

**TÜRKİYE’DE ÜRETİLEN RAFİNERİ BİTÜMLERİNİN
KARAYOLU ÜSTYAPILARINDA KULLANIMI İÇİN PERFORMANS
SINIFLARININ BELİRLENMESİ**

Ahmet SAĞLIK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
TRAFİK PLANLAMASI VE UYGULAMASI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ŞUBAT 2009
ANKARA**

Ahmet SAĞLIK tarafından hazırlanan TÜRKİYE’DE ÜRETİLEN RAFİNERİ BİTÜMLERİNİN KARAYOLU ÜSTYAPILARINDA KULLANIMI İÇİN PERFORMANS SINIFLARININ BELİRLENMESİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd.Doç.Dr. Ebru ARIKAN ÖZTÜRK

Tez Danışmanı, Trafik Planlaması ve Uygulaması Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Trafik Planlama ve Uygulaması Anabilim Dalında Yüksek Lisans olarak kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Kürşat ÇUBUK

İnşaat Müh. Anabilim Dalı, G.Ü.

Yrd.Doç.Dr. Ebru ARIKAN ÖZTÜRK

Trafik Planlaması ve Uygulaması Anabilim Dalı, G.Ü.

Yrd. Doç. Dr. Seda HATİPOĞLU

Trafik Planlaması ve Uygulaması Anabilim Dalı, G.Ü.

Tarih: 18 / 02 / 2009

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nail ÜNSAL

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Ahmet SAĞLIK

**TÜRKİYE’DE ÜRETİLEN RAFİNERİ BİTÜMLERİNİN
KARAYOLU ÜSTYAPILARINDA KULLANIMI İÇİN PERFORMANS
SINIFLARININ BELİRLENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Ahmet SAĞLIK

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Şubat 2009**

ÖZET

Karayolu maliyetlerinin çok büyük bir kısmını oluşturan üstyapı kaplamalarının performansı önemli ölçüde üstyapı tabakalarında doğru bitüm sınıfının kullanılmasına bağlıdır. Türkiye’de halen tek bir sıcaklıkta yapılan penetrasyon deneyine bağlı sınıflama sistemi kullanılmakta olup, üstyapıda kullanılacak bitüm sınıfının seçimi ise daha ziyade tecrübelerle dayalı olarak gerçekleştirilmektedir. Son yıllarda kaplama bitümleri ilgili yapılan çalışmalarda bitümlü bağlayıcıların yüksek, orta ve düşük sıcaklık seviyelerinde deneye tabi tutularak, yüksek sıcaklıkta tekerlek izinde oturma, orta sıcaklıkta yorulma çatlağı oluşumu, düşük sıcaklıklarda ise termal çatlak oluşumu yönünden doğrudan bozulma ile ilgili performans özelliklerinin test edildiği SUPERPAVE bitümlü bağlayıcı performans sınıflama sistemi geliştirilmiştir. Bunun yanında, Teksas Karayolu İdaresi’nin bir projesi ile sathi kaplamada kullanılacak bitümlerin kuma, agrega kaybı gibi farklı performans kriterleri yönünden değerlendirildiği bir performans sınıflama sistemi de (SPG) bulunmaktadır. Bu sınıflama sistemleri, geleneksel sınıflama sistemlerinden farklı olarak, modifiye bitümlere de uygulanabilmektedir. Bu çalışmada Türkiye’de bitüm işleyen başlıca Kırıkkale, İzmit, Aliğa ve Batman rafinerilerine ait farklı penetrasyon sınıfındaki bitümler üzerinde bitüm performans şartnamesinin

öngördüğü dönel viskozite, döner ince film halinde ısıtma, basınçlı yaşlandırma kabı, dinamik kesme reometresi ve giriş eğilme reometresi deneyleri yapılarak hem bitümlü sıcak karışım (BSK) tabakasında kullanılacak bitümlerin performans sınıfları (PG), hem de sathi kaplamada kullanılacak bitümlerin performans sınıfları (SPG) bulunmuştur. Ayrıca, bu bitümlerin SBS ve Elvaloy olmak üzere iki farklı katkı malzemesi ile modifiye bitümleri hazırlanarak performans sınıfları bulunmuş, böylece modifikasyonun hangi oranda performansı iyileştirdiği de tespit edilmiştir. Aynı zamanda, Karayolları Genel Müdürlüğü yol ağında yer toplam 11 279 km uzunluğundaki önemli devlet yolları ve otoyollardan oluşan bir kesimin meteorolojik istasyon verilerine göre ortalama maksimum 7 günlük sıcaklıkları ve minimum sıcaklıkları bulunmuş, %70 ve %98 güvenilirlikte kaplama sıcaklıkları hesaplanarak, hem bitümlü sıcak karışım hem de sathi kaplama için bu yollarda kullanılması gereken bitüm performans sınıfları ve bu sınıflamaya karşılık gelen rafineri bitümleri belirlenmiştir.

Bilim Kodu : 911.1.093
Anahtar Kelimeler : Rafineri bitümleri, SUPERPAVE performans sınıflaması
dinamik kesme reometresi
Sayfa Adedi : 188
Tez Yöneticisi : Yrd. Doç. Dr. Ebru ARIKAN ÖZTÜRK

**THE DETERMINATION OF PERFORMANCE GRADES OF REFINERY
BITUMENS MANUFACTURED IN TURKEY
FOR THE USE IN ROAD PAVEMENTS
(M.Sc. Thesis)**

Ahmet SAĞLIK

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
February 2009**

ABSTRACT

The performance of the road pavements which constitute a substantial amount of highway costs depends largely on the convenience of the grade of the bitumen used in hot mix asphalt (HMA) to the prevailing traffic and climatic conditions. Bitumen grading system in use in Turkey is the penetration system and the selection of the bitumen grade is done on the basis of empirical experiences. A newly developed grading system, namely SUPERPAVE binder grading system enables to test the rheological properties of binder directly related to the performance of pavements with respect to rutting at high temperatures, fatigue cracking at intermediate temperatures and thermal cracking at low temperatures. Additionally, Texas Department of Transportation developed a performance-graded binder specification for surface treatments (SPG) where different distress types such as bleeding and aggregate loss are considered. The performance grading system, in contrast to conventional grading systems, is applicable to the polymer modified bitumens as well. In the thesis, a series of tests including rotational viscosity, rolling thin film oven, pressure aging vessel, dynamic shear rheometer and bending beam rheometer tests in accordance with the requirements of SUPERPAVE binder specification was conducted on the bitumens of Kırıkkale, İzmit, Aliğa and

Batman refineries processing petroleum into the bitumen in Turkey. In this way, the performance grades of the neat bitumens were determined for both hot mix asphalts and surface treatments. Furthermore, the refinery bitumens were modified with two types of polimers, SBS (styrene-butadiene-styrene) and Elvaloy and the performance grades of the modified bitumens and the extent of the performance enhancement due to modification were ascertained. Besides, extreme air and pavement temperatures (average 7 days maximum and average 1 day minimum air and pavement temperatures) for %70 and %98 reliability using the data of the meteorological weather stations in Turkey were calculated in a selected road network of total length of 11 279 km under the responsibility of General Directorate of Turkish Highways and it was designated what performance grade has to be used and corresponding refinery bitumens.

Science Code : 911.1.093
Key Words : Refinery bitumens, SUPERPAVE performance grading, dynamic shear rheometer
Page Number : 188
Adviser : Asist.Prof.Dr. Ebru ARIKAN ÖZTÜRK

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Hocam Yrd.Doç.Dr. Ebru ARIKAN ÖZTÜRK'e, akademik çalışmalara daima destek veren Teknik Araştırma Dairesi Başkanımız Sayın Münevver ATASARAL'a, destek ve teşviklerini esirgemeyen, lisansüstü eğitime girmeme vesile olan ve her konuda yardımını aldığım Üstyapı Şubesi Müdürü Sayın A.Gürkan GÜNGÖR'e, kıymetli tecrübelerinden sürekli yararlandığım ve çalışmalarımda yol gösteren Bitümlü Karışımlar Laboratuar Şefi Sayın Fatma ORHAN'a, laboratuarlarda görevli tüm çalışma arkadaşlarıma, bu tezin hazırlanması sırasındaki manevi desteklerini eksik etmeyen sevgili eşime, anneme, kardeşlerime ve manevi hatırası ile bana hep güç veren rahmetli babama teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xv
RESİMLER LİSTESİ.....	xix
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xx
1. GİRİŞ	1
2. BİTÜM TÜRLERİ VE ELDE EDİLMESİ.....	3
2.1. Doğal Bitüm	3
2.2. Rafineri Bitümü (Yapay Bitüm).....	5
2.3. Bitümün Elde Edilmesi	6
3. BİTÜMÜN KİMYASAL BİLEŞİMİ VE REOLOJİSİ	8
3.1. Bitümün Kimyasal Bileşimi	8
3.2. Bitümün Yapısı ve Kimyasal Bileşimi İle ilgili Davranışı.....	12
3.3. Bitümün Reolojisi.....	15
3.4. Bitümün Durabilite (Dayanıklılık) Özelliği	21
4. BİTÜM ÖZELLİKLERİNİN YOL PERFORMANSINA ETKİLERİ	25
4.1. Yapım Süresince Bitüm Özelliklerinin Etkisi	25
4.1.1. Karıştırma ve taşıma.....	25
4.1.2. Serme ve sıkıştırma	26

	Sayfa
4.2. Bitüm Özelliklerinin Hizmet Aşamasında Bitümlü Karışımların Performansına Etkisi	27
4.2.1. Kalıcı deformasyon (tekerlek izinde oturma).....	29
4.2.2. Termal çatlaklar.....	30
4.2.3. Yorulma çatlakları.....	32
5. BİTÜM SINIFLAMA SİSTEMLERİ	34
5.1. Bitüm sınıflama Sistemlerinin Tarihçesi.....	34
5.2. Penetrasyon Sınıflama Sistemi.....	36
5.3. Viskozite Sınıflama Sistemi	37
5.4. Geleneksel Bitüm Sınıflama Sisteminde Yapılan Deneyler.....	43
5.4.1. Penetrasyon deneyi.....	43
5.4.2. Düktilite.....	43
5.4.3. Yumuşama noktası	44
5.4.4. Parlama noktası	44
5.4.5. Çözünürlük	44
5.4.6. İnce film halinde ısıtma deneyi (RTFOT).....	45
5.4.7. Dinamik (Mutlak) viskozite	45
5.4.8. Kinematik viskozite.....	45
6. SUPERPAVE BAĞLAYICI SINIFLAMA SİSTEMİ	46
6.1. Performans Sınıflamasının Üstünlükleri	48
6.2. Performans Sınıflama Sisteminde Uygulanan Deneyler	50
6.2.1. Döner ince film halinde ısıtma deneyi (RTFOT)	53
6.2.2. Basınçlı yaşlandırma deneyi.....	55

	Sayfa
6.2.3. Dönel viskozite.....	59
6.2.4. Dinamik kesme reometresi (DSR)	62
6.2.5. Kiriş eğilme reometresi (BBR)	73
6.2.6. Doğrudan Çekme Deneyi (DTT).....	79
6.3. Bitümlerin Sınıflandırılması.....	84
6.3.1. Asfalt betonu kaplamalı yollarda kullanılan bitümlerin performans sınıflaması	84
6.3.2. Sathi kaplamalı yollarda kullanılan bitümlerin performans sınıflaması	90
7. YAPILAN DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	93
7.1. Bitüm numunelerinin deneye hazırlanması	93
7.2. Numunelere Uygulanan Penetrasyon Deneyi.....	94
7.3. Numunelere Uygulanan Yumuşama Noktası Deneyi	96
7.4. Numunelere Uygulanan Dönel Viskozite Deneyi (RV).....	97
7.5. Numunelere Uygulanan Döner ince film halinde yaşlandırma deneyi (RTFOT)	100
7.6. Numunelere Uygulanan Basıncılı Yaşlandırma Deneyi (PAV).....	101
7.7. Numunelere Uygulanan Dinamik Kesme Reometresi (DSR).....	105
7.8. Numunelere Uygulanan Kiriş Eğilme Reometresi (BBR)	110
8. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	113
8.1. Bitümlerin Yüksek Sıcaklıklardaki Performansları	113
8.2. Bitümlerin Ortalama Servis Sıcaklıklarındaki Performansları.....	120
8.3. Bitümlerin Düşük Sıcaklıklardaki Performansları	123
9. BİTÜM SINIFININ SEÇİMİ.....	126

	Sayfa
9.1. Kaplama Sıcaklıklarının Belirlenmesi.....	126
9.2. Bitüm Sınıfı Seçiminde Güvenilirlik Faktörü	129
9.3. Trafik Yüğü ve Trafik Hızının Bitüm Sınıfı Seçimine Etkisi	133
9.4. Bitüm Sınıfı Seçim Çalışmaları.....	135
9.5. Çalışmanın Ekonomik Yönden Değerlendirmesi.....	141
10. SONUÇ VE ÖNERİLER	142
KAYNAKLAR	147
EKLER	150
EK-1. Yollara ait bilgiler	151
EK-2. Seçilen bir yol ağı için gerekli bitüm performans sınıflarını belirleme tablosu	167
ÖZGEÇMİŞ	187

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Bitüm kimyasal bileşimi ile üstyapı performansı arasındaki ilişki...	9
Çizelge 5.1. Bitüm penetrasyon sınıflamasının avantaj ve dezavantajları.....	37
Çizelge 5.2. Bitüm viskozite sınıflamasının avantaj ve dezavantajları.....	38
Çizelge 5.3. Penetrasyon sınıfı bitümlerin özellikleri (TS 1081 EN 12591)...	39
Çizelge 5.4. Bitüm penetrasyon sınıflaması (ASTM D946).....	40
Çizelge 5.5. Orijinal bitüm için viskozite sınıflaması (ASTM D 3381).....	41
Çizelge 5.6. RTFOT ile yaşlandırılmış bitüm için viskozite sınıflaması (ASTM D 3381).....	42
Çizelge 6.1. SUPERPAVE bağlayıcı deneyleri ve aletleri	51
Çizelge 6.2. SUPERPAVE bağlayıcı deneylerinde kullanılacak numuneler...	52
Çizelge 6.3. PAV deney sıcaklığının seçimi.....	57
Çizelge 6.4. Bitüm performans sınıflaması için DSR deneyi şartname değerleri	73
Çizelge 6.5 Performans sınıfı bitümlü bağlayıcı şartnamesi (AASHTO M320)	85
Çizelge 6.6 Sathi kaplamalı yollar için performans sınıfı bitümlü bağlayıcı şartnamesi.....	92
Çizelge 8.1. Rafineri bitümleri üzerinde yapılan deneylerin sonuçlarını gösterir özet tablo.....	114
Çizelge 8.2. Modifiye bitümler üzerinde yapılan deneylerin sonuçlarını gösterir özet tablo.....	115
Çizelge 9.1. Kaplama sıcaklığı hesaplama parametreleri	127
Çizelge 9.2. Trafik yükü ve trafik hızına göre bitüm sınıfı artış basamaklarını gösterir özet tablo.....	134

Çizelge	Sayfa
Çizelge 9.3 : Asfalt betonu kaplamalar için PG sınıfına göre önerilen penetrasyon sınıfı bitüm seçim tablosu	136
Çizelge 9.4 : Sathi kaplama bitümleri için SPG sınıfına göre önerilen penetrasyon sınıfı bitüm seçim tablosu	137
Çizelge 9.5. Seçilen örnek yol ağında kullanılması gereken asfalt betonu bitüm sınıflarının TCK Bölge Müdürlüklerine göre dağılımı tablosu	139
Çizelge 9.5. Seçilen örnek yol ağında kullanılması gereken sathi kaplama bitüm sınıflarının TCK Bölge Müdürlüklerine göre dağılımı tablosu	140

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Bitüm üretiminin şematik diyagramı	7
Şekil 3.2. Bitüm molekülü tipleri.....	9
Şekil 3.3. Bitümün kromotografik yöntemle kimyasal bileşimlerine ayrılması ...	10
Şekil 3.4. Malzemelerin davranış modelleri	16
Şekil 3.5. Bitümün sıcaklığa ve zamana bağlı davranışı.....	17
Şekil 3.6. Değişik sıvıların viskozite özellikleri	18
Şekil 3.7. Genel kimyasal kompozisyon ile penetrasyon indeksi arasındaki ilişki.....	20
Şekil 3.8. Bitümün karıştırma, depolama, taşıma ve hizmet sırasında oluşan yaşlanması	24
Şekil 4.1. Bitümlerin kaplama sıcaklığına bağlı performans özellikleri	27
Şekil 4.2. Bitümün üstyapı bozulmalarına etkisi	28
Şekil 4.3. SUPERPAVE yöntemi ile dizayn edilmiş sıcak karışımlarda kullanılan agrega gradasyonları için girilmesi yasak bölge kavramı	30
Şekil 4.4. Kaplama tabakasında gerilme durumu ve yüzeyde oluşan termal çatlaklar	31
Şekil 4.5. Düşük sıcaklık çatlaklarının yol yüzeyinde oluşma aralıkları	32
Şekil 4.6. Yorulma çatlaklarının derecelendirilmesi.....	33
Şekil 6.1. SUPERPAVE performans sınıfı gösterimi	47
Şekil 6.2. Bitümün farklı sıcaklıklardaki kıvamı	49
Şekil 6.3. Üstyapı bozulma tipine göre yapılan performans sınıflama deneyleri.....	52
Şekil 6.5. RTFO deney şişeleri	55
Şekil 6.6. Basınçlı yaşlandırma kabı ve parçaları	59

Şekil	Sayfa
Şekil 6.7. Dönel viskozite deneyi genel gösterimi.....	60
Şekil 6.8. Bitümlü bağlayıcılarda faz açısının oluşumu.....	64
Şekil 6.9. Bitümün vikoelastik davranışı	64
Şekil 6.10. İki farklı bitümün viskoelastik davranış özelliklerinin karşılaştırılması	65
Şekil 6.11. Dinamik kesme reometresi çalışma şekli.....	67
Şekil 6.12. DSR bitüm numunesinin şekli	68
Şekil 6.13. Viskoelastik malzemelerde gerilme-deformasyon.....	70
Şekil 6.14. DSR deneyinde gerilme ve deformasyonların bulunması	70
Şekil 6.15. BBR deneyi şematik gösterimi	74
Şekil 6.16. Alüminyum kalıplarla BBR bitüm kışının hazırlanması	76
Şekil 6.17. BBR deneyinde yükün uygulanışı	77
Şekil 6.18. Eğilme deneyinde yer değiştirme ve m değeri.....	78
Şekil 6.19. Tipik bir BBR deneyi bilgisayar çıktısı	79
Şekil 6.20. Doğrudan çekme deneyi bitümün kopma davranışı.....	80
Şekil 6.21. Doğrudan çekme deneyi gösterimi	81
Şekil 6.22. DDT deneyi için numunelerin hazırlanması	82
Şekil 6.23. DTT numunesi boyutları.....	82
Şekil 6.24. DTT numune bağlantısı ve deneyin yapılışı	83
Şekil 6.25 Yaşlandırılmamış bitümün yüksek sıcaklık DSR deneyi akış şeması.....	86
Şekil 6.26 RTFOT ile yaşlandırılmış bitümün yüksek sıcaklıktaki DSR deneyi akış şeması.....	87

Şekil	Sayfa
Şekil 6.27 PAV ile yaşlandırılmış bitümün orta sıcaklıktaki DSR deneyi akış şeması	88
Şekil 6.28 BBR deneyi ve düşük sıcaklık performans sınıflandırması akış şeması	89
Şekil 8.1. Rafineri bitümlerine yapılan performans deney sonuçlarının karşılaştırmalı grafik gösterimi	116
Şekil 8.2. Rafineri bitümlerinin yüksek sıcaklık elastik modülünün değişimi	117
Şekil 8.3. Rafineri bitümlerinin yüksek sıcaklık faz açılarının değişimi	117
Şekil 8.4. Modifiye bitümlerin yüksek sıcaklık elastik modülünün değişimi.....	118
Şekil 8.5. Modifiye bitümlerin yüksek sıcaklık faz açılarının değişimi	119
Şekil 8.6. Rafineri bitümlerinin orta sıcaklık viskoz modülünün değişimi.....	120
Şekil 8.7. Rafineri bitümlerinin orta sıcaklık faz açılarının değişimi	121
Şekil 8.8. Modifiye bitümlerin orta sıcaklık viskoz modülünün değişimi	122
Şekil 8.9. Modifiye bitümlerin orta sıcaklık faz açılarının değişimi.....	122
Şekil 8.10. Rafineri bitümlerinin düşük sıcaklıklardaki BBR rijitliğinin değişimi	124
Şekil 8.11. Rafineri bitümlerinin m değerinin değişimi.....	124
Şekil 8.12. Modifiye bitümlerin düşük sıcaklıklardaki BBR rijitliğinin değişimi	125
Şekil 8.13. Modifiye bitümlerin m değerinin değişimi	125
Şekil 9.1. 7 Günlük maksimum sıcaklık	130
Şekil 9.2. En yüksek ve en düşük hava sıcaklıkları	130
Şekil 9.3. En yüksek ve en düşük kaplama sıcaklıkları	131
Şekil 9.4. SUPERPAVE bitüm sınıfının seçimi	132
Şekil 9.5. İstenilen penetrasyonda bitüm üretimi için karışım oranlarının bulunması	138

Şekil	Sayfa
Şekil 9.6. Seçilen örnek yol ağında kullanılması gereken asfalt betonu bitüm sınıflarının TCK Bölge Müdürlüklerine göre dağılımı	139
Şekil 9.7. Seçilen örnek yol ağında kullanılması gereken sathi kaplama bitüm sınıflarının TCK Bölge Müdürlüklerine göre dağılımı	140

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 7.1. Penetrasyon deney cihazı	95
Resim 7.2. Yumuşama noktası deney cihazı.....	96
Resim 7.3. Silindirik çubuğun numune kabına yerleştirilmesi	98
Resim 7.4. Dönel viskozite deney cihazının önden görünüşü	99
Resim 7.5. Bitüm doldurulmuş kapların numune tutucuya yerleştirilmesi.....	102
Resim 7.6. PAV deneyinden numunelerin ayrı bir kaba alınması	103
Resim 7.7. Vakum etüvüne yerleştirilmiş numune kapları	103
Resim 7.8. Vakum etüvünün önden görünümü.....	104
Resim 7.9. Vakum etüvünde havası alınmış numunelerin toplu görünümü	104
Resim 7.10. DSR deney cihazı.....	105
Resim 7.11. Hazırlanan DSR numuneleri	106
Resim 7.12. DSR deney cihazı su banyosu ve dijital göstergesi	107
Resim 7.13. Deney numunesinin plakalar arasına yerleştirilmesi	108
Resim 7.14. Plaka üzerine yerleştirilmiş deney numunesi.....	109
Resim 7.15. Deney programı veri girişi görünümü	109
Resim 7.16 BBR deney cihazı	111
Resim 7.17. BBR numunelerinin hazırlanması	111
Resim 7.18. Kalıba dökülmüş BBR numunelerinin görünümü	112
Resim 7.19. BBR bitüm kirişine yükün uygulanması.....	112

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
cP	Santipoise
d	Kaplama yüzeyinden itibaren derinlik, mm
E	Enlem, derece
G^*	Kompleks Modülü, kPa
δ	Faz açısı, derece
ϵ_o	Tekrarlı trafik yükü altında oluşan deformasyon
σ_o	Tekrarlı trafik yükü altında oluşan gerilme
Θ	Dönme açısı
S	Sünme sertliği, MPa
SS	Kesme gerilmesi, kPa
SR	Kesme oranı
r	DSR deneyi numune yarıçapı
τ	Kesme gerilmesi
γ	Kesme deformasyonu
h	DSR deneyi numune kalınlığı
t	Zaman, s
T_{20mm}	Yüzeyden 20 mm derinlikteki sıcaklık, °C
T_d	Yüzeyden d derinlikteki sıcaklık, °C
$T_{havamaks}$	Ortalama 7 günlük en yüksek hava sıcaklığı, °C
$T_{havamin}$	Minimum hava sıcaklığı, °C
T_{ymin}	Minimum kaplama yüzey sıcaklığı, °C
$T_{yüzey}$	Kaplama yüzeyindeki sıcaklık, °C
W_c	Kaplama içerisinde yayılan enerji

Kısaltmalar**Açıklama****AASHTO**

Amerika Devlet Karayolları Mensupları Birliği

AC

Asfalt çimentosu

ASTM

Amerikan Test ve Materyaller Topluluğu

BBR

Kiriş eğilme reometresi

BSK

Bitümlü sıcak karışım

DMİ

Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü

DSR

Dinamik kesme reometresi

DTT

Doğrudan çekme deneyi

EN

Avrupa standardı

KGM

Karayolları Genel Müdürlüğü

TS

Türk Standardı

PAV

Basıncılı yaşlandırma kabı

PG

Performans sınıfı

RTFO

Döner ince film etüvü

RTFOT

Döner ince film halinde ısıtma deneyi

RV

Dönel viskozimetre

SBS

Stiren-Butadien-Stiren

SHRP

Stratejik karayolu araştırma programı

SPG

Sathi kaplama performans sınıfı

SUPERPAVE

Yüksek performanslı asfalt kaplama

TCK

Türkiye Cumhuriyeti Karayolları

TFOT

İnce film halinde ısıtma deneyi

1. GİRİŞ

Bitüm; Avrupa Standardında rafinerilerde ham petrolün işlenmesiyle elde edilen yada doğal bitüm içinde hali hazırda bulunan, toliende çözünen, ortam sıcaklığında çok viskozdan yaklaşık katıya kadar özellik gösterebilen, uçucu olmayan, yapışkan ve su geçirimsiz bir malzeme olarak tarif edilmektedir [1]. Bitüm kelimesi Avrupa ve Amerika kıtasında farklı şekilde kullanılmakta olup, bu çalışmada kullanılan ve yukarıda belirtilen Avrupa'daki tarifi Amerika 'da asfalt olarak kullanılmaktadır. Avrupa'da ise asfalt terimi asfalt betonu, mastik asfalt vb. gibi bitüm ve mineral agrega karışımı anlamında kullanılmaktadır [2].

Bitüm; termoplastik olması, yani ısıtılınca kıvamının değişmesi, dayanıklılığı, güçlü yapışma özelliği ve yüksek geçirimsizliği nedeniyle karayolu esnek üstyapı uygulamalarında bitümlü sıcak karışım (BSK) ve sathi kaplama tabakalarının bağlayıcısı olarak büyük oranda kullanılmaktadır [3]. Mineral agrega karışımına sınırlı bir esneklik sağlamasının yanında; bir çok asit, alkali ve tuz reaksiyonlarına karşı da önemli ölçüde direnç göstermektedir. Normal şartlar altında katı veya yarı katı bir madde olmasına rağmen, ısıtılarak, solvent katılarak veya su ile emülsifiye edilerek sıvı hale getirilebilmektedir.

Bitüm, viskoelastik bir malzeme olup, davranışı hem yükleme, hem de sıcaklık koşullarına bağlıdır. Bitüm, sıcak iklim koşullarında ve sürekli yükleme durumunda viskoz bir sıvı gibi davranırken, soğuk iklim veya hızlı yükleme koşullarında elastik bir katı gibi davranış göstermektedir. Bitüm, agrega ile karıştırıldığında bu özellikleri aynen sıcak karışıma da geçtiğinden asfalt betonu da viskoelastik bir malzeme gibi davranmaktadır [4]. Bu nedenle, yol kaplama tabakalarında yüksek sıcaklık ve ağır trafik yükü etkisi altında tekerlek izinde oturma ve kasma, ortalama servis sıcaklığında yorulma çatlağı, düşük sıcaklıklarda ise termal çatlama şeklinde, üstyapıların performansını en fazla etkileyen ve en sıklıkla görülen bozulmaların meydana gelmesinde bitümlü bağlayıcının özellikleri temel etmenlerden birisi olmaktadır. Bitümün özelliklerinin tekerlek izinde oturma üzerindeki etkisi %40, yorulma çatlağı oluşumu üzerindeki etkisi %60, termal çatlak oluşumu üzerindeki

etkisi ise %90 gibi yüksek bir oranda gerçekleşmektedir. Dolayısıyla; karayolu üstyapılarının mevcut iklim ve trafik koşullarına göre performansı, yani en az bakım maliyetleri ile en uzun süre ve en konforlu bir şekilde hizmet verebilme kabiliyetleri, önemli derecede bu koşullara uygun sınıfta bitümün kullanılmasına bağlı olmaktadır.

Geleneksel bitüm sınıflama sistemleri, belirli bir sıcaklıkta bitümün kıvamlılığını ölçen penetrasyon ve viskozite gibi iki fiziksel deneye dayalı olarak ampirik bir şekilde yapılmaktadır. Bu sınıflama sistemleri pek çok açıdan yetersiz olup, ülkemizde halen penetrasyon sınıflaması kullanılmaktadır.

Bununla birlikte, bitüm endüstrisi hızlı bir şekilde bitümün yüksek, orta ve düşük sıcaklık olmak üzere maruz kalabileceği bütün sıcaklık şartlarında performansının fiziksel özelliklerinden ziyade mekanik ve reolojik özelliklerine bağlı olarak test edildiği SUPERPAVE performans bitüm sınıflamasına doğru yönelmektedir. Bu sistemde, yeni deney metotlarıyla kompleks modülü, faz açısı, rijitlik modülü, dönel viskozite gibi bitümlü bağlayıcıların mekanik özellikleri belirlenerek, bitümün yenilmeden performans gösterebildiği sıcaklık aralığı maksimum ve minimum sıcaklıklar olarak tespit edilmekte ve bu sıcaklık aralığına göre sınıflama yapılmaktadır. Ayrıca bu sınıflandırma sisteminde; yolun trafik hacmi ve trafiğin hızı da dikkate alındığı gibi, bitümü bağlayıcıların kısa ve uzun dönemli yaşlanması hesaba katılabilmektedir.

Bu çalışma kapsamında Kırıkkale, İzmit, Aliğa ve Batman rafinerilerinden farklı penetrasyon sınıflarında alınan bitümler ile Kırıkkale ve Batman rafineri bitümlerinin SBS Kraton D1101 ve Elvaloy®RET adlı iki farklı elastomerik katkı malzemesi kullanılarak laboratuarda hazırlanan modifiye bitümlerin performans sınıfları belirlenmiş ve mevcut sıcaklık koşullarına göre karayolu ağında bulunan bitümlü sıcak karışım ve sathi kaplamalı yollarda hangi cins bitüm sınıfının kullanılması gerektiği konusunda değerlendirmeler yapılmıştır.

2. BİTÜM TÜRLERİ VE ELDE EDİLMESİ

Bitümler elde ediliş biçimlerine göre temel olarak doğal bitümler ve yapay bitümler (rafineri bitümleri veya petrol bitümleri) olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır [2].

2.1. Doğal Bitüm

Ham petrolün yeryüzüne çıkması ve bünyesindeki uçucu bileşenlerin doğal bir şekilde ayrılarak, zamanla distile olmasıyla meydana gelen bitümlerdir. Doğal bitümler doğada genellikle mineral maddelerle karışmış halde bulunurlar ve çok defa kullanılabilir hale getirmek için bir takım işlemlerden geçirmek gerekir. Doğal bitümler, günümüzde bitüm üretim tekniklerinde meydana gelen gelişmeler nedeniyle pek tercih edilmemekte, sadece bitümlü sıcak karışımı modifiye etmek için karışıma katkı maddesi olarak ve sınırlı miktarda kullanılmaktadır. Başlıca doğal bitüm türleri göl asfaltı, gilsonit ve kaya asfaltıdır.

Göl Asfaltı

Doğal bitümün en geniş çapta kullanılan ve en çok bilinen türü göl asfaltıdır. Jeolojik kuvvetlerin etkisi ile yeryüzünün altındaki rezervuar alanlarında bulunan petrol bileşenleri yeryüzüne çıkıp birikerek bitümle kaplı göller oluşturmuş ve yüzeye temas ile birlikte soğumuş ve sertleşmiştir. Bu şekilde oluşan göl asfaltlarının mevcut örnekleri Venezuela'nın kuzey sahilindeki Trinidad adasında bulunmaktadır. Yaklaşık olarak penetrasyon değeri 2 ve yumuşama noktası 95°C olan Trinidad göl asfaltı çok sert olduğundan, bitümlü karışımlarında üretildiği haliyle kullanılması mümkün değildir. Bu nedenle genelde 200 penetrasyonlu bitüm ile yarı yarıya karıştırılıp yaklaşık olarak 50 penetrasyon değerine getirilerek kullanılmaktadır.

Gilsonit (Asfaltit)

Doğal yollarla oluşmuş, sert ve katı yapıda, koyu kahve- siyah rengine, ana bileşeni asfaltinler ve büyük moleküller olan reçineli hidrokarbonlardır. Gilsonit sert petrol

bitümüne benzemekte olup, petrol bitümleri gibi aromatik ve alifatik çözücüler içerisinde çözünebilmektedir. Bu uyumluluğu nedeniyle, gilsonit yaygın olarak daha yumuşak petrol ürünlerini sertleştirmek için kullanılmaktadır. Rafineri bitümleri ile benzer özellikte olmasına rağmen, gilsonit yada asfaltit kimyasal ve fiziksel bazı hususlar yönünden petrol bitümlerinden ayrılmaktadır. Örnek olarak, gilsonitler genellikle çok az inorganik bileşen içerir yada hiç içermezlerken, petrol bitümleri önemli oranda inorganik malzeme içerirler. Bunun yanında gilsonitler petrol bitümlerinden farklı olarak, kolay bir şekilde erimezler.

Gilsonit parlak ve siyah renkte bir malzeme olup, görünüş olarak opsidiyene benzemektedir. Çok kırılğan bir yapıda olup, kolay bir şekilde ufalanabilir. Gilsonitler yer altında genellikle damar ve dayklar halinde bulunmaktadır. Yumuşama noktasının yüksek olması nedeniyle normal koşullarda sert, katı ve kırılğan halde bulunan gilsonitler, bu özelliği nedeniyle trinidat göl asfaltından farklı olarak ufalanmış, toz halde torbalanabilmekte ve kolayca nakliyesi ve kullanımı sağlanabilmektedir.

Gilsonitler farklı sektörlerde kullanılmakla beraber, karayolu uygulamalarında genellikle performans artırıcı modifiye katkı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Gilsonit çok sert olduğundan bitüme katıldığında penetrasyonu düşürmekte, yumuşama noktasını artırmaktadır. Yüksek sıcaklık özelliklerini iyileştiren gilsonitle modifiye edilmiş bitümler SUPERPAVE performans sınıfını (PG sınıfı) büyük oranda artırdığı gibi, daha yüksek stabilite, daha düşük kalıcı deformasyon meydana getirmekte, sıcaklık hassasiyetini düşürmekte ve soyulmaya karşı direnci artırmaktadır. Gilsonit, doğal bitüm olması nedeniyle imalat sırasında pek çok diğer modifiye katkı malzemelerinin gerektirdiği ufalama değirmenine ihtiyaç duymadan bitüm ile kolayca karışabilmektedir. Fakat bunun olabilmesi için gilsonitin yumuşama noktasının 10°C ila 20°C üzerinde karıştırmanın yapılması önem taşımaktadır.

Bununla beraber, gilsonitin yeraltı kazısı gerektirmesi nedeniyle oluşan işçiliği ve yüksek maliyeti kaplama malzemesi olarak kullanımını büyük oranda kısıtlamaktadır.

Kaya Asfaltı

Kaya asfaltı, çok geçirimli kayaçların absorbe ettiği petrolün zamanla uçucu maddelerinin kaybı sonucu oluşmakta ve genellikle kumlu jeolojik birimlerin içinde karışık olarak bulunmaktadır. Bu tür kayalar yol kaplamalarında kullanılan ilk bitümlü malzemelerdir ve parçalanarak uygun yol malzemesi haline dönüşebilmektedirler. Kaya asfaltlarına bir çok yerde rastlamak mümkün olup, ülkemizde Güneydoğu Anadolu'da çok sık rastlanmakla beraber yol kaplamalarında kullanılmamaktadır.

2.2. Rafineri Bitümü (Yapay Bitüm)

Ham petrolün rafinerilerde işlenmesi ile elde edilen bitümlerdir. Dünyada ham petrol A.B.D., Orta Doğu, Karayip ülkeleri ve Rusya olmak üzere dört ana bölgede bulunmakta olup, çoğu durumda yol işlerinde kullanılan bitüm, petrolün işlenip akaryakıt, yağlar vs. gibi ürünlerden artakalan kısmından elde edilmektedir. Ham petroller fiziksel ve kimyasal özellikleriyle birbirlerinden farklılıklar gösterirler. Fiziksel olarak viskoz siyah sıvılardan, akışkan, saman renkli sıvılara kadar değişkenlik gösterirken; kimyasal olarak parafinik, naftenik veya aromatik olabilmektedirler. En fazla görülen ise parafinik ve nafteniğin çeşitli kombinasyonları olmaktadır.

Türkiye'de bitüm çoğunlukla Orta Doğu 'da üretilen ham petrolden imal edilmekte olup, bitüm üretimi İzmit, Kırıkkale, İzmir (Aliağa) ve Batman rafinerileri olmak üzere dört adet rafineride yapılmaktadır.

Ham petrol ticaretinin yaygın olmadığı tarihlerde rafinerilerin ham petrol kaynağını ender olarak değiştirmesi, bir rafineride üretilen bitümün uzun bir süre hemen hemen sabit özelliklere sahip olmasını sağlamıştır. Bugün ise, değişen dünya şartları nedeniyle modern rafineriler piyasa durumuna göre ham petrol kaynaklarını değiştirebilmektedirler. Böylece, aynı rafineri çok farklı fiziksel ve kimyasal

özelliklere sahip bitüm üretir duruma gelmiş ve bitümün belirli koşulları karşılama derecesi ve performansının tahmini daha önem kazanmıştır.

2.3. Bitümün Elde Edilmesi

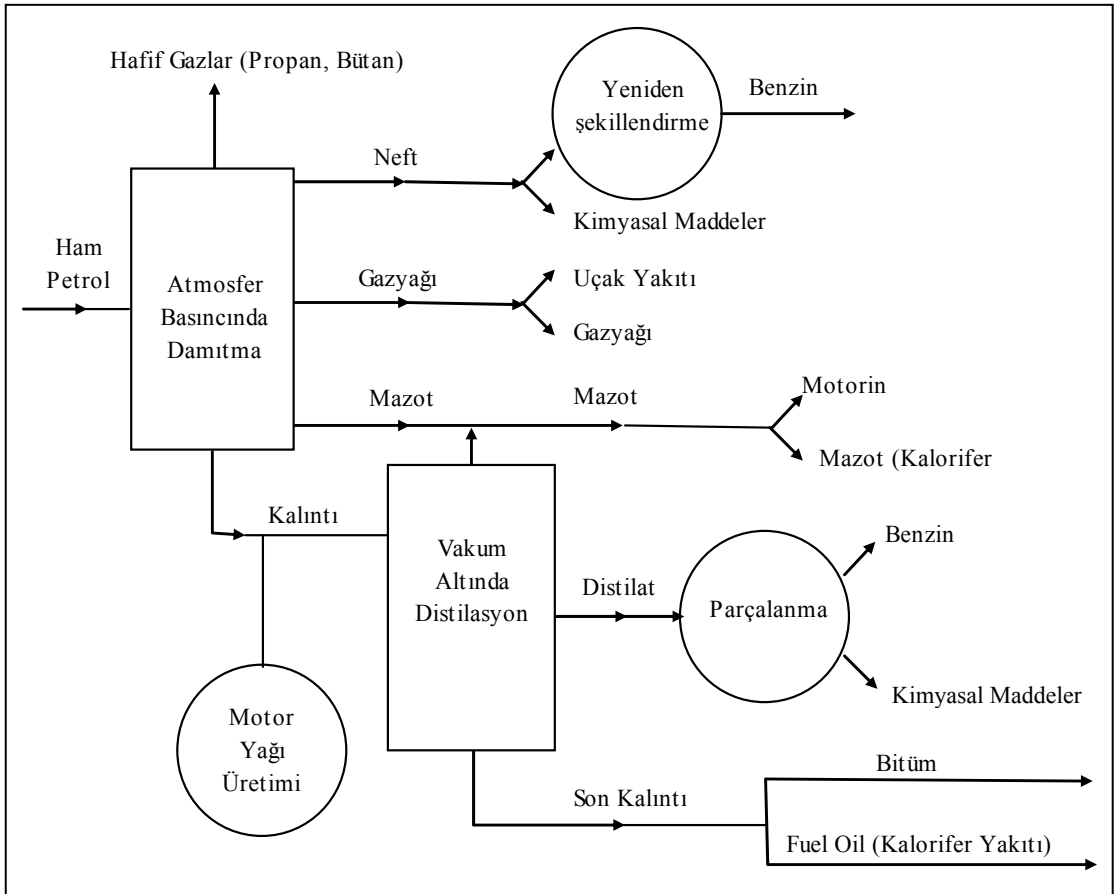
Ham petrol, moleküler ağırlıkları, ve dolayısıyla da kaynama noktaları değişen, çeşitli hidrokarbonların kompleks bir karışımıdır. Kullanılmadan önce ayrıştırılması, arındırılması, karıştırılması ve bazen de kimyasal veya fiziksel değişikliğe uğratılması gereklidir.

Ham petrolün rafine edilmesindeki ilk işlem fraksiyonel damıtmadır. Bu şekilde, petrol türevlerinin her biri sahip olduğu değişik kaynama noktalarına kadar ısıtılıp buharlaştırılır ve daha sonra ayrı ayrı yoğunlaştırarak farklı petrol ürünleri elde edilir. Bu işlem ayrıştırma veya damıtma kolonları denilen yüksek çelik kulelerde yapılır. Damıtma kolonlarının içi aralıklarla, içerisinden buharın geçmesine izin verecek şekilde üzerinde delikler bulunan yatay çelik tepsilerle bölünmüştür. Kolona giren malzeme sıvı ve buhar karışımı olup, sıvı olan kısım ham petrolün daha yüksek kaynama noktasına sahip olan bileşenlerini içerirken, buhar olan kısım daha düşük kaynama noktasına sahip bileşenlerden oluşur. Buhar, kolonun içindeki tablaların delikleri arasından yukarıya doğru çıktıkça ısını kaybeder. Her bileşen, sıcaklığı kendi kaynama noktasının hemen altına düştüğünde orada bulunan tablada yoğunlaşır ve tekrar sıvı haline dönüşür. Bileşenler tablalar üzerinde yoğunlaştıkça sürekli olarak, borular vasıtasıyla boşaltılırlar.

Ham petrolün en hafif bileşenleri buhar olarak damıtma kolonunun en tepesinden alınır. Daha ağır olan bileşenler kolon dışına yan taraflardan çıkarılır ve sıvı olarak kalan en ağır bileşenler kolenin tabanında kalır. Ham petrol damıtma işleminde elde edilen en hafif bileşenler normal atmosfer basıncında gaz olarak bulunan propan ve bütandır. Sütundan aşağıya doğru inerken biraz daha ağır bir ürün olan petrol ortaya çıkar. Petrol, benzin üretimi ve kimya endüstrisinde ham madde olarak kullanılmaktadır. Daha sonra, özellikle uçak yakıtı olarak ve az miktarda konutlarda yakıt olarak kullanılan gaz yağı elde edilir. Bunun altında biraz daha ağır olan mazot

ve dizel motorları ile merkezi ısıtma sistemlerinde kullanılan motorin ortaya çıkar. Ham petrolün damıtılmasından elde edilen en ağır bileşen, yüksek molekül ağırlığa sahip hidrokarbonların karışımıdır ve bitüm imalatında hammadde olarak kullanılabilmesi için vakumlu damıtma kolonunda ek bir damıtmaya tabi tutulur. Bu ikinci damıtma işlemi sonunda oluşan kalıntı 20 farklı bitüm cinsinin hammaddesidir. Bu kalıntının viskozitesi hem ham petrolün çıkarıldığı kaynağın hem de işlem sırasında vakum kolonunda uygulanan sıcaklık ve basıncın bir fonksiyonudur. Ham petrolün kaynağına bağlı olarak kolon içerisindeki koşullar 100 ila 300 penetrasyonlu kalıntı üretmek için ayarlanır.

Şekil 2.1 'de damıtma işleminin şematik bir diyagramını ve bu işlemin benzin üretimi, motor yağı, petrol mumu, vb. gibi ürünlerin üretimi ile ilişkisi gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Bitüm üretiminin şematik diyagramı [2]

3. BİTÜMÜN KİMYASAL BİLEŞİMİ VE REOLOJİSİ

3.1. Bitümün Kimyasal Bileşimi

Bitümün iç yapısı, büyük oranda mevcut molekül türlerinin kimyasal bileşimine bağlı olarak belirlenmektedir. Bitüm; hakim durumda bulunan hidrokarbon molekülleri ile az miktarda sülfür, nitrojen ve oksijenden oluşan heteroatom moleküllerinin kompleks bir kimyasal karışımı durumundadır. Bitüm aynı zamanda, eser miktarda inorganik tuzlar ve oksitler şeklinde bulunan kalsiyum, vanadyum, nikel, demir ve magnezyum gibi metalleri de içermektedir. Çeşitli ham petrolerden imal edilen bitümlerin analiz sonuçları, bu malzemelerden çoğunluğunun aşağıdaki elementleri içerdiğini göstermiştir [2]:

Karbon	% 82 - 88
Hidrojen	% 8-11
Sülfür	% 0- 6
Oksijen	% 0- 1,5
Nitrojen	% 0- 1

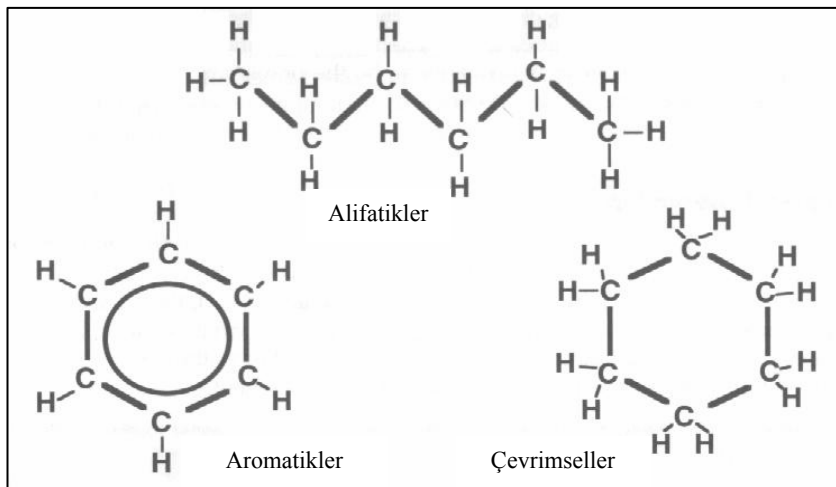
Bitümün kesin kompozisyonu, malzemenin elde edildiği ham petrolün kaynağına, daha sonra hava üfleme gibi üretim sırasında yapılan değişime ve ardından yol inşaatı ve trafik altında servis süresince meydana gelen yaşlanmaya göre değişiklik arz etmektedir. Azot, oksijen ve kükürt gibi heteroatomlar bitüm molekül yapısı içinde karbonun yerini aldıklarından, bitümün kimyasal ve fiziksel özelliklerinde farklılıklara neden olurlar. Heteroatomlar, özellikle kükürt, oksijenle birleşmede (oksidasyon) karbon ve hidrojenden daha hızlı olduğundan, heteroatomun cinsi ve miktarı bitümün yaşlanma özeliğine önemli oranda tesir etmektedir.

Bitümün kimyasal kompozisyonu yoldaki performansı ile yakından ilişkili olup, bünyesinde bulunan kimyasal elementlerin, bitümün performansı ile ilgili çeşitli bozulma modelleri üzerindeki etkisi genel olarak aşağıdaki gibi verilmektedir.

