

## Bitümlü Sıcak Karışımların Laboratuvar Ortamında Yaşlandırma Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Çağla DURMAZ<sup>1\*</sup>, Burak ŞENGÖZ<sup>2</sup> Derya KAYA ÖZDEMİR<sup>3</sup>, Ali TOPAL<sup>4</sup>, Ali ALMUSAWI<sup>5</sup>

<sup>1,5</sup> Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, Türkiye

<sup>2,3,4</sup> Dokuz Eylül Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye

\*<sup>1</sup> cagladurmaz@gmail.com, <sup>2</sup> burak.sengoz@deu.edu.tr, <sup>3</sup> d.kaya@deu.edu.tr, <sup>4</sup> ali.topal@deu.edu.tr, <sup>5</sup> alialmusawi.engin89@gmail.com

(Geliş/Received:04/05/2020;

Kabul/Accepted: 13/08/2020)

**Öz:** Trafik hacmindeki ve dingil yüklerindeki artışlar, tasarım ve yapım hataları, tekerlek izi oluşumu, düşük sıcaklık çatlakları ve yorulma çatlakları gibi bozuklukların artmasına sebep olmaktadır. Bitümlü bağlayıcının yaşlanması ile doğrudan ilişkili olan bu deformasyonlar, yollardan beklenen performansı ve yolun öngörülen hizmet ömrünü azaltmaktadır. Yukarıda belirtilen deformasyonlara büyük ölçüde sebep olan yaşlanma, uçucu bileşenlerin kaybı ve oksidasyon nedeniyle asfalt bağlayıcının sertleşmesi olarak tanımlanmaktadır. Bu çalışma, National Cooperative Highway Research Program tarafından önerilen yeni laboratuvar ortamında yaşlandırma yöntemi (NCHRP 09-54) ile mevcut standardı (AASHTO R30) karşılaştırmayı amaçlamaktadır. Yaşlanma etkisini incelemek üzere yaşlandırılmamış ve laboratuvar ortamında kısa ve uzun dönem yaşlandırılmış asfalt numuneleri üzerinde dolaylı çekme mukavemeti deneyleri gerçekleştirilmiştir. Asfalt numunelerinin yaşlanma seviyeleri daha sonra yaşlanma indeksleri kullanılarak değerlendirilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Asfalt, oksidasyon, kısa dönem yaşlanma, uzun dönem yaşlanma, dolaylı çekme mukavemeti.

### Comparison of Laboratory Aging Methods of Asphalt-Aggregate Mixtures

**Abstract:** The raise in axle loads, heavy traffic, design and construction errors in the last two decade increase the failures such as rutting, fatigue and low temperature cracking. These deformations decrease the level of performance and service life of the roads. Aging phenomenon, which is defined as the hardening of asphalt binder due to loss of volatile components and oxidation, is the primary factor of the above-mentioned failures. This study aims to evaluate the current standard (AASHTO R30) regarding to the laboratory aging procedure with the new method proposed by National Cooperative Highway Research Program (NCHRP 09-54). In order to investigate the aging effects, the indirect tensile strength tests have been performed on unaged, short and long term laboratory aged asphalt concrete specimens. The aging level of the asphalt concrete specimens had been evaluated through aging indices.

