

Makalenin Geliş Tarihi : 05.11.2008  
Makalenin Kabul Tarihi : 12.06.2009

## **ATIK LASTİK KATKISININ SICAK ASFALT ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

Murat KARACASU<sup>1</sup>, Şafak BİLGİÇ<sup>2</sup>

**ÖZET:** Tüm dünyada evsel ve endüstriyel üretim işlemlerine bağlı olarak atık maddeler üretilmektedir. Atık maddelerin miktarı her geçen gün artmaktadır. Ayrıca atık maddelerin depo edileceği alanlar azalmakta ve tekrar kullanım alanları sınırlıdır. Atık maddeler çeşitli yöntemler kullanılarak tüketilmeye çalışılmaktadır. Atık lastikler genelde yakılarak tüketilmektedir. Bu kolay ve ucuz bir yöntem olmasına rağmen atık lastiklerin yakılması çevre kirliliği açısından sorun oluşturmaktadır. Son otuz yılda atık maddelerin yapı üretim malzemesi olarak kullanılabilirliği ve yeniden kazanımı konusunda araştırmalar yapılmaktadır. Bu çalışmada, değişik şekil ve boyuttaki atık lastiklerin asfalt betonu içerisindeki etkisi araştırılmıştır. Numuneler üzerinde Marshall Deneyleri, sünme deneyleri yapılmış ve sonuçlar ortaya konulmuştur.

**ANAHTAR KELİMELER:** Atık lastik, asfalt betonu, tekrar kullanım, sünme testi

## **EFFECT OF WASTE TIRE ADDITIVES ON HOT MIX ASPHALT PROPERTIES**

**ABSTRACT:** Waste materials are produced based on household and industrial manufacturing operations in the world. Amount of these waste materials increase day by day. However, areas where waste materials are deposited decrease and reuse of them is limited. Waste materials are tried to consume using various methods. Generally, waste tires are consumed by burning. Despite this method is easy and cheap, burning of tires cause the environment pollution problem. Researches have made about availability and recycling of waste materials as construction materials over the last three decades. In this study, effect of waste tires which have different shape and dimension was investigated in asphalt concrete. Test specimens were subjected to Marshall Tests and creep tests, and results were exposed.

**KEYWORDS:** Waste tire, asphalt concrete, reuse, creep test

---

<sup>1,2</sup> Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi,  
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Batı Meşelik Kampüsü, 26480 ESKİŞEHİR

## ***I. GİRİŞ***

1900'lü yılların başlarında ham petrolden asfaltı rafine etmenin keşfedilmesi ve motorlu araç üretiminin artması yol yapımında asfaltta olan ilgiyi artırmıştır. Günümüzde kullanım amacı, trafik yükü ve çevre koşullarına göre değişik tipte asfalt kaplamalar yapılmaktadır [1]. Asfalt kaplamalar hizmet ömürleri boyunca kendilerinden beklenen özellikleri sağlamalıdır. Kendisi bozulmadan dıştan gelen etkileri, gerilmeleri taşımali ve daha alt tabakaların taşıyacağı şekilde azaltarak aktarabilmelidir. Yüzey düzgün olmalı, dalgalanmalar belli bir değerin altında kalmalıdır. Tekerlekle yol arasında gerekli sürtünme ve yol güvenliği sağlanmalıdır. Kaplama, iklim koşullarına dayanabilmeli ve alt tabakaları korumak amacıyla geçirimsiz olmalıdır.

Tüm dünyada evsel ve endüstriyel üretim işlemlerine bağlı olarak atık maddelerde bir birikim söz konusudur. Bu atık maddelerin tekrar kullanım alanları sınırlıdır. Sürdürülebilir bir çevre sağlamak amacı ile atık maddelerin çeşitli inşaat alanlarında yapı malzemesi olarak kullanımı söz konusudur. Yol inşaatında da çeşitli atık maddeler tekrar kullanım amacına yönelik olarak üretim esnasında değerlendirilmektedir. Özellikle asfalt betonunda atık maddelerin kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır. Bu şekilde hem depolama alanlarında biriken atık maddelerin yeniden kullanımı sağlanmakta hem de asfalt betonunun performans değerlerinde olumlu gelişmeler sağlanmaktadır.

Ülkemizde 2004 yılında lastik üretimi adedi 24 milyonu geçmiştir. Bunların 13 milyonu ihraç edilirken, 11 milyonu iç pazarda tüketilmiştir. Üretilen lastiklerin 2,75 milyon adedi yeni araba ve taşıtlara takılırken, 8,5 milyon adedi lastik yenilenmesinde kullanılmıştır. Bu rakamlara göre 2004 yılında değiştirme sonucu yaklaşık 8,5 milyon lastik atığa çıkmıştır. Her lastiğin ortalama 10 kg. geldiği varsayılırsa bu yılda 85.000 ton atık oluşması demektir. Atık lastiklerin geri kazanılmadığı, üretim ve tüketim rakamlarının önümüzdeki 10 yıl içinde değişmeyeceği varsayıldığında, bu süre sonunda 850.000 ton atık lastik oluşacaktır [2]. Fransa'da yıllık 10 milyon parçalanmış lastik birikimi vardır. Bu lastikler küçültme yöntemi ile depolanmaktadır. Lastikler depolanmadan önce ince şeritler halinde kesilerek küçültme yöntemi uygulanmaktadır. Amerika'da her yıl 270 milyon adetten fazla parçalanmış lastik üretilmektedir. Ayrıca mevcut durumda 300 milyon adet lastik stoğu bulunmaktadır [3].

