

Performansa Dayalı Bitümlü Karışım Tasarım Yöntemleri

Superpave Yöntemi

(SUPERior PERforming Asphalt PAVements)

Bitüm Şartnamesi
Agrega Şartnamesi
Karışım Dizaynı

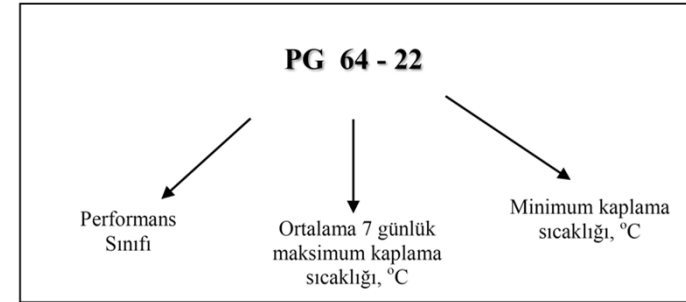
- Yol üstyapılarında görülen yapısal bozulmalar büyük ölçüde kullanılan bitümlü bağlayıcı içinde veya temas yüzeyinde ortaya çıkmaktadır.
- Yüksek sıcaklıklarda tekerlek izinde oturma şeklinde görülen bozulmalar viskoz hale geçen bitümün kaplama tabakasının boşluklarına doğru akışı şeklinde olurken,
- Orta sıcaklıklarda boyuna yönde ve/veya timsah sırtı şeklinde, düşük sıcaklıklarda ise enine yönde gelişen çatlaklar sertleşen bitümün kendi içerisinde veya temas yüzeyinden kırılmasıyla ortaya çıkmakta,
- Yine sudan kaynaklanan soyulma ve sökülme şeklinde bozulmalar da bitümün agrega temas yüzeyindeki bağlayıcılığı kaybetmesine bağlı olarak meydana gelmektedir.

- Farklı sıcaklıklarda farklı şekilde görülen bu bozulmalar bitümlü bağlayıcıların visko-elastik davranış özelliği nedeniyle oluşmaktadır.
- Bitümlü bağlayıcılar değişen sıcaklık ve yük koşullarına bağlı olarak sabit ve kararlı bir reolojik davranış göstermeyip, yüksek sıcaklık ve uzun süreli yükleme durumlarında viskoz bir sıvı gibi davranırken, düşük sıcaklıklarda sert, elastik bir katı gibi davranmaktadır.
- Bitümlü bağlayıcıların tanımlanmasında, yaygın olarak tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de penetrasyon değerine bağlı bir sınıflama sistemi geleneksel olarak kullanıla gelmiştir.
- Bu değer deneysel olarak 25°C'de bitümün kıvamlılığı ölçülerek belirlenmektedir.

- Bozulmaya neden olan sıcaklıklar çoğunlukla kaplamanın maruz kaldığı aşırı yüksek ve aşırı düşük sıcaklıklar olmasına rağmen penetrasyon değerine göre belirlenen bitüm sınıfı, söz konusu bitümün 25°C'den farklı sıcaklıklardaki davranışı konusunda çok sınırlı ölçüde bilgi vermekte, yük altındaki davranışı hakkında ise hiçbir bilgi vermemektedir.
- Geleneksel sınıflandırma sistemlerinin bu yetersizlikleri nedeniyle yeni bir sınıflandırma yöntemi olarak Amerika Birleşik Devletleri'nde Stratejik Karayolu Araştırma Programı (SHRP) çerçevesinde performans esaslı SUPERPAVE (SUPERior PERforming Asphalt PAVements-Üstün Performanslı Asfalt Kaplama) bağlayıcı sınıflandırma sistemi geliştirilmiştir.

- Bu sistemde, bitüm sınıfı yüksek, orta ve düşük sıcaklık olmak üzere maruz kalabileceği bütün sıcaklık şartlarındaki performansına ve fiziksel özelliklerinden ziyade mekanik ve reolojik özelliklerine bağlı olarak tespit edilmektedir.
- SUPERPAVE yönteminde bitümler, sıcaklık koşullarında gösterdikleri performanslara göre sınıflandırılmıştır.
- Bu nedenle, bu tür bitümlere “Performans Sınıfı (Performance Grade)” bitüm adı verilmiş ve PG simgesi ile tanımlanmıştır.
- PG simgesini takip eden rakamlar, bağlayıcının hizmet vereceği yerdeki ortalama en yüksek ve en düşük kaplama sıcaklıklarını göstermektedir.

- Aşağıdaki sınıflandırma örneğindeki gibi, yoldaki en yüksek ve en düşük kaplama sıcaklıklarına göre belirlenen performans sınıfı, aynı zamanda bu yolda kullanılacak bitümün yüksek sıcaklıklarda +64°C'ye, düşük sıcaklıklarda ise -22°C'ye kadar beklenen performansı göstermesi gerektiği anlamına gelmektedir.



- Diğer taraftan, sıcaklığın yanında bitümlü bağlayıcıların davranışına etki eden diğer bir parametre yükün uygulanma süresidir.
- Bir bitümlü bağlayıcının sıcaklığını artırarak oluşacak akma miktarı, sıcaklığı artırmadan sabit yük altında uzun süre tutularak da oluşabilir.
- Yükün miktar ve uygulama süresinin sıcaklık artışındaki davranışa tekabül etmesi Superpave performans sınıflama sisteminde proje trafiğine (20 yıl boyunca geçecek toplam standart dingil yükü tekerrür sayısı) ve trafiğin hızına (hızlı, yavaş veya duran trafik) bağlı olarak gerekli yüksek sıcaklık performans sınıfının artırılması ile dikkate alınmaktadır.

- Kaplamadan beklenen *performans*, arazi değerleri kullanılarak kalibre edilen *tahmin modelleri* ile değerlendirilmektedir.
- Bu yöntemde geliştirilen *laboratuvar deneyleri*, *performansla ilişkisi kanıtlanmış* ve *malzeme davranışı modellerinde* girdi olarak kullanılan temel özelliklerin belirlenmesini sağlamaktadır.

- Kaplama performansının tahmininde;
 - Proje verileri (kaplama yapısı, trafik ve iklim),
 - Malzeme özellikleri,
 - Çevresel etkiler,
 - Kaplamanın tepkisi ve bozulma türleriyle ilişkili farklı modeller göz önüne alınmaktadır.
- Bu yöntem, kaplamanın servis ömrü boyunca farklı bozulma türlerinin gerçekçi bir tahminini sağlamaktadır.
- Laboratuvarda gözlemlenen performans araziden beklenen performansa, önceki arazi deneyimlerinin kalibrasyonundan elde edilen “dönüştürme faktörü” ile dönüştürülmektedir.