**Key words:** Asphalt, oxidation, short term aging, long term aging, indirect tensile strength.

#### 1. Giriş

Sıcaklığa ve çevre koşulları etkisine maruz kalan bitümlü bağlayıcının zamanla sertleştiği bilinmektedir. Zamanla gerçekleşen bağlayıcının sertleşmesi olayına, gevrekleşme veya daha basit bir şekilde yaşlanma adı verilir. Yaşlanma, bitümlü malzemenin viskozitesinin artmasına ve daha kırılğan bir duruma gelmesine sebep olmakta, aynı zamanda, asfalt yüzeyinde çatlaklara ve suya bağlı bozulmalara karşı daha duyarlı olmasına da neden olmaktadır. Yaşlanmanın, kısa dönem yaşlanma ve uzun dönem yaşlanma olarak iki aşamada oluştuğu bilinmektedir [1]. Kısa dönem yaşlanma, karışımın depolanması, plente taşınması, plente karıştırılması, şantiyeye taşınması, serilmesi ve sıkıştırılması işlemleri sırasında meydana gelmektedir. Bu yaşlanmanın buharlaşmadan kaynaklandığı düşünülmektedir. Uzun dönem yaşlanma, yolun servis ömrü boyunca gerçekleşmektedir. Bu yaşlanmanın ise büyük ölçüde oksidasyondan kaynaklandığı düşünülmektedir [1]. 1850'lerden beri Avrupa'da kaplama malzemesi olarak kullanılan asfaltın sertleşmesi ilk olarak 1900'lerde ABD'de araştırılmaya başlanmıştır [2]. A.W. Dow, 1903'te bitümlü bağlayıcı yaşlanması üzerine ilk belgelenmiş deneyleri gerçekleştirmiş, bitümün sertleşmesini ve özelliklerini kaybetmesini etkileyen faktörleri incelemiştir. [3]. Dow tarafından gerçekleştirilen çalışmada, sıcak karışım asfalttan geri kazanılan bitümün ağırlık ve penetrasyon özellikleri araştırılmıştır. 1961'de Traxler [4] önem sırasına göre bitümün yaşlanmasını etkileyen faktörleri aşağıdaki gibi listelemiştir:

\* Sorumlu yazar: [durmaz.cagla@ogr.deu.edu.tr](mailto:durmaz.cagla@ogr.deu.edu.tr). Yazarların ORCID Numarası: <sup>1</sup> 0000-0001-5483-0606, <sup>2</sup> 0000-0003-0684-4880, <sup>3</sup> 0000-0003-1517-9405, <sup>4</sup> 0000-0002-2601-1926, <sup>5</sup> 0000-0002-4507-2492

- 1-Oksidasyon,
- 2-Buharlaştırma veya uçucu madde kaybı,
- 3-Polimerizasyon (aktif ışığa bağlı),
- 4-Yoğunlaşma polimerizasyonu (ısıya bağlı).

Traxler (1963), yaptığı başka bir çalışmada bu faktörlerin sayısını 15'e çıkarmıştır [5]. Bu 15 faktörden 4'ünün sertleşmeye en çok sebep olduğu düşünülmüştür. Petersen (1984), karışımların yaşlanmasına ilişkin faktörleri: buharlaşma sonucu bitüm içindeki uçucu bileşenlerin kaybı; oksidasyon reaksiyonundan kaynaklanan bitümün kimyasal bileşimindeki değişiklikler ve moleküler yapıya bağlı olarak tiksotropik etkiler olmak üzere üç ana faktöre indirmiştir [6]. Daha sonra araştırmacıların çoğu bu üç faktöre dayanan çalışmalar yürütmüşlerdir.

