

Beton Atıklarının Asfalt Betonu Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi

Serhat Ektaş

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran 2011

Investigation of Waste Concretes on Effects of Asphalt Concrete

Serhat Ektaş

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Civil Engineering

June 2011

Beton Atıklarının Asfalt Betonu Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi

Serhat Ektaş

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

Haziran 2011

ONAY

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Serhat EKTAŞ' ın YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırladığı “Beton Atıklarının Asfalt Betonu Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Murat KARACASU

İkinci Danışman : -----

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi :

Üye: Yrd. Doç. Dr. Murat KARACASU

Üye: Yrd. Doç. Dr. Şafak BİLGİÇ

Üye: Yrd. Doç. Dr. Fatih ESER

Üye: Yrd. Doç. Dr. Polat YALINIZ

Üye: Yrd. Doç. Dr. Mehmet CANBAZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Nimetullah BURNAK
Enstitü Müdürü

ÖZET

Hammadde tüketiminin en çok görüldüğü sektörlerin başında inşaat sektörü gelir. Bu durum, mevcut haldeki doğal kaynakların büyük ölçüde azalmasına yol açmıştır. Bu nedenle geri dönüştürülmüş yapı malzemelerine olan talep son yıllarda büyük artış göstermiştir. Özellikle beton atıklarının, geri dönüşüm agregası olarak kullanılması yaygın hale gelmiş ve bu konu üzerinde birçok çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmalar, betonun az bir mukavemet kaybına uğrayarak yeniden kullanıma elverişli bir geri dönüşüm malzemesi olduğunu ortaya koymuştur.

Bu çalışmada kullanılan geri dönüşüm agregaları, basınç mukavemeti 30 MPa olan beton numuneler kırılarak elde edilmiştir. Bu agregalar, asfalt içerisine % 10, 20, 30 ve 40 oranlarında katılmış ve her oran için 21 adet asfalt numune hazırlanmıştır. Asfalt karışımında, % 3,5 ile % 6,5 oranları arasında değişen 50-70 bitüm kullanılarak optimum bitüm miktarı belirlenmiştir. Aynı şekilde sadece kırmataş agrega içeren 21 adet asfalt kontrol numunesi hazırlanmıştır. Hazırlanan bu numunelere Marshall dayanım ve sünme testleri uygulanmış, sonuçlar birbiriyle kıyaslanmıştır. Sonuç olarak karışım içinde kullanılan geri dönüşüm agregası miktarı arttıkça karışımın Marshall dayanımı düşmekte ancak akma miktarı artmaktadır. Bütün sonuçlar göz önüne alındığında, geri dönüşüm agregalarının yol yapılarında dolgu malzemesi olarak yada düşük hacimli yollarda kullanılmasının uygun olduğu söylenebilir.

Anahtar Kelimeler: Atık beton, geri dönüşüm agregası, asfalt, bitüm

SUMMARY

Raw material consumption in most sectors of the construction sector is seen. This situation has led to a decrease in the current state of natural resources greatly. Therefore, the demand for recycled building materials has increased in recent years. Particular, concrete waste, recycling has become widely used as aggregate, and many studies have been done on this subject. Studies at the concrete undergoes a loss of strength in a convenient re-use, recycling materials reveal that.

Recycled aggregates used in this study, compressive strength of 30 MPa concrete samples were obtained by breaking. These aggregates, asphalt in % 10, 20, 30 and 40 percent participated, and for every rate of 21 asphalt samples were prepared. Asphalt mixture, % 3.5 with rates ranging from % 6.5 50-70 bitumen were determined using the optimal amount of bitumen. Crushed Stone aggregate in the same way, only paved the control sample was prepared containing 21 pieces. Marshall strength and creep tests applied to these prepared samples, the results are compared with each other. As a result, the mixture used in the aggregate amount of recycling of the mixture increases, decreasing resistance to Marshall, but the amount of flow increases. All results are taken into account, recycling aggregates or low volume roads, road structures appropriate to use as fill material that can be said.

Key Words: Waste concrete, recycling aggregate, asphalt, bitumen

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca laboratuvar ve tez aşamasında bana danışmanlık yapan, beni yönlendiren ve her konuda yardımcı olan sayın Yrd. Doç. Dr. Murat Karacasu' ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmamı birlikte yürüttüğüm ve tezin her aşamasında bana destek olan Alev Gündüz arkadaşşıma, ayrıca laboratuvar çalışmalarımda yardımcı olan İnşaat Teknikeri Eyüp Ertaş' a teşekkürü bir borç bilirim.

Son olarak eğitim-öğretim hayatım boyunca bana her türlü maddi manevi desteği gösteren ve sürekli yanımda olan aileme sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.

Serhat EKTAŞ

Haziran 2011

İÇİNDEKİLER

| | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| ÖZET | v |
| SUMMARY | vi |
| TEŞEKKÜR | vii |
| ŞEKİLLER DİZİNİ | xiv |
| ÇİZELGELER DİZİNİ | xviii |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ | xix |
| | |
| 1. GİRİŞ..... | 1 |
| | |
| 2. ATIK MALZEMELERİN YENİDEN DEĞERLENDİRİLMESİ KONUSUNDA YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR..... | 4 |
| | |
| 3. KARAYOLU ÜSTYAPISI..... | 15 |
| 3.1. Esnek Üstyapı | 15 |
| 3.1.1. Temel ve alttemel tabakaları | 16 |
| 3.1.1.1. Plentmiks temel..... | 16 |
| 3.1.1.2. Mekanik stabilizasyon temel | 16 |
| 3.1.1.3. Çimento stabilizasyon temel..... | 17 |
| 3.1.1.4. Bitümlü temel | 17 |
| 3.1.1.5. Alt temel | 18 |
| 3.1.2. Temel ve alttemel tabakalarının özellikleri..... | 18 |
| 3.1.2.1. Kaplama tabakası | 21 |
| 3.1.2.2. Sathi (yüzeysel) kaplamalar..... | 22 |
| 3.1.2.3. Asfalt betonu (sıcak asfalt karışımı) kaplamalar | 22 |
| 3.1.3. Esnek üstyapıların avantaj ve dezavantajları | 22 |
| 3.1.4. Esnek kaplama kusurları..... | 24 |
| 3.2. Rijit Üstyapı..... | 25 |
| 3.2.1. Kaplama tabakası | 25 |

İÇİNDEKİLER (devam)

| | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| 3.2.2. Zemin ve alttemel tabakaları..... | 26 |
| 3.2.3. Rijit üstyapıların avantaj ve dezavantajları..... | 26 |
| 3.2.4. Beton kaplama kusurları | 27 |
| 4. SICAK ASFALT KARIŞIMLAR | 29 |
| 4.1. Sıcak Asfalt Karışımların Rijitliği | 30 |
| 4.2. Karışım Deneyleri | 32 |
| 4.2.1. Marshall deneyi | 32 |
| 4.2.1.1. Kapsam | 32 |
| 4.2.1.2. Gerekli aletler | 32 |
| 4.2.1.3. Deneyin yapılması..... | 37 |
| 4.2.1.4. Hesaplama | 38 |
| 4.2.2. Bitümlü karışımların sünme modülü deneyi..... | 38 |
| 4.2.2.1. Kapsam | 38 |
| 4.2.2.2. Gerekli aletler | 38 |
| 4.2.2.3. Deneyin yapılması..... | 39 |
| 4.2.2.4. Hesaplama | 40 |
| 5. ÜSTYAPI KAPLAMALARINDA KULLANILAN MALZEMELER | 42 |
| 5.1. Agregalar | 42 |
| 5.1.1. Temel ve alttemel tabakasında kullanılan agregaların özellikleri..... | 45 |
| 5.1.1.1. Gradasyon | 45 |
| 5.1.1.2. Permeabilite | 46 |
| 5.1.2. Asfalt kaplamalarda kullanılan agregaların özellikleri..... | 47 |
| 5.1.2.1. Gradasyon..... | 47 |
| 5.1.2.2. Sağlamlık (dane mukavemeti) | 47 |
| 5.1.2.3. Dane şekli ve biçimi..... | 48 |
| 5.1.2.4. Porozite..... | 48 |
| 5.1.2.5. Yüzey dokusu | 48 |
| 5.1.2.6. Cilalanma direnci | 49 |

İÇİNDEKİLER (devam)

| | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| 5.1.3. Agregata deneyleri | 49 |
| 5.1.3.1. Elek analizi deneyi | 49 |
| 5.1.3.1.1. Kapsam..... | 49 |
| 5.1.3.1.2. Gerekli aletler | 49 |
| 5.1.3.1.3. Deneyin yapılması | 51 |
| 5.1.3.1.4. Hesaplama | 51 |
| 5.1.3.2. Aşınmaya dayanıklılık ve aşınma kaybı deneyi (Los Angeles) | 52 |
| 5.1.3.2.1. Kapsam..... | 52 |
| 5.1.3.2.2. Gerekli aletler | 52 |
| 5.1.3.2.3. Deneyin yapılması | 53 |
| 5.1.3.2.4. Hesaplama | 54 |
| 5.1.3.3. Donmaya ve çözülmeye karşı dayanıklılık deneyi | 55 |
| 5.1.3.3.1. Kapsam..... | 55 |
| 5.1.3.3.2. Gerekli aletler | 55 |
| 5.1.3.3.3. Deneyin yapılması | 56 |
| 5.1.3.3.4. Hesaplama | 57 |
| 5.1.3.4. İnce agregata için özgül ağırlık ve su emme deneyi | 58 |
| 5.1.3.4.1. Kapsam..... | 58 |
| 5.1.3.4.2. Gerekli aletler | 58 |
| 5.1.3.4.3. Deneyin yapılması | 58 |
| 5.1.3.4.4. Hesaplama | 59 |
| 5.1.3.5. İri agregata için özgül ağırlık ve su emme deneyi | 60 |
| 5.1.3.5.1. Kapsam..... | 60 |
| 5.1.3.5.2. Gerekli aletler | 60 |
| 5.1.3.5.3. Deneyin yapılması | 60 |
| 5.1.3.5.4. Hesaplama | 61 |
| 5.1.3.6. Agregata birim ağırlık deneyi | 62 |
| 5.1.3.6.1. Kapsam..... | 62 |
| 5.1.3.6.2. Gerekli aletler | 62 |
| 5.1.3.6.3. Deneyin yapılması | 62 |

İÇİNDEKİLER (devam)

| | <u>Sayfa</u> |
|--|---------------------|
| 5.1.3.6.4. Hesaplama | 63 |
| 5.1.3.7. Yassılık indeksi tayini | 64 |
| 5.1.3.7.1. Kapsam..... | 64 |
| 5.1.3.7.2. Gerekli aletler | 64 |
| 5.1.3.7.3. Deneyin yapılması | 65 |
| 5.1.3.7.4. Hesaplama | 66 |
| 5.1.3.8. Cilalanma deneyi | 67 |
| 5.1.3.8.1. Kapsam..... | 67 |
| 5.1.3.8.2. Gerekli aletler | 67 |
| 5.1.3.8.3. Deneyin yapılması | 67 |
| 5.1.3.8.4. Hesaplama | 68 |
| 5.1.3.9. Agregada organik maddenin tespiti | 68 |
| 5.1.3.9.1. Kapsam..... | 68 |
| 5.1.3.9.2. Gerekli aletler | 68 |
| 5.1.3.9.3. Deneyin yapılması | 69 |
| 5.1.3.9.4. Hesaplama | 70 |
| 5.2. Asfalt | 70 |
| 5.2.1. Bağlayıcı deneyleri..... | 71 |
| 5.2.1.1. Yumuşama noktası deneyi | 71 |
| 5.2.1.1.1. Kapsam..... | 71 |
| 5.2.1.1.2. Gerekli aletler | 71 |
| 5.2.1.1.3. Deneyin yapılması | 72 |
| 5.2.1.1.4. Hesaplama | 73 |
| 5.2.1.2. Penetrasyon deneyi | 73 |
| 5.2.1.2.1. Kapsam..... | 73 |
| 5.2.1.2.2. Gerekli aletler | 73 |
| 5.2.1.2.3. Deneyin yapılması | 74 |
| 5.2.1.2.4. Hesaplama | 75 |
| 5.2.1.3. Düktilite deneyi | 75 |
| 5.2.1.3.1. Kapsam..... | 75 |

İÇİNDEKİLER (devam)

| | <u>Sayfa</u> |
|---|---------------------|
| 5.2.1.3.2. Gerekli aletler | 75 |
| 5.2.1.3.3. Deneyin yapılması | 77 |
| 5.2.1.3.4. Hesaplama | 78 |
| 5.2.1.4. Parlama noktası deneyi (Cleveland açık kap metodu) | 79 |
| 5.2.1.4.1. Kapsam..... | 79 |
| 5.2.1.4.2. Gerekli aletler | 79 |
| 5.2.1.4.3. Deneyin yapılması | 80 |
| 5.2.1.5. Bitümlü maddelerin ısıtma kaybı deneyi | 80 |
| 5.2.1.5.1. Kapsam..... | 80 |
| 5.2.1.5.2. Gerekli aletler | 80 |
| 5.2.1.5.3. Deneyin yapılması | 82 |
| 5.2.1.5.4. Hesaplama | 82 |
| 5.2.1.6. Bitümlü maddelerin çözünürlük deneyi | 83 |
| 5.2.1.6.1. Kapsam..... | 83 |
| 5.2.1.6.2. Gerekli aletler | 83 |
| 5.2.1.6.3. Deneyin yapılması | 84 |
| 5.2.1.6.4. Hesaplama | 85 |
| 5.2.1.7. Özgül ağırlık deneyi (piknometre metodu) | 86 |
| 5.2.1.7.1. Kapsam..... | 86 |
| 5.2.1.7.2. Gerekli aletler | 86 |
| 5.2.1.7.3. Deneyin yapılması | 87 |
| 5.2.1.7.4. Hesaplama | 87 |
| 5.2.1.8. Viskozite deneyi (Saybold) | 88 |
| 5.2.1.8.1. Kapsam..... | 88 |
| 5.2.1.8.2. Gerekli aletler | 88 |
| 5.2.1.8.3. Deneyin yapılması | 89 |
| 5.2.1.8.4. Hesaplama | 90 |
| 6. TEZ KAPSAMINDA YAPILAN DENEYLER VE SONUÇLARI | 91 |
| 6.1. Agrega Deneyleri | 91 |

İÇİNDEKİLER (devam)

| | <u>Sayfa</u> |
|---|---------------------|
| 6.1.1. Birim hacim ağırlık deneyi | 91 |
| 6.1.1.1. Sıkışık birim hacim ağırlık | 91 |
| 6.1.1.2. Gevşek birim hacim ağırlık | 92 |
| 6.1.2. Özgül ağırlık ve su emme deneyleri | 92 |
| 6.1.3. Aşınma kaybı deneyi | 94 |
| 6.2. Karışım Deneyleri | 97 |
| 6.2.1. Marshall deneyi | 98 |
| 6.2.2. Sünme modülü deneyi | 125 |
| 6.2.2.1. Statik sünme | 125 |
| 6.2.2.2. Dinamik sünme | 132 |
| 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER | 141 |
| 8. KAYNAKLAR DİZİNİ | 148 |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| <u>Sekil</u> | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| 3.1 Karayolu üstyapı elemanları | 15 |
| 3.2 Üstyapı tabakalarında araç lastiğinden gelen yükün dağılımı | 22 |
| 4.1 Marshall tokmağı..... | 33 |
| 4.2 Mikser ve aparatları | 33 |
| 4.3 Mikser ısıtma kabı | 34 |
| 4.4 Numune kalıbı | 34 |
| 4.5 Kriko | 35 |
| 4.6 Dijital tartı | 35 |
| 4.7 Etüvler..... | 36 |
| 4.8 Sıcak su banyosu | 36 |
| 4.9 Marshall test cihazı..... | 37 |
| 4.10 Sünme aleti..... | 39 |
| 5.1 Agregada gradasyon tipleri (Tunç) | 43 |
| 5.2 Teraziler | 50 |
| 5.3 Elekler..... | 50 |
| 5.4 Etüv..... | 51 |
| 5.5 Los Angeles Tamburu..... | 53 |
| 5.6 Donma çözünme kabini | 56 |
| 5.7 Özgül ağırlık sehpası | 61 |
| 5.8 Metal ölçü kapları..... | 63 |
| 5.9 Yassılık indeksi şablonu ve yassılık elek seti | 65 |
| 5.10 Yumuşama noktası deney aletleri..... | 72 |
| 5.11 Yumuşama noktası deney sonucu | 73 |
| 5.12 Penetrasyon cihazı | 74 |
| 5.13 Bitümlü briketler ve Kalıpları | 76 |
| 5.14 Düktilite cihazı | 77 |
| 5.15 Bitümlü briketlerin uzaması..... | 78 |

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

| <u>Sekil</u> | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| 5.16 Deney sonu kopan bitümlü briketler | 78 |
| 5.17 Cleveland açık kap cihazı | 79 |
| 5.18 Etüv..... | 81 |
| 5.19 Bitümle dolu numune kapları..... | 81 |
| 5.20 Etüv içerisindeki numuneler | 82 |
| 5.21 Süzme erleni..... | 84 |
| 5.22 Piknometre | 86 |
| 5.23 Viskozite deney cihazı..... | 88 |
| 6.1 Aşınma tabakası granülometri eğrisi | 96 |
| 6.2 Numunelere bitüm ilave edilmesi ve kalıba koyulması..... | 100 |
| 6.3 Numunelerin sıkıştırılıp stabilite ve akmalarının belirlenmesi | 101 |
| 6.4 Bitüm oranı- pratik özgül ağırlık (kontrol numunesi) | 103 |
| 6.5 Bitüm oranı-Marshall stabilitesi (kontrol numunesi) | 103 |
| 6.6 Bitüm oranı-boşluk oranı (kontrol numunesi)..... | 104 |
| 6.7 Bitüm oranı-bitümle dolu boşluk oranı (kontrol numunesi) | 104 |
| 6.8 Bitüm oranı-VMA (kontrol numunesi)..... | 105 |
| 6.9 Bitüm oranı-MQ (kontrol numunesi) | 105 |
| 6.10 Bitüm oranı-akma miktarı (kontrol numunesi) | 106 |
| 6.11 Bitüm oranı- pratik özgül ağırlık (% 10 beton katkı)..... | 107 |
| 6.12 Bitüm oranı-Marshall stabilitesi (% 10 beton katkı) | 108 |
| 6.13 Bitüm oranı-boşluk oranı (% 10 beton katkı) | 108 |
| 6.14 Bitüm oranı-bitümle dolu boşluk oranı (% 10 beton katkı)..... | 109 |
| 6.15 Bitüm oranı-VMA (% 10 beton katkı) | 109 |
| 6.16 Bitüm oranı-MQ (% 10 beton katkı) | 110 |
| 6.17 Bitüm oranı-akma miktarı (% 10 beton katkı)..... | 111 |
| 6.18 Bitüm oranı- pratik özgül ağırlık (% 20 beton katkı)..... | 112 |
| 6.19 Bitüm oranı-Marshall stabilitesi (% 20 beton katkı) | 112 |
| 6.20 Bitüm oranı-boşluk oranı (% 20 beton katkı) | 113 |
| 6.21 Bitüm oranı-bitümle dolu boşluk oranı (% 20 beton katkı)..... | 113 |

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

| <u>Sekil</u> | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| 6.22 Bitüm oranı-VMA (% 20 beton katkılı) | 114 |
| 6.23 Bitüm oranı-MQ (% 20 beton katkılı) | 114 |
| 6.24 Bitüm oranı-akma miktarı (% 20 beton katkılı) | 115 |
| 6.25 Bitüm oranı-pratik özgül ağırlık (% 30 beton katkılı) | 116 |
| 6.26 Bitüm oranı-Marshall stabilitesi (% 30 beton katkılı) | 117 |
| 6.27 Bitüm oranı-boşluk oranı (% 30 beton katkılı) | 117 |
| 6.28 Bitüm oranı-bitümle dolu boşluk oranı (% 30 beton katkılı) | 118 |
| 6.29 Bitüm oranı-VMA (% 30 beton katkılı) | 118 |
| 6.30 Bitüm oranı-MQ (% 30 beton katkılı) | 119 |
| 6.31 Bitüm oranı-akma miktarı (% 30 beton katkılı) | 120 |
| 6.32 Bitüm oranı- pratik özgül ağırlık (% 40 beton katkılı) | 121 |
| 6.33 Bitüm oranı-Marshall stabilitesi (% 40 beton katkılı) | 121 |
| 6.34 Bitüm oranı-boşluk oranı (% 40 beton katkılı) | 122 |
| 6.35 Bitüm oranı-bitümle dolu boşluk oranı (% 40 beton katkılı) | 122 |
| 6.36 Bitüm oranı-VMA (% 40 beton katkılı) | 123 |
| 6.37 Bitüm oranı-MQ (% 40 beton katkılı) | 123 |
| 6.38 Bitüm oranı-akma miktarı (% 40 beton katkılı) | 124 |
| 6.39 Sünme deneyi için hazırlanan numuneler | 125 |
| 6.40 Statik sünme modülü-zaman grafiği (kontrol numunesi) | 126 |
| 6.41 Statik sünme modülü-zaman grafiği (% 10 beton katkılı) | 126 |
| 6.42 Statik sünme modülü-zaman grafiği (% 20 beton katkılı) | 127 |
| 6.43 Statik sünme modülü-zaman grafiği (% 30 beton katkılı) | 127 |
| 6.44 Statik sünme modülü-zaman grafiği (% 40 beton katkılı) | 128 |
| 6.45 Statik sünme modülü-zaman grafiği (Tüm atık oranlarına ait ortalamalar) | 128 |
| 6.46 Birikmiş deformasyon-zaman grafiği (kontrol numunesi) | 129 |
| 6.47 Birikmiş deformasyon-zaman grafiği (% 10 beton katkılı) | 130 |
| 6.48 Birikmiş deformasyon-zaman grafiği (% 20 beton katkılı) | 130 |
| 6.49 Birikmiş deformasyon-zaman grafiği (% 30 beton katkılı) | 131 |
| 6.50 Birikmiş deformasyon-zaman grafiği (% 40 beton katkılı) | 131 |

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

| <u>Sekil</u> | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| 6.51 Birikmiş deformasyon-zaman grafiği (Tüm atık oranlarına ait ortalamalar)..... | 132 |
| 6.52 Dinamik sünme modülü-vuruş sayısı grafiği (kontrol numunesi) | 133 |
| 6.53 Dinamik sünme modülü-vuruş sayısı grafiği (% 10 beton katkı) | 134 |
| 6.54 Dinamik sünme modülü-vuruş sayısı grafiği (% 20 beton katkı) | 134 |
| 6.55 Dinamik sünme modülü-vuruş sayısı grafiği (% 30 beton katkı) | 135 |
| 6.56 Dinamik sünme modülü-vuruş sayısı grafiği (% 40 beton katkı) | 135 |
| 6.57 Dinamik sünme modülü-vuruş sayısı (Tüm atık oranlarına ait ortalamalar)..... | 136 |
| 6.58 Birikmiş deformasyon-vuruş sayısı grafiği (kontrol numunesi) | 137 |
| 6.59 Birikmiş deformasyon-vuruş sayısı grafiği (% 10 beton katkı)..... | 137 |
| 6.60 Birikmiş deformasyon-vuruş sayısı grafiği (% 20 beton katkı)..... | 138 |
| 6.61 Birikmiş deformasyon-vuruş sayısı grafiği (% 30 beton katkı)..... | 138 |
| 6.62 Birikmiş deformasyon-vuruş sayısı grafiği (% 40 beton katkı)..... | 139 |
| 6.63 Birikmiş deformasyon-vuruş sayısı (Tüm atık oranlarına ait ortalamalar)..... | 139 |
| 7.1 Optimum bitüm oranı - atık oranı değişimi | 142 |
| 7.2 Pratik özgül ağırlık - atık oranı değişimi | 142 |
| 7.3 Marshall stabilitesi - atık oranı değişimi..... | 143 |
| 7.4 Boşluk oranı - atık oranı değişimi | 143 |
| 7.5 Bitümle dolu boşluk oranı - atık oranı değişimi..... | 144 |
| 7.6 Akma - atık oranı değişimi..... | 144 |
| 7.7 Renkli ve desenli asfalt uygulamaları..... | 146 |

ÇİZELGELER DİZİNİ

| <u>Cizelge</u> | <u>Sayfa</u> |
|---|---------------------|
| 3.1 Temel ve alttemel tabakalarında kullanılan agrega gradasyonları | 18 |
| 3.2 Temel ve alttemel tabakalarının özellikleri | 20 |
| 3.3 Asfalt kaplama kusurları ve nedenleri | 25 |
| 5.1 Aşınma deneyi numune tipleri | 54 |
| 5.2 Deneye alınacak minimum malzeme miktarı ve boyutları | 66 |
| 5.3 Agregada organik madde durumu | 69 |
| 5.4 Asfalt çimentolarının katılık ve viskozite sınıflandırılması | 71 |
| 5.5 Ölçümler arasında olabilecek en büyük fark | 75 |
| 5.6 Isıtma kaybı duyarlılık sınırları | 83 |
| 5.7 Banyo deney sıcaklıkları | 89 |
| 6.1 Deneilerde kullanılan agregaların fiziksel özellikleri | 95 |
| 6.2 Elek analizi sonuçları | 96 |
| 6.3 Deneilerde kullanılan agrega miktarları (atık miktarı %10 ve %20) | 97 |
| 6.4 Deneilerde kullanılan agrega miktarları (atık miktarı %30 ve %40) | 97 |
| 6.5 50-70 penetrasyonlu bitümün fiziksel özellikleri | 98 |
| 6.6 Asfalt betonu dizayn kriterleri | 102 |
| 6.7 Asfalt kontrol numunesi deney sonuçları | 102 |
| 6.8 Ortalama bitüm oranı tayini (kontrol numunesi) | 106 |
| 6.9 %10 atık beton içeren asfalt numunesi deney sonuçları | 107 |
| 6.10 Ortalama bitüm oranı tayini (% 10 katkılı beton) | 110 |
| 6.11 %20 Atık beton içeren asfalt numunesi deney sonuçları | 111 |
| 6.12 Ortalama bitüm oranı tayini (% 20 katkılı beton) | 115 |
| 6.13 %30 Atık beton içeren asfalt numunesi deney sonuçları | 116 |
| 6.14 Ortalama bitüm oranı tayini (% 30 katkılı beton) | 119 |
| 6.15 %40 Atık beton içeren asfalt numunesi deney sonuçları | 120 |
| 6.16 Ortalama bitüm oranı tayini (% 40 katkılı beton) | 124 |

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

| <u>Simgeler</u> | <u>Açıklama</u> |
|------------------------|------------------------------------|
| E_{cq} | Sünme Modülü (psi) |
| ϵ_c | Eksende Oluşan Deformasyon (in/in) |
| ν | Poission oranı |
| σ_c | Dolaylı Çekme Gerilmesi (psi) |

| <u>Kısaltmalar</u> | <u>Açıklama</u> |
|---------------------------|-------------------------------------|
| AB | Avrupa Birliği |
| CBR | Kaliforniya Taşıma Oranı |
| EN | Avrupa Standartları |
| ISO | Uluslararası Standart Organizasyonu |
| KTŞ | Karayolları Teknik Şartnamesi |
| MDE | Mikro-Deval Katsayısı (yaş olarak) |
| MQ | Marshall Oranı |
| PI | Plastisite İndisi |
| TS | Türk Standartları |
| VMA | Agregalar arası boşluk yüzdesi |

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Çağımızda insan nüfusunun hızla artması ve doğal kaynakların tükeniyor olması sebebiyle, ortaya çıkan bu atıkların azaltılması ya da geri dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu nedenle atık kontrolü ve yönetimi günümüzün en büyük sorunlarından biri olmuştur. Bu sorunu çözenin en iyi yolu iyi planlanmış bir katı atık yönetimi oluşturmaktır. Katı atık yönetiminin amacı; her türlü atık malzemenin çevreye zarar verecek şekilde, doğrudan veya dolaylı bir biçimde doğal ortama verilmesi, depolanması, taşınması, uzaklaştırılması ve benzeri faaliyetlerin yasaklanması, çevreyi olumsuz yönde etkileyebilecek olan tüketim maddelerinin idaresini belli bir disiplin altına alarak, havada, suda ve toprakta kalıcı etki gösteren atık malzemelerin hayvan ve bitki nesillerini, doğal zenginlikleri ve ekolojik dengeyi bozmasının önlenmesi ile buna yönelik prensip, politika ve programların belirlenmesi, uygulanması ve bu doğrultuda geliştirilmesidir (T.C. Çevre bakanlığı, 2005).

Hammaddenin en çok kullanıldığı sektörlerin başında inşaat sektörü gelmektedir. Elde edilen verilere göre, inşaat sektörü hammaddenin % 50'sini doğadan sağlar. Toplam enerjinin % 40'ını kullanır ve yine ortaya çıkan bu atıkların % 50'sini oluşturur (Oikonomou, 2005). Yapılan araştırmalara göre; yapı/altyapı inşaatı, yenilenmesi, tadilatı ve tamiratı, yolların ve köprülerin yapımı ve yenilenmesi ve diğer insan yapımı işler sonucu Avrupa Topluluğu ülkelerde yılda 180 milyon ton, Almanya'da 30 milyon ton ve A.B.D.' de 136 milyon ton inşaat ve yıkıntı atığı oluşmaktadır. A.B.D.'de inşaat/yıkıntı atıklarının % 43'ü konutlardan (58 milyon ton) % 57'si (78 milyon ton) diğer kaynaklardan oluşmaktadır. Bu atıkların % 8'i yeni inşaat yapımından, % 44'ü yenileme ve % 48'i yıkıntı atıklarıdır. Sydney şehrinde oluşan inşaat/yıkıntı atığı miktarı toplam katı atığın % 60'ını oluşturmaktadır. 1998 yılı verilerine göre Hong Kong' da bir günde üretilen inşaat/yıkıntı atığı miktarı 32.710 tondur. İngiltere' de yılda 53,5 milyon ton inşaat/yıkıntı atığı oluşmaktadır. Bu atıkların 27,4 milyon tonu (% 51,2) depolanmakta, 21,2 milyon tonu (% 39,6) inşaat esnasında arazi kazanımında kullanılmakta ve 5 milyon tonu (% 9,2) yeni ürün kazanmak üzere

değerlendirilmektedir. Özellikle beton vb. malzemelerin atıklarının değerlendirilmesi yoluna gidilerek önemli miktarlarda hammadde ve ekonomik kazanç sağlanabilir (Xue, et al., 2006; Do, et al., 2008; Su, et al., 2002).

Betonun, doğal kaynaklar üzerinde yıkıcı olduğu ve kullanımından sonra zararlı çevresel etkileri nedeniyle yapı malzemesi olarak çevre dostu olmadığı görülmüştür. İnşaat atıklarından özellikle atık betonun beton üretiminde veya yol yapımında agrega olarak kullanılması bu atıkların çevreye verdiği zararların azaltılmasının yanında, mevcut agrega kaynaklarının tüketiminin de en aza indirilmesini sağlar.

Yapılan deneysel çalışmalarda, Geri dönüşüm agregasının kalitesinin atık betonun kalitesine bağlı olduğu, karışımda çimento hamuruyla iyi bir aderans sağladığı, daha düşük bir özgül ağırlığa sahip olduğu, Los Angeles aşınma yüzdesi değerlerinin daha yüksek olduğu ve agrega emme suyuna ilaveten % 10 daha fazla suya gereksinimi olduğu belirlenmiştir (Durmuş vd., 2009).

Asfalt yolların büyük bir kısmını oluşturan agregalar, yolun servis ömrü süresince önemli bir rol oynarlar. Farklı yol tabakalarında farklı agrega özellikleri aranır. Aşınma tabakası yolun servis ömrü ve yol güvenliği açısından en önemli parametrelerden biridir. Yolun servis ömrünü en iyi şekilde tamamlayabilmesi için burada kullanılacak olan agreganın mekanik özelliklerinin çok iyi olması ve cilalanmaya karşı yüksek dayanım göstermesi istenir. Dolayısıyla kaliteli hammadde arayışına giren insanoğlu her gün yeni agrega ocakları açmakta ve gün geçtikçe bu agrega ocaklarına talep artmaktadır. Bununla birlikte bu ocaklardan dolayı yeryüzünün şekli bozulmakta, çevremizde hoş olmayan görüntüler oluşmaktadır (Akbulut ve Gürer, 2007).

Bu çalışmada, beton uygulamalarında çevresel kirliliği azaltacak ve doğal kaynakların tüketilmesinde önemli ölçüde azalma sağlayacak geri dönüşüm agregaları kullanılması tasarlanmıştır. Çalışmada kullanılan geri dönüşüm agregaları C30 sınıfı betondan elde edilmiş olup, bu agregalardan, farklı yüzdelere sahip karışımlarda asfalt numuneleri hazırlanmış ve gerekli deneysel araştırmalar yapılmıştır. Çalışmada, her biri 21 adet olmak üzere, ağırlıkça % 0, 10, 20, 30 ve 40 geri dönüşüm agregası içeren 5

set numune hazırlanmıştır. Her bir set numune, 3 erli gruplar halinde ağırlıkça % 3,5 ile % 6,5 oranları arasında bitüm içeren 7 farklı numuneden oluşmuştur. Bu numuneler Marshall aletinde kırılmış, numunelerin stabiliteleri ve akma değerleri belirlenmiştir. Marshall deneyi neticesinde bulunan optimum bitüm oranları kullanılarak, her bir atık oranı için 4 er adet numune hazırlanmıştır. Bu numunelerden ikisine statik, ikisine dinamik sünme testleri uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar bölüm 6 da gösterilmiştir. Ayrıca numunelerin hazırlanmasında kullanılan doğal agrega ve geri dönüşüm agregalarına elek analizi, aşınma kaybı, özgül ağırlık ve birim hacim ağırlık deneyleri uygulanmıştır. Sonuç olarak geri dönüşüm beton agregasının sıcak asfalt karışımlar içerisinde ne derece kullanılabileceği araştırılmış, elde edilen sonuçlar şartname kriterleriyle karşılaştırılmıştır.

BÖLÜM 2

ATIK MALZEMELERİN YENİDEN DEĞERLENDİRİLMESİ KONUSUNDA YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR

Siddique, Khatip ve diğerleri, katı atık yönetiminin, dünyanın ilgilendiği önemli sorunlardan biri olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmalarında beton içinde kullanılacak atık maddeleri araştırmışlar ve çelik, cam, plastik gibi malzemelerin bu tip geri dönüşüm işlemlerinde sıklıkla kullanıldığını belirlemişlerdir. Bu malzemelerin beton üzerinde olumlu etkiler yaptığı görülmüştür. Çalışmalarında, atık plastiğin beton üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Plastiğin yeniden değerlendirilip inşaat malzemelerinde kullanılmasının, inşaat endüstrisi için önemli bir gelişme olduğunu savunmuşlardır. Yaptıkları testlerde plastik katkılı betonun basınç mukavemeti, esneklik modülü, gerilme direnci gibi değerlerinin ve işlenebilirliğin arttığını ortaya koymuşlardır (Siddique, et al., 2007).

Yüceer ve Çelik, polimerlerin asfalt betonunda kullanılması ve atık plastiklerin değerlendirilmesi konusunda çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmalar doğrultusunda granüler haldeki polimeri, asfalt betonuna ağırlıkça % 2, 4, 6 ve 8 oranlarında katmışlar ve plastik oranı % 4 iken en yüksek stabilite değerine ulaşmışlardır. Sonuç olarak asfalt betonu içerisine atık plastik katarak stabilite ve rijitliğin arttığını, ancak plastiğin malzemedeki akımayı da arttırdığını gözlemlemişlerdir (Yüceer, 1991).

Siddique ve Naik, lastik atıklarını portland çimentosu ile üretilmiş beton içerisine katarak kauçuk beton tasarlamayı amaçlamışlardır. Bu karışımda bağlayıcı olarak magnezyum klorürlü çimento kullanmışlardır. Sonuç olarak kendi yaptıkları deneylerde ve incelemiş oldukları diğer çalışmalarda hurda lastik ile yapılan kauçuk beton karışımının uygulanabilir bir tasarım olduğunu ortaya koymuşlardır (Siddique and Naik, 2004).

Sukontasukkul, Chaikaew ve diğerleri yaptıkları çalışmada atık lastik olarak kauçuk kırıntılarını kullanmışlar ve son 20 yılda bu konu üzerine yapılan çalışmalardan

da örnekler vermişlerdir. Kendi sundukları tezde ise kauçuk kırıntılarını yaya kaldırım bloklarının yapımında kullanmışlar ve daha esnek, yumuşak yüzeyli bloklar elde etmişlerdir. Yaptıkları testlerde kauçuk katkılı blokların hem kayma hem de aşınma dirençlerinin oldukça yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir. Üretim sürecinin kolaylığı nedeniyle de ekonomik olduğunu savunmuşlardır (Sukontasukkul, et al., 2006).

Chiu ve Lu, açık gradasyonlu taş matris asfalt içerisine lastik kauçuk katarak fizibilite çalışması yapmışlardır. Lastik kauçuğu asfalt içerisine 0,85 mm boyutunda % 30 olarak ve 0,6 mm boyutunda % 20 olarak kaba ve ince kauçuk şeklinde katmışlar, pratikte kullanılmaya uygun bir taş matris asfalt karışımı üretmenin mümkün olmadığı sonucuna varmışlardır (Chiu and Lu, 2007).

Xiao ve diğerleri, ılık asfalt katkı maddelerini içeren lastikle kaplı asfalt beton karışımların yorulma davranışını incelemişlerdir. Bunun için 8 farklı karışımı 20 °C' de test etmişlerdir. Sonuç olarak lastikle kaplı asfalt betonu, normal sıcak asfalt kaplama ile karşılaştırılmış, uzun vadedeki hizmet ömrü performansının karışım ve sıkıştırma sıcaklığına da bağlı olarak arttığı gözlemlenmiştir (Xiao, et al., 2009).

Cao çalışmasında, atık lastik parçalarını asfalt betonu içerisine kuru işlem süreçte eklemiştir. Lastiksiz bir kontrol karışımı ve farklı lastik oranları içeren üç tür asfalt karışımını test etmiştir. Atık lastik, asfalt karışımı içerisine toplam ağırlığın % 1, 2 ve 3' ü olacak şekilde eklenmiş ve 60 °C' de tekerlek izi testi, -10 °C' de dolaylı çekme testi yapılmıştır. Sonuçta lastik atıklı asfalt karışımı, düşük sıcaklıkta çatlama, yüksek sıcaklıkta ise daimi deformasyona karşı iyi bir performans ortaya koymuştur (Cao, 2007).

Navarro, Partal ve diğerleri, lastik kırıntılarının asfalt betonunun sıcaklıkla değişim gösteren özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Lastik kırıntılarını % 9 oranında bitümlle modifiye etmişler, bunun viskozitesi ve tekerlek izi bırakma direncini arttırdığını, yorulma çatlaklarını azalttığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca lastik kırıntılarının 0,35 mm' den daha küçük boyutlarda kullanılmasını önermişlerdir (Navarro, et al., 2004).

Hınıslioğlu ve Ağar, yüksek yoğunluklu polietileni asfalt betonuna katmışlar ve çeşitli sıcaklıklarda deneyler yapmışlardır. Polietileni karışıma ağırlıkça % 4, 6 ve 8 oranlarında eklemişler, karışım sıcaklığını 165 °C, karışım süresini ise 30 dakika tutmuşlardır. Sonuç olarak polietilenin asfalt betonunun stabilitesini ve deformasyona karşı direncini arttırdığı gözlemlenmiştir (Hınıslioğlu ve Ağar, 2004).

Li ve diğerleri, betonu atık lastik ile modifiye etmiş ve hazırladıkları numuneleri deneysel olarak incelemişlerdir. Bunun için atık lastiği iki farklı tipte kullanmışlar, kamyon ve teker lastiklerini küçük parçacıklar ve lifler haline getirmişlerdir. Numuneler elyaf ve polipropilen takviyesi yapmışlar, bu doğrultuda 10 adet silindir beton numunesi hazırlamışlardır. Bu numunelerin sıkışma dayanımı, esneklik modülü, poisson oranı ve çekme dayanımı gibi değerlerini ölçmüşler ve test sonuçlarını tartışmışlardır. Sonuç olarak lif halindeki atık lastiğin, küçük parçacıklar halindeki atık lastikten daha iyi sonuçlar verdiğini gözlemlemiş, liflerin uzunluklarının 50mm ile sınırlı olması önerilmiştir. Hibrid elyaf takviyeli atık lastikli betonda ise yüksek mukavemet ve tokluk elde etmişlerdir. Polipropilenin ise g kaybını kurtarmak için gerekli olduğunu savunmuşlardır (Li, et al., 2004).

Su ve Chen, 23 milyon nüfuslu bir ada ülkesi olan Tayvan da her yıl 5 milyon ton cam atığı üretildiğini göz önünde bulundurarak, çalışmalarında malzeme olarak camı seçmişlerdir. Atık camı asfalt betonu içerisine toplam ağırlığın % 0, 5, 10 ve 15' i olacak şekilde katarak 10 cm ykseklisinde ve 6,35 cm çapında disk numuneler tasarlamışlardır. Bu numunelerin Marshall stabilitesi, kuru-ıslak nem oranı, kayma direnci, ışığı yansıtma ve su geçirgenliği gibi pek çok özelliğini test etmişler, değerlerin ASTM ve AASHTO prosedrlarına uygun olduğunu görmüşlerdir. Sonuç olarak cam malzemenin yaygın olarak kullanılan asfalt betonu için ekonomik avantajlar sunan uygun bir malzeme olduğunu ortaya koymuşlardır (Su, et al., 2002).

Topçu ve Canbaz, 4-16 mm boyutlu atık cam malzemeyi %0 ile %60 oranları arasında, P/32,5 tip imento içerisine katmışlar, malzemenin işlenebilirliği ve mukavemetini test etmişlerdir. Beklendiği gibi cam, beton için uygun bir malzeme olmamış, kıvam değerini düşmüş, içindeki hava miktarı ve birim ağırlığı artmıştır.

Özellikle karışım içine % 60 oranında atık cam katmak basınç mukavemetinde % 49'luk bir azalma meydana getirmiştir (Topçu ve Canbaz, 2004).

Şengöz ve diğerleri, asfalt betonunda değerlendirmek üzere çatı kaplama malzemesi olan shingle'ı seçmişlerdir. Çalışmalarında asfalt betonu içine atık shingle'ı ağırlıkça % 1, 2, 3, 4 ve 5 oranlarında katmışlar, en iyi stabiliteyi optimum bağlayıcı içeriği ile % 5 oranında sağlamışlardır. % 0,5 ve % 1 bağlayıcı oranı ile hazırladıkları numuneler üzerinde de testler yapan Şengöz ve diğerleri atık shingle malzemenin sıcak asfalt karışımların Marshall stabilitesini ve kızışma direncini arttırmak için kullanılabilir olduğunu göstermişlerdir (Şengöz ve Topal, 2005).

Tiwari ve diğerleri, asfalt betonu ve donatılı çimentonun ses yalıtım özelliklerini incelemişlerdir. Karışım içerisine seramik ve mikro balonlar atmanın ses yalıtım özelliklerini değiştireceğini düşünmüşler, numunelerde çap ve kalınlığı değiştirerek çeşitli testler yapmışlardır. Sonuç olarak beton içerisine ses kesici katkı malzemesinden % 40 oranında eklemek, gürültü azaltma katsayısını % 100 arttırmıştır. Bu tip betonların hafif ağırlıktaki yapılarda kullanılmasının yararlı olacağı kanısına varılmıştır (Tiwari, et al., 2004).

Huang, Bird ve diğerlerinin çalışması, İngiltere'de yapılan yol inşaatları üzerine olmuştur. Buna göre çıkarılan agregaların büyük bir miktarı bu yolların inşası ve bakımı için kullanılmaktadır. Bu ihtiyacı azaltmak için başka malzemeler düşünülmüş, fakat ilave maliyetler ve yolun performansının düşecek olması bu tip yeniden kullanıma sokulmuş malzemelerin yaygınlaşmasını engellemiştir. Bu malzemelerin asfalt yaya kaldırımlarında kullanılması düşünülmüş, bunun için cam, plastik gibi materyaller öngörülmüştür. Ayrıca bu atıkların bariyer gibi kalitesi düşük yapılarda kullanılmasının da mümkün olacağı belirtilmiştir (Huang, et al., 2007).

Karaşahin ve Terzi, mermer bloklarının işlenmesi sırasında ortaya çıkan mermer tozunun asfalt karışımlarda filler malzemesi olarak kullanılmasını araştırmışlardır. Bu doğrultuda mermer tozu içeren numuneler hazırlamışlar ve Marshall test prosedürünü uygulamışlardır. Test sonuçları plastik deformasyon değerlerinin kabul edilebilir

limitler arasında kaldığını göstermiş, bu toz atığın asfalt karışımlarda filler malzemesi olarak kullanılabileceğini gözler önüne sermiştir. Karaşahin ve Terzi, bu atığın yüksek plastik deformasyon göstermesinden dolayı, daha çok tali ve yerel yol gibi düşük hacimli yollarda kullanılmasını önermişlerdir (Karaşahin ve Terzi, 2007).

Akbulut ve Gürer, doğal agregaya alternatif olarak mermeri seçmişler ve çalışmalarını bu yönde yapmışlardır. Bunun için Afyonkarahisar bölgesindeki mermer ocaklarından çıkan atık mermer ile yine Afyonkarahisar bölgesinde yol kaplamalarında kullanılan normal agregayı karşılaştırmışlardır. Testlerde elde ettikleri Los Angeles aşınma kaybı, donma-çözülme, yassılık indeksi ve Marshall stabilite akma değerleri belirtilen sınırlar içinde çıkmış, bunun sonucunda mermerin agregaya alternatif olarak orta trafik yüküne sahip yol kaplamalarının binder tabakasında kullanılabileceğini savunmuşlardır (Akbulut ve Gürer, 2007).

