

SU HASARI ÖNLEYİCİ KATKILARIN TEKERLEK İZİ DİRENCİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Erol İskender*, Atakan Aksoy

Özet

Su hasarı ve kalıcı deformasyon, sıcak karışım asfalt kaplamalarda başlıca hasar biçimleridir. Laboratuarda, asfalt karışımlara çeşitli çevresel hasar koşullama sistemleri uygulanabilmektedir. Bu şekilde, bir performans problemi belirli yönleri ile araştırılabilmektedir. Ancak uygulama koşullarında farklı problemlerin birlikte gelişiyor olması, sorunların değerlendirilmesini zorlaştırmaktadır. Sıcak karışım asfaltların su hasarı duyarlılığı kaplamanın hasarında önemlidir. Su hasarından kaynaklanan deformasyonu kontrol etmek için su hasarı (soyulma) önleyici katkıların kullanımı öne çıkmaktadır. Bu çalışmanın amacı, asfalt kaplamalarda soyulma önleyici katkı olan yağ asidi türevli amin katkısının tekerlek izi problemi üzerindeki etkisinin orta ve yüksek sıcaklıkta araştırılmasıdır. Tekerek izi direncini belirlemek için tekrarlı yük sünme deneyi kullanılmıştır. Kontrol ve amin modifiye karışım örnekleri iki gruba ayrılarak bir gruba suya dayalı koşullama uygulanmıştır. Koşulsuz ve koşullu örnekler 20°C ve 40°C sıcaklıkta test edilmiştir. Her iki sıcaklıkta da amin katkısı karışımın tekerlek izi direncini arttırdı. Seçilen koşullama sisteminin karışımların performansı üzerinde gözlemlenebilir hasar seviyesi oluşturabildiği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Su hasarı, tekerlek izi, tekrarlı sünme deneyi, koşullama sistemleri, yağ asidi türevli amin.

INVESTIGATION OF EFFECT OF ANTI STRIPPING AGENTS ON RUTTING RESISTANCE

Abstract

Rutting and moisture damage are mainly two important distress mechanisms for asphalt mixtures. Various environmental conditioning systems can be exposed to asphalt mixtures in laboratory. In this way, a distress performance problem can be investigated with definite aspects. Nevertheless in the field conditions evaluation of a selected problem only is difficult because of the fact that such pavement problems have been being damaged together. Water sensitivity of hot mix asphalts is important in pavement distress process. Using of anti stripping agents becomes prominent for controlling deformation based on moisture. The aim of this study is to investigate the effects on permanent deformation of fatty amine anti-stripping additive in asphalt mixtures at moderate and high temperatures. Repeated creep test was used for rutting. Control samples and amine modified mixtures were divided into two groups and moisture conditioning was applied to in one group samples. Samples were tested at 20°C and 40°C test temperatures. Amine anti-stripping agent improved rutting resistance at both temperatures. It was differentiated that selected moisture conditioning methods can reveal observable level of damage on performance of mixtures.

Key words: Water damage, rutting, repeated creep test, conditioning systems, fatty amine.

* Karadeniz Teknik Üniversitesi, Of Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Trabzon.
E-posta: eiskender@ktu.edu.tr

1. Giriş

Bitümlü karışımları etkileyen asıl problemler; boyuna profil düzensizlikleri gibi özellikle tekerleğin geçtiği güzergahlarda enine profil deformasyonu biçiminde kendini gösteren kalıcı deformasyonlar, kaplamanın su hasarı (taşıma kapasitesinin daha da düşmesine sebep olacak muhtemel su girişi) ve taşıma kapasitesini de azaltan çatlama mekanizmalarıdır (Abo- Quadis, 2007).

Zor iklim koşulları söz konusu olduğunda, gerilmeler zayıf malzemeler ile artmaktadır. Yetersiz kontrol altında, trafik ile su asfalt betonu kaplamaların bozulmalarında anahtar rol oynar. Su, bitüm-agrega ara yüzünde adezyon kaybına neden olur. Bu prematüre adezyon kaybı yaygın olarak asfalt kaplamalarda soyulma olarak adlandırılır (Fromm, 1974; Taylor ve Khosla, 1983; Kandal vd. 1989).