- Performans esaslı karışım tasarım yöntemi, yeni gelişen malzemelerin kullanımını ve yenilikleri desteklemektedir.
- Bu yöntem, seçilen servis ömrü süresince kaplamadan beklenen bozulma gelişimini ve bitümlü karışımların davranışını laboratuvarda gerçekleştirilen deneylerle tahmin etmeyi sağlamaktadır.
- Performans esaslı yöntemlerde, hacimsel parametreler üzerinde belirli limitlerin oluşturulmasına gereksinim duyulmamakta, sadece arazide beklenen hacimsel özelliklerin istenilen performansı sergilemesi beklenmektedir.

- Optimum bağlayıcı yüzdesi, her bir bozulma türü için istenilen performans düzeyine bağlı olarak belirlenmektedir.
- Bu yöntemde kullanılan deney aletlerinin duyarlı olması ve karmaşıklığı, karışım üretim plantlerinde ürün kontrolü ve sıradan tasarım çalışmalarında kullanılmasını zorlaştırmaktadır.
- Sadece, kapsamlı araştırmalar gerektiren özel projelerde kullanılabilir.
- Trafik hacminin düşük olduğu durumlarda bu yöntemin kullanılması tasarım maliyeti açısından uygun olmayabilir.

- Performans esaslı karışım tasarım yöntemi için ilk önerilerden biri, ABD’de SHRP kapsamında sunulmuştur.
- 1987 ve 1992 yılları arasında yirmi beşten fazla araştırma bölgesini içeren araştırmaların sonuçlanmasıyla bitümlü karışım tasarımı ve özelliklerinin saptanması için Superpave karışım tasarım yöntemi geliştirilmiştir.
- Şekil 2.4’te akış diyagramı verilen bu tasarım sistemi, üç farklı tasarım düzeyini içermektedir.



- Standartlaştırılan yoğurmalı presin (Superpave Gytratory Compactor-SGC) kullanıldığı **Düze-1**, düşük trafik koşullarında hacimsel karışım tahmin modellerini içermektedir. Ayrıca, Düze-1'de yine SHRP projesi kapsamında SHRP A-698 tasarımını ve geliştirilen performans dereceli bağlayıcı şartnamesini kullanarak bağlayıcı seçimini yer almaktadır.
- **Düze-2**, orta trafik hacmi için bozulma tahmin modellerini oluşturacak performans deneylerini kapsamaktadır.
- **Düze-3**'de ise, ağır trafik düzeyi için yoğun bir malzeme deney programı ve karmaşık bozulma tahmin yöntemi geliştirilmiştir.

- Düze-1'deki hacimsel tasarım yöntemi kullanılarak bir başlangıç tasarım bitüm yüzdesi belirlenmektedir.
- Düze-1 için yoğurmalı presin kullanımı standartlaştırılmıştır.
- Seçilen karışım için farklı bitüm yüzdelerinde hazırlanan numuneler üzerinde performans düzeyine göre bir grup deney uygulanmaktadır.
- Deney sonuçları kalıcı deformasyon, yorulma ve düşük sıcaklık çatlakları yönünden kaplama performansının tahmininde kullanılmaktadır.
- Optimum bitüm yüzdesi, Superpave bilgisayar yazılımı ile yapılan performans tahminlerinin sonucunda belirlenmektedir.

- Düze-2 ve Düze-3'ü performans esaslı karışım tasarımı olarak tanımlanmakta ve dolaylı çekme aleti ve kayma deney aleti kullanılmaktadır.
- SHRP A-698 tasarım yöntemi, çeşitli bozulma türleri ile bağlantılı olan karışım fiziksel özelliklerinin ölçülmesine dayanmaktadır.
- SHRP A-698'de, belirtilen koşullar için yorulma çatlakları ve kalıcı deformasyon direnci ölçütlerinin sağlanacağı tasarım bitüm yüzdesinin belirlenmesine çalışılmaktadır.
- Karışımların yorulma çatlakları ve kalıcı deformasyon direncinin değerlendirilmesinde, geliştirilen sabit yükseklikte tekrarlı basit kayma deneyi ve kırıe eğilme deneyi gibi temel deneyler kullanılmaktadır.

Bitüm performans sınıflamasının başlıca üstünlükleri:

- Geleneksel sınıflamalarda kullanılan penetrasyon ve viskozite deneyleri bitümlü kaplamalarda uzun yıllar boyunca elde edilen tecrübelerle dayalı olarak geliştirilmiştir.
- Bu deneylerde amaç, geçmiş başarılı uygulamaları tekrar etmek, başarısızlıklardan kaçınmaktır. Fakat, bu tip ampirik deneyler, geçmişteki trafik ve çevre şartları aynı kaldığı müddetçe faydalı sonuçlar vermektedir.
- Maalesef, bugünkü trafik koşulları, hem trafik hacmi hem de trafik yükü bakımından penetrasyon ve viskozite sınıflamasının yapıldığı yıllardan çok farklı ve fazladır.
- Bu nedenle geleneksel sınıflamaya göre kullanılan bitümler pek çok yol kesiminde üstyapının öngörülenden çok daha erken bozulmasına neden olabilmektedir.

Bitüm performans sınıflamasının başlıca üstünlükleri:

- Performans sınıflamasında hem trafik hacmini hem de yükün uygulama süresini dikkate almak mümkün olmaktadır.
- Penetrasyon deneyi 25°C ve viskozite deneyi ise 60°C olmak üzere sadece bir sıcaklık değerinde belirlenmekte, bitümün diğer sıcaklıklardaki davranışı hakkında bilgi vermemektedirler.
- Bitümler, viskoelastik malzemeler olup maruz kaldıkları sıcaklık ve yüke göre farklı davranış gösterirler. Yükün uygulama süresinin uzunluğu bitümün daha yüksek sıcaklıktaki davranışına karşılık gelmesine karşılık, geleneksel metotlar yükün uygulanma süresini dikkate almamaktadır. Performans sınıflamasında ise yükün etki süresi de dikkate alınmaktadır.