Çizelge 3.1. Bitüm kimyasal bileşimi ile üstyapı performansı arasındaki ilişki [5].

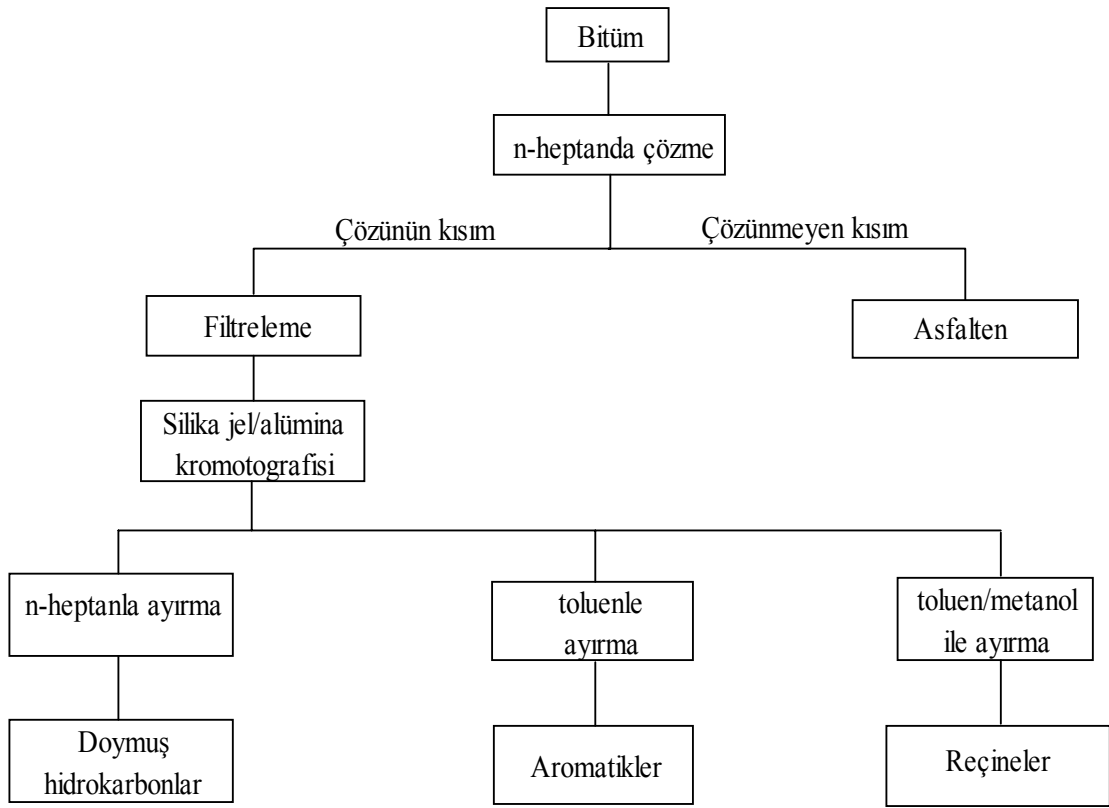
Bitüm özellikleri	Üstyapı bozulma türleri				
	Termal Çatlama	Yorulma Çatlakları	Kalıcı Deformasyon	Adezyon ve Su Hassasiyeti	Yaşlanma
Vanadyum/Nikel Oranı	Az önemli	Çok önemli	Az önemli	Az önemli	Çok önemli
Sülfür İçeriği	Çok önemli	Az önemli	Önemsiz	Önemsiz	Önemli
Sıcaklık Hassasiyeti	Çok önemli	Az önemli	Çok önemli	Önemsiz	Az önemli
Nitrojen İçeriği	Önemsiz	Çok önemli	Önemsiz	Çok önemli	Önemsiz

Bitümün moleküler yapısı son derece karmaşıktır ve kimyasal bağları ve boyutları her kaynağa göre değişmektedir. Genelde alifatikler, aromatikler ve çevrimseller olmak üzere üç ana molekül yapısı vardır (Bkz. Şekil 3.2). Alifatikler veya parafinikler lineer, üç boyutlu ve zincir yapıdadırlar ve doğada yağlı veya cıllı olarak bulunurlar. Çevrimseller yada naftenikler üç boyutlu ve değişik atomların bağlı olduğu doymuş karbon atomu halkalarıdır. Aromatikler ise yassı keskin bir kokuya sahip, birbirine kolayca bağlanabilen kararlı karbon atomu halkalarıdır. Bütün bu molekül cinsleri birbirlerini değişik şekillerde etkiler ve bitümün fiziksel ve kimyasal davranışına tesir ederler.



Şekil 3.2. Bitüm molekülü tipleri

Bitümün kimyasal bileşiminin belirlenmesinde, çözme-ayırma (solvent extraction), kromatografi, adsorbsiyon ve moleküler damıtma gibi farklı metotlar olmakla beraber, en yaygın olarak kromatografik metotlar kullanılmaktadır. Bu metotta, öncelikli olarak n-heptanda çözünmeyen asfalten çökeltisi ayrıldıktan sonra, geriye kalan malzeme aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi, farklı çözücülerden geçirilerek bileşenlerine ayrılmaktadır.



Şekil 3.3. Bitümün kromatografik yöntemle kimyasal bileşimlerine ayrılması [2]

Buna göre, bitüm asfalten ve malten olarak adlandırılan iki geniş kimyasal gruba, maltenler de kendi içinde, doymuş hidrokarbonlar, aromatikler ve reçineler olarak alt gruplara ayrılmaktadır.

Asfaltlenler

Asfaltlenler, karbon ve hidrojen den yanında bir miktar da nitrojen, sülfür ve oksijen içeren, n-heptan içerisinde çözünmeyen, siyah veya kahverengi amorf katılardır. Asfaltlenler genel olarak, oldukça yüksek molekül ağırlığına sahip, çok polar (elektiriksel yüklere sahip) kompleks aromatik maddelerdir. Asfaltlen miktarı bitümün reolojik özelliklerine önemli derecede etki etmektedir. Asfaltlen miktarının artırılması ile daha düşük penetrasyon ve daha yüksek yumuşama noktasına sahip, daha sert ve sonuç olarak daha yüksek viskoziteli bir bitüm elde edilmektedir. Bitüm içerisindeki asfaltlen miktarı %5 ila %25 arasında değişmektedir.

Reçineler

Reçineler, büyük oranda hidrojen ve karbon ile az miktarda oksijen, sülfür ve nitrojen den oluşan, n-heptan içerisinde çözünen, koyu kahverengi renkte katı ya da yarı katı halde bulunan maddelerdir. Reçineler polar bir yapıda olup, oldukça yapışkan özelliğe sahiptirler. Reçineler, asfaltlenleri ayırarak dağılmalarını sağlamakta ve reçinelerin asfaltlenlere oranı, bir dereceye kadar bitümün jelatin (GEL) tipi ya da zelti (SOL) tipi olma özelliğini kontrol etmektedir.

Aromatikler

Aromatikler, bitüm içerisindeki en düşük moleküler ağırlıklı naftenik aromatik tipte, koyu kahverengi, viskoz sıvılardır. Aromatikler, asfaltlenlerin dağılmaları için gereken ortamın büyük kısmını teşkil etmekte ve toplam bitümün % 40 ila %65 ini oluşurmaktadır. Doymamış halka sistemlerin hakim olduğu polar olmayan karbon zincirlerinden oluşan aromatikler diğer yüksek moleküler ağırlıklı hidrokarbonlar için yüksek çözme özelliğine sahiptirler.

Doygun Hidrokarbonlar

Doygun hidrokarbonlar; düz ve dallanan bir zincir şeklinde alkil-naftenler ve bazı alkil-aromatikler ile birlikte bulunan alifatik hidrokarbonlardır. Bunlar, saman rengi veya beyaz renkteki polar olmayan viskoz yağlardır. Ortalama moleküler ağırlık aralığı aromatlere benzer olup, hem parafinli hem de parafinsiz bileşenlerden oluşur. Doygun hidrokarbonlar, bitümün % 5 ila %20'sini oluşturmaktadır.

3.2. Bitümün Yapısı ve Kimyasal Bileşimi İle İlgili Davranışı

Bitüm, yüksek molekül ağırlıklı asfalten parçalarının daha düşük ağırlıklı, yağsı bir ortam (malten) içinde dağılmış durumda bulunduğu kolloidal bir sistem olarak kabul edilmektedir. Bu asfalten parçaları yüksek molekül ağırlıklı aromatik reçineler tarafından bir kılıf gibi kuşatılmış durumdadırlar. Asfaltenlerin merkezinden dışarıya doğru kademeli olarak daha düşük polariteye sahip aromatik reçinelere daha sonra da daha az aromatik yağsı çözelti ortamına geçilmektedir.

Çözücü gücü olan reçine ve aromatiklerin miktarının yeterli olması durumunda asfalten parçacıkları bitüm içerisinde tamamıyla dağılarak kolayca hareket edebilecek şekilde bir kolloid sistem oluşturabilmektedir. Bunlar, "SOL" tipi bitümler olarak bilinmektedir.

Eğer reçine ve aromatikler, asfalten parçacıklarının tamamıyla çözülerek dağılmasına yetecek miktarda yada yeterli çözücü güce sahip değilse, asfaltenler dağılmayıp birbiri ile temas kurabilir ve kümeleşebilirler. Bu durumda, asfalten parçalarının birbirleriyle temas halinde olduğu ve içlerindeki boşlukların da diğer maddelerden oluşan sıvıyla dolduğu bir yapı meydana gelir. Bu bitümler ise jelatinli veya "GEL" tipi bitümler olarak adlandırılmaktadır. Bunlara en iyi örnek, çatı kaplamalarında kullanılan oksitlendirilmiş bitümler verilebilir.

Bitüm içerisindeki asfaltenlerin kolloidal davranışı kümelenme ve çözünme olayına bağlı olmaktadır. Bunların ortam içerisinde dağılma dereceleri, malzemenin

viskozitesini belirgin derecede etkilemektedir. Bu tür etkiler sıcaklığın artmasıyla azalma göstermekte ve belirli bitümlerin GEL karakterleri yüksek sıcaklıklara kadar ısıtıldıklarında kaybolabilmektedir. Doymuş hidrokarbonların, aromatiklerin ve reçinelerin viskoziteleri bunların moleküler ağırlık dağılımlarına bağlıdır. Moleküler ağırlık arttıkça, viskozite de artmaktadır. Sürekli fazın yani maltenlerin viskozitesi, bitüme doğal bir viskozite kazandırmakta, asfaltinin miktarı bu viskoziteyi artırmaktadır. Yüksek miktarda doymuş hidrokarbonun varlığı asfaltinlerin kümeleşmesine yol açtığından, maltenlerin asfaltinleri çözme yeteneklerini de azaltmaktadır. Dolayısıyla, bitümlerin GEL özelliğindeki artış ve düşük sıcaklıklara bağlılık yalnızca asfaltin içeriğinden değil aynı zamanda doymuş hidrokarbon muhtevassından da kaynaklanmaktadır.

Bitüm içerisinde üç boyutlu şekilde bulunan polar asfaltin molekülleri, polar olmayan veya daha az polar malten içerisinde dağılmış durumda olup bütün bu moleküller aralarında değişen kuvvette bağ oluşturabilme özelliğine sahiptirler. Moleküller arası olan bu bağ temel organik hidrokarbon bağlarından daha zayıf olduğundan, ilk önce kopmakta ve bitümün reolojik davranışını belirlemektedir. Bu kimyasal yapı nedeniyle bitümler, polar molekül ağının etkisiyle elastik ve yine polar molekül ağının çeşitli kısımlarının polar olmayan ortam içerisinde dispersiyonu nedeniyle birbirine göre hareket etmesinden dolayı da viskoz bir davranış göstermektedir.

Bitümün davranışı yenilme mekaniği açısından değerlendirildiğinde, her yenilme (bozulma) mekanizması bitümün temel moleküler ve moleküller arası kimyası ile doğrudan ilişkilidir.

Tekerlek İzinde Oturma (Kalıcı Deformasyon)

Eğer moleküler ağ, nispeten basit ve birbiriyle bağlantılı değilse bitüm, yük etkisi altında elastik olmayan bir şekilde deforme olmaya eğilim göstermektedir. Bunun yanında, polar olmayan çözücü molekül miktarının yüksek olduğu bitümler, polar molekül ağının çeşitli kısımlarının birbirine göre bağlı hareketi daha kolay

olacağından daha akışkan olmakta ve daha fazla plastik deformasyon göstermektedirler.

Yorulma Çatlağı

Eğer moleküller çok iyi bir şekilde dizilmiş ve birbirine bağlanmışsa, bitüm daha rijit bir davranış sergilemekte ve yük altında elastik deformasyon göstermekten ziyade kırılmaktadır. Bu nedenle, yüksek oranda ağ oluşturan polar molekül içeren bitümler yorulma çatlağı oluşumuna karşı daha hassas olabilmektedirler.

Termal Çatlama

Normal koşullarda sıvı halde bulunan polar olmayan moleküller bile düşük sıcaklıklarda katılarak daha yapısal bir bütünlük oluşturur. Bu yapısal oluşum zaten polar olarak dizilmiş moleküllerle birleştğinde, bitüm daha rijit ve yük altında kırılmaya karşı daha hassas olmaktadır.

Sökölme

Bitüm içerisindeki polar moleküller ile agrega yüzeyinde bulunan polar moleküllerin birbirini çekmesi nedeniyle bitüm agregaya yapışmaktadır. Bu çekimin kendisinde bir polar molekül olan su tarafından kesintiye uğratılabilmektedir. Bunun yanında bitüm içerisindeki polar moleküller farklı agrega türlerine göre değışik yapışma özelliğı gösterebilmektedir.

Su Hasarı

Su polar bir molekül olduğundan, polar bitüm molekülleri ile hemen etkileşime girmektedir. Bundan dolayı su sökülmeye neden olabilmekte ve/veya bitümün viskozitesini düşürebilmektedir. Bu durumda su, bitüm içerisinde tipik bir çözücü gibi davranmakta ve dayanımda azalma ve kalıcı deformasyonda artmaya neden olmaktadır. Suyun aynı özelliğı, bitüm emülsiyonlarının yapımında da

kullanılmaktadır. Oksidasyonla yaşlanmış bitüm daha fazla polar molekül içermekte olup, kimyasal açıdan daha fazla polar molekül suyla daha fazla etkileşim anlamına geldiğinden, normal olarak suyun yaşlı bitümlerde daha fazla etkili olması beklenirken, böyle değildir. Bu durum oksidasyon yaşlanmasının su etkisiyle oluşan yaşlanmayı aksi yönde etkilemesi şeklinde açıklanmaktadır.

3.3. Bitümün Reolojisi

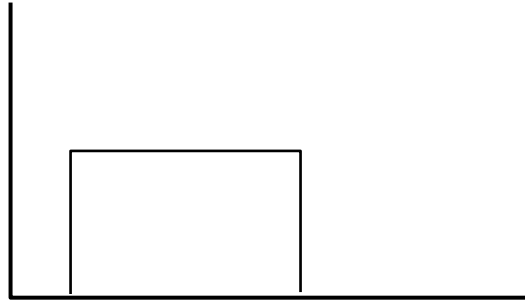
Reoloji, bir maddenin akma ve deformasyon özelliklerinin basınç ve zaman içerisinde incelenmesidir [17]. Bitümlü bağlayıcılar yüke maruz kaldıklarında deforme olurlar. Bitümün özellikleri aynı zamanda sıcaklıkla da değişmektedir. Deformasyon, elastik tepki ile viskoz akışın bir bileşimidir. Deformasyonun büyüklüğü sıcaklığa, uygulanan yüke, yükü uygulama hızına ve süresine bağlıdır. Bitümlü bağlayıcılar hem elastik hem de viskoz davranış gösterdiklerinden dolayı viskoelastik malzeme olarak adlandırılmaktadırlar.

Uygulanan sabit bir yüke karşı tipik elastik, viskoz ve viskoelastik davranış şekilleri Şekil 3.4.'de gösterilmiştir. Elastik malzemeler, sabit bir yüke maruz kaldıklarında geri dönen deformasyon gösterirler. Bir elastik malzeme yük uygulandığında anında deforme olur ve yük sabit olduğu sürece deformasyon da sabit kalır. Yük kalktığında ise ilk şekline tekrar geri döner. Viskoz bir Newtoniyen malzeme sabit yüke maruz kaldığında, yük kalkana kadar sabit hızda deforme olur. Viskoz malzemenin deformasyonu yük kaldırıldıktan sonra da kalır, yani deformasyonlar kalıcıdır.

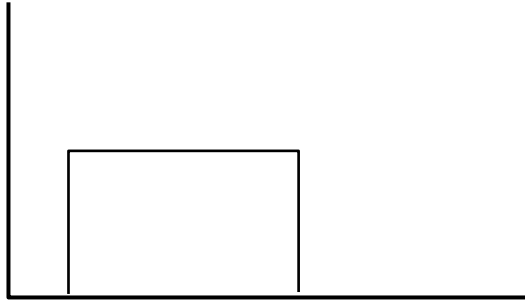
Viskoelastik bir malzeme ise sabit bir yüke maruz kaldığında Şekil 3.4.'de görüldüğü gibi öncelikle bir miktar ani deformasyon, daha sonra ise zamana bağlı bir deformasyon göstermektedir. Ani deformasyon malzemenin elastik davranışına, zamana bağlı deformasyon ise malzemenin viskoz davranışına karşılık gelmektedir. Yük kaldırıldığında, viskoz deformasyon bileşeni aniden sonlanır, fakat bu deformasyon kalıcıdır. Elastik deformasyon ise azalan hızda yavaşça, gecikmeli olarak kalkar. Bundan dolayı viskoelastik malzemelerde yüklemeye kadar deformasyonun kısmi derecede kalkması söz konusudur. Bitümün viskoelastik

davranışı deformasyona karşı direnci ve bu direncin lineer sınıflar içerisinde elastik ve viskoz bileşenlerinin birbirine göre bağıl dağılımı ile karakterize edilir. Elastik ve viskoz bileşenler arasındaki direncin bu dağılımı bitüm özelliklerine, sıcaklığa ve yükleme hızına bağlıdır.

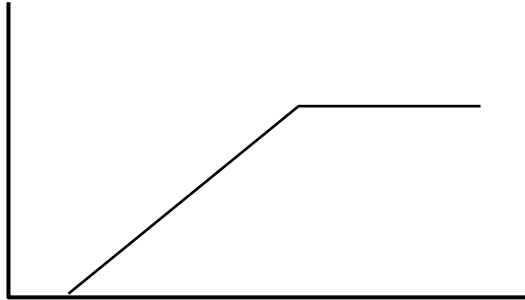
(a) Yük



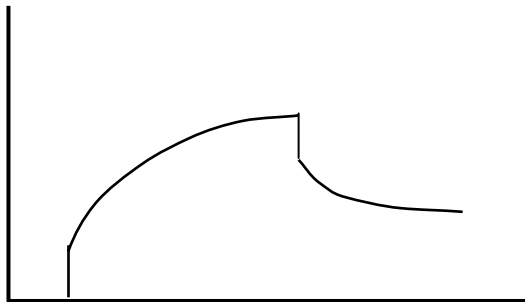
(b) Elastik davranış



(c) Viskoz davranış



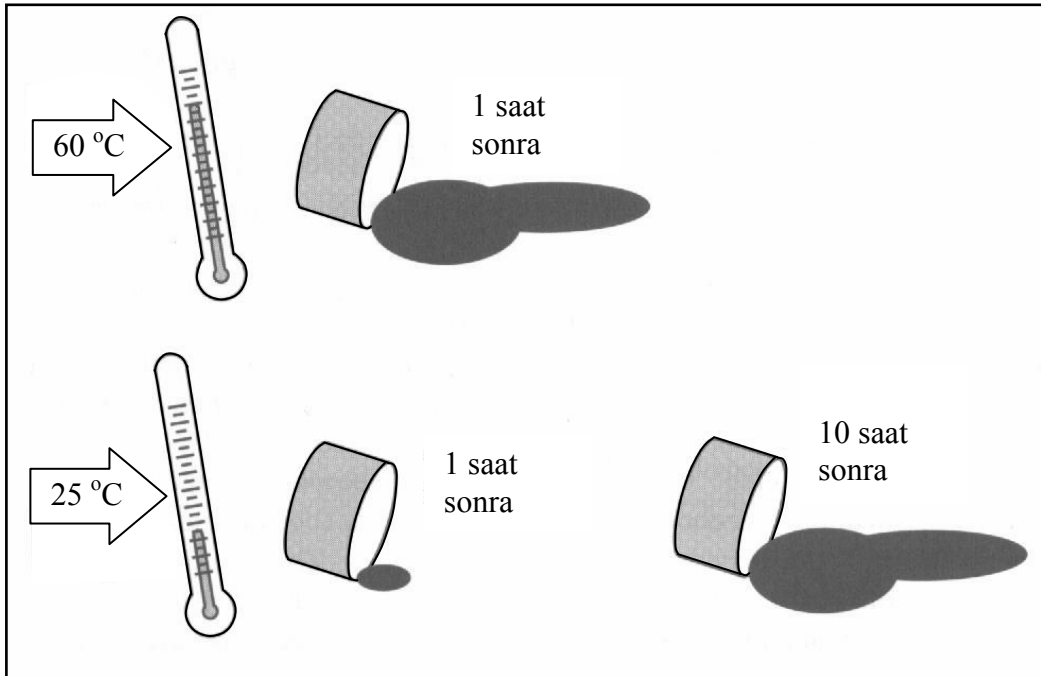
(d) Viskoelastik davranış



Şekil 3.4. Malzemelerin davranış modelleri [6]

Yukarıda bahsedilen yük tepki modeli herhangi bir zaman ve sıcaklıktaki deformasyonun uygulanan yükle orantılı olduğu lineer sınırlar için geçerlidir. Lineer olmayan yükleme kulları için bitüm gibi viskoelastik malzemelerin davranışını açıklamak zordur. Bununla beraber lineer tepki modeli arazide karşılaşılan yük ve çevre koşullarına karşı bitümün mühendislik analizini yapabilmek için yeterli olmaktadır.

Bitümlerin davranışı viskoelastik özelliği nedeniyle maruz kaldıkları sıcaklık ve yüke göre değişiklik göstermektedir. Aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi bitümün 60 °C de 1 saatlik akış miktarı ile 25 °C deki 10 saatlik akış miktarı aynıdır. Yani, bitümün yüksek ısıda ve kısa zaman aralığındaki davranışı, düşük ısıda ve daha uzun bir sürede ortaya çıkan davranış ile eşdeğerdir. Diğer bir ifadeyle, bitüm üzerindeki etkisi bakımından zaman ve sıcaklık birbiriyle yer değiştirebilir, biri diğerinin yerini alabilir. Buna zaman-sıcaklık yer değiştirmesi veya süperpozisyonu denir.



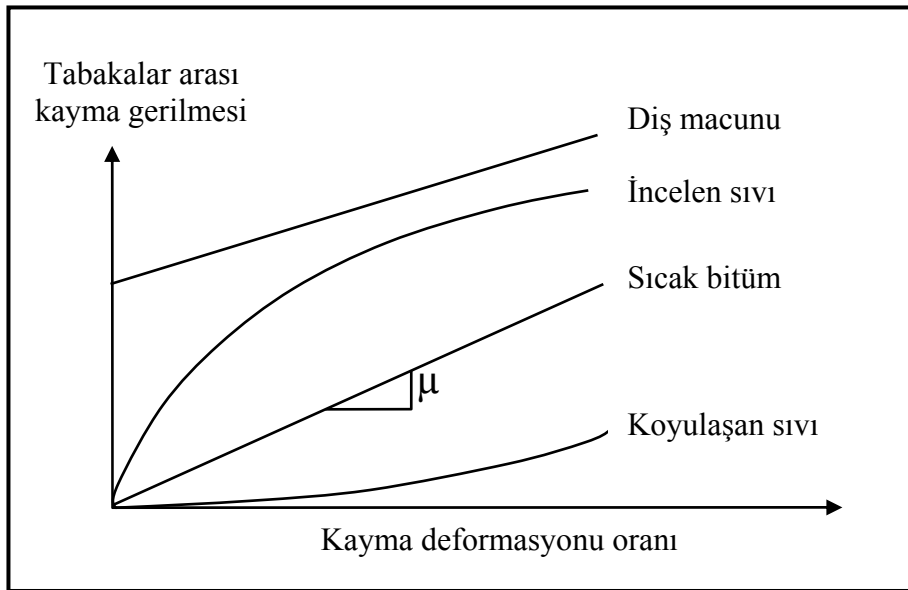
Şekil 3.5. Bitümün sıcaklığa ve zamana bağlı davranışı [2]

Genel olarak bitümler farklı yük ve sıcaklık koşullarında farklı özellikler sergilemekle beraber aşağıdaki hususlar geçerlidir [7]:

- Yükleme hızı arttıkça elastiklik, azaldıkça viskoz davranış artar.
- Yük tatbik süresi arttıkça viskoz davranış artar.
- Asfaltinin çözünmesi arttıkça viskoz davranış artar.
- Sıcaklık arttıkça viskoz davranış artar.

Sıcak iklim koşullarında yada yavaş yükleme durumunda bitüm kıvamlı bir viskoz sıvı gibi davranmakta ve akmaktadır. Bu durumda bitümün davranışı akmaya karşı direncini ifade eden viskozite ile belirlenir.

Bir akışkan mikroskopik düzeyde birbiri üzerinde kayan tabaka düzlemleri halinde olup, bu tabaka düzlemleri arasında meydana gelen kayma gerilmeleri ile deformasyon hızı arasında aşağıda verilen şekildeki gibi bir grafik çizildiğinde, her malzemeye ait eğri veya doğrunun eğimi viskozite (μ) değerini vermektedir.



Şekil 3.6. Değişik sıvıların viskozite özellikleri [2]

Newtoniyen akışkanlarında direnç kuvveti ile deformasyon hızı arasında lineer bir ilişki vardır. Hava, su ve sıcak bitüm yaklaşık 50 °C den yüksek sıcaklıklarda Newtoniyen akışkanları gibi davranırlar. Diş macunu ve benzeri malzemeler, başlangıçta akmaya karşı bir direnç göstermekte, akmaya başladıktan sonra ise

Newtoniyen bir akış davranışı göstermektedir. Orta sıcaklıklarda bitüm, viskozitesi düşerken deformasyon hızı arttığı için incelen sıvı (shear thinning liquid) olarak adlandırılmaktadır. Bazı polimer modifiye bitümler (PMB) ise deformasyon hızı arttığında viskozite de arttığı için koyulaşan sıvı (shear thickening liquid) özelliğindedirler.

Sıcak bitümler gibi viskoz sıvılar akmaya başladıklarında eski durumlarına gelemedikleri için bazen plastik olarak ta nitelendirilirler. Bu sebeple bazı stabil olmayan bitümlü sıcak karışımlar, yüksek sıcaklık koşullarında tekrar eden trafik yükleri nedeniyle tekerlek izlerinin olduğu kesimlerde akarlar. Bununla birlikte sıcak havalarda üstyapıda oluşan tekerlek izi agrega özellikleri ile de yakından ilgilidir ve böyle bir durumda karışımın plastik davranış gösterdiğini söylemek mümkündür.

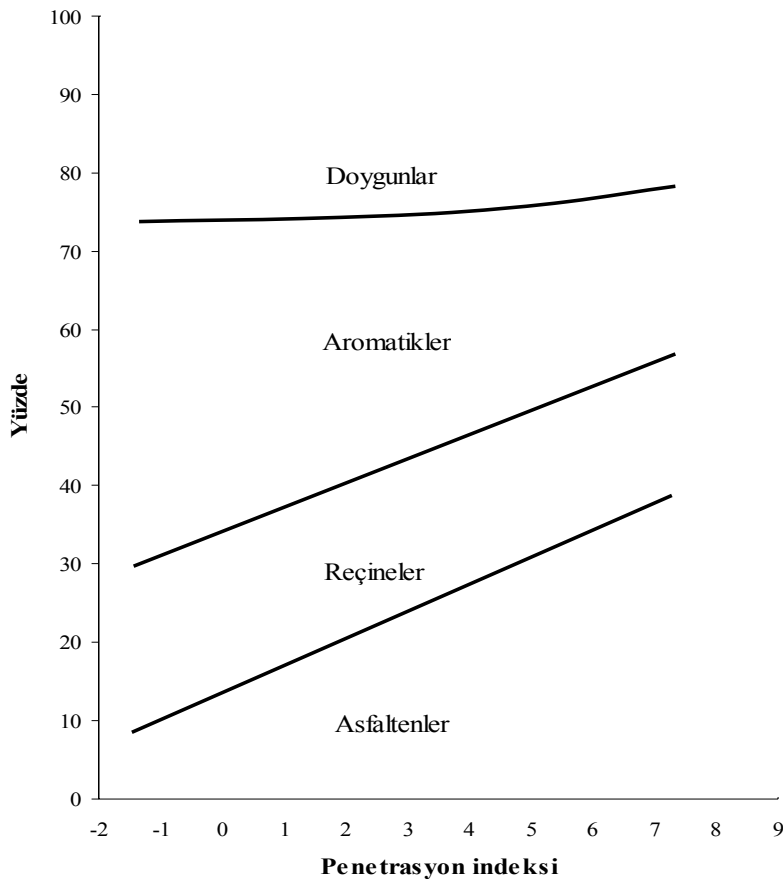
Kış günleri gibi soğuk iklim şartlarında yada hızlı hareket eden trafik yükleri altında bitümlü bağlayıcılar, yüklendiklerinde şekil değiştiren, ancak yükten kurtulunca eski orijinal hallerine geri dönen elastik bir katı gibi davranış gösterir. Bitümler düşük sıcaklıklarda elastik katı ise de aşırı yüklendiğinde kırılabilir veya çatlayabilir. Bu yüzden bitümlü kaplamalarda soğuk havalarda düşük ısı çatlakları (termal çatlak) görülür. Bu duruma düşük ısı nedeniyle kaplama yüzeyinin büzölmeye çalışmasının ortaya çıkardığı iç gerilmeler sebep olur.

Çevre şartlarının genellikle aşırı sıcaklar ile aşırı soğuk arasındadır. Bu tür bir iklime sahip bölgelerde bitümlü bağlayıcılar hem kıvamlı sıvı ve hem de elastik katı özelliklerini sergiler. Bu davranışı nedeniyle bitüm üstyapı işlerinde kullanmak için mükemmel bir yapışkandır. Bitüm ısıtıldığında düzgün ve boşluğu az bir yüzey elde edilebilecek şekilde karıştırmaya, agrega yüzeyinin bitümle kaplanmasına ve sıkıştırmaya imkan tanıyan bir yağlayıcı veya kayganlaştırıcı gibi davranırken, soğuduğunda agregayı bir arada tutan bir yapıştırıcı gibidir.

Belirli bir sıcaklıkta bitüm reolojisi, aynı zamanda malzemedeki hakim hidrokarbon moleküllerin kimyasal bileşimi ve fiziksel yapısı ile de ilişkilidir. Bileşim ve/veya

yapıda gerçekleşecek bir değişiklik reolojide de bir değişikliğe neden olmaktadır. Bitümden ayrılan doymuş hidrokarbonlar, aromatikler, reçineler ve asfaltlenlerin sistematik karışımı, bileşimin reoloji üzerindeki etkisini ortaya koymuştur. Asfaltlen içeriğini sabit tutmak ve diğer üç bileşenin konsantrasyonunu değiştirmek suretiyle, aşağıdaki sonuçlar gözlemlenmiştir :

- Doygunların reçinelere oranı sabit tutulup aromatik bileşen oranının artırılmasının reoloji üzerindeki etkisi azdır.
- Reçinelerin aromatlere oranını sabit tutarak, doymuş hidrokarbon içeriğinin artırılması bitümü yumuşatmaktadır.
- Reçine ilavesi bitümü sertleştirmekte, penetrasyon endeksi ile kayma hassasiyetini düşürmekte fakat viskoziteyi artırmaktadır.



Şekil 3.7. Genel kimyasal kompozisyon ile penetrasyon indeksi arasındaki ilişki [8]

3.4 - Bitümün Durabilite (Dayanıklık) Özelliği

Bitümlü bağlayıcının kaplama tabakasının performansını doğrudan etkileyen en önemli özelliği dayanıklılığıdır. Bitümlü bağlayıcının dayanıklılığı sertleşmeye karşı gösterdiği direnç olarak ifade edilmektedir. Bitümlü bağlayıcının çeşitli nedenlerden dolayı sertleşmesi ve kırılgan hale gelmesine de “yaşlanma” veya “zamana bağlı yaşlanma” denilmektedir [22]. Genel olarak bitümün sertleşmesi; adezyon kabiliyetinin azalması, suda çözünür hale dönüşmesi ve kırılgan hale gelmesi nedeniyle bitümlü kaplama tabakalarında çatlamların oluşması gibi olumsuz sonuçları doğurmaktadır.

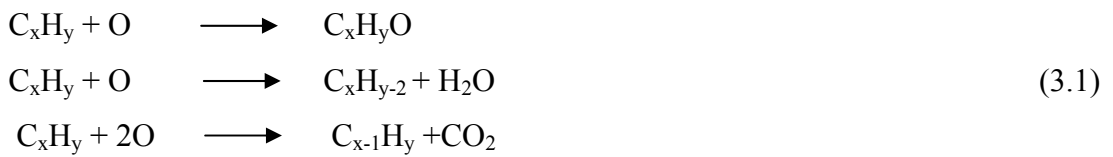
Bitümlerin bileşiminde bulunan asfaltın stabilitesi ve kolloidal yapısı yaşlanma ile doğrudan doğruya ilişkilidir [20]. Isıl değişikliklere, havaya, neme, ışığa maruz kalan bitümlü bağlayıcıların mühendislik özelliklerinde değişiklikler olmakta ve sertleşmektedir. Sertleşme başlıca;

- *oksidasyon* : Bitümün yapısında bulunan karbonların zamanla hava ve çok az da yolda suyun oksijeni ile birleşip oksitlenerek, sıklıkla oksijen kazanımı ve hidrojen kaybıyla sonuçlanan süreç,
- *uçucu madde kaybı* : Bitüm içindeki uçucu bileşenlerin buharlaşması,
- *tiksotropi yada fiziksel sertleşme* : bitüm yüke maruz kalmadan ortam sıcaklığında bekletildiğinde bitüm moleküllerinin yeniden dizilimi ve parafinli kısımların kristalizasyonu ile oluşan sertleşme,
- *sineris* : bitüm içindeki yağlı kısımların ısı etkisi ve zamanla bitümden ayrılarak bitümün sertleşmesi,
- *polimerizasyon* : hidrokarbon zincirinin zamanla değişime uğraması

olarak sıralanan birbirinden ayrı reaksiyonlar şeklinde gerçekleşmektedir [2]. Bitümün yaşlanması bazen geri alınabilirken, bazıları kalıcıdır. Geri alınamayan kalıcı yaşlanma genellikle moleküler düzeyde oksidasyon ile ilgilidir. Bu oksidasyonla beraber, bitüm içinde kimyasal olarak reaktif halde bulunan elementlerin çoğu okside

olarak tutulup, oksidasyon sona erene kadar viskozite de artmaktadır. Geri alınabilir yaşlanma ise genellikle moleküler dizilim ile ilgilidir. Zaman içerisinde, bitüm içerisinde bulunan moleküller daha kararlı bir sistem oluşturmak için yavaşça yeniden dizilirler. Tiksotropik yaşlanma veya fiziksel sertleşme olarak adlandırılan süreç bitümün uzun süre sıcaklığın 0 °C nin altında olduğu düşük sıcaklıklara maruz kalması durumunda meydana gelmektedir. Sıcaklık düştükçe bitüm hacimce büzülme ve fiziksel bir sertleşme meydana gelmektedir. Sıcaklık belli bir değerde sabit hale geldiğinde bile bitüm büzülerek sertleşmeye devam edebilmektedir. Buda bitümün daha sert ve rijit olmasına neden olmaktadır. Bu şekilde oluşan tiksotropik yaşlanma ısıtma veya çalkalama ile eski haline getirilebilir.

Bu nedenle, bitümün servis koşulları altında sertleşmesi büyük oranda oksidasyona ve uçucu madde kaybına bağlı olmakta; tiksotropi, sineris ve polimerizasyon süreçleri daha düşük derecede etkiye sahip olmaktadır. Uçucu madde kaybı normal koşullarda bitümü yumuşatan hafif, yağsı uçucu kısımların yüksek sıcaklık koşullarında bitüm içerisinde buharlaşma ile uzaklaşması ile genellikle, plantte karıştırma ve imalat sırasında meydana gelmektedir. Bitümün oksidasyonu ise, oksijenle hidrokarbon bileşiklerinin birleşmesi ile gerçekleşmekte ve sıcaklık arttıkça oksidasyonun oluşması daha kolay hale gelmektedir. Bu reaksiyonlar aşağıdaki şekilde meydana gelmektedir [20].



Birinci tipteki bir oksidasyon reaksiyonu başlıca bitümün yüzeyinde oluşur ve dış yüzeyde koruyucu bir tabaka oluşturur. Bu tabaka aşınmadıkça ve suyla yıkanmadıkça oksijen emilimi yavaşlar ve oksidasyon azalır. Uzun süreçte ışığın etkisi sertleşme mekanizması üzerinde esas faktör olmaktadır.

Bitümün oksidasyonu yağları reçinelere ve reçineleri de asfaltene dönüştürmektedir. Bitümün ısınması yağ fraksiyonunun buharlaşmasına ve

oksidasyon sürecine katkıda bulunmakta ve bu süreç zamanla bitümün yüksek bir asfaltten yüzdesine sahip olması ile sonuçlanmaktadır. Asfalttenlerin, yağların ve reçinelerin bitüm içerisindeki miktarı bitümün fiziksel ve adezyon özellikleri üzerinde önemli etkiye sahip olup, asfalttenlerin yüksek oranda olması (% 30 dan fazla) kaplama tabakasında potansiyel çatlama problemiyle sonuçlanmakta ve adezyonu azaltmaktadır.

Yapılan ayrıntılı çalışmalar yaşlanmanın iki aşamada oluştuğunu göstermektedir:

- 1- Kısa dönem yaşlanma
- 2- Uzun dönem yaşlanma

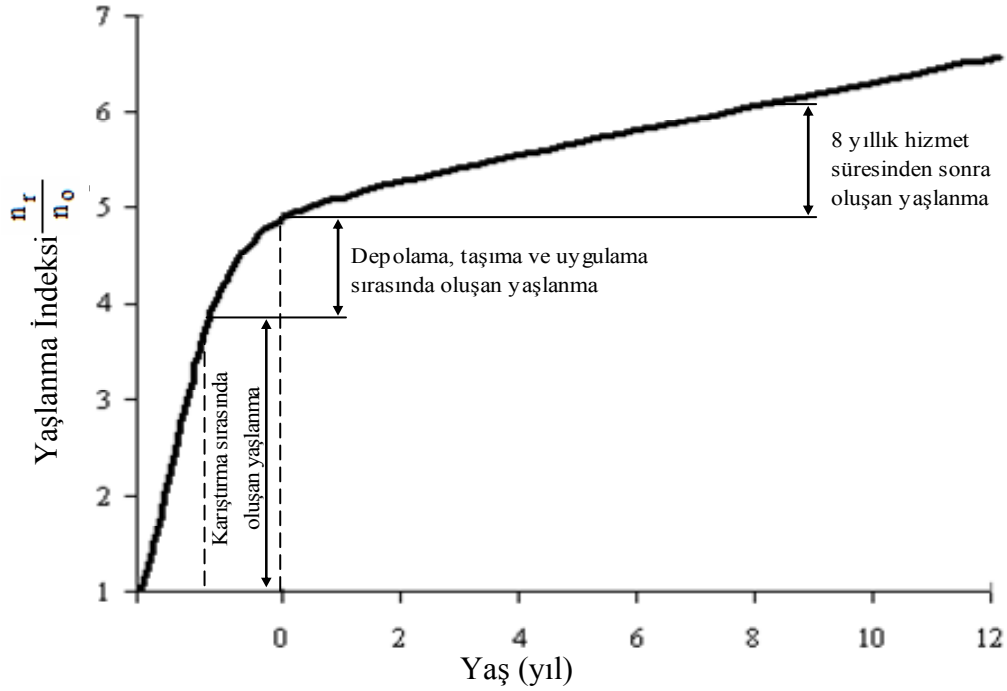
Kısa dönem yaşlanma, sıcak karışımın depolanma, plente taşınma, plente karıştırılma, şantiyeye taşınma, serilme ve sıkıştırılma işlemleri sırasında; uzun dönem yaşlanma ise, yolun servis ömrü boyunca oluşmaktadır. Yani bitüm kullanılmadan önce büyük ölçüde sertleşme yani yaşlanma gerçekleşmiş olmaktadır.

Sertleşmenin miktarı birçok unsura bağlı olmakla beraber karıştırma süresi ve ısısı, sıcak tanklarda bekletilme süresi ve ısısı, bitüm yüzdesi ve bitüm film kalınlığı en fazla etkileyen faktörler olmaktadır. Bitüm film kalınlığı ne kadar az ise yaşlanma hem daha çabuk, hem de daha çok olmaktadır.

Bitümlü karışımların üretimi süresince oksidasyon oranı özellikle geleneksel harman (batch) tipi karışım plenti içerisinde yüksek olmaktadır. Çünkü bu plentlerde, ince bitüm filmleri yüksek sıcaklık koşulları altında havadaki oksijene büyük oranda maruz kalmaktadır. Eğer karışım aşırı derecede uzatılırsa, önemli oranda sertleşme oluşur.

Şekil 3.8’de bitümlü bağlayıcının yıllara bağlı yaşlanma indeksi değerleri görülmektedir. Kısa dönem yaşlanma süresince oksidasyonun yaklaşık %70’inin meydana gelmekte; uzun dönem yaşlanma süresince de oksidasyonun yavaşlayarak 8 yılda yalnızca %30 civarında gerçekleştiği görülmektedir. Karışımın hazırlanması,

serilmesi ve sıkıştırılması sırasında yaşlanma daha hızlı olmakta, bu süreç yolda düşük sıcaklıklarda yavaşlamaktadır. Servis ömrü boyunca meydana gelen yaşlanma, karışımın sıkıştırılma derecesi (hava boşluk oranı), geçirgenliği ve agrega danelerini saran bağlayıcı film kalınlığı gibi faktörlere bağlıdır.



Şekil 3.8. Bitümün karıştırma, depolama, taşıma ve hizmet sırasında oluşan yaşlanması [8]

Yol yüzeyindeki bitüm, sürekli olarak oksijene maruz kalması, yol yüzeyinde sıcaklığın daha yüksek olması ve foto-oksidasyon (güneşten gelen ultraviyole ışınları etkisiyle bitümün oksitlenmesi) nedeniyle kaplamanın diğer kısımlardaki bitüme göre çok daha hızlı sertleşmektedir.

Foto-oksidasyon, bitüm tabakası üzerinde hızlı bir şekilde bitüm tarafından absorbe edilen doğal ultraviyole ışınları nedeniyle meydana geldiği düşünülen 4 ile 5 mikron kalınlığında ince bir tabaka oluşturur. Bu ince tabaka oksijen nüfuzu ve uçucu bileşen kaybını yavaşlatmakla beraber, oksitlenmiş malzeme yağmur suyunda kolayca çözünbildiğinden, aşınma sonucu aşağıda bulunan oksitlenmemiş bitümü korunmasız bırakmaktadır.

4 - BİTÜM ÖZELLİKLERİNİN ARAZİDEKİ PERFORMANSA ETKİLERİ

Bitümlü karışımların performansı, önemli ölçüde bitümün reolojik (yada mekanik), daha az ölçüde ise kimyasal bileşiminden etkilenmekte, bu etkinin derecesi hava, sıcaklık ve su koşullarına göre değişiklik arz etmektedir. Bitümün kimyasal bileşimi oksitlenme miktarını ve dolayısıyla bitümün trafik etkileriyle ne kadar hızlı şekilde aşınacağını belirtmesi nedeniyle yol yüzeylerinde önem taşımaktadır. Bunların dışında agrega yapısı, karışımın kompozisyonu, bitüm miktarı (örneğin, bitüm tabakası kalınlığı), sıkıştırma derecesi gibi hizmet süresi boyunca karışımın dayanıklılığını ve bitümün davranışını etkileyen faktörler de vardır [8].

Yükleme süresi ve sıcaklığa bağlı olarak davranışları tam viskozdan elastik hale kadar değişiklik gösteren bitümlü malzemelerin karıştırma ve sıkıştırma işlemleri süresince ve yüksek hizmet sıcaklıklarında, özellikleri viskoziteleri ile değerlendirilmektedir. Arazideki hizmet süresinin büyük çoğunluğunda ise bitümler visko-elastik davranış göstermekte olup, özellikleri rijitlik (stiffness) modülü ile ifade edilir. Bitümlü bağlayıcıların imalat ve servis süresi boyunca bitümlü sıcak karışım tabakalarının performansı üzerinde etkileri aşağıda verilmiştir.

4.1. Yapım Süresince Bitüm Özelliklerinin Etkisi

4.1.1. Karıştırma ve taşıma

Karıştırma süresince, sıcak bitüm, kurutulmuş ve sıcak mineral agregayı, belirlenmiş karıştırma koşulları altında, kısa sürede (tipik olarak 30 ila 90 saniye) kolayca kaplayabilmelidir. Bu durum, en düşük karıştırma sıcaklığını belirlemektedir. Karıştırma sıcaklığının bitümün agrega üzerinde hızlı yayılmasını sağlayacak derecede yüksek olmasının yanında, bu işlemin mümkün olan en düşük sıcaklıkta ve minimum zamanda gerçekleştirilmesine özen gösterilmelidir. Karıştırma sıcaklığı arttıkça, agregayı ince tabakalar halinde saran bitümün oksitlenmesi de artacaktır. Standart 30 saniyelik karıştırma süresi için, karışım sıcaklığındaki 5,5 °C artış bitümün yumuşama noktasında 1°C'lik yükselmeye yol açmaktadır. Bununla beraber,

asfalt betonu çok sıcak karıştırılır ise, kısa süreli bekletme veya taşıma sırasında bitümün agregadan ayrılarak bitüm miktarında değişiklikler meydana gelebilir. Bunun için, agreganın bitümle sarılması tamamlandıktan sonra karışıma ilave edilen filler, bitümün görünen viskozitesini artırıp, agregadan ayrılarak akmasını önlemektedir. Bu nedenle, karıştırma sıcaklığında üst ve alt sınırlar bulunmakta, karıştırma sıcaklığında optimum bitüm viskozitesinin 0,2 Pa.s (2 poise) olması istenmektedir. Sıcaklık hassasiyetine yani penetrasyon indeksine de bağlı olmakla beraber; 0,2 Pa.s değerinde viskozitenin elde edildiği sıcaklık, bitümün yumuşama noktasına 110°C ilave edilerek kabaca hesaplanabilmektedir [8].