Su hasarından kaynaklanan deformasyonları azaltmak veya kontrol altına almak için soyulma önleyici katkıların kullanımı öne çıkmaktadır. Soyulma önleyici katkılar bitüm ve agrega arasındaki fiziko-kimyasal bağları arttırmak ve bitüm yüzey gerilmesini azaltarak ıslatmayı iyileştirmek için kullanılmaktadır. Uygulamada ve laboratuarda test amaçlı olarak çeşitli soyulma önleyici katkıları kullanılmaktadır; (i) geleneksel sıvı katkıları, (ii) metal iyon yüzey aktif maddeleri, (iii) sönmüş kireç ve sönmemiş kireç, (iv) silan bağlayıcı katkıları ve (v) silikonlar (Görkem ve Şengöz, 2009; Stuart, 1990).

Kaplama karışımlarının tasarımında, laboratuarda elde edilen sonuçlar ile uygulamadan elde edilen sonuçlar arasında önemli sayılacak düzeyde farklılıklar olduğu bilinmektedir. Laboratuarda, mekanik özellikler bağlamında, uygulamadan daha iyi sonuç elde edildiği, ülkemizde yaygınca kullanılan Marshall sıkıştırma yöntemi ile laboratuarda tasarlanan boşluk düzeyinin üzerinde boşluk düzeylerinin uygulama aşamasında olduğu, yeterli sıkıştırma yapılsa dahi daha yüksek boşluk düzeylerinin varlığı bilinmektedir. Kaplamanın servis ömrü boyunca, özellikle ilk servis sürecinde, daha yüksek boşluk varlığının (pessimum void concept) su hasarı gelişimine ve bununla birlikte plastik deformasyonlara neden olduğu değerlendirilmektedir (Brown, 1995; Terrel ve Al-Swailmi, 1993).

Sıcak karışım asfaltların su hasarı duyarlılığı kaplamanın hasarında önemlidir. Asfaltın agregadan soyulması asfalt betonu karışımların dayanımlarının azalmasıyla sonuçlanır. Dayanımdaki azalma tekerlek izi, sökülme ve çatlama gibi çeşitli kaplama bozulma türlerinin gelişimine katkı sağlayabilir (Kök ve Yılmaz, 2009; Şengöz ve Açar, 2007).

Su hasarı kaynaklı bozulmaları önlemek için çeşitli katkı türleri kullanılabilir. Birçok çalışmada (Hicks, 1991; Kennedy ve Ping, 1991; Fwa ve Ong, 1994; Little ve Epps, 2001; McCann ve Sebaaly, 2003; Huang vd. 2005), soyulma önleyici katkıların karışımların suya duyarlılığını azaltarak bitüm-agrega bağ özelliklerini ve bütün karışım performansını olumlu yönde etkiledikleri ifade edilmektedir.

Bu çalışmanın amacı, sıvı bir soyulma önleyici katkı olan yağ asidi türevli amin katkısının orta ve yüksek sıcaklıkta, asfalt betonunun kalıcı deformasyon direncine etkisinin araştırılmasıdır. Bu amaçla, katkının etkinliğinin daha iyi olarak ortaya konulabilmesi için suya dayalı koşullama uygulanmıştır. Test sıcaklığı olarak 20°C ve 40°C seçilmiştir. Tekrarlı sünme testi ile deformasyon direnci belirlenmiştir.

2. Yöntem

Asfalt kaplamalarda soyulma önleyici katkı olan yağ asidi türevli amin katkısının etkinliğini incelemek için, laboratuarda geleneksel ve soyulma önleyici katkılı (AS katkılı) karışım örnekleri üretilmiştir. Örnekler Marshall tasarım yöntemine göre 101.6 mm çaplı olarak üretilmiştir. Her iki türdeki örneklerin yarısına suya dayalı koşullama uygulanmıştır. Diğer yarısı kontrol grubu olarak bırakılmış ve koşullama yapılmamıştır. Tekrarlı sünme deneyi 20°C ve 40°C test sıcaklığında yapılmıştır.

Koşullandırma sisteminde, örnekler 120 saat boyunca 50°C sıcaklıktaki su içerisinde bekletilmiştir. Örnekler su havuzu içerisine belirli aralıklarla yerleştirilmiştir. Ardından teste tabi tutulmuştur.