Asfalt karışımlarının laboratuvar ortamında yaşlandırma prosedürlerini geliştirmek için çeşitli araştırmalar yapılmıştır. AASHTO R30 (2002), (Standard Practice for Mixture Conditioning of Hot Mix Asphalt (HMA)), American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) tarafından laboratuvar ortamında asfalt karışımlarının kısa ve uzun süreli yaşlandırılmasını temsil etmek için önerilen mevcut standarttır. Bu standarda göre, kısa dönem yaşlanma etkilerini temsil etmek için gevşek (sıkıştırılmamış) karışım numuneleri, hava sirkülasyonlu etüv içerisinde 135 C'de 4 saat yaşlandırılmalı, uzun dönem yaşlanma simülasyonu için ise numuneler sıkıştırıldıktan sonra hava sirkülasyonlu etüvde 85 C'de 120 saat yaşlandırılmalıdır [7]. Bonaquist (2011) tarafından, National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) 09-43 projesi kapsamında deneysel çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmada, kısa dönem yaşlanmayı laboratuvar koşullarında temsil etmek için, sıkıştırma sıcaklığındaki (Tc) yaşlandırma süresi 2 saat olarak belirlenmiş; servis ömrü boyunca yaşlanma için ise temsili olarak daha yüksek bir sıcaklık ve daha uzun yaşlandırma süresi uygun bulunmuştur [8]. Martin ve diğ. (2014) laboratuvar yaşlandırma deneylerini içeren NCHRP 09-49 projesini gerçekleştirmişlerdir. Araziye Tc'nin belirlenmesinin zorluğu göz önüne alınarak, sıkıştırma sıcaklığında (Tc) 2 saat yaşlandırma yerine standart laboratuvar yaşlandırma protokolü olarak 135 C'de 2 saat yaşlandırmayı önermişlerdir [9]. Daha yakın zamanda tamamlanan NCHRP 09-52 projesi, NCHRP 09-43 ve NCHRP 09-49 projelerini harmanlayarak daha kapsamlı bir inceleme sağlamıştır. NCHRP 09-52 projesinde bulgular, AASHTO tarafından önerilen mevcut standardın (AASHTO R30) uzun süreli yaşlandırma prosedürünün uygun bulunduğunu ancak kısa dönem yaşlandırma protokolü olarak mevcut standartta önerilen 4 saat yerine 2 saat boyunca 135 C'de yaşlandırmanın önerildiğini göstermektedir [10]. Kim ve diğ. (2018) tarafından tamamlanan NCHRP 09-54 projesinde ise uzun dönem yaşlanmayı temsil etmek için yeni bir prosedür geliştirilmiş ve sonuçlar ABD ve Kanada'da bulunan çok çeşitli iklimleri temsil eden dokuz arazi projesinden elde edilen arazi karışımları ile kalibre edilmiş ve doğrulanmıştır. Bu projede, gevşek karışımın yaşlanma protokolü olarak etüv içerisinde 95 C'de yaşlandırılma önerilmiştir. Yaşlandırma süreleri ise iklim, yıl ve derinliğe göre belirlenmiştir. Önerilen prosedürde, süreyi belirlemek için kaplama tabakasının 6 mm, 20 mm ve 50 mm derinliklerinde 4, 8 ve 16 yıllık arazi yaşlanması için laboratuvar yaşlandırma süresi haritaları oluşturulmuştur. ABD'de yapılan çalışmada, 4 yıllık servis ömrüne sahip bir yol için önerilen yaşlandırma süresi 3 ila 5 gün olarak belirlenmiştir. Genelde hesaplamalar için 4 yıllık bir süre ve 20 mm derinlik dikkate alınmaktadır [11].

Bu çalışmanın amacı, asfalt karışımlarının kısa ve uzun dönem yaşlandırılmasında National Cooperative Highway Research Program tarafından önerilen yaşlandırma yöntemi NCHRP 09-54 ile mevcut yaşlandırma standardını (AASHTO R 30) karşılaştırmaktır.

## 2. Materyal ve Yöntem

Deneysel çalışmalarda, bitümlü bağlayıcı olarak Türkiye Petrol Rafinerileri A.Ş.'ne bağlı İzmir Aliğa Rafinerisinden temin edilen 50/70 penetrasyon sınıfı bağlayıcı kullanılmıştır. Geleneksel saf bitümlü bağlayıcı özelliklerini tespit etmek için penetrasyon, yumuşama noktası, duktilite, viskozite, parlama, ince film halinde ısıtma, ince film halinde ısıtma deneyi sonrası penetrasyon ile ince film halinde ısıtma deneyi sonrası yumuşama noktası deneyleri uygulanmıştır. Geleneksel bitümlü bağlayıcı deney sonuçları Tablo 1'de sunulmuştur.

Sıcak asfalt karışımlarında agrega olarak Dere Grup A.Ş. İzmir Belkahve taş ocağından temin edilen kalker kullanılmıştır. Agrega özelliklerini belirlemek amacıyla özgül ağırlık, Los Angeles aşınma, sodyum sülfat sağlamlık, ince agrega köşellilik ve yassılık indeksi deneyleri uygulanmıştır. Agrega deney sonuçları Tablo 2'de verilmiştir. Karışım agrega gradasyonu, Karayolları Teknik Şartnamesi'nde aşınma tabakaları için belirtilen Tip 1 gradasyon limitlerine uygun olarak seçilen gradasyon değerleri Tablo 3'te verilmiştir

