

Öğütülmüş Araç Lastiği ve Parafin Modifikasyonunun Taş-Mastik Asfalt Kaplamanın Stabilite ve Rijitliğine Etkisi

Baha Vural KÖK, Mehmet YILMAZ

Fırat Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Elazığ.
424 2370000/5418
bvural@firat.edu.tr, mehmetyilmaz@firat.edu.tr

Mustafa AKPOLAT

Fırat Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Elazığ.
makpolat@firat.edu.tr

Öz

Artan trafik hacmi ve daha ağır dingil yükü altındaki bitümlü karışımların kötü performansı, katkılı bağlayıcıların artan kullanımına ve gelişimine öncülük etmiştir. Kullanılan polimer tipi katkı maddelerinin çevrenin korunması açısından yetersiz kalması, her yıl daha da fazla artarak açığa çıkan atık araç lastiklerinin katkı olarak kullanımını gündeme getirmiştir. Öğütülmüş araç lastiği (CR) modifikasyonu karışımların mekanik özelliklerini polimer modifikasyonunda olduğu kadar maliyetlerin artmasına neden olmadan iyileştirirken, artan viskoziteye neden olarak işlenebilme özelliğini düşürmektedir. Bu sebeple son zamanlarda bu atık malzeme işlenebilme özelliklerini iyileştiren ılık karışım katkıları ile birlikte kullanılmaya başlamıştır. Bu çalışmada üç farklı orandaki CR ile birlikte parafin kullanılımasının taş-mastik asfaltın rijitlik ve stabilite özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Sonuçta katkıların birlikte kullanımının saf karışıma göre daha fazla stabilite ve rijitlik değeri verdiği aynı zamanda daha fazla esnek davranış sergilediği dolayısıyla, orta ve yüksek sıcaklıkta kalıcı deformasyonlara karşı daha dirençli olacağı tespit edilmiştir.

Anahtar sözcükler: Öğütülmüş araç lastiği, Parafin, Stabilite, Rijitlik.

Giriş

Bitümlü sıcak karışımlar (BSK) yüksek sıcaklık ve uzun yükleme sürelerinde viskoz bir davranış sergilediğinden kalıcı deformasyonlara karşı direnci düşük olmakta ve BSK'larda gerek teknik gerekse ekonomik açıdan çok önemli kabul edilen tekerlek izinde oturma şeklinde bozulma meydana gelmektedir. Düşük ısılarda ise kırılğan bir davranış sergileyerek trafik yüklerinden gelen gerilmeleri absorbe edememekte ve çatlaklar oluşmaktadır. Bitümlü sıcak karışımların düşük sıcaklıkta daha fazla esnek ve yüksek sıcaklıklarda daha stabil bir davranışa sahip olabilmesi için polimer tipi katkı malzemeleri kullanılmaktadır. Ancak kullanılan katkı malzemeleri pahalı katkılar olup, sağlayacağı faydanın yanında getirdiği ek maliyetler alternatif katkı arayışlarını gerektirmiştir. Bu sebeple bitümlü sıcak karışımlarda, her yıl daha da fazla artarak açığa çıkan ve çevresel sorunlara yol açan (Şekil1) atık araç lastiklerinin katkı olarak kullanımı pek çok ülkede gündeme gelmiştir.



Şekil 1. Atık lastik depoları [1].

Lastik üretiminde kullanılan materyaller olağanüstü kuvvetlidir. Seyir esnasında binlerce kilometre uzunluğundaki asfalt ve asfalt olmayan yollardaki sürtünmelere dayanıklı olacak şekilde imal edilirler. Oto lastikleri; üzerine gelen darbelerle dayanımlı ve titreşim ile darbeleri büyük ölçüde sönmüleyip yutan, esnek ve elastiki bir yapıya sahiptir [2]. Lastik, içeriğinde, 200'den fazla hammadde içeren yüksek teknolojiye sahip karmaşık bir üründür. Bir otomobil atık lastiğinin ağırlığı 9,1 kg'dır. Atık lastiğin yaklaşık olarak %35'i doğal ve %65'i sentetik olan geri kazanılabilir kauçuktan meydana gelmektedir. Bir kamyon lastiği 18,2 kg ağırlığında olup, bu ağırlığın %60 ile %70'i geri kazanılabilir kauçuk içermektedir [3, 4].

