

MODİFİYE EDİLMİŞ POROZ ASFALT KARIŞIMLARIN PERFORMANSI

Onur ÖZAY*, Ebru ARIKAN ÖZTÜRK**

*Karayolları 2. Bölge Müdürlüğü, İzmir

**Gazi Üniversitesi Trafik Planlaması ve Uygulaması A.B.D., Maltepe, Ankara

ozavonur@gmail.com, eozturk@gazi.edu.tr

(Geliş/Received: 08.06.2012; Kabul/Accepted: 15.08.2013)

ÖZET

Bu çalışmada, 50/70 penetrasyonlu bitümden, MD243 SBS (Stiren-Bütadien-Stiren) ve TPS (TafPack-Super) katkıları kullanılarak hazırlanan modifiye bitümler ile oluşturulan Poroz Asfalt karışımlarına; tekerlek izinde oturma, indirekt çekme mukavemeti, permeabilite, bitüm süzülme, parça kaybı (cantabro), soyulma ve tekrarlı yükler altında yorulmaya karşı dayanım deneyleri yapılarak her iki karışımın performansları karşılaştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: Poroz Asfalt, Modifiye Bitüm, Poroz Asfalt Karışım Performansı

PERFORMANCE OF MODIFIED POROUS ASPHALT MIXTURES

ABSTRACT

In this study, the modified bitumen prepared by using MD243 SBS (Styrene-Butadiene-Styrene) and TPS (TafPack-Super) additives from Kırıkkale 50/70 bitumen, were tested binder wise in accordance with the technical specification for modified bitumen. The porous asphalt mixtures prepared with the addition of MD243 SBS and TPS additives were tested in means of rutting, indirect tensile strength, permeability, bitumen drain down, cantabro, stripping, fatigue tests and their performance has been examined using the data obtained during the tests.

Key words: Porous Asphalt, Modified Bitumen, Porous Asphalt Mixture Performance

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Poroz Asfalt kaplamalar, sahip oldukları yüksek boşluk oranı ile yol yüzeyine gelen suyu asfalt kaplama içerisine alır, yol yüzeyine verilen enine/boyuna eğimler ile suyun kaplama yüzeyinden uzaklaştırılmasını sağlar. Bununla birlikte, sahip olduğu yüksek boşluk oranı ile tekerlek ve yol yüzeyi arasında oluşan sürtünme kaynaklı gürültünün büyük kısmının yol yüzeyi tarafından emilmesini sağlayarak, gürültü probleminin azaltılmasına da yardımcı olur. Poroz asfalt kaplamalar, sahip olduğu gradasyon sayesinde kaymaya karşı direnci artırır.

Poroz asfalt kaplamalarda suyun asfalt kaplama içerisinden geçebilmesi için karışım içindeki ince agrega oranı düşürülmüştür. Poroz asfalt kaplama serildikten ve sıkıştırıldıktan sonra %15-20 gibi boşluk oranına sahiptir.

Geçirimli olan bu kaplama altında açık gradasyonlu, yaklaşık %40 boşluk oranına sahip, temiz ve yıkanmış agrega tabakası bulunmaktadır [1]. Poroz asfalt kullanımının üç temel amacı vardır:

Yol güvenliği: Poroz asfalt; kaba agrega oranı yüksek, ince agrega ve filler oranı az, açık gradasyonlu, bir karışımdır. Hava boşluğu oranı yüksek olduğu için, suyu içine kolay geçirmekte ve yüzeyinde büyük su birikintileri oluşmadığından araç tekerlerinin su sıratması engellenmekte, bu sayede sürücülerin görüş mesafesi kısıtlanmamaktadır. Kaplama içine sızan sular, uygun bir sistemle kaplama dışına atılmakta, yüzeyinde su birikmediği için kayma tehlikesi azalmakta, geceleri ışıkların yol yüzeyinden yansması azaltılmaktadır [2, 3, 4].

Gürültünün azaltılması: Poroz asfaltın boşluklu yapısı sayesinde, yol yüzeyinde oluşan gürültünün de kaplama tarafından emilmesi sağlanır. Gürültüdeki azalma 3 ila 6 dB arasındadır. Bu da normal şartlarda oluşacak gürültünün %25- %50 arasında azaltılması anlamına gelir. Gürültü azaltmanın her geçen gün daha fazla önem kazanması, iki tabakalı poroz asfaltların geliştirmesinin önünü açmıştır. İki tabakalı poroz asfalt kullanımı ile oluşan gürültüde 6dB'lik bir azalma sağlamak mümkündür. [2].

Yer altı sularının beslenmesi: Poroz asfalt karışımların araç park alanlarında kullanılması ile yer altı sularının beslenmesi ve yağış suyunun çevreci bir yöntemle kaplama yüzeyinden uzaklaştırılması mümkündür [2].

Poroz asfalt kaplamalarla ilgili ilk çalışmalar 1960'ların ortasında İngiltere'de başlamıştır. İlk uygulamalar İngiltere Hava Yolları İdaresi tarafından havaalanlarında gerçekleştirilmiştir [1]. İngiltere'nin ardından Danimarka, Norveç ve Hollanda da; otoyollarında, askeri ve sivil havaalanlarında suyun etkisiyle oluşan kızaklanmanın önlenmesi amacıyla bu kaplama türünü kullanmıştır [5]. Fransa ise uzun süre Poroz asfaltı test ettikten sonra gürültüyü azaltmak amacıyla, Paris başta olmak üzere gürültünün yoğun olduğu bölgelerde Poroz asfalt kaplamayı kullanmıştır. İspanya, Belçika, İtalya ve Amerika'da trafiğin yoğun olduğu kentlerde Poroz asfalt kaplama uygulaması yapılmaktadır [1]. Türkiye'de ise henüz poroz asfalt kaplamalar oldukça yeni bir teknolojidir ve Poroz asfalt kaplamalara yönelik teknik şartname hazırlıkları devam etmektedir.

Verhaeghe B.M.J.A., ve arkadaşları (1994), "Properties of Polymer and Fibre-Modified Porous Asphalt" başlıklı çalışmalarında; Styrene Butadiene Rubber (SBR), Styrene Butadiene Styrene (SBS), Ethylene Vinyl Acetate (EVA) ve Cellulose Fibres ile modifiye edilmiş poroz asfalt karışımların performanslarını karşılaştırmışlar, EVA'nın SBR ve SBS katkılara göre daha iyi sonuç verdiğini tespit etmişlerdir [6].