3. Materyal

Çalışmada bazalt agregası kullanılmıştır. Kaba ve ince agreganın çeşitli özellikleri Tablo 1 ve Tablo 2’de gösterilmiştir. 50-70 penetrasyon dereceli asfalt çimentosu kullanılmıştır. Asfalt çimentosunun özellikleri Tablo 3’te sunulmuştur. Gradasyon eğrisi Şekil 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Kullanılan agregaların mühendislik özellikleri

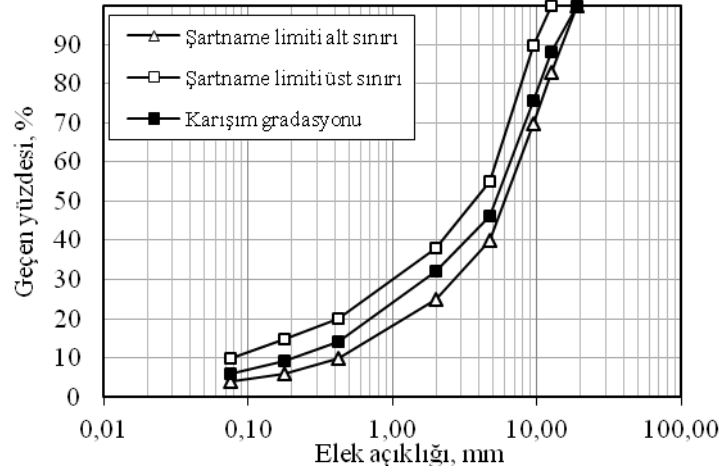
Özellik	Test yöntemi	Değer
Hava tesirlerine karşı dayanıklılık % kayıp	ASTM C-88	2.30
Aşınma kaybı %’si	ASTM C-131	9.60
Absorbsiyon %’si	ASTM C-127	0.85
Yassılık indeksi %	BS 812 (part 105)	14.70
Likit limit	TS 1900	N.P.
Soyulma mukavemeti (AC 60–70 ile)	ASTM D-1664	30–35

Tablo 2. Agregaların özgül ağırlıkları

Agrega	Zahiri özgül ağırlık	Hacim özgül ağırlık
Kaba agregası	2.894	2.832
İnce agregası	2.889	2.751
Filler	2.910	-
Agrega karışımı	2.893	2.803

Tablo 3. Asfalt çimentosuna uygulanan deneyler ve sonuçları

Deney	Yöntem	Birim	Değer
Özgül ağırlık (25°C)	ASTM D-70	gr/cm ³	1.024
Parlama noktası	ASTM D-92	°C	300
Penetrasyon (25°C)	ASTM D-5	0.1 mm	64
Düktilite (25°C)	ASTM D-113	cm	100+
Isıtma kaybı (163°C)		%	0.05
Isıtma kaybı penet. /Orijinal penetrasyon	ASTM D-5	%	57.8
Isıtma kaybından sonra düktilite	ASTM D-113	cm	51.5+
Yumuşama noktası	ASTM D-36	°C	55



Şekil 1. Agrega karışımının tane boyutu dağılımı eğrisi

Geleneksel (katkısız) karışımlar ile birlikte soyulma önleyici yağ asidi türevli amin katkısı (AS) ile modifiye edilmiş karışımlar da hazırlanmıştır. AS sıvı bir katkıdır ve özellikle iyi ısıl stabilitenin gerekli olduğu sıcak karışım asfaltlar için tasarlanmıştır. AS katkısı, 170°C'ye kadar olan sıcaklıklarda önemli bir işlev kaybı olmaksızın 5 güne kadar sıcak bitüm içerisinde depolanabilmektedir. AS dozajı kullanılan bitüm ve agreganın tipine bağlıdır. Genellikle bitüme, bitüm ağırlığının %0.2 ile %0.4'ü arasında eklenmektedir (Akzo Nobel, 2011). Katkının genel özellikleri Tablo 4'te sunulmuştur. Bu katkı maddesi bitüme, bitümün %0.4'ü oranında katılmıştır.

Tablo 4. AS katkısının fiziksel ve kimyasal özellikleri (Akzo Nobel, 2011).