Bitüm performans sınıflamasının başlıca üstünlükleri:

- Farklı ham petrol kaynaklarından elde edilen bitümler büyük ölçüde farklı özellik göstermektedirler. Bu nedenle, farklı ham petrolden elde edilen bitümler aynı penetrasyon ve viskozite sınıfında yer alsalar bile imalat sırasında ve yolda trafik altında farklı performans gösterebilmektedirler.
- Geleneksel sınıflama sistemleri orijinal (base) bitümler için geçerli olup, modifiye bitümler için kullanılamamaktadır. Performans sınıflaması her cins bitüm için kullanılabilir.
- Geleneksel sınıflandırma sistemlerinde viskozite sınıflamasındaki “İnce Film Halinde Isıtma Kaybı Deneyi (TFOT)” ile bulunan kısa dönemli yaşlanma hariç, bitümün trafik ve çevre şartları altında uzun dönemli yaşlanması dikkate alınmamaktadır.

Bitüm performans sınıflamasının başlıca üstünlükleri:

- SUPERPAVE performans sınıflaması ile “Döner İnce Film Deneyi (RTFOT)” deneyi ile bitümün kısa dönemli yaşlanması, “Basıncılı Yaşlandırma Deneyi (PAV)” ile uzun dönemli yaşlanması dikkate alınabilmektedir.
- Performans sınıflama sisteminde plastik deformasyonlar, (tekerlek izinde oturma, ondülasyon v.b.) yorulma çatlakları ve termal çatlak olmak üzere kaplama performansına etki eden üç ana bozulma mekanizması dikkate alınmaktadır.
- Superpave bitümlü bağlayıcı performans sınıflamasında, sınıfları 6°C'lik aralıklarla artmakta veya azalmaktadır. Superpave performans sınıflama sistemi AASHTO M320 standardına göre Tablo 1 'deki gibi verilmektedir.

Performans Sınıfı	PG-46			PG-52			PG-58			PG-64			PG-70			PG-76			PG-82																		
	34	40	46	10	16	22	28	34	40	16	22	28	34	40	10	16	22	28	34	40	10	16	22	28	34												
7 Gün Maks.Kaplama Dizayn Sıcaklığı, °C	< 46			< 52			< 58			< 64			< 70			< 76			< 82																		
Minimum Kaplama Dizayn Sıcaklığı, °C	-34	-40	-46	-10	-16	-22	-28	-34	-40	-16	-22	-28	-34	-40	-10	-16	-22	-28	-34	-40	-10	-16	-22	-28	-34												
ORJINAL BITÜM																																					
Parlama Noktası, T48, Minimum (°C)	230																																				
Viskozite, ASTM D4402 ² ≤3 Pa*s, Sıcaklık (°C)	135																																				
Dinamik Kesme, T315 ⁵ G ⁰ /sin ² ≥ 1,00 kPa Sıcaklık @ 10 rad/s, °C	46			52			58			64			70			76			82																		
RTFO DENEY KALINTISI (T 240)																																					
Kütle Kaybı, Maks. %	1																																				
Dinamik Kesme, T315 ⁵ G ⁰ /sin ² ≥ 2,20 kPa Sıcaklık @ 10 rad/s, °C	46			52			58			64			70			76			82																		
PAV DENEY KALINTISI (PP 1)																																					
PAV Dene Sıcaklığı, °C	90			90			100			100			100 (110)			100 (110)			100 (110)																		
Dinamik Kesme, T315 ⁵ G ⁰ /sin ² ≤ 5000 kPa Sıcaklık @ 10 rad/s, °C	10	7	4	25	22	19	16	13	10	7	25	22	19	16	13	31	28	25	22	19	16	34	31	28	25	22	19	37	34	31	28	25	40	37	34	31	28
Fiziksel Sertleşme ⁶ Rapor Edilecektir.																																					
Sünme Sertliği, T 313 S ≤ 300 MPa, m ≥ 0,300 Sıcaklık @ 60 s, °C	-24	-30	-36	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	0	-6	-12	-18	-24	0	-6	-12	-18	-24	
Direkt Çekme, T 314 Yenilme Deformasyonu ≥ 1,0% Sıcaklık @ 1mm/dak, °C	-24	-30	-36	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	0	-6	-12	-18	-24	0	-6	-12	-18	-24	

PERFORMANS SINIFI	
Ortalama 7 Gündük Maksimum Kaplama Dışayın Sıcaklığı, °C	
Minimum Kaplama Dışayın Sıcaklığı, °C	
ORJİNAL BAĞLAYICI	
Parlama Noktası, T48, Minimum, °C	← Güvenlik
Viskozite, ASTM D4402; Maksimum 3 Pa.s, Test sıcaklığı, °C	← İşlenebilme ve Pompalanabilme
Dinamik Kayma, TP5, G*/sin δ, minimum, 1.00 kPa, 10 rad/s'de, Test sıcaklığı, °C	← Yaşlanma (Sertleşme)
RTFOT KALINTISI	
Ağırlık Kaybı, Maksimum, % 1.00	← Tekerlek İzi Şartname Gereklere
Dinamik Kayma, TP5, G*/sin δ, minimum, 2.20 kPa, 10 rad/s'de, Test sıcaklığı, °C	← Tekerlek İzi Şartname Gereklere
PAV KALINTISI	
PAV Deneysel Sıcaklığı, °C	
Dinamik Kayma, TP5, G*/sin δ, maksimum, 5000 kPa, 10 rad/s'de, Test sıcaklığı, °C	← Yorulma Çatlak Şartname Gereklere
Fiziksel Sertleşme, (Rapor)	
Sürme Sertliği, TP1, S, Maksimum, 300 MPa, m-değeri, minimum 0.300, Test sıcaklığı, °C	← Düşük Sıcaklık Şartname Gereklere
Direkt Çelme, TP3, minimum, %1.0, Test sıcaklığı, °C	← Düşük Sıcaklık Şartname Gereklere

● Güvenlik (Parlama Noktası) (AASHTO T248)

Parlama noktası deneyi, yaşlandırılmamış bağlayıcıya uygulanan güvenlikle ilgili bir deneydir. Parlama noktası, ısınan asfalt buharının alev temasında geçici olarak parladığı ancak yanmaya başlamadığı en düşük sıcaklıktır ve en az 230 °C olmalıdır. Deneyin amacı, şantiyede asfaltın yanmadan hangi sıcaklığa kadar emniyetle ısıtılacağına tespit edilmesidir.

