

Esnek Üst Yapılarda Tuğla Kırığı Atıkları Kullanımının Deneysel Olarak İrdelenmesi

Bekir Çakar

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran 2009

Experimental Research Of Using Waste Brick In Flexible Highway Pavements

Bekir Çakar

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Civil Engineering

June 2009

Esnek Üst Yapılarda Tuğla Kırığı Atıkları Kullanımının Deneysel Olarak İrdelenmesi

Bekir Çakar

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 2009

ONAY

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Bekir Çakar'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “Esnek Üst Yapılarda Tuğla Kırığı Atıkları Kullanımının Deneysel Olarak İrdelenmesi” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin 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 Bilgiç

Üye : Yrd. Doç. Dr. Mehmet Canbaz

Üye : Yrd. Doç. Dr. Polat Yalınız

Üye : Yrd. Doç. Dr. Yaşar Vitoşoğlu

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

Prof. Dr. Nimetullah BURNAK

Enstitü Müdürü

ÖZET

Günümüzde dünya genelinde çeşitli endüstriyel işlemler sonucu atık malzemeler ortaya çıkmaktadır. Atık malzemelerin miktarında olan artmalar sonucunda birçok ülkede bu atıkların nasıl kullanılabileceği üzerine araştırmalar yapılmaktadır. Atık malzemelerini, ana malzemelerin miktarında azaltma yapılarak ana malzemelerin yerine kullanımıyla çevreye verilen zarar en aza indirilmeye çalışılmaktadır. Böylece doğal kaynaklar daha iyi kullanılmış olacak ve atık malzemelerin kullanımıyla çevre kirliliği azalacaktır.

Türkiye’ de tuğla ve kiremit üretimi endüstride önemli bir yere sahiptir. Üç odalı bir apartman dairesinde kullanılan tuğla miktarı yaklaşık olarak 3000 adet olduğu düşünülürse, üretilecek tuğla miktarı ve ortaya çıkacak atık malzeme miktarı düşünülür. Ortaya çıkan tuğla atıkları öğütülerek spor alanlarına serilmesiyle kullanılmaktadır. Ancak bu işlem çok az atık miktarını kapsamaktadır. Türkiye’ de yılda yaklaşık 75 milyar tuğla ve 700 milyon kiremit üretimi gerçekleştirilmektedir. Yaklaşık olarak tuğla kiremit üretiminin % 7’ sinin atık malzeme olarak ortaya çıktığı kabul edilmektedir. Ortaya çıkan atık malzemeleri koyacak büyük depo alanları gerekmektedir. Tuğla ve kiremit atıklarının kullanılmasıyla çevresel ve ekonomik faydalar sağlanacaktır.

Bu çalışmada atık tuğla kırıkları, asfaltın binder tabakasında kullanılan agrega ağırlığının % 25 ve % 50 oranında kullanılmış ve deneysel araştırmalar yapılmıştır. Kullanılan tuğla kırığı atıklarının boyutları 0-4, 4-8, 8-16 mm’ dir. Optimum bitüm miktarı tayini için % 3.5, 4, 4.5, 5, 5.5, 6, 6.5, oranlarında bitüm kullanılmıştır, her oran için 3 adet numune hazırlanmıştır. Kullanılan bitümün penetrasyonu AC 50-70’ tir. Karışım sıcaklığı 165 derecedir. Numunelere Marshall testi ve sünme testleri uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre tuğla kırığı deformasyonu azaltmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Tuğla kırıkları, Bitüm, Agrega, Marshall testi, Sünme testi.

SUMMARY

In recent years, numerous waste materials result from manufacturing operations, service industries and households in the world. The rising of waste materials that many countries have still made researching how to reuse waste materials so that they give fewer hazard to the environment. Waste can be used as admixtures. Therefore natural sources are used more efficiently and the environment is protected from waste deposits.

In Turkey, the producing brick has very important place in industry. Approximately 300 bricks used for an apartment flat, which has three rooms. So that, while building an apartment flat waste brick materials appear. Apart of waste brick is used on sport area, sprawling them on to a sport area's surface. In a year 75 billiards bricks and 700 millions tiles produce in Turkey. Approximately 7 % of them appear waste materials. Reusing waste materials has many economical and environmental advantages.

In this study waste brick is used as an admixture for asphalt concrete replace of by the weight of using aggregates. It is grind into smaller pieces 0-4, 4-8, 8-16mm sieve size. The using waste brick is % 25 and % 50 of by the weight of using aggregates. For every bitumen ratio, 3 sample prepared. Bitumen ratio is used %3.5, 4, 4.5, 5, 5.5, 6, 6.5 until to find the optimum bitumen ratio for the using aggregates. The temperature of mixture is 165 celcius and penetration of bitumen is AC 50-70. Laboratory tests applied to control and admixed samples. The test results are shown in the following parts.

Keywords: Brick, Bitumen, Aggregates, Marshall Stability Test, Rutting Test, Reusing Materials.

TEŞEKKÜR

Labaratuar çalışmalarında, gerek derslerimde ve gerekse tez çalışmalarında, bana danışmanlık ederek, beni yönlendiren ve her türlü olanağı sağlayan danışmanım Yrd. Doç. Dr. Murat Karacasu' ya en içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜRLER	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xv
 1. GİRİŞ VE AMAÇ.....	 1
 2. ÇEŞİTLİ ATIK MALZEMELERİN YENİDEN KULLANIMI İÇİN YAPILAN DENEYLER.	 4
 3. AGREGALAR.....	 9
3.1. Agregat ve Özellikleri	9
3.1.1. Agregat çeşitleri ve özellikleri hakkında temel tanımlar	9
3.1.2. İdeal Agregat Standartları.....	10
3.1.3. Ağır Agregatlar.....	12
3.1.3.1. Kumlar ve Çakıllar.....	12
3.1.3.2. Kırma Taşlar	13
3.1.3.3. Granüle Yüksek Fırın Cürufu.....	13
3.1.3.4. Moloz ve Horasan.....	14
3.1.3.5. Yüksek Sıcaklığa Dayanıklı Agregatlar.....	14
3.1.4. Hafif Agregatlar	14
3.1.5. Agregatlarda aranan en önemli özellikler	16
3.1.6. Agregatların Fiziksel Özellikleri.....	16
3.1.6.1. Agregatların Birim, Özgül Ağırlığı ve Sıkışabilirliği	18
3.1.7. Agregatların Mekanik Özellikleri	19
3.1.7.1. Agregatların Dane Dayanımı.....	19
3.1.7.2. Agregatların Aşınma Dayanımı	19
3.1.7.3. Agregatlarda Dona Dayanıklılık.....	20

3.2. Agrega Deneyleri	20
3.2.1. Elek Analizi.....	20
3.2.1.1. Kapsam.....	20
3.2.1.2. Aletler.....	20
3.2.1.3. Deneyin Yapılışı	22
3.2.2. Los Angeles Aşınma Kaybı Deneyi	24
3.2.2.1. Kapsam.....	24
3.2.2.2. Aletler.....	24
3.2.2.3. Deneyin Yapılışı	25
3.2.2.4. Sonuç.....	26
3.2.3. Donmaya ve Çözölmeye Karşı Direncin Tayini	27
3.2.3.1. Kapsam.....	27
3.2.3.2. Aletler.....	27
3.2.3.3. Deneyin Yapılışı	27
3.2.4. İnce Agreganın Özgöl Ağırlığı ve Su emme oranı Tayini.....	29
3.2.4.1. Kapsam.....	29
3.2.4.2. Aletler.....	30
3.2.4.3. Deneyin Yapılışı	30
3.2.4.4. Hesaplama	31
3.2.5. İri Agreganın Özgöl Ağırlığı ve Su emme oranı Tayini.....	32
3.2.5.1. Kapsam.....	32
3.2.5.2. Aletler.....	32
3.2.5.3. Deneyin Yapılışı	33
3.2.5.4. Hesaplama	33
3.2.6. Dane Şekli Tayini- Yassılık Endeksi Yöntemi	34
3.2.6.1. Kapsam.....	34
3.2.6.2. Aletler.....	34
3.2.6.3. Deneyin Yapılışı	34
3.2.6.4. Hesaplama	35
3.2.7. Cilanlama Deneyi	37
3.2.7.1. Kapsam.....	37
3.2.7.2. Aletler.....	37

3.2.7.3. Deneyin Yapılışı	38
3.2.7.4. Hesaplama	39
3.2.8. Agregalarda Organik Madde Tayini.....	40
3.2.8.1. Kapsam.....	40
3.2.8.2. Aletler.....	40
3.2.8.3. Deneyin Yapılışı	40
3.2.8.4. Sonuç.....	41
3.2.9. Mikron Elekten Geçen İnce Malzeme Tayini	41
3.2.9.1. Kapsam.....	41
3.2.9.2. Aletler.....	42
3.2.9.3. Deneyin Yapılışı	42
3.2.9.4. Hesaplama	42
4. ASFALT ve BİTÜM	44
4.1. Bitüm.....	45
4.1.1. Asfalt Çimentoları	46
4.1.2. Sıvı Petrol Asfaltları	46
4.1.3. Asfalt Emülsiyonları.....	47
4.1.4. Katran	49
4.2. Bitüm Deneyleri.....	49
4.2.1. Penetrasyon Deneyi	49
4.2.1.1. Kapsam.....	50
4.2.1.2. Aletler.....	50
4.2.1.3. Deneyin Yapılışı	51
4.2.1.4. Sonuç.....	52
4.2.2. Yumuşama Noktası Deneyi	52
4.2.2.1. Kapsam.....	53
4.2.2.2. Aletler.....	53
4.2.2.3. Deneyin Yapılışı	54
4.2.3. İnce Film Halinde Isıtma Kaybı Deneyi	55
4.2.3.1. Kapsam.....	55
4.2.3.2. Aletler.....	55

4.2.3.3. Deneyin Yapılışı	56
4.2.3.4. Sonuç.....	56
4.2.4. Parlama Noktası Deneyi	57
4.2.4.1. Kapsam.....	57
4.2.4.2. Aletler.....	58
4.2.4.3. Deneyin Yapılışı	58
4.2.4.4. Sonuç.....	58
4.2.5. Viskozite Deneyi	59
4.2.5.1. Kapsam.....	59
4.2.6.. Kinematik Viskozite Deneyi.....	61
4.2.7. Saybold Viskozite Deneyi.....	63
4.2.8. Düktilite Deneyi	65
4.2.8.1. Kapsam.....	65
4.2.8.2. Aletler.....	67
4.2.8.3. Deneyin Yapılışı	67
4.2.8.4. Sonuç.....	68
4.2.9. Özgül Ağırlık Deneyi	69
4.2.9.1. Hidrometre yöntemi	69
4.2.9.2. Piknometre yöntemi	70
5. MARSHALL DENEYİ.....	72
5.1. Deneyin amacı	72
5.1.1. Aletler	72
5.1.2. Marshall Deneyinin Yapılışı.....	77
5.3. Bitümlü sıcak karışımlar	78
5.4. Asfalt betonunun sahip olması gereken özellikler.....	79
5.5. Karışımın tasarımı.....	80
5.6. Karışım İçindeki Bitüm Miktarının Tayini	80
5.6.1. Ekstraksiyon Deneyi.....	81
6. KULLANILAN MALZEMELERE UYGULANAN DENEYLERİN SONUÇLARI.....	83

6.1. Agregalar	83
6.2. Atık Tuğlalar.....	84
6.3. Bitümlü Bağlayıcılar	85
6.4. Karışım Deneyleri	86
7. ASFALT BETONUNA UYGULANAN SÜNME TESTİ.....	97
7.1. Sünme Deneyleri ve UTS014 kalıcı deformasyon test aleti.....	97
7.2. Sonuçlar ve Değerlendirme	99
8. SONUÇLAR	105
7. KAYNAKLAR DİZİNİ	109

ŞEKİLLER

Şekil 3.1.	Elekler	21
Şekil 3.2.	Etüv.....	21
Şekil 3.3.	Binder tabakası granülometri eğrisi.....	24
Şekil 3.4.	Los Angeles tanburu	25
Şekil 3.5.	Donma Çözülme Kabini	28
Şekil 3.6.	Özgül Ağırlık Sehpaı.....	33
Şekil 3.7.	Yassılık Şablonu ve Yassılık Elek Seti.....	35
Şekil 3.8.	Hızlandırılmış Parlatma Makinası.....	39
Şekil 4.1.	Bitüm Penetrometresi	49
Şekil 4.2.	Yumuşama Noktası Deney Aleti.....	53
Şekil 4.3.	Isıtma Kaybı Deney Aleti	55
Şekil 4.4.	Parlama Noktası Deney Aleti.....	57
Şekil 4.5.	Viskozite Deney Aleti.....	60
Şekil 4.6.	Düktilite Deney Aleti.....	66
Şekil 5.1.	Etüv.....	73
Şekil 5.2.	Mikser	74
Şekil 5.3.	Kalıp	74
Şekil 5.4.	Marshall Tokmağı	75
Şekil 5.5.	Su Altında Soğutma İşlemi	75
Şekil 5.6.	Numune Çıkarıcı	76
Şekil 5.7.	Marshall Test Aleti	76
Şekil 5.8.	Marshall Testi Uygulanmış Numuneler.....	77
Şekil 5.9.	Santrifüj Ekstraktör	82
Şekil 5.10.	Reflüks Ekstraktör	82
Şekil 6.1.	Binder Tabakası Gronülometri Eğrisi.....	84
Şekil 6.2.	Atık Tuğla Kırıkları Granülometri Eğrisi	86
Şekil 6.3.	Bitüm Oranı-Boşluk Oranı.....	88
Şekil 6.4.	Bitüm Oranı- Pratik Özgül Ağırlık.....	88

Şekil 6.4. Bitüm Oranı- Bitümle Dolu Boşluk Oranı.....	89
Şekil 6.5. Bitüm Oranı-Marshall Stabilitesi	89
Şekil 6.6. Bitüm Oranı - Akma	90
Şekil 6.7. Bitüm Oranı-Boşluk Oranı.....	91
Şekil 6.8. Bitüm Oranı-- Pratik Özgöl Ağırlık	91
Şekil 6.9. Bitüm Oranı- Bitümle Dolu Boşluk Oranı.....	92
Şekil 6.10. Bitüm Oranı-Marshall Stabilitesi	92
Şekil 6.11. Bitüm Oranı - Akma	93
Şekil 6.12. Bitüm Oranı - Boşluk Oranı.....	94
Şekil 6.13. Bitüm Oranı- Pratik Özgöl Ağırlık.....	94
Şekil 6.14. Bitüm Oranı- Bitümle Dolu Boşluk Oranı.....	95
Şekil 6.15. Bitüm Oranı-Marshall Stabilitesi	95
Şekil 6.16. Bitüm Oranı - Akma	96
Şekil 6.17. Kontrol Numunesi ve Tuğla kırığı Katkılı Numune.....	96
Şekil 7.1. Sünme test aleti veri giriş göstergesi	97
Şekil 7.2. Sünme test aleti sonuç göstergesi.....	98
Şekil 7.3. Vuruş sayısı-deformasyon grafiği (kontrol numunesi).	100
Şekil 7.4. Vuruş sayısı-sünme modülü grafiği (kontrol numunesi).	100
Şekil 7.5. Vuruş sayısı-deformasyon grafiği (%25 Tuğla kırıklı numune).	101
Şekil 7.6. Vuruş sayısı-sünme modülü grafiği (%25 Tuğla kırıklı numune).	102
Şekil 7.7. Vuruş sayısı-deformasyon grafiği (%50 Tuğla kırıklı numune).	102
Şekil 7.8. Vuruş sayısı-sünme modülü grafiği (%50 Tuğla kırıklı numune).	103
Şekil 7.9. Vuruş sayısı-deformasyon grafiği.....	103
Şekil 7.10. Vuruş sayısı-sünme modülü grafiği.....	104
Şekil 8.2. Malzemeye bağlı deformasyon grafiği	106

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1.	Agregaların cinsleri, bileşenleri ve özgül ağırlıkları.....	12
Çizelge 3.2.	Elek analiz sonuçları	23
Çizelge 3.3.	Aşınma Deneyi Sonuçları	26
Çizelge 3.4.	Silindirik Çubuklu elekler	36
Çizelge 3.5.	Agregada organik maddelerin durumu	41
Çizelge 4.1.	Bitümlü Malzemelerin Sınıflandırılması	48
Çizelge 4.2.	Kalıp ölçüleri	67
Çizelge 6.1.	Agrega özellikleri	83
Çizelge 6.2.	Atık Tuğla Kırıklarının Kimyasal Özellikleri	84
Çizelge 6.3.	50-70 Penetrasyonlu bitümün fiziksel özellikleri.....	85
Çizelge 6.4.	Atık Tuğla Kırıklarının Özellikleri.....	86
Çizelge 6.5.	Ortalama bitüm oranı tayini (Kontrol numunesi).....	87
Çizelge 6.6.	Ortalama bitüm oranı tayini (% 25 tuğla atıklı numune).....	90
Çizelge 6.7.	Ortalama bitüm oranı tayini (% 50 tuğla atıklı numune).....	93
Çizelge 8.1.	Deney toplu sonuçları	105
Çizelge 8.2.	Maliyet Hesabı(10 TL. lik tuğla kırığı)	108
Çizelge 8.3.	Maliyet Hesabı(20 TL. lik tuğla kırığı)	108

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Asfalt uzun yıllardan beri yol inşaatında kullanılan bir malzemedir. 1900’lü yılların başında ham petrolden asfalt rafine edilmeye başlanması ile kaplama malzemesi olarak kullanımına olan ilgiyi arttırmıştır. Asfaltlı yol inşaatının geçmişi en fazla 100 yıla dayanmaktadır. Daha önceleri asfalt, bağlayıcı kullanılmadan yapılan yüzey tabakası üzerinde seyreden araçların kaldırdığı tozu önlemek amacıyla kullanılmıştır.

Günümüzde de asfalt kaplamalar trafik yükü ve çevre koşullarına göre değişik tipte yapılmaktadır. Asfalt kaplamalar kendilerinden beklenen performansı göstererek, deforme olmadan üzerine gelen yükleri alt tabakalara aktarmalıdır. Tekerlekle asfalt kaplama arasında yeterli miktarda sürtünme sağlanmalıdır.

Türkiye’de ilk asfalt uygulamaları Osmanlı döneminde başlamış ve penetrasyon makadam kaplamalarının yapımında Fransızlardan destek alınmıştır. Cumhuriyet döneminde başlayan asfalt kaplama yapımı, 1948’ de A.B.D’ den sağlanan Marshall Teknik yardımı ile yaygınlaştırılmış ve 1950’ de Karayolları Genel Müdürlüğü (K.G.M)’ nün kurulmasıyla sürekli gelişim göstermiştir. 1950 yılında yaklaşık 9500 km olan devlet karayolu ağı 01.01.2007 itibariyle 64196 km’ ye ulaşmıştır. Aradan geçen zaman içinde Türkiye’de motorlu taşıt endüstrisinin gelişmesiyle karayoluyla yapılan yük ve yolcu taşımacılığı oranı her geçen gün artmış, ihtiyaçlara paralel olarak imkânlar ölçüsünde hedef ve politikalar değişmiştir.

Tüm dünyada, endüstrinin gelişmesine paralel olarak evsel ve endüstriyel atık miktarlarında artış görülmüş ve bu atıkları geri dönüşüm olarak değerlendirmenin yolları araştırılmıştır. İnşaat sektörünün çeşitli alanlarında atık maddelerinin kullanımına yönelik araştırmalar yapılmıştır.

Yol inşaatında da çeşitli atık maddelerin geri dönüşüm malzemesi olarak kullanımına yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Bu şekilde de depolama alanlarında biriken atık maddelerin yeniden değerlendirilmesi sağlanmakla birlikte asfalt betonunun performansına önemli katkılar sağlanabilmektedir.

Cam kırıkları, lastik ve plastik atıkları, mobilya parçaları ve tuğla atıkları v.s. gibi atık maddeler asfalt betonuna katılarak, asfalt betonunun göstereceği performans araştırılmaktadır. Asfalt betonuna eklenen atık maddeler asfalt betonunun bazı özelliklerinde iyileştirmeler yaparken bazı özelliklerini de olumsuz etkileyebilmektedir.

Ayrıca atık malzemelerin karışıma katılım miktarları oldukça önemlidir. Atık maddelerin miktarının en uygun seviyesi çok iyi belirlenmelidir. Yapılan araştırmalar atık maddelerin asfalt betonunun bir tek özelliği veya birkaç özelliği üzerindeki etkisinin birlikte incelenmesi üzerine olmuştur.

Türkiye’de tuğla ve kiremit üretimi, endüstriyel üretimde önemli bir yere sahiptir. Üç odalı bir apartman dairesinde kullanılan ortalama tuğla miktarı 3000 adettir. Buna bağlı olarak tuğla ve kiremit üretimi ve inşaatlarda kullanımı sırasında atık malzemeler ortaya çıkmaktadır. Tuğla ve kiremit atıklarının bir kısmı inceltilerek spor alanlarına serilmek yoluyla kullanılmaktadır. Tuğla ve kiremit fabrikalarının depolama alanlarında düzensizce biriktirilmektedir. Atıkların verimli alan üzerine hiçbir işleme tabi tutulmadan gelişi güzel bırakılmasıyla hem görüntü kirliliği ortaya çıkmakta hem de depolama alanları azalmaktadır. Atık maddelerinin yeniden değerlendirilmesi ekonomiye katkı sağlayacaktır. Üretimde harcanan enerjiden ve de üretimde kullanılan ana malzemeden tasarruf etme imkanı doğacaktır.

Türkiye’de tuğla ve kiremit sanayii; üretim yapısı itibariyle ülkenin dört bir yanına dağılmış, çok sayıda üretim birimi olan bir sanayi dalıdır. Üretim hammaddelerinin kolaylıkla temin edildiği bölgelerde küçük yoğunlaşmalar gösteren

sektörde 498 adet tuğla ve kiremit fabrikası vardır. Fabrika sayısının bu kadar fazla olması ulaşılan verilerin sağlıklı olmasını engellemektedir. Türkiye’ de yıllık 7.5 milyar adet tuğla, 700 milyon adet kiremit üretimi gerçekleştirilmektedir. Bunların yaklaşık % 7 si atık olarak ortaya çıkmaktadır [1].

BÖLÜM 2

ÇEŞİTLİ ATIK MALZEMELERİN YENİDEN KULLANIMI İÇİN YAPILAN DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Çetin yaptığı çalışmada endüstriyel lastik atıklarının asfalt betonunda kullanımını araştırmıştır. Lastik boyut ve miktarı arttıkça asfalt betonunun mukavemetinde azalma, akma değerlerinde artma olduğunu gözlemlemiştir [2].

Şengöz ve Topal çatı kaplaması olarak kullanılan shingle malzeme atıklarının asfalt betonunda değerlendirilmesi bağlamında çalışmalar yapmışlardır. Bu atık malzemenin asfalt betonunun sertliğini artırdığı ve sıcak iklimli bölgelerde kullanılabileceği sonucunu ortaya çıkarmışlardır [3].

Akbulut ve Gürer'in çalışmasında mermer ocağından elde edilen mermer atıklarının asfalt betonuna olan etkileri araştırılmış, bu atıkların binder tabakasında kullanılabileceği sonucuna varılmıştır [4].

İbrahim ve diğ. tarafından asfalt betonunun süneklik modülü, çekme dayanımı, yorulma üzerine doygunluk derecelerinin belirlenmesine yönelik laboratuvar çalışmalar yapılmış, doygunluk derecesinin artmasına karşılık, süneklik modülü, çekme dayanımı, ve yorulma ömrünün azaldığı sonucu elde edilmiştir. Ayrıca Portland çimentosunun filler yerine kullanılması durumunda soyulmayı önlediği ispatlanmıştır [5].

Tortum ve diğ. tarafından asfalt kaplamalarının kimyasal ve mekanik özellikleri; atık lastik granülometrisi, karışım sıcaklığı, agrega granülometrisi, atık lastik oranı, bitümlü bağlayıcı oranı, sıkıştırma sıcaklığı ve karıştırma süresi gibi koşullar bağlamında çalışmalar yapılmıştır. Taguchi metodu kullanılarak, 40 nolu elek boyutundaki lastik için, uyulması gerekli deney koşulları belirlenmiştir [6].

Yüceer ve Çelik, asfalt betonunda katkı olarak granüler polimer ve atık plastikler kullanmışlardır. Çalışma sonunda çeşitli şekil ve oranlardaki polimer karışımı ile elde edilen asfalt betonunun, normal hale göre basıncı testine daha dayanıklı olduğu tespit edilmiştir [7].

Öğütülmüş lastik tekerleklerin asfalt betonuna katılarak Navarro ve diğ. tarafından yapılan çalışmada asfalt betonunun sıcaklık etkisiyle değişen özelliklerinde iyileşmeler gözlenmiştir [8].

Ruan ve diğ. tarafından yapılan çalışmada, asfalt betonuna lastik katılmış ve özellikle asfalt betonunun sıcaklığa bağlı özelliklerinde iyileşmeler gözlemlenmiştir. Polimer iyileştirmesine örnek olan bu çalışmada ayrıca lastik ilavesinin asfalt betonunun uzun süreli yaşlanma özellikleri üzerinde olumlu etkileri olduğu ispatlanmıştır [9].

Hınışlıoğlu ve Ağar, asfalt betonunda katkı olarak % 4, 6, 8 oranında polietilen kullanmışlardır. Marshall stabilitesi artmış, deformasyon direnci artmış ve optimum karışım sıcaklığı ve karışım süresi sırası ile 165 °C ve 30 dakika olmuştur. Polietilen katkılı asfalt betonunun kalıcı deformasyon, Marshall stabilitesi, akma ve çevre açısından olumlu sonuçlar gösterdiği tespit edilmiştir [10].

Weidon Chao tarafından lastik atıkları kuru süreç olarak asfalt betonu karışımında 3 değişik tipte kullanılmış karışım toplam ağırlığının % 1, 2 ve 3 oranında ve katkısız olarak kontrol numunesi hazırlanmıştır. Test sonuçlarına göre yüksek sıcaklıkta kalıcı deformasyon direnci ve düşük sıcaklıkta çatlama direnci göstermiştir [11].

Sukantasukkul ve Chaikaew lastik atıklarını katkı olarak agrega yerine beton bloklarda kullanmışlardır. Daha esnek beton blok elde edilmiş ve beton blok yüzeyi daha yumuşak bir hal almıştır. Lastik atıklı beton bloklar çok iyi aşınma ve kayma direnci göstermiş üretim süreci daha ekonomik olmuştur [12].

Karaşahin ve diğ. mermer atıklarının asfalt betonunda kullanımı üzerine çalışmışlardır. Numunelerde Marshall testi ve indirekt çekme testi yapılmıştır. Yapılan deneyler sonunda plastik deformasyon limitlerinin uygun olduğu görülmüştür. Mermer atıkları kullanılarak asfalt betonuna karışımının daha ekonomik olacağı sonucunu doğurmuştur [13].

Paranavithana ve diğerlerinin yaptığı çalışma parçalanmış beton elemanlardan elde edilen agregaların asfalt betonunda kullanımı üzerine olmuştur ve doğal agregalarla yapılan asfalt betonu ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak daha yüksek porozite düşük özkütle yüksek su emme yüzdesi bulunmuştur ve kullanılabilir agreg limit değerleri önerilmiştir [14].

Su ve Chen yaptıkları çalışmada cam kırıklarının asfalt betonuna katılması üzerine olan etkileri araştırmışlardır. Toplam agreg ağırlığının % 0, 5, 10, 15 oranında cam kırıkları karışıma ilave edilmiştir. Test sonuçları incelenerek cam kırıkları atıklarının asfalt betonunda kullanılmasının uygun olduğunu ortaya koymuşlardır [15].

