

# KARAYOLU ESNEK ÜSTYAPI TASARIMINDA YENİ BİR YÖNTEM: YÜKSEK PERFORMANSLI ASFALT KAPLAMA

**Ebru ARIKAN ÖZTÜRK ve M. Kürşat ÇUBUK\***

Trafik Planlaması ve Uygulaması Anabilim Dalı, Fen Bil. Enst., Gazi Üniversitesi, Maltepe 06570, Ankara,  
[cozturk@gazi.edu.tr](mailto:cozturk@gazi.edu.tr)

\*İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Maltepe 06570 Ankara,  
[ckursat@gazi.edu.tr](mailto:ckursat@gazi.edu.tr)

## ÖZET

Türkiye’de ve bir çok ülkede, bitümlü karışım tasarımında Marshall tasarım yöntemi kullanılmaktadır. Ancak bu yöntemde, karışıma uygulanan sıkıştırma tekniği (tokmaklama) uygulamadaki silindir sıkıştırmasını tam olarak temsil edememekte, yöresel iklim koşulları ve sıcaklık değişimleri gerektiği ölçüde dikkate alınmadığı için üstyapı beklenen performansta hizmet verememektedir. Marshall tasarım yöntemi ile yapılan karışımlar, trafik yükünün hafif olduğu 1960’lı yıllara kadar iyi sonuç vermiş, ancak daha sonra trafik yükünün artmasıyla, yapısal olarak sağlam olan yollarda bile tekerlek izi teşekkülü (oluklanma) meydana gelmeye başlamıştır. Bitümlü karışımların performanslarını artırmak üzere, Amerika Birleşik Devletleri (A.B.D.) ve Fransa başta olmak üzere İngiltere, Avusturya, Avustralya, Norveç ve Finlandiya’da değişik metotlar üzerine çalışmalar başlatılmış ve yapılan bu çalışmaları takiben A.B.D’de, Stratejik Karayolu Araştırma Programı uygulamaya konmuştur. Bu programda, yoğurmalı preste gerçekleştirilen ve Yüksek Performanslı Asfalt Kaplama adı verilen yeni bir karışım tasarımı geliştirilmiştir. Bu çalışmada, Yüksek Performanslı Asfalt Kaplama karışım tasarımı yöntemi incelenmekte ve sistemin Marshall tasarım yöntemi ile karşılaştırması yapılmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Yüksek performanslı asfalt kaplama, Marshall karışım tasarımı.

## A NEW METHOD FOR HIGHWAY FLEXIBLE PAVEMENT MIX DESIGN: SUPERPAVE

### ABSTRACT

Marshall method is widely used for bituminous mixture design in many countries including Turkey. However, Marshall method cannot fully emulate the compaction process, carried out by rollers in field, through hammering. Besides, since local climatic conditions and temperature changes are not considered thoroughly, pavements designed by this method exhibit inferior performance than expected. Pavements constructed utilizing by Marshall method performed well during 1960’s when traffic loads were light, however, with increasing traffic loads the problem of rutting was detected even on structurally sufficient pavements. In order to improve performance of bituminous mixtures, several studies were initiated in different countries such as the United States, (US), France, United Kingdom (UK), Austria, Australia, Norway and Finland. Strategic Highway Research Program completed in the US, yielded a new method for bituminous mixture design called SUPERPAVE (SUPERior PERforming Asphalt PAVEMENTS) in which compaction process was emulated by a gyratory compactor. In this study, SUPERPAVE method was investigated and comparisons with Marshall Method were provided.

**Keywords:** Superior Performing Asphalt Pavements SUPERPAVE, Marshall mix-design method.

### 1. GİRİŞ

1960’lerde petrol rafinerilerinin artmasıyla asfalt kaplama endüstrisinin gelişmeye başlaması, asfalt üstyapı karışım sistemleri hakkında çalışmaların

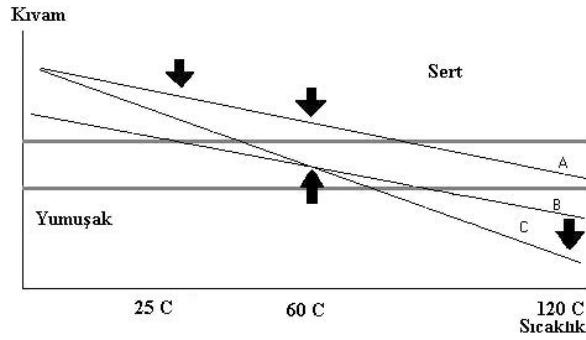
başlamasına neden olmuş ve bu karışım tasarımları geliştirilerek gün geçtikçe kullanımları yaygınlaşmıştır.

Karışımın silindirler altındaki sıkışmasını en iyi

temsil edecek metodun belirlenmesi için ilk çalışmalar 1950'li yıllarda A.B.D'nde başlamış ve ilk yağurmalı pres imal edilmiştir. Bu çalışmalardan yola çıkarak, Fransa'da 1958-1968 yıllarında birkaç prototip yağurmalı pres yapılmıştır. 1972 yılında A.B.D'de U.S Army Engineers Waterways Experimentation Station tarafından, "Gyratory Compactor" adı verilen bir yağurmalı pres geliştirilmiş aynı yıl Fransa'da "Presse a Cisaillement Giratoire" PC'nin seri üretimine başlanmıştır.

### 1.1. Asfaltın Davranışları

Türkiye'de halen kullanılan bitüm sınıflandırma sisteminde, bitümün penetrasyon değerleri esas alınmaktadır. Penetrasyon deneyi bütün asfaltlar için 25°C'de yapılmaktadır. Şekil 1.1'de, üç adet asfalt numunesinin farklı sıcaklıklardaki kıvamları gösterilmektedir [1].



Şekil 1.1. Asfaltın farklı sıcaklıklardaki kıvamı [1]

Şekil 1.1'de görüldüğü gibi, 25°C'de her üç numune sert olarak nitelendirilecek bir kıvamdadır. Değişen sıcaklık şartlarında A ve B asfaltları birbirine benzer bir farklılık gösterirken, C asfaltı sıcaklığın etkisiyle A ve B asfaltlarına oranla daha hızlı yumuşama göstermektedir. 60 °C'de penetrasyonları aynı olan B ve C asfaltlarından C asfaltı, düşük sıcaklıklarda B'den daha sert iken, yüksek sıcaklıklarda B'den daha yumuşaktır.