Ülkemizde de evsel ve endüstriyel üretim işlemlerinden dolayı büyük miktarlarda atık malzeme birikimi gerçekleşmektedir. Kaynakların kısıtlı olması nedeniyle, üretim maliyetini azaltmak ve sürdürülebilir yaşam amacına yönelik olarak atık maddelerin geri kullanımı için atık maddelerin çeşitli alanlarda tekrar kullanımı çalışmaları hız kazanmıştır. Türkiye’de son yıllarda yol yapım maliyeti yükselmiştir. Atık maddelerin, üretimine katıldıkları asfalt betonlarının performans özelliklerine katkı sağlamaları sonucu, araştırmalar bu atık maddelerin yeniden kazanımı konusundaki çalışmalara yönelmiştir [4].

Asfalt kaplamalarda kaplama üzerindeki trafik yükü, yerel çevre koşulları ve kaplama bileşimindeki malzemelerin birbiri ile etkileşimi çok iyi bilinmelidir. Bunlar asfalt betonunun ileriye yönelik olarak göstereceği performansta çok etkili rol oynamaktadırlar. 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 [5]. Asfalt betonunda katkı olarak granüler polimer ve atık plastikler kullanılarak gerçekleştirilen çalışma sonunda çeşitli şekil ve oranlardaki polimer karışımı ile elde edilen asfalt betonunun, normal hale göre daha dayanıklı olduğu tespit edilmiştir [6].

Atık lastik ve plastikler; polimer kaynaklı maddelerdir. Asfalt betonunda polimerlerin katkı maddesi olarak kullanımına yönelik olarak son otuz yılda yapılan çalışmalar ve bu çalışmaların sonuçları [7] de özetlenmiştir. Öğütülmüş lastik tekerleklerin asfalt betonuna katılarak Navarro ve diğ. tarafından yapılan çalışmada asfalt betonunun sıcaklığa bağlı özelliklerinde iyileşmeler gözlenmiştir [8]. Diğer taraftan asfalt betonuna lastik karıştırılmış 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]. Atık lastiklerin katılması ile oluşturulan asfalt betonu üzerinde yapılan araştırma sonuçlarının değerlendirilmesi metodlarının kullanımında da çeşitlilik gözlenmektedir. Asfalt karışımlarına öğütülmüş lastik ve polimer katılmış, lastik ile yapılan iyileştirme çalışmalarında normal asfalt betonuna göre kalıcı deformasyon, tekerlek izi ve düşük sıcaklıkta kırılma yönünden olumlu sonuçlar elde edilmiştir [10]. SBS, SEBS, EVA ve EBA adı verilen farklı termoplastik özellikteki polimerlerin asfalta katılımı ile ilgili iyileştirme

araştırmaları yapılmıştır. Çalışma sonunda farklı polimerlerin asfalt özellikleri üzerinde farklı sonuçlarının olduğu ve özellikle depolama dayanımı, sünme ve sıcaklığa bağlı özelliklerinde iyileştirmeler meydana getirdikleri gözlenmiştir [11, 12].

Bu çalışmada atık lastiklerin asfalt betonunun performansı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Klasik Marshall Deney sonuçları yanında, sünme performans deney sonuçları da ortaya konulmuştur.

## II. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

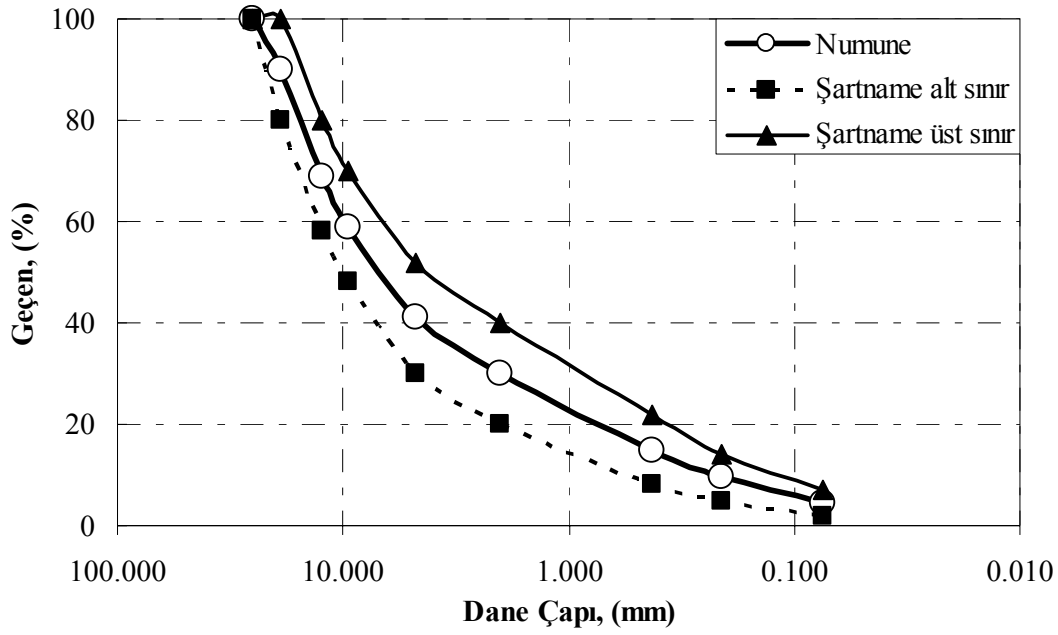
### II.1 Agregalar

Laboratuvarda yapılan deneyler sonucunda asfalt karışımında kullanılacak agregaların özellikleri belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge 1’ de verilmiştir.