Abtahi ve diğerleri, asfalt kaplama tabakası üzerine çalışmışlar, bu tabakanın bitüm ve agregada oluşan hassas bir mühendislik konusu olduğunu belirtmişlerdir. Bilim adamlarının da, daima asfalt kaplamaların performansının artırılması için asfalt betonunu çeşitli malzemelerle modifiye ettiklerini açıklamışlardır. Bu yazıya konu olan malzeme fiber ve polimerlerdir. Çalışmada bu malzemelerin kullanılması sonucu, kaplamanın viskoelastikliği değişmiş, nem hassasiyeti ve çatlamlar azalmış, donma-çözülme dayanımı, tekerlek izi direnci gibi değerlerde artış meydana gelmiştir (Abtahi, et al., 2010).

Hassan çalışmasında, sıcak asfalt karışımı içerisinde kullanılan ince agregaya yerine yakma fırın külü kullanmayı denemiştir. Sultan Qaboos üniversitesinden sağladığı külleri, asfalt betonu içerisine ağırlıkça % 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 ve 40 oranlarında katmıştır. Deneyde kullanılan bağlayıcı miktarı da bu sayılarla doğru orantılı olarak % 3,5'tan % 12'ye kadar arttırılmıştır. Sonuç olarak kül oranındaki artış ile birlikte stabilite ve özgül ağırlıkta azalma, hava boşluğu oranında artış meydana geldiğini tespit etmiştir (Hassan, 2005).

Do, Mun ve Keun, asfalt betonu içerisinde kullanılan filler malzeme yerine atık kireç kullanmayı denemişler, çalışmalarında atık kireci karışıma % 25, 50, 75 ve 100 oranlarında ilave etmişlerdir. Hazırladıkları numunelerde, yorgunluk direnci, elastik modülü, dolaylı gerilme direnci, nem hassasiyeti gibi özellikleri değerlendirmişlerdir. Sonuç olarak atık kireç katkılı asfalt betonu yüksek direnç göstermiştir. Deformasyonlarda azalma meydana gelmiş, soyulmaya karşı dirençte artmıştır (Do, et al., 2008).

Huang, Dong ve diğerleri atık seramiği, portland çimentolu beton ve asfalt betonu içerisine katarak çeşitli çalışmalar yapmışlardır. Seramik katkılı portland çimentolu betonun basınç mukavemetinde artma gözlemlenmiştir. Ağırlıkça % 15 seramik atık ilave edilen sıcak asfalt betonunun yüzeyi iyileşme göstermiş ayrıca içerisine % 25 filler ilave edildiği takdirde dolaylı gerilme direncinin arttığı tespit edilmiştir (Huang, et al., 2009).

Yıldırım ve diğerleri, Ergani bakır işletmesinde bakır üretiminden arta kalan cürufu, sıcak asfalt karışım içerisine agrega olarak katmışlardır. Konkasörlerde kırdıkları cüruf üstünde aşınma, donma-çözülme, özgül ağırlık, su emme ve soyulma deneyleri yapmışlardır. Bu şekilde hazırladıkları numunelere Marshall dayanım testini uygulamışlar ve çıkan sonuçları, karayolları teknik şartnamesi kriterleriyle karşılaştırmışlardır. Deneyler sonunda cürufun, sıcak asfalt karışımlar ile birlikte kullanılabilir olduğu kanısına varmışlardır (Yıldırım vd., 1993).

Xue, Wu ve diğerleri, çelik cürufunu asfalt karışımı içinde kullanmışlardır. Çelik cüruf katkılı asfalt karışımının fizibilitesini araştıran Çinli araştırmacılar, numunelerde basınç mukavemeti, dolaylı çekme, tekerlek izi bırakma, ısı çatlağı direnci gibi özelliklere bakmışlardır. Test sonuçları olumlu çıkmış, araştırmada normal asfalt kaplama ile karşılaştırılan çelik cürufu asfalt kaplamanın kullanılabilir olduğu sonucuna varılmıştır (Xue, et al., 2006).

Ahmedzade ve diğerleri, asfalt betonundaki agrega yerine çelik cürufu kullanmayı denemişler ve AC-5 ve AC-10 olmak üzere iki tip asfalt çimentosunun

kullanıldığı dört farklı asfalt karışımı hazırlamışlardır. Karışımında optimum bitüm oranını kullanmışlar ve numunelerde Marshall stabilitesi, dolaylı çekme mukavemeti, kıvam modülü ve sünme kıvamı gibi değerleri ölçmüşlerdir. Karışıma katılan çelik çürüfün asfalt karışımının mekaniksel özelliklerini iyileştirdiği gözlemlenmiş, ayrıca çelik çürüflü numunelerin ses öz direncinin, kireçtaşı ile hazırlanan numunelere kıyasla daha iyi olduğu belirlenmiştir (Ahmedzade ve Şengöz, 2009).

Çağlar, endüstriyel inşaat atıklarının karayollarında yol malzemesi olarak kullanılmasını araştırmış, bu malzemelerin değerlendirildiğinde elde edilecek çevresel, ekonomik ve teknik faydalarından bahsetmiştir. Bu gibi atıkların kullanılmasının, hem karayollarının performansını arttıracaklarını hem de maliyetleri düşüreceğini vurgulamıştır (Çağlar, 2007).

Erdin, Alten ve diğerleri, inşaat ve moloz atıklarının geri kazanılabilir olduğunu ve ikincil hammadde olarak kullanılabilirliğini incelemişler, çalışmalarında AB ülkelerindeki bazı geri kazanım tesisleri hakkında bilgiler vermişlerdir. Yaptıkları araştırmalar ve elde ettikleri verilere dayanarak, en çok atığı hafriyat ve molozun oluşturduğunu, bunu yol kaplama atıklarının izlediğini söylemişlerdir. Sonuç olarak AB ülkelerinde kurulan bu tesislerin son derece kaliteli geri dönüşüm malzemesi elde ettiklerini, ülkemizde de bu tip tesislerin kurulmasının hem ekonomik hem de çevremiz açısından son derece olumlu bir yaklaşım olacağını belirtmişlerdir (Erdin vd., 2004).

Akoğuz, Köylüoğlu ve diğerleri, dünyada geri kazanılmış agrega üretim politikalarını incelemiş ve ülkemizde de bu politikaların uygulanmasının gerekliliğini nedenleri ile bizlere açıklamışlardır. Özellikler büyük şehirlerde rezervlerin hızla tükenmesi sebebiyle agrega temininin zor olduğunu ve bunun önümüzdeki 5-10 yıl içinde büyük bir sorun haline geleceğini belirtmişler, ülkemizde inşaat sektöründeki kalite yetersizliğini de dikkate alarak gelecekteki rehabilitasyon ve yıkım çalışmaları sırasında ortaya çıkacak betonun değerlendirilmesi için geri kazanılmış agrega sektörünün ülkemizde de kurulması gerektiğini ortaya koymuşlardır (Akoğuz vd., 1996).

Tam ve diğerkleri, inşaat atıklarının geri dönüştürölüp kullanılması hakkında araştırma yapmışlar ve bunun için 10 adet geri dönüşüm malzemesi incelemişlerdir. Bu malzemeler, asfalt, tuğla, beton, demir içeren ve içermeyen metaller, cam, duvar, kağıt, karton, plastik ve ahşaptır. Görülmüştür ki geri dönüşüm uygulamalarda en sık geri kazanılan malzeme agregadır. Dünyada üretilen betonun geri dönüşümü en çok yol yapımında gerçekleşir. Atıkların % 90'ı yol tabanı ve hendek yapımında agrega olarak kullanılmıştır. Duvarda agrega olarak kullanılan bir geri dönüşüm malzemesidir. Bu yolla üretilen hafif duvarlar yüksek ısı yalıtımı sağlar. Bu çalışma göstermiştir ki, inşaat malzemeleri için uygun geri dönüşüm teknolojilerinin gelişmesi, inşaat sektörü için paha biçilmezdir (Tam, et al., 2006).

Huang ve diğerkleri, normalde sıcak asfalt kaplama içerisine geri dönüşüm yoluyla katılan atık asfalt kaplama parçalarını beton içerisine katarak, bu karışımın mekanik özelliklerini ölçmeyi amaçlamışlardır. Bunun için ince ve kalın olmak üzere iki tip atık asfalt kaplama parçası kullanmışlar ve çeşitli laboratuvar çalışmaları yapmışlardır. Sonuç olarak atık asfalt katkılı betonun basma ve çekme mukavemetlerinin sistematik olarak azaldığını ve enerji absorbe ettiğini belirlemişlerdir (Huang, et al., 2005).

Shen ve Du, geri dönüşüm malzemesi olarak atık beton, tuğla ve kiremidi kullanmayı tercih etmişler, bu atıklarla birlikte volkanik kırmataş agregayı karıştırarak 4 farklı tip numune hazırlamışlardır. 1. Karışımı % 100 kırmataş, 2. Karışımı % 100 beton, tuğla ve kiremit, 3. Karışımı % 50 ince ve kalın kırmataş ve % 50 ince ve kalın beton, tuğla kiremit, 4. Karışımı ise % 50 kırmataş plus, % 50 beton, tuğla, kiremit plus olarak belirlemişlerdir. Karışımlarda AC-10 ve AC-20 olmak üzere iki tip asfalt çimentosu kullanmışlardır. Yapılan testlerde en yüksek dayanım AC-20 asfalt çimnetosu ile dökülen, ince kırmataş malzeme ve kalın beton, tuğla, kiremit malzeme karışımı vermiştir. Ayrıca bu karışımda en yüksek kıvama ulaşılmıştır (Shen and Du, 2005).

Rao ve diğerkleri, inşaat yıkım atıklarının tekrar değerlendirilmesi hakkında bir araştırma yapmışlar, dünya genelinde üretilen katı atıkların büyük kısmının ziyan

olduğunu, değerlendirilen miktarın büyük bir kısmının ise toprak dolgularda kullanıldığını görmüşlerdir. Bu tip katı atıklardan özellikle geri dönüşüm beton atıkların daha basit ve düz uygulamalarda kullanılmasında bir sakınca olmadığını, çoğu ülke hükümetlerinin bu konuda ilk adımları attığını belirtmişlerdir (Rao, et al., 2007).

Köken ve Köroğlu yaptıkları çalışmada, basınç mukavemeti 20 MPa olan atık betonlardan kırarak elde ettikleri agregaları kırmataş agregalar ile belli oranlarda karıştırarak beton numuneler tasarlamışlardır. Bu numuneleri birbirleriyle kıyaslamışlar ve kullanılan atık beton agregasının miktarı arttıkça elde ettikleri betonun basınç mukavemetinde azalma olduğunu tespit etmişlerdir. Ancak bu atıkları, yapısal olmayan betonlarda kullanmanın, çevre kirliliğini azaltacağını ve ekonomik çözümler üreteceğini belirtmişlerdir (Köken ve Köroğlu, 2008).

Bekoe çalışmasında , geri dönüşüm agregasını karışım içerisinde % 0, 25 ve 50 oranlarında katmış ve beton numuneler hazırlamıştır. Hazırladığı beton numunesine birtakım testler uygulamıştır. Testler sonucunda, karışımdaki geri dönüşüm agregası oranı arttıkça basınç mukavemeti ve elastik modülünde azalma gözlemlenmiştir. Eğilme ve çekme dayanımlarında herhangi bir değişim gözlemlenmemiştir. Bekoe bütün bunlara dayanarak, geri dönüşüm agregasının beton içerisinde performansı etkilemeden başarıyla kullanılabileceğini söylemiştir (Bekoe, 2009).

Turanlı, beton atıklarının yeni beton yapımında, kaba agrega olarak kullanılması konusunun önemini ele almıştır. Bunu iki sebebe dayandırmıştır. Birinci sebebin; büyük şehirlerde doğal kaynakların bulunmaması, bulunan kaynakların da şehir merkezlerine uzak olması nedeniyle taşıma maliyetlerinin artması, ikinci sebebin ise; yıkılan binaların % 75'inin beton olması ve bu atıkların büyük yerleşim yerlerinde çevre kirliliğine neden olduğunu söylemiştir. Yaptığı çalışmalarda atık betonun taze ve sertleşmiş beton özelliklerini bularak, bunları aynı türde kırmataş agrega kullanılarak yapılan betonun özellikleri ile karşılaştırmıştır. Sonuç olarak bu numunelerin çekme dayanımları arasında belirgin bir fark olmadığını tespit etmiş ancak basınç dayanımlarını incelediğinde, atık betonun normal betona göre % 12 daha az dayanım verdiğini görmüştür. Yine atık betonun normal betona kıyasla statik ve dinamik elastik

modüllerinin daha düşük olduğunu, büzülme miktarının ise yüksek olduğunu belirlemiştir (Turanlı, 1998).

Topçu ve Şengel çalışmalarında atık malzemelerin yeniden kullanılması üzerinde çalışmışlar, bunun için de kendilerine malzeme olarak atık betonu seçmişlerdir. Bu çalışmalarını için ürettikleri atık beton katkılı numuneler üzerinde donma-çözülme dayanımı ile beraber fiziksel ve mekaniksel özellikleri de incelemiştir. Atık betonu numune içerisinde % 30, 50, 70 ve 100 oranlarında kullanmışlar ve C16 atık beton ile ürettikleri %30 katkılı numuneden C14 standardında beton elde etmişlerdir (Topçu ve Şengel, 2004).

Wong, Sun ve Lai atık beton agregasının, sıcak asfalt karışımı içerisinde kısmi olarak kullanılmasını araştırmışlardır. Bunun için % 6, % 45 işlem görmüş ve % 45 işlem görmemiş granit agrega içeren 3 farklı numune hazırlamışlardır. Bu numunelerde 60/70 bitümden, % 5,3, % 6,5 ve % 7,0 oranlarında kullanmışlar ve en iyi sonucu %6 işlem görmüş agrega ile hazırladıkları numuneden elde etmişlerdir. Sonuç olarak atık betonun sıcak asfalt karışımı içinde kısmi olarak kullanılabilceğini önermişlerdir (Wong, et al., 2007).

Durmuş, Can ve Şimşek, geri dönüşüm agregalarından üretilen farklı sınıflardaki betonun mühendislik özelliklerini araştırmışlardır. Çalışmalarında C20, C25, C30 ve C35 sınıfındaki betonlardan elde edilen geri dönüşüm agregalarıyla beton numuneler üretmişler ve bunlar üzerinde özgül ağırlık, ultra ses, basınç deneyleri yapmışlardır. Sonuç olarak ürettikleri betonun özelliklerinin, bir alt sınıftaki beton özelliklerine yaklaştığını görmüşlerdir. Uygun bir karışım hesabıyla daha iyi sonuçlar elde edilebileceğini söylemişlerdir (Durmuş vd., 2009).

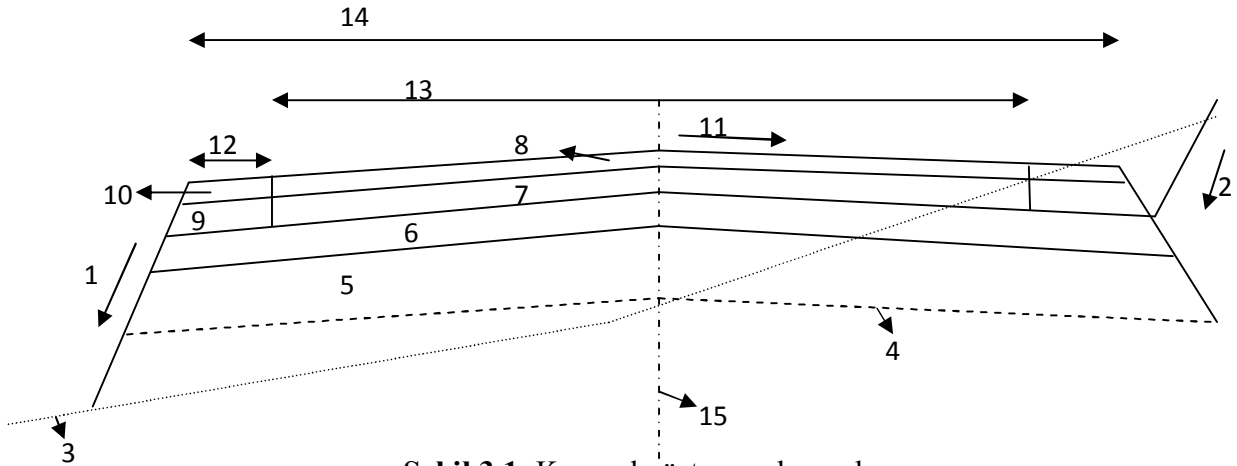
Beale ve You çalışmalarında, düşük hacimli yollar için geri dönüştürülmüş beton agregalı asfalt karışımların mekanik özelliklerini incelemiştir. Bunun için geri dönüştürülmüş beton agregalarını sıcak asfalt içerisine % 25, 35, 50 ve 75 oranlarında katmışlar ve numunelerini bu doğrultuda hazırlamışlardır. Numunelerde, gerilim izi, nem hassasiyeti, gerilim direnci gibi değerleri ölçmüşler ve karışımdaki geri dönüşüm

beton agregası oranı arttıkça bu değerlerin azaldığını tespit etmişlerdir. Çalışmalarında yalnız % 75 geri dönüşüm agregası içeren numuneye ait değerlerin istenilen sınırlar içerisinde olmadığını belirtmişlerdir. Ancak bu agregaların düşük hacimli yollarda kullanılmasında bir sakınca olmadığını savunmuşlardır (Beale and You, 2010).

Paranavithana ve Mohajerani atık betonlardan elde ettikleri geri dönüşüm agregalarını sıcak asfalt betonu içerisine katmışlar ve bunu doğal agregalarla üretilen asfalt betonu ile karşılaştırmışlardır. Geri dönüşüm agregasıyla imal ettikleri numunelerin, normal numunelere göre daha düşük yoğunluğa, yüksek gözeneklilik ve yüksek su emme kapasitesine sahip olduğunu gözlemlemişler, ayrıca sünme değerlerinin de normal numunelere kıyasla daha düşük olduğunu ortaya koymuşlardır. Yine de bütün bu özelliklere ait değerlerin kabul edilebilir sınırlar içinde kaldığını, dolayısıyla bu agregaların düşük standartlı yollarda kullanılabileceğini söylemişlerdir (Paranavithana and Mohajerani, 2006).

BÖLÜM 3 KARAYOLU ÜSTYAPISI

3.1. Esnek Üstyapı



Şekil 3.1. Karayolu üstyapı elemanları

1. Dolgu şevi
2. Yarma şevi
3. Tabii zemin
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

Esnek üstyapı kaplamaları şekilde de görüldüğü üzere 5 ayrı tabakadan meydana gelir. Bunlar; kaplama tabakası, temel, alt temel, seçme malzeme ve tabi zemin diye yukarıdan aşağıya sıralanırlar. Tabaka kalınlıkları da yukarıdan aşağıya bir artış göstermektedir. Yapılacak yolun zemin mukavemeti, trafik hacmi gibi özelliklerine bakılarak bu tabakaların hepsi ya da birkaçı birlikte kullanılır (Eskişehir Osmangazi üniversitesi karayolu ders notları, 2008).

3.1.1. Temel ve alttemel tabakaları

Esnek kaplamalarda kullanılan temel ve alttemel tabakaları, taban zemini olarak adlandırılan yol gövdesi üzerine yerleştirilir. Belli bir granülometriye sahip olan bu tabakaların amacı, diğer tabakalara oranla daha ucuza mal edildiklerinden ve daha kalın yapılabildiklerinden, yol kaplamasına yorulma direnci, rijitlik ve yük yayma kabiliyeti kazandırmaktır. Bu tabakalar yoldaki yük taşıma kabiliyetini artırır, drenajı sağlarlar, donma ve şişme etkilerine karşı koruma sağlarlar, deformasyonları azaltırlar ve kaplama tabakası için uygun bir yüzey oluştururlar. Bu tabakaların, özellikle kalite açısından düşük ancak dren kabiliyeti yüksek agregalardan oluşması istenmektedir. Tabakalar 5 farklı şekilde imal edilebilir. Bunlar; Plentmiks temel, Mekanik stabilizasyon temel, Çimento stabilizasyon temel, Bitümlü temel ve Alttemeldir (Tunç, 2004).

3.1.1.1. Plentmiks temel

İyi derecelenmiş bir gradasyona sahip agreganın, optimum su içeriği ile bir plent içerisinde karıştırılarak, zemine serilip sıkıştırılmasıyla oluşan temel türüdür. Bu temelde karıştırma işlemi kesinlikle sabit bir plent içinde yapılmalıdır. Seçilen kaba agrega; kırma taş, çakıl veya cüruf, ince agrega ise; kırılmış çakıl, kırma kum, doğal kum veya cüruf kumu olmalıdır.

3.1.1.2. Mekanik stabilizasyon temel

Bu tabakada, plentmiks temelde olduğu gibi iyi derecelenmiş gradasyona sahip agregaların, optimum su içeriğinde karıştırılıp yola serilmesiyle oluşur. Sıkıştırma

işlemi silindirler yardımıyla en yüksek kuru yoğunluk derecesine ulaşmaya kadar yapılır. Bu temel tipinde trafik yükleri altında kalıcı deformasyonlar gözlemlenmediğinden dolayı bu temele, mekanik stabilizasyon temel denir. Sıkça kullanılan bir diğer adı da stabilize yoldur. Kullanılan kaba agrega; çakıl, kırılmış çakıl, cüruf veya kırma taş olabilir. İnce agrega olarak ise; kırılmış çakıl, kırma kum, doğal kum ve cüruf kumu kullanılır. Bu temel tipinde serme işlemi, Jayrosfer veya Finisher ile yapılmalı, sıkıştırma işleminde ise mutlaka titreşimli bir silindir kullanılmalıdır. Mekanik stabilizasyon temel, diğer temel tiplerine göre daha ekonomiktir ancak stabilizesi daha azdır (Tunç, 2004).

3.1.1.3. Çimento stabilizasyon temel

Bu temel tabakasının plentmiks temelden tek farkı, karışımın plent içerisinde belli bir oranda çimento katılarak hazırlanmasıdır. Kaba agregası, mekanik temel de kullanılan ile aynı, ince agregası ise plentmiks temel de kullanılan agrega ile aynı özelliklerdedir.

Temel tabakasında kullanılacak çimento miktarı, proktor deneyi ile tespit edilir. Normal betona oranla çimento miktarı azdır ancak su/çimento oranı düşük olduğu için mukavemet açısından, özellikle yollar da yüksek stabiliteli bir temel tabakası olarak kullanılmaktadır.

3.1.1.4. Bitümlü temel

Bir diğer temel türü olan bitümlü temel, esasında düşük Marshall stabilitesine sahip asfalt betonundan başka bir şey değildir. Bitümlü temel yaklaşık olarak 100 kg agregaya % 3 – 3,5 arası bitüm olmak üzere bağlayıcı katılarak oluşturulur. Bitüm miktarı az olmasına karşın diğer tabakalara nazaran daha yüksek stabilite elde etmek mümkündür. Kullanılacak agregalar ise diğer temel tiplerinde olduğu gibi iyi derecelenmiş belli gradasyonlu agregalardan seçilir.

3.1.1.5. Alt temel

Esnek kaplamaların en alttaki tabakasıdır. Burada kullanılan malzemenin elastikiyeti düşük, dren kabiliyeti de bir o kadar yüksektir. Temel tabakası ile hemen hemen aynı işlevi görürler fakat alt temel tabakası, kaplamanın en düşük maliyetli ve en kalın tabakasıdır.

Çizelge 3.1. Temel ve alttemel tabakalarında kullanılan agrega gradasyonları (KGM)

| Elek inç(mm) | Alttemel Tabakası | Mekanik Stabilizasyon Temel Tabakası | | | | Plentmiks Temel Tabakası | | Çimento Stabilizasyon Temel Tabakası |
|---------------|-------------------|--------------------------------------|--------|--------|--------|--------------------------|--------|--------------------------------------|
| | | A | B | C | D | Tip-1 | Tip-2 | |
| 75(3") | 100 | - | - | - | - | - | - | - |
| 50(2") | - | 100 | 100 | - | - | - | - | - |
| 37.5(1 1/2") | 85-100 | 80-100 | 85-100 | - | - | 100 | | 100 |
| 25(1") | - | 60-90 | 70-95 | 100 | 100 | 72-100 | 100 | 72-100 |
| 19(3/4") | - | - | - | 75-100 | 80-100 | 60-92 | 80-100 | 60-92 |
| 9.5(3/8") | 45-100 | 30-70 | 40-75 | 50-85 | 60-100 | 40-75 | 50-82 | 40-75 |
| 4.75(No.4) | 25-85 | 25-55 | 30-60 | 35-65 | 50-85 | 30-60 | 35-65 | 30-60 |
| 2.00(No.10) | - | 15-40 | 20-45 | 25-50 | 40-70 | 20-45 | 23-50 | 20-45 |
| 0.425(No.40) | 7-40 | 8-20 | 10-25 | 12-30 | 20-45 | 8-25 | 12-30 | 8-25 |
| 0.075(No.200) | 0-12 | 2-8 | 0-12 | 0-12 | 0-12 | 0-10 | 2-12 | 0-10 |

3.1.2. Temel ve alttemel tabakalarının özellikleri

Adından da anlaşıldığı üzere bu tabakalar yolun temel görevini gören yapılardır. Sıkıştırılmış zemine göre daha kaliteli ve mukavemetlidirler ancak ekonomik olmaları bakımından kaplama tabakasına nazaran daha az kalitede imal edilir ve daha kalın yapılırlar. Bu iki tabakanın görevleri şunlardır;

- Kaplama inşaatının maliyetini düşürmek,
- Kaplama tabakası için uygun bir platform oluşturmak,
- Trafik yüklerini kaplamadan alarak zemine yaymak,
- Deformasyonlara karşı direnç sağlamak,
- Şişme ve büzölmelere karşı koymak,
- Drenajı sağlamak.

Ancak bu tabakalardan beklenen en önemli iki işlev; yüksek dren kabiliyeti ve yüksek stabilitedir. Bu iki temel görevi sağlamak için kullanılacak agregaların, yüksek stabiliteli, maksimum yoğunlukta sıkışma gösteren, yoğun gradasyonlu, permeabil, içinde ince malzemesi az olan, don duyarlılığı az, işlenebilirliği yüksek ve fazla segregasyona uğramayan agregalar olması gerekmektedir (Tunç, 2004).

Çizelge 3.2. Temel ve alttemel tabakalarının özellikleri
(KGM, Karayolları Teknik Şartnamesi)

| ÖZELLİKLER | ALTTEMEL | MEKANİK STABİLİZASYON TEMEL | | PLENTMIKS TEMEL | | ÇİMENTO STABİLİZASYON TEMEL | |
|---------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|----------|---------------------------------------|----------|---------------------------------------|----------|
| | | KABA Mak.%25 | İNCE | KABA Mak.%25 | İNCE | KABA Mak.%25 | İNCE |
| Na2SO4 ile dayanıklılık | Mak.%25 | | | | | | |
| Los Angeles Aşınma | Mak.%50 | Mak.%40 | — | Mak.%40 | — | Mak.%40 | — |
| Yassılık İndeksi | — | Mak.%40 | — | Mak.%40 | — | Mak.%40 | — |
| LL-PI | Mak.25-6 | — | Mak.25-6 | — | Mak.25-6 | — | Mak.25-6 |
| Kirlenmişlik Oranı | — | Min. %50 | — | Min. %50 | — | Min. %50 | — |
| Filler | No.40 dan geçen kısmın 2/3 ünden az | No.40 dan geçen kısmın 2/3 ünden az | | No.40 dan geçen kısmın 2/3 ünden az | | No.40 dan geçen kısmın 2/3 ünden az | |
| Kil Topakları | Mak.%1 | 0 | Mak.%0.5 | 0 | Mak.%0.5 | 0 | Mak.%0.5 |
| Organik Maddeler | Mak.%1 | 0 | Mak.%0.5 | 0 | Mak.%0.5 | 0 | Mak.%0.5 |
| Diğer Zararlı Maddeler | — | Mak.%1 | Mak.%1 | Mak.%1 | Mak.%1 | Mak.%1 | Mak.%1 |
| Sıkışmış Tabaka Kalınlığı | Mak. 20 cm | Mak. 20 cm | | Mak. 20 cm | | — | |
| Sıkıştırma Kontrolü | Kum kon. Kasnak. Nük. | Kum kon. Kasnak. Nük. | | Kum kon. Kasnak. Nük. | | Kum kon. Kasnak. Nük. | |
| Sıkıştırma Makineleri | St.çiz.yük>30kg/cm Las.baş.yük>3.5ton | St.çiz.yük>30kg/cm Las.baş.yük>3.5ton | | St.çiz.yük>30kg/cm Las.baş.yük>3.5ton | | St.çiz.yük>30kg/cm Las.baş.yük>3.5ton | |
| Minimum Sıkışma | %95 Mod. Proktor %100 Sd. Proktor | %98 Mod. Proktor %95 Titr. Tokmak | | %100 Mod. Proktor %97 Titr. Tokmak | | %98 Mod. Proktor | |
| Sıkışmada su içeriği (%) | Wopt-2(Std. Pro.) Wopt±2(Std. Pro.) | Wopt-2(Std. Pro.) Wopt±2(Titr. Tok.) | | Wopt-2(Mod. Pro.) Wopt±0.5(Titr. To.) | | Wopt ila Wopt+0.5 | |
| CBR (%) | Min. 30 (yaş) | Min. 100 (yaş) | | Min. 120 (yaş) | | — | |
| Yüzey Düzgünlüğü | Mak. 20 mm | Mak. 15 mm | | Mak. 15 mm | | Mak. 15 mm | |

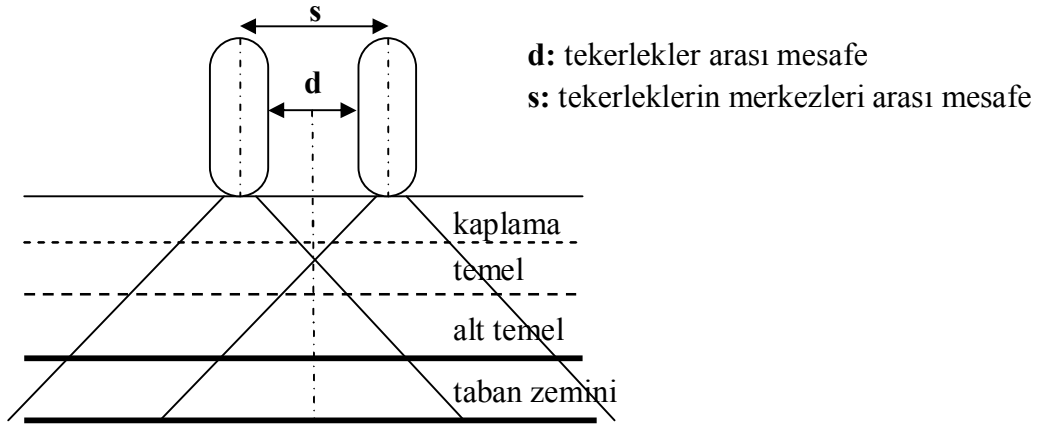
AGREGA

SIKIŞMA

3.1.2.1. Kaplama tabakası

Karayolunun, trafik yüklerine doğrudan maruz kalan en üst tabakasıdır. Sıcak asfalt karışımlar, Bitümlü sıcak karışımlar veya asfalt bağlayıcılı sıcak karışımlar ile elde edilen, aşınma ve binder tabakaları, kaplama tabakasının tamamını oluşturur. Esnek ve Rijit olmak üzere iki farklı tipte inşa edilebilirler. Trafik yükleri nedeniyle oluşan, gerilmelere, deformasyonlara ve iklim koşullarının her türlü ayrıştırma etkisine karşı koyabilmesi açısından, temel ve alttemel tabakalarına göre daha stabil olmak zorundadırlar. Bir kaplama tabakası genel olarak aşağıdaki fonksiyonları yerine getirebilecek tasarıma sahip olmalıdır.

- Sürüş konforu ve taşıt işletme giderleri açısından düzgün ve pürüzsüz yüzeylere sahip olmalıdır,
- Trafik ve çevre etkilerine yani düşük ısı çatlağı, asfalt soyulması, agreganın cilalanması, vb. kaplama kusurlarına karşı dirençli, durabil olmalıdır,
- Sürüş emniyeti açısından aliymanda, kurbda ve dik eğimlerde yeterli sürtünme direncine sahip olmalıdır,
- Kalıcı deformasyonlara, özellikle teker izi oluklarına karşı dirençli olmalıdır,
- Kalıcı deformasyon yapmadan trafik yüklerini alt tabakalara yani temel, alttemel ve zemine emniyetle yayabilme yeteneğine sahip olmalıdır,
- Tekerrür eden ağır trafik yüklerine karşı yeterli yorulma mukavemetine sahip olmalıdır,
- Yüzeysel yağmur sularının temele ve zemine sızmasını önleyecek kadar geçirimsiz olmalıdır,
- Yüksek dolgulu kesimlerde uzun dönemli oturmalara uyum sağlayacak esnekliğe sahip olmalıdır,
- Ağır trafik yükleri altında geçici deformasyon yapabilecek esnekliğe ve bir o kadar da yorulma mukavemeti için gerekli rijitliğe sahip olmalıdır (Tunç, 2004).



Şekil 3.2. Üstyapı tabakalarında araç lastiğinden gelen yükün dağılımı

3.1.2.2. Sathi (yüzeysel) kaplamalar

Yolun yapılacağı temel tabakası üzerine ince bir film halinde asfalt püskürtülür. Bu asfaltın üzerine belli bir gradasyona sahip agrega dökülür ve bir silindir vasıtasıyla sıkıştırılır. Sıkışma bazen yolun üzerinden geçen trafik yükleri tarafından sağlanır. Bu trafik yükünün fazla olması halinde serim işlemi iki kat şeklinde imal edilebilir. Ancak bu tip kaplamalar, özellikle hava sıcaklığının fazla olduğu bölgeler ve kışın tuzlamann yapıldığı yerlerde pek fazla bir dayanım gösteremezler.

3.1.2.3. Asfalt betonu (sıcak asfalt karışımı) kaplamalar

Bu tip kaplama tabakası imalatında öncelikle, asfalt ve agrega şantiyede bulunan plentler içerisinde 150 °C 'de karıştırılır. Karışım daha sonra kamyonlar vasıtasıyla serim yapılacak bölgeye nakledilir. Finisher denilen aletler ile, ince tesviyesi daha önceden yapılmış olan temel tabakası üzerine tasarlanan kalınlıkta serilir. Bu işlemler sırasında döküm sıcaklığının 60 °C 'nin altına düşmemesine özen gösterilmelidir.

3.1.3. Esnek üstyapıların avantaj ve dezavantajları

Avantajları;

- Trafik için düzgün bir yuvarlanma yüzeyi oluştururlar,
- Yüzey aşınması ve dingil yüklerinden oluşan deformasyonlara karşı direnç gösterirler,
- Kuru olduklarında yüksek sürtünme katsayısına sahiptirler,
- Yükü alt tabakalara yayarak taşırlar,
- Yüzey geçirimsizliği sağlarlar,
- Kademeli inşaata uygundur,
- Bakım ve onarımları akan trafik içerisinde yapılabilir,
- Yapımlarından birkaç saat sonra yol trafiğe açılabilir,
- Uygulaması ve bakımları kolaydır.

Dezavantajları;

- Asfalt betonunda bağlayıcı olarak kullanılan asfalt termoplastik, sıcaklığa göre özellikleri değişen bir malzemedir. Sıcaklık değişimlerinde ortaya çıkabilecek olumsuzluklar asfalt betonunun performansını etkileyecektir,
- Asfalt betonunun gerilme-deformasyon ilişkisi yükleme hızına ve sıcaklığa bağlı olarak değişir ve sabit değildir. Bu yüzden projelendirmeleri rijit üstyapılara göre daha zordur,
- Bitümlü bağlayıcıların içerisinde bulunan uçucu maddelerin zamanla uçması ve okside olması ile bağlayıcı madde de yaşlanma meydana gelir. Bu durumda bağlayıcı madde ile agrega arasındaki adezyon azalır. Araçlardan dökülen kimyasal maddeler, petrol ürünleri ve kış aylarında yola dökülen tuzlar, kaplama özelliklerinde değişiklik meydana getirirler,
- Koyu renkli olduklarından. Gece özellikle de yağışlı hava şartlarında görülmeleri zordur,
- Kaplamanın uygulanabilmesi için malzemenin kuru ve en fazla % 2 neme sahip olması gerekir. Bu durum yağışlı bölgeler için sorun oluşturur,
- Asfalt petrolün damıtılmasından elde edilir ve ithal bir üründür. Bu bakımdan maliyeti fazladır,
- Esnek üstyapıların inşaatında, rijit üstyapılara göre daha fazla enerji tüketilir (Eskişehir Osmangazi üniversitesi karayolu ders notları, 2008).

3.1.4. Esnek kaplama kusurları

Esnek kaplama kusurları genel olarak, trafiğe, malzeme kalitesine, yapım hatalarına ve çevresel etkilere bağlı olarak oluşmaktadır. Oluşan bu kusurlar ise; yorulma çatlakları, teker izi olukları, ısı çatlakları, deformasyonlar ve ayrışmalardır.

Daha ayrıntılı bir biçimde bahsedecek olursak, bu kusurlara neden olan faktörler aşağıdaki gibi sıralanır;

- Aşırı trafik yükleri, aşırı trafik hacmi, düşük ve yüksek hava ısısı. Ani hava değişimleri ve aşırı yağış gibi faktörler,
- Şartnamede belirtilen kriterlere uymayan kötü malzemenin kullanılması, yapılan üretimin homojen olmaması, kullanılan malzemenin sık sık değiştirilmesi, üretimde kullanılan karışım oranlarının dengesizliği gibi faktörler,
- Kötü hava koşullarında yapılan imalatlar, asfaltın aşırı ısı veya soğuğa maruz bırakılması, serim işlemi esnasında segregasyon, serim işlemlerinde yapılan uygulama hataları ve yetersiz sıkıştırma gibi faktörler,
- Zeminin yetersizliği, drenajın yetersiz oluşu, zeminin ince tanelerinin trafik yükleri ile alttaki temel tabakaları arasına girmesi, don derinliğinin fazlalığı, yer altı su seviyesinin yüksek olması, şişme ve rötre ile aşırı hacim değişiklikleri ve oturma gibi faktörler,
- İmalat esnasında kullanılan finisher, silindir ve asfalt plenti gibi iş makinelerinin kontrol ve kalibrasyonlarının yapılmamış olması ve kullanılacak malzemenin kalite kontrollerinin yapılmaması gibi faktörler,
- Yetersiz bakım ve onarımın yapılması, zarar gören tabakaya uygulanacak takviye tabakasının zamanında uygulanmaması gibi faktörler (Eskişehir Osmangazi üniversitesi karayolu ders notları, 2008).

Esnek kaplama kusurları 3 ana başlık altında toplanır. Bunlar; deformasyonlar, ayrışmalar ve çatlaklardır. Deformasyonların başlıcaları, teker izi olukları, öndülasyonlar, bölgesel çökme ve kabarmalardır. Çatlaklar ise yorulma, blok, boyuna, enine, kenar, yansıma ve düşük ısı çatlakları olarak sınıflandırılır.

Çizelge 3.3. Asfalt kaplama kusurları ve nedenleri (Asfalt Enstitüsü)

| Kusurlar | Yapısal Bozulmalar | Karışım Kompozisyonu | Isı veya Rutubet Değişimi | Yapım Hataları |
|---------------------|---------------------------|-----------------------------|----------------------------------|-----------------------|
| Timsah sırtı çatlak | ✓ | | | |
| Kenar çatlağı | ✓ | | ✓ | ✓ |
| Yansıma çatlağı | | | ✓ | |
| Büzülme çatlağı | | ✓ | | ✓ |
| Ötelenme çatlağı | | | | ✓ |
| Teker izi | ✓ | ✓ | | ✓ |
| Öndülasyon | ✓ | ✓ | | ✓ |
| Çökme | ✓ | | ✓ | |
| Kabarma/Şişme | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Çukur | | ✓ | | ✓ |
| Sökülme/Parçalanma | | ✓ | | ✓ |
| Terleme/Kusma | | ✓ | | |
| Agrega cilalanması | | ✓ | | ✓ |
| Agrega kaybı | | ✓ | | |

3.2. Rijit Üstyapı

Üzerine gelen trafik yüklerini kendi rijitliği ile taşıyan üstyapı türüdür. Beton kaplama olarak adlandırılırlar. Bu kaplama türünün performansı, onu oluşturan beton plaklar ve alttemel veya temel tabakalarına bağlıdır. Dolayısıyla performansa, bu tabakalarda kullanılan beton malzemenin özellikleri doğrudan etki eder.

3.2.1. Kaplama tabakası

Kaplama betonları, diğer yapı betonlarından farklı olarak trafik ve çevre etkilerine maruz kalırlar. Bu bakımdan bu betonların imalatı özel şartlar çerçevesinde gerçekleştirilir. Normal bir kaplama betonu için bazı durumların göz önüne alınmaları şarttır. Bu beton yol, tahmin edilen trafik yükü, tekerrür sayısı gibi hususlara karşı direnç gösterebilmeli ve çekme, yorulma mukavemetlerine sahip olmalıdır. Yapılan yol, dış etkenlerin aşındırma etkilerine karşı koyabilmek için yüksek durabiliteye sahip

olmalıdır. Yeterli dayanıklılığı sağlamak amacıyla beton içerisine yüksek miktarda çimento ve az miktarda su katarak su/çimento oranını düşük tutmak gerekir. Ayrıca kayma mukavemetini düşük tutmak amacıyla beton içerisindeki kum miktarı minimumda tutulmalıdır. Yeterli bir eğilme ve çekme direnci sağlamak, kullanılan agreganın yüksek kalitede olmasına bağlıdır. Serim işlemi sırasında asfalt betonundakinin aksine betonun işlenebilirliği düşük olmalıdır. Soğuk iklim koşullarında, donma ve çözünme etkilerine karşı dayanıklı olması da aranan nitelikler arasındadır.

3.2.2. Zemin ve alttemel tabakaları

Beton kaplama tabakasının, trafik yüklerinden oluşacak gerilmelere karşı dirençli olması gerektiği kadar beton kaplamanın altındaki zeminde çevre ve trafik şartlarına karşı stabil ve üniform bir davranış göstermesi şarttır. Çünkü stabil ve üniform bir desteğin amacı, çok güçlü bir destekten ziyade beton kaplamanın her noktasında sabit ve yeterli bir taban dayanımının sürekliliğini sağlamaktır. Bu nedenle taban zemini iyileştirilmeli ve kaplama tabakası ile zemin arasında yüksek granüler malzeme konulmalıdır. Kplama altına yapılacak alttemel tabakasının genel amaçları şunlardır;

- Kplama tabakası için uygun bir yüzey oluşturmak,
- Drenajı sağlamak,
- Don kabarmalarına karşı koymak,
- Zemindeki şişme ve büzölmelere karşı koymak,
- Zeminden gelecek çamurun yüzeye yapacağı pompaj etkisini önlemek.

3.2.3. Rijit üstyapıların avantaj ve dezavantajları

Avantajları;

- Yüksek kalitesi göz önüne alındığında, esnek üstyapılara göre ekonomiktir,
- Esnek üstyapılara göre oldukça dayanıklıdır,
- Gürültüsüz ve tozsuzdur. Gece görüşü kolaydır,

- Yüzey geçirimsizliği esnek üstyapılara göre daha fazladır,
- Kayma sürtünme katsayıları yüksektir,
- Zayıf zeminlerde yapılması daha uygundur,
- Bakım masrafları son derece düşüktür,
- Islak zeminlerde döküm işlemi yapılabilir,
- İthal ürün kullanılmadığından yerli kaynaklar ile inşa edilirler,
- Hizmet ömrü sonunda yeni kaplama tabakası için temel görevi görürler.

Dezavantajları;

- Serim işleminin akan trafik sırasında yapılması zordur,
- Dökülen beton prizini alıncaya kadar yol trafiğe açılmaz,
- Tasarlama ve uygulama sırasında yapılacak hataların sonradan telafi edilmesi güçtür,
- Renklerinin esnek üstyapılara nazaran açık olması güneşli havalarda görüşü zorlaştırır,
- Daha sonradan yolda yapılacak her türlü tesisat döşeme işleri çeşitli sorunlara yol açar,
- Beton plakalar arasındaki derzlerin inşası iyi yapılmazsa sürüş konforu büyük ölçüde azalacaktır,
- Yolda oluşacak her türlü aşınma yolu kaygan hale getirir, bu da beraberinde kötü sonuçlar doğurabilir,
- Yolu oluşturan tabakalar aynı malzemelerden imal edildiği için, mevcut yolların iyileştirilmesi ekonomik değildir (Eskişehir Osmangazi üniversitesi karayolu ders notları, 2008).

3.2.4. Beton kaplama kusurları

Beton kaplamalar iyi tasarlanır ve inşa edilirse, birkaç yılda bir derz dolgularını yenilemek ve kayma dirençlerini iyileştirmek amacıyla yapılan tamiratlar hariç neredeyse hiçbir onarıma ihtiyaç duymazlar. Bu rijit üstyapıları esnek üstyapılardan ayıran temel özelliklerden biridir. Ancak tasarım ve inşa sırasında

yapılacak hatalar, beton yolların hizmet ömrü süresince sorunlu olmasını sağlayacak bu da yolun esnek üstyapılara göre oldukça maliyetli olmasına neden olacaktır.