Subagio, B.S., ve arkadaşları (2003) "Laboratory Performance of Porous Asphalt Mixture Using Tafpack Super" başlıklı çalışmalarında; %0, %12 ve %15 Tafpack Super katkısı ile hazırlanan karışımlara Cantabro, soyulma ve bitüm süzülme deneylerini uygulamışlar, %15 Tafpack Super katkısı ile hazırlanan karışımlarda parça kaybının %40 oranında azaldığını tespit etmişlerdir [7].

WU S.P., ve arkadaşları (2006), "Effect of Fiber Types on Relevant Properties of Porous Asphalt" başlıklı çalışmada, selüloz ve polyester fiberlerin poroz asfalt karışımının özelliklerini etkisini incelemişler, farklı tipte modifiye edilmiş karışımların

tekerlek izinde oturmaya karşı dayanımlarını araştırmışlar ve selüloz fiberlerin polyester fiberlere göre daha iyi performans gösterdiğini bulgulamışlardır [8].

Herrington, P.R., (2010), "Epoxy-Modified Porous Asphalt (EMOGPA)" başlıklı çalışmada, epoxy ile modifiye edilmiş açık gradasyonlu poroz asfaltı incelemiş, EMOGPA'nın kür alma davranışı ve durabilite özelliklerini araştırmıştır. Çalışmada kaplama performansını izlemek için tam ölçekli bir yol inşa edilmiştir [9].

Bitüm, yol kaplamalarında agrega ile birlikte kullanılan önemli bir malzemedir. Termoplastik yapıda olduğundan dolayı iklimsel koşullara bağlı olarak farklı davranış gösterir. Trafik'in de etkisiyle yol kaplamalarında deformasyonlar, ayrışmalar ve çatlamlar şeklinde bozulmalar meydana gelir. Bu bozulmalar kaplama performansını azaltır ve kaplamanın beklenenden önce yenilenmesini gerektirir. Bozulmaların oluşmasını önlemek ve bu suretle kaplama performansını arttırmak amacıyla bitüm çeşitli katkı maddeleri ile modifiye edilerek özellikleri geliştirilmektedir [10].

Bu çalışmada da; Kırıkkale 50/70 penetrasyonlu bitümden, %7,5 oranında MD243 SBS (Stiren-Bütadien-Stiren) ve %14 oranında TPS (TafPack-Super) katkıları kullanılarak hazırlanan modifiye bitümler ile oluşturulan Poroz Asfalt karışımlarına; tekerlek izinde oturma, indirekt çekme mukavemeti, permeabilite, bitüm süzülme, parça kaybı (cantabro), soyulma ve tekrarlı yükler altında yorulmaya karşı dayanım deneyleri yapılarak her iki karışımın performansları karşılaştırılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

2.1. Bitüm ve Agregat (Bitumen and Aggregate)

Deneysel çalışmada kaba (No.4 elek üstü) ve ince agrega (No.4 elek altı) malzeme olarak Ankara-Eskişehir Devlet yolu üzerinde bulunan Yapracık bazalt taşocağı agregası kullanılmıştır. Bazalt agregası sağlam bir agregadır. Bazalt agregasından filler (No.200 elek altı) elde etmek güç olduğu için filler malzemesinin yaklaşık %40'lık kısmı Alacaatlı kalker taşocağından üretilen malzemeden kullanılmıştır.

Kullanılan agregaların fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 1'de gösterilmektedir. Çalışmada kullanılan bitümlü bağlayıcı, Kırıkkale rafinerisinde üretilen 50/70 penetrasyon sınıfına ait bitümdür. 50/70 penetrasyon sınıfına ait bitümün deney sonuçları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. Agreganın fiziksel ve mekanik özellikleri (Physical and mechanical properties of aggregate)

Deneş Adı/Agrega Cinsi	Bazalt	Kalker	Deneş Standardı
Kaba Agrega Hacim Özgöl Ağırlığı	2,790	2,674	TS EN 1097-6
Kaba Agrega Zahiri Özgöl Ağırlığı	2,888	2,701	TS EN 1097-6
Kaba Agrega Su Absorbsiyonu (%)	1,3	0,6	TS EN 1097-6
İnce Agrega Hacim Özgöl Ağırlığı	2,684	2,669	TS EN 1097-6
İnce Agrega Zahiri Özgöl Ağırlığı	2,730	2,704	TS EN 1097-6
İnce Agrega Su Absorbsiyonu (%)	0,6	0,7	TS EN 1097-6
Filler Zahiri Özgöl Ağırlığı	2,746	2,718	BS 812
Los Angeles Aşınma Kaybı, (%)	12,2	25,0	TS EN 1097-2
Don Kaybı Deneyi (Na ₂ SO ₄), (%)	1,8	2,0	TS 3655
Soyulma Mukavemeti, (%) (B50/70 ile)	30-35	75-80	KTŞ Kısım 403 Ek-A
Cilalanma Değeri	52	38	TS EN 1097-8
Yassılık İndeksi, (%)	15	18	BS 812
Plastisite İndeksi	NP	NP	TS 1900-1

Tablo 2. B50/70 ve Modifiye bitümlere ait deneş sonuçları (Test results of B50/70 and modified bitumen)