**Tablo 1.** Saf bitüme uygulanan klasik bitüm deneyleri sonuçları.

Test	Standartlar	Sonuçlar	Limitler
Penetrasyon (25 C; 0.1 mm)	ASTM D5	65	50 – 70
Yumuşama Noktası ( C)	ASTM D36	51	46 – 54
Viskozite (135 C)-Pa.s	ASTM D4402	0,412	-
Viskozite (165 C)-Pa.s	ASTM D4402	0,104	
Düktilite (25 C; cm)	ASTM D113	100	-
Özgül Ağırlık	ASTM D70	1,030	-
Parlama Noktası (°C)	ASTM D92	+260	230 (min)
Penetrasyon İndeksi (PI)	-	0,35	-
RTFOT	ASTM D2872-12		
Kütle değişimi (%)	-	0,160	0.5 (max)
RTFOT sonrası penetrasyon	ASTM D5	53	50 (min)
RTFOT sonrası kalıcı penetrasyon (%)	ASTM D36	82	50 (min)
RTFOT sonrası yumuşama noktası (°C)	ASTM D36	58	48 (min)

**Tablo 2.** Kalker agregasının fiziksel özellikleri.

Test	Standatlar	Sonuçlar	Limitler
Hacim Özgül Ağırlık (Kaba agrega)	ASTM C127	2,704	
Hacim Özgül Ağırlık (İnce Agg.)	ASTM C128	2,691	
Özgül Ağırlık (Filler)		2,732	-
Los Angeles Aşınma (%)	ASTM C 131	22,6	max. 45
Yassılık İndeksi (%)	ASTM D 4791	7,5	max. 10
Sodyum Sülfat Sağlamlık (%)	ASTM C 88	1,47	max. 10 – 20
İnce Agrega Köşeliliği	ASTM C 1252	47,85	min. 40

**Tablo 3.** Kalker agregası için seçilen gradasyon.

Elek No.	Gradasyon (%)	Şartname Limitleri
19 mm	100	100
12.5 mm	92	88-100
9.5 mm	73	72-90
No.4	44,2	42-52
No.10	31	25-35
No.40	12	10-20
No.80	8	7-14
No.200	5,3	3-8

## 2.1 Marshall tasarım yöntemi

Optimum bitüm içeriğini bulmak için Marshall tasarım yöntemi kullanılmıştır. Her bir bitüm yüzdesi için üç deney numunesi hazırlanmıştır. Tüm deney ve ölçüm sonuçlarına göre bitüm yüzdesi-Stabilite, Akma, Boşluk, mineral agregalar arasındaki boşluk (VMA) ve asfaltla dolu boşluk (VFA) grafikleri çizilmiştir. Sonuç olarak, aşınma tabakası için standartta belirtilen %3 ile %5 hava boşluğu ortalamasına (%4) karşılık gelen bitüm miktarı optimum bitüm içeriği olarak belirlenmiştir.

## 2.2 Yaşlandırma yöntemleri

Laboratuvarda sıcak asfalt karışımlarının yaşlanmasını temsil etmek için numuneler; yaşlandırılmamış numuneler; kısa dönem yaşlandırılmış numuneler ve uzun dönem yaşlandırılmış numuneler olmak üzere üç farklı gruba ayrılmıştır. Kısa ve uzun dönem yaşlandırma koşulları ve kullanılan yöntemlerin adları Tablo 4'te sunulmaktadır. Uzun dönem yaşlandırma yöntemi uygulanmadan önce numunelerin kısa dönem yaşlandırılması gerekmektedir.

**Tablo 4.** Laboratuvar Ortamında Yaşlandırma Yöntemleri.

Yöntem	Yaşlandırma Koşulları					
	Kısa Dönem Yaşlandırma			Uzun Dönem Yaşlandırma		
	Sıcaklık ( C )	Süre (saat)	Karışım Durumu	Sıcaklık ( C )	Süre (saat)	Karışım Durumu
AASHTO R30	135	4	Gevşek	85	5	Sıkıştırılmış
NCHRP 09-54		4	Gevşek	95	4*	Gevşek