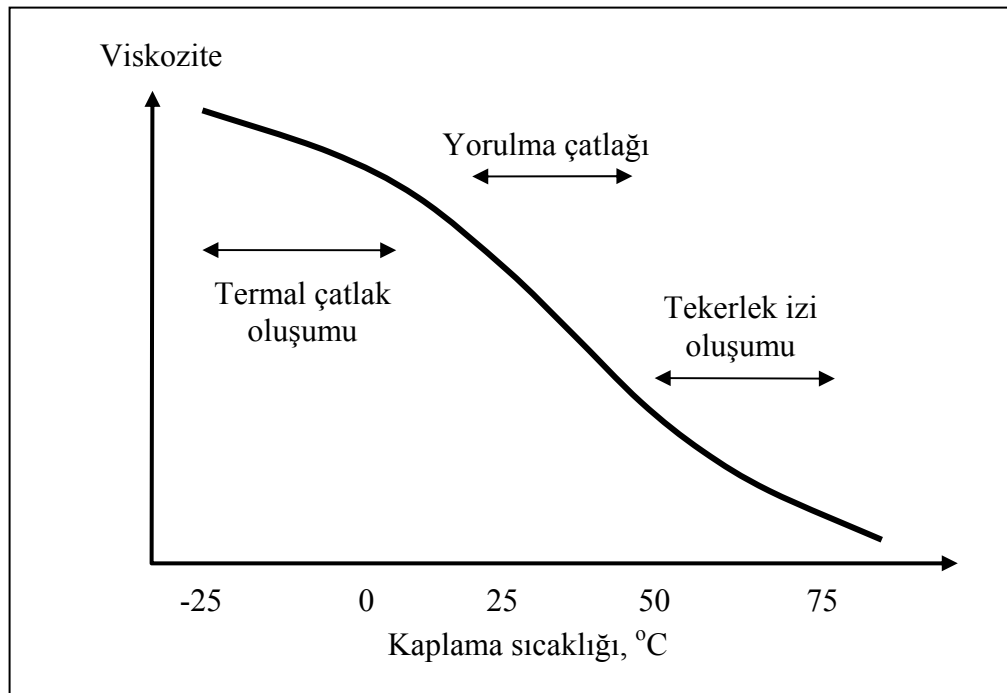
4.1.2. Serme ve sıkıştırma

Karışımın finişere boşaltılması sırasında, 20°C düzeyine kadar bir ısı kaybı oluşur, malzemenin serilmesi sırasında da sıcaklıkta yine düşüş meydana gelir. Sıcaklık kaybı miktarı, tabaka kalınlığı, ortam sıcaklığı, rüzgar hızı ve yeni malzemenin üzerine serildiği alt tabakanın sıcaklığına bağlıdır.

Tabakanın soğumasını etkileyen en önemli iki faktör ise rüzgar hızı ile tabaka kalınlığıdır. Bir tabaka karışım serildikten sonra, uygun ekipmanlarla gereken düzeyde sıkıştırılabilmesi için yeterli derecede işlenebilir olmalıdır. Sıkıştırma sırasında, bitüm viskozitesi 5 Pa.s (50 poise) ile 30 Pa.s arasında olmalıdır. 5 Pa.s değerinden düşük viskozitelerde, malzeme genellikle sıkıştırılamayacak kadar oynak; 30 Pa.s değerinden yüksek viskozitelerde ise malzeme daha fazla sıkıştırılamayacak derecede sert olur. Bitümün sıcaklık hassasiyetine göre değişiklik arz etmekle beraber, minimum sıkıştırma sıcaklığı bitümün yumuşama noktasına 50°C ilave edilmek suretiyle yaklaşık olarak tahmin edilebilir. Sıcaklık hassasiyeti yüksek, yani penetrasyon indeksi düşük bitümler, sıcaklık değişimlerinden çok kolay etkilendiklerinden istenilen viskozite değerini elde etmek için daha dar bir sıcaklık aralığında çalışma zorunluluğu ortaya çıkmaktadır.

4.2 Bitüm Özelliklerinin Hizmet Aşamasındaki Bitümlü Karışımların Performansına Etkisi

Bitümlü karışımların serilip ve sıkıştırıldıktan sonra, arazideki hizmet süresindeki davranışları da dikkate alınmalıdır. Hizmet sırasındaki kritik koşullar aşağıdaki şekilde verilmiştir.



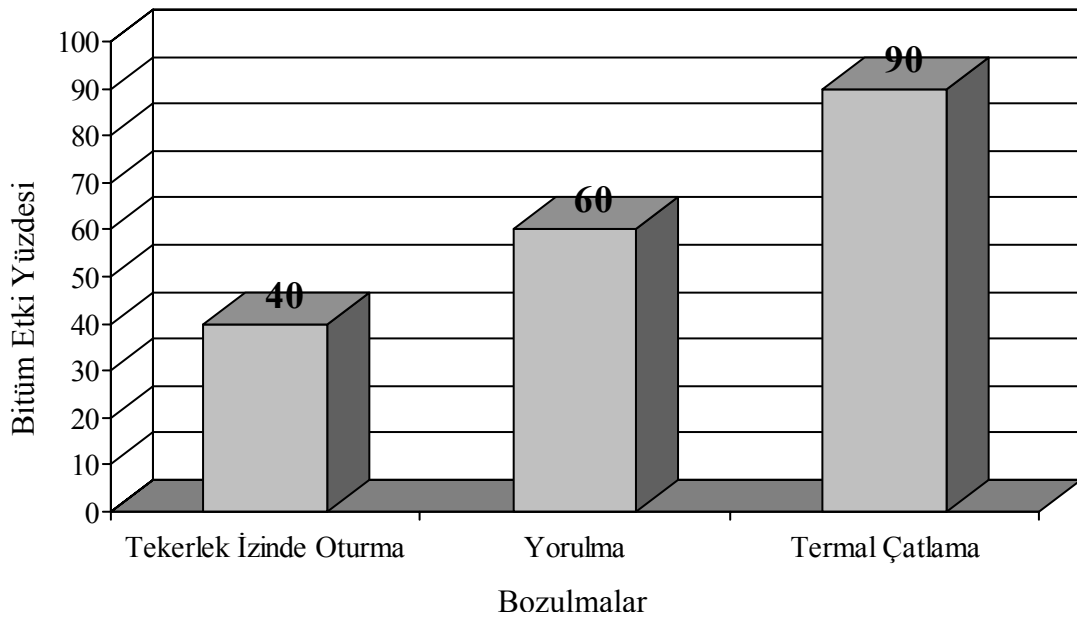
Şekil 4.1. Bitümlerin kaplama sıcaklığına bağlı performans özellikleri [8]

Şekil 4.1 incelendiğinde aşağıdaki sonuçları çıkarmak mümkündür;

- Kaplama sıcaklığının 0°C 'den daha düşük olduğu hallerde, bitüm oldukça rijit özellik gösterdiğinden bitümlü karışımda düşük sıcaklık çatlakları oluşmaktadır.
- Kaplama sıcaklığı yaklaşık, 10°C ile 40°C arasında olduğunda, karışımın viskozitesi düşmekte, karışım yumuşamaktadır. Bu aralıklardaki ısılarda, tekrarlı trafik yükü etkisi ile karışımda yorulma çatlakları oluşmaktadır.

- Kaplama sıcaklığı yaklaşık 40°C 'nin üstüne çıktığında, karışımın vizkozitesi daha da azalmakta ve karışımda taşıtların etkilerinden dolayı tekerlek izi oluşumu şeklinde bozulmalar meydana gelmektedir.

Yolun hizmet süresi boyunca kaplamanın performansı üzerinde bitüm özelliklerinin etkisi çok yüksek olup, kaplamanın performansını belirleyen tekerlek izinde oturma, yorulma çatlağı ve termal çatlak şeklinde bozulmaların oluşumu üzerindeki etkisi aşağıdaki şekilde gösterilmektedir. Buna göre, bitümün tekerlek izinde oturma üzerindeki etkisi %40, yorulma çatlağı oluşumu üzerindeki etkisi %60, termal çatlak oluşumu üzerindeki etkisi ise %90 gibi çok yüksek bir seviyede olmaktadır. Buda bitümlü karışımlarda kullanılacak bitüm cinsinin seçiminin ne kadar önemli olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.2. Bitümün üstyapı bozulmalarına etkisi [4].

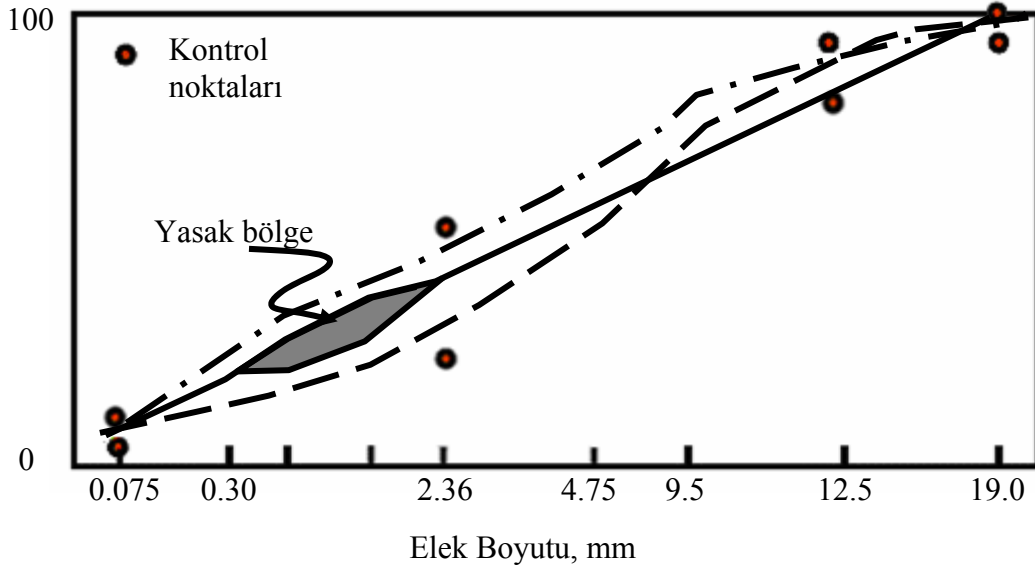
4.2.1. Kalıcı Deformasyon (Tekerlek İzinde Oturma)

Teorik olarak, yol üstyapılarının her tabakasında deformasyon oluşabilir. Bununla birlikte, bitümlü karışımların düşük termal iletkenliğe sahip olmasından ötürü, pratikte deformasyonların büyük çoğunluğu aşınma tabakasında oluşan plastik deformasyonlardır. Deformasyon, dinamik yada statik dingil yükleri altında ve özellikle frenleme, ivmelenme ya da dönüş hareketleri sırasında ortaya çıkan yüksek kayma gerilmeleri nedeniyle oluşur. Plastik deformasyonu etkileyen ana faktör karışım kompozisyonu olmakla birlikte, belirli bir karışımda deformasyonlara karşı davranışı bitümün viskozitesi belirler. Plastik deformasyonlar en büyük değerlere yüksek hizmet sıcaklıklarında ulaşır ve 60°C pratikte maksimum hizmet sıcaklığı olarak kabul edilir. Bu tür yüksek sıcaklıklarda, kısa süreli tekrarlı yüklemelerin oluşturduğu kalıcı deformasyonların miktarını (tekerlek izi) bitümün viskozitesi belirler.

Tekerlek izinde oturma şeklinde görülen deformasyonların önüne geçebilmek için, bitümlü sıcak karışımın kayma direncinin artırılması gerekmektedir. Kohezyonu ve içsel sürtünme açısı yüksek olan karışımların kayma gerilmelerine karşı dayanımı da o denli yüksek olmaktadır. Burada, kohezyon bitüm, içsel sürtünme açısı ise agrega özelliklerine bağlıdır. Bu nedenle, tekerlek izinde oturma problemi olan yüksek sıcaklıktaki bölgelerde daha sert bitümün kullanılması tercih edilmelidir. Sıcak karışımda meydana gelen tekerlek izini düşürmek için, sıcak karışıma doğrudan ve/veya karışımdaki malzemelere karışımdan önce katkı maddeleri katılarak bitümün yüksek sıcaklık özellikleri iyileştirilebilmektedir.

İçsel sürtünme açısını artırmak için ise, kaplama tabakalarında kübik ve pürüzlü yüzey dokusuna sahip sert, kırılmış agregalar kullanılmalıdır. Bunun yanında, son yıllarda yapılan çalışmalarda, karışımdaki ince malzemenin (özellikle ince agrega köşelilik derecelerinin) tekerlek izi oluşumundaki payının önemi tespit edilmiştir. SUPERPAVE karışım dizayn metodunda kullanılan agrega gradasyonlarında ise, ince agreganın tekerlek izi oluşumdaki etkisini azaltmak amacıyla, karışımda agrega

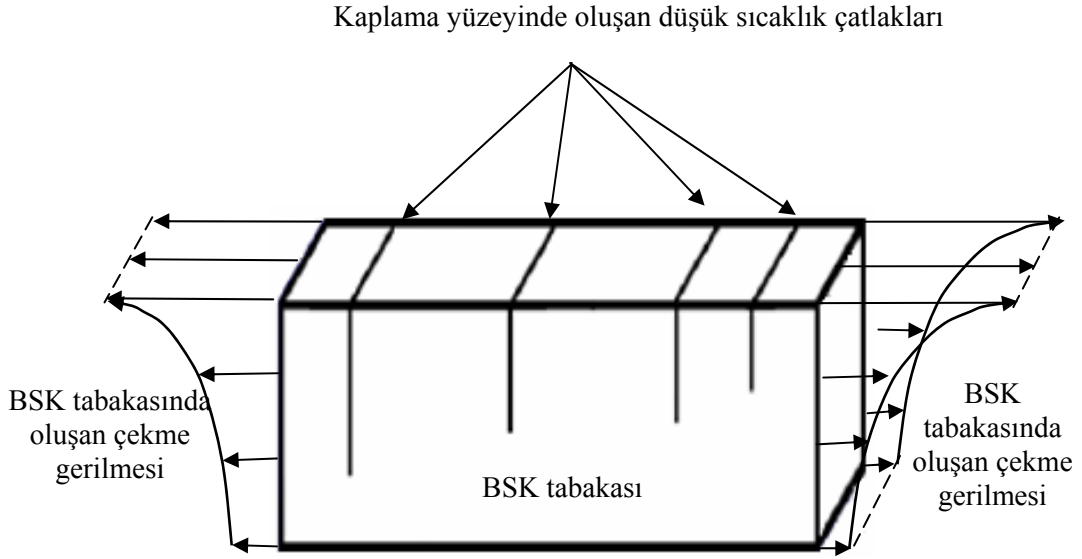
boyutu açısından girilmemesi gereken yasak bölge belirlenerek ince agrega kullanımına da sınırlandırma getirilmiştir.



Şekil 4.3. SUPERPAVE yöntemi ile dizayn edilmiş sıcak karışımlarda kullanılan agrega gradasyonları için girilmesi yasak bölge kavramı [9].

4.2.2 Termal çatlaklar

Termal çatlaklar (düşük sıcaklık çatlakları), soğuk havalarda kaplamanın büzülmesi sonucu, kaplama yüzeyinde artan çekme gerilmeleri nedeniyle oluşan çatlaklardır. Kaplama sıcaklığı düştükçe büzülmeye çalışarak kaplamada çekme gerilmeleri oluşmaktadır. Sıcaklık derinliğe bağlı olarak değiştiğinden, bu gerilmenin büyüklüğü de kaplama yüzeyinden derinlere doğru azalmaktadır. Yüzeyde maksimuma ulaşan bu gerilmeler, bitümün çekme dayanımını aştığında; yani bitüm soğumayla oluşan çekme gerilmelerine dayanamayacak kadar sert olduğunda termal çatlama meydana gelmektedir. Bitümün bu sertliği kendi özelliğinden ve/veya sonradan oluşan oksidasyon ve fiziksel sertleşme (tikotropi) yaşanmasından kaynaklanabilir.

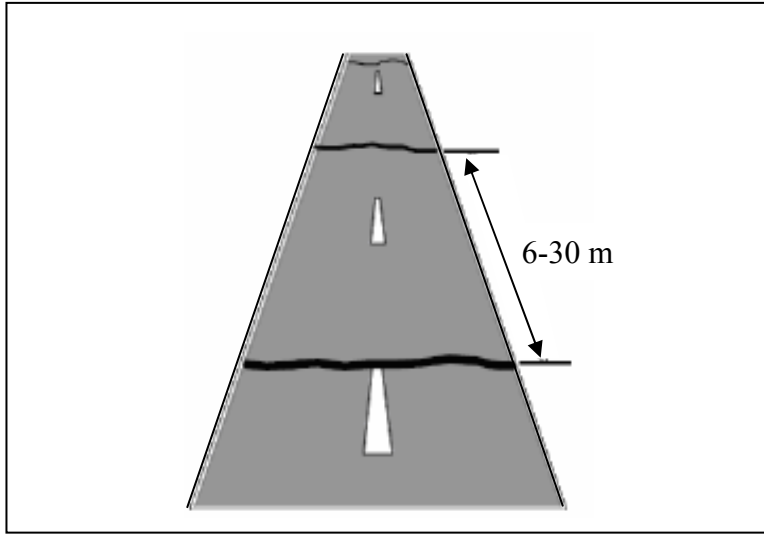


Şekil 4.4. Kaplama tabakasında gerilme durumu ve yüzeyde oluşan termal çatlaklar [9].

Termal çatlaklar iki farklı mekanizma ile oluşmaktadır. Aşırı derecede düşük sıcaklıklarda oluşan termal çatlaklar tüm bitümlü sıcak karışım (BSK) tabakası boyunca görülebilir. Bu tip çatlaklar, genellikle 30 °C ‘den daha düşük sıcaklıklarda tüm BSK tabakasının oluşan çekme gerilmesine dayanamadığı anda, aniden oluşmaktadır.

Orta derecede soğuk koşullarda ise çatlamlar daha yavaş gelişir. Bu tip çatlaklar, aşınma tabakasının özelliğine bağlı olarak öncelikle yüzeyde ortaya çıkar ve ısınma-soğuma şeklinde oluşan termal döngü nedeniyle zamanla aşağıya doğru ilerler. Bu nedenle, bu tip çatlaklar termal yorulma çatlağı olarak ta adlandırılmaktadır.

Termal çatlaklar arazide sabit bir aralıkta, kesikli enine çatlaklar şeklinde görülürler. Kaplamanın enine büzülmesi, boyuna büzülmesinden kolay olduğu için çatlaklar çoğunlukla enine yönde oluşmaktadır. Şekil 4.5’de bu durum gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Düşük sıcaklık çatlaklarının yol yüzeyinde oluşma aralıkları [9]

4.2.3. Yorulma çatlakları

Yorulma çatlakları, yükleme koşullarıyla ilgili temel yapısal çatlaklardır. Bu çatlaklar, malzemenin çekme gerilmesinden daha az gerilme oluşturan yüklerin sürekli olarak tekrar etmesi suretiyle oluşmaktadır. Bitümlü sıcak karışım tabakalarında görülen yorulma çatlağının asıl sebebi, taşıt tekerlerinin yol yüzeyine dik olarak uyguladığı basınç kuvvetlerinin BSK tabakasının alt kısmında oluşturduğu yol yüzeyine paralel çekme gerilmeleridir.

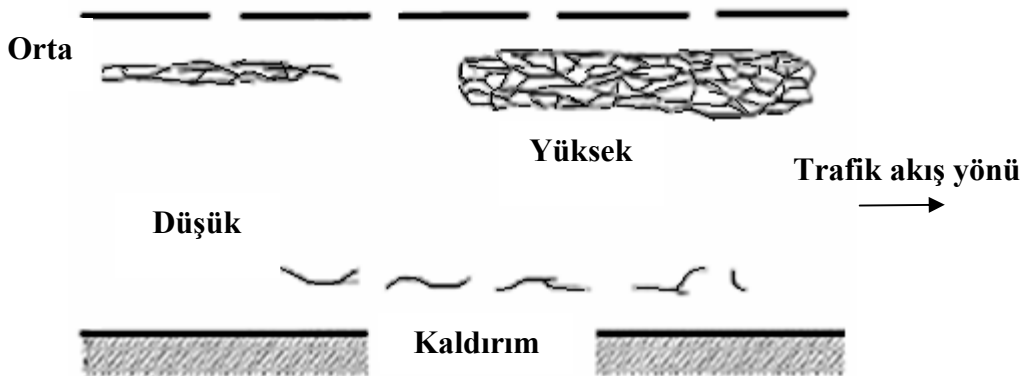
Kaplama tabakası üzerinde bir noktadan taşıt tekeri geçtiğinde o noktada kaplama eğilecek ve bu eğilme nedeniyle alt kısımda çekme gerilmeleri oluşacaktır. Bu eğilme ve düzelmenin yıllar boyunca tekrar etmesiyle BSK tabakasının altında başlayan ve yukarıya doğru ilerleyen yorulma çatlakları oluşmaktadır (bottom-up cracking). BSK tabakasının altında başlayan bu çatlaklar, yüzeye ulaştıklarında boyuna çatlak şeklinde kendini gösterirler. Bu nedenle, kaplama yüzeyinde tekerlek izi boyunca görülen boyuna çatlaklar yorulma çatlağının habercisi durumundadır.

BSK tabakasının kalın olması durumunda, tabanda çatlak oluşturacak derecede çekme gerilmesi oluşmayacağından, kaplama yüzeyinden başlayan ve aşağı doğru gelişen çatlaklar da görülebilir (top-down cracking). Bu durumda, yüzeyde çatlak oluşturan çekme gerilmesi teker izinin ortasında değil, yanında oluşmaktadır. Bu

sürece, düşük sıcaklıklarda oluşan termal gerilmeler de eklenerek çatlak aşağı doğru ilerlemektedir.

Bitümlü sıcak karışımlarda, suyun etkisi ile agrega ile bitüm arasındaki adezyonun azalması şeklinde oluşan soyulma, öncelikle çekme gerilmelerinin ve boşluk oranının en fazla olduğu BSK'nın altında gerçekleşmektedir. Bu nedenle, soyulmuş kısım çekme gerilmeleri için yeterli direnci gösteremeyeceğinden, soyulmanın yorulma çatlağı oluşumunda büyük önem taşıdığı unutulmamalıdır.

Yorulma çatlaklarının oluşuna neden olan sebepler genel olarak, üstyapının maruz kaldığı yüklerin büyüklüğü ve süresi, üstyapının yapısal dizaynı (özellikle alt tabakaların dayanıksız oluşu ve ince olmaları), üstyapıya yeterli desteği sağlayamayan tabii zemin tabakasının varlığı, karışımda kullanılan bitüm ve miktarı, agregaların karakteristik özellikleri ve bölgenin iklimidir. Kaplamada oluşan, yorulma çatlakları kaplamanın servis ömrünü tamamladığının iyi bir göstergesidir. Tasarlanan servis süresinden önce bu çatlaklar oluşmuşsa, kaplama dizayn hesaplarında göz önüne alınan taşıt ve/veya yükten daha fazlasına maruz kalıyor demektir. Şekil 4.6'de, kaplamada meydana gelen yorulma çatlaklarının dereceleri gösterilmiştir [9].



Şekil 4.6 Yorulma çatlaklarının derecelendirilmesi [9]

5. BİTÜM SINIFLAMA SİSTEMLERİ

5.1. Bitüm Sınıflama Sistemlerinin Tarihçesi

Son 20 yıl içerisinde bitüm şartnameleri konusunda basit ampirik şartnamelerden, bitümün temel, visko-elastik özelliklerinin dikkate alındığı performans esaslı şartnamelere kadar değişen çok büyük gelişmeler olmuştur. Bitüm şartnamelerinde meydana gelen bu değişiklikler farklı ihtiyaçlardan doğmuş ve dünya genelinde de önemli sonuçlar ortaya çıkarmıştır [7].

İlk bitüm şartnamesi 1931 yılında Amerika Birleşik Devletlerinde, AASHTO (The American Association for State Highway and Transportation Officials) tarafından yapılmıştır. Bu şartname bitümü yarı katı bir malzeme olarak ele aldığından, kıvamlilik ölçümleri penetrasyon sınıflama sisteminin geliştirilmesinde kullanılmıştır. Bu sistemde, her ikisi de 25 °C sıcaklıkta yapılan penetrasyon ve duktilite deneyleri, esas olarak bugünkü rafineri üretimi bitümlerden daha sert olan doğal bitümler için geliştirilmiştir.

Penetrasyon şartnamesi ampirik olduğundan sadece bitümün indeks özelliklerini vermesi ve bu nedenle üstyapı şartları bakımından sıcaklık hassasiyeti üzerinde gerçek bir kontrol yapılamaması nedeni ile güvenilir değildi. Penetrasyon sınıflaması sadece 25 °C 'de yapılan deneyleri içeriyor, daha yüksek ve daha düşük sıcaklıklar için her hangi bir deney bulunmuyordu. Penetrasyon ve duktilite ile ilgili limitler o kadar açıktı ki, çok farklı sıcaklık hassasiyetine ve performans özelliğine sahip pek çok türden bitüm aynı penetrasyon sınıfına düşebiliyordu. Bitüm endüstrisi daha ileri bilimsel deneyler olmadığından 30 yıl boyunca bu şartnamelerle çalışmak zorunda kalmıştır.

Penetrasyon sınıflamasına göre ilk büyük gelişme ise, 1960' lı yılların başında ortaya konulan viskozite sınıflaması (AC sınıflaması) olmuştur. Viskozite sınıflamasında 25 °C'deki penetrasyon deneyi yanında 60 °C'de viskozite ve 135 °C'de kinematik viskozite deneyleri de ilave edilmiştir. Ayrıca bu sınıflama sisteminde bitümün

yaşlanması da dikkate alınmış ve ince film halinde ısıtma kaybı deneyi (TFOT) bitümün bağıl yaşlanmasını ölçmek için kullanılmıştır.

Bununla birlikte, viskozite sınıflamasının kabulü ve uygulanması noktasında, geniş tabanlı bir düzeyde uygulama birliği sağlanamamıştır. Bazı karayolu kuruluşları penetrasyon sınıflamasını tamamen değiştirerek viskozite sınıflamasına geçerken, bazıları viskozite sınıflamasının da kendi problemlerini ortaya çıkardığını iddia ederek penetrasyon sınıflamasına devam etmişlerdir. Bu iddialar, viskozite sınıflamasında düşük sıcaklık özelliklerinin ve uzun dönemli yaşlanma yönteminin bulunmayışı ve çok geniş kabul limitleri gibi nedenlere dayandırılmıştır.

1970 'li yıllar başlarında meydana gelen petrol krizi, bitüm endüstrisini üretimle ilgili çok daha büyük teşebbüsler yapmaya itmiştir. Ham petrol kaynakları çeşitlendirilmiş ve yakıt üretimini maksimize etmek için refine işlemleri büyük ölçüde farklılaştırılmıştır. Bu durum, viskozite sınıflamasının kullanımını daha da zorlaştırmış ve çeşitli karayolu kuruluşları bazı projelerde ortaya çıkan erken bozulmaları önlemek için viskozite sınıflamasını değiştirme ve düzeltme çalışmalarına başlamışlardır. Çoğunlukla Amerika ve Avrupa 'da yapılan önemli bilimsel araştırmalara dayanan viskozite şartnamesindeki bu düzeltmeler, bitümün sıcaklık hassasiyeti, reolojik özellikleri ve kayma kuvvetine karşı davranış özellikleri ile ilgili olmuştur.

Farklı yerel alanlarda başarılı olarak kullanılan bu düzeltmeler, kullanılan şartnamelerin toplam sayısını aşırı derecede artırmış ve pek çok bitüm şartnamesi ortaya çıkmıştır. Öyleki, bir rafineride üretilen aynı sınıf bitüm bir şartnameye uygun iken, diğerine göre uygun olamaz hale gelmiştir. Bu durum, yerel pazar kısıtlaması ve depolama stabilitesi nedeniyle bitüm üreticilerinin ürünlerini pazarlayabilmesi için çok büyük sıkıntılar ortaya çıkarmıştır.

1987 yılında Stratejik Karayolu Araştırma Programı (Strategic Highway Research Program, SHRP) hem tek bir ulusal standart oluşturmak, hem de diğer sınıflama sistemlerinin eksiklerini gidererek bitümün doğrudan doğruya yoldaki performansına

dayanan bir şartname oluşturmak amacıyla bir çalışma başlatmıştır. Başlangıçta ulusal bitüm şartnamesinin bitümün bileşimi ile ilgili özellikleri içereceği bekleniyor iken, bitümün reolojik özelliklerine dayanan bir sınıflama sistemi ortaya çıkmıştır. Bitümün temel reolojik özelliklerine dayanan ve bugün SUPERPAVE PG sınıflama sistemi olarak bilinen performans sınıflama çalışmaları 1993 yılında tamamlanarak yayınlanmıştır [7].

5.2. Penetrasyon Sınıflama Sistemi

Penetrasyon sınıflama sistemi 1900'lü yılların başında yarı katı durumdaki bitümlerin kıvamlılıklarını ölçmek için geliştirilmiştir. Penetrasyon sınıflama sistemine göre aşağıda verilen bitüm deneyleri yapılmaktadır.

- Penetrasyon
- Parlama noktası sıcaklığı
- Düktilite (25 °C'de)
- Trikloretilende çözünürlük
- İnce film halinde ısıtma kaybı
 - Kalıcı penetrasyon
 - Düktilite (25 °C'de)

Penetrasyon sınıflaması temel olarak viskozite ne kadar düşükse, o kadar çok penetrasyonun meydana geleceğini esas almaktadır. Penetrasyon derinliği ampirik olarak bitümün performansı ile korele edilerek, penetrasyon değeri yüksek, yumuşak bitümler soğuk iklim koşullarında, penetrasyon değeri düşük olan sert bitümler sıcak iklim koşullarında kullanılmaktadır. Penetrasyon sisteminin avantaj ve dezavantajları aşağıda verilmiştir:

Çizelge 5.1. Bitüm penetrasyon sınıflamasının avantaj ve dezavantajları [24]

<i>Avantajları</i>	<i>Dezavantajları</i>
Penetrasyon deneyinin yapıldığı 25 °C, tipik ortalama kaplama sıcaklığına çok yakındır.	Deney ampirik olduğundan, viskozite gibi temel mühendislik parametrelerini ölçmez.
Düşük sıcaklık bitüm özellikleri ile 60 °C de yapılan viskozite deneyinden daha iyi korelasyon sağlar.	Deney süresince kayma hızı değişken ve yüksektir. Bitümlü bağlayıcıların 25°C 'de Newtoniyen olmayan bir akışkan gibi davranması deney sonuçlarını etkileyecektir.
25 °C 'den farklı sıcaklıklarda deney yapılarak bitümün sıcaklık hassasiyeti belirlenebilir.	Sadece 25 °C 'de yapılan deneyle sıcaklık hassasiyeti belirlenemez.
Deney hızlı ve ucuz olduğundan yapılması kolaydır.	Karıştırma ve serme sıcaklıkları hakkında bilgi vermez.

5.3. Viskozite Bitüm Sınıflaması

1960 'lı yılların başında, viskozite deneyine dayanan bir sınıflama sistemi geliştirilmiştir. Bu deney temel bitüm karakteristiği olarak penetrasyonla yer değiştirmiştir. Viskozite sınıflaması aşağıdaki bağlayıcı özellikleri dikkate alınarak yapılmaktadır:

- 60 °C'de viskozite
- 135 °C'de viskozite
- 25 °C'de penetrasyon
- Parlama noktası sıcaklığı
- 25 °C'de düktilite
- Trikloretilende çözünürlük
- İnce film halinde ısıtma kaybı
 - 60 °C'de viskozite
 - Düktilite (25 °C'de)

Viskozite sınıflaması hem orijinal hem de yaşlandırılmış bitüm üzerinde yapılabilmektedir. Orijinal bitümle yapılan viskozite sınıflaması AC-sınıflaması olarak adlandırılır ve bitümün imalat aşamasından önce sahip olduğu özellikleri yansıtır. Yaşlandırılmış bitümle yapılan viskozite sınıflaması ise AR-sınıflaması olarak bilinir. AR-sınıflaması döner ince film halinde ısıtma kaybı deneyi ile yaşlandırılan bitümlere yapılmaktadır ve bitümün yapım sırasındaki davranışını daha iyi temsil etmektedir. Bu sınıflandırma sisteminin başlıca avantaj ve dezavantajları aşağıda verilmiştir.

Çizelge 5.2. Bitüm viskozite sınıflamasının avantaj ve dezavantajları [24]

<i>Avantajları</i>	<i>Dezavantajları</i>
Penetrasyon değerinden farklı olarak, viskozite bitümün temel mühendislik özelliğidir.	Sınıflama sistemi düşük sıcaklıklardaki bitüm davranışını yansıtmaz.
Aşağıdaki deney sıcaklıklarında iyi bir korelasyon sağlar : • 25° C (77° F) – ortalama kaplama sıcaklığı. • 60° C (140° F) – yüksek kaplama sıcaklığı. • 135° C (275° F) – yapım sırasında karıştırma sıcaklığı.	AC sınıflama sistemi kullanıldığı zaman, ince film halinde yaşlandırma deneyi ile yaşlandırılmış aynı AC sınıfı içerisindeki numunenin viskozitesi büyük ölçüde değişebilir. Bu nedenle, aynı AC sınıfı içerisinde olmasına rağmen yol yapımında sonra çok farklı şekilde davranabilir.
Üç sıcaklık değerinde viskozite ölçümü yapıldığından, sıcaklık hassasiyeti bir dereceye kadar belirlenebilir.	Deney penetrasyon deneyinden daha pahalı ve daha fazla zaman alıcıdır.

Viskozite poise ($\text{cm-g-s} = \text{dyne-second/cm}^2$) yada PaS biriminde ölçülür. Daha düşük viskozite daha akışkan malzeme anlamına gelmektedir. Bu nedenle, AC-5 (60° C ‘de vizkozite 500 ± 100 poise) sınıfı bitüm, AC-40 (60° C ‘de vizkozite 4000 ± 800 poise) sınıfı bitümden daha akıcıdır.

Çizelge 5.3. Penetrasyon sınıfı bitümlerin özellikleri (TS 1081 EN 12591)

Deneyler	Birim	Deney Metodu	Gösterim								
			20/30	30/45	35/50	40/60	50/70	70/100	100/150	160/220	250/330
Penetrasyon, 25°C'ta	x 0,1 mm	EN 1426	20-30	30-45	35-50	40-60	50-70	70-100	100-150	160-220	250-330
Yumuşama noktası	°C	EN 1427	55-63	52-60	50-58	48-56	46-54	43-51	39-47	35-43	30-38
Sertleşmeye karşı direnç, 163°C'ta ^{a)}		EN 12607-1 veya EN 12607-2									
- Kütle değişimi, en fazla, ±	%		0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,8	0,8	1,0	1,0
- Kalıcı penetrasyon, en az	%		55	53	53	50	50	46	43	37	35
- Sertleştirmeden sonra yumuşama noktası, en az	°C	EN 1427	57	54	52	49	48	45	41	37	32
Parlama noktası, Cleveland açık kap metodu, en az	°C	EN 22592 ^{b)}	240	240	240	230	230	230	230	220	220
Çözünürlük, en az	% (m/m)	EN 12592	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0
a) Referans olarak sadece RTFOT metodu kullanılmalıdır.											

Çizelge 5.4. Bitüm penetrasyon sınıflaması (ASTM D946)

Deneyler	Penetrasyon Sınıfı									
	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300
	Min	Maks	Min	Maks	Min	Maks	Min	Maks	Min	Maks
Penetrasyon, 25°C, 100 g, 5 s	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300
Parlama Noktası, °F (Cleveland açık kap)	450	—	450	—	450	—	425	—	350	—
Düktilite, 25°C, 5 cm/min, cm	100	—	100	—	100	—	100	—	100	—
Trikloretilende çözünürlük, %	99,0	—	99,0	—	99,0	—	99,0	—	99,0	—
Kalıcı Penetrasyon, TFOT kalıntısına, %	55+	—	52+	—	47+	—	42+	—	37+	—
Düktilite 25°C, 5 cm/min, TFOT kalıntısına, cm	—	—	50	—	75	—	100	—	100+	—

Not: Eğer düktilite 100 ‘den azsa, 15,5 °C’deki düktilite minimum 100 cm koşulunu sağlıyorsa kabul edilecektir.

Çizelge 5.5. Orijinal bitüm için viskozite sınıflaması (ASTM D 3381)

Deney	Viskozite sınıfı					
	AC-2,5	AC-5	AC-10	AC-20	AC-30	AC-40
Viskozite, 60°C, Poise	250±50	500±100	1000±200	2000±400	3000±600	4000±800
Viskozite, 135°C, cSt, min.	125	175	250	300	350	400
Penetrasyon, 25 °C, 100 g, 5sn, min	220	140	80	60	50	40
Parlama noktası, Cleveland açık kap, °C, min	163	177	219	232	232	232
Triklor etilende çözünürlük, %, min	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0
İnce film halinde yaşlandırmış numuneler üzerine yapılan deneyler						
Viskozite, 60°C, Poise, maks	1 250	2 500	5 000	10 000	15 000	20 000
Düktilite, 25°C, 5 cm/dak, cm, min	100A	100	75	50	40	25

Not: Eğer düktilite 100 ‘den azsa, 15,5 °C’deki düktilite minimum 100 cm koşulunu sağlıyorsa kabul edilir.

Çizelge 5.6. RTFOT ile yaşlandırılmış bitüm için viskozite sınıflaması (ASTM D 3381)

Deney	Viskozite sınıfı				
	AR-1000	AR-2000	AR-4000	AR-8000	AR-16000
Viskozite, 60°C, Poise	1000 ± 250	2000 ± 500	4000 ± 1000	8000 ± 2000	16000 ± 4000
Viskozite, 135°C, cSt, min.	140	200	275	400	550
Penetrasyon, 25 °C, 100 g, 5sn, min	65	40	25	20	20
Orijinal penetrasyonun %'si, °C, min	-	40	45	50	52
Düktilite, 25°C, 5 cm/dak, cm, min	100	100	7	75	75
İnce film halinde yaşlandırılmış numuneler üzerinde yapılan deneyler					
Parlama noktası, Cleveland açık kap, °C, min	205	219	227	232	238
Triklor etilende çözünürlük, %, min	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0

Not: Eğer düktilite 100 'den azsa, 15,5 °C'deki düktilite minimum 100 cm koşulunu sağlıyorsa kabul edilir

5.4. Geleneksel Bitüm Sınıflama Sisteminde Yapılan Deneyler

5.4.1. Penetrasyon deneyi

Standart bir iğnenin belirli bir yük altında ve belirli bir süre içinde bitüm numunesi içerisine dikey olarak batma mesafesidir. Deney sırasında sıcaklık sabit tutulur. Standart olarak ağırlık 100 gram, sıcaklık 25 °C ve zaman 5 saniye olarak alınmaktadır. Penetrasyon birimi santimetrenin yüzde biridir. Aletin gösterdiği her bir bölüm 0,1 mm 'yi gösterir. Örneğin, deney sonunda okunan değer 100 ise, bitümün penetrasyonu 100, yani iğne bitümün içerisine 1 cm girmiş demektir.

Penetrasyon değeri kıvamlilikle ters orantılı olup, penetrasyon yükseldikçe bitüm yumuşamaktadır.

5.4.2. Düktilite

Düktilite bitümlü bağlayıcıların önemli özelliklerinden biri olup, kelime anlamı olarak uzama veya çekilebilme demektir. Düktilite kısaca bitümden yapılmış standart bir briketin belirli sıcaklık hız altında kopmadan çekilebildiği uzunluğun cm cinsinden ifadesi olarak tanımlanmaktadır.

Bir bitümün düktilite değerini ölçmek için, standart bir kalıba o bitüm numunesinden bir numune dökülür. Daha sonra, bitüm numunesi su banyosu $25 \pm 0,5$ °C olarak ayarlanmış düktilite cihazındaki yerine konur. Bitüm numunesi bu sıcaklıkta $55 \pm 0,25$ cm/dak hızla çekilir. Numune belli bir uzamadan sonra kopar. Kopma anındaki uzama miktarı cm cinsinden düktilite değeri olarak okunur.

Uzama yeteneği yüksek olan bitümler, düşük olan bitümlere göre daha üstün bir bağlama yeteneğine sahiptirler. Diğer yandan, çok yüksek düktilite değerine sahip olan bitümler ısı değişimlerine karşı yüksek hassasiyet gösterebildiğinden, bazı bitümlerin düktilite değerleri sınırlandırılmıştır.

5.4.3. Yumuşama Noktası (Softening Point)

Yumuşama noktası bitüm numunesinin tespit edilmiş deney şartları altında özel bir yumuşaklık değerine eriştiği andaki sıcaklıktır. Bitümün yumuşama noktası, yüzük ve halka (Ring and Ball) deneyi ile tespit edilmektedir.

Deney basitçe, bir su banyosu içine yerleştirilmiş, üzerinde standart bir bilya bulunan standart bir halka içindeki bitüm numunesi belirli sabit bir hızda ısıtılarak yapılır. Isınma sonucu yumuşayan bitüm numunesinin tabana değdiği andaki sıcaklık yumuşama noktası olarak kaydedilir.

Bu deney metodu, bitümün sıcaklık değişimlerine karşı olan hassasiyetini ölçmek için, genellikle Avrupa kıtasında kullanılmaktadır. Amerika'da ise sadece çatı kaplamalarında kullanılan bitümler için uygulanmaktadır.

5.4.4. Parlama Noktası (Flash Point)

Bitümün tehlike yaratmayacak bir şekilde ısıtılabilceği sıcaklığı belirlemek amacıyla tespit edilmesi gereklidir. Parlama noktası ısınan bitüm buharının alev ile temasında geçici olarak parladığı, fakat yanmaya başlamadığı en düşük sıcaklıktır. Bu deney, imalat sırasında bitümün yanmadan emniyetle hangi ısıya kadar ısıtılabilceğinin belirlenmesi için yapılmaktadır. Bitümünün parlama noktası, genellikle Cleveland Açık Kabı metodu ile tespit edilmektedir.

5.4.5. Çözünürlük

Çözünürlük deneyi, bitümün bünyesinde bulunan mineral maddelerin miktarının tayini, yani bitümün saflığını belirlemek amacıyla yapılmaktadır. Bu deneyde bitüm numunesi belirli bir çözücü içerisine konarak bitüm çözünme miktarı belirlenir. Kaplama sınıfı bitümler için trikloretilen çözeltisi kullanılmaktadır. Bitümün genellikle trikloretilen çözeltisi içinde %99 oranında çözünmesi, yani bitüm içerisindeki mineral madde miktarının en fazla %1 olması istenmektedir.

5.4.6. İnce film halinde ısıtma deneyi (TFOT)

İnce filme halinde ısıtma kaybı deneyinde, her birine belirli bir kalınlıkta bitüm konulan dairesel, düz kaplar bir etüv içinde özel olarak imal edilmiş belirli hızda dönüş yapabilen sehpa üzerine konur. Belirli, sabit bir sıcaklıkta numuneler belirli bir devir ile, belirli bir süre ile döndürüldükten sonra bitümün kütlesinde meydana gelen değişimin yüzdesi kütle kaybı olarak bulunur. Bu deney bitümlerin kısa dönemli yaşlanma özelliklerinin belirlenmesi amacı ile yapılır.

5.4.7. Dinamik (mutlak) viskozite

Dinamik viskozite belirli bir hacimdeki bitümün vakum altında, belirli bir sıcaklıkta kapiller bir tüp içerisinden boşalması için geçen süredir. Sıvı bitümün viskozluğu azaldıkça, akmaya karşı gösterdiği direnç daha az olacağından boşalma süresi de azalacaktır. Dinamik viskozitenin birimi Poise (g/cm.s) olup, 1 Poise 0,1 Pa.s (Paskal.saniye) 'ye eşittir. Viskozite sınıflaması, 60 °C 'de yapılan dinamik viskozite deneyine göre yapılmaktadır. Bu deneyle, bitümün yüksek sıcaklık koşullarında davranışı belirlenmeye çalışılmaktadır.

5.4.8. Kinematik viskozite

Bir akışkanın dinamik viskozitesinin, akışkanın özkütlesine oranı kinematik viskoziteyi vermektedir. Kinematik viskozite, belirli hacimdeki bir bitümün belli bir ısıda, kalibre edilmiş kılçak bir cam borudan akarak geçmesi için geçen süre olup, saniye cinsinden ölçülen bu sürenin viskozimetre cihazının kalibrasyon sabiti ile çarpılması suretiyle santistoke, cSt, birimi ($1 \text{ stoke} = 100 \text{ mm}^2/\text{s}$) cinsinden ifade edilmektedir.

Bitümlerin kinematik viskozitesi 135 °C 'de yapılmakta olup, bitümün imalat sırasındaki işlenebilirlik özelliğinin belirlenmesi için kullanılmaktadır. Genel olarak, bitümün karıştırma sırasında 0,2 ila 0,4 Pa.s (2-4 Poise), serme ve sıkıştırma sırasında ise 2 ila 20 Pa.s (20-200 Poise) olması istenmektedir.

6. SUPERPAVE (PERFORMANS) BAĞLAYICI SINIFLAMA SİSTEMİ

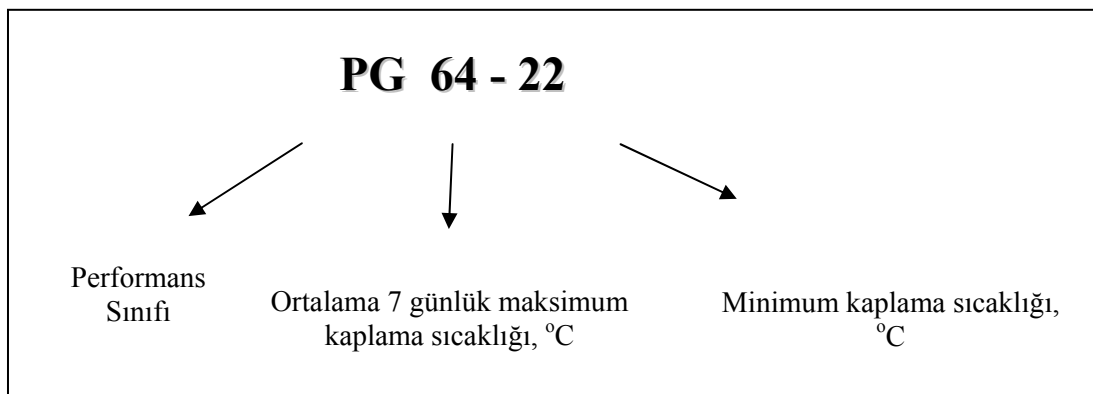
Karmaşık yapısı nedeniyle bitüm şartnameleri viskozite, düktilite ve penetrasyon gibi fiziksel özellikler çerçevesinde olmuştur. Bu fiziksel özellik deneyleri standart deney sıcaklıklarında yapılır ve deney sonuçları malzemenin şartname kriterlerine uygun olup olmadığının tespitinde kullanılır. Bu deneylerin çoğu ampiriktir yani deney sonuçlarında anlam çıkarabilmek için üstyapı performansı ile ilgili karşılaştırma yapılabilecek bir birikimin olması gerekir. Penetrasyon bunlardan biridir. Penetrasyon deneyi bitümün sertliğini gösterir, ancak bitüm penetrasyonu ile performans arasındaki ilişki deneyimlerle ortaya konmalıdır. Deneyselliğin bir sakıncası da test sonuçları ile performans yani yoldaki davranış arasındaki ilişkinin pek iyi olmamasıdır.

Bu deneylerin bir kısıtlayıcı özelliği de kaplamanın maruz kalacağı bütün sıcaklık aralığı ile ilgili bilgilerin elde edilememesidir. Viskozite akışın esas ölçüsü olmasına rağmen sadece yüksek ısılardaki viskoz davranış ile ilgili bilgi verir (standart deney sıcaklıkları 60°C ile 135°C arasındadır). Bunu yanında penetrasyon sadece orta sıcaklıktaki (25°C) kıvamı belirtir. Düşük sıcaklıklardaki elastik davranış bu verilerden gerçekçi olarak belirlenemez.

Sadece belirli bir sıcaklıktaki bitümün kıvam özelliğine dayanan geleneksel bitüm sınıflama sistemlerinin yetersiz kaldığının görülmesi üzerine, A.B.D. 'de kongre kararı ile Stratejik Karayolu Araştırma Programı (Strategic Highway Research Program, SHRP) tarafından 1987 yılında başlanan ve 1993 yılında tamamlanan SUPERPAVE Performans Sınıflama Sistemi getirilmiştir. Hem modifiye hem de modifiye olmayan bitümler için kullanılabileceğinde, hazırlanan bu çalışma bitümlü bağlayıcı şartnamesi olarak adlandırılmıştır. SUPERPAVE standartları ile geleneksel bitümlü bağlayıcı standartları arasındaki en önemli ayrımlardan biri, SUPERPAVE standardında bütün performans sınıfları (PG) için gerekli fiziksel özellikler aynı kalsa da, bağlayıcının kullanılacağı iklime bağlı olarak test sıcaklığı değişmektedir. Performans sınıfı bağlayıcıların seçiminde, kaplamanın hizmet edeceği bölgenin iklim koşulları doğrudan ön plana çıkmaktadır.