*Çizelge 1. Agrega özellikleri*

Özellik	Deney Sonucu	Standart	Sınırlar
Spesifik Gravite, (gr/cm <sup>3</sup> )	2,610	ASTM C 127	-
Su Emme, (%)	0,23	ASTM C 127	<2,5
Bitüm Emme, (%)	0,12	ASTM C 127	-
Aşınma, (%)	26,4	ASTM C 131	<35
(Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ), Dayanımı (%)	4,2	ASTM C 88	<12

Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) ne ait Karayolu Teknik Şartnamesine göre binder tabakasına ait elek analizi sonuçları Şekil 1’ de verilmiştir. Binder tabakası olarak hazırlanan karışımların dane dağılımı sınırları KGM, “Karayolu Teknik Şartnamesi”ne göre seçilmiştir [13]. Şartname alt ve üst limitleri göz önüne alınarak laboratuvarda her elek boyutu için gerekli miktarda agregalar hazırlanmıştır. Deneylerde yıkanmış agregalar kullanılmıştır. Numune agrega toplam ağırlığı **1150 gr** dır.



Şekil 1. Binder tabakası granülometri eğrisi.

## II.2 Bitümlü Bağlayıcılar

Karışım için kullanılan bitüm TÜPRAŞ (İZMİT) rafineri tesislerinden temin edilmiştir. 50-70 ve 70-100 penetrasyon olmak üzere 2 çeşit bitüm üzerinde deneyler gerçekleştirilmiştir. 50-70 ve 70-100 penetrasyon için gerekli olan bitüm deneyleri tamamlanmış olup sonuçlar Çizelge 2 ve 3' te verilmiştir.

Çizelge 2. 50-70 Penetrasyonlu bitümün fiziksel özellikleri

Özellikler	Deney Sonucu	Standart	Sınırlar
Penetrasyon, (25 <sup>0</sup> C, 1/10 mm)	61	ASTM D 5	50-70
Spesifik Gravite, (gr/cm <sup>3</sup> )	1,03	ASTM D 70	-
Yumuşama Noktası, (°C)	52	ASTM D 36	46-54
Isıtma Kaybı, (%)	0,60	ASTM D 6	0,5
Parlama Noktası, (°C)	287	ASTM D 92	>230
Düktilite, (25 <sup>0</sup> C, 5 cm/dk)	>100	ASTM D 113	-

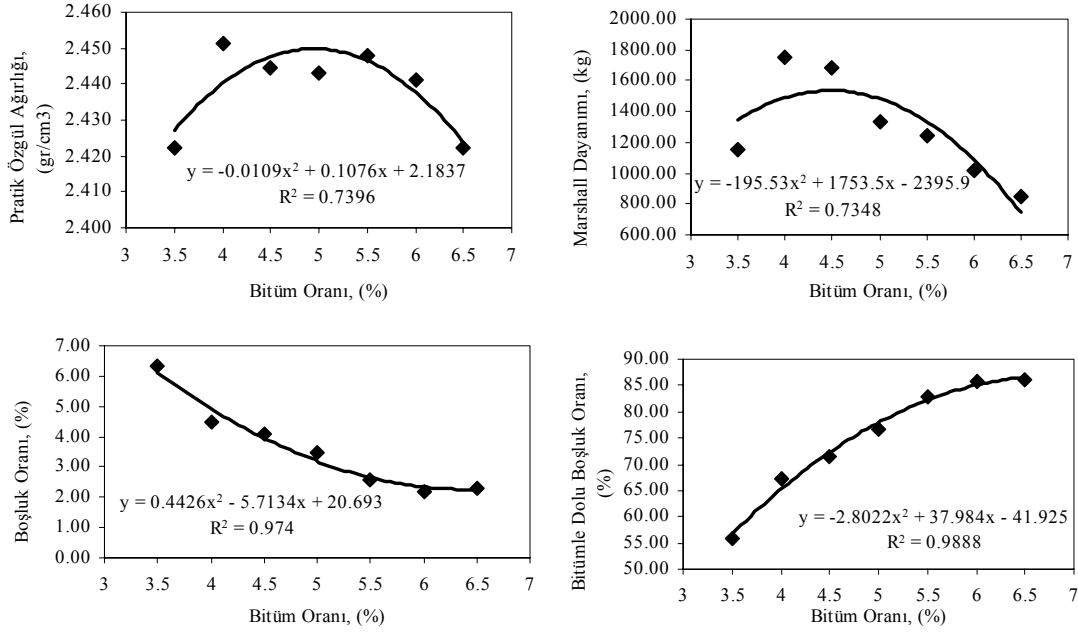
Çizelge 3. 70-100 Penetrasyonlu bitümün fiziksel özellikleri

Özellikler	Deney Sonucu	Standart	Sınırlar
Penetrasyon, (25 <sup>0</sup> C, 1/10 mm)	83	ASTM D 5	70-100
Spesifik Gravite, (gr/cm <sup>3</sup> )	1,03	ASTM D 70	-
Yumuşama Noktası, (°C)	47	ASTM D 36	43-51
Isıtma Kaybı, (%)	0,65	ASTM D 6	0,8
Parlama Noktası, (°C)	285	ASTM D 92	>230
Düktilite, (25 <sup>0</sup> C, 5 cm/dk)	>100	ASTM D 113	-

### II.3 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. Deneyler 50-70 penetrasyon ve 70-100 penetrasyona sahip bitümler için ayrı ayrı tekrarlanmıştır. Ayrıca karışımlara atık eklenmiş ve eklenmemiş hal için ayrı ayrı Marshall Deneyi uygulanmıştır. Ancak atık ilavesi ile bulunan en uygun bitüm oranında değişiklik gözlenmemiştir. Bunun sebebi, atık lastiklerin bitüm emme miktarlarının çok düşük değerlerde olmasından kaynaklanmaktadır

50-70 Penetrasyonlu bitüm kullanılarak hazırlanan numuneler için, Şekil 2' de verildiği üzere özgül ağırlık (en yüksek uygun değer), Marshall Dayanımı (en yüksek uygun değer), boşluk oranı (% 4) ve bitümle dolu boşluk oranı (% 80) grafikleri çizilmiştir.