\* hesaplamalar ile belirlenen değer

Daha önce belirtildiği gibi, mevcut standart deney yöntemi (AASHTO R30) gevşek (sıkıştırılmamış) asfalt karışımının 4 saat 135 C'de hava sirkülasyonlu etüvde kısa dönem yaşlandırılmasını; kısa dönem yaşlandırılmış numunelerin daha sonra sıkıştırılarak numunelerin 120 saat boyunca 85 C'de uzun dönem yaşlandırılmasını içermektedir. NCHRP 09-54 yönteminde, AASHTO R30 standart yöntemi ile aynı kısa dönem yaşlandırma koşulu uygulanmaktadır (135 C'de 4 saat). Uzun dönem yaşlandırmada ise mevcut yöntemden farklı olarak sıkıştırılmış asfalt numuneleri yerine gevşek karışım kullanılmış ve yaşlandırma işlemi 95 C'de gerçekleştirilmiştir. Tablo 4'te belirtilen yaşlandırma süresi için aşağıdaki denklem (Denklem 1) kullanılmıştır:

$$t_{oven} = \sum_{i=1}^N D * A * \exp\left(-\frac{Ea}{R * Ti}\right) / 24 \quad (1)$$

Burada toven = arazi yaşlanmasını yansıtmak için 95 C'de gerekli etüv yaşlandırma süresi (gün), D = derinlik düzeltme faktörü, A = frekans faktörü, Ea = aktivasyon enerjisi, R = evrensel gaz sabiti (bu değer 0.0831 kJ / mol.k olarak alınmıştır.), Ti = ilgilenilen saatte ilgilenilen derinlikteki kaplama sıcaklığını ( K ) ifade etmektedir.

Bu çalışmada, 20 mm derinlik dikkate alınmış, derinlik düzeltme faktörü (D), frekans faktörü (A) ve aktivasyon enerjisi (Ea) Tablo 5'ten elde edilmiştir.

**Tablo 5.** İklimsel yaşlanma indeksi katsayıları [11].

Kaplama Tabakası	Derinlik Düzeltme Faktörü (D)	Frekans Faktörü (A)	Aktivasyon Enerjisi (Ea)
Aşınma tabakası (6 mm)	1,0000	1,40962	13,3121
20-mm derinlik	0,4565	1,40962	13,3121
Daha derindeki tabakalar	0,2967	1,40962	13,3121

Kaplama sıcaklığı ( $T_i$ ), Witczak [12] tarafından geliştirilen aşağıdaki denklem (Denklem 2) ile belirlenmiştir.

$$T_i = T_a * \left[ 1 + \frac{1}{z+4} \right] - \frac{34}{z+4} + 6 \quad (2)$$

$T_i$  = saatlik kaplama sıcaklığı (°F),  $T_a$  = saatlik hava sıcaklığı (°F),  $z$  = kaplama yüzeyinin altındaki derinlik (Bu değer 20 mm derinliğe karşılık gelen 0,79 inç olarak alınmıştır).

$T_i$ 'nin hesaplanmasında, meteorolojik parametreleri eksiksiz ve temsil gücü iyi olan İzmir'in 4 ana ilçesi (Dikili, Aliağa, Menemen, Buca) üzerinden istasyon noktaları seçilmiş olup, 2015, 2016, 2017 ve 2018 yılları için saatlik hava sıcaklığı değerleri ( $T_a$ ) Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. 4 yıllık süre, daha önce belirtildiği gibi NCHRP 09-54 yönteminin tavsiyesine dayanmaktadır. 1 numaralı denklemde tüm değişkenlerin değerleri belirlendikten sonra  $t_{oven}$  değerleri İzmir'in 4 ana ilçesi bazında hesaplanmıştır (Tablo 6).

**Tablo 6.** İzmir ili 4 ana ilçe için  $t_{oven}$  değerleri.

İlçe/Yıllar	2015 (günler)	2016 (günler)	2017 (günler)	2018 (günler)	Toplam (günler)
Dikili	1,035	1,043	1,037	1,057	4,17
Aliağa	1,039	1,052	1,039	1,062	4,19
Menemen	1,039	1,052	1,039	1,063	4,19
Buca	1,038	1,052	1,040	1,061	4,19

Tablo 6'da belirtildiği gibi NCHRP 09-54 yöntemi dahilinde laboratuvar ortamında uzun dönem yaşlandırma işlemi için ortalama 4 günlük sürenin kullanılması uygundur.