Beton kaplamalarda da gerek trafik etkileri gerekse çevre koşulları ve imalat hataları nedeniyle bazı kusurlar oluşur. Bunlar farklı kusurlar olduğu gibi, bir kısmı da esnek kaplama kusurlarıyla benzerlik gösterir. Beton kaplamalarda oluşan kusurlar ;

- Çatlaklar,
- Yüzeysel kusurlar,
- Çukurlar,
- Burulmalar,
- Su birikintileri veya yüzey drenajının yetersiz olması,
- Renk farklılıkları,
- Oturmalar ve köşe kırıkları,
- Derz bozulmaları olarak sıralanır (Tunç, 2004).

BÖLÜM 4

SICAK ASFALT KARIŞIMLAR

Agrega ile birlikte belli oranlarda, homojen bir şekilde birleşen asfalt bağlayıcıların oluşturmuş olduğu karışımlardır. Bu karışımlar genelde karayolu üst yapısının kaplama tabakalarında kullanılırlar. Kaplama tabakalarının stabilitesini ve performansını birinci derecede etkilerler. Stabiliteleri sağlamak asfalt karışımların, rijitlik, işlenebilirlik, dayanıklılık, yorulma mukavemeti, esneklik, geçirimsizlik ve kayma direnci gibi özelliklerinin iyi bilinmesine bağlıdır. Ancak bu özelliklerin hepsinin birden çok iyi bilinmesi halinde ideal bir asfalt karışımı elde etmek mümkündür.

Sıcak asfalt karışımlarda stabilite düştükçe, yol yapısındaki tekerlek izi ve çeşitli ondülasyonlar gibi yol kusurları artacaktır. Stabilite derecesi içsel sürtünme ve kohezyona bağlıdır. İçsel sürtünmede kaplamada kullanılan agrega ile doğrudan ilgilidir. Agreganın taneleri ne kadar köşeli ise sürtünme dirençleri de o kadar yüksek olur. Köşeli agrega da kırmataş agrega kullanılarak sağlanmaktadır. Diğer bir adı bağ kuvveti olan kohezyon, kullanılan bağlayıcının viskozluğu ile artış gösterir. Aynı zamanda kohezyon kaplamanın ısısı ile de değişkenlik göstermektedir. Kohezyon asfaltın karışımdaki miktarına göre doğru orantılı olarak artış göstermekte ancak belli bir değerden sonra ters orantılı değişmektedir. Ayrıca bağlayıcının karışım içerisine çok katılması demek agregaların birbirleriyle olan sürtünme kuvvetlerinin azalması demektir ki buda kaplamanın stabilitesini düşüren diğer bir faktör olacaktır. Asfalt karışımların stabilitesi için;

- Statik veya çok yavaş hızlarda agreganın sürtünmesi,
- Yüksek hızlarda asfaltın kohezyonu ve karışımın kütleli viskozluğu,

etkin olmaktadır. Özellikle yüksek kaplama ısısında ve yavaş trafik hızlarında stabilitenin sağlanması veya teker izi oluklarının oluşmasına karşı gösterilen dirençten

kullanılan agrega sorumludur. Düşük ısılarda ve yüksek trafik hızlarında ise kohezyonun önemli bir etkisi vardır. Asfalt karışımların deformasyon direnci;

- Agrega absorpsiyonu ve porozluluğu arttıkça,
- Optimum asfalt yüzdesine kadar asfalt içeriği arttıkça,
- Asfaltın viskozluğu arttıkça,
- Asfaltın ısısı azaldıkça,
- Yükleme hızı arttıkça,
- Karışım, serim ve sıkıştırma ısısı arttıkça,
- Filler/asfalt oranı azaldıkça,

önemli artış göstermektedir. Görüldüğü üzere asfaltın viskoelastik özelliği ile agreganın fiziksel özellikleri asfalt kaplamaların stabilitesi üzerinde etkili olmaktadır (Tunç, 2004).

4.1. Sıcak Asfalt Karışımların Rijitliği

Asfalt kaplamaların trafik ve çevre etkilerinin aşındırma özelliğine karşı göstermiş olduğu dirence kaplamanın durabilitesi denir. Kaplamanın, yaşlanma, aşınma, kırılma ve soyulma gibi etkilere karşı dayanıklı olması, iyi bir performans gösterdiğinin kanıtıdır. Tabi bu etkilere karşı dayanıklı olması;

- Geçirimsiz yoğun gradasyonlu agrega,
- Kalın asfalt film tabakası ve sert asfalt,
- Düşük boşluk oranı, yeterli sıkışma ve permeabilite,
- Yüksek soyulma direnci ve sağlam agrega,

gibi özelliklere sahip olmasına bağlıdır. İyi sıkışmış bir karışımda daha az boşluk olduğu için kaplama, hava ve suyun etkisine maruz kalmaz. Böylece içerisindeki bağlayıcı madde okside olmaz ve yaşlanma, aşınma gibi olumsuz etkiler gözlemlenmez. Bu da asfalt kaplamanın ömrünü uzatır.

Asfalt kaplamalarda, kaplama tabakasının tekrar eden trafik yüklerinin etkisi ile oluşan çatlama etkisine karşı göstermiş olduğu direnç yorulma direncidir. Yorulma direnci;

- Rijitlik arttıkça,
- Gradasyon ve yoğunluk arttıkça,
- Asfalt penetrasyonu ve miktarı arttıkça,
- Toplam kaplama kalınlığı ile asfalt tabaka kalınlıkları arttıkça,
- Eğilme gerilmesi azaldıkça önemli ölçüde artış göstermektedir.

Geçirimsizlik asfalt kaplamaların içine veya içinde su ve havanın geçişinin önlenmesidir. Asfalt kaplama içindeki boşlukların büyüklüğü, boşluk oranı ve boşlukların birbirleriyle etkileşimi geçirimsizliğin derecesini belirlediği gibi kaplamanın durabilitesini de etkilemektedir. Kaplamada;

- Kullanılan asfalt miktarı,
- Karışımın yoğunluğu,
- Kaplamanın sıkışma miktarı,

arttıkça geçirimsizlik derecesi de artmaktadır. Ancak asfalt kaplamalarda %2 - 4 boşluk oranının olması, kaplamanın terleme ve kasma yapmasının önüne geçmektedir.

Asfalt kaplamaların fleksibilitesi, çatlama dan eğilebilme ve uzun zamanda oluşan oturmalara uyum göstermesi yeteneğidir. Bir kaplama oluşan oturmalara karşı kalıcı deformasyon yapmamalı ve esnek davranış göstermelidir. Kaplamanın fleksibilitesi;

- Asfalt içeriğinin artmasına,
- Kaplama karışımının açık gradasyonlu olmasına bağlıdır.

Sıcak asfalt karışımlarda istenilen bir diğer özellik ise işlenebilir olmasıdır. Bu karışımın inşaat sahasında serim ve sıkıştırma kolaylığı göstermesi ile ölçülür. Kaba

karışım diye tabir edilen, büyük daneli agrega içeren karışımlar serim sırası ve sonrasında sıkıştırma zorluğu çıkartmakta ve segregasyon göstermektedir. Agreganın orta büyüklükteki daneli yapıya sahip olması işlenebilirliği artırır ancak stabiliteyi düşürür. Aşınma tabakasının kayma direnci sürüş emniyeti bakımından en önemli faktördür. Kayma direnci;

- Düşük asfalt içeriği,
- Cilalanma direnci yüksek agrega,
- Pürüzlü yüzeyli kırmataş agrega,
- Açık ve yoğun gradasyonlu karışım,

ile artış gösterir. Aşırı bağlayıcı içeriği kuma ve terlemeye yol açarken, cilalı yuvarlak agreganın sürtünme direnci düşük olur. Kaplamanın yüzey düzgünlüğü arttıkça, sürüş konforu artmakta ama bir o kadar da sürüş emniyeti azalmaktadır (Tunç, 2004).

4.2. Karışım Deneyleri

4.2.1. Marshall deneyi (TS 3720 ASTM D6927)

4.2.1.1. Kapsam

Yoldaki hareketli yükleri ilk karşılayacak olan asfalt betonunun, yeterli dayanımda olmasını sağlayacak optimum bitüm miktarını tayin etmemize yarayan deneydir. Bu deney maksimum dane boyutu 25 mm' ye kadar olan agregaları içeren kaplama karışımlarının akma direncinin bulunması, karışım hesabının yapılması, imalat ve sonrası için gerekli bilgilerin elde edilmesini sağlar.

4.2.1.2. Gerekli aletler

Marshall tokmağı: Yaklaşık olarak 4536 gr ağırlığındaki silindirik tokmağın, 457mm yükseklikten, sıkışacak zemin üzerine serbest düşme yapmasını sağlayan düzenektir. Yol yapımında silindiriğin gördüğü görevi laboratuvar ortamında gerçekleştirir.



Şekil 4.1. Marshall tokmağı

Mikser: Agrega ve bitümün birbirine homojen biçimde karışmasını sağlayan cihazdır. Isı kaybının önlenmesi için, mikser ucunun etüv içerisinde sıcak halde bekletilip karışım yapılacağı zaman miksera takılması gerekir.



Şekil 4.2. Mikser ve aparatları

Mikser ısıtma kabı: Agrega ve bitümün mikser tarafından karıştırılırken ısı kaybı olmasını önlemek için kullanılan cihaz.



Şekil 4.3. Mikser ısıtma kabı

Numune kalıpları: 100 mm çapında, 63.5 mm yüksekliğinde silindirik bir kalıptır. Üstünde ilave bir kalıp ve altında kalıp taban plakası vardır.



Şekil 4.4. Numune kalıbı

Kriko: Numuneleri kalıplardan düzgün bir şekilde çıkarmaya yarayan düzenek.



Şekil 4.5. Kriko

Dijital tartı: Numunelerini en az 0.1 gram hassasiyetle tartabilecek bir terazi.



Şekil 4.6. Dijital tartı

Etüv: Deneyde kullanılan malzemelerin, agregaların ve bitümün istenilen sıcaklıkta tutulmasını sağlar.



Şekil 4.7. Etüvler

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



Şekil 4.8. Sıcak su banyosu

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



Şekil 4.9. Marshall test cihazı

4.2.1.3. Deneyin yapılması

- ✓ Gradasyonu ayarlanmış 1100 gr agrega numunesi 160 °C' lik etüve bir gün önceden konulur.
- ✓ Etüvden çıkarılan agrega üzerine, 160 °C' lik etüvden alınan bitüm, terazide hassas bir tartım yapılarak istenilen miktarda eklenir.
- ✓ Agrega ve bitüm etüvden çıkarılan kaba konularak, mikserde 2 dakika boyunca karıştırılır. Karışımın yapıldığı sırada sıcaklığın düşmemesi için numunenin bulunduğu kap mikser kabı içerisinde tutulur.
- ✓ Numune karıştırıldığı sırada, etüvden çıkarılan numune kalıbının içi fazla olmayacak şekilde yağlanır ve taban kısmına daha önceden uygun boyutlarda kesilmiş yağlı kağıt konulur.
- ✓ Mikserde karıştırma işlemi biten numunemiz yine etüvden çıkan bir kürek yardımıyla kalıbımıza konulur. Karışımın boşluksuz olması için, her bir kürekten sonra karışım, etüvden çıkardığımız şişleme çubuğu ile şişlenir. Son olarak üstüne yağlı kağıt konulur.
- ✓ Kalıp Marshall tokmağı aletine yerleştirilir ve her iki tarafına 50 vuruş yapılarak sıkıştırma işlemi tamamlanır.
- ✓ Tokmaktan çıkarılan kalıp, içerisindeki kağıtlar alındıktan sonra soğuması amacıyla uygun bir yüzey üzerine bırakılır. Bekleme süresi yaklaşık 3 saattir.

- ✓ Briket, soğuyan kalıptan bir kriko yardımıyla çıkarılır. Böyle bir deney minimum 3 kişi ile yapılmalıdır, çünkü bir kişi mikser başında karışım yaparken diğer bir kişi kullanılan aletlerin temizliğini yapmakta, bir diğer kişi ise soğutma, kalıptan çıkarma ve kalıp temizleme işlerini yürütür.
- ✓ Krikodan çıkarılan briketler oda sıcaklığında bir gün bekletilir. Daha sonra bu briketler 60 °C sıcaklıktaki su banyosu içerisinde 40 dakika tutulur.
- ✓ Su banyosundan çıkarılan briketler kurulanır ve Marshall test aletine yerleştirilir. Burada briketlerin Marshall stabilite ve akma değerleri hesaplanır (Özen, 2005).

4.2.1.4. Hesaplama

Ölçme aletinde, Flowmetreden akma, Dialgeyçten stabilite okunur. Briketlerimizin yükseklikleri ölçülür ve bu yüksekliklere bağlı olarak sonuçlar düzeltme faktörleri ile çarpılarak stabilite değerleri bulunur.

4.2.2. Bitümlü karışımların sünme modülü deneyi (D4123-82)

4.2.2.1. Kapsam

Bu deney, yoğun gradasyonlu sıcak karışımların dairesel ve tek eksenli basınç yüklemesi altında sünme modülü değerlerinin belirlenmesini sağlar. Tek eksenli basınç deneyi asfalt betonu karışımların tekerlek izi oluşumuna karşı dirençlerini değerlendirmek amacıyla kullanılmaktadır. Bu deney yöntemi yoğun asfalt karışımlarına ve karot numunelerine uygulanabilir. Bu deneyden elde edilen sünme modülü değeri, elastik teori veya nonelastik teori yardımıyla ısı ve dingil yüklerine maruz kalan asfalt betonu karışımların, düşük sıcaklıklardaki çatlama potansiyeli veya tekerlek izinin hesaplanması ve rijitliğinin tahmininde kullanılabilir.

4.2.2.2. Gerekli aletler

Etüv: Numuneyi istenilen sıcaklıkta tutacak etüv.

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



Şekil 4.10. Sünme aleti

4.2.2.3. Deneyin yapılması

- ✓ Numunelerin deney öncesinde birim hacim ağırlıkları bulunur.
- ✓ Numuneler etüve yerleştirilir ve deney sıcaklığına gelinceye kadar bekletilir.
- ✓ Deney ekipmanına yerleştirilen numunelere, numunenin bozulmasına sebep olan yükün % 5 ile % 25'i arasındaki 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 kaydedilir. 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).

4.2.2.4. Hesaplama

Her bir 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;

$$Ecq(t) = \frac{\sigma_c}{\varepsilon_c(t)}$$

Bu formülde;

$Ecq(t)$: t anındaki sünme modülü (psi).

σ_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;

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

σ_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 2. 3600 sn deki).

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

BÖLÜM 5

ÜSTYAPI KAPLAMALARINDA KULLANILAN MALZEMELER

5.1. Agregalar

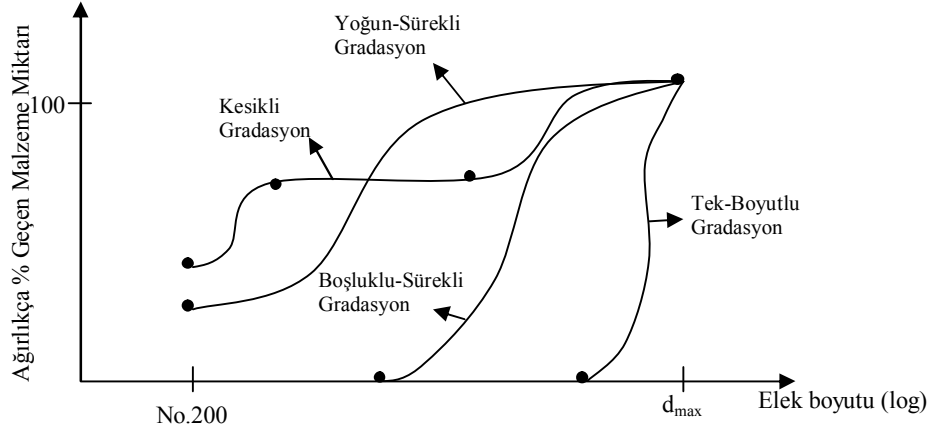
Yol yapılarının kuşkusuz en önemli malzemesi agregalardır. Bir esnek kaplamada, temel ve alttemel tabakalarının tamamını, kaplama tabakasının ise büyük bir miktarını agregalar oluşturmaktadır. Agreganın bu denli çok miktarda kullanılması ve kolay temin edilebilir olması da onu yol yapılarının en önemli malzemesi haline getirir. Ayrıca bir karayolu üstyapısının her bir tabakasının performansı büyük ölçüde, bu tabakalarda kullanılan agreganın kalitesine bağlıdır.

Kullanılan agreganın işlevini yerine getirebilmesi için öncelikle, üzerine gelecek ağır trafik yüklerini zemine yayarak iletebilmesi ve bu sırada oluşabilecek deformasyonlara karşı direnç gösterebilmesi gerekir. Bu yükler karşısında kolay kolay parçalanmamalı ve her türlü çevresel koşulun aşındırma etkisine karşı koyabilmelidir. Birlikte kullanıldığı bağlayıcı ile güçlü bir adezyon yapmalıdır.

Agregalar doğadan veya yapay olarak çeşitli yöntemlerle elde edilirler. En çok tercih edileni kayaların kırılmasıyla elde edilen, yüksek dayanım ve aşınma direncine sahip agregalardır. Dere yataklarından agrega elde etmek son derece basit ve ekonomik olsa da, buradan elde edilen agreganın olumsuz özelliklerinden dolayı bu yöntem tercih edilmez. Aynı şekilde yüksek fırın cürufurlarından da yapay agrega elde etmek mümkündür ancak bu ülkemizde tercih edilen bir yöntem değildir.

Agregalar boyutlarına göre sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırma 4.75 mm açıklıklı elek üzerinde kalan kaba agrega, 4.75 mm den geçip 0.075 mm açıklıklı elek üzerinde kalan ince agrega ve 0.075 mm açıklıklı elek altında kalan filler malzeme şeklinde yapılmıştır. Agregaların boyut dağılımına gradasyon denir ve gradasyon tespiti için elek analizi yapmak gerekir. Bunun için bir miktar agrega alınıp elek setinin en üstünde bulunan eleğe konularak elenir. Her bir elekten geçen malzemenin yüzdesi

belirlenir ve bir gradasyon eğrisi elde edilir. Bu gradasyon bize, agreganın stabilitesi, işlenebilirliği, yoğunluğu ve dren kabiliyeti hakkında bilgi verir (Tunç, 2004).



Şekil 5.1. Agreg gradasyon tipleri (Tunç)

Yukarıdaki egride gözüken, agreganın d_{max} miktarı arttıkça, segregasyon, sıkışma direnci ve işlenebilirlik özellikleri büyük ölçüde azaldığı gibi, stabilite, yoğunluk gibi özellikleri de artış göstermektedir.

Esnek kaplamalarda kullanılan agregaların şekilleri, kaplamanın performansı açısından oldukça önemlidir. Kullanılan bu agregalar kırmataş agregası olmalı, şekilleri itibarıyla da köşeli, açısız olmalıdır. Çünkü dere agregalarına nazaran daha açısız biçimli olan kırmataş agregaları, yüzey temas noktalarının çokluğu sebebiyle yüksek stabilite ve kayma mukavemeti gösterirler. Bu agregalar şekilleri itibarıyla yolda yarattıkları yüksek sürtünme katsayıları sayesinde güvenli bir sürüş sağlarlar fakat yuvarlanma direncinin fazla olması teker aşınmaları açısından olumsuz bir etki yapar.

Agregaların su emme yeteneği olarak bilinen porozite özelliği yolun performansını etkileyen diğer bir faktördür. Agreganın boşluk oranının fazla olması birlikte kullanıldığı bağlayıcıyı büyük ölçüde absorbe etmesini ve iyi bir adezyon

oluşmasını sağlayacak bu da yüksek stabilite değerlerinin elde edilmesine neden olacaktır.

Agregaların sahip olduğu toplam yüzey alanı ile daneler arasındaki toplam boşluk hacmi granüler veya asfalt bağlayıcılı esnek kaplamaların bazı özelliklerine etki eden önemli faktörlerdir. Agregalar ne kadar ufak daneli ise yüzey alanları ve daneler arasındaki boşluk miktarı da o kadar fazla olur. Agregada daneleri küçüldükçe, yüzey düzgünlüğü artmakta ve daha çok bağlayıcı ihtiyacı gerektiğinden dolayı aşınma tabakalarında d_{max} miktarı arttıkça yoğunluğu ve yüzey pürüzsüzlüğü artmaktadır. Fakat boşluk miktarı ile yüzey alanı azaldığından dolayı durabilitesi ile stabilitesi azalmaktadır. Bundan dolayı temel ve alttemel tabakaları, kaplama tabakalarına nazaran daha az gerilme aldıkları için, kaba agregalar ile inşa edilirler. Üstyapının stabilitesi, agreganın;

- d_{max} 'ı arttıkça,
- Kırmataş oldukça,
- Açısal daneli oldukça,
- Filler miktarı azaldıkça,
- Yoğun gradasyona sahip oldukça,
- Sıkışma miktarı arttıkça, boşluk oranı azaldıkça artar.

Agregaların yapışma yetenekleri veya adezyonları, agreganın bağlayıcı madde ile oluşturduğu bağ kuvvetini ifade etmektedir. Kaplamanın suyla temas etmesi sonucu agreganın üzerindeki bağlayıcının soyulmaması gerekir. Agreganın adezyonu;

- Asfaltın viskozluğu arttıkça,
- Agreganın yüzey pürüzlülüğü arttıkça,
- Agreganın absorpsiyonu arttıkça,
- Agregada dane çapı küçüldükçe,
- Karıştırma ısı arttıkça,

önemli ölçüde artmaktadır. Fakat agreganın, ısısı, penetrasyonu ve yüzey pürüzlülüğü arttıkça adezyonu da artış gösterir (Tunç, 2004).

Yapılan açıklamaların tümü, üstyapıda kullanılan agreganın ne denli önemli bir malzeme olduğunu gösterir. Ancak inşası gerçekleştirilen üstyapıdan en iyi performansı elde edebilmek için, her tabaka cinsine göre, ihtiyaçlar doğrultusunda farklı özelliklere sahip agrega kullanmak gerekir.

5.1.1. Temel ve alttemel tabakasında kullanılan agregaların özellikleri

Esnek kaplamalarda kullanılan agregaların özellikleri, kaplamanın performansı açısından çok önemlidir. Temel tabakalarının, gelen trafik yüklerini tabii zemine iletmek, drenajı sağlamak ve her türlü deformasyona karşı direnç göstermek gibi önemli görevleri olduğundan, bura da kullanılacak agregalarında özellikleri bu yönde olumlu olmalıdır. Agregalarda ele alınılması gereken başlıca özellikler şunlardır;

5.1.1.1. Gradasyon

Üstyapı tabakalarından beklenen görevleri yerine getirmelerini sağlayan en önemli faktörlerden biri agrega gradasyonudur. İyi derecelenmiş bir gradasyona sahip agrega kullanımı, kaplamanın stabilite ve durabilite gibi temel özelliklerine etki eder. Gradasyonu yoğun olan bir agrega kümesinde ince malzeme miktarı çok demektir, bu da stabilitenin artması fakat drenaj kabiliyetinin düşmesi anlamını taşır. Aynı şekilde gradasyonu yoğun olmayan küme de kaba agrega miktarı çok olacak, bu da bize en iyi drenajı sağlayacaktır. Ancak bir kaplama tabakasından istenen, hem yüksek stabilite hem de yüksek dren kabiliyetidir. Bu nedenle uygun bir gradasyon sayesinde bu iki önemli özelliğinde sağlanması amaçlanmalıdır.

Kaba agrega içerisinde bulunan ince agrega miktarını belirlemek son derece önemlidir. Eğer malzeme sadece kaba agregalardan oluşuyor ve hiç ince malzeme içermiyorsa, kaplamanın stabilitesi kaba agregaların kendi aralarındaki içsel sürtünme kuvvetleriyle sağlanır. Bu tip malzemede dren kabiliyeti maksimum seviyede olup

dona duyarlılığı son derece azdır. Ancak kaba agregalardan oluştuğu için aralarında büyük boşluklar ihtiva eder, buralar havayla dolacağı için de malzeme yoğunluğu en azıdır. Agregalar arasındaki boşlukların tümü ince malzeme doluyorsa, iyi bir sıkıştırma işlemi ile maksimum stabiliteye ulaşmak mümkündür. Yalnız bu tip bir tabakada dren kabiliyeti sadece kaba agregadan oluşan malzemeye nazaran daha az olacaktır. Eğer kaba agrega miktarı az ve bu agregalar, miktarı fazla olan ince malzeme içerisinde yüzüyor ise, bu o tabakayı dona karşı son derece hassas bir hale getirir. Böyle bir tabakanın stabilitesi de son derece düşük olur ki bu istenmeyen bir durumdur. Tüm bunlardan anlaşılacağı üzere, stabilitesi yüksek aynı zamanda da dren kabiliyeti olan bir tabaka elde etmek istiyorsak, kullanacağımız agregaların gradasyonu tüm boşlukları doldurmayacak ancak içerisinde belli miktarda ince malzeme içerecek kadar olmalıdır.

Agrega ile birlikte kullanılacak filler malzemede tabakanın performansına etki eden bir diğer agrega sınıfıdır. Taş unu veya taş tozu da denilen bu malzemenin yüzdesi değiştiğinde, karışımın hem CBR değeri hem de kuru yoğunluğu büyük ölçüde değişmektedir.

Açık gradasyonlu temel tabakaları, üzerindeki trafik yükleri etkisiyle digradasyona uğrar. Digradasyon sonucu agrega ince malzeme üretir ve bunun sonucu olarak temel tabakasının stabilitesi ve dren kabiliyeti büyük ölçüde azalır. Don duyarlılığı artar. Bu nedenle açık gradasyona sahip agregalar, standardı düşük yolların yapımında kullanılmalıdır (Tunç, 2004).

5.1.1.2. Permeabilite

Temel ve alttemel tabakalarının permeabilite özelliği;

- Kaba agreganın tipi ve dane şekli,
- Gradasyon ve yoğunluk,
- Filler malzeme miktarı ve PI değeri

gibi özelliklere bağlıdır. Yoğun gradasyonlu ve iyi derecelenmiş agregalar maksimum yoğunluğa kadar sıkıştırıldıkları zaman geçirimsiz bir hal alırlar. Permeabilite özelliği,

filler miktarı ve PI değeri ile ters orantılıdır. Eğer temel tabakası açık gradasyona sahip agregalar ile yapıldıysa ve içerdiği ince malzeme miktarı az ise, geçirgenlik özelliği fazla olur.

Temel tabakasında açık gradasyonlu agregaları zemin üstüne yerleştirmek, bu zeminin zamanla bu boşluklara yerleşmesine neden olur. Dolayısıyla boşlukları dolan tabakanın geçirgenlik özelliği kaybolur ve dona duyarlılığı artar. Ayrıca açık gradasyonlu tabakalarda boşluklar nedeniyle zamanla oturmalar gerçekleşir. Zemin suyunun temel tabakasına ulaşmasını önlemek amacıyla, buralarda geçirimsiz tekstil malzemesi kullanılmalı yada ince agregadan filtre tabakası yapılmalıdır (Tunç, 2004).

5.1.2. Asfalt kaplamalarda kullanılan agregaların özellikleri

5.1.2.1. Gradasyon

Yol yapısını oluşturan her bir tabakanın kalınlığı ve göstermiş olduğu mukavemet farklıdır. Bu nedenle her tabakada kullanılacak agreganın gradasyonu da farklı olmalıdır. Bilindiği gibi esnek kaplamalarda 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.

Aşınma tabakalarında ise büyük boyutlu agregaya kullanmak yerine gradasyonu daha yoğun agregaya kümeleri tercih edilir. Ancak gradasyon yoğun olunca burada kullanılan asfalt bağlayıcı için gerekli boşluk miktarı azalmaktadır. Bu nedenle gradasyonu açmak için bu tabakalarda filler malzeme kullanmak gerekir (Tunç, 2004).

5.1.2.2. Sağlamlık (dane mukavemeti)

Kaplamalarda kullanılan agregalar yola etki eden trafik yükleri altında kırılmaya ve parçalanmaya karşı direnç göstermelidirler. Agregalar bu gerilmeler altında digradasyona uğrarlar. Açık gradasyonlu tabakalar, yoğun gradasyonlu tabakalara

nazaran digradasyon etkisine karşı daha az direnç gösterirler. Bilindiği gibi esnek kaplamalarda üst tabakalar alt tabakalara nazaran her daim daha büyük gerilmelere maruz kalırlar. Bu nedenle de bir kaplama da her zaman üst tabaka yoğun alt tabakalar ise açık gradasyonlu olmak zorundadır (Tunç, 2004).

5.1.2.3. Dane şekli ve biçimi

Kaplamalarda kullanılacak agregaların dayanımı kaplamanın kalitesini belirleyen en önemli faktörlerden biridir. Agregaların dayanımı ise şekline ve yapısına bağlıdır. Agregada kübik ve açısız kenarlıysa dayanımı yüksek, uzun, ince ve yassı bir şekle sahipse dayanımı düşük olur. Her zaman en büyük gerilmeyi kaplamanın üst tabakaları aldığı için, bu kısımda mutlaka kırmataş agrega kullanmak gerekir. Kullandığımız bu agregaların en az iki yüzü kırılmış olmalıdır. Eğer elimizde dere agregası varsa, bu malzemede kullanmadan önce mutlaka kırma işleminden geçirilmelidir. Çünkü dere agregaları genelde yuvarlak hatlara sahiptir ve birbirlerine kenetlenme özellikleri yok denecek kadar azdır. Bu da kaplamanın stabilitesi için olumsuz bir durumdur (Tunç, 2004).

5.1.2.4. Porozite

Malzemenin boşluk hacminin toplam hacmine olan oranına porozite denir. Kaplamalarda kullanılan agregaların porozitesi, asfalt-agrega adezyonu için önemlidir. Porozite arttıkça adezyon artar. Fakat porozitenin az olması istenmediği gibi fazla olması da istenmeyen bir durumdur. Çünkü porozite arttıkça kullanılan asfalt bağlayıcı miktarı da artar. Bu kaplamanın pahalı olmasına neden olduğu gibi, terleme ve kuma gibi olumsuz sonuçlara da yol açar. Bu sebeple kullanılan agregaların optimum poroziteye sahip olmalarına dikkat etmek gerekir (Tunç, 2004).

5.1.2.5. Yüzey dokusu

Agregaların yüzey dokuları, agrega-asfalt adezyonuna 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 adezyon sağlar ve bağlayıcıyı yüzeylerinde daha çok tutarlar. Bu da kaplamanın stabilitesini büyük ölçüde artırır (Tunç, 2004).

5.1.2.6. Cilalanma direnci

Kaplamadaki en büyük gerilmeyi aşınma tabakası aldığı için, burada kullanılacak agregalarında bu gerilmelere dayanıklı olması istenir. Yine trafiğin aşındırma etkisine doğrudan maruz kalan tabaka adından da anlaşıldığı gibi bu tabakadır. Bu bakımdan burada kullanılacak agregalar aşınma kaybı (Los Angeles) deneyine tabi tutulmalıdırlar (Tunç, 2004).

5.1.3. Agrega deneyleri

5.1.3.1. Elek analizi deneyi (TS 130, AASHTO T-11, T-27; ASTM C-136)

5.1.3.1.1. Kapsam

Bir agreganın karışımının, standart deney eleklerinden elenmesi ile en büyük dane çapı yönünden, dane boyutu dağılımlarının belirlenmesini sağlar.

5.1.3.1.2. Gerekli aletler

Terazi: Deney numunelerini en az 0.1 gram hassasiyetle tartabilecek bir terazi.



Şekil 5.2. Terazi

Elekler: TS 1227 ye uygun tel elekler kullanılır. Göz açıklıkları genelde; 25 mm, 19 mm, 12.5 mm, 9.5 mm, 4.75 mm, 2 mm, 0.425 mm, 0.180 mm, 0.075 mm' dir.



Şekil 5.3. Elekler

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



Şekil 5.4. Etüv

Deneyin yapılması

- ✓ Agrega numunesi iyice karıştırılarak homojen duruma getirilir. Numune 110 °C 'ye ayarlanmış etüv de 24 saat bekletilir ve oda sıcaklığında kurutulup tartılır(W_0).
- ✓ Elekler, göz açıklıkları giderek küçülecek şekilde yukarıdan aşağıya doğru sıralanır ve elek sarsma makinesine yerleştirilir.
- ✓ Numune en üstteki eleğin içine konur ve elek sarsma makinesi çalıştırılıp eleme işlemine başlanır. Bu işlem her bir elek için yaklaşık 2 dakika uygulanır.
- ✓ Eleme süresinin yeterli olduğu, herhangi bir elekte yaklaşık 2 dakikalık sarsma süresinde elekten geçen malzeme miktarlarının, elek üstünde kalan malzeme miktarlarının %1' inden daha az olması ile anlaşılır.
- ✓ Yeterince sürdürülen eleme işlemi sonunda her bir elekte kalan malzeme 0.1 gram hassasiyetteki terazi ile tartılır(W_u) (Özen, 2005).

Hesaplama

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

$$S_u = \frac{W_u}{W_0} \times 100(\%)$$

Bu 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) 'dır.

5.1.3.2. Aşınmaya dayanıklılık ve aşınma kaybı deneyi (Los Angeles) (TS 3694, ASTM C131-55; AASHTO T-96)

5.1.3.2.1. Kapsam

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.

5.1.3.2.2. 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 yataklanmalıdır. Alet dakikada 30-35 devir yapmalıdır.



Şekil 5.5. Los Angeles Tamburu

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

5.1.3.2.3. Deneyin yapılması

- ✓ Deneyde kullanılacak miktarda agrega numunesi yıkanarak elenir ve tane sınıflarına ayrılır.
- ✓ Her tane sınıfı etüvde kurutulduktan sonra oluşturulmak istenen numune tipi için gerekli olan miktarlara ayrılarak (W_1) Tambura konur.
- ✓ Granülometrik sınıfı belirlenen numunenin aşındırma yükü, yani kaç küre kullanılması gerektiği tespit edilir.

Çizelge 5.1. Aşınma deneyi numune tipleri

| Numune Tipi | Bilye Sayısı | Bilye Ağırlıkları Toplamı |
|-------------|--------------|---------------------------|
| A | 12 | 5000±25 |
| B | 11 | 4575±25 |
| C | 8 | 3325±20 |
| D | 6 | 2500±15 |
| E | 12 | 5000±25 |
| F | 12 | 5000±25 |
| G | 12 | 5000±25 |

- ✓ 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 duyarlı terazi ile tartılır(W_2).
- ✓ Elek üstünde kalan ve elekten geçen agregalar, bilyeler tekrar tambura konur. Bilyelere A, B, C, D tipi numunelerde ilk 10 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 tartılır(W_3) (Özen, 2005).

5.1.3.2.4. 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.

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

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

Bu formülde;

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 500-1000 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.

5.1.3.3. Donmaya ve çözülmeye karşı dayanıklılık deneyi (ASTM-C88; AASHTO T-104)

5.1.3.3.1. Kapsam

Beton ya da asfalt yapımında kullanılacak agregaların dona dayanıklı olup olmadığının belirlenmesidir. Soğutma işlemlerinin kısa süre içerisinde yapılamaması nedeniyle sonuca daha kısa sürede ulaşmak amacıyla deneyde sodyum sülfat ve magnezyum sülfat çözeltileri kullanılır.

5.1.3.3.2. Gerekli aletler

Terazi: 2 kg çekerli 0.1 gram hassasiyette bir terazi

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

Deney elekleri: Standart deney elekleri

Donma çözülme kabini: Düşey ve yatayda hava dolaşımı sağlayan kabini



Şekil 5.6. Donma çözülme kabini

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

Metal kutular: Dikişsiz çekilmiş veya kaynaklı, 0.6 mm et kalınlığına sahip korozyona dayanıklı metalden 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.

5.1.3.3.3. Deneyin yapılması

- ✓ Numune tartılır(G_1) Deney numuneleri, damıtık veya demineralize su içerisinde bulunan ve metal kutularda $(20 \pm 3) ^\circ\text{C}$ ' de, (24 ± 1) saat süreyle atmosfer basıncında tutulur.
- ✓ Su seviyesi deney süresi boyunca numunenin 10 mm üstünde tutulmalıdır.
- ✓ Her bir metal kutudaki su seviyesinin, deney numunesinin en az 10 mm üzerine olup olmadığı kontrol edilir ve kutu kapakları kapatılır.
- ✓ Isının mümkün mertebe her taraftan eşit şekilde alınmasını sağlamak amacıyla, metal kutular ile dolabın yan duvarları arasındaki mesafenin 50 mm' den az olmamasına ve kutuların birbirine değmemesine dikkat edilerek, deney numunelerini içinde bulunduğu metal kutular dolaba yerleştirilir.

- ✓ Dolaptaki numuneler, 10 defa donma-çözülme döngüsüne tâbi tutulur. Sıcaklık, (150 ± 30) dakikada (20 ± 3) °C' tan 0 (sıfır) °C' a düşürülür ve (210 ± 30) dakika süreyle 0 (sıfır) °C' ta tutulur.
- ✓ Sıcaklık, (180 ± 30) dakikada 0 (sıfır) °C' tan (-17.5 ± 2.5) °C' a düşürülür ve en az 240 dakika süreyle (-17.5 ± 2.5) °C' ta tutulur.
- ✓ Hiç bir aşamada, hava sıcaklığının, -22 °C' un altına düşmesine izin verilmemelidir.
- ✓ Her bir donma döngüsü tamamlandıktan sonra, kutu muhtevası, yaklaşık 20 °C' ta ki suya batırılmak suretiyle çözülür. Sıcaklık, (20 ± 3) °C' a ulaştığında, çözme işlemi tamamlanmış sayılmalıdır.
- ✓ Her bir çözme aşaması tamamlandıktan sonra, kutular (20 ± 3) °C' ta ki suda en fazla 10 saat süreyle tutulur. Her bir donma-çözülme döngüsü, 24 saat içinde tamamlanmalıdır. Deney sonunda numune tartılır(G_2) (Özen, 2005).

5.1.3.3.4. Hesaplama

Deney numunesi kısımları için, donma-çözülme döngülü ve donma-çözülme döngüsüz olarak elde edilen direnç deneyi sonuçları arasındaki yüzdece fark, aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanır.

$$D = \frac{G_1 - G_2}{G_1} \times 100(\%)$$

Bu formülde;

D: Don kaybı oranı

G_1 : Numunenin deney başlangıcındaki etüv kuru ağırlığı (gr)

G_2 : Numunenin deney sonundaki ağırlığı (gr)

5.1.3.4. İnce agrega için özgül ağırlık ve su emme deneyi (TS-3526, ASTM C 127-59)

5.1.3.4.1. Kapsam

İnce agregaların özgül ağırlık ve su emme oranını tayin etmek amacıyla yapılır.

5.1.3.4.2. Gerekli aletler

Terazi: 2 kg çekerli ve 0.1 gr hassasiyette bir terazi

Tablalı ısıtıcı veya hava üflemlerli ısıtıcı: Deney numunesinin yakın çevresindeki sıcaklığı $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ çıkarabilecek güçte gaz veya elektrik ısıtmalı hava üflemlerli 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 25 mm çapında, ucu yuvarlatılmamış, yaklaşık 350 gr ağırlığında, pirinçten yapılmış bir çubuk.

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

Bezler: Havlu veya benzeri kurutma bezleri, tavalar, mala, vantilatör, desikatör, termometre (bir derece $^{\circ}\text{C}$ bölüntülü)

5.1.3.4.3. Deneyin yapılması

- ✓ Deney numunesi tartılır. (f)
- ✓ Deney numunesi su içerisinde 24 saat bekletildikten sonra ince taneleri kaybolmayacak şekilde suyu süzülerek akıtılır ve bir tava içine yayılır.
- ✓ Tava, tablalı ısıtıcısı üzerine konarak kurutulur.
- ✓ Numunenin çok kurumamasına özen gösterilmelidir.
- ✓ 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 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).

5.1.3.4.4. 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 formülde;

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 doygun kuru yüzey durumundaki ağırlığı (gr)

f: Numunenin etüv kurusu ağırlığı (gr)

5.1.3.5. İri agrega için özgül ağırlık ve su emme deneyi (TS-3526, ASTM C 127-59)

5.1.3.5.1. Kapsam

İri agregaların özgül ağırlık ve su emme oranını tayin etmek amacıyla yapılır. Bu deney 4.75 mm elek üzerinde kalan agregalara uygulanır.

5.1.3.5.2. Gerekli aletler

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

Özgül ağırlık sehpası: Su içinde tartım yapmayı sağlayan alet

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

Kova: Tel sepeti içine alabilecek büyüklükte bir kova.

Bezler: Havlu veya benzeri malzemeden yapılmış bezler.

5.1.3.5.3. Deneyin yapılması

- ✓ Deney numunesi su içinde 24 saat bekletildikten sonra çıkarılır, 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.
- ✓ Daha sonra sepetin kova kenarına dokunmamasına dikkat edilerek özel düzenle terazi kefesinin ortasına yerleştirilir.
- ✓ Doygun 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).



Şekil 5.7. Özgül ağırlık sehpası

5.1.3.5.4. Hesaplama

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

$$\text{Özgül ağırlık} = \frac{a}{a-b} \text{gr/cm}^3$$

$$\text{Su emme} = \frac{c-a}{a} \times 100$$

Bu formülde;

a: Numunenin havadaki ağırlığı (gr)

b: Numunenin sudaki ağırlığı (gr)

c: Numunenin doygun kuru yüzey ağırlığı (gr)

5.1.3.6. Agregalar birim ağırlık deneyi (TS 3529)

5.1.3.6.1. Kapsam

Agregaların sıkışık ve gevşek durumlarındaki birim ağırlıklarının hesaplanması işlemidir.

5.1.3.6.2. 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: Hacmi belli olan, silindirik şeklinde, su geçirmez, deforme olmayacak kadar dayanıklı metalden yapılmış, her iki ucunda kulpları bulunan kaplar.

5.1.3.6.3. Deneyin yapılması

Sıkışık birim hacim ağırlık için;

- ✓ Hacmi belli olan (V) metal ölçü kabımız tartılır. (W_1)
- ✓ Belli miktarda hazırlanmış ve kurutulmuş deney numunesi ile önce yüksekliğinin üçte birine kadar doldurulur.
- ✓ Şişleme çubuğu yardımı ile yüzeyin her tarafına yayılacak şekilde 25 vuruş yapılarak şişlenip sıkıştırılır.
- ✓ Sıkıştırma işlemi kabın her üçte birlik kısmı doldurulup tekrarlanır.
- ✓ Şişleme işlemi tamamlandıktan sonra ölçü kabının üst yüzeyinden taşan agregalar fazlası sıyrılarak alınır.
- ✓ Ölçü kabı agregalar ile birlikte tartılır. (W_2)

Gevşek birim hacim ağırlık için;

- ✓ Hacmi belli olan (V) metal ölçü kabımız tartılır. (W_1)

- ✓ Belli miktarda hazırlanmış ve kurutulmuş deney numunesi metal ölçü kabının içerisine, bir kürek yardımıyla taşarcasına doldurulur.
- ✓ Küreğin ölçü kabının üst yüzeyinden 5 cm daha yukarı kaldırılmamasına ve agreganın sıkışmamasına dikkat edilir.
- ✓ Ölçü kabı üstündeki fazla agrega el yardımıyla sıyrılarak alınır.
- ✓ Ölçü kabı agrega ile birlikte tartılır (W_2) (Özen, 2005).



Şekil 5.8. Metal ölçü kapları

5.1.3.6.4. Hesaplama

Agreganın **sıkışık** birim hacim ağırlığı aşağıda verilen şu formül yardımıyla hesaplanır.

$$B_s = \frac{W_2 - W_1}{V} \left(\text{kg}/\text{m}^3 \right)$$

Bu formülde;

B_g : Sıkışık birim hacim ağırlık

W_1 : Ölçü kabı boş ağırlığı (kg)

W_2 : Sıkışık agrega ile dolu ölçü kabı ağırlığı (kg)

V: Ölçü kabı iç hacmi (m^3)

Agreganın **gevşek** birim hacim ağırlığı aşağıda verilen şu formül yardımıyla hesaplanır.

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

Bu formülde;

B_g : Gevşek birim hacim ağırlık

W_1 : Ölçü kabı boş ağırlığı (kg)

W_2 : Gevşek agregaya ile dolu ölçü kabı ağırlığı (kg)

V: Ölçü kabı iç hacmi (m^3)

5.1.3.7. Yassılık indeksi tayini (TS 9582, BS-812)

5.1.3.7.1. Kapsam

En küçük boyutu, en büyük nominal boyutunun 0.6 'sın dan daha küçük olan agregaya danelerinin yassı olarak sınıflandırılmasına dayanan bir deneydir. Agregaya numunelerinin yassılık indeksi, yassı danelerin ayrılması ile bulunan ağırlığın, deneye alınan toplam numune ağırlığının yüzdesi olarak ifade edilir.

5.1.3.7.2. Gerekli aletler

Terazi: Biri en az 15 kg kapasitede 1 gram hassasiyette, diğeri 2-3 kg kapasitede 0.1 gram hassasiyette 2 adet terazi.

Elekler: Yassılık indeksi tayini elek seti.

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



Şekil 5.9. Yassılık indeksi şablonu ve yassılık elek seti

5.1.3.7.3. Deneyin yapılması

- ✓ Numuneye önce elek analizi yapılır. Elek analizi sonucu malzemenin dane boyutu dağılımını 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 % 5 ‘ten az ise o aralıktaki malzeme deneye alınmaz ve yassı dene oranı sıfır olarak kabul edilir.
- ✓ Her elek arasında kalan malzeme, kendi elek açıklığına karşılık gelen şablondan geçip geçmediği, el yordamıyla teker teker denenir.
- ✓ Her fraksiyonun yassı tanelerinin ağırlığı tartılarak kaydedilir (Özen, 2005).