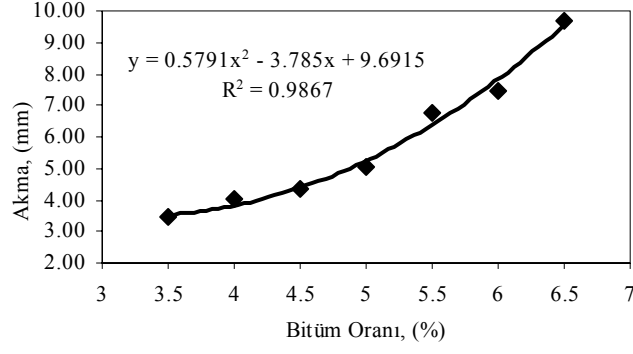
Şekil 2. Bitüm oranlarına göre değişimler(50-70 penetrasyon).

Şekil 2'den faydalanılarak Çizelge 4'te bu dört değişkene göre ortalama alınarak en uygun bitüm oranı % 4,78 olarak bulunmuştur.

Çizelge 4. Ortalama bitüm oranı tayini (50-70 penetrasyon)

Deney Adı	Bitüm Oranı (%)
Pratik özgül ağırlık	4,94
Marshall Dayanımı	4,48
Boşluk oranı	4,47
Bitümle dolu boşluk oranı	5,22
<b>ORTALAMA</b>	<b>4,78</b>

Bitüm oranı % 4,78'e karşılık gelen akma değeri Şekil 3'te verildiği üzere 4,83 mm olarak bulunur.



Şekil 3. Akma -bitüm oranı değişimi.

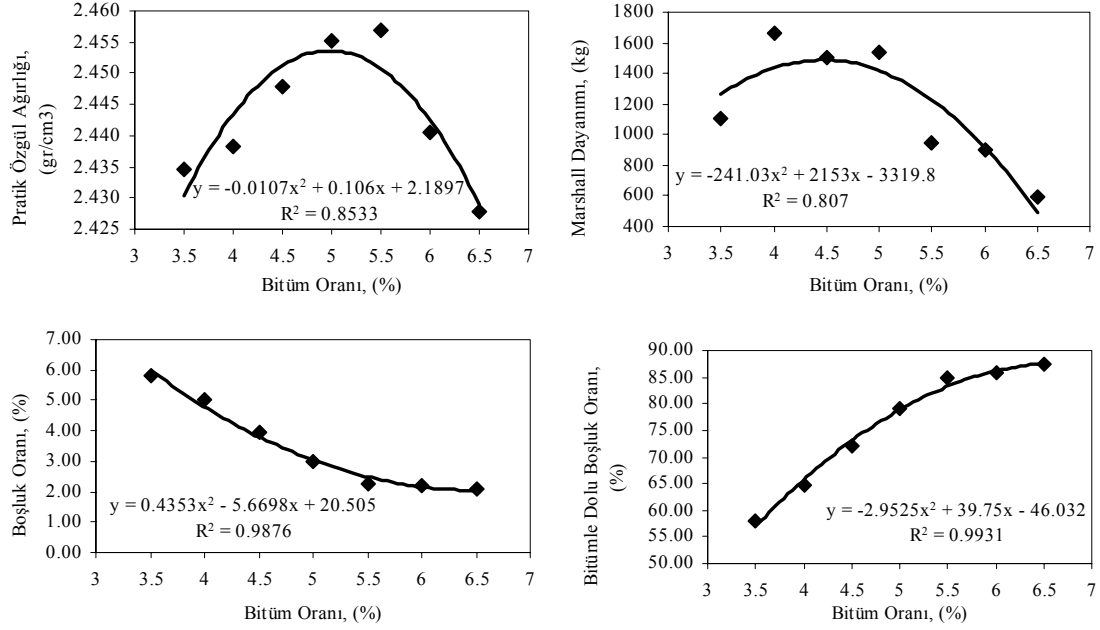
En uygun bitüm oranı % 4,78 için grafiklerden elde edilen deney sonuçları Çizelge 5'te verilmiştir.

Çizelge 5. En uygun bitüm oranına göre deney sonuçları

Deney Adı	Deney Sonuçları
Pratik özgül ağırlık, kg/cm <sup>3</sup>	2,45
Marshall Dayanımı, kg	1518,6
Boşluk oranı, %	3,5
Bitümle dolu boşluk oranı, %	75,6
Akma, mm	4,83

Aynı şekilde 70-100 penetrasyonlu bitümle hazırlanan numuneler için elde edilen sonuçlar Şekil 3' te gösterilmiştir.





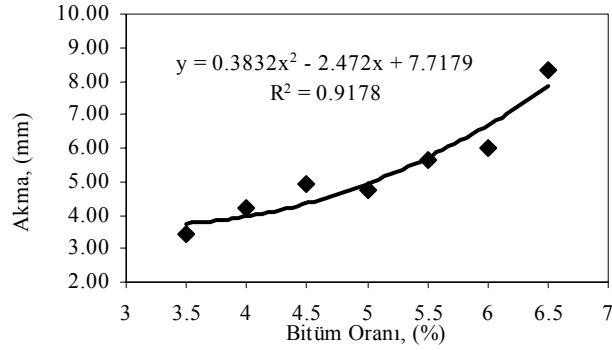
Şekil 4. Bitüm oranlarına göre değişimler(70-100 penetrasyon).

Şekil 4'ten faydalanılarak Çizelge 6'da bu dört değişkene göre ortalama alınarak en uygun bitüm oranı % **4,63** olarak bulunmuştur.