Literatürde öğütülmüş araç lastiği (CR) modifiyeli karışımların davranışı ile ilgili bir çok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar da CR modifikasyonunun asfalt karışımların yorulma ömrünü ve yüksek sıcaklıklarda kalıcı deformasyonlara karşı direncini önemli derecede artırdığı, polimerler yerine ekonomik olarak kullanılabilmesi belirtilmiştir [5-8]. Yapılan çalışmalarda öğütülmüş araç lastiklerinin yaş proses (katkının bitüme ilave edilmesi) yerine kuru proses olarak (katkının bitümlü sıcak karışıma eklenmesi) kullanılması durumunda da karışımların tekerlek izi dirençlerinin ve çekme gerilmelerinin arttığı, düşük ısı davranışının iyileştiği belirtilmiştir [9,10]. Ancak öğütülmüş araç lastiklerinin bitüm modifikasyonunda kullanılması artan viskoziteye neden olarak kullanım olanağını sınırlandırmaktadır [11,12]. Bu aşamada ise sorunun çözümü için daha düşük sıcaklıklarda agrega ile karıştırılabilme özelliği sunan ılık karışım katkıları gündeme gelmektedir. Bu katkıların artan viskozite sorununa çözüm olmasının yanı sıra performansa da katkı sağlayabilmektedir. Öğütülmüş araç lastiklerinin ve parafinin birlikte kullanıldığı çalışmalarda, parafinin öğütülmüş kauçuk modifiyeli bağlayıcının tekerlek izi parametresini iyileştirdiği ve yüksek sıcaklık performans seviyesini artırdığı tespit edilmiştir. Ayrıca parafinin yaşlanmamış ve kısa süreli yaşlanmış bağlayıcının kompleks modülü üzerinde en etkili olan ılık karışım katkısı olduğu belirtilmiştir [13]. Akisetty ve dig. %10 0,425 mm boyutunda öğütülmüş kauçuk içeren PG 64-22 bağlayıcısında iki farklı ılık karışım katkısı kullanmıştır. Sonuçta öğütülmüş araç lastiği modifikasyonunun yorulma parametresini azalttığı ancak bu bağlayıcının ılık karışım katkıları ile birlikte kullanılması durumunda yorulma parametresinin düşmediği tespit edilmiştir [14].

Bu çalışmada değişik oranlarda öğütülmüş araç lastiği ve FT-parafin ile modifiye edilmiş bitümlerle hazırlanan taş-mastik asfalt numunelerinin stabilite ve rijitlik özellikleri incelenmiş kontrol karışımının özellikleri ile karşılaştırılmıştır.

Materyal ve Yöntem

Çalışmada bağlayıcı olarak TÜPRAŞ Batman rafinerisinden temin edilen B 50/70 sınıfı asfalt çimentosu kullanılmıştır. Bağlayıcıya ait özellikler Tablo 1’ de verilmiştir.

Tablo 1. Bağlayıcının özellikleri.

Özellikler	Standart	B 50/70
Penetrasyon (0,1 mm), 100 g, 5 s	ASTM D5	51
Yumuşama noktası (°C)	ASTM D36	52,2
Penetrasyon indeksi (PI)		-0,6
Özgül ağırlık		1,013
Viskozite (cP, 135°C)	ASTM D4402	600
Viskozite (cP, 165°C)	ASTM D4402	175
Karıştırma sıcaklığı (°C)		165,8
Sıkıştırma sıcaklığı (°C)		152,8

Bitüm modifikasyonunda kullanılan öğütülmüş atık lastik Samsun Akın Kauçuk firmasından temin edilmiştir. Atık lastik kauçuğu (CR), mekanik parçalama yöntemi ile 0,3 – 0,6 mm çapında elde edilmiştir (Şekil 2). Çalışmada öğütülmüş atık lastikler B 50/70 bitümüne ağırlıkça %6, %8 ve %10 oranlarında ilave edilmiştir.



Şekil 2. Öğütülmüş atık araç lastiği (crumb rubber) [15].

