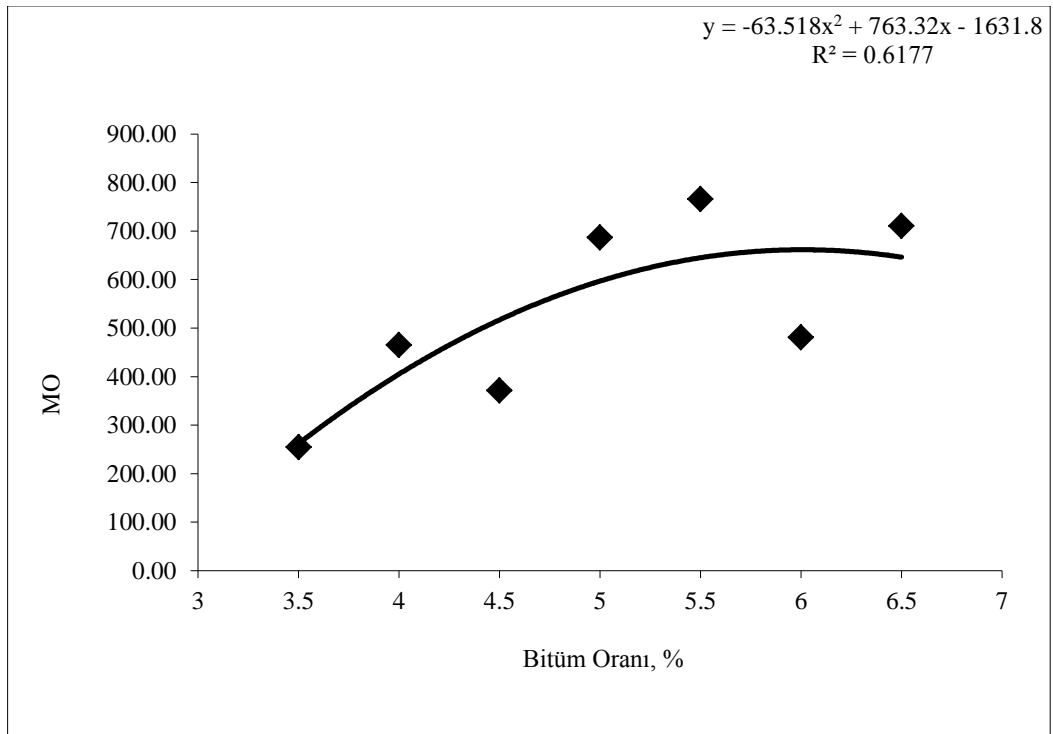
**Şekil 7.34.** Bitüm oranı-boşluk oranı (%40 fayans atığı katkı)



**Şekil 7.35.** Bitüm oranı-bitümle dolu boşluk oranı (%40 fayans atığı katkılı)



**Şekil 7.36.** Bitüm oranı-ABO (%40 fayans atığı katkılı)



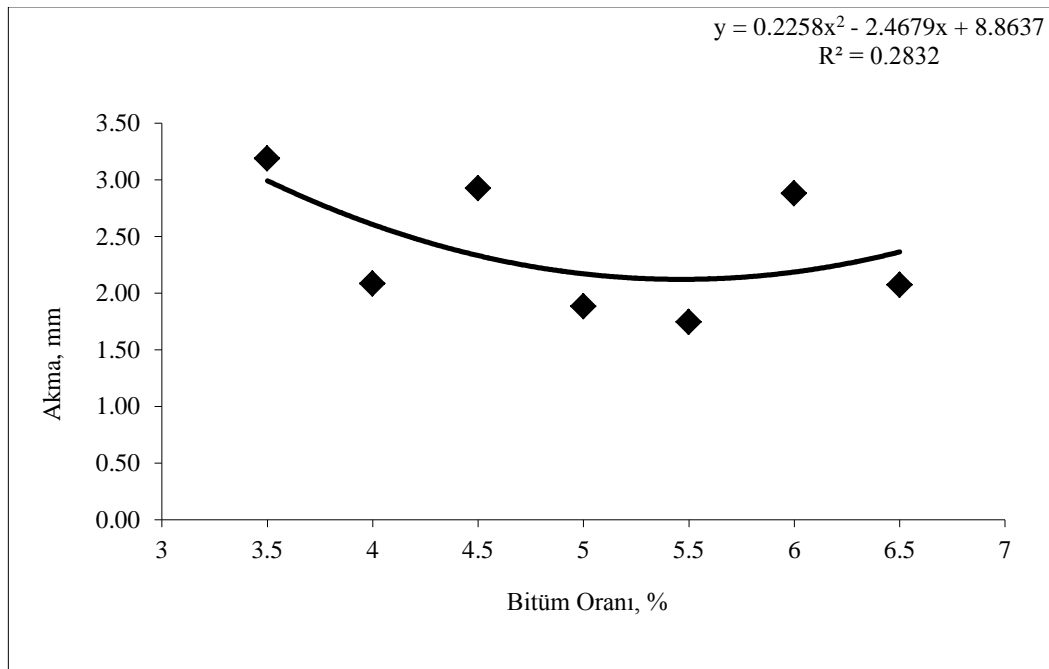
**Şekil 7.37.** Bitüm oranı-MO (%40 fayans atığı katkılı)



Çizelge 7.7. Ortalama bitüm oranı tayini (%40 fayans atığı katkılı)

	Oran	PÖA	MS	BO	BDBO	Akma	ABO	MO
<b>PÖA</b>	6,50	<b>2,14</b>						
<b>MS</b>	6,50		<b>1434,5</b>					
<b>BO</b>	6,50			<b>10,8</b>				
<b>BDBO</b>	6,50				<b>53,9</b>			
<b>ORT</b>	<b>6,50</b>	<b>2,14</b>	<b>1434,5</b>	<b>10,8</b>	<b>53,9</b>	<b>3,28</b>	<b>17,16</b>	<b>443,88</b>

5. seriye ait şekil 7,32., 7,33., 7,34., 7,35 incelendiğinde; maksimum PÖA, maksimum MS, %4 BO ve %70 BDBO değerlerinin grafiklerin doğrusala yakın olmasıyla, OBO değerlerinin %6,5' in üzerinde değerlere karşılık geldiği görülmüştür. %6,5 üzerinde kullanılan bitüm oranlarının BSK' nın maliyetini yükselteceği düşünülerek; MS, BDBO, PÖA ve BO' ya ait OBO değerleri sırasıyla % 6,50, 6,50, 6,50 ve 6,50 alınmıştır. 4. seriye ait optimum bitüm oranı 4 değerlerin ortalaması alınarak %6,50 bulunmuştur.



Şekil 7.38. Bitüm oranı-akma miktarı (%40 fayans atığı katkılı)

Çizelge 7.7.' den faydalanarak, optimum bitüm oranı 6,50' ye karşılık gelen akma değeri şekil 7,31' de **3,28 mm** bulunmuştur.

## **7.2. Statik ve Dinamik Sünme Deneyi**

### **7.2.1. Deneyin Amacı**

Bu deney cihazı BSK' larda tekrarlı ve sabit trafik yüklerinin neden olduğu kalıcı deformasyon ve yorulma özelliklerinin tespiti için kullanılmaktadır. Trafik yüklerini simüle edilebilmektedir. Bu deney yöntemi yoğun asfalt karışımlarına ve karot numunelerine uygulanabilmektedir. Ayrıca bu deneyden elde edilen sünme modülü değeri, elastik teori veya nonelastik teori yardımıyla ısı ve dingil yüklerine maruz kalan BSK' ların, düşük sıcaklıklardaki çatlama potansiyeli veya tekerlek izinin hesaplanması ve karışım rijitliğinin tahmininde de kullanılabilir (Ektaş 2011).

### **7.2.2 Deney aletleri**

**Etüv:** Numuneyi istenilen sıcaklıkta tutacak etüv.

**Sünme cihazı:** Numuneye düşeyde ve yatayda belli bir zaman boyunca yük uygulayabilen cihaz.

### **7.2.3 Deneyin yapılışı**

- Deney öncesinde marshall numunelerinin birim hacim ağırlıkları hesaplanır. Numuneler etüve yerleştirilir ve deney sıcaklığına gelinceye kadar bekletildikten sonra sünme cihazına yerleştirilen numunelere, numunenin bozulmasına neden olan yükün %5'i ile %25'i arasında basınç yükü uygulanır.