Sıra No	DENEY ADI		STANDART	BİRİM	SONUÇLAR		
					B 50/70	MD 243	TPS
1	Penetrasyon (25°C,100g,5sn.)		TS EN 1426	0,1mm	64	42	44
2	Yumuşama Noktası min		TS EN 1427	°C	48,8	71,3	92,5
3	Kuvvet Ölçümlü Düktilite ^a (25°C'de, 5cm/Dk) min		TS EN 13589	J	-	-	-
4	Elastik Geri Dönme (25°C) min		TS EN 13398	%	21	90	91
5	Parlama Noktası min		TS EN ISO 2592	°C	-	-	-
6	Özgöl Ağırlık		TS EN 15326	g/cm ³	1,028	1,023	1,014
7	Depolama Stabilitesi						
7.1	Yumuşama Noktası Farkı maks		TS EN 13399	°C	-	1,6	9,3
7.2	Penetrasyon Farkı maks			0,1mm	-	5	42
8	Dinamik Kesme Reometresi (DSR) (G*/sinδ >1kPa)	Yenilme Sıcaklığı min	TS EN 14770 AASHTO T315	°C	66,7	79,0	105,1
9	Dönmeli İnce Film Etüvü Deneyi		TS EN 12607-1				
9.1	Kütle Kaybı maks			%	0,02	0,023	0,388
9.2	Yumuşama Noktası min			°C	55,3	78,8	88
9.3	Yumuşama Noktasındaki Değişiklik		TS EN 1427				
	artma maks			°C	6,5	7,5	-
	azalma maks			°C	-	-	4,5
9.4	Kalıcı Penetrasyon min		TS EN 1426	%	63	64,3	34
9.5	Dinamik Kesme Reometresi (DSR) (G*/sinδ >2,2kPa)	Yenilme Sıcaklığı min	TS EN 14770 AASHTO T315	°C	64,8	83,5	86,7
10	RTFOT+PAV ile Yaşlandırılmış Modifiye Bitüme Yapılan Deneyler		TS EN 14769 AASHTO R28				
10.1	DSR (G*/sinδ <5000kPa)	Yenilme Sıcaklığı maks	TS EN 14770 AASHTO T315	°C	25,5	18,4	13,5
10.2	Kiriş Eğme Reometresi (BBR) Eğilme-Sünme Sertliği (S≤300 MPa, m≥0,300)	Sıcaklık maks	TS EN 14771 AASHTO T313 ASTM D6648	°C	-12	-12	-6

2.2. Katkı Malzemeleri (Additives)

Kraton MD 243, SBS bazlı polimer modifiye bitüm katkısıdır. Kraton MD 243 adı verilen bu SBS, vinil modifikasyon tekniği sayesinde dallanmış bir SBS yapısı gösterir. Polimerin ana gövdesi, bu vinil dallanması nedeni ile kısaldır. Bu da PMB'nin viskozitesinin düşmesi demektir. Viskozite ne kadar yüksekse, asfalt karışımın serme ve sıkıştırmasının zorlaşacağı açıktır. Bu nedenle; normal bitümlü karışımlara göre PMB'li karışımlar daha yüksek sıcaklıklarda işlenir. Kraton MD 243 kullanılarak standart SBS'lere göre %50'ye varan oranlarda daha düşük viskoziteli karışım elde edilir. Böylece üretim şartlarında ve sıcak karışımın serme- sıkıştırma işlemlerinde, kıvam düştüğü için işlemler daha kolay yapılabilir. Standart SBS'lerde, oksidasyon ve yüksek (180°C) bitüm sıcaklığı nedeni ile moleküller arasında çift bağlar zamanla bozularak SBS yapısı SB'ye dönüşür. Bu da performans kaybına yol açar. Bu olumsuz etkiler, Vinil modifiyeli Kraton MD 243'de, kalkan görevi gören dallanmış vinil çift bağlarınca önlenir. SBS'in ana gövdesi bozunmadan üç boyutlu ağ yapısını daha uzun süreli sürdürür [11]. Kraton MD 243, standart SBS'lere göre daha iyi depolama stabilitesine sahiptir. Pratikte hazırlanan PMB, sıcakta depolanmak zorundadır. Bu sürede SBS'lerin bir kısmında bozulmalar olabildiği gibi; SBS ile bitüm arasında aktif bağlanma, SBS ile SBS molekülleri arasında çapraz bağlanma şeklinde reaksiyonlar olabilir [2].

Çalışmada kullanılan Kraton MD243 katkısı, Kraton Polymers firması tarafından yeni geliştirilen bir katkıdır. Bu katkının hangi oranda kullanılabileceği firma yetkilileri ile yapılan görüşmeler neticesinde belirlenmiştir.

TafPack-Super (TPS) daneli (pelet) yapıda, çapı 2-3 mm boyutunda olan, hem karışım hem de bitüm modifikasyonu için kullanılabilen modifiye edici katkıdır. TPS poroz asfalt karışımlarının performans özelliklerini geliştirmek için üretilmiş poroz asfalt katkı malzemesidir. TPS, yapısında ana bileşen olarak termoplastik elastomerler içerir. Normal şartlarda termoplastik elastomerlerin bitüm içerisinde dağılmasını sağlamak çok güçtür. Fakat TPS'nin yapısına eklenen plastikleştirici adezyon reçinesi sayesinde bu modifiye edici katkının bitüm içerisinde dağılması mümkün olmaktadır. TPS kullanılarak üretilen modifiye bitümlerin penetrasyon değerinin, yumuşama noktası değerinin ve viskozitesinin artan TPS oranına bağlı olarak yükseldiği görülmüştür [2].

Kraton MD 243 ve TPS katkı kullanılarak üretilen modifiye bitümlere ait deney sonuçları da Tablo 2'de verilmiştir.

2.3. Karışım Gradasyonu (Mixture Gradation)

Türkiye'de henüz Poroz Asfalt Şartnamesi bulunmamaktadır. Bu nedenle deneylerde Japonya Karayollarının Şartnamelerinde bulunan karışım gradasyonu kullanılmıştır [12]. Tablo 3'de kullanılan gradasyon ve gradasyon limitleri verilmiştir.

Tablo 3. Poroz asfalt gradasyonu ve gradasyon limitleri (Gradation of porous asphalt and gradation limits)

Elek Açıklığı		Seçilen Gradasyon	Gradasyon Limitleri
inch	mm		
¾	19,1	100	100
½	12,7	95	90-100
3/8	9,5	70	63-77
No.4	4,75	23	11-35
No.10	2,00	15	10-20
No.80	0,177	7	5-10
No.200	0,075	5	3-7

2.4. Metot (Method)

Çalışmada, seçilen poroz asfalt gradasyonu kullanılarak Marshall dizaynı yapılmıştır. Optimum bitüm, hacim özgül ağırlık ve dizayn boşluk oranı belirlenmiştir. Kırıkkale 50/70 bitümden, TPS ve MD 243 katkı kullanılarak modifiye bitümler üretilmiştir. Belirlenen dizayn gradasyonu, hacim özgül ağırlık ve optimum bitüm miktarına bağlı olarak poroz asfalt karışımları hazırlanmış ve hazırlanan bu karışımlara Tablo 4'de görülen deneyler uygulanmıştır.