Bitüm modifikasyonunda kullanılan bir diğer katkı maddesi olan parafin Sasolwax firmasından temin edilmiştir. Bir organik ılık karışım katkısı olan parafin Fischer-Tropsch yöntemi ile elde edilen alifatik hidrokarbondur. Normal alifatik hidrokarbon 22-45 adet karbon molekülü bulunurken, Fischer-Tropsch yöntemi ile elde edilen alifatik hidrokarbon molekülü içerisinde 40 ile 115’den daha fazla karbon atomu bulunmakta ve bu sayede uzun zincirli molekül yapısına sahip olmaktadır [16]. Çalışmada paraffin, B 50/70 bitümüne ve %6-8-10 oranında öğütülmüş araç lastiği modifiyeli bağlayıcılara ağırlıkça %3 oranında ilave edilmiştir.

Öğütülmüş atık lastik ve parafin katkılı modifiye bitümler, saf bitüm akışkan hale gelip karıştırma kabına aktarıldıktan sonra katkının belirlenen içerikte yavaş yavaş ilave edilip, 1000 devir/dakika hıza sahip karıştırıcıda 175 °C sabit sıcaklıkta 1 saat süre ile karıştırılarak hazırlanmıştır.

Karışım numunelerinde agrega olarak özellikleri ve gradasyonu Tablo 2’de verilen kireçtaşı kullanılmıştır. Maksimum 19 mm dane çapında olan taş-mastik-asfalt karışım numuneleri,

101,6 mm çapında ve $63,5 \pm 2$ mm yüksekliğinde Marshall tokmağı ile her iki yüzüne 50 darbe uygulanarak hazırlanmıştır. Optimum bitüm muhtevası kontrol karışımları için %6.0 olarak belirlenmiş bu oran diğer karışım tipleri içinde kullanılmıştır. Karışımlarda Shelenberg süzülme değeri %0,3'ten az olan agrega ağırlığınca %0,5 Viatop fiber kullanılmıştır. Karışımların, hava boşluğu oranı (V_a), asfaltla dolu boşluk oranı (V_{FA}), agregalar arasındaki boşluk oranı (V_{MA}), hacim özgül ağırlıkları (G_{mb}), karıştırma-sıkıştırma sıcaklıkları Tablo 3'te verilmiştir. Tablodan görüldüğü üzere numunelerin hacimsel özellikleri birbirine yakın sonuçlar vermektedir. En düşük boşluk oranı sadece %3 parafin ile modifiye edilen numunede en yüksek boşluk oranı ise %10 CR ve %3 parafin ile modifiye edilen karışımda olmuştur.

Tablo 2. Agrega özellikleri ve gradasyonu.

Elek çapı (mm)	19,1	12,7	9,52	4,76	2,00	0,42	0,17	0,075
Geçen (%)	100	95,0	65,0	37,5	25,0	17,0	13,0	10,0
Özgül ağırlık (g/cm^3) (Kaba, ince, filler)	2,533 2,619 2,732							
Aşınma kaybı (%) (Los Angeles)	25							
Don kaybı (%) (Na_2SO_4)	2,5							
Soyulma direnci (%) (Nicholson)	70-75							

Tablo 3. Karışımların hacimsel ve fiziksel özellikleri.

Karışım tipleri	W_a (%)	V_a (%)	V_{MA} (%)	V_{FA} (%)	G_{mb}
0-0	6,0	2,91	14,28	79,61	2,351
0-3	6,0	2,88	14,25	79,78	2,352
6-3	6,0	3,01	14,37	79,04	2,348
8-3	6,0	3,12	14,47	78,42	2,346
10-3	6,0	3,18	14,52	78,11	2,344