- Ön hazırlık gerilmesi numuneye, 1 sn' lik periyotta, 0,1 sn yükleme hızı, 0,9 sn boşalma hızı ve yüksüz olacak şekilde uygulanır. Ön hazırlık sonunda geri dönen düşey deformasyon ölçülür ve buradan da elastisite modülü hesaplanır.
- Tüm yükleme boyunca düşey deformasyonlar kaydedilerek yük 1 saat boyunca uygulanır. Sabitlenmiş yükün 1 saat boyunca uygulanmasının ardından, geri dönen deformasyonun ölçülmesi için ilave bir 1 saat yük uygulanmaksızın düşey yer değiştirmeler ölçülür (Özen, 2005).

#### 7.2.4 Hesaplama

Ayrı ayrı her numunenin 1., 10., 100., 1000. ve 3600. sn deki sünme modülü değerleri hesaplanır. İlave olarak karışımların değerlendirilmesi için deformasyon süre eğrisi de çizilebilir.

Tek eksenli basınç numunelerine ait hesaplamalar;

$$E_{c(t)} = \frac{\sigma_c}{\varepsilon_c(t)}$$

Bu formülde;

$E_{c(t)}$ : t anındaki sünme modülü (psi).

$\sigma_c$ : Numunelere uygulanan basınç gerilmesi (psi).

$$\varepsilon_c(t) = \frac{\Delta v(t)}{l}$$

Bu formülde;

$\varepsilon_c(t)$ : t anında tek ekseninde oluşan deformasyon (in/in).

l: Numune yüksekliği (in).

$\Delta v(t)$ : t anında düşey yönde oluşan yer değiştirme (in).

Dolaylı Çekme Gerilmesi numunelerine ait hesaplamalar;

$$Ect(t) = \frac{\sigma_c}{\varepsilon_t(t)}$$

Bu formülde;

Ect(t): t anındaki sünme modülü (psi).

$\sigma_c$ : Numunelere uygulanan dolaylı çekme gerilmesi (psi).

$$\sigma_t(t) = \Delta h(t) * \frac{(0,03896 + v * 0,1185)}{(0,0673 + v * 0,2494)}$$

$$\sigma_t = \frac{P}{h} * 0,156$$

Bu formülde;

$\Delta h(t)$ : t anındaki yatay yer değiştirme (in).

V: poisson oranı

$$X = \frac{\Delta r(3600)}{\Delta v h(3600)}$$

Bu formülde;

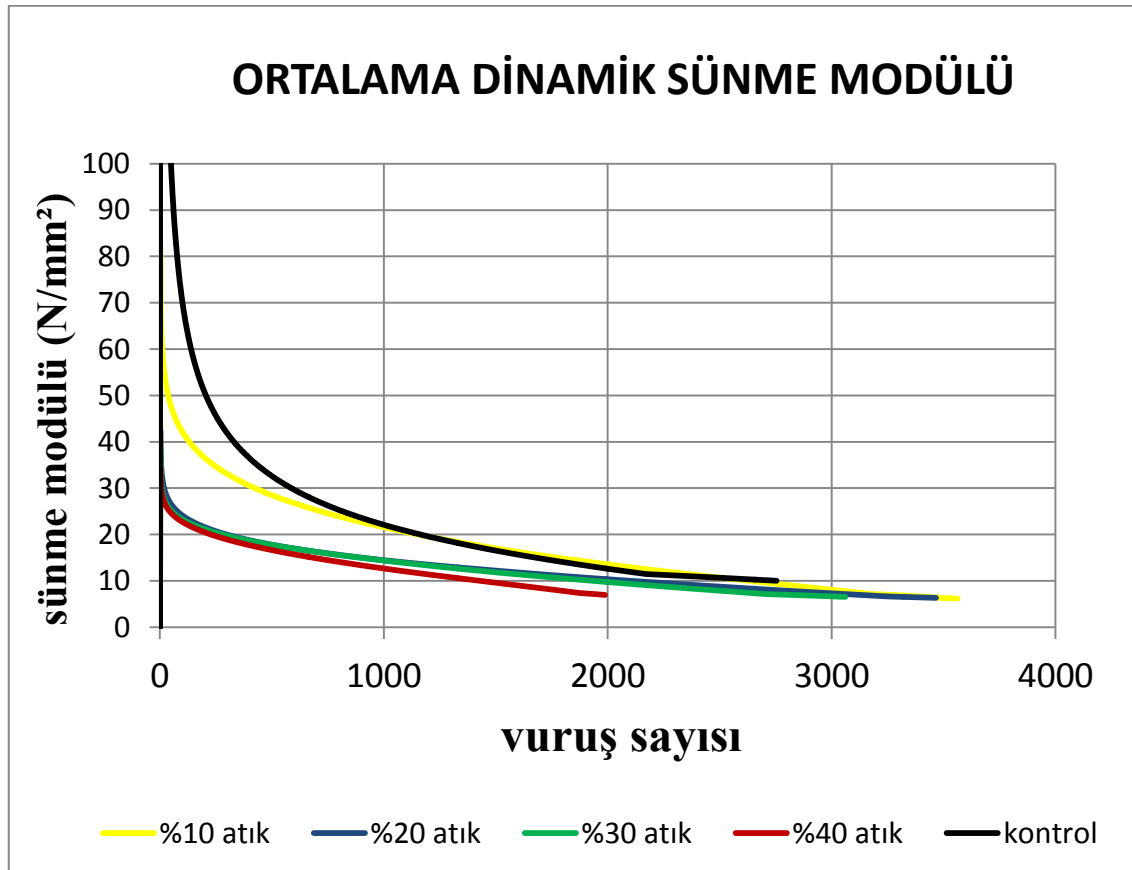
X: Numunenin geriye dönüş kabiliyeti.

$\Delta r(3600)$ : Deney sonunda tek eksenli basınç deneyinde geriye dönen düşey deformasyon veya dolaylı çekme deneyi için geriye dönen yatay deformasyon (yükün uygulandığı ikinci 3600 sn deki).

$\Delta v h(3600)$ : Tek eksenli deneydeki düşey veya dolaylı çekme deneyindeki yatay deformasyon (yükli sürenin yani 1. 3600 sn' nin sonundaki deformasyon).