2.4.1. Marshall Metoduyla Poroz Asfalt Karışım Dizaynı (Design of Porous Asphalt Mixtures with Marshall Method)

Marshall metodu ile dizayn, poroz asfalt karışımların dizaynında bazı değişikliklere uğramaktadır. Marshall metodu ile Poroz asfalt karışımların dizayn aşamaları kısaca şöyledir:

- Agregat gruplarının gradasyonu ve kullanım oranları belirlenir.
- Marshall briketleri düşük bitüm yüzdesinden yüksek bitüm yüzdesine doğru uygun sıcaklıklarda hazırlanır.
- Hazırlanan briketlerin hacim özgül ağırlık, boşluk oranları ve parça kaybı değerleri bulunur ve bu değerlere bağlı olarak optimum bitüm yüzdesi belirlenir.

Optimum bitüm yüzdesinde hazırlanan karışıma; bitüm süzülme, yatay ve düşey permeabilite deneyleri gerçekleştirilerek şartname değerleri ile karşılaştırılır. Poroz asfalt karışım dizaynı yapılırken, karışımın durabilitesi ve permeabilite özelliği öncelikle göz önünde bulundurulmaktadır. Hedfelenen boşluk oranını yakalayabilmek ve iyi bir işlenebilirlik sağlamak, bunun yanında da karışımın

Tablo 4. Uygulanan deneyler ve deney standartları (Tests and Test Standarts)

Deney adı	Standart
Bitüm süzülme deneyi	Karayolları Teknik Şartnamesi Kısım 408 Schellenberg Bitüm Süzülme Deneyi
İndirekt Çekme Mukavemeti deneyi (İÇM)	AASHTO T-283 Standard Method of Test for Resistance of Compacted Asphalt Mixtures to Moisture-Induced Damage
Tekerlek izinde oturma deneyi (TİO)	EN 12697-22+A1 Bituminous mixtures-Test methods for hot mix asphalt - Part 22: Wheel tracking
Tekrarlı yükler altında yorulmaya karşı direnç dayanımı deneyi (Fatigue)	EN 12697-24 Bituminous mixtures-Test methods for hot mix asphalt-Part 24: Resistance to fatigue
Parça kaybı deneyi (Cantabro)	EN 12697-17+A1 Bituminous mixtures-Test methods for hot mix asphalt-Part 17: Particle loss of porous asphalt specimen
Düşey ve yatay permeabilite deneyleri	EN 12697-19 Bituminous mixtures-Test methods for hot mix asphalt-Part 19: Permeability of specimen
Soyulma deneyi	Karayolları Teknik Şartnamesi Kısım 403 EKA Soyulma Deneyi

durabilitesinden ödün vermeden dizaynı yapabilmek için bitüm film kalınlığının kismaya sebep olmayacak en yüksek oranda olması sağlanmalıdır.

Poroz asfalt karışımların hacim özgül ağırlık değerleri hesaplanırken geleneksel karışımlarda kullanılan havada, suda ve doymuş yüzey havada tartım yöntemi kullanılmamaktadır. Bunun nedeni, poroz asfalt karışımlar yüksek boşluk oranına sahip olduğu için doymuş yüzey havada tartım işleminin gerçekleştirilememesidir. Hacim özgül ağırlık hesabı TS EN 12697-6 Prosedür-D de bahsedilen numune boyutundan hacim özgül ağırlık belirlenmesi yöntemi ile yapılır.

Geleneksel asfalt karışımların Marshall metodu ile dizaynında 2×75 darbe kullanılırken, poroz asfalt karışımların dizaynında 2×50 darbe kullanılmaktadır. Bunun nedeni, poroz asfalt karışımlarda sıkışma sağlamaktan ziyade, karışımın kalıp içerisine yerleştirilmesinin temel amaç olmasıdır.

Karışım Dizaynının Hazırlanması (Mix Design): İlk olarak belirlenen gradasyona bağlı olarak Yapracık agregasıyla briket tartımları hazırlanmıştır. MD 243

katkı maddesi ile hazırlanan modifiye bitüm kullanılarak %4,0-%4,5-%4,75-%5,0 bitüm oranında Marshall briketleri 2×50 darbe ile hazırlanmıştır. Hazırlanan briketler üst ve alt yüzlerinden kesilmiş, TS EN 12697-6 Prosedür-D'ye uygun olarak hacim özgül ağırlık değerleri ve boşluk yüzdeleri hesaplanmıştır (Tablo 5). Şekil 1'de hacim özgül ağırlık (D_p) ve boşluk oranının bitüm oranına bağlı değişimi, Şekil 2'de Cantabro kaybı ve boşluk oranının bitüm oranına bağlı değişimi grafikleri gösterilmektedir.

TPS ve MD 243 katkıları kullanılarak üretilen karışımların optimum bitüm oranı %4,75 olarak belirlenmiştir. MD 243 katkı ile hazırlanan modifiye bitümün özgül ağırlık değeri ile TPS katkıyla hazırlanan modifiye bitümün özgül ağırlık değerlerinin çok yakın olması ve kullanılan agreganın aynı olması sebebiyle TPS katkı için ikinci bir dizayn gerçekleştirilmemiştir. Aynı dizayn değerleri kullanılmıştır.

Tablo 5. Dizayn değerlerinin seçilmesi (Election of design values)

	Bitüm Oranları			
	%4,0	%4,5	%4,75	%5,0
Hacim Özgül Ağırlık, D_p	1,985	2,010	2,034	2,060
Maks. Teorik Özgül Ağırlık, D_t	2,590	2,571	2,562	2,553
Boşluk, %	23,3	21,6	20,6	19,3
Parça Kaybı Değeri, %	26,0	19,9	15,6	14,9

3. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA (TEST RESULTS AND DISCUSSION)

