



BİTÜMLÜ BAĞLAYICILARIN YAŞLANDIRILMASINDA KULLANILAN DENEY YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Perviz AHMEDZADE*, Mesude YILMAZ, Mehmet YILMAZ

Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Elazığ, TÜRKİYE

ÖZET

Bu çalışma, bitüm yaşlandırma deney yöntemleri üzerine geniş bir literatür araştırmasını içermektedir. Uzun süreli yaşlanmaya başlıca arazideki yapısal sertleşme ve oksidasyon neden olurken kısa süreli yaşlanma, öncelikli olarak karıştırma ve yapım sırasında asfalt karışım içerisinde bulunan bitümün buharlaşmasından kaynaklanmaktadır. Kısa dönem yaşlanmayı simüle etmek amacıyla kullanılan deneylerden İnce Film Halinde Isıtma Deneyi (TFOT) ve Dönel İnce Film Halinde Isıtma Deneyi (RTFOT), en sık kullanılan yöntemlerdir. Uzun dönem bağlayıcıların yaşlanması için ise oksidasyona dayalı Basınçlı Yaşlandırma Kabı (PAV) Deneyi ve Dönel Silindir Yaşlandırma Deneyi (RCAT) en fazla kabul gören yöntemlerdir. Performansa dayalı olarak malzemelerin kullanılabilirliğini belirleyen Superpave sisteminde kısa dönemli yaşlanma için RTFOT, uzun dönemli yaşlanma için ise PAV yöntemi kullanılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Bitüm, Yaşlanma, Oksidasyon, RTFOT, PAV.

COMPARISON OF TEST METHODS FOR AGEING OF BITUMINOUS BINDERS

ABSTRACT

In this study, an extensive literature review on bitumen ageing test methods is involved. Long-term ageing is due to oxidation and main steric hardening in the field, while short-term ageing is primarily due to volatilization of the bitumen within the asphalt mixture during mixing and construction. Of the tests used to simulate short-term ageing, the Thin Film Oven Test (TFOT) and the Rolling Thin Film Oven Test (RTFOT) are the most frequently used methods. The Oxidative Pressure Ageing Vessel (PAV) test and the Rotating Cylinder Ageing Test (RCAT) are the most accepted for long term binder ageing. RTFOT is using for short-term ageing but PAV method for long-term ageing in Superpave system that determination of materials availability based on its performance.

Keywords: Bitumen, Ageing, Oxidation, RTFOT, PAV.

1. GİRİŞ

Bitümlü kaplama karışımlarının durabilitesine doğrudan etki eden ana faktörler nem hasarı ve yaşlanmadan dolayı meydana gelen sertleşmedir. Bitümlü bağlayıcının yaşlanması, sertliğinin veya viskozitesinin artışı ile sonuçlanmaktadır. Oksidasyona uğramış bitüm içeren karışımlar, su etkisine karşı dayanım ve nem hassasiyeti bakımından normal karışımlara göre daha düşük durabiliteye sahip olmaktadır [1].

Yaşlanma, başlıca asfalt karışımların hazırlanması sırasında bitümün oksidasyonu ve buharlaşabilen bileşenlerin kaybıyla (kısa süreli yaşlanma) ve araziye uygulanmış malzemelerin artan oksidasyonu (uzun süreli yaşlanma) ile ilgilidir. Her iki faktör, bitümün viskozitesinin ve buna bağlı olarak karışımın sertliğinin artmasıyla sonuçlanmaktadır. Bu durum, karışımın daha sert, kırılğan ve çatlak oluşumu ile yapısal dağılmaya karşı daha hassas olmasına neden olmaktadır [2]. Zamanla moleküler yapının değişmesi (yapısal sertleşme) ve kimyasal değişikliğe neden olan güneş ışınları (özellikle çöl şartlarındaki morötesi radyasyon) gibi faktörler de yaşlanmaya katkıda bulunabilmektedir. Oksidasyon, buharlaşabilen parçacıkların kaybı ve tiksotropik etkiler (yapısal sertleşme), genel olarak yaşlanmadan dolayı meydana gelen sertleşmeye etki eden üç ana etken olarak kabul edilmektedir. Petersen (1984) tarafından yukarıda belirtilen üç ana faktörü de içeren ve yaşlanmaya neden olduğu ileri sürülen altı faktör Vallerga tarafından 1957 yılında ve on beş faktör Traxler tarafından 1963 yılında açıklanmıştır [3-5]. Traxler tarafından belirtilen bitümlerin yapışma özelliğini azaltan faktörler Tablo 1.'de verilmiştir. Yaşlanmadan dolayı meydana gelen sertleşme iki olumlu etkiye neden olabilmektedir. Bu etkilerden ilki yük taşıma kapasitesindeki artış, ikincisi ise kaplama esnekliğinin azalması veya daha sert bir malzeme elde edilmesi sonucu oluşan kalıcı deformasyona karşı dayanımdaki artıştır [2].

Bitümlü malzemelerin yaşlanmasıyla ilgili deneyler, bitüm üzerinde yapılan deneyler ve asfalt karışımlar üzerinde yapılan deneyler olarak iki kategoriye ayrılmaktadır. Bu çalışmada belirtilen bitümün yaşlanmasını içeren araştırmaların çoğu (İnce Film Halinde Isıtma Deneyi (TFOT), Dönel İnce Film Halinde Isıtma Deneyi (RTFOT), Dönel Mikrofilm Halinde Isıtma Deneyi, Açılı Etüv Durabilite Deneyi) etüvde ince film halinde bitümün yaşlandırılması esasına dayanmaktadır. Genellikle bu deneyler, karıştırma ve serme işlemleri boyunca oluşan yaşlanmayı (kısa dönem yaşlanma) laboratuvar ortamına yansıtmak amacıyla kullanılmaktadır. Arazideki uzun dönem yaşlanmayı ifade etmek amacıyla genellikle etüvde ince film halinde ısıtmaya dayalı yaşlandırma yöntemleri ve basınçlı oksidatif yaşlandırma yöntemleri (Iova Durabilite Deneyi, SHRP-PAV, HİPAT ve Dönel Silindirik Yaşlandırma Deneyi (RCAT)) birlikte kullanılmaktadır [6].

Bu çalışma, bitümlü kaplama malzemelerinde yaşlanmadan dolayı meydana gelen sertleşmeyi tayin etmek amacıyla kullanılan deney yöntemlerinin detaylarını, protokollerini ve tekniklerini içermektedir. Bağlayıcı deneyleri, değişik metotların avantaj ve dezavantajlarını vurgulamak ve bu deneylerin modifiye ve modifiyesiz bağlayıcılar için uygunluğunu belirlemek amacıyla incelenmiştir.

2. BİTÜMLÜ BAĞLAYICILARIN YAŞLANDIRILMASINDA KULLANILAN DENEY YÖNTEMLERİ

Bitümün arazideki performansı ile laboratuvar ortamında hızlandırılmış olarak yaşlandırılması arasında ilişki kurmak amacıyla son yetmiş yılda birçok çalışma yapılmıştır. Bu araştırmaların çoğunda, bitümü hızlandırılmış şekilde yaşlandırmak amacıyla ince film halinde etüvde bekletme yöntemleri kullanılmıştır. Bu ince film halinde etüvde yaşlandırma yöntemlerinin çoğunda yüksek sıcaklıkta ısıtma (etüvde buharlaştırma) prosedürlerine bağlı kalmaktadır. Yaşlandırma deneyleri ve özellikleri, Tablo 2.'de verilmiştir

Tablo 1. Asfaltın yapışma özelliğini azaltan etkiler [5].

Yaşlanmaya Neden Olan Etkiler	Meydana Geliş Sebebi					Meydana Geldiği Yer		Geciktirmenin Yolu
	Süre	Sıcaklık	Oksijen	Güneş Işığı	B&G Işınları	Yüzeyde	Kütlede	
1. Oksidasyon	X	X	X	-	-	X	-	1. Hareketsiz ortam 2. Serbest radikal önleyiciler

Tablo 1. Asfaltın yapışma özelliğini azaltan etkiler [5]. (Devamı)

Yaşlanmaya Neden Olan Etkiler	Meydana Geliş Sebebi					Meydana Geldiği Yer		Geciktirmenin Yolu Genel (Seçilen Kaynaklar ve Yöntemler)
	Süre	Sıcaklık	Oksijen	Güneş Işığı	B&G Işınları	Yüzeyde	Küttelede	
2. Fotooksidasyon (Direkt ışık)	X	X	X	X	-	X	-	1. Işıktan koruma 2. Hareketsiz ortam 3. Serbest radikal önleyiciler
3. Buharlaşma	X	X	-	-	-	X	X	Isıdan koruma
4. Fotooksidasyon (Yansıyan Işık)	X	X	X	X	-	X	-	1. Işıktan koruma 2. Hareketsiz ortam 3. Serbest radikal önleyiciler
5. Foto Kimyasal (Direkt Işık)	X	X	-	X	-	X	-	1. Işıktan koruma 2. Katkılar (?)
6. Foto Kimyasal (Yansıyan Işık)	X	X	-	X	-	X	X	1. Işıktan koruma 2. Katkılar (?)
7. Polimerleşme	X	X	-	-	-	X	X	Serbest radikal önleyiciler
8. Yapı İçerisinde Gerçekleşen Yaşlanma (Tiksotropi)	X	-	-	-	-	X	X	1. Yayılmayı sağlayıcı katkı 2. Asfaltın kaynağının değiştirilmesi
9. Yağ Yayılması (Sineresis)	X	X	-	-	-	X	-	Parafin içeriğini azaltma
10. Nükleer Enerjideki Değişim	X	X	-	-	X	X	X	-
11. Suyun Etkisi	X	X	X	X	-	X	-	Kaynak ve elde edilmiş yönteminin değiştirilmesi
12. Agrega Tarafından Absorbe Edilme	X	X	-	-	-	X	X	Asfaltın yayılma özelliğinin artırılması
13. Agrega Yüzeyinde Bileşenlerin Absorbe Edilmesi	X	X	-	-	-	X	-	-
14. Ara Yüzeyde Meydana Gelen Kimyasal Reaksiyonlar veya Katalizör Etkisi	X	X	-	-	-	X	X	-
15. Mikrobiyolojik Bozulma	X	X	X	-	-	X	X	Mantar ve bakteri oluşumunu engelleyen katkı kullanılması

Tablo 2. Bitüm yaşlandırma yöntemleri.