İndirekt Çekme Rijitlik Modülü Deneyi

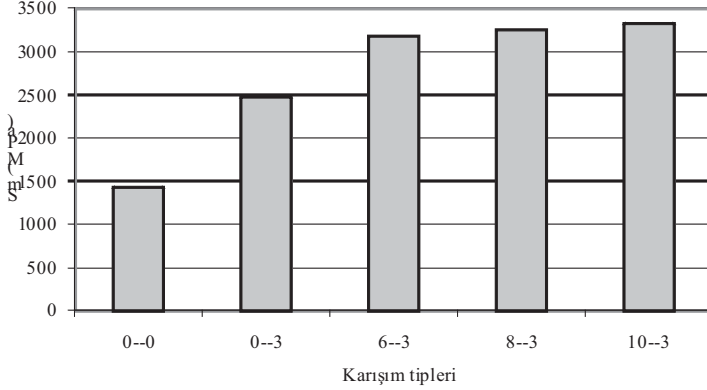
Bitümlü tabakaların yük dağıtma kabiliyetinin bir ölçüsü olan rijitlik modülü, bitümlü sıcak karışımların en önemli performans karakteristiklerinden biridir. Bu deney BS DD 213 standardı ile tanımlanmış hasarsız bir deney olup rijitlik modülü (S_m , MPa) Formül 1 ile hesaplanmaktadır.

$$S_m = F(R+0,27) / LH \quad (1)$$

Burada F, maksimum dikey yük (N); H, 5 yük tekrarı sonucunda oluşan ortalama yatay deformasyon (μm); L, ortalama numune kalınlığı (mm); R ise poisson oranıdır (0,35). Deney, 25°C sıcaklıkta deformasyon kontrollü olarak yapılmıştır. Maksimum deformasyon 6 μm , yükleme periyodu 3 sn, yük artış süresi 0,124 sn olarak alınmıştır. Yükleme başlığı pnömatik olarak çalışan cihaz, ilk önce numunede 6 μm deformasyon oluşturacak yük değerini ayarlamak için 5 adet deneme yüklemesi yapmaktadır. Deneme yüklemesinden sonra gerekli olan yükü ayarlayan cihaz, gerçek yüklemeleri yapmakta ve her darbeye 6 μm deformasyon oluşması için gerekli yük değerini kaydetmektedir. Sonuçta 5 yüklemenin ortalama değerini ve standart sapmaları vermektedir. Deneylerde standart sapması %10'dan fazla olan numuneler iptal edilmiştir. Deney 25 °C'de yapılmıştır. Tablo 4'de rijitlik modülü deneyinden elde edilen sonuçlar, Şekil 3'te ise ortalama sonuçların grafiksel gösterimi verilmiştir.

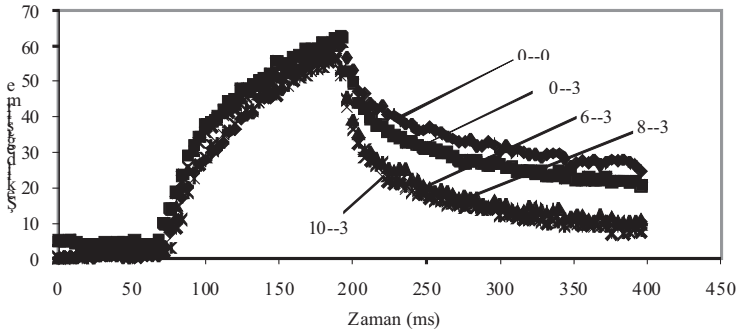
Tablo 4. ITSM deney sonuçları (MPa)

	1.deneme	2.deneme	3.deneme	4.deneme	5.deneme	6.deneme	Ortalama
0-0	1501	1472	1365	1381	1549	1304	1428
0-3	2605	2473	2332	2554	2587	2341	2482
6-3	2934	3221	3336	3101	3229	3190	3168
8-3	3329	3187	3070	3295	3371	3202	3242
10-3	3458	3156	3480	3386	3210	3298	3331



Şekil 3. Karışımların rijitlik modüllerinde meydana gelen değişim.

Şekil 3'den görüldüğü üzere katkı kullanımı ile birlikte karışımların rijitlik değerleri artmaktadır. Sadece %3 parafın kullanımını ile rijitlik değeri saf karışıma göre %67 artış gösterirken %, 6, %8 ve %10 CR kullanımı ile beraber bu artış değerleri sırası ile 1,2, 1,27 ve 1,33 kat olmaktadır. CR oranının %6'dan %10'a çıkması durumunda rijitlikte çok fazla bir değişime olmaktadır. 25 C'de yapılan bu deneyde belirlenen rijitlik artışları, karışımların orta ve yüksek sıcaklıkta kalıcı deformasyonlara karşı direnç gösterebileceğine işaret etmektedir. Şekil 4'te karışımların ortalama rijitlik değerine en yakın ölçümü veren numunelerin 400 ms içerisinde anlık yüklenme sonucu meydana gelen deformasyonları verilmiştir.