3.1. Bitüm Süzülme Deneyi Sonuçları (Results of Bitumen Drain Down Test)

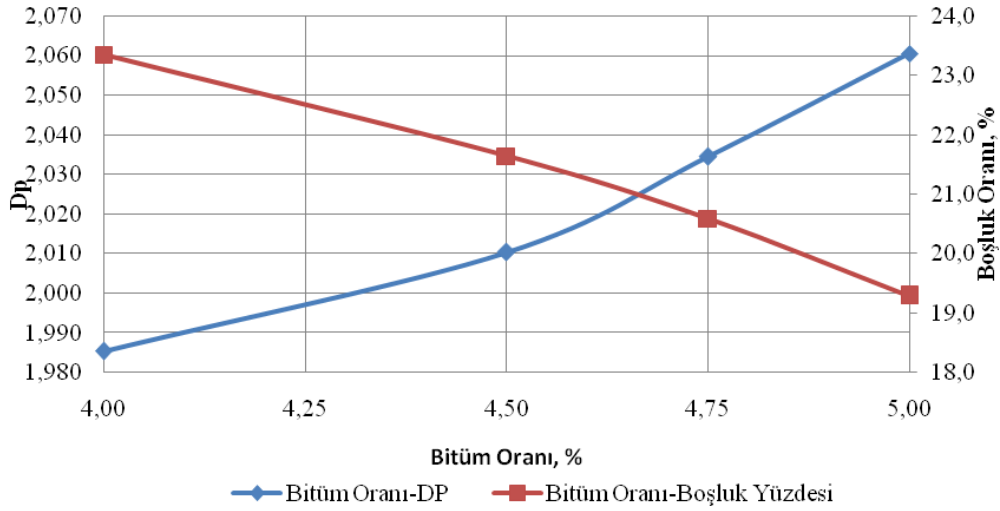
Karayolları Teknik Şartnamesine göre (KTŞ) bitüm süzülme değeri maksimum % 0,3 olmalıdır. Buna göre, her iki karışım da şartname değerini sağlamaktadır (Tablo 6).

Tablo 6. Schellenberger bitüm süzülme deneyi sonuçları (Results of Schellenberger bitumen drain down test)

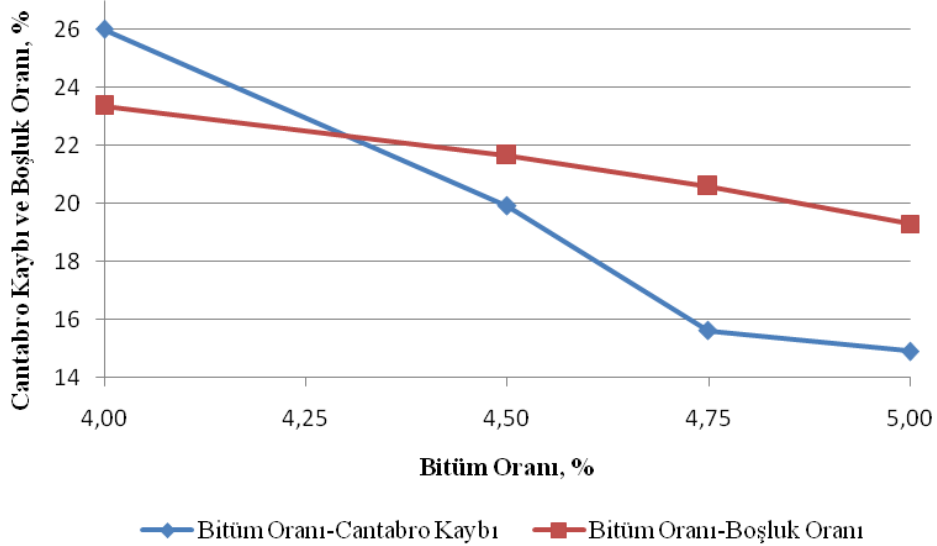
	MD 243	TPS
Bitüm Süzülme Değeri, %	0,090	0,129

3.2. İndirekt Çekme Mukavemeti Deneyi Sonuçları (Results of Indirect Tensile Strength Test)

AASHTO T283 deney standardına göre, koşullandırılacak olan deney numuneleri -18°C'de bekletilmeden önce boşluklarının %70-80 aralığında suyla doldurulması gerekmektedir.



Şekil 1. Hacim özgül ağırlık (D_p) ve boşluk oranının bitüm oranına bağlı değişimi (Changing bulk specific gravity and void ratio, depend on percent volume of bitumen)



Şekil 2. Cantabro kaybı ve boşluk oranının bitüm oranına bağlı değişimi (Changing Cantabro loss and void ratio, depend on percent volume of bitumen)

Poroz asfalt karışımın boşluk oranı yüksek olduğu için boşlukların bu oranda suyla doldurulması mümkün olmamıştır. Boşluklar ancak %40 oranında su ile doyurularak deney gerçekleştirilebilmiştir. İndirekt Çekme Mukavemeti deneyi sonuçları Tablo 7’de verilmiştir.

İÇM deneyi için, KTS’de yer alan şartname değeri göz önüne alındığında (0,80), her iki katkı ile hazırlanan karışımın da donma çözünme etkilerine dayanıklı olduğu görülmektedir. MD 243 katkı ile hazırlanan briketler 0,88 İÇM oranı ile TPS katkı ile hazırlanan briketlerin 0,81 İÇM oranından daha iyi sonuç vermiştir.

Tablo 7. İndirekt Çekme Mukavemeti deneyi sonuçları (Results of indirect tensile strength test)

	MD 243	TPS
Koşullu briketlerin ortalama İÇM değeri, kg/cm²	1,94	1,96
Koşulsuz briketlerin ortalama İÇM değeri, kg/cm²	2,19	2,42
Koşullu/Koşulsuz İÇM Oranı	0,88	0,81
Koşullu MD 243 İÇM / Koşullu TPS İÇM	0,99	
Koşulsuz MD 243 İÇM / Koşulsuz TPS İÇM	0,90	

3.3. Tekerlek İzinde Oturma Deneyi Sonuçları (Results of Rutting Test)

TS EN 12697-22+A1 deney standardına göre, tekerlek izinde oturma deneyi 50-60°C aralığında gerçekleştirilmesi gereken bir deneydir. Her iki katkı ile hazırlanan numunelerde de 1000 devirlik 24°C'deki soğuk devri takip eden 60°C'deki ilk 1000 devir sonunda, numune yüzeylerinden agrega kopmaları gözlenmiştir. Bunun üzerine deney sıcaklığı 40°C'ye düşürülmüştür. Her iki karışımın da yüksek sıcaklığa karşı hassas olduğu, yüksek sıcaklıkta agrega kopma ve sökülmelerinin büyük bir problem olduğu gözlemlenmiştir. 40°C'de gerçekleştirilen deney sonuçlarına göre, her iki poroz asfalt karışım tipi de Karayolları Teknik Şartnamesi dizayn kriteri olan 30 000 devirde maksimum % 6 TİO değerinden küçük sonuçlar vermiştir (Tablo 8). TPS ve MD 243 katkılarının TİO deneyi sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 3'de gösterilmiştir.