Deney Yöntemi	Sıcaklık, (°C)	Süre	Numune Miktarı, (gr.)	Film Kalınlığı	Ekstra İşlemler
İnce Film Halinde Isıtma Deneyi (TFOT), (Lewis ve Welborn, 1940) – ASTM D1754, EN 12607 – 2	163	5 saat	50	3,2 mm	–
Değiştirilmiş İnce Film Halinde Isıtma Deneyi (MTFOT), (Edler ve ekibi, 1985)	163	24 saat	–	100 µm	–
Dönel İnce Film Halinde Isıtma Deneyi (RTFOT), (Hveem ve ekibi, 1963) – AASHTO T240, ASTM D2872, EN 12607–1	163	75 dakika	35	1,25 mm	Hava Akımı (4000 ml/dak.)
Genişletilmiş Dönel İnce Film Halinde Isıtma Deneyi (ERTFOT), (Edler ve ekibi, 1985)	163	8 saat	35	1,25 mm	Hava Akımı (4000 ml/dak.)
Nitrojen Dönel İnce Film Halinde Isıtma Deneyi (NRTFOT), (Parmeggiani, 2000)	163	75 dakika	35	1,25 mm	N ₂ Akımı (4000 ml/dak.)
Dönel Şişe Deneyi (RFT), – DIN 52016, EN 12607–3	165	150 dakika	100	–	Şişe döndürme (20 rpm.)
Shell Mikrofilm Deneyi, (Griffin ve Ekibi, 1955)	107	2 saat	–	5 µm	–
Değiştirilmiş Shell Mikrofilm Deneyi, (Hveem ve Ekibi, 1963)	99	24 saat	–	20 µm	–
Değiştirilmiş Shell Mikrofilm Deneyi, (Traxler , 1961; Halstead ve Zenevitz, 1961)	107	2 saat	–	15 µm	–
Dönel Mikrofilm Halinde Isıtma Deneyi (RMFOT), (Schmidt ve Santucci, 1969)	99	24 saat	0,5	20µm	Benzen çözücüsü
Değiştirilmiş RMFOT, (Schmidt, 1973)	99	48 saat	0,5	20µm	1,04 mm şişe açıklığı
Açılı Etüv Durabilite Deneyi, (TODT), (Kemp ve Prodoehl, 1981)	113	168 saat	35	1,25 mm	–
Alternatif TODT (McHattie, 1983)	115	100 saat	35	1,25 mm	–
İnce Film Halinde Hızlandırılmış Yaşlandırma Deneyi (TFAAT), (Petersen, 1989)	130 – 113	24 – 72 saat	4	160 µm	3,0 mm şişe açıklığı
Değiştirilmiş Dönel İnce Film Halinde Isıtma Deneyi (MRTFOT), (Bahia ve ekibi, 1998)	163	75 dakika	35	1,25 mm	Çelik Çubuklar
Hava Akımı Altında Karıştırma Deneyi (SAFT), (Glover ve ekibi, 2001)	163	30 dakika	250	–	Karıştırıcı hızı 700 rpm., 2 l/dak hava akımı
Iowa Durabilite Deneyi (IDT), (Lee, 1973)	65	1000 saat	TFOT kalıntısı – 50	3,2 mm	2,07 MPa – Saf oksijen
Basıncılı Oksidasyon Bombası (POB), (Edler ve ekibi, 1985)	65	96 saat	ERTFOT kalıntısı	30 µm	2,07 MPa – Saf oksijen
Hızlandırılmış Yaşlandırma Deney Aleti / Dönel Silindir Yaşlandırma Deneyi (RCAT), (Verhasselt ve Choquet, 1991)	70 - 110	144 saat	500	2 mm	4 – 5 l/saat – Saf oksijen

Tablo 2. Bitüm yaşlandırma yöntemleri. (Devamı)

Deney Yöntemi	Sıcaklık, (°C)	Süre	Numune Miktarı, (gr.)	Film Kalınlığı	Ekstra İşlemler
Basınçlı Yaşlandırma Kabı (PAV), (Christensen ve Anderson, 1992)	90-110	20 saat	RTFOT veya TFOT kalıntısı – 50	3,2 mm	2,07 MPa – Hava
Yüksek Basınçlı Yaşlandırma Deneyi, (HİPAT), (Hayton ve ekibi, 1999)	85	65 saat	RTFOT kalıntısı – 50	3,2 mm	2,07 MPa – Hava

2.1. Yüksek Sıcaklıkta Isıtma Prosedürleri

Yüksek sıcaklıkta ısıtma prosedürleri, asfalt karışım hazırlama sırasında bitümün kısa dönem yaşlanmasını (sertleşmesini) laboratuvar ortamına taşımak amacıyla kullanılmaktadır. Modifiye edilmiş bitümlerin kısa dönem yaşlanmasını kontrol etmek amacıyla en sık kullanılan standartlaştırılmış deneyler; TFOT, RTFOT ve Dönel Şişe Deneyi (RFT)'dir.

2.1.1. İnce Film Halinde Isıtma Deneyi (TFOT)

Bitümler arasındaki farkı, buharlaşma ve yaşlanma karakteristikleri arasındaki farklılık yardımı ile belirlemek amacıyla kullanılan TFOT, Lewis ve Welborn tarafından 1940 tarihinde geliştirilmiştir [7]. TFOT deneyinde 50 ml. bitüm 140 mm. çapında düz bir kaba doldurulmakta ve bunun sonucunda 3,2 mm. kalınlığında bir film tabakasının oluşması sağlanmaktadır. İki veya daha fazla kap, etüv içerisindeki dönel askıya yerleştirilerek 163°C'de 5 saat boyunca bekletilmektedir. İnce Film Halinde Isıtma Deney Aleti Şekil 1.'de verilmiştir. TFOT, AASHTO tarafından 1959'da ve ASTM tarafından 1969'da (ASTM D1754, 1995a) plente karışım boyunca bitümün yaşlanmasını değerlendirmek amacıyla kabul edilmiştir. Diğer taraftan TFOT'un eleştirilen en büyük yanı, yaşlandırılmış bağlayıcının yüzeyini oluşturan ince bağlayıcı film tabakasıdır. Deney süresince numunede dönme veya çalkalanma olmadığından dolayı, yaşlanma (özellikle buharlaşma) bitüm numunesinin yüzeyiyle sınırlandırılmış olmaktadır.

Bu sorunu çözmek için bitüm film kalınlığı ile ilgili mikrofilm kalınlığında deney yapmak ve yaşlandırma yöntemlerini değiştirmek veya geliştirmek amacıyla 1950'lerden beri bir takım çalışmalar yapılmaktadır. Edler ve ekibi tarafından (1985) geliştirilen Modifiye Edilmiş İnce Film Halinde Isıtma Deney (MTFOT) yönteminde deney süresi 24 saate çıkarılmış ve bağlayıcı kalınlığı 3,2 mm.den 100 µm.ye düşürülmüştür [8]. TFOT'un bu küçük modifikasyonu, bağlayıcının buharlaşma kaybı kadar oksidatif sertleşmesini de içeren yaşlanma prosedürünü göz önünde bulundurmamak amacıyla yapılmıştır.