Özellik	Değer
20°C de görünüş	Kahverengi, viskoz sıvı
20°C deki yoğunluk, kg/m ³	980
Bulutlanma noktası, °C	<0
Parlama noktası, °C	>218
Kaynama noktası, °C	>200
20°C deki dinamik viskozite, mPas	505
%5 konsantrasyonlu çözeltideki pH değeri	≅ 11
Sudaki çözünürlük	Emülsiyonlaşabilir

Aşınma tabakası tasarımı ASTM D1559 Marshall tasarım metoduna göre yapılmıştır. Optimum karışım parametreleri Tablo 5'te sunulmuştur. Optimum asfalt içeriğinde hazırlanan örneklerin özellikleri Tablo 6'da gösterilmiştir.

Tablo 5. Marshall tasarımı deney sonuçları

Tasarım parametresi	Değer	Türkiye'deki Limitler	
		Minimum	Maksimum
Optimum bitüm, %	5.15		
Boşluk, %	4.00	3	5
Pratik yoğunluk, gr/cm ³	2.51	-	-
Asfaltla dolu boşluk, %	72	75	85
Akma, mm	3.2	2	4
Filler/bitüm	1.17	-	1.5
Stabilite, kg	1530	900	-

Tablo 6. Geleneksel ve AS modifiye karışım örneklerinin özellikleri

Briket No	Geleneksel örnekler					AS modifiye örnekler				
	H (mm)	Dp (gr/cm ³)	Vh (%)	VMA (%)	Vf (%)	H (mm)	Dp (gr/cm ³)	Vh (%)	VMA (%)	Vf (%)
1	60.6	2.528	3.5	14.2	76.5	61.6	2.530	3.4	14.2	76.3
2	60.3	2.519	3.8	14.5	75.1	61.5	2.527	3.5	14.3	75.3
3	60.5	2.514	3.9	14.7	74.8	60.9	2.518	3.8	14.6	74.1
4	59.8	2.520	3.7	14.5	75.3	61.8	2.524	3.7	14.5	74.3
5	60.1	2.520	3.8	14.6	74.8	61.4	2.515	3.9	15.1	71.2
6	60.9	2.532	3.3	14.1	76.7	60.5	2.520	3.8	14.8	72.4
7	60.4	2.523	3.7	14.5	74.5	61.1	2.515	3.9	15	71.6
8	60.7	2.530	3.4	14.4	76.3	61.0	2.524	3.7	14.5	73.8

H: Ortalama yükseklik, Dp: Pratik özgül ağırlık, Vh: boşluk, VMA: Mineral agregalar arası boşluk, Vf: asfaltla dolu boşluk

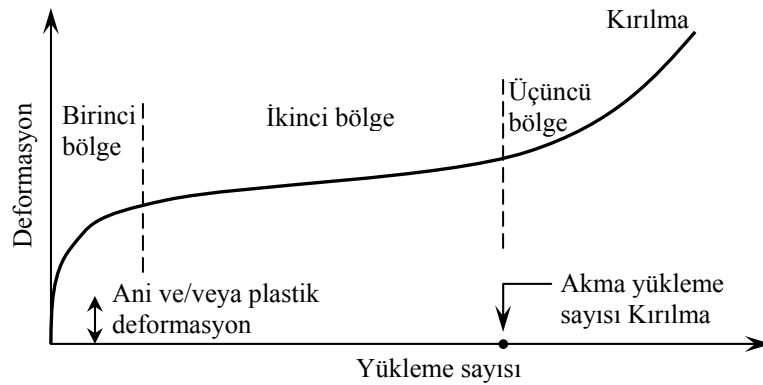
4. Deneysel Yöntem

Karışımların kalıcı deformasyon direncini değerlendirmek için tekrarlı yük sünme deneyi kullanılmıştır. Akma yükleme sayısı (flow number) veya tekrarlı sünme deneyi (repeated creep test) olarak ta ifade edilen tekrarlı yük deneyi (repeated load test), kaplama malzemelerinin kalıcı deformasyon özelliklerini belirlemek için deney örneği üzerine birkaç bin yük tekerrürü uygulanması ve deney boyunca oluşan kalıcı deformasyonların yük tekerrürünün bir fonksiyonu olarak kümülatif şekilde kaydedilmesinden ibarettir (Arenclaven, 2000; Witczak, 2005). Tekrarlı sünme deneyinin önemli bir özelliği de üçüncül akma noktasının tespit edilebilmesidir (Arenclaven, 2000). Deneyler Nottingham Asphalt Tester (NAT) cihazında gerçekleştirilmiştir. Test parametreleri Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7. Tekrarlı sünme deneyinde uygulanan parametreler