Çelik ve Atiş yaptıkları çalışmada lastik atıkları kullanılarak hazırlanmış sıcak bitümlü karışımların sıkıştırılabilirlik özelliği üzerine araştırmalarda bulunmuşlardır. Araştırmalar değişik bitüm miktarı ve atık miktarı ile yapılmıştır. Sonuç olarak binderin tipi ve bitümün viskozitesinin sıkışmada büyük etkisi olduğu ve lastik atıkların kullanılmasıyla asfalt betonunun sıkışma problemi olduğunu ortaya koymuşlardır [16].

Siddique ve Naik yaptıkları çalışmada lastik atıklarını portland çimentosu kullanılarak üretilen betonlarda kullanımı ile yapılan araştırmaları gözden geçirmişler ve elde edilen sonuçları irdilemişlerdir [17].

Yıldırım'ın yaptığı çalışma polimer katkıli asfalt betonunun özellikleri üzerine olmuştur. Yapılan testlerin polimerlerin varlığının tayininde iyi olduğu ama kaplamanın performansını bulmada daha az başarılı olduğunu belirtmiştir [18].

Shen ve diğ. kauçuk'u atık katkı maddesi olarak kullanmışlar, asfalt betonunun yüksek sıcaklıklarda yüzey alanına etkisinin karmaşık modül, faz açısı ve bağlayıcılık özellikleri açısından iyi sonuçlar elde etmişlerdir. Buna göre yüzey alanının 2 katı kadar büyüdüğü, karmaşık modül ve faz açısının arttığı, ortamın 3 °C daha sıcak üretildiği sonucuna varılmıştır [19].

Chiu ve diğ. yaptıkları çalışmalar geri dönüşümlü sıcak asfalt karışımı lastik ve cam katkıli asfalt ve normal sıcak asfalt karışımlarının karşılaştırılması üzerine olmuştur. Çalışma 5 cm. asfalt kalınlığı ve servis yılı 6 yıl olarak alınmış geri dönüşümlü asfalt sıcak karışımının ekonomik yükü % 23 azalttığı, lastik katkıli asfalt betonunun ekonomik yükü % 16 arttırdığı cam kırık katkıli asfalt betonun ekonomik yükü % 16 - 17 arttırdığı görülmüştür. Servis yılı 40 yıla çıkarıldığında geri dönüşüm katkıli ve lastik katkıli sıcak karışımın % 23 daha ekonomik olduğu cam kırık katkıli asfaltın % 19 yükü arttırdığı görülmüştür. Sonuç olarak karışım sırasında sıcaklık gereksiniminin azaldığı sonucuna varılmıştır [20].

Yukarıda belirtilen asfalt betonunda atık malzemelerin kullanımına ilişkin örnekler çoğaltılabilir. Atık malzemelerin asfalt betonunda kullanımının ekonomik ve çevresel etkileri Horwath tarafından ortaya konulmuştur. Atık maddelerin asfalt betonunda kullanımının sağladığı avantajlar çevre açısından büyük önem taşımaktadır [21].

Bu çalışmaya esas olan tuğla kırıklarının atık malzeme olarak kullanımı normal beton içerisine katılarak gerçekleştirilmiştir. Kesegiç ve diğ.'nin yaptığı çalışmada tuğla kırıkları beton içerisine katılarak sonuçlar ortaya konulmuştur. Tuğla kırığı içeren betonlarda, normal betona göre basınç dayanımında düşük değerler gözlenmiştir. Birim hacim ağırlığında azalmalar meydana gelmiştir. Elde

edilen sonuçlara göre tuğla atıklarının dayanımın önemli olmadığı alanlarda kullanılabileceği sonucu ortaya çıkarılmıştır [22].

Khalaf tarafından atık tuğla kırıkları asfalt betonunda kullanılmıştır. Asfalt betonu karışımında tuğla kırıkları ve granit agregası olarak kullanmış, bu iki malzemeyi fiziksel ve mekanik özelliklerini karşılaştırmıştır. Atık tuğla kırıklarının yüksek porozite ve yüzey pürüzlülüğünden dolayı karşılaştırma karışımlarına göre daha fazla bitüm emmesine yol açmıştır. Tuğla kırıklarıyla yapılan karışımlar yük altında düşük birim ağırlıkta daha yüksek stabilite göstermiştir. Tuğla kırıklarıyla yapılan asfalt betonu karışımlarında bitüm miktarında olan artmadan dolayı daha iyi işlenebilirlik sağlanmıştır. Tuğla kırıklarının kullanılmasıyla yapılan asfalt betonları yüzey şekillerinin daha pürüzlü olması nedeniyle deformasyon miktarında azalmalar gözlemlenmiştir. Tuğla kırıkları kullanımının karışımın birim ağırlığında düşüş gerçekleştirdiği için karışım sırasında harcanan enerji azalacaktır. Tuğla kırığı kullanımının çevreye sağladığı yararlar fazladır ve tuğla kırığı alternatif malzeme olarak agregası yerine kullanımının uygun olduğunu öne sürmüştür.[23].

Görüldüğü üzere gerek normal beton, gerekse asfalt betonunda atık madde kullanımına yönelik çalışmalar oldukça yaygın hale gelmiştir.

BÖLÜM 3

AGREGALAR

3.1. Agregalar ve Özellikleri

Agrega (Kum-Çakıl); doğal, yapay veya her iki cins yoğun mineral malzemesinin genellikle 100 mm' ye kadar çeşitli büyüklüklerdeki kırılmamış ve/veya kırılmış tanelerinin bir yığıdır.

3.1.1. Agregalar Çeşitleri ve Özellikleri Hakkında Temel Tanımlar:

Doğal Agregalar: Doğal taş agregalar; teraslardan, nehirlerden, denizlerden, göllerden ve taş ocaklardan elde edilen kırılmış veya kırılmamış agregadır.

Yapay Agregalar: Yüksek fırın cüruf taşı veya yüksek fırın cüruf kumu gibi sanayi ürünü olan kırılmış veya kırılmamış agregadır. (Yapay taş veya yapay kum da denir.)

İri Agregalar: 4 mm açıklıklı kare delikli elek üzerinde kalan agregadır.

Çakıl: Kırılmamış tanelerden meydana gelen iri agregadır.

Kırma Taş: Kırılmış tanelerden meydana gelen iri agregadır.

Kum: Kırılmamış tanelerden meydana gelen ince agregadır.

Kırma Kum: Kırılmış tanelerden meydana gelen ince agregadır. Çakılın kırılması ile elde edilir.

Karışık Agregalar: İnce ve iri agregalar karışımıdır.

Doğal Karışık Agregas (Tuvenan Agregas): Agregas ocağından, kırıcıdan veya sanayiden doğrudan doğruya elde edilen karışık agregadır. Maksimum tane büyüklüğünden büyük taneleri ayırmak için elenmiş agregalara da doğal karışık agregas denir.

Hazır Karışık Agregas: İnce ve iri agreganın veya birkaç tane sınıfına ayrılmış bu agregaların belirli tane dağılımı (granülometri) sağlayacak şekilde beton yapımı sırasında yerinde birbirine karıştırılması ile meydana gelen agregadır.

3.1.2. İdeal Agregas Standartları.

Agregalar kullanma yeri ve amacına göre, granülometrik bilişim, tane şekli, tane dayanımı, aşınma direnci, dona dayanıklılığı ve zararlı maddeler bakımından uygun standart'ın gereklerini yerine getirmelidir.

Dane Dağılımı: Agreganın dane dağılımı, granülometri eğrileri (elek eğrileri) ve gerektiğinde bu eğrilere bağlı olarak tayin edilen incelik modülü, özgül yüzey ve su istek katsayıları ile belirtilir.

Dane Şekli: Agregas danelerinin şekli, olabildiği kadar küresel ve kübik olmalıdır. Danenin en büyük boyutunun en küçük boyutuna oranı 3'den büyük olan danelere şekilce kusurlu daneler denir.

Dane Dayanımı: Agregas daneleri, istenilen özellikli bir betonun yapımına elverişli olacak kadar dayanıklı olmalıdır. Bu özellik, doğal olarak oluşmuş kum ve çakılda veya bunlardan kırılarak elde edilen agregalarda, doğada uğradıkları ayıklanma olayı ile sağlanmaktadır. Betonun yapımında kullanılacak agregalar % 30' dan, diğer agregalar için ağırlıkça % 45' den az kayıp bulunmuş ise agregas dane dayanımı açısından yeterlidir.

Dona Dayanıklılık: Bir agreganın dona dayanıklılığı öngörülen kullanma amacı için yeterli olmalıdır. Doğal olarak oluşmuş kum ve çakıl veya bunlardan kırılarak elde edilen agregalar, doğada uğradıkları ayıklanma olayı nedeniyle çok az miktarda dona duyarlı taneler içerir. Sürekli donma ve çözünme olmayan yörelerde bu özellik aranmaz.

Zararlı maddeler: Betonun prizine (katılaşmasına) veya sertleşmesine zarar veren, betonun dayanımını veya doluluğunu (kompositesini) azaltan, parçalanmasına neden olan veya donatının korozyona karşı korunmasını tehlikeye düşüren maddelerdir. Dağılıp ve miktarlarına bağlı olarak zararlı etkiyen maddeler şunlardır. Yıkanabilir maddeler, organik kökenli maddeler, sertleşmeye zarar veren maddeler, bazı kükürtlü bileşikler, yumuşayan, şişen ve hacmi artıran maddeler, klorürler gibi korozyona sebep olan maddeler ve mikalar.

Yıkanabilir Maddeler: Yıkanabilir maddeler, agregada ince halde dağılmış veya topak halinde veya agrega tanelerine yapışık olarak bulunabilir. Bu maddeler genellikle kil, silt ve çok ince taş unudur.

Agregalar ufalanmış taş taneleridir. Ufalanma, insan eliyle veya makineler yardımıyla yapılacak olursa kırma taş veya sadece kırma denilen agrega elde edilir. Doğal taş yerine tuğla, kiremit gibi yeteri kadar sert ve sağlam bazı sanayi ürünleri veya atıkları da kırma olarak kullanılır. Agregalar kırma taş, cüruf, çakıl, kum ve benzerleri gibi taneler olup bir bağlayıcı yardımı ile bağlandıkları zaman beton, harç, asfalt veya benzerleri gibi sağlam kütleler getiren cisimlerdir.

Granülometri (dane inceliği ölçümü) bakımından agregaları ayırmak kabul gördüğü gibi, bugünkü yapı tekniğine hükmeden düşünüş göz önünde tutulacak olursa, bunları ağırlıklarına göre sınıflandırmak daha yerinde olur.

1. Ağır agregalar,

2. Hafif agregalar şeklinde, iki gruba ayırmak mümkündür.

3.1.3. Ağır Agregalar

Atom reaktörlerinde ve benzeri yerlerde meydana gelen ve organları tahrip eden g ve X ışınlarından korumak için yoğunluğu 3.2 kg / dm^3 ten büyük olan betonun üretimine gerek vardır. Bu özellikte bir beton, ancak ağır agregaların kullanılması ile elde edilebilir. Bu maksatla kullanılan belli başlı agregaların cinsleri, bileşenleri ve özgül ağırlıkları çizelge 3.1. de verilmiştir:

Çizelge 3.1. Agregaların cinsleri, bileşenleri ve özgül ağırlıkları

Cins	Yoğunluk
Barit Ba SO_4	4.2 kg/dm^3
Magnetit Fe_3O_4	4.6 kg/dm^3
Limonit $2 \text{ Fe}_2\text{O}_3\text{H}_2\text{O}$	4.6 kg/dm^3

Barit, ülkemizde Anamur (Mersin) civarında bulunmaktadır.

3.1.3.1. Kumlar ve Çakıllar

Doğal agregalar oldukları bilinen kumlar ve çakıllar, atmosferik etkenlerin ve zamanın etkisiyle kayaların, taşların parçalanıp sürüklenerek ufalanmasından meydana geldiklerinden en dayanıklı ve sağlam minerallerden oluşurlar. Kum ve çakılların çoğu ırmak, çay, dere gibi su akımlarının bıraktıkları ve dere kumu adı verilen çeşitleri veya buz kütlelerinin sürükleyip yığdıkları kum yataklarından çıkarılanlardır. Diğer kaynaklar, ufalanmış gevrek kumtaşı ile sahillerde bulunan deniz kumudur. Deniz kumu, agregalar olarak değerli bir malzeme olmakla beraber, çözelti ve tuzlar içerdiğinden mimari yapılarda ve ev inşaatında oldukları gibi kullanımları doğru değildir.

Kum, çakıl veya balast arasındaki fark dayanım olup irilik ve ufaklığa bağlıdır. Kum taneleri tek başına mineral olup çok defa quartz'dan ibarettir. Bundan başka az miktarda feldspat, kil, mika pulcukları ve siyah demir gibi minerallere hatta bazen maden kömürü taneciklerine bile rastlanır.

Çakıllar ise çeşitli minerallerden ibarettir ve bir çakıl tanesi bu bakımdan çoğunlukla heterojendir. Çakılları oldukları gibi veya kırılmış olarak kullanmak mümkündür. Bu durumda daha köşeli ve keskin bir agregada elde edilmiş olur. Bu şekil, bağını bakımından kırılmamış çakıla tercih edilirse de, bu çeşit agregaya ile yapılan üretimlerde işlenebilirlik güçleşir.

Kumul denilen ve bazı sahillerde bilhassa çöllerde rastlanan ince kum, tanelerinin ufaklığı ve özellikleri dolayısıyla harç için pek uygun değildir su ile karıştırıldığında çamur haline gelir

Gerek çakıllarda ve gerek kırma taşlarda olsun, kesme ve benzeri cisimlerin bulunması, yumuşak, kırılğan tabiatları ve atmosferik etkenlere karşı olan zayıf dirençleri dolayısıyla arzu edilmezler.

3.1.3.2. Kırma Taşlar

Kırma taşlar, genellikle kalker ve dolomit sınıflarından ibarettir. Uygulamada çoğunlukla bu farklar gözetilmez ve granit, bazalt, diorit kırmataşları gibi çeşitli adlar altında kullanılırlar.

3.1.3.3. Granüle Yüksek Fırın Cürufu

Avrupa ve Amerika ülkelerinin çoğunda granüle yüksek fırın cürufu, adi beton ve betonarmede agregaya olarak kullanılan bir maddedir. Ancak bazı standartlara uymak gerekir. Cürufun kararlı olması, hacmen sabit kalması, atmosferik etkenlere karşı

dayanıklı olması gerekir. Kırma olarak kullanılan yüksek fırın cürufundan ince agrega yani kum şeklinde de faydalanabilmir.

3.1.3.4. Moloz ve Horasan

Eski yapılarda çıkan veya sanayi atıklarından ibaret olan tuğla ve benzerleri kırıklar ile bunların ve eski harçların kum iriliğindeki ince taneleri de agrega olarak kullanılır. Tuğla ve seramik kırıkları, çakıllarla ve doğal kırma taşlara göre daha zayıftırlar. Başlıca sorun iyi pişmemiş ve dolayısıyla yumuşak, atmosferik etkenlere karşı yeterince dayanıklı olmayan tanelerin varlığı ile alçı ve buna benzer zararlı bileşikler ihtiva edebilmelidir. Buna karşılık bağlamaya yardım etmeleri bakımından bir üstünlük gösterirler.

3.1.3.5. Yüksek Sıcaklığa Dayanıklı Agregalar

Bazı fabrikalarda kullanılan beton devamlı olarak yüksek sıcaklığa maruz kalmaktadır. Böyle bir durumda betonun çatlamaması ve sahip olduğu özelliği kaybetmemesi gereklidir. Betonun bu çeşit bir özelliğe sahip olması geniş ölçüde üretimde kullanılan agreganın durumuna bağlıdır.

3.1.4. Hafif Agregalar

Hafif agregalar içinde fazla boşluk bulunması sebebiyle birim ağırlığı düşük olan agregalardır. Bu çeşit agregaları kaynakları itibarıyla çeşitli gruplara ayırmak mümkündür. Tabiattan çıktığı gibi sadece ufalamak suretiyle elde edilenler (Sünger taşı ve pomza), sanayi ürün veya atıkları, özel olarak hazırlananlar.

Sünger Taşı: Bir tür volkanit olup ergimiş halde emdiği bol miktarda gazın soğuma süresinde kütleyi bırakması dolayısıyla delikli, sünger görünümünde bir taştır. Diğer bir deyimle silikat asıllı soğumuş köpüklerden ibarettir.

Hafifletilmiş Cüruf: Yüksek fırın cürufu sıvı halinde iken yüzeyin dikine gönderilen su, buhar veya hava akımı yardımı ile çeşitli şekil ve boyutta parçalanabilir. Bu surette dışık pamuğu veya dışık yünü denilen madde elde edilir. Bunların bazı çeşitlerine dışık köpüğü adı da verilir.

Kil ve Sişt Kaynaklı Hafif Agregası: Bazı killeri uygun bir sıcaklığa kadar ısıtıldıkları zaman hacimleri bir hayli genişler, kabarır. Bazı çeşit sişter de hafifçe ergiyecek bir sıcaklığa kadar ısıtıldıklarında hacimleri 3 ila 7 kat genişler. Böylece meydana gelen iri parçalar 1000 °C - 1200 °C sıcaklıkta makineler yardımıyla kırılarak istenilen boyutta agregası elde edilir. Bu şekilde hazırlanan sişterin görünümü genelde sünger taşıma andırır.

Kömür Atığı veya Yanmış Kömür Ürünleri: Bahis konusu olan madde, kömürün yanmasından oluşan küllerin kısmen ergimesinden yani yumuşama sıcaklığında birbirine yapışarak topraklar yapılmasından meydana gelir. Evlerdeki ocak ve sobalardan çıkan küller çok ince toz halinde olduğundan agregası olarak kullanılmaya elverişli değildir.

Kömür Tozu veya Mıdırı: Kömür yakan fabrikalardan çıkan ufak tane halinde kömür atıklarıdır. Doğal olarak büyük kısmı yanmamış kömürden ibarettir. Kömür atığına göre kömür tozu veya mıdırıları, daha fazla hacim değişikliği gösterir ve nem alırlar. Başka kullanım alanları da olduğu için agregası olarak seyrek kullanılır. Agregası olarak kullanıldığında bir miktar kum da katılır. Bazı hallerde kömür tozu, kömür atığı ile karışık olarak da kullanılır.

Asbest: Agregası olarak dikkate değer özellikleri bulunan bir madde olup iki çeşidi vardır:

1. Asbest - hornblend,
2. Asbest - chrysotil

Asbest-hornblend, oldukça daha gevşek yapılı, lifleri ince ve uzundur, asitlere dayanır. Asbest - chrysotil ise, çimento agregası olarak kullanılmaya çok daha elverişlidir. Lifleri daha

kısaadır, asitlere dayanmaz. Buna karşılık çekime karşı dirençlidir, özlü ve yapışkan bir harç meydana getirir. Lifli bir yapıya sahip olması, ısı iletkenliğinin düşük oluşu, ateşten etkilenmeyişi, suyun etkisiyle şişip kütleyi sıkıştırması, başlıca karakteristik özelliklerini teşkil eder.

Testere Talaşı : Agregada olarak kullanılır ancak bu maddenin fazla nem çekmesi büyük bir sakınca teşkil eder. Bu sakıncayı yok etmek için bazı tuzlarla karıştırmak suretiyle testere talaşının mineralleştirilmesi denenmiştir. Fakat bu haliyle de ancak su ile temasa gelmeyecek içyapı işlerinde kullanılır.

3.1.5. Agregalarda aranan önemli özellikler şunlardır:

1. Uygun sağlamlıkta ve boşluksuz olmaları,
2. Tane şekilleri önemli olup zayıf taneler içermemeleri (deniz kabuğu, odun, kömür vb.)
3. Basınç, aderans, donatı dayanıklılık, su emme, özgül ağırlık ve aşınma gibi özellikleri iyi olmalıdır.
4. Toz, toprak ve betona zarar verebilecek zararlı maddeleri içermemeleri,
5. Yassı ve uzun taneler içermemeleri,

Agreganın kirli (kil, silt, mil, toz, ...) olması aderansı olumsuz etkilemekte, ayrıca bu küçük taneler su ihtiyacını da arttırmaktadır. Agregalarda elek analizi, yassılık, özgül ağırlık ve su emme gibi deneyler uygun aralıklarla yapılarak kalite sürekliliği takip edilmelidir. Kullanılacak agregalar TS 706, EN 12620'ye uygun olmalıdır.

3.1.6. Agregaların Fiziksel Özellikleri

Agreganın Porozitesi: Agregada tanelerinde bir miktar boşluk bulunması doğaldır. Agregada tanelerindeki boşluk su emme deneyi yapılarak belirlenir. Buna göre kurutulmuş iri

agrega tanelerinden W ağırlığında (2-5 kg arasında) malzeme alınarak 24 saat su içinde bırakılır. Bir havlu ile tanelerin yüzeyinden su alınır ve taneler böylelikle kuru yüzey doygun duruma getirilir. Bu tanelerden W_1 ağırlığında malzeme alınarak etüvde kurutulur. Kurutulan malzemenin W_0 ağırlığı bulunur.

O halde agreganın ağırlıkça su emme miktarı

$$\frac{(W_1 - W_0)}{W_0} \quad (3.1)$$

ifadesiyle % cinsinden bulunur. Agreganın porozitesi (P) ise, agreganın gr/cm^3 cinsinden özgül ağırlığı, W_1 ve W_0 gr cinsinden ağırlıklar olduğuna göre;

$$(P) = \frac{(W_1 - W_0)}{W_0} * 100 \quad (3.2)$$

olarak ifade edilir.

İri agrega tanelerinin porozitesinin küçük olması ile bu tanelerin mukavemetinin yüksek bir değer alması sağlanır

Agrega Su Bağıntısı: Agreganın emdiği su miktarı tanelerin kökenine, yapısına ve granülometri bileşimine bağlıdır. Agregataneleri arasındaki boşluklarda su dört şekilde bulunur.

- a) Tamamen kuru taneler:** Agregatanelerinde herhangi bir şekilde hiç su bulunmamaktadır.
- b) Kuru yüzeyli taneler:** Tanelerin içindeki boşluğun bir kısmı su ile doludur, fakat tanenin yüzeyi tamamen doludur.
- c) Kuru yüzeyli doygun taneler:** Tanelerin boşluklarının su ile dolması ve yüzeyinin tamamen kuru olması halidir.
- d) Islak taneler:** Agregadaki boşluklar su ile dolu olduğu gibi yüzeyde de su vardır. Agregadaki su miktarı agreganın birim ağırlığına, hatta özgül ağırlığına da etki eder. Birim ve özgül ağırlık doygun kuru yüzey hal için verilir. Agregada boşlukların fazla

olması agreganın donma ve çevre etkilerine karşı dayanıklılığını azaltır. Agregada su emme yüzdesinin limiti kum ve çakıl için % 1' dir. Su emme yüzdesi yüksek olan agreganın betonda kullanılması beton dayanımını ve dayanıklılığını azaltır.

3.1.6.1. Agregaların Birim Ağırlığı, Özgül Ağırlığı ve Sıkışabilirliği;

Birim ağırlık: Belirli bir hacmi dolduran agreganın ağırlığına birim ağırlık denir. Agregayı kuru halde iken gevşek olarak bir kaba boşaltarak bulunan birim ağırlığa “gevşek birim ağırlık” ve yine kuru iken belli sayıda çubuk darbesi ile sıkıştırılarak bulunan birim ağırlığa ise “sıkışık birim ağırlık” denir.

Birim ağırlıktan agregada içindeki boşluk miktarı hesaplanabildiği gibi, özel amaçlar için agreganın uygun olup olmadığı da değerlendirilebilir. Ayrıca agreganın granülometri bileşimi ve kusurlu malzemenin varlığı hakkında fikir vermektedir.

Özgül Ağırlık: Belli hacim ve sıcaklıktaki bir malzemenin, havadaki ağırlığının aynı hacim ve sıcaklıktaki suyun havadaki ağırlığına oranıdır. Bu özellik agregada kökeni hakkında bilgi verir ve beton bileşenlerinin hesabında kullanılır.

Özgül ağırlık, agreganın uygunluğunu belirtir. Düşük özgül ağırlık sağlam olmayan malzemeyi, yüksek özgül ağırlık ise kaliteli betona uygun agregayı tanımlar. Özgül ağırlık beton karışım hesabında, bu hesapların düzeltilmesinde ve beton homojenliğinin zorunluluğu durumlarında gereklidir. Düşük özgül ağırlık agreganın boşluklu ve zayıf olmasına bir işarettir.

Agreganın Sıkışabilirliği: Agreganın sıkışabilirliği ile birim hacimdeki agregada tanelerin işgal ettiği hacmin toplamı anlaşılmaktadır. Agreganın özgül ve birim ağırlıkları bilinmek suretiyle sıkışabilirliği hesaplanabilir. Agreganın birim ağırlığı her zaman için özgül ağırlıktan küçüktür. Dolayısıyla sıkışabilirliği birden küçüktür.

3.1.7. Agregaların Mekanik Özellikleri

Agreganın mekanik özelliklerinin belirlenmesi için yapılan deneyler.

3.1.7.1. Dane dayanımı

Agreganın tane dayanımı, alındığı kayacın cinsi ve mevcut durumunun petrografik yönden incelenmesi ile yaklaşık olarak değerlendirilebilir. TS 706'ya göre taşın suya doymuş haldeki küp basınç dayanımı veya çapı yüksekliğine eşit silindir basınç dayanımı en az 1000 kgf/cm² (98N/mm²) ise mekanik özellik ile ilgili başka incelemeye gerek yoktur. Tane dayanımı Basınç dayanımının 1000 kgf/cm² den küçük olması halinde ve kuşku durumlarında agregalarda aşağıda açıklanan aşınmaya dayanıklılık deney sonuçlarına bakılır. Eğer iri agrega olarak çakıl kullanılıyor ise aşınmaya dayanıklılık deneyleri uygulanarak karar verilir.

3.1.7.2. Aşınma dayanımı (TS 699, ASTM C131-55; AASHTO T-96) (Los Angeles deneyi)

Bu deneyde kullanılan cihaz iki tarafı kapalı, eksenini etrafında döneabilen, iç çapı 710 mm, boyu 508 mm olan bir çelik silindirden oluşmaktadır. Silindir içinde belirli ağırlıkta ve sayıda çelik bilyeler mevcuttur. Alet 100 ve 500 devir sonunda silindirden çıkarılan numune 1.6 mm lik kare gözlü elekten elenerek, alta geçen miktarın %' si hesaplanır. Bu değer deney sonrasındaki kayıp yüzdesini ifade eder. TS 706, 100 dönme sonunda ağırlıkça % 10, 500 dönme sonunda % 50'den az kayıp varsa agreganın yeterli dayanıma sahip olduğu kabul edilmektedir.

3.1.7.3. Agregalarda dona dayanıklılık (TS 3655)

Soğuk iklimlerde üretilen betonun donma etkisi ile yüzeyinin soyulmaması ve bir bütün olarak betonun parçalanmaması istenir. Betonun dona dayanıklılığında agrega önemli rol oynar. Bu nedenle donma etkisinde kalacak betonlarda

kullanılacak agreganın da dona dayanıklı olması istenir. TS 706, iri agrega olarak kırmataş kullanıldığında, taşın su emme oranının ağırlıkça % 0.5' den büyük olmaması veya TS 699' a göre elde edildiği kayacın suya doygun haldeki küp basınç dayanımı en az 1500 kgf/cm² olması halinde, agreganın dona dayanıklı olduğunu kabul etmektedir.