### 7.2.5. Tez kapsamında yapılan dinamik sünme deneyi

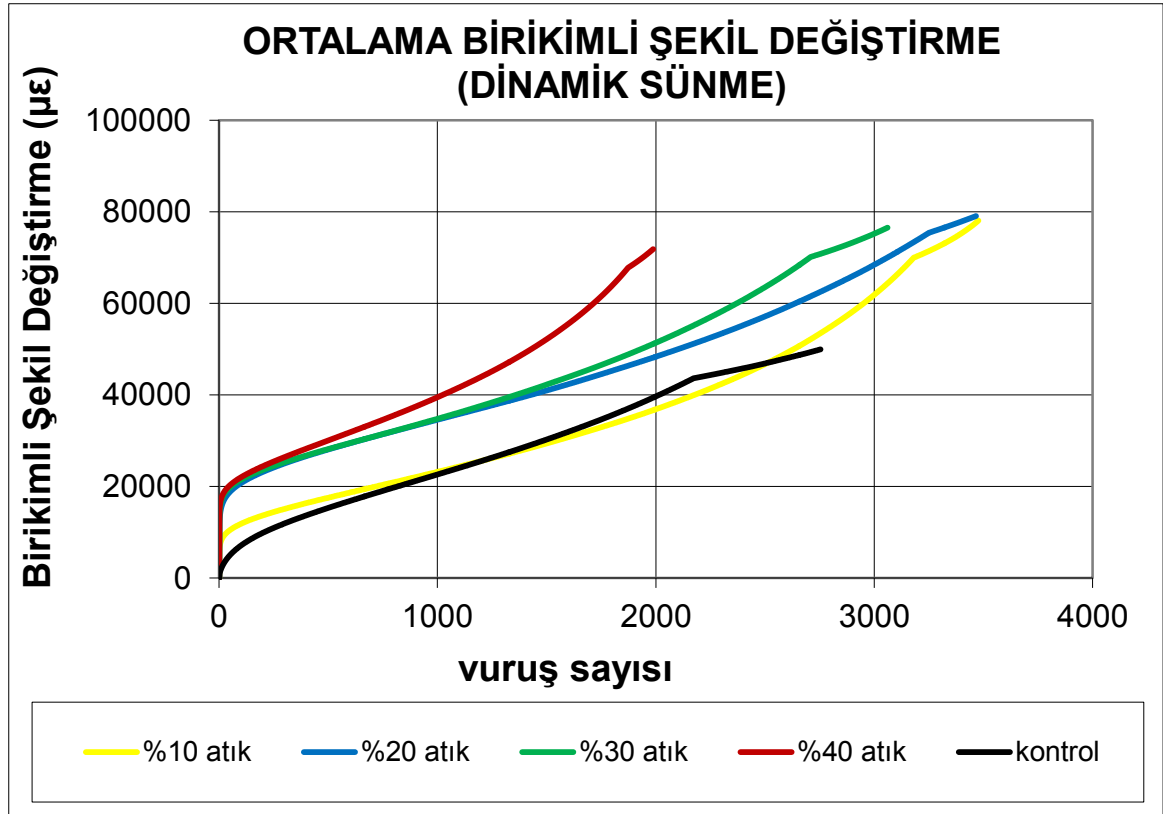
Dinamik sünme deneyi için, %10, 20, 30, 40 oranlarında 3'er adet hazırlanan 12 adet numune yüklemeye setine her biri yüklemeden 24 saat önceden 50 °C'ye ayarlı kabinde bekletilerek yerleştirilmiştir. 500 ms süre ile 500 kPa'lık yükleme yüklü ve 1500 ms boyunca yüksüz olarak deney uygulanmıştır. Deney sonunda yüklemeye setine bağlı bilgisayar yardımıyla, elde edilen veriler excel formatında alınmış ve aynı orana ait sonuçların ortalaması alınarak her bir oran için birer eğri çizilip 5 eğri halinde dinamik sünme modülü ile birikmiş deformasyon miktarının, vuruş sayılarına bağlı grafikleri çizilmiştir.



Şekil 7.39. Dinamik sünme modülü- vuruş sayısı

Şekil 7.39.'da verilmiş olan dinamik sünme modülü-vuruş sayısı grafiğine bakıldığında ilk yüklemelerde, kontrol numunelerinin rijitlik modül değerlerinin diğerlerine göre yüksek çıktığı görülmüştür. Rijitlik modül değerleri atık fayans ilavesi

arttıkça azalmaktadır. 1500 vuruştan sonra sünme değerleri tüm numunelerde yakın değerlere ulaşmaktadır. Numunelerin dinamik sünme modülü değerleri incelendiğinde tekrarlı trafik yükleri altındaki BSK kaplamalarda kullanılan atık fayans ilavesinin, kaplamanın sünekliğini çok fazla etkilemediği söylenebilir.



Şekil 7.40. Birikimli şekil değiştirme miktarı - vuruş sayısı

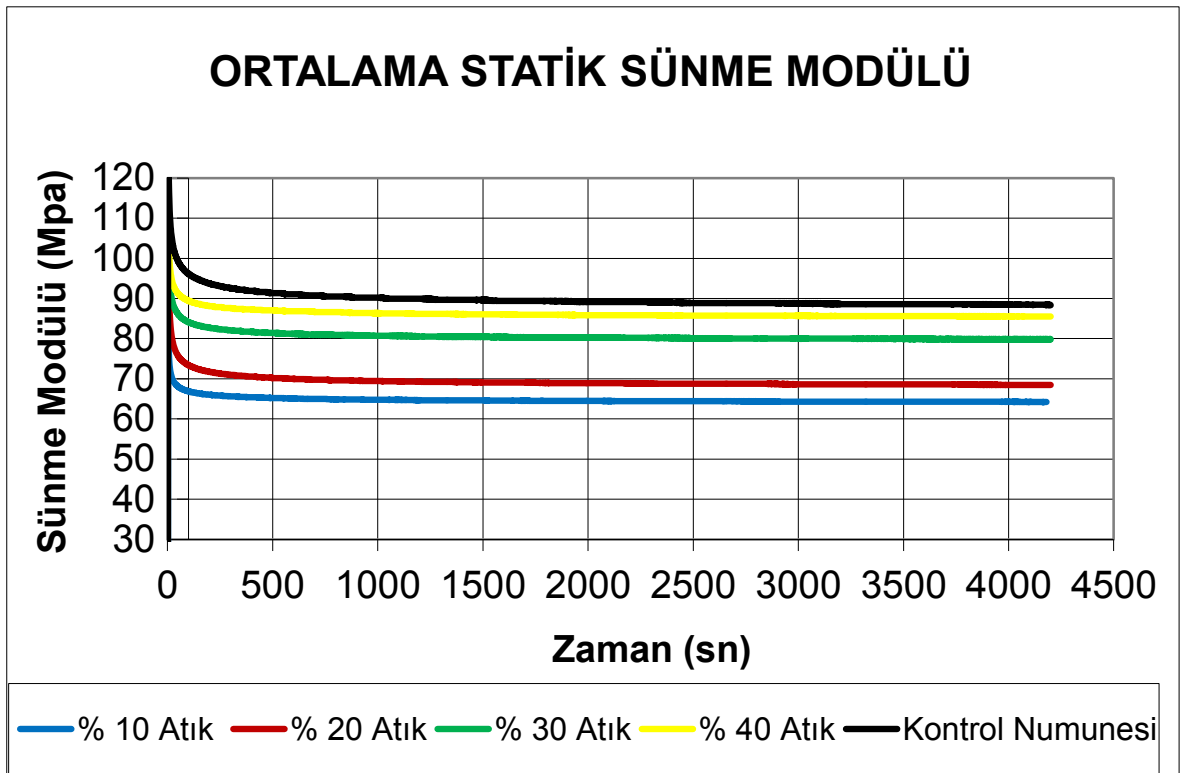
Şekil 7.40.'ta birikimli şekil değiştirme miktarı- vuruş sayısı ilişkisine bakıldığında ilk yüklemelerde kontrol numunelerinde, fayans atık katkılı numunelere göre daha düşük deformasyon değerleri görülmekte ve atık fayans ilavesinin artmasıyla numunelerdeki deformasyon değerlerinin de arttığı gözlenmektedir.

1000 vuruş sonunda %10 fayans atığı katkılı numuneler ve kontrol numuneleri aynı deformasyon değerlerini yakalarken; diğer atık fayans katkılı numunelerin daha yüksek deformasyon değerlerine ulaştığı ve atık fayans ilavesi arttıkça deformasyon değerlerinin de arttığı görülmüştür.

Atık içeren numunelerde, birikimli deformasyon değerleri daha yüksek değerlerdedir ancak, %10, 20, 30 atık fayans ilaveli numuneler daha yüksek birikimli deformasyon değerlerine kadar dayanmıştır. %40 atık fayans katkılı numuneler 2000 vuruş sonunda en yüksek birikimli deformasyon değerine ulaşmıştır.