Çizelge 6. Ortalama bitüm oranı tayini

Deney Adı	Bitüm Oranı (%)
Pratik özgül ağırlık	4,53
Marshall Dayanımı	4,47
Boşluk oranı	4,39
Bitümlü dolu boşluk oranı	5,11
<b>ORTALAMA</b>	<b>4,63</b>

Bitüm oranı % 4,63'e karşılık gelen akma değeri Şekil 5'te verildiği üzere 4,57 mm olarak bulunur.



Şekil 5. Akma -bitüm oranı değişimi.

En uygun bitüm oranı % 4,63 için grafiklerden elde edilen deney sonuçları Çizelge 7'e verilmiştir.

Çizelge 7. En uygun bitüm oranına göre deney sonuçları

Deney Adı	Deney Sonuçları
Pratik özgül ağırlık, kg/cm <sup>3</sup>	2,45
Marshall Dayanımı, kg	1531,5
Boşluk oranı, %	3,7
Bitümlü dolu boşluk oranı, %	73,8
Akma, mm	4,57

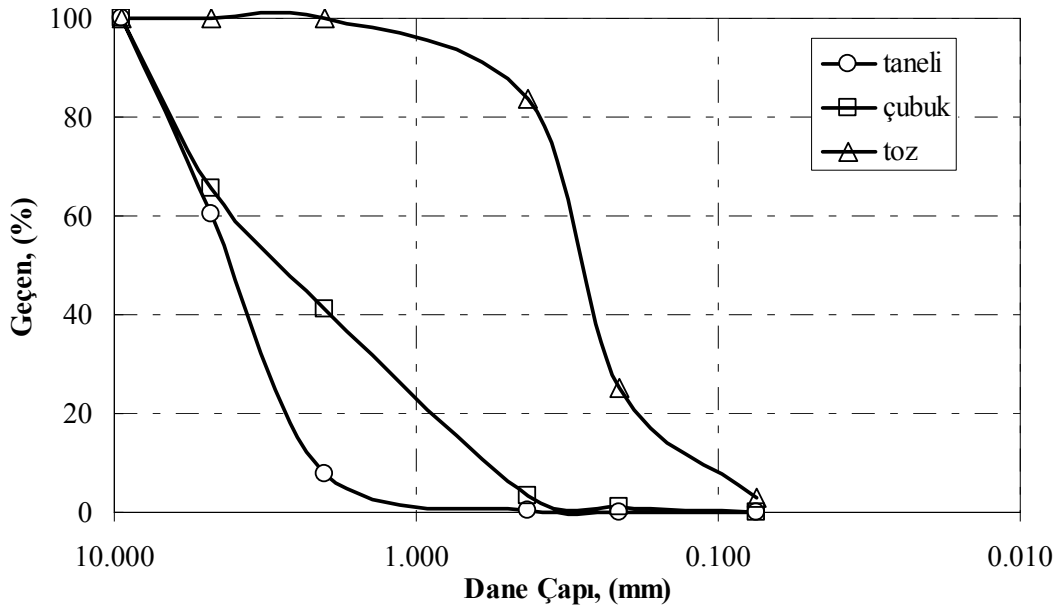
#### II.4 Polimerler

Doğal ve Sentetik olarak elde edilebilen polimerler uzun zincirli moleküler yapıya sahiptirler. Polimer malzemeler mekanik özelliklerine bağlı olarak; termoplastik polimerler (thermoplastic polymers) ve termoset polimerler (thermosetting polymers) olmak üzere iki alt grupta incelenebilir. Termoplastik polimer malzemeler ısıtıldıklarında yumuşarlar, soğutulduklarında sertleşirler. Bu işlemler tekrarlı olarak gerçekleştirilebilir. Bu yüzden tekrar kullanımları daha kolaydır. Termoset polimer malzemeler ise ısıtıldıklarında kalıcı olarak sertleşirler. Tekrar

ısıtıldıklarında yumuşama özelliği göstermezler. Isıtma işlemiyle yakın moleküller arasında kovalent bağlar oluşur. Bu bağlar çapraz bağlardır. Termoset polimer malzemeler; termoplastik polimer malzemelere göre daha sert, dayanıklı ve kırılmandır. Sertleştirilmiş kauçuklar, epoksiler ve polimer reçineler termoset polimer malzemelere örnek verilebilir [14].

### II.5 Atık malzemeler

Çalışmada kullanılan sert plastik parçaları, araç lastiği parçacıkları ve lastik tozu atıkları Eskişehir ili organize sanayi bölgesinde bulunan bir atık işleme fabrikasından elde edilmiştir. Hurda olarak işleme fabrikasına gelen lastik atıkları burada öğütme makinelerinde öğütülmekte ve çeşitli çaptaki eleklerden geçirilerek boyutlandırma işlemi yapılmaktadır. Atık malzemeler bu fabrikadan hazır olarak alınmıştır. Atık malzemelerin dane dağılımı Şekil 6' da verildiği gibidir. Atık malzemelerin ilavesi ile karışımın Şekil 1' de verilen agrega dane dağılımında önemli bir değişiklik meydana gelmemiştir.



Şekil 6. Atık malzemelerin granülometri eğrisi.

## II.5 Atık Kullanımı İçin Çalışmada İzlenilen Yöntem

### II.5.1 Marshall deneyleri

Atık lastikler asfalt betonunda agrega ağırlığının belirli bir yüzdesi olarak bir malzemenin yerine kullanımı veya bitümlü bağlayıcının özelliklerini iyileştirme amacıyla kullanılabilir. Çalışmada beton asfalt içerisinde yer alan agreganın belli bir oranı olarak Şekil 7' de gösterilen;

1. Sert plastik parçaları,
2. Araç lastiği parçacıkları,
3. Lastik tozu ilave edilmiştir.



Şekil 7. a) Sert plastik parçalar b) Araç lastiği parçacıkları c) Lastik tozu.