TS 3655'de üç farklı dona dayanıklılık deney yöntemi bulunmaktadır;

Dona dayanıklılığın şiddetli don etkisi altında belirlenmesi (Suda donma).

Dona dayanıklılığın orta şiddetteki don etkisi altında belirlenmesi (Havada donma).

Dona dayanıklılığın kimyasal yöntemle belirlenmesi (Sodyum Sülfat ve Magnezyum Sülfat Deneyi).

3.2. Agrega Deneyleri

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

3.2.1.2. Kapsam:

Agregaların uygun eleklerden eleme yoluyla dane boyutu dağılımlarının saptanmasını kapsar.

3.2.1.3. Aletler:

Elekler: Eleme tek bir elek veya çeşitli nominal göz açıklığı olan serisi ile yapılır. Elek serisinin altında bir elek altı ve üstünde de gerekli bir kapak bulunur. Bitümlü malzeme için kullanılan elekler genellikle 25 mm, 19 mm, 12.5 mm, 9.5 mm, 4.75 mm, 2 mm, 0.425 mm, 0.180 mm, 0.075 göz açıklığı olan eleklerdir.



Şekil 3.3. Elekler

Terazi: İnce agregâ için 0.1 gr hassasiyette, iri agregâ için 0.5 gr hassasiyette terazi kullanılır.

Etüv: Etüv 165 °C' ye ayarlanabilen cinsten olmalıdır.



Şekil 3.2. Etüv

3.2.1.4. Deneyin Yapılışı:

- Deneye başlamadan önce, deney numunesi 24 saat 105 °C' de bekletilerek etüv kurusu durumuna getirilir.
- Eleme için elekler, en alta toplama kabı konduktan sonra, büyük göz açıklıklı olanlar, küçük göz açıklıklı olanların üstüne gelecek şekilde takım halinde dizilir ve üstü kapak ile kapatılır.
- Etüv kurusu durumuna getirilmiş deney numunesi oda sıcaklığına gelince tartılır.
- Numune, elek takımının en üstündeki elekten doldurulup kapak kapatıldıktan sonra elek sarsma makinesi çalıştırılıp elemeye başlanır. (Her bir elek için 2 dakikalık süre eleme için yeterlidir.)
- Üst elekten geçenler, altta daha küçük delikli elekler üstünde toplanır.
- Bu işleme en küçük elek boyutuna kadar devam edilir.
- Eleme işlemi sonunda terazilerde elek üstünde kalan miktar tartılır.
- Yapılan hesaplarda öncelikle sarsma sonrasında her elek üzerinde kalan miktarlar üstte kalan malzemedan başlanarak alta doğru ağırlık olarak belirlenir.

Elek analizinde kullanılan eleklerin açıklıkları

Elek açıkları Türk Standartlarına (TS) göre ayarlanmıştır.

ASTM	: Amerika Birleşik Devletleri Standartları
BS	: İngiliz Standartları
DIN	: Alman Standartları
TS	: Türk Standartları
İSO	: Uluslararası Standartlar (mm. esas alınmıştır)
1''	: 25,4 mm – 20 mm
¾''	: 19.1 mm – 20 mm
½''	: 12.7 mm – 12,5 mm

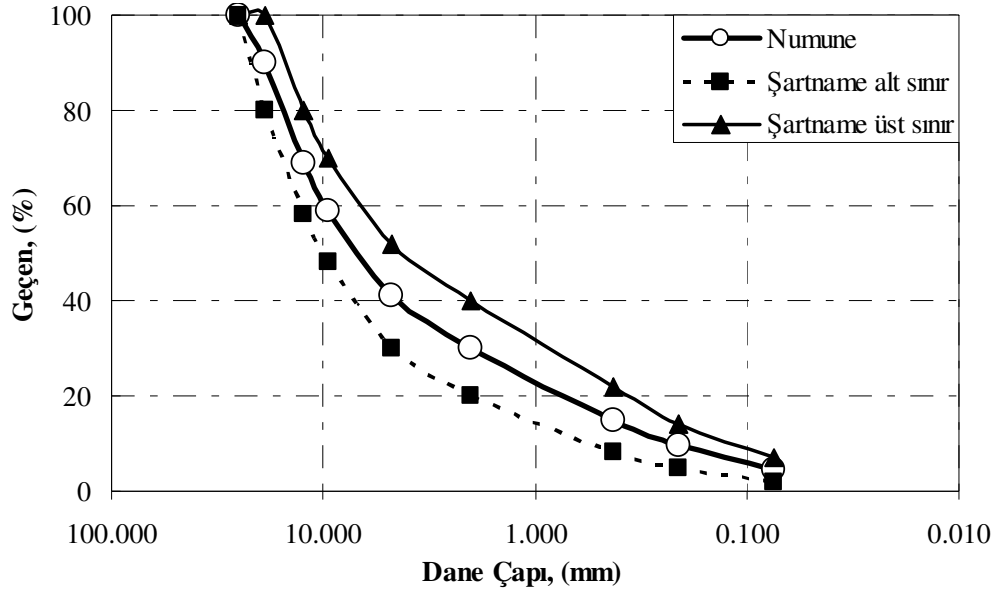
ISO' ya göre (mm) değerleri yuvarlak alınmıştır.

Türkiye Karayolları Genel Müdürlüğüne ait Teknik Şartnameye göre binder tabakasına ait elek analizi sonuçları Çizelge 4’ te verilmiştir. Binder tabakası olarak hazırlanan karışımların gradasyon limitleri Karayolları Genel Müdürlüğü(KGM), “Karayolu Teknik Şartnamesi 2006’ ya göre seçilmiştir. Şartname alt ve üst limitleri göz önüne alınarak laboratuarda her elek boyutu için gereken agregalar hazırlanmıştır. Deneylerde yıkanmış agregalar kullanılmıştır. Numune agregası toplam ağırlığı 1150 gr dır.

Çizelge 3.2. Elek analiz sonuçları

Elek boyutu (mm)	Gradasyon sınırları (%)	Geçen (%)	Kalan (%)	Kalan (gr)	Agrega Sınıfı
25.000	100	100	0	0	Kaba Agrega
19.000	80-100	90	10	115	
12.500	58-80	69	31	241.5	
9.500	48-70	59	41	115	
4.750	30-52	41	59	207	İnce Agrega
2.000	20-40	30	70	126.5	
0.425	8-22	15	85	172.5	
0.212	5-14	9.5	90.5	63.5	
0.075	2-7	4.5	95.5	57.5	
Kap			4.5	51.75	Filler

Yukarıdaki verilere göre oluşturulan granülometri eğrisi Şekil 3.3’ te verilmiştir.



Şekil 3.3. Binder tabakası granülometri eğrisi

3.2.2. Los Angeles aşınma kaybı deneyi (TS 3694, ASTM C131-55; AASHTO T-96))

3.2.2.1. Kapsam :

Bu deney agregaların aşınmaya karşı dayanıklılığını gösterir. Kaba agregaların aşınması, aşındırıcı bir yük kullanarak Los Angeles aşınma cihazıyla tayin edilir. Aşınan kısım % kayıp olarak bulunur. ASTM C 535' te, 19.0 mm' den daha büyük agregalar için deney metodu verilmiştir.

3.2.2.2 Aletler :

Bu deneyde kullanılan alet 71.1 cm. çapında ve 50.8 cm. iç uzunluğunda, çelik silindirden yapılmış yatay ekseni etrafında dakikada 30 - 35 devir yapmak suretiyle

dönebilen, bir silindirden ibarettir. Silindir içinde fonttan yapılmış muhtelif adet küresel bilyalar (47.7 mm. çapında ve her birinin ağırlığı 390 - 444 gramdır.) vardır.



Şekil 3.4. Los Angeles Tanburu

3.2.2.3. Deneyin Yapılışı:

- Numune en büyük tane boyutuna göre granülometrik sınıfı (A-B-C-D-E-F-G) tespit edilir.
- Granülometrik sınıfı belirlenen numunenin aşındırma yükü (küre sayısı) tespit edilir.
- Numune granülometrik sınıfa uygun olarak eleklerden kabaca elenir.
- Her elek üzerinde kalan agrega kil tozlarından iyice temizleninceye kadar kaldığı elek üzerin de yıkanır. 110 °C' lik etüvde değişmez ağırlığa kadar kurutulur.
- Kuru numuneler üzerinde kaldıkları eleklerden Çizelge 3.2'de verilen sınıflandırmadan (A-B-C-D-E-F-G-) birine göre tartılır. (A) ağırlığı tespit edilir.
- Deney için istenilen boyut ve miktarda alınan agrega ve aşındırıcı yükler (küreler) Los Angeles aşınma makinesine konur ve ağzı sıkıca kapatılır.

-Makine dakikada 30 - 33 devir suretle döndürülecek A-B-C-D sınıfları için 500 devir, E-F-G sınıfları için 1000 devir yaptırılacaktır.

-Makineden malzeme kayıp ettirilmeden çıkartılarak No: 12 (1.70 mm) elekten elenir.

-Elek üstünde kalan malzeme iyice yıkanarak 110 °C' lik etüvde sabit ağırlığa kadar kurutulur ve tartılarak (B) ağırlığı tespit edilir.

Çizelge 3.3. Aşınma Deneyi Sonuçları

Sınıfı	Küre Sayısı	Yükleme Ağırlığı, gr.
A	12	5000 ±25
B	12	4584 ±25
C	8	3330 ±20
D	6	2500 ±15
E	12	5000 ±25
F	12	5000 ±25
G	12	5000 ±25

$$\text{Aşınma kaybı (\%)} = \frac{A - B}{A} \times 100$$

(3.3)

A = Deney öncesi ağırlık

B = Deneyden sonraki ağırlık

3.2.2.4 Sonuç

Sonuç olarak aşınma % 25.6 olarak bulunmuştur.

3.2.3. Donmaya ve çözülmeye karşı direncin tayini (ASTM-C88; AASHTO T-104)

3.2.3.1. Kapsam:

Agregaların hava etkileriyle donarak ufalanmaya karşı olan dirençleri hakkında laboratuarda kısa süre içinde karar verebilmek amacıyla uygulanan hızlandırılmış bir deneydir. Bu deneyde doygun sodyum sülfat ya da magnezyum sülfat çözeltisi kullanılabilir.

3.2.3.2. Aletler:

Havalandırılmalı etüv: Yeterli kapasitede mekanik havalandırılmalı ve sıcaklığı $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ ' ta tutulabilen etüv.

Terazi: Yeterli tartım kapasitesinde ve ± 0.1 gr doğrulukla tartabilen.

Düşük sıcaklık dolabı: Düşey veya yatay, hava dolaşımli.

Metal kutular: Dikişsiz çekilmiş veya kaynaklı, 0.6 mm et kalınlığına sahip korozyona dayanıklı metalden imâl edilmiş, 2000 ml kapasiteli, 120 mm ilâ 140 mm' lik iç çap ve 170 mm ilâ 220 mm' lik iç yüksekliğe sahip olmalıdırlar. Metal kutular, uygun kapaklarla kapatılmalıdır. Hafif agregaların, metal kutulara uygun şekilde yerleştirilmesine özen gösterilmelidir.

Deney elekleri: EN 933-2'ye uygun.

Su: Damıtık veya diyonize. (sodyum sülfat ya da magnezyum sülfat çözeltisi kullanılabilir.).

3.2.3.3. Deneyin Yapılışı:

Suda ıslatma:

-Deney numuneleri, damıtık veya demineralize su içerisinde bulunan ve metal kutularda

$(20 \pm 3)^{\circ}\text{C}$ ta, (24 ± 1) saat süreyle atmosfer basıncında tutulur.

-Su seviyesi, 24 saatlik tüm ıslatma süresi boyunca deney numunesi kısımlarının en az 10 mm üstünde olmalıdır.



Şekil 3.5. Donma Çözülme Kabini

Su altında dondurma işlemi:

-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 teminen, metal kutular ile dolabın yan duvarları arasındaki mesafenin 50 mm' den az olmamasına ve kutuların birbirine değmemesine dikkat edilerek, deney numunelerini ihtiva eden metal kutular dolaba yerleştirilir.

-Dolaptaki numuneler, aşağıda belirtilen şekilde, 10 defa donma-çözülme döngüsüne tâbi tutulur:

-Sıcaklık, (150 ± 30) dakikada $(20 \pm 3) ^\circ\text{C}$ ' tan 0 (sıfır) $^\circ\text{C}$ ' a düşürülür ve (210 ± 30) dakika süreyle 0 (sıfır) $^\circ\text{C}$ ' ta tutulur.

-Sıcaklık, (180 ± 30) dakikada 0 (sıfır) $^{\circ}\text{C}$ ' tan (-17.5 ± 2.5) $^{\circ}\text{C}$ ' a düşürülür ve en az 240 dakika süreyle (-17.5 ± 2.5) $^{\circ}\text{C}$ ' ta tutulur.

-Hiç bir aşamada, hava sıcaklığının, -22 $^{\circ}\text{C}$ ' un altına düşmesine izin verilmemelidir.

-Her bir donma döngüsü tamamlandıktan sonra, kutu muhtevası, yaklaşık 20 $^{\circ}\text{C}$ ' taki suya batırılmak suretiyle çözülür. Sıcaklık, (20 ± 3) $^{\circ}\text{C}$ ' a ulaştığında, çözme işlemi tamamlanmış sayılmalıdır.

-Her bir çözme aşaması tamamlandıktan sonra, kutular (20 ± 3) $^{\circ}\text{C}$ ' taki suda en fazla 10 saat süreyle tutulur.

-Her bir donma-çözülme döngüsü, 24 saat içinde tamamlanmalıdır.

Donma-çözülme döngüsünden sonra direnç kaybının tayini:

Deney numunesi kısımları için, donma-çözülme döngülü ve donma-çözülme döngüsüz olarak elde edilen direnç deneyi sonuçları arasındaki yüzde fark, aşağıdaki işlemler takip edilerek hesaplanır.

$$\text{Donma-çözülme (\%)} = \frac{A - B}{A} \times 100 \quad (3.4)$$

A = Deney öncesi ağırlık

B = Deneyden sonraki ağırlık

3.2.4. İnce agreganın özgül ağırlığı ve su emme oranı tayini yöntemi (TS-3526, ASTM C 127-59)

3.2.4.1. Kapsam:

Agregaların kuru özgül ağırlığı, doymun kuru yüzey özgül ağırlığı ve görünen özgül ağırlığı ince ve iri agregalara ayrı ayrı uygulanan deneylerle tayin edilir.

3.2.4.2. Aletler:

Terazi: 1 kg veya daha büyük kapasitede 0.1 gr hassasiyette bir terazi

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

Ölçü kabı: 500 veya 1000 ml' lik cam bir ölçü kabı

Cam levha: Ölçü kabının üstünü kapatabilecek büyüklükte bir cam levha

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

Sıkıştırma çubuğu: Yaklaşık 25 mm çapında, ucu yuvarlatılmamış, yaklaşık 350 gr. ağırlığında, pirinçten yapılmış bir çubuk.

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

3.2.4.3. Deneyin Yapılışı:

-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 doymuş kuru yüzey ağırlığı kaydedilir.

-Etüv kurusu durumuna getirilir.

-Bir desikatöre konarak oda sıcaklığına gelinceye kadar soğutulur.

-Soğumuş numune cam ölçü kabına doldurulur birlikte tartılır.

-Ölçü kabının daha önce saptanmış olan ağırlığı bu tartıdan çıkarılarak numunenin kuru ağırlığı belirlenir.

-Ölçü kabı yaklaşık $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' 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.

3.2.4.4. Hesaplama:

İnce agreganın kuru özgül ağırlığı, doymun kuru yüzey özgül ağırlığı, görünen özgül ağırlığı ve su emme oranı sırası ile aşağıdaki formüller ile yüzde bir hanesine yuvarlatılarak hesaplanır.

- İnce agreganın kuru özgül ağırlığı:

$$Q_k = \frac{W_1}{W_2 + W_4 - W_3}$$

(3.5)

-İnce agreganın doymun kuru yüzey özgül ağırlığı:

$$Q_d = \frac{W_2}{W_2 + W_4 - W_3}$$

(3.6)

-İnce agreganın görünen özgül ağırlığı:

$$Q_g = \frac{W_1}{W_1 + W_4 - W_3}$$

(3.7)

-Su emme oranı: (onda bir hanesine yuvarlatılarak)

$$m_1 = \frac{W_2 - W_1}{W_1} * 100$$

(3.8)

Burada;

Q_k = ince agreganın kuru özgül ağırlığı

Q_d = ince agreganın doymun kuru yüzey özgül ağırlığı

Q_g = ince agreganın görünen özgül ağırlığı

m_1 = İnce agreganın su emme oranı (%)

W_1 = Numunenin etüv kuru ağırlığı, (gr)

W_2 = Numunenin doymuş kuru yüzey durumundaki ağırlığı, (gr)

W_3 = ölçü kabı, su ve numunenin toplam ağırlığı, (gr)

W_4 = 500 ml veya 1000 ml çizgisine kadar su ile dolu ölçü kabı ağırlığıdır (gr).

3.2.5. İri agregaların özgül ağırlığı ve su emme oranı tayini yöntemi (TS-3526, ASTM C 127-59)

3.2.5.1. Kapsam:

Agregaların kuru özgül ağırlığı, doymuş kuru yüzey özgül ağırlığı ve görünen özgül ağırlığı iri agregalara uygulanan deneylerle tayin edilir. Bu deney 4.75 mm elek üzerinde kalan agregalara uygulanır.

3.2.5.2. Aletler:

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

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

Kova: Tel sepeti içine alabilecek büyüklükte bir kova.

Kurutma bezleri: Havlu veya benzeri malzemedan yapılmış bezler.

3.2.5.3. Deneyin Yapılışı:

-Deney numunesi su içinde 24 saat bekletildikten sonra çıkarılır, kurutulur.

-Doymuş 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.



Şekil 3.6. Özgül Ağırlık Sehpası

- 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.
- Numune sudan çıkarılır ve etüv kurusu durumuna getirilir.
- Oda sıcaklığına kadar soğutulur ve havadaki kuru ağırlığı kaydedilir.

3.2.5.4. Hesaplama:

İri agreganın kuru özgül ağırlığı, doymuş kuru yüzey özgül ağırlığı ve görünen özgül ağırlığı ve su emme oranı sırası ile aşağıdaki formüller ile hesaplanır.

Su emme oranı (onda bir hanesine yuvarlatılarak)

$$m_k = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \quad (3.9)$$

Burada;

m_k = iri agreganın su emme oranı (%),

W_1 = Numunenin etüv korusu ağırlığı (gr),

W_2 = Numunenin doygun kuru yüzey durumundaki ağırlığı (gr),

W_3 = ölçü kabı, su ve numunenin toplam ağırlığıdır (gr).

3.2.6. Dane şekli tayini - yassılık endeksi (TS 9582,BS-812)

3.2.6.1. Kapsam:

Bu deney, kalınlığı, nominal boyutunun 0.6' sından daha küçük olan agrega danelerinin yassı olarak sınıflandırılmasını esas alan bir metottur.

3.2.6.2. Aletler:

Elek: Aşağıdaki göz açıklıklarına uygun kare göz açıklıklı deney elekleri;

80 - 63 - 50- 40 - 31.5 – 25 – 20 – 16 - 12.5 -10 - 8 - 6.3 - 5 ve 4 mm.dir.

Paralel silindirik çubuklu elekler: Çubuklar arası açıklığının toleransları, toplam açıklık boyunca aynı olmalıdır.

Terazi: Deney kısmının kütlesini, % $\pm$ 0.1 doğrulukla belirleyebilen,

Hava dolaşımli etüv: Sıcaklığı (110 $\pm$ 5) °C' de tutulabilen, termostatlı veya agregaların tane büyüklüklerinde değişikliklere neden olmadan kurutmaya imkân sağlayan, uygun bir cihaz.

3.2.6.3. Deneyin Yapılışı:

Deney elekleriyle eleme:

-Deney numunesi elenir.

-4 mm' lik elekten geçen ve 80 mm' lik elekte kalan taneler tartılır ve işlem dışı bırakılır.

-4 mm ve 80 mm arasındaki her tane büyüklüğü türü d_i / D_i deki bütün taneler tartılır ve ayrı ayrı muhafaza edilir.



Şekil 3.7. Yassılık Şablonu ve Yassılık elek seti

Çubuk eleklerle eleme:

-Deney elekleriyle elenerek elde edilen her dane büyüklüğü d_i / D_i Çizelge 3.4.'te verilen uygun çubuklu elekten elenir.

-Bu eleme işlemi elle gerçekleştirilmeli ve elek üzerinde kalan malzemenin kütlesi 1 dakikalık eleme işlemi sonrasında % 1' den daha fazla değişmiyorsa işlem tamamlanmış olarak kabul edilir.

-Çubuklu elekten geçen her dane büyüklüğündeki malzeme tartılır.

3.2.6.4. Hesaplama:

-Bütün d_i / D_i tane büyüklüğü türlerinin kütleleri toplamı hesaplanır ve M_1 olarak kaydedilir.

-Çubuklar arası açıklığı $D_i / 2$ olan elekten geçen d_i / D_i tane büyüklüğü türlerinin her birindeki tanelerin kütlelerinin toplamı hesaplanır ve M_2 olarak kaydedilir.

-Toplam yassılık endeksi FI aşağıdaki eşitlikle hesaplanır:

$$FI = \frac{M_2}{M_1} * 100$$

(3.10)

Çizelge 3.4. Silindirik Çubuklu elekler

d_i / D_i Tane büyüklüğü (mm)	Silindirik çubuklu eleklerde çubuklar arası açıklık (mm)
63 / 80	40 ± 0.3
50 / 63	31.5 ± 0.3
40 / 50	25 ± 0.2
31.5 / 40	20 ± 0.2
25 / 31.5	16 ± 0.2
20 / 25	12.5 ± 0.2
16 / 20	10 ± 0.1
12.5 / 16	8 ± 0.1
10 / 12.5	6.3 ± 0.1
8 / 10	5 ± 0.1
6.3 / 8	4 ± 0.1
5 / 6.3	3 ± 0.1
4 / 5	2.5 ± 0.1

Burada;

M_1 : Her tane büyüklüğü türündeki tanelerin toplam kütlesi, (gr).

M_2 : Her tane büyüklüğü türünün çubuklar arası açıklığı $D_i / 2$ olan çubuklu eleklerden geçen tanelerinin toplam kütlesi, (gr).

Toplam yassılık endeksi (FI), en yakın tam sayıya yuvarlatılarak kayıt edilir.

Her tane büyüklüğü türünün yassılık endeksi (Fi_i), istendiğinde, aşağıdaki eşitlikten hesaplanır:

$$Fi_i = \frac{m_i}{R_i} * 100$$

(3.11)

Burada;

R_i : Her bir d_i / D_i tane büyüklüğü türünün kütlesi, (gr).

m_i : Her tane büyüklüğü türünün çubuklar arası açıklığı $D_i / 2$ olan çubuklu eleklerden geçen tanelerinin toplam kütlesi, (gr).

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

3.2.7.1. Kapsam:

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

3.2.7.2. Aletler:

-Terazi: Deney numunesi ve aşındırıcı malzemeyi, deney kısmı kütlesinin % 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 $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ ta tutulabilen.

Uygun gereç: Elenmiş numuneyi yıkamak için.

Uygun donanım: Bir deney kısmı elde etmek amacıyla, lâboratuar numunelerinin EN 932-2'ye uygun olarak azaltılması için.

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

3.2.7.3. Deneyin Yapılışı:

- Her bir deney numunesi, ayrı bir tamburun içine yerleştirilir.
- Her bir tambura, (5000 ± 5) gr' lık bir yük oluşturmak için yeterli miktarda çelik bilya 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 agrega kaybını önlemeye dikkat edilerek, agrega ve çelik bilyalar bir kapta 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 bilyalar 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 ± 5) °C' ta kurutulur.
- 1.6 mm göz açıklıklı elekte tutulan kütle miktarı (m), en yakın grama yuvarlatılarak kaydedilir.



Şekil 3.8. Hızlandırılmış Parlatma Makinesi

3.2.7.4. Hesaplama:

Her bir deney numunesi için mikro-Deval katsayısı (MDE), 0.1 birim yaklaşımla aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanır:

$$MDE = \frac{500 - m}{5} \quad (3.12)$$

Burada;

MDE: Mikro-Deval katsayısı (yaş olarak),

m : 1.6 mm göz açıklıklı elek üzerinde tutulan türün kütlesi(gr;)

İki deney numunesinden elde edilen değerler kullanılarak, mikro-Deval katsayısının ortalama değeri hesaplanır. Hesaplanan ortalama değeri, l boratuara

teslim edilen numunenin mikro-Deval katsayısı olarak kaydedilir. Ortalama değer, en yakın tamsayı olarak ifade edilir.

3.2.8. Agregalarda Organik Maddelerin Bulunması

3.2.8.1. Kapsam:

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

3.2.8.2. Aletler:

Cam eprüvet: Seviye gösteren camdan yapılmış tüp.

3.2.8.3. Deneyin Yapılışı:

- 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 değiştirmiştir.
- Eriyiğin aldığı renkle ilgili şu 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 cm³ % 3 suda eriyiği 2.5 cm³ 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.

Çizelge 3.5. Agregada organik maddelerin 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 kullanılır
Belirli kırmızı	Var	Önemsiz işlerde kullanılır
Belirli kahverengi	Çok var	Kullanılmaz

3.2.8.4. Sonuç:

Yukarıdaki şekilde yapılan deneyde agregada üstündeki suda eriyiğinin rengi yukarıdaki eriyiğin renginden açık ise organik madde ya hiç yok veya zarar meydana getirmeyecek miktarda agregada içinde bulunmaktadır

3.2.9. Mikron elekten geçen ince malzemenin tayini (TS 3527)

3.2.9.1. Amacı:

Bu standart, doğal veya yapay agregaların ince madde oranını belirleyebilmek için uygulanan deney yöntemlerini kapsar.

3.2.9.2. Aletler:

-Terazi: 2 kg 0.1 gr duyarlı ve 20 kg 0.1 gr duyarlı terazi.

-Etüv: Sıcaklığı 105 °C ± 5 °C' ta, tutulabilen hava dolaşımli bir etüv.

-Elekler: 0.063 mm, 1 mm, 8 mm göz açıldığında kare gözlü veya kare delikli üç elek.

-Numune çalkalama kabı: Deney numunesini ve ilâve edilen suyu alabilecek ve çalkalama ve karıştırma işlemi sırasında deney numunesi ve suyun dökülmeyeceği büyüklükte bir kap.

3.2.9.3. Deneyin Yapılışı:

-Deney numunesi etüv kurusu durumuna getirilir,

-Tartılarak kuru ağırlığı (W) saptandıktan sonra, Yeteri kadar su ile birlikte çalkalama kabının içine konur.

-En az 12 saat su içinde bekletildikten sonra 0.063 mm den ince tanelerin daha irilerden ayrılmasını sağlamak üzere 5 dakika süre ile kuvvetlice karıştırılarak çalkalanır.

-8 mm, 1 mm ve 0.033 mm göz açıklıklı elekler sıra ile dizilir ve çalkalanmış olan deney numunesi suyu ile (birlikte en üstteki eleğin içerisine boşaltılır. Çalkalama kabında ince malzeme kalmaması için kap yıkama suyu berrak hale gelinceye kadar yıkanır ve yıkama suyu eleklerden geçirilir.

-Eleklerin her üçünün üzerinde kalan agregalar bir araya toplanır etüv kurusu durumuna getirilir ve tartılır.