Tablo 8. Tekerlek izinde oturma deneyi sonuçları (Results of rutting test)

		%7,5 MD 243	%14 TPS
Optimum Bitüm %'si		4,75	
Dp dizayn		2,034	
Dp numune		2,024	2,019
Sıkışma (%)		99,5	99,2
Tekerlek izinde oturma %'si	Devir Sayısı	TİO	
	1 000	3,06	1,38
	3 000	3,60	1,99
	5 000	3,75	2,27
	10 000	3,97	2,62
	30 000	4,25	2,87
	50 000	4,47	3,07

3.4. Tekrarlı Yükler Altında Yorulmaya Karşı Direnç Dayanımı Deneyi Sonuçları (Results of Fatigue Test)

TPS ve MD 243 katkılarıyla hazırlanan numunelerin tekrarlı yükler altında yorulmaya karşı direnç dayanımı deneyi sonuçları Tablo 9'da, rijitlik değişimi ve sönümlenen enerji değerleri ise Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6'da gösterilmiştir. Deneyi sonuçları dikkate alındığında, her birim deformasyon grubunda TPS katkı kullanılarak hazırlanan karışım numunelerinin, MD 243 katkı kullanılarak hazırlanan karışım numunelerinden daha iyi performans ortaya koyduğu söylenebilir. Her birim deformasyon grubunda da TPS katkı ile hazırlanan numuneler, MD 243 katkı ile hazırlanan numunelerden daha fazla yük tekrar sayısına ulaşmış, daha fazla enerji sönümlenmiştir.

Tablo 9. Tekrarlı yük altında yorulmaya karşı direnç dayanımı deneyi sonuçları (Results of fatigue test)

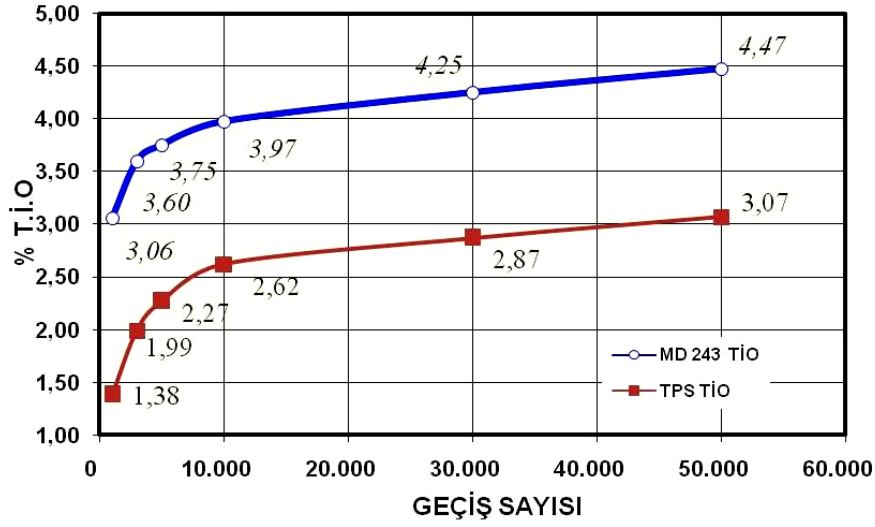
MD 243 katkısıyla hazırlanan numunelerin deney sonuçları			
Numune no	1	2	3
Uygulanan Birim Deformasyon	200	300	500
Başlangıç Rijitliği (MPa)	1558	1705	1576
Deney sonu Rijitlik (MPa)	923	852	788
Rijitlik % si değişimi	40,7	50	50
Harcanan toplam enerji (MJ/m³)	31,61	23,96	17,89
Yük tekrar sayısı	2 000 000	640 000	170 296
TPS katkısıyla hazırlanan numunelerin deney sonuçları			
Numune no	1	2	3
Uygulanan Birim Deformasyon	200	300	500
Başlangıç Rijitliği (MPa)	1876	1703	1712
Deney sonu Rijitlik (MPa)	1358	852	856
Rijitlik % si değişimi	27,6	50	50
Harcanan toplam enerji (MJ/m³)	36,66	49,13	33,23
Yük tekrar sayısı	2 000 000	1272950	295 568

3.5. Parça Kaybı Deneyi Sonuçları (Results of Cantabro Test)

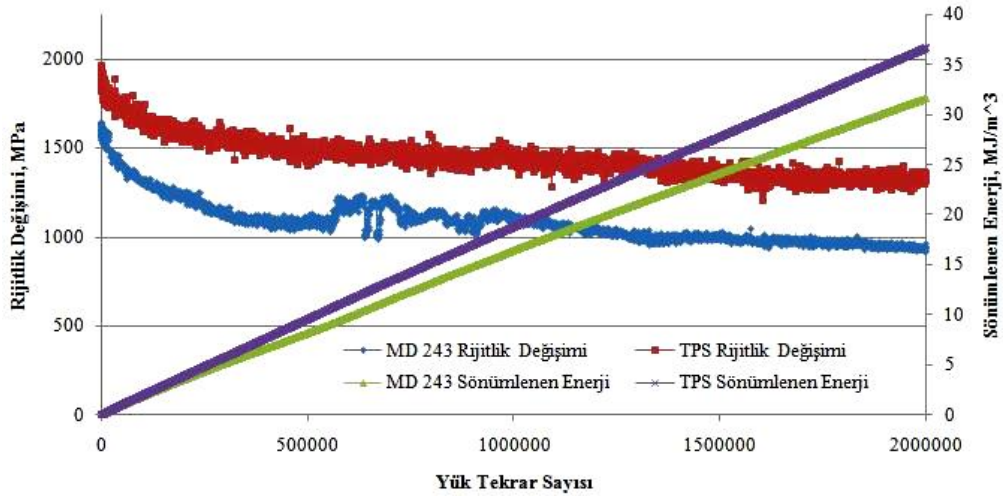
Parça kaybı (Cantabro) deneyi, sadece poroz asfalt karışımlara uygulanan bir deneydir. Karayolları Teknik Şartnamesinde bu deney için bir kriter bulunmamaktadır. Japonya Karayolları Standartlarına göre Cantabro kaybı % 20'den küçük olmalıdır. Deney sonuçlarına bakıldığında, her iki katkı ile hazırlanan karışımın parça kaybı değerinin de bu değerden küçük olduğu görülmektedir (Tablo 10).