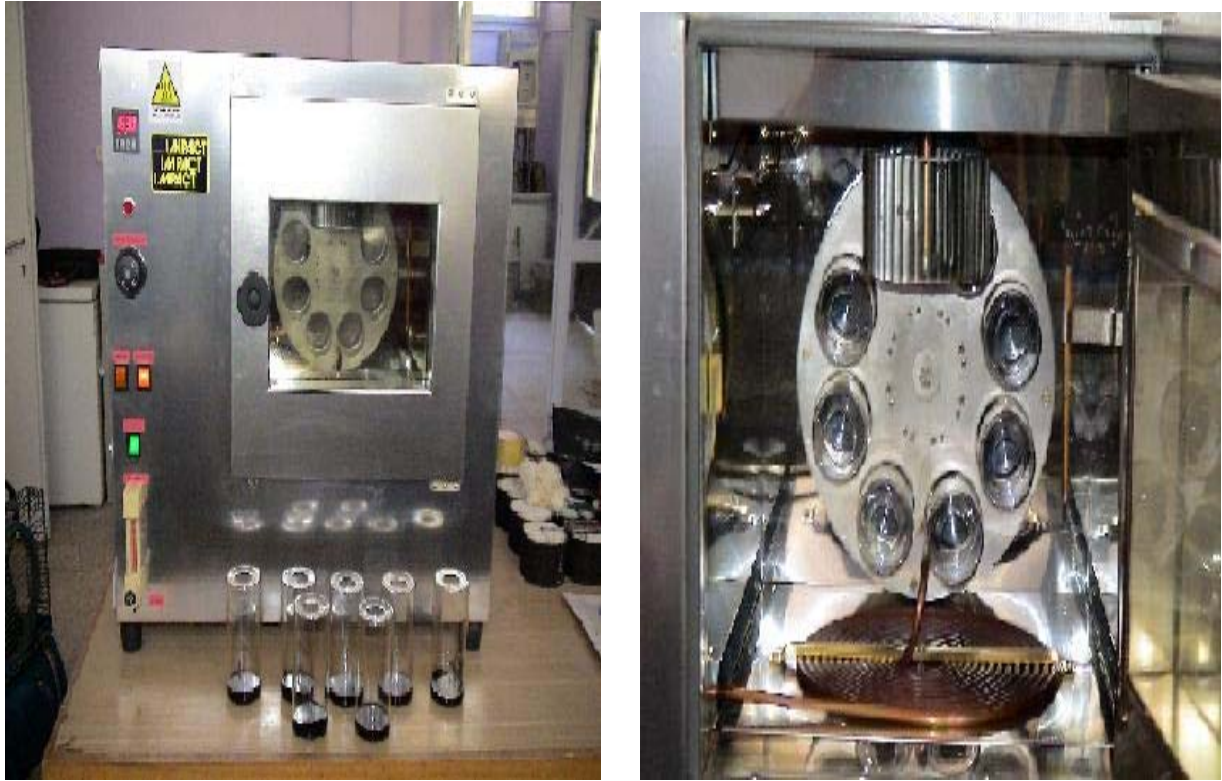


Şekil 1. İnce film halinde ısıtma deney aleti.

2.1.2. Dönel İnce Film Halinde Isıtma Deneyi (RTFOT)

TFOT yönteminin en uygun şekilde değiştirilmiş hali olan RTFOT yönteminde bitüm, cam bir şişe içerisine doldurularak yatay eksen etrafında döndürülmekte ve bu suretle yüzeyde tabaka oluşumu engellenmektedir. TFOT yönteminde 3,2 mm. film kalınlığı kullanılırken RTFOT yönteminde bu kalınlık 1,25 mm.ye düşürülmüştür. Bu sayede RTFOT, asfalt karıştırma boyunca bitümün yaşlanmasını daha iyi bir şekilde laboratuvar ortamına yansıtılabilmektedir.

Kaliforniya Karayolları Bölümü tarafından geliştirilen RTFOT deneyinde düşey eksen etrafında dönen raf içerisine her biri 35 gr. bitüm içeren 8 adet cam şişe yerleştirilmektedir (Şekil 2.). Deney süresince numune şişelerinin içerisine sıcak hava üflenmektedir. 163°C'de ve 75 dakika süreyle yapılan deney boyunca bitüm, her bir şişenin iç yüzeyinde 1,25 mm. kalınlığında film halinde sürekli olarak hareket etmektedir. Düşey ekseninde daire çizen raf, 15 devir/dakika hızla dönmekte ve etüv içerisine dakikada 4000 ml. ısıtılmış hava verilmektedir [9]. Superpave yönteminde kısa dönem yaşlanmayı temsil etmek amacıyla kullanılan bu metot, ısı, hava ve sürekli hareket etme sayesinde yüzeyde bir katman oluşumunu engellemekte ve böylece bitümün korunmasını sağlamaktadır. Deney şartları uygulama şartlarını ifade etmemesine rağmen yapılan deneyler, RTFOT yöntemindeki sertleşme miktarı ile normal batch mikserinde meydana gelen sertleşme miktarı arasında bir uyum olduğunu göstermiştir [10]. RTFOT, ASTM tarafından 1970 yılında ASTM D2872 olarak kabul edilmiştir.



Şekil 2. Dönel ince film halinde ısıtma deney aleti.

RTFOT ile ilgili çeşitli değişiklikler yapılmış fakat bu değişikliklerin çoğu küçük boyutlarda kalmıştır. RTFOT deney süresi olan 75 dakika yerine Kemp ve Prodoehl 5 saat zaman dilimini kullanırken [11], Edler ve ekibi deney süresi olarak 8 saati kullanmış ve Genişletilmiş Dönel İnce Film Halinde Isıtma Deney (ERTFOT) yöntemini ortaya çıkarmışlardır [8]. RTFOT'un geliştirilmesi sonucu ortaya çıkan yöntemlerden en fazla kabul göreni, deney boyunca buharlaşan miktarı daha kesin bir şekilde belirlemek amacıyla kullanılan Nitrojen Dönel İnce Film Halinde Isıtma Deney (NRTFOT) yöntemidir. Bu yöntemi standart yöntemden ayıran en önemli fark, şişe içindeki bitüm numunesine hava yerine nitrojen verilmesidir [12].

RTFOT ve nitrojen gazının benzer bir uygulaması, modifiyeli veya modifiyesiz katbek veya emülsiyonlardan elde edilen “geriye dönüşümü sağlanmış bağlayıcı” miktarını belirlemek amacıyla kullanılan Hızlı Geri Dönüşüm (RRT) deneyidir. RTFOT deney aleti kullanılarak ve 85°C sıcaklıkta yapılan deney, emülsiyon veya katbek bağlayıcılardaki hafif bileşenleri ve suyu buharlaştırmak amacıyla yapılmaktadır. Yaşlanma etkilerini en aza indirmek amacıyla hava yerine nitrojen gazı kullanılmaktadır.

2.1.3. Dönel Şişe Deneyi (RFT)

RFT yöntemi, 165°C sıcaklıkta ve 150 dakikalık bir periyot boyunca dönen buharlaştırma şişesinde 100 gr. ağırlığında bitüm numunesinin yaşlandırılmasını içermektedir. Şişenin 20 devir/dakika hızla döndürülmesiyle, şişe içerisindeki malzemenin sürekli hareket etmesi sağlanmakta ve böylece numune yüzeyinde bir tabakanın oluşumu engellenmektedir.

2.1.4. Shell Mikrofilm Deneyi

Shell Mikrofilm Deneyi, TFOT yönteminde kullanılan prensiplerin değişik bir versiyonudur. Bu yöntemde, oldukça ince (5 µm.) bir bitüm filmi, 107°C’de cam bir kap içerisinde 2 saat süreyle yaşlandırılmaktadır [13]. Asfalt karışımlarda bulunan film kalınlıklarını temsil etmesi amacıyla daha ince bir film kalınlığı (5 µm.) seçilmiştir. Yöntemde bitüm, “yaşlanma indeksini” belirlemek amacıyla yaşlandırmadan önce ve sonraki viskoziteleri baz alınarak değerlendirilmektedir. Simpson ve ekibi (1959), Shell Mikrofilm deneyi ve iki deneme yolundan elde edilen bitümlerin viskozite değerlerini karşılaştırmış ve arazi ile laboratuvar verileri arasında açık bir ilişki olduğunu belirlemiştir [14].

Shell mikrofilm deneyi, Hveem ve ekibi [9] ile Skog [15] tarafından küçük oranlarda değiştirilmiştir. Bu değişiklikler neticesinde film kalınlığı 20 µm.ye yükseltilmiş, deney süresi 24 saate çıkarılmış ve deney sıcaklığı 99°C’ye düşürülmüştür. Yapılan bu değişiklikler, arazi ve laboratuvar yaşlanması arasında dolaylı bir ilişki olduğunu göstermiştir. Bununla beraber Traxler [5] ve Halstead ile Zenewitz [16] bitüm film kalınlığını 5 µm.den 15 µm.ye arttırmak suretiyle küçük değişiklikler yapmışlardır.

2.1.5. Dönel Mikrofilm Halinde Isıtma Deneyi (RMFOT)

RTFOT’un değişik bir versiyonu olan RMFOT, oldukça ince bitüm film tabakaları üzerinde yaşlanmanın etkilerini belirlemek amacıyla kullanılmaktadır [17]. Deney, bitümün benzen (çözücü) içerisinde çözülmesi, RTFOT şişelerinin iç yüzünün bu çözeltiliyle kaplanması ve benzenin buharlaştırılması suretiyle tamamlanmaktadır. 24 saat süren ve 99°C’de yapılan RMFOT deneyi boyunca 20 µm. kalınlığında bir bitüm tabakası oluşmaktadır. RMFOT, Schmidt (1973) tarafından yaşlandırma işlemi süresince buharlaşan kayıp miktarını azaltmak amacıyla değiştirilmiştir [18]. Kütle kaybının azaltılması, RTFOT şişelerinin açık tarafına kılcal bir boşluk bırakılması sayesinde sağlanmıştır. Kılcal boşluk boyutu, 60°C’de asfalt karışım numunelerinin yaşlanması sonucu buharlaşan kütle kaybını sağlayacak şekilde ayarlanmıştır. Yöntemde kılcal açıklık çapı 1,04 mm. olarak seçilmiş ve bununla birlikte yaşlandırma süresi 24 saatten 48 saate çıkarılmıştır. Bu deneyin en büyük dezavantajı, yaşlandırma sonucu elde edilen bağlayıcılara uygulanan deneyler için çok az miktarda (0,5 gr/şişe) malzeme sağlanmasıdır.