3.2.9.4. Hesaplama:

-Yıkabilen ince madde, 0.063 mm göz açıklıklı kara gözlü elekten geçen madde etüv kurusu ağırlığının, agreganın etüv kurusu ağırlığına oranı olarak aşağıdaki formül ile onda bir hanesine yuvarlatılarak hesaplanır.

$$m_y = \frac{w_1 - w_2}{w_2} \cdot 100 \quad (3.13)$$

Burada;

m_y = Yıkanabilen ince madde oranı.

w_1 = Numunenin deney öncesi etüv kuru ağırlığı, (gr).

w_2 = Numunenin deney sonrası etüv kuru ağırlığı, (gr).

BÖLÜM 4

ASFALT VE BİTÜM

Petrol; gaz, sıvı ve katı halde bulunan hidrokarbonlara verilen genel addır. Sıvı hidrokarbonlara ham petrol, gaz halindekilere doğal gaz, katı olanlara ise bileşimlerine göre asfalt-parafin veya bitüm adı verilmektedir.

Kuyudan çıkarılan ham petrolün damıtma işleminden sonra bileşenlerine ayrılmasıyla asfalt, parafin, benzin v.s. elde edilir. Bu işlemden sonra da normal hava sıcaklığında kullanılmayacak kadar katı olan bitüm; benzin, mazot, gazyağı ve bunlardan farklı bir teknik olan su ile karıştırılarak inceltir ve kullanılacak hale getirilir. Bu son aşamada artık asfalt, zemin kaplamalarında kullanılmaya hazırdır.

Asfaltı ilk olarak Mezopotamyalılar tapınaklardaki banyo ve su depolarının yalıtımında kullanmışlardır. Eski Mısırlılar Nil nehri boyunca erozyonu engellemek amaçlı yaptıkları kaya setlerinin birleşim harcı olarak asfalt kullanmışlardır. Yol malzemesi olarak asfaltın kullanımı Babilliler döneminde olmuştur (M.Ö. 625). 1595 yılında Venezuela yakınlarında Trinidad Adası'ndaki göl çamuru doğal asfalt olarak tanımlanmış ve gemilerin su yalıtımında kullanılmıştır. 1800 başlarında John McADAM kırma taş ve zift kullanarak ilk yolu yapmıştır.

1871 yılında ilk sıcak karışım asfalt üretimi gerçekleştirilmiş ve patenti alınmıştır. 1907 yılında rafine petrol bitümü kullanılarak ilk asfalt üretilmiştir. 1955 yılında Ulusal Asfalt Kaplamaları Birliği (NAPA) kuruldu. 1956 yılı ise bir dönüm noktası olarak asfalt sektöründe; elektronik duyarlı finişer ve silindir ilk kez bu yıl içerisinde kullanılmıştır. 1970'li yılların başında asfaltın yeniden kullanılması sağlanmış ve büyük çaplı kazanç sağlanmıştır. Günümüzde, sadece A.B.D.'de yılda 70.000.000 ton dan fazla asfalt geri kazanım yoluyla yeniden kullanılmaktadır.

Dünyada kullanılan 1.500 Milyon Ton asfaltın 500 Milyon Ton'u Amerika'da, 320 Milyon Ton'u Avrupa'da, 200 Milyon Ton'u da Çin'de üretilmektedir.

Avrupa ülkelerinde, Almanya 57 Milyon Ton asfalt üretimiyle 1.sırada, Türkiye ise 16,6 Milyon Ton ile 6. sırada yer almaktadır.

4.1 Bitüm

Bitüm, doğal kökenli hidrokarbonların bir karışımı ya da pirojenik kökenli (doğal, ısı etkisiyle ergime sonucu oluşan) hidrokarbonların bir karışımı ya da bunların her ikisinin bir kombinasyonu olup çok kez bunların gaz, sıvı, yarı katı ya da katı halde olabilen, metal dışı türevleriyle bir arada bulunan, yapıştırıcı özellikleri olan karbondisülfürde tamamen çözülen madde olarak tanımlanır.

Asfaltlar, kökenlerine göre doğal asfaltlar ve yapay asfaltlar olarak iki gruba ayrılabilirler:

1. Doğal Asfaltlar

Doğada genellikle mineral maddelerle karışmış halde bulunurlar. Kullanılabilir hale getirmek için birtakım işlemlerden geçirmek gerekir. Göl asfaltı, kaya asfaltı bu sınıfa girerler.

2. Yapay Asfaltlar

Ham petrolün arıtılmasından elde edilirler. Petrol kuyularından çıkarılan ham petrol rafinerilerinden pompalarla tanklara, buradan da ısıtma kulelerine gönderilerek sıcaklığı yükseltilir; daha sonra damıtma kulelerine gelir. Kolay uçucu olan kısımlar bu kulelerin üst kısmından çıkar ve soğutucularda yoğunlaştırılarak ayrılır. Bunlar

hafif ürünleri, daha az uçucu olanlar aynı biçimde orta ürünleri, en ağır uçucu olanlar ağır ürünleri oluştururlar.

Başlıca asfaltı içeren kalıntı maddeler ise kulenin dibinde birikir. Bu biçimde ham petrol başlıca beş kısma ayrılmış olur:

1. Benzin (Gazolin)
2. Gaz yağı (Kerosen)
3. Dizel yağları (Mazot)
4. Yağlama yağları
5. Ağır kalıntı maddeler

4.1.1. Asfalt Çimentoları (AC)

Kalıntı maddelerinin daha ileri damıtılmasından SC sınıfı yavaş kür olan yol yağları elde edilir ve geriye asfalt çimentosu kalır. Koşulların değiştirilmesiyle istenilen penetrasyonda asfalt çimentosu elde edilir.

Yol üst yapılarında kullanılan asfalt çimentoları, özellik ve kıvam bakımından doğrudan doğruya bitümlü kaplamalarda kullanılmak için hazırlanmış petrol kökenli asfaltlardır.

AC ile gösterilen asfalt çimentoları, kıvamlılığı gösteren ve 10 - 300 arasında değişen penetrasyon derecelerine göre sınıflandırılırlar.

4.1.2. Sıvı Petrol Asfaltları (Katbek Asfaltlar)

Asfalt çimentosuyla kaynama noktası düşük, yani kolay uçan bir çözücü (benzin, nafta) ile karıştırılarak çabuk kür olan RC Sıvı Petrol Asfaltları, orta derecede uçucu bir çözücünün (gaz yağı) karıştırılmasıyla orta hızda kür olan MC

Sıvı Petrol Asfaltları, ve ağır yağlarda inceltilerek yavaş kür olan SC Sıvı Petrol Asfaltları elde edilir.

Ayrıca sıvı petrol asfaltlarının her biri kendi aralarında kinematik viskozite değerlerine göre tiplere ayrılırlar. Sıvı petrol asfaltları, asfalt malzemesi ve çimentolu temel tabakaların satırlarında kür malzemesi olarak kullanılırlar.

4.1.3. Asfalt Emülsiyonları

Emülsiyon, birbiri içinde çözünemeyen iki sıvıdan birinin ötekisi içerisinde küçük küre tanecikleri halinde üniform halinde dağılmasıdır.

Asfalt emülsiyonları da asfalt çimentosu küreciklerinin su içinde dağılmasından oluşur. Bu işlem mekanik olarak yapılır; ancak asfalt küreciklerinin birbirine yapışarak sudan ayrılmalarını önlemek için emülgatör denilen katkı maddeleri kullanılır.

Asfalt emülsiyonları emülgatörün cinsine göre ikiye ayrılır:

1. Anyonik asfalt emülsiyonları
2. Katyonik asfalt emülsiyonları

Bir asfalt emülsiyonu agregayla karıştırıldığı ya da bir yolun sathına püskürtüldüğü zaman emülsiyon kesilir; yani asfalt kürecikleri sıvı ortamdan ayrılarak agreganın üzerine yapışırlar. Serbest kalan su buharlaşır. Yolda kullanılan asfalt emülsiyonları kesilme hızlarına göre:

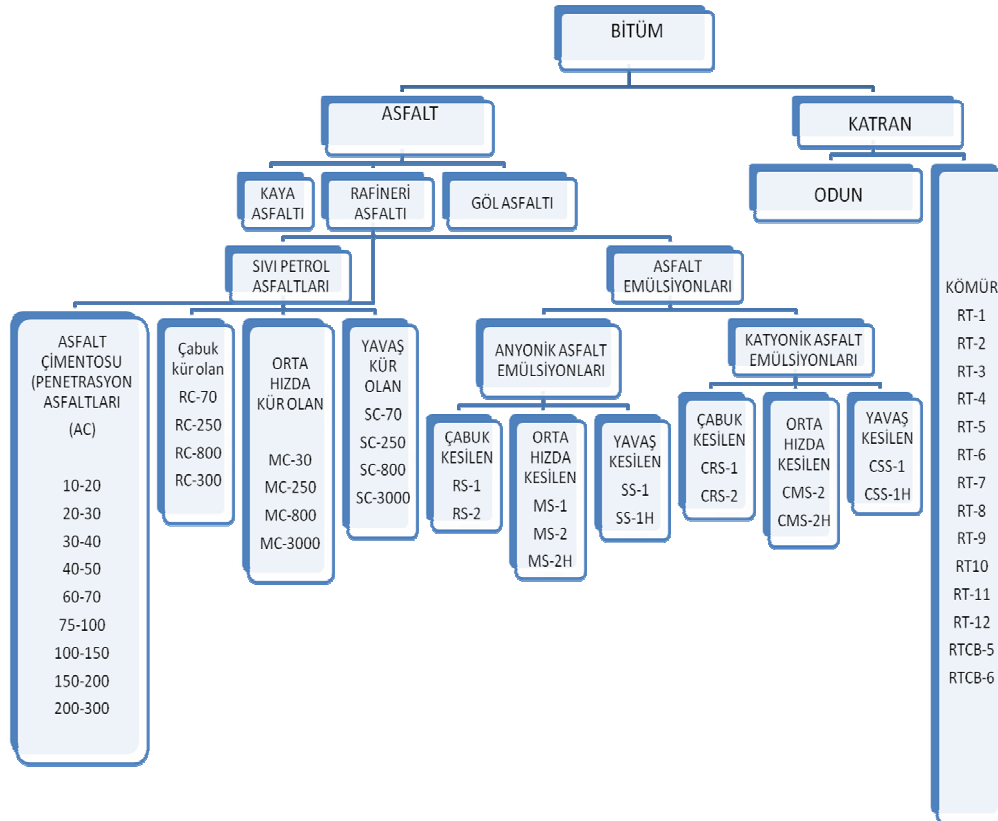
1. Çabuk kesilen RS asfalt emülsiyonları
2. Orta hızda kesilen MS asfalt emülsiyonları
3. Yavaş kesilen SS asfalt emülsiyonları

Olarak üçe ayrılırlar.

Asfalt emülsiyonlarının, dünyadaki kullanım miktarları her geçen yıl hızla artmaktadır. Ancak ülkemizde asfalt emülsiyonu tüketimi istenilen düzeye ulaşmamıştır. Asfalt emülsiyonları belli başlı olarak;

1. Sathi kaplamalarda,
 2. Karışım kaplamalarda,
 3. Harç kaplamalarda,
 4. Yama ve onarım işlerinde,
 5. Penetrasyon makadam yol kaplamalarında,
- kullanılmaktadır.

Çizelge 4.1. Bitümlü Malzemelerin Sınıflandırılması



4.1.4. Katran

Katran, başlıca kömürün ve odunun kapalı bir sistem içerisinde kuru kuruya damıtılmasından elde edilir. Bu şekilde elde edilen katrana ham katran denir. Genellikle, katran bu şekliyle değil, arıtıldıktan sonra kullanılır. Yol kaplamalarında bağlayıcı olarak kullanılan katranın kömür kökenli olması tercih edilir.

RT sembolüyle gösterilen yol katranları kıvamlılıklarına göre RT-1, RT-2,...,RT-12 ve RTCB-5, RTCB-6 olarak 14 sınıfa ayrılırlar. Numaralar büyüdükçe kıvamlılık artar (Çizelge 4.1.).

4.2. Bitüm Deneyleri

4.2.1. Penetrasyon Deneyi(TS 115-EN58)



Şekil 4.1. Bitüm penetrometresi

Asfalt çimentosu oda sıcaklığında yarı katı bir maddedir. Asfaltın bağlama yeteneği kıvamlilik deneyi ile saptanır. Kıvamlilik arttıkça karışım içindeki agregaların birbirlerine daha iyi bağlanacağı doğaldır. Yarı katı veya akıcı olmayan bağlayıcıların kıvamlarının viskozimetre ile ölçülmesi mümkün değildir. Bu durumda penetrasyon deneyi yapılır.

Penetrasyon derecesi yükseldikçe daha yumuşak bağlayıcı söz konusudur. Buna karşılık viskozitede durum terstir. Normal yol işlerinde kullanılan asfaltların penetrasyonu 30 ile 300 arasında değişir. Penetrasyonu aynı olan iki asfalttan yumuşama noktası yüksek olan sıcağa daha dayanıklıdır

4.2.1.1. Kapsam:

Penetrasyonun kelime anlamı batma ve içe girmedir. Penetrasyon deneyi ile asfalt çimentolarının sertlik ve kıvamlilikleri tayin edilir.

Standart bir iğnenin belirli bir yük altında ve belirli bir süre asfalt numunesi içerisine dikey olarak batma mesafesidir. Penetrasyon yükseldikçe asfalt yumuşar. Deney şartlarının belirtilmediği hallerde ağırlık, zaman ve sıcaklık sırası ile 100 gr, 5 saniye, 25 °C olarak alınacaktır. Ağırlık iğne ve buna ilave parçaların toplam ağırlığıdır.

4.2.1.2. Aletler:

Penetrasyon cihazı (iğne ve göstergedan ibarettir) : iğnenin serbest düşmesini temin edebilen ve penetrasyon tarifine uygun doğru neticeler veren ve hassas olarak ayarlanabilen herhangi bir cihaz, penetrasyon cihazı olabilir. (Şekil 4.1. Bitüm penetrometresi).

Numune kabı: Deneyde kullanılacak kap, metal veya camdan, silindirik ve dibi düz yapılmış olacaktır. Penetrasyonun 200 ve daha aşağı olan madeler için kullanılacak

kabın iç çapı 55 mm ve iç derinliği 35mm, penetrasyonun 200' den yukarı olanları için de kabın iç çapı 70 mm ve iç derinliği 45 mm olacaktır.

Su banyosu: Su banyosu en az 10 lt. su alacak hacimde ve 25 ± 0.1 dereceye ayarlanabilen bir regülatörle teçhiz edilmiş olacaktır. Banyonun numuneyi tabandan 5 cm yukarıda ve su sathından 10 cm derinlikte tutacak delikli bir rafı bulunacaktır.

Taşıma kabı: Numune kabının konduğu taşıma kabı, dibi düz silindirik metal veya camdan yapılmış olacaktır. İç çapı en az 90 mm, yüksekliği 55mm olan taşıma kabının tabanı numune kabının sallanmadan oturmasını sağlayacak şekilde yapılmış olacaktır.

İğne: İğne takriben 51 mm boyunda 1 - 1.02 mm çapında silindirik çelikten yapılmış olacaktır. İğnenin takriben 6.5 mm uzunluktaki uç kısmı $8^{\circ} 40$ dakika ile $9^{\circ} 40$ dakikalık açıyı bir koni teşkil ederek sivriltilmiş olacaktır. Sivri ucun çapı 0.14 - 0.16 mm olacak şekilde aşındırılacak ve aynı zamanda sertleştirilmiş ve parlatılmış olacaktır. İğne penetrasyon cihazına takıldığında, iğnenin dışında kalan kısım 40 - 43 mm arasında olacaktır.

4.2.1.3. Deneyin Yapılışı:

- Penetrasyon cihazı düzgün bir yere yerleştirilip, gösterge sıfıra getirilir.
- 100 gr. ağırlığındaki numune kolayca dökülebilecek sıcaklığa kadar ısıtılır. Bu sıcaklık malzemenin yumuşama noktasından 90°C fazla olmamalıdır.
- Numune hava kabacıkları kayboluncaya kadar karıştırılır. Sonra numune kabına dökülerek ağzı kapatılır. Oda sıcaklığında ($21 - 30^{\circ}\text{C}$) 1 – 1.5 saat bekletilerek soğutulur.
- Numune kabı taşıma kabı ile birlikte $25 - 71^{\circ}\text{C}$ lik su banyosunda 1.5 saat bekletilir.
- Numune kabını taşıma kabı su ile dolu olarak penetrasyon cihazı tablasına yerleştirilir.
- Penetrasyon iğnesi numunenin yüzeyine ancak degecek şekilde ayarlanır. Bu ayarlama yandan gönderilen ışık altında iğne ucunun su içindeki görüntüsü ile birleştiği durumdur.

-İğne 5 sn. süre ile numuneye daldırılır. 5 sn. sonra iğnenin batma mesafesi göstergeden okunur. Bu değer Penetrasyon değeridir.

-Penetrasyon kabının kenarından ve birbirine en az 1 cm. uzaklıkta en az 3 okuma yapılır. Bu okumalar en kısa zamanda arka arkaya yapılmalıdır.

-Bu üç okumanın cebrik toplamalarının üçe bölümü bize ortalama penetrasyon değerini verir.

-İğne her seferinde uygun bir çözücü ile (Karbontetraklorür, Benzin, trikloretilen) ısıtılmış bezle silinir.

4.2.1.4. Sonuç

Yapılan deneyde alınan bitüm numunesinin penetrasyon değerleri: 59, 60 ve 61 mm olarak okunmuştur.

Penetrasyon = 60 olarak hesaplanır. Bu değer 50 – 70 penetrasyon bitümde verilen aralık arasındadır.

Asfalt çimentosu oda sıcaklığında yarı katı bir maddedir. Asfaltın bağlama yeteneği kıvamlılık deneyi ile saptanır. Kıvamlılık arttıkça karışım içindeki agregaların birbirlerine daha iyi bağlanacağı doğaldır.

4.2.2. Yumuşama noktası deneyi (bilya halka metodu) (TS 120 EN 1427):

Isıya dayanıklılık 25 °C’ de penetrasyonları aynı olan asfalt çimentosu ile okside ısıtılarak (ısıtarak) mukayese edelim. 45 °C’ deki asfalt çimentosu ile okside olmuş asfaltın kıvamlılıkları farklı olacaktır. Daha fazla ısıtılırsa daha belirgin olur. 175 °C’ de ise asfalt çimentosu çok akıcı, okside asfaltı ise hiç akıcı olmayacaktır. 0 °C’ de ise asfalt çimentosu okside asfalta nazaran daha serttir. Asfaltların bu özelliğine ısıya karşı dayanıklılık diyoruz.



Şekil 4.2. Yumuşama noktası deney aleti

Asfalt çimentosunun ısıya karşı duyarlılığı okside asfaltlara nazaran çok daha fazladır. Asfaltların ısı değişimlerine karşı olan bu duyarlılıkların ölçmek için “halka, bilya” metodu ile yumuşama noktası tespit edilir.

4.2.2.1. Kapsam:

Bir su banyosu içine yerleştirilmiş üzerinde bir bilye bulunan standart bir halka içindeki bitümlü maddenin belli bir hızla ısıtılması ile yumuşayan maddenin tabanına değdiği anda termometrede okunduğu sıcaklıktır.

4.2.2.2. Aletler:

Pirinç levha: Pirinçten yapılmış mesnet sağlama amaçlı levhadır.

Pirinç halka: Pirinçten yapılmış olan halkanın iç çapı 15.875 ± 0.250 mm, et kalınlığı 2.38 ± 0.25 mm ve derinliği 6.35 mm olacaktır.

Çelik bilya: Çelikten yapılmış bilyanın çapı 9.53 mm ve ağırlığı 3.45 – 3.55 g

arasında olacaktır.

Su banyosu: Banyo 8.5 cm çapında, 10 cm derinliğinde, ısıtmaya dayanıklı camdan yapılmış olacaktır. (Banyo olarak 600 cm³ veya 800 cm³lük beherler de kullanılabilir.)

Termometreler: Alçak yumuşama noktası deneylerinde (-2) - (+80) °C en çok 0.2 taksimatlı, yüksek yumuşama noktası deneylerinde (+30) - (+200) °C maksimum 0.5 taksimatlı termometreler kullanılacaktır.

4.2.2.3. Deneyin Yapılışı:

- Pirinç plaka vazelinlenir, halka levha üzerine yerleştirilir.
- Halka akıcı hale getirilen numune ile doldurulur. 1 saat süreyle oda sıcaklığında bekletilir, tesviye edilir, soğumaya bırakılır.
- Su banyosu 5 °C' ye kadar soğutulmuş su ile 9cm yüksekliğe kadar doldurulur.
- Kalıp numuneyi taşıyan halkanın alt yüzü banyonun tabanından 2.5cm yukarıda olacak şekilde banyoya yerleştirilir.
- Termometre halkadan 0.5cm uzaklıkta olacak şekilde banyoya daldırılır. Termometrenin haznesi kalıbın alt sathı ile aynı hizada olmalıdır.
- Su banyosunun sıcaklığı, içinde numune ve bilye olmak şartı ile 15 dakika 5 °C' de sabit tutulur. Sonra bilye halka içindeki numunenin tam ortasına yerleştirilir.
- Banyonun suyu ilk 3 dakikadan sonra dakikada 5 °C yükseltilecek şekilde ısıtılır.
- Sıcaklığın artması ile yumuşayan malzemenin banyoya değdiği anda termometreden okunan sıcaklık yumuşama noktası olarak kaydedilir.
- Yumuşama noktası 80 °C' nin üzerinde olan malzemelerde saf su yerine gliserin kullanılmalıdır. Deneyin başlangıç sıcaklığı 30 °C olmalıdır.
- Yumuşama noktası 150 °C' den fazla olan bitümler için ise silikon esaslı yağ kullanılır. Deneyin başlangıç sıcaklığı 100 °C olmalıdır.

4.2.2.4. Sonuç

Sonuç olarak yumuşama noktası 49 °C bulunmuştur.

4.2.3. İnce film halinde ısıtma kaybı deneyi (TS 121)



Şekil 4.3. Isıtma kaybı deney aleti

4.2.3.1. Kapsam:

Bu deney ısıнын ve havanın yarı katı asfaltik maddeler üzerindeki etkilerini ölçmeye yarar. Deney 8.2 mm kalınlığındaki bir asfalt filminin 5 saat süreyle 163 °C sıcaklıktaki döner tablalı bir etüvde ısıtılmasından sonra ağırlık kaybı ile penetrasyon ve düktilite değerlerinde meydana gelen değışmelerin saptandığı bir yöntemdir.

4.2.3.2. Aletler:

Etüv: Etüv sıcaklığı 163 °C’ de tutabilen etüv içerisindeki termometrenin kapağı açmadan okunabilmesi için ön kapak camlı olmalıdır. Elektrikle ısıtılan 30 x 30 x 30 ebadında otomatik kontrollü, dakikada 5\6 devir yapabilen ve üzerinde en az 14 cm çaplı 2 numune kabı taşıyan rafı bulunan bir etüvdür. Etüv dört köşe ve yuvarlak çift

cidarlı olacaktır. İç boyutları ısıtma tellerinin kapladığı kısım hariç, yüksekliği en az 30.0 cm olacaktır. Termometrenin dışarıdan okunabilmesi için, kapı üzerinde camlı bir pencere bulunacaktır. Etüvde yeterli miktarda taze havanın girmesine ve sıcak hava ve buharın çıkmasına yetecek kadar giriş, çıkış delikleri uygun yerlere açılmış olacaktır. Etüvde takriben 25.0 cm çapında, delikli yuvarlak döner metal bir raf bulunacaktır. Bu raf etüvün tam ortasında bulunacak ve mekanik bir tertibat ile dakikada 5 ile 6 devir yapan dikey bir mile tespit edilmiş olacaktır.

Numune kabı: 55 mm çapında, 35 mm derinliğinde silindirik şekilde dibi düz numune kabı, metal veya camdan yapılmış olacaktır. Kap eğrilmiş olmamalıdır.

Termometre: 155 – 170 °C bir ısınma kaybı termometresi olacaktır.

4.2.3.3. Deneyin Yapılışı:

-163 °C' ye ayarlanan etüv içerisine 2 adet ağırlığı bilinen 3.2 mm kalınlığındaki numuneler raf üzerine yerleştirilir.

-Döner raf dakikada 5 - 6 devirlik hızla döndürülür.

-Deney süresi numune etüve yerleştirildikten sonra sıcaklık 162 °C' ye ulaştığı anda başlar.

-Numune etüvde 5 saat süreyle 163 °C' de bekletilir.

-Numune kabının etüv de bekleme süresi hiçbir zaman 15 dakikayı aşmamalıdır.

-Süre bitiminde numuneler etüvden çıkarılır, oda sıcaklığına ulaşınca kadar soğutulup tartılır.

-İki numunedeki ağırlık kaybı bulunur, bulunan değerlerin ortalaması alınarak kaydedilir.

4.2.3.4. Sonuç

50–70 penetrasyona sahip bitümden 70 gr ve 70.5 gr olan 2 adet numune alınmıştır. 5 saat süreyle etüvde bekletilen numunelerde 0.33 gr ağırlık kaybı olduğu gözlenmiştir. Ağırlık kaybı oranı $0.33 / 70 = \% 0.47$ ve $0.33 / 75 = \% 0.44$ olarak bulunmuştur.

4.2.4. Parlama noktası (TS 123 EN 22592)



Şekil 4.4. Parlama noktası deney aleti (Cleveland açık kap cihazı)

4.2.4.1. Kapsam:

Bir maddenin buharının alev temasında geçici olarak parladığı fakat yanmaya devam etmediği en düşük sıcaklıktır.

Parlama noktasının bilinmesi herhangi bir tutuşma ve yangın tehlikesinin önlenmesi yönünde önemlidir. Parlama noktası tayininde çeşitli cihaz ve yöntemler vardır. Parlama noktası 79 °C' nin üstünde olan malzemeler için CLEVELAND açık kabı, Parlama noktası 79 °C' nin altı için TAGLIABLIEX açık kabı kullanılır. Ayrıca deney sonrası satıhta ince film teşkil eden malzemeler için PENSKY – MARTEN kapalı kabı kullanılır

Asfalt çimentolarında parlama noktası CLEVELAND açık kabı ile yapılır,

burada yanma noktası da tayin edilebilir.

Alev temasında numunenin 5 saniye süre ile yandığı andaki sıcaklık yanma noktasını verir.

Parlama noktası, bir maddenin buharının alev temasında geçici olarak parladığı fakat yanmaya devam etmediği en düşük sıcaklıktır.

Bir malzemenin parlama noktasının bilinmesi, o malzemenin uygulanması sırasında ısıtılırken meydana gelebilecek herhangi bir tutuşma ve yangın tehlikesinin önlenmesi bakımından çok önemlidir.

Bu metod, parlama noktası 79 °C' nin üstünde olan bütün petrol ürünlerinin parlama, yanma noktaları deneyi içindir. Parlama noktası standart bir kapta hazırlanan bitümlü malzemenin, belirli bir hızla ısıtılması esnasında bir alevcik yardımıyla tespit edilen parlama anındaki sıcaklıktır.

4.2.4.2. Aletler:

Cleveland açık kabı: (Deney kabı, ısıtma levhası, ısıtıcı ve spordan ibaret olacaktır)

Termometre: Deneyde kullanılacak termometre (-6) - (+ 400) °C olacaktır.

Kalkan: Hava dolanımını önlemek için gerektiğinde kullanılan amyanttan veya sacdan yapılmış; bir kenarı 46 cm, yüksekliği 61 cm; altı, üstü ve ön cephesi açık bırakılmış, kare prizma şeklinde olacaktır.