SUPERPAVE (Yüksek performanslı bitüm kaplama) yöntemine göre bitüm sınıflama sisteminde, ampirik deneylerden vazgeçilmiş, şartnameler performansa dayalı hale getirilmiş ve bitümler farklı sıcaklık koşullarında gösterdikleri performanslara göre sınıflandırılmıştır. Amaç, bitümün kalıcı deformasyonlara katkısını sınırlamak, termal çatlama ve yorulmaya karşı mukavemetinden emin olmaktır [3].

Yüksek performanslı bitümlü kaplama (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. Sistemde, bağlayıcının tanımlanması için yapılan deneylerde bitümden beklenen özellikler aynıdır. Ancak bu özelliklerin beklendiği sıcaklıklar farklılık gösterir. Yani, performans sınıfı bitümlerde fiziksel özellikler sabit kalır; ancak, bu özelliklerin elde edileceği sıcaklıklar kaplamanın yapılacağı yerdeki iklim şartlarına göre farklılık gösterir. Örneğin PG 64-22 olarak adlandırılan bitümde; 64°C ve -22°C’ lerde beklenen performans, PG 46-40 bitümü için 46°C ve -40°C’ lerde beklenir. PG simgesini takip eden rakamlar, bağlayıcının hizmet vereceği yerdeki en yüksek ve en düşük kaplama sıcaklıkları ile ilgilidir [2]. Aşağıda örnek bir sınıflama gösterilmiştir [1].



Şekil 6.1. SUPERPAVE performans sınıfı gösterimi [3]

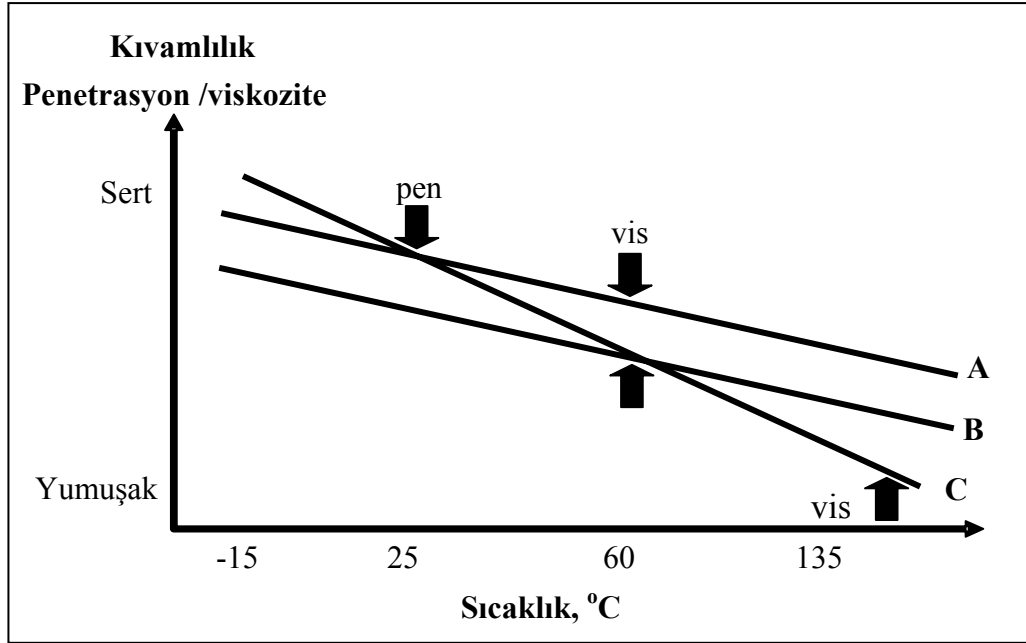
Diğer bir ifade ile, yukarıdaki sınıflamada ilk 64 rakamı bitümün tekerlek izi oluşturmadan dayanabileceği maksimum sıcaklığı, -22 rakamı ise termal çatlamaya karşı dayanabileceği minimum sıcaklığı göstermektedir.

6.1. Performans Sınıflamasının Üstünlükleri

1. 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 [9].

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. Performans sınıflamasında hem trafik hacmini hem de yükün uygulama süresini dikkate almak mümkün olabilmektedir.

2. Penetrasyon deneyi 25 °C ve viskozite deneyi ise 60 °C olmak üzere sadece bir sıcaklık değerinde belirlenmekte bitümün diğer sıcaklıklardaki davranışı hakkında bilgi vermemektedirler [9].
3. 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.
4. 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.



Şekil 6.2. Bitümün farklı sıcaklıklardaki kıvamı [9].

Şekil 6 ‘daki örnekte, üç bitüm numunesinin tümü 60 °C ‘de belirlenen şartlar içerisinde kaldıklarından aynı viskozite sınıfına sahiptirler. A ve B bitümleri aynı sıcaklık hassasiyetine sahipken, bütün sıcaklıklarda çok farklı kıvamlılığa sahiptirler. A ve C bitümleri orta sıcaklıklarda aynı kıvamlılığa sahipken, yüksek ve düşük sıcaklıklarda önemli derecede farklı kıvamlılık derecesine sahiptirler. B bitümünün 60 °C’deki viskozitesi haricinde C bitümü ile herhangi bir benzerliği bulunmamaktadır. Buna karşılık bu bitümler aynı sınıf içerisinde kaldıklarından, imalat koşulları ile düşük ve yüksek sıcaklık performansı açısından aynı özelliklerin beklenmesi hatasına düşülebilmektedir.

5. Geleneksel sınıflama sistemleri orijinal (base) bitümler için geçerli olup, modifiye bitümler için kullanılamamaktadır. Performans sınıflaması her cins bitüm için kullanılabilmektedir.
6. Geleneksel sınıflandırma sistemlerinde viskozite sınıflamasındaki “İnce Film Halinde Isıtma Kaybı Deneyi (TFOT)” ile bulunana kısa dönemli yaşlanma hariç, bitümün trafik ve çevre şartları altında uzun dönemli yaşlanması dikkate alınmamaktadır. SUPERPAVE performansı sınıflaması ile “Döner İnce Film

Deneyi (RTFOT)” deneyi ile bitümün kısa dönemli yaşlanması, “Basıncılı Yaşlandırma Deneyi (PAV)” ile ise uzun dönemli yaşlanması dikkate alınabilmektedir.

7. Bu sınıflama sistemi tekerlek izinde oturma (rutting), yorulma çatlağı ve termal çatlak olmak üzere kaplama performansına etki eden üç ana bozulma mekanizmasını dikkate alır. Bitüm, bu bozulma mekanizmalarının oluşmasında önemli rol oynar.
8. Bu bozulmalara karşı direnç gösteren bitüm özellikleri aynı değildir. Bunlar aynı zamanda farklı sıcaklıklarda tespit edilir. Tekerlek izinde oturma ile ilgili bitüm özellikleri maksimum kaplama sıcaklığında ölçülürken, çok daha elastik ve daha katı bir bitüm kullanımına doğru tercih oluşturmaktadır. Yorulma çatlağı oluşumu ile ilgili bitüm özellikleri ise ortalama kaplama sıcaklığında ölçülürken, elastik ve daha yumuşak bir bitüm kullanımını gerektirmektedir. Benzer şekilde, termal çatlama ile ilgili bitüm özellikleri minimum kaplama sıcaklığında test edilir ve az elastik, yumuşak bitüm kullanımına doğru tercih oluşturur.
9. Bu sınıflama sistemi kaplamadaki sıcaklık ve trafik yükü koşullarına bağlıdır. Fakat bütün bitüm sınıfları aynı bitüm özelliği kriterini sağlamalıdır.

6.2. Performans Sınıflama Sisteminde Uygulanan Deneyler

SUPERPAVE deneyleri ile bitümlü malzemenin farklı arazi şartlarındaki performansıyla ilgili fiziksel özellikleri ölçülmektedir. Yani, bu deneylerle bitümlerin arazi koşullarında maruz kaldığı düşük sıcaklık, yüksek sıcaklık ve ortalama servis sıcaklıkları ile bitümün kısa ve uzun dönemli yaşlanma durumlarındaki gerçek performansları test edilmeye çalışılır. Çizelge 6.1. de bu deneylerin bir listesi ve kullanım amacı görülmektedir.

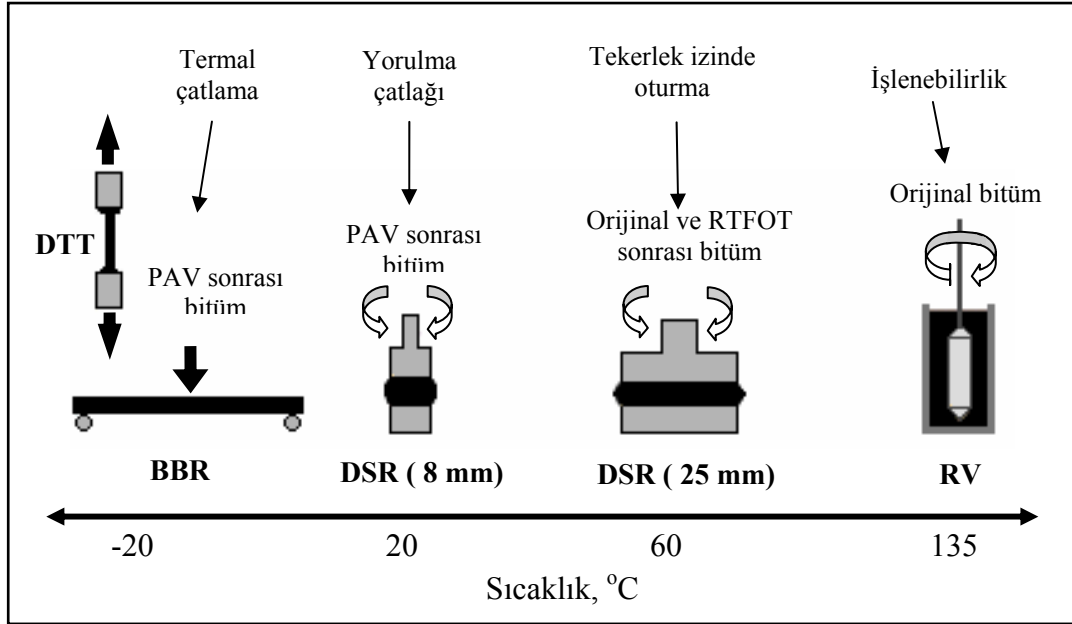
Çizelge 6.1. SUPERPAVE bağlayıcı deneyleri ve aletleri

Deney Aleti	Kullanım Amacı
Döner İnce Film Etüvü (RTFO)	Bağlayıcının oksidasyonunu diğer bir deyişle yaşlanmasını ya da sertleşmeyi simüle eder
Basınçlı Oksidasyon Kabı (PAV)	
Dinamik Kesme Reometresi (DSR)	Orta ve yüksek sıcaklıklarda bağlayıcı özelliklerini ölçer
Döner Viskometre (RV)	Yüksek sıcaklıklarda bağlayıcı özelliklerini ölçer
Çubuk Eğme Reometresi (BBR)	Düşük sıcaklıklarda bağlayıcı özelliklerini ölçer
Doğrudan Çekme Cihazı (DTT)	

SUPERPAVE bağlayıcı şartnamesinin en önemli özelliği üstyapıda görülen üç temel bozulma türünün analiz edilmesidir. Bunlar düşük sıcaklıkta termal çatlama, ortalama servis sıcaklığında yorulma çatlağı, yüksek sıcaklıkta ise tekerlek izinde oturma şeklinde oluşan bozulmalardır. Yani, bitümün ömrü boyunca karşılaşacağı üç kritik sıcaklık, buna bağlı olarak ta bozulma durumu dikkate alınmaktadır. Tekerlek izinde oturma genellikle bitümlü sıcak karışımın imalatından kısa süre sonra ortaya çıkmaktadır. Süre geçtikçe, bitüm atmosferik etkilere daha fazla maruz kalacağından giderek daha fazla sertleşmekte ve bitümün belli bir ömründen sonra tekerlek izinde oturma yerine yorulma çatlağı oluşumu kritik olmaktadır. Benzer şekilde termal çatlak oluşumu da bitümün sertleşmesine bağlı olarak bitümün tüm ömrü boyunca meydana gelen uzun dönemli bir olaydır. Bu nedenle SUPERPAVE bağlayıcı şartnamesinde tekerlek izinde bozulma için yapılan deneyler orijinal (yaşlandırılmamış) ve RTFOT ile kısa dönemli yaşlandırılmış bitümlere yapılırken, yorulma çatlağı ve termal çatlak için yapılan deneyler PAV deneyi ile uzun dönemli yaşlandırılmış numunelere yapılmaktadır. Aynı zamanda SUPERPAVE bağlayıcı deneyleri kapsamında, bitümün taşıma sırasında pompalanabilirliğinin ve bitümlü

karışımın üretimi sırasında işlenebilirliğinin belirlenmesi için yüksek sıcaklıkta dönel viskozite deneyi de yapılmaktadır.

Şekil 6.3 ve Çizelge 6.2 'de performans deneylerinin hangi bitümlere uygulanması gerektiği gösterilmektedir.



Şekil 6.3. Üstyapı bozulma tipine göre yapılan performans sınıflama deneyleri

Çizelge 6.2. SUPERPAVE bağlayıcı deneylerinde kullanılacak numuneler

Deney Adı	Kullanılacak Asfalt
Dinamik Kesme Deneyi (DSR)	Orijinal Asfalt
	RTFO Uygulanmış Asfalt
	PAV Uygulanmış Asfalt
Dönel Viskometre (RV)	Orijinal Asfalt
Bitüm Çubuk Eğilme Deneyi (BBR)	PAV Uygulanmış Asfalt
Doğrudan Çekme Deneyi (DTT)	PAV Uygulanmış Asfalt

6.2.1. Döner ince film halinde ısıtma deneyi (RTFOT)

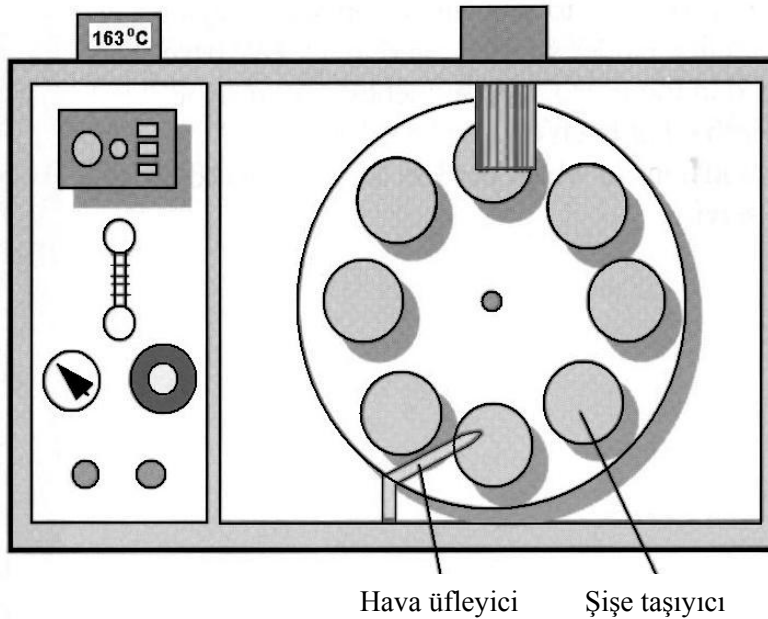
SUPERPAVE bitüm sınıflama sisteminin temel amaçlarından birisi yapılacak deneylerin gerçek arazi performansına olabildiğince yakın olmasını sağlamaktır. Kullanılan bitüm sıcak karışımın imalatı sırasında önemli derecede yaşlanmaya maruz kaldığından, bu durum, laboratuvar ortamında bitüm yüksek derecede ısıya maruz bırakılarak temsil edilmektedir. Bu sayede bitümün, sıcak karışımın imalatı sırasında maruz kalacağı kısa dönemli yaşlanma miktarı belirlenebilmektedir.

Geleneksel bitüm şartnamelerinde, bu amaçla ince film halinde ısıtma deneyi (TFOT) yapılmaktadır. Bununla beraber, yaşlandırma TFOT ile yapıldığında modifiye bitümlerde yaşlanmayı engelleyen bir yüzey tabakası oluşur. Çünkü, deney süresince numunede dönme veya çalkalanma olmadığından yaşlanma (özellikle buharlaşma) bitüm numunesinin yüzeyiyle sınırlandırılmış olmaktadır. RTFO deneyinde ise, deney şişeleri ile beraber bitümlerin döndürülmesi özellikle modifiye bitümlerde polimerleri sürekli dispersiyon halinde tutarak, ayrışmasını önlemektedir. TFOT yönteminde 3,2 mm film kalınlığı kullanılırken RTFOT yönteminde bu kalınlık 1,25 mm' ye düşürülmüştür. Bu sayede RTFOT, karıştırma boyunca bitümün yaşlanmasını daha iyi bir şekilde laboratuvar ortamına yansıtabilmektedir. Döner ince film halinde ısıtma deneyinin diğer bir avantajı ise deney süresini 85 dakika gibi kısa bir süre olmasıdır. İnce film halinde ısıtma deneyinde bu süre 5 saattir.

RTFO deneyi başlıca iki amaca hizmet etmektedir. Bunlardan biri daha sonra uygulanacak fiziksel özelliklerle ilgili deneylere belli ölçüde yaşlanmış numune temin etmek diğeri ise bu işlem sırasında bitüm içinde buharlaşan kütle miktarını tayin etmektir. Buharlaşan kütle miktarı bitümün karıştırma ve serme işlemleri sırasında meydana gelebilecek yaşlanmanın bir göstergesidir. Bazı bitüm cinslerinin bu deney sonrasında kütle kaybetme değil tersine, oksitlenici ürünlerin yapısı nedeniyle, kütle kazandığı bilinmektedir. Bu deneyde taze bitüm filmi tabakaları sürekli olarak ısı ve hava akışına maruz bırakılır.

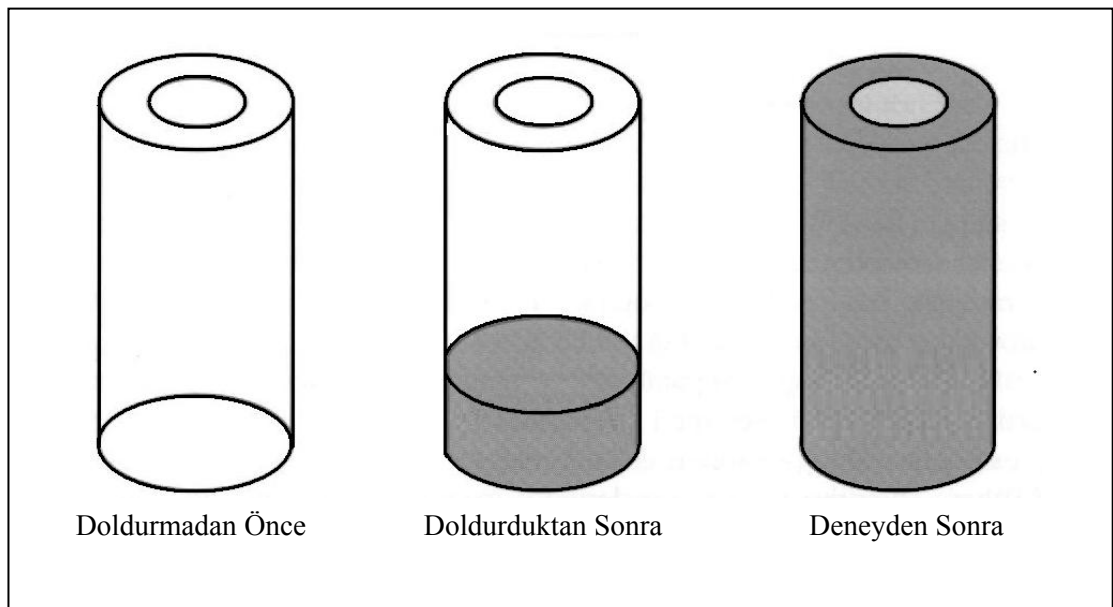
Bu deney yöntemi Şekil 6.4. 'deki gibi elektrikle beslenen bir ısı iletimi sistemi gerektirir. Etüv; dairesel, dikey ve kendi eksenini etrafında dönen numune şişelerin üzerine takılabildiği bir taşıyıcıya sahiptir. Şişeler taşıyıcı ile birlikte dönerken en alt konuma geldiklerinde hava üfleyici parça sıra ile her bir şişenin içerisine hava püskürtür. Etüv kullanılmadan önce 16 saat uygulama sıcaklığı olan 163°C ye kadar ısıtılır. Bitüm numuneleri yerleştirilip kapak kapatıldıktan sonra 10 dakika içerisine bu sıcaklığa çıkacak şekilde termostat ayarlanır.

Numuneleri deneye hazırlamak için bitüm akışkan hale gelinceye kadar 150 °C yi geçmeyecek şekilde ısıtılır. Şişelerin her birine 35 g konur. Bu deney için 8 adet numune şişesi gereklidir. Bunların ikisi kütle kaybının belirlenmesinde gereklidir. Diğer 6 şişe ise daha sonraki deneylerde kullanılır. Kütle kaybında kullanılacak şişeler 0,001gram hassasiyetle tartılır. Şişeler taşıyıcıya yerleştirilir ve dakikada 15 tur yapacak şekilde döndürülür. Hava üfleme düzeneği ise dakikada 4000ml olacak şekilde ayarlanır. Numuneler bu şartlara 85 dakika maruz bırakılır. Yaşlandırma işlemi sonunda kütle kaybı tespitinde kullanılacak numuneler soğutulur ve 0,001 g hassasiyetle tartılır ve numuneler atılır. Diğer şişelerde bulunan bitüm numuneleri bir kaba dökülerek homojen bir hale gelinceye kadar karıştırılır.



Şekil 6.4. Döner ince film etüvü

Deneyle ilgili standart olan ASSHTO T240 e göre numuneler diğer 6 şişeden dökme suretiyle diğer bir kaba aktarılır. Bitümü şişelerden boşaltırken kazıma yapılmamalıdır. Kazıma işi genellikle yeterli malzemenin çıkarılabilmesini ve homojen bir örnek alınabilmesini sağlamak amacıyla modifiye bitümlerde sık sık gerekli olmaktadır. Bu 6 şişeden elde edilen bitüm daha sonra dinamik kesme deneyinde ve basınçlı yaşlandırma kabı deneyinde kullanılır yada eşit şekilde bölünerek ileride kullanılmak üzere küçük kaplarda saklanır.



Şekil 6.5. RTFO deney şişeleri

Kütle kaybı RTFO deneyinden sonra kalan iki numunenin yüzde olarak kaybettiği miktar olarak açıklanır ve şu şekilde hesaplanır.

$$\% \text{ Kütle kaybı} = \frac{\text{İlk Kütle} - \text{Son Kütle}}{\text{İlk Kütle}} \times 100 \quad (6.1)$$

6.2.2. Basınçlı yaşlandırma deneyi (PAV)

Basınçlı yaşlandırma kabı ile yaşlandırma deneyi SUPERPAVE performans şartnamesi ile gelen yeni bir deney olup, bu şartnameden önce bitümlerin uzun dönemli yük ve çevre koşulları altındaki yaşlanması dikkate alınmamaktaydı.

Oysaki, pek çok üstyapı bozulması eski bitümlü sıcak karışım tabakasında görülmekte yada daha şiddetli olmaktadır. Bundan dolayı bu tip bozulmaların modellenebilmesi için bitümün uzun dönemli yaşlanması da dikkate alınması gerekmektedir. SUPERPAVE bağlayıcı şartnamesi bitümlerin orta ve düşük sıcaklıklarda yorulma ve düşük sıcaklık çatlaklarına karşı dayanımlarını belirlemek için bitümlerin uzun dönemli yaşlandırılmasını zorunlu kılmaktadır.

Uzun dönemde görülen böyle bir yaşlanma daha ziyade bitümün oksidasyonu nedeniyle ortaya çıkmaktadır. Bitümlerin uzun dönemde oksidasyonla yaşlanmasını simüle etmek için etüvde yaşlandırma deneyleri ve basınçlı yaşlandırma deneyleri olmak üzere iki temel yaklaşım bulunmaktadır. Basınç deneylerine göre daha eskiye dayanan etüvde yaşlandırma deneyleri daha basit ve hızlı olmaktadır. Bu yaklaşım, oksidasyon sürecinin hızlandırılması için yüksek sıcaklık ve ince bitüm filmi kalınlığını esas almaktadır. Bununla beraber, yaşlandırma süreci boyunca, bitüm numunelerinde önemli derecede uçucu bileşen kaybı da olmaktadır. Oysaki, yapılan arazi deneyleri ve gözlemlerinden elde edilen tecrübeler, yolun yapımından sonraki servis süresi içinde bitümün önemli derecede uçucu bileşen kaybına uğramadığını göstermektedir.

Basınçlı yaşlandırma yaklaşımı ise etüvde yaşlandırmaya göre daha az yaygın olmakla beraber, bitümlerle ilgili araştırma çalışmalarında uzun yıllar kullanılmıştır. Bu yaklaşımda bitüm numunesi içerisine oksijenin difüzyonunun hızını artırmak için basınç kullanılmaktadır. Genellikle, bu yaklaşımla bitüm numunesinin yaşlandırılması sırasında uçucu bileşen kaybı sınırlandırılmakta olup, başlıca aşağıdaki avantajları bulunmaktadır:

- Uçucu bileşen kaybı en aza indirilmektedir.
- Yaşlandırma çok yüksek sıcaklıklara gerek kalmadan gerçekleştirilebilmektedir.
- Büyük miktarda bitüm aynı anda deneye tabi tutulabilmektedir.
- Arazinin gerçek iklim koşulları deneyde yansıtılabilmektedir.
- Laboratuar kullanımının pratik olmasına imkan vermektedir.

Bu nedenle, SUPERPAVE Bağlayıcı Şartnamesinde uzun dönemli yaşlandırma için basınçlı yaşlandırma prensibi kabul edilmiştir. Şartnamede bu tip yaşlanma basınçlı yaşlandırma kabı (Pressure Ageing Vessel, PAV) olarak adlandırılan bir aletle yapılmakta olup, bu şekilde bitümde uzun dönemde ortaya çıkan fiziksel ve kimyasal değişiklikler temsil edilmektedir. PAV deneyi ile bitümün yaklaşık olarak 5 ila 10 yıllık yaşlanması belirlenmek istense de, bu durum pek çok faktöre bağlı olduğundan, gerçekte PAV ile oluşturulan yaşlanmanın arazide kaç yılda ortaya çıkacağını tahmin etmek oldukça zordur. Bu faktörlerden başlıcaları, yerel iklim özellikleri, agrega tipi ve absorpsiyonu, karışım tipi, asfalt film kalınlığı, hava boşluğu, trafik ve bitümün kimyasal bileşimidir.

Orijinal PAV deneyleri 300 psi (2.07 MPa) basınç ve 60 °C sıcaklık koşulları altında 6 gün süre ile yapılmakta idi. Fakat, bu yaşlandırma deneyleri sonucunda yeterli yaşlanmanın olmaması ve deney süresinin çok uzun olması nedeniyle, yaşlandırmanın hızlandırılması için deney sıcaklığı yükseltilmiştir. Başlangıçta yükseltilmiş deney sıcaklığı 100 °C olarak seçilmiştir. Ancak, arazi gözlemleri sonucunda bu sıcaklığın soğuk iklim koşulları için çok fazla yıkıcı olduğu, sıcak iklim koşulları için ise yetersiz kaldığı belirlenmiştir. Bu nedenle SUPERPAVE Bağlayıcı Şartnamesinde her biri farklı iklim koşullarını temsil eden üç sıcaklık kullanılmıştır.

Çizelge 6.3. PAV deney sıcaklığının seçimi

<i>Deney sıcaklığı</i>	<i>Temsil edilen iklim koşulları</i>
90 °C	Soğuk iklim
100 °C	Ilıman iklim
110 °C	Sıcak iklim

Bu deneyde, uzun süreli yaşlanmayı temsil etmek üzere, bitüm numunesi 20 saat boyunca belirli sıcaklık ve basınç koşullarına tabi tutulmaktadır. Deney sıcaklığı, kaplamanın hizmet edeceği yerdeki iklim koşullarına göre seçilmektedir. Bitümlü sıcak karışım tabakaları yolda hizmet vermeye başlamadan önce, imalat sırasında

karıştırma, serme, ve sıkıştırma gibi süreçlere maruz kaldığından bu deneyde RTFO deneyi ile kısa dönemli yaşlandırılmış numuneler kullanılır.

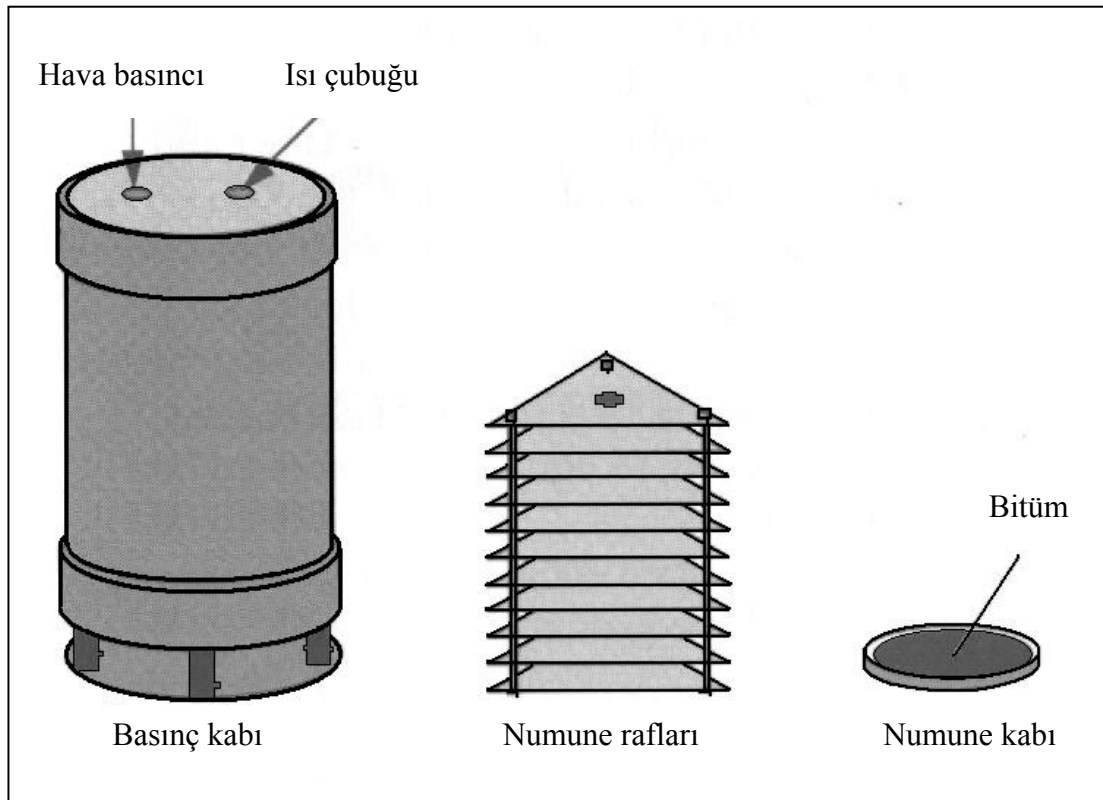
Basınçlı yaşlandırma ekipmanı basınçlı yaşlandırma kabı ve etüvden meydana gelir. Hava basıncı basınç düzenleyici, boşaltma ve tedrici boşaltma valfi basınçlı kuru hava silindiri tarafından sağlanır. Basınç kabı 2070 kPa ve 90° ,100° ve 110°C gibi sıcaklık ve basınç şartlarında çalışacak şekilde dizayn edilmiştir ve içerisinde 10 adet numune kabı alabilir. Ayrıca basınç kabının içine uygun bir raflı numune taşıyıcı bulunur. Yaşlanma süreci boyunca sıcaklığı gösterecek bir sıcaklık göstergesi bulunur. Ayrıca yine bu süreç boyunca etüv basınç kabının iç sıcaklığını $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ hassasiyetle kontrol edebilmelidir ve bu sıcaklığın kontrol edileceği bir dijital bir göstergeye ihtiyaç vardır.

Bu deneyin yapılabilceği birkaç tür basınç kabı bulunmaktadır. Bunların bir kısmında basınç kabı ile ısı ve basınç tertibatının aynı çember içinde bulunduğu etüv tek parçadır. Bir kısmında ise Şekil 6.6 'da görüleceği gibi numune raflarını taşıyan ayrı bir çember vardır. Bu çemberler sıcaklık çubuğu ve basınç hortumu ile birlikte etüvün içine yerleştirilir.

Bu deneyden önce RTFO ile yaşlandırılmış bitüm akıcı duruma gelinceye kadar ısıtılıp homojen bir hal alıncaya kadar karıştırılır. 50 g'lık üç numune kabı hazırlanır ve kaplar numune raflarına yerleştirilir.

Basınç kabı basınç uygulanmadan önce istenilen sıcaklığa kadar ısıtılır. Bu işlemde sonra raflı taşıyıcı basınç kabına yerleştirilerek ısı kaybına sebep olmadan kapak kapatılır. İklim koşullarına uygun görülen bir sıcaklıkta deney uygulanır. Kabin sıcaklığı gerekli sıcaklığa $\pm 2^{\circ}\text{C}$ hassasiyetle yaklaşıldığında basınç verilmeye, dolayısıyla yaşlandırma işlemine başlanır. 20 saat sonra basınç boşaltma işlemi 8-10 dakika sürecek şekilde tedricen boşaltılır. Basıncın hızlı kaldırılması köpürmeye neden olabilir. Bu işlemde sonra numuneler çıkarılarak 163°C de 30 dakika etüvde tutularak içinde hapsolan hava uzaklaştırılır ve numuneler etüvde alınarak daha sonra kullanılmak üzere saklanır.

Bu deney sonucunda numuneler için bir kart tutulur ve $0,5^{\circ}\text{C}$ hassasiyetle deney sıcaklığı, $0,1^{\circ}\text{C}$ hassasiyetle maksimum ve minimum yaşlandırma sıcaklığı, 0,1 dakika hassasiyetle sıcaklığın belirli bir değeri aştığı toplam yaşlandırma süresi ve saat-dakika olarak toplam yaşlanma süresi kaydedilir.



Şekil 6.6. Basınçlı yaşlandırma kabı ve parçaları

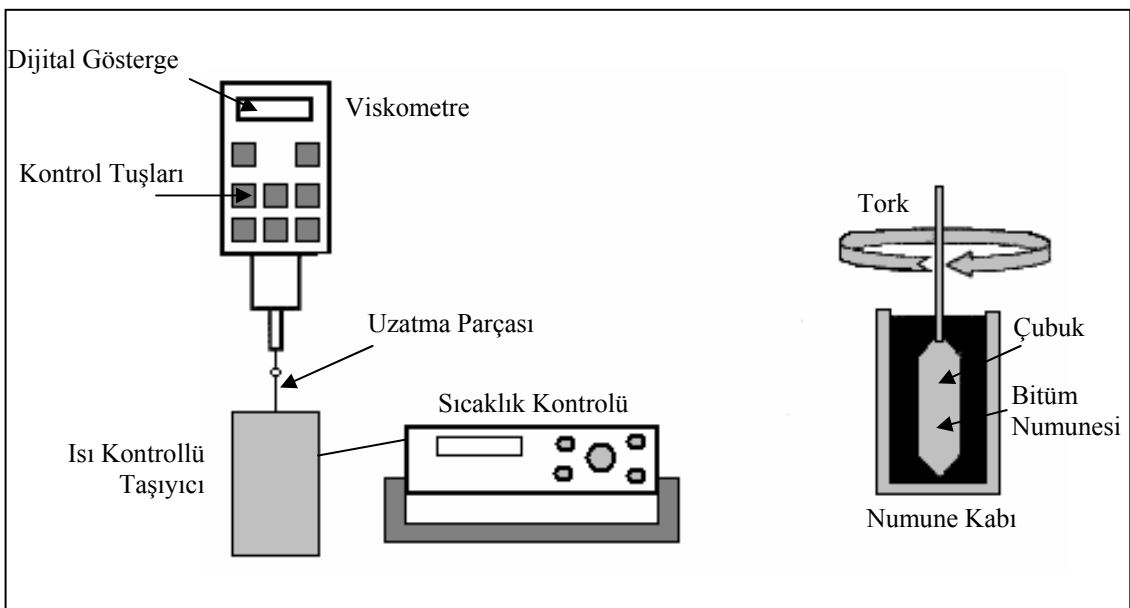
6.2.3. Dönel Viskometre

Dönel viskometre deneyi bitümün sıcak karışım tesisinde ne derecede pompalanabilirlik, karıştırılabilirlik ve işlenebilirliğe sahip olduğunun tespiti için akış karakteristiklerinin belirlenmesinde kullanılır. Pompalanabilirlik bitümlü bağlayıcının depolama ünitelerinden BSK üretim plentine aktarılabilirlik özelliği iken, bitümlü bağlayıcının karıştırılabilirlik özelliği BSK üretim plentinde agregayı ve BSK'nın diğer bileşenlerini sarabilme ve bu bileşenlerle uygun bir şekilde

karışabilme kabiliyetidir. İşlenebilirlik ise üretilmiş BSK malzemesinin yolda kolayca serilebilme ve sıkıştırılabilme özelliğidir.

AASHTO TP48 de açıklandığı üzere Şekil 6.7. 'deki gibi ortak eksenli döner bir silindire sahip olan viskometre farklı özellikteki bitümlerin değerlendirilmesinde kullanılır. Dönel viskometre deneyi farklı sıcaklıklarda yapılabilmekle beraber, bitüm imalat ve yol yapım şartları büyük ölçüde benzer olduğundan SUPERPAVE Bağlayıcı Şartnamesinde deney sadece 135 °C 'de yapılmaktadır. Kılcal tüp viskometrelerin tersine hem modifiye hem de normal bitümlerle birlikte kullanılabilmesi mümkündür.

Dönel viskozite silindirik bir çubuğun sabit bir sıcaklıkta bitüm numunesi içinde kendi etrafında dönüş hızını sabit tutacak burulma kuvvetinin ölçülmesi ile belirlenir (Şekil 6.7). Bu burulma kuvveti viskometre tarafından otomatik olarak ölçülen bitüm viskozitesi ile doğrudan ilişkilidir. Bitümün pompalanıp agrega ile karıştırılacak kıvamda olup olmadığını anlamak amacıyla bitüm viskozitesi araştırıldığı için bu deney orijinal haldeki bitümlere uygulanır. Viskometre ayrıca karışım dizaynında kullanılacak karıştırma ve sıkıştırma sıcaklığının tahmininde kullanılan sıcaklık-viskozite tablosunun da hazırlanmasında önemli bir görev üstlenir.



Şekil 6.7. Dönel viskozite deneyi genel gösterimi [2]

Numune Hazırlanması:

Etüvde 150°C nin üzerinde olmamak şartıyla yaklaşık 30 g bitüm sıvı hale gelinceye kadar ısıtılır. Isıtma sırasında bitüm içinde hapsolan havanın atılması için arada bir karıştırılır ve bitüm daha önceden belli bir sıcaklıkta ısıtılmış olan numune kabı ile tartılır. Numune ağırlığı silindirik çubuğun boyutuna göre 8 ila 11 g arasında değişir. İçinde bitüm bulunan numune kabı önceden belli bir sıcaklığa kadar ısıtılmış ısı kontrollü bir taşıyıcıya konur. Daha sonra yine önceden ısıtılmış silindirik çubuk numune içine daldırılır. Sıcaklık stabil duruma geldiğinde (genellikle 30 dakika) deneye başlanabilir.

Deney İşlemleri:

Dönel viskoziteyi ölçen aparat viskometre ve termosel olmak üzere iki parçadan oluşur. Viskometre bir motor, silindirik çubuk, kontrol tuşları ve dijital bir göstergeden ibarettir. Motor çubuğun kendi etrafında dönmesini sağlayan kuvveti üretir ve şartnameye göre 20 dev/dak olacak şekilde ayarlanır.

Yukarıda sıkça bahsedilen silindirik çubuk şakule topuzuna benzer ve dönüş hareketi viskoz bitüm tarafından dirençle karşılanır. Teste tabi tutulan numunenin viskozitesine göre farklı çubuklar kullanılabilir.

Termosel sistemi ısı kontrollü taşıyıcı, numune kabı ve sıcaklığı kontrol altında tutan bir parçadan oluşur. Numune kabı paslanmaz çelik veya alüminyumdan yapılmıştır. Isı kontrollü taşıyıcı ise numune kabını içine alır ve ısıtıcı elemanlara sahiptir. Bu elemanlarla deneyin 135°C de yapılması sağlanır.

Doğu bir sonuç için viskometre ve ısı kontrollü taşıyıcı terazi yardımıyla ve ayar vidaları ile teraziye alınmalıdır. Kontrol panelinde çubuk numarası, dönüş hızı ve açama kapama kontrolünün yapılabileceği tuşlar bulunur. Silindirik çubuk bitüm numunesi içerisine doğru indirilir ve viskometreye takılır.

135°C 'lık üniform bir numune sıcaklığına ulaşıncaya kadar yaklaşık 15 dakika beklenir. Bu süre boyunca motor çalıştırılır ve viskozite ve dönme oranı gözlemlenir. Eğer dönme yüzdesi sınırların dışında ise (%2 ile %98 arasında olmalıdır) daha farklı bir boyutlu çubuk gerekebilir. Numune sıcaklığı stabil duruma geldikçe viskozite okumaları da sabitleşmeye başlar ve deney sonuçları kaydedilir. Deney ile ilgili bilgiler (deney sıcaklığı, viskozite, çubuk numarası ve dönüş hızı) dijital göstergeden bir tuşa basmak suretiyle alınır. Bir dakika aralıkla üç viskozite okuması kaydedilir.

Bazen 135°C den farklı sıcaklıklarda da bitüm viskozitesinin ölçülmesine gerek duyulabilir. Örneğin pek çok kurum karışım dizaynı sırasında karıştırma ve sıkıştırma için eşit viskozite sıcaklıklarını kullanmaktadır. Derecesine bakılmaksızın bitüm sıcaklığı laboratuarda karışım hazırlama sırasındaki viskoziteyi verecek sıcaklıklara ayarlanır. Bu nedenle bitüm için viskozite-sıcaklık ilişkisini ortaya koyan bir tabloya ihtiyaç duyulur. Bunu yapmak için de termosel 165°C gibi daha yüksek bir sıcaklığa ayarlanır ve deney daha önceki gibi tekrar edilir.

Verilerin Değerlendirilmesi:

135°C deki viskozite üç okumanın ortalaması olarak kaydedilir. Bazı dijital viskometrelerin verdiği sonuçlar mutlak viskozite cP cinsindendir. Ancak SUPERPAVE şartnamesi paskal.saniye (Pa.s) birimini kullanmaktadır. İki birimi çevirmede $1000 \text{ cP} = 1 \text{ Pa.s}$ eşitliği kullanılır. Bu nedenle cP viskozitesi 0,001 ile çarpılarak kullanılacak viskozite hesaplanır.

6.2.4. Dinamik Kesme Deneyi (DSR)

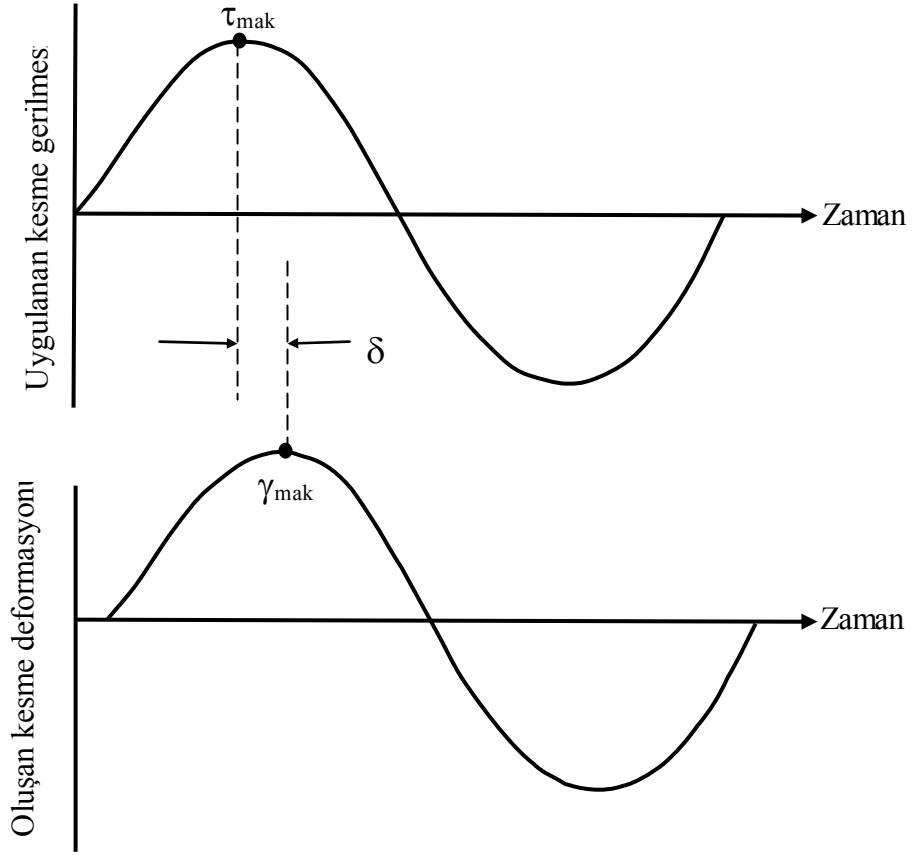
SUPERPAVE Bağlayıcı Sınıflamasının en temel deneyi olan Dinamik Kesme Deneyi (The Dynamic Shear Rheometer, DSR) belli bir sıcaklık ve kayma gerilmesi altında bitümün elastik ve viskoz davranışını belirlemek için yapılan bir deneydir. Bitümün davranışının yükleme süresi ve sıcaklıkla ilişkili olması nedeniyle ideal bitüm deneylerinde bu iki unsur mutlaka kullanılmak durumundadır. Buna göre, PG

sınıflamasında kullanılan dinamik kesme deneyi de bu iki faktör göz önüne alınarak geliştirilmiştir. Bu deneyin yapıldığı alete de dinamik kesme reometresi (DSR) adı verilmiştir. Bu alet kullanılarak bitümün orta ve yüksek sıcaklıklardaki kompleks kesme modülü ve faz açısı gibi reolojik özellikleri ölçülür.