En uygun bitüm oranının belirlenmesi ile atık katkılı asfalt betonu üretimi gerçekleştirilmiştir. Yukarıda verilen atıklar % 2, 4, 6 ve 8 oranlarında katılmıştır. % 8 oranında atık katılarak hazırlanan numuneler olumlu sonuç vermediğinden, atık ilavesi % 2, 4, 6 oranları ile sınırlandırılmıştır. Her oran için 3'er tane numune hazırlanmıştır. Ayrıca atıklar soğuk ve deney sıcaklığında (160 °C) ayrı ayrı ilave edilmiş ve sonuçlar alınmıştır. Bahsedilen deneyler 50-70 ve 70-100 penetrasyonlu bitümlerin her ikisi için de tekrarlanmıştır. Kontrol numuneleri atık içermemektedir. Hazırlanan karışımlara ait pratik özgül ağırlık, boşluk oranı, bitümle dolu boşluk oranı, Marshall Dayanımı ve akma değerleri için Ek-A ve B de verilen grafikler çizilmiştir.

### **II.5.1 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.

Deney aleti ortalama 810.6kPa (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 Şekil 8 ve 9' da görüldüğü üzere görsel olarak izlenebilmekte ve EXCEL veri tabanına aktarılabilmektedir. Deformasyonlar % 4 ile sınırlı tutulmuştur.

### **III. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME**

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

$$\varepsilon_n = 100 \left( \frac{h_0 - h_n}{h_0} \right) \quad (1)$$

formülde;

$\varepsilon_n$  = n yükleme sonunda numunede birikmiş eksenel birim şekil değiştirme (%)

$h_0$  = Başlangıç numune ortalama yüksekliği

$h_n = n$  yüklemenden sonraki numune ortalama yüksekliğini gösterir.

Sünme hızı  $f_c$  ;

$$f_c = \frac{\varepsilon_{n1} - \varepsilon_{n2}}{n_1 - n_2} \quad (2)$$

formülü ile hesaplanır. Burada;

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

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

$n_1, n_2$  = Tekrarlı yük uygulamaları sayısıdır.

$n$  yükleme sonunda sünme modülü aşağıdaki formülle hesaplanabilir;

$$E_n = \frac{\sigma}{\varepsilon_n} * 1000 \quad (3)$$

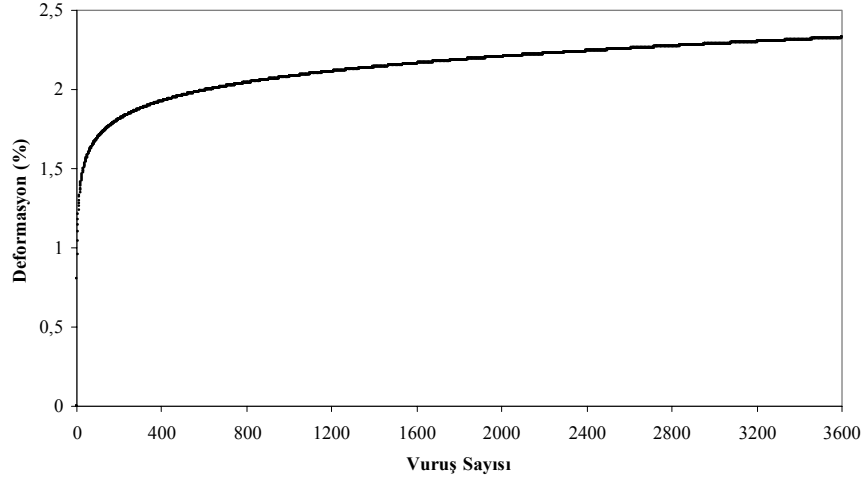
Burada;

$E_n$  =  $n$  yükleme sonunda sünme modülü (MPa)

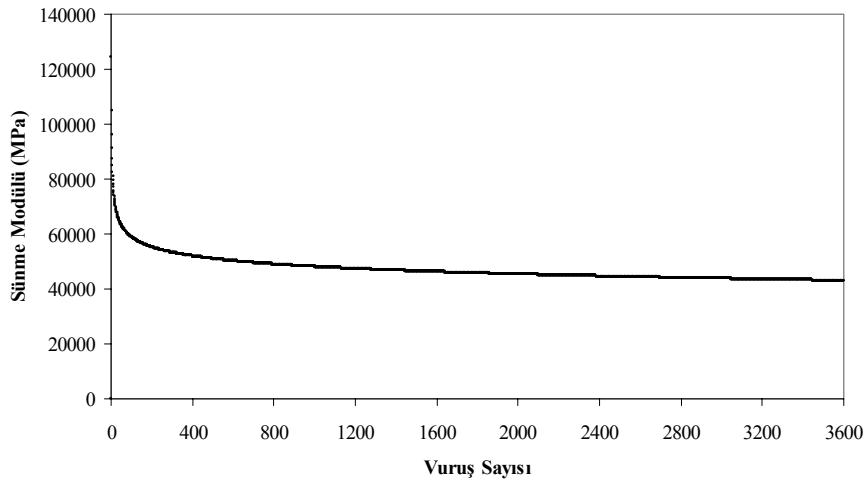
$\sigma$  = Yüklenen gerilme (kPa)

$\varepsilon_n$  =  $n$  yükleme sonunda numunede birikmiş eksenel birim şekil değiştirme (%)

(EN 12697-25:2005)