4.2.4.3. Deneyin Yapılışı:

-Cihaz hava akımı olmayan bir yere yerleştirilir.

-Deney sırasında parlama noktasını tespit edebilmek için deney yerinin aşırı ışık almaması gerekir.

-Numune kabına 140 - 160 °C' ye kadar ısıtılan numune hava kabarcığı kalmayacak

şekilde doldurulur.

-Termometre haznesi kabın dibinden 6.5 mm. yukarıda kalacak ve kabın yarıçapına (ortasına) gelecek şekilde ayarlanır.

-Deney başlangıcında sıcaklık artışı parlama noktasına yaklaşıncaya kadar dakikada 14-17 °C / dk numune'nin beklenen parlama noktasına 28 °C' ye yaklaştığı anda sıcaklık dakikada ise ortalama 5.5 °C / dk artacak şekilde ısıtma hızı ayarlanır. Deney alevinin çapı 4mm olmalıdır.

-Parlama noktasına yaklaşıldığı andan itibaren termometrenin her 3 °C yükselişinde alev numunenin üzerinde geçirilmelidir, alev kap üzerinden yaklaşık 1 saniyede geçirilir.

-Numune yüzeyinin herhangi bir noktasında parlama görüldüğü anda okunan sıcaklık parlama noktası olarak kaydedilir. Bu sıcaklık tespit edildikten sonra ısıtmaya aynı hızla devam edilir.

-Numunenin 5 saniyeden fazla süre ile yandığı anda termometreden okunan sıcaklık yanma sıcaklığıdır.

-Sonuçlar barometre basıncına göre düzeltilmelidir.

4.2.4.4. Sonuç

Parlama noktası 285 °C olarak bulunmuştur.

4.2.5. Viskozite

4.2.5.1.Kapsam:

Viskozite deneyinin amacı asfaltların uygulama sırasında ısıtıldıkları sıcaklık sınırları içerisindeki akma özelliklerini tayin etmektir. Viskozite, kıvamlılığı ifade için kullanılan genel terimdir. Esas itibarıyla akmaya karşı olan direncin bir ölçüsüdür. Asfalt yarı katı hale yaklaştıkça viskozite değeri artar.



Şekil 4.5. Viskozite Deney Aleti

Viskoziteyi ölçmek için çeşitli deney yöntemleri ortaya konmuştur. Sıvı petrol asfaltları için genel olarak iki yöntem uygulanır.

1. Kinematik Viskozite Deneyi
2. Saybolt Viskozite Deneyi

Metrik sistemde viskozite (mutlak viskozite) birimi $\text{gr} / (\text{cm} * \text{sn})$ dir. Poise olarak adlandırılır ve p harfi ile gösterilir. Genellikle viskozite birimi olarak santipoise (cp) = 1/100 poise kullanılır

Mutlak viskozite p, yoğunluğu d olan bir akışkanın kinematik viskozitesi $u = p/d$ dir. Metrik sistemde birimi (cm^2/ sn) dir. Skote olarak adlandırılır ve st simgesi ile gösterilir. Genellikle kinematik viskozite birimi olarak santistok (sST) = $(1/100)$ skote kullanılır.

Saybolt viskozite ise, akışkanın saybolt viskozimetresinden akması için geçen akma zamanıdır ve birimi saniyedir.

4.2.6. Kinematik viskozite deneyi (TS 1093 EN 12595):

4.2.6.1. Kapsam:

Bu deneyde belli hacimdeki bir sıvının, çok duyarlı bir şekilde kontrol edilen bir sıcaklıkta, kalibre edilmiş bir kılcal camdan akarak geçmesi için gereken süre ölçülür. Sonra bu akma süresinin saniye cinsinden değeri, kullanılan viskozitemetre'nin kalibrasyon sabiti ile çarpılarak söz konusu sıvının kinematik viskozitesi bulunur. Bu yöntem ile elde edilen sonuçlar, deneye tabi tutulan maddelerin deney sıcaklığındaki yoğunlukları bilindiği veya tayin edilebildiği hallerde bu maddelerin dinamik (mutlak) viskozitelerinin hesaplanmasında da kullanılır.

Yöntem başka sıcaklıklarda da kullanılabilir. Ancak yöntemin duyarlılığı, deneyin sıvı asfaltlar için 60 °C ve asfalt çimentoları için de yalnız 135 °C' de yapıldığı durumlarda geçerlidir.

4.2.6.2. Aletler:

Viskozimetre: Borosilikat camdan yapılarak tavllanmış, kılcal biçimli kinematik viskozite tayinine uygun viskozimetredir. Bu amaçla aşağıda ismi verilen viskozimetreler kullanılmaktadır.

1. Cannon : Fenske opak viskozimetresi
2. Zeitfuchs çapraz kollu viskozimetresi
3. Lants : Zeitfuchs viskozimetresi
4. BSU: Borulu, ters akışlı viskozimetre

Herbir viskozimetrenin de çeşitli viskozite aralığını ölçen ve kalibrasyon sabitleri farklı olan çeşitleri vardır. Buna göre, viskozitesi ölçülerek sıvı için uygun olan viskozimetri seçilir.

Termometreler: Standartlara uygun kinematik viskozite termometreleridir.

Banyo: Viskozimetrenin içine daldırılacağı banyodur. Deney 60 °C’ de yapılacaksa banyo damıtık su ile 135 °C’ de yapılacak ise yağ ile doldurulmalıdır.

4.2.6.3. Deneyin Yapılışı:

Her tip viskozimetrenin dolduruluşu farklı olduğundan, TS 1093’te verilen şartlara uyulur.

-İyice karıştırılan numunenin akıcı hale gelmesi için sıvı asfaltlar 165 °C etüvde bekletilir.

-Asfalt çimentoları ise 135 °C’ ye kadar ısıtılır.

-Standartlarda uygun şekilde viskozimetre doldurulur.

-Viskozimetre deney sıcaklığına gelmiş banyoya yerleştirilir ve 30 dakika beklenir.

-Bu sürenin sonunda viskozimetrenin kılcal borusundan akmaya başlayan belirli işaretler arasındaki hacmi doldurması için geçen süre kronometre ile tespit edilir.

4.2.6.4. Sonuçların Verilmesi:

Kinematik viskozite, aşağıdaki formülden hesaplanır ve sonuç virgülden itibaren üç basamağa kadar verilebilir. Viskozitenin hangi sıcaklıkta yapıldığı kesinlikle belirtilmelidir.

$$u = C * t$$

Burada;

u = Kinematik viskozite, santistok (cST) cinsinden,

C= Viskozimetrenin kalibrasyon sabiti, cST/s ,

t = Akma süresi, saniye olarak

4.2.7. Saybold Viskozite Deneyi (TS 1451 EN ISO 3104):

4.2.7.1. Kapsam:

Saybolt viskozite, standart bir tüp içinde bulunan istenilen deney sıcaklığına kadar ısıtılmış olan bitümlü maddenin, 60 cm³ hacminde bir toplama kabını doldurması için geçen zamanın saniye cinsinden değeridir. Standart tüp olarak universal delikli tüp kullanılırsa, Saybold Universal Viskozite, Furol Viskozite adını alır. Furol Viskozite yaklaşık olarak universal viskozitenin onda biridir.

4.2.7.2. Aletler:

Cihaz aşağıdaki parçalardan ibarettir.

- Saybold viskozimetre tüpü: Tüp korozyona dayanıklı bir metalden yapılmış olacak ve şekilde gösterilmiş boyutlarda olacaktır. Tüp şekilde gösterilen furol veya universal deliklerden herhangi birinin yerleşeceği şekilde yapılmış olacak ve yağ banyosuna dik olarak tespit edilecektir. Deliklerin ağzı uygun bir mantarla kapanacaktır.

- Banyo: Banyo, tüpleri dik olarak tutacak şekilde yapılmış olacak, çizelgede verilen sıcaklık ve toleransları sağlayacak özellikte bir regülatörü bulunacaktır. Banyonun karıştırma ve soğutma tertibatı olacaktır.

- Pipet: 100 cm³ hacminde olacaktır.

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

- Viskozite ve banyo termometreleri : 0.1 °C taksimatlı 0.05 °C hassasiyetli ve bu deney için hazırlanmış termometreler kullanılacaktır.

4.2.7.3. Cihazın Hazırlanması:

-Hassas sonuç elde etmek için akma müddeti 32 saniyeden fazla olan yağlar ve damıtık malzeme için universal delikli tüpler;

- Akma müddeti 1000 saniyeden fazla olanlar için de furol delikli tüpler kullanılır.
- Viskozimetre banyosu hava akımı olmayan bir yerde bulunacaktır. Numune deney süresinde toz ve buharlara maruz bırakılmayacaktır. Laboratuvar sıcaklığı deney süresince 20 - 30 °C arasında olacaktır.
- Banyonun yağı, deney tüpünün üst seviyesinde 6 mm aşağı bir seviyeye kadar doldurulur. Viskozimetre tüpleri kullanılmadan önce uygun bir çözücü ile iyice temizlenmelidir.

4.2.7.4. Tüplerin Ayarlanması:

- Saybold üniversal delikli tüpü (38 °C) akma zamanı bilinen standart viskoziteli bir sıvının periyodik aralıklarla ölçülmesiyle ayarlanır.
- Akma zamanı, viskozitesi bilinen sıvının değerine eşit olacaktır. Akma zamanı bilinen değerinden min % 0.02 farklı olursa, tüpün düzeltme kat sayısı (F) aşağıdaki formülden hesaplanacaktır.

$$F = \frac{V}{t} \quad (4.1)$$

V= Standart sıvının bilinen viskozitesi

t = Standart sıvının deney neticesindeki viskozitesi

- Saybold Furol delikli tüpün ayarlanması 50 °C' de viskozitesi bilinen bir sıvı ile yapılacaktır. Tüp ve deliğin oranı % 1 den fazla olduğu zaman, bu tüpte deney yapılmayacaktır.

4.2.7.5. Deneyin Yapılışı:

- Tüpe konulan numunenin sıcaklığı deney sıcaklığını 17 dereceden fazla aşmayacak ve aynı zamanda numunenin alevlenme noktasının (10 °C) altındaki sıcaklığı

geçmeyecek şekilde ısıtılmış olacaktır.

-Tüpün alt deliğine hava ve sıvının sızmasına mani olacak şekilde ve kolaylıkta girip çıkabilen mantar tapa takılır.

-Numune 149 mikron elekten süzüldükten sonra deney tüpünün galeri seviyesini biraz geçecek şekilde tüpe doldurulur.

-Numune deney sıcaklığının ($\pm 0.05^{\circ}\text{C}$) limiti içinde sabit kalıncaya kadar cam baget ile karıştırılır.

-Termometre ve baget numuneden çıkarılır. Galerideki fazla malzeme bir pipetle dışarı atılır.

-Toplama balonu, deney tüpünün altına ve ilk damla balonun kenarına değdiği anda kronometre, çalıştırılır ve numune balonun boyundaki çizgiye geldiği anda kronometre durdurulur.

-Numunenin akma müddeti saniye olarak kaydedilir.

4.2.7.6. Hesap ve Sonuç:

Bulunan akma zamanı değeri düzeltme katsayısı ile çarpılarak hakiki viskozite değeri hesaplanır. Akma zamanı 200 saniyeden aşağı olan viskozite değerleri 0.1 yakınlıkla; 200 saniyeden yukarı olanlar ise, ondalık kesri tamsayıya çevrilerek verilir.

4.2.8. Düktilite deneyi (TS119)

4.2.8.1. Kapsam:

Düktilitenin kelime anlamı 'uzama' veya 'çekilebilme' demektir. Asfalt çimentolarının önemli özelliklerinden biridir. Uzama yeteneği fazla olan asfalt çimentoları, düktilite değeri daha düşük olan asfalt çimentolarına göre daha üstün bir bağlama yeteneğine sahiptir.

Diğer yandan, çok yüksek düktilite değerine sahip asfaltlar ise, ısı

değişimlerine karşı fazla duyarlılık gösterirler. Bu nedenle çeşitli asfaltların düktilite değerleri sınırlandırılmıştır.



Şekil 4.6. Düktilite Deney Aleti

Düktilite, standart kalıpta hazırlanmış bitümlü briketin istenilen sıcaklık ve hızda her iki ucundan çekilerek kopuncaya kadar uzadığı miktardır. Deney şartlarının bildirilmediği hallerde deney sıcaklığı $25 (\pm 0,5 ^\circ\text{C})$ ve çekme hızı $(5 \pm 0,25 \text{ cm / dakika})$ olacaktır.

Normal bir deneyde kopma, çekilmekte olan maddenin alışılmış bir noktada ayrılması veya iplik şeklinde uzamakta olan numunenin kesit alanının sıfıra inmesi anıdır. Böyle üç normal deney sonuçlarının ortalaması, numunenin düktilitesi olarak bildirilir. Deney esnasında bitümlü madde suyun üst yüzeyine veya banyonun tabanına değerse bu normal bir deney olarak kabul edilemez.

4.2.8.2. Aletler:

Cihaz aşağıdaki parçalardan ibarettir:

Düktilite Aleti: Bitümlü madde briketinin, su içinde titreşim yapmaksızın çekiminde, kalıbın her iki parçasını bir birinin aksi yönünde muntazam bir hızla çekilmesini sağlayan herhangi bir cihaz düktilite aleti olarak kullanılabilir. (Şekil 4.6. Düktilite Deney Aleti).

Kalıp: Pirinçten yapılmış kalıp, uygun boyut ve toleranslarda olacaktır. Gereği gibi monte edilmiş kalıpta hazırlanacak olan bitümlü briketin boyutu, aşağıda gösterilen ölçüler uyacaktır.

Çizelge 4.2. Kalıp ölçüleri

Toplam uzunluk:	7,45 - 7,55 cm
Maşalar arasındaki mesafe:	2,97 - 3,03 cm
Maşa ağzının genişliği:	1,98- 2,02 cm
En dar kesitteki genişlik:	0,99 - 1,01 cm
Her taraftaki kalınlık:	0,99 - 1,01 cm

Su Banyosu: Su banyosu en az 10 dm³ su alacak hacimde ve istenilen deney sıcaklığını 0.1 °C hassasiyetle ayarlayabilen bir regülatörle teçhiz edilmiş olacak ve numuneyi dipten 5 cm yukarıda ve su yüzeyinden 10 cm derinlikte tutacak delikli bir rafı bulunacaktır

4.2.8.3. Deneyin Yapılışı:

Numunenin Hazırlanışı:

-Deneye tabi tutulacak bitümlü madde, uygun akıcılığı temin eden en düşük

sıcaklığa kadar ısıtılır.

-Akıcı hale getirilmiş numune No.50 elekten (297 mikron) süzülüp iyice karıştırıldıktan sonra düz bir pirinç levha üzerinde hazırlanmış kalıba dökülür.

-Numunenin yapışmaması için vazelinle yağlanmalıdır.

-Numune ince bir iplik halinde kalıbın bir ucundan diğer ucuna gezdirilmek sureti ile doldurulurken, kalıp parçalarının birbirinden ayrılarak, briketin şeklinin bozulmamasına dikkat edilir.

-Kalıp içerisindeki numune 30 ila 40 dakika müddetle oda sıcaklığında soğutulur.

-Soğuduktan sonra da 25 °C sıcaklıktaki su banyosunda 30 dakika bekletilir. Su banyosundan çıkarılan kalıptaki bitümün fazlası ısıtılmış geniş ağızlı düz bir spatula veya bıçakla kesilip alınır.

Numunenin Standart Sıcaklıkta Tutulması:

-Fazlası alınmış kalıptaki bitümlü briket alt levhasıyla, istenilen sıcaklıktaki su banyosuna konularak 1.5 saat bekletilir.

-Daha sonra numune, alt levhadan ve kalıbın yan parçalarından ayrılarak düktilite deneyine tabi tutulur.

Deney:

-Kalıptaki delikler cihazın pimlerine takılır ve istenilen çekme hızıyla (5 cm/dk hızla) bitümlü briket kopuncaya kadar denemeye devam edilir.

-Numune briketi koptuğu anda, cihazın kenarındaki cetvelden uzama miktarı cm olarak okunur.

-Çekme esnasında düktile cihazının su banyosundaki su seviyesi, numunenin 2.5 cm üstünde bırakılır.

-Normal bir deneyde kopma, çekilmekte olan maddenin muayyen bir noktada ayrılması veya iplik şeklinde uzamakta olan numunenin kesit alanının sıfıra inmesi anıdır.

4.2.8.4. Sonucun Bildirilmesi:

Böylece üç normal deney sonuçlarının ortalaması,numunenin düktilitesi olarak

bildirilir. Deney esnasında bitümlü madde suyun üst yüzüne veya banyonun tabanına değerse, bu deney normal değildir. Deney esnasında bitümlü madde ipliğinin suyun yüzüne çıkması veya banyo tabanına değmesine engel olmak için banyodaki suyun özgül ağırlığı, metil alkol veya sodyum klorür (tuz) ilavesiyle ayarlanır. Yapılan deney sonucunda şartnameye uygun sonuç elde edilmiştir.

4.2.9. Özgül ağırlık (TS 1087)

Bitümlü maddelerin özgül ağırlığı, bunların 25 °C, hacmi bilinen miktarının ağırlığının, aynı sıcaklıkta ve aynı hacimdeki suyun ağırlığına bölünmesinden elde edilen orandır. Özgül ağırlık tayini için bitümlü maddelerin özgül ağırlıkları özelliklerine göre çeşitli yöntemler kullanılır.

4.2.9.1. Hidrometre Yöntemi:

- Çok akıcı olan sıvı petrol asfaltlarının özgül ağırlıklarının bulunmasında kullanılır.
- Bunun için yeterli miktarda numune bir teneke kaba boşaltılarak yerine göre, içinde soğuk su ve ılık su bulunan, bir havuza oturtulur.
- Numune sıcaklığı 25 °C gelinceye kadar karıştırılır, sonra derhal hidrometre silindirine boşaltılarak uygun bir hidrometre yardımı ile özgül ağırlığı tayin edilir.
- Eğer sıvının viskozitesinden dolayı hidrometrenin batışı çok yavaş ise, gerektiği kadar beklenerek kararlı bir noktaya kadar batması sağlanır.
- Kararlı noktaya karşılık olan bölge okunduktan sonra, hidrometre 3-4 bölme kadar içeriye itilip kendiliğinden yükselip yükselmediği gözlenir.
- Eğer yükselmiyorsa, maddenin yüksek viskozitesi oluşundan dolayı hidrometre yönteminin uygulanamayacağı anlaşılır. Bu durumda piknometre yöntemi kullanılır.
- Piknometre yönteminde okunan değer 15 °C suyun özgül ağırlığının biçim kabul edilmesine dayanır.
- Pratikte 25 °C özgül ağırlık istenir. Bunun için bulunan değer 1.002 ile çarpılması gerekir.

4.2.9.2. Piknometre Yöntemi:

-Yüksek viskoziteye sahip sıvı ve yarı- katı bitümlü maddeler ve asfalt emülsiyonları özgül ağırlık belirlenmesinde kullanılır.

-Özgül ağırlık tayini piknometre ile yapılır. Piknometrenin ağzı cam bir kapağın iyice oturacağı şekilde tıraşlanmıştır. Cam kapağın içinde 1.0 - 2.0 mm çapında kılcal bir çıkış borusu vardır. Kapağın üst yüzeyi düz pürüzsüz, hava kabarcıklarının çıkabilmesini sağlamak üzere kapağın alt yüzü iç bükeydir.

-Özgül ağırlık tayininde önce piknometre temizlenip kurutulur ve kapağı ile birlikte, 1 mg' a duyarlı terazide tartılır.

-Sonra piknometre saf su ile doldurulur. Kapağı sıkıca kapatılır, 25 °C banyosunda en az 40 dakika bekletilir. Bu süre sonunda banyodan çıkartılır. Kabın dışı temiz ve kuru bir bezle silinerek iyice kurutulduktan sonra tartılır.

-Yol inşaatında kullanılan çok akıcı yağ ve katranların özgül ağırlığını tayin etmek için numune 25 °C' ye getirilir. Piknometre ağzına kadar doldurulur. Bu esnada piknometre içine hava kabarcıklarının girmemesine dikkat edilmelidir. Kapak sıkıca yerine getirilerek sıvının fazlası kapak üzerindeki delikten dışarı taşırılır ve taşan kısım temiz, kuru bir bezle dikkatle silinerek temizlenir ve tartılır.

-Maddenin özgül ağırlığı aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\text{Özgül Ağırlık} = \frac{(c - a)}{(b - a)}$$

(4.2)

a = Piknometre ağırlığı.

b = Saf su ve piknometre ağırlığı.

c = Madde ile birlikte kabın ağırlığı.

-Yukarıda, anlatıldığı şekilde özgül ağırlık tayinine uygun olmayan yüksek viskoziteli katran ve asfaltlardan küçük bir miktar alınarak dikkatle, ağır ağır ısıtılarak akıcı hale getirilir.

-Bu sırada maddenin herhangi bir buharlaşma kaybına uğramamasına dikkat edilmelidir. Böylece yeterli bir akıcılık sağlanınca piknometre yaklaşık yarısına kadar numune ile doldurulur. Numune piknometre içine dökülürken kabın üst kısımlarına bulaşmamasına ve hava kabarcıklarının numune içinde kalmamasına dikkat edilmelidir. Piknometre doldurulmadan önce hafifçe ısıtılır. Sonra oda sıcaklığına kadar soğutulur. Kap kapağı ile beraber tartılır. Teraziden alınan piknometrenin geri kalan kısmı saf su ile doldurulur ve kapağı sıkıca kapatılarak 25 °C su banyosuna batırılır. En az 40 dakika sonra piknometre sudan çıkarılır, dışındaki su temiz bir bezle silinir ve çabucak tartılır.

-Numunenin özgül ağırlığı aşağıdaki formülden hesaplanır:

$$\text{Özgöl Ağırlık} = \frac{(c - a)}{(b - a) - (d - c)} \quad (4.3)$$

a = Piknometre ağırlığı.

b = Saf su ve piknometre ağırlığı.

c = Yarısına kadar madde ile dolu piknometre ağırlığı.

d = Saf su ilave edilen yarısına kadar madde ile dolu piknometre ağırlığı.

Özgöl ağırlık tayinleri yapılırken şu ayrıntılara önem verilmelidir:

1. Kullanılacak saf su yeni damıtılmış olmalıdır.
2. Piknometrenin dışı kurulanırken elin sıcaklığı ile piknometrenin ısınıp genişlemesine meydan verilmemelidir.
3. Piknometre doldurulurken ve kapağı kapatılırken içinde hava kabarcığı bırakılma malıdır.
4. Tartımlar çabuk yapılmalı ve 1 miligrama duyarlı olmalıdır.
5. Bulunan özgül ağırlık değerleri arasındaki farklar 0.005 gramı, geçmemelidir.

BÖLÜM 5

MARSHALL DENEYİ

5.1. Marshall Deneyinin Amacı:

Asfalt kaplama karışım dizaynı'nın amaçları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1-Sağlam (durabil) bir üst yapı elde etmek için gerekli bitüm miktarını bulabilmek;

2-Trafik yükleri altında deformasyon göstermeyecek yeterlilikte karışım stabilitesini oluşturabilmek;

3-Sıkıştırılmış karışımında kuma, akma ve stabilite düşüklüğü olmaksızın trafik tarafından oluşturulacak çok az miktardaki sıkışmaya olanak verebilecek, ancak karışım içerisinde nem ve fazla hava bulundurmayacak ölçüdeki boşluğu sağlamak;

4-Segragasyona uğramaksızın uygun serimi sağlayacak bir işlenebilirliği verecek ekonomik bir karışım ve agrega gradasyonu belirlemektir.

Asfalt Betonu; oldukça yüksek sıcaklığa kadar ısıtılarak kurutulmuş ve sıcak asfalt ile karıştırılmış uygun gradasyonlu agrega karışımıdır. Bu karışım kaplama yerine taşınır ve finişere doldurulur, sonra düzgün bir tabaka halinde serilir. Uygun bir yoğunluk elde etmek için gereken sıcaklıkta sıkıştırılır. Asfalt Betonu denildiğinde aşınma ve binder tabakaları zikredilmektedir. Tabakalardaki boşluğun tümüyle alınması istenilen bir durum değildir. Boşluksuz durumda, bitüm agregayı saracak ve bünyesinde yüzdürecektir. Optimum bitüm miktarını bulmak için her ne kadar değişik metodlar varsa da en ideal metod Marshall Metodudur.

5.1.1. Aletler:

Mikser Kabı: Marshall deney standartlarına uygun kap

Marshall Tokmağı: Marshall deney standartlarına uygun tokmak

Briket Kalıbı: 10 cm çaplı 6,35 cm yükseklikli, Marshall deney standartlarına uygun kalıplar

Kriko: Marshall briket kalıpları içerisindeki numuneyi çıkarmaya uygun çapta Marshall deney standartlarına uygun kriko

Su Banyosu: Termostatlı, karıştırılabilir su banyosu

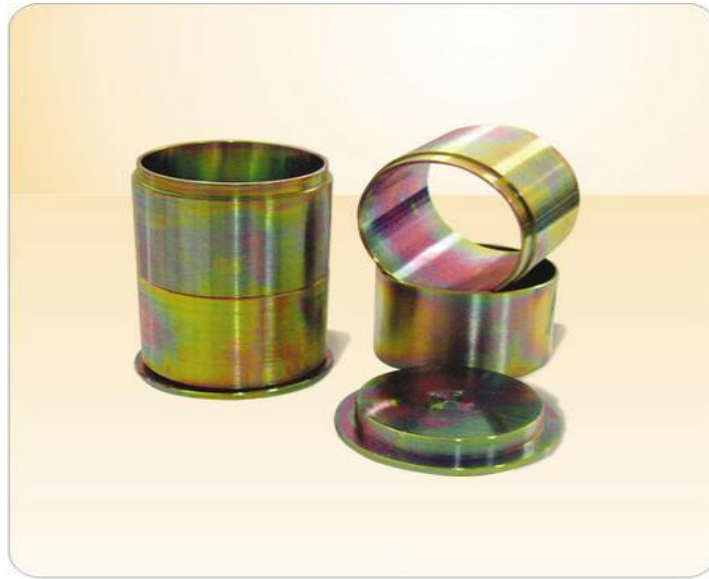
Tartı ve Kürekler: Agreg ve asfalt tartmak için, 6kg. kapasiteli 0.1 gram hassasiyetli elektronik terazi ve agregaları harman etmek amaçlı kullanılan mikser kabı boyutlarına uygun kürekler



şekil 5.1. Etüv



Şekil 5.2. Mikser



Şekil 5.3. Kalıp



Şekil 5.4. Marshall Tokmağı



Şekil 5.5. Su Altında Soğutma İşlemi



Şekil 5.6. Numune çıkarıcı



Şekil 5.7. Marshall Test Cihazı



Şekil 5.8. Kırma Makinesinde Kırılmış Briketler

5.2. Marshall Deneyinin Yapılışı

-Asfalt betonu binder tabakası elek serisinden elenerek dane boyutlarına ayrılan agregalar karışım gradasyonuna uygun olarak (hesaplanan miktarda) toplam 1150 gram tartılarak alınır.

-1150 gram olarak hesaplanan agregalar ayrı ayrı kaplarda hazırlanır.

-Agrega kapları 155 °C' lik etüve bırakılarak 24 saat süreyle ısıtılmaya bırakılır.

-Deneye başlamadan en az 1 saat önce asfalt çimentosu 155 °C' lik etüv bırakılarak 155 °C' ye kadar ısıtılır.

-Deneyde kullanılması gereken aletler de (Mikser kabı, Marshall tokmağı, briket kalıbı, spatula, bakkal küreği vs) aynı sıcaklıktaki etüvde ısıtılır.