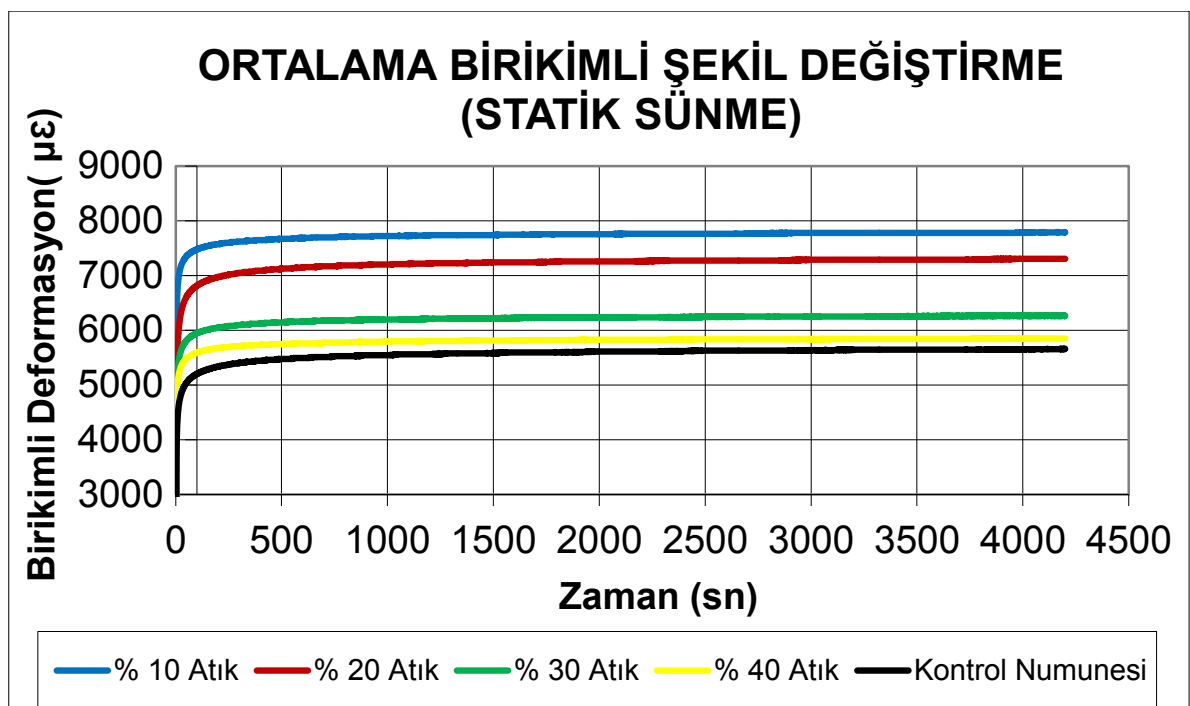
### 7.2.5. Tez kapsamında yapılan statik sünme deneyi

Yükleme setine yerleştirilen numunelere ön yüklemeye olarak 10 dakika boyunca 100 kPa'lık, sonraki 1 saat boyunca 500 kPa'lık bir yüklemeye daha yapılmıştır. Deneyde her numuneye sabit 4200 sn yüklemeye yapılmıştır. Yüklemeye setine bağlı bilgisayar aracılığıyla deney sonunda elde edilen veriler alınmış ve excel yardımıyla statik sünme modülü ile birikimli deformasyon miktarlarının, zamana bağlı grafikleri (7.41. ve 7.42.) çizilmiştir.



Şekil 7.41. Statik sünme modülü- vuruş sayısı

Şekil 7.41.' de verilmiş olan dinamik sünme modülü-vuruş sayısı grafiğine bakıldığında, kontrol numunelerinin sünme modül değerlerinin diğerlerine göre yüksek çıktığı görülmüştür. Rijitlik modül değerleri atık fayans ilavesi arttıkça artmaktadır. Numunelerin dinamik sünme modülü değerleri incelendiğinde sabit yükler altındaki BSK kaplamalarda kullanılan atık fayans ilavesinin, kaplamanın sünekliğini düşük katkı oranlarında düşürdüğü, ancak fayans katkı oranının artırılmasıyla sünmenin de arttığı gözlenmiştir.



Şekil 7.42. Birikimli şekil değiştirme miktarı - vuruş sayısı

Şekil 7.42.' de birikimli şekil değiştirme miktarı-zaman ilişkisine bakıldığında kontrol numunelerinde, fayans atık katkılı numunelere göre daha düşük deformasyon değerleri gözlenmekte ve atık fayans ilavesinin artmasıyla numunelerdeki deformasyon değerlerinin azaldığı görülmektedir.



## BÖLÜM 8

### SONUÇLAR ve ÖNERİLER

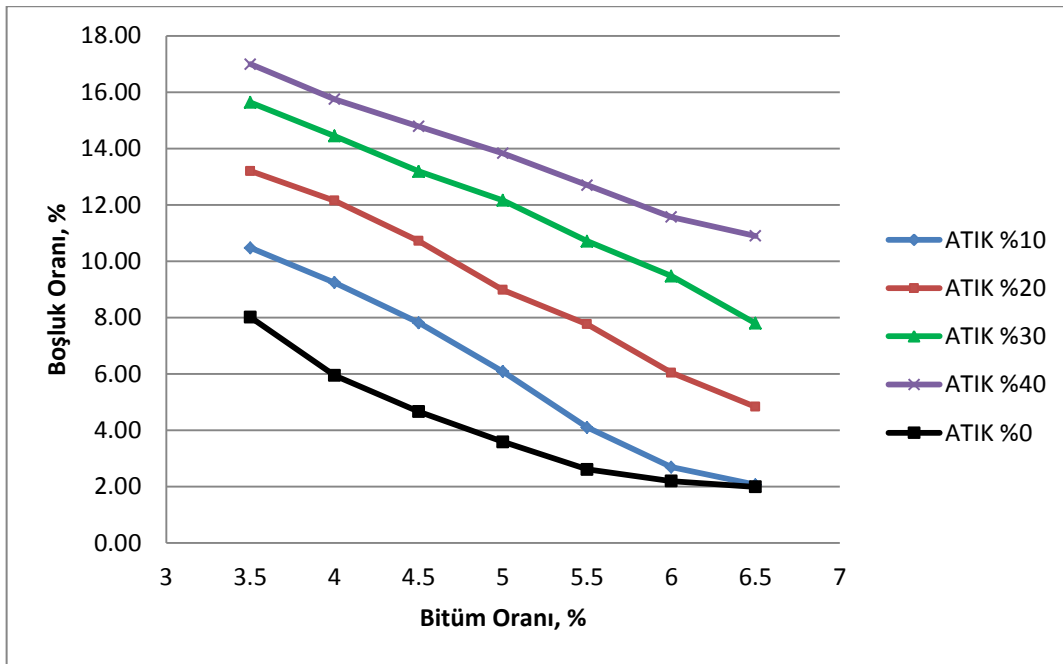
Bu tez çalışmasında kullanılan atık malzemeler endüstriyel fayans atıklarıdır. Ülkemizde fayans üretiminden yaklaşık % 8 oranında atık oluşmaktadır. Bu oran birinci kalite üretim yapan fabrikalarda ortalama %13 ün üzerine çıkmaktadır. Bilecik-Eskişehir-Kütahya bölgesindeki seramik üretimi, Türkiye toplam seramik üretiminin %43,2' sine sahiptir (TSF Raporu). Sadece bu bölgede yılda yaklaşık 100000 ton' luk bir atık birikimi oluşmaktadır. Bu atık malzemenin BSK larda kullanımı, olumsuz çevresel etkilerinin azaltılması, ülke ekonomisine katkı ve kaynakların etkin kullanımı bağlamında büyük faydalar sağlayacaktır.

Üretim aşamasında öğütme ve sırlama esnasında oluşan atıkların geri dönüşümü yapılarak tekrar silolara boşaltılarak üretim aşamasına sokulmakta, ancak pişirim sırasında veya sonrasında; ambalajlama, nakliye esnasında kırılma çizilmeler sonucu oluşan atıklar geri dönüştürülememekte iskartaya ayrılmaktadır. Fabrika depolarında biriktirilmektedir. Iskartaya ayrılan atıkların ihtiyaç duyulduğunda bir miktarı fabrika için yapılan yollarda dolgu malzemesi olarak kullanılabilen ama her yıl oluşan büyük miktarlardaki atık için geçici bir çözüm olmaktadır.

Yapılan çalışmada %3,5 ila %6,5 arasında değişen (%0.5 artarak) 50/70 penetrasyonlu katkısız bitüm kullanılarak 5 seri (ağırlıkça % 0, %10, %20, %30, %40 fayans atık katkılı ve kontrol) Marshall numunesi hazırlanmıştır. Numunelere uygulanan Marshall stabilite ve akma deney sonuçlarına göre optimum bitüm oranı %0, %10, %20, %30, %40 oranları için sırasıyla % 4,40, %5,67, %6,35, %6,5, %6,5 olarak belirlenmiştir. Bitüm emme oranı yüksek olan fayansın BSK' lardaki oranı arttıkça OBO' ları da artmıştır. Bu doğrultuda %30 ve %40 atık katkılı numuneler için OBO %6,5 in üzerinde çıkmıştır, ancak %6,5 in üzerinde kullanılan bitüm oranları maliyeti artıracığı için, optimum bitüm oranları %6,5 seçilmiştir.