Deney ölçütü	Değer
Test sıcaklığı	20°C, 40°C
Koşullama gerilmesi	10kPa
Koşullama gerilmesi yükleme süresi	1dk.
Koşullama gerilmesi dinlenme süresi	1 dk.
Deney yükleme gerilmesi	100 kPa
Yükleme periyodu	1000 ms
Yüklü süre	500 ms
Yüksüz süre	500 ms
Deneyi sonlandıran vuruş sayısı	64800
Dinlenme süresi	15 dk.

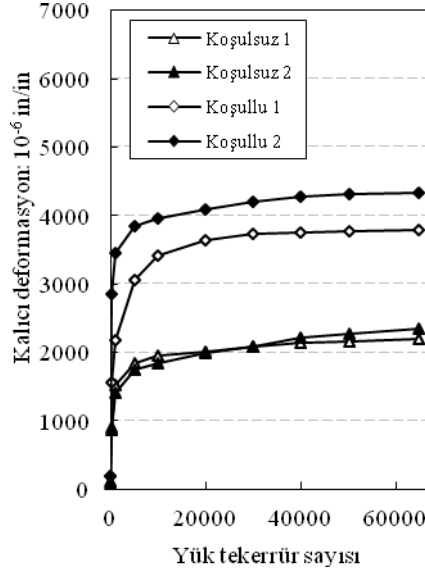
Tekrarlı yük deneyinden kümülatif kalıcı deformasyon tepkisini ifade eden çeşitli parametreler elde edilebilir. Şekil 2’de kümülatif kalıcı deformasyon ile yük tekrür sayısı arasındaki ilişki ifade edilmektedir. Kümülatif kalıcı deformasyon eğrisi genellikle üç bölge olarak ifade edilmektedir: birinci, ikinci ve üçüncü bölge. Birinci bölgede kalıcı deformasyon hızlı bir şekilde birikir. Eğer yük kaldırılmazsa malzeme azalan oranda deforme olmaya devam eder. İkinci bölgede kalıcı deformasyondaki artış sabittir. Deformasyon eğrisinin eğimi doğrusal (sabit) olup bu bölgedeki deformasyonlar geri dönüşümsüzdür. Üçüncü bölgede, kalıcı deformasyonun artış hızı tekrar artar ve kalıcı deformasyon hızla birikir. Üçüncül bölgenin başladığı yükleme sayısı, akma yükleme sayısı (flow number) olarak ifade edilmektedir (Witczak, 2005).



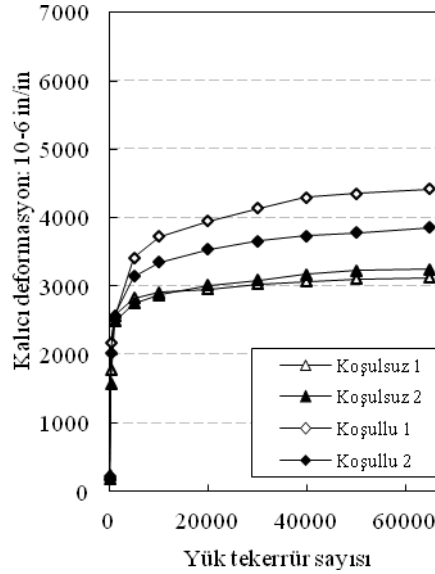
Şekil 2. Asfalt betonunun tekrarlı yük altında sünme davranışı (Witczak, 2005).

5. Deney sonuçları ve tartışma

Tekrarlı yük sünme deneyi 20°C ve 40°C test sıcaklıklarında geleneksel ve modifiye karışımlara yapılmıştır. 20°C sıcaklıktaki sonuçlar geleneksel karışımlar için Şekil 3’te ve AS modifiye karışımlar için de Şekil 4’te gösterilmiştir.