-155 °C' ye kadar ısıtılan agregalar yine etüvde ısıtılmış karışım kabına (mikser kabı) boşaltılarak terazi üzerine bırakılarak terazi sıfırlanır.

-155 °C' ye kadar ısıtılmış asfalt çimentosu her seri için hesaplanan miktarda karışım kabı içindeki agreganın üzerine ilave edilir.

-Karıştırma kabını zaman geçirmeden mikserdeki yerine yerleştirerek kap içindeki agregalar 2 dakika karıştırılır.

-Karıştırma işleminden sonra, kap içinde malzeme kalmayacak şekilde bu iş için uygun bir bakkal küreğine alınarak, numune kalıbına dökülür. (2 dakikalık karıştırma işleminin sonuna doğru numune kalıbı etüvden alınarak sıkıştırma altlığındaki yerine yerleştirilmiş ve kalıp çapına göre kesilmiş uygun bir kâğıt kalıbın içine bırakılmıştır)

-Numuneden fire vermemek koşuluyla alt ve üste ince, orta kısma ise daha iri agregaların gelmesine özen gösterilir. 15 defa kenarı, 10 defa ortası şişlenerek kalıp tutucusu yerine yerleştirilir. Alta bırakıldığı gibi numunenin üst kısmına da kâğıt bırakılır.

-Sıkıştırma tokmağı 45.7 cm. yükseklikten düşüş yaptırılarak alt ve üst yüzüne 75 adet vuruş yapılır.

-Numunenin alt ve üst yüzeyindeki kâğıtlar çıkartılır, briketler numaralandırılır.

-Kalıplar soğumak üzere 5 dakika musluk altında tutulur.

-Soğuyan kalıplardan briketler kriko vasıtasıyla çıkartılır.

-Briketler 15 – 20 saat oda sıcaklığında bekletildikten sonra yumuşak tel fırça ile yüzeyleri temizlenir.

-Briketlerin yükseklikleri kompasla 3 ayrı yerinden ölçülerek Marshall formundaki yerine yazılır.

-Briketler havada ve suda tartılır, pratik yoğunluklar bulunarak forma işlenir.

-Briketler 40 dakika 60 °C' lik su banyosunda bekletilir.

-Su banyosundan çıkartılan briketler kırma makinesine yerleştirilir, yükleme düzeneği yardımıyla yükleme yapılarak briketler kırılır. Stabilite ve akma değerleri okunup forma yazılır.

-Stabilite değerleri briket yüksekliğine bağlı düzeltme faktörleri ile çarpılarak düzeltilmiş stabilite elde edilir.

5.3. Bitümlü Sıcak Karışımlar

Asfalt Betonu: Oldukça yüksek sıcaklığa kadar ısıtılarak kurutulmuş ve sıcak asfalt ile karıştırılmış uygun gradasyonlu agrega karışımlarına sıcak asfalt betonu karışımı denir. Asfalt betonu aşınma ve binder tabakalarından oluşur. Tabakalardaki boşluğun

tümüyle alınması istenilen bir durum değildir. Boşluk olunca, bitüm agregayı saracak ve bünyesinde yüzdürecektir. Optimum bitüm miktarını bulmak için kullanılan Marshall Metodudur.

5.4. Asfalt betonun sahip olması gereken özellikler:

1-Stabilite: Taşıtların oluşturduğu statik ve dinamik yüklerin meydana getirdiği kesme kuvvetine ve deformasyonlara karşı kaplamanın yeterli dayanımı göstermesidir. Bitümlü karışımı meydana getiren agrega ve bitümün fiziki özellikleri, kaplamanın stabilite değerini etkiler.

Asfalt çimentosunun penetasyonu küçüldükçe sertleşir, bu da stabilite değerine tesir eder. Kaplamanın bulunduğu yerin iklimi, trafiği, tipi ve hacmi itibarıyla yüksek stabilite istendiğinde düşük penetasyonlu asfalt çimentosu kullanılmalıdır. Soğuk kışın hüküm sürdüğü yerlerde, kaplamanın çatlamaya dayanıklılığını göz önüne alarak yüksek penetasyonlu asfalt çimentosu kullanılmalıdır, yüksek stabilite elde etmeye çalışmalıdır. Asfalt betonu stabil olmalıdır.

2-Durabilite: Asfalt betonunun trafik, su, hava etkilerine ve durum değişikliğine karşı mukavemetidir. Durabilite, kaplamanın aşınmaya, kabarmaya, soyulmaya ve oksidasyona dayanmasıdır. Asfalt betonu stabil olduğu kadar durabil olmalıdır.

3-Esneklik: Bir kaplamanın kendisini temel çökmelerine çatlamadan uygunluk göstermesidir kabiliyetidir. Kaplamanın esnekliğine; asfaltın penetasyonu, bitümün ısı altında genleşme derecesi, bitümlü karışımındaki bitüm miktarı ve filler tesir eder. Çok az esnek bir kaplama çok az stabil bir kaplama kadar mahsurludur.

4-Kayma mukavemeti: Taşıtların kaplama üzerinde emniyetle hareket etmesini ve durmasını sağlayan kaplama yüzeyinin sürtünme mukavemetidir. Yumuşak agregalar fazla aşındıklarından kaygan yüzey oluştururlar. Karışımda fazla asfaltın

ve az boşluğun bulunması trafiğin aşırı kompaksiyonu tesiriyle sıcak havalarda asfaltın genleşmesi sonunda asfalt kaplama yüzeyine çıkarak kaygan bir yüzey meydana gelmesine sebep olur.

5-İşlenebilirlik: Bitümlü karışımın Karıştırma-Serilme-Sıkıştırma bakımından işlenebilir özellikte olmasıdır. Karışımın bu özelliği Agreganın gradasyonu, asfalt yüzdesi, agreganın maksimum dane büyüklüğü, şekli ve yüzey yapısı ile ilgilidir. Yuvarlak kum taneleri işlenebilirliği, köşeli kum daneleri stabiliteyi artırır

6-Ekonomik: Yapılan kaplamalar ekonomik olmalıdır.

5.6. Karışımın Tasarımı

Seçilen karışım tasarımı kriterlere uyacak en ekonomik tasarım olmalıdır. Eğer ekonomik durumlar eşitse, daha yüksek stabilite gösteren karışım seçilir. Anormal derecede yüksek stabilite ve anormal derecede düşük akmalı karışımlar genellikle tercih edilmez, çünkü böyle karışımların kaplamaları daha rijit ve kırılgan olur ve ağır trafik altında çatlayabilirler.

Ekonomik veya diğer sebeplerle şartnamelere uymanın mümkün olmadığı hallerde boşluk için % 1 toleransa müsaade edilir. Hiçbir şekilde akma değerinin aşılmasına, veya stabilitenin istenenden daha düşük olmasına izin verilmemelidir. Bu değişikliklere ancak çok özel hallerde ve ancak kullanılan agrega karışımının tatmin edici bir servis sağlayacağından emin olmak şartı ile müsaade edilmelidir.

5.7. Karışım İçindeki Bitüm Miktarının Tayini (Ekstraksiyon)

Bitüm ve agrega karışımı alınarak içindeki bitüm oranını tespit için istenilen metotla deney yürütülür. Deney sonucunda kaybolan bitüm yüzdesi hesaplanır. Bu deney esnasında filler malzemelerin kaybolmamasına özen göstermeliyiz.

5.7.1. Ekstraksiyon Deneyi

Plentten alınan karışım numunesi veya yoldan alınan briket halindeki numune etüvde ısıtılarak birbirine yapışmış tanelerin ayrılması.

-Deney için 1000 – 2500 gram arasında temsili bir numune alınarak santifrüjün çanağına konur ve çanak içinde dağıtılır.

-Çanak içindeki numune ve filtre kâğıdı birlikte tartılır.

-Çanağın kapağı, filtre kâğıdı üzerine konulur, üstündeki vida sıkıştırılır ve çanak yerine yerleştirilir. Kapak kapatılarak yan tarafındaki mandalar sıkıştırılır.

-Santrifüjün kapağındaki delikten çanak içine takriben 450 cm³ trikloretilen boşaltılır.

-Numune önceden ısıtılmış ise 2 – 3 dakika, ısıtılmamış ise 10 – 15 dakika beklenir. Sonra çevirme kolu saat yönünde çevrilmeye başlanır. Önce yavaş yavaş sonradan çözeltinin bir ip şeklini alması şeklinde akmaya başladığı zaman hızla çevrilmelidir.

-Çanaktaki çözücü bitince tekrar 450 m³ çözücü konur ve kol tekrar çevrilmeye başlanır.

-Bu işlem akma borusundan çıkan çözücünün renginin renksiz veya çok açık renk olmasına kadar devam eder.

-Bundan sonra Santfrüjün kapağı açılır. Çanak içindeki numune ve filtre kâğıdı ile birlikte 110 °C' lik etüve konur. Böylece numune içinde kalmış olabilecek çözücü buharlaşır.

-Etüvden çıkartılarak oda sıcaklığında soğutulur.

-Çanak içindeki numune ve filtre kâğıdı birlikte tartılır.

-İlk ve son ağırlıklar arasındaki fark karışımdaki bitüm miktarını verir.



Şekil 5.9. Santrifüj Ekstraktör



Şekil 5.10. Reflüks Ekstrakt

BÖLÜM 6

KULLANILAN MALZEMELERE UYGULANAN DENEYLER VE SONUÇLARI

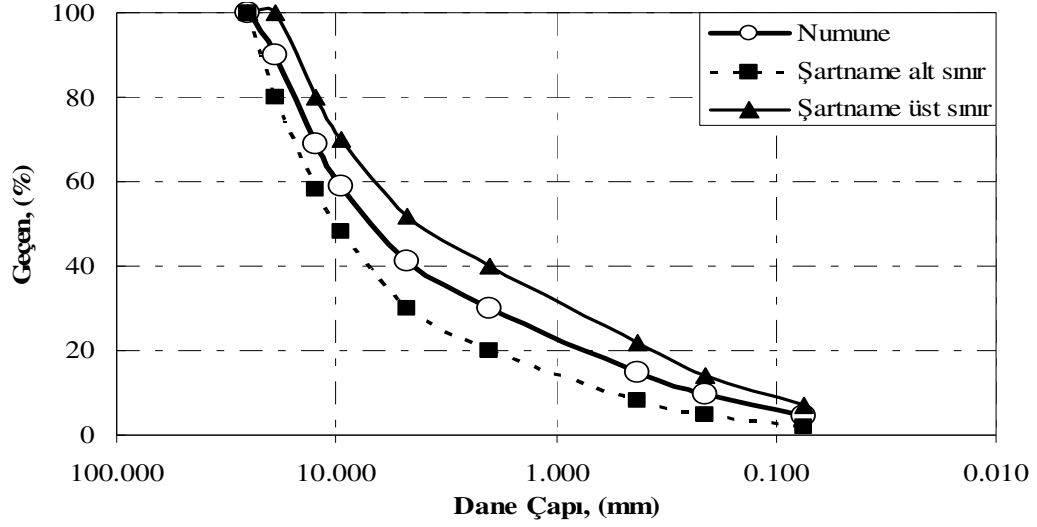
6.1. Agregalar

Laboratuvarda yapılan deneyler sonucunda asfalt karışımında kullanılacak agregaların özellikleri belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge 6.1’ de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Agrega özellikleri

Özellik	Deney Sonucu	Standart	Sınırlar
Spesifik Gravite, (gr/cm ³)	2.70	ASTM C 127 TS 3527	-
Su Emme, (%)	0.23	ASTM C 127 TS 3527	<2.5
Bitüm Emme, (%)	0.12	ASTM C 127 TS 3527	-
Aşınma, (%)	25,6	ASTM C 131 TS 3694	<35
(NA ₂ SO ₄), Dayanımı (%)	4.4	ASTM C 88 TS 3655	<12

Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM)ne ait Karayolu Teknik Şartnamesine göre binder tabakasına ait elek analizi sonuçları Şekil 6.1’ de verilmiştir. Binder tabakası olarak hazırlanan karışımların dane dağılımı sınırları KGM, “Karayolu Teknik Şartnamesi”ne göre seçilmiştir. Numune içerisindeki agrega toplam ağırlığı 1150 gramdır.



Şekil 6.1. Binder tabakası granülometri eğrisi.

6.2. Atık Tuğlalar

Kullanılan atık tuğla kırıklarının kimyasal özellikleri Çizelge 6.2' de verilmiştir. Atık tuğla kırıklarının granülometri eğrisi ve özellikleri Şekil 6.2. ve Çizelge 6.4.'te verilmiştir.

Çizelge 6.2. Atık tuğla kırıklarının kimyasal özellikleri

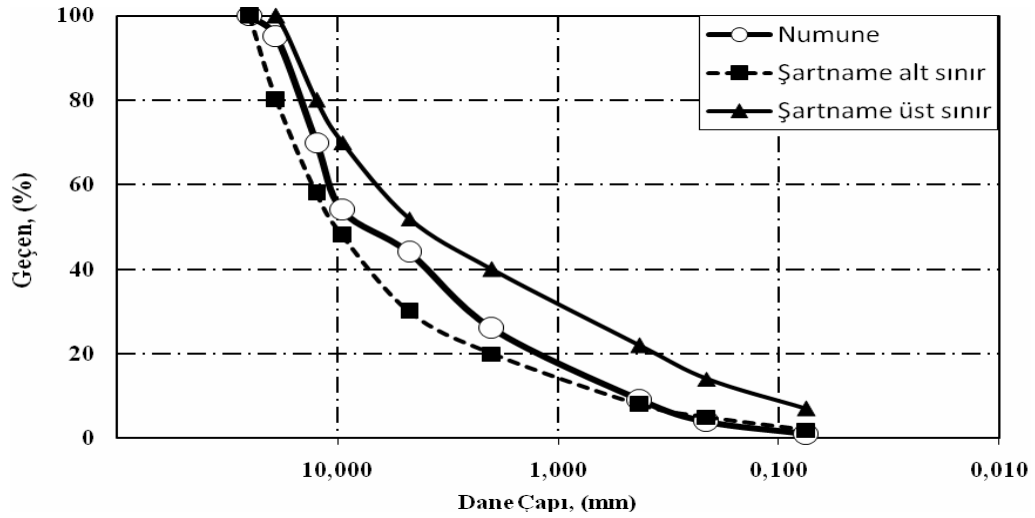
Tür	Miktar%)	Tür	Miktar%)
Al ₂ O ₃	20.77	TiO ₂	1.04
CaO	0.58	SO ₃	0.23
Fe ₂ O ₃	7.28	MnO ₂	0.13
K ₂ O	3.53	SiO ₂	61.13
MgO	3.74	BaO	0.12
Na ₂ O	0.99	DİĞER	0.45

6.3. Bitümlü Bağlayıcılar

Karışım için kullanılan bitüm TÜPRAŞ (İZMİT) rafineri tesislerinden temin edilmiş ve 50-70 penetrasyona sahiptir. Penetrasyon için gerekli olan bitüm deneyleri tamamlanmış olup sonuçlar. Çizelge 6.3' te verilmiştir.

Çizelge 6.3. 50-70 Penetrasyonlu bitümün fiziksel özellikleri

Özellikler	Deney Sonucu	Standart	Sınırlar
Penetrasyon, (25 ⁰ C, 1/10 mm)	60	ASTM D 5 TS 118 EN 1426	50-70
Spesifik Gravite, (gr/cm ³)	1.035	ASTM D 70	-
Yumuşama Noktası, (°C)	49	ASTM D 36 TS 120 EN 1427	46-54
Isıtma Kaybı, (%)	0.45	ASTM D 6 TS EN 12607-2	0.5
Parlama Noktası, (°C)	285	ASTM D 92 TS 123 EN 22592	>230
Düktilite, (25 ⁰ C, 5 cm/dk)	>100	ASTM D 113 TS 119	-



Şekil 6.2. Atık Tuğla Kırıkları Granülometri Eğrisi.

Çizelge 6.4. Atık Tuğla Kırıklarının Özellikleri

Atık Malzemeler	Birim Ağırlık kg/m^3	Özgül Ağırlık kg/m^3	Aşınma Dayanımı 500 dvr	Su Emme
Kaba Malzeme	925	1904	% 50	% 11.56
İnce Malzeme	1100	2070		% 11.56

6.4. Karışım Deneyleri

1150 gr olarak alınan agregalara karşılık olarak sırasıyla % 3.5, 4, 4.5, 5, 5.5, 6, 6.5 değişen oranlarda bitüm ilavesi ile ısıtmalı mikserde karışımlar hazırlanmıştır.

Her bitüm oranı için 3 numune hazırlanmıştır. Karışım sıcaklığı 160 °C dir. Numunelerin her iki yüzeyine Marshall kompaktöründe 75 vuruş yapılmıştır.

Hazırlanan karışımlara ait pratik özgül ağırlık, Marshall Dayanımı, boşluk oranı ve bitümle dolu boşluk oranı değerleri elde edilmiştir. Karışımlara agrega ağırlığının % 25 ve % 50' si oranlarında atık eklenmiştir. Atık tuğla kırıkları, 0-4, 4-8, 8-16 mm şeklinde 3 ayrı boyuttadır. Her boyut kendisine karşılık gelen agrega boyutuna göre karışıma katılmıştır. Atık tuğla kırığı boyutuna karşılık gelen agregada % 25 ve % 50 oranlarında azaltma yapılarak atıklar ilave edilmiştir. Atık içeren ve içermeyen numuneler için ayrı ayrı Marshall Deneyi uygulanmıştır.

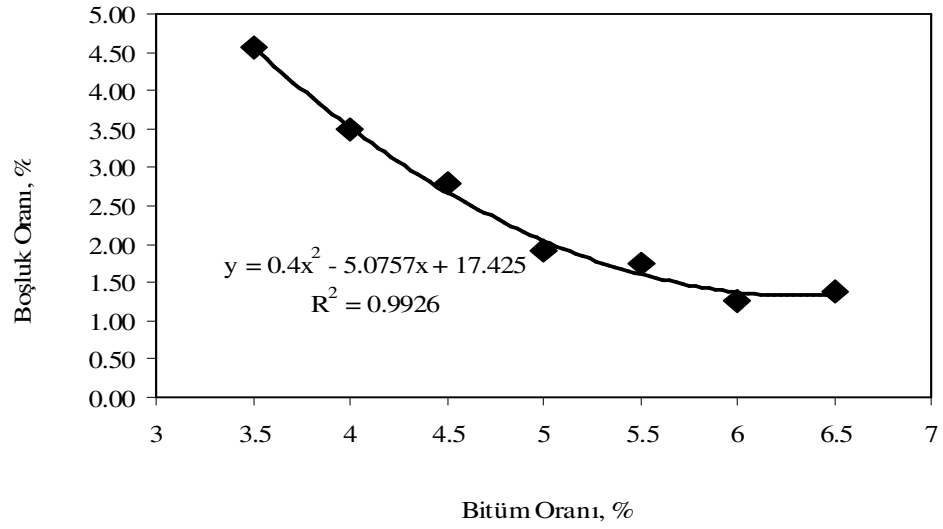
Şekil 6.2.' de gösterilen, 50-70 Penetrasyonlu bitüm kullanılarak hazırlanan numuneler için, Çizelge 6.4' te de verildiği üzere özgül ağırlık (en yüksek uygun değer), Marshall Dayanımı (en yüksek uygun değer), boşluk oranı (% 4) ve bitümle dolu boşluk oranı (% 80) değerlerine karşılık gelen bitüm oranları elde edilmiştir.

Çizelge 6.5. Ortalama bitüm oranı tayini (Kontrol numunesi)

Deney Adı	Bitüm Oranı (%)	KGM Standartı
Pratik özgül ağırlık	4.64	
Marshall Dayanımı	3.50	Min 750 (kg)
Boşluk oranı	3.76	% 4 – 6
Bitümle dolu boşluk oranı	4.55	% 60 - 75
ORTALAMA	4.11	

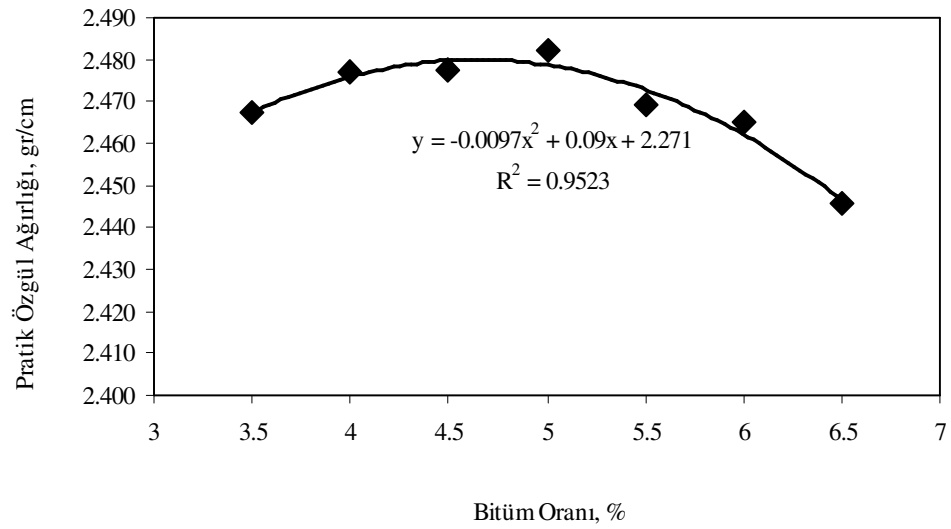
Bitüm oranı % 4.11' e karşılık gelen akma değeri; 4.05 mm' dir.

Şekil 6.2.'den boşluk oranı 3.76 olarak bulunur.



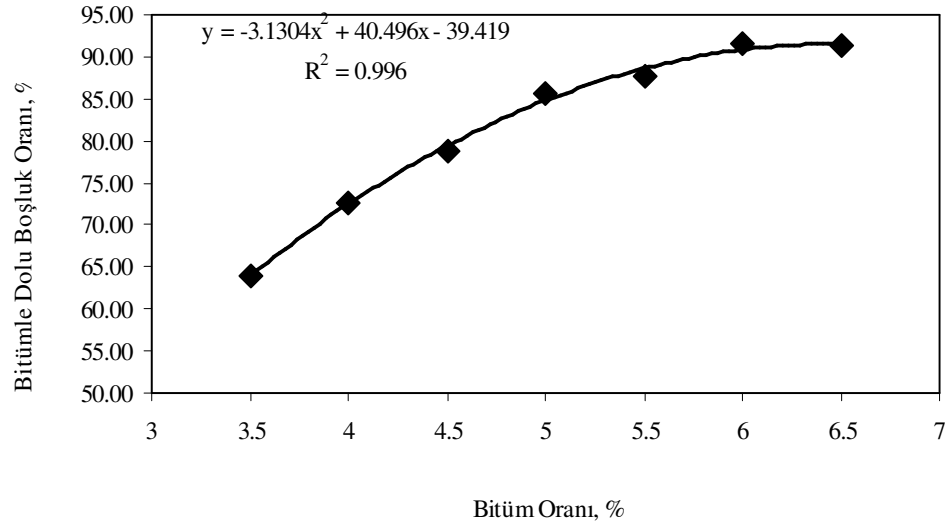
Şekil 6.2. Bitüm Oranı – Boşluk Oranı.

Şekil 6.3.'den Pratik Özgöl Ağırlık 4.64 olarak bulunur.



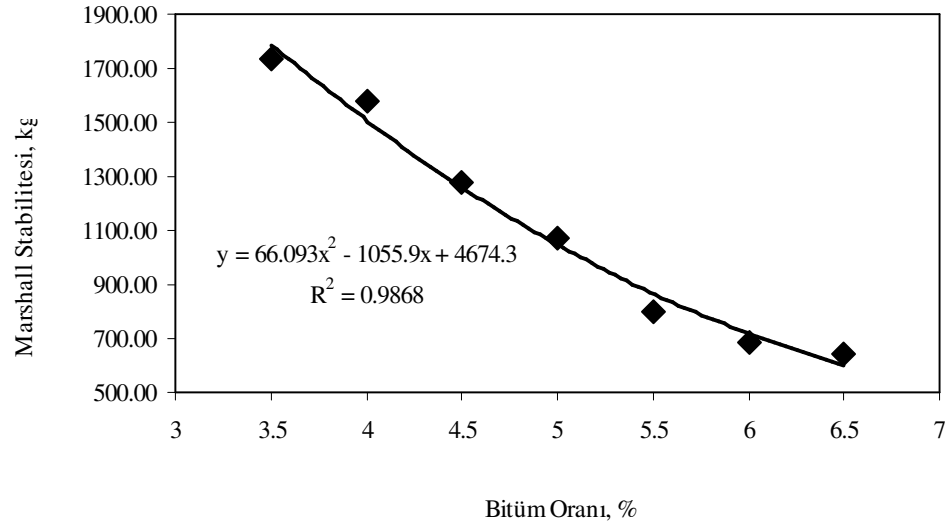
Şekil 6.3.Bitüm Oranı- Pratik Özgöl Ağırlık

Şekil 6.4.'ten Bitümle Dolu Boşluk Oranı 4.50 olarak bulunur.



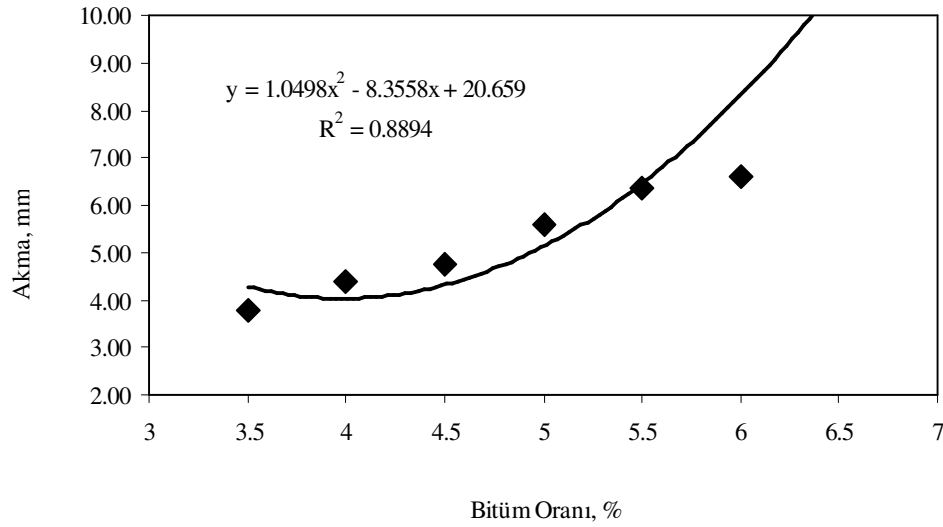
Şekil 6.4. Bitüm Oranı- Bitümle Dolu Boşluk Oranı.

Şekil 6.5.'ten Marshall Stabilitesi 3.55 olarak bulunur.



Şekil 6.5. Bitüm Oranı -Marshall Stabilitesi.

Şekil 6.6.'tan Akma 4.05 olarak bulunur.



Şekil 6.6. Bitüm Oranı – Akma.