● İşlenebilme ve Pompalanabilme

Sıcak karışım tesisinde bağlayıcının işlenebilme ve pompalanabilme özellikleri viskozite deneyi ile tayin edilir. Şartnameye göre, bütün bağlayıcı sınıfları için bu değer 135 °C için en fazla 3 Pa.s (3000 cP) olmalıdır.

● Yaşlanma ve Fiziksel Sertleşme

Şartnamede, asfaltın karıştırma ve serme sırasındaki yaşlanmasından dolayı kütlede oluşacak kayıp sınırlandırılmış ve AASHTO T240'a göre yapılan RTFOT deney sonucundaki bu kayıp en fazla % 1 tutulmuştur .

Ayrıca şartname, özellikle düşük sıcaklıklarda depolama ve diğer bekletme süreçlerinde asfaltta meydana gelen fiziksel sertleşme miktarının belirlenmesini ve rapor edilmesini tavsiye eder. Bunun için gerekli deney sıcaklığında 24 saat şartlandırılmış ve PAV'da yaşlandırılmış bağlayıcı üzerinde BBR deneyi yapılır.

● Kalıcı Deformasyon (Tekerlek İzi)

- Yüksek sıcaklıklarda ve sürekli tekrar eden yükler altında kaplamada oluşan kalıcı deformasyonlar asfaltın viskoz davranışının bir sonucudur. Superpave şartnamesi, kalıcı deformasyona karşı direnç ve yüksek sıcaklıklardaki bağlayıcı kıvamının ölçüsünü temsil eden
- "G*/sin δ" tekerlek izi faktörünü gerekli bir değer olarak kabul etmiştir. Burada kompleks kayma modülü (G*) ve faz açısı (δ) olarak tanımlanan ifadeler DSR deneyi ile belirlenmektedir.

- **Yorulma Çatlakları**

- Bağlayıcı şartnamesinde, asfalt kaplamalarda oluşan yorulma çatlaklarının değerlendirilmesinde kompleks kayma modülü (G^*) ve faz açısı (δ) kullanılmaktadır. Yolun hizmete açılmasından sonra normal ve düşük sıcaklıklarda yorulma çatlaklarının oluşması sebebiyle şartname, deneylerde RTFOT ve PAV ile yaşlandırılmış asfalt numunelerin kullanılmasını gerekli görür. Yorulma çatlaklarını temsil eden " $G^* \sin \delta$ " faktörü, gerekli bir değer olarak kabul edilmiştir. Şekil 'de görüldüğü üzere bu değer en fazla 5000 kPa olmalıdır

- **Düşük Sıcaklık Çatlakları**

- Düşük sıcaklıklardan dolayı kaplama bünyesinde oluşan çekme gerilmeleri sebebiyle oluşan çatlakları temsil etmek amacıyla, asfaltın sünme sertliğinin ölçüldüğü BBR eğilme deneyi kullanılmaktadır.
- Şartnamede, Şekilde görüldüğü üzere bu çatlakların oluşmaması için sünme sertliğinin (S) en fazla 300 Mpa olması istenmektedir. Bu değer yüksek ise bağlayıcı gevrek davranış göstereceğinden daha çok çatlama oluşacaktır.
- Bu çatlamlar, kaplamanın hizmete açılmasından bir süre sonra düşük sıcaklıklarda oluştuğundan, deneylerde RTFOT veya PAV ile yaşlandırılmış numuneler kullanılır.

Performans Dereceli (PG) Bağlayıcı Sınıfı Seçimi

- Superpave yönteminde, performans esaslı bağlayıcı sınıfı iki değişkenli olarak PG X-Y simgesi ile ifade edilmektedir. Burada birinci değişken (X), bağlayıcının performans şartlarını sağladığı yüksek kaplama dizayn sıcaklığını, ikinci değişken (Y) ise bağlayıcının performans şartlarını sağladığı düşük kaplama dizayn sıcaklığını belirtmektedir.
- Tablo 4 'de kaplama dizayn sıcaklıkları ve bunlara karşılık gelen bağlayıcı sınıfı verilmiştir

Kaplama Dizayn Sıcaklıkları ve Bağlayıcı Sınıfı

Yüksek Sıcaklık Sınıfları (X), °C	Düşük Sıcaklık Sınıfları (Y), °C	Gösterim
46	-34, -40, -46	PG 46-Y
52	-10, -16, -22, -28, -34, -40, -46	PG 52-Y
58	-16, -22, -28, -34, -40	PG 58-Y
64	-10, -16, -22, -28, -34, -44	PG 64-Y
70	-10, -16, -22, -28, -34, -44	PG 70-Y
76	-10, -16, -22, -28, -34	PG 76-Y
82	-10, -16, -22, -28, -34	PG 82-Y

- Superpave yönteminde, bağlayıcı sınıfının belirlenmesinde geniş bir meteorolojik veri tabanını kullanan ve istatistik kabullerle tahminde bulunabilen bir bilgisayar yazılım sistemi kullanılmaktadır.
- Yazılım sistemi ile kullanıcı tarafından bağlayıcı sınıfı seçilirken coğrafi bölge, kaplama sıcaklığı ve hava sıcaklığı bilgileri esas alınmaktadır.
- *Bağlayıcı seçiminde aşağıda belirtilen kriterler dikkate alınmaktadır:*

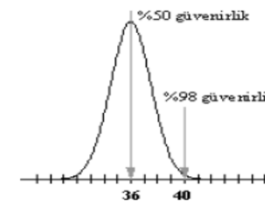
Meteorolojik Veri Tabanı

- Bitüm sınıflaması uygulama bölgesindeki en yüksek ve en düşük sıcaklık değerleri esas alınarak yapıldığından, meteorolojik veri tabanının çok önemlidir.
- Meteorolojik veri tabanı oluşturmak üzere, meteoroloji istasyonlarında 20 yıldaki her yılın en yüksek 7 günlük sıcaklık periyotlarının ortalaması alınarak yüksek hava sıcaklığı hesaplanır.
- Bu sıcaklık değeri, tasarım koşullarını en iyi temsil eden yöntem olarak tanımlanmıştır. Benzer şekilde, bütün yıllar dikkate alınarak, her yılın bir günlük en düşük hava sıcaklık değerleri de tespit edilerek ortalaması alınır.
- Ayrıca, istasyona ait yıllık en yüksek 7 günlük ve en düşük bir günlük sıcaklık değerlerinin standart sapması hesaplanır. Bu hesaplamalarda 20 yıldan az veriye sahip istasyonlar dikkate alınmaz.