Asfalt sınıfları penetrasyon değerine göre aynı olsa da, farklı sıcaklıklardaki davranışları farklı olmaktadır. Kullanılan geleneksel yöntemde, bağlayıcının sıcaklık şartlarına bağlı olarak farklı davranışlar gösterebileceği gözardı edilmektedir.

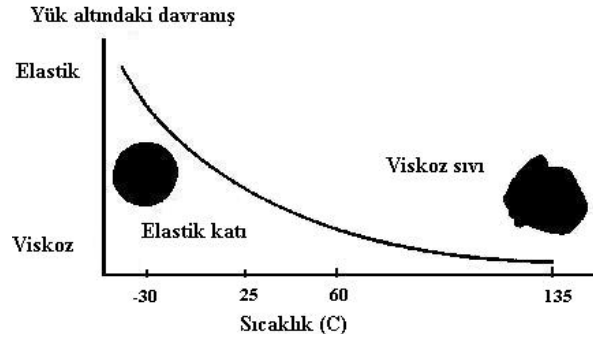
Asfaltın davranışı, maruz kaldığı sıcaklık ve yük/yükleme hızına göre değişiklik gösterir. Yavaş yüklemenin (yavaş hareket eden veya duran trafik yükleri) yapacağı etkiyi yüksek sıcaklıklardaki davranışla, hızlı yüklemeyi ise düşük sıcaklıklardaki davranışla temsil etmek mümkündür. Şekil 1.2'de görüldüğü gibi, asfalt çimentosundaki 60°C'de 1 saatlik akış miktarı ile 25°C'deki 10 saatlik akış miktarı birbirine eşdeğerdir [1-3].

Asfalt viskoelastik bir malzemedir. Yani hem akıcı,

hem de elastik (yüklemeden sonra eski şeklini alabilen) davranış gösterebilir. Düşük sıcaklıklarda elastik özelliklere sahip olan asfalt, yüksek sıcaklıklarda viskoz bir sıvı haline gelmektedir [2] (Şekil 1.3).



Şekil 1.2. Asfaltın zaman ve sıcaklığa göre davranışı [2]



Şekil 1.3. Asfaltın sıcaklığa göre yük altındaki

**Yüksek sıcaklıklarda asfaltın davranışı:** Çöl iklimi gibi sıcak koşullarda ya da yavaş hareket eden veya park halindeki yüklerin sebep olduğu sürekli ve değişmeyen yükler altındaki yollarda, asfalt çimentosu kıvamlı bir sıvı gibi davranır. Sıcak asfalt gibi viskoz sıvılar, akmaya başladıklarında, soğuma olsa bile eski durumlarına gelemedikleri için plastik olarak nitelendirilirler. Tekrar eden tekerlek yükleri nedeniyle bazı sıcak karışım asfalt kaplamalar, tekerlek izlerinin oluştuğu kesimlerde akarlar. Bununla birlikte sıcak havalarda üstyapıda oluşan tekerlek izi, agrega özellikleri ile de yakından ilgilidir [1,2].

**Düşük sıcaklıklarda asfaltın davranışı:** Soğuk iklim koşullarında ya da hızlı hareket eden trafik yükleri altında asfalt çimentosu elastik katı bir davranış gösterir. Ancak, asfalt çimentosu düşük sıcaklıklarda elastik katı davranış sergilese de, aşırı yüklendiğinde kırılabilir veya çatlayabilir. Asfalt kaplamalarda soğuk havalarda ısı çatlakları görülür. Bu duruma, düşük ısı nedeniyle kaplama yüzeyinin büzülme çalışmasının ortaya çıkardığı gerilmeler neden olur [1,2].

**Orta sıcaklıklarda asfaltın davranışı:** Pek çok çevre koşulları aşırı sıcaklar ile aşırı soğuklar arasındadır. Bu tür iklime sahip bölgelerde asfalt, hem kıvamlı sıvı

hem de elastik katı özellikler sergiler. Asfalt ısıtıldığında, düzgün ve boşluğu az bir yüzey elde edebilecek şekilde karıştırmaya, agrega yüzeyinin bitümle kaplanmasına ve sıkıştırmaya imkan tanıyan bir kayganlaştırıcı gibi davranır. Soğuduğunda ise agregayı bir arada tutan bir yapıştırıcı gibidir. Bu nedenle asfaltın davranışı viskoelastik olarak değerlendirilir. Yani sıcaklık ve yük/yüklemeye hızına bağlı olarak hem elastik hem de viskoz özellikler taşır [1,2].

*Asfaltın yaşlanma davranışı:* Organik moleküllerden oluşması nedeniyle asfalt çimentosu oksijenle reaksiyona girer. Bu reaksiyon oksidasyon olarak adlandırılır. Oksidasyon, asfalt moleküllerinin yapısını ve kompozisyonunu değiştirir, asfalt çimentosunun daha kırılgan olmasını sağlar ve yaşlanmadan kaynaklanan sertleşme sürecini başlatır. Sıcak iklim koşullarında hızlansa da, oksidasyon sertleşmesi asfalt üstyapılarda yavaş gelişen bir olaydır. Hatalı sıkıştırma işlemi uygulanmış üstyapılarda erken oksidasyon sertleşmeleri görülebilir. Böyle bir durumda yetersiz sıkıştırma, karışım içerisinde birbiriyle bağlantılı olan yüksek oranda hava boşlukları kalmasına neden olur. Havanın karışım içine daha fazla nüfuz etmesiyle de daha yüksek oranda oksidasyon sertleşmesi meydana gelir [1,2].

Uygulamada, asfalt kaplama yapıldıktan sonra önemli miktarda oksidasyon sertleşmesi meydana gelir. Sıcak karışım tesisinde asfalt, sıcak agregayla karıştırılır ve karışım bir süre yüksek sıcaklıkta kalır. Bu aşamada agrega etrafında bir film tabakası oluşturan asfaltta hızlı bir oksidasyon reaksiyonu ortaya çıkar. Bu durum “kısa süreli yaşlanma” olarak ifade edilir. Oksidasyon sertleşmesi su ve hava nedeniyle üstyapının ömrü boyunca devam eder. Bu durum da “uzun süreli yaşlanma” olarak ifade edilir. Daha sıcak iklimlerde ya da iklimin sıcak olduğu dönemlerde bu yaşlanma hızlanır [1].