2.1.6. Açılı Etüv Durabilite Deneyi (TODT)

RTFOT’un diğer bir değişik versiyonu olan Açılı Etüv Durabilite Deneyi Kaliforniya’da geliştirilmiştir [11]. Bu deneyde bitümün şişelerden çıkmasını engellemek amacıyla etüvün ön tarafı 1,06 derece yükseltilmiştir. Buna ek olarak RTFOT yönteminden farklı olarak TODT yönteminde daha uzun bir süre (168 saat) ve daha düşük bir sıcaklık (113°C) kullanılmıştır. Bu şartlardaki yaşlanmanın sıcak çöl ikliminde 2 yıl sonundaki yaşlanmaya yaklaşık olarak eşit olduğu belirlenmiştir [19]. Ayrıca Kemp ve Prodoehl (1981), laboratuvar hazırlanan numuneleri arazide dört farklı iklimde değerlendirmiş ve bitümün yüksek sıcaklıklardaki sertleşmesini önceden belirlemek amacıyla TODT yönteminin kullanılabilmesi sonucuna varmışlardır [11].

Benzer bir değişiklik McHattie (1983) tarafından yapılmış ve bu yöntemde deney şartları 100 saat ve 115°C olarak belirlenmiştir [20]. Santucci ve ekibi (1981) her iki yöntemi de değerlendirerek 168 saat ve 113°C’de yapılan deneylerden elde edilen bitümün aşırı derecede sert olduğunu belirlemişlerdir [21].

2.1.7. İnce Film Halinde Hızlandırılmış Yaşlandırma Deneyi (TFAAT)

RMFOT yönteminin değişik bir versiyonu olan İnce Film Halinde Hızlandırılmış Yaşlandırma Deneyi (TFAAT), Petersen tarafından 1989 yılında geliştirilmiştir [19]. TFAAT yönteminin RMFOT'a göre avantajı; RMFOT yönteminde 0,5 gr. yaşlandırılmış bitüm elde edilirken TFAAT yönteminde ise 4,0 gr. yaşlandırılmış bitüm elde edilebilmesidir. TFOT ve RTFOT gibi yüksek sıcaklıkta ısıtma deneyleri, sadece sıcak plentte karıştırma sırasında meydana gelen yaşlanmayı (temel olarak uçucu madde kaybı) yansıtırken, TFAAT oksidasyon ve buharlaşmadan kaynaklanan sertleşmeyi temsil edebilmek amacıyla geliştirilmiştir.

TFAAT, Davis ve Petersen tarafından ileri sürülen bir sütun oksidasyon prosedürünü tamamlamak amacıyla geliştirilen bir yöntemdir. Davis ve Petersen tarafından geliştirilen bu yöntemde teflon parçacıklarıyla kaplanmış olan 15 µm. kalınlığındaki bitüm film tabakası, bir gaz kromotografik kolon içerisinde 24 saat boyunca 130°C sıcaklıkta kolondan hava geçirilmesi suretiyle oksidize edilmektedir [22]. TFAAT yönteminde RMFOT'a göre sekiz kat daha fazla bağlayıcı kullanılmasına rağmen RMFOT'ta elde edilen oksidatif yaşlanma seviyesinin sağlanması için daha uzun yaşlandırma süresi ve deney sıcaklığı gerekmektedir. Petersen (1989), RMFOT yönteminden elde edilen 11–13 yıllık yaşlanmayı elde etmek için sekiz kat bağlayıcı miktarı kullanılması durumunda bağlayıcıların 130°C sıcaklıkta 24 saat bekletilmesi gerektiğini belirlemiştir [19]. Ayrıca RMFOT yönteminde olduğu gibi buharlaşan kütle kaybını engellemek amacıyla 31 mm olan standart RTFOT şişelerinin ağız açıklığı 3 mm. ye düşürülmüştür. TFAAT bir gün süreyle ve 130°C sıcaklıkta uygulanabildiği gibi 113°C'lik daha düşük bir sıcaklıkta ve üç gün süren daha uzun bir periyotta da uygulanabilmektedir.

2.1.8. Değiştirilmiş Dönel İnce Film Halinde Isıtma Deneyi (MRTFOT)

Modifiye edilmiş bitümler için RTFOT'un kullanılması durumunda karşılaşılan en önemli sorun, yüksek viskoziteden ötürü deney boyunca cam şişe içerisinde bağlayıcıların hareket etmemesidir. Bununla birlikte bazı bağlayıcıların yaşlandırılması sırasında bağlayıcıların şişe dışına sıçradığı gözlenmiştir. Bu sorunları çözebilmek amacıyla Bahia ve ekibi tarafından (1998) Değiştirilmiş Dönel İnce Film Halinde Isıtma Deneyi (MRTFOT) geliştirilmiştir [23].

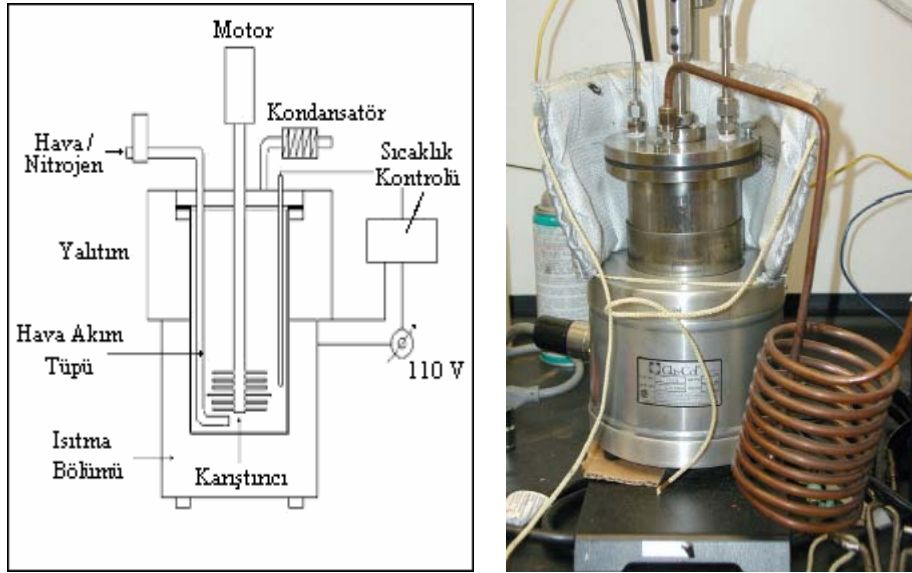
Bu yöntemde RTFOT yönteminden farklı olarak aynı boyutlardaki şişe içerisine 127 mm. uzunluğunda ve 6,4 mm. çapında çelik bir çubuk yerleştirilmiştir. Çelik çubuk sayesinde ince film halindeki bitüm filminin dağılmasını sağlayan kesme kuvveti oluşturulmakta ve bu suretle yüksek viskoziteli bağlayıcıların yaşlandırılmasında karşılaşılan sorun çözülmektedir. MRTFOT yöntemi ile yapılan ilk denemelerde penetrasyon sınıfı bitümlerin yaşlandırılması üzerinde çelik çubuğun önemli bir etkisinin bulunmadığı belirlenmiştir [23]. Bununla birlikte Turner-Fairbank araştırma merkezi, MRTFOT yönteminde metal çubuk kullanımının modifiye bağlayıcılardaki hareket etmeme problemini çözmediğini göstermiş ve kabul edilebilmesi için daha fazla bu yöntemi onaylayan çalışmanın yapılması gerektiği belirtilmiştir.

Hızlı Geri Dönüşüm Deneyinde (RRT), katbek asfaltların ve emülsiyonların dışarı akmasını engellemek amacıyla benzer bir mekanizma kullanılmaktadır. Bu yöntemde çelik çubuklar yerine 120 mm. uzunluğunda ve 12,2 mm. çapında paslanmaz çelik bir pervane kullanılmaktadır. Pervane RTFOT şişelerinin dönüş yönünün tersi yönde hareket etmektedir. Oliver ve Tredrea (1997) RTFOT şişelerinde polimer modifiye bitümleri (PMBs) yaşlandırabilmek amacıyla bir döndürücü ile birlikte kazıma teli kullanmış ve döndürücü yardımı ile şişelerin iç yüzeyindeki bağlayıcıların hareket ettirilmesi sağlanmıştır [24]. Ayrıca bu değiştirilmiş RTFOT yönteminin 163°C sıcaklıkta ve 9 saat süreyle uygulanması durumunda, yaşlandırılmış saf ve polimer modifiyeli bitümlü bağlayıcıların reolojik özellik bakımından sıcak iklimli bir bölgede 2,5 sene sonraki yaşlanmayla benzerlik gösterdiği belirlenmiştir.