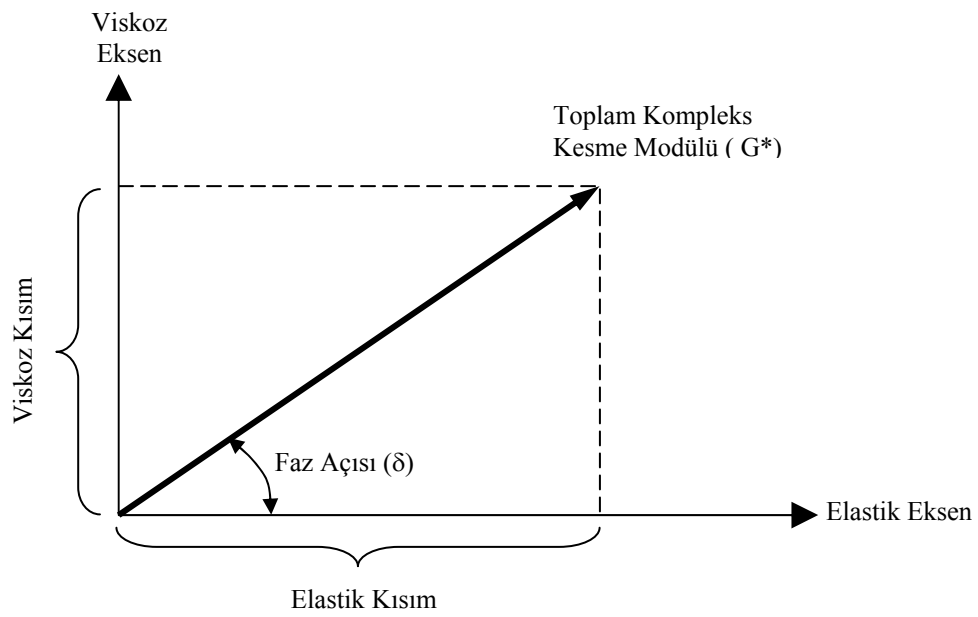
Bitümlü bağlayıcılar viskoelastik malzemelerdir. Bunun anlamı, kısmen yük kaldırıldığında yüklemenden dolayı oluşan deformasyonunun tamamen geri geldiği elastik katı gibi, kısmen de deformasyonların kalıcılık gösterdiği viskoz bir davranış sergilerler. Plastik endüstrisinde yıllardır malzemelerin elastik ve viskoz özellikleri belirlemek için kullanılan DSR deneyi, SUPERPAVE şartnamesinde bitümün yolda maruz kaldığı sıcaklıklar altındaki viskoelastik davranışını belirlemek üzere kullanılmaktadır.

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.

G^* ve δ yükleme frekansı ve sıcaklıkla doğrudan ilişkili olup, δ 'nın miktarına bağlı olarak G^* 'ın elastik (geri dönüşlü) ve viskoz (geri dönüşsüz) olmak üzere iki bileşeni vardır. Bitümlü bağlayıcılar, yüksek sıcaklıklarda geri dönme kapasitesi olmayan viskoz bir akışkan gibi davranır. Bu gibi bir durumda bitümlü bağlayıcıyı Şekil 6.9. teki dikey eksen (sadece viskoz) temsil edilebilir. Yani faz açısı $\delta = 90^\circ$ iken malzemenin kompleks kesme modülü G^* elastik özellik taşımaz. Çok düşük sıcaklıklarda ise bitüm, meydana gelen deformasyonların tamamen geri döndüğü elastik katılar gibi davranmaktadır. Bu koşulları ise aynı grafikteki yatay eksen (sadece elastik) temsil eder ve bu da faz açısı $\delta = 0^\circ$ iken malzemenin kompleks kesme modülü G^* viskoz özellik taşımaz anlamına gelir.

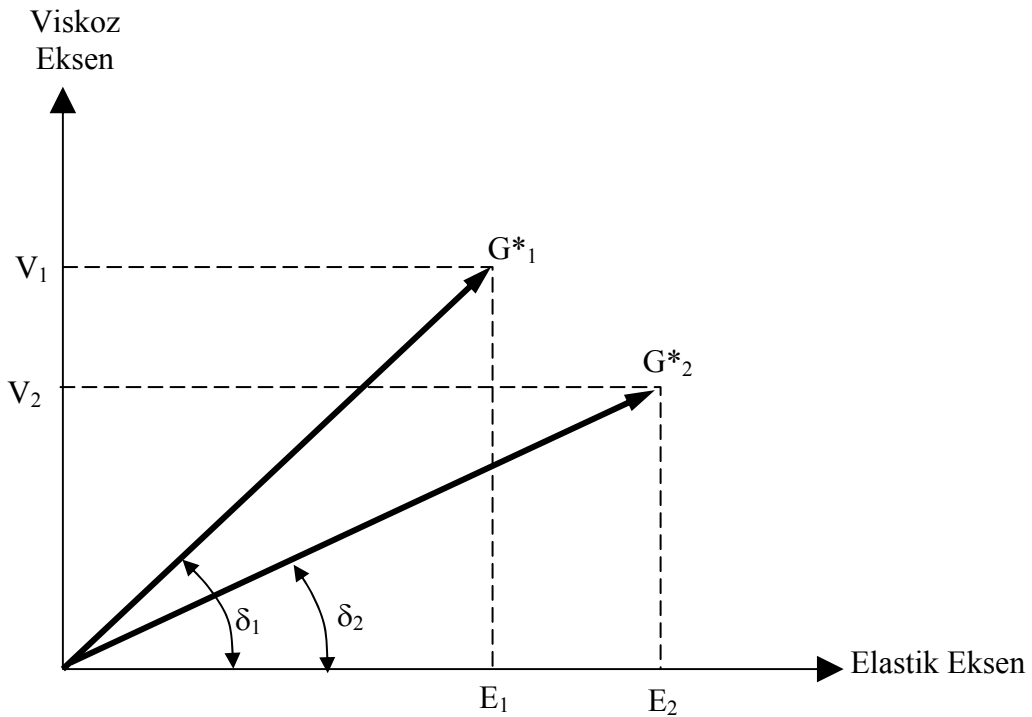


Şekil 6.8. Bitümlü bağlayıcılarda faz açısının oluşumu



Şekil 6.9. Bitümün vikoelastik davranışı

Normal kaplama sıcaklıklarında ve trafik yükleri altında bitüm viskoz sıvı ve elastik katı özelliklerini bir arada taşır. G^* ve δ değerlerini ölçülmesi suretiyle DSR deneyi üstyapının hizmet sıcaklığındaki özelliklerinin tahminini mümkün kılar. Grafikteki G_1 ve G_2 okları iki ayrı bitümün kompleks modüllerini temsil eder. Bu bitümler yüklendiğinde bir kısım deformasyonları elastik (E) bir kısmı ise viskoz (V) olur. Bu yüzden bitüm viskoelastik bir malzemedir. Grafikteki iki bitüm de viskoelastik olmasına rağmen 2 numaralı bitüm daha küçük faz açısı nedeniyle 1 numaralı bitüme göre daha elastik bir malzemedir. Daha fazla miktarda elastik davranış bileşeni olması nedeniyle 2 numaralı bitümün yük altındaki deformasyonları yük kalktıktan sonra daha fazla oranda geri döner. Bu örnek; G^* değerinin tek başına bitümün davranışını açıklayamayacağını, δ değerinin de gerekli olduğunu açıkça göstermektedir.

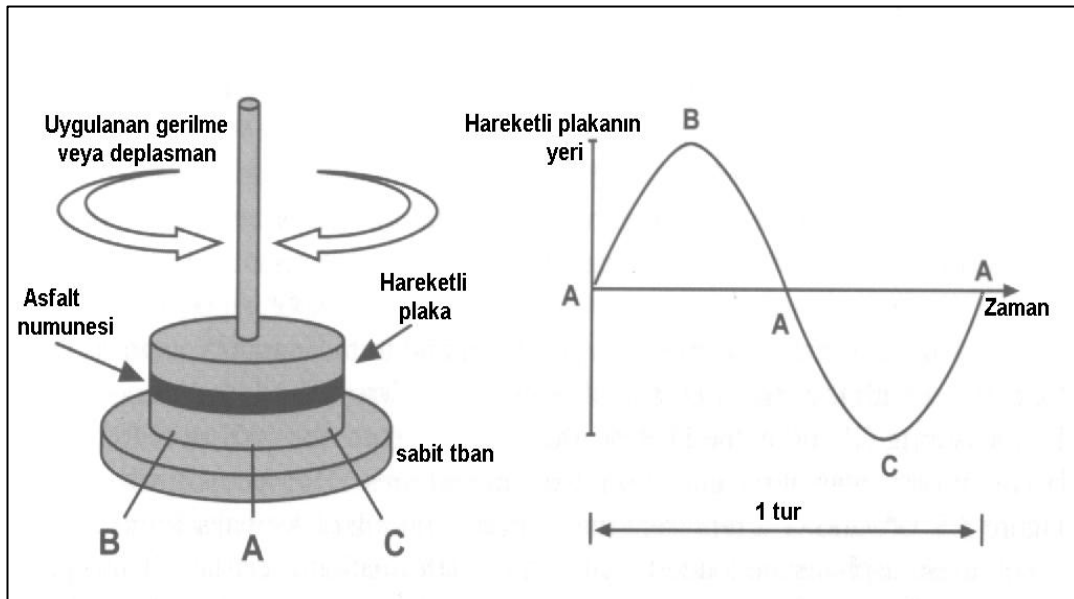


Şekil 6.10. İki farklı bitümün viskoelastik davranış özelliklerinin karşılaştırılması

DSR deneyinde, bitüm Şekil 6.11. 'daki gibi biri sabit diğeri ise sağa ve sola küçük dönme hareketleri (salınım) yapan iki paralel plaka arasına yerleştirilir. Salınım başladığında dikey bir çizgi ile işaretli olan A noktası B noktasına gelir, buradan tekrar A noktasına sonra C noktasına sonra tekrar A noktasına hareket eder ve bu

salınım deney süresi boyunca sürekli aynı şekilde devam eder. Burada salınım hızı frekanstır. DSR deneyinde salınımın frekansı saniyede 10 radyan (1,59 Hz) olup, bu da yaklaşık 90 km/saat hızdaki trafik altında bitümde oluşan hareketi temsil etmektedir.

Gerilme ve yer değiştirme kontrollü olmak üzere iki tip dinamik kesme reometresi vardır. Gerilme kontrollü reometreler hareketli plakayı A noktasından B noktasına hareket ettirecek sabit bir burulma kuvveti ile çalışır. Plakayı belli bir frekansla salınıma tabi tutacak burulma kuvveti bitümlü bağlayıcının sertliğine bağlı olarak değişir. Doğal olarak sertliği fazla olan bitümler daha fazla burulma kuvveti gerektirir.



Şekil 6.11. Dinamik kesme reometresi çalışma şekli

SUPERPAVE bağlayıcı deneyleri gerilme kontrolü ile teste tabi tutulur. Deplasman kontrollü reometreler ise hareketli plakayı A noktasından B noktasına belirli bir frekansta hareket ettirerek ve gerekli burulma kuvvetini ölçerek çalışır. İki reometre arasındaki fark şöyle açıklanabilir. Gerilme kontrollü reometrede uygulanan kuvvet sabit tutulur buna göre her salınımda yer değiştirme farklı olabilir. Diğer yöntemde ise bunun tersine sabit bir deplasmanı sağlayacak kuvvet her salınımda

değişebilmektedir. Her ne kadar SUPERPAVE deneylerinde gerilme kontrollü reometre kullanılıyor olsa da deplasman kontrollü reometreler de bu deneylerde güvenle kullanılabilecek düzeneklerdir.

Numunenin hazırlanması

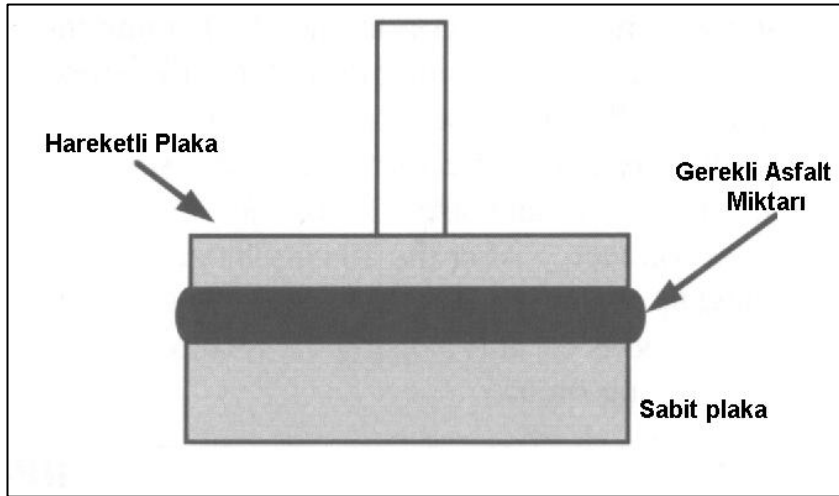
DSR deneyinde hareketli plaka ile aynı çapta disk şeklinde bir numuneye ihtiyaç duyulur. Doğru numune kalınlığı iki plaka arasındaki boşluğun ayarlanmasıyla elde edilir. Bu boşluk deney sıcaklığında plakalar reometre üzerinde iken bitüm numunesi yerleştirilmeden önce ayarlanmalıdır. Ayar sırasında mikron bölümlü bir mikrometre kullanılır.

Deneylerde boşluk yüksekliğine göre iki ayrı çapta plaka kullanılır. Plaka çapları ve boşluk yükseklikleri deneyde kullanılacak bitümün yaşlanma durumuna göre seçilir. Buna göre orijinal ve RTFO ile yaşlandırılmış bitümlerde 1000 mikron boşluk ve 25 mm çaplı plakalar, PAV ile yaşlandırılmış olanlarda ise 2000 mikron boşluk ve 8 mm çaplı plakalar kullanılır. Numune yerleştirilmeden önce boşluk gerekli değerden 50 mikron büyük olacak şekilde ayarlanır.

Deney numunesini hazırlamak için bitüm akıcı hale gelinceye kadar ısıtılır hava kabarcıkları yok olacak şekilde iyice karıştırılır. Modifiye bitümler diğerlerine göre daha fazla ısı gerektirirler ancak sıcaklık 163°C'yi geçmemelidir. Numune hazırlamada farklı yöntemler vardır.

- (1) Bitüm uygun malzeme kalınlığını elde etmek üzere doğrudan taban plakası üzerine dökülür.
- (2) Bitüme disk şekli vermek için bir kalıp kullanılır. Bu kalıpta şekil verilen numune daha sonra plakalar arasına yerleştirilir.

Her iki yöntemde de bitüm yerleştirildikten sonra iki plaka arasında taşan kısım temizlenir. Daha sonra 50 mikronluk fazlalık indirilerek boşluk gerekli değere getirilir. Bu durumda numune Şekil 6.12'deki gibi bir miktar dışarı doğru şişer.



Şekil 6.12. DSR bitüm numunesinin şekli [2]

Bitüm özelliklerinin sıcaklıkla doğrudan bağlantılı olması nedeniyle reometreler numune sıcaklığını hassas olarak kontrol edebilecek şekilde dizayn edilmişlerdir ve numunenin etrafını saracak sirkülasyonlu bir su banyosu veya hava fırınına sahiptirler. Sıcaklığı kontrol eden cihaz üzerinde sirkülasyon yapan su numuneyi belli bir sıcaklıkta tutar veya deney sırasında hava fırını numuneyi hava ile çevreler. Her iki yöntemde de numune sıcaklığı en fazla $0,1^{\circ}\text{C}$ değişecek şekilde numunenin her tarafı üniform bir şekilde aynı sıcaklıkta tutulmalıdır.

Deney İşlemleri:

Numune yerleştirilip test sıcaklığına erişildiğinde en az on dakika beklenerek numunenin her tarafında aynı sıcaklık olacak şekilde ısı dengelenir. Aktüel sıcaklık dengeleme süresi cihaza bağlıdır ve kalibrasyon numunesi ile kontrol edilmelidir. Çok ince bir silikon malzeme ile sarılmış bir kızgın iletken plakalar arasına yerleştirilerek sık sık sıcaklık doğrulaması yapılır.

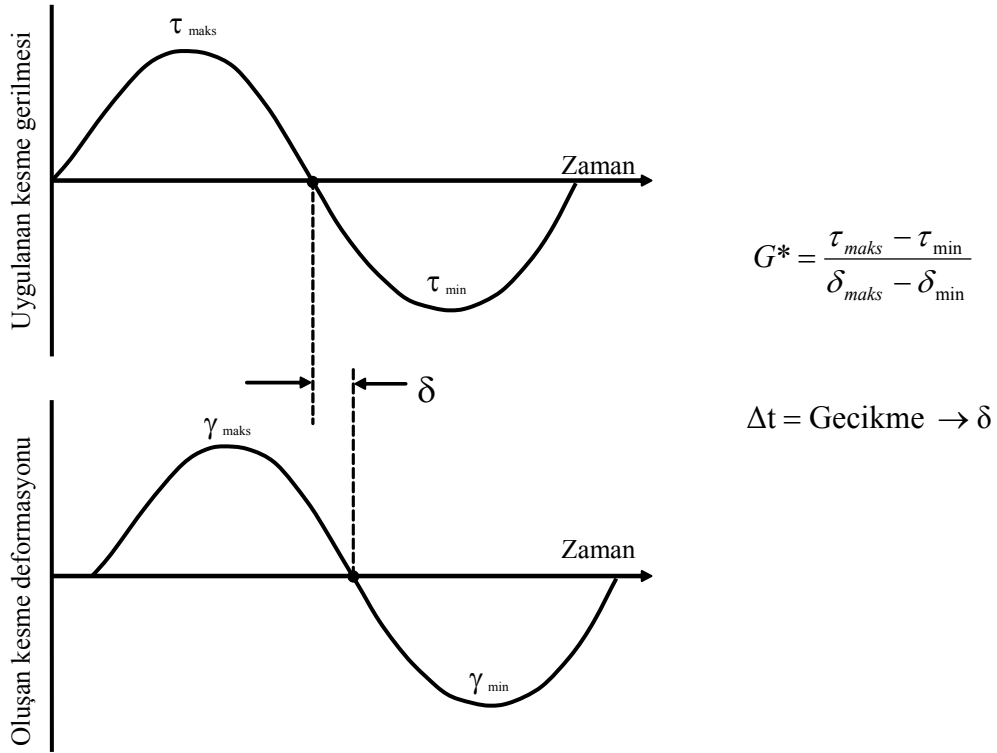
Bir bilgisayar yardımıyla DSR deney parametreleri kontrol edilir ve deney sonuçları kaydedilir. Deney salınımı gerçekleştirecek sabit bir gerilmenin ayarlanması ve deplasman, süre ilişkisinin kaydedilmesi olarak iki kısımdan oluşur. SUPERPAVE şartnamelerine göre salınım hızının 10 rad/s olması gerekir. Deneyi yapan kesme

gerilmesi değerini yaklaşık olarak ayarlar. Bu değer test edilecek numunenin yaşlanma durumuna göre %1 ile %12 arasında değişir. Orijinal veya RTFO ile yaşlandırılmış numunelerde %10-12, PAV ile yaşlandırılmışlarda ise yaklaşık %1 değeri kullanılır. Her iki durumda da bitümün deney sırasındaki davranışının (G^*) lineer viskoelastik bölgede kalması için bu yüzde değeri yeterince küçük olmalıdır. Bu viskoelastik bölge içerisinde yüzdenin değişimi G^* değerini hemen hemen etkilemez.

Deneye başlamak için numuneye 10 tur yükleme yapılarak hazır hale getirilir. Bu hazırlama süresi boyunca reometre gerekli gerilmeyi ölçer ve deney boyunca bu gerilmeyi hassasiyetle sabit tutar. Kesme yer değiştirmesi ayar değeri ile sabit gerilmenin oluşturacağı değer arasında az miktarda değişir. Bu değişim reometre yazılımı tarafından kontrol edilir. 10 turluk hazırlıktan sonra 10 ilave tur daha yaptırılarak deney verileri elde edilir. Reometre yazılımı otomatik olarak uygulanan gerilme ve elde edilen deplasman arasındaki ilişkiyi kullanarak G^* ve δ değerlerini hesaplar.

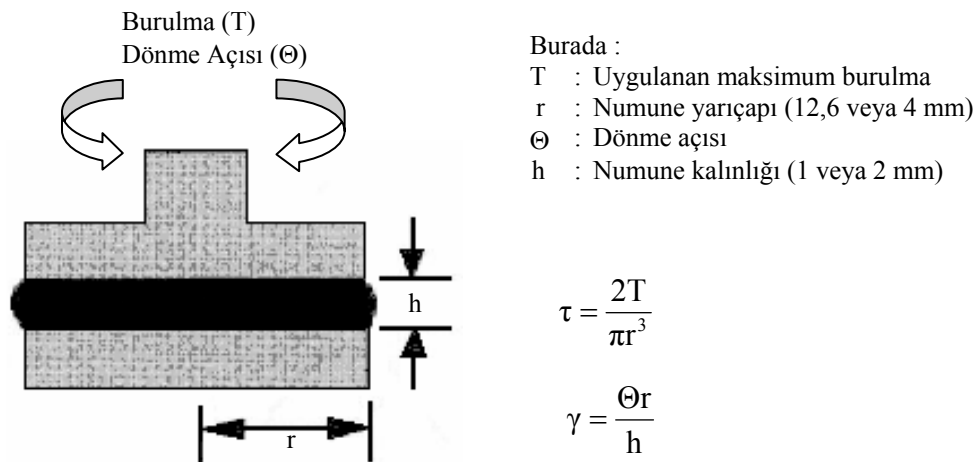
Verilerin değerlendirilmesi:

Kompleks kesme modülü G^* toplam kesme gerilmesinin ($\tau_{maks} - \tau_{min}$) toplam deplasmana ($\delta_{maks} - \delta_{min}$) oranıdır. Uygulanan gerilme ile meydana gelen yer değiştirme veya uygulanan yer değiştirme ve oluşan gerilme arasındaki gecikme zamanı faz açısı δ 'ya bağlıdır. Mkemmek bir elastik malzeme uygulanan yüke hemen karşılık verir. Bu da gecikme süresinin veya faz açısının sıfır olduğunu gösterir. Karıştırma sıcaklığındaki bitüm gibi viskoz malzemelerde yükleme ve cevap verme arasında bir gecikme süresi olur. Böyle bir durumda aı 90° ye doğru yaklaşır.



Şekil 6.13. Viskoelastik malzemelerde gerilme-deformasyon [2]

Reometre yazılımı tarafından maksimum ve minimum değerlerini hesaplamada kullanılan eşitlikler ise Şekil 6.14. de gösterilmektedir.



Şekil 6.14. DSR deneyinde gerilme ve deformasyonların bulunması [2]

DSR deneyi ile elde edilen kompleks kesme modülü (G^*) ve faz açısı (δ) değerleri bitümlü sıcak karışım (BSK) tabakalarındaki tekerlek izinde oturma ve yorulma çatlağı tahmininde temel parametre olarak kullanılmaktadır.

Tekerlek izinde oturmaya karşı kaplama mukavemetinin yüksek olması için bitümün rijit olması yani, çok fazla deformasyon göstermemesi ve aynı zamanda yük kalktığında eski haline dönen esnekliğe sahip olması gerekmektedir. Bundan dolayı tekerlek izinde oturmaya karşı kompleks kesme modülünün elastik olan kısmının ($G^*/\sin\delta$ değerinin) yüksek olması istenmektedir.

Bir başka bakış açısıyla, tekerlek izinde oturma tekrar eden yüklerin etkisiyle oluşan birikimli deformasyonlardır. Trafiğin her geçişinde üstyapıda deformasyon meydana getiren bir iş yapılmaktadır. Yapılan işin bir kısmı elastik olarak geri dönerken, diğer kısmı kalıcı deformasyon, çatlak oluşumu ve ısı şeklinde kaplama içinde yayılmaktadır. Bundan dolayı, tekerlek izinde oturmaya en aza indirmek için geri dönmeden kaplama içerisinde yayılan enerjinin, yani işin en aza indirilmesi gerekmektedir. Sabit gerilmede her yük geçişinde geri dönmeden kaplama içinde yayılan enerji aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:

$$W_c = \pi \sigma_o^2 \left[\frac{1}{G^*/\sin \delta} \right] \quad (6.2)$$

Burada;

W_c : Kaplama içerisinde yayılan enerji

σ_o : Tekrarlı trafik yükü

G^* : Kompleks modülü

δ : Faz açısı

Bu nedenle, kaplama içerisinde yayılan enerjinin en aza indirilebilmesi için $G^*/\sin\delta$ değerinin en yüksek olması gerekmektedir. Bunun için SUPERPAVE Bağlayıcı Şartnamesinde $G^*/\sin\delta$ değeri deney sıcaklığında, orijinal bitüm için 1,00 kPa,

RTFO işlemi görmüş bitüm için 2,20 kPa dan daha büyük değerlerle sınırlandırılmıştır.

Benzer şekilde kaplama tabakalarının yorulma çatlağı oluşumuna karşı dayanımı için, çatlak oluşturmayacak şekilde elastik olması, çok aşırı rijit olmaması gerekmektedir. Bundan dolayı kompleks kesme modülünün viskoz olan kısmı ($G^* \sin \delta$) en az olmalıdır.

Başka bir yaklaşımla, yorulma çatlağı kalın kaplama tabakalarında gerilme kontrollü, ince kaplama tabakalarında ise deformasyon kontrollü olarak ortaya çıkan bir olgudur. Yorulma çatlağı ince kaplama tabakalarında daha kritik olduğundan dolayı, yorulma çatlağı mukavemetini kontrol eden parametre deformasyon kontrollü olarak kabul edilebilir. Bu durumda da, her yük tekrarında yapılan işin geri dönmeyen ve üstyapıda kalıcı deformasyon, çatlak oluşumu ve ısı olarak yayılan kısmı azaldıkça yorulma çatlağı oluşumu azalmaktadır. Sabit deformasyonlu her yük geçişinde geri dönmeden kaplama içinde yayılan enerji aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:

$$W_c = \pi \varepsilon_o^2 [G^* \sin \delta] \quad (6.3)$$

Burada;

W_c : Kaplama içerisinde yayılan enerji

ε_o : Tekrarlı trafik yükü

G^* : Kompleks modülü

δ : Faz açısı

Bu nedenle, kaplama içerisinde yayılan enerjinin en aza indirilebilmesi için $G^* \sin \delta$ değerinin en az olması gerekmektedir. Bunun için SUPERPAVE Bağlayıcı Şartnamesinde $G^* \sin \delta$ değeri deney sıcaklığında, PAV deneyi ile yaşlandırılmış bitümler için en fazla 5000 kPa olması istenmektedir.

Çizelge 6.4. Bitüm performans sınıflaması için DSR deneyi şartname değerleri

Malzeme	Değer	Şartname Limiti	BSK Bozunma Tipi
Orijinal (yaşlanmamış) bitüm	$G^*/\sin\delta$	$\geq 1.0 \text{ kPa (0.145 psi)}$	Tekerlek izinde oturma
RTFO ile yaşlandırılmış bitüm	$G^*/\sin\delta$	$\geq 2.2 \text{ kPa (0.319 psi)}$	Tekerlek izinde oturma
RTFO ve PAV ile yaşlandırılmış bitüm	$G^*\sin\delta$	$\leq 5000 \text{ kPa (725 psi)}$	Yorulma çatlağı

6.2.5. Kiriş eğme reometresi deneyi (BBR)

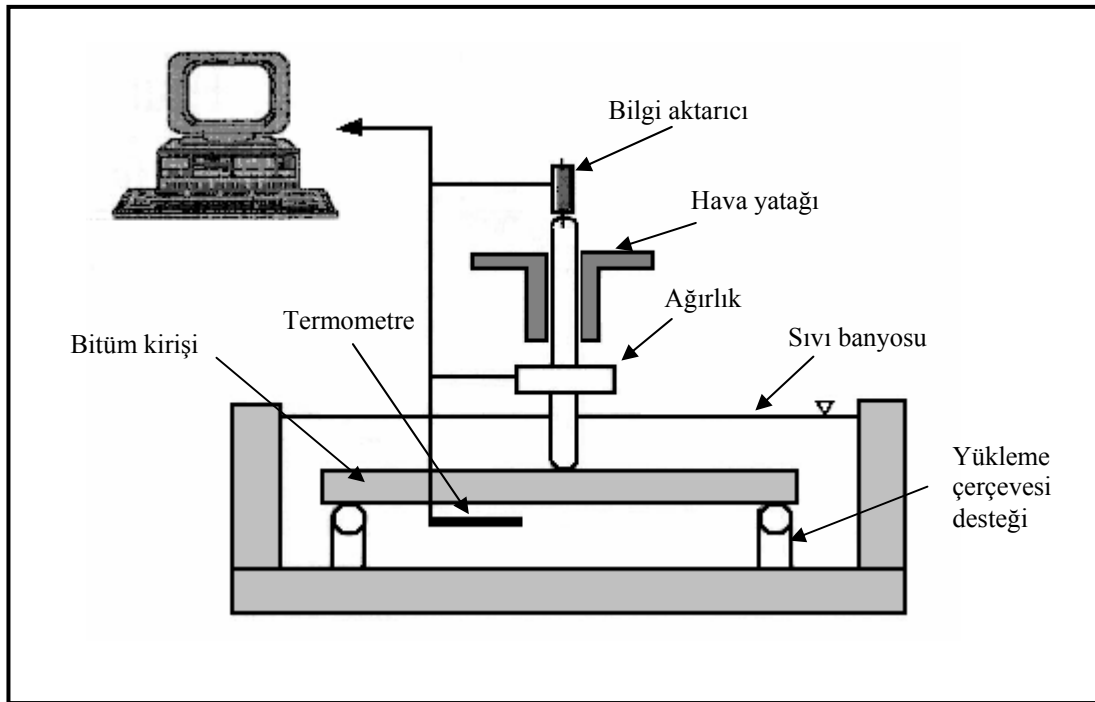
Bitüm düşük sıcaklıklarda DSR ile alınacak sonuçlara güvenilemeyecek kadar sertleşir. Bu sebeple SHRP tarafından bitümü düşük sıcaklıklarda gözlemek üzere eğilme reometresi geliştirilmiştir. Kiriş Eğme Reometresi (BBR) deneyi bitümlü bağlayıcının rijitlik ve sünme özelliklerinin belirlenmesinde kullanılır. Bu parametreler bitümlü bağlayıcının düşük sıcaklık çatlağına karşı dayanımının bir ölçüsünü verir. BBR deneyi, doğrudan çekme deneyi (DTT) ile beraber değerlendirilerek bitümün düşük sıcaklık PG sınıfı belirlenir. Diğer SUPERPAVE deneylerinde olduğu gibi bu deneyde de bitümlü bağlayıcının uygulanacağı bölgedeki tahmin edilen gerçek sıcaklık değerleri deney sıcaklığı olarak kullanılır.

DSR ve BBR deneyleri sonucunda bitümün geniş bir sıcaklık aralığında nasıl bir sertlik özelliği taşıdığı öğrenilmiş olur. Sertlik dayanım özelliklerinin eksikliğinin bir ölçüsü gibi kullanılabilir ise de bazı bitümlerde (özellikle modifiye bitümler) dayanım ve sertlik arasındaki ilişki çok iyi tahmin edilemez. Bu sebeple çekmeye karşı direncin ölçüldüğü doğrudan çekme deneyi uygulanır. Bu deney ileride anlatılacaktır.

Eğilme deneyi bitümün belli bir sıcaklıkta sabit yük altında gösterdiği sünme veya şekil değiştirme özelliklerini belirlemede kullanılır. Deney sıcaklığı bitümün servis durumundaki karşılaşılabilecek en düşük sıcaklığa göre değişir. Bu deneyde RTFO veya

PAV deneyleri ile yaşlandırılmış numuneler kullanılır. Böylece servis durumundaki veya karışım ve serme sırasındaki bitüm deneyde temsil edilmiş olur.

Bu deney adını numunenin geometrisinden ve yükün uygulanma şekline almıştır. Deney için en önemli parçalar Şekil 6.15. te görüleceği gibi yükleme çerçevesi, ısı kontrollü sıvı yatağı, bilgisayar ve veri elde etme sistemidir. Küt uçlu bir mil basit destekli bitüm çubuğa ortasından yük uygular. Mile ağırlık takılır. Yükleme sırasındaki sürtünmeyi ortadan kaldırmak için mil etrafında bir hava yatağı vardır. Mil üzerindeki aktarıcı hareketleri bilgisayara aktararak gözlenmesini sağlar. Yük uygulamada kullanılan basınç hava (pinomatik) kaynaklıdır.



Şekil 6.15. BBR deneyi şematik gösterimi [2]

Bu deneyde numunenin yük altındaki sertliğinin tespit edilmesinde kiriş teorisi kullanılır. Kiriş şeklindeki bitüm çubuğa sabit bir tekil kuvvet uygulanır ve 4 dakikalık deney süresi boyunca çubuğun ortasında oluşan yer değiştirme (defleksiyon) ölçülür. Böylece sünme sertliği (s) ve sünme oranı (m) hesaplanır. Deney sırasındaki yükleme sıcaklık düştükçe kaplamanın yavaş yavaş maruz kaldığı

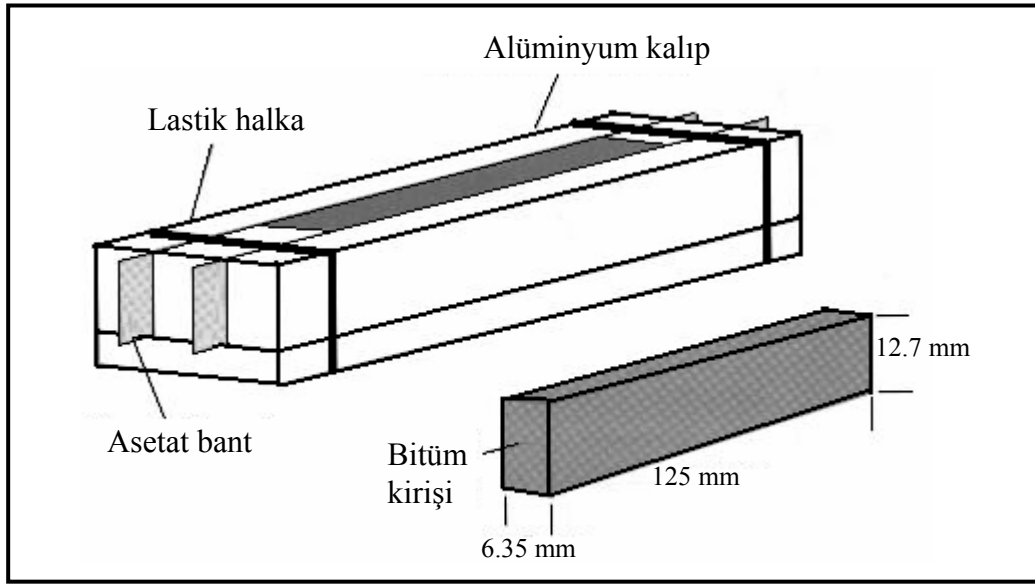
ısı gerilmeleri temsil eder. Sünme sertliği bitümün sünme yüklerine karşı gösterdiği dirençtir ve m değeri yükleme süresi boyunca bitümün sertliğindeki değişimdir.

Sıvı yatağında kullanılan sıvı düşük sıcaklıklarda donmayan bir sıvı olmalıdır. Bu deneyde genellikle metanol, etanol, glikol etilen su ve bunların kobinasyonları kullanılır. Hali hazırda belirli bir sıvının kullanılması ile ilgili bir koşul bulunmamaktadır. Ancak kullanılacak sıvı -36°C 'ye kadar inebilen deney sıcaklıklarında donmamalı veya sirkülasyonu engelleyecek şekilde katılaşmamalıdır. Sıvının sıcaklığı sirkülasyon sırasında 0.1°C hassasiyetle kontrol edilir. Numune üzerine olumsuz etki yapacak veya deney şartlarını ve sonuçlarını etkileyecek şekilde sirkülasyon veya çalkalanmadan da kaçınılmalıdır.

Numune Hazırlama:

Deney numunesi Şekil 6.16 'da görülen dikdörtgen kesitli alüminyum kalıplar kullanılarak hazırlanır. Kalıp alt yanlar olmak üzere beş parçadır. Ayrıca üç asetat bant ve iki tutucu lastik kullanılır. Kalıp kurulmadan önce iki uzun kenar parçası ve alt parçanın iç yüzeyleri madeni bir yağla hafifçe yağlanır. Üç asetat bant yağlanan yüzeylere yerleştirilir. Uçlardaki parçalara gliserin veya talktan oluşan bir ayırıcı malzeme uygulanarak kalıp kurulur ve parçaların ayrılmaması için iki uçtan birer lastik halka ile sıkıştırılır. Bitüm 163°C 'i aşmayacak şekilde ve genellikle 135°C de ısıtılarak sıvı hale getirilerek bir uçtan diğerine doğru kalıbın içine dökülür.

Yaklaşık 45-60 dakikalık bir soğutma işleminden sonra kalıptan taşan kısımlar sıcak bir spatula ile temizlenir. Bu şekilde numune kalıpta oda sıcaklığında iki saati geçmeyecek şekilde bekletilir ve deney koşulları hazır olduğunda kalıptan çıkarılır. Numuneyi çıkarmak için kalıp 30-45 dakika kadar buz banyosunda veya 5-10 dakika kadar dondurucuda soğutulur. Aşırı dalgalanmalar oluşacağında deney aletinin sıvı yatağı soğutma işleminde kullanılmamalıdır. Kalıp açıldıktan sonra numuneye zarar verecek hareketlerden kaçınılmalıdır.



Şekil 6.16. Alüminyum kalıplarla BBR bitüm kirişinin hazırlanması [2]

Deney için son hazırlık numunenin elit üzerinde bulunana sıvı banyosunda 60 dakika bekletilmeli ve daha sonra deneye başlanmalıdır. Test sonucu olarak iki numunenin ortalaması alınır.

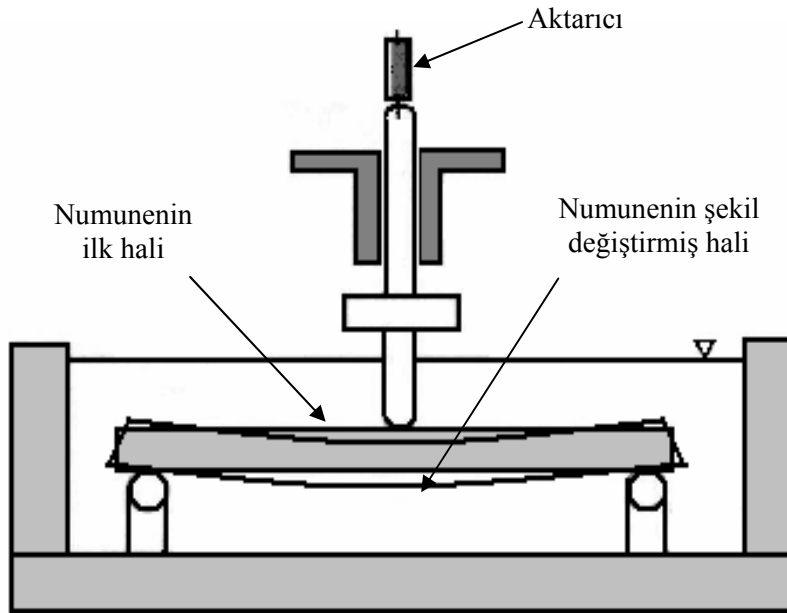
Deney İşlemleri:

Numuneler sıvı banyosunda deney sıcaklığına getirilirken donanım sisteminin kalibrasyonu uyum işlemleri uygulanmalıdır. Paslanmaz çelik bir referans çubuğu kullanılarak deformasyon aktarıcı, ağırlık haznesi kalibre edilmelidir. Kalibre edilmiş bir termometre yardımıyla ısı aktarıcı kontrol edilmelidir. Bütün sistem performansının periyodik olarak kontrol edilmesi amacıyla ayrıca daha ince bir referans çubuğu vardır. Sistem kalibrasyonunun çoğu bilgisayar yazılımı ile kontrol edilerek monitörden takip edilebilir. Bu işlemin bir parçası olarak ince referans çubuğunun kullanılmasıyla ön yükleme ve yükleme seviyeleri ayarlanır.

Sıcaklık şartlarının oluşması için 60 dakikalık beklemeden sonra bitüm çubuk mesnetler üzerine yerleştirilir. Bundan sonra çubuk bir seri yükleme hazırlığı adımına tabi tutulur. 30 milinewtonluk (mN) bir ön yük çubuğun mesnetler üzerine tamamen oturmasını sağlamak amacıyla elle uygulanır. Daha sonra bir saniye içinde

980 mN bir yerleştirme yükü yazılım tarafından otomatik olarak uygulanır. Bu yerleştirme işinden sonra yük 20 saniyede ön yükleme seviyesine kadar geri indirilir.

Bu 20 saniyelik geri dönüş periyodundan sonra deneyin esas kısmı başlar. Toplam 240 saniye içinde 980 mN 'luk bir yük numuneye uygulanır. Şekil 6.17.'de görüldüğü gibi aktarıcı yardımıyla şekil değiştirme ölçülür. Deney sırasında zamana karşı yer değiştirme ne yük grafiği bilgisayar tarafından çizilir. Deney yükü 240 saniye sonunda otomatik olarak kalkar ve yazılım tarafından sünme sertliği ve sünme oranı hesaplanır.



Şekil 6.17. BBR deneyinde yükün uygulanışı [2]

Verilerin Değerlendirilmesi:

Bu deneyde bitümün sünme sertliğini tespit ederken kiriş teorisi kullanılır. Bu değeri hesaplamak için aşağıdaki formül kullanılır.

$$S_{(t)} = \frac{PL^3}{4bh^3\delta_{(t)}} \quad (6.4)$$

Burada;

$S_{(t)}$: T anındaki sünme sertliği (MPa)

P : Uygulanan sabit yük (N)

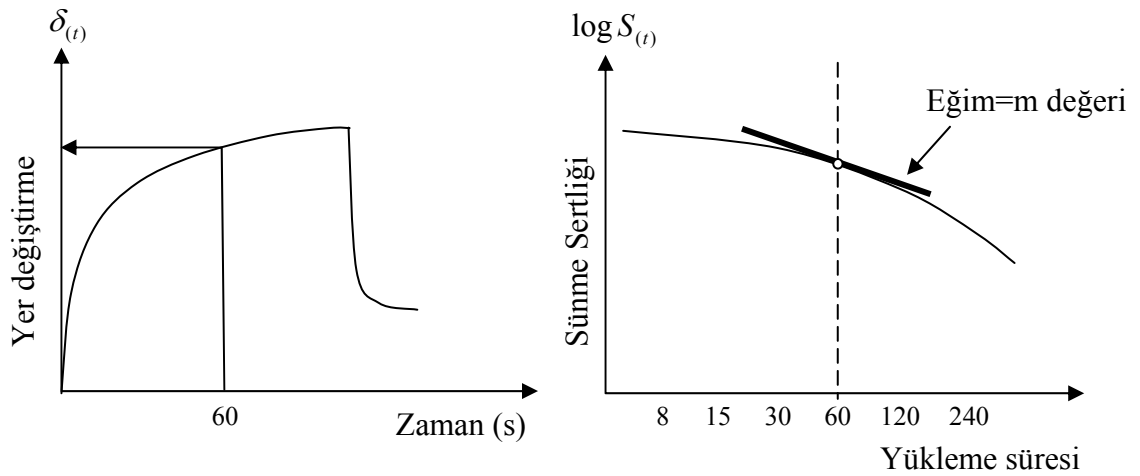
L : Mesnetler arası mesafe (102 mm)

b : Çubuk uzunluğu (15,5 mm)

h : Çubuk kalınlığı (6,25 mm)

$\delta_{(t)}$: t anındaki yer değiştirme (mm)

BBR yazılımı zamana karşı yer değiştirmeleri kendiliğinden hesaplar. Şekil 6.18 bu $\delta_{(t)}$ değerlerinin elde edilmesini ve örnek bir grafiği göstermektedir.



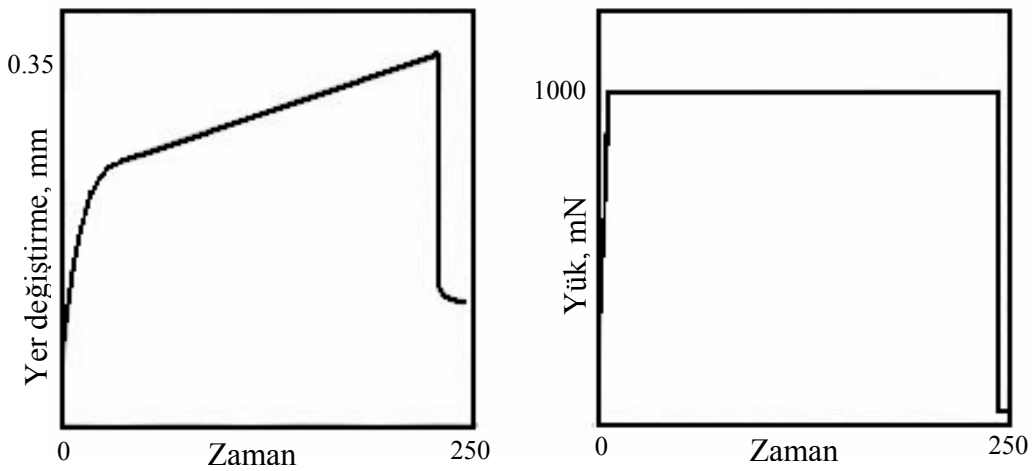
Şekil 6.18. Eğilme deneyinde yer değiştirme ve m değeri [2]

İstenilen değere minimum dizayn sıcaklığında iki saatlik bir yükleme ile ulaşılır. Araştırmacılar deney sıcaklığının 10°C artırılması ile aynı sünmenin 60 s sonra elde edildiğini saptamışlardır. Bunu faydası sonucun daha erken alınabilmesidir. Bu veriler ve formül yardımıyla BBR yazılımı 60 saniyedeki sertliği Şekil 6.18 'de görüldüğü gibi hesaplar. SUPERPAVE bağlayıcı şartnamesine göre bu sertlik 60 s için 300 MPa 'dan fazla olmamalıdır. Eğer bu değer 300 ile 600 arasında olursa sünme sertliği yerine doğrudan çekme deneyindeki değerler kullanılmalıdır.

Deney sonuçlarından elde edile ikinci parametre m değeri olup, zamana karşı $S_{(t)}$ değerinin değişimini temsil eder. Bu değer de bilgisayar yazılımı tarafından otomatik

olarak hesaplanır. Bunun için bitüm sertliği değişik yükleme zamanlarında ölçülür. Sertlik- zaman eğrisinde belirli bir andaki teğetin eğimi m değerini verir. Bu değer 60 s için en az 0,300 olmalıdır.

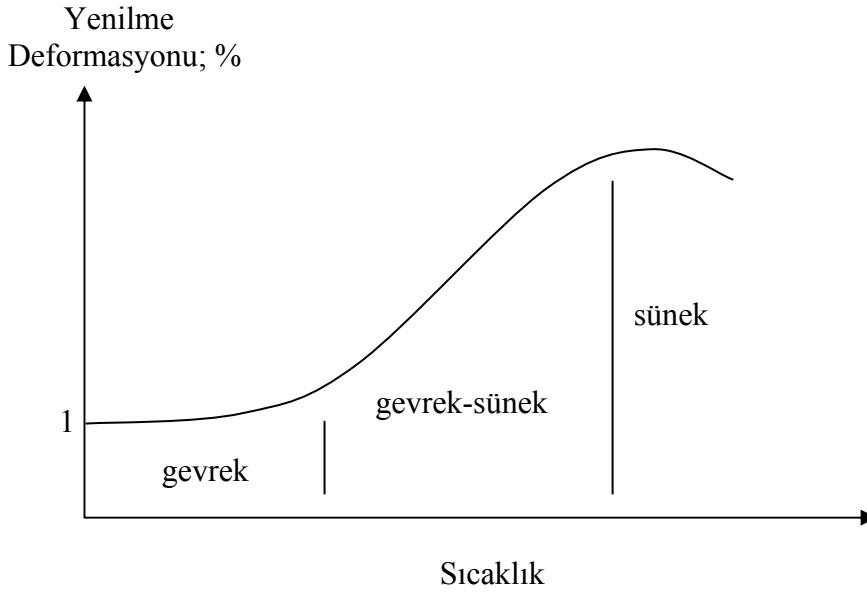
Bilgisayar tarafından hesaplanıp verilen çıktı genellikle ihtiyaç duyulan bütün bilgileri kapsar. Üretici firmalara göre bu yazılımlar küçük farklılıklar gösterir. Çıktı formatlı genellikle zamana bağlı yer değiştirme ve yük grafiklerini de kapsar.