Sertleşmenin diğer şekilleri buharlaşma ve fiziksel katılaşmadır. Buharlaşma, karışımın hazırlanması ve serilmesi sırasında oluşur ve uçucu asfalt bileşenlerinin asfalttan ayrılması şeklinde olur. Fiziksel katılaşma ise, asfalt çimentosunun uzun süre düşük sıcaklıklara maruz kalması ile ortaya çıkar. Fiziksel katılaşma daha çok 0°C'nin altındaki sıcaklıklarda meydana gelir [1].

## 2. NEDEN YÜKSEK PERFORMANSLI ASFALT KAPLAMA (SUPERPAVE)?

Marshall karışım yönteminde öncelikle karışımı oluşturan agrega ve bitümün fiziksel özellikleri tayin edilir. Karışımında kullanılacak agrega granülometrisi ve bitüm yüzdesi tespitinden sonra, çeşitli karışımlar yapılarak en uygun agrega gradasyonu ve bitüm yüzdesi belirlenir. Marshall yönteminin amaçlanan, sağlam (durabil) bir üstyapı elde etmek, trafik yükleri

altında deformasyon göstermeyecek bir karışım stabilitesi oluşturmak, sıkıştırılmış karışımında kusma, akma ve stabilite düşüklüğü olmaksızın çok az miktardaki sıkışmaya imkan verecek, ancak karışım içinde rutubet ve fazla hava barındırmayacak ölçüdeki boşluğu sağlamak ve segregasyona uğramaksızın uygun serimi ve işlenebilirliği sağlayacak bir karışım oluşturmaktır [4].

Ancak Marshall tasarım yönteminde, asfaltın sıcaklık ve yüklemeye şartlarına bağlı olarak gösterebileceği farklı davranışlar gözardı edilmektedir [4]. Bu yöntemde, viskozite, akışın esas ölçüsü olmasına rağmen, sadece yüksek sıcaklıklardaki viskoz davranış ile ilgili bilgi verilmektedir (standart deney sıcaklıkları 60 °C ile 135 °C arasındadır). Bununla birlikte, penetrasyon deneyi de sadece 25 °C sıcaklıktaki kıvamı belirtmekte, düşük sıcaklıklardaki elastik davranış bu verilerden gerçekçi olarak belirlenmemektedir. Dolayısıyla kaplamanın hizmet vereceği yerdeki iklim koşullarının deney koşulları ile aynı olmaması çelişki yaratmaktadır. Ayrıca bu yöntemde, asfaltın rafineriden çıkışından yol üstyapısındaki yerini alıncaya kadar geçen süre içerisinde maruz kaldığı aktarma, pompalama, taşıma, ısıtma, plentte karıştırma ve serme-sıkıştırma işlemleri sırasındaki oksidasyon sertleşmesi dikkate alınmamaktadır.

Yüksek Performanslı Asfalt Kaplama (SUPERPAVE) karışım tasarım yönteminde ise, asfaltlar, farklı sıcaklık koşullarında gösterdikleri performanslara göre sınıflandırılmışlardır. Bu tür asfaltlara Performans Sınıfı (Performance Grade) asfalt adı verilmiş ve PG simgesi ile tanımlanmıştır. Bununla beraber, Yüksek Performanslı Asfalt Kaplama (SUPERPAVE) sistemi, asfaltın rafineriden çıkışından kaplama olarak hizmet verinceye kadar geçen süre içerisindeki oksidasyon yaşlanmasını dikkate almakta ve asfalt deneylerinde bu durum simüle edilmektedir.

## 3. YÜKSEK PERFORMANSLI ASFALT KAPLAMA (SUPERPAVE) BAĞLAYICI ŞARTNAMESİ

1987 yılında, Stratejik Karayolu Araştırma Programı (SHRP) çerçevesinde, asfaltın fiziksel davranışlarının ölçülmesi ile ilgili yeni deneylerin geliştirilmesine başlanmış ve yeni bir seri deney ekipmanını içeren bir *Yüksek Performanslı Asfalt Kaplama (SUPERPAVE) Bağlayıcı Şartnamesi* hazırlanmıştır. Şartname AASHTO ve ASTM standartlarına göre değerlendirilmektedir.

### 3.1. Yüksek Performanslı Asfalt Kaplama (SUPERPAVE) Asfalt Deneyleri

Yüksek Performanslı Asfalt Kaplama (SUPERPAVE) asfalt deneyleri, malzemenin doğrudan arazi

şartlarındaki performansı ile ilgili özelliklerini ölçmektedir. Bu deneyler asfaltın; yaşlanma, işlenebilirlik, oluklanma, yorulma ve termal etkilere karşı performanslarının belirlendiği bir seri deneyler grubudur. Tablo 3.1 ve 3.2’de bu deneylerin listesi, kullanım amaçları ve deneyle ilgili performans özellikleri gösterilmektedir [1-3].

**Tablo 3.1.** Yüksek performanslı asfalt kaplama (SUPERPAVE) bağlayıcı deneyleri [1, 2]

Deney	Kullanım Amacı
Döner ince film deneyi (RTFO)	Bağlayıcının oksidasyonunu (yaşlanmasını) ya da sertleşmeyi simüle eder.
Basınçlı oksidasyon deneyi (PAV)	
Dinamik kesme deneyi (DSR)	Orta ve yüksek sıcaklıklarda bağlayıcı özelliklerini ölçer.
Dönel viskozite deneyi (RV)	Yüksek sıcaklıklarda bağlayıcı özelliklerini ölçer.
Eğilme deneyi (BBR)	Düşük sıcaklıklarda bağlayıcı özelliğini ölçer.
Doğrudan çekme deneyi (DTT)	

**Tablo 3.2.** Yüksek performanslı asfalt kaplama (SUPERPAVE) bağlayıcı deneyleri performans özellikleri [1]

Deney Adı	Performans Özelliği	
Dönel Viskozite Deneyi	İşlenebilirlik ve Pompalanabilirlik	Akma
Dinamik Kesme Deneyi	Kalıcı Deformasyonlar	Oluklanma
	Yorulma Çatlakları	Yapısal Çatlak
Eğilme Deneyi	Termal Çatlamalar	Düşük Isı Çatlağı
Doğrudan Çekme Deneyi		

Yüksek Performanslı Asfalt Kaplama (SUPERPAVE) bağlayıcı şartnamesinin en önemli özelliği, asfaltın ömrü boyunca karşı karşıya kalacağı üç kritik durumun deneylerle simüle edilmiş olmasıdır. Orjinal asfalt numunesi üzerinde uygulanan deneyler taşıma, depolama ve işlemeyi kapsayan ilk aşamayı temsil eder. İkinci aşama, karışım hazırlama ve serme sırasındaki asfaltı temsil eder. Döner ince film etüvünde asfalt, sıcaklık ve havaya maruz bırakılarak oksidasyonu sağlanır ve serme sırasındaki sertleşme tahmin edilir. Üçüncü aşama ise, bağlayıcının uzun süre sonundaki yaşlanmasıdır. Bu durum da, basınçlı oksidasyon deneyi ile simüle edilmektedir.