### 2.3 Dolaylı çekme mukavemeti testi

Laboratuvarda hazırlanan numunelerin kısa ve uzun dönem yaşlanma durumunu değerlendirmek için, basit olması ve numunelerin kolaylıkla üretilebilmesi sebebiyle en çok uygulanan testlerden biri olan çekme mukavemeti (ITS) testi yapılmıştır [13]. Laboratuvarda hazırlanan silindirik asfalt numuneleri yükleme çerçevesine yerleştirildikten sonra yük, düşey düzlemde (51 mm / dakika yükleme hızında) uygulanmış ve numunenin yatay yönünde oluşan gerilme yükü ölçülmüştür. Numunenin dayanabildiği en yüksek yük Marshall cihazı tarafından otomatik olarak belirlenmiştir. Malzemelerin ITS değerleri aşağıdaki denklem (Denklem 3) kullanılarak elde edilebilir.

$$S_t = \frac{2000xP}{\pi x t x D} \quad (3)$$

$S_t$  = Dolaylı çekme mukavemeti (ITS), kPa.

P = Uygulanan maksimum yük, N.

t = Numunenin kalınlığı, mm.

D = Numunenin çapı, mm.

Laboratuvarda hazırlanan asfalt karışımlarının yaşlanma etkilerini değerlendirmek için ITS değerlerine ek olarak, yaşlanma indeksleri de araştırılmıştır. Kısa ve uzun dönem yaşlandırılmış numunelerin ITS değerleri ile yaşlandırılmamış numunelerin ITS değerleri arasındaki oran kısa dönem yaşlanma indeksi (SAI) ve uzun dönem yaşlanma indeksi (LAI) olarak hesaplanmıştır.

### 3. Deneysel Çalışma Sonuçları

#### 3.1 Marshall tasarım yöntemi sonuçları

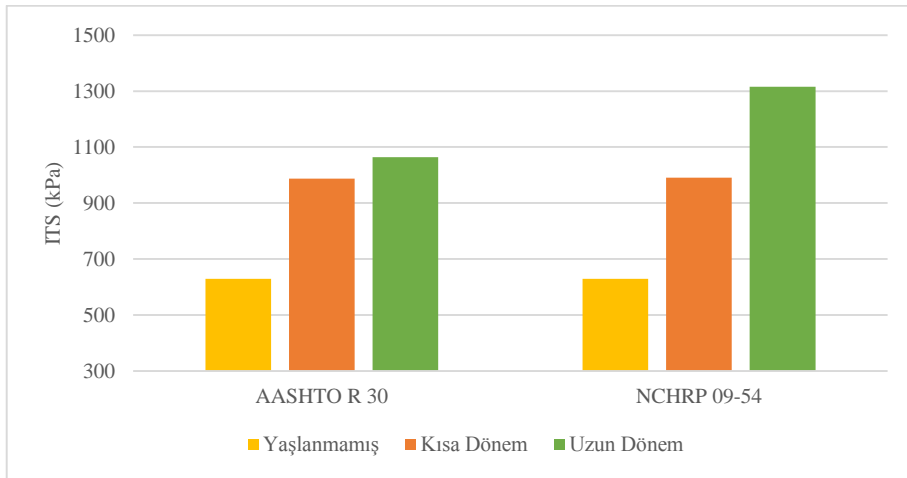
Deneysel çalışmaların sonucu olarak, %4 hava boşluğuna karşılık gelen optimum bitüm içeriği %4,8 (agrega ağırlığınca) olarak tespit edilmiştir. Tablo 7'de belirtildiği gibi, %4 hava boşluğu seviyesine karşılık gelen tüm parametreler şartname sınırları içerisinde.

**Tablo 7.** Marshall testi sonuçları.

Parametre	Sonuç	Şartname
Optimum Bitüm içeriği (%)	4,8	4-7
Stabilite (kg)	1135	900 (min)
Akma (mm)	2,60	2-4
Asfaltla dolu boşluk VFA (%)	71	65-75
Mineral agrega içerisindeki boşluk VMA (%)	14	14-16