Çizelge 5.2. Deneye alınacak minimum malzeme miktarı ve boyutları

| Elek Açıklıkları (mm) | Her Fraksiyon için Minimum Malzeme Miktarı (kg) |
|----------------------------------|--|
| 63-0.50 | 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 |

5.1.3.7.4. Hesaplama

Her fraksiyonun yassı dane yüzdesi, aşağıda verilen formülde gösterilen biçimde ayrı ayrı hesaplanır. Her fraksiyona ait yassı dane yüzdesi, o fraksiyonun düzeltilmiş gradasyon yüzdesi ile çarpılarak gerçek yüzde hesaplanır. Her fraksiyona ait yüzdelерinin toplamı, malzemenin yassılık indeksini verecektir.

$$\text{Yassı dane yüzdesi} = \frac{M_2 \times 100}{M_1}$$

Bu formülde;

M_1 : Deneye alınan malzeme ağırlığı (gr)

M_2 : Deneyde bulunan yassı malzeme ağırlığı (gr)

5.1.3.8. Cilalanma deneyi (TS 1097, BS-812)

5.1.3.8.1. Kapsam

Agregaların trafik altında sürtünme ile aşınarak ne dereceye kadar cilalanacağını yol yüzeyine benzer koşullar altında laboratuarda tayin edilmesini kapsar.

5.1.3.8.2. Gerekli aletler

Terazi: Deney numunesi ve aşındırıcı malzemeyi, deney kısmı kütlelerinin % 0.1' ine karşılık gelen doğrulukla tartabilen.

Elek seti: 1,6 mm, 8,0 mm, 10 mm, 11,2 mm (veya 12,5 mm) 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, lâboratuar numunelerinin EN932-2'ye uygun olarak azaltılması için.

Ölçülü cam silindir: (2.5 ± 0.05) L suyu ölçebilen silindir.

5.1.3.8.3. Deneyin yapılması

- ✓ Her bir deney numunesi, ayrı bir tamburun içine yerleştirilir.
- ✓ Her bir tambura, (5000 ± 5) gr' lık bir yük oluşturmak için yeterli miktarda çelik bilye ilâve edilir.
- ✓ Her bir tambura (2.5 ± 0.05) L su ilâve edilir.
- ✓ Tamburlar, (100 ± 5) devir / dk. hızla (12000 ± 10) devir tamamlanıncaya kadar döndürülür.
- ✓ Deneyden sonra, olabilecek herhangi bir agregaya kaybını önlemeye dikkat edilerek, agregaya 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.
- ✓ Dökülen malzeme, temiz su ile yıkanır.

- ✓ Agrega taneleri elle veya elek üzerindeki bilyeler mıknatıs kullanılarak agregadan ayıklanır.
- ✓ 8 mm göz açıklıklı koruyucu elekte tutulan agrega taneleri ve 1.6 mm göz açıklıklı elekte tutulan agrega taneleri 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).

5.1.3.8.4. 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, lâboratuara 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)

5.1.3.9. Agregada organik maddenin tespiti (TS 3673)

5.1.3.9.1. Kapsam

Agregalarda organik maddenin bulunup bulunmadığını anlamak için renklendirme metodu denilen bir deney uygulanır.

5.1.3.9.2. Gerekli aletler

Cam eprüvet: Seviye gösteren camdan yapılmış tüp.

Sodyum hidroksit: Sulu eriyik hazırlamak için bir miktar sodyum hidroksit.

5.1.3.9.3. Deneyin yapılması

- ✓ 1lt suya 30 gr NaOH konulmak suretiyle sodyum hidroksit eriyiği hazırlanır.
- ✓ Bir cam eprüvetin 100. seviyesine kadar konulan agrega üzerine bu eriyikten 160. seviyeye ulaşınca kadar dökülür.
- ✓ Eprüvet içindekiler dökülmeden kuvvetli bir şekilde çalkalanır.
- ✓ Bundan 24 saat hareket ettirilmeden muhafaza edilir.
- ✓ Bu müddet sonunda agreganın üstündeki eriyik rengini değiştirir.
- ✓ Eriyiğin aldığı renkle ilgili su sonuçlar çıkarılır;

NaOH eriyiğinin zamanla sararması ve böylelikle yanlış değerlendirmenin yapılması olasılığı vardır. Bunu önlemek için bazı önemli hallerde karşılaştırma maksadıyla NaOH eriyiğinden başka bir eriyik aşağıdaki şekilde hazırlanır:

- ✓ 97.5 cm^3 % 3 suda eriyiği 2.5 cm^3 alkollenmiş tannik eriyiği
- ✓ Bu sonuncu bileşim şöyledir: % 90 tonik asit (1lt. Suya 20gr Tonik asit konuluyor) % 10, 95 °C etil alkol. Bu eriyik elde edildikten sonra bir şişeye konulur ağzı kapatılır, kuvvetle sallandıktan sonra 24 saat hareketsiz bırakılır (Özen, 2005).

Çizelge 5.3. Agregada organik madde durumu

| Eriyik rengi | Organik Madde | Agreganın durumu |
|-----------------------------|--|---|
| Renksiz veya çok hafif sarı | Organik madde ya hiç yok veya çok az var | Yüksek kaliteli beton için kullanılmaya elverişli |
| Safran sarısı | Az miktarda var | Normal işlerde kullanılabilir |
| Belirli kırmızı | Var | Önemsiz işlerde kullanılabilir |
| Belirli kahverengi | Çok var | Kullanılamaz |

5.1.3.9.4. Hesaplama

Yukarıdaki şekilde yapılan deneyde agrega üstündeki suda eriyiğinin rengi yukarıdaki eriyiğın renginden açık ise organik madde ya hiç yoktur ya da zarar meydana getirmeyecek miktarda agrega içinde bulunmaktadır.

5.2. Asfalt

Asfalt, petrolün damıtılmasıyla elde edilen koyu renkli bir maddedir. Katı ve yarı katı halde bulunur ve katılığı ısıtılarak değişir. Katı ve sıvı asfalt olarak ikiye ayrılır. Katı asfaltın yola serilme işlemi, ısıtılarak akıcı hale getirilmesiyle birlikte agrega ile karıştırılıp yola serilmesi şeklinde gerçekleşir. Yüksek standartlardaki yolların yapımında kullanılır. Sıvı asfaltlar ise daha çok yol kaplamalarının onarımında ve düşük standartlı yolların yapımında kullanılır. Bu asfaltlar katbek asfalt ve asfalt emülsiyonu diye adlandırılırlar. Bu iki asfaltta katı asfaltın seyreltilmesi ile elde edilir.

Asfalt, kaplama tabakasının stabilitesini etkileyen en önemli malzemedir. Agrega danelerini birbirine bağlar ve bunların üzerine gelen trafik yükleriyle birbirlerinden ayrılmasını önler. Ayrıca trafik için uygun yüzey oluşumunu ve agregalar arasındaki boşlukları doldurarak geçirimsizliği sağlar. Asfalt karışım içerisinde ağırlıkça % 5-7 oranlarında bulunur.

Katı asfaltlar aşağıdaki çizelgede görüldüğü gibi viskozitelerine bağlı olarak sınıflandırılırlar (Tunç, 2004).

Çizelge 5.4. Asfalt çimentolarının katılık ve viskozite sınıflandırılması

| Penetrasyon (25°C, 100gr, 5 saniye) | Viskozite (60°C, Poise) | Asfalt Tipi (Penetrasyon Sınıflaması) | Asfalt Tipi (Viskozite Sınıflaması) |
|---|----------------------------|---|---|
| 40 | 4000±800 | 40-50 Pen. AC | AC-40 |
| 60 | 2000±400 | 60-70 Pen. AC | AC-20 |
| 80 | 1000±200 | 85-100 Pen. AC | AC-10 |
| 140 | 500±100 | 120-150 Pen. AC | AC-5 |
| 220 | 250±50 | 200-300 Pen. AC | AC-2.5 |

5.2.1. Bağlayıcı deneyleri

5.2.1.1. Yumuşama noktası deneyi (TS 120 EN 1427)

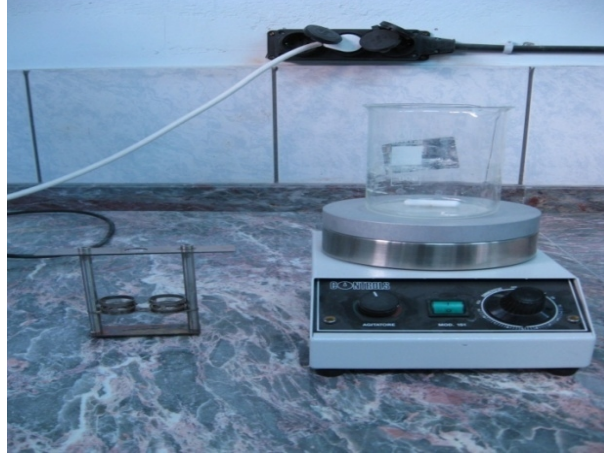
5.2.1.1.1. Kapsam

Bitümlü bağlayıcıların kıvamlılığının tespit edilmesi amacıyla uygulanan bir deneydir.

5.2.1.1.2. Gerekli aletler

Isıtıcı: Yarı otomatik veya otomatik deney aleti.

Su: Yeni kaynatılmış, damıtılmış su. Suyun yeni kaynatılmış olması deney sonucunu etkileyen bir faktördür. Çünkü kaynatma işlemi deney numunesi yüzeyindeki hava kabarcıklarını önleme açısından önemlidir.



Şekil 5.10. Yumuşama noktası deney aletleri

Halkalar: Pirinçten yapılmış, uygun boyutlu, omuzları kare olacak biçimde iki adet.

Bilyeler: Çapları 9.50 ± 0.05 mm olan, iki adet çelik bilye.

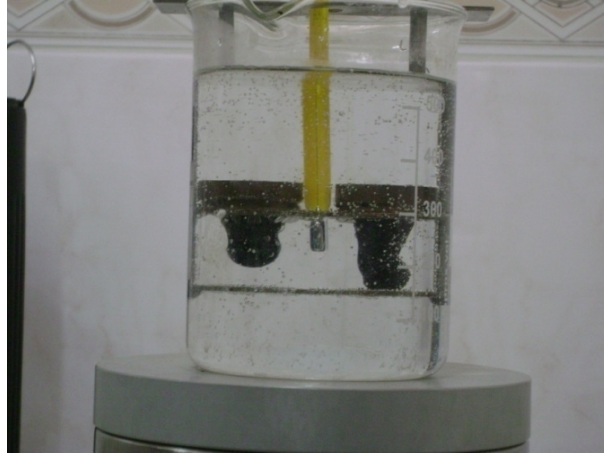
Beherler: 600 veya 800 cm^3 lük beher.

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

Termometre: Uygun bir cıvalı termometre.

5.2.1.1.3. Deneyin yapılması

- ✓ İlk olarak başlangıç sıcaklığı 5 ± 1 °C olacak su beher içerisine koyulur. Deney numunesi halkaları, bilye sabitleme kılavuzları ve termometre beher içerisine uygun bir şekilde yerleştirilir. Beher ısıtıcı üzerine konulur.
- ✓ Pens yardımıyla her bir bilye merkezleme kılavuzuna yerleştirilir.
- ✓ Banyo ısı değişimine maruz kalmayacak şekilde her türlü dış etkiye karşı muhafaza edilmeli ve suyun deney sonucunu etkileyecek maddelerle kirlenmesi engellenmelidir.
- ✓ Su karıştırılırken, sıcaklık düzgün olarak dakikada 5 °C artacak şekilde ısıtılır.
- ✓ Deney halkaları içerisindeki bağlayıcının aşağıya sarkan kısmı taban yüzeyinde değdiği anda sıcaklıklar okunarak deney bitirilir. Okunan değerler yumuşama noktası olarak kaydedilir (Özen, 2005).



Şekil 5.11. Yumuşama noktası deney sonucu

5.2.1.1.4. Hesaplama

İki bilyeden her biri için elde edilen sıcaklıklar arasındaki fark, yumuşama noktası $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' nin altında olan numuneler için $1\text{ }^{\circ}\text{C}$, $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' nin üzerinde olan numuneler için $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' yi geçerse deney tekrar edilmelidir.

5.2.1.2. Penetrasyon deneyi (TS 115-EN58)

5.2.1.2.1. Kapsam

Bitümlü bağlayıcıların kıvamlılığı penetrasyon deneyi ile tayin edilir. Özellikleri belli bir iğnenin, belirli yük altında, belli bir süre içinde, belli sıcaklıktaki bağlayıcıya dikey doğrultuda batma uzunluğu penetrasyon deney sonucunu verir.

5.2.1.2.2. Gerekli aletler

Penetrasyon cihazı: Standartlara uygun, kalibre kontrolü yapılmış otomatik penetrasyon cihazı. (Penetrometre)



Şekil 5.12. Penetrasyon cihazı

Penetrasyon iğnesi: Tam sertleştirilmiş, temperlenmiş ve parlatılmış TS 2535 e uygun martensitik paslanmaz çelikten yapılmış, 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^3 kapasiteli ve numune kabının tamamen su ile çevrilmesini sağlayacak olan kaptır.

Zaman ölçer: 0.1 sn doğrulukla ölçüm yapabilen alet.

5.2.1.2.3. Deneyin yapılması

- ✓ Temiz iki numune kabı, tahmin edilen yumuşama noktasının üzerindeki bir sıcaklığa kadar ısıtılan bir numune ile, iğnenin tahmin edilen girme miktarından en az 10mm fazla olacak şekilde doldurulur.
- ✓ Numunenin tozlanmamış ve kirlenmemiş olmasına dikkat edilir. İğne yuvası ve kılavuzu, su ve diğer harici maddelerle kirlenmemiş olup olmadığı yönünde kontrol edilir.
- ✓ Numune kaplarından biri penetrometreye yerleştirilir. Penetrasyon iğnesi, ucu numune yüzeyindeki yansıması ile temas edinceye kadar fakat numuneye

batmayacak şekilde yavaşça aşağı doğru indirilir. İğnenin sıfır noktası kaydedilir ve belirlenen süre içerisinde iğne tutucusu seri bir şekilde serbest bırakılır.

- ✓ Numune kabı hareket ederse ölçüm dikkate alınmaz. Üç ayrı iğne ile, numune kabı kenarlarından en az 10mm mesafede ve birbirlerine 10 mm den yakın olmayan noktalardan en az üç geçerli ölçüm yapılır.
- ✓ 25 °C’ de 100 gramlık kütle kullanılarak üç ölçümün 5 saniye içerisinde gerçekleştiği tayinlerde, ölçümler arasındaki fark çizelgede verilen değere karşılık gelen değeri aşmadığında deneyler geçerli sayılır (Özen, 2005).

Çizelge 5.5. Ölçümler arasında olabilecek en büyük fark

| 0.01 mm olarak penetrasyon | <49 | 50-149 | 150-249 | >250 |
|-----------------------------------|-----|--------|---------|------|
| En büyük fark | 2 | 4 | 6 | 8 |

5.2.1.2.4. Hesaplama

Kabul edilebilir ölçümlerin aritmetik ortalaması, en yakın tam sayıya yuvarlatılarak ve milimetrenin onda biri cinsinden penetrasyon değeri olarak alınır.

5.2.1.3. Düktilite deneyi (TS 119)

5.2.1.3.1. Kapsam

Bitümlü bağlayıcıların kopmadan uzayabilme yeteneğini gösterir. Deney, standart kalıpta hazırlanmış bitümlü brikete belli bir sıcaklık ve hızda her iki ucundan çekme yoluyla uygulanır. Burada briketin minimum kesit alanı 1 cm^2 olmalıdır.

5.2.1.3.2. Gerekli aletler

Kalıp: Standartlara uygun düktilite kalıpları. Kalıplar şu ölçülere uyacaktır;

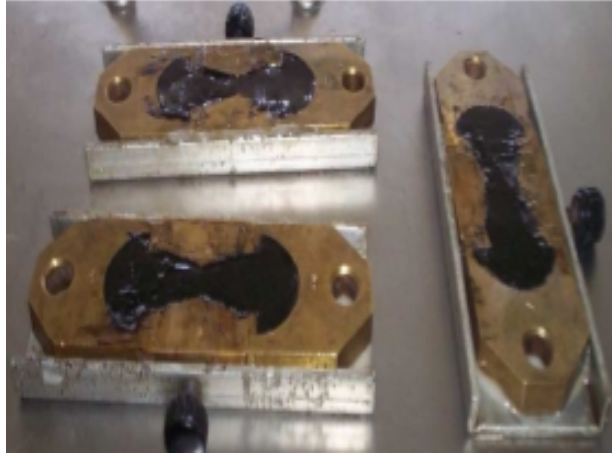
En dar kesit: 1 cm^2

Kalınlık: 1 cm^2

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

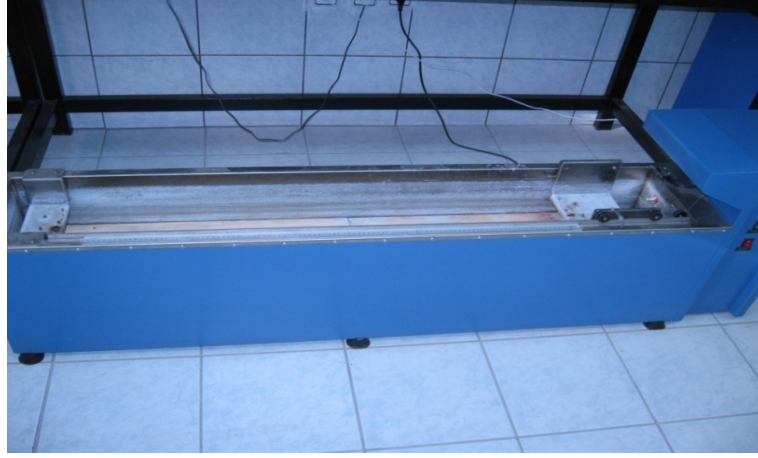


Şekil 5.13. Bitümlü briketler ve Kalıpları

Su banyosu: Su banyosu en az 10 dm^3 su alacak hacimde ve su sıcaklığını istenilen hassasiyetle ayarlayabilen bir cihaz olmalıdır. Bunun yanı sıra numuneyi dipten 5 cm yukarıda, su yüzeyinden de 10 cm aşağıda tutabilecek delikli bir rafı bulunmalıdır.

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

Düktilite cihazı: Bitümlü deney briketinin, su içerisinde titreşim yapmaksızın çekiminde, kalıbın her iki parçasını bir birinin aksi yönünde düzgün bir hızla çekilmesini sağlayan herhangi bir cihaz.



Şekil 5.14. Düktilite cihazı

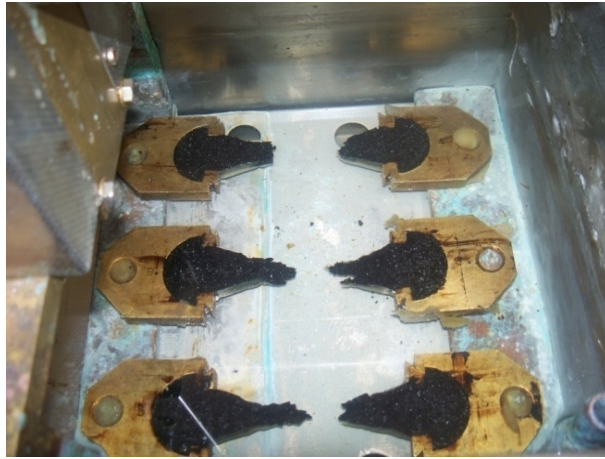
5.2.1.3.3. Deneyin yapılması

- ✓ Bitümlü madde düz bir levha üzerinde hazırlanmış kalıba dökülür. Numune ince iplik halinde kalıbın bir ucundan diğerine gezdirilmek suretiyle doldurulurken, kalıp parçalarının oynayarak briketin şeklinin bozulmamasına dikkat edilir.
- ✓ Numune doldurulan kalıp, yarım saat civarı oda sıcaklığında soğutulur ve yine yarım saat kadar 25 ± 0.5 °C deki su banyosunda bekletilir.
- ✓ Banyodan çıkarılan kalıptaki bitüm fazlası, ısıtılmış düz bir spatula ile sıyrılarak alınır.
- ✓ Kalıptaki bitümlü briket alt levhası ile istenilen sıcaklıktaki su banyosuna konularak 85-95 dakika bekletilir. Buradan çıkarılan briket alt levhadan ve kalıbın yan parçalarından ayrılarak deneye hazır hale getirilir.
- ✓ Kalıptaki delikler cihazın primlerine takılır ve istenilen çekme hızıyla bitümlü briket kopuncaya kadar deneye devam edilir. Çekme sırasında numune su yüzeyinden 2.5 cm aşağıda bulunmalıdır.



Şekil 5.15. Bitümlü briketlerin uzaması

- ✓ Numune koptuğu anda, cihaz üzerinde bulunan cetvelden, uzama miktarı cm cinsinden okunur (Özen, 2005).



Şekil 5.16. Deney sonu kopan bitümlü briketler

5.2.1.3.4. Hesaplama

Üç adet deney sonunda, sonuçların ortalaması numunenin duktilitesi olarak kaydedilir. Deney sırasında numune su yüzeyine çıkar veya banyo tabanına değerse,

deney geçersiz kabul edilir. Deney de uzayan bitümlü madde ipliğinin su yüzeyine çıkması yada tabana değmesini engellemek amacıyla, suyun özgül ağırlığı metil alkol veya tuz ilavesiyle ayarlanır.

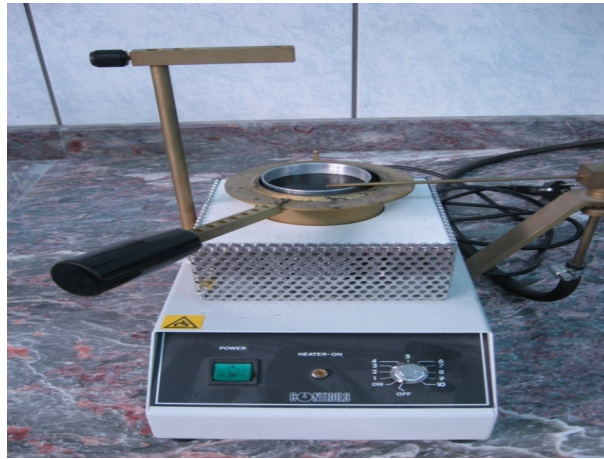
5.2.1.4. Parlama noktası deneyi (Cleveland açık kap metodu) (TS 123 EN 22592)

5.2.1.4.1. Kapsam

Deneyin amacı, petrol ürünlerinin yanma ve parlama noktalarının Cleveland açık kap metodu ile tespit edilmesidir. Bu metot parlama noktası 79 °C' nin üstünde olan petrol ürünlerine uygulanabilir.

5.2.1.4.2. Gerekli aletler

Cleveland açık kap cihazı: Bir numune haznesi, ısıtma tablası, deney alevi uygulama düzeneği ve ısıtıcıdan meydana gelir.



Şekil 5.17. Cleveland açık kap cihazı

Termometre: Kısmi daldırmalı tipte, istenilen özelliklere sahip bir termometre

5.2.1.4.3. Deneyin yapılması

- ✓ Numune haznesi kullanılmadan önce temiz olmasına dikkat edilir. Hazne, numunenin beklenen parlama noktasının 56 °C altındaki bir sıcaklığa kadar soğutulur.
- ✓ Termometre numune haznesi tabanından 6mm yukarıda olacak şekilde, hazne cidarıyla hazne merkezi arasındaki mesafenin ortasına ve deney alevi uygulama tertibatının karşısına gelecek biçimde yerleştirilir.
- ✓ Numune haznesi, deney numunesi ile belirli bir seviyeye kadar doldurulur.
- ✓ Numunenin sıcaklığı önce hızlı olarak (14-17 °C/dk), parlama noktasına yaklaşıldığında (beklenen sıcaklığa 28 °C yaklaşıncaya) yavaş ve sabit hızla (5.5 °C) yükseltilir.
- ✓ Belirli sıcaklık aralıklarıyla (2 °C' lik artış sonrası) deney alevi hazne üzerinde gezdirilir.
- ✓ Deney alevinin numune üzerindeki buhara tatbik edilmesiyle, numunenin tutuştuğu en düşük sıcaklık, parlama noktası olarak alınır.
- ✓ Yanma noktasının tayini için, numuneye deney alevi tatbik edilmesiyle, numunenin tutuşarak en az 5 saniye süreyle yanması gerekmektedir. 5 saniye boyunca yandığı sıcaklık yanma noktası olarak kaydedilir (Özen, 2005).

5.2.1.5. Bitümlü maddelerin ısıtma kaybı deneyi (TS 121)

5.2.1.5.1. Kapsam

Bu deney metodunun amacı yarı katı asfalt bağlayıcıların sıcaklık ve hava etkilerine karşı göstermiş oldukları davranışı belirlemektir.

5.2.1.5.2. Gerekli aletler

Etüv: Sıcaklığı 163 ± 1 °C' de tutabilen, Önünde etüv kapağını açmadan gerekli sıcaklık ölçümlerinin okunmasına olanak tanıyacak bir penceresi olan, yaklaşık 250 mm

apında, delikli, yuvarlak, döner alüminyum bir rafı bulunan etüv. Bu raf etüvün orasında bulunmalı ve dakikada 5 devir yapmalıdır.



Şekil 5.18. Etüv

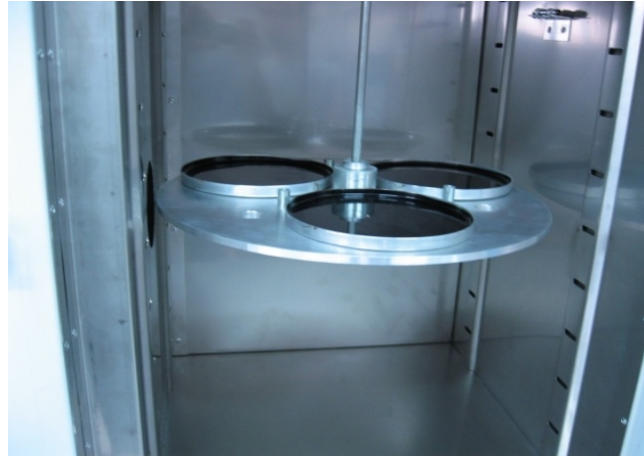
Deney kabı: Metal veya camdan imal edilmiş, 15 cm çapında, 3.5 mm derinliğinde dibi düz, silindirik bir kap.



Şekil 5.19. Bitümle dolu numune kapları

5.2.1.5.3. Deneyin yapılması

- ✓ Önceden darası tespit edilen deney kabına bitümlü malzemeden 50 ± 0.5 gr konur. Bitüm dolu numune kabı tartılır (W_1). Bitümlü malzemenin nemsiz olmasına dikkat edilir.
- ✓ Etüv $163 \text{ }^\circ\text{C}$ ' ye ayarlanarak çalıştırılır. Etüv 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.
- ✓ Numune asla etüv içerisinde 1 saat 15 dakikadan fazla bekletilmemelidir. Bu süre sonunda numune etüvden çıkarılır ve oda sıcaklığına kadar soğutularak tartılır (W_2) (Özen, 2005).



Şekil 5.20. Etüv içerisindeki numuneler

5.2.1.5.4. Hesaplama

Bitümlü maddenin ısıtma kaybı aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanır;

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

Eğer yaptığımız deneyde büyük bir duyarlılık arıyorsak bir seferde, tek bir bitümlü maddeden alınmış bir çift deney numunesi kullanılarak deney yapılır. Bu gibi çift numunelerden alınacak duyarlılık sonuçları aşağıda verilen çizelgede ki gibi olmalıdır.

Çizelge 5.6. 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 |

5.2.1.6. Bitümlü maddelerin çözünürlük deneyi (TS 1090 EN 12592)

5.2.1.6.1. Kapsam

Bitümlü maddelerin organik çözücülerdeki çözünürlük deneyi, elde edilen sonucun, bu maddelerin bitüm miktarı yönünden saflıkları konusunda ölçek olarak kullanılması için uygulanan deneydir.

5.2.1.6.2. Gerekli aletler

Süzme erleni: Kalın çeperli, yanında bir çıkış borusu olan 250 veya 500 ml' lik cam kap.

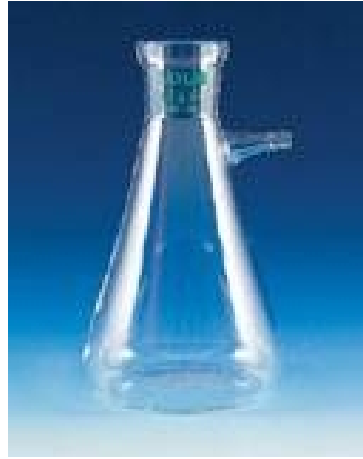
Gooch krözesi: Üst çapı 44 mm, alt çapı 36 mm, derinliği 28 mm olan, tabanının dış yüzü hariç içi ve dışı tamamen sırlanmış.

Süzme hunisi: Gooch krözesi yerleştirilmesini sağlayacak biçimde lastik adaptörlü.

Asbest: 1cm den uzun lifi olmayan, liflerine ayrılmış ve önce asitle sonra su ile yıkanmış.

Kızdırma fırını: Sıcaklığı 600-650 °C olacak.

Çözücüler: Karbon sülfür, karbon tetraklorür, benzen, triklo etilen



Şekil 5.21. Süzme erleni

5.2.1.6.3. Deneyin yapılması

- ✓ Bir miktar asbest lifi, damıtık su içinde asbest liflerinin homojen olarak dağılacağı bir süspansiyon meydana getirecek şekilde iyice çalkalanır. Süzme düzeni hazırlanır, kröze asbest süspansiyonu ile doldurulur ve asbest liflerinin kröze dibine oturması için beklenir. Sonra suyu süzmek için erlenin çıkış borusuna vakum uygulanır. Bu kröze dibinde sağlam bir asbest tabaka meydana getirir. Kröze dibinde 0.5 ± 0.1 gr ağırlığında bir asbest tabakası meydana gelinceye kadar bu işlem tekrarlanır.
- ✓ Bu işlemlerden sonra asbest tabakası iyice yıkanır, etüvde kurutulur ve kızdırma fırınında 600-650 °C sıcaklıkta yakılır. Sonra kröze bir desikatör içerisinde soğumaya bırakılır ve tartılır. Yıkama ve soğutma işlemi kröze değişmez ağırlığa gelinceye dek tekrarlanır. Son olarak kröze bir desikatör içinde kullanılmak üzere saklanır.

- ✓ Yaklaşık 2 gr'lık numune darası alınmış bir erlene konular ve tartılır. Üzerine seçilmiş olan çözücünden 100 ml azar azar konularak bütün parçalar ve kaba yapışmış olan çözünmemiş kısımlar tamamen yok oluncaya kadar sürekli olarak karıştırılır. Erlenin ağzı bir kapakla kapatılır ve 15 dakika bekletilir.
- ✓ Desikatör içinde beklettiğimiz gooch krözesi süzme hunisine yerleştirilir. Krözenin dibindeki asbest tabaka bir miktar çözücü ile ıslatıldıktan sonra çözelti krözeye aktarılacak suretiyle bu asbest tabakadan süzülür.
- ✓ İşlem sonunda erlenin iç yüzeyi az miktarda çözücü ile aşağı doğru yıkanır ve bir yıkama pisetinden püskürtülen çözücü yardımı ile bütün çözünmeyen kısımlar krözenin içerisinden alınır. Kröze içindeki çözünmeyen maddeler, süzüntü renksiz geçinceye kadar çözücü ile yıkanır. Bundan sonra kuvvetli vakum yardımıyla krözede kalan çözücü giderilir.
- ✓ Kröze süzme hunisinden çıkarılır ve bir etüvün üzerinde çözücünün kokusu tamamen gidinceye kadar hafifçe ısıtılır. Sonra kröze sıcaklığı 110 ± 5 °C olan bir etüv içerisinde en az 20 dakika tutulur. Daha sonra bir desikatörde soğutulur ve tartılır. Bu işlemler değişmez ağırlık elde edilinceye kadar tekrarlanır (Özen, 2005).

5.2.1.6.4. Hesaplama

Sonuç, çözünmeyen maddelerin yüzdesi (E) veya numunenin kullanılan çözücü içerisinde çözünen kısmının yüzdesi olarak (F) aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanır;

$$E = \frac{A}{B} \times 100$$

$$F = 100 - \left(\frac{A}{B} \times 100 \right)$$

Bu formülde;

E: Çözünmeyen kısmın yüzdesi

F: Çözünen kısmın yüzdesi

A: Çözünmeyen kısımların ağırlığı

B: Numunenin ağırlığı

Çözünmeyen kısımların miktarının % 1 den az olması halinde sonuç yüzde 0.01 hassasiyetle, çözünmeyen kısımların miktarının % 1 veya daha fazla olması halinde ise sonuç yüzde 0.1 hassasiyetle belirtilir. Çözücü olarak karbon sülfürün kullanılması durumunda, numunenin çözünen kısmının yüzdesi bitüm yüzdesi olarak belirtilir.

5.2.1.7. Özgül ağırlık deneyi (piknometre metodu) (TS 1087)

5.2.1.7.1. Kapsam

Bitümlü maddelerin özgül ağırlık tayininde kullanılan metottur.

5.2.1.7.2. Gerekli aletler

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

Su banyosu: İstenilen sıcaklığa ± 0.5 °C duyarlılıkla ayarlanabilecek bir su banyosu.

Terazi: 0.1 mg hassasiyetle tartım yapabilen bir analitik terazi.



Şekil 5.22. Piknometre

5.2.1.7.3. Deneyin yapılması

- ✓ Píknometre analitik terazide tartılır ve bu tartım kaydedilir (a). Daha sonra 25 °C’ de bulunan damıtılmış su ile doldurulur ve kapağı sıkıca kapatılır. Su ile dolu píknometre tekrar tartılır ve kaydedilir (b).
- ✓ Eğer deney numunesi yeterli akıcılığa sahip değilse bir miktar ısıtılarak yeterli akıcılığa getirilir. Píknometre yaklaşık olarak yarısına kadar bu numuneyle doldurulur.
- ✓ Píknometre daha sonra içindeki numune ile birlikte oda sıcaklığına kadar soğutulur ve kapağı ile birlikte tartılır (c).
- ✓ Teraziden alınan píknometrenin içindeki bitümlü maddenin üzeri damıtılmış su ile doldurulur ve kapağı sıkıca yerleştirilir. Sonra sıcaklığı 25 ± 0.5 °C’ de tutulan su banyosuna tamamen batırılır. Píknometre bu durumda 30 dakika tutulduktan sonra dışı iyice kurulanır ve tartılır (d) (Özen, 2005).

5.2.1.7.4. Hesaplama

Maddenin özgül ağırlığı ise;

$$\frac{c - a}{(b - a) - (d - c)}$$

formülüyle bulunur.

Bu tayin metodu ile elde edilen özgül ağırlık değerleri arasında ± 0.005 ’ ten daha büyük farklar bulunmamalıdır.

5.2.1.8. Viskozite deneyi (Saybold) (TS 1451 EN ISO 3104)

5.2.1.8.1. Kapsam

Petrol ürünleri ile bitümlü maddelerin viskozite değerlerinin tespit edilmesi amacıyla kullanılır. Deney, standart bir tüp içinde istenilen sıcaklığa kadar ısıtılmış halde bulunan bitümlü maddenin 60 cm^3 hacminde bir toplama kabını doldurması için gerekli zamanın saniye cinsinden değerini verir.

5.2.1.8.2. Gerekli aletler

Saybold vizkozimetre tüpü: Korozyona dayanıklı metalden imal edilmiş standartlara uygun boyutlarda olacak.

Banyo: Tüpleri dik olarak tutabilecek şekilde yapılmış, karıştırma ve soğutma tertibatı olan bir banyo.

Kronometre: 60 dakikada % 0.1 hassasiyetli ve 1/10 saniye taksimatlı olacaktır.

Termometre: 0.1 °C taksimatlı 0.05 °C hassasiyetli olacaktır.



Şekil 5.23. Viskozite deney cihazı

5.2.1.8.3. Deneyin yapılması

- ✓ Banyonun yağı, deney tüpünün üst seviyesinden 6mm aşağı bir seviyeye kadar doldurulur. Her deney sıcaklığı için banyo şartları aşağıdaki çizelgede gösterilen şekilde olmalıdır.

Çizelge 5.7. 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 mikron elekten süzülükten 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 kronometre çalıştırılır ve numune balonun boyundaki çizgiye geldiği anda kronometre durdurulur. Akma süresi saniye olarak kaydedilir ( zen, 2005).

5.2.1.8.4. Hesaplama

Bulunan akma süresi bir düzeltme katsayısı ile çarpılır ve gerçek viskozite değeri hesaplanır. Akma süresi 200 saniyeden az olan değer 0.1 yakınlıkla, 200 saniyeden yukarı olan değer ise ondalık kesri tam sayıya çevrilerek verilir.

BÖLÜM 6

TEZ KAPSAMINDA YAPILAN DENEYLER VE SONUÇLARI

6.1. Agrega Deneyleri

Kullanılan agregalar Karayolları Teknik Şartnamesi' ne uygun şekilde, eleklerden elenerek uygun boyutlarda sınıflandırılmıştır (TCK, “Karayolu Teknik Şartnamesi, 2006). Deneylerde kullanılan taze agrega ve atık beton agregasının bazı özellikleri aşağıdaki yöntemlerle belirlenmiş olup, sonuçları çizelge 6.1. de verilmiştir.

6.1.1. Birim hacim ağırlık deneyi (TS 3529)

Numune ağırlığı: 6600 gram

B_s = Sıkışık birim ağırlık (kg/m^3)

V = Ölçü kabı iç hacmi (m^3)

W_1 = Ölçü kabı boş ağırlığı (kg)

W_2 = Agrega ile dolu ölçü kabı ağırlığı (kg)

Not: Gevşek birim hacim ağırlıkta numuneye şişleme işlemi uygulanmamıştır.

6.1.1.1. Sıkışık birim hacim ağırlık

Agrega için;

$W_1 = 4,2558$ kg $W_2 = 9,9905$ kg $V = 3 \text{ dm}^3 = 0,003 \text{ m}^3$

$$B_s = \frac{W_2 - W_1}{V} = \frac{9,9905 - 4,2558}{0,003} = 1911,6 \text{ kg/m}^3$$

Beton kırığı için;

$$W_1 = 4,2558 \text{ kg} \quad W_2 = 8,5520 \text{ kg} \quad V = 3 \text{ dm}^3 = 0,003 \text{ m}^3$$

$$B_s = \frac{W_2 - W_1}{V} = \frac{8,5520 - 4,2558}{0,003} = 1432,1 \text{ kg/m}^3$$

6.1.1.2. Gevşek birim hacim ağırlık

Agrega için;

$$W_1 = 4,2558 \text{ kg} \quad W_2 = 9,5250 \text{ kg} \quad V = 3 \text{ dm}^3 = 0,003 \text{ m}^3$$

$$B_s = \frac{W_2 - W_1}{V} = \frac{9,5250 - 4,2558}{0,003} = 1756,4 \text{ kg/m}^3$$

Beton kırığı için;

$$W_1 = 4,2558 \text{ kg} \quad W_2 = 8,1420 \text{ kg} \quad V = 3 \text{ dm}^3 = 0,003 \text{ m}^3$$

$$B_s = \frac{W_2 - W_1}{V} = \frac{8,1420 - 4,2558}{0,003} = 1295,4 \text{ kg/m}^3$$

6.1.2. Özgül ağırlık ve su emme deneyleri (TS-3526, ASTM C 127-59)

İnce agrega için;

Numune kuru ağırlığı= Agrega:110,3 gram/Beton Kırığı:110,1 gram

Numune doymun kuru yüzey ağırlığı= Agrega ve betonda değişiklik gösterir

a=132,6 gram (Piknometre boş ağırlığı)

b=630,5 gram (Su ile dolu piknometre ağırlığı)

c=242,9 gram (Piknometre + kuru malzeme)

d=699,9 gram (Piknometre + su + kuru malzeme)

$$\text{Özgül ağırlık} = \frac{c-a}{(b-a)-(d-c)} = \frac{110,3}{(497,9)-(457)} = \frac{110,3}{40,9} = 2,695 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Su emme oranı} = \frac{111,4-110,3}{110,3} = \frac{1,1}{110,3} = 0,00997 = \% 0,997$$

Kaba agregası için;

Numune kuru ağırlığı= Agregası:1100 gram/Beton Kırığı:1100,2 gram

Numune doymuş kuru yüzey ağırlığı= Agregası ve betonda değişiklik gösterir

$W_1 = 1100$ gram (Numunenin havadaki ağırlığı)

$W_2 = 1109,5$ gram (Numunenin doymuş kuru yüzey ağırlığı)

$W_3 = 680,2$ gram (Numunenin sudaki ağırlığı)

$$\text{Özgül ağırlık} = \frac{W_1}{W_1 - W_3} = \frac{1100}{1100 - 680,2} = 2,620 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Su emme oranı} = \frac{1109,5-1100}{1100} = \frac{9,5}{1100} = 0,00864 = \% 0,864$$

İnce Beton Kırığı İçin;

Numune kuru ağırlığı= Agregası:110,3 gram/Beton Kırığı:110,1 gram

Numune doymuş kuru yüzey ağırlığı= Agregası ve betonda değişiklik gösterir

a=132,6 gram (Piknometre boş ağırlığı)

b=630,5 gram (Su ile dolu piknometre ağırlığı)

c=242,7 gram (Piknometre + kuru malzeme)

d=695,4 gram (Piknometre + su + kuru malzeme)

$$\text{Özgül ağırlık} = \frac{c-a}{(b-a)-(d-c)} = \frac{110,1}{(497,9)-(452,7)} = \frac{110,1}{45,2} = 2,436 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Su emme oranı} = \frac{111,3 - 110,1}{110,1} = \frac{1,2}{110,1} = 0,01088 = \% 1,088$$

Kaba beton kırığı için;

Numune kuru ağırlığı= Agregat: 1100 gram/Beton Kırığı: 1100,2 gram

Numune doymuş kuru yüzey ağırlığı= Agregat ve betonda değişiklik gösterir

$W_1 = 1100,2$ gram (Numunenin havadaki ağırlığı)

$W_2 = 1111,4$ gram (Numunenin doymuş kuru yüzey ağırlığı)

$W_3 = 631,6$ gram (Numunenin sudaki ağırlığı)

$$\text{Özgül ağırlık} = \frac{W_1}{W_1 - W_3} = \frac{1100,2}{1100,2 - 631,6} = 2,348 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Su emme oranı} = \frac{1111,4 - 1100,2}{1100,2} = \frac{11,2}{1100,2} = 0,01017 = \% 1,018$$

6.1.3. Aşınma kaybı deneyi (TS 3694, ASTM C131-55; AASHTO T-96)

B Tipi Numune İçin;

Numune ağırlığı 5000 gram (W_1)

Bilye Sayısı: 11 (Toplam bilye ağırlığı: 4575±25 gram)

Agregat İçin;

100 dönüş sonunda 1.4 mm elek üstünde kalan malzeme: 4874 gram (W_2)

$$(a_1) = \frac{(W_1) - (W_2)}{(W_1)} \times 100 = \frac{5000 - 4874}{5000} \times 100 = 2.52 (\%)$$

500 dönüş sonunda 1.4 mm elek üstünde kalan malzeme: 3782 gram (W_3)

$$(a_2) = \frac{(W_1) - (W_3)}{(W_1)} \times 100 = \frac{5000 - 3782}{5000} \times 100 = 24.4 (\%)$$

Beton Kırığı İçin;

100 dönüş sonunda 1.4 mm elek üstünde kalan malzeme: 4618 gram (W_2)

$$(a_1) = \frac{(W_1) - (W_2)}{(W_1)} \times 100 = \frac{5000 - 4618}{5000} \times 100 = 7.64 (\%)$$

500 dönüş sonunda 1.4 mm elek üstünde kalan malzeme: 3415 gram (W_3)

$$(a_2) = \frac{(W_1) - (W_3)}{(W_1)} \times 100 = \frac{5000 - 3415}{5000} \times 100 = 31.7 (\%)$$

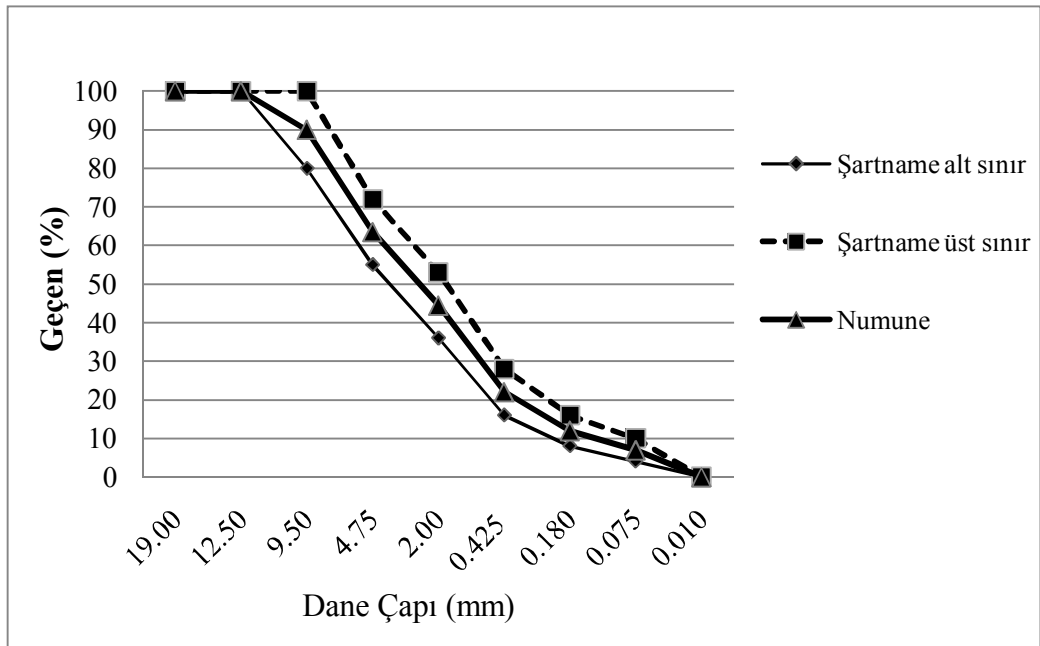
Çizelge 6.1. Deneylerde kullanılan agregaların fiziksel özellikleri
(KGM, K.T.Ş. 2006)

| Malzeme özelliği | Deney sonucu | | | | İlgili standart | İstenilen sınırlar |
|--------------------------------|---------------|-------|------------|-------|--------------------------|--------------------|
| | Taze Agregası | | Atık beton | | | |
| | İnce | Kaba | İnce | Kaba | | |
| Özgül ağırlık (gr/cm^3) | 2.695 | 2.620 | 2.436 | 2.348 | ASTM C 127 TS 3527 | — |
| Su emme (%) | 0.99 | 0.86 | 1.09 | 1.02 | ASTM C 127 TS 3527 | <2.5 |
| Aşınma kaybı (%) | 24.4 | | 31.7 | | ASTM C 131 TS 3694 | <35 |

Numuneler aşınma tabakası olarak hazırlandığından, en büyük agregası dane boyutu 9.5 mm olarak seçilmiştir. Numuneler 1100 gram olacak şekilde hazırlanmış ve elek analizi sonuçları çizelge 6.2. de granülometri eğrisi şekil 6.1. de verilmiştir.