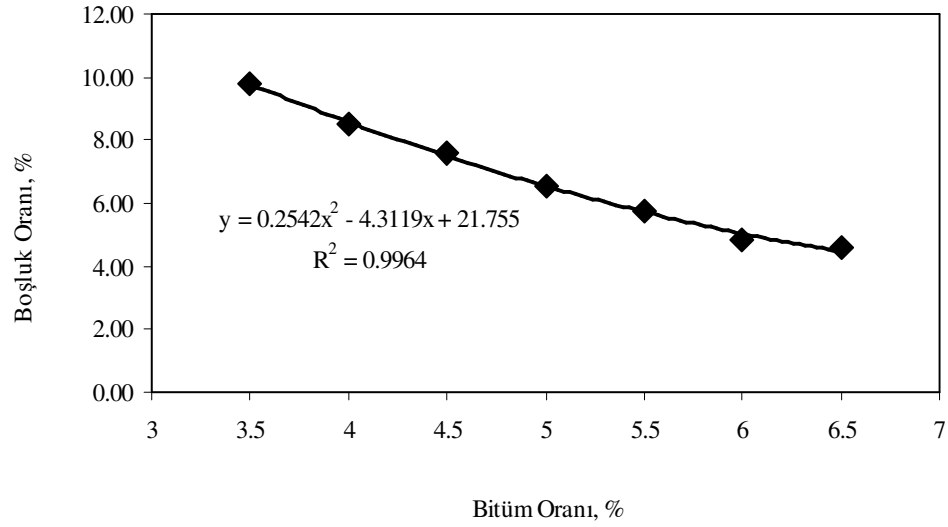
Agrega ağırlığının % 25 ve % 50' si oranında tuğla kırıkları katılarak hazırlanan numuneler için elde edilen sonuçlar Çizelge 6.5 ve 6.6' da verilmiştir.

Çizelge 6.6. Ortalama bitüm oranı tayini (% 25 tuğla atıklı numune)

Deney Adı	Bitüm Oranı (%)	KGM Standartı
Pratik özgül ağırlık	5.94	
Marshall Dayanımı	4.33	Min 750 (kg)
Boşluk oranı	7.04	% 4 – 6
Bitümle dolu boşluk oranı	7.14	% 60 – 75
ORTALAMA	6.11	

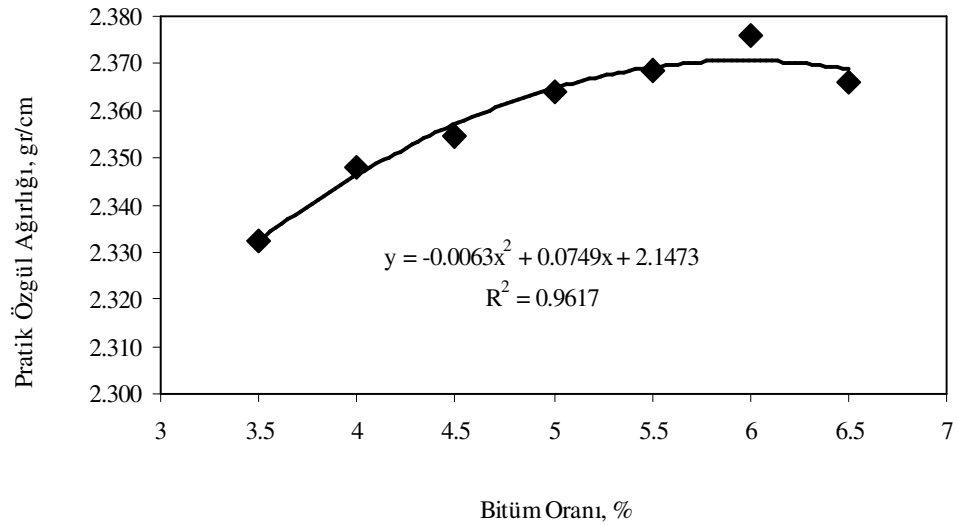
Bitüm oranı % 6.11' e karşılık gelen akma değeri; 8.07 mm' dir.

Şekil 6.7.'den boşluk oranı 7.04 olarak bulunur



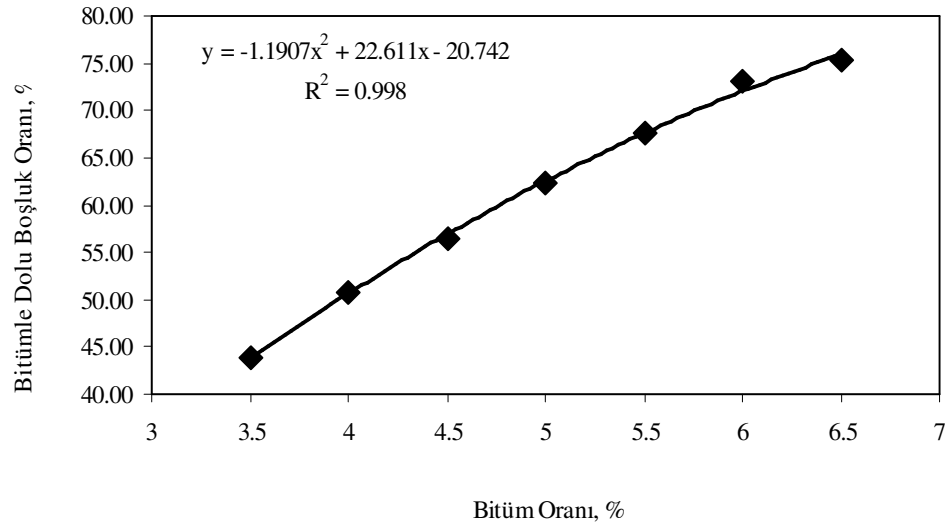
Şekil 6.7. Bitüm Oranı – Boşluk Oranı.

Şekil 6.8.'den Pratik Özgöl Ağırlık 5.94 olarak bulunur.



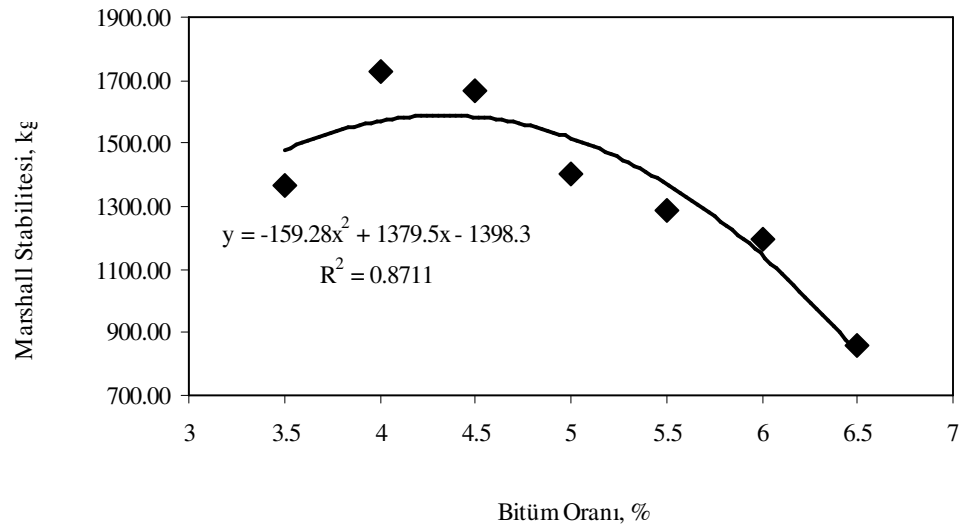
Şekil 6.8. Bitüm Oranı – Pratik Özgöl Ağırlık.

Şekil 6.4.'ten Bitümle Dolu Boşluk Oranı 7.14 olarak bulunur.



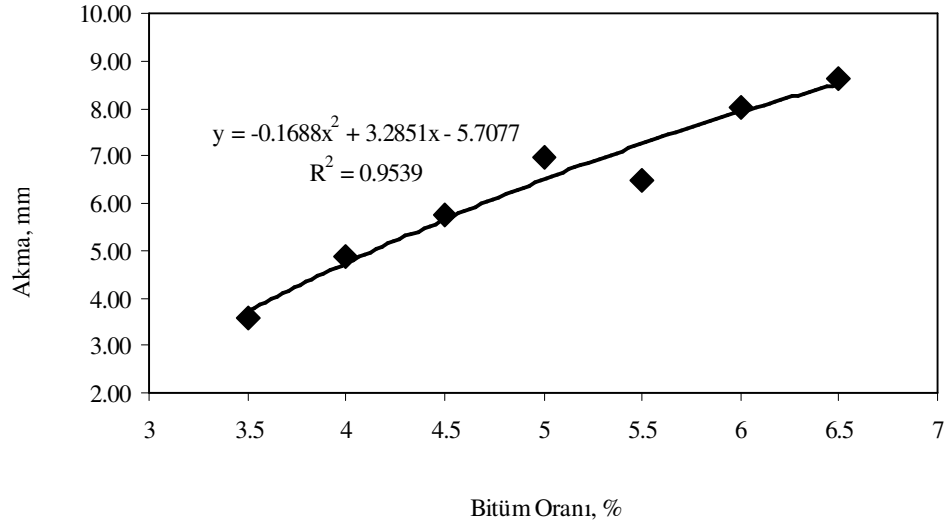
Şekil 6.9. Bitüm Oranı – Bitümle Dolu Boşluk Oranı

Şekil 6.10.'dan Marshall Stabilesi 4.33 olarak bulunur.



Şekil 6.10. Bitüm Oranı – Marshall Stabilesi.

Şekil 6.11'den Akma 8.07 mm olarak bulunur.



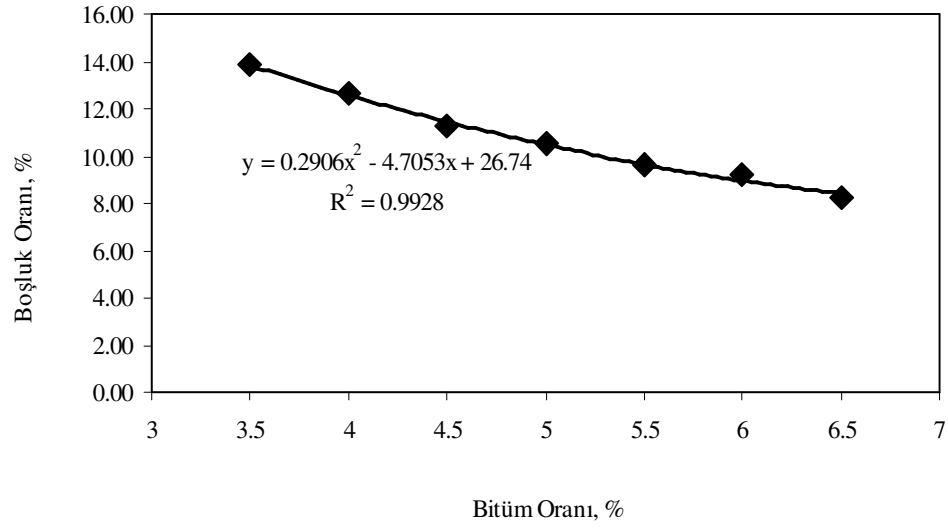
Şekil 6.11. Bitüm Oranı – Akma.

Çizelge 6.6. Ortalama bitüm oranı tayini (% 50 tuğla atıklı numune)

Deney Adı	Bitüm Oranı (%)	KGM Standartı
Pratik özgül ağırlık	5.97	
Marshall Dayanımı	6.25	Min 750 (kg)
Boşluk oranı	8.10	% 4- 6
Bitümle dolu boşluk oranı	10.38	% 60 - 75
ORTALAMA	7.67	

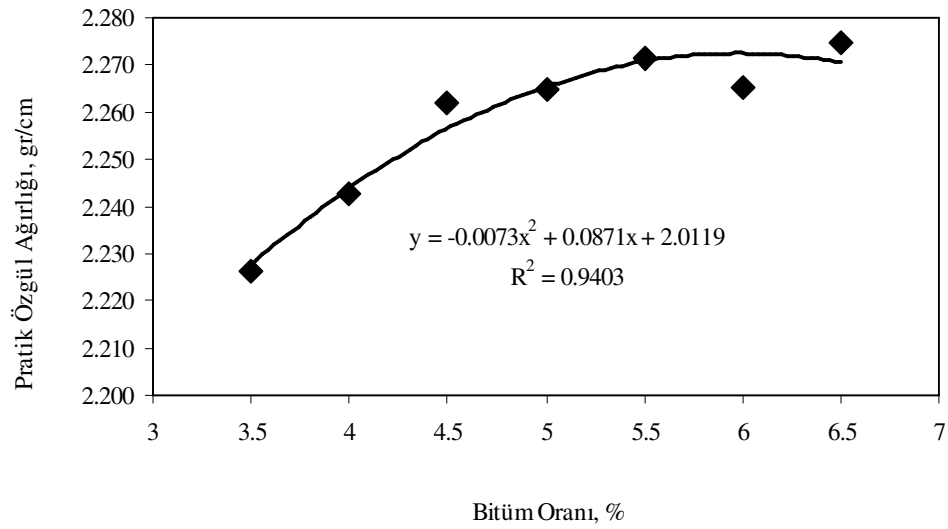
Bitüm oranı % 7.67' e karşılık gelen akma değeri; 9.56 mm' dir.

Şekil 6.12.'den Boşluk Oranı 8.10 olarak bulunur.



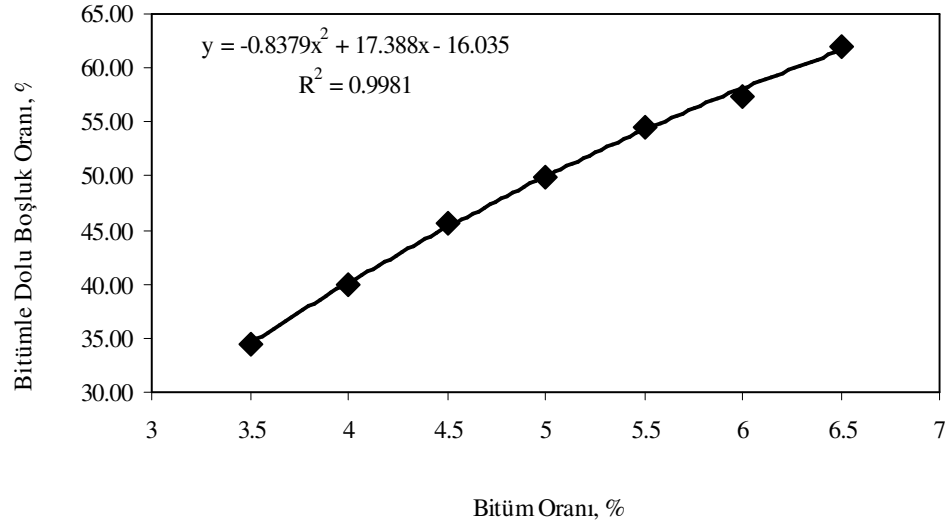
Şekil 6.12. Bitüm Oranı – Boşluk Oranı.

Şekil 6.13.'ten Pratik Özgöl Ağırlık 5.97 olarak bulunur.



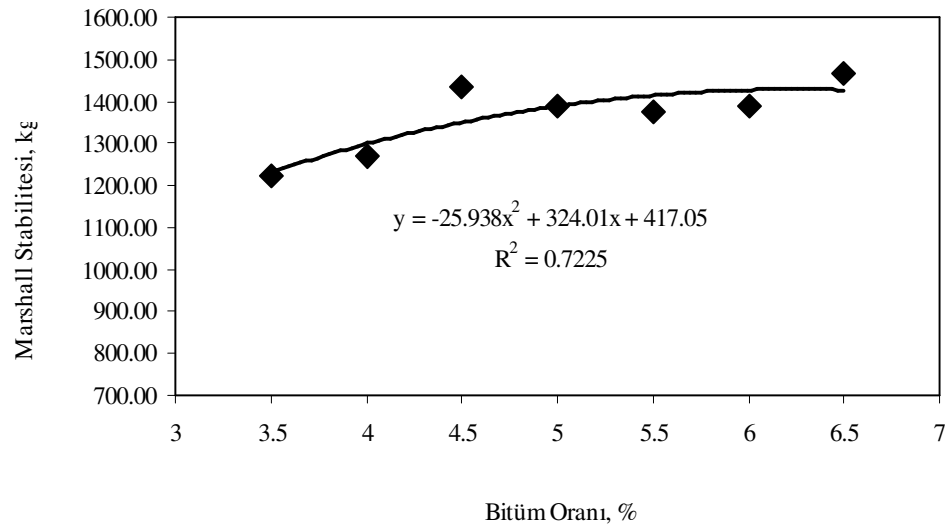
Şekil 6.13. Bitüm Oranı – Pratik Özgöl Ağırlık.

Şekil 6.14.'ten Bitümle Dolu Boşluk Oranı 10.38 olarak bulunur.



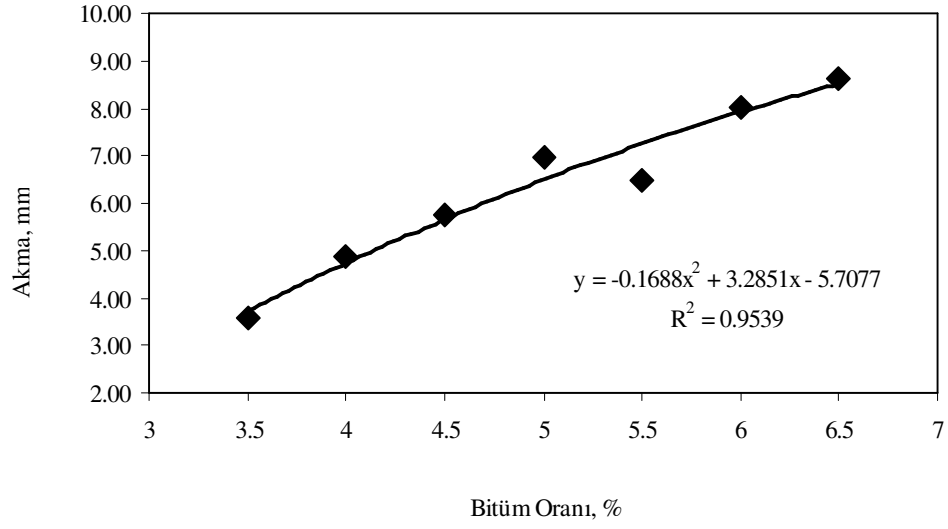
Şekil 6.14. Bitüm Oranı – Bitümle Dolu Boşluk Oranı.

Şekil 6.15.'ten Marshall Stabilitesi 6.25 olark bulunur.



Şekil 6.15. Bitüm Oranı – Marshall Stabilitesi.

Şekil 6.16.'dan Akma 9.56 mm olarak bulunur.



Şekil 6.16. Bitüm Oranı – Akma.



Şekil 6.17. a) Kontrol numunesi

b) Atık tuğlalı numune

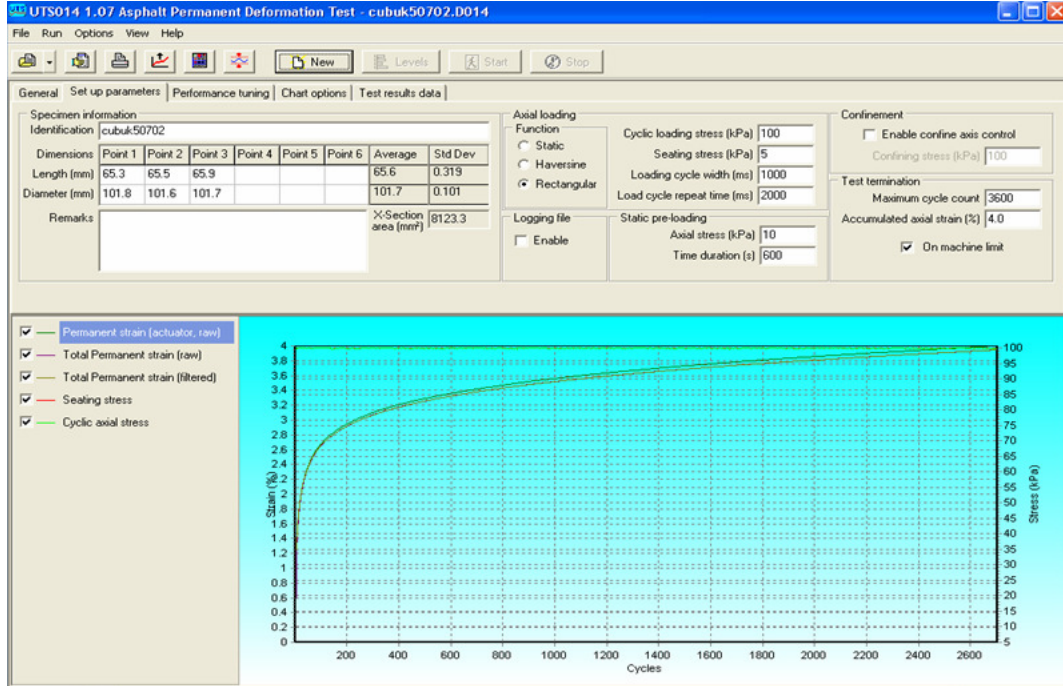
BÖLÜM 7

SÜNME TESTİ

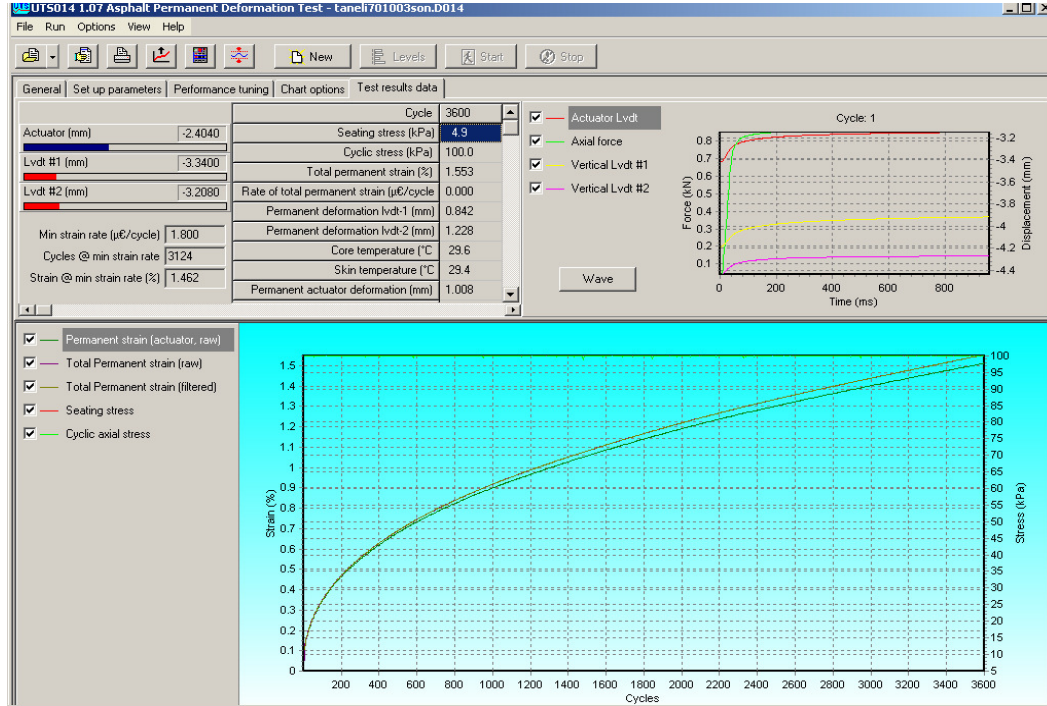
7.1. Sünme Deneyleri ve UTS014 kalıcı deformasyon test aleti

Deney belirli sayıdaki vuruş miktarına göre asfalt numunede meydana gelen kalıcı deformasyonların ölçülmesine dayanmaktadır. Deney seti;

1. İklimlendirme kabini
 2. Yükleme seti
 3. Veri işlemci
 4. Bilgisayar
 5. Kompresör
- bölümlerinden oluşmaktadır.



Şekil 7.1. Veri giriş menü göstergesi



Şekil 7.2. Test sonuç göstergesi

Deney aleti ortalama 810.6 kPa (8 atm) basınç ile çalışmaktadır. 200 lt kapasiteli hava basınç kompresörü ile desteklenmektedir. Yükleme sistemi ile kompresör arasında ayrıca ek bir depolayıcı mevcuttur. Yükleme sistemi iklimlendirme kabini içerisinde bulunmaktadır. İklimlendirme kabini çeşitli sıcaklık derecelerinde (-20 °C ~ +60 °C dahil) deney uygulamasına imkan sağlamaktadır. Ana yükleyici ve LVDT ler yük uygulaması sonucunda numune üzerinde meydana gelen deformasyonları ayrı ayrı ölçebilme özelliğine sahiptir. Elde edilen sonuçlar yükleme sistemine bağlı veri işlemci vasıtasıyla depolanabilmekte ve bilgisayar ortamına aktarılabilmektedir. Elde edilen sonuçlar Şekillerle görüldüğü üzere görsel olarak izlenebilmekte ve EXCEL veri tabanına aktarılabilmektedir. Deformasyonlar % 4 ile sınırlı tutulmuştur.

7.2. Sonuçlar ve Değerlendirme

Deneyde kullanılan numunelere n yükleme sonunda birikmiş aksenal birim şekil değiştirme aşağıda verilen formülle hesaplanabilir;

$$\varepsilon_n = 100 \left(\frac{h_0 - h_n}{h_0} \right) \quad (7.1.)$$

formülde;

ε_n = n yükleme sonunda numunede birikmiş aksenal birim şekil değiştirme (%)

h_0 = Başlangıç numune ortalama yüksekliği

h_n = n yüklemenden sonraki numune ortalama yüksekliğini gösterir.