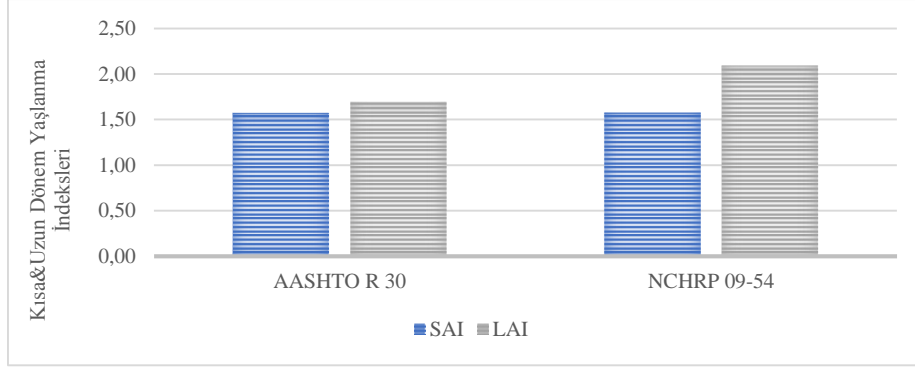
#### 3.2 Dolaylı çekme mukavemeti testi sonuçları

Yaşlandırılmamış, kısa dönem yaşlandırılmış ve uzun dönem yaşlandırılmış numunelerin ITS değerleri Şekil 1'de sunulmuştur. Sonuç olarak, her iki yöntemde de uzun dönem yaşlandırılmış numunelerin ITS değerleri kısa dönem yaşlandırılmış ve yaşlandırılmamış numunelerin ITS değerlerinden daha yüksektir. Dolaylı çekme gerilmesi değerlerindeki artış, yaşlanmanın etkisinin bir göstergesi olarak kabul edilebilir. Her iki yöntemin de kısa dönem yaşlandırma koşulları aynı olduğu için, beklenildiği gibi ITS değerleri de aynıdır. Ancak uzun dönem yaşlandırılmış numunelerin ITS değerleri incelendiğinde NCHRP 09-54 yönteminin daha yüksek ITS değerlerine sebep olduğu söylenebilir.



**Şekil 1.** Dolaylı çekme deneyi sonuçları.

Kısa dönem yaşlandırılmış ve uzun dönem yaşlandırılmış numunelerin ITS değerleri ile yaşlandırılmamış numunelerin ITS değerleri arasındaki oran kısa dönem yaşlanma indeksi (SAI) ve uzun dönem yaşlanma indeksi (LAI) olarak hesaplanmış ve Şekil 2’de sunulmuştur.



Şekil 2. Yaşlanma indeksi sonuçları.

Yaşlanma indeksi değerlerine bakıldığında, değer ne kadar düşük olursa, bitümlü karışımın yaşlanma etkisine o kadar az maruz kaldığı söylenebilir. AASHTO R30 ve NCHRP 09-54 yöntemleri, kısa dönem yaşlandırma koşulları aynı olduğu için beklenildiği gibi benzer kısa dönem yaşlanma indeksi değerleri göstermiştir. Uzun dönem yaşlanma indekslerine bakıldığında ise, NCHRP 09-54 yöntemi ile yaşlandırılmış numunelerin, AASHTO R30 yönteminden daha yüksek bir sıcaklıkta ve daha kısa bir sürede koşullandırılmaları sebebiyle belirgin seviyede daha yüksek yaşlanma indeksi değerine sahip oldukları gözlenmiştir. Bu artıştan yola çıkılarak NCHRP 09-54 yönteminde yaşlanma etkisinin daha fazla olduğu söylenebilir.

#### 4. Sonuçlar ve Değerlendirme

Bu çalışmada, mevcut standart (AASHTO R30) ve NCHRP 09-54 laboratuvar yaşlandırma yöntemleri dolaylı çekme mukavemeti ve yaşlanma indeksi parametreleri göz önünde bulundurularak karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar ve değerlendirmeler aşağıda sunulmuştur:

- ✓ İncelenen yaşlandırma yöntemleri için, numunelerin dolaylı çekme mukavemeti (ITS) değerleri, yaşlandırma süreleri arttıkça yükselmektedir. ITS'deki artış asfaltın, daha sert, kırılğan ve yorulma çatlaklarına daha duyarlı hale geldiğinin bir göstergesidir. Dolayısı ile ITS değerinin yüksek olması istenmeyen bir durumdur. Ayrıca, daha yüksek ITS'e sahip numunelerin yorulma ömrü belirli bir gerilme seviyesinde azalmaktadır. Yaşlanma, sertliği artırarak asfalt malzemelerinin çatlaklara karşı duyarlılığını arttırdığından, yaşlandırılmış karışımlarda çatlak oluşumu gözlenme olasılığının, yaşlandırılmamış karışımlardan daha yüksek olması beklenmektedir.
- ✓ Hava sirkülasyonlu etüvde kısa dönem yaşlandırılmış numuneler arasında, her iki yönteme ilişkin kısa dönem yaşlandırma koşullarının önemli bir farklılık göstermemesi nedeniyle, araştırılan yöntemlerin her ikisi de benzer ITS değerleri vermiştir. Numunelerin yaşlanma özelliklerinin daha iyi değerlendirilebilmesi için hesaplanan kısa ve uzun dönem yaşlanma indekslerinden elde edilen bulgular ışığında, daha düşük yaşlanma indeksi değerlerine sahip karışımlarda yaşlanmanın daha az etkisi olduğunu düşünmek mümkündür.
- ✓ NCHRP 09-54 yönteminde ise ilgili meteorolojik parametreler toplanarak hesaplamalar yapılmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda İzmir bölgesi için uzun dönem yaşlandırma süresi 4 gün olarak belirlenmiştir. Bu nedenle, uzun dönem yaşlandırma koşulu olarak gevşek numunelerin 4 gün 95 C'de yaşlandırılması, sıkıştırılmış numunelerin 85 C'de 120 saat (5 gün) yaşlandırılmasına alternatif olarak önerilebilir. Hangi yöntemin daha efektif sonuçlar verdiğini görebilmek adına aynı gradasyona sahip araziden alınan belirli bir hizmet ömrüne sahip (yaşlanmış) numuneler ile laboratuvar ortamında yaşlandırılan numunelerin ITS değerlerinin belirlenip karşılaştırılması önerilmektedir.

## Teşekkür

Yazar, bu çalışmanın gerçekleşmesine katkısından dolayı Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'ne teşekkür etmektedir.

## Kaynaklar

- [1] Bell CA, Wieder AJ, Fellin MJ. Laboratory ageing of asphalt-aggregate mixtures: field validation. Washington DC: Strategic Highway Research Program, 1994.
- [2] Croney D. The Design and Performance of Road Pavements. London, England: Her Majesty's Stationery Office, 1977.
- [3] Dow AW. Asphalt experiments at Washington. Engineering News Record (ENR) 1903; 47(18): 18-25.
- [4] Traxler RN. Relation between Asphalt Composition and Hardening by Volatilization and Oxidation. American Association of Asphalt Paving Technologist (AAPT) 1961; 30: 359-377.
- [5] Traxler RN. Durability of Asphalt Cements. Association of Asphalt Paving Technologists (AAPT) 1963; 32: 44-58.
- [6] Petersen JC. Chemical Composition of Asphalt as Related to Asphalt Durability: State of the Art. Transportation Research Record (TRR) 1984; 999: 13-30.
- [7] AASHTO R 30-02. "Standard Practice for Mixture Conditioning of Hot-Mix Asphalt (HMA)", American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), Washington DC, 2002.
- [8] Bonaquist RF. Mix design practices for warm mix asphalt. Transportation Research Board (TRB) 2011; 691.
- [9] Martin AE. Evaluation of the moisture susceptibility of WMA technologies. Transportation Research Board (TRB) 2014; 763.
- [10] Yin F, Martin AE, Arámbula-Mercado EDITH, Newcomb D. Short-Term Laboratory Conditioning of Asphalt Mixtures. Relationships of Laboratory Mixture Aging to Asphalt Mixture Performance Transportation Research Board (TRB) 2018; 21.
- [11] Kim YR, Castorena C, Elwardany MD, Rad FY, Underwood S, Gundla A, Gudipudi P, Farrar MJ ve diğerleri. Long-term aging of asphalt mixtures for performance testing and prediction. Transportation Research Board (TRB) 2018.
- [12] Witczak MW. Design of full-depth asphalt airfield pavements. Third International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements; 11-15 September 1972; London, England.
- [13] Yılmaz M, Kök BV, Yalçın E. Farklı Katkılar İçeren Bitümlü Sıcak Karışımların Yorulma Ömürlerinin İncelenmesi. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 2017; 29(2): 173-183.