2.1.9. Hava Akımı Altında Karıştırma Deneyi (SAFT)

Kısa dönemli yaşlanmayı belirlemede kullanılan RTFOT ve TFOT gibi yöntemler, özellikle modifiye ve yüksek viskoziteli bitümler için yaşlanmanın ve yöntemde belirtilen film kalınlıklarının sağlanması bakımından yetersiz kalmıştır. Bu nedenle Texas ulaştırma bölümü (TxDOT) bünyesinde bulunan Glover ve ekibi tarafından Hava Akımı Altında Karıştırma Deney (SAFT) yöntemi geliştirilmiştir [25]. Bu yöntemde 250 gr. bağlayıcı, 163°C sıcaklıkta 30 dakika süreyle yaşlandırılırken aynı zamanda deney kabının içerisine yerleştirilen bir karıştırıcı ile 700 rpm. hızla karıştırılmaktadır. Bu sırada bir boru yardımıyla bitüme 2 l/dak. hızla hava verilmektedir. SAFT

deney aleti Şekil 3.'te verilmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda tekrarlanabilirlik bakımından SAFT numunelerinin iyi sonuç verdiği fakat RTFOT yönteminden elde edilen numunelerde tekrarlanabilirliğinin bir miktar daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu yöntemin RTFOT yöntemine göre daha az sürede yapılmasına rağmen modifiye bitümler dahil olmak üzere bütün bitümler için uygun sonuçlar verdiği belirlenmiştir [26].



Şekil 3. SAFT deney aleti.

2.2. Oksidatif (Hava Üflemleri) Yöntemler

İnce film halinde ısıtma deneyleri karıştırma işlemi boyunca bitümün yaşlanmayla ilgili karakteristiklerini uygun bir şekilde ölçebilmesine rağmen bu yöntemler arazideki uzun süreli yaşlanmayı doğru olarak belirlemede genellikle yetersiz kalmaktadır. Bu sorun ince film halinde ısıtma ve oksidatif yaşlanma yöntemlerinin birlikte kullanılması sonucu çözüme kavuşmuştur.

2.2.1. Iowa Durabilite Deneyi (IDT)

Iowa Durabilite Deneyi (IDT), ince film halinde yaşlandırma ve oksidatif yaşlandırma deneylerinin birlikte kullanılmasının bir örneğidir [27]. Deneyde, standart TFOT yönteminden elde edilen bağlayıcı kalıntısı kullanılmaktadır. 1000 saat süreyle ve 65°C sıcaklıkta yapılan Iowa Durabilite Deneyinde, bağlayıcılara saf oksijen kullanarak 2,07 MPa basınç uygulanmaktadır. Bu yöntemde, TFOT yönteminden elde edilen bağlayıcı kalıntısı deney kabından başka bir kaba aktarılmadan kullanıldığından basınçlı oksidasyon işlemi boyunca film kalınlığı yine 3,2 mm. olmaktadır.

Lee, 5 yılı aşkın bir süre boyunca arazide yaşlandırılan bağlayıcılar ile IDT yönteminden elde edilen yaşlandırılmış bitümler arasında hiperbolik bir ilişki bulunduğunu belirlemiştir. Bu arazi ve laboratuvar verileri arasındaki hiperbolik ilişki sonucunda, IDT yönteminde 46 saatlik yaşlanmanın Iowa şartlarında 60 aylık arazi yaşlanmasına eşit olduğunu belirlenmiştir [27].

2.2.2. Basınçlı Oksidasyon Bombası (POB)

Edler ve ekibi (1985), Lee tarafından kullanılan yaklaşıma benzer bir yöntem kullanmıştır [8]. Bu yöntem dahilinde bağlayıcılar önce Edler ve ekibi tarafından geliştirilen 8 saat süreli ERTFOT yöntemiyle yaşlandırılmış ve daha sonra Basınçlı Oksidasyon Bombası (POB) kullanılarak basınç altında okside edilmiştir. POB aleti, silindirik basınç aletine vidayla sabitlenen bir darbe önleyici güvenlik başlığı, basınç göstergesi ve vana içeren kapaktan oluşmaktadır. Alet, yatay pozisyonda yerleştirilen 30 µm bitüm filmiyle kaplanmış 40x40 mm² lik on iki adet cam

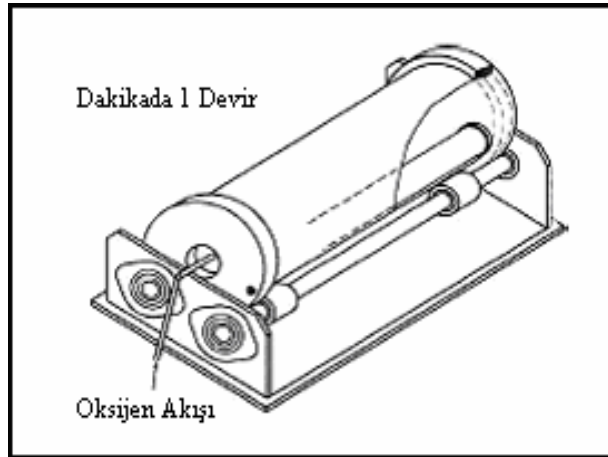
kap içeren bir metal dayanağa sahiptir. Deney, 96 saat süreyle 65°C sıcaklıkta 2,07 MPa basınç altında bitüm kalıntılarının yaşlandırılmasını içermektedir.

2.2.3. Hızlandırılmış Yaşlandırma Deney Aleti / RCAT

RTFOT'un benzer bir konsepti olan Hızlandırılmış Yaşlandırma Deney Aleti, Belçika Yol Araştırma Merkezi (BRRC) tarafından geliştirilmiştir [28]. RTFOT ve RFT gibi standart deneyler yapım sırasında meydana gelen yaşlanmayı doğru olarak yansıtılabilmelerine rağmen deney sırasındaki yüksek sıcaklıkları nedeniyle arazideki yaşlanmayı ifade etmede yetersiz kalmaktadır. Bu neden, yaşlanmayı bir teorik kinetik yaklaşıma dayanarak belirleyen Hızlandırılmış Yaşlandırma Deney Aletinin geliştirilmesine öncülük etmiştir [29].

Alet, iç çapı 124 mm. ve iç uzunluğu 300 mm. olan genişçe bir silindirden oluşmaktadır. Silindirin her iki tarafı kapatılmış fakat bitümün konulup çıkarılabilmesi amacıyla silindirin bir ucunun merkezinde 43 mm. çapında bir boşluk bırakılmıştır (Şekil 4.) [30]. Silindir, 500 gr. bitüm ile doldurulduktan sonra silindirin içerisine 296 mm. uzunluğunda ve 34 mm. çapında paslanmaz çelik bir tel yerleştirilmektedir. Silindir daha sonra deney çerçevesine yerleştirilmekte ve dakikada 1 devir dönmesi sağlanmaktadır. Silindirin ucundaki delikten içeriye 4 -5 l/saat (75 ml/dak.) hızla oksijen akımı sağlanmaktadır. Silindirin içerisindeki telin dönmesiyle bitüm silindirin iç yüzeyinde yaklaşık 2 mm. film kalınlığı oluşturmaktadır. Deney sıcaklıkları 70 ile 110°C arasında değişmektedir. Farklı aralıklarda 20-25 gr bitüm daha sonra yapılacak deneylerde kullanılmak amacıyla silindirden çıkarılmaktadır. Deney başlangıcında fazla miktarda bitüm kullanıldığından yöntem çeşitli değerlendirmelerin yapılmasına olanak sağlamakta ve bitümün fiziksel ve kimyasal yapısında meydana gelen değişiklikler incelenebilmektedir.

Choquet (1993), günümüzde Dönel Silindir Yaşlandırma Deneyi (RCAT) olarak bilinen Hızlandırılmış Yaşlandırma Deney Aletini kullanarak 85°C sıcaklıkta 144 saat süren yaşlanmanın asfaltinlerin formasyonu bakımından arazi yaşlanmasını yansıttığını belirlemiştir [31]. Choquet ayrıca kimyasal ve reolojik değişikliklerin arazideki değişimle benzer olabilmesi için deney sıcaklıklarının 100°C'den daha düşük olması gerektiğini belirtmiştir. Verhasselt (1997), yoğun gradasyonlu karışımlarda RCAT yöntemiyle laboratuarda yaşlandırılmış bağlayıcılar ile arazide servis sırasında meydana gelen yaşlanma arasında uyum olduğunu belirlemiştir [32]. Fakat Francken ve ekibi (1997), poroz karışımların arazideki yaşlanmasını elde etmek için 240 saatten daha fazla yaşlandırma süresi gerektiğini belirlemişlerdir [33].



Şekil 4. RCAT deney aleti.

2.2.4. Basınçlı Yaşlandırma Kabı (PAV)

SHRP-A-002A araştırma ekibi, arazide servis sırasında bitümde meydana gelen oksidatif yaşlanmayı (uzun süreli yaşlanma) laboratuara yansıtılabilmek amacıyla Basınçlı Yaşlandırma Kabı'nı kullanarak yeni bir yöntem geliştirmişlerdir [34-35]. Superpave sistemi dahilinde uzun dönem yaşlanmayı tespit etmek amacıyla kullanılan bu yöntem, RTFOT veya TFOT yöntemiyle bitümün yaşlandırılmasının ardından basınç uygulanan bir yaşlandırma

aletinde bitüm kalıntısının okside edilmesini içermektedir. PAV yönteminde 50 gr. yaşlandırılmış bitüm 140 cm. çapında kaplara boşaltılmakta (yaklaşık 3,2 mm. kalınlığında bağlayıcı film kalınlığı) ve kaplar daha sonra önceden ısıtılmış olan deney aletine yerleştirilmektedir. Deney aleti içerisindeki bağlayıcıya kıvama göre 90, 100 veya 110°C sıcaklıkta 20 saat süreyle hava kullanılarak 2,07 MPa basınç uygulanmaktadır [36].