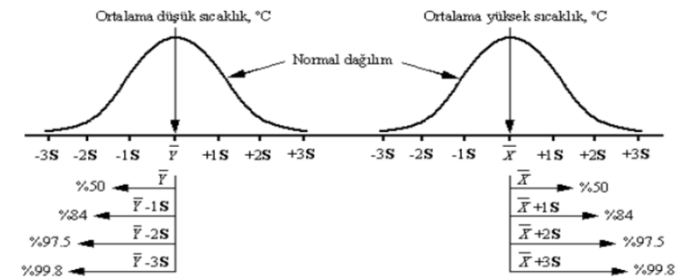
Güvenirlilik

- Superpave yöntemi, kaplama tasarımcılarına bağlayıcı sınıfının en düşük ve en yüksek sıcaklıklara göre tespit edilmesinde bir tasarım riski kabul edilmesine ve istatistikî güvenirlilik hesaplama yöntemlerinin kullanılmasına imkân tanımaktadır.
- Güvenirlilik, bir yıl içerisinde mevcut çevre sıcaklığının (bir günlük en düşük veya 7 günlük en yüksek ortalaması) proje sıcaklığını geçmeme ihtimali olarak tanımlanmaktadır.
- Superpave bağlayıcı seçimi, yüksek ve düşük sıcaklık dereceleri farklı güvenirlilik seviyelerinde seçilebildiği için çok esnekler.
- Örneğin, ortalama 7 günlük en yüksek sıcaklığı 36 °C ve standart sapması 2 °C olan bir bölgenin hava sıcaklıklarının normal frekans dağılımı Şekil'deki gibi kabul edilir.

Yıllık En Yüksek 7-Günlük Hava Sıcaklığı Dağılımı



Bu dağılıma göre hava sıcaklığının bir yıl içinde 36 °C'yi aşma ihtimali %50'dir. Ancak sıcaklığın 40 °C'yi aşma ihtimali sadece %2 olacaktır ve bu yüzden 40 °C'lik dizayn hava sıcaklığı %98 güvenirlilik sağlar. .



Hava Sıcaklığı Seçimi

- Buna göre normal bir yaz mevsiminde, 7-günlük en yüksek hava sıcaklığı ortalaması 36 °C ve standart sapması 2 °C'dir.
- Ortalama sıcaklığa iki standart sapma ilavesiyle elde edilen 40 °C'lik sıcaklığa, çok sıcak geçen bir yaz mevsiminde ulaşılma ihtimali %2'dir ve bu durumda güvenilirlik %98 olarak kabul edilir.
- Benzer şekilde, normal bir kış mevsiminde ortalama en düşük sıcaklık -23 °C ve standart sapma 4 °C olduğunda, çok soğuk bir kış mevsiminde sıcaklığın -31 °C olması ihtimali %2, dolayısıyla ortalama sıcaklığa iki standart sapma ilavesiyle elde edilen güvenilirlik derecesi %98'dir.

Hava Sıcaklıklarının Kaplama Sıcaklıklarına Dönüştürülmesi

- Superpave yazılımı, asfalt bağlayıcı sınıfının seçilmesinde kullanılacak tasarım sıcaklığı olarak hava sıcaklığını değil, kaplamanın kendi sıcaklığını ele almaktadır.
- Sistem bu amaçla, ortalama en yüksek 7 günlük hava sıcaklığını esas alarak kaplama yüzeyinden 20 mm derinlikteki yüksek dizayn sıcaklığını ve en düşük bir günlük ortalama sıcaklığı esas alarak kaplama yüzeyindeki düşük dizayn sıcaklığını hesaplamaktadır.

$$T_{20\text{mm}} = (T_{\text{havamaks}} - 0,00618E^2 + 0,2289E + 42,2) \times (0,9545) - 17,78$$

Burada;

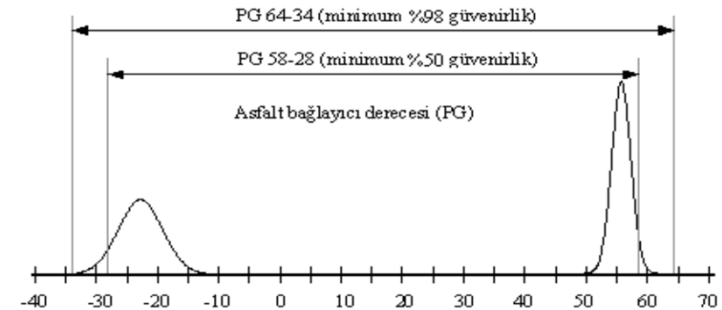
$T_{20\text{mm}}$: Yüzeyden 20 mm derinlikteki yüksek kaplama dizayn sıcaklığı (°C),

T_{havamaks} : En yüksek 7 günlük ortalama hava sıcaklığı (°C),

E: Derece olarak projenin uygulanacağı coğrafi bölgenin enlemidir.

Kaplama Sıcaklıklarına Göre Bağlayıcı Seçimi

- Yukarıda hava sıcaklıkları verilen bölgenin %50 güvenilirlikle bulunmuş kaplama dizayn sıcaklık değerleri, Şekilde görüldüğü üzere yüksek sıcaklık için 56 °C, düşük sıcaklık için -23 °C olarak bulunmuştur. Buna göre, 56 °C'de bağlayıcı sınıfı mevcut olmadığından bir üst sınıf seçilir ve %50 güvenilirlik için yüksek sıcaklık derecesi PG 58-Y olmalıdır. Bu durumda seçilen PG 58-Y sınıfı yaklaşık %85 güvenilirliktedir. Daha düşük bir derece olan 52 oC seçilirse güvenilirlik %50'den daha az olacaktır.



Superpave Asfalt Bağlayıcı Seçimi

Kaplama Sıcaklıklarına Göre Bağlayıcı Seçimi

- ❑ Benzer şekilde, -23 oC'den daha düşük sıcaklıklardan korunmak için düşük sıcaklık derecesi PG X-28 olmalıdır. Kaplama dizayn sıcaklıklarında %98 güvenilirlik esas alındığından, yüksek sıcaklık derecesi PG 64-Y; düşük sıcaklık derecesi ise PG X-34 olacaktır . Her iki değer farklı güvenilirlik dereceleri için Superpave sistemine göre birleştirildiğinde, Şekil 'de görüldüğü bağlayıcı sınıfı belirlenmiş olur.
- ❑ Superpave bilgisayar yazılımı, bütün bu hesapları fazla girdiye gerek duymadan kendiliğinden yaparak gerekli güvenirligi hesaplar ve bir şantiyede kullanıcısı da bu verilerden faydalanarak istenilen asfalt derecesini belirler.