Şekil 4. Karışımların zaman-şekil değiştirme ilişkisi.

Deney deformasyon kontrollü yapıldığından ve 6 mikron deformasyon seviyesi seçildiğinden, yükleme sonucunda numunelerde elastik bir deformasyon (6 mikron) meydana gelmekte yük kalktıktan sonra ise bu deformasyonlar geri gelmektedir. 3000 ms seviyesinde bütün deformasyonlar sıfır değerine geri gelmektedir. Ancak karışımların esneklikleri hakkında bir fikir sahibi olabilmek için burada 400. ms deki deformasyonlar değerlendirilmiştir. Şekil 4’de görüldüğü üzere 10-3 karışımında deformasyonların büyük bir kısmı geri dönmüştür. Saf karışım (0-0) 400.ms’de en yüksek deformasyon seviyesine sahip olarak en az esnek davranışı göstermiştir. Saf karışımdan sonra sırasıyla 0-3, 6-3 ve 8-3 karışımları daha esnek davranış sergilemiştir. CR modifiyeli karışımlar rijitlik modülünde olduğu gibi benzer performans göstermiştir.

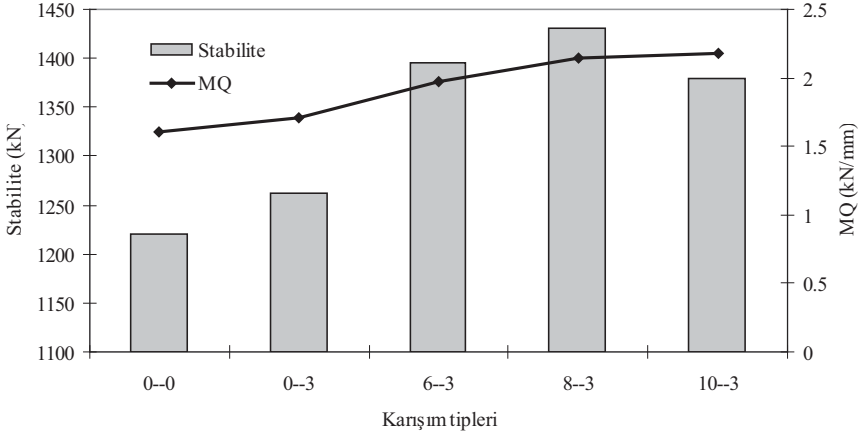
Marshall deneyi

Stabilite; deformasyona karşı maksimum dayanım olarak, akma ise maksimum yüke ulaşıldığı anda numunede meydana gelen deformasyon olarak tanımlanmaktadır. Deneyde, $60 \pm 1^\circ\text{C}$ sıcaklığa sahip su banyosunda 40 dakika bekletilen numuneler Marshall stabilite aletine yerleştirilmekte ve numuneye 50 ± 2 mm/dakika hızla yükleme yapılmaktadır. Deneyde, maksimum yük ve maksimum yük sırasındaki deformasyon değerleri kaydedilmektedir. Deney sonuçları yoldaki performansla direk ilişkilendirilmemekle birlikte karışımların birbirleri ile karşılaştırılması bakımından yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Tablo 5’de deneyden elde edilen stabilite ve akma değerleri ayrıca rijitliğin bir göstergesi olan stabilite/akma (MQ) değerleri verilmiştir.