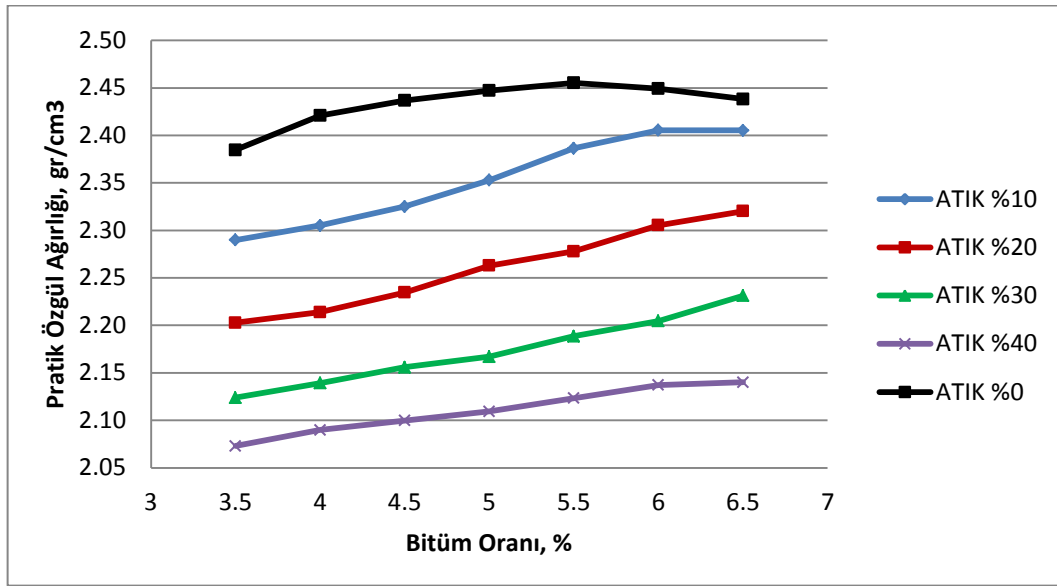
Deney sonuçlarına göre, normal agregayla hazırlanan numunelerin özgül ağırlık değerleri, atık fayans agregalarıyla hazırlanan numunelerin özgül ağırlık değerlerine göre daha yüksek çıkmıştır. Bunun sebebi, fayans agregalarının boşluklu yapıya sahip olmasıdır. Buna bağlı olarak asfalt numunelerin içinde kullanılan atık fayans miktarı arttıkça, boşluk miktarlarında artış, numunelerin özgül ağırlıklarında azalma gözlemlenmiştir.

Fayansların boşluklu yapıya sahip olmasından dolayı numunedeki atık miktarı arttıkça boşluk oranı, artmaktadır. Genelde olduğu gibi bitüm yüzdesinin artmasıyla azalma göstermekte, en sonunda minimum boşluk oranına yaklaşmaktadır (Şekil 8.1).



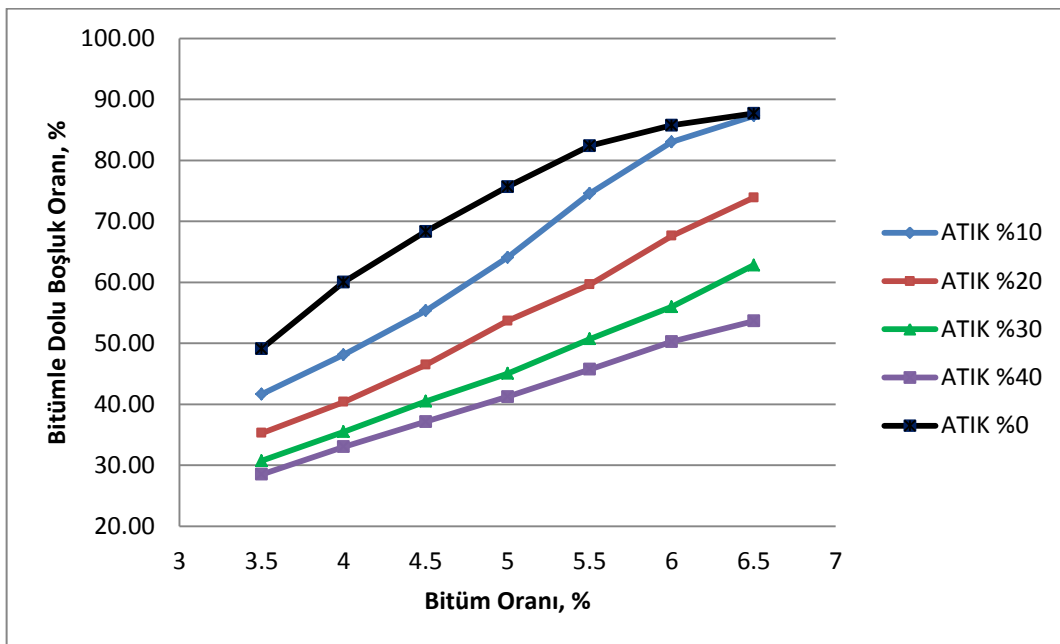
Şekil 8.1. Bitüm oranı - boşluk oranı

Pratik özgül ağırlık değerleri, bitüm oranı arttıkça, karışım içerisindeki hava boşluklarını bitümün doldurmasıyla birlikte artmaktadır. Agregaya göre daha boşluklu bir yapıya sahip olması sebebiyle, fayans ilavesinin artmasıyla ise karışımın özgül ağırlık değeri azalmaktadır (Şekil 8.2.).



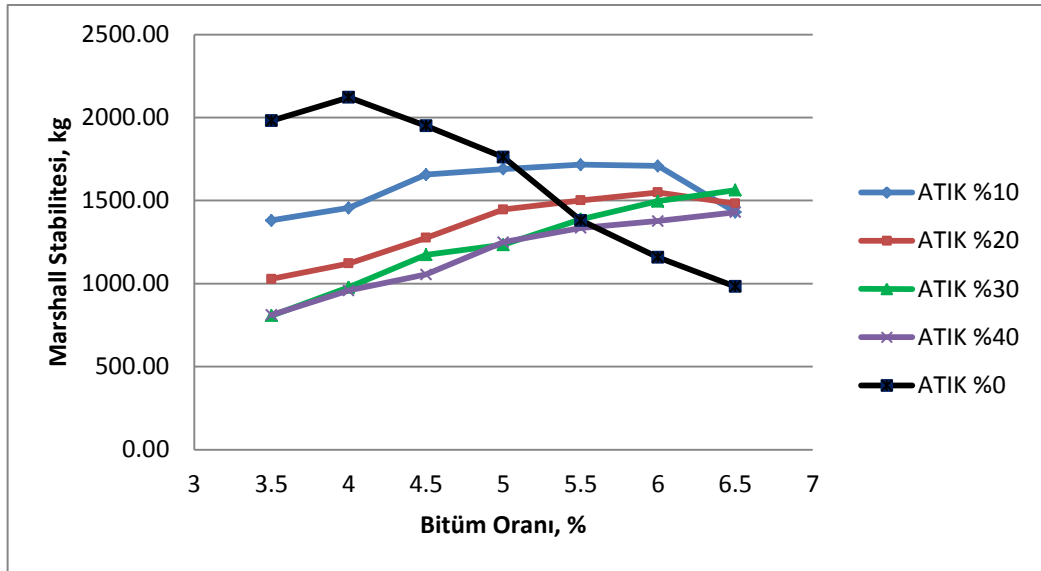
Şekil 8.2. Bitüm oranı - pratik özgül ağırlık

Bitümle dolu boşluk oranı, daneler arası boşluğun bitümlü bağlayıcı ile dolu yüzdesidir. Bitüm oranı arttıkça BDBO değeri artmakta, atık fayans ilavesi arttıkça bu değer azalmaktadır (Şekil 8.3.).