**Döner ince film deneyi (Rolling Thin Film Oven RTFO):** Asfalt bağlayıcılar iki değişik faktörden dolayı yaşlanırlar. Bunlardan biri asfalt içindeki hafif yağların buharlaşması, diğeri ise havadaki oksijen ile reaksiyon neticesinde oluşan oksidasyondur. Plentte ve serim esnasındaki harmanlama ve karıştırma işlemi sırasında, yüksek sıcaklık ve hava akışı olması nedenleriyle, her iki olay da meydana gelir ve asfaltın yaşlanmasına katkıda bulunur. Yüksek Performanslı Asfalt Kaplama (SUPERPAVE) şartnamesi, bu olayı

temsil eden döner ince film deneyini gerekli görür. Deneyin amacı, oksidasyon sonrasında buharlaşan kütle kaybını belirlemek ve daha sonra yapılacak diğer performans deneyleri için yaşlanmış numune elde etmektir [1-3].

**Basınçlı oksidasyon deneyi (Pressure Aging Vessel PAV):** Bu deneyde, uzun süreli yaşlanmayı temsil etmek üzere, asfalt numunesi bir basınç kabına konarak etüvde 20 saat süreyle sıcaklık ve basınç etkisinde bırakılır. Deneyde kullanılacak asfalt, döner ince film deneyinde kullanılmış olan asfalt numunesi olacaktır. Böylece kaplamanın inşaat ve hizmet sırasında karşılaşılabilecek çevresel koşullar deneylere yansıtılmış olur [1-3].

**Dinamik kesme deneyi (Dynamic Shear Rheometer DSR):** Bu deney, asfaltın sıcaklık ve yük altında yorulma ve oluklanmaya karşı direncini tespit etmek amacıyla geliştirilmiştir. Deneyde asfalt numunesi biri hareketli (sağa sola salınım yapan) olmak üzere iki disk arasına yerleştirilir. Numunenin, hareketli disk tarafından uygulanan salınımların tekrarı ile oluşan burulma kuvvetine karşı mukavemeti bilgisayar yardımı ile hesaplanır [1-3].

**Dönel viskozite deneyi (Rotational Viscometer RV):** Dönel viskozite deneyi, asfaltın sıcak karışım tesisinde, hangi derecede pompalanabilirlik ve işlenebilirliğe sahip olduğunun tespiti için akış karakteristiklerinin belirlenmesinde kullanılır. Dönel viskozite; silindirik bir çubuğun sabit bir sıcaklıkta, asfalt numunesi içinde kendi etrafında dönüş hızını sabit tutacak burulma kuvvetinin ölçülmesi ile belirlenir. Bu deney, asfaltın pompalanıp agrega ile karıştırılacak kıvamda olup olmadığını anlamak amacıyla, orjinal haldeki asfaltlara uygulanır. Ayrıca viskometre, karışım tasarımında kullanılacak karıştırma ve sıkıştırma sıcaklığının tahmininde kullanılan sıcaklık-viskozite tablosunun hazırlanmasında da önemli bir görev üstlenir [1-3].

**Eğilme deneyi (Bending Beam Rheometer BBR):** Asfalt, düşük sıcaklıklarda DSR ile alınacak sonuçlara güvenilmeyecek kadar sertleşir. Bu nedenle, asfaltı düşük sıcaklıklarda gözlemek üzere SHRP tarafından eğilme reometresi geliştirilmiştir. Deney genellikle sıfırın altındaki sıcaklıklarda gerçekleştirilir ve sabit yük uygulanan kiriş şeklindeki asfalt bir çubuğun, bu yük altında zaman içindeki sehim izlenir. Deney sıcaklığı, asfaltın servis durumundaki karşılaşılabilecek en düşük sıcaklığa göre değişir. Bu deneyde RTFO ve PAV deneyleri ile yaşlandırılmış numuneler kullanılır. Böylece servis durumundaki veya karışım ve serme sırasındaki asfalt deneyde temsil edilmiş olur. Deney bilgisayar kontrollü yapılır ve yine bilgisayar tarafından anlık zaman-deformasyon ile zaman-sünme sertliği grafikleri çizilerek 60 sn sonundaki sünme sertliği “S” ve sünme oranı “m” hesaplanır [1-3].

**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 anlatabilmekte yeterli değildir. Örneğin, bazı asfaltlar yüksek sünme sertliğine sahip olsa bile çok fazla miktarda çekilebilirler. Bu yüzden SHRP araştırmacıları, bu tür sert fakat düktil asfaltlar için bir deney geliştirmişlerdir. Bu deneyde RTFO yada PAV deneyleriyle yaşlandırılmış numuneler kullanılır. Kemik formu verilmiş asfalt numunesi, düşük sıcaklıklarda iki ucundan zayıflama anına kadar çekilir. Bilgisayar tarafından hazırlanan gerilme-uzama grafiğinde gerilme eğrisinin tepe noktası uzama oranı için kritik noktadır [1-3].

### 3.2. PG Asfalt Sınıflandırması

Yüksek Performanslı Asfalt Kaplama (SUPERPAVE) yönteminde asfaltlar, sıcaklık koşullarında gösterdikleri performanslara göre sınıflandırılmıştır. Bu nedenle bu tür asfaltlara “Performans Sınıfı (Performance Grade)” asfalt adı verilmiş ve PG simgesi ile tanımlanmıştır. Sistemde, asfaltın tanımlanması için yapılan deneylerde asfalttan beklenen özellikler aynıdır. Ancak bu özelliklerin beklendiği sıcaklıklar farklılık gösterir. Yani, performans sınıfı asfaltlarda fiziksel özellikler sabit kalır ancak, bu özelliklerin elde edileceği sıcaklıklar asfaltın kullanılacağı yerdeki iklim şartlarına göre farklılık gösterir. Örneğin PG 64-22 olarak adlandırılan bir asfaltta; 64°C ve -22°C’lerde beklenen performans, PG 46-40 asfaltı için 46°C ve -40°C’lerde beklenir. PG simgesini takip eden rakamlar, asfaltın hizmet vereceği yerdeki en yüksek ve en düşük hava sıcaklıkları ile ilgilidir. Tablo 3.3’de performans sınıfı asfaltlar ve uygulanacak deneyler gösterilmektedir.