Şekil 6.19. Tipik bir BBR deneyi bilgisayar çıktısı [2]

6.2.6. Doğrudan Çekme Deneyi (DTT)

Bitümün düşük sıcaklıklardaki davranışı ile ilgili olarak yapılan pek çok araştırma sonucu görülmüştür ki sertlik ile kopma anından önceki gerilme miktarları arasında kuvvetli bir ilişki vardır. Zayıflama anından önce çekilerek nispeten fazla gerilebilen bitüm duktıl (sünek) olarak nitelendirilir (Şekil 6.20). Fazla bir gerilme olmadan kopanlar ise gevrek (kırılgan) sıfatını alırlar. Bitümün şartnamelerin minimum saydığı değere kadar uzayabilmesi gerekli görülür. Genellikle daha sert bitümler daha kırılgan, daha yumuşak olanlar ise daha duktıl olurlar.



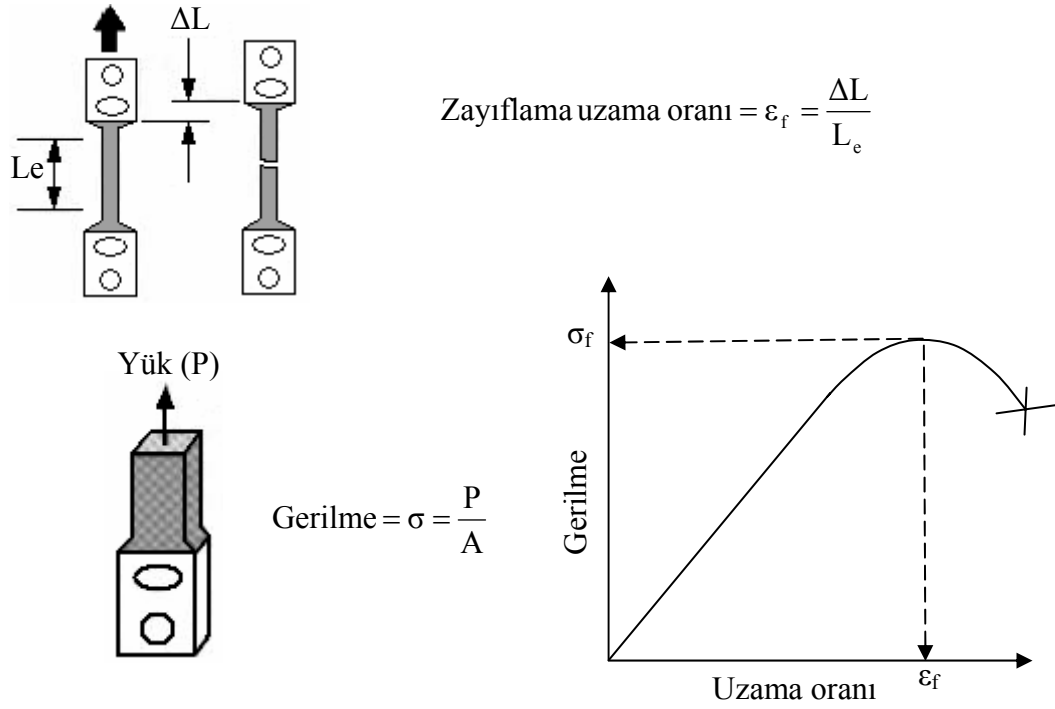
Şekil 6.20. Doğrudan çekme deneyi bitümün kopma davranışı [2]

BBR deneyi ile ölçülen sertlik bitümün zayıflama anından önceki çekmeye karşı kapasitesini anlatabilmede yeterli değildir. Örneğin bazı bitümler yüksek süne sertliğine sahip olduğu halde çok fazla miktarda çekilebilirler. Bu yüzden SHRP araştırmacıları bu tür sert fakat duktıl bitümler için bir şartname ve deney geliştirmişlerdir. Bu deney BBR sertliği 300-600 MPa arasında olan bitümler için uygulanır.

Doğrudan çekme deneyi (DTT) adı verilen bu deney, bitümün 0 ila -36°C gibi kırılganlık veya başka bir deyişle gevreklik gösterdiği düşük sıcaklıklarda yapılır ve RTFO yada PAV deneyleriyle yaşlandırılmış bitümlere uygulanır.

Doğrudan çekme deneyinde kemik şekilli bir bitüm numunesi iki ucundan yavaş yavaş zayıflama anına kadar çekilir. Zayıflamanın meydana geldiği andaki uzunluk kopma uzaması oranının hesabında kullanılır (Şekil 6.21.). Kopma uzaması oranı (ϵ_f) uzamadaki değişimin (ΔL) etkin uzamaya (L_e) bölünmesiyle elde edilir. Zayıflama, gerilmenin en yüksek değere ulaştığında meydana gelir. Kopma anındaki değer en yüksek olmayabilir. Zayıflama anındaki gerilme (σ_f) zayıflama anındaki yükün

orijinal numune kesitine (36 mm^2) bölünmesiyle elde edilir. Şartnameye göre zayıflama uzama oranı zayıflama anında en az yüzde bir olmalıdır.

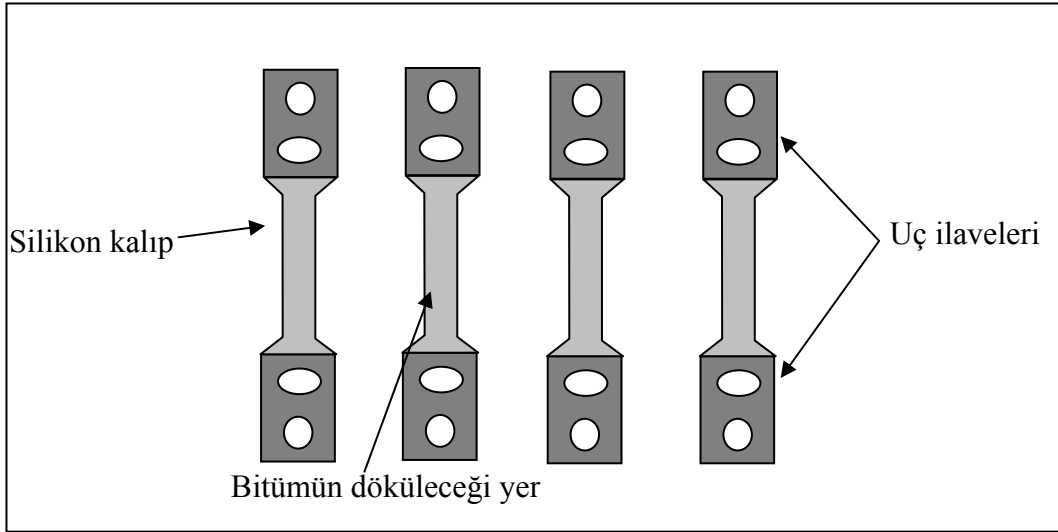


Şekil 6.21. Doğrudan çekme deneyi gösterimi [2]

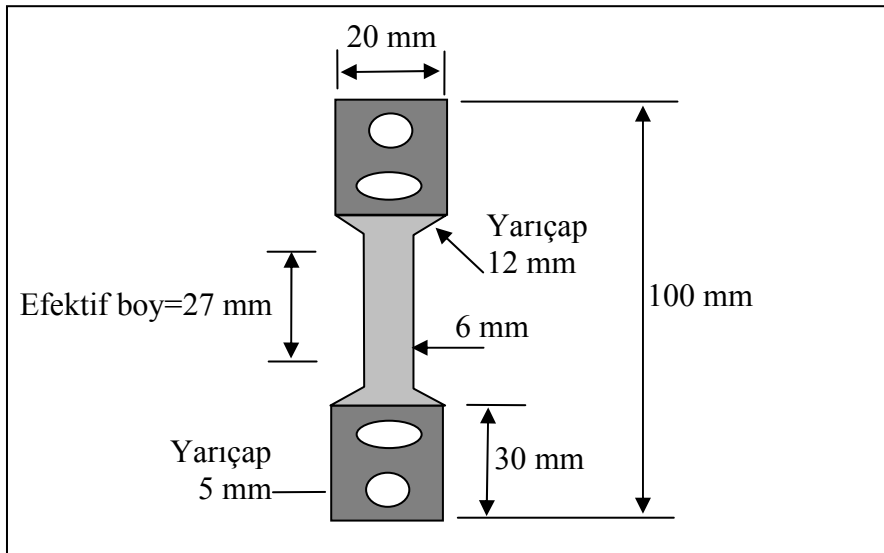
Numune Hazırlanması:

Bu deneyde kullanılacak numuneler Şekil 6.22. 'de görülen silikon kalıplarda hazırlanır. Kalıpta aynı anda 4 numune hazırlanabilmektedir. Bu dört numuneden tek bir deney sonucu çıkarılır. Plastik uç ilaveleri kalıba yerleştirilir. Montajı yapılan kalıp ön ısıtmaya tabi tutulur ve bitüm kalıptaki boşluklara dökülür.

Deney numunelerinin boyu uç ilavelerle birlikte 100 mm ve ağırlığı ise 3 g'dır. Plastik uçlar ve numune ile ilgili ölçüler Şekil 6.23 'te verilmiştir. Numunenin itibari kesiti $6 \times 6 \text{ mm}$ karedir. Numune uç kısımlarında 12 mm yarı çaplı bir yay ile 20 mm 'ye genişler. Uç parçalar bitümle benzer termal genleşme katsayısına sahip ($0,00006 \text{ mm/mm}^{\circ}\text{C}$) polimetilmetakrilat (PMMA) veya benzeri bir malzemeden üretilir. Bitüm bu tür malzemelere yapıştırıcı herhangi bir maddeye ihtiyaç duymadan kendiliğinden yapışır.



Şekil 6.22. DDT deneyi için numunelerin hazırlanması [2]



Şekil 6.23. DDT numunesi boyutları [2]

Numuneler döküldükten bir süre sonra taşan kısımlar temizlenir ve kalıptan çıkarılır ve deneyden önce 60 dakika deney koşullarına getirileceği kap içinde bekletilir.

Deney İşlemleri:

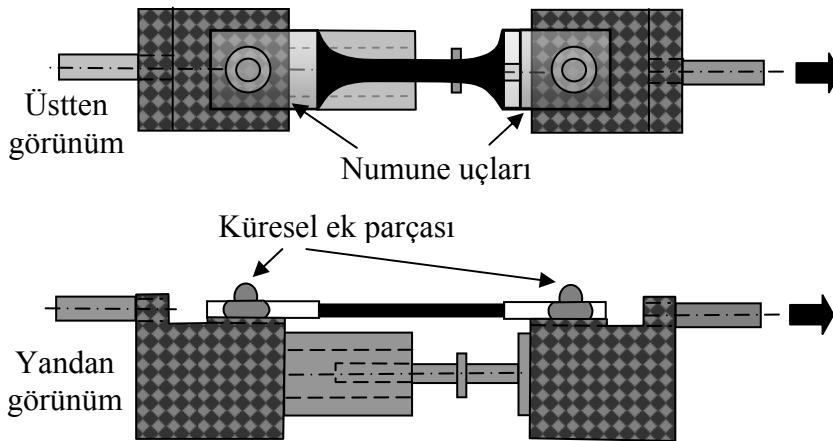
Doğrudan çekme kavramı basit gibi görülse de deney sırasında çok küçük uzamaları doğru bir şekilde ölçmek karmaşık özellikler gerektirir. Deney aleti üç parçadan oluşur.

- (1) Elektromekanik yüklene birimi
- (2) Uzama ölçme sistemi
- (3) Sıcaklık kontrollü sıvı banyosu

Yükleme birimi 1.0mm/dak oranında 500 N kadar yük uygulayabilmelidir ve ± 0.1 N hassasiyetli elektronik bir yükleme ünitesine sahip olmalıdır. Bir önemli özelliği de çekme kuvveti uygulayan boyuna çubuklara numunenin takıldığı bağlantı sistemidir. Bağlantıda bitüm numunesinde eğilme oluşmaması için Şekil 6.24’ de görülen küresel ek birleştiriciler kullanılır. Deney sırasında numunedeki uzamayı hareket aktarıcı ölçer.

Sıvı banyosu deney sıcaklıklarında donmayacak etanol, metanol veya glikol etilen gibi bir sıvı olmalıdır. Diğer testlerde olduğu gibi bu test içinde kullanılması şart koşulan bir sıvı henüz yoktur. Anca kullanılacak sıvı -40°C ‘ye kadar donmamalı veya sirkülasyonu zorlaştıracak derecede katılaşmamalıdır. Bu sıvı 0.2°C hassasiyetle sıcaklığı kontrol eden ana hazne ile sıvı yatağı arasına devir daim olur.

Deneyde her bir numune ayrı ayrı teste tabi tutulur. Deney başlatılmadan önce yük ve uzama göstergeleri ayarlanır ve sıfırlanır. Elektronik düzen hazır hale gelince dakikada 1mm uzama olacak şekilde numune zayıflayınca kadar, bir uçtan çekme kuvveti uygulanır. Sabit kesitte numune ortasında çatlama oluştuğu andaki deney sonuçları geçerli sonuçlar olarak kabul edilir.



Şekil 6.24. DTT numune bağlantısı ve deneyin yapılışı [2]

6.3. SUPERPAVE Sisteminde Bitümlerin Sınıflandırılması

6.3.1 Asfalt betonu kaplamalı yollarda kullanılan bitümlerin performans sınıflaması

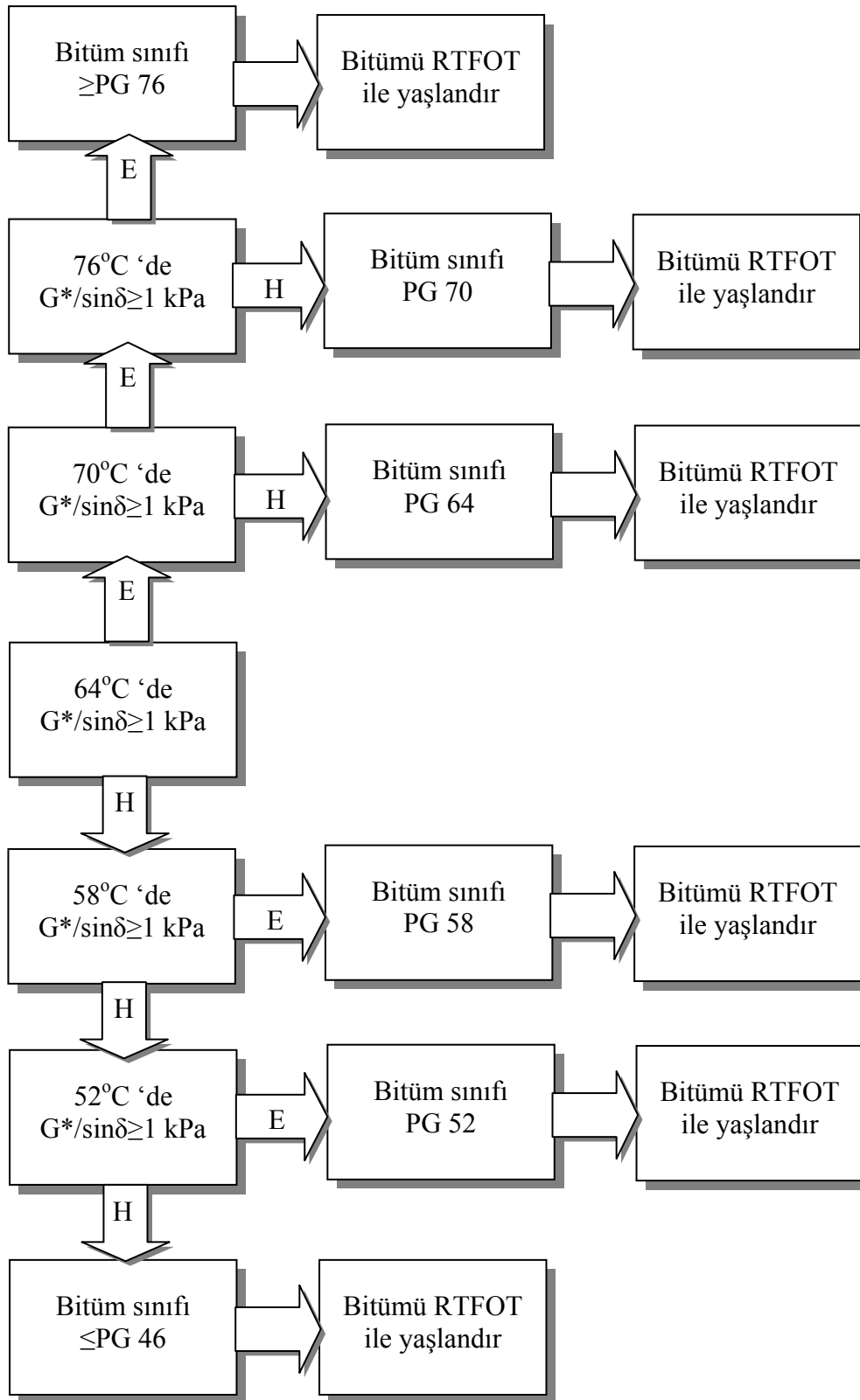
Asfalt betonu kaplamalı yollar için bitümlerin performans sınıfı AASHTO M320 standardında verilen şartnameye göre belirlenmektedir. Buna göre Çizelge 6.5 'de görüldüğü gibi bitümlerin hem yüksek, hem de düşük sıcaklık performans sınıfları altışar altışar değişmektedir. Aslında şartnamede belirtilen sıcaklıklar sınırlandırılmamış olup, iki yöne doğru genişleyebilir. Gerek duyuldukça maksimum ve minimum sıcaklıklar altışar derecelik artışlarla uzatılabilir. Yani, PG 58-10 sınıfı şartnamede gösterilmemiş olmasına rağmen sistem içinde yer alır.

Bu şartnameye göre bitümlerin performans sınıflaması yapılırken gerçekte bir deneme yanılma metodu takip edilmektedir. Bitümün önceden performans sınıfı bilinmediğinden yaklaşık tahmin edilen bir sıcaklık değerinde deneylere başlanır. Başlangıç deney sonucunun gerekli şartname değerlerini sağlayıp sağlamaması durumunda göre bir sonraki deney sıcaklığı belirlenir. Eğer başlangıç deney sonucu şartname değerlerini sağlıyorsa sağlamadığı sıcaklığa kadar, sağlamıyorsa sağladığı sıcaklığa kadar deney sıcaklığı altışar derece ara ile değiştirilir. Böylece kritik sıcaklık değeri bulunmuş olur. Şekil 6.25-28 'de bitüm sınıflandırması için yapılan deneylerin takip edilen deney akış şemaları gösterilmiştir.

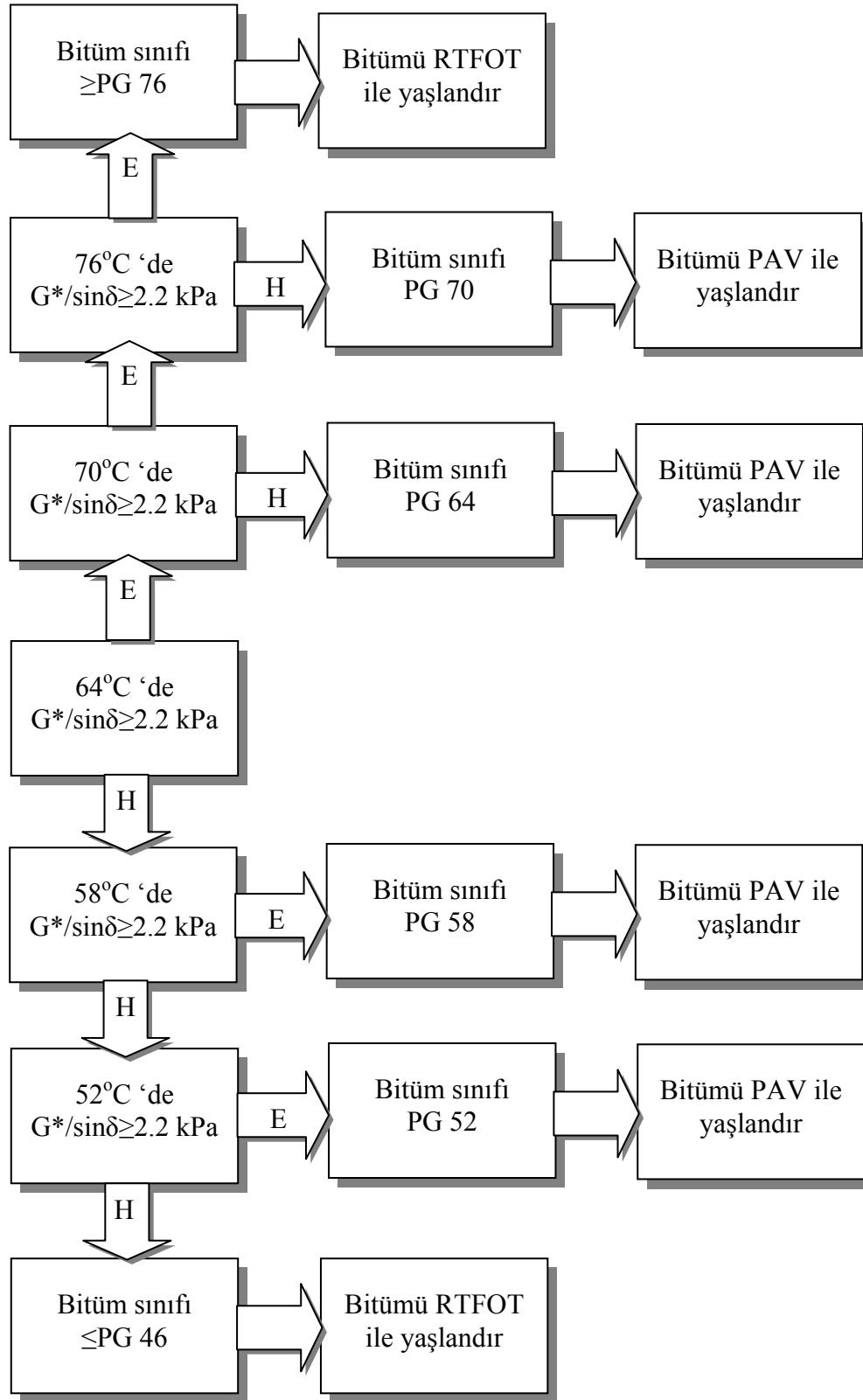
Çizelge 6.5 Performans sınıfı bitümlü bağlayıcı şartnamesi (AASHTO M320)

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	46	16	22	28	34	40	10	16	22	28	34	40	10	16	22	28	34	40	10	16	22	28	34	10	16	22	28	34
7 Gün Maks.Kaplama Dizayn Sıcaklığı, °C ^a	< 46			< 52						< 58					< 64					< 70					< 76					< 82							
Minimum Kaplama Dizayn sıcaklığı, °C ^a	-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	-10	-16	-22	-28	-34
ORİJİNAL BİTÜM																																					
Parlama Noktası, T48, Minimum (°C)	230																																				
Viskozite, ASTM D4402 ^b ≤3 Pa*s, Sıcaklık (°C)	135																																				
Dinamik Kesme, T315 ^c G*/sinδ ^f ≥ 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 G*/sinδ ^f ≥ 2,20 kPa Sıcaklık @ 10 rad/s, °C	46			52						58					64					70					76					82							
PAV DENEY KALINTISI (PP 1)																																					
PAV Deney Sıcaklığı,°C	90			90						100					100					100 (110)					100 (110)					100 (110)							
Dinamik Kesme, T 315 G*·sinδ ^f ≤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 ^e	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	-30	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	-30	0	-6	-12	-18	-24	0	-6	-12	-18	-24

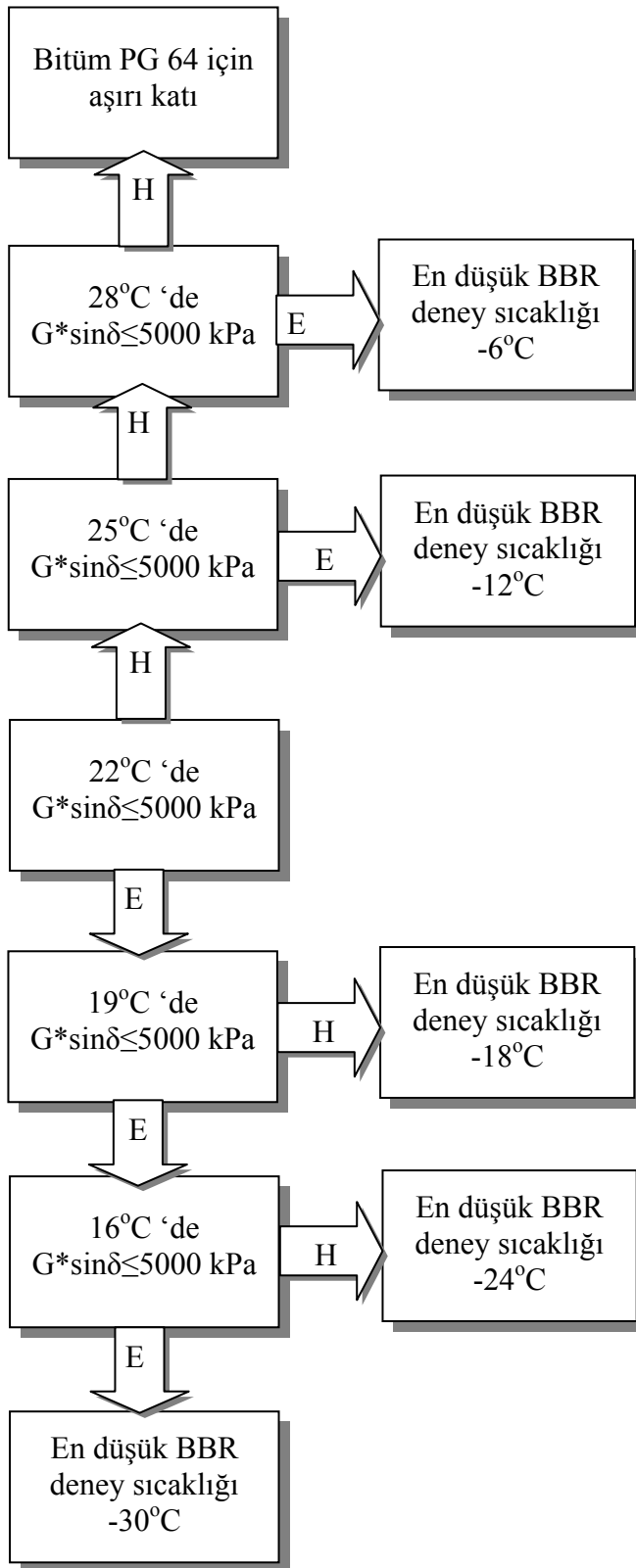
- a. Kaplama sıcaklığı LLPP Bind programından tahmin edilebilir, yetkili kurumlardan temin edilebilir ya da MP2 ve PP28'de belirtilen yöntem takip edilerek belirlenebilir.
- b. Üretici, bütün güvenlik standartlarını sağlandığı sıcaklıkta bitümün yeterli pompalanabilirliğe ve işlenebilirliğe sahip olduğunu garanti ediyorsa bu değer değişebilir.
- c. Modifiye edilmemiş bitüm üretiminin kalite kontrolü için, bitümün Newtoniyen davrandığı deney sıcaklıklarındaki G*/sinδ değerine ek olarak orijinal bitümün viskozite ölçümleri kullanılabilir.
- d. PAV yaşlandırma sıcaklığı iklim koşullarına bağlı olarak 90°C, 100°C veya 110°C olabilir. PAV sıcaklığı çöl ikliminde 110°C, bunun dışındaki PG58- ve üzeri sınıflarda 110°C'dir.
- e. G*/sinδ=Yüksek sıcaklık sertliği, G*/sinδ=Düşük sıcaklık sertliği



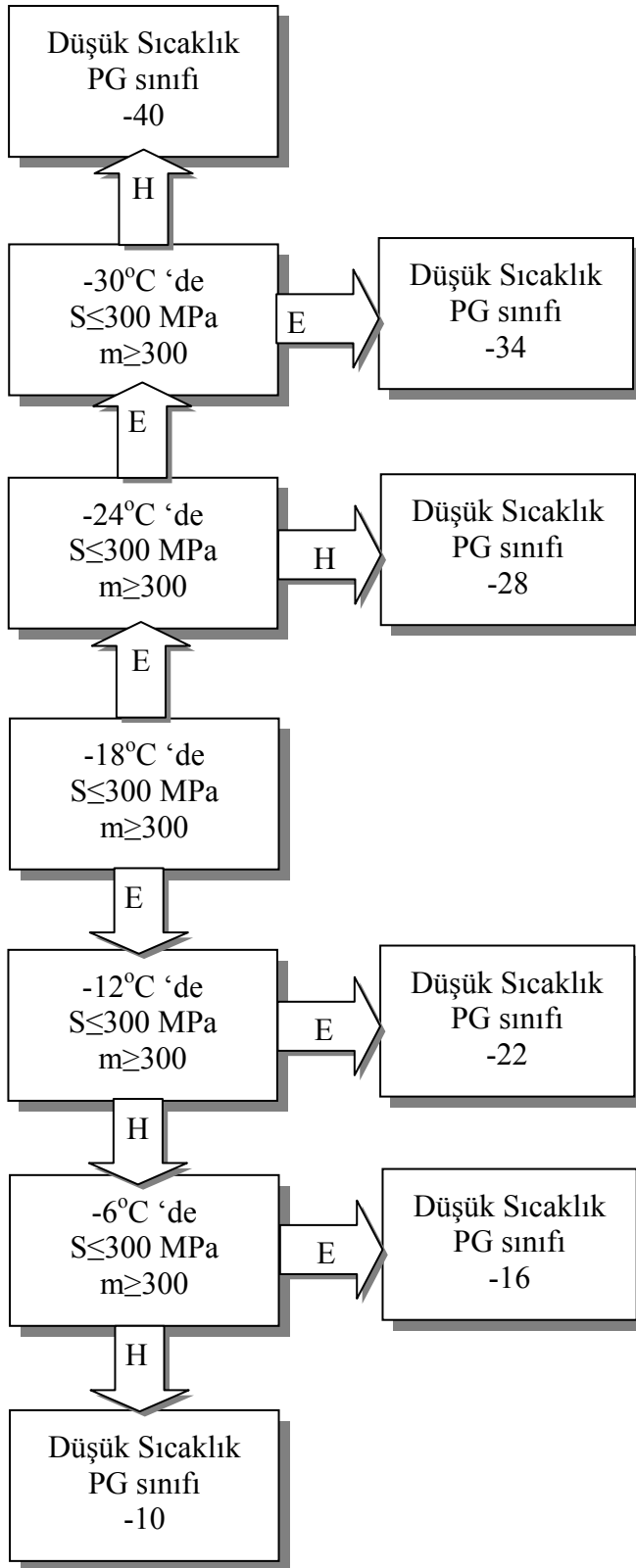
Şekil 6.25 Yaşlandırılmamış bitümün yüksek sıcaklık DSR deneyi akış şeması



Şekil 6.26 RTFOT ile yaşlandırılmış bitümün yüksek sıcaklıktaki DSR deneyi akış şeması



Şekil 6.27 PAV ile yaşlandırılmış bitümün orta sıcaklıktaki DSR deneyi akış şeması



Şekil 6.28 BBR deneyi ve düşük sıcaklık performans sınıflandırması akış şeması

6.3.2 Sathi kaplamada kullanılan bitümlerin performans sınıflaması

Bundan önceki bölümlerde verilen PG bitüm sınıflaması bitümlü sıcak karışım (BSK) tabakalarında kullanılan bitümler için geçerli olup, bu sınıflamanın sathi kaplama uygulamalarında aynen kullanılması uygun değildir. Çünkü sathi kaplama ile asfalt betonu kaplamanın yapım şartları farklı olduğu gibi, maruz kaldıkları bozulma türleri, ve bozulma kriterleri de farklılık göstermektedir.

Sathi kaplamalarda kullanılan bitümlerin performans sınıflarını belirlemek üzere ilk defa 2000 yılında Teksas Karayolu İdaresi (TxDOT) tarafından bir araştırma projesi çalışması gerçekleştirilmiş ve bu konuya yönelik bir şartnamenin ilk versiyonu yayınlanmıştır. Daha sonra arazi çalışmaları ile birlikte arazi kalibrasyonu yapılmış ve 2005 yılında şartname ikinci bir rapor olarak yayınlanmıştır. Sathi kaplama bitümü performans sınıflaması olarak (Surface Performance Grading, SPG) adlandırılan bu sınıflama şartnamesinin 2005'teki son versiyonu da taslak olup, henüz SUPERPAVE ve AASHTO standartlarında yer almamaktadır. Türkiye'deki karayolu üstyapılarının büyük bir kısmının sathi kaplama olması nedeniyle bu yeni sınıflandırma sistemine tez çalışmasında yer verilmiş ve Rafineri bitümlerinin PG sınıflarına ek olarak SPG sınıfları da belirlenmiştir.

Sathi kaplamalı yollarda, BSK kaplamalı yollardan farklı olarak yüksek sıcaklıkta tekerlek izinde oturma ve düşük sıcaklıkta termal çatlak oluşumu kritik değildir. Sathi kaplamalarda yüksek sıcaklıkta görülen performansla ilgili ana bozulma türleri kuma ve agrega kaybıdır. Bu bozulmalar esas olarak bitümlü bağlayıcının kayma dayanımı agregaları trafik altında yerinde tutmaya yetecek düzeyde olmadığı durumlarda ortaya çıkmaktadır. Yüksek sıcaklıkta kalıcı deformasyonları sınırlayan ve elastik davranışı temsil eden $G^*/\sin\delta$ değeri sathi kaplama bitümlerinin performans sınıflamasında da kullanılmaktadır.

Çizelge 6.6 'de verilen SPG şartnamesinde de görüldüğü gibi performans deneyleri; orijinal bitüme yapılan dönel viskozite deneyi ile DSR deneyi ve sadece PAV ile yaşlandırılan bitüme yapılan BBR deneyidir. RTFOT ile yaşlandırma bu şartnamede

kaldırılmış olup, burada emülsiyon kullanıldığı durumlarda uygulama sıcaklığının düşük olduğu, penetrasyon sınıfı bitüm kullanıldığında ise sathi kaplama uygulamasındaki serpmeye işleminin çok daha hızlı bir şekilde yapıldığı ve bitümün inşaat öncesinde BSK uygulamasından çok daha kısa bir süre yüksek sıcaklığa maruz kaldığı kabul edilmiştir.

PG bitüm sınıflama sisteminde dönel viskozite deneyi, yeterli pompalama ve taşıma kapasitesini temin etmek amacıyla, tüm bitüm sınıfları için 135 °C sıcaklıkta yapılmaktadır. Sathi kaplamalarda bitümlerin püskürtme sıcaklığı bitümün kıvamına göre çok değişken olması nedeniyle çok daha geniş bir sıcaklık aralığında ısıtıldığından SPG şartnamesinde değişken deney sıcaklığı kullanılmıştır. Bitüm püskürtme sıcaklığının 10 ila 15 Pa.s bir viskoziteye tekabül ettiği kabul edilmiştir.

SPG sınıflamasında, yüksek sıcaklıklarda orijinal bitüm üzerinde yapılan DSR deneyinde de 10 rad/s frekans ve %10-12 deformasyon seviyesi kullanılmaktadır. Burada sathi kaplama bitümünün $G^*/\sin\delta$ değerinin en az 0,65 kPa olması istenmiştir.

Düşük sıcaklıklarda bitümlü bağlayıcılardan kaynaklanan sathi kaplama bozulmaları termal çatlak oluşumundan ziyade, aşırı rijitlik nedeniyle agrega kaybı, agrega taneleri altında kırılma şeklinde görülmektedir. SPG şartnamesinde de PG şartnamesinde olduğu BBR deneyi esas alınmıştır. Ancak, PG sınıflamasında BBR deneyi hem RTFOT hem de PAV ile yaşlandırılan numuneye yapılırken SPG sınıflamasında sadece PAV ile yaşlandırılmış bitüme yapılmaktadır. Aynı zamanda, BSK kaplamalarda zaman-sıcaklık süperpozisyonu nedeniyle PG sınıflamasında minimum kaplama sıcaklığının 10 °C üzerinde bir sıcaklıkta deney yapılmakta ve 60 saniye sonundaki rijitlik ve m değeri belirlenmektedir. SPG sınıflamasında ise termal çatlak oluşumu söz konusu mümkün olan en hızlı yükleme zamanında ölçümler yapılmaktadır. Buna göre BBR deneyinde 8 saniye sonunda rijitliğin maksimum 500 MPa, m değerinin ise minimum 0,240 olması istenmektedir. Kritik deney sıcaklığı düşük sıcaklık SPG sınıfı olarak belirlenmektedir.

Çizelge 6.6 Sathi kaplamalı yollar için performans sınıfı bitümlü bağlayıcı şartnamesi [26]

Performans Sınıfı	SPG 58				SPG 61				SPG 64				SPG 67				SPG 70				SPG 73				SPG 76			
	10	16	22	28	10	16	22	28	10	16	22	28	10	16	22	28	10	16	22	28	10	16	22	28	10	16	22	28
7 Gün Maks.Kaplama Dizayn Sıcaklığı, °C ^a	< 58				< 61				< 64				< 67				< 70				< 73				< 76			
Minimum Kaplama Dizayn sıcaklığı, °C ^a	-10	-16	-22	-28	-10	-16	-22	-28	-10	-16	-22	-28	-10	-16	-22	-28	-10	-16	-22	-28	-10	-16	-22	-28	-10	-16	-22	-28
ORİJİNAL BİTÜM																												
Viskozite, ASTM D4402 Maksimum 0,15 Pa*s Minimum 0,10 Pa*s Deney Sıcaklığı, °C	≤205				≤205				≤205				≤205				≤205				≤205				≤205			
Dinamik Kesme, TP 315 G*/sinδ ^f ≥ 0,65 kPa Sıcaklık @ 10 rad/s, °C	58				61				64				67				70				73				76			
PAV DENEY KALINTISI (PP 1)																												
PAV Deney Sıcaklığı,°C	90				100				100				100				100 (110)				100 (110)				100 (110)			
Sünme Sertliği, TP 313 S ≤500MPa, m ≥ 0,240 Sıcaklık @ 8s, °C	-10	-16	-22	-28	-10	-16	-22	-28	-10	-16	-22	-28	-10	-16	-22	-28	-10	-16	-22	-28	-10	-16	-22	-28	-10	-16	-22	-28

7. YAPILAN DENEYSEL ÇALIŞMALAR

7.1. Bitüm Numunelerinin Deneye Hazırlanması

Türkiye’de petrol başlıca Kırıkkale, İzmit, İzmir (Aliğa) ve Batman olmak üzere dört rafineride işlenmektedir. Kırıkkale, İzmit ve Batman rafinerilerinde penetrasyon sınıfları B 50/70, B 70/100 ve B 160/220 olmak üzere üç tip bitüm üretilmektedir. İzmir (Aliğa) rafinerisinde ise yukarıdaki üç bitüme ilave olarak B 100/150 olmak üzere dört tip bitüm üretilmektedir. Karayolu uygulamalarında bitümün Kırıkkale, İzmit veya Batman rafinerilerinden temin edilebildiği durumlarda, ihtiyaç duyulması halinde B 100/150 sınıf bitüm; B 160/220 sınıfı bitüm ile B 50/70 veya B 70/100 sınıfı bitümün belirli oranlarda karıştırılması sureti ile elde edilebilmektedir.

Tez çalışması kapsamında Kırıkkale, İzmit, Aliğa ve Batman rafinerilerine ait B 50/70, B 70/100 ve B 160/220 penetrasyon sınıfı bitümler ile Aliğa rafinerisine ait B 100/1500 sınıfı bitümler üzerinde SUPERPAVE performans sınıflama deneyleri yapılmıştır. Çalışmada söz konusu rafinerilerde üretilen penetrasyon sınıfı bitümlerin her biri için yaklaşık 2 kg bitüm numunesi kullanılmıştır. Deneylerin yapılmasında, Karayolları Genel Müdürlüğü Üstyapı Şubesi Müdürlüğü Bitüm Laboratuvarı kullanılmıştır.

Aynı zamanda Kırıkkale rafinerisine ait B 50/70, B 70/100 ve B 160 sınıfı bitümler ile Batman rafinerisine ait B 50/70 sınıfı bitümler SBS ve Elvaloy tipide iki farklı katkı malzemesi ile, Batman rafinerisine ait B 70/100 ve B 160/220 sınıfı bitümler ise sadece SBS katkı maddesi ile laboratuarda modifiye edilerek üretilen modifiye bitümler üzerinde de SUPERPAVE sınıflama deneyleri yapılmıştır. Modifiye bitümler üretilirken ağırlık olarak SBS katkı oranı %5, Elvaloy katkı oranı %2 olarak kullanılmış olup, bu oranlar söz konusu ürünlerin yaygın olarak kullanılan oranları dikkate alınarak seçilmiştir.

Performans sınıflama deneylerinin yapımı sırasında hem normal hem de modifiye bitüm numuneleri öncelikle, etüvde yeterli sıcaklığa kadar ısıtılarak penetrasyon,

yumuşama noktası, dönel viskozite, DSR ve RTFO deneyleri için deney numuneleri hazırlanmıştır. Daha sonra, RTFO deneyi ile yaşlandırılan bitümün bir kısmı kütle kaybı için kullanılırken, bir kısmı da tekrar DSR deneyine tabi tutulmuş, geri kalan kısmı ise PAV deneyine alınarak uzun dönemli yaşlandırılmıştır. RTFO ve PAV deneyi ile yaşlandırılmış bitüm numuneleri üzerinde ise en son olarak DSR ve BBR deneyleri yapılmıştır. Her bir deneyin nasıl yapıldığı aşağıda ayrıntılı olarak verilmiştir.

7.2. Numunelere Uygulanan Penetrasyon Deneyi

Penetrasyon deneyi TS 118 EN 1426 “Bitümler ve Bitümlü Bağlayıcılar- İğne Batma Derinliği Tayini” deney standardına göre yapılmıştır. Deneyde aşağıda verilen işlem adımları takip edilmiştir.

- Teneke kutulardaki bitüm numuneleri, yaklaşık olarak 150⁰C sıcaklığa kadar ısıtılmış, modifiye bitümlere yapılan deneylerde ise 180⁰C ‘ye kadar ısıtılmıştır.
- Isıtılan bitümler 55 mm çap ve 35 mm yüksekliğindeki numune kaplarına doldurulmuş ve numune kapları doldurulur doldurulmaz, mevcut kabarcıkların uzaklaşmasını sağlamak ve numuneyi tozlara karşı korumak amacıyla üzerleri uygun büyüklükteki beherle kapatılmış, 60 dakika süre ile 15⁰C ila 30⁰C ortam sıcaklığında soğumaya bırakıldıktan sonra 60 dakika süre de 25⁰C sabit sıcaklıklı su banyosunda bekletilmiştir.
- Daha önceden deney numuneleriyle birlikte banyoya yerleştirilmiş olan aktarma kabına, numune kabı yerleştirmiştir.
- Numune kabının üzeri, sabit sıcaklık banyosundaki su ile tamamen kapatıldıktan sonra aktarma kabı, banyodan alınarak penetrometre tablasına yerleştirilmiştir.
- Deney numunesi kabı penetrometreye yerleştirildikten sonra, deney iğnesi, ucu deney numunesi yüzeyindeki yansıması ile temas edinceye, fakat numuneye batmayıncaya kadar yavaşça aşağı doğru indirildikten sonra bu noktada penetrometre sıfırlanmıştır.
- Daha sonra toplam 100 g kütleli penetrasyon iğnesi serbest bırakılarak bitüm numunesi içerisine 5 saniye süre ile batması sağlanmıştır.

- İğnenin bitüm içerisine batma miktarı milimetrenin onda biri cinsinden değeri olarak kaydedilmiştir.
- Üç ayrı iğne ile, deney numunesi kabı kenarlarından en az 10 mm mesafede ve birbirlerine 10 mm'den yakın olmayan noktalarda en az üç geçerli ölçüm yapılmıştır.
- Üç noktadaki batma değerinin ortalaması alınarak numunenin penetrasyon değeri belirlenmiştir.



Resim 7.1 Penetrasyon deney cihazı

7.3. Numunelere Uygulanan Yumuşama Noktası Deneyi

Yumuşama noktası deneyi TS 120 EN 1427 “Bitümler ve Bitümlü Bağlayıcılar-Yumuşama Noktası Tayini-Halka ve Bilye Metodu” deney standardına göre yapılmıştır. Deneyde aşağıda verilen işlem adımları takip edilmiştir.



Resim 7.2 Yumuşama noktası deney cihazı

- Teneke kutulardaki bitüm numuneleri, kare omuzlu, pirinçten yapılmış iki adet halka ile birlikte yaklaşık olarak normal bitümlerde 150°C, modifiye bitümlerde ise 163°C 'ye kadar ısıtılmıştır.
- Pirinç halkalar yüzeyine yapışmayı önleyici vazelin döküm hazırlama plakası üzerine konulduktan sonra, her halkanın içerisine halka hacminden biraz daha fazla miktarda, ısıtılmış bitümlü bağlayıcı dökülerek doldurulmuş ve ortam sıcaklığına soğuması için en az 30 dakika beklenmiştir.

- Deney numuneleri soğuduğunda, bitümlü bağlayıcının halkadan taşan kısmı sıcak bir bıçakla veya jilette kesilip alınarak her deney numunesi düz ve halkaların üst seviyesi ile aynı seviyeye getirilmiştir.
- Halka tutucu, deney numunesi halkaları, iki adet bilye, bilye merkezleme kılavuzları ve beher 5°C sabit sıcaklıktaki su banyosunda 15 dakika süre ile bekletilmiştir.
- Sabit sıcaklıktaki su ile doldurulmuş beher içerisine deney cihazı, deney numunesi halkaları, karıştırıcı ve termometre yerleştirilmiş, beherdeki sıvı yüzeyi halkaların üst yüzeyinden 50 mm $\pm$ 3 mm yukarıda olacak şekilde deney düzeneği hazırlanmış, yatay konumlu deney numunesi halkalarının her birinin üzerine çapı 9,50 mm $\pm$ 0,05 mm ve kütlesi 3,50 g $\pm$ 0,05 g olan bir bilye yerleştirilmiştir.
- Sıcaklık dakikada 5°C artacak şekilde beher içerisindeki deney banyosu ısıtılmıştır.
- Disk biçimli bitüm numunelerine gömülen her bir bilyenin 25,0 mm $\pm$ 0,4 mm mesafeden deney sehpasına düştüğü anda, termometreden sıcaklıklar okunmuş ve okunan sıcaklık değerlerinin ortalaması alınarak yumuşama noktası belirlenmiştir.

7.4. Numunelere Uygulanan Dönel Viskozite Deneyi (RV)

Dönel viskozite deneyi AASHTO T 316 ve ASTM D 4402 “Dönel Viskometre ile Asfalt Bağlayıcıların Viskozitelerinin Belirlenmesi (Viscosity Determination of Asphalt Binder Using Rotational Viscometer)” standardına göre Brookfield deney cihazı kullanılarak yapılmıştır. Bu deney ile temel olarak bitümlü bağlayıcı içerisine daldırılmış silindirik bir çubuğu (spindle) 20 devir/dakika sabit hızda dairesel olarak döndürmek için gerekli dönme kuvveti (tork) bulunmaktadır. Deney yapımı sırasında aşağıdaki adımlar takip edilmiştir.

- Silindirik çubuk, numune kabı, çevresel hücre (termosel) 135°C sıcaklığa kadar ısıtılmıştır.