Trafik Hızına ve Sayısına Göre Seçim

- ❑ Superpave asfalt bağlayıcı seçiminde ifade edilen işlemler, tipik yol yükleme koşullarını esas teşkil etmektedir. Bu koşullar altında yolun, 90 km/saat hızda ve belirli ağırlıkta transit trafiğe maruz kalacağı varsayılmıştır.
- ❑ Yüksek sıcaklık tasarımında kalıcı deformasyonlarla yakından ilgili olan yükleme hızı da performansa etki eden ek bir faktör olarak dikkate alınmaktadır.
- ❑ Şartname, yavaş hareket eden ve duran taşıtlar için yüksek sıcaklık bağlayıcı seçiminde ilave değişiklikleri gerekli görmektedir.

Trafik Hızına ve Sayısına Göre Seçim

- ❑ Bu gibi düşük yükleme oranlarını karşılayabilmesi için bağlayıcının daha sert bir özelliğe sahip olması gerekir.
- ❑ Bunu sağlamak için Superpave sistemi, yükleme oranı veya trafik hızına göre yüksek sıcaklık derecesini en az bir veya iki derece arttırmayı gerekli görmektedir.
- ❑ Örneğin, tipik koşullarda PG 64-22 olarak bulunan bir bağlayıcı sınıfı, yavaş hareket eden yükler için bir derece yüksek bağlayıcı olan PG 70-22; duran yükler için iki derece yüksek bağlayıcı olan PG 76-22 seçilecektir. Yükleme durumu, düşük sıcaklık derecesi seçilmesinde etkili değildir.

- ❑ Ayrıca, kaplamanın maruz kalacağı yüksek sayıdaki eşdeğer tek dingil yükleri için de ilave değişikliklere gereksinim vardır.
- ❑ Eşdeğer tek dingil yükü (ETDY), iki dingilli ve dört tekerlekli bir araçta 80,0 kN (8,0 ton) olarak tanımlanır ve üstyapı tabaka kalınlıklarının hesaplanmasında birim yük olarak kabul edilmektedir.
- ❑ Normal koşullarda hareket eden ve trafik yükü 10.000.000 ile 30.000.000 eşdeğer dingil yükü arasında tahmin edilen bir yolda mühendis, iklimle göre seçilen bağlayıcı sınıfını bir üst değer olarak alabilir.

Ancak, eşdeğer dingil yükü 30.000.000'dan fazla tahmin edilmesi durumunda bir yüksek dereceli bağlayıcının alınması gerekir. Tabloda trafik sayısı ve hızına bağlı olarak bağlayıcı derecesi seçilmesinde, AASHTO MP-2 standardı tarafından tavsiye edilen düzeltme sayıları verilmiştir.

Dizayn ETDY Sayısı, Milyon (20 Yıllık)	Bağlayıcı PG Derecesi Ayarlama		
	Trafik Hızı (Yük Oranı)		
	Duran Trafik (<20 km/saat)	Yavaş Trafik (20-70 km/saat)	Standart Trafik (>70 km/saat)
<0,3	-	-	-
0,3-3	2	1	-
3-10	2	1	-
10-30	2	1	-
≥30	2	1	1

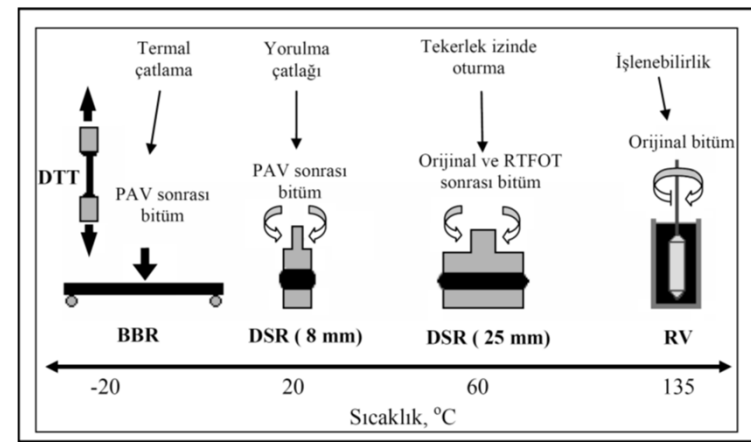
Trafik Hızı ve Sayısı Esas Alınarak Bağlayıcı Seçilmesi

PG Sınıflamasında Yapılan Deneyler ve Performans Kriterleri

PG sınıflamasında yapılan deneyler ve performans kriterleri

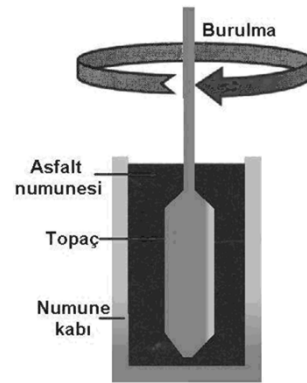
Beklenen Performans	Deney Adı	Deneyde Kullanılan Bitüm	Performans Kriteri
İşlenebilirlik	Dönel Viskometre (RV)	Orijinal bitüm	Viskozite ≤ 3 Pa.s
Kısa dönemli yaşlanma	Döner İnce Film Etüvü (RTFO)	Orijinal bitüm	-
Uzun dönemli yaşlanma	Basıncılı Yaşlandırma Kabı (PAV)	RTFOT ile yaşlanmış bitüm	-
Yüksek sıcaklıktaki davranış (tekerlek izinde oturma)	Dinamik Kesme Reometresi (DSR)	Orijinal bitüm	$G^*/\sin\delta \geq 1.0$ kPa
		RTFOT ile yaşlanmış bitüm	$G^*/\sin\delta \geq 2.2$ kPa
Orta sıcaklık davranış (yorulma çatlağı)	Dinamik Kesme Reometresi (DSR)	RTFOT ve PAV ile yaşlandırılmış bitüm	$G^*\sin\delta < 5000$ kPa
Düşük sıcaklıktaki davranış (Termal çatlak oluşumu)	Kiriş Eğilme Reometresi (BBR)	RTFOT ve PAV ile yaşlandırılmış bitüm	$S \leq 300$ MPa m-değeri ≥ 0.3

Üstyapı bozulma tipine göre yapılan performans sınıflama deneyleri



Bitümlü Bağlayıcılara Yapılan Performans Deneyleri

- Dönel viskozite, silindirik bir çubuğun sabit bir sıcaklıkta, bitümlü bağlayıcı numunesi içinde kendi etrafında dönüş hızını sabit tutacak burulma kuvvetinin ölçülmesi ile belirlenir. 135°C'de dönmeye karşı direnç maksimum 3 Pa.s olmalıdır.