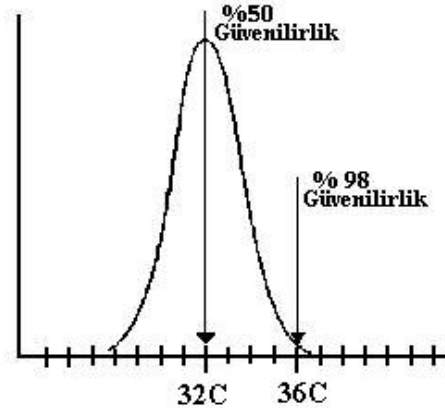
Ancak şartname, şekilde gösterilen sıcaklıklarla sınırlandırılmamıştır ve iki yöne doğru genişleyebilir. Gerek duyuldukça en yüksek ve en düşük sıcaklıklar altışar derecelik artışlarla uzatılabilir [5]. Yani, PG 58-10 gösterilmemiş olmasına rağmen sistem içinde yer alır. Yüksek Performanslı Asfalt Kaplama (SUPERPAVE) yönteminde asfalt cinsinin belirlenmesinde, geniş bir meteorolojik veri tabanını kullanan ve istatistik kabullerle tahmin yapan bir yazılım kullanılmaktadır.

#### 3.2.1. PG sınıfı asfalt seçim kriterleri

**Meteorolojik veri tabanı:** Yüksek Performanslı Asfalt Kaplama (SUPERPAVE) yönteminde, asfalt sınıfı seçiminde meteorolojik veri tabanının önemi

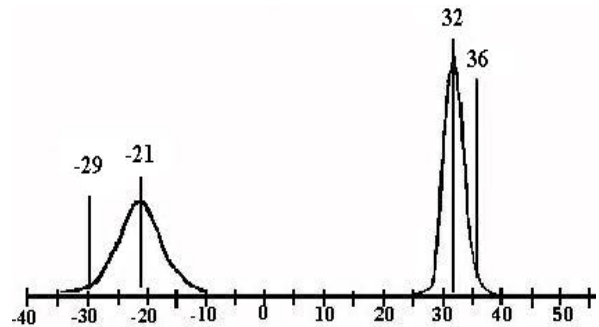
büyükür. Meteorolojik veri tabanı oluşturmak üzere, meteoroloji istasyonlarında her yıl en yüksek 7 günlük sıcaklık periyodu ve en düşük bir günlük sıcaklık tespit edilir ve o istasyona ait ortalamalar ve standart sapmalar hem en yüksek 7 günlük periyot, hem de en düşük bir günlük sıcaklık için hesaplanır. Bu hesaplamalarda 20 yıldan az veriye sahip istasyonlar dikkate alınmaz [1,5].

**Güvenilirlik:** Güvenilirlik, bir yıl içerisinde aktüel sıcaklığın proje sıcaklığını geçmeme ihtimali olarak tanımlanmaktadır. Düşük ve yüksek sıcaklıkların seçiminde SHRP çok esnek bir özelliğe sahiptir. Örneğin, ortalama 7 günlük en yüksek sıcaklığı 32°C ve standart sapmanın 2°C olduğu bir bölgede, sıcaklıkların frekans dağılımı Şekil 3.1’deki gibi olur. Bu dağılıma göre bir yıl içinde sıcaklığın 32°C’yi aşma ihtimali %50’dir. Sıcaklığın 36°C’yi aşma ihtimali ise %2 olarak görülmektedir. Yani güvenilirlik %98 dir [1,5].



Şekil 3.1. Güvenilirlik [1, 5]

**Hava sıcaklığının seçimi:** Aynı örneğe devam edecek olursak, Şekil 3.2’de iki tasarım hava sıcaklığının istatistiksel değişimi görülmektedir. Normal bir yaz döneminde, ortalama 7 günlük en yüksek hava sıcaklığı 32°C’dir. Çok sıcak geçen bir yazda bu ortalama 36°C’ye ulaşabilir. Benzer bir yaklaşım kış şartları için de uygulanırsa, 4°C’lik bir standart sapma ile bölgenin -21°C’lik bir ortalama en düşük sıcaklığa maruz olduğu görülür. Sonuç olarak, ortalama bir kış mevsiminde en düşük sıcaklık -21°C’dir ve çok sert bir kış için bu değer -29°C olabilir [1,5].



Şekil 3.2. Hava sıcaklıklarının seçimi [1,5]

**Tablo 3.3.** Performans sınıflı asfaltlar ve uygulanacak deneyler [1, 3]

Ort. 7 günlük maks. sıcaklık	PG 46				PG 52				PG 58				PG 64				PG 70				PG 76				PG 82							
	-34	-40	-46	-10	-16	-22	-28	-34	-40	-46	-16	-22	-28	-34	-40	-10	-16	-22	-28	-34	-40	-10	-16	-22	-28	-34	-40	-10	-16	-22	-28	-34
1 günlük min. sıcaklık	-34	-40	-46	-10	-16	-22	-28	-34	-40	-46	-16	-22	-28	-34	-40	-10	-16	-22	-28	-34	-40	-10	-16	-22	-28	-34	-40	-10	-16	-22	-28	-34
ORJINAL BİTÜME UYGULANACAK DENEYLER VE DENEY SICAKLIKLARI																																
Parlama Noktası Deneyi (FP)																																
≥ 230 C																																
≤ 3Pa.sn (135 Cde)	Dönel Viskozite Deneyi (RV)																															
Dinamik Kayma Deneyi (DSR)G*/sin δ																																
≥ 1,00 kPa	46 C	52 C	58 C	64 C	70 C	76 C	82 C																									
RTFO İLE YAŞLANDIRILMIŞ BİTÜME UYGULANACAK DENEYLER VE DENEY SICAKLIKLARI (Kütle kaybı≤%1,00)																																
Dinamik Kayma Deneyi (DSR)G*/sin δ																																
> 2,20 kPa	46 C	52 C	58 C	64 C	70 C	76 C	82 C																									
PAV İLE YAŞLANDIRILMIŞ BİTÜME UYGULANACAK DENEYLER VE DENEY SICAKLIKLARI																																
2,07 kPa basınçta 20 saat	90 C	100 C	100 C	100 C	100 (110) C	100 (110) C	100 (110) C																									
≤5000 kPa	Dinamik Kayma Deneyi (DSR)G*/sin δ ort.sıcaklık=4+(7günlük maks. + 1 günlük min.)																															
S ≤ 300Mpa m≥ 0,300	10	7	4	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	38		
	-24	-30	-36	0	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	0	-6	-12	-18	-24	
Eğilme Deneyi (BBR) S ve m değerlerinin tespiti için																																
Sonucu kaydet	Eğilme Deneyi (BBR) fiziksel sertleşme için																															
≥ %1,00	Doğrudan Çekme Deneyi (DT)																															
-24	-30	-36	0	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	0	-6	-12	-18	-24		