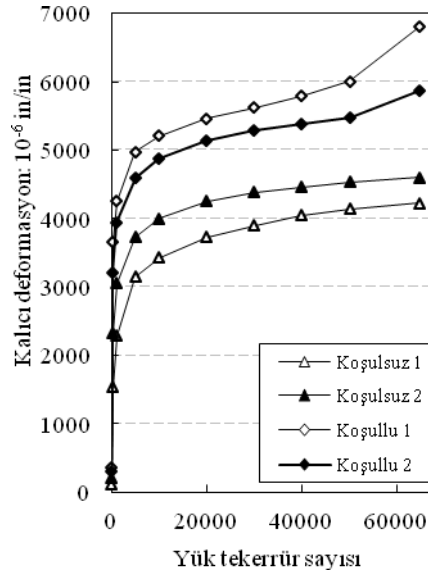


Şekil 3. Geleneksel karışımların 20°C'de sünme eğrileri

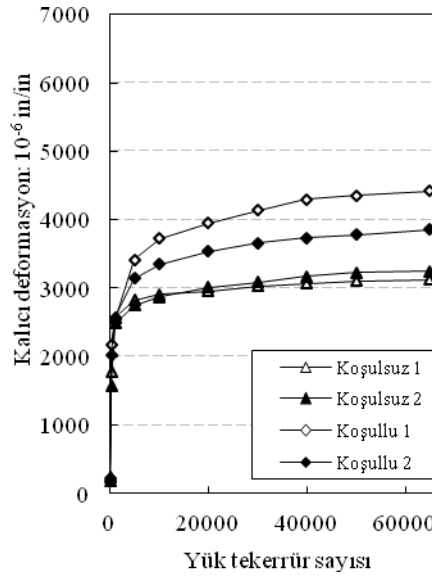


Şekil 4. AS modifiye karışımların 20°C'de sünme eğrileri

20 sıcaklıkta geleneksel ve AS modifiye karışım örneklerinden uyumlu sonuçlar elde edilmiştir. Genellikle sünme eğrileri arasında çok küçük alanlar oluşmuştur. Koşulsuz örnekler koşullu olanlara göre daha yüksek deformasyon direnci göstermiştir. 40°C'deki test sonuçları Şekil 5-6'da sunuldu. Koşullu örneklerin hiçbirinde üçüncül sünme bölgesi oluşmadı. Yalnızca geleneksel karışımların koşullu olan her iki örneğinde de üçüncül sünme bölgesinin oluştuğu görülmüştür.