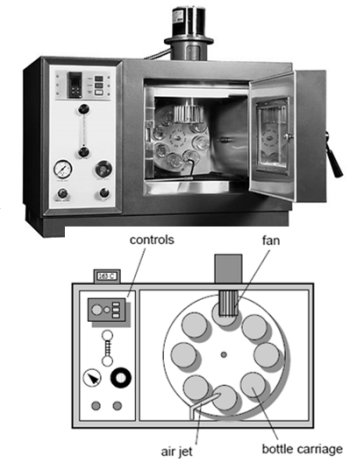
Dönel viskozite (Brookfield viskozite) Deneyi

- Dönel viskozite deneyi, bitümlü bağlayıcının, sıcak karışım tesisinde, hangi derecede pompalanabilirlik ve işlenebilirliğe sahip olduğunun tespitine yönelik olarak akış karakteristiklerinin belirlenmesinde kullanılır.

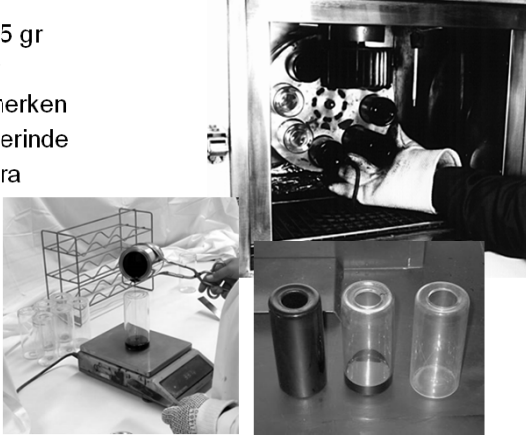


Döner ince film halinde ısıtma deneyi (RTFOT)

- Deney ile, bitümlü bağlayıcıların depolanma, plente aktarılma, plente karıştırılma, taşınma, serilme ve sıkıştırılma işlemleri sırasında kısa dönemli yaşlanma özellikleri belirlenmektedir.
- RTFO deneyi dairesel, dikey ve kendi ekseninde dönen 8 adet numune şişelerin üzerine takılabildiği bir taşıyıcıya sahip etüv içerisinde yapılır.



- Her birinin içerisine 35 gr bitüm konulan şişeler taşıyıcı ile birlikte dönerken en alt konuma geldiklerinde hava üfleyici parça sıra ile her bir şişenin içerisine hava püskürtülerek numuneler 163°C sıcaklıkta 85 dakika süre ile yaşlandırılır.

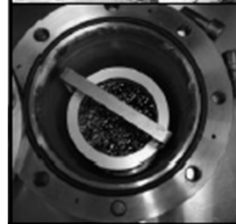


Basınçla yaşlandırma deneyi (PAV)

- Superpave bağlayıcı şartnamesi bitümlerin orta ve düşük sıcaklıklarda yorulma çatlakları ve termal çatlaklara karşı dayanımlarını belirlemek için bitümlerin uzun dönemli yaşlandırılmasını zorunlu kılmaktadır.
- Uzun dönemde görülen böyle bir yaşlanma daha ziyade bitümün oksidasyonu nedeniyle ortaya çıkmaktadır.



- Superpave Bağlayıcı Şartnamesinde uzun dönemli yaşlandırma Basınçlı Yaşlandırma Kabı (Pressure Ageing Vessel, PAV) ile yapılmakta olup, bu şekilde bitümde uzun dönemde ortaya çıkan fiziksel ve kimyasal değişiklikler temsil edilmektedir.



- Denejde, RTFOT deneyinden çıkan numuneler her birine 50g olacak şekilde numune kaplarına konur.
- Numune kapları 10 adet numune kabı alabilen raflı numune taşıyıcıya yerleştirildikten sonra basınçlı yaşlandırma kabına alınarak 2070 kPa basınç altında bitümlü bağlayıcının belirlenen yüksek sıcaklık performansına bağlı olarak 90°C ,100°C veya 110°C' de 20 saat süre ile yaşlandırılır.



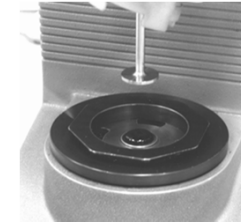
Böylece kaplamanın yapım ve hizmet sırasında karşılaşıacağı çevresel koşullar temsil edilmiş olmaktadır.

Dinamik Kesme Reometresi (DSR)

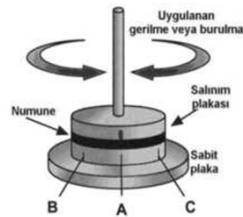
- Dinamik Kesme Reometresi Deneyi (The Dynamic Shear Rheometer, DSR) belli bir sıcaklık ve kesme gerilmesi altında bitümün visko-elastik davranışını belirlemek için yapılan bir deneydir.
- DSR deneyi ile, bitümlü bağlayıcının sıcaklık ve yük altında yorulma ve kalıcı deformasyona karşı direncini tespit edilerek yüksek sıcaklık performans sınırı belirlenmektedir.



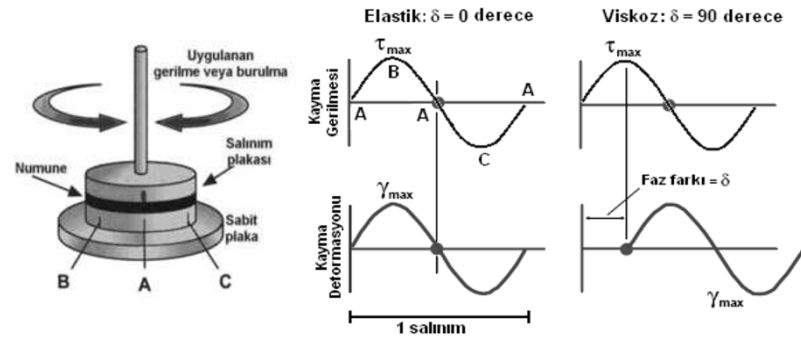
- Deney numunesi biri hareketli (sağa sola salınım yapan) olmak üzere iki disk arasında yerleştirilir. Numunenin, hareketli disk tarafından uygulanan salınımda (osilasyonlu) kesme kuvvetine karşı gösterdiği reolojik özellikler belirlenir.