- Bu arada etüvde 150°C 'nin üzerinde olmamak şartıyla yaklaşık 30 g bitüm numunesi sıvı hale gelinceye kadar ısıtılmış, ısıtma sırasında bitüm içinde hapsolan havanın atılması için arada bir karıştırma yapılmıştır.
- Numune kabı içerisine, silindirik çubuğun boyutuna göre 8–11 g arasında ısıtılmış bitüm numunesi dökülmüştür.
- Numune kabı sıcaklık kontrol ünitesi içerisine yerleştirildikten sonra silindirik çubuk, içinde bitümlü bağlayıcı bulunan numune kabı içerisine dikkatli bir şekilde daldırılmıştır.



Resim 7.3. Silindirik çubuğun numune kabına yerleştirilmesi

- Motor çalıştırıldıktan sonra, silindirik çubuk 20 devir/dakika hızla dönerken numune sıcaklığı yaklaşık 30 dakika içerisinde 135 °C deney sıcaklığına yükselene ve bu sıcaklıkta dengeye gelene kadar beklenmiş, bu arada viskozite ve dönme oranı gözlenmiştir.
- Numune sıcaklığı stabil duruma gelip, viskozite okumaları da sabitleştikten sonra dijital göstergeden bir tuşa basmak suretiyle deney ile ilgili bilgiler (deney sıcaklığı, viskozite, çubuk numarası ve dönüş hızı) alınmış, viskometre dengeye ulaştıktan sonra birer dakika ara ile 3 adet viskozite okuması alınmıştır.
- Üç okumanın ortalaması dönel viskozite değeri olarak belirlenmiştir.



Resim 7.4. Dönel viskozite deney cihazının önden görünüşü

7.5. Numunelere Uygulanan Döner İnce Film Halinde Isıtma Deneyi (RTFOT)

Döner ince film halinde ısıtma deneyi AASHTO T 240 and ASTM D 2872 “Effect of Heat and Air on a Moving Film of Asphalt (Rolling Thin-Film Oven Test)” deney standardına göre yapılmıştır.

- Bitüm numunesi sıvı hale gelinceye kadar ısıtılmış, ısıtma sırasında bitümün homojen hale gelmesi ve içinde hapsolan havanın atılması için arada bir karıştırılmıştır.
- Her bir bitüm numunesi için 4 adet RTFO şişesine 35 g bitüm doldurulmuş, bu şişelerden bir tanesinin boş ağırlığı kütle kabının bulunması için tartılmıştır (Deney standardında 2 adedi kütle kaybı olmak üzere toplam 8 adet şişe istenmesine karşılık, zamandan tasarruf sağlamak, RTFO ve PAV deney cihazını daha verimli bir şekilde kullanmak maksadıyla deneyler için gerekli numune miktarları yeterli görülerek bu çalışma kapsamında her bir numune için 1 tanesi kütle kaybı olmak üzere toplam 4 adet RTFO şişesi kullanılmış, her seferde iki adet bitüm numunesi ile çalışılmıştır).
- Bitümle doldurulan şişeler hemen soğutma sehbası üzerine döndürme ve çalkalama yapmadan yatay bir şekilde yatırılmıştır.
- Yaklaşık 120 dakika (60 ila 180 dakika arasında olmalıdır) beklenerek soğutulan şişelerden kütle kaybı için hazırlanan şişe tekrar tartılmıştır.
- Soğutulmuş şişeler RTFO etüvü içindeki taşıyıcıya yerleştirilmiş (taşıyıcı 8 adet şişe alabildiğinden her seferde iki farklı bitümle çalışılmış, yani toplamda 8 adet şişe kullanılmıştır).
- RTFO etüvü bir gün önce çalıştırılarak deneye başlamadan önce en az 16 saat boyunca 163 °C deney sıcaklığında ısıtılmıştır. Hava basıncı dakikada 4000 ml üfleme yapacak şekilde ayarlandıktan sonra üzerine şişelerin yerleştirildiği taşıyıcı dakikada 15 devir sabit hızda dönecek şekilde çalıştırılmıştır.
- Numuneler bu şartlara 85 dakika maruz bırakılmış, bu süre sonunda şişeler sıra ile dışarı alınarak PAV deneyi için kullanılmak üzere sıcak halde kaplara boşaltılmıştır.

- Kütle kaybında kullanılacak Şişeler ise dışarı alınarak oda sıcaklığına gelene kadar soğutulduktan sonra 0,001 gram hassasiyetle tartılmıştır.
- Kütle kaybı RTFO deneyinden sonra kalan numunenin yüzde olarak kaybettiği miktar olarak hesaplanır.

7.6. Numunelere Uygulanan Basınçlı Yaşlandırma Deneyi (PAV)

RTFO deneyi ile kısa dönemli olarak yaşlandırılmış numuneler basınçlı yaşlandırma deneyi (PAV) ile de uzun dönemli olarak yaŐlandırılır. Bu deney için AASHTO R28-02 ve TS EN 14769 deney standartları kullanılmıştır. Buna göre bu deneyde takip edilen işlem adımları aşağıdaki gibi olmuştur.

- Dönerli ince film fırın deneyinden (RTFOT)  ıkan bitüm numuneleri karıştırma kabına alınarak karıŐtırıldıktan sonra TFOT numune kaplarına 50 ± 0.5 g tartılarak konulmuŐtur (bu miktar yaklaşık 3.2 mm bitüm kalınlığına tekabül etmektedir).
- Numune tutucusu boş olarak basınç kabinine yerleştirilmiş, AASHTO M320 standardında istenilen yaşlandırma sıcaklığına PAV ayarlanarak 2 saat süre ile  n ısıtmaya tabi tutulmuŐtur.
- Yaşlandırma kabı, istenilen sıcaklığa geldiğinde numune tutucu çıkarılarak dolu TFOT numune kapları numune tutucuya yerleştirilmiş, daha sonra numune tutucu tekrar basınç kabinine yerleştirilmiştir.
- Sıcaklık, yaşlandırma sıcaklığının $20 \text{ }^\circ\text{C}$ içinde kalacak Şekilde beklenmiş, basınç $2,1 \pm 0,1$ MPa olacak Şekilde ayarlandıktan sonra deney başlatılmıştır.
- Ayarlanan sıcaklık ve basınç değerlerinin iki saat içinde ayarlanan değerlere gelip gelmediği kontrol edilmiş, gelmemesi halinde deney sonlandırılmıŐtır.
- Numuneler, ayarlanan sıcaklık ve basınç Şartlarında $20 \text{ saat} \pm 10 \text{ dakika}$ bekletilmiştir.
- Bu süre sonunda, basınç boşaltma vanası 9 ± 1 dakikada i  ve dış basınç dengelenecek Şekilde ayarlanarak basınç boşaltılmıştır.

- Deney sırasında, 20 saat içindeki yaşlandırma sıcaklığının ± 0.5 °C dışında olan süre 60 dakikadan fazla olup, olmadığı kontrol edilmiştir (fazla olması durumunda deney geçersiz sayılır).
- Numune tutucu basınç kabininden çıkarıldıktan sonra, TFOT numune kapları 163 °C 'de etüve konularak 15 ± 1 dakika süre ile yeterince akışkan hale gelene kadar ısıtılmış, hava kabarcıklarının çıkarılması için yavaşça karıştırılmıştır.
- TFOT Numune kapları etüvden çıkarılarak yüksekliği bitüm kalınlığı 15-40 mm arasında olacak şekilde ayrı kaplara konmuştur.

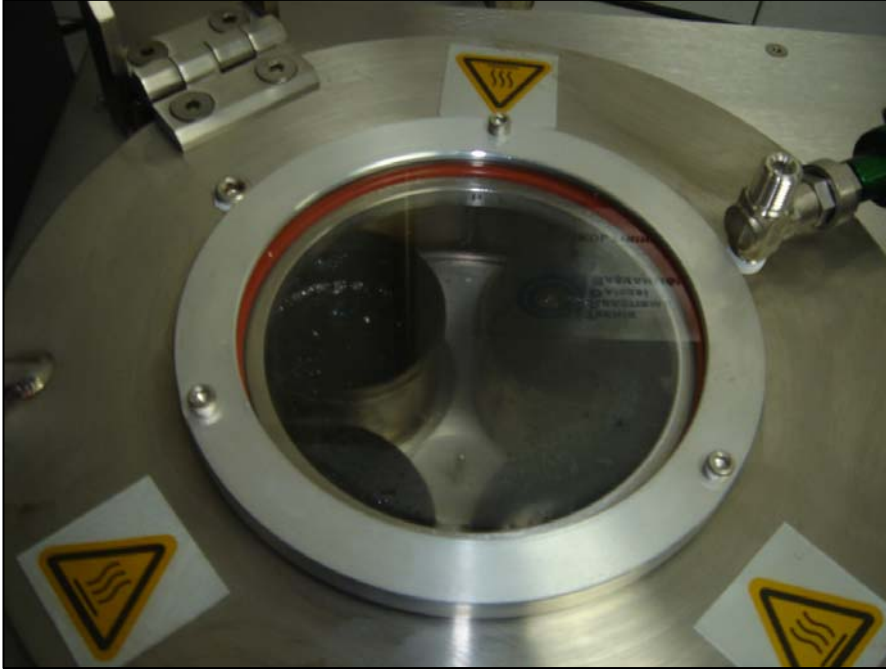


Resim 7.5. Bitüm doldurulmuş kapların numune tutucuya yerleştirilmesi

- Vakum fırını 170 ± 5 °C 'ye kadar ön ısıtmaya tabi tutulduktan sonra, bu kaplar vakum etüvüne alınarak 170 ± 5 °C 'da 10 ± 1 dakika vakum uygulanmadan bekletilmiştir.
- 10 dakika bekletildikten sonra vakum valfi mümkün olduğu kadar hızlı bir şekilde açılarak basınç $15 \pm 2,5$ kPa 'ya ayarlanmış, ve 30 ± 1 dakika süre ile vakum uygulanmıştır.
- Bu süre sonunda Vakum sonlandırılmış ve numune dışarı alınmıştır.



Resim 7.6. PAV deneyinden numunelerin ayrı bir kaba alınması



Resim 7.7. Vakum etüvüne yerleştirilmiş numune kapları



Resim 7.8. Vakum etüvünün önden görünüşü

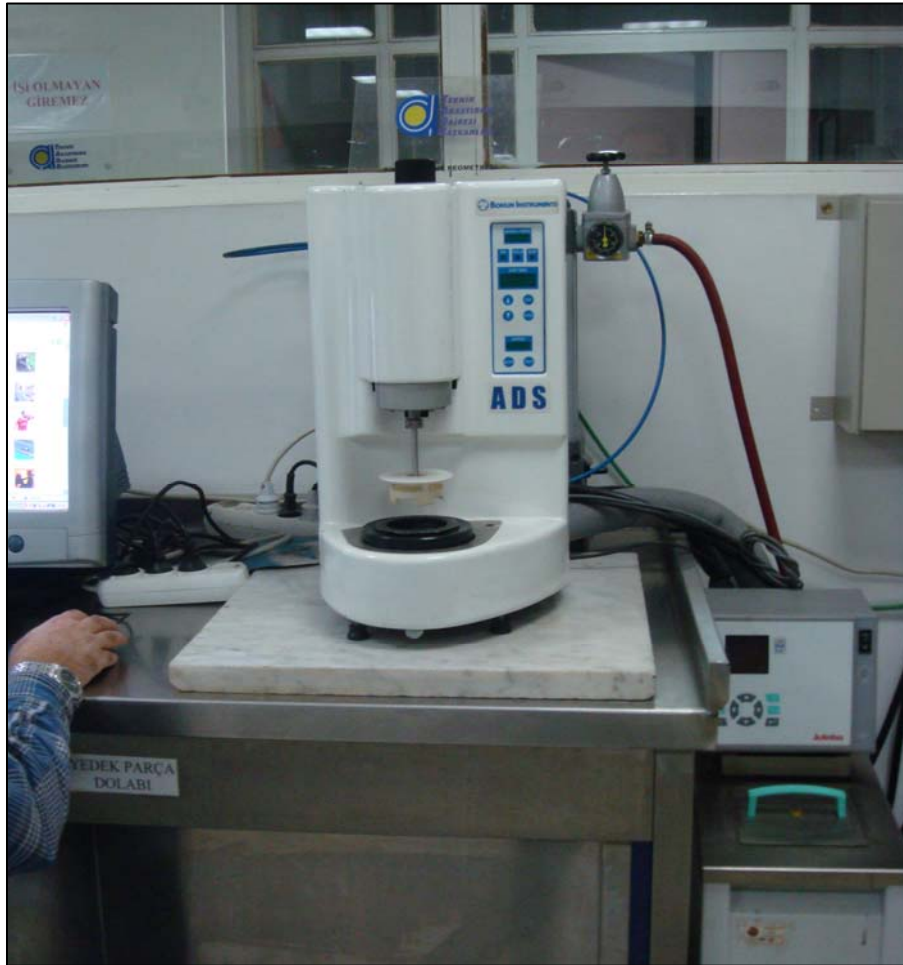


Resim 7.9. Vakum etüvünde havası alınmış numunelerin toplu görünümü

7.7. Numunelere Uygulanan Dinamik Kesme Reometresi (DSR)

DSR deneyi performans sınıflandırmasında en fazla ihtiyaç duyulan deney olup, hem orijinal bitüme, hem RTFO ile yaşlandırılmış bitüme hem de PAV ile yaşlandırılmış bitüme yapılmaktadır. Deney AASHTO T315 deney standardına göre yapılmakta olup, bu deneyde başlıca numunenin kompleks kesme modülü ve faz açısı bulunmaktadır. Deneyde takip edilen aşamalar şu şekilde olmuştur.

- Deney cihazı dinamik kesme reometresi, sıcaklık kontrol ünitesi ve bilgisayardan ibarettir. Burada yapılan deney çalışmalarında Bohlin marka reometre kullanılmıştır.



Resim 7.10. DSR deney cihazı

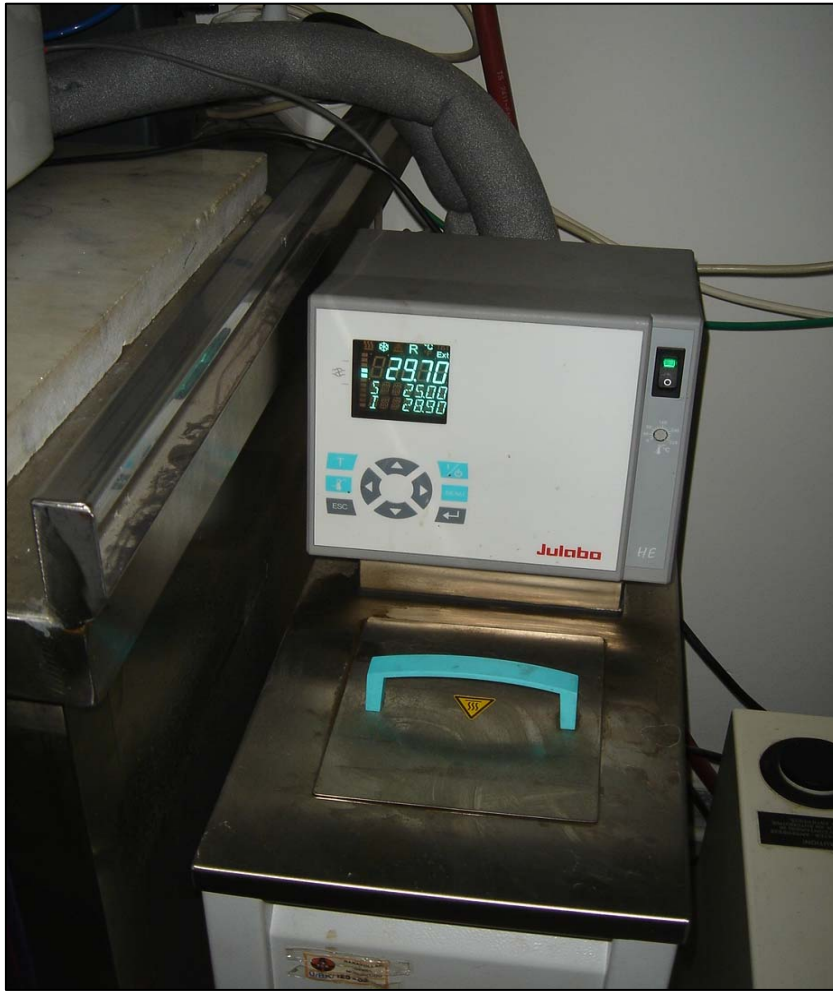
- Deney numunesini hazırlamak için öncelikle, normal bitümlerde 150°C 'yi, modifiye bitümlerde ise 163°C 'yi geçmeyecek şekilde bitüm ısıtılıp, hava kabarcıkları yok olacak şekilde iyice karıştırılmış..
- Isıtılan bitüm numunesi yapışkan olmayan pürüzsüz bir yüzey üzerine damlatılarak yaklaşık 10 g'lık deney numunesi oluşturulmuştur. Deney numunesinin miktarı plakanın çapına ve iki plaka arasında bırakılacak boşluğa uygun olacak şekilde ayarlanmıştır.



Resim 7.11. Hazırlanan DSR numuneleri

- Deneylerde iki plaka arasındaki boşluk yüksekliğine göre iki ayrı çapta plaka kullanılmış; plaka çapları ve boşluk yükseklikleri deneyde kullanılacak bitümün yaşlanma durumuna göre seçilmiştir. Buna göre, orijinal ve RTFO ile yaşlandırılmış bitümlerde 1000 mikron boşluk ve 25 mm çaplı plakalar, PAV ile yaşlandırılmış olanlarda ise 2000 mikron boşluk ve 8 mm çaplı plakalar kullanılmıştır.

- Ana hava vanası açılarak, hava basıncı 3 bar olacak şekilde hava şartlandırıcı ayarlanmıştır.
- Su banyosu açıldıktan sonra deney cihazı çalıştırılmıştır.
- Bilgisayardan deneye ait program açılmıştır.
- Programdan yük uygulama şekli osilasyon, deney metodu olarak “SHRP Grade Determination” ve deneye tabi tutulacak bitüm yaşlanma durumu (orijinal, RTFOT ile yaşlandırılmış veya PAV ile yaşlandırılmış) seçildikten sonra, deney başlangıç sıcaklığı programa girilmiştir (deney başlangıç sıcaklığı orijinal ve RTFOT yaşlandırılmış bitümlerde genellikle 64°C, PAV ile yaşlandırılmış bitümlerde ise 22 °C olarak alınmıştır).



Resim 7.12. DSR deney cihazı su banyosu ve dijital göstergesi

- Ayrıca, programda deney frekansı 10 Hz, deformasyon yüzdesi ise orijinal bitümler için %12, RTFOT ile yaşlandırılmış bitümler için %10, PAV ile yaşlandırılmış bitümler için ise %1 olarak seçilmiştir.
- Reometrenin ön panelindeki zero tuşuna basılarak, aletin sıfır "0" ayarı yapılmıştır. Sıfır ayarı yapılırken hareketli üst plaka alçalarak alt plakaya değmekte, değdiği nokta sıfır olarak kaydedildikten sonra üst plaka tekrar yükselmektedir.
- Deney sıcaklığına ulaşılnca, numune yerleştirilmiş, konan numunenin fazlası bir spatula yardımı ile alınmıştır.

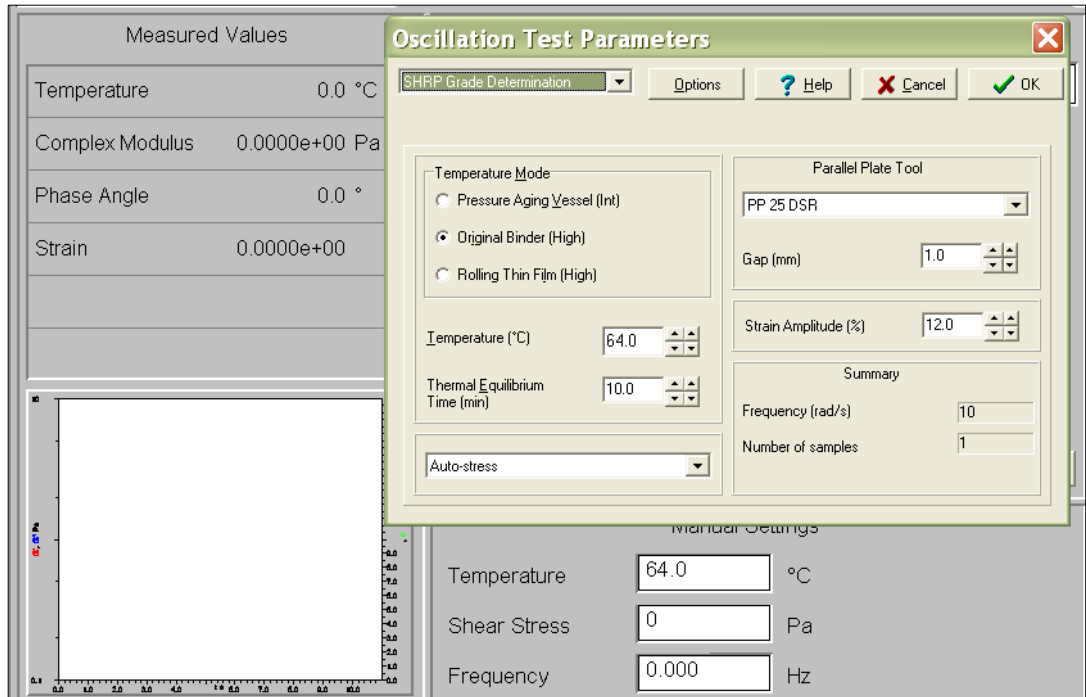


Resim 7.13. Deney numunesinin plakalar arasına yerleştirilmesi

- 1000 mm-2000 mm arasında numuneye boşluk ayarı yapılp, numunede homojen bir sıcaklığın sağlanması in 10 dakika beklendikten sonra deney programı başlatılmıştır.
- Deney süresinin bitimine kadar beklendikten sonra deney sonuçların çıktısı alınmıştır.



Resim 7.14. Plaka üzerine yerleştirilmiş deney numunesi



Resim 7.15. Deney programı veri girişi görünümü

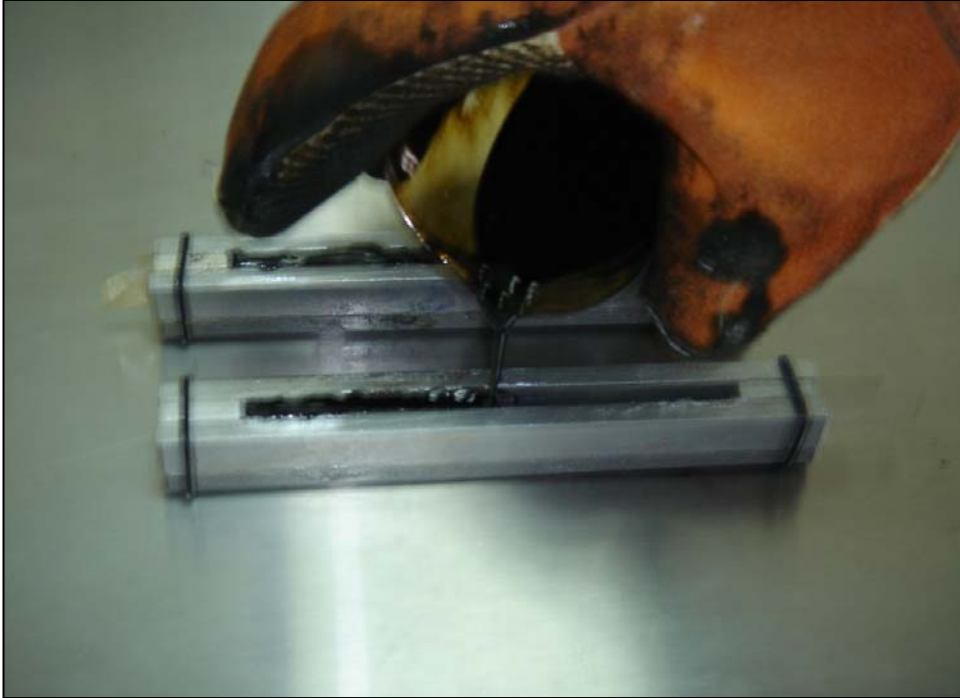
7.8 Kiriş Eğme Reometresi (BBR)

Basınçlı yaşlandırma kabı (PAV) ile yaşlandırılan bitüm numuneleri üzerinde AASHTO T313 deney standardına göre kırış eğilme deneyleri yapılmıştır. Bu deneyde, bitümlü bağlayıcıların düşük sıcaklıklarda çatlak oluşumuna karşı davranışlarını belirleyebilmek için, oluşturulan bitüm kırışı numunelerinin sünme sertlikleri bulunmaktadır. Bu deneyde takip edilen işlem adımları ise aşağıdaki şekilde olmuştur.

- BBR deney numunelerinin hazırlaması için temiz ve kuru metal kalıplarının üzeri, bitüm numunesinin yapışmaması için vazelin ile yağlandıktan sonra sıcak ısıtılmış bitüm, oda sıcaklığında metal kalıba bir uçtan diğer uca doğru tek seferde doldurulacak şekilde hafifçe taşırılarak dökülmüştür.
- Numune oda sıcaklığında soğuduktan sonra ısıtılmış bir spatula ile numune yüzeyi düzeltilmiştir.
- Bütün numuneler deneye alınacakları zamana kadar oda sıcaklığında ve kalıplarında tutulmuş, deneye alınacakları zaman ise 5 dakika soğuk su banyosunda bekletildikten sonra kalıplarından çıkarılmıştır.
- BBR deney aleti ve aletin bağlı olduğu bilgisayardaki deney programı açılmış, programa beklenen sertlik seviyesine göre ilk deney sıcaklığı girilmiştir.
- Kalıptan çıkarılan numuneler hemen alet içerisindeki deney banyosuna aktarılmış, ve deneye başlamadan önce 60 dak.±2 dakika bekletilmiştir.
- Deneye başlamadan önce, yük 980 mN±50 mN arasında, temas yükü ise 25 mN ile 45 mN arasında olacak şekilde deney aletinin ayarlaması yapıldıktan sonra, banyo sıvısının $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ istenilen sıcaklıkta kalabilecek şekilde dengeye gelmesi beklenmiştir.
- Program çalıştırılarak, 930 mN ile 1030 mN arasında sabit yük 240 s süre ile kırışın orta noktasına yükleme yapması saylanmıştır.
- Bu süre sonunda otomatik olarak deneyi sonlandıran programdan deney çıktısı alınmıştır.
- Deneyde uygulanan yük kaldırılmış ve yükün 25 mN ile 45 mN arasındaki temas yüküne dönmesi beklenerek, bir sonraki sıcaklıktaki deneye geçilmiştir.



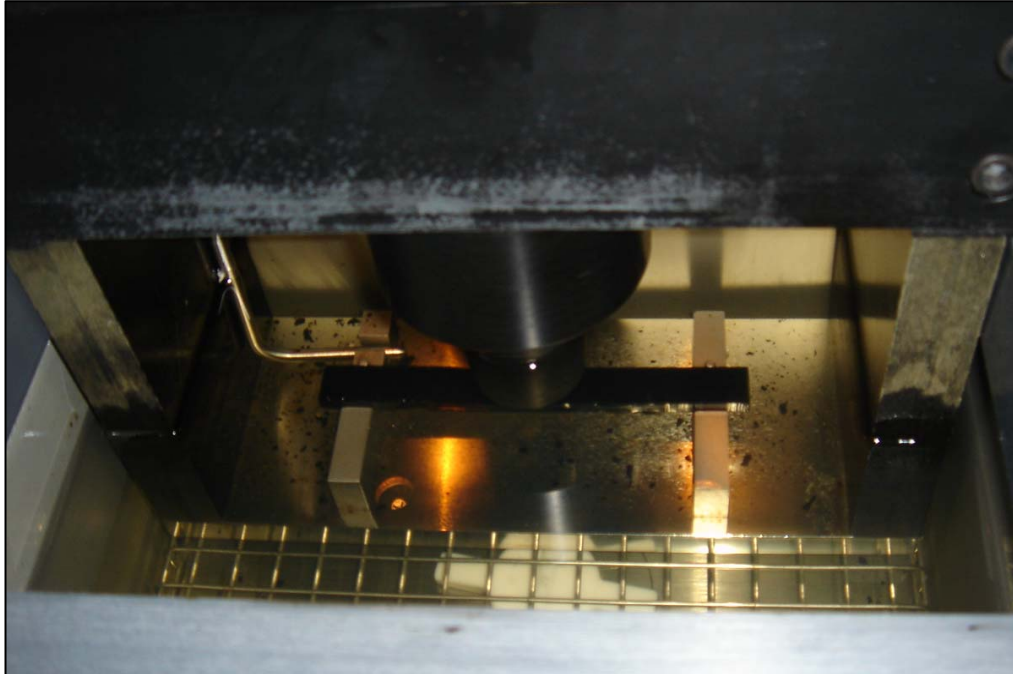
Resim 7.16 BBR deney cihazı



Resim 7.17. BBR numunelerinin hazırlanması



Resim 7.18. Kalıba dökülmüş BBR numunelerinin görünümü



Resim 7.19. BBR bitüm kirişine yükün uygulanması

8. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Kırıkkale, İzmit, Aliğa ve Batma rafinerilerinden farklı penetrasyon sınıflarında alınan bitümler ile Kırıkkale ve Batman rafineri bitümlerinin SBS (styrene-butadiene-styren) Kraton D1101 ve Elvaloy®RET adlı iki farklı elastomerik katkı malzemesi kullanılarak laboratuarda hazırlanan modifiye bitümler üzerinde yaşlandırılmamış (orijinal), RTFOT ile yaşlandırılmış ve son olarak PAV ile yaşlandırılmış olmak üzere üç aşamada superpave bağlayıcı deneyleri yapılmış olup, yapılan deneylere ait sonuçlar ve bu sonuçlara göre AASHRO M320 Şartnamesine uygun olarak tespit edilen bitüm performans sınıfları Çizelge 8.1’de özet olarak verilmiştir. Elde edilen deney sonuçlarına göre deneye tabi tutulan numunelerin yüksek sıcaklık, orta sıcaklık ve düşük sıcaklıklardaki performansları belirlenmiştir.

8.1. Bitümlerin Yüksek Sıcaklıklardaki Performansları

Çizelge 8.1 ve Şekil 8.1 ‘de görüldü gibi Türkiye ‘deki rafineri bitümlerinin yüksek sıcaklık performans sınıfları PG 52 ila PG 70 arasında değişmektedir. Kırıkkale, İzmit ve Aliğa rafinerilerine ait aynı penetrasyon sınıfındaki bitümler genel olarak aynı performans sınıfını vermektedir. Buna göre bu rafinerilere ait B 50/70 sınıfı bitümler PG 64, B 70/100 sınıfı bitümler PG 58 ve B 160/220 sınıfı bitümler ise PG 52 performansı içerisinde yer almaktadır. Tamamıyla yerli petrolün işlendiği Batman rafinerisine ait bitüm ise çok belirgin bir şekilde diğer rafineri bitümlerinden ayrılmakta ve daha iyi yüksek sıcaklık performansı göstermektedir. Yapılan deneyler sonucunda Batman rafinerisine ait bitümlerin performans sınıfı, B 50/70 sınıfı bitümler PG 70, B 70/100 sınıfı bitümler için PG 64 ve B 160/220 sınıfı bitümler için ise PG 58 olmaktadır.

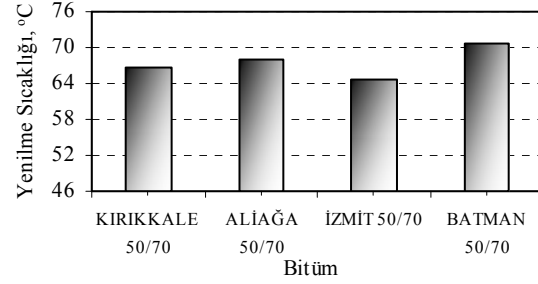
Bitümlerin yüksek sıcaklıklarda tekerlek izinde oturma şeklinde bozulmalara (kalıcı deformasyon) karşı dayanımı bitüm performans şartnamesinde DSR deneyi ile tespit edilen $G^*/\sin\delta$ değerine bağlanmıştır. Daha evvelki bölümlerde de ifade edildiği gibi bu değer orijinal bitümlerde 1,0 kPa, RTFOT ile yaşlandırılmış bitümlerde ise 2,1 kPa ‘dan büyük olması istenmektedir.

Çizelge 8.1. Rafineri bitümleri üzerinde yapılan deneylerin sonuçlarını gösterir özet tablo

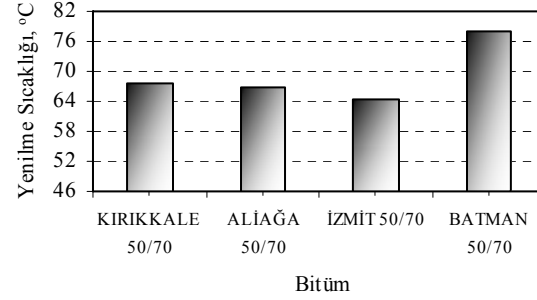
Rafineri				Kırıkkale			İzmit			Aliğa			Batman			
Penetrasyon Sınıfı				B 50/70	B 70/100	B 160/220	B 50/70	B 70/100	B 160/220	B 50/70	B 100/150	B 160/220	B 50/70	B 70/100	B 160/220	
Orjinal Bitüm Deneyleri	Penetrasyon			66	73	180	71	97	190	59	117	198	70	95	184	
	Yumuşama Noktası, °C			48,8	48	40	51,4	48	39,6	49,8	46,5	40	50,8	47	40,4	
	Penetrasyon İndeksi, PI			-0,85	-0,81	-0,52	0,021	0,020	-0,452	-0,868	0,192	-0,0812	-0,171	-0,340	-0,246	
	RV	135°C,20 rpm SR=18,6	Viskozite, cP	372,5	337,5	187,5	332,5	255	165	407,5	297,5	200	540	407,5	235	
			Kesme gerilmesi,SS	69,3	62,8	34,9	61,8	47,4	30,7	75,8	55,3	37,2	100,4	75,8	43,7	
	DSR	Sıcaklık (G*/sinδ >1,0 kPa) ,°C			66,8	63,4	55,2	64,8	61,4	54,4	67,9	62,1	55,1	70,6	66,6	60,6
		Yüksek Sıcaklık PG Sınıfı			64	58	52	64	58	52	64	58	52	70	64	58
RTFOT	Kütle Kaybı, %			0,095	0,114	0,02	0,11	1,99	-1,01	0,04	1,93	0,74	-0,75	-1,1	-1,8	
	DSR	Sıcaklık (G*/sinδ >2,2 kPa) , °C			67,6	68,1	55,6	64,4	60,2	53	67	69,9	54,9	77,9	73,4	65,5
		Yüksek Sıcaklık PG Sınıfı			64	64	52	64	58	52	64	64	52	76	70	64
PAV	DSR	Sıcaklık (G*·sinδ<5000 kPa) ,°C			20,3	22,7	17,2	23,1	21,5	18,4	27,6	11,3	10,6	22,1	19,5	13,5
		Orta Sıcaklık PG Sınıfı			22	25	19	25	22	19	28	13	10	25	22	16
	BBR	S (≤300MPa)	-12 °C	157,5	100,65	72,15	193	154	-	288	44,3	-	78,5	135,5	-	
			-18 °C	279,5	204	162	345	307	205	528	93,1	244	159,5	243,5	81,7	
			-24 °C	-	-	328,5	-	615	352	-	181	521	-	-	153	
		m (≥0,300)	-12 °C	0,32	0,33	0,386	0,32	0,324	-	0,309	0,34	-	0,324	0,31	-	
			-18 °C	0,276	0,2755	0,336	0,259	0,266	0,322	0,231	0,315	0,348	0,294	0,269	0,341	
			-24 °C	-	-	0,249	-	0,202	0,291	-	0,268	0,235	-	-	0,298	
	PG BİTÜM SINIFI				64-22	58-22	52-28	64-22	58-22	52-28	64-22	58-28	52-28	70-22/28	64-28	58-28/34

Çizelge 8.2. Modifiye bitümler üzerinde yapılan deneylerin sonuçlarını gösterir özet tablo

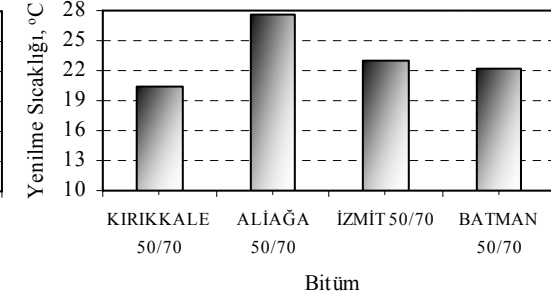
Rafineri				Kırıkkale						Batman			
Penetrasyon Sınıfı				B 50/70		B 70/100		B 160/220		B 50/70		B 70/100	B 160/220
Katkı çeşidi				SBS	Elvaloy	SBS	Elvaloy	SBS	Elvaloy	SBS	Elvaloy	SBS	SBS
Katkı oranı, %				5	2	5	2	5	2	5	2	5	5
Orijinal Bitüm Deneyleri	Penetrasyon			46	51	93	70,6	105,4	119	40	35	56	71,6
	Yumuşama Noktası, °C			81,2	67,1	47	61	70,6	58,7	69,8	75,8	64,3	61,6
	Penetrasyon İndeksi, PI			4,26	2,4	-0,4	2,17	5,27	3,47	2,23	2,83	2,15	2,33
	RV	135°C,20 rpm SR=18,6	Viskozite, cP	335	779		547,5	430	355		827		
			Kesme gerilmesi,SS										
	DSR	Sıcaklık (G*/sinδ >1,0 kPa) , °C		80			77,7	69,5	68,3	91,2	95,7	86,5	81,8
Yüksek Sıcaklık PG Sınıfı		76		76	76	64	64	88	88	82	76		
RTFOT	Kütle Kaybı, %				0,23		0,405	0,094	0,141	0,631	0,307	0,845	1,823
	DSR	Sıcaklık (G*/sinδ >2,2 kPa) , °C		76	75		71,5	68,5	70,8	92,8	95,2		82,1
		Yüksek Sıcaklık PG Sınıfı		76	70	64	70	64	70	88	88	88	82
PAV	DSR	Sıcaklık (G*sinδ <5000 kPa) , °C			21,3		26,2	16,7		19,2	23,5	12,8	11,2
		Orta Sıcaklık PG Sınıfı			22		28	19		22	25	13	13
	BBR	S (≤300MPa)	-12 °C	85,2	59,3	124	44,2	35,2	27,2		25,5	52,4	
			-18 °C	217	155	240	121	86,4	68,8	106	60,8	63,8	66,6
			-24 °C	-	317		242	193	187		87,1		132
		m (≥0,300)	-12 °C	0,353	0,377	0,298	0,389	0,394	0,36		0,29	0,318	
			-18 °C	0,264	0,299	0,239	0,364	0,286	0,357	0,266	0,298	0,29	0,307
			-24 °C	-	0,274		0,285	0,237	0,29		0,255		0,253
PG BİTÜM SINIFI				PG 76-16	PG 70-22	PG 64-16	PG 70-22	PG 64-16	PG 64-22	PG 88- 16	PG 88-16	PG 82-16	PG 76-22



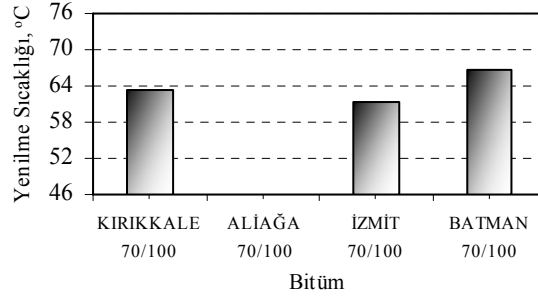
(1a) - Orijinal Bitüm DSR Deneyi (B 50/70)



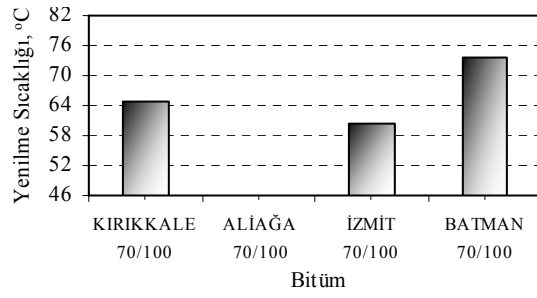
(1b) - RTFOT Sonrası DSR Deneyi (B 50/70)



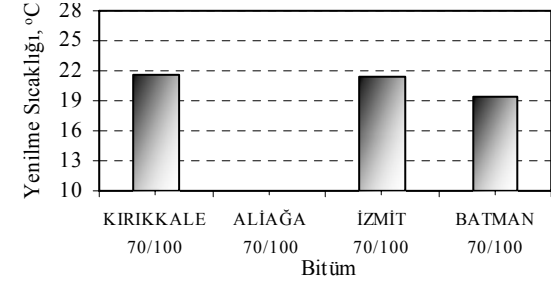
(1c) - PAV Sonrası DSR Deneyi (B 50/70)



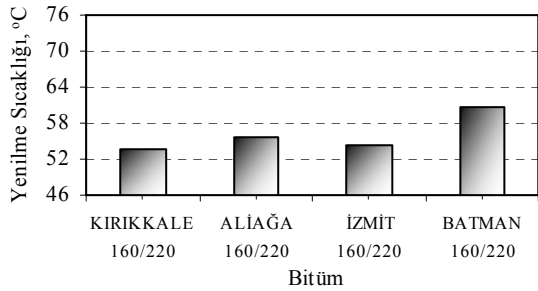
(1d) - Orijinal Bitüm DSR Deneyi (B 70/100)



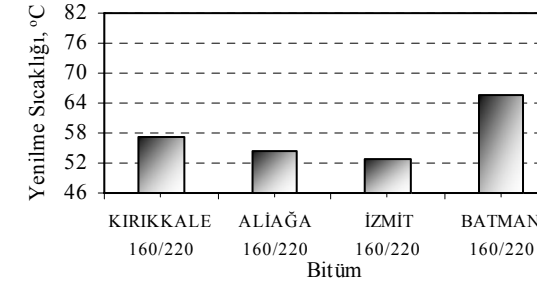
(1e) - RTFOT Sonrası DSR Deneyi (B 70/100)



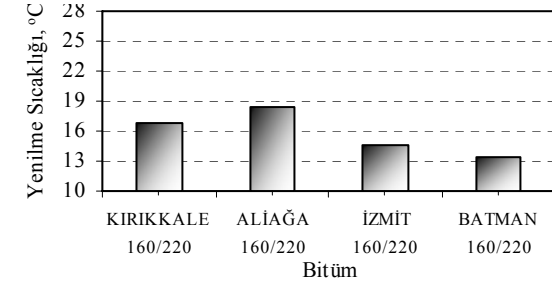
(1f) - PAV Sonrası DSR Deneyi (B 70/100)



(1g) - Orijinal Bitüm DSR Deneyi (B 160/220)

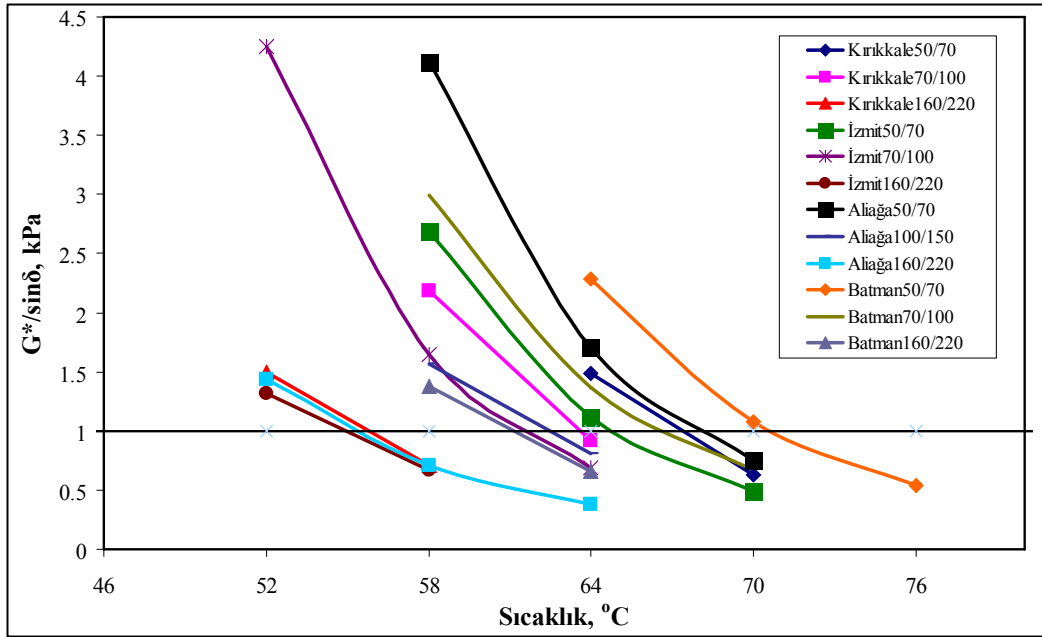


(1h) - RTFOT Sonrası DSR Deneyi (B 160/220)



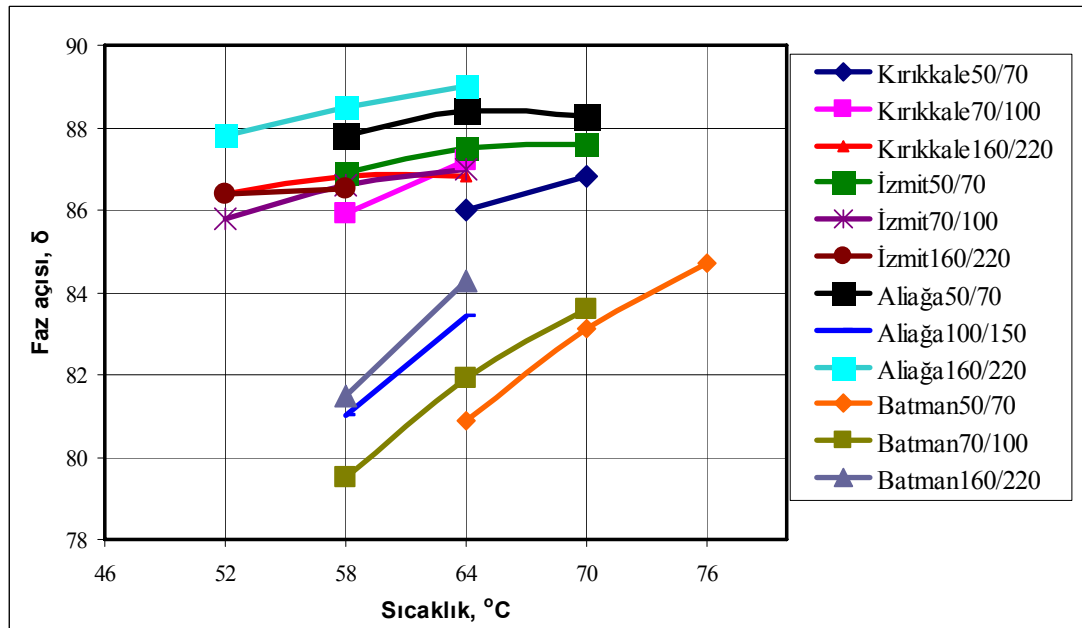
(1k) - PAV Sonrası DSR Deneyi (B 160/220)

Şekil 8.1. Rafineri bitümlerine yapılan performans deney sonuçlarının karşılaştırmalı grafik gösterimi



Şekil 8.2. Rafineri bitümlerinin yüksek sıcaklık elastik modülünün değişimi

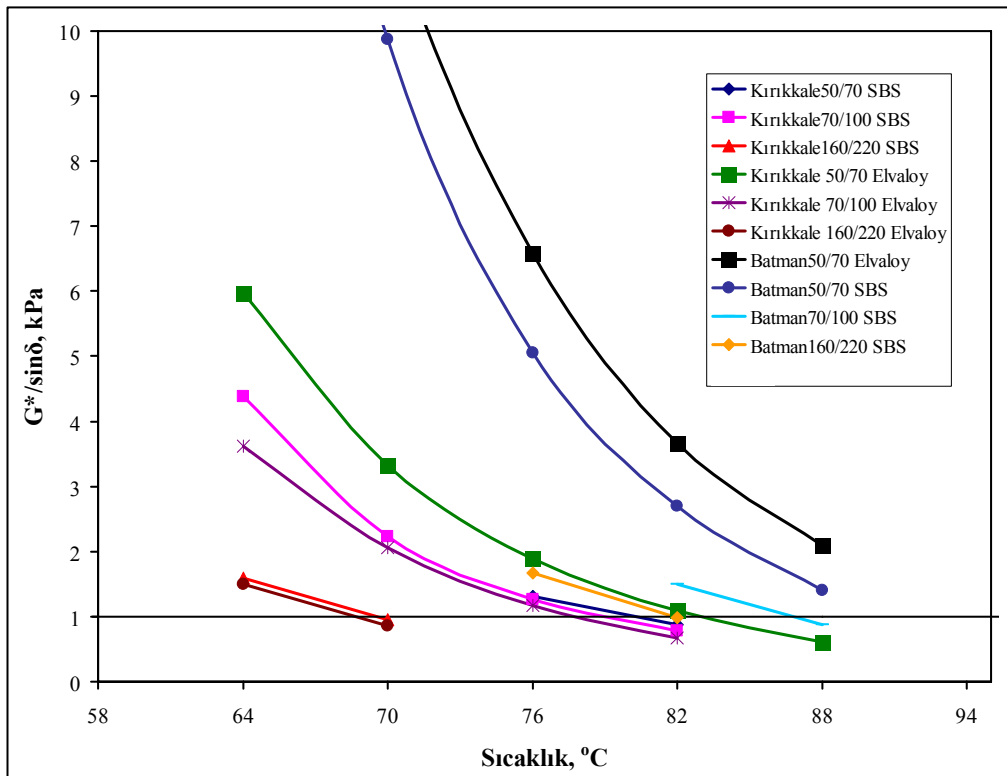
Rafineri bitümlerine ait $G^*/\sin\delta$ değerinin değişimi Şekil 8.2 'de verilmiştir. Bunun yanında, bitümlerin faz açıları da elastik davranış özellikleri bakımından önemli ipuçları vermektedir. Faz açısı ne kadar düşüğe, yani deformasyondaki gecikme ne kadar az ise bitümlü bağlayıcı o nispette elastik demektir. Bitümlere ait elde edilen faz açılarının değişimini gösterir şekil ise aşağıda verilmektedir.