Çizelge 6.2. 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 6.1. Aşınma tabakası granülometri eğrisi

Deneylerde kullanılan agrega ve atık beton miktarlarının birbirlerine oranları çizelge 6.3. ve çizelge 6.4.' de gösterilmiştir.

Çizelge 6.3. Deneylerde kullanılan agrega miktarları (atık miktarı % 10 ve % 20)

| Elek Çapı (mm) | Atık Miktarı (% 10) | Doğal Agrega Miktarı (% 90) | Atık Miktarı (% 20) | Doğal Agrega Miktarı (% 80) |
|---------------------------|------------------------------------|--|------------------------------------|--|
| 9.5 (3/8) | 11.0 | 99.0 | 22.0 | 88.0 |
| 4.75 (# 4) | 29.15 | 262.4 | 58.3 | 233.2 |
| 2.0 (# 10) | 20.9 | 188.1 | 41.8 | 167.2 |
| 0.425 (# 40) | 24.75 | 222.8 | 49.5 | 198.0 |
| 0.180 (# 80) | 11.0 | 99.0 | 22.0 | 88.0 |
| 0.075 (# 200) | 5.5 | 49.5 | 11.0 | 44.0 |
| <0.075 | 7.7 | 69.2 | 15.4 | 61.6 |

Çizelge 6.4. Deneylerde kullanılan agrega miktarları (atık miktarı % 30 ve % 40)

| Elek Çapı (mm) | Atık Miktarı (% 30) | Doğal Agrega Miktarı (% 70) | Atık Miktarı (% 40) | Doğal Agrega Miktarı (% 60) |
|---------------------------|------------------------------------|--|------------------------------------|--|
| 9.5 (3/8) | 33.0 | 77.0 | 44.0 | 66.0 |
| 4.75 (# 4) | 87.45 | 204.1 | 116.6 | 174.9 |
| 2.0 (# 10) | 62.7 | 146.3 | 83.6 | 125.4 |
| 0.425 (# 40) | 74.25 | 173.3 | 99.0 | 148.5 |
| 0.180 (# 80) | 33.0 | 77.0 | 44.0 | 66.0 |
| 0.075 (# 200) | 16.5 | 38.5 | 22.0 | 33.0 |
| <0.075 | 23.1 | 53.8 | 30.8 | 46.2 |

6.2. Karışım Deneyleri

Deneylerde 50-70 penetrasyonlu bitüm kullanılmış ve bitüm üzerinde gerekli deneyler yapılmış, sonuçlar aşağıda gösterilmiştir.

Çizelge 6.5. 50-70 penetrasyonlu bitümün fiziksel özellikleri (KGM, K.T.Ş. 2006)

| Malzeme özelliği | Deney sonucu | İlgili standart | İstenilen sınırlar |
|-------------------------------------|--------------|------------------------------|--------------------|
| Penetrasyon (25 °C, 1/10mm) | 62 | ASTM D 5 TS 118 EN 1426 | 50-70 |
| Özgül ağırlık (gr/cm ³) | 1.05 | ASTM D 70 | - |
| Düktilite (25 °C5cm/dk) | >100 | ASTM D 113 TS 119 | - |
| Parlama noktası (°C) | 275 | ASTM D 92 TS 123 EN 22592 | >230 |
| Isıtma kaybı (%) | 0.49 | ASTM D 6 TS EN 12607-2 | 0.5 |
| Yumuşama noktası | 51 | ASTM D 36 TS 120 EN 1427 | 46-54 |

6.2.1. Marshall deneyi (TS 3720 ASTM D6927)

Deney de kullanılacak atık betonlar, C30 sınıfındaki küp numunelerin kırılmasıyla elde edilmiş ve elde edilen beton kırıkları elekler yardımıyla 9.5mm – 0.075mm arası sınıflandırılmıştır. Numuneler aşınma tabakası olarak tasarlandığından en büyük dane boyutu 9.5 mm seçilmiştir. Sınıflandırılan atık beton agregaları toplam ağırlığın % 0, 10, 20, 30 ve 40' ı olacak şekilde taze agregalarla birlikte karışıma katılmış ve 1100' er gramlık agregaya karışımları metal tepsiler içerisinde hazırlanmıştır (Şekil 6.2.a). Hazırlanan bu tepsiler deneyden 24 saat önce 160 °C' deki etüve konulmuştur. 24 saat bekletilen agregaya, yine 160 °C' deki etüvede bekletilen 50-70 bitüm % 3.5, 4, 4.5, 5, 5.5, 6, 6.5 oranlarında ilave edilmiştir (Şekil 6.2.b). Bitüm ekleme işlemi etüvden çıkarılan mikser kabı içerisinde hassas bir terazi üzerinde yapılmıştır. Bitüm eklenen agregaya karışımı, mikser ile 1.5 dakika karıştırıldıktan sonra (Şekil 6.2.c), etüvden çıkarılan numune kalıbı içerisine, yine etüvden çıkarılan kürek yardımıyla 3 seferde koyulmuştur (Şekil 6.2.d). Her seferde karışım şişlenmiş ve homojen olması sağlanmıştır (Şekil 6.2.e). Hazırlanan numune kalıbı Marshall kompaktörüne konulmuş ve her iki yüzüne 50 vuruş yapılmıştır (Şekil 6.3.g). Kompaktörden çıkarılan numuneler soğuması amacıyla oda sıcaklığına bırakılmış,

soğuyan numuneler bir kriko yardımıyla kalıplarından çıkarılmıştır. Çıkarılan numuneler numaralandırılmış ve numune yükseklikleri ölçülmüştür (Şekil 6.3.h ve şekil 6.3.j). Numuneler, havadaki ve sudaki ağırlıkları belirlendikten sonra 60 °C’ deki sıcak su banyosuna koyulmuşlardır (Şekil 6.3.k). Burada 40 dakika bekleyen numuneler sudan çıkarıldıktan sonra, Marshall aletinde kırılmış, stabilite ve akma değerleri hesaplanmıştır (Şekil 6.3.l ve şekil 6.3.m). Hesaplamalar sonucu ortaya çıkan değerlerin, Karayolları Teknik Şartnamesi kriterlerine uygunluğu, çizelge 6.6. yardımıyla kontrol edilmiştir (TCK, “Karayolu Teknik Şartnamesi, 2006).

**a****b****c****d****e****f**

Şekil 6.2. Numunelere bitüm ilave edilmesi ve kalıba koyulması



g



h



j



k



l



m

Şekil 6.3. Numunelerin sıkıştırılıp stabilite ve akmalarının belirlenmesi

Çizelge 6.6. Asfalt Betonunun Dizayn Kriterleri (KGM, K.T.Ş. 2006)

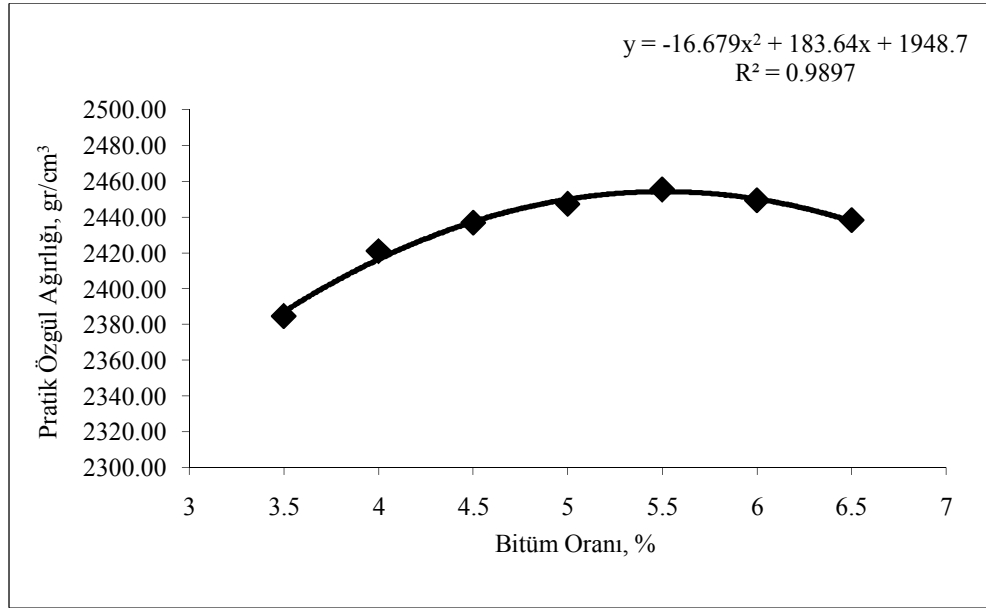
| ÖZELLİKLER | BİNDER | | AŞINMA | |
|--------------------------------|--------|-------|--------|-------|
| | MİN. | MAKS. | MİN. | MAKS. |
| Marshall Stabilitesi (kg) | 750 | — | 900 | — |
| Boşluk (%) | 4 | 6 | 3 | 5 |
| Asfaltla Dolu Boşluk (%) | 60 | 75 | 65 | 75 |
| Akma (mm/10 ⁻² inç) | 2(8) | 4(16) | 2(8) | 4(16) |
| Filler/Bitüm Oranı | — | 1.4 | — | 1.5 |
| Bitüm (Ağırlıkça %) | 3.5 | 6.5 | 4.0 | 7.0 |

Elde ettiğimiz veriler kullanılmak suretiyle, 5 set numune için, bitüm oranlarına bağlı olarak, pratik özgül ağırlık, Marshall stabilitesi, boşluk oranı, bitümle dolu boşluk oranı, agregalar arası boşluk yüzdesi (VMA) ve Marshall oranı (MQ) grafikleri çizilmiş ve aşağıda sırasıyla gösterilmiştir. (TS EN 12697) Bu grafikler yardımıyla tüm atık oranları için ayrı ayrı optimum bitüm oranları tayin edilmiştir.

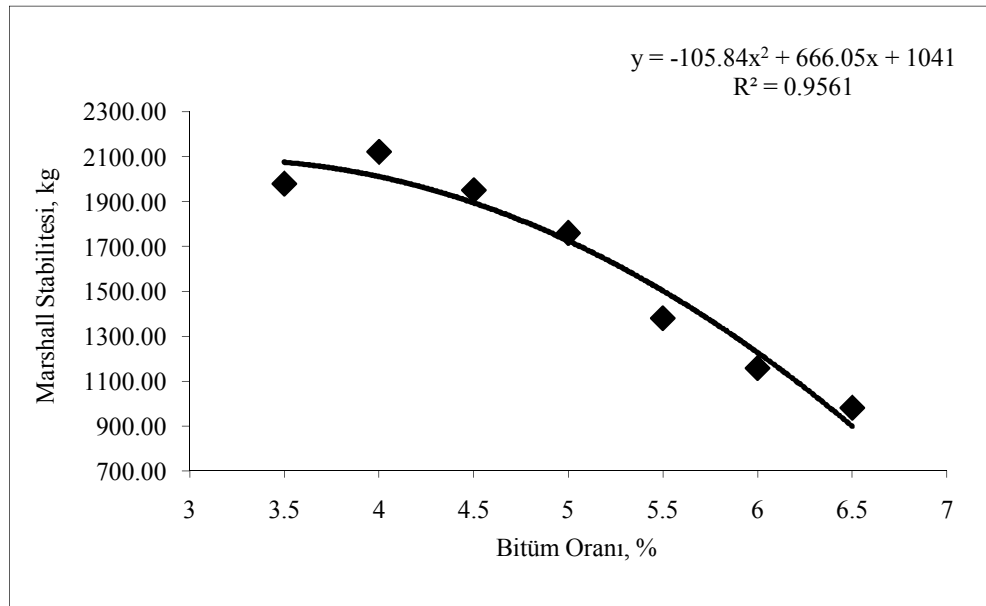
Çizelge 6.7. Asfalt Kontrol Numunesi Deney Sonuçları

| 50-70 | Bitüm Oranı (%) | VMA | Bitümle Dolu Boşluk Oranı (%) | Boşluk Oranı (%) | Pratik Özgül Ağırlık (gr/cm ³) | Marshall Stabilite (kg) | Akma | MQ |
|-------|-----------------|-------|-------------------------------|------------------|--|-------------------------|------|---------|
| 1 | 3,5 | 13,67 | 56,17 | 5,96 | 2384,73 | 1980,77 | 2,02 | 1023,06 |
| 2 | 4 | 12,78 | 69,38 | 3,88 | 2420,93 | 2121,94 | 2,46 | 885,46 |
| 3 | 4,5 | 12,63 | 79,12 | 2,61 | 2436,78 | 1950,62 | 2,72 | 720,75 |
| 4 | 5 | 12,67 | 87,59 | 1,54 | 2447,28 | 1761,09 | 2,25 | 799,40 |
| 5 | 5,5 | 12,80 | 95,21 | 0,58 | 2455,26 | 1380,60 | 2,67 | 532,25 |
| 6 | 6 | 13,43 | 98,34 | 0,19 | 2449,29 | 1158,10 | 3,00 | 387,02 |
| 7 | 6,5 | 14,22 | 99,67 | 0,02 | 2438,27 | 982,30 | 4,05 | 242,84 |

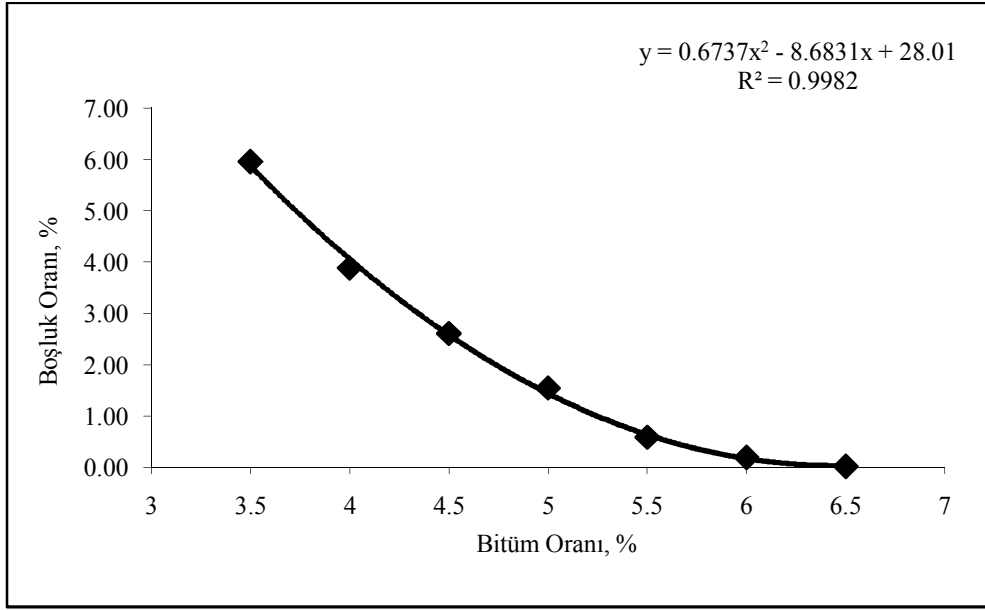
Çizelge 6.7. yardımıyla çizilen kontrol numunesine ait grafikler aşağıda sırasıyla gösterilmiştir.



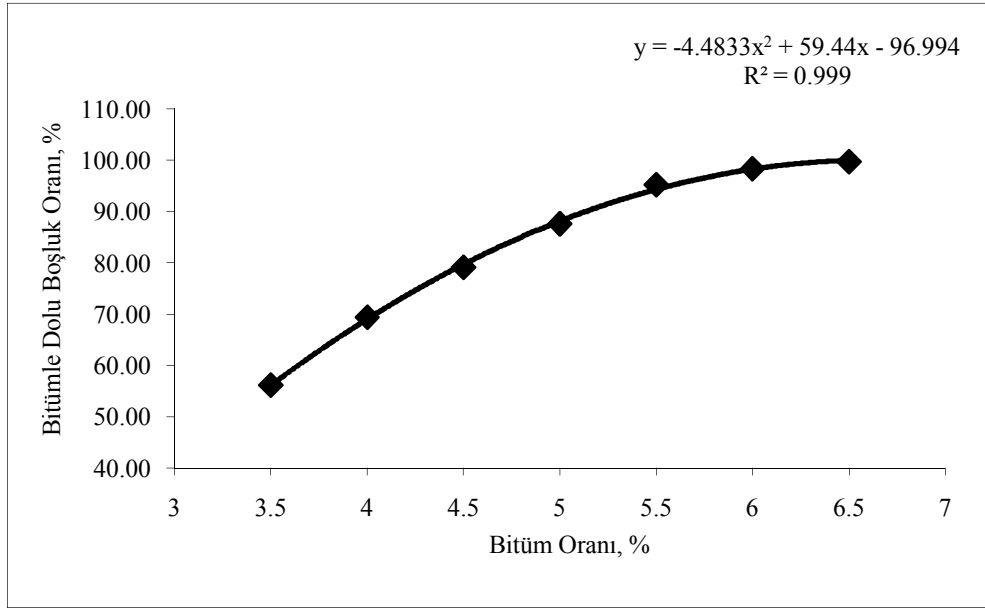
Şekil 6.4. Bitüm oranı- pratik özgül ağırlık (kontrol numunesi)



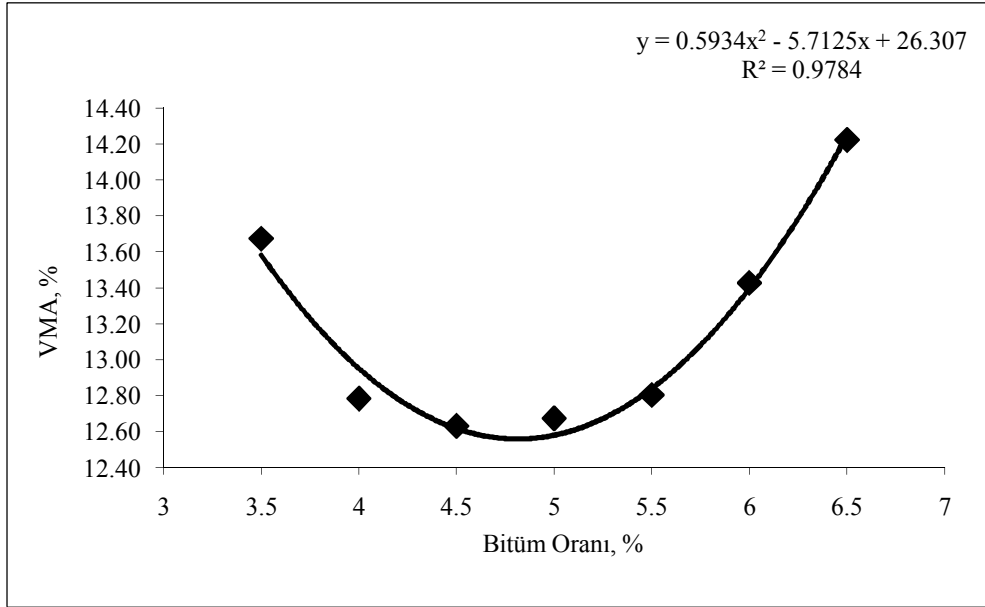
Şekil 6.5. Bitüm oranı-Marshall stabilitesi (kontrol numunesi)



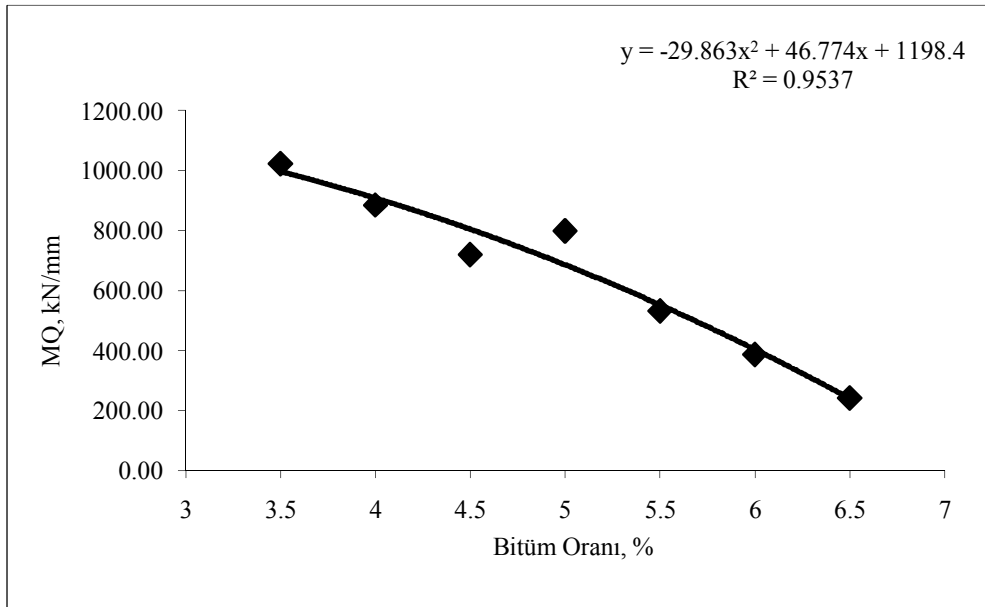
Şekil 6.6. Bitüm oranı-boşluk oranı (kontrol numunesi)



Şekil 6.7. Bitüm oranı-bitümle dolu boşluk oranı (kontrol numunesi)



Şekil 6.8. Bitüm oranı-VMA (kontrol numunesi)

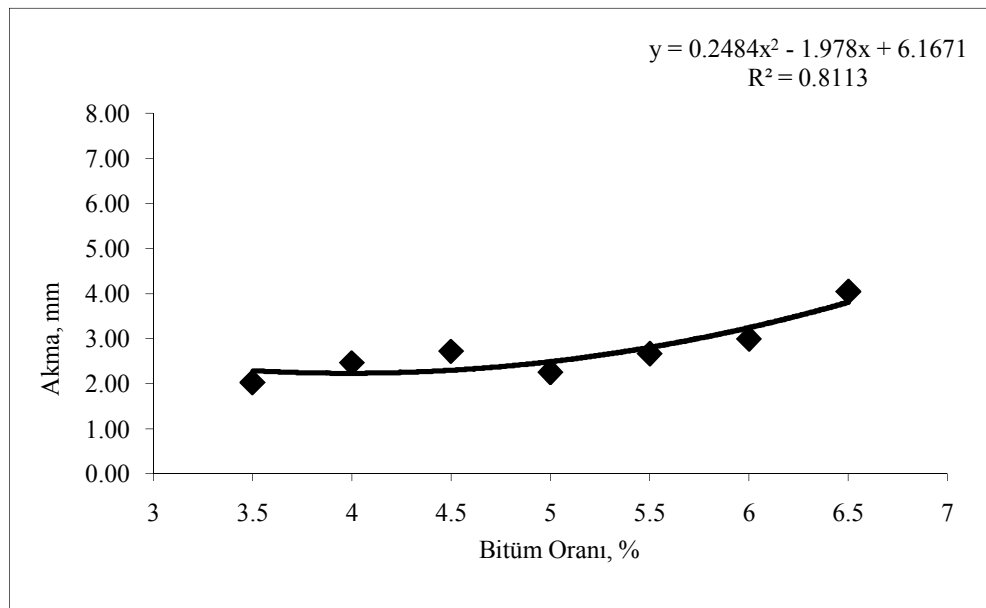


Şekil 6.9. Bitüm oranı-MQ (kontrol numunesi)

Çizelge 6.8. Ortalama bitüm oranı tayini (kontrol numunesi)

| | Oran | PÖA | MS | BO | BDBO | Akma | VMA |
|------|-------------|----------------|---------------|------------|-------------|-------------|-----------------|
| PÖA | 5,51 | 2454,18 | 1500,1 | 0,6 | 94,4 | 2,81 | 12,84279 |
| MS | 4,00 | 2416,40 | 2011,8 | 4,1 | 69,0 | 2,23 | 12,95140 |
| BO | 4,02 | 2417,26 | 2008,6 | 4,0 | 69,4 | 2,23 | 12,93487 |
| BDBO | 4,04 | 2418,44 | 2004,1 | 3,9 | 70,0 | 2,23 | 12,91251 |
| ORT | 4,39 | 2433,48 | 1925,0 | 3,0 | 77,6 | 2,27 | 12,66472 |

Çizelge 6.8. den faydalanarak, optimum bitüm oranı 4.39' a karşılık gelen akma değeri şekil 6.10. da **2.27 mm** bulunmuştur.

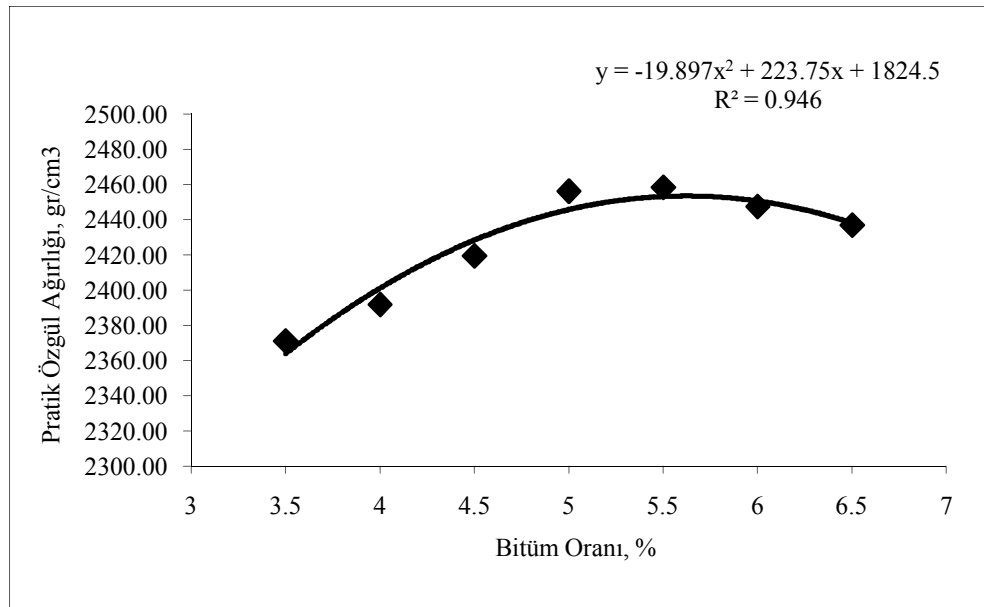


Şekil 6.10. Bitüm oranı-akma miktarı (kontrol numunesi)

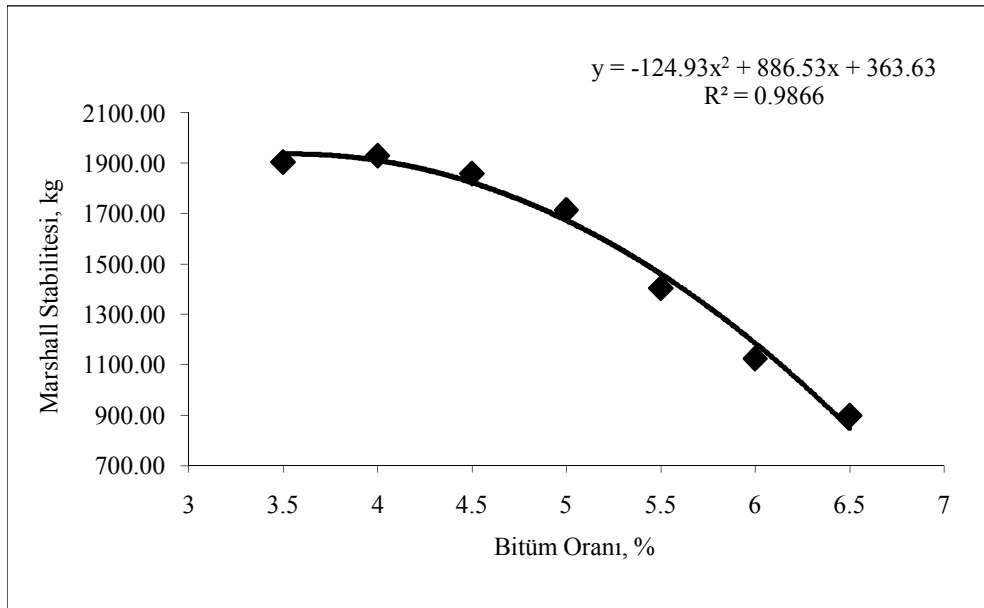
Çizelge 6.9. % 10 atık beton içeren asfalt numunesi deney sonuçları

| 50-70 | Bitüm Oranı (%) | VMA | Bitümle Dolu Boşluk Oranı (%) | Boşluk Oranı (%) | Pratik Özgül Ağırlık (gr/cm ³) | Marshall Stabilite (kg) | Akma | MQ |
|-------|-----------------|-------|-------------------------------|------------------|--|-------------------------|------|---------|
| 1 | 3,5 | 14,15 | 53,99 | 6,50 | 2371,19 | 1905,01 | 1,60 | 1229,95 |
| 2 | 4 | 13,82 | 63,42 | 5,04 | 2391,86 | 1929,52 | 1,90 | 1036,29 |
| 3 | 4,5 | 13,24 | 75,02 | 3,30 | 2419,52 | 1858,37 | 1,84 | 1014,80 |
| 4 | 5 | 12,34 | 90,27 | 1,19 | 2456,20 | 1714,16 | 2,27 | 768,79 |
| 5 | 5,5 | 12,68 | 96,22 | 0,47 | 2458,21 | 1404,56 | 2,87 | 491,49 |
| 6 | 6 | 13,48 | 97,92 | 0,27 | 2447,48 | 1125,38 | 3,91 | 291,05 |
| 7 | 6,5 | 14,26 | 99,37 | 0,08 | 2436,84 | 899,36 | 5,52 | 163,65 |

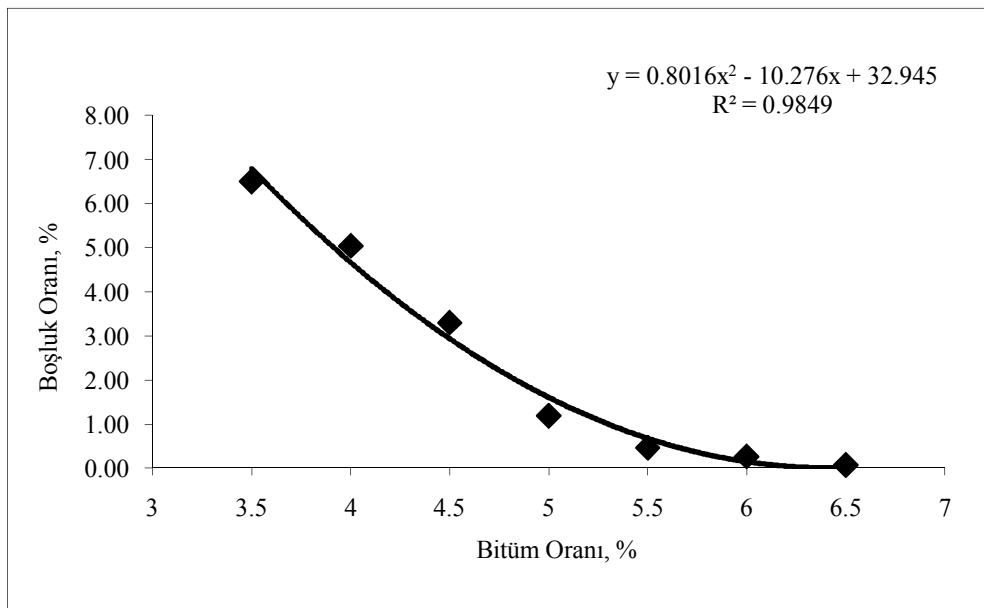
Çizelge 6.9. yardımıyla çizilen, % 10 atık içeren asfalt numunesine ait grafikler aşağıda sırasıyla gösterilmiştir.



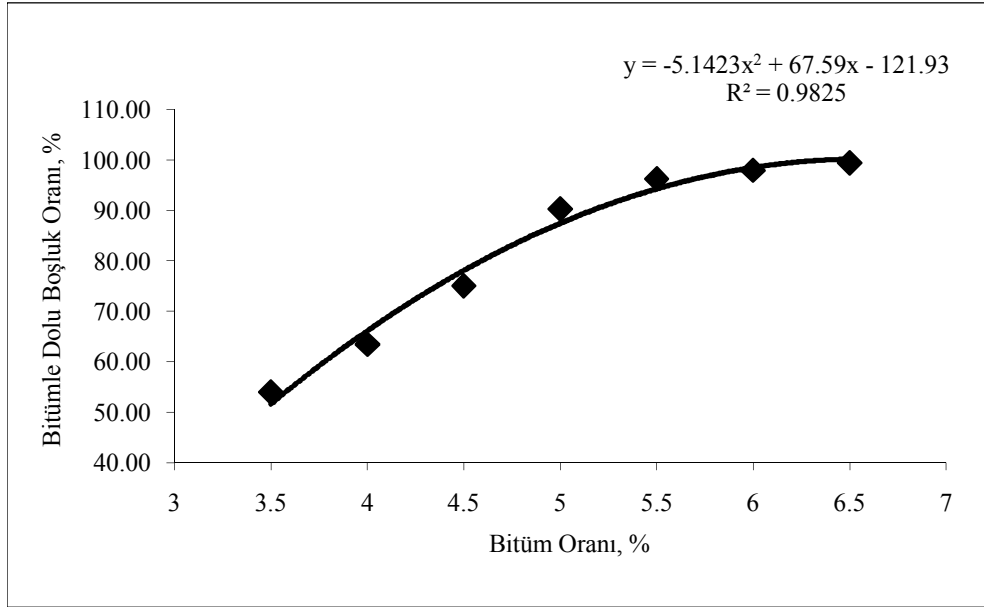
Şekil 6.11. Bitüm oranı- pratik özgül ağırlık (% 10 beton katkılı)



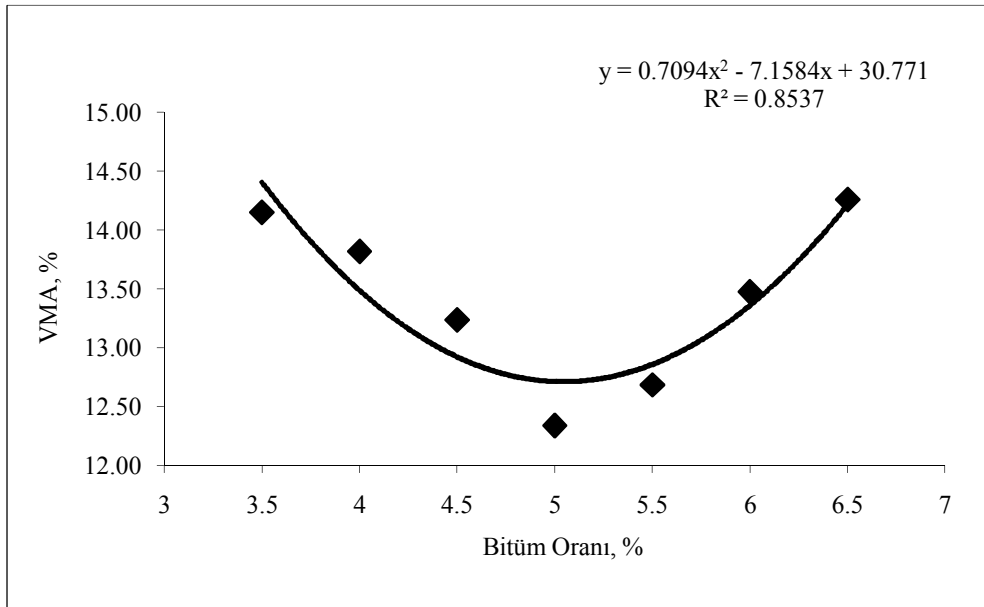
Şekil 6.12. Bitüm oranı-Marshall stabilitesi (% 10 beton katkı)



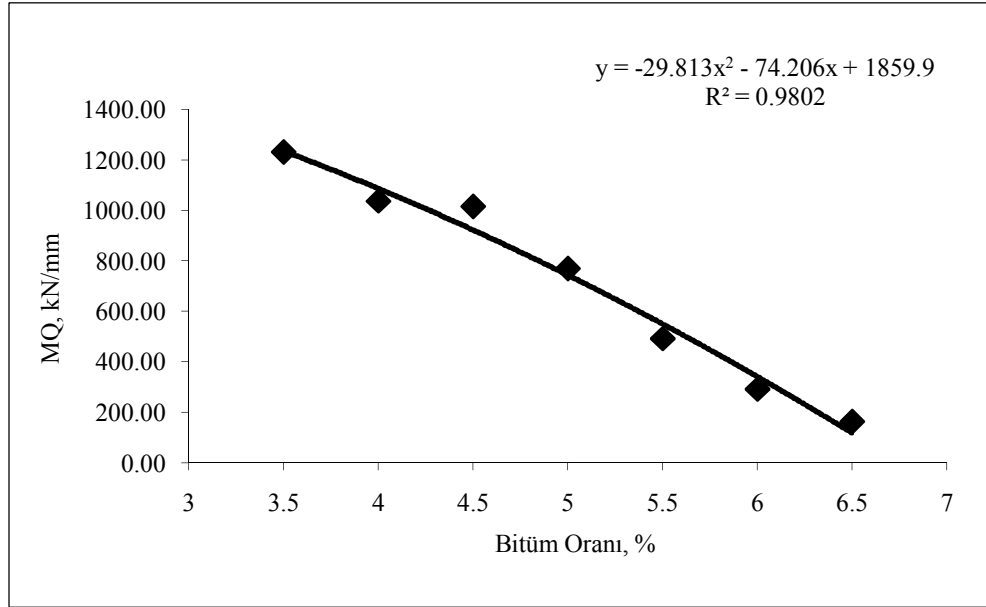
Şekil 6.13. Bitüm oranı-boşluk oranı (% 10 beton katkı)



Şekil 6.14. Bitüm oranı-bitümle dolu boşluk oranı (% 10 beton katkıli)



Şekil 6.15. Bitüm oranı-VMA (% 10 beton katkıli)

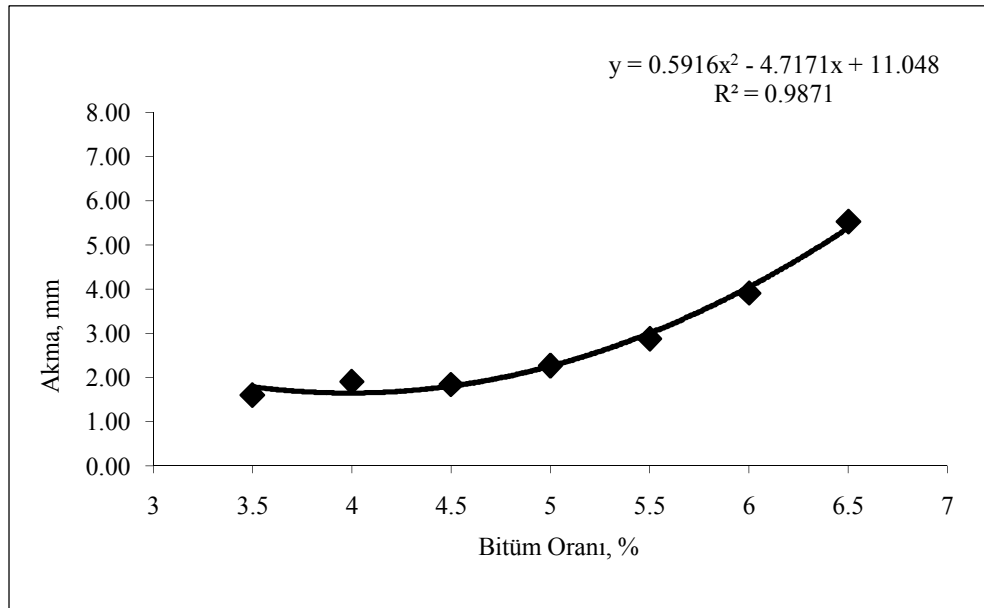


Şekil 6.16. Bitüm oranı-MQ (% 10 beton katkı)

Çizelge 6.10. Ortalama bitüm oranı tayini (% 10 katkı beton)

| | Oran | PÖA | MS | BO | BDBO | Akma | VMA |
|------|-------------|----------------|----------------|-------------|--------------|-------------|----------------|
| PÖA | 5,62 | 2453,54 | 1398,7 | 0,5 | 95,5 | 3,23 | 12,94898 |
| MS | 3,55 | 2367,90 | 1936,4 | 6,6 | 53,1 | 1,76 | 14,30291 |
| BO | 4,18 | 2412,08 | 1886,6 | 4,0 | 70,7 | 1,67 | 13,24477 |
| BDBO | 4,15 | 2410,37 | 1891,2 | 4,1 | 70,0 | 1,66 | 13,28155 |
| ORT | 4,37 | 2422,56 | 1850,97 | 3,33 | 75,35 | 1,73 | 13,0314 |

Çizelge 6.10. dan faydalanarak, optimum bitüm oranı 4.37' ye karşılık gelen akma değeri şekil 6.17. de **1.73 mm** bulunmuştur.