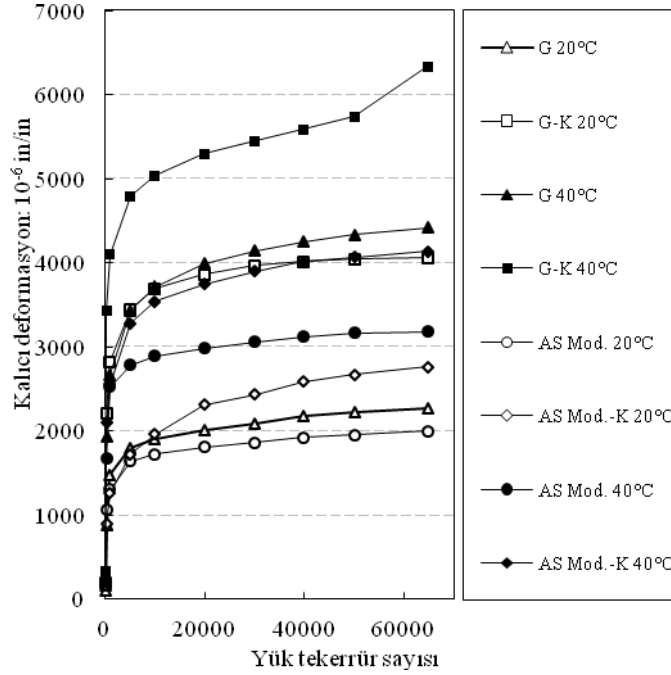


Şekil 5. Geleneksel karışımların 40°C'de sünme eğrileri



Şekil 6. AS modifiye karışımların 40°C'de sünme eğrileri

Karışım türlerine göre örneklerin kalıcı deformasyon miktarlarının ortalaması alınarak Şekil 7'de gösterilmiştir. Şekilde, K: koşullu örnekleri, G: geleneksel karışımları, AS: soyulma önleyici karışımları ifade etmektedir. Karışımların deformasyon dirençlerinin belirlenmesinde sıcaklık faktörü belirleyici rol oynadı. 20°C sıcaklıktaki deformasyon direnci 40°C sıcaklığa göre daha yüksek oldu. Koşullama sistemlerinin de deformasyon miktarının artmasına önemli katkısı oldu. Geleneksel karışımların koşullu olanları her iki sıcaklıkta da en yüksek deformasyon değerini verdi. Soyulma önleyici katkı ile modifiye edilmiş karışımlar ise en yüksek deformasyon direncini ortaya koydu.



Şekil 7. Ortalama deformasyonlara göre çizilmiş sünme eğrileri

Karışım örnekleri su içerisinde, 50°C sıcaklıkta 120 saat bekletilerek koşullama yapıldı. Yağ asidi türevli soyulma önleyici katkının deformasyona etkisi yüksek sıcaklıkta daha iyi görüldü. Yüksek sıcaklıkta modifiye karışımların koşullu olanları da geleneksel karışımlardan daha iyi performans sergiledi.

Dünyada olduğu gibi ülkemizde de, çeşitli katkıların bitümlü karışımlara katılma biçimi, katılma oranı, katkının türü ve dolayısıyla katkıların efektif ve göreceli etkinliklerinin değerlendirilmesi konuları güncel olup henüz tam olarak aydınlatılamamıştır (Lee, 1982; McGennis vd. 1981).

Katkıların etkinliğinin tam olarak ortaya konulamaması, özellikle rölatif oranlar arasındaki performans farklılıklarının etkinlik anlamında yansıtılamaması, su hasarı tekerlek izi ilişkisi hipotezi; köşelilik faktörüne bağlı olarak gelişen iskeletsel hamur yapısı içindeki performans farklılıkları, bu bağlamda özellikle son yıllarda önerilmeye başlanan tomografi yöntemi değerlendirmeleri çalışma kapsamında, çoklu katkı seçenekleri, koşullandırma uygulamaları, farklı yöntemler ile yer almaktadır (İskender, 2008).

Sıcaklık koşullarının kontrol edilebildiği, farklı yükleme biçimlerinin uygulanabildiği, dolaylı çekme, dolaylı çekme mukavemeti, statik-tekrarlı sünme gibi deneylerin yürütüldüğü Nottingham asfalt test aletinin varlığı önemli bir katkı oluşturmaktadır. Asfalt test aleti, düşük sıcaklık, orta sıcaklık ve yüksek sıcaklık performanslarının değerlendirilmesinde, düşük-orta-yüksek yüklü süreler (rise time) ve yükleme periyotları (pulse time) için yükleme koşulları bağlamında performans incelemesi sağlamaktadır.

6.Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında, yağ asidi türevli soyulma önleyici amin katkısının, asfalt betonunda tekerlek izi direncine etkisi araştırılmıştır. 50°C sıcaklığında su içerisinde 120 saat

bekletilmek sureti ile koşullama uygulanmıştır. Karışımlar Nottingham asfalt deney cihazında 20°C ve 40°C sıcaklıklarda tekrarlı yük sünme deneyi ile değerlendirilmiştir.

Kullanılan soyulma önleyici sıvı amin katkısının karışımın tekerlek izi direncini arttırdığı görüldü. Modifiye karışımlar geleneksel karışımlara göre her iki sıcaklıkta da daha yüksek performans sergiledi.

Sıcaklık en önemli parametre olarak ortaya çıktı. 40°C’de deneye tabi tutulan karışımlar daha yüksek deformasyon gösterdi. Ancak, 40°C’deki modifiye karışım 20°C’de test edilen geleneksel- koşullu karışımdan daha yüksek tekerlek izi direnci verdi.