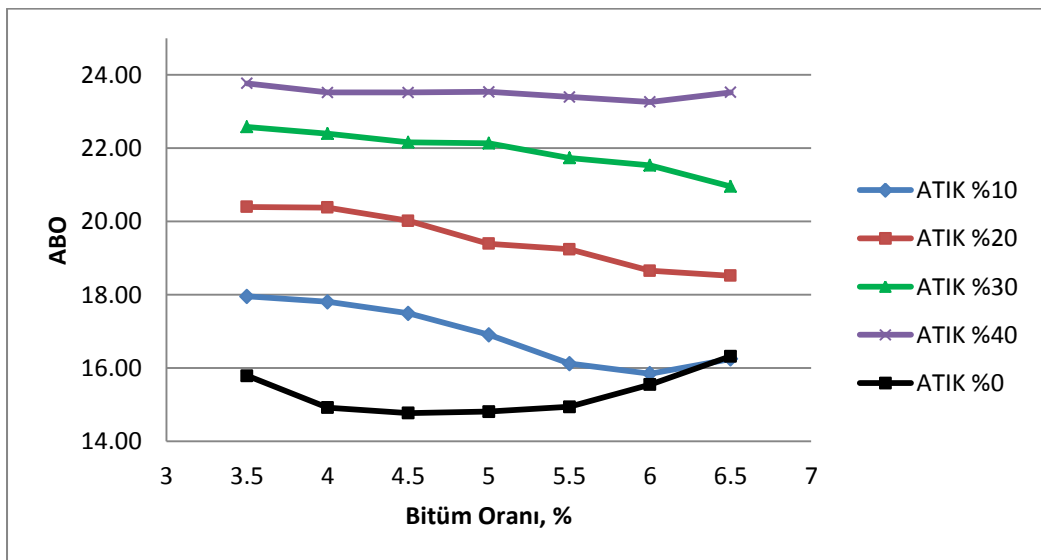
Şekil 8.3. Bitüm oranı – bitümle dolu boşluk oranı

Marshall dayanımının ise % 5,5 bitüm oranına kadar atık oranlarının artmasıyla azaldığı, ancak % 5 bitüm oranından daha yüksek bitüm oranlarında fayans katkılı numune dayanımlarının kontrol numunelerine göre daha yüksek sonuç verdiği görülmektedir (Şekil 8.4.).



Şekil 8.4. Bitüm oranı – Marshall stabilitesi

ABO bir minimum değere inmekte ve daha sonra bitüm içeriğiyle birlikte artış göstermektedir. Elde edilen değerlere göre karışımların ABO yüzdesi atık fayans oranı arttıkça artmaktadır.

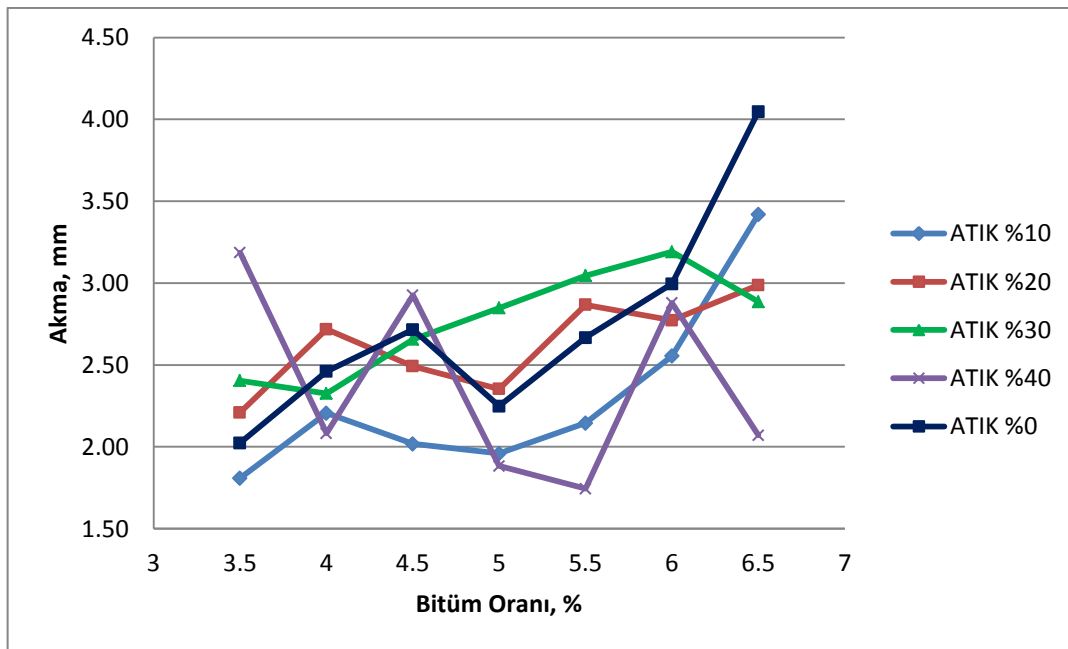


Şekil 8.5. Bitüm oranı – ABO

Çizelge 8.1.' de %0, %10, %20, %30, %40 atık oranları için optimum bitüm oranlarına karşılık gelen OBO, PÖA, MS, BO, BDBO, Akma, ABO ve MO değerleri verilmiştir.

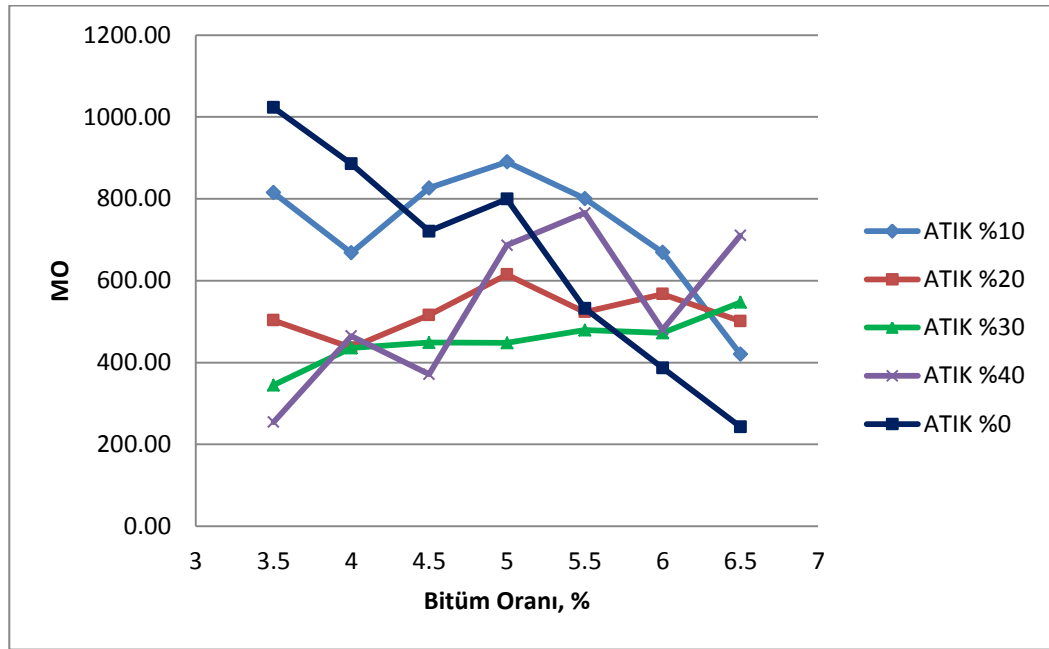
**Çizelge 8.1.** Optimum bitüm oranlarına karşılık gelen değerler

ATIK (%)	OBO	PÖA	MS	BO	BDBO	Akma	ABO	MO
0	4.4	2.43	1923.3	4.37	69.79	2.27	14.29	826.65
10	5.67	2.38	1685.6	4	75.7	2.42	16.34	729.3
20	6.35	2.32	1518	5.18	72	2.92	19.8	527
30	6.5	2.23	1565	7.87	62.52	3.02	21.02	522.63
40	6.5	2.14	1434.5	10.8	53.9	3.28	17.16	443.88



**Şekil 8.6.** Bitüm oranı – Akma

Çizelge 8.1. ve Şekil 8.6. incelendiğinde genel olarak akma değerinin atık oranı arttıkça arttığı söylenebilir.



Şekil 8.7. Bitüm oranı – MO

Çizelge 8.1. ve Şekil 8.7. incelendiğinde MO değerinin özellikle düşük bitüm oranlarında atık oranı arttıkça azaldığı söylenebilir.