Migliori ve Corte (1999), modifiye edilmemiş penetrasyon sınıfı bitümler için RTFOT ve RTFOT+PAV yöntemleriyle meydana gelen yaşlanma miktarlarını sadece PAV yöntemiyle elde etmeye çalışmışlardır [37]. Yapılan incelemeler sonucunda 2,07 MPa basınç altında ve 100°C sıcaklıkta 5 saat süren PAV yaşlandırmasının standart RTFOT yaşlanmasıyla aynı olduğunu ve 2,07 MPa basınç altında ve 100°C sıcaklıkta 25 saat süren PAV yaşlandırmasının ise standart RTFOT+PAV yaşlanmasına eşit olduğunu belirlenmiştir.

Verhasselt ve Vanelstraete (2000) tarafından, modifiyesiz ve polimer modifiyeli bağlayıcılar üzerinde 85°C sıcaklıkta uygulanan RCAT ve 100°C sıcaklıkta uygulanan PAV yöntemlerinden elde edilen yaşlandırma değerleri karşılaştırılmıştır [38]. Reolojik özellikler ve IR spektrumları bakımından meydana gelen değişiklikler ve reaksiyon mekanizmaları göz önünde bulundurularak her iki yönteminde oldukça benzer sonuç verdiği belirlenmiştir. Verhasselt ve Vanelstraete, 20 saatlik PAV yaşlandırması ile yaklaşık olarak 178 saatlik RCAT yaşlandırmasının birbirine eşit olduğunu ifade etmişlerdir. Ayrıca yüksek sıcaklıklarda yapılan PAV deneyleri sonucunda bazı polimer modifiyeli bitümlerde, katkı maddelerinde ayrışma meydana geldiği belirlenmiştir.

2.2.5. Yüksek Basınçlı Yaşlandırma Deneyi

PAV yönteminin değişik bir versiyonu olan Yüksek Basınçlı Yaşlandırma Deneyi'nde (HiPAT), PAV yöntemine göre daha düşük sıcaklık olan 85°C ve daha uzun bir süre olan 65 saat kullanılmaktadır [39]. Bu değişikliğin nedeni kaplama sıcaklığıyla karşılaştırıldığında PAV prosedüründe kullanılan sıcaklıkların gerçeği ifade etmemesidir. Ayrıca özellikle modifiye bitümler için araziden elde edilen yaşlanmış bağlayıcılarla PAV yönteminden elde edilen bağlayıcılar arasında uyum bulunmaması bu yöntemin değiştirilmesinin diğer bir nedenidir.

Arazideki uzun dönem yaşlanmayı belirlemek amacıyla yapılan ilk çalışmalar sonucunda, 10 yıllık bir servis ömrüne sahip yoğun gradasyonlu bir asfalt karışımındaki bitüm için HiPAT yöntemiyle yaşlandırmanın doğal yaşlanmaya göre daha fazla olabileceği belirtilmiştir [39].

HiPAT yöntemine bir alternatif, genişletilmiş geri dönüşüm deneyidir. Bu deney, yüksek oranda uçucu yağlar içeren katbek veya emülsiyonları yaşlandırmak amacıyla kullanılan RRT'nin genişletilmiş bir şeklidir. Genişletilmiş geri dönüşüm deney yönteminde katbek veya emülsiyon numuneleri 85°C sıcaklıkta 2 saat süreyle RTFOT aletinde nitrojen gaz akışı kullanılarak yaşlandırılmakta ve daha sonra 22 saat süreyle numunelere hava uygulanmaktadır.

2.3. Morötesi ve Kızılötesi Işık Altında Davranış

Güneş ışınlarının enerjisi, 200 ile 3000 nm. dalga uzunluğu bandları arasında yer alan elektromanyetik radyasyon biçimindedir [40]. Yeryüzüne ulaşan güneş kaynaklı radyasyonun yaklaşık olarak % 7'si morötesi (UV) radyasyon (180-400 nm.), % 42'si görülebilir band (400-800 nm.) ve % 51'i kızılötesi (IR) radyasyondur (800-3000 nm.). UV aralığında, dalga boylarının büyüklüğüne göre üç alt grup tanımlanabilmektedir. Bunlar; UVC bandı (240-280 nm.), UVB bandı (280-315 nm.) ve UVA bandıdır (315-400 nm.).

UV ve IR ışınlarının bitümü yaşlandırmak amacıyla kullanılması, ilk olarak Vallerga ve ekibi tarafından (1957) belirtilmiş ve burada bitüm filmleri TFOT kaplarında yaşlandırılmıştır [4]. Yapılan incelemeler sonucunda bitümün fiziksel özelliklerindeki değişim bakımından morötesi ışınların, kızılötesi ışınlarla göre daha etkili olduğu belirlenmiştir.

Traxler (1963), bitümün fotokimyasal yaşlanmasını laboratuvar ortamına taşımak amacıyla, kimyasal değişikliğe yol açan ışınlar kullanmıştır [5]. Elde ettiği veriler, fotokimyasal reaksiyonun ince film (3 µm.) halindeki bitüm tabakaları üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu fakat daha kalın film tabakalarında bu etkinin azaldığını göstermiştir.

Montepara ve ekibi (1996) tarafından, modifiye edilmemiş kaplama bitümlerini uzun dönem yaşlandırmak amacıyla kızılötesi yaşlanma hücresi geliştirilmiştir [41]. Hücrede, 180 ile 315 nm. arasında (UVC ve UVB) bir frekanstaki

band ile bir civa gazı lambası kullanılmaktadır. Yöntemde yaklaşık olarak 1,5 mm. kalınlığında bir bağlayıcı film tabakası elde etmek amacıyla bitüm 140°C'de ısıtılarak cam kaplara (25x20 cm) yayılması sağlanmaktadır. Daha sonra kap, lambanın altında sabit bir mesafeye ayarlanmış olan yaşlandırma tezgahına yerleştirilmekte ve 450 gün boyunca yaşlandırılmaktadır. 20 günlük aralıklarla cam kaplardan alınan bitüm numuneleri standart fiziksel özellik deneylerinin (penetrasyon, yumuşama noktası ve viskozite) yanında ayrıca Nükleer Manyetik Rezonans (NMR) ve Fourier Biçim Değiştirme Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) deneylerine tabi tutulmaktadır. Sonuçlar, UV ışınları altında yaşlanmadan dolayı bitümde meydana gelen polimerleşme, oksidasyon ve buharlaşmayı açık bir şekilde göstermektedir.

Montepara ve Giuliani (2000), RTFOT, UV radyasyon ve PAV yaşlandırma yöntemlerini karşılaştırmışlardır [42]. Montepara ve Giuliani, iki modifiyesiz penetrasyon sınıfı bitümü, RTFOT yaşlanmasından sonraki 1, 2, 6 ve 10 yıllık periyoda denk güneş ışığı ortaya çıkarmak için yüksek UV ışın yoğunluğunu dağıtma lambası 2000 W kullanarak UV radyasyonuna tabi tutulmaktadır. Sonuçlar, UV yaşlanmasının PAV yaşlandırmasıyla karşılaştırıldığında daha düşük bir yaşlandırma etkisine neden olduğunu göstermektedir.

Bocci ve Cerni (2000) tarafından standartlaştırılmış alternatif UV yaşlandırma prosedürünü geliştirmişlerdir [40]. Prosedürde, Batı Avrupa'daki 40 referans istasyonundan elde edilen 4,6 ile 14,5 yıllar arasında oluşan UV radyasyonu laboratuvar ortamına yansıtılmaya çalışılmıştır. Bu toplam radyasyon, 360.000 Wh/m²'lik sabit bir enerji miktarına eşittir. UV yaşlandırma yönteminde, 30 gram bitüm bir kaba boşaltılmakta ve ısıtılarak 1 mm. kalınlığında üniform bir bağlayıcı tabakasının oluşumu sağlanmaktadır. Daha sonra aynı kaplar, yüksek UVA, UVB ve UVC radyasyon yayılımında bir demir buhar ışığıyla donatılmış özel hazırlanan radyasyon odasına yerleştirilmektedir. Bitüm numunelerine, 360.000 Wh/m²'ye eşit toplam enerji uygulamak amacıyla 12 ile 35 gün arasında bu özel odada yaşlandırılmaktadır.

Çeşitli bitümler üzerinde UV yaşlandırma yöntemleri kullanılarak yapılan ilk çalışmalar sonucunda, standart yüksek sıcaklıkta ısıtma ve oksidasyon yöntemlerinin (RTFOT'u takiben PAV) fotokimyasal yöntemlerden yaşlanma parametreleri bakımından farklı sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Fotokimyasal işlemlerden elde edilen yaşlanma değerleri, özellikle UV yaşlanmasına karşı hassas olan bağlayıcılarda termal veya oksidatif uygulamalar ile genellikle arttırılamamaktadır. Bu nedenle bitümlü malzemelerin uzun dönem arazi yaşlanmasını laboratuvar ortamına taşımak amacıyla fotokimyasal teknikler ile yüksek sıcaklıkta ısıtma ve oksidasyon yöntemlerinin birlikte kullanılmasına ihtiyaç duyulabilmektedir [43].