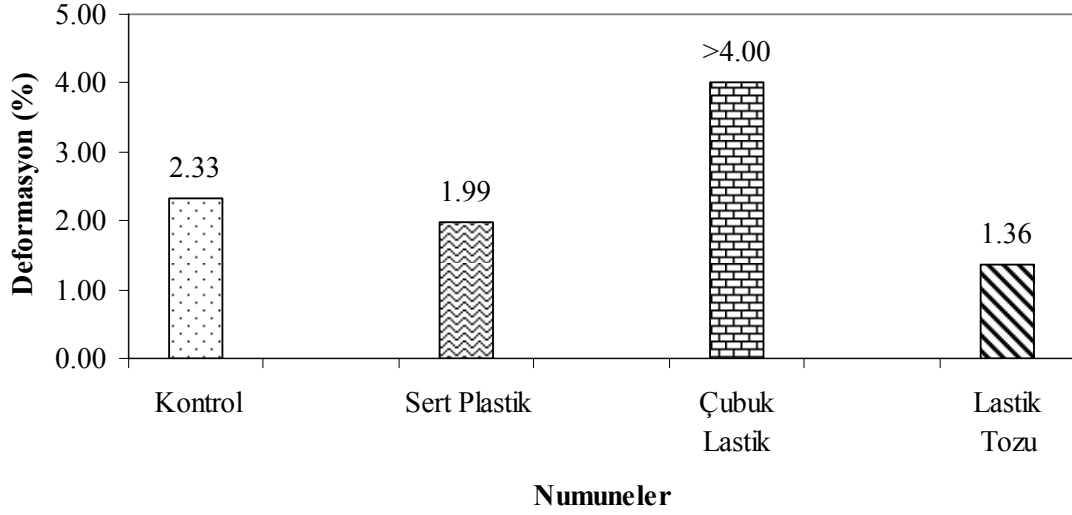


**Şekil 8.** Vuruş sayısı-deformasyon grafiği (kontrol numunesi).

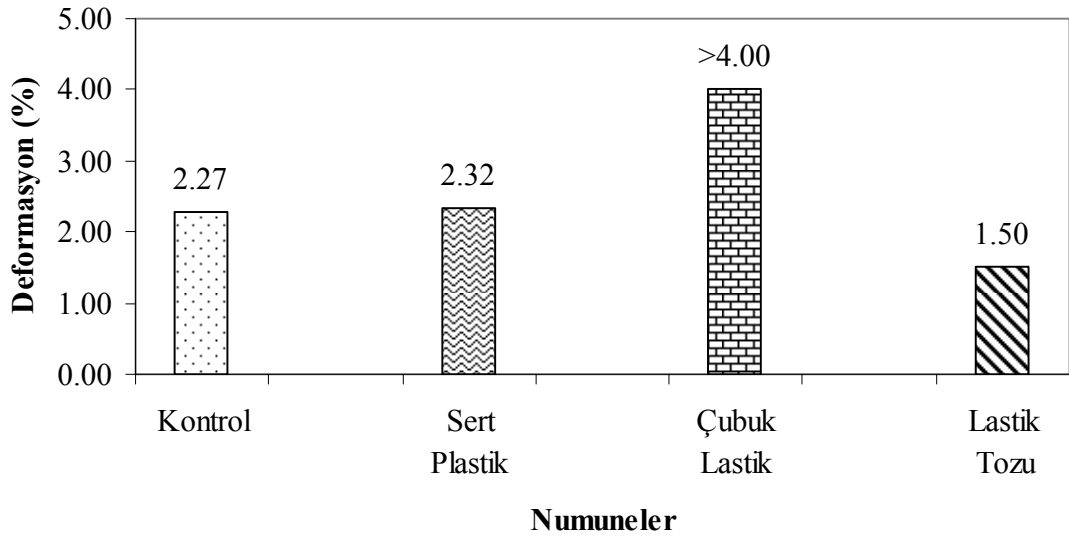


**Şekil 9.** Vuruş sayısı-sünme modülü grafiği (kontrol numunesi).

Şekil 8 ve 9'da örnek olarak verilmiş olan kontrol numunelerine ait, vuruş sayısı-deformasyon ve vuruş sayısı-sünme modülü grafikleri 50-70 ve 70-100 penetrasyonlu bitümle hazırlanan numuneler için ayrı ayrı çizilmiş ve sonuçlar elde edilmiştir. 50-70 ve 70-100 penetrasyonlu bitümle hazırlanan numuneler üzerinde 40 °C de, 3600 vuruş sonunda meydana gelen deformasyon değerleri Şekil 10 ve 11' de verilmiştir.



Şekil 10. Numunelere ait deformasyon değerleri (50-70 Penetrasyon).



Şekil 11 Numunelere ait deformasyon değerleri (70-100 Penetrasyon).



#### **IV. TARTIŞMA**

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. Sert plastik parçacıkları (SPP), araç lastiği parçacıkları (ALP) ve lastik tozu (LT) 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.

Atıkların deney sıcaklığında veya soğuk olarak ilavesinin asfalt betonunun performansına önemli bir katkısı bulunmamaktadır. Ayrıca 50-70 ve 70-100 penetrasyonlu bitümler için birbirine yakın sonuçlar elde edilmiştir. Atıkların aynı penetrasyonlu bitüm için soğuk olarak ilave edilebilmesi enerji tüketimi açısından oldukça olumlu bir sonuçtur. % 2, 4, 6 oranlarında ilave edilen sert plastik parçacıkları ile hazırlanan numuneler, TCK Karayolları Teknik Şartnamesinde verilen Marshall dayanım değerlerini (700 kg, binder tabakası için) sağlayabilmektedir. Ancak atık ilavesi ile boşluk oranı ve akma değerleri artmaktadır. Boşluk oranının artması ilave edilen atıkların esneklik özelliğinden kaynaklanabilir. Boşluk oranının artması durumunda akma miktarı da artmaktadır. Bu atık maddeler belli miktardaki dayanım istenilen, daha az yağış alan bölgelerde yapılacak yolar için kullanılabilir.