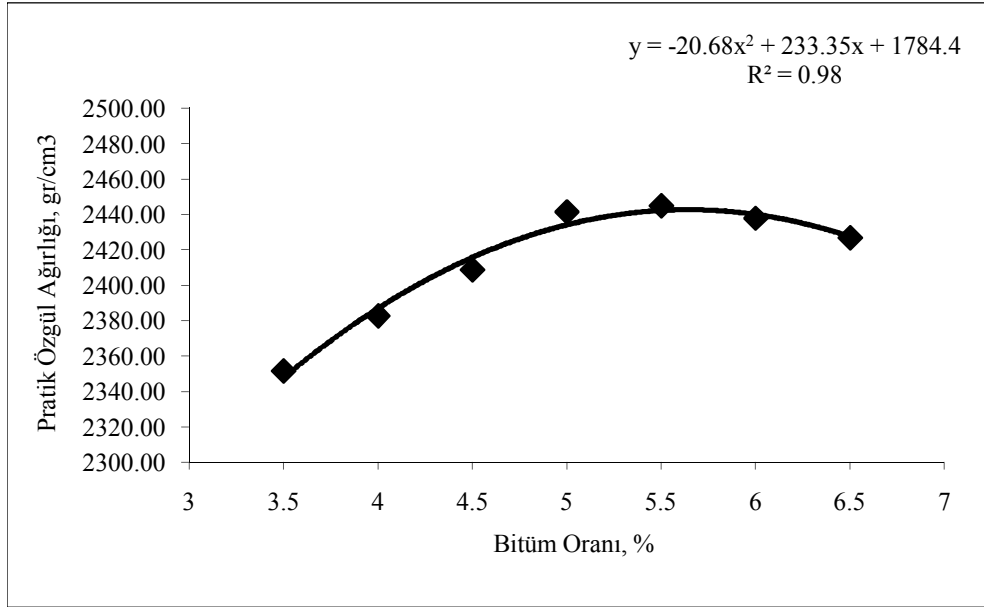


Şekil 6.17. Bitüm oranı-akma miktarı (% 10 beton katkılı)

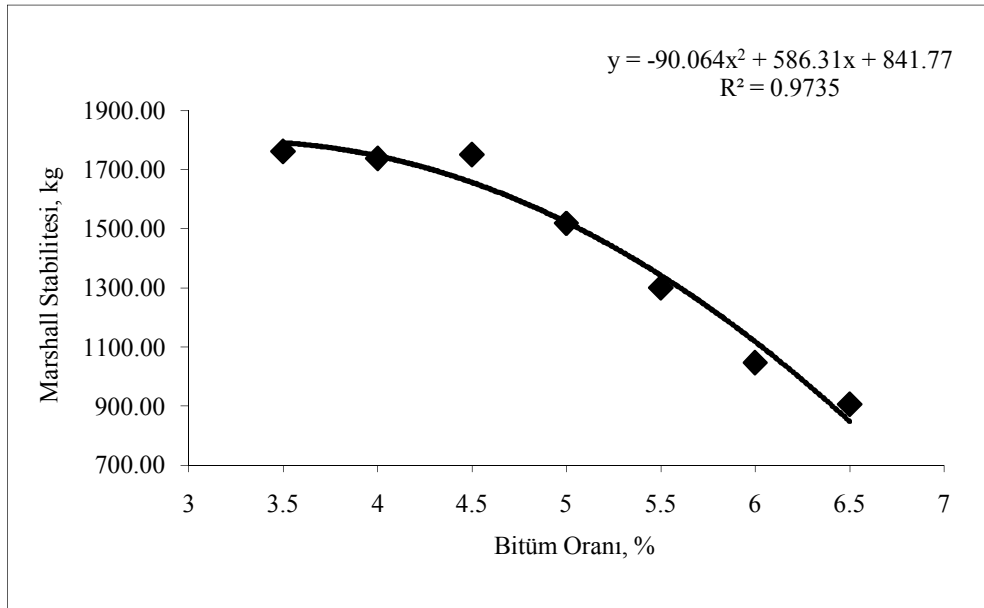
Çizelge 6.11. % 20 Atık beton içeren asfalt numunesi deney sonuçları

| 50-70 | Bitüm Oranı (%) | VMA | Bitümle Dolu Boşluk Oranı (%) | Boşluk Oranı (%) | Pratik Özgül Ağırlık (gr/cm ³) | Marshall Stabilite (kg) | Akma | MQ |
|-------|-----------------|-------|-------------------------------|------------------|--|-------------------------|------|---------|
| 1 | 3,5 | 14,85 | 51,00 | 7,27 | 2351,72 | 1761,35 | 1,69 | 1025,28 |
| 2 | 4 | 14,14 | 61,72 | 5,40 | 2382,77 | 1738,28 | 1,77 | 984,39 |
| 3 | 4,5 | 13,62 | 72,55 | 3,73 | 2408,78 | 1750,77 | 2,08 | 844,39 |
| 4 | 5 | 12,86 | 86,11 | 1,78 | 2441,51 | 1518,35 | 2,36 | 644,04 |
| 5 | 5,5 | 13,16 | 92,30 | 1,01 | 2444,87 | 1300,63 | 3,35 | 388,68 |
| 6 | 6 | 13,81 | 95,15 | 0,66 | 2437,92 | 1046,18 | 3,55 | 294,78 |
| 7 | 6,5 | 14,61 | 96,58 | 0,49 | 2426,82 | 905,91 | 6,15 | 154,62 |

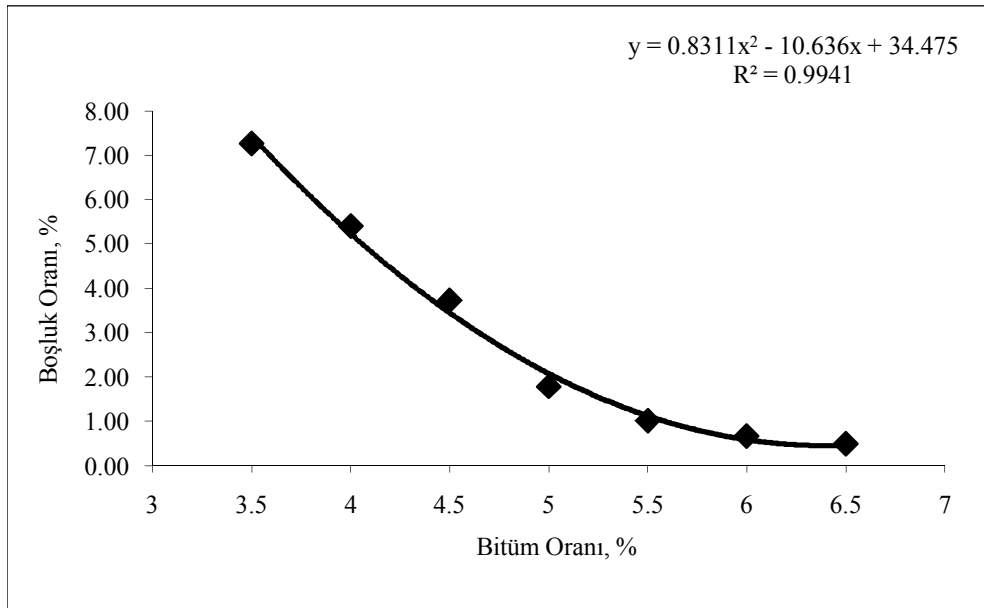
Çizelge 6.11. yardımıyla çizilen, % 20 atık içeren asfalt numunesine ait grafikler aşağıda sırasıyla gösterilmiştir.



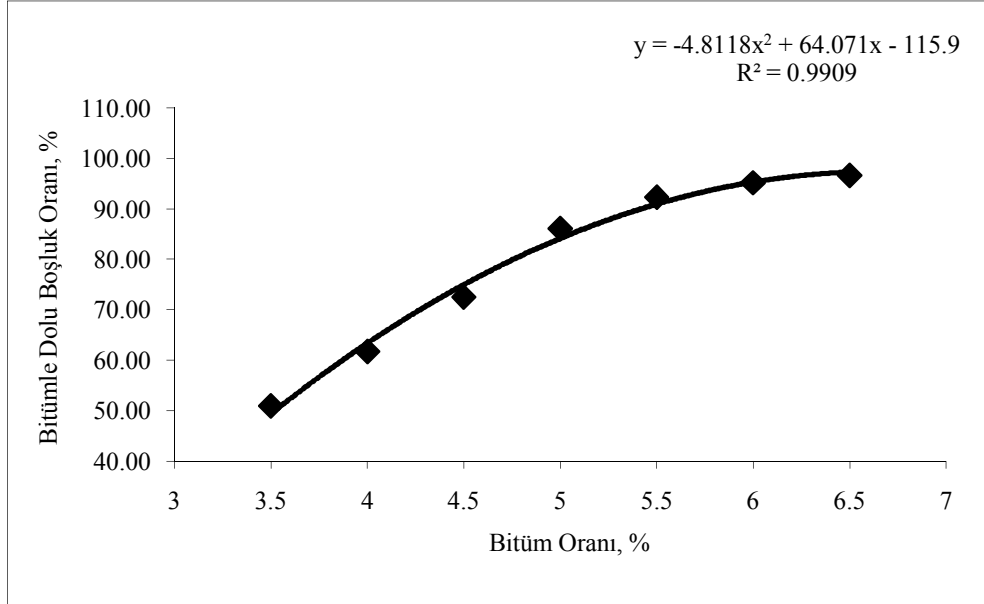
Şekil 6.18. Bitüm oranı- pratik özgül ağırlık (% 20 beton katkı)



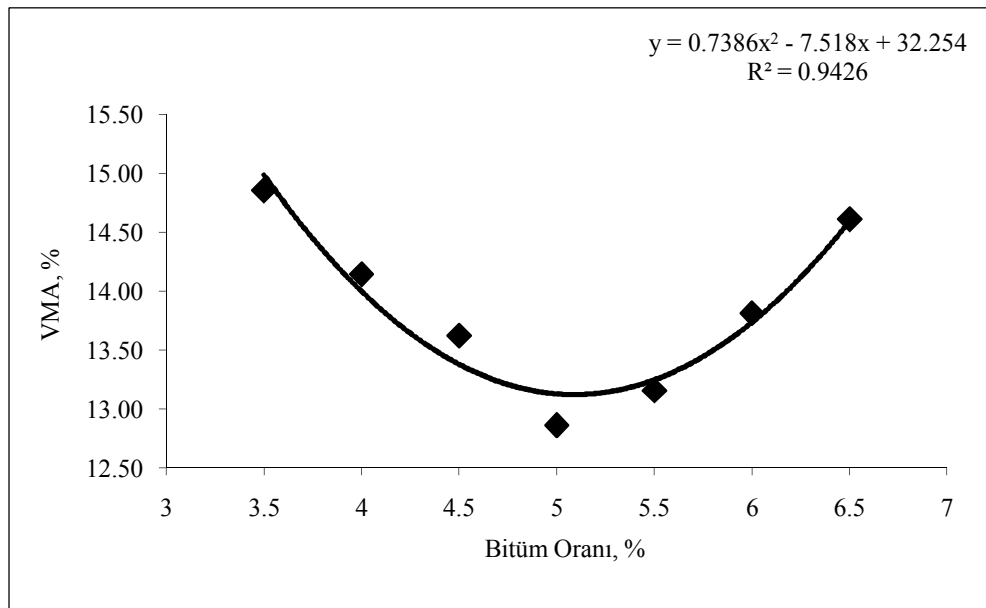
Şekil 6.19. Bitüm oranı-Marshall stabilitesi (% 20 beton katkı)



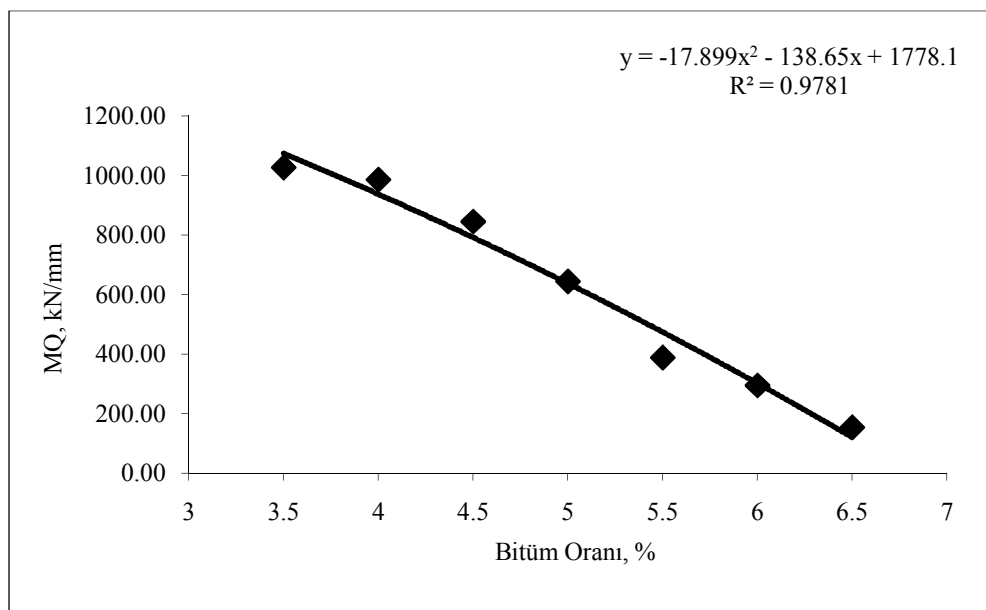
Şekil 6.20. Bitüm oranı-boşluk oranı (% 20 beton katkı)



Şekil 6.21. Bitüm oranı-bitümle dolu boşluk oranı (% 20 beton katkı)



Şekil 6.22. Bitüm oranı-VMA (% 20 beton katkı)

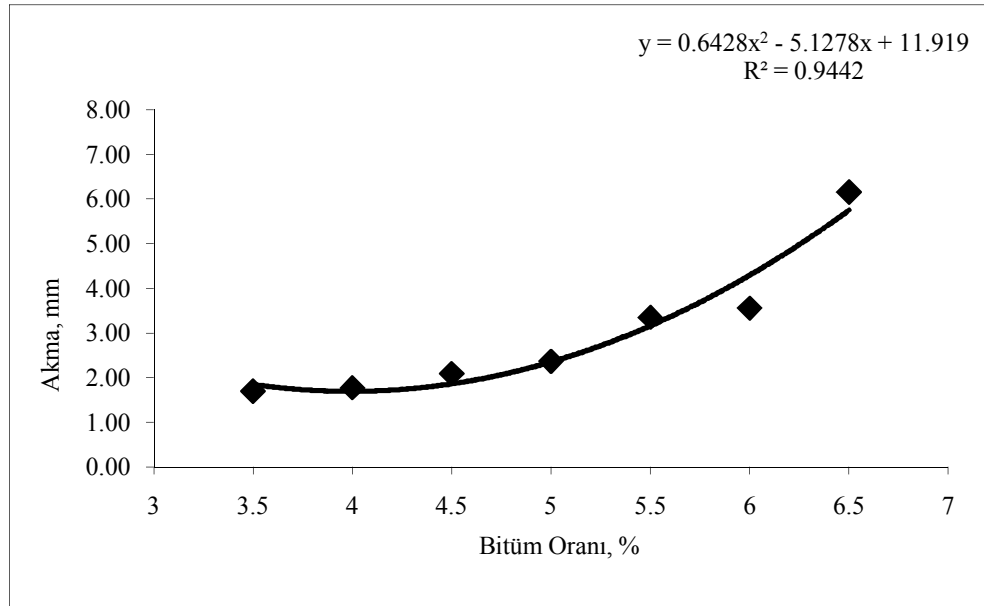


Şekil 6.23. Bitüm oranı-MQ (% 20 beton katkı)

Çizelge 6.12. Ortalama bitüm oranı tayini (% 20 katkılı beton)

| | Oran | PÖA | MS | BO | BDBO | Akma | VMA |
|------|-------------|----------------|----------------|-------------|--------------|-------------|-----------------|
| PÖA | 5,64 | 2442,67 | 1282,8 | 0,9 | 92,4 | 3,45 | 13,34862 |
| MS | 3,25 | 2324,85 | 1796,0 | 8,7 | 41,7 | 2,04 | 15,6085 |
| BO | 4,33 | 2407,13 | 1691,7 | 4,0 | 71,3 | 1,77 | 13,54791 |
| BDBO | 4,27 | 2403,87 | 1702,8 | 4,2 | 70,0 | 1,74 | 13,61633 |
| ORT | 4,38 | 2409,48 | 1682,99 | 3,85 | 74,31 | 1,79 | 13,50001 |

Çizelge 6.12. den faydalanarak, optimum bitüm oranı 4.38' e karşılık gelen akma değeri şekil 6.24. de **1.79 mm** bulunmuştur.

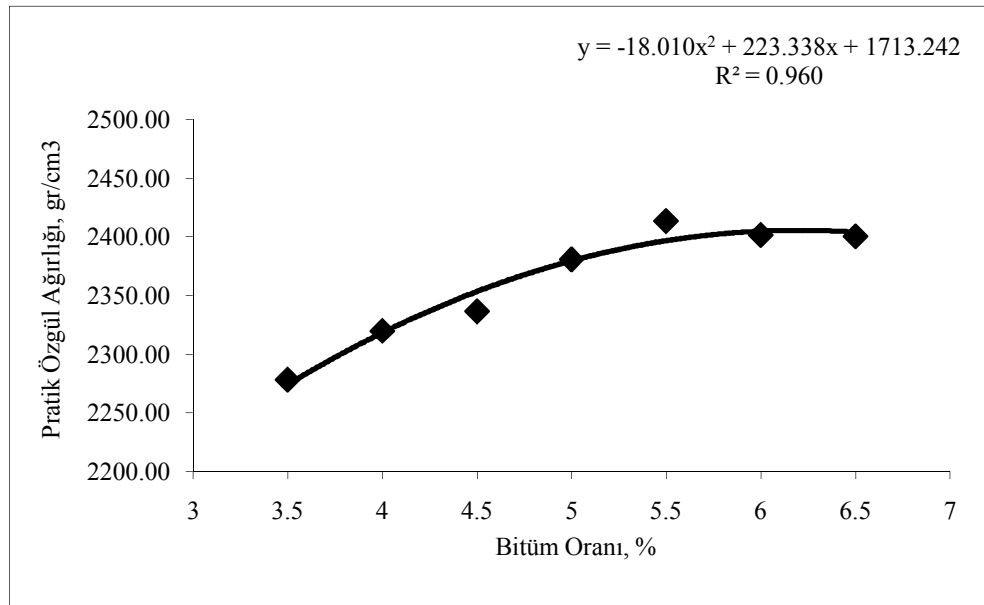


Şekil 6.24. Bitüm oranı-akma miktarı (% 20 beton katkılı)

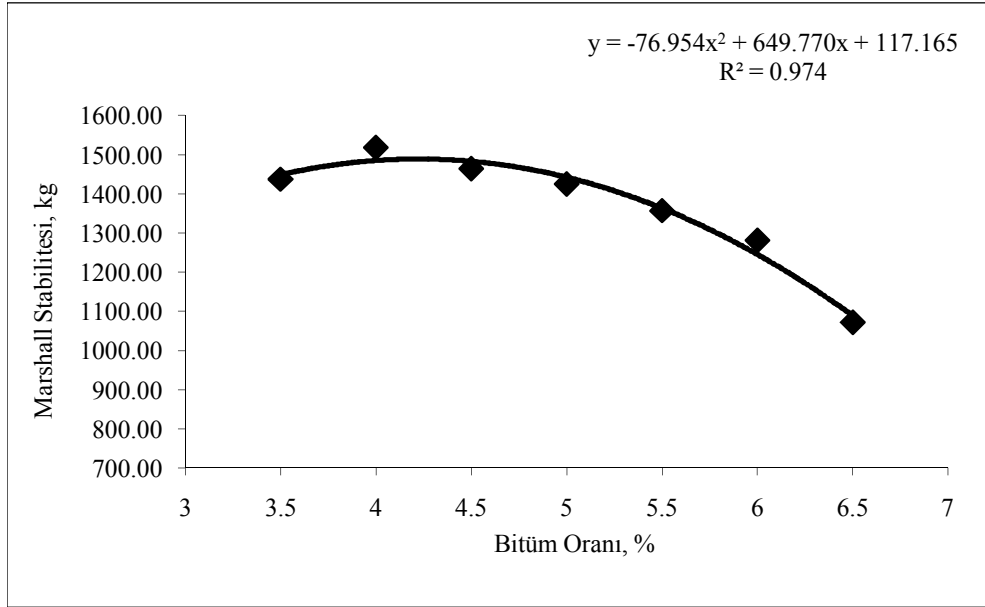
Çizelge 6.13. % 30 Atık beton içeren asfalt numunesi deney sonuçları

| 50-70 | Bitüm Oranı (%) | VMA | Bitümle Dolu Boşluk Oranı (%) | Boşluk Oranı (%) | Pratik Özgül Ağırlık (gr/cm ³) | Marshall Stabilite (kg) | Akma | MQ |
|-------|-----------------|-------|-------------------------------|------------------|--|-------------------------|------|--------|
| 1 | 3,5 | 17,50 | 41,95 | 10,15 | 2278,64 | 1437,64 | 2,41 | 608,69 |
| 2 | 4 | 16,40 | 51,91 | 7,89 | 2320,08 | 1518,23 | 2,16 | 707,16 |
| 3 | 4,5 | 16,21 | 59,15 | 6,62 | 2336,55 | 1464,23 | 2,38 | 616,73 |
| 4 | 5 | 15,03 | 71,88 | 4,22 | 2380,94 | 1425,56 | 2,37 | 606,53 |
| 5 | 5,5 | 14,28 | 83,93 | 2,28 | 2413,35 | 1357,16 | 2,56 | 530,98 |
| 6 | 6 | 15,09 | 85,78 | 2,14 | 2401,68 | 1281,15 | 3,23 | 397,06 |
| 7 | 6,5 | 15,54 | 89,80 | 1,57 | 2400,41 | 1072,44 | 3,87 | 279,65 |

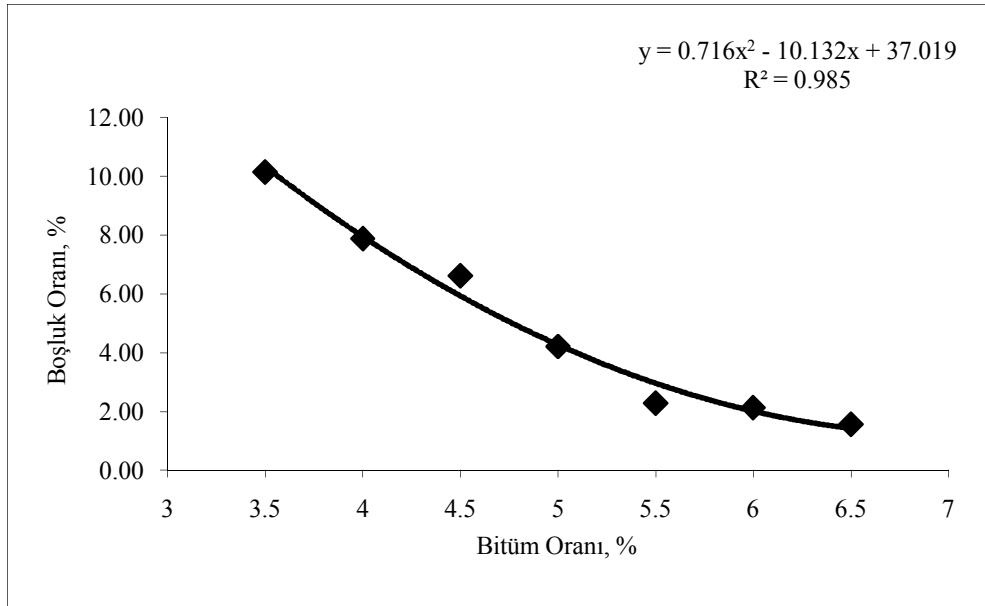
Çizelge 6.13. yardımıyla çizilen, % 30 atık içeren asfalt numunesine ait grafikler aşağıda sırasıyla gösterilmiştir.



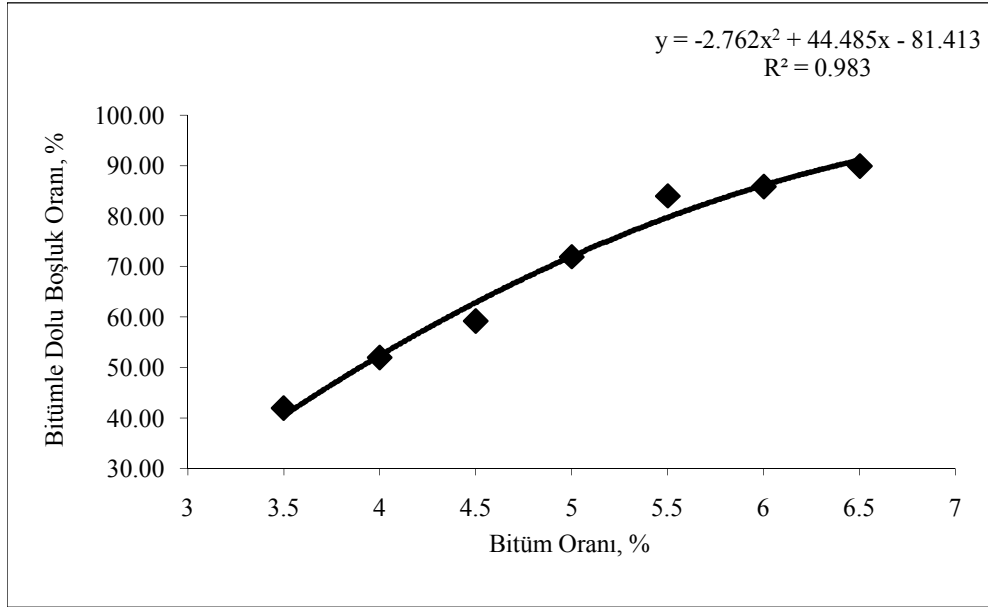
Şekil 6.25. Bitüm oranı-pratik özgül ağırlık (% 30 beton katkılı)



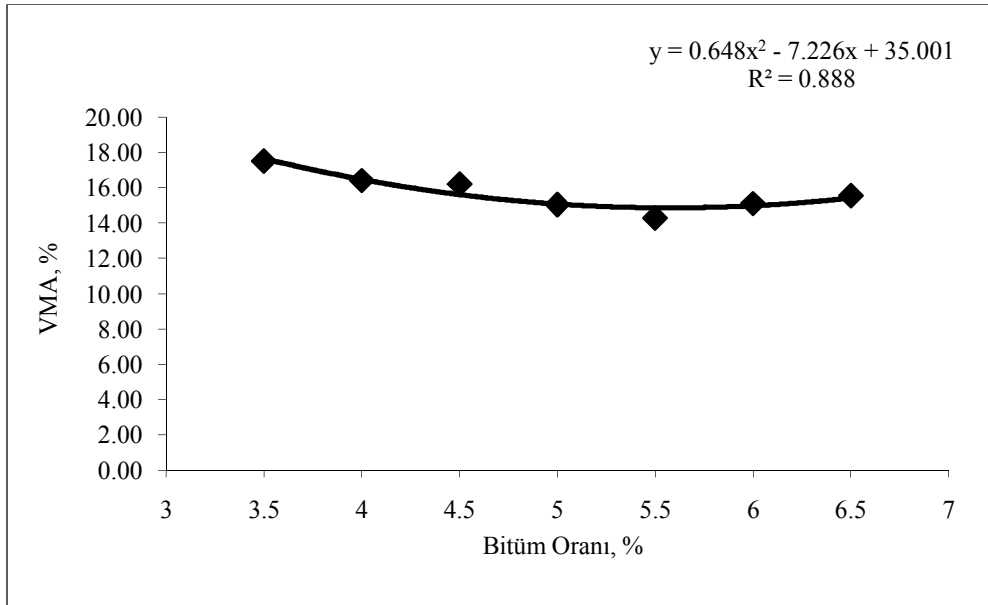
Şekil 6.26. Bitüm oranı-Marshall stabilitesi (% 30 beton katkılı)



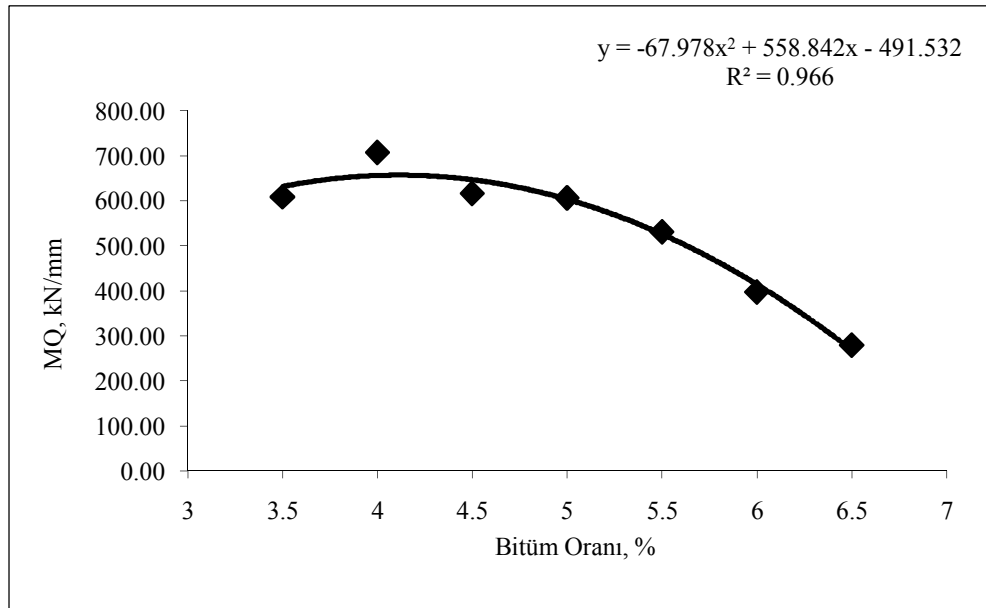
Şekil 6.27. Bitüm oranı-boşluk oranı (% 30 beton katkılı)



Şekil 6.28. Bitüm oranı-bitümlü dolu boşluk oranı (% 30 beton katkı)



Şekil 6.29. Bitüm oranı-VMA (% 30 beton katkı)

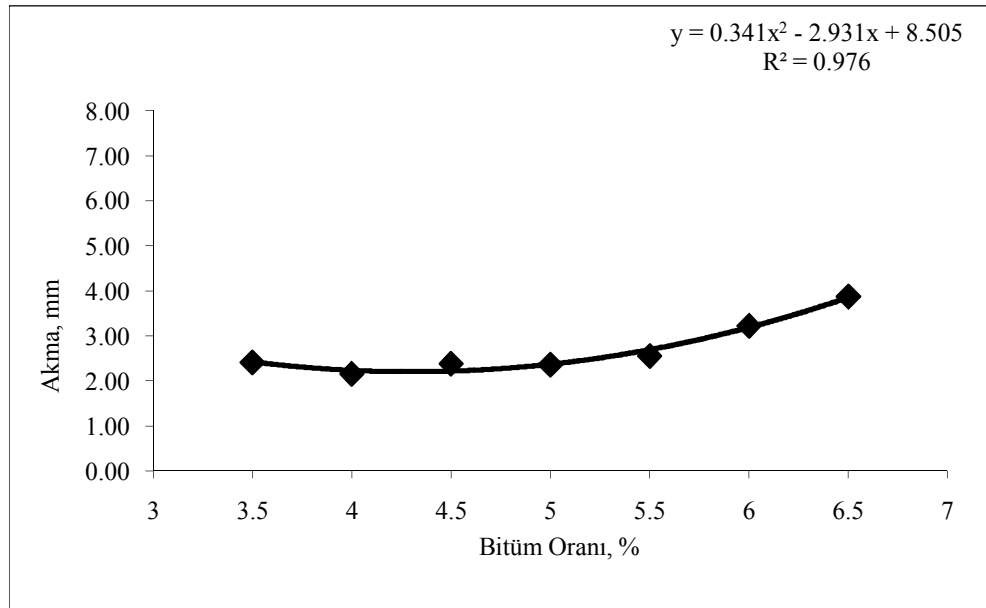


Şekil 6.30. Bitüm oranı-MQ (% 30 beton katkılı)

Çizelge 6.14. Ortalama bitüm oranı tayini (% 30 katkılı beton)

| | Oran | PÖA | MS | BO | BDBO | Akma | VMA |
|-------------|-------------|----------------|----------------|-------------|--------------|-------------|------------------|
| PÖA | 6,20 | 2405,6 | 1187,5 | 1,7 | 88,2 | 3,44 | 15,109235 |
| MS | 4,22 | 2335,1 | 1488,8 | 7,0 | 57,2 | 2,21 | 16,043949 |
| BO | 5,09 | 2383,4 | 1430,9 | 4,0 | 73,4 | 2,42 | 15,009703 |
| BDBO | 4,89 | 2374,5 | 1454,8 | 4,6 | 70,0 | 2,32 | 15,164644 |
| ORT | 5,10 | 2383,80 | 1429,52 | 3,97 | 73,61 | 2,43 | 15,003334 |

Çizelge 6.14. ten faydalanarak, optimum bitüm oranı 5.10' a karşılık gelen akma değeri şekil 6.31. de **2.43 mm** bulunmuştur.

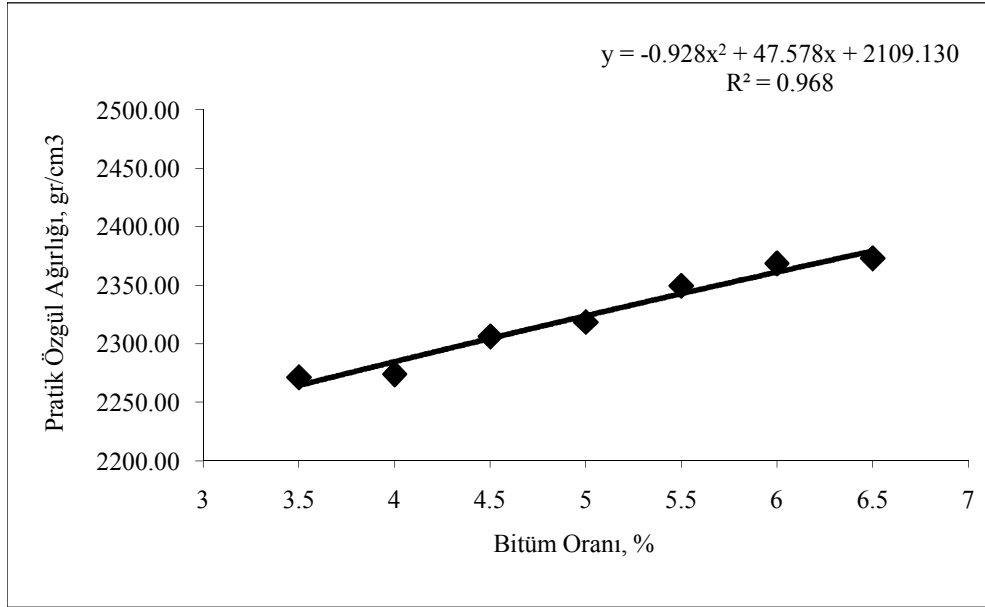


Şekil 6.31. Bitüm oranı-akma miktarı (% 30 beton katkı)

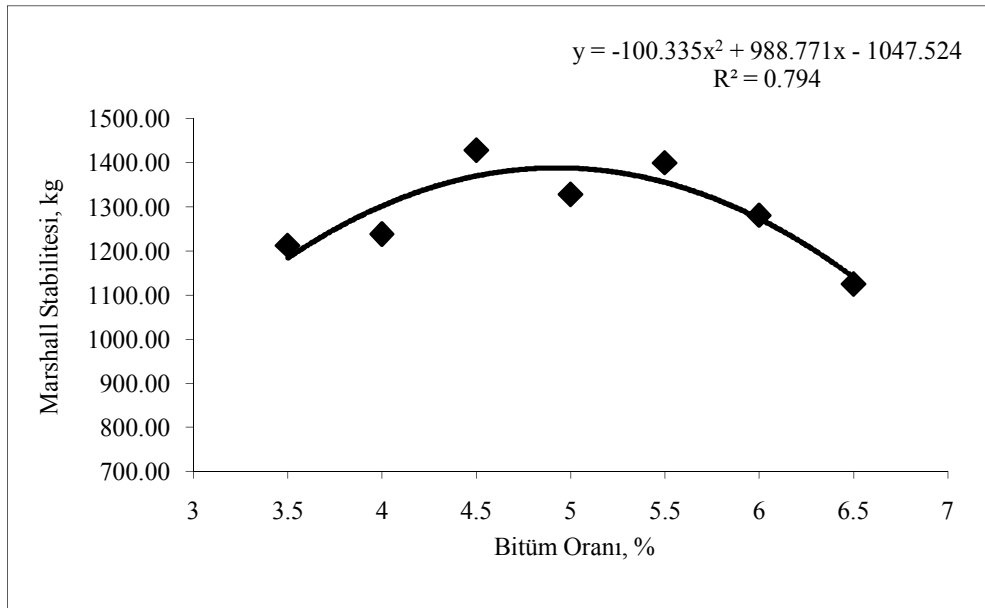
Çizelge 6.15. % 40 Atık beton içeren asfalt numunesi deney sonuçları

| 50-70 | Bitüm Oranı (%) | VMA | Bitümle Dolu Boşluk Oranı (%) | Boşluk Oranı (%) | Pratik Özgül Ağırlık (gr/cm ³) | Marshall Stabilite (kg) | Akma | MQ |
|-------|-----------------|-------|-------------------------------|------------------|--|-------------------------|------|--------|
| 1 | 3,5 | 17,76 | 41,25 | 10,43 | 2271,43 | 1212,74 | 2,09 | 584,44 |
| 2 | 4 | 18,07 | 46,34 | 9,73 | 2273,87 | 1237,91 | 2,32 | 539,98 |
| 3 | 4,5 | 17,30 | 54,68 | 7,84 | 2306,07 | 1427,99 | 1,99 | 715,86 |
| 4 | 5 | 17,26 | 60,96 | 6,73 | 2318,43 | 1328,58 | 2,17 | 611,90 |
| 5 | 5,5 | 16,55 | 70,51 | 4,88 | 2349,30 | 1399,87 | 2,31 | 606,59 |
| 6 | 6 | 16,27 | 78,50 | 3,49 | 2368,54 | 1280,88 | 2,45 | 526,01 |
| 7 | 6,5 | 16,51 | 83,52 | 2,71 | 2372,64 | 1125,44 | 2,74 | 411,00 |

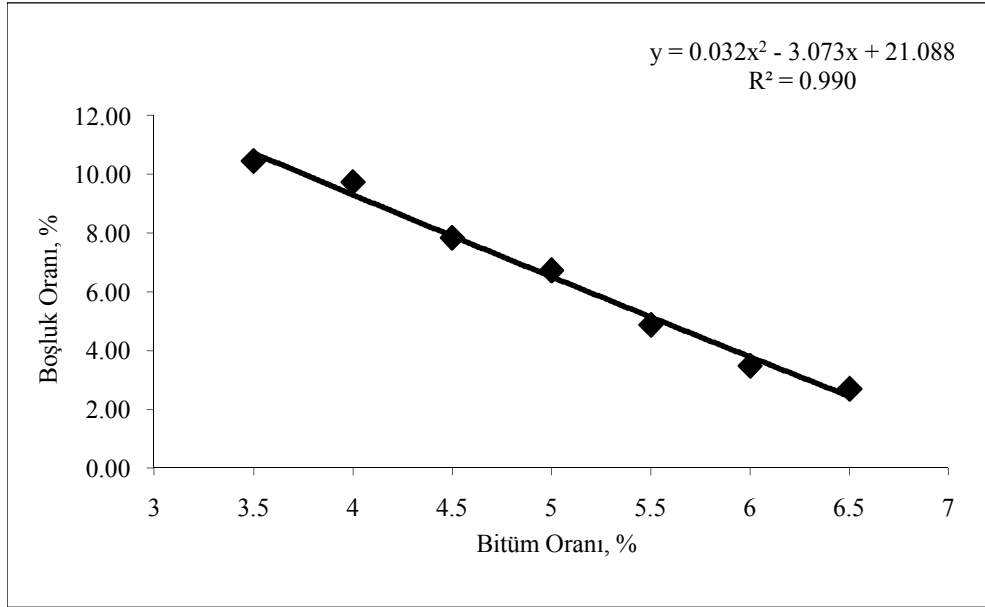
Çizelge 6.15. yardımıyla çizilen, % 40 atık içeren asfalt numunesine ait grafikler aşağıda sırasıyla gösterilmiştir.



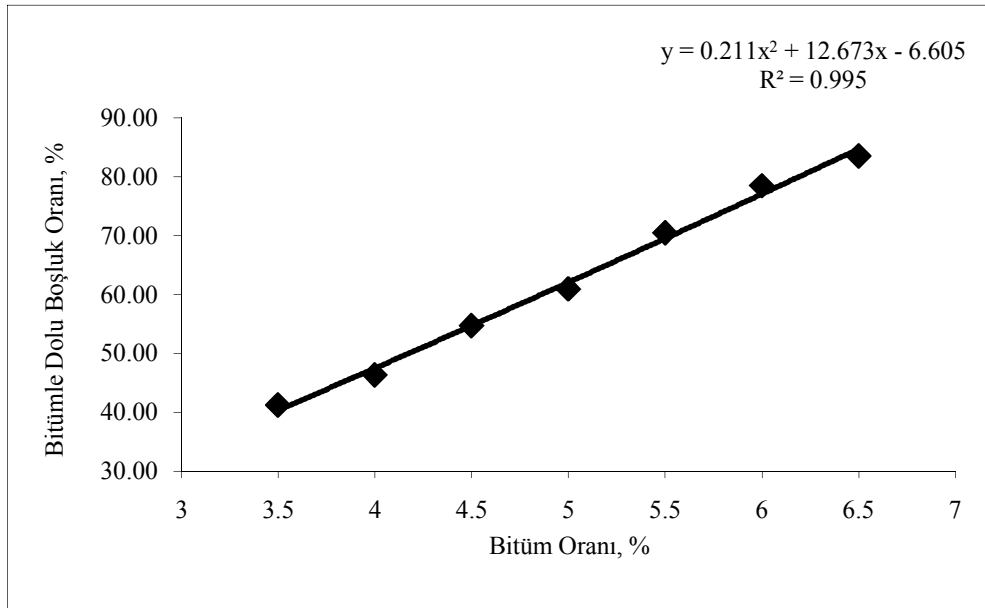
Şekil 6.32. Bitüm oranı- pratik özgül ağırlık (% 40 beton katkı)



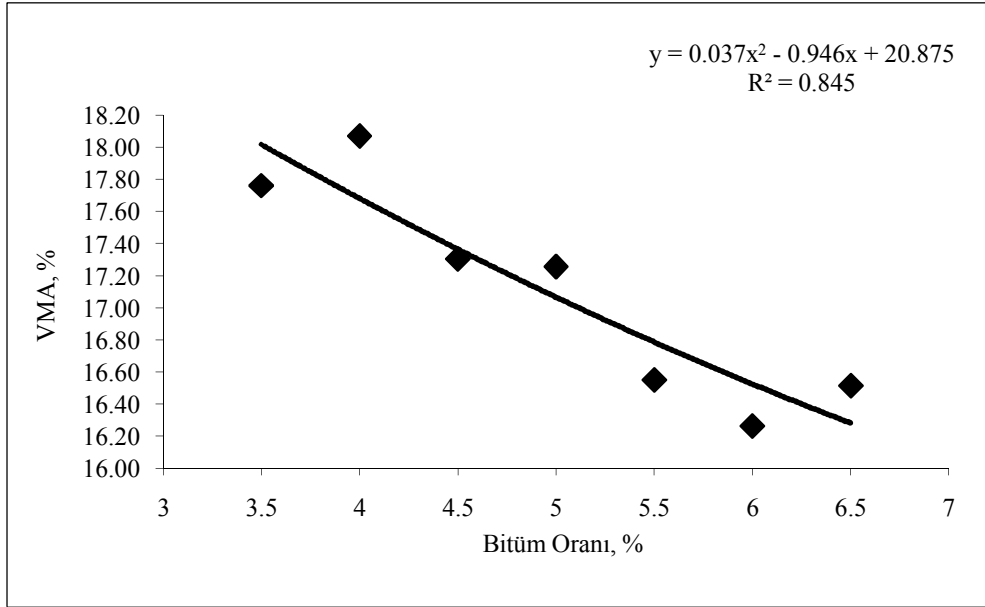
Şekil 6.33. Bitüm oranı-Marshall stabilitesi (% 40 beton katkı)



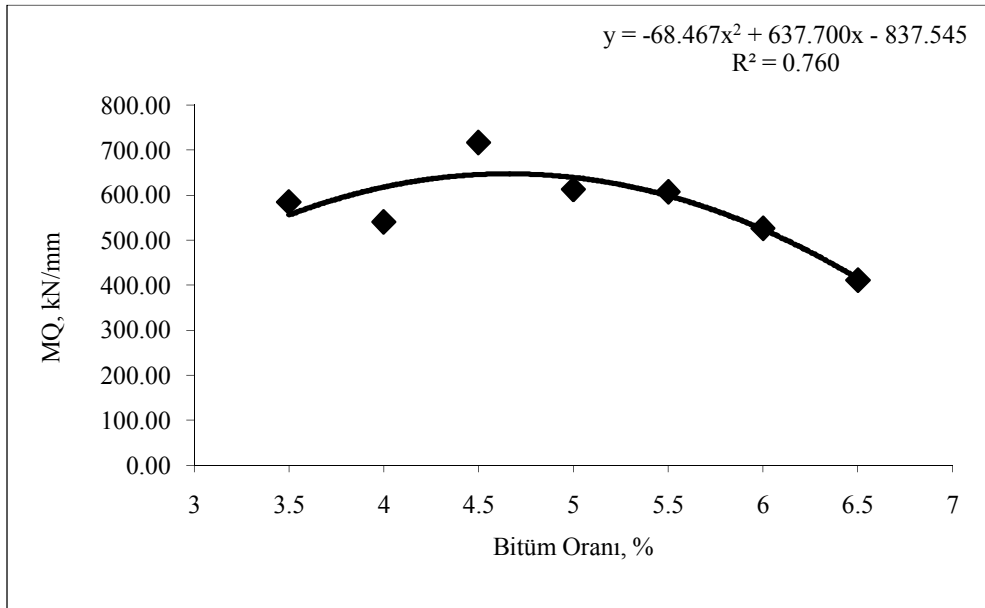
Şekil 6.34. Bitüm oranı-boşluk oranı (% 40 beton katkıli)



Şekil 6.35. Bitüm oranı-bitümle dolu boşluk oranı (% 40 beton katkıli)



Şekil 6.36. Bitüm oranı-VMA (% 40 beton katkılı)

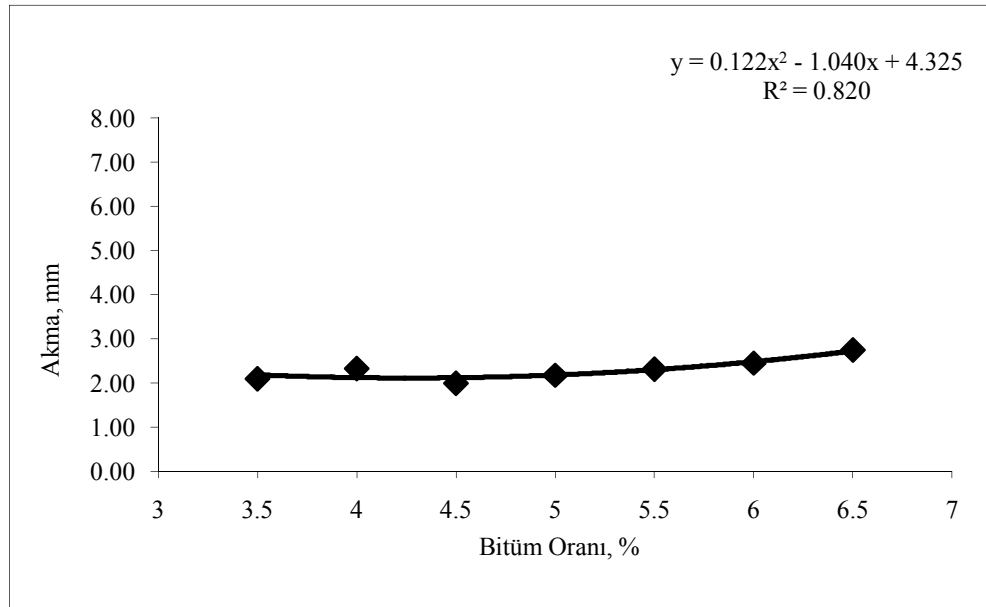


Şekil 6.37. Bitüm oranı-MQ (% 40 beton katkılı)

Çizelge 6.16. Ortalama bitüm oranı tayini (% 40 katkılı beton)

| | Oran | PÖA | MS | BO | BDBO | Akma | VMA |
|------|-------------|----------------|----------------|-------------|--------------|-------------|------------------|
| PÖA | 6,50 | 2379,18 | 1140,3 | 2,5 | 84,7 | 2,82 | 16,28925 |
| MS | 4,93 | 2321,03 | 1388,5 | 6,7 | 61,0 | 2,26 | 17,112043 |
| BO | 5,93 | 2358,50 | 1288,3 | 4,0 | 75,9 | 2,55 | 16,568132 |
| BDBO | 5,53 | 2344,03 | 1351,5 | 5,1 | 70,0 | 2,41 | 16,772584 |
| ORT | 5,72 | 2350,99 | 1325,11 | 4,55 | 72,82 | 2,47 | 16,673351 |

Çizelge 6.16. dan faydalanarak, optimum bitüm oranı 5.72' ye karşılık gelen akma değeri şekil 6.38. de **2.47 mm** bulunmuştur.