Koşullama sistemi deformasyon direnci üzerinde etkili oldu. Bütün karışımların koşulsuz olanları daha yüksek performans gösterdi. Yalnızca geleneksel karışımların koşullu olanlarında üçüncül sünme bölgesi oluştu.

7. Kaynaklar

Abo-Qudais, S. (2007). The Effects of Damage Evaluation Techniques on the Prediction of Environmental Damage in Asphalt Mixtures, *Building and Environment* 42, 288–296.

Akzo Nobel. (2011). Safety data sheet. Wetfix BE. AU/EN.

Aren Cleven, M. (2000). Investigation of the Properties of Carbon Fiber Modified Asphalt Mixtures, Master of Science in Civil Engineering, Michigan Technological University.

Brown, S.F.(1995). Practical Test Procedures for Mechanical Properties of Bituminous Materials, *Proc. Instn. Civ. Engrs Transp.*, 111, 289-297.

Fromm, HJ. (1974). Mechanism of asphalt stripping from aggregate surfaces. *AAPT*, 43, 191–223.

Fwa, T.F., Ong, B.K. (1994). Effect of moisture in aggregates on performance of asphalt. *Transport Res Rec.*, 1454, 28–35.

Görkem, C., Şengöz, B. (2009). Predicting stripping and moisture induced damage of asphalt concrete prepared with polymer modified bitumen and hydrated lime *Construction and Building Materials*, 23, 2227–2236.

Hicks, R.G. (1991) Moisture damage in asphalt concrete. NCHRP Synthesis of Highway Practices No. 175, Transportation Research Board – National Research Council, Washington, DC.

Huang, S., Robertson, R.E., Branthaver, J.F., Petersen, J.C. (2005). Impact of lime modification of asphalt and freeze–thaw cycling on the asphalt–aggregate interaction and moisture resistance damage. *J Mater Civil Eng*, 17, 6, 711–8.

İskender, E. (2008). Koşullandırma Sistemlerinin Geleneksel Ve Modifiye Asfalt Karışımlar Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi, 166 s., Trabzon.

Kandal, P.S., Lubold, C.W., Roberts, F.L. (1989). Water damage to asphalt overlays: case histories. *AAPT*, 58, 40–76.

Kennedy, T.W., Ping, W.V. (1991). Evaluation of effectiveness of antistripping additives in protecting asphalt mixtures from moisture damage. *J Assoc Asphalt Paving Technol* 1991, 230–263.

Kok, B.V. ve Yılmaz, M. (2009). The effects of using lime and styrene–butadiene–styrene on moisture sensitivity resistance of hot mix asphalt, *Construction and Building Materials* 23, 1999–2006.

Lee, K.W. (1982). Prediction and Evaluation of Moisture Effects on Asphalt Concrete Mixtures in Pavement Systems, Doctorate thesis, Texas University, Austin.

Little, D.N., Epps, J.A. (2001). The benefits of hydrated lime in hot mix asphalt. National Lime Association.

McCann, M., Sebaaly, P.E. (2003) Evaluation of moisture sensitivity and performance of lime in hot-mix asphalt. *Transport Res Rec.*, 1832, 9–16.

McGennis, R.B., Machemehl, R.B. ve Kennedy, T.W. (1981). Stripping and Moisture Damage in Asphalt Mixtures, Research Report 253-1, Centre for Transportation Research, Bureau of Engineering Research, The University of Texas, Austin.

Şengöz, B. ve Ağar, E. (2007). Effect of asphalt film thickness on the moisture sensitivity characteristics of hot-mix asphalt, *Building and Environment* 42, 3621–3628.

Stuart, K.D. (1990). Moisture damage in asphalt mixtures: a state of art report. Research Development and Technology, Turner-Fairbank Highway Research Center.

Taylor, M.A., Khosla, N.P. (1983). Stripping of Asphalt Pavements: State of the Art, *Transportation Research Record* 911, TRB, National Research Council, Washington (DC), 150–8.

Terrel, RL. ve Al-Swailmi, S.(1993). The Role of Pessim Voids Concept in Understanding Moisture Damage to Asphalt Concrete Mixtures, Annual Meeting of the TRB.

Witczak, M. (2005). Simple Performance Tests: Summary of Recommended Methods and Database, NCHRP Report 547, Transportation Research Board, Washington, D.C.