Marshall oranı (MO) (Kg/mm), MS' nin akma değerine (mm) oranı olarak hesaplanır ve bu şekilde belirli test koşulları altında yükün deformasyona oranına yakın bir değerini simgeleyerek servis esnasında kalıcı deformasyona karşı malzemenin direncinin bir ölçüsü olarak kullanılabilir.

BSK' larda malzeme seçimi yapılırken hem ekonomik olması hemde kendinden beklenen performans değerlerini sağlaması istenir. Fayans agregalarının boşluklu yapıya sahip olması nedeniyle su emme oranının şartname limitini aştığı görülmüştür. Taze agrega ve fayans agregalarının diğer özellikleri şartnamede istenilen limitlerle karşılaştırıldığında BSK' larda kullanımı açısından uygundur. Optimum bitüm oranlarına karşılık gelen ortalama MS ve akma değerleri incelendiğinde fayans agregalarından elde edilen numunelerin kontrol numunelerinden düşük fakat yakın performans değerlerine sahip olduğu ve şartname limitlerini sağladığı görülmüştür.

Seramik-fayans sektöründeki işletmelerin, açık sahalarda ya da büyük depolarda gereksiz yer işgal eden bu atıklardan kurtulmak istediği ve bu işletmelerin genelinin atıklardan herhangi bir maddi gelir beklemediği bilinmektedir. Fayans atıklarının BSK' larda kullanımı ile yol üstyapı tasarımı ve imalatında, taşıma maliyeti de dikkate alınarak, hem ekonomik kazanç elde edilebilecek hem de çevresel ve görsel kirlilik oluşturan bu atık malzemeler değerlendirilebilecektir. Bu bağlamda atık fayansın binder ve aşınma tabakaları için hazırlanan BSK' larda agrega olarak kullanılmasının standartlara uygun olduğu, özellikle sıcak iklimli bölgelerde bitüm kusmalarının azaltılabileceği belirlenmiştir. Fayansların agregalarının sırlı yüzeylerinin sürücülerin gece görüşünü rahatlatılabileceği tespit edilmiştir.

**KAYNAKLAR DİZİNİ**

Ağar, E., Süttaş, İ. ve Öztaş, 1998 G., Beton Yollar, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul

Ağar, E. ve Çetin, A., 2009, Bitümlü karışımların gerilme-şekil değiştirme davranışı, İtü Dergisi / d mühendislik, 8, 6, 169-178.

Ahmedzade P., 2001, Kağıt Üretiminde elde edilen Ağaç Yağı Katranının Asfalt Modifikasyonunda Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Doktora, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.

Ahmedzade, P. Alataş T. ve Geçkil T., 2008, Asfalt betonunda siyah karbonun filler olarak kullanımı, İMO Teknik Dergi, 4493-4507, Yazı 297.

Akbulut, H., İçağa. Y, ve Gürer, C., 2003, Atık Agregaların Asfalt Yol Kaplamalarında Tekrar Kullanım İmkanları ve CEN Standartları, III Ulusal Kırmataş Sempozyumu, İstanbul

Akbulut, H. ve Gürer, C., 2006, Atık mermerlerin asfalt kaplamalarda agrega olarak değerlendirilmesi, İMO Teknik Dergi, 3943-3960.

Alataş, T., Somunkıran, E.T. ve Ahmedzade, P., 2006, Ereğli demir-çelik fabrikası çürufunun asfalt betonunda agrega olarak kullanılması, Fırat Üniversitesi, Fen ve Müh. Bil. Der., 18 (2), 225-234.

Anadolu Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Ayniyat, 2009  
(<https://www.anadolu.edu.tr/dosyalar/mmf.pdf>)



Anadolu Üniversitesi Deney Katalogları, ([www.anadolu.edu.tr/dosyalar/mmf.pdf](http://www.anadolu.edu.tr/dosyalar/mmf.pdf) )

Anarug, K., Xiao, F. and Amirkhanian, S.N., 2009, Laboratory investigation of indirect tensile strength using roofing polyester waste fibers in hot mix asphalt, *Construction and Building Materials*, Volume 23, Issue 5, 2035–2040.

Arabani, M., 2011, Effect of glass cullet on the improvement of the dynamic behaviour of asphalt concrete, *Construction and Building Materials*, 25, 3, 1181–1185.

Arabani, M. and Mirabdolazimi, S.M., 2011, Experimental investigation of the fatigue behaviour of asphalt concrete mixtures containing waste iron powder, *Materials Science and Engineering*, Volume 528, Issues 10–11, Pages 3866–3870.

Atatürk Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Laboratuvarı – I Deney Föyü, 2009-2010.

Avcı, E., 2009, Sıcak iklimli bölgelerde kullanılan asfalt betonu karışım değişkenlerinin kaplama tabakası performansına etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Ay, N. ve Ünal, M., 2000, The use of waste ceramic tile in cement production, *Ceramic Engineering Department, Cement and Concrete Research*, 30, 497-499.

Brito, J., Pereira, A.S. and Correia, J.R., 2005, Mechanical behaviour of non-structural concrete made with recycled ceramic aggregates, *Cement & Concrete Composites* 27, 429–433.

Cao, W., 2007, Study on properties of recycled tire rubber modified asphalt mixtures using dry process, *Construction and Building Materials*, 21, 1011–1015.

Cengiz, Ö., 2011, Monoporoz (Monoporosa) duvar karolarının pişirim koşullarının geliştirilmesi, Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Ceylan, S., 2006, Bitümlü sıcak karışımlarda filler olarak carboniferous-triassic kayaç tozlarının kullanılması ve etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Chen, M., Lin J., Wu, P. and Liu, C., 2011, Utilization of recycled brick powder as alternative filler in asphalt mixture, *Construction and Building Materials*, 25, 1532– 1536.
- Çakar B., 2009, Esnek Üst Yapılarda Tuğla Kırığı Atıkları Kullanımının Deneysel Olarak İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Çelik, O.N., 2001, Öğütülmüş Atık Otomobil Lastiğiyle Modifiye Edilmiş Bitümler ile Yapılan Asfalt Betonunun Yorulma Davranışı, *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 25, 487-495.
- Çetin A., 1997, Endüstriyel atıkların asfalt betonu kaplama karışımında değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Deniz, M.T. ve Lav, A.H., 2010, Asfaltlarda bitümlerle birlikte granüler sülfür kullanımının stabiliteye etkisi, *İTÜ Dergi / d mühendislik*, Cilt:9, Sayı:6, 137-148.
- Deniz, M.T., Sönmez, İ., Yıldırım, S.A. ve Eren B.K., 2005, Kullanılmış otomobil lastiklerinin bitümlü sıcak karışım performansına etkisi, 6. Ulaştırma Kongresi, İstanbul, 349-364.

- Diaz, I.G., Palomo, J.G. and Puertas, F., 2011, Belite cements obtained from ceramic wastes and the mineral pair  $\text{CaF}_2/\text{CaSO}_4$ , *Cement & Concrete Composites*, 33, 1063– 1070.
- Do, H.S., Mun, P.H. and Keun, R.S., 2008, A study on engineering characteristics of asphalt concrete using filler with recycled waste lime, *Waste Management*, 28, 191–199.
- Dünder, G., 1998, Esnek üstyapı tasarım yöntemlerinin karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ektaş, S., 2011, Beton Atıklarının Asfalt Betonu Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Emiroğlu, M., Yıldız, S. ve Özgan, E., 2009, Lastik agregalı betonlarda elastisite modülünün deneysel ve teorik olarak incelenmesi, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 24, No 3*, 469-476.
- Ergi, E., Bilgin, G.S., Zeybek, M.S. ve Asan, A., 2007, Endüstriyel atık katkı çimentoların beton dayanımı ve donatı korozyonuna etkileri, 2. Yapılarda Kimyasal katkılar Sempozyumu, 311-317, Ankara.
- Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, 2010-2011 Öğretim Yılı Karayolu Ders Notları
- Fındık, F.S., 2005, Karayolu esnek üstyapıları alttemel tabakasının stabilizasyonunda hafif agregaların kullanılabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Gündüz A., 2011, Asfalt Kaplamalarda atık lastik ilavesinin etkilerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