**Şekil 6.38.** Bitüm oranı-akma miktarı (% 40 beton katkılı)

6.2.2. Sünme modülü deneyi (D4123-82)

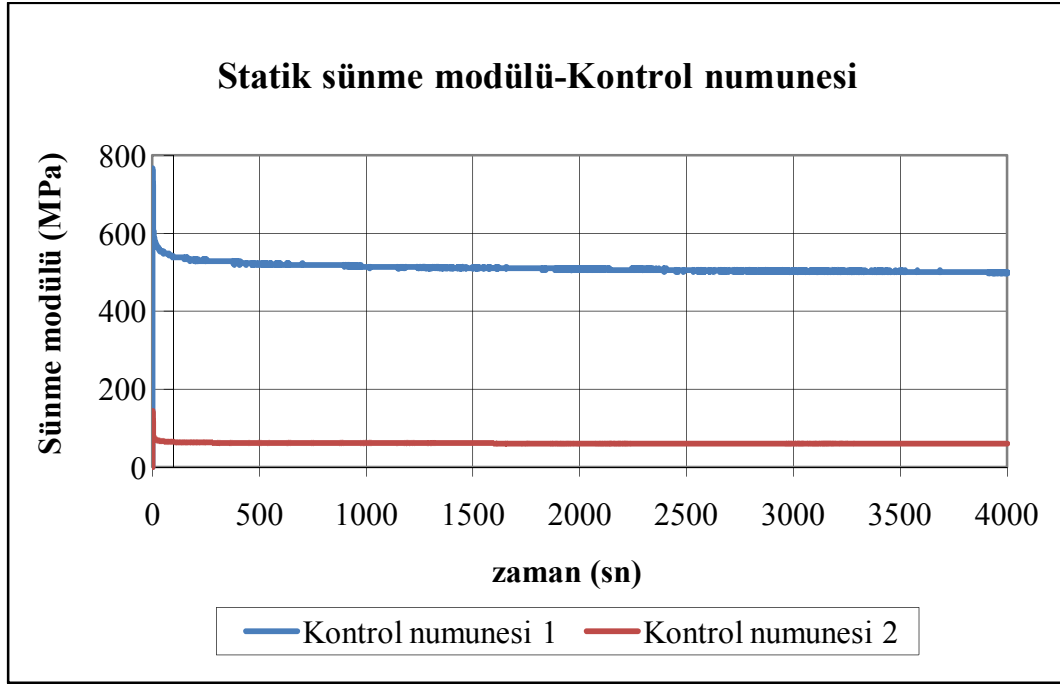
Deney için, % 0, 10, 20, 30 ve 40 oranlarında atık beton içeren 4' er adet numune hazırlanmıştır. Bu numuneler içerisine, Marshall deneylerinde elde ettiğimiz optimum oranlarda bitüm ilave edilmiştir. Hazırlanan 4' er adet numunedan 2' si statik sünme, 2' si dinamik sünme olarak hesaplanmıştır. Deneyde kullanılacak 20 adet numunenin, yükseklik, çap, havadaki ve sudaki ağırlık gibi fiziksel özellikleri ölçülmüş ve bu doğrultuda boşluk oranları hesaplanmıştır. Hazırlanan numuneler daha önceden 50 °C olacak şekilde hazırlanmış iklimlendirme kabiniinde 24 saat süre ile bekletilmiştir. Daha sonra numunelere statik ve dinamik sünme testleri uygulanmış ve sonuçları irdelenmiştir.



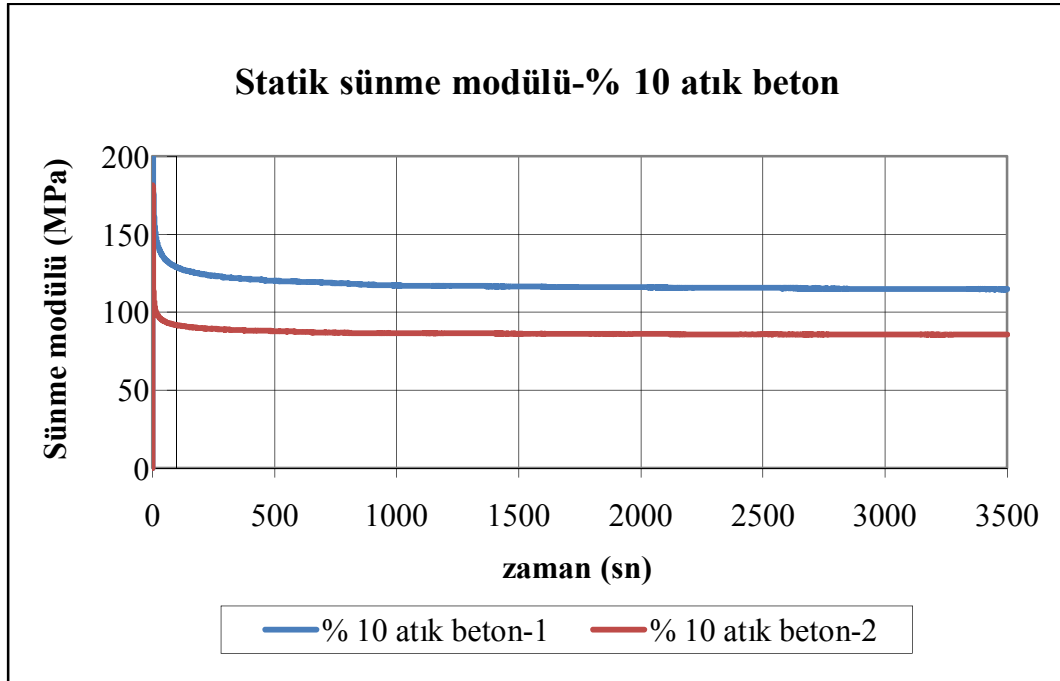
Şekil 6.39. Sünme deneyi için hazırlanan numuneler

6.2.2.1 Statik sünme

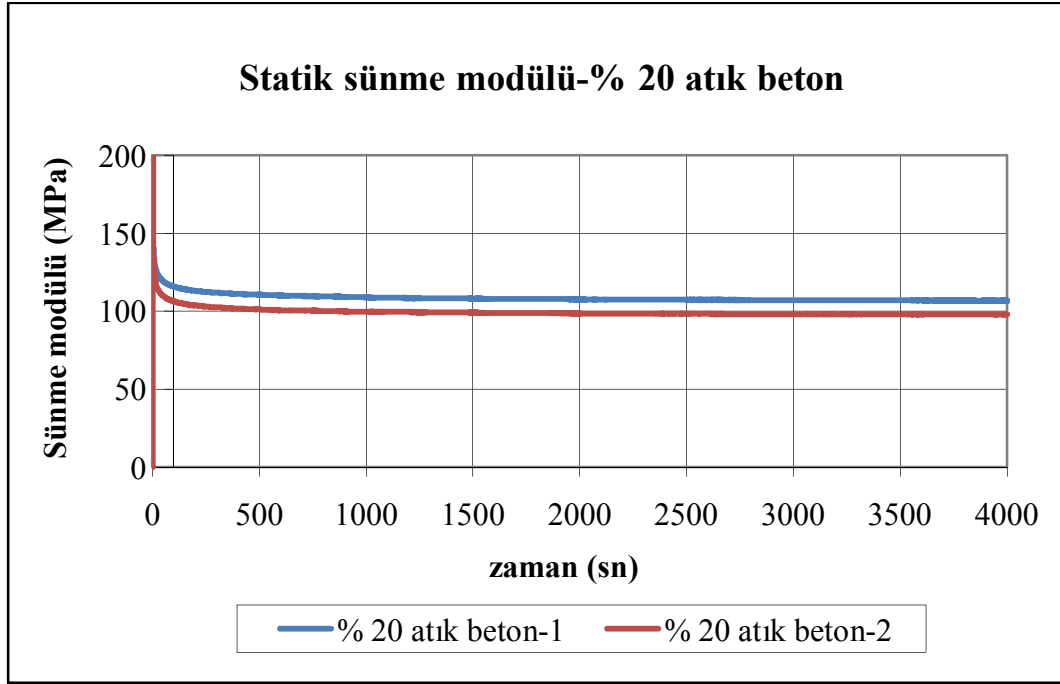
Yükleme setine yerleştirilen numunelere ön yükleme olarak 10 dakika boyunca 100 kPa' lık yükleme yapılmış, sonra 1 saat süreyle 500 kPa' lık bir yükleme daha yapılmıştır. Deneyde zaman sabit ve 4200 sn olarak alınmıştır. Deney sonunda yükleme setine bağlı bilgisayar yardımıyla, elde edilen veriler excel formatında alınmış ve burada statik sünme modülü ile birikmiş deformasyon miktarının, zamana bağlı grafikleri çizilmiştir. Bu grafikler şekil 6.40. ile 6.51. arasında gösterilmiştir.



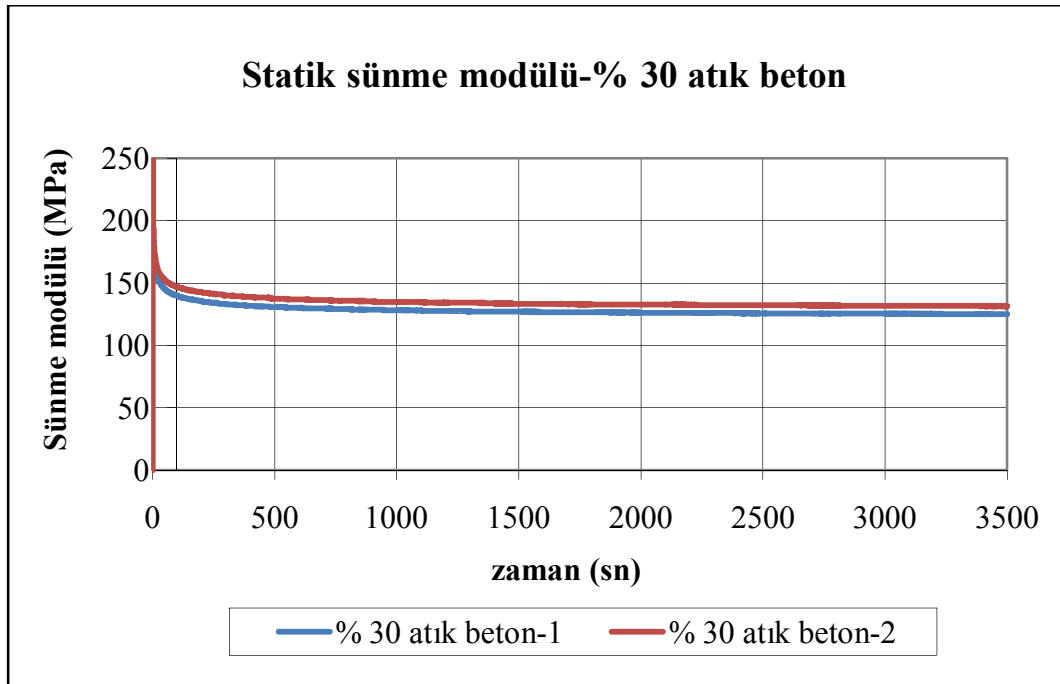
Şekil 6.40. Statik sünme modülü-zaman grafiği (kontrol numunesi)



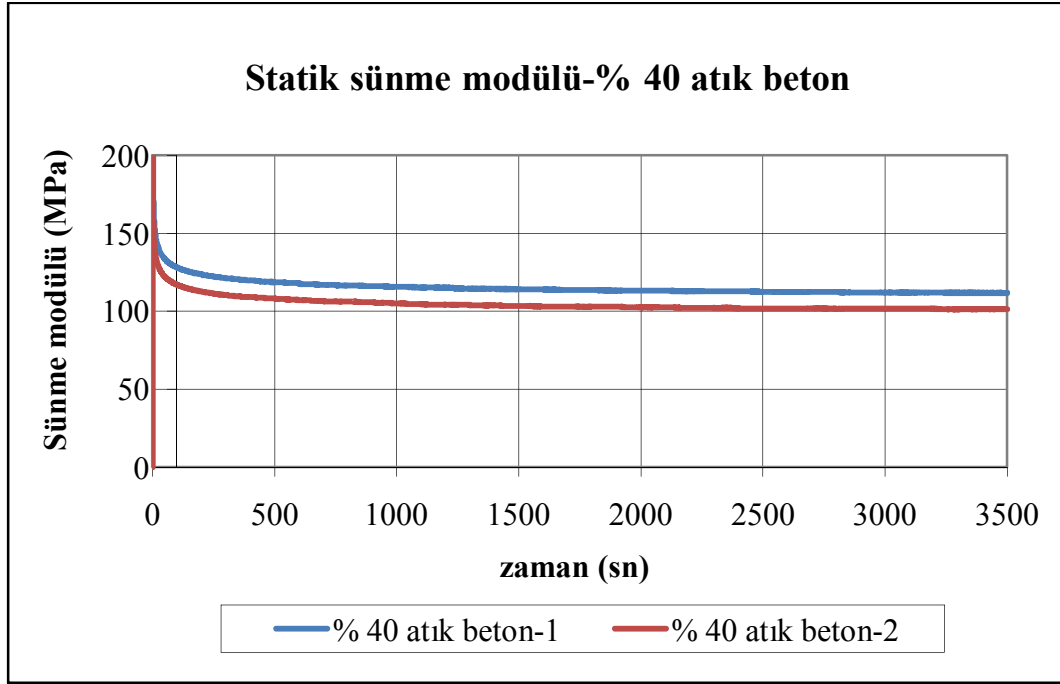
Şekil 6.41. Statik sünme modülü-zaman grafiği (% 10 beton katkılı)



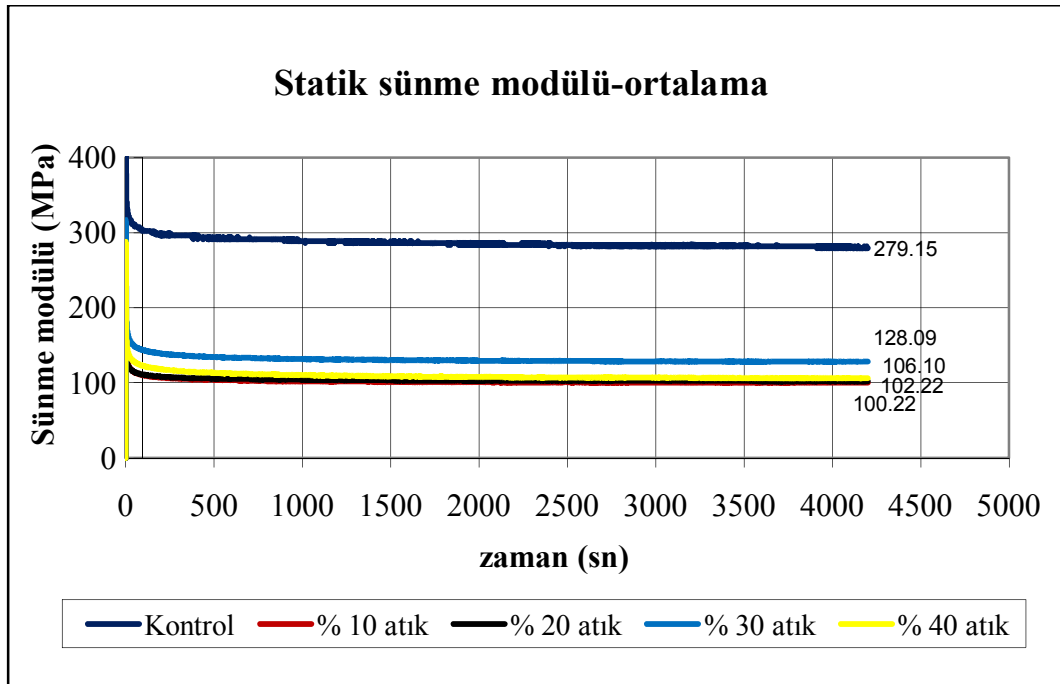
Şekil 6.42. Statik sünme modülü-zaman grafiği (% 20 beton katkılı)



Şekil 6.43. Statik sünme modülü-zaman grafiği (% 30 beton katkılı)

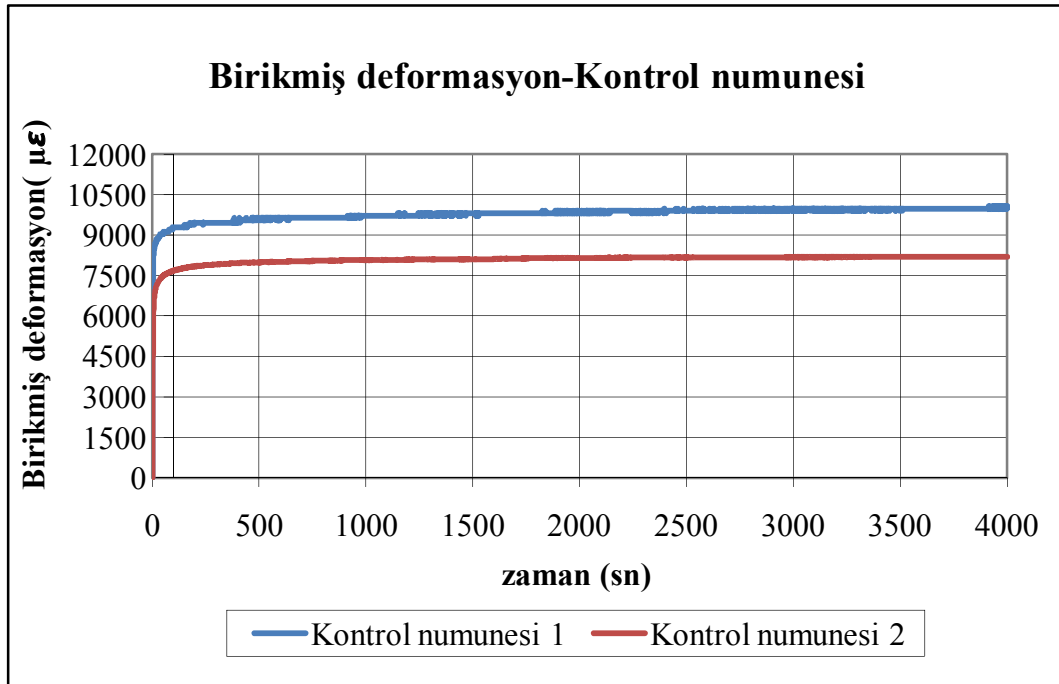


Şekil 6.44. Statik sünme modülü-zaman grafiği (% 40 beton katkılı)

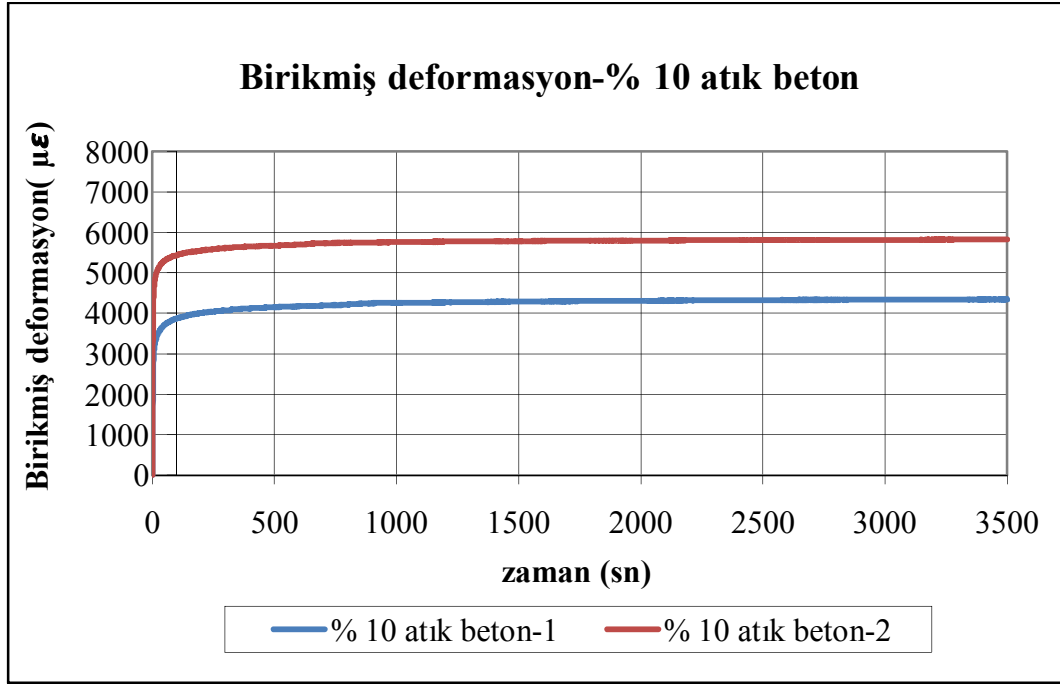


Şekil 6.45. Statik sünme modülü-zaman grafiği (Tüm atık oranlarına ait ortalamalar)

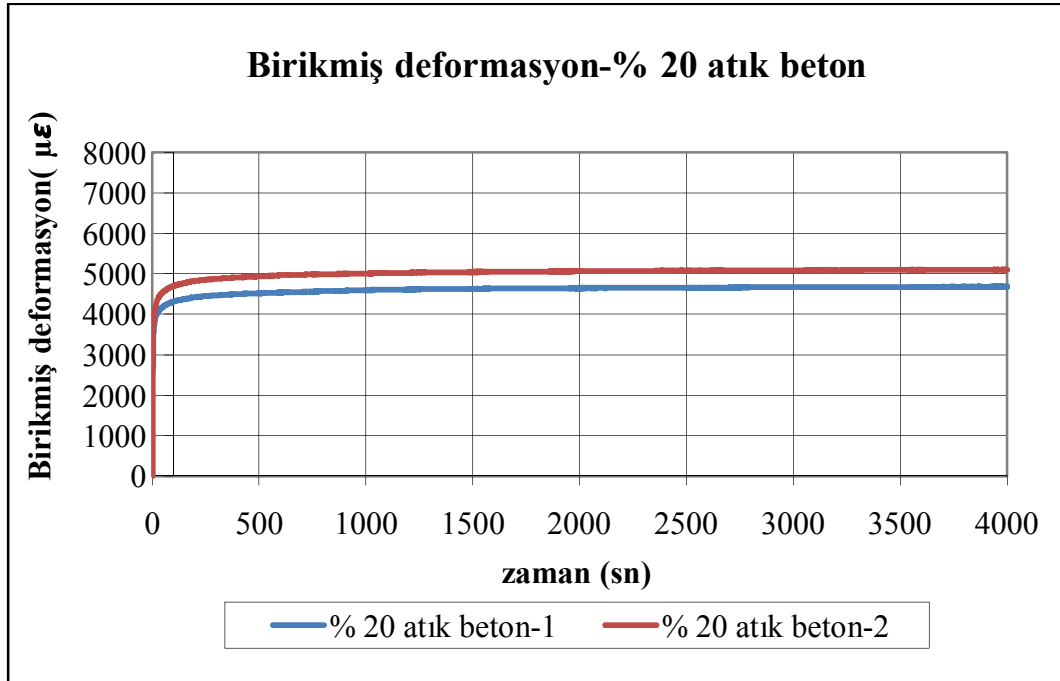
Farklı atık oranlarına sahip numuneler üzerinde uygulanan sünme deneylerinin, sonuçları arasındaki ilişkinin daha iyi anlaşılabilmesi amacıyla, aynı atık oranına sahip numunelerin ortalamaları alınmış ve bütün numunelerin sonuçları 4 ayrı grafikte gösterilmiştir. Şekil 6.45. deki statik sünme-zaman grafiğine bakacak olursak en iyi sünme modülü değerini 279.15 MPa ile kontrol numunesi vermiştir. Kontrol numunesinin sünme rijitliği, diğer beton katkıli numunelerin sünme rijitliğine kıyasla % 150 daha fazladır. Kontrol numunesinden sonra 128.09 MPa ile en fazla rijitlik gösteren numune % 30 atık katkıli numune olmuştur. Bu değerler % 10 atık katkıli numune için 100.22 MPa, % 20 atık katkıli numune için 102.22 MPa ve % 40 atık katkıli numune için 106.10 MPa olarak ölçülmüştür.



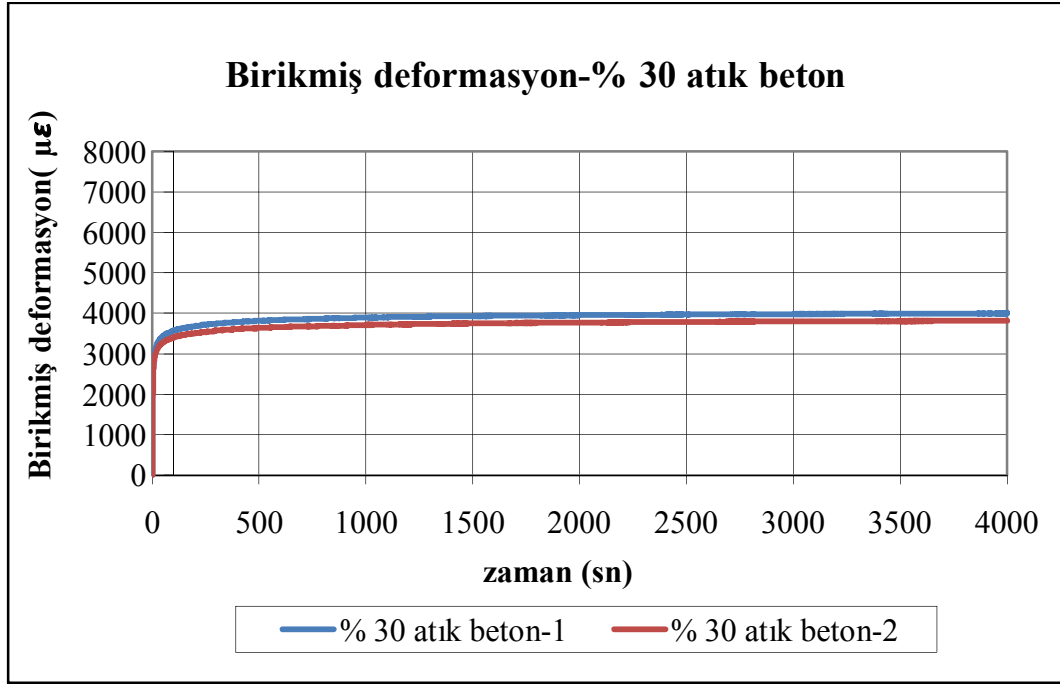
Şekil 6.46. Birikmiş deformasyon-zaman grafiği (kontrol numunesi)



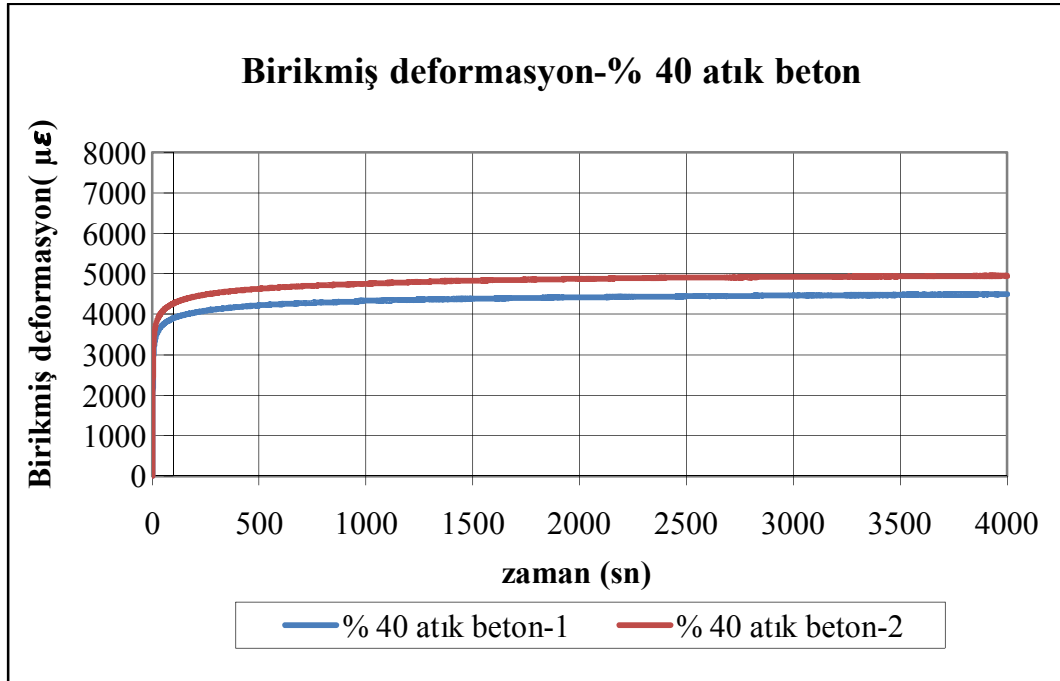
Şekil 6.47. Birikmiş deformasyon-zaman grafiği (% 10 beton katkı)



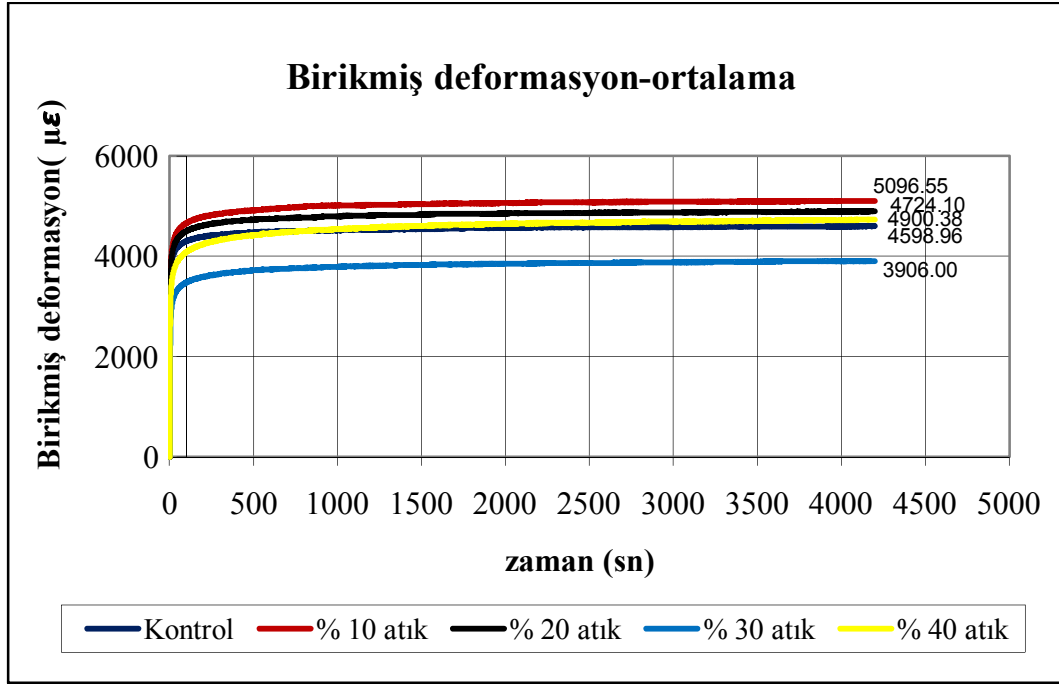
Şekil 6.48. Birikmiş deformasyon-zaman grafiği (% 20 beton katkı)



Şekil 6.49. Birikmiş deformasyon-zaman grafiği (% 30 beton katkı)



Şekil 6.50. Birikmiş deformasyon-zaman grafiği (% 40 beton katkı)



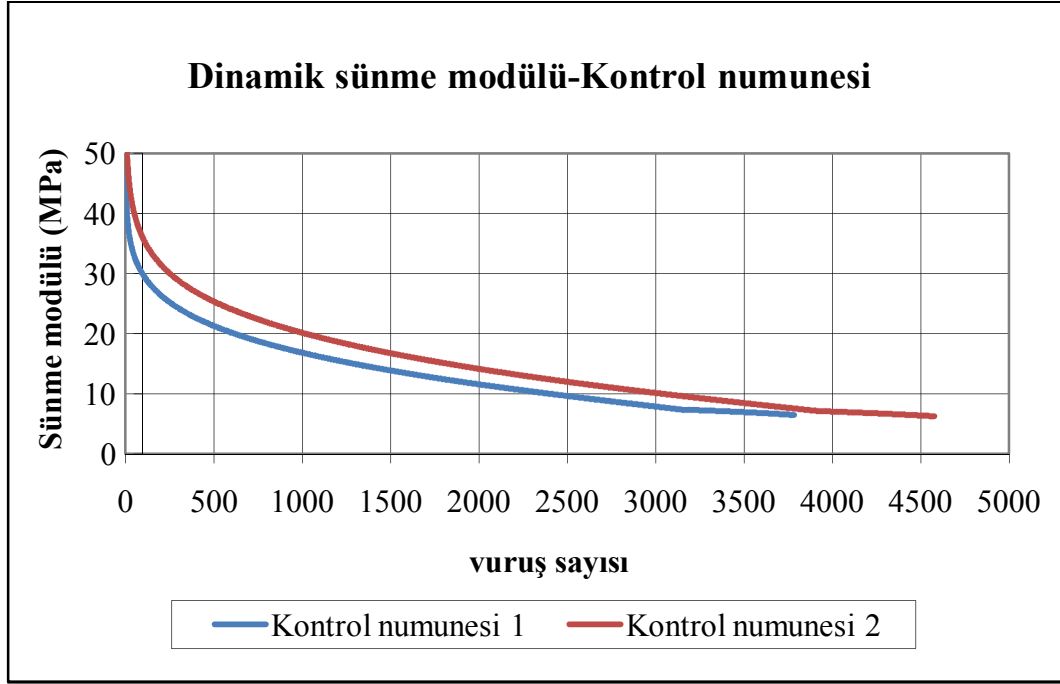
Şekil 6.51. Birikmiş deformasyon-zaman grafiği (Tüm atık oranlarına ait ortalamalar)

Şekil 6.51. de statik sünme deneyine ait olan ortalama birikmiş deformasyon-zaman grafiğini değerlendirdiğimizde, statik sünme modülü grafiğinde olduğu gibi kontrol numunesiyle, % 30 atık katkılı numunenin birbirlerine çok yakın ve en az deformasyon yapan iki numune olduğu görülmüştür. Kontrol numunesinde 4598.96 µε, % 30 atık katkılı numunede ise 3906.00 µε' luk deformasyon gözlemlenmiştir. Yine en fazla deformasyonu 5096.55 µε ile, % 10 atık katkılı numune yapmıştır. % 20 atık katkılı numune 4900.38 µε ve % 40 atık katkılı numune ise 4724.10 µε' luk deformasyonlarla testi tamamlamışlardır. Bu sonuçlara bakarak numunelerin yaptıkları deformasyonlar arasında çokta büyük farklar olmadığı görülmektedir.

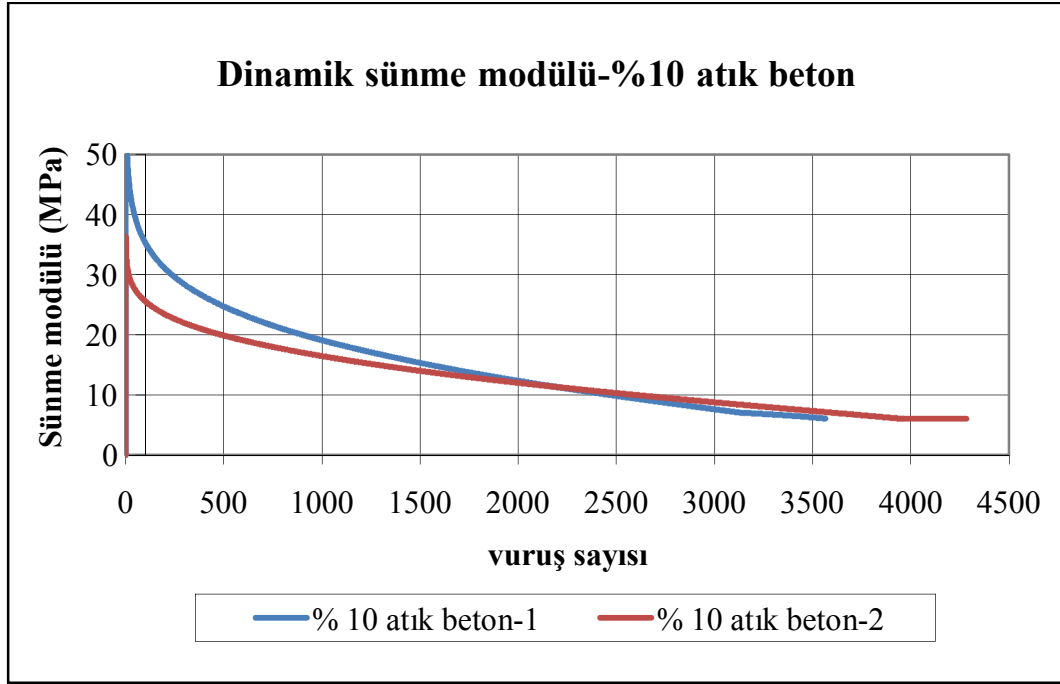
6.2.2.2 Dinamik sünme

Yükleme setine yerleştirilen numunelere, 500 ms süre ile yüklem ve 1500 ms süre ile dinlenme yapılarak 500 kPa'lık yük uygulanmıştır. Burada statik sünmeden farklı olarak her numune için farklı vuruş sayıları elde edilmiştir. Deney sonunda yüklem setine bağlı bilgisayar yardımıyla, elde edilen veriler excel formatında alınmış

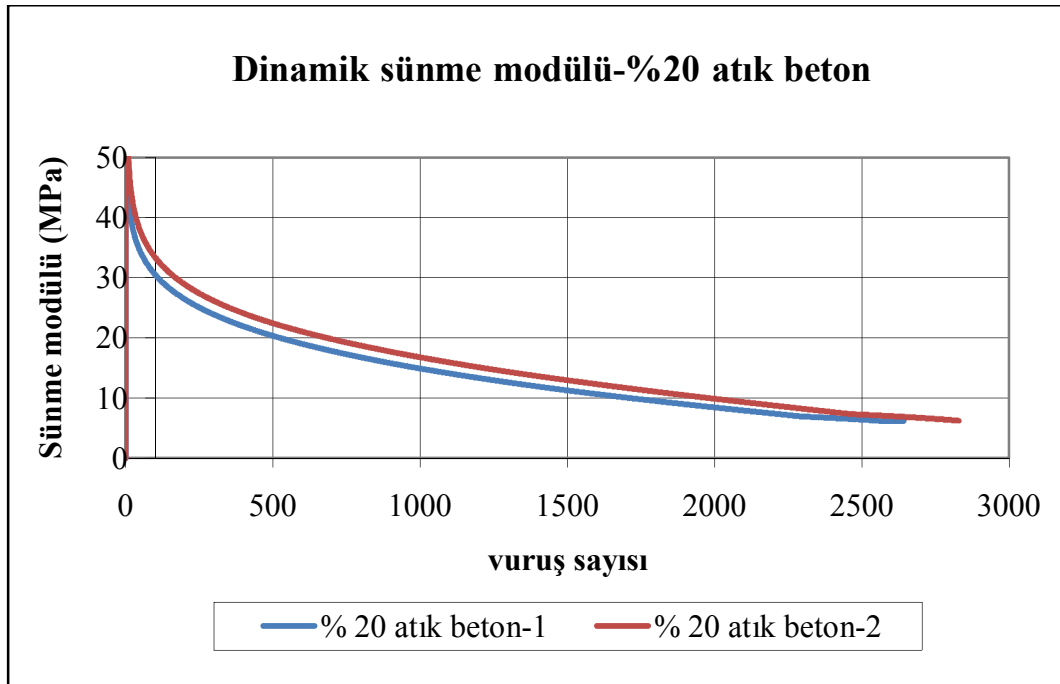
ve dinamik sünme modülü ile birikmiş deformasyon miktarının, vuruş sayısına bağlı grafikleri çizilmiştir. Bu grafikler şekil 6.52. ile 6.63. arasında gösterilmiştir.