Edler ve ekibi (1985), yollardaki iklim şartlarını laboratuvar ortamına taşımak amacıyla UV ışınları kullanarak bir hava ölçüm cihazı geliştirmişlerdir [8]. Hava ölçüm cihazı; özel bir kabin, dönel numune tutucu, sıcaklık kontrollü çevre, mor ötesi ışın kaynağı ve ışın dağıtma cihazından oluşturulmuştur. Deney, 50x50 mm. boyutunda cam kabı kaplayan 100 µm. kalınlığındaki bitüm filminin 2 saatlik döngülerle yaşlandırılması şeklinde yapılmaktadır. İki saatlik döngüler içerisinde 102 dakikalık sürede sadece UV ışını uygulanırken 18 dakikalık sürede ise UV ışını ve 300 kPa. basınç ile su püskürtülmesi birlikte uygulanmaktadır. Toplam deney süresi olarak 32,5 saat, 73,5 saat, 7 gün ve 14 gün kullanılmıştır.

Kuppens ve ekibi (1997), Hollanda iklim şartları altındaki poroz asfaltların yaşlanmasını laboratuvara yansıtmak amacıyla özel bir iklimlendirme kabini (fırın) kullanmışlardır [44]. Yöntem, 24 saatlik bir süre boyunca bitümün işlemlere tabi tutulması suretiyle uygulanmaktadır. 24 saatlik süre içerisinde bitüm, 16,25 saat süresince 50°C sıcaklıkta UV ışınına, 4 saat boyunca 40°C sıcaklıkta NaCl yağmuruna, 1 saat boyunca 20°C sıcaklıktaki su yağmuruna tabi tutulmakta ve daha sonra 2,75 saat süresince -20°C sıcaklıkta dondurulmaktadır. Prosedür bu işlemler sayesinde hem arazi yaşlanmasını hem de su tesirini simüle etmeyi amaçlamıştır. Bu deney istenildiği kadar tekrarlanabilmektedir. Fakat prosedür değerlendirildiğinde arazi performansı ile çok düşük bir uyuma sahip olduğu belirlenmiştir.

2.4. Mikrodalga İle Yaşlandırma

Bishara ve ekibi (2000), modifiyesiz bağlayıcılar için RTFOT ve ardından PAV uygulanması sonucu oluşan yaşlanma miktarını elde edebilmek amacıyla mikrodalga yöntemini geliştirmişlerdir [45]. Tek işlemlik bu yaklaşım, 1000 W'lık güç ile 4,5 saat boyunca 3,08 MPa hava akımı altında 147°C sıcaklıkta bitümün mikrodalga radyasyona

tabi tutulması şeklinde gerçekleştirilmektedir. Fiziksel ve kimyasal analizlere dayanılarak mikrodalga yönteminden elde edilen sonuçların, RTFOT+PAV yaşlandırmasından elde edilen sonuçlara benzer olduğu belirlenmiştir.

2.5. Yapısal Sertleşme

Traxler (1963), bitümün bağ özelliklerinin azalmasına yol açan 15 etkiden biri olan ve yapısal sertleşmeyle sonuçlanan moleküler yapılanmayı (tikotropi) tanımlamıştır [5]. Yapısal sertleşme genellikle bitümün ısıtılması veya mekanik olarak işlenmesinden farklı bir şekilde oluşmasına rağmen küçük bir oranda bitümün yapısıyla ilgili olabilmektedir. Yapısal sertleşme için belirtilen kesin bir deney yöntemi bulunmamaktadır.

3. SONUÇ

Bitümlü kaplama karışımlarının durabilitesine doğrudan etki eden ana faktörler nem hasarı ve yaşlanmadan dolayı meydana gelen sertleşmedir. Asfalt karışımlarda oluşan yaşlanma, kısa ve uzun süreli olmak üzere başlıca iki aşamada meydana gelmektedir. Kısa süreli yaşlanma, karıştırma ve yapım sırasında asfalt karışım içerisinde bulunan bitümün buharlaşmasından kaynaklanırken uzun süreli yaşlanma ise arazideki bazı yapısal sertleşme ve oksidasyondan kaynaklanmaktadır.

En sık kullanılan kısa süreli yaşlandırma yöntemleri olan yüksek sıcaklıklarda yapılan TFOT ve RTFOT yöntemleri, asfalt karışımların yapımı sırasında meydana gelen yaşlanmayı laboratuvar ortamına yansıtmak amacıyla kullanılmaktadır. Kısa süreli yaşlanmayı belirlemek amacıyla kullanılan ilk yöntem İnce Film Halinde Isıtma Deneyi'dir. Bu yöntemde bitüm 14 cm. çapında bir kapta yüksek sıcaklığa maruz bırakılmaktadır. Bitüm, kap içerisinde hareket etmediğinden yüzeyde aşırı yaşlanmış bir tabaka oluşmaktadır. TFOT yönteminde karşılaşılan sorunları çözmek amacıyla RTFOT yöntemi geliştirilmiş ve bitümün yaşlandırma esnasında hareket etmesi amacıyla şişeler yatay eksen etrafında döndürülmüştür. Bu yöntem, normal bitümler için uygun olmasına rağmen yüksek viskoziteli ve modifiye bitümlerde şişelerin dönmesi sırasında bitüm hareket etmediğinden iyi sonuç vermemiştir. Kısa süreli yaşlanmayı laboratuvar ortamına taşımak amacıyla RTFOT yöntemi ve deney aparatları değiştirilmiştir. Bu amaçla deney süresi ve sıcaklığı değiştirilmiş ayrıca deney aparatları bitümün hareket etmesini sağlayacak şekilde ayarlanmaya çalışılmıştır. Ayrıca kısa dönemli yaşlanmayı simüle etmek amacıyla Dönel Şişe, Shell Mikrofilm, Dönel Mikrofilm Halinde Isıtma, Açılı Etüv Durabilite, İnce Film Halinde Hızlandırılmış Yaşlandırma, Değiştirilmiş Dönel İnce Film Halinde Isıtma ve Hava Akımı Altında Karıştırma Deney yöntemleri geliştirilmiş fakat bu yöntemlerin uygun olmadığı veya destekleyen çok az sayıda çalışmanın olduğu belirlenmiştir.

Uzun süreli yaşlanmayı laboratuvara yansıtmak amacıyla kullanılan yöntemler Iowa Durabilite, Basınçlı Oksidasyon Bombası, Dönel Silindir Yaşlandırma, Basınçlı Yaşlandırma Kabı ve Yüksek Basınçlı Yaşlandırma Deneyleridir. Iowa Durabilite, Basınçlı Oksidasyon Bombası, Basınçlı Yaşlandırma Kabı ve Yüksek Basınçlı Yaşlandırma Deneyleri'nde kısa süreli yaşlanmaya tabi tutulmuş bağlayıcılar kullanılmaktadır.

Güneş ışınları bakımından ise morötesi ışınlar yüzeyin 1–2 mm.lik üst kısmında etkili olmakta ve bu etki genellikle ihmal edilebilmektedir [28]. Kızılötesi ışınlar ise bitümlü bağlayıcıların yaşlanmasında daha büyük etkiye neden olduğundan göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Amerika'da 1987 yılında, Stratejik Karayolu Araştırma Programı (SHRP) çerçevesinde daha kaliteli esnek kaplamalar yapmak amacıyla Superpave adı altında bir sistem geliştirilmeye başlanmıştır. Bu sistemde bağlayıcı deneyleri değiştirilerek, geleneksel deneylerin yerini iklim şartlarını göz önünde bulunduran performans deneyleri almıştır. Geleneksel test yöntemlerinde rafineriden elde edilen bağlayıcılar incelenirken Superpave yönteminde ise ayrıca yaşlanma olayı dikkate alınmakta ve yaşlanmadan sonra elde edilen bağlayıcılar üzerinde de deneyler uygulanmaktadır. Bu sistemde uygulama bölgelerinin en yüksek ve en düşük sıcaklıkları belirlenerek bu sıcaklıklardaki bağlayıcı performansları tespit edilmektedir [46]. Geçerliliği bütün dünyada kabul edilen Superpave sistemi dahilinde kısa dönemli yaşlanmayı belirlemek amacıyla RTFOT, uzun dönem yaşlanmayı belirlemek amacıyla ise PAV yöntemleri kullanılmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Barth, E.J., Asphalt, Gordon & Breach, New York, 1962.