Stabilite deneyinde rijitlik deneyinde olduğu gibi katkı içeriğinin artması ile sürekli bir artış gözlenmemiştir. En yüksek stabilite değerini %8 CR ve %3 (8-3) parafinin birlikte kullanıldığı karışım vermiştir. 10-3 karışımı 6-3 karışımından daha düşük stabilite değeri vermiştir. Bunun nedeninin artan CR içeriği ile adezyon özelliklerinin olumsuz etkilenmesi olarak düşünülmektedir. Sadece %3 parafinin kullanıldığı karışım saf karışımdan sadece %4 daha yüksek değer vermiştir. Parafinin tek başına kullanılması durumunda rijitlik üzerinde etkili iken stabilite üzerinde çok etkili olmadığı tespit edilmiştir. 6-3, 8-3 ve 10-3 karışımları saf karışıma göre sırasıyla %14, %17 ve %13 daha yüksek stabilite değerleri vermiştir. Stabilitenin akmaya oranı olan MQ değerleri incelendiğinde burada rijitlik deneyinde olduğu gibi katkı kullanımı ile sürekli bir artışın olduğu görülmektedir. MQ değerlerinin yük dağıtma kabiliyetinin bir göstergesi olduğu düşünüldüğünde rijitlik sonuçları ile benzer eğilime sahip olması mantıklı sonuçlar vermektedir. 0-3, 6-3, 8-3 ve 10-3 karışımları saf karışıma göre sırasıyla %6, %18, %33 ve %35 daha yüksek MQ değerleri vermektedir.

Tablo 5. Marshall stabilite ve akma deney sonuçları.

Karışım tipi		1.deneme	2.deneme	3.deneme	Ortalama	Ortalama MQ
0-0	Stabilite (kN)	12,37	12,48	11,79	12,21	1,61
	Akma (mm)	7,50	7,71	7,45	7,55	
0-3	Stabilite (kN)	12,29	12,26	13,32	12,62	1,71
	Akma (mm)	7,82	6,56	7,71	7,36	
6-3	Stabilite (kN)	13,24	14,17	14,44	13,95	1,98
	Akma (mm)	6,71	7,32	7,11	7,04	
8-3	Stabilite (kN)	13,32	14,37	15,25	14,31	2,14
	Akma (mm)	6,18	6,90	6,92	6,66	
10-3	Stabilite (kN)	14,21	13,77	13,44	13,80	2,18
	Akma (mm)	6,72	5,90	6,40	6,34	



Şekil 5. Karışımların stabilite ve MQ değerlerindeki değişim.

Sonuç

Bu çalışmada sabit tutulan %3 Parafin içeriği ile birlikte değişik oranlarda öğütülmüş araç lastiği modifiyeli taş-mastik asfalt karışımların stabilite ve rijitlikleri tespit edilmiştir. Çalışmada son zamanlarda yaygın bir şekilde kullanılmaya başlayan taş-mastik asfalt karışım tipi kullanılmıştır.

Karışımları rijitliklerinin katkı kullanımı ile arttığı ancak %6 CR ile %10 arasında çok fazla bir farkın olmadığı, CR modifiyeli karışımların saf karışıma göre orta sıcaklıkta önemli derecede daha fazla esnek davranış sergilediği tespit edilmiştir. Stabilite açısından en yüksek değeri %8 CR ve %3 parafinin birlikte kullanıldığı karışımın verdiği belirlenmiştir. Gerek rijitlik modülü ve gerekse MQ değerleri göz önüne alındığında CR modifikasyonunun karışımların yük dağıtma kabiliyetini önemli derecede artırdığı böylece orta ve yüksek sıcaklıkta ağır taşıtların ve aşırı yük tekrarlarının neden olacağı kalıcı deformasyonlara direnç göstererek kaplama ömrünü uzatacağı tespit edilmiştir.

Yol esnek kaplamalarında öğütülmüş araç lastiklerinin katkı olarak kullanımı üstyapı performansına katkı sağlamasının yanı sıra bu atık malzemenin oluşturacağı çevresel sorunlara da çözüm olmaktadır. Ülkemizde her yıl yaklaşık olarak 180-200.000 ton ömrünü tamamlamış lastik açığa çıkmaktadır. 2012 yılında toplam 38,3 milyon ton bitümlü sıcak karışım (BSK) üretimi yapılmıştır. BSK da ortalama %5 bitüm ve bitüm ağırlığınca %10 atık lastik kullanılması göz önüne alındığında her yıl açığa çıkan ortalama 190.000 ton atık lastiğin tamamının BSK üretiminde kullanılarak bertaraf edilebileceği görülmektedir. Öğütülmüş araç lastiği fiyatlarının bitümden düşük olduğu [17,18] dikkate alındığında, öğütülmüş araç lastiği kullanımı, BSK üretiminde ilave bir maliyet doğurmadan performans artışı sağlamak ve bu sayede uzun dönemde daha düşük bakım maliyeti gerektiren kaplama imkanı sunmaktadır.