**Hava sıcaklıklarının kaplama sıcaklıklarına dönüştürülmesi:** Yüksek Performanslı Asfalt Kaplama (SUPERPAVE) yazılımı, kaplama yüzeyinden 2 cm alttaki en yüksek kaplama sıcaklığını ve kaplama yüzeyindeki en düşük sıcaklığı aşağıdaki formüllerle hesaplar [1,5].

$$T_{20mm} = (T_{hava} - 0,00618E^2 + 0,2289E + 42,2) \cdot (0,9545) - 17,78 \quad (3.1)$$

$$T_{min} = 0,859T_{hava} + 1,7^{\circ}C \quad (3.2)$$

Burada;

$T_{20mm}$  : Yüzeyden 20 mm derinlikteki en yüksek kaplama sıcaklığı,

$T_{min}$  : Yüzeydeki en düşük kaplama sıcaklığı,

$T_{hava}$  :  $T_{20mm}$  için ortalama en yüksek 7 günlük hava sıcaklığı,  $T_{min}$  için ortalama en düşük 1 günlük hava sıcaklığı,

E : Projenin uygulanacağı coğrafi bölgenin derece olarak enlemidir.

Buna göre coğrafi olarak 42° enlemde bulunan bir örnek için, gerekli hesaplamalar yapıldığında;

%50 güvenilirlik için,  $T_{20mm}=52^{\circ}C$   $T_{min}=-16^{\circ}C$

%98 güvenilirlik için,  $T_{20mm}=56^{\circ}C$   $T_{min}=-24^{\circ}C$

bulunur. Hesaplanan bu değerler grafik verisi olarak alınır (Şekil 3.3).

**Sıcaklığa göre asfaltın seçimi:** En az %50 lik bir güvenilirlik elde edilen ve en az 52°C olan bir kaplama sıcaklığı, şartnamede PG 52 ile çıkarılır. Yine aynı şekilde, %50 güvenilirlikle en düşük sıcaklığa karşılık gelen asfalt PG -16 dır. Şekil 3.4'de görüleceği gibi %98 lik bir güvenilirlik elde etmek için, yüksek sıcaklık derecesi PG 58 (56°C'den yüksek sıcaklıklardan korunmak için) ve düşük sıcaklık derecesi PG -28 (-24°C'den daha düşük sıcaklıklardan korunmak için) olan asfalt sınıfını seçmek gereklidir. Her iki sıcaklığa birden cevap veren asfalt sınıfı PG58-28 dir ve %99'luk bir güvenilirliğe sahiptir [1,5].

Şunu da vurgulamak gerekir ki, doğru asfalt sınıfı seçimi yapmak toplam performansı garantilemez.

Performans, büyük ölçüde kaplamanın yapısı ve trafikten etkilenir. Kalıcı deformasyon veya tekerlek izlerinin oluşumu ise, agrega özelliklerinden doğrudan etkilenir ve karışımın kesme dayanımının bir fonksiyonudur. Düşük ısı çatlaqları ise büyük ölçüde asfaltın özellikleri ile ilgilidir. Bunun için asfalt seçiminde pek çok faktör göz önünde bulundurulmalıdır.

**Trafik hızına ve trafik sayısına göre seçim:** Asfalt seçiminde, kaplamanın hızlı hareket eden yüklere maruz kaldığı kabul edilmektedir. Yavaş hareket eden ağır trafik yüklerine maruz kaplamalar için seçilen PG grubunun bir üst grubu, duran yükler için ise iki üst grubu (yüksek sıcaklık) projede kullanılacak PG sınıfı asfalt olarak belirlenir. Asfalt sınıfının düşük sıcaklıkla ilgili değeri değişmez.

Trafik sayısı, 10.000.000 standart Eşdeğer Dingil Yüğü (EDY) tekrür sayısından fazla ise bir üst grubun (yüksek sıcaklık) seçilmesinde projeciye insiyatif kullanma hakkı verilmekle birlikte, 30.000.000'i aşan değerler için hesap sonucu bulunan grubun bir üst grubu seçilmelidir [1,2].

#### 4. YÜKSEK PERFORMANSLI ASFALT KAPLAMA (SUPERPAVE) AGREGA ŞARTNAMESİ

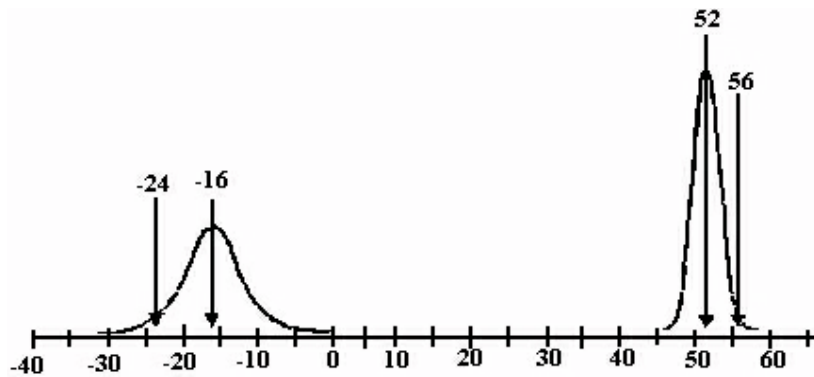
Kaplamalarda üstyapı performansına etki eden faktörlerden biri de agrega özellikleridir. Bunlar [2,8]:

- Kaba agrega kırılmışlık oranı
- İnce agrega kırılmışlık oranı
- Yassılık
- Kil içeriğidir.