Şekil 10 ve 11' den anlaşılacağı üzere 50-70 ve 70-100 penetrasyonlu bitümler için benzer sonuçlar elde edilmiştir. Sert plastik atıklı numuneler kontrol numunelerine çok yakın

deformasyon göstermişlerdir. Çubuk lastikli parçacıklı numuneler deneyde sınır olan % 4 deformasyon değerlerini aşmıştır. Lastik tozu ilave edilen numunelerde meydana gelen deformasyon miktarları kontrol numunelerine göre daha düşük çıkmıştır. Bu da atık plastik parçacıkları lastik tozlarının % 2 oranında ilavesi ile asfalt betonlarının TCK Karayolları Teknik Şartnamesinde verilen şartları sağlayabilecek şekilde hazırlanabileceğini göstermektedir.

\* Marshall Deney sonuçlarına göre % 2 ve 4 oranlarında sert plastik parçacıklı, atık lastik parçacıklı ve lastik tozlu asfalt betonu üretilerek uygulamalı olarak kullanılabilir.

\* Tekrarlı yükler altında meydana gelen deformasyon sonuçları incelendiğinde % 2 oranında sert plastik parçacıkları ve lastik tozu ilave edilerek üretilen asfalt betonlarında deformasyon açısından olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Özellikle lastik tozları asfalt betonunda meydana gelen deformasyon miktarını azaltmaktadır. Lastik tozları agregalar arasında donatı görevini daha iyi göstermektedir.

\* % 2 oranında ilave edilerek üretilen asfalt betonlarında sünme modülleri de yüksek çıkmıştır. Bu sonuç sert plastik parçacıkları ve lastik tozu içeren asfalt betonlarının yüklere karşı daha direnç gösterebileceklerini göstermektedir.

\* Atık lastik parçacıklı asfalt betonlarında gerek Marshall dayanımı, gerekse deformasyon değerleri istenilen düzeyde çıkmamıştır. Atık lastik parçacıklarının boyutlarının küçük olmaması halinde boşluk miktarı artmakta ve dayanım düşmektedir. Aşınma tabakalarının performansının yüksek olması istenir. Dolayısıyla u asfalt betonları daha düşük dayanım gerektiren binder tabakasında değerlendirilmelidir. Ayrıca yürüyüş yollarında kullanılabilir.

\* % 6 oranında ilave edilen atıklar asfalt betonunun performans değerleri için olumlu sonuçlar vermemiştir.

\* Ülkemizde 15.000 km bölünmüş yol yatırımı yapılmaktadır. Bu yatırım 20m genişlik ve 12 cm kalınlık için, 90.000.000 ton malzeme gerektirir. Bu asfalt betonunun % 2 sinde atık lastik kullanılması durumunda, 180.000.000 araç lastiğinin etkin bir şekilde kullanılabilceği sonucuna götürür. TÜPRAŞ'ın 2005 yılı toplam bitüm satışı 1.388.000 ton' dur. Bu bitüm miktarına göre üretilebilecek asfalt betonunda da önemli miktarda atık lastik kullanılabilir. Atık lastiklerin öğütülme maliyetleri ve uygulamada üretim aşamasında ilave maliyetler bağlamında sorun oluştursa da, sürdürülebilir bir yaşam ve ülke ekonomisi için olumlu olacaktır.

\* Çalışmada atık plastik ve lastik parçalarının asfalt betonunda kullanımına yönelik çalışmaların sonuçlarının ortaya konulması amaçlanmıştır. Elde edilen sonuçlar atık lastikler ile yapılan literatürdeki diğer çalışmalar ile uyum göstermektedir [6-7]. Çalışmadan elde edilen sonuçların, ülke ekonomisi için katkıları basit bir şekilde ortaya konulmuştur.

## V. TEŞEKKÜR

Bu çalışmada ESOGÜ, Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından 200615015 numaralı proje kapsamında alınan cihazlar kullanılmıştır.

## VI. KAYNAKLAR

- [1] M. Ilıcalı, S.Tayfur, H. Özen, İ. Sönmez, K. Eren, “Asfalt ve Uygulamaları”, İsfalt, İstanbul, 2001.
- [2] A. Eren, “Dönüştürülen Lastikler”, *Buğday Dergisi*, (www.bugday.org), 2005.
- [3] R. Siddique, T.R. Naik, “Properties of concrete containing scrap-tire rubber-an overview”, *Waste Management*, Vol.24, pp. 563-569, 2004.
- [4] H. İbrahim, A. Wahhab, J. Hasnain, “Laboratory study of asphalt concrete durability in Jeddah”, *Building and Environment*, Vol.33, pp.219-230, 1998.
- [5] 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.
- [6] A. Yüceer, O.N. Çelik, “Polimerlerin Asfalt Betonunda Kullanılması ve atık Plastiklerin Değerlendirilmesi”, *İ.M.O Dergisi*, Ocak 1991, ss. 227-234.
- [7] Y. Yıldırım, “Polymer modified asphalt binders”, *Construction and Building Materials*, Vol.21, pp.66-72, 2005.
- [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] F.J. Navarro, P. Partal, F. Martinez-Boza, C. Valencia, C. Gallegos, "Rheological characteristics of ground tire rubber-modified bitumens", *Chemical Engineering Journal*, Vol.89, pp.53-61, 2002.
- [11] Xiaohu Lu, U. Isacsson, "Modification of road bitumens with thermoplastic polymers", *Polymer Testing*, Vol.20, pp.77-86, 2001.
- [12] U. Isacsson, Xiaohu Lu, "Characterization of bitumens modified with SEBS, EVA and EBA polymers", *Journal of Materials Science*, Vol.34, pp.3737-3745, 1999.
- [13] TCK, "Karayolu Teknik Şartnamesi", Ankara, 2006.
- [14] W.D. Callister, "Materials Science and Engineering", 5th Edition, John Wiley&Sons, Inc., 1999.