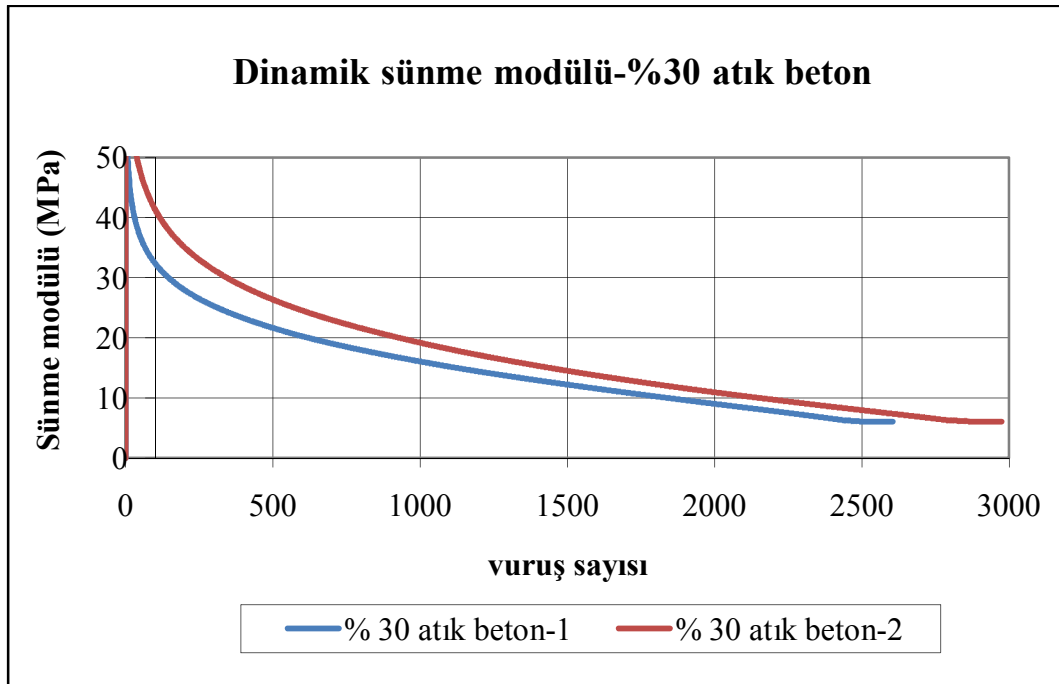
Şekil 6.52. Dinamik sünme modülü-vuruş sayısı grafiği (kontrol numunesi)



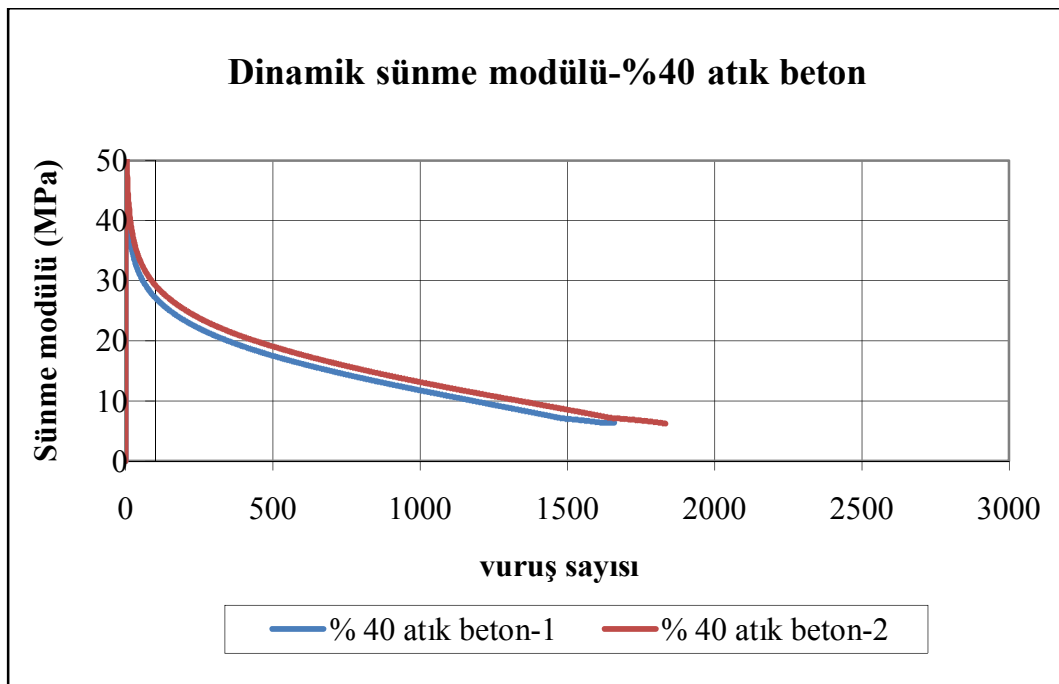
Şekil 6.53. Dinamik sünme modülü-vuruş sayısı grafiği (% 10 beton katkı)



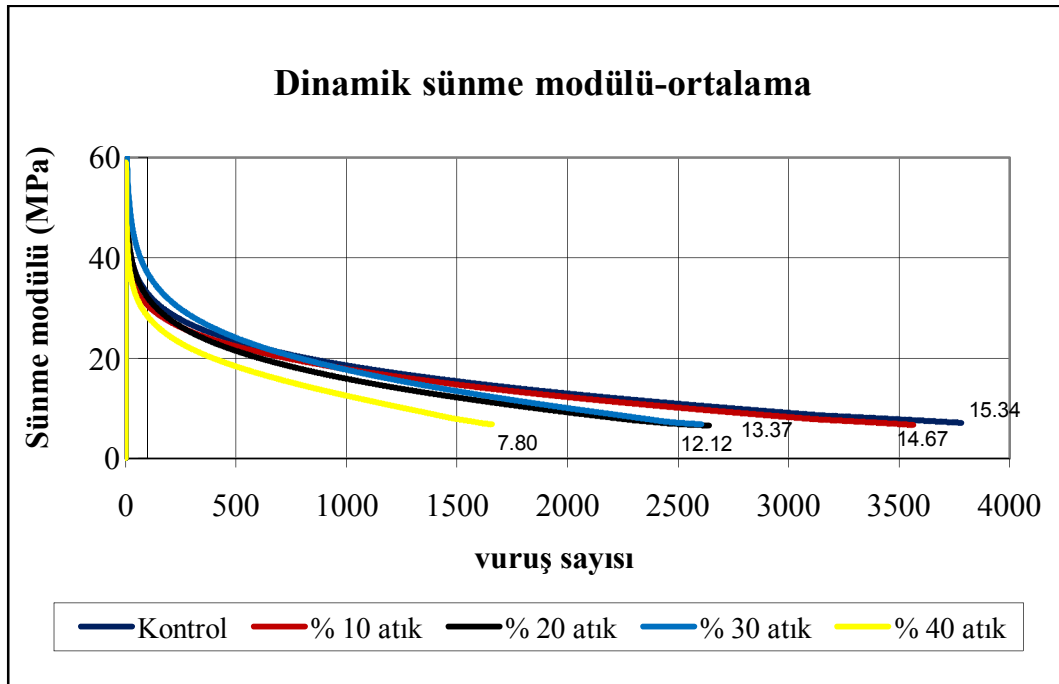
Şekil 6.54. Dinamik sünme modülü-vuruş sayısı grafiği (% 20 beton katkı)



Şekil 6.55. Dinamik sünme modülü-vuruş sayısı grafiği (% 30 beton katkı)

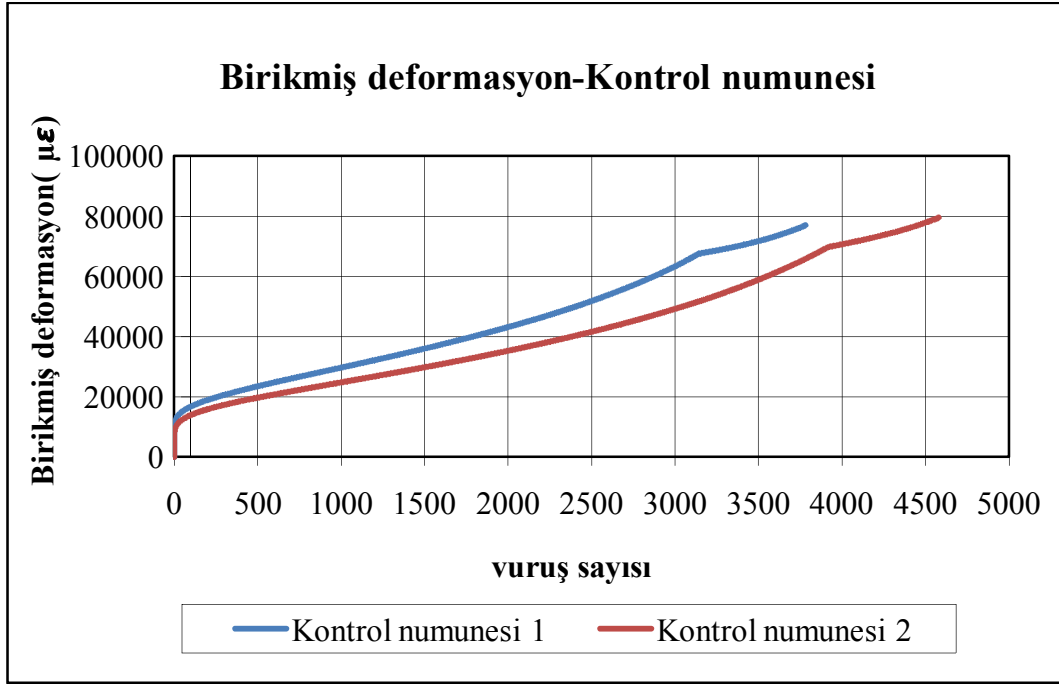


Şekil 6.56. Dinamik sünme modülü-vuruş sayısı grafiği (% 40 beton katkı)

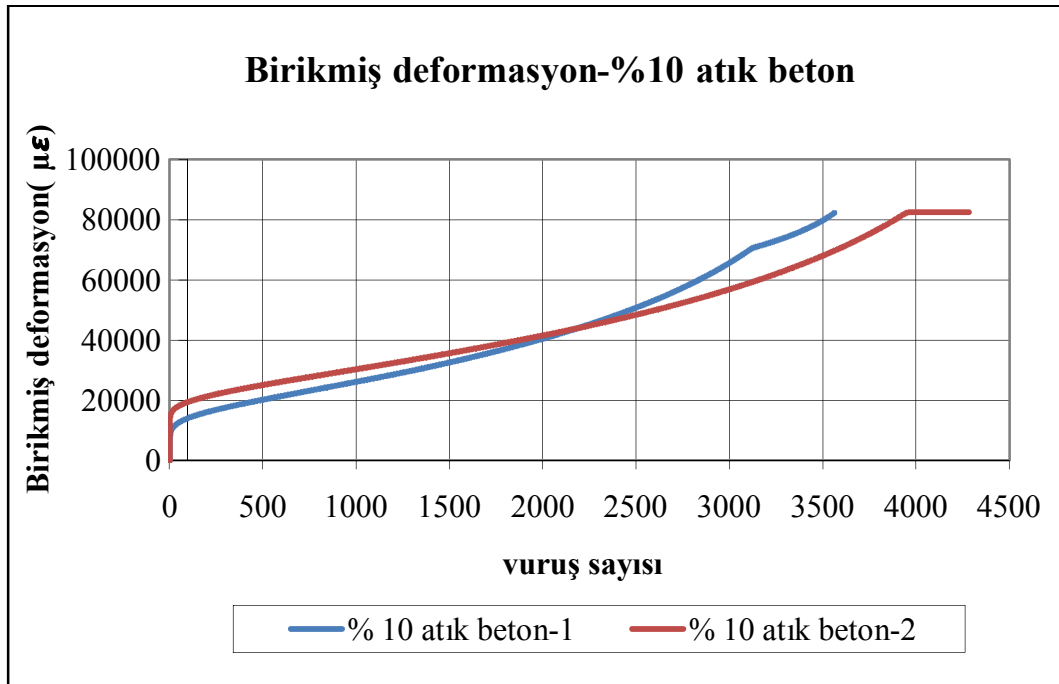


Şekil 6.57. Dinamik sünme modülü-vuruş sayısı grafiği (Tüm atık oranlarına ait ortalamalar)

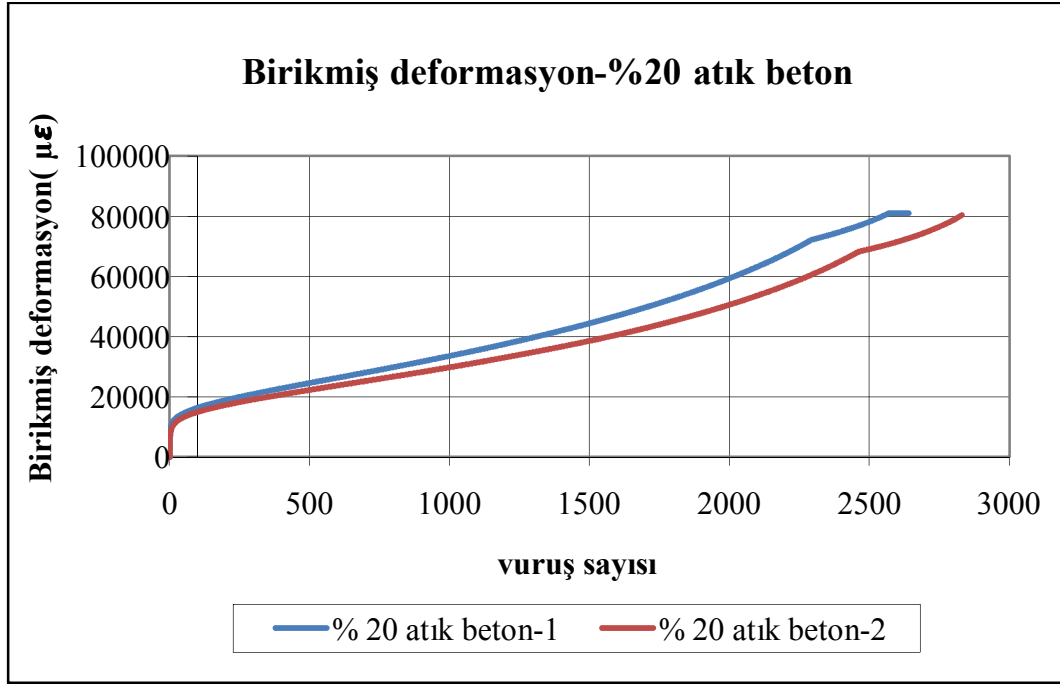
Şekil 6.57. de verilmiş olan dinamik sünme modülü- vuruş sayısı grafiğinde, % 40 atık katkılı numune haricindeki tüm numunelerin sünme değerleri birbirine yakın çıkmıştır. Kontrol numunesi dinamik sünme modülü 15.34 MPa, % 10 atık katkılı numunenin sünme modülü ise 14.67 MPa çıkmıştır. Bu iki numuneyi 13.37 MPa ve 12.12 MPa'lık değerlerle % 20 ve % 30 atık katkılı numuneler izlemiştir. % 40 atık katkılı numune, kontrol numunesinin neredeyse yarısı kadar bir sünme modülü değerine ulaşabilmiştir. Genel olarak çıkan rakamları değerlendirecek olursak, sürekli tekrar eden trafik yükleri altındaki asfalt betonunda, % 10 veya % 20 oranında atık beton kullanmanın kalıcı deformasyon direncini çok fazla düşürmeyeceğini söyleyebiliriz.



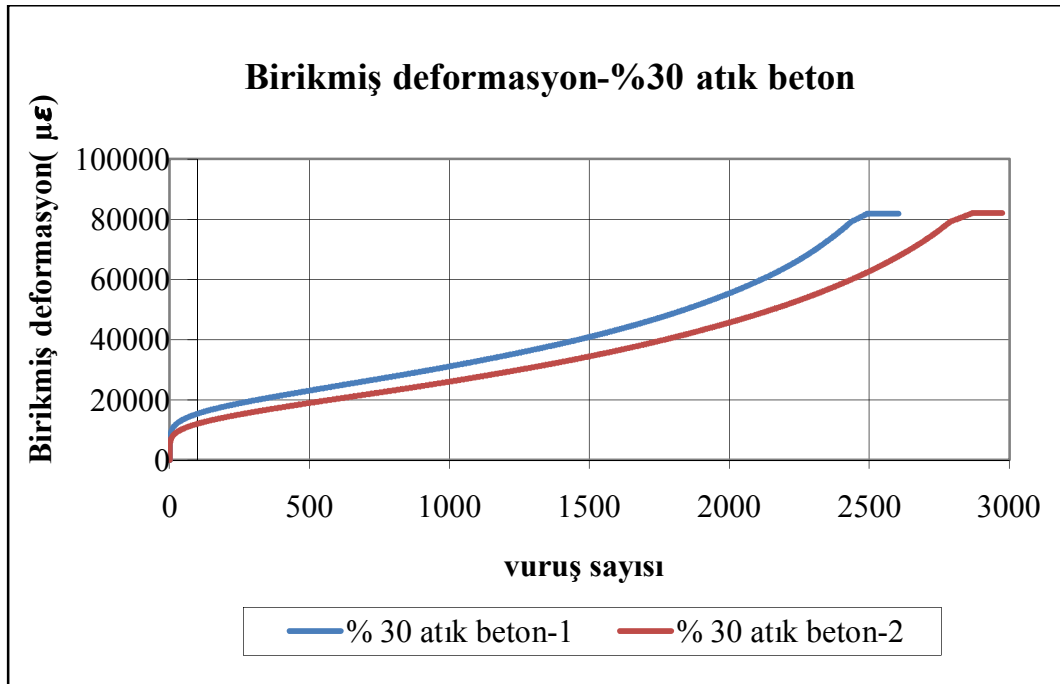
Şekil 6.58. Birikmiş deformasyon-vuruş sayısı grafiği (kontrol numunesi)



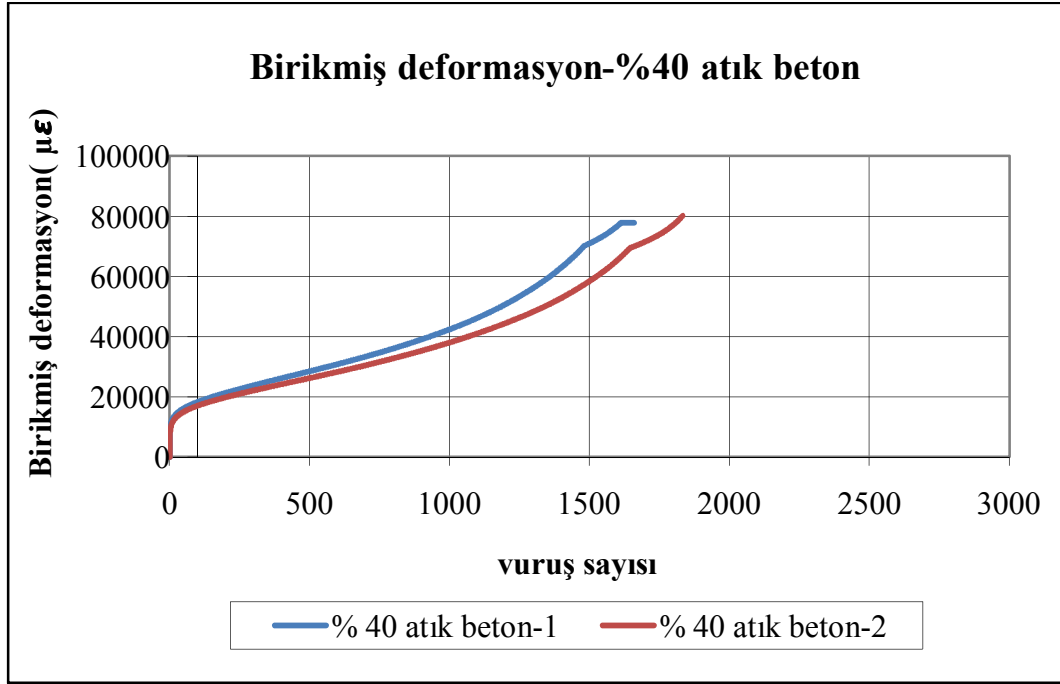
Şekil 6.59. Birikmiş deformasyon-vuruş sayısı grafiği (% 10 beton katkı)



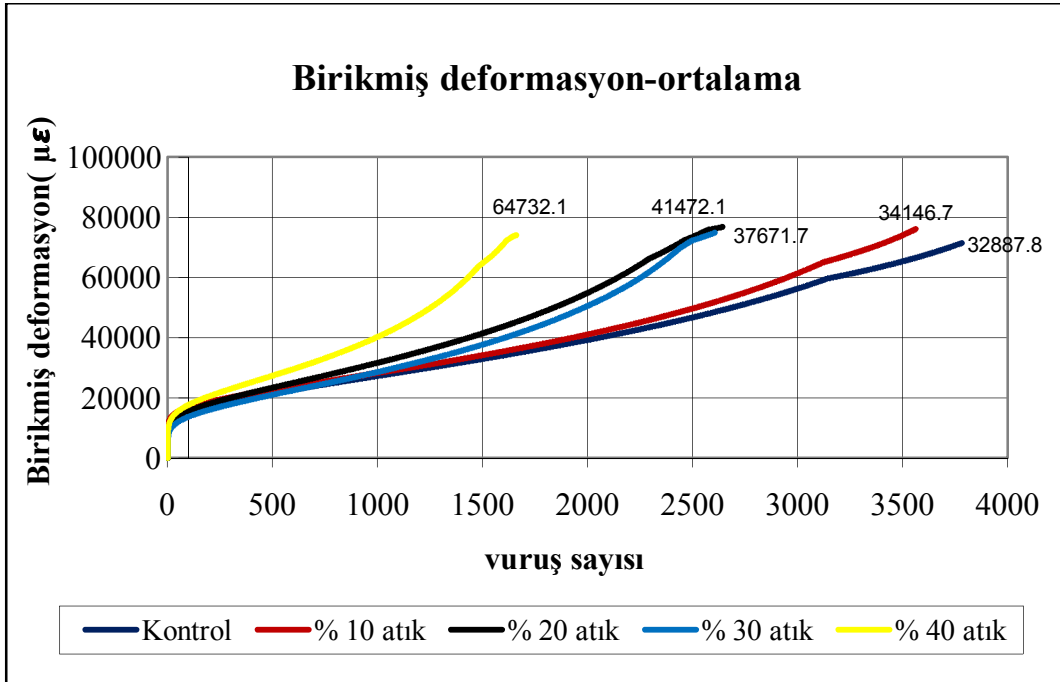
Şekil 6.60. Birikmiş deformasyon-vuruş sayısı grafiği (% 20 beton katkılı)



Şekil 6.61. Birikmiş deformasyon-vuruş sayısı grafiği (% 30 beton katkılı)



Şekil 6.62. Birikmiş deformasyon-vuruş sayısı grafiği (% 40 beton katkılı)



Şekil 6.63. Birikmiş deformasyon-vuruş sayısı grafiği (Tüm atık oranlarına ait ortalamalar)

Son olarak dinamik sünme testine ait olan birikmiş deformasyonun, vuruş sayısına bağlı grafiğini incelersek, deformasyon değerlerinin dinamik sünme değerleri ile tamamen paralel çıktığını görürüz. Şekil 6.63. te, en fazla deformasyona uğrayan numunenin 64732.1 $\mu\epsilon$ değerle % 40 katkılı numune olduğu görülmektedir. Kontrol numunesi 32887.8 $\mu\epsilon$ ' luk değerle % 40 katkılı numunenin yarısı kadar bir deformasyon yapmış ve en az deformasyona uğrayan numune olmuştur. % 10, % 20 ve % 30 atık katkılı numuneler sırasıyla, 34146.7 $\mu\epsilon$, 41472.1 $\mu\epsilon$ ve 37671.7 $\mu\epsilon$ ' luk deformasyon değerlerine ulaşmışlardır. Çıkan bu sonuçlara göre, kontrol numunesi ile bazı numunelerin yapmış oldukları deformasyon miktarları arasında fazla bir fark olmadığı görülmektedir.

Yapılan bütün bu sünme test sonuçları, Marshall test sonuçlarında olduğu gibi bizlere asfalt betonu içerisine atık maddeleri katmanın asfaltın direncini büyük ölçülerde düşürmediğini, bu yollarla üretilecek olan asfalt betonlarının, birçok alanda kullanılabileceğini göstermiştir.

BÖLÜM 7

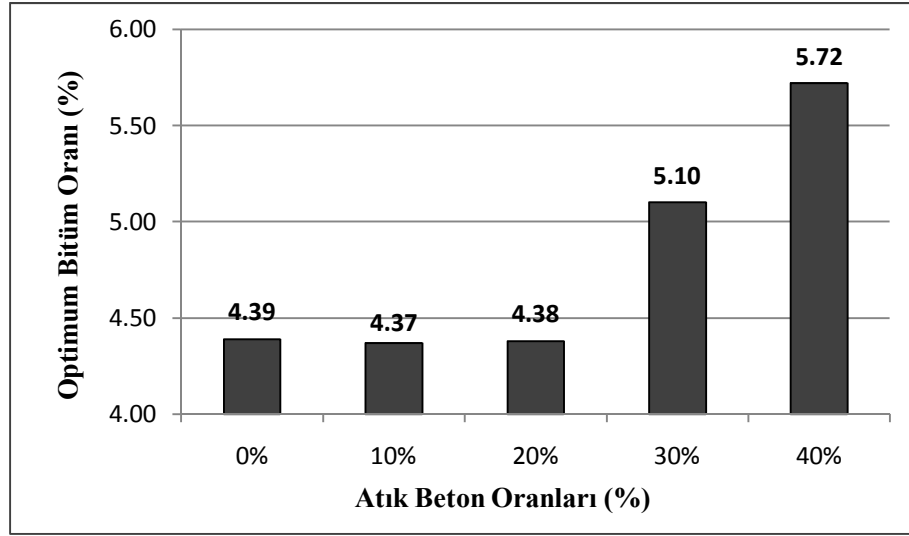
SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Atık betonun asfalt betonu üzerindeki etkilerini araştırmak amacıyla yapılan bu çalışmada, atık betonlardan elde edilen agregalar, normal agregayla belli oranlarda karıştırılarak numuneler hazırlanmış ve bu numuneler üzerinde birtakım testler uygulanmıştır. Bu testler atık beton agregasının, asfalt betonu içerisinde agrega görevini ne derece üstlenebileceğini göstermiştir.

Yapılan deneylere göre, atık betonun kırılmasıyla elde edilen agregaların özgül ağırlığı, normal agreganın özgül ağırlığına oranla daha düşük çıkmıştır. Bunun nedeni betonun boşluklu yapıya sahip olmasıdır. Buna bağlı olarak asfalt numunelerin içinde kullanılan atık beton miktarı arttıkça, numunelerin özgül ağırlıklarında azalma (Şekil 7.2.), boşluk miktarlarında artış gözlemlenmiştir (Şekil 7.4.). Atık miktarı arttıkça numunelerin Marshall dayanımlarında azalma meydana gelmiştir (Şekil 7.3.). Deney sonunda elde edilen toplu sonuçlar aşağıda verilmiştir. Bütün bu sonuçlar maddeler halinde yazılacak olursa;

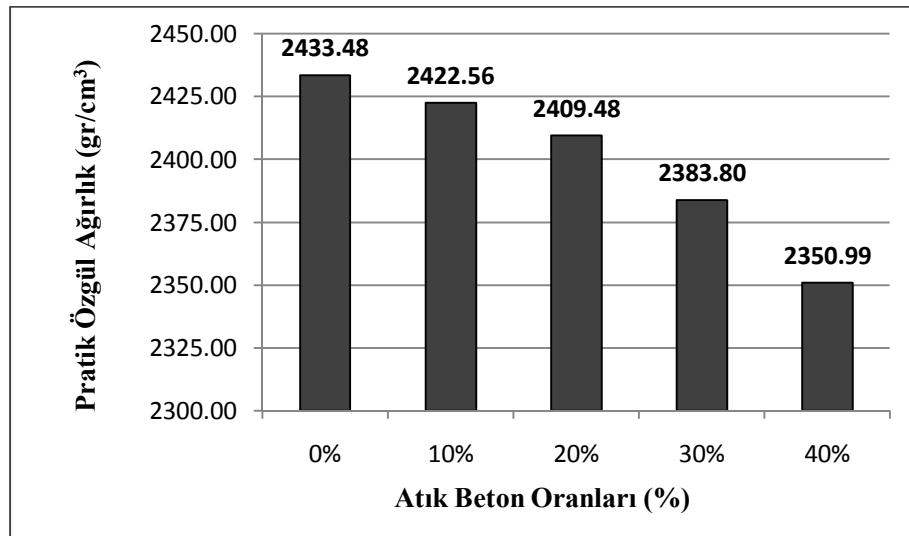
- Numune içerisindeki atık miktarı arttıkça, pratik özgül ağırlık azalmakta
- Atık miktarı arttıkça, boşluk oranı artmakta
- Atık miktarı arttıkça, bitümlü dolu boşluk oranı azalmakta,
- Atık miktarı arttıkça, Marshall dayanımı azalmaktadır.

Numunelerin, içerdikleri atık miktarlarına göre değişim gösteren özelliklerinin grafikleri aşağıda verilmiştir.



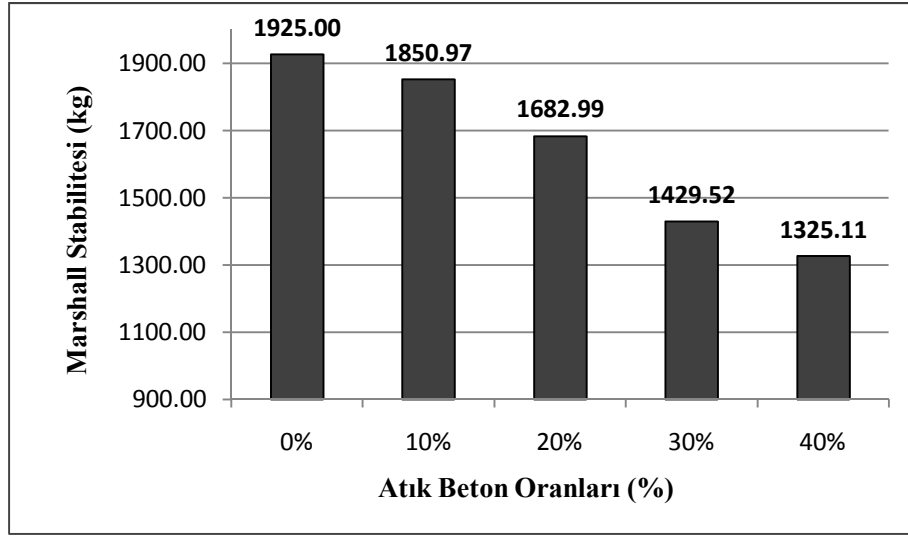
Şekil 7.1. Optimum bitüm oranı - atık oranı değişimi

Şekil 7.1. de atık miktarı arttıkça, numunenin içerdiği optimum bitüm oranının da arttığı görülmektedir.



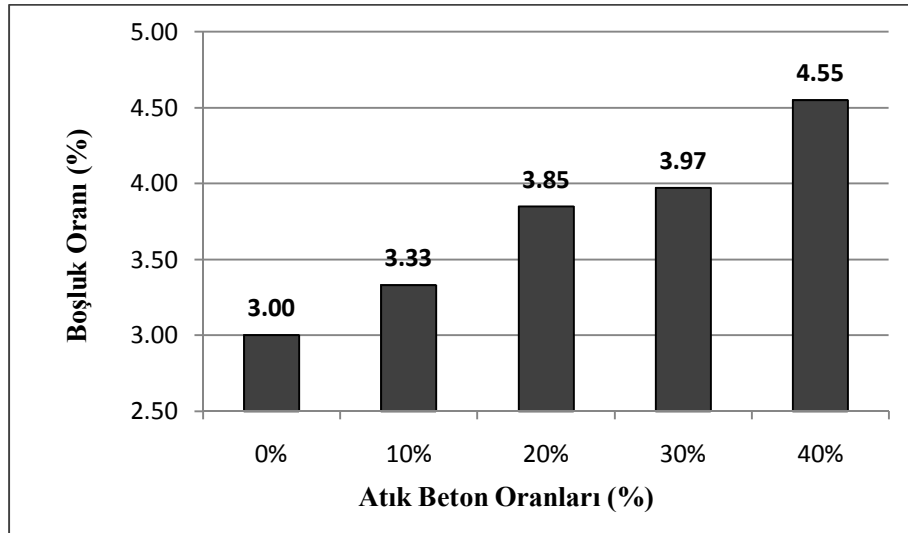
Şekil 7.2. Pratik özgül ağırlık - atık oranı değişimi

Şekil 7.2. de atık miktarı arttıkça, numunelerin pratik özgül ağırlıklarında bir azalma gözlemlenmiştir.



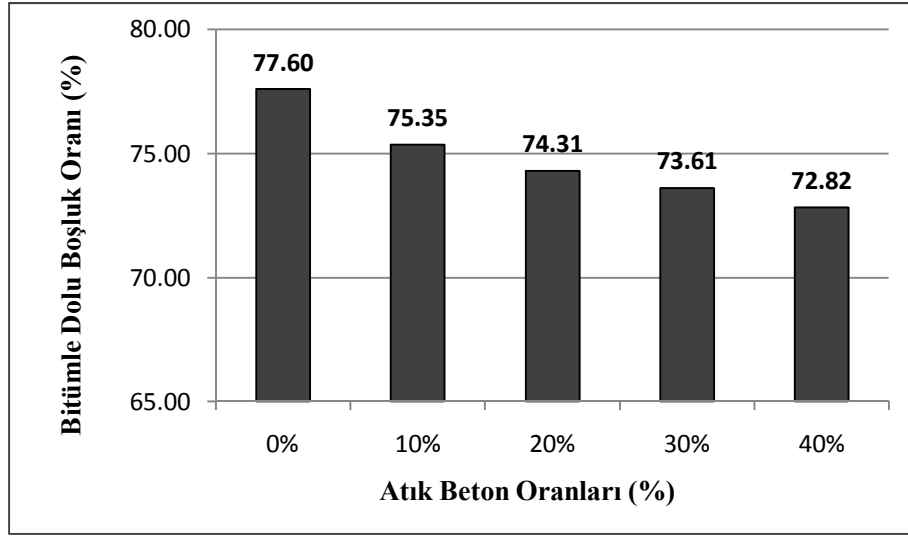
Şekil 7.3. Marshall stabilitesi - atık oranı değişimi

Şekil 7.3. te atık miktarı arttıkça, numunelerin Marshall dayanımlarında bir azalma olduğu görülmektedir.



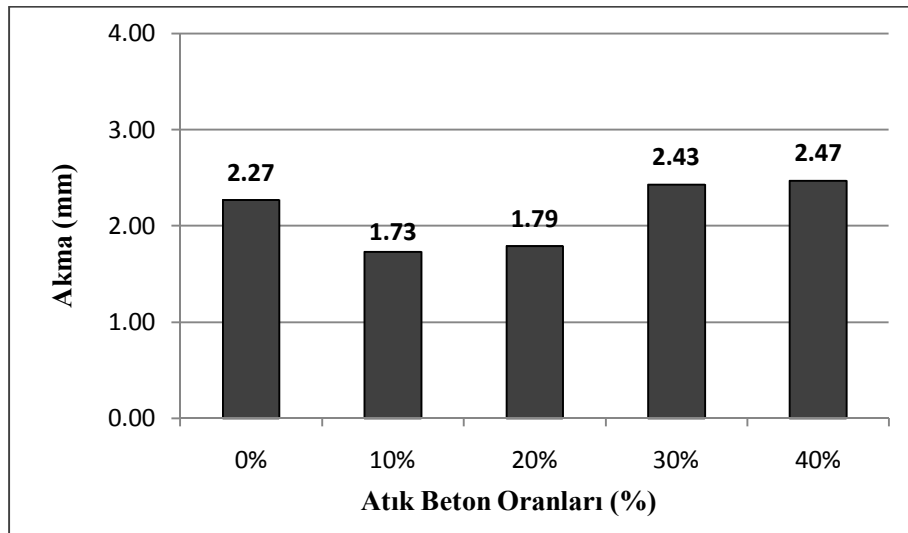
Şekil 7.4. Boşluk oranı - atık oranı değişimi

Şekil 7.4. te atık miktarı arttıkça, numunelerin içerisindeki boşluk oranları da artmaktadır.



Şekil 7.5. Bitümle dolu boşluk oranı - atık oranı değişimi

Şekil 7.5. te atık miktarı arttıkça, numunelerin bitümle dolu boşluk oranlarının azaldığı görülmüştür.



Şekil 7.6. Akma - atık oranı değişimi

Şekil 7.6. da atık miktarı arttıkça, kontrol numunesi dışındaki numunelerin akma miktarlarında bir artış gözlemlenmiştir.

Atık betonların geri dönüşümü konusunda yapılmış diğer çalışmalarda da, bu tezde elde ettiğimiz değerlere paralel sonuçlar bulunmuştur. Yapılan tüm bu çalışmalarda, atık beton katkılı numunelerin Marshall dayanımlarında normal numuneye nazaran bir azalma gözlemlenmiştir. Örneğin; Topçu ve Şengel, C16 sınıfındaki atık betonla imal ettikleri %30 katkılı karışımla C14 sınıfında beton elde etmişlerdir. Burada da, karışıma atık katılmasının karışımın dayanımını belli ölçülerde düşürdüğü görülmektedir. Yine tüm çalışmalarda gözlemlenen, atık betonunun gözenekli yapıya sahip olması, katkılı numunelerin kontrol numunelerine kıyasla daha düşük bir özgül ağırlığa sahip olmalarının nedenini gözler önüne sermektedir. Atık katkılı numunelerin, normal numunelere göre boşluk oranlarının daha fazla olmasının nedeni de betondaki bu boşluklu yapıya bağlanabilir. Atık miktarı arttıkça, numunelerin daha fazla bitüm ihtiva etmeleri de, diğer çalışmalar tarafından yine boşluk miktarının giderek artmasına bağlanmıştır.

Bu tezin konusunu ele alan diğer çalışmaların hemen hemen hepsinde, sünme modülü sonuçları birbirine benzer çıkmıştır. Atık miktarının artması sünme ve dinamik modül değerlerinde azalmaya, deformasyon miktarlarında da artışa neden olmuştur. Bu çalışmada bulduğumuz sünme değerlerini, yapılan diğer çalışmaların sonuçlarıyla karşılaştırdığımızda, genel olarak pek bir fark olmadığı ortaya çıkmıştır. Ancak deneye tabi tutulan numune sayısının yeterli olmaması, diğer çalışmalara göre bizim çalışmamızın eksiği olarak görülebilir. Numune sayısını arttırmak ve karışım içerisinde farklı yüzdelerde atık kullanmak, daha hassas sonuçlar elde etmemize ve bu konu üzerinde daha net yorumlar yapmamıza fayda sağlayabilir.

Gerek Marshall testi olsun gerek sünme deneyleri olsun, çıkan bazı sonuçların istenilen sınırlar dahilinde olmamasına rağmen, atık beton katkılı asfaltın göstermiş olduğu dayanımın, bu tarz katkılı betonların kullanılabilmesi için yeterli olduğunu söylemek mümkündür. Buna bağlı olarak içerisinde atık beton agregası bulunan asfalt kaplamaların, yüksek hizmet kapasitesine sahip yollar yerine daha düşük hizmet kapasitesine sahip yollarda kullanılmasında bir sakınca olmadığına kanaat getirilmiştir.

Günümüzde asfaltın sadece taşıt trafiğine maruz kalan yollarda değil, yaya trafiğinin işlediği kaldırım ve yürüyüş yolları gibi yapılarda da kullanıldığını görmekteyiz. Asfaltın serilme işleminden sonra, üzerine hasır demir bastırılarak, döşenmiş taş görünümü verilmesi yoluyla yapılan bu tarz uygulamalarda doğal agregaya yerine atık beton agregasını kullanmanın herhangi bir sakıncası olacağı düşünülmemektedir. Görüldüğü üzere asfalt, kullanım alanı oldukça geniş bir malzeme olması ve büyük miktarda agregaya içermesi sebebiyle, agregaya geri dönüşümü konusunda önemli bir yere sahiptir.



Şekil 7.7. Renkli ve desenli asfalt uygulamaları

Asfaltın tüm dünyada en yaygın yol malzemesi olarak kullanılması agregaların önemini daha da arttırmaktadır. Bu bakımdan kullanılan agregaların yerini alabilecek bir malzeme belirlemek asfalt yolların geleceği için en akıllıca şey olacaktır. Buda zaten daha önceden içinde taze agregaya barındıran atık betonu bu iş için kullanılabilir kılmaktadır. Ayrıca agregaya kullanımının sadece asfalt yollarla sınırlı olmadığı herkes tarafından bilinmektedir. Ülkemizin deprem bölgesi olması ve birçok binanın hizmet ömrünü tamamlayarak yıkılıp yeniden inşa ediliyor olması, yapıların temel malzemesi konumundaki betona büyük ihtiyaç duyulduğunu gözler önüne sermektedir. Avrupa da yapılan bir araştırma sonucu, geçmişte inşa edilen pek çok yapının içinde asbest barındırdığı, bunun da insan sağlığı açısından zararlı olduğu gözler önüne serilmiştir. Durum böyle olunca pek çok yapının ya tadilatı yada yıkılıp tekrar yapılması gündeme

gelmiştir. Bütün bu süreçler için beton malzemesine her zaman ihtiyaç duyulacaktır. Bizlere düşen bu doğrultuda kullanılacak olan doğal kaynakların harcanışını en aza indirmek ve eldeki atık kaynakları kullanmaktır.

Yıkılan yapıların ortaya çıkardığı beton atıklarının da ne yapılacağı her zaman tartışma konusu olmuştur. Bu atıkların toplatılıp kullanılabilmesi için, bazı işlemlerden geçmesi gerektiği bilinen bir gerçektir. Bu da üretimde ek bir maliyet artışına neden olacaktır. Ancak bu atıkların geri dönüşümü, hem büyük ölçüde çevresel kirlenmenin önüne geçecek, hem de kapladığı döküm alanlarını boşa çıkartacaktır. Bununla birlikte, hali hazırda dünya üzerinde giderek azalmış olan mevcut doğal agrega kaynaklarının azalmasının önüne geçilecektir. Bütün bu sebepler atık geri dönüşümünün insanlık için ne derece önemli bir konu olduğunu vurgulamaktadır.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Abtahi, S.M., Sheikhzade, M. and Hejazi, S.M., 2010, Fiber-reinforced asphalt-concrete – A review, Science Direct, Construction and Building Materials 24, 871-877.
- Ahmedzade, P. ve Şengöz, B., 2009, Evaluation of steel slag coarse aggregate in hot mix asphalt concrete, Science Direct, Journal of Hazardous Materials 165, 300-305.
- Akbulut, H. ve Gürer, C., 2007, Use of aggregates produced from marble quarry waste in asphalt pavements, Science Direct, Building and Environment 42, 1921-1930.
- Akoğuz, E., Köylüoğlu, O.S. ve Arıoğlu, N., 1996, Dünyada geri kazanılmış agrega üretim ve politikalarının gözden geçirilmesi ve ülkemiz açısından irdelenmesi, 1. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, 33-52.
- Beale, J.M. and You, Z., 2010, The mechanical properties of asphalt mixtures with Recycled Concrete Aggregates, Science Direct, Construction and Building Materials 24, 230-235.
- Bekoe, P. A., 2009, Concrete Containing Recycled Concrete Aggregate For Us In Concrete Pavement, University Of Florida, 105 p.
- Cao, W., 2007, Study on properties of recycled tire rubber modified asphalt mixtures using dry process, Science Direct, Construction and Building Materials 21, 1011-1015.
- Chiu, C.T. and Lu, L.C., 2007, A laboratory study on stone matrix asphalt using ground tire rubber, Science Direct, Construction and Building Materials 21, 1027-1033.
- Çağlar, G. A., 2007, Endüstriyel Atık Malzemelerin Karayollarında Kullanımı, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 115 s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- 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, Science Direct, Waste Management 28, 191-199.
- Durmuş, G., Can, Ö. Ve Şimşek, O., 2009, Geri Dönüşüm Agregalarından Üretilen Farklı Sınıflardaki Betonun Mühendislik Özelliklerinin Belirlenmesi, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, 1-4.
- Erdin, E., Alten, A. ve Tunalı, T., İnşaat atıklarının değerlendirilmesi, 20 s.
- Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, 2008, Karayolu Ders Notları, Eskişehir.
- Hassan, H.F., 2005, Recycling of municipal solid waste incinerator ash in hot-mix asphalt concrete, Science Direct, Construction and Building Materials 19, 91-98.
- Hımslıoğlu, S. ve Ağar, E., 2004, Use of waste high density polyethylene as bitumen modifier in asphalt concrete mix, Science Direct, Materials Letters 58, 267-271.
- Huang, B., Shu, X. and Li, G., 2005, Laboratory investigation of portland cement concrete containing recycled asphalt pavements, Science Direct, Cement and Concrete Research 35, 2008-2013.
- Huang, Y., Bird, R.N. and Heidrich, O., 2007, A review of the use of recycled solid waste materials in asphalt pavements, Science Direct, Resources, Conservation and Recycling 52, 58-73.
- Huang, B., Dong, Q. and Burdette, E.G., 2009, Laboratory evaluation of incorporating waste ceramic materials into Portland cement and asphaltic concrete, Science Direct, Construction and Building Materials 23, 3451-3456.
- Karavaşin, M. ve Terzi, S., 2007, Evaluation of marble waste dust in the mixture of asphaltic concrete, Science Direct, Construction and Building Materials 21, 616-620.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Köken, A. ve Köroğlu, M. A., 2008, Atık betonların beton agregası olarak kullanılabilirliği, *Journal of Technical-Online*, Volume 7, Number: 1
- Li, G., Stubblefield, M.A., Garrick, G., Eggers, J., Abadie, C. and Huang, B., 2004, Development of waste tire modified concrete, *Science Direct, Cement and Concrete Research* 34, 2283-2289.
- Navarro, F.J., Partal, P., Boza-Martinez, F. and Gallegos, C., 2004, Thermo-rheological behaviour and storage stability of ground tire rubber-modified bitumens, *Science Direct, Fuel* 83, 2041-2049.
- Oikonomou, N.D., 2005, "Recycled concrete aggregates". *Cement & Concrete Composites*, 27, 315-318.
- Özen, H., 2005, Ulaştırma Laboratuvar Deneylemleri, Yıldız Teknik üniversitesi İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, 65 s.
- Paranavithana, S. and Mohajerani, A., 2006, Effects of recycled concrete aggregates on properties of asphalt concrete, *Science Direct, Resources, Conservation and Recycling* 48, 1-12.
- Rao, A., Jha, K.N. and Misra, S., 2007, Use of aggregates from recycled construction and demolition waste in concrete, *Science Direct, Resources, Conservation and Recycling* 50, 71-81.
- Shen, D. and Du, J., 2005, Application of Gray Relational Analysis to Evaluate HMA with Reclaimed Building Materials, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 400-406.
- Siddique, R. and Naik, T.R., 2004, Properties of concrete containing scrap-tire rubber – an overview, *Science Direct, Waste Management* 24, 563-569.
- Siddique, R., Khatip, J. and Kaur, I., 2007, Use of recycled plastic in concrete: A review, *Science Direct, Waste Management* xx, 1-18.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Su, N. and Chen, J.S., 2002, Engineering properties of asphalt concrete made with recycled glass, Science Direct, Resources, Conservation and Recycling 35, 259-274.
- Sukontasukkul, P. and Chaikaew, C., 2006, Properties of concrete pedestrian block mixed with crumb rubber, Science Direct, Construction and Building Materials 20, 450-457.
- Şengöz, B. ve Topal, A., 2005, Use of asphalt roofing shingle waste in HMA, Science Direct, Construction and Building Materials 19, 337-346.
- Tam, V.W.Y. and Tam, C.M., 2006, A review on the viable technology for construction waste recycling, Science Direct, Resources, Conservation and Recycling 48, 209-221.
- TCK, “Karayolu Teknik Şartnamesi”, Ankara, 2006.
- T.C. Çevre bakanlığı, 2005, “Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği”, 16 s.
- Tiwari, W., Shukla, A. and Bose, A., 2004, Acoustic properties of cenosphere reinforced cement and asphalt concrete, Science Direct, Applied Acoustics 65, 263-275.
- Topçu, İ.B. ve Canbaz, M., 2004, Properties of concrete containing waste glass, Science Direct, Cement and Concrete Research 34, 267-274.
- Topçu, İ.B. ve Şengel, S., 2004, Properties of concretes produced with waste concrete aggregate, Science Direct, Cement and Concrete Research 34, 1307-1312.
- Tunç, A., 2004, Kaplama Mühendisliği ve Uygulamaları, Asil Yayın Dağıtım Ltd. Şti., 546 s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Turanlı, L., 1998, Atık betonların yeni betonda kaba agrega olarak kullanılması, Hazır Beton, 61-66.
- Yıldırım, B., Kuloğlu, N. ve Akyiğit, M., 1993, Ergani Bakır İşletmeleri Cürufunun Bitümlü Sıcak Karışımda Agrega Olarak Kullanılması, İMO Teknik Dergi, Yazı 48, 619-630.
- Yüceer, A., 1991, Polimerlerin asfalt betonunda kullanılması ve atık plastiklerin değerlendirilmesi, İMO Teknik Dergi, 227-234 Yazı 18.
- Wong, Y.D., Sun, D.D. and Lai, D., 2007, Value-added utilisation of recycled concrete in hot-mix asphalt, Science Direct, Waste Management 27, 294-301.
- Xiao, F., Zhao, P.E.W. and Amirkhanian, S.N., 2009, Fatigue behavior of rubberized asphalt concrete mixtures containing warm asphalt additives, Science Direct, Construction and Building Materials 19, 3144-3151.
- Xue, Y., Wu, S., Hou, H. and Zha, J., 2006, Experimental investigation of basic oxygen furnace slag used as aggregate in asphalt mixture, Science Direct, Journal of Hazardous Materials B138, 261-268.