Agrega kaynağı ile ilgili olan ve ocak özellikleri olarak adlandırılan diğer üç özellik ise şunlardır [2,8]:

- Aşınma
- Don kaybı
- Zararlı madde oranı

Yüksek Performanslı Asfalt Kaplama (SUPERPAVE) agrega şartnamesinde; kaba agrega kırılmışlık şartları,



Şekil 3.3. Kaplamanın en yüksek ve en düşük sıcaklıkları [1,5]

ince agrega kırılmışlık şartları, yassılık, kil içeriği, aşınma, don kaybı ve zararlı madde oranı kriterlerle belirlenmiştir.

#### 4.1. Agrega Gradasyonu

Klasik yöntemde, logaritmik yatay eksene sahip agrega gradasyon grafikleri kullanılmaktadır. Yüksek Performanslı Asfalt Kaplama (SUPERPAVE) yönteminde ise, uygun gradasyonu belirlemek için üssel kuvveti 0,45 olan gradasyon grafiği kullanılır. Grafikte düşey eksen yüzde geçen gösterir. Yatay eksen aritmetik ölçekte, elek boyutlarının 0,45 kuvvetini gösterir. Örneğin 4,75 mm elek boyutu,  $4,75^{0,45}=2,02$  olarak işaretlenir ve üzerine elek boyut 4,75 yazılır. 0,45 üssel kuvvet gradasyon grafiğinin özelliği, maksimum yoğunluk gradasyonunu göstermesidir. Maksimum agrega boyutundan başlangıç noktasına çizilen doğru, maksimum yoğunluğu veren gradasyondur [6]. Superpave agrega gradasyonunda kullanılan maksimum boyut tanımları aşağıda verilmektedir.

**Nominal Maksimum Boyut:** Malzemenin %10 dan fazlasının üstte kaldığı ilk eleğin bir üst elek boyutudur.

**Maksimum Boyut:** Nominal maksimum eleğin bir üst elek boyutudur.

Grafiğin önemli bir özelliği de, maksimum agrega boyutundan başlayıp orjine kadar inen maksimum yoğunluk hattıdır. Maksimum yoğunluk hattına yakın ve paralel olarak geçen malzemelerin içerisinde, yeterli kalınlıkta asfalt film tabakasının oluşmasına izin vermeyecek kadar az boşluk olması nedeniyle, bu tür gradasyona sahip agrega karışımlarının kullanılmasından kaçınılmaktadır [3, 6].

Grafikte önemli diğer bir unsur ise, 2,36 mm elek ile 0,3 mm elek arasındaki yasaklanmış bölgedir. Bu bölgeden geçen karışımlarda, ince kum sınıfındaki malzemenin, toplam ince malzeme içindeki oranı

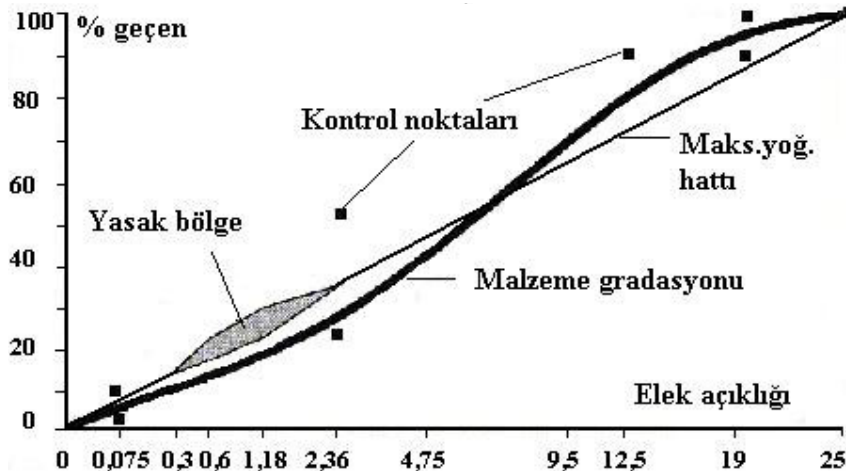
nispeten fazla olması nedeniyle, sıkıştırmada zorluk yaşanabileceği ve oluklanma meydana gelebileceği düşünülmektedir.

Tasarım gradasyonunun, yasaklanmış bölge içinde kalmamak koşuluyla, şartname sınır değerlerinin arasından geçmesi gereklidir. Yüksek Performanslı Asfalt Kaplama (SUPERPAVE), gradasyonun yasaklanmış bölgenin altından geçmesini tavsiye eder ve trafik yükleri arttığında gradasyonun kontrol noktasına yaklaşması gerektiğini ifade eder (Şekil 4.1).

#### 5. YÜKSEK PERFORMANSLI ASFALT KAPLAMA (SUPERPAVE) KARIŞIM TASARIMI

Superpave asfalt karışım tasarım yöntemi karışımın kullanılacağı bölgenin sıcaklık ve coğrafi koşullarına uygun performans sınıfı bitümlü bağlayıcının seçimi ile başlar. Kullanılacak agregaların fiziksel özelliklerinin şartnamesine uygunluğuna bakılır ve karışım gradasyonu, superpave gradasyon limitleri içinde, yasaklanmış bölge ve maksimum yoğunluk çizgisi dikkate alınarak belirlenir. Üç farklı deneme karışımı gradasyonu ile ikişer numune sıkıştırılarak ön tasarım çalışması yapılır. Bu çalışmanın sonucunda tasarım kriterlerine uygun olan karışım gradasyonu seçilerek tasarıma başlanır. Superpave karışım tasarımının önemli bir özelliği de karışımın sıkıştırılmasında yağurmalı sıkıştırıcının kullanılmasıdır. Sıkıştırma enerjisi tabakalar için sabit değildir, tabakanın yapılacağı bölgenin ortalama en yüksek hava sıcaklığına ve yolun proje trafiğine göre seçilir [6].