2. Vallerga, B.A., Pavement Deficiencies Related to Asphalt Durability, Proceedings, Association of Asphalt Paving Technologists, Vol. 50, pp 481-491, 1981.
3. Petersen, J.C., Chemical Composition of Asphalt as Related to Asphalt Durability; State of the Art, Transportation Research Record, 999, (Transportation Research Board, Washington, D.C.), pp. 13-30, 1984.
4. Vallerga, B.A., Monismith C.L., Granthem, K., A Study of Some Factors Influencing the Weathering of Paving Asphalts, Proceedings, Association of Asphalt Paving Technologists, Vol. 26, pp 126-150, 1957.
5. Traxler, R.N., Durability of Asphalt Cements, Proceedings, Association of Asphalt Paving Technologists, Vol. 32, pp 44-58, 1963.
6. Bell, C.A., Summary Report on Aging Of Asphalt-Aggregate Systems, SHRP-A/IR-89-004, Strategic Highway Research Program, National Research Council, Washington, D.C., 1989.
7. Lewis, R.H., Welbom J.Y., Report on the Properties of the Residues of 50-60 and 85-100 Penetration Asphalts from Oven Tests and Exposure, Proceedings, Association of Asphalt Paving Technologists, Vol. 11, pp 86-157, 1940.
8. Edler, A.C., Hatting, M.M., Servas V.P., Marais C.P., Use of Aging Tests to Determine the Efficacy of Hydrated Lime Additions to Asphalt in Retarding Its Oxidative Hardening, Proceedings, Association of Asphalt Paving Technologists, Vol. 54, pp 118-139, 1985.
9. Hveem, F.N., Zube E., Skog J., Proposed New Tests and Specifications for Paving Grade Asphalts, Proceedings, Association of Asphalt Paving Technologists, Vol. 32, pp 247-327, 1963.
10. Whiteoak, C.D., Shell Bitumen Handbook, Surrey, UK, 1990.
11. Kemp, G.R., Predoehl N.H., A Comparison of Field and Laboratory Environments on Asphalt Durability, Proceedings, Association of Asphalt Paving Technologists, Vol. 50, pp 492-537, 1981.
12. Parmeggiani, G., Nitrogen Rolling Thin Film Oven Tests, Proc. 2nd Euroasphalt & Eurobitume Congress, Session 2; Development in Bituminous products and Techniques, pp 432-437, 2000.
13. Griffin, R.L., Miles T.K., Penther C.J., Microfilm Durability Test for Asphalt, Proceedings, Association of Asphalt Paving Technologists, Vol 24, pp 31-62, 1955.
14. Simpson, W.C., Griffin R.L., Miles T.K., Correlation of the Micro-Film Durability Test with the Field Hardening Observed on the Zaca-Wigmore Experimental Road Project, ASTM STP 277, 1959.
15. Skog, J., Setting and Durability Studies on Paving Grade Asphalts, Proc. Assn. Asphalt Paving Technol. 36, pp 387-420, 1967.
16. Halstead, W.J., Zenewitz J.A., Changes in Asphalt Viscosities During Thin-Film Oven and Microfilm Durability Tests, Public Roads, Vol. 31, No. 11, pp 211-218, 1961.
17. Schmidt, R.J., Santucci L.E., The Effect of Asphalt Properties on the Fatigue Cracking of Asphalt Concrete on the Zaca-Wigmore Test Project, Proceedings, Association of Asphalt Paving Technologists, Vol. 38, pp 39-64, 1969.
18. Schmidt, R.J., Laboratory Measurement of the Durability of Paving Asphalts, American Society for Testing Materials, Special Technical Publication 532, pp 79-97, 1973.
19. Petersen, J.C., A Thin-Film Accelerated Aging Test for Evaluating Asphalt Oxidative Aging, Proceedings, Association of Asphalt Paving Technologists, Preprint Volume 58, pp 220-244, 1989.
20. McHattie, R.L, Estimating the Durability of Chem-Crete Modified Paving Asphalt, Alaska Department of Transportation, 1983.
21. Santucci, L.E., Goodrichand, J.E., Sundberg J.E., The Effect of Crude Source and Additives on the Long Term Oven Aging of Paving Asphalts, Proceedings, Association of Asphalt Paving Technologists, Vol. 50, pp 560-571, 1981.
22. Davis, T.C., Petersen J.C., An Inverse GLC Study of Asphalts Used in the Zaca-Wigmore Experimental Test Road, Proceedings, Association of Asphalt Paving Technologists, Vol. 36, pp 1-10, 1967.
23. Bahia, H.U., Hislop, W.P., Zhai, H., Rangel, A., Classification of Asphalt Binders into Simple and Complex Binders, Proc. Assn. Asphalt Paving Technol., Vol. 67, pp 1-41, 1998.
24. Oliver, J.W.H., Tredrea, P.F., Change in Properties of Polymer Modified Binders with Simulated Field Exposure, J. Assn. Asphalt Paving Technol., Vol. 66, pp 570-602, 1997.
25. [www.asphalt-technology.com/pdf_files/peterson\(2002\).pdf](http://www.asphalt-technology.com/pdf_files/peterson(2002).pdf)
26. http://cobweb.ecn.purdue.edu/~spave/Technical%20Info/Meetings/Binder%20ETG%20July%2005%20Madison,%20Wi/Anderson_NCHRP9-36_ETG05.pdf
27. http://cobweb.ecn.purdue.edu/~spave/Technical%20Info/Meetings/Binder%20ETG%20July%2005%20Madison,%20Wi/Anderson_NCHRP9-36_ETG05.pdf
28. Lee, D.Y., Asphalt Durability Correlation in Iowa, Highway Research Board, Record, Vol. 468, pp 43-60, 1973.

29. Verhasselt, A.F., Choquet, F.S., A New Approach to Studying the Kinetics of Bitumen Ageing, *Int. Symp. Chem. Bitumens*, Vol. II, pp 686–705, 1991.
30. Verhasselt, A.F., Kinetic Approach to the Ageing of Bituminous Binders, *Proc. Ist Euroasphalt & Eurobitume Congress*, pp. 102, 1996.
31. Verhasselt, A.F., Kinetic Approach to the Ageing of Bitumens, Chapter 17, In: Yen, T.F., Chilingarian, G.V., *Asphaltenes and Asphalts*, Vol 2, *Development in Petroleum Science*, pp 475–497, 2000.
32. Choquet, F.S., *Bitumen Ageing*, Centre de Recherches Routieres, Brussels, 1993.
33. Verhasselt, A.F., Field Ageing of Bituminous Binders: Simulation and Kinetic approach, In: Di Benedetto, H., Francken, L., *Proc. Fifth International RILEM Symposium, Mechanical Tests for Bituminous Materials*, pp 121–128, 1997.
34. Francken L., Vanelstraete, A., Verhasselt, A.F., Long-Term Ageing of Pure and Modified Bitumen: Influence on the Rheological Properties and Relation with the Mechanical Performance of Asphalt Mixtures, *Proc. 8th Int. Conf. On Asphalt Pavements Vol. II*, pp 1259–1278, 1997.
35. Christensen, D.W., Anderson, D.A., Interpretation of Dynamic Mechanical Test Data For Paving Grade Asphalt Cements, *Proc. Assn. Asphalt Paving Technol.*, Vol. 61, pp 67–116, 1992.
36. Petersen, J.C., Robertson, R.E., Anderson, D.A., Christensen, D.W., Button, J.W., Glover, C.J., *Binder Characterization and Evaluation, Volume 4: Test methods*, SHRP-A-403, Strategic Highway Research Program, National Research Council, Washington, D.C., 1994.
37. American Association of State Highways and Transportation Officials, *Standard Practice for Accelerated Ageing of Asphalt Binder Using a Pressurised Ageing Vessel*, AASHTO Designation PP1, Edition 1A, 1993.
38. Migliori, F., Corte, J.F., Comparative study of RTFOT and PAV Ageing Simulation Laboratory Tests, *Proc. Eurobitume Workshop 99*, Paper No. 045, 1999.
39. Verhasselt, A., Vanelstraete, A., Long-Term Ageing—Comparison Between PAV and RCAT Ageing Tests, *Proc. 2nd Euroasphalt & Eurobitume Congress, Session 1: Performance Testing and Specifications for Binder and Mixtures*, pp 897–905, 2000.
40. Hayton, B., Elliott, R.C., Airey, G.D., Raynor, C.S., Long Term Ageing of Bituminous Binders, *Proc. Eurobitume Workshop 99*, Paper No. 126, 1999.
41. Bocci, M., Cerni, G., The Ultraviolet Radiation in Short- and Long-Term Aging of Bitumen, *Proc. 2nd Euroasphalt & Eurobitume Congress, Session 1: Performance Testing and Specifications for Binder and Mixtures*, pp 49–58, 2000.
42. Montepara, A., Santagata, E., Tosi, G., Photochemical Degradation of Pure Bitumen by UV Radiation, *Proc. 1st Euroasphalt & Eurobitume Congress*, E&E.5,133, 1996.
43. Montepara, A., Giuliani, F., Performance Testing and Specifications for Binder and Mix Comparison Between Ageing Simulation Tests of Road Bitumen, *Proc. 2nd Euroasphalt & Eurobitume Congress, Session 1: Performance Testing and Specifications for Binder and Mixtures*, pp 518–523, 2000.
44. Airey, G.D., State of the Art Report on Ageing Test Methods for Bituminous Pavement Materials, *The International Journal of Pavement Engineering*, Vol. 4, pp 165–176, 2003.
45. Kuppens, E.A.M., Sanches, F., Nardelli, L., Jongmans, E.C., Bitumen-Ageing Tests for Predicting Durability of Porous Asphalt, In: Di Benedetto, H. and Francken, L., eds, *Proc. Fifth International RILEM Symposium, Mechanical Tests for Bituminous Materials*, pp 71–77, 1997.
46. Bishara, S.W., Robertson, R.E., Mahoney, D., Rapid Oxidative Ageing of Binder Using Microwave Energy. An Improved Method, *Proc. 2nd Euroasphalt & Eurobitume Congress, Session 2: Development in Bituminous Products and Techniques*, pp 27–36, 2000.
47. Huang, Y.H., *Pavement Analysis and Design*, 1. title, Pearson Education, New Jersey, U.S.A., 2004.