Tablo 10. Parça kaybı deneyi sonuçları (Results of cantabro test)

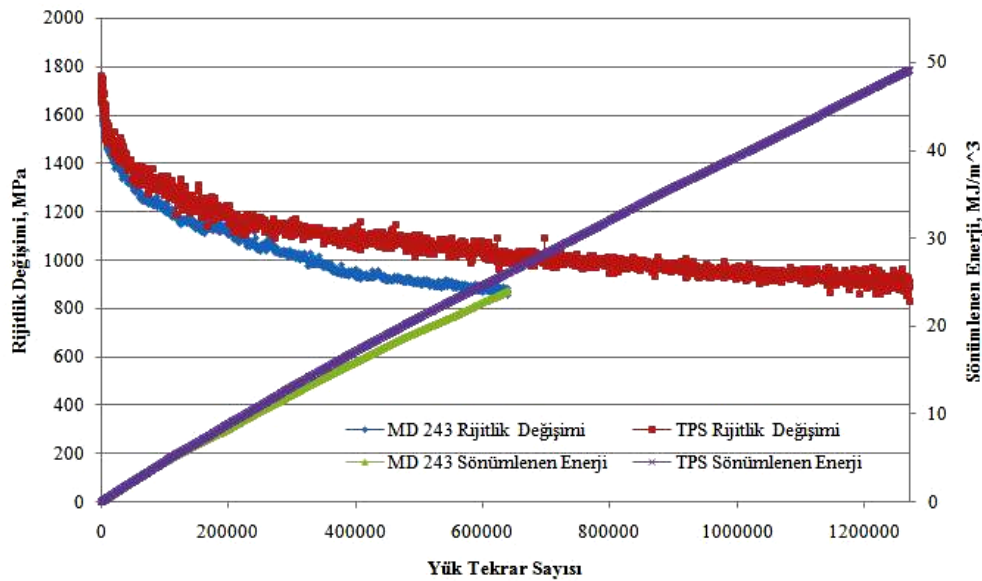
Numune No	MD 243	TPS
1	15,1	13,6
2	14,8	11,6
3	16,1	10,2
4	16,4	10,7
Ortalama %	15,6	11,5



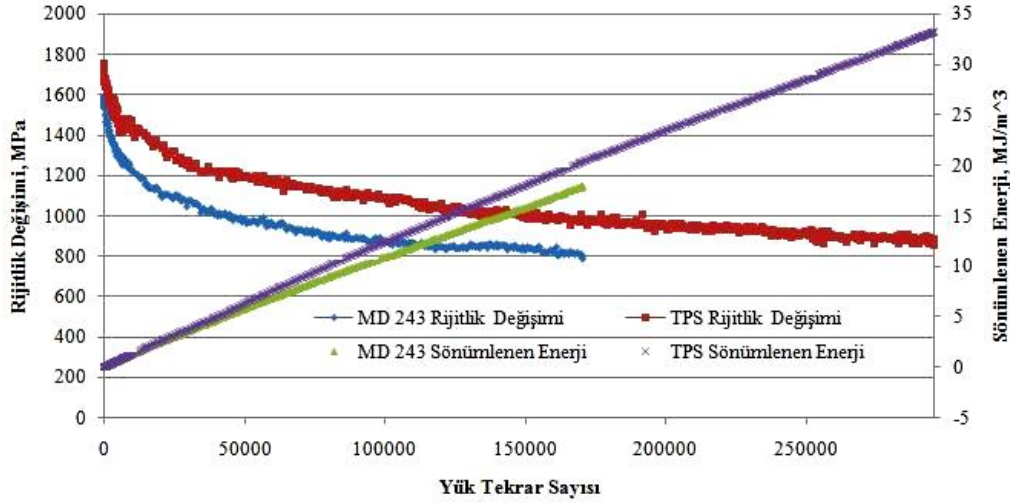
Şekil 3. TPS ve MD 243 katkılarının TİO deneyi sonuçlarının karşılaştırılması (Comparison of rutting test results of TPS and MD 243)



Şekil 4. 200 birim deformasyonda rijitlik değişimi ve sönmülenen enerji (Changing of rigidity and fading energy at the 200 strain)



Şekil 5. 300 birim deformasyonda rijitlik değişimi ve sönmülenen enerji (Changing of rigidity and fading energy at the 300 strain)



Şekil 6. 500 birim deformasyonda rijitlik değişimi ve sönmülenen enerji (Changing of rigidity and fading energy at the 500 strain)

3.6. Permeabilite Deneyi Sonuçları (Results of Permeability Test)

Poroz asfalt karışımların permeabilite deneyi için kullanılan EN 12697-19 standardı, poroz asfalt karışımlar için düşey ve yatay permeabilite değerinin $0,5 \times 10^{-3}$ - $3,5 \times 10^{-3}$ m/sn aralığında olacağını söylemektedir. Karayolları Teknik Şartnamesinde bu deney için bir kriter bulunmamaktadır. Japonya Karayolları Standartları ise permeabilite değerinin $0,1 \times 10^{-3}$ m/sn değerinden büyük olmasını ister. Her iki katkı ile üretilen poroz asfalt karışımında permeabilite değeri EN 12697-19 standardının belirttiği aralık içinde kalmış ve Japonya karayollarının belirttiği minimum değerinin üzerinde sonuçlara ulaşılmıştır (Tablo 11).

Tablo 11. Düşey ve yatay permeabilite deneyi sonuçları (Results of vertical and horizontal permeability test)

Katkı	Düşey Permeabilite Değeri (Kv) (m/sn)	Yatay Permeabilite Değeri (Kh) (m/sn)	Boşluk
MD 243	$1,6 \times 10^{-3}$	$1,0 \times 10^{-3}$	20,0
TPS	$1,9 \times 10^{-3}$	$1,2 \times 10^{-3}$	20,2

3.7. Soyulma Deneyi Sonuçları (Results of Stripping Test)

Karayolları Teknik Şartnamesine göre soyulma deneyinde, eğer katkılı bir bağlayıcı kullanılmış ise soyulma dayanımı değerinin minimum %70 olması gerekmektedir. Buna göre; her iki karışım da şartname değerini sağlamaktadır (Tablo12).