Numuneler yağurmalı preste yükleme yapılarak sıkıştırılır. Daha önce ifade edildiği gibi Marshall yöntemi, sıkıştırmada tokmak kullanılmasının tekerlek yüklerinin kaplamaya yaptığı yükleme şeklini yeterince yansıtmaması ve briketlerdeki agregalarda darbeler sonucu kırılmaların olması nedenleri ile bazı dezavantajlara sahiptir. Yağurmalı preste ise, numune



Şekil 4.1. Agrega gradasyon eğrisi [3]



üzerine dikey bir basınç verilirken, belli bir eğilme açısıyla koni çizecek tarzda jirasyon hareketi yapılmaktadır. Bu hareket numune içinde kayma gerilmeleri doğurarak bir “yoğurma” etkisi yaratmakta ve agregata tanelerini, kırılma ve ezilmeye maruz bırakmadan yönlendirerek uygulamadakinine benzer bir sıkışmayı sağlamaktadır [7]. Şekil 5.1’de örnek bir yoğurmalı pres görülmektedir.



Şekil 5.1. Örnek yoğurmalı pres

## 6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Karayollarının her geçen gün daha fazla trafiğe maruz kalması, araçların artan yük taşıma kapasiteleri ve çevresel etkiler (iklim, coğrafik durum) günümüzde mevcut bitüm sınıflandırma sistemlerini ve Bitümlü Sıcak Karışım (BSK) tasarım yöntemlerini yetersiz kılmış ve araştırmacıları problemleri çözme konusunda yeni çalışmalar yaparak, günün koşullarına uygun daha rasyonel yaklaşımları ortaya koyma yönüne itmiştir.

Amerika Birleşik Devletleri’nde Stratejik Karayolu Araştırma Programı (SHRP) çerçevesinde geliştirilen Yüksek Performanslı Asfalt Kaplama (SUPERPAVE) karışım tasarım yönteminin, asfaltın sınıflandırılmasında farklı sıcaklık koşullarını dikkate alması ve karışımın sıkışabilirliğinin etüt edilmesinde kullandığı yoğurmalı pres cihazı ile diğer yöntemlerden daha avantajlı olduğu düşünülmektedir. Bununla beraber Yüksek Performanslı Asfalt Kaplama (SUPERPAVE) sistemi, performans esaslı bir sistemdir ve deneyler ve analizler doğrudan arazi performansı ile ilgilidir. Ancak bu yöntemdeki deney aletleri oldukça pahalı ve hassastır ve deneyler karmaşık olduğundan bu konuda eğitilmiş, tecrübeli personele ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu yeni yöntemde yoğurmalı pres kullanılması ile, karışım arazi koşulları benzer şekilde sıkıştırılmakta, iri agregalar kullanılabilen, karışımın sıkışabilir-

liği ve sıkıştırma problemleri önceden belirlenebilmektedir. Bu nedenlerden, Marshall metodunda darbeye sıkıştırmadan dolayı oluşan agregata danelerinin kırılması (özellikle kırılma ve yassı agregalarda) buna bağlı olarak boşluk ve optimum bitüm miktarının azalması gibi durumlar söz konusu olmamaktadır [6].

Superpave karışım tasarımının bir diğer özelliği de tüm BSK tabakaları sıkıştırırken aynı enerjinin kullanılması ve % 4 hava boşluğu karşı gelen bitüm miktarının optimum bitüm olarak seçilmesidir. Bu durumda, binder ve bitümlü temel tabakalarında boşluk % 4’e düşürüldüğü için bitüm miktarı daha yüksek olmakta ve karışımların durabilitesi artmaktadır. Ancak trafik arttıkça sıkıştırma enerjisi (dönüş sayısı) artmakta, bitüm miktarı da buna bağlı olarak azalmaktadır [6].

Yüksek Performanslı Asfalt Kaplama (SUPERPAVE) karışım tasarım yöntemi ile ilgili çalışmalar Amerika Birleşik Devletleri’nde ve Avrupa ülkelerinde devam etmektedir. A.B.D.’nde ve Fransa’da bitüm şartnameleri değişmiştir. Avrupa Birliğine girme yolunda olan Türkiye’nin, bu birlikte yer alan diğer ülkelerle bitümlü kaplamalar konusunda ortak bir paydada buluşmasının gerekliliği ortadadır. Türkiye’de yolların hizmet ömrünü artıracakları düşünülen bu sistemle ilgili çalışmalar devam etmektedir. Ancak bu yeni karışım tasarım yönteminin Türkiye koşulları (iklim, trafik yükü, çevre koşulları ve yöresel koşullar) göz önünde bulundurularak değerlendirilmesi ve çalışmaların bu yönde geliştirilmesinin uygun olacaktır.

## KAYNAKLAR

1. Dinç, E., **Superpave**, TCK 16. Bölge Müdürlüğü, Sivas, 1999.
2. **SUPERPAVE for the Generalist Engineer and Project Staff**, US. Department of Transportation Federal Highway Administration, National Highway Institute, Publication No: FHWA HI 97-031, USA, July 1997.
3. Dinç, E., ve Yazıcı, A., “Superpave Bitüm Deneyleri ve Agregata Gradasyonu”, **3. Asfalt Sempozyumu**, Ankara, 161-172, 16-17 Kasım 2000.
4. Önal, M., ve Kahramangil, M., **Bitümlü Karışımlar Laboratuvar El Kitabı**, TC. Karayolları Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara, 1993.
5. **Superpave Mix Design**, Asphalt Institute, Superpave series No: 2, 1996.
6. Orhan, F., “Asfaltın Geleceği Superpave”, **3. Asfalt Sempozyumu**, Ankara, 146-160 16-17 Kasım 2000.
7. Uluçaylı, M., **Bitümlü Karışımların Tasarımında Yeni Gelişmeler Yoğurmalı Pres**, Yollar Türk Milli Komitesi, Ankara, 1997.

8. Baş, R., **Superpave: Sıcak Karışım Asfalt Üstyapının Geleceği**, Teknik Çeviri, Karayolları 2. Bölge. Müdürlüğü. Asfalt Başmühendisliği, Ankara, 1999.
9. Ünal, İ., **Superpave**, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Trafik Planlaması ve Uygulaması A.B.D., Karayolu Üstyapısı Dersi Seminer Çalışması, Ankara, 1999.
10. Arıkan Öztürk E., ve Çubuk, M.K., “Karayolu Esnek Üstyapı Tasarımında Yeni Bir yöntem: SUPERPAVE”, **1.Trafik ve Yol Güvenliği Kongresi**, Ankara, 334-345, 25-27 Nisan 2001.
11. **Superpave Construction Guidelines**, US. Department of Transportation Federal Highway Administration, National Asphalt Pavement Association (NAPA), Special Report 180, USA, October 1997.