Sünme hızı f_c ;

$$f_c = \frac{\varepsilon_{n1} - \varepsilon_{n2}}{n_1 - n_2} \quad (7.2.)$$

formülü ile hesaplanır. Burada;

f_c = Sünme hızı (birim şekil değiştirme/vuruş sayısı)

$\varepsilon_{n1,n2}$ = n_1, n_2 yükleme sonunda numunede birikmiş aksenal birim şekil değiştirme (%)

n_1, n_2 = Tekrarlı yük uygulamaları sayısıdır.

n yükleme sonunda sünme modülü aşağıdaki formülle hesaplanabilir;

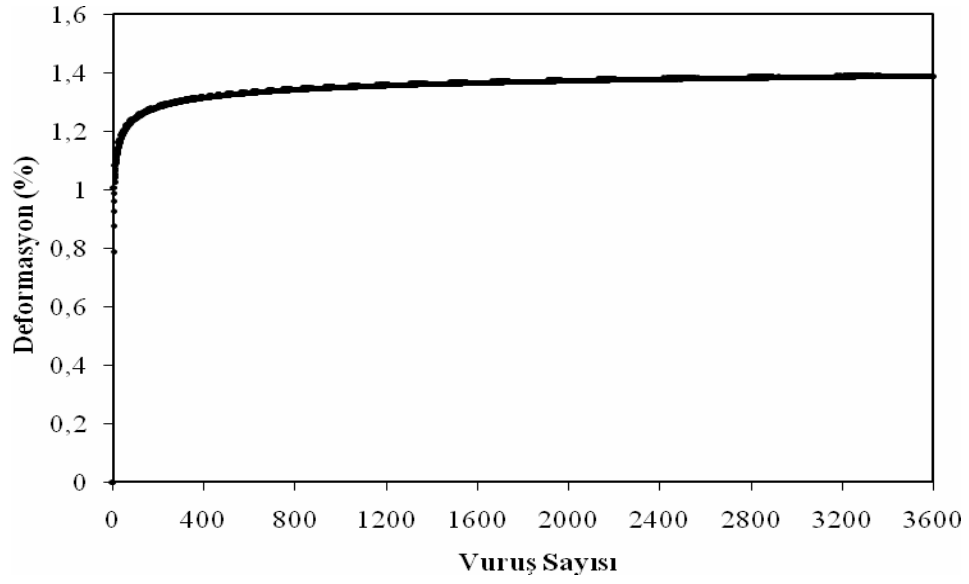
$$E_n = \frac{\sigma}{\varepsilon_n} * 1000 \quad (7.3.)$$

Burada;

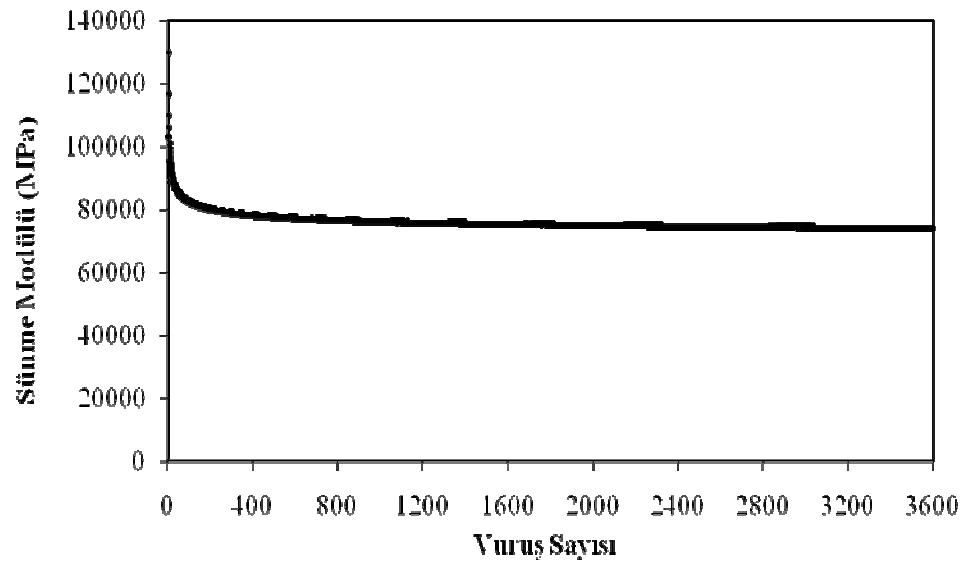
E_n = n yükleme sonunda sünme modülü (MPa)

σ = Yüklenen gerilme (kPa)

ε_n = n yükleme sonunda numunede birikmiş eksenel birim şekil değıştirme (%)
(EN 12697-25:2005)

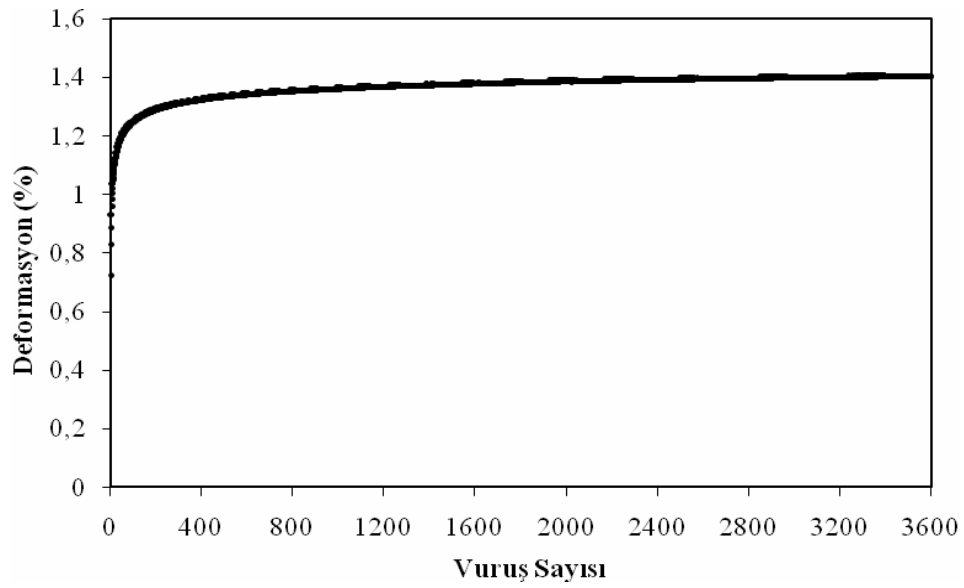


Şekil 7.3. Vuruş sayısı-deformasyon grafiğı (kontrol numunesi).

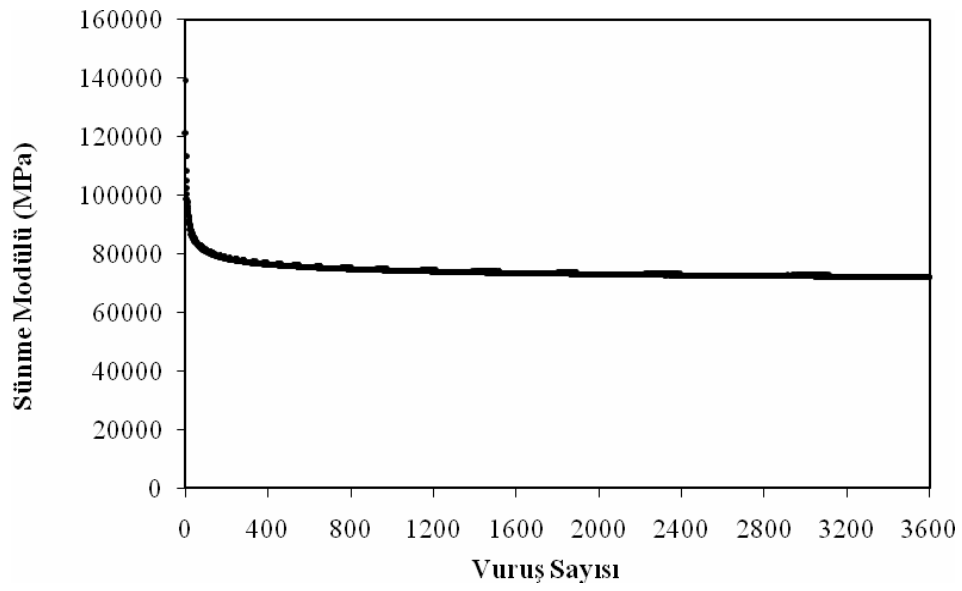


Şekil 7.4.Vuruş sayısı-sünme modülü grafiğı (kontrol numunesi).

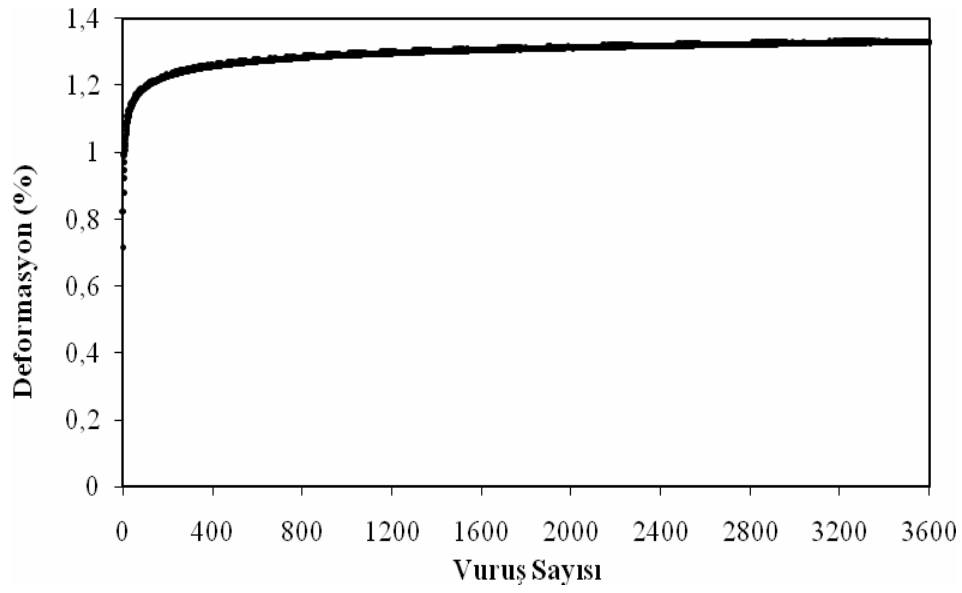
Şekil 7.3. ve 7.4.' de örnek olarak verilmiş olan kontrol numunelerine ait, vuruş sayısı-deformasyon ve vuruş sayısı-sünme modülü grafikleri 50 - 70 penetrasyonlu bitümle hazırlanan numuneler için çizilmiş ve sonuçlar elde edilmiştir. 50 - 70 penetrasyonlu bitümle hazırlanan numuneler üzerinde 40 °C de, 3600 vuruş sonunda meydana gelen deformasyon değerleridir.



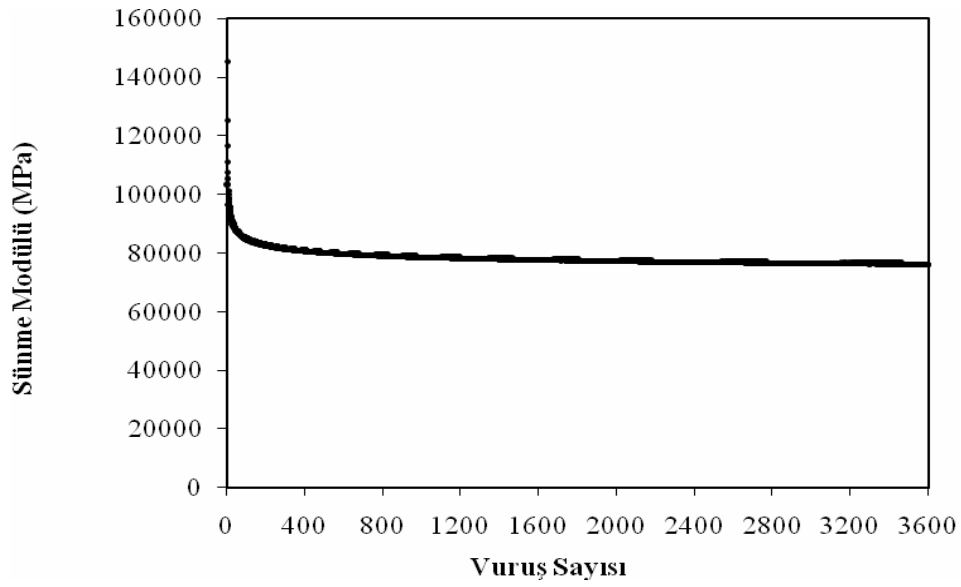
Şekil 7.5. Vuruş sayısı-deformasyon grafiği (%25 Tuğla kırıklı numune).



Şekil 7.6. Vuruş sayısı-sünme modülü grafiği (%25 Tuğla kırıklı numune).

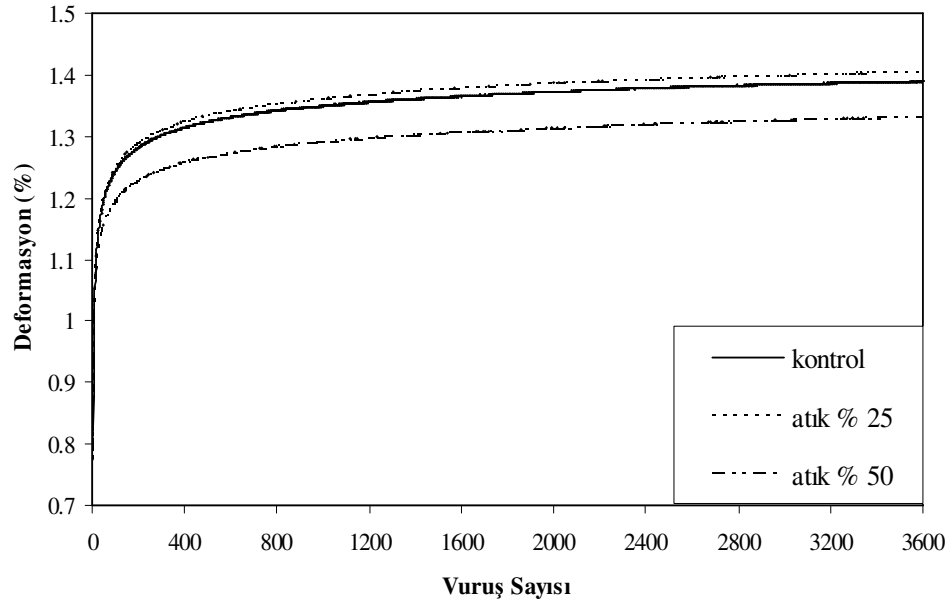


Şekil 7.7. Vuruş sayısı-deformasyon grafiği (%50 Tuğla kırıklı numune).

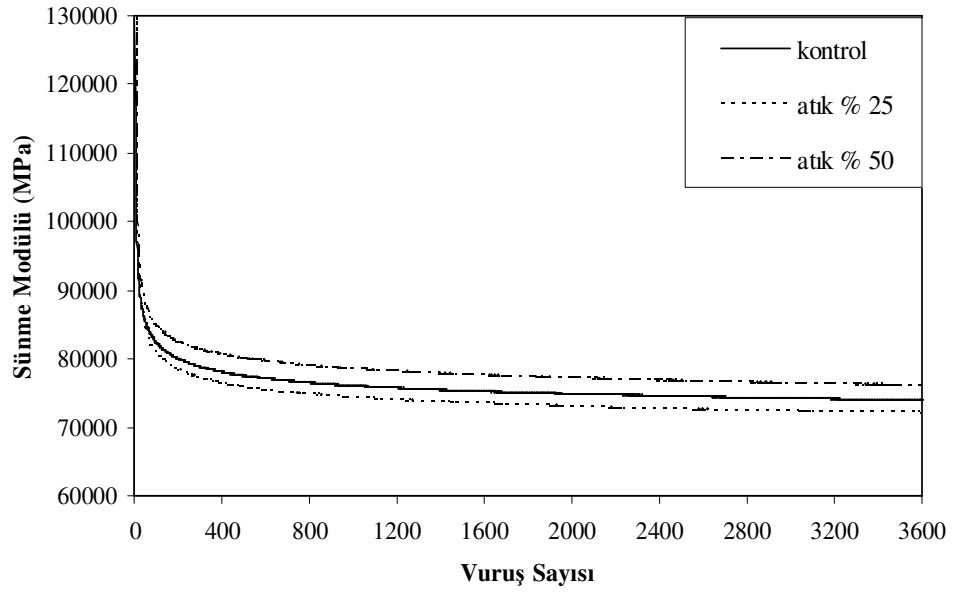


Şekil 7.8. Vuruş sayısı-sünme modülü grafiği (%50 Tuğla kırıklı numune).

Şekil 7.9. ve Şekil 7.10.'da kontrol numuneleri, ve tuğla atıklı numunelerin grafikleri birlikte verilmiştir.



Şekil 7.9. Vuruş sayısı-deformasyon grafiği



Şekil 7.10. Vuruş sayısı-sünme modülü grafiği

BÖLÜM 8

SONUÇLAR

Asfalt betonunda çeşitli atıkların kullanılabilirliği araştırılırken, göz önüne alınan ölçüt; atık ilave edilerek üretilen asfalt betonunun en azından normal şartlarda üretilen asfalt betonunun gösterdiği performans değerlerine sahip olmasıdır. Son yıllara kadar Marshall deneyleri asfalt betonunun performansının değerlendirilmesine yönelik olarak geleneksel bir şekilde tüm dünyada kullanılmıştır. Bu deneylerde Marshall dayanımı, önemli bir ölçüttür. Diğer taraftan, pratik özgül ağırlık, boşluk oranı, bitümle dolu boşluk oranı ve akma miktarları deneyde kullanılan önemli değerlerdir. Çizelge 8.1’ de kontrol numunesi, % 25 ve % 50 tuğla kırığı atıklı numuneler için toplu sonuçlar verilmiştir.

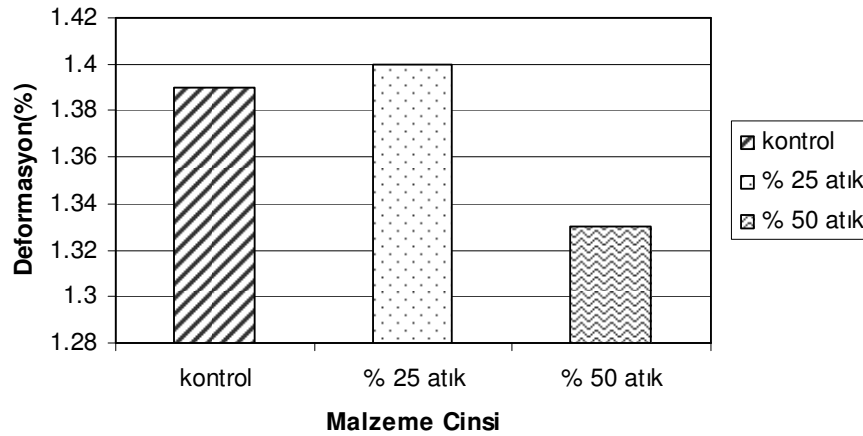
Çizelge 8.1. Deney toplu sonuçları

Deney Adı	Kontrol Numunesi	% 25 Atıklı Numune	% 50 Atıklı Numune	KGM Standartı
Optimum Bitüm Oranı(%)	4.11	6.11	7.67	3.5 – 6.5
Pratik özgül ağırlık, kg/cm ³	2.48	2.37	2.25	
Marshall Dayanımı, kg	1451	1084.2	1376.3	Min 750
Boşluk oranı, %	3.3	4.9	7.7	4 – 6
Bitümle dolu boşluk oranı, %	74.1	73	68	60 – 75
Akma, mm	4.05	8.07	9.56	2(8)– 4(16)

Atık tuğla kırıklarının katılarak hazırlanan numuneler için genel bir ifadeyle;

a) Atık oranı arttıkça, pratik özgül ağırlık azalmaktadır.

- b)** Atık oranı arttıkça, boşluk oranı artmaktadır.
- c)** Atık oranı arttıkça, bitümle dolu boşluk oranı azalmaktadır.
- d)** Atık oranı arttıkça, Marshall Dayanımı azalmaktadır.
- e)** Atık oranı arttıkça, akma miktarı artmaktadır.
- f)** Yapılan sünme testi sonucunda kontrol numunesine kıyasla, % 25 tuğla kırığı atıklı numunenin deformasyon miktarında artma, % 50 tuğla kırığı atıklı numunenin deformasyon miktarında azalma olduğu saptanmıştır.
- g)** Yapılan sünme testi sonucunda kontrol numunesine kıyasla, % 25 tuğla kırığı atıklı numunenin sünme modülünde azalma, % 50 tuğla kırığı atıklı numunenin sünme modülünde artma olduğu saptanmıştır.



Şekil 8.1. Malzemeye bağlı deformasyon grafiği

Çalışmada atık tuğla kırıklarının asfalt betonunda kullanımına yönelik çalışmaların sonuçlarının ortaya konulması amaçlanmıştır. Elde edilen sonuçlar atık tuğla kırıklarının yüksek dayanımların istenmediği, yol inşaatlarında kullanılabileceğini göstermektedir. Tuğla kırıklarının asfalt betonunda kullanımına yönelik literatür çalışmaları oldukça azdır. Bu çalışmanın literatüre, tuğla kırıklarının asfalt betonunda kullanımı bağlamında faydalar sağlayacağı düşünülmektedir. Ayrıca

bu atıkların değerlendirilmesi ile çevresel kirlilikler önenebilecek ve sürdürülebilir bir yaşam için faydalar sağlanabilecektir.

Deneysel çalışmalar sonucunda deformasyon miktarında değişimler elde edilmektedir. Karışıma katılan atık tuğla kırığı miktarı arttırıldığında deformasyon miktarı azalmıştır. Sonuç olarak daha uzun süre faydalanabileceğimiz daha düşük kaliteli yollar oluşturabileceğimizi göstermektedir. Deformasyon miktarının azalmasının nedeni tuğla kırıklarının yüzey şekillerinin agregaların yüzey şekillerine göre daha köşeli olmasıdır. Böylece taneler arasında kayma direnci artmış buda deformasyonun azalmasına sebep olmuştur.

Maliyet açısından değerlendirildiğinde atık tuğla kırıklarının kullanılmasıyla, uygun gradasyonu sağlayacak biçimde öğütölme işlemine tabi tutularak kullanılacağı için maliyet artmaktadır. Ancak atık tuğlaların kullanılmasıyla, çevresel kirlenmeler ortadan kalkacak, kısıtlı olan depo alanları geri kazanılacak ve görüntü kirliliği ortadan kalkmış olacaktır. Buda ülke ekonomisine olumlu etki edecektir.

Kullanılan tuğla atıkları miktarı arttıkça bitüm miktarında da artma görülmüştür. Sonuç olarak atık tuğla kırıklarının yüzey yapısının gözenekli olmasından kaynaklanmaktadır. Buna bağlı olarak sıcak havalarda asfalt yüzeylerinde oluşan kusmaları tuğla kırıklarının kullanılmasıyla engellenecektir.

Çizelge 8.2. Maliyet Hesabı(0 TL. lik tuğla kırığı)

1 km uzunluğunda 10 m genişliğinde 0.07 m kalınlığındaki binder tabakası maliyet hesabı.						
	Kontrol numunesi		% 25 Tuğla atıklı numune		% 50 Tuğla atıklı numune	
Bitüm (ton)	71.925	4.11%	106.925	6.11%	134.225	7.67%
Agrega (ton)	1678.1		1232.3		807.9	
Atık tuğla (ton)	...		410.77		807.9	
Agrega fiyat (TL/ton)	7		7		7	
Bitüm (TL / ton)	715		715		715	
Tuğla atığı (TL/ton)	0		0		0	
Maliyetler						
Bitüm	51426.38		76451.38		95970.875	
Agrega	11746.7		8626.1		5655.3	
Tuğla atığı	0		0		0	
Toplam maliyetler (TL)	63173.08		85077.48		101626.18	
Maliyet farkları(TL)	...		21904.1		38453.1	

Çizelge 8.3. Maliyet Hesabı(2 TL. lik tuğla kırığı)

1 km uzunluğunda 10 m genişliğinde 0.07 m kalınlığındaki binder tabakası maliyet hesabı.						
	Kontrol numunesi		% 25 Tuğla atıklı numune		% 50 Tuğla atıklı numune	
Bitüm (ton)	71.925	4.11%	106.925	6.11%	134.225	7.67%
Agrega (ton)	1678.1		1232.3		807.9	
Atık tuğla (ton)	...		410.77		807.9	
Agrega fiyat (TL/ton)	7		7		7	
Bitüm (TL / ton)	715		715		715	
Tuğla atığı (TL/ton)	2		2		2	
Maliyetler						
Bitüm	51426.38		76451.38		95970.875	
Agrega	11746.7		8626.1		5655.3	
Tuğla atığı	0		821.54		1615.8	
Toplam maliyetler (TL)	63173.08		85899.02		103241.98	
Maliyet farkları(TL)	...		22725.94		40068.9	

KAYNAKLAR

- [1] Şahin S., 2001. Türkiye’ de Tuğla-Kiremit Sanayinin Genel Görünümü ve Çorum ili örneği, Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi Cilt 21, sayı 2, sayfa 19-41.
- [2] Çetin, A., 1997. Endüstriyel Atıkların Asfalt Beton Kaplamada Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi(Anadolu Üniversitesi), T.C. Dökümantasyon Merkezi.
- [3] Şengöz, B., Topal, A., 2005. Use Of Asphalt Roofing Shingle Waste HMA, Construction and Building Materials, 19, 337-346.
- [4] Akbulut, H., Gürer, C., 2007. Use of Aggregates Produced From Marble Quarry Waste in Asphalt Pavements, Building Enviroment, 42, 1921-1930.
- [5] H. İbrahim, A. Wahhab, J. Hasnain, “Laboratory study of asphalt concrete durability in Jeddah”, Building and Environment, Vol.33, pp.219-230, 1998.
- [6] A. Tortum, C. Celik, A.C. Aydın, “Determination of the optimum conditions for tire rubber in asphaltconcrete”, Building and Environment, Vol.40, pp.1492-1504, 2005.
- [7] A. Yüceer, O.N. Çelik, “Polimerlerin Asfalt Betonunda Kullanılması ve atık Plastiklerin Değerlendirilmesi”, İ.M.O Dergisi, Ocak 1991, ss. 227-234.
- [8] F.J. Navarro, P. Partal, F. Martinez-Boza, C. Gallegos, “Thermo-rheological behaviour and storage stability of ground tire rubber-modified bitumens”, Fuel, Vol.83, pp.2041-2049, 2004.

- [9] Y. Ruan, R.R. Davison, C.J. Glover, "The effect of long-term oxidation on the rheological properties of polymer modified asphalts", *Fuel*, Vol.82, pp.1763-1773, 2003.
- [10] S. Hınıslioğlu, E. Ağar, "Use of waste density polyethylene as bitumen modifier in asphalt concrete mix", *Materials Letters*, Vol.58, pp.267-271, 2004.
- [11] 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.
- [12] Sukantasukkul P, Chaikaew C., 2006. Properties of concrete pedestrian block mixed with crumb rubber, *Science Direct, Construction and Building Materials*, 20, 450-457.
- [13] Karaşahin M, Terzi S, 2007. Evaluation of Marble waste dust in the Mixture of Asphaltic Concrete, *Science Direct, Construction and Building Materials*, January, 21, 616-620.
- [14] Paravithana S, Mohajerani A., 2006. Effects of Recycled Concrete Aggregates on properties of Asphalt Concrete, *Resources, Conservation and Recycling*, February, 48, 1-12.
- [15] Su N, Chen J.S., 2002. Engineering properties of Asphalt Concrete made with recycled Glass, *Science Direct, Resources, Conservation and Recycling*, January, 35, 259-274.
- [16] Çelik, Atiş 2008. Compactibility of Hot Bituminous mixtures with crumb rubber modified binders, *Construction and Building Materials, Science Direct* February, 22, 1143-1147.

- [17] R. Siddique, T.R. Naik, "Properties of concrete containing scrap-tire rubber-an overview", Waste Management, Vol.24, pp. 563-569, 2004.
- [18] Y. Yıldırım, "Polymer modified asphalt binders", Construction and Building Materials, Vol.21, pp.66-72, 2005.
- [19] Shen J, Amirkhanian S, Xiao F, Tang B, 2008. Influence of surface area and size of Crumb rubber on High Temperature properties of Crumb rubber modified binders, Construction and Building Materials, December, Science Direct.
- [20] Chiu C-T, Hsu T-H, Yang W-F, 2008. Life cycle assesment on using recycled materials for rehabilitating asphalt pavements, Science Direct, Resources, Conservation and Recycling, August, 52, 545-556.
- [21] Horwath, A., 2003. Life Cycle Enviromental and Economic Assesment of Using Recycled Materials for Asphalt Pavements, Technical Report September 12, Copyright Universty of California.
- [22] Kesegiç, I, Netinger, I, Bjegović, D., 2008. Reyceled Clay Brick as an Aggregate for Concrete: Overwiev, Technical Gazette 15, 3, 35-40, ISSN 1330-3651, UDC/UDK 691.322 : 628.4.036.
- [23] Khalaf, F.M., 2006. Using Crushed Clay Brick as Aggregate in Concrete, Journal of Materials in Civil Engineering, 18, 518-526.
- [24] DPT, 2000. Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Taş Ve Toprağa Dayalı Ürünler Sanayi Özel İhtisas Komisyonu Raporu.
- [25] TCK, 2006. Karayolu Teknik Şartnamesi, Ankara.
- [26] Karayolları Genel Müdürlüğü, 1993. Bitümlü Karışımlar Laboratuar el Kitabı, Ankara.

- [27] M. İlcalı, S.Tayfur, H. Özen, İ. Sönmez, K. Eren, “Asfalt ve Uygulamaları”, İsfalt, İstanbul, 2001.
- [28] www.kalitekontrol.net , Asfalt ve Agrega.