Tablo 12. Soyulma deneyi sonuçları (Results of stripping test)

	MD 243	TPS
Soyulma Dayanımı %	90-95	95-100

4. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ (CONCLUSION)

- MD 243 katkı ile hazırlanan karışımın bitüm süzülme değeri, TPS katkı ile hazırlanan karışımın bitüm süzülme değerine göre daha iyi sonuç vermiştir. Buna göre, her iki karışım da bitümün süzülmesini engelleyen selüloz fiber kullanımına gerek duyulmamıştır.
- İndirekt çekme mukavemeti deneyi sonuçlarına göre; her iki katkı ile hazırlanan karışım da donma çözünme etkilerine karşı dayanıklıdır. TPS katkı ile hazırlanan karışımın MD 243 katkı ile hazırlanan karışıma göre donma-çözünme etkilerine daha duyarlı olduğu belirlenmiştir.
- Tekerlek izinde oturma deneyi sonuçlarına göre; her iki poroz asfalt karışım tipi de Karayolları Teknik Şartnamesi dizayn kriteri olan, 30 000 devirde maksimum % 6 TİO değerinden küçük sonuçlar vermiştir. TPS katkılı karışımın tekerlek izinde oturmaya karşı daha dayanıklı olduğu görülmüştür. TİO deneyi esasında iki karışımın da yüksek sıcaklığa karşı hassas olduğu, yüksek sıcaklıkta numune yüzeylerinde agrega kopma ve sökümlerinin olduğu gözlenmiştir. Bu nedenle, poroz asfalt karışımların imalatında kullanılan bitümlü bağlayıcının yumuşama noktasının yüksek olmasına dikkat edilmelidir. Sıcak iklim koşullarının hüküm sürdüğü bölgelerde, Poroz Asfalt Kaplama imalatından kaçınılmalıdır.
- Tekrarlı yük altında yorulmaya karşı dayanım (Fatigue) deney sonuçlarına göre; her birim deformasyon grubunda da TPS katkı ile hazırlanan numuneler, MD 243 katkı ile hazırlanan numunelerden daha fazla yük tekrar sayısına ulaşmış, daha fazla enerji sönmülemiştir. TPS katkı kullanılarak hazırlanan numunelerin başlangıç rijitliği 1700-1800 MPa mertebelerinde, MD 243 katkı ile hazırlanan

- numunelerin başlangıç rijitlikleri 1600 MPa mertebelerinde bulunmuştur. Geleneksel Aşınma Tabakası karışımlarının başlangıç rijitliği 4 000 MPa -5 000 MPa arasında olduğundan, poroz asfalt karışımlarının oldukça düşük rijitliğe sahip olduğu görülmüştür. Bu da poroz asfalt karışımların ağır trafikli yollarda kendilerinden istenen dayanımı sağlayamayacağını bir göstergesidir.
- Parça kaybı(Cantabro) deneyi sonuçlarına göre her iki karışım da, Japonya karayolları standartlarının istediği minimum Cantabro kaybı değeri olan %20'den küçük değerler vermiştir. TPS katkısı ile hazırlanan karışımın, araç tekerleklerinin oluşturacağı kuvvetlere karşı dayanımının daha yüksek olduğu görülmüştür.
 - Permeabilite deneyi sonuçlarına göre; her iki katkı ile üretilen poroz asfalt karışımında da Japonya karayollarının belirttiği minimum değerinin üzerinde sonuçlara ulaşılmıştır. TPS katkısı ile üretilen poroz asfalt karışımın hem yatay, hem de düşey permeabilite değerlerinin, MD 243 katkısı ile üretilenden yüksek olduğu görülmüştür. Her iki karışımla üretilen numunelerin boşluk değerleri birbirine çok yakındır. Dolayısıyla TPS katkı ile üretilen karışımdaki boşluk kanallarının bağlantısının, MD 243 katkı ile üretilen karışıma göre daha iyi olduğunu söylemek mümkündür.
 - Soyulma dayanımı deneyi sonuçlarına göre, TPS katkı ile hazırlanan karışım MD 243 katkı ile hazırlanan karışımdan daha iyi sonuç vermiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Yılmaz A., “Yol Üstyapısında Yeni Teknolojiler: Geçirimli (Poroz) Asfalt Kaplama”, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Teknik Yazılar, **İMO Antalya Bülteni**, 2008.
2. Özay O., “**Farklı Modifiye Katkılarla Hazırlanan Poroz Asfalt Karışımların Performansının İncelenmesi**”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2011.
3. Öztürk, D., “**Türkiye’de Poroz Asfaltın Uygulanabilirliği**”, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2008.
4. Poulidakos, L.D., Partl, M.N., “Evaluation of moisture susceptibility of porous asphalt concrete using water submersion fatigue tests”, **Construction and Building Materials**, 2, 3475–3484, 2009.
5. Meor Othman Hamzah, Mohd Rosli Mohd Hasan, Martin van de Ven, Ahmad Shukri Yahaya, “The effects of initial conditioning and ambient temperatures on abrasion loss and temperature change of porous asphalt”, **Construction and Building Materials**, 29, 108–113, 2012.
6. Verhaege, B.M.J.A., Rust, F.C., Vos, R.M., Visser, A.T., “Properties of Polymer and Fibre-Modified Porous Asphalt Mixes”, **6 th. Conference on Asphalt Pavements for Southern Africa**, 1994.
7. Subagio, B.S., Karsaman, R.H., Indah, H., Fitrika, M.S., “Laboratory Performance of Porous Asphalt Mixture Using Tack Super”, **Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies**, Vol.5, October, 985-998, 2003.
8. Wu, S.P., Liu, G., Mo, L.T., “Effect of Fiber Types on Relevant Properties of Porous Asphalt”, **Transactions of Nonferrous Metals Society of China**, Vol. 16, 791-795, 2006.
9. Herrington, P.R., “Epoxy-modified porous asphalt”, **NZ Transport Agency Research Report 410**, 7-10, 2010.
10. Arslan, D., Gürü, M., ve Çubuk M.K., “Improvement of Bitumen and Bituminous Mixtures Performance Properties with Organic Based Zincphosphate Compound”, **Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University**, Vol 27, No 2, 459-466, 2012.
11. Kara, S.K., Vonk, W., “Yeni geliştirilmiş bir SBS tipi ile polimer modifiye bitümde performans etkinliğinin artırılması” **5.Ulusal Asfalt Sempozyumu**, Ankara, 93-100, 2009.
12. “Design and Execution Manual for Porous Asphalt”, Haisusei-Hosou Sekkei Sekou Manual, **Japan Highway Public Corporation**, Tokyo, 1994.