- DSR deneyinde bitüm numunesinin kompleks kayma modülü (G^*) ve faz açısı (δ) ölçülmektedir.
- Kompleks kayma modülü (G^*) malzemenin sürekli tekrar eden kesme gerilmelerine tabi tutulmasıyla deformasyona karşı gösterdiği toplam direncin bir ölçüsüdür.
- Faz açısı (δ) ise uygulanan kesme gerilmesi ile meydana gelen kesme deformasyonu arasındaki gecikme olup, viskoz ve elastik deformasyonun bağlı miktarlarının göstergesidir.

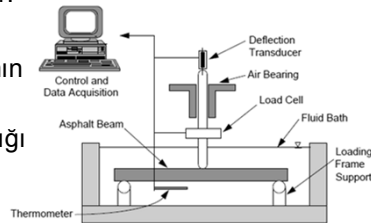


- Numuneye uygulanan salınımda kesme kuvvetinin frekansı saniyede 10 radyan (1,59 Hz) olup, bu yaklaşık 90 km/saat hızdaki trafik altında meydana gelen deformasyonları temsil etmektedir.

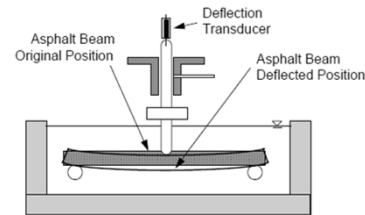
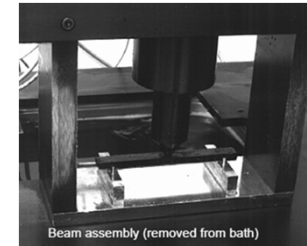
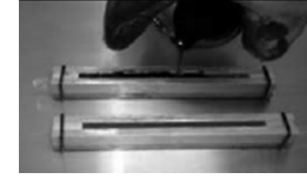
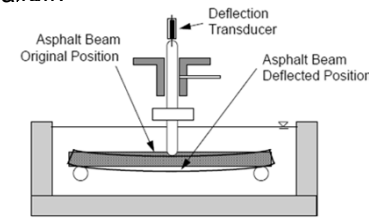


Kiriş Eğme Reometresi (BBR)

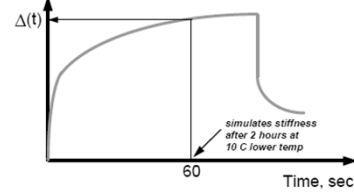
- Kiriş Eğme Reometresi (BBR) deneyi bitümlü bağlayıcının rijitlik ve sünme özelliklerinin belirlenmesinde kullanılır.
- Bu parametreler bitümlü bağlayıcının düşük sıcaklık çatlama karşı dayanımının bir ölçüsü olarak kullanılır.
- Diğer Superpave deneylerinde olduğu gibi bu deneyde de bitümlü bağlayıcının uygulanacağı bölgedeki tahmin edilen gerçek sıcaklık değerleri deney sıcaklığı olarak kullanılır.



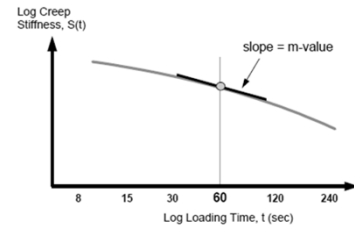
- Deney, bitümün termal çatlak oluşumuna karşı direncini ölçmeye yönelik olduğundan negatif sıcaklıklarda gerçekleştirilir.
- 60 saniye sonunda sünme sertliği $S(t) < 300$ MPa ve m-değeri > 0.300 olmalıdır.



Deflection

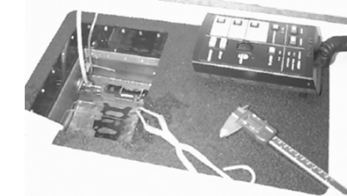


- Deneyde, belirli boyutlarda hazırlanan bitüm kirişi numunesine bilgisayar kontrollü olarak 4 dakika boyunca sabit yük uygulanarak zaman-deformasyon ile zaman-sünme sertliği grafikleri çizilir.

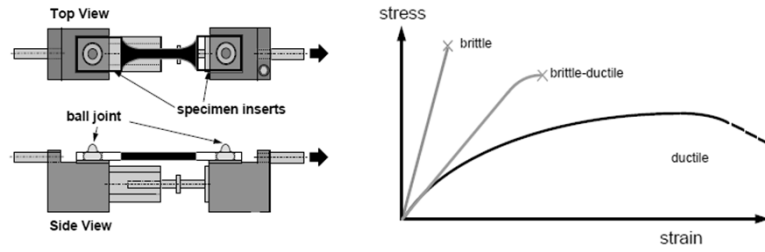


Doğrudan çekme deneyi (Direct Tension Tester DTT):

- Yapılan araştırmalar, asfaltın düşük sıcaklıklardaki sertliği ile kopma anından önceki uzama oranı arasında bir ilişki olduğunu göstermiştir.
- Kopma anından önceki uzaması nispeten fazla olan asfaltlar sünek (düktil), fazla uzamadan kopanlar ise gevrek (kırılgan) olarak nitelendirilirler.
- BBR deneyi ile ölçülen sertlik, asfaltın zayıflama anından önceki çekmeye karşı kapasitesini belirleyebilmekte yeterli değildir.



- Örneğin, bazı asfaltlar yüksek sünme sertliğine sahip olsa bile çok fazla miktarda çekilebilirler. Bu yüzden SHRP araştırmacıları, bu tür sert fakat duktıl asfaltlar için bir deney geliştirmişlerdir.
- Bu deneyde RTFO yada PAV deneyleriyle yaşlandırılmış numuneler kullanılır.



- Kemik formu verilmiş asfalt numunesi, düşük sıcaklıklarda iki uçundan zayıflama anına kadar çekilir.
- Bilgisayar tarafından hazırlanan gerilme uzama grafiğinde gerilme eğrisinin tepe noktası uzama oranı için kritik noktadır