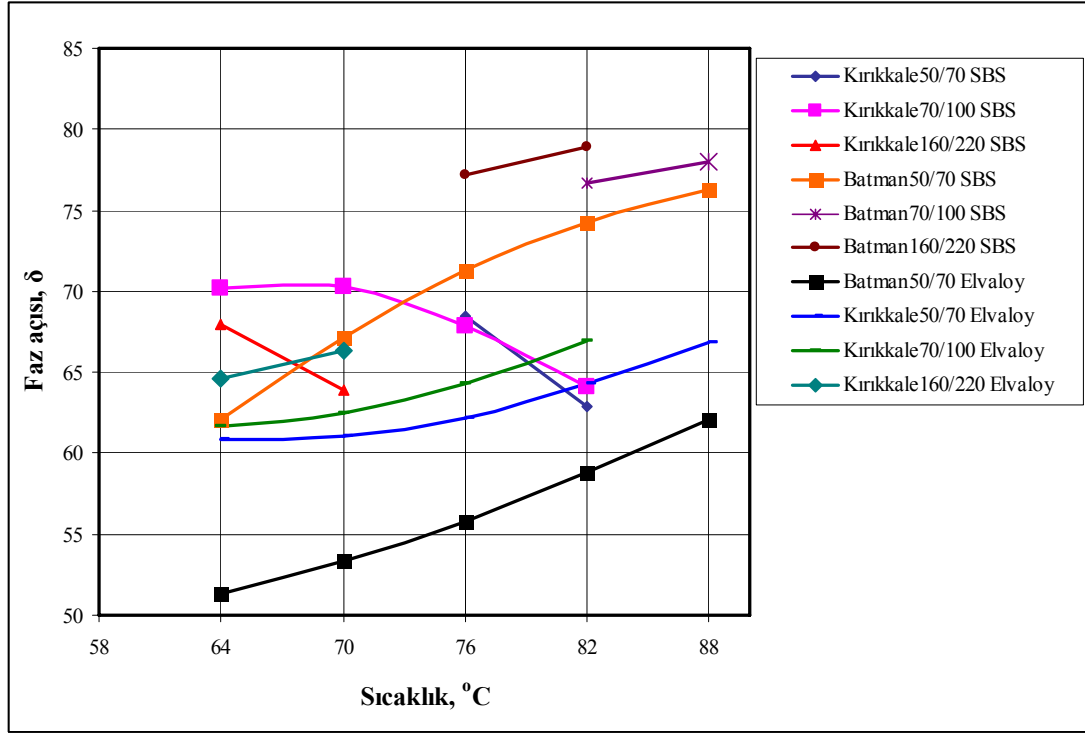
Şekil 8.3. Rafineri bitümlerinin yüksek sıcaklık faz açılarının değişimi

Şekil 8.2 ‘deki grafikte sağa ve yukarıya doğru gidildikçe bitümlerin yüksek sıcaklıkta kalıcı deformasyona karşı dayanım özellikleri iyileşmektedir. Şekil 8.3 ‘te ise Batman rafineri bitümlerinin faz açısının daha düşük olduğu, yani daha elastik davrandığı görülmektedir.

Şekil 8.4 ve Şekil 8.5 ile ise Kırıkkale ve Batman rafineri bitümlerine elvaloy ve SBS katkı malzemesi ilave edilerek hazırlanan modifiye bitümlerin $G^*/\sin\delta$ değeri ve faz açılarının değişimi görülmektedir. Şekil 8.4 ‘te de görüldüğü gibi Batman rafinerisine ait bitümlerin aynı penetrasyon sınıfındaki Kırıkkale modifiye bitümünden daha iyi performans gösterdiği anlaşılmaktadır. Aynı zamanda B 50/70 ile hazırlanan Elvaloy katkılı modifiye bitümlerin her iki rafineri için SBS katkılı modifiye bitümlerden daha iyi performans gösterdiği görülmektedir. Ana bitüm sınıfı daha yumuşak olduğunda ise (B 70/100, B 160/220) tam tersine SBS katkısının daha iyi neticeler verdiği görülmektedir.



Şekil 8.4. Modifiye bitümlerin yüksek sıcaklık elastik modülünün değişimi

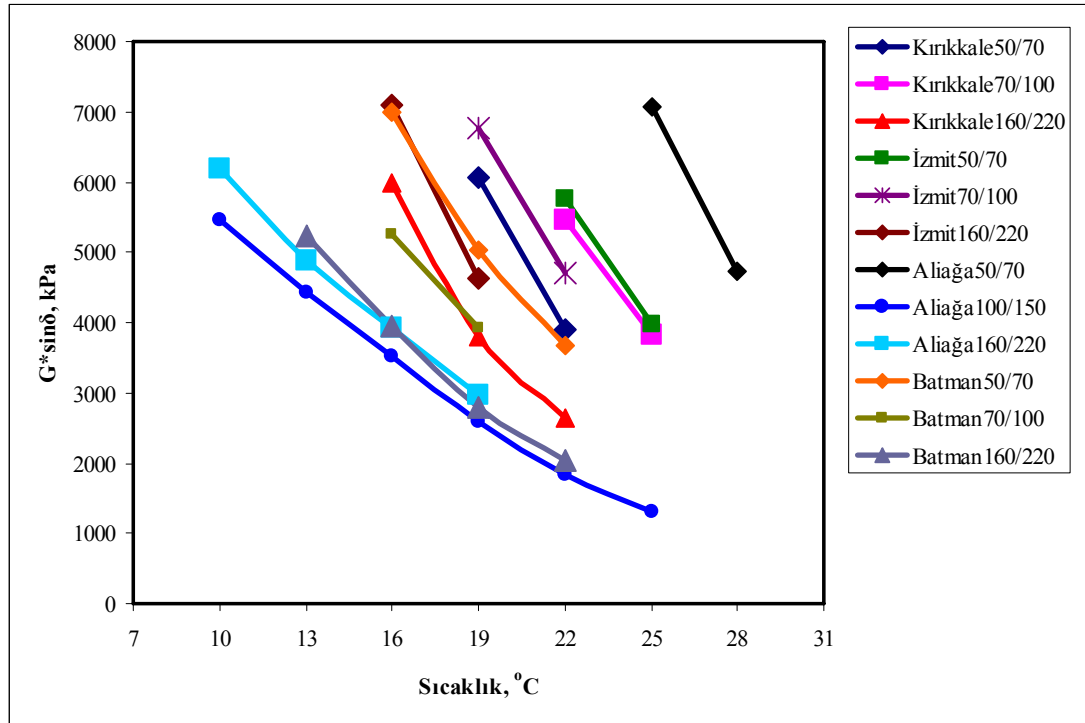


Şekil 8.5. Modifiye bitümlerin yüksek sıcaklık faz açılarının değişimi

Diğer taraftan Şekil 8.5 'te görüldüğü gibi elvaloy katkılı modifiye bitümlerin faz açısı SBS katkılı modifiye bitümlerden daha düşüktür. Bu durum sert bitümler için Şekil 8.5 ile uyumluluk gösterse de, yumuşak bitümlerde SBS daha iyi sonuç vermektedir. Aynı zamanda, sıcaklık artarken elvaloy katkılı modifiye bitümlerin faz açısı artmakta, buna karşılık Kırıkkale rafinerisine ait yumuşak bitümlerin faz açılarının sıcaklığın artması ile azaldığı görülmektedir. Bu durum, SBS katkı malzemesinin bitüm içerisinde bir polimer ağı meydana getirmesi, bu nedenle yumuşak bitümlerde, sıcaklık yükseldikçe bitümün viskozitesinin düşmesine bağlı olarak bu polimerik ağın daha ön plana çıkması ve bitümün elastik davranışını belirlemesi ile açıklanabilir. Elvaloy katkı malzemesi ise karışımı bir bütün olarak sertleştirmekte, sert bitümler daha da sertleşmekte, buna karşılık bitüm yumuşadığında polimer ağı düzeyinde bir kenetlenme daha az söz konusu olduğundan yüksek sıcaklık performansı daha hızlı bir şekilde azalmaktadır.

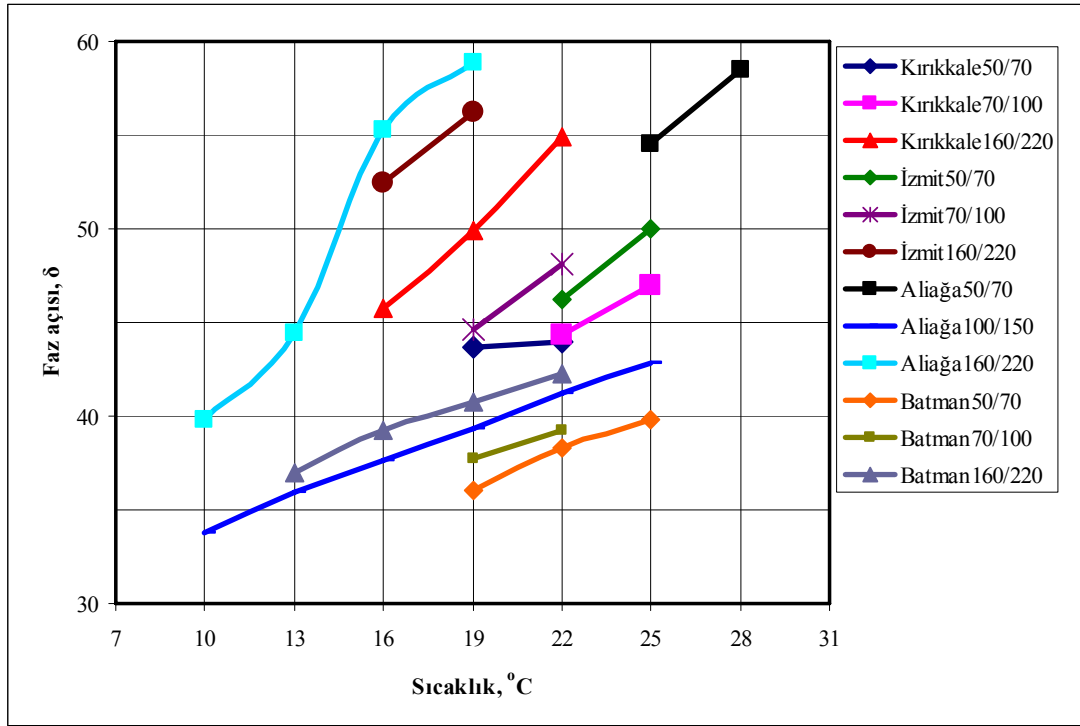
8.2. Bitümlerin Orta Sıcaklıklardaki Performansları

Bitümlerin orta sıcaklıklardaki performansı yorulmaya (fatigue) karşı direncine bağlıdır. SUPERPAVE bağlayıcı şartnamesinde bunun için RTFOT ve PAV deneyleri ile yaşlandırılmış bitümlerin DSR deneyi ile bulunan kompleks modülünün ordinatındaki viskoz kısmını temsil eden $G^*\sin\delta$ değerinin maksimum 5000 kPa olması şartı bulunmaktadır. Bu derin üzerinde bulunan bitümler yorulma davranışı için aşırı sert kabul edilmektedir.



Şekil 8.6. Rafineri bitümlerinin orta sıcaklık viskoz modülünün değişimi

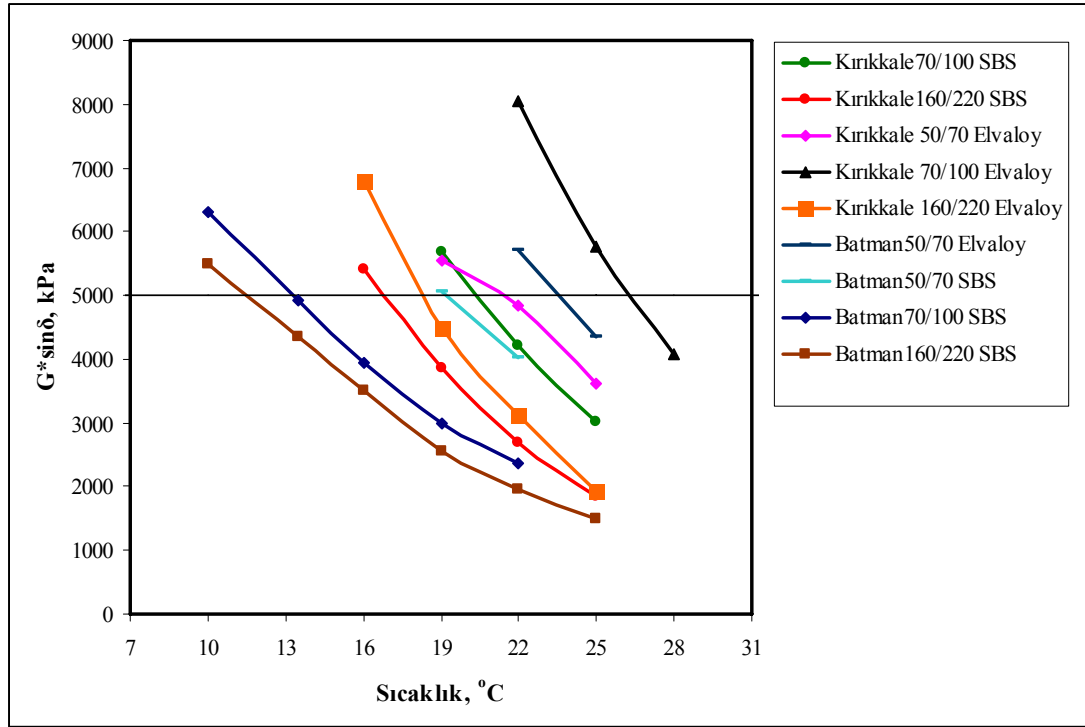
Yukarıdaki şekilde de görüldüğü gibi, bitüm penetrasyon sınıfı arttıkça, yani bitüm yumuşadıkça, bitümün viskoz özelliği arttığından yorulma davranışı da iyileşmektedir. Batman rafinerisi bitümleri burada da daha iyi sonuçlar vermekte, Aliağa rafinerisi B 50/70 bitümü ise en kötü performansı sergilemektedir.



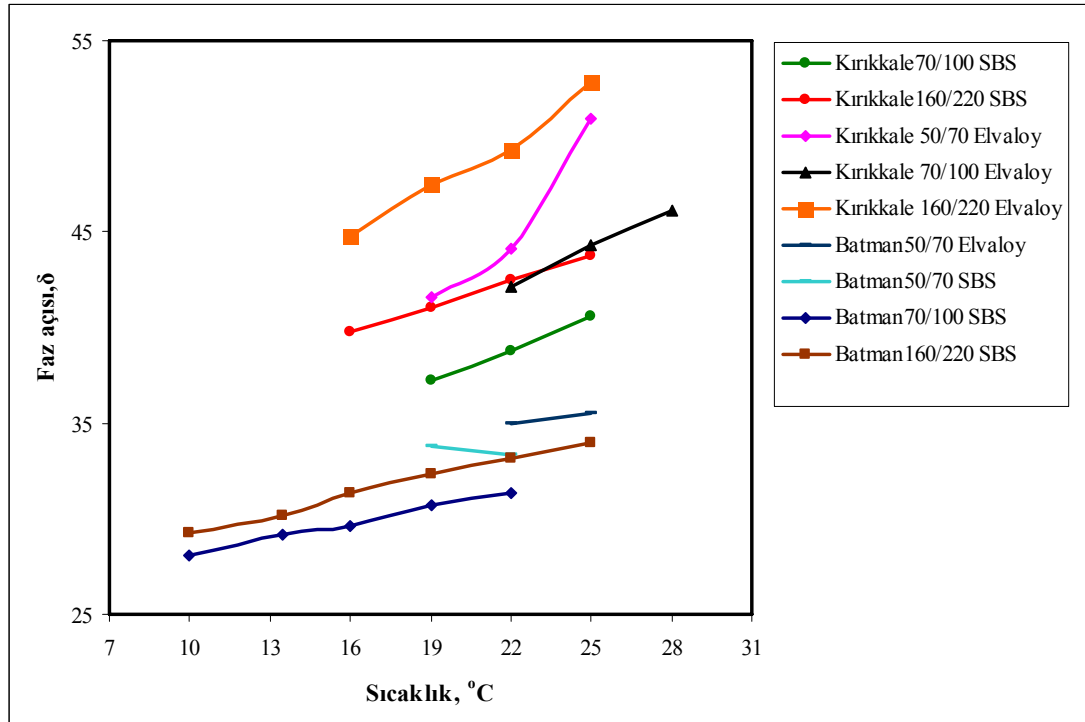
Şekil 8.7. Rafineri bitümlerinin orta sıcaklık faz açılarının değişimi

Şekil 8.7. 'de ise Batman rafineri bitümlerinin faz açılarının en düşük olduğu, aynı sıcaklık değerinde en yüksek faz açısına ise İzmit rafinerisi B 160/220 bitümünün sahip olduğu görülmektedir. B 50/70 sınıfındaki bitümlerden ise faz açısı en yüksek olan bitüm Aliğa rafinerisine ait olup, bu rafineri bitümü orta sıcaklık performansı en zayıf olan bitüm olarak tespit edilmiştir.

Modifiye bitümlerin $G^* \sin \delta$ değeri ve faz açısının değişimi Şekil 8.8. ve Şekil 8.9. 'da verilmiştir. Buna göre, Batman rafinesine ait SBS katkılı bitümler Kırıkkale rafinesine ait elvaloy katkılı modifiye bitümlere göre orta sıcaklıkta yorulma çatlaklarının oluşumu bakımından dahi iyi performans göstermiştir.



Şekil 8.8. Modifiye bitümlerin orta sıcaklık viskoz modülünün değişimi



Şekil 8.9. Modifiye bitümlerin orta sıcaklık faz açılarının değişimi

8.3. Bitümlerin Düşük Sıcaklıklardaki Performansları

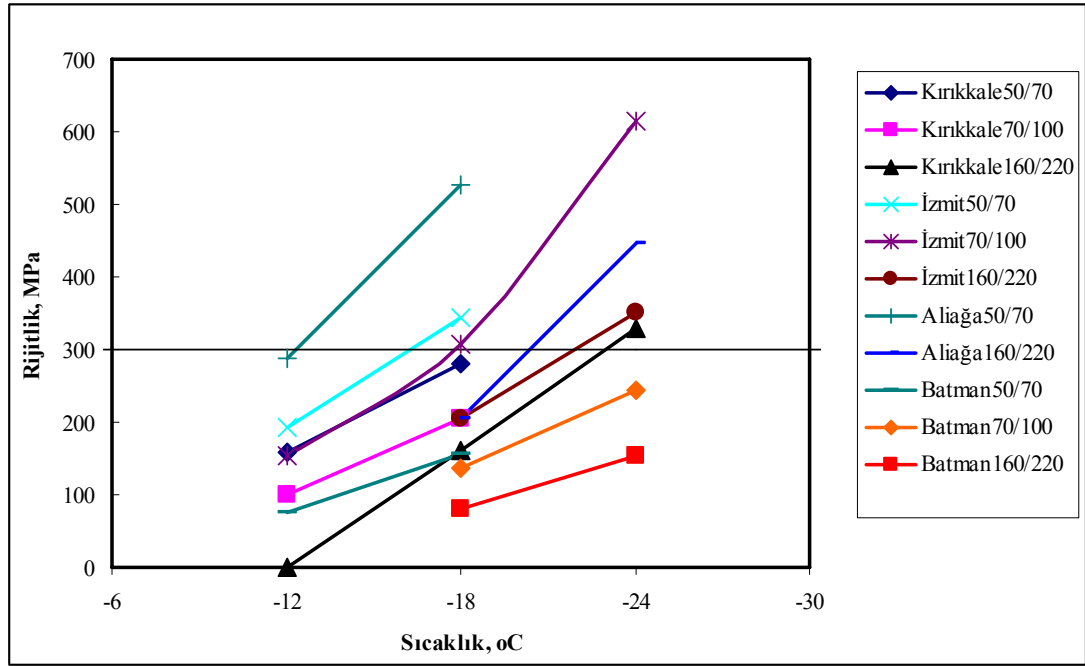
Bitümlerin düşük sıcaklık performansları ile ilgili BBR deneyi ile belirlenen eğilimde sertlik (S, stiffness) değerinin 300 MPa ‘dan küçük, m değerinin ise 0,300 ‘den büyük olması istenmektedir. Eğer m değeri 0,300 ‘den büyük iken sertlik 300 MPa ile 600 MPa arasında ise AASHTO M320 bitüm performansı sınıflama standardına göre doğrudan çekme deneyinin (DTT) yapılabileceği belirtilmektedir. Bununla beraber, yapılan deneysel çalışmalarda m değeri her zaman sertlik değerinden önce kritik seviyeye ulaştığından bu deneyin yapılmasına gerek kalmamıştır. Yani bitümler 300 MPa sertlik değerini aştığı her durumda m değeri 0,300 ‘ün altında çıkmıştır.

Basınçlı yaşlandırma kabı ile yaşlandırılmış bitümlere yapılan BBR deneyleri ile bulunan S ve m değerlerinin bitüm sınıfı ve sıcaklığa bağlı olarak değişimi Şekil 8.10, Şekil 8.11, Şekil 8.12 ve Şekil 8.13 ‘de verilmiştir. Düşük sıcaklık performansında da, yüksek sıcaklıkta olduğu gibi Batman rafineri bitümlerinin belirgin derecede diğer rafineri bitümlerinden ayrıldığı ve daha iyi performans gösterdiği belirlenmiştir.

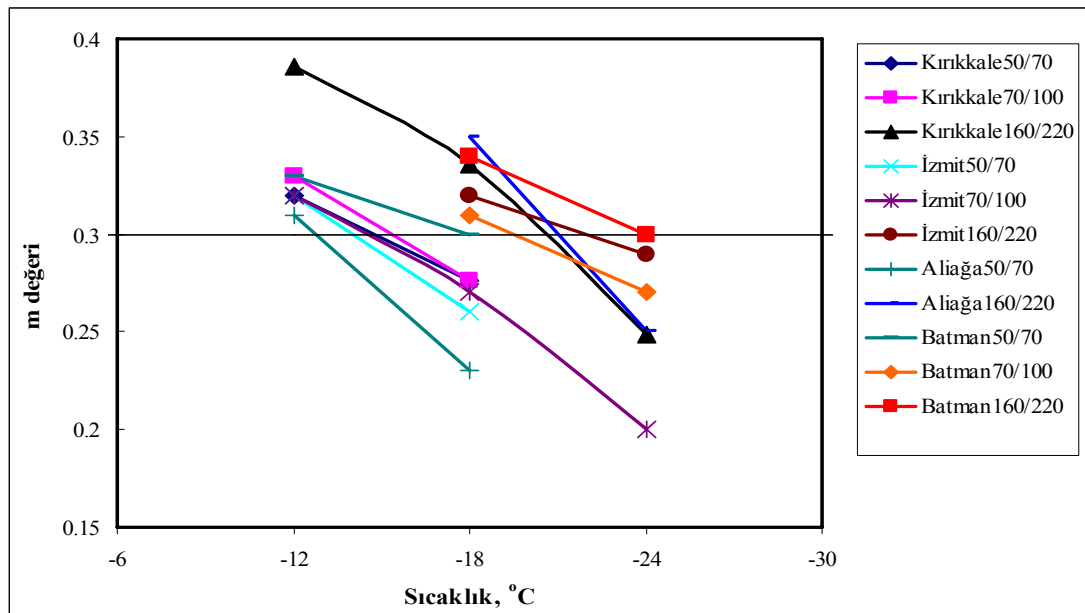
Buna göre Kırıkkale, İzmit ve Aliğa rafinesi B 50/70 ve B 70/100 penetrasyonlu bitümlerin düşük sıcaklık performans sınıflarının PG-22; B 100/150 ve B 160/220 penetrasyonlu bitümlerin performans sınıflarının ise PG-28 olduğu yani sırasıyla -22 °C ve -28 °C ye kadar soğuk sıcaklık koşullarına dayanabilecekleri belirlenmiştir. Batman rafinerisine ait B 50/70 penetrasyon sınıfı bitüme -18 °C ‘de, B 160/220 sınıflı bitüme ise -24 °C ‘de yapılan BBR deneylerinde S değerleri standart değerini ($S \leq 300$ MPa) sağlarken m değerinin 0,300 olan şartname sınırında çıkmıştır. Bu nedenle B 50/70 bitümü PG-22/28, B 160/220 sınıfı bitüm ise PG-28/34 olarak sınıflandırılmıştır.

Modifiye bitümlerde ise düşük sıcaklık performansının ana bitümün performansına göre genel olarak daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Kırıkkale rafinesine ait bitümlerde SBS katkılı modifiye bitümlerin düşük sıcaklık performansının genellikle bir sınıf azaldığı, elvaloy katkılı bitümlerde ise çok az bir azalma olduğu ve

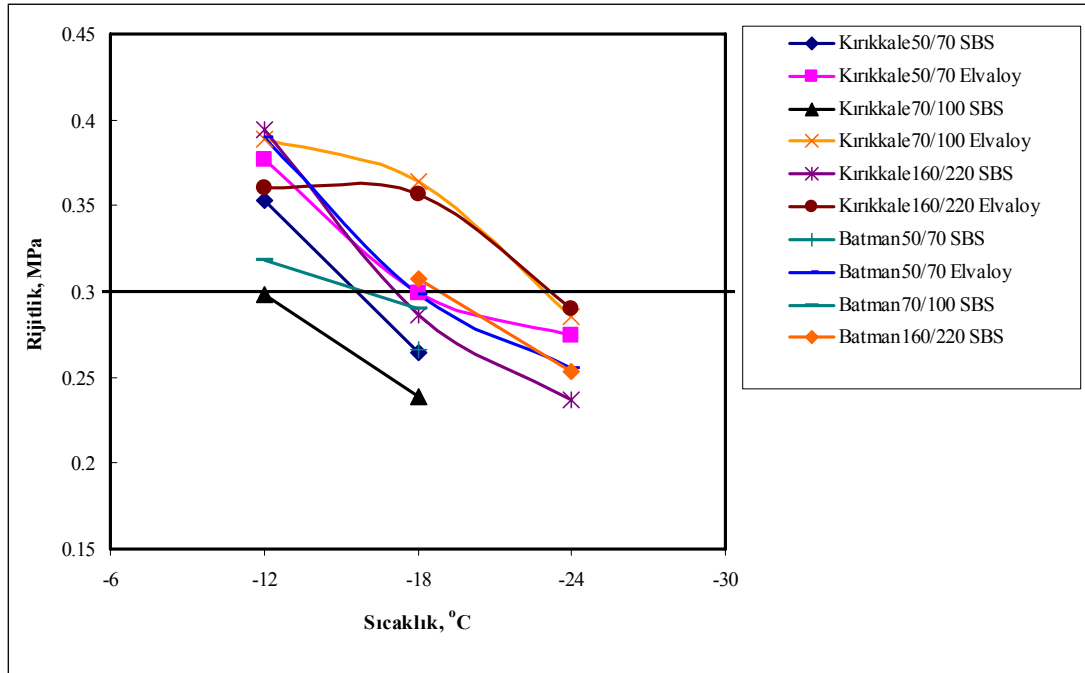
çoğunlukla ana bitüm sınıfı ile aynı performans sınıfı içerisinde kaldığı görülmüştür. Batman rafineri bitümünden her iki SBS ve elvaloy katkı malzemesi ile üretilen modifiye bitümlerin performans sınıfının en az bir, çoğunlukla ise iki sınıf azaldığı yani düşük sıcaklık performansının kötüleştiği tespit edilmiştir.



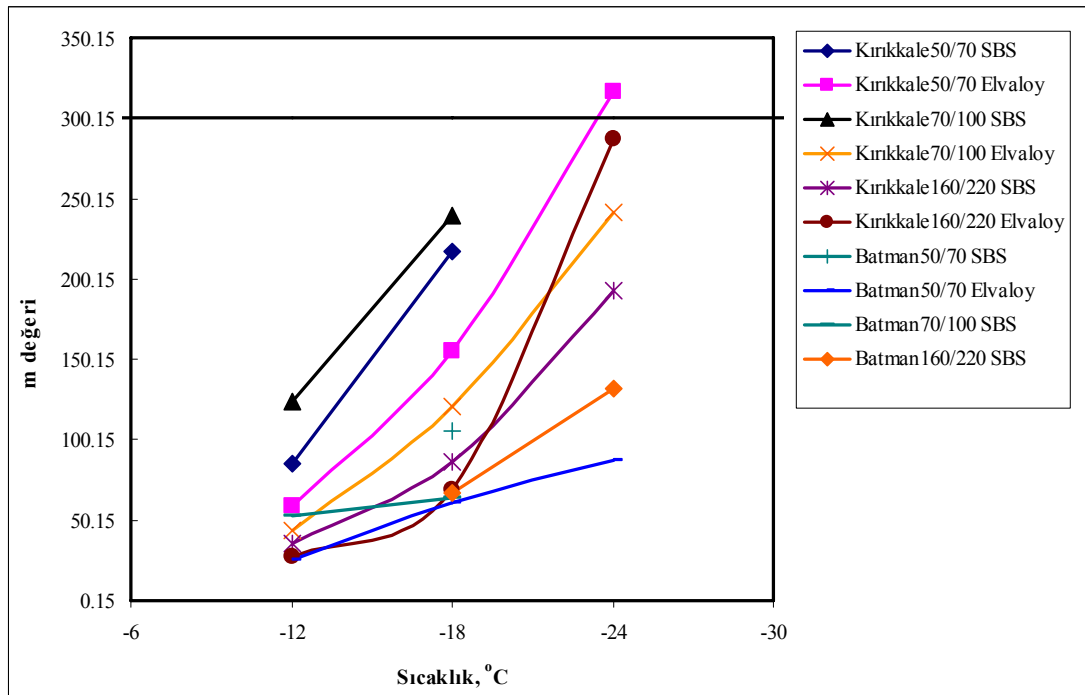
Şekil 8.10. Rafineri bitümlerinin düşük sıcaklıklardaki BBR rijitliğinin değişimi



Şekil 8.11. Rafineri bitümlerinin m değerinin değişimi



Şekil 8.12. Modifiye bitümlerin düşük sıcaklıklardaki BBR rijitliğinin değişimi



Şekil 8.13. Modifiye bitümlerin m değerinin değişimi

9. BİTÜM SINIFININ SEÇİMİ

Daha önce de belirtildiği gibi SUPERPAVE bitüm performans sınıfı PG X-Y şeklinde gösterimle ifade edilir. Burada X bağlayıcının hizmet vereceği yerdeki en yüksek kaplama sıcaklığını gösterirken, -Y en düşük kaplanma sıcaklığını göstermektedir. Buna göre PG 58-34 olarak sınıflandırılmış bir asfalt kaplama, 58°C gibi bir en yüksek sıcaklıkla ve -34°C gibi de en düşük sıcaklıkla karşılaşacak demektir.

Bir yolda hangi performans sınıfında bitüm kullanılacağına karar vermek için kaplamanın karşılaşabileceği en yüksek ve en düşük sıcaklıklar tespit edilmelidir. Bu nedenle, öncelikle o bölgedeki en yüksek ve en düşük hava sıcaklığının belirlenmesi gerekir. En yüksek hava sıcaklığını belirlemek için öncelikle her yıl için hava sıcaklığının en yüksek olduğu 7 günlük periyot ve bu periyottaki ortalama sıcaklık hesaplanır. SHRP araştırmacıları bu 7 günlük ortalama değeri yüksek sıcaklık dizayn koşullarını en iyi temsil eden yöntem olarak tanımlamışlardır. Bütün yıllar göz önüne alınarak bu 7 günlük değerlerin ortalaması ve standart sapması hesaplanır. En düşük hava sıcaklığını belirlemek için ise, her yıla ait bir günlük en düşük sıcaklık belirlenerek yıllara göre ortalaması ve standart sapması hesaplanır. Bu hesaplamalarda 20 yıldan az veriye sahip olan istasyonlar göz önüne alınmazlar.

9.1. Kaplama Sıcaklıklarının Belirlenmesi

Bitüm performans sınıfının seçilmesinde kullanılacak dizayn sıcaklığı hava sıcaklığı değil, kaplamanın kendi sıcaklığıdır. Bu nedenle, en düşük ve en yüksek hava sıcaklıkları bulunduktan sonra, bu sıcaklıkların kaplama sıcaklığına çevrilmesi gereklidir.

Kullanılması gereken bitüm performans sınıfının seçiminde her iki en düşük ve en yüksek hava sıcaklığı kullanılarak ihtiyaç duyulan dizayn kaplama sıcaklıklarının tespiti SHRP-A-648A raporundaki eşitlikler kullanılarak yapılmaktadır. Buna göre En yüksek dizayn kaplama sıcaklığı kaplama yüzeyinin 20 mm altındaki sıcaklık

olarak belirlenirken, en düşük dizayn kaplama sıcaklığı kaplama yüzeyindeki sıcaklık olarak alınır. En yüksek kaplama yüzeyi sıcaklığı kaplama yüzeyindeki net ısı akışına bağlıdır :

$$\text{Net ısı akışı} = [\text{Direkt güneş radyasyonu}] + [\text{Yayılan radyasyon}] \pm [\text{Konveksiyon}] \pm [\text{Kondüksiyon}] - [\text{Kara Kütle radyasyonu}] \quad (9.1)$$

Kaplama yüzeyindeki enerji dengesi geçici olup, değişen iklimsel şartlara bağlı olarak sürekli değişmektedir. Yılın 7 günlük en sıcak periyodu esnasındaki kaplama yüzey sıcaklığını hesaplamak amacıyla güneş ışını absorpsiyonu, hava yoluyla yayılan radyasyon, atmosferik radyasyon ve rüzgar hızı değerleri için aşağıdaki değerler kabul edilir [9].

Çizelge 9.1. Kaplama sıcaklığı hesaplama parametreleri [9]

Özellik	Tipik Değer
Güneş ışını absorpsiyonu	0,9
Hava yoluyla yayılan radyasyon	0,81
Atmosferik radyasyon	0,70
Rüzgar hızı, m/s	4,5

Ölçülen hava ve yüzey sıcaklıkları ile teorik analizler birleştirilerek yüzey ve hava sıcaklığı arasındaki farkın enleme bağlı değişimi için aşağıdaki eşitlik elde edilmiştir.

$$T_{\text{yüzey}} - T_{\text{havamaks}} = -0,00618 E^2 + 0,2289E + 24,4 \quad (9.2)$$

Burada ;

$T_{\text{yüzey}}, ^\circ\text{C}$: Kaplama yüzey sıcaklığı

$T_{\text{havamaks}}, ^\circ\text{C}$: 7 günlük periyot ortalama en yüksek hava sıcaklığı

E, derece : Enlem

Kaplama yüzeyi altındaki sıcaklık ısı akış modelleri kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanır [9].

$$T_d = T_{\text{yüzey}} (1 - 0,063 d + 0,007 d^2 - 0,0004 d^3) \quad (9.3)$$

Burada ;

$T_d, ^\circ\text{F}$: Yüzeyden d derinlikteki kaplama sıcaklığı

$T_{\text{yüzey}}, ^\circ\text{F}$: Kaplama yüzey sıcaklığı

d, inç : Kaplama yüzeyinden itibaren derinlik

Yukarıdaki Eş.3.3 SI birim sistemine dönüştürüldüğünde kaplama yüzeyinden 20 mm derinlikteki sıcaklık için formül, aşağıdaki gibi elde edilir.

$$T_{20\text{mm}} = 0,9545 (T_{\text{yüzey}} + 17,78) - 17,78 \quad (9.4)$$

Burada $T_{20\text{mm}}$ ve $T_{\text{yüzey}}$ sıcaklıklarının birimi $^\circ\text{C}$ 'dir. Bu formüldeki $T_{\text{yüzey}}$ yerine Eş. 3.2 'deki değeri konulduğunda aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$T_{20\text{mm}} = 0,9545 (T_{\text{havamaks}} - 0,00618 E^2 + 0,2289E + 42,2) - 17,78 \quad (9.5)$$

Burada ;

$T_{20\text{mm}}, ^\circ\text{C}$: Kaplama yüzeyinden 20 mm derinlikteki sıcaklık

$T_{\text{havamaks}}, ^\circ\text{C}$: Yedi günlük periyot ortalama en yüksek hava sıcaklığı

E, derece : Projenin uygulanacağı coğrafi enlemdir

En düşük sıcaklık koşullarında kaplama dizayn sıcaklığı iki farklı yöntemle bulunabilmektedir. Birinci olarak kaplama yüzey sıcaklığı en düşük hava sıcaklığı olarak kabul edilebilir. SUPERPAVE yönteminde bu metot kullanılmıştır. Buna göre minimum kaplama sıcaklığının derinliğe bağlı değişimi ise aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır.

$$T_{dmin} = T_{ymin} + 5,1 (10^{-2}) d - 6,3 (10^{-5}) d^2$$

Burada ;

T_{dmin} : Yüzeyden d derinlikteki minimum kaplama sıcaklığı, °C

T_{ymin} : Minimum kaplama yüzey sıcaklığı, °C

Ancak, kaplama sıcaklığı neredeyse her zaman hava sıcaklığından daha yüksek olduğundan, Kanada'lı SHRP araştırmacıları tarafından aşağıdaki yöntem önerilmiştir.

$$T_{ymin} = 0,859 T_{havamin} + 1,7 \quad (9.6)$$

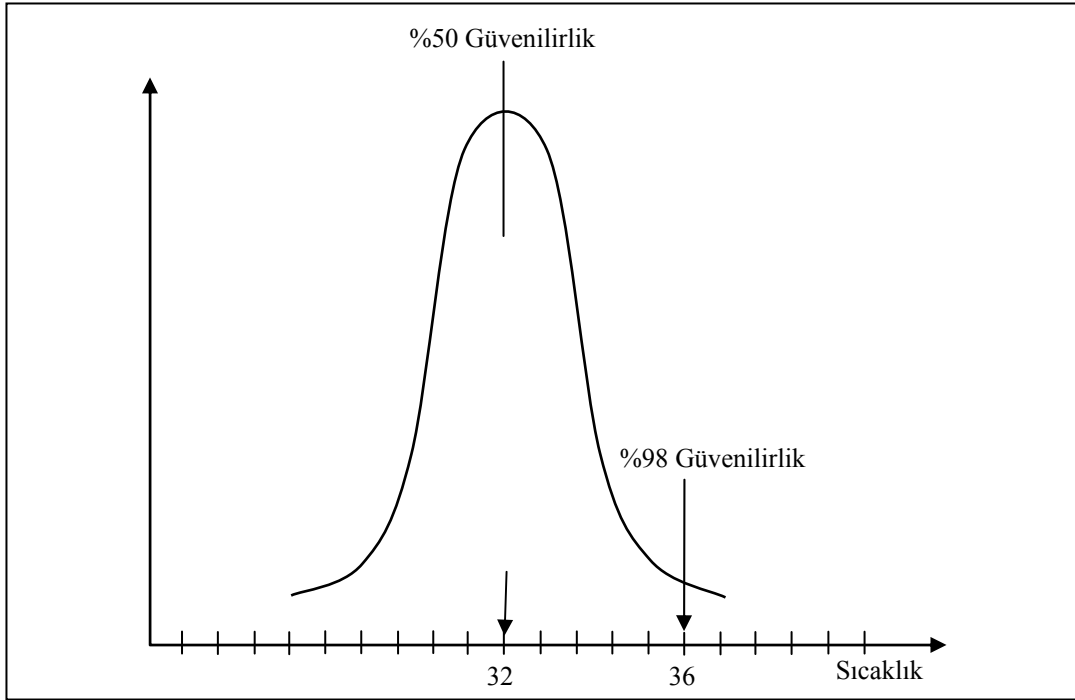
Burada ;

T_{ymin} : Kaplama yüzey sıcaklığı, °C

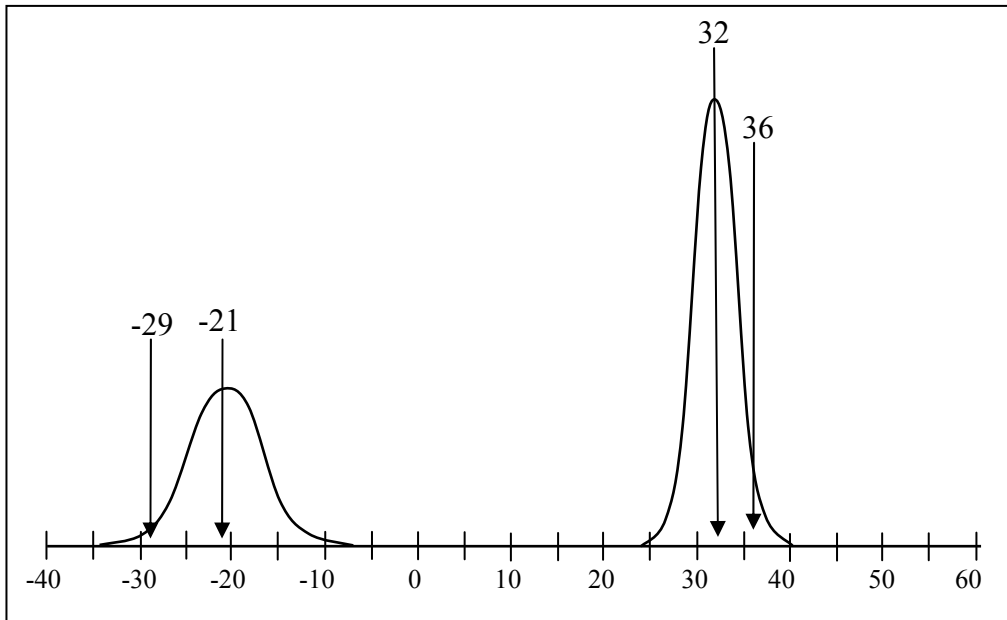
$T_{havamin}$: En düşük hava sıcaklığı, °C

9.2. Bitüm Sınıfı Seçiminde Güvenilirlik Faktörü

SUPERPAVE sistemi kaplama tasarımcılarına asfalt cinsinin en düşük ve en yüksek sıcaklıklara göre tespit edilmesinde bir dizayn riski kabul edilmesine ve istatistiki güvenilirlik hesaplama yöntemlerinin kullanımına imkan tanır. Burada güvenilirlik bir yıl içerisinde güncel sıcaklığın (7 günlük ortalama maksimum veya bir günlük minimum sıcaklık) dizayn sıcaklığını aşmaması ihtimali yüzdesidir. Yüksek güvenilirlikler düşük risk anlamına gelir. Örneğin ortalama 7 günlük maksimum sıcaklığın 32°C ve standart sapmanın 2°C olduğu bir istasyon bölgesinde, normal bir yılda 7 günlük değerlerin 32°C 'yi aşma ihtimali %50 'dir. Ancak normal istatistiksel dağılımında, yedi günlük değerlerin 36°C 'yi aşma ihtimali sadece %2 'dir. Buna göre Şekil 9.1. 'de görüldüğü gibi 7 günlük maksimum sıcaklığın 36 °C 'yi aşmama ihtimali, yani güvenilirlik %98 'dir.



Şekil 9.1. 7 Günlük maksimum sıcaklık [2]

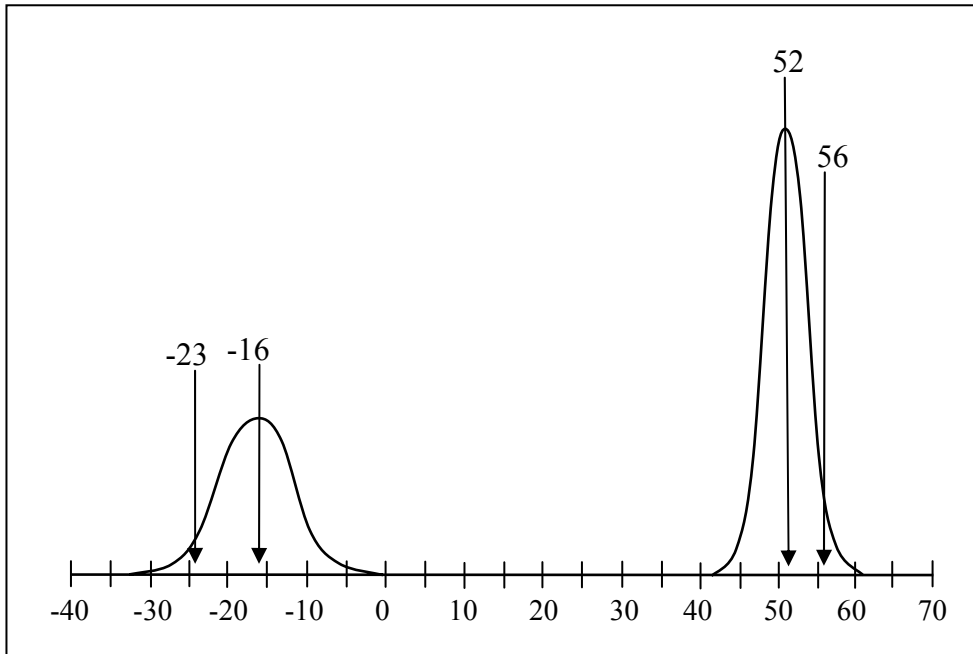


Şekil 9.2. En yüksek ve en düşük hava sıcaklıkları [2]