Kaynaklar

- [1]. İnternet, <http://www.kirikhanolay.com.tr/aydin/didimdeki-lastik-yangini-tepki-topladi-h18308.html>, <http://www.bugun.com.tr/gundem/ankarada-buyuk-yangin-haberi/641697>
- [2]. Yeşilata, B., Bulut, H., Turgut, P., Demir, F. (2007) Atık Taşıtların Lastiklerinin Depolanmasına Yönelik Çevresel Sorunların İrdelenmesi. Çevre Bilim&Teknoloji Dergisi, 2, (4), 367-381.
- [3]. İnternet , <http://www.michelin.com.tr>
- [4]. Sugözü, İ., Mutlu, İ. (2009) Atık Taşıtların Lastikleri ve Değerlendirme Yöntemleri. Taşıtların Teknolojileri Elektronik Dergisi, 1, (1), 35-46.
- [5]. Kök, B.V., Çolak, H. (2011) Laboratory Comparison of the Crumb-Rubber and SBS Modified Bitumen and Hot Mix Asphalt. Construction and Building Materials, 25, (8), 3204-3212.
- [6]. Liu, Y., Han, S., Zhang, Z., Xu, O. (2012) Design and Evaluation of Gap-Graded Asphalt Rubber Mixtures. Materials and Design, 35, 873–877.
- [7]. Júnior, A.F.A., Battistelle, R.A., Bezerra, B.S., Castro, R. (2012) Use of Scrap Tire Rubber in Place of SBS in Modified Asphalt as an Environmentally Correct Alternative for Brazil. Journal of Cleaner Production, 33, 236-238.
- [8]. Bennert, T., Maher, A., Smith, J. (2004) Evaluation of Crumb Rubber in Hot Mix Asphalt Center for Advanced Infrastructure and Transportation (CAIT) Rutgers Asphalt/Pavement Laboratory (RAPL) Final Report 9/2003 – 7/2004.
- [9]. Arabani, M., Mirabdolazimi, S.M., Sasani, A.R. (2010). The Effect of Waste Tire Thread Mesh on the Dynamic Behaviour of Asphalt Mixtures. Construction and Building Materials, 24, (6), 1060-1068.
- [10]. Weidong, C. (2007) Study on Properties of Recycled Tire Rubber Modified Asphalt Mixtures Using Dry Process. Construction and Building Materials, 21, 1011–1015.
- [11]. Çelik, O.N., Atis, C.D. (2008) Compactibility of Hot Bituminous Mixtures Made with Crumb Rubber-Modified Binders. Construction and Building Materials, 2, 1143–1147.
- [12]. Kök, B.V., Yılmaz, M., Akpolat, M. (2014) Evaluation of the Conventional and Rheological Properties of SBS + Sasobit Modified Binder. Construction and Building Materials, 63, 174–179.
- [13]. Wang, H, Dang, Z, You, Z, Cao, D. (2012) Effect of Warm Mixture Asphalt (WMA) Additives on High Failure Temperature Properties for Crumb Rubber Modified (CRM) Binders. Construction and Building Materials, 35, 281-288.
- [14]. Akisetty, C., Xiao, F., Gandhi, T., Amirkhanian, S. (2010) Estimating Correlations Between Rheological and Engineering Properties Of Rubberized Asphalt Concrete Mixtures Containing Warm Mix Asphalt Additive. Construction and Building Materials, 25(2), 950-956.
- [15]. İnternet., <http://www.fhwa.dot.gov/publications/publicroads/03jul/08.cfm>
- [16]. İnternet, <http://www.sasolwax.com>
- [17]. İnternet, <http://www.arisanlastik.com.tr>
- [18]. İnternet, <http://www.tupras.com.tr>