- Guirguis, H.R., Daoud, O.E.K. ve Hamdani, S.K., 1990, Asphalt Concrete Mixtures Made With Cement-Coated Aggregates, Transportation Research Record.
- Gürer, C., 2005, Atık mermer parçalarının bitümlü yol kaplamalarında değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Huang, B., Dong, Q., and Burdette, E. G., 2009, Laboratory evaluation of incorporating waste ceramic materials into Portland cement and asphaltic concrete, Construction and Building Materials, 23, 3451–3456.
- Ibanez, A. and Sandoval, F., 2002, Addition of quartz to fast fired wollastonite based wall tile, American Ceramic Society Bulletin, 81(6), 53-55.
- Ilıcalı, M., Tayfur, S., Özen, H., Sönmez, İ. ve Eren, K., 2001, Asfalt ve uygulamaları, İstanbul Asfalt Fabrikaları Sanayi ve Ticaret A.Ş., İstanbul,
- İnşaat Mühendisliği Laboratuvar –I Deney Föyü 2009-2010, Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Erzurum.
- İsfalt A.Ş., (2002), Asfalt El Kitabı, İstanbul Büyükşehir Belediyesi, İstanbul.
- Kafalı, M.A., 2005, Seramik Yer ve Duvar Kaplamaları, Türkiye Kalkınma Bankası A.Ş. Sektörel Araştırmaları, 1-60, Ankara
- Karayolları Genel Müdürlüğü, 2006, Karayolu Teknik Şartnamesi, KGM Yayınları, Ankara

- Kavlak, Y., 2008, Isparta gelincik pomzasının karayolu esnek üstyapıları taban zemini stabilizasyonunda kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kayacı, B., 2006, Proses ham atığının seramik karo bünyelerde kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kök, B.V., Yılmaz, M. ve Yılmaz, M., 2009, Sivas divriği çelik cürufunun bitümlü sıcak karışımlarda kullanılabilirliği, C.Ü. Fen-Edebiyat Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi, Cilt 30, Sayı 1.
- Kök, B.V., Yılmaz, M. ve Kuloğlu, N., 2012, Asfaltitin Bitüm ve Bitümlü Sıcak Karışımların Mekanik Özelliklerine Etkisi, İMO Teknik Dergi, 5813-5826, Yazı 371
- Köken, A., Köroğlu M. A. ve Yonar F., 2008, Atık betonların beton agregası olarak kullanılabilirliği, Selçuk Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Teknik-Online Dergi, 7, 1, 86-97.
- Köroğlu, M.A. ve Köken, A., 2008, Düşük mukavemetli atık betonların beton agregası olarak kullanılabilirliği, Üniversite öğrencileri III. Çevre Sorunları Kongre Kitabı, 22-27.
- MEB Mevzuat, 1983, Karayolları Trafik Kanunu (<http://mevzuat.meb.gov.tr>)
- Medina, C., Sanchez, R. and Frias, M., 2012, Reuse of sanitary ceramic wastes as coarse aggregate in eco-efficient concretes, Cement & Concrete Composites, 34, 48-54.

- Neşer, G., Şengöz, B. ve Görkem, Ç., 2010, Tekne üretimi kaynaklı cam takviyeli polyester atıkların asfalt betonu kaplamalarında geri dönüşümü, Ulusal Hakemli Dergi, 182s, 27-33.
- Orhan, F., 2012, Bitümlü karışımlar laboratuvarı çalışmaları, KGM, Araştırma Geliştirme Dairesi Başkanlığı Üstyapı Geliştirme Şubesi Müdürlüğü, Ankara.
- Öksüz, B., 2011, Asfalt betonu kaplamalarda volkanik cüruf ve cam atıklarının filler olarak kullanılabilirliğinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Önal, A. ve Kahramangil, M., 1993, Bitümlü karışımlar laboratuvar el kitabı, K.G.M Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- Özcan, Ş., 2008, Polipropilen fiber katkısının bitümlü karışımların statik sünme davranışına etkisinin araştırılması, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Pacheco-Torgal, F. and Jalali, S., 2010, Reusing ceramic wastes in concrete, Construction and Building Materials, 24, 832–838.
- Perez, I., Pasandin, A.R. and Medina, L., 2012, Hot mix asphalt using C&D waste as coarse aggregates, Materials and Design, 36, 840-846.
- Sacmi, 2002, Applied Ceramic Technology, Volume 1, Editrice La Mondragora S.R.L., Imola, Italy, 318, 11-24,
- Saatçioğlu G, 2010, Türk Seramik Sanayi Raporu (1990-2009), Türkiye Seramik Federasyonu

- Salt, İ., 2010, Bitümlü karışımların geri dönüşüm yöntemlerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Saltan, M., 1999. Esnek üstyapıların analitik değerlendirilmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri, Doktora Tezi, 202s.
- Senthamarai, R.M., Manoharan, P.D. and Gobinath, D., 2011, Concrete made from ceramic industry waste: Durability properties, *Construction and Building Materials*, 25, 2413–2419.
- Türkiye Seramik Federasyonu (TSF), <http://www.serfed.com> 2007
- Sezgin, H., 2003, Karayolları Esnek Üstyapılarında Alttemel Tabakasının Yapay Sınır Ağları Kullanılarak Modellenmesi. S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 105s, Isparta.
- Su, N. and Chen, J.S., 2002, Engineering properties of asphalt concrete made with recycled glass, *Resources, Conservation and Recycling*, 35, 259–274.
- Tanyıldızı, H. ve Coşkun A., 2011, Elazığ yöresi vişne mermer tozu katkılı hafif betonun basınç ve ultrasonik ses geçirgenliği özelliğinin araştırılması, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 27, 2, 1012-2354.
- Tarhan, Ş.B., 2007, Kuru öğütme sistemini kullanarak duvar karosu bünyesi geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Torkittikul, P. ve Chaipanich, A., 2010, Utilization of ceramic waste as fine aggregate within Portland cement and fly ash concretes, *Cement & Concrete Composites*, 32, 440–449.

Tunç, A., 2004, Esnek Kaplama Malzemeleri El Kitabı, Asil Yayın Dağıtım, Ankara

Uğurlu, A., Özdemir. M. ve Topçu İ.B., 23-25 Eylül 2004, Bor içeren kil atıkların çimento içerisinde değerlendirilmesi, Uluslararası Bor Sempozyumu, Eskişehir, Türkiye, 405-411.

Umar, F. ve Ağar, E., 1991, Yol Üstyapısı, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.

Ünal, O. ve Uygunoğlu, T., 18-19 Aralık 2003, Atık mermer tozu katkılı betonların donma-çözülme etkisinde mekanik özelliklerinin araştırılması, Türkiye IV. Mermer Sempozyumu (Mersem 2003) Bildiriler Kitabı, 147-157.

Üstüncöl, F.N.E., 2006, Endüstriyel atıkların esnek yol üstyapısında kullanılabilirliğinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Üstüncöl, F.N. ve Turabi, A., 2009, Endüstriyel atıkların karayolu üstyapısında değerlendirilmesi, BAÜ FBE Dergisi, Cilt:11, Sayı:1, 15-27

Varınca, K.B., Avşar, Y., Kurt, O. ve Gönüllü, T., 2006, Kurşun içerikli akü tesisi arıtma çamurlarının çimento ile katılaştırılmasının araştırılması, 10. Endüstriyel Kirlenme Sempozyumu.

Yelken, F., 2009, Belen-Topboğazı (Hatay) arası yol yapım çalışmaları, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Yeni Rehber Ansiklopedisi 2. Baskı, 1993-1994



Yılmaz, A. ve Süttaş, İ., 2005, Ferrokrom Cürufu Kullanılarak Hazırlanan Asfalt Betonu Numunelerinin Mühendislik Özellikler, Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi, İnşaat Mühendisleri Odası Antalya Şubesi, Dedeman Antalya

Yılmaz, A., 2008, Ferrokrom ve silikoferrokrom cürufları ile silis dumanının yol üstyapısında kullanımının incelenmesi, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Zoorob S.E., Suparna L.B., 2000, Laboratory design and investigation of the properties of continuously graded Asphaltic concrete containing recycled plastics aggregate replacement (Plastiphalt), Cement & Concrete Composites 22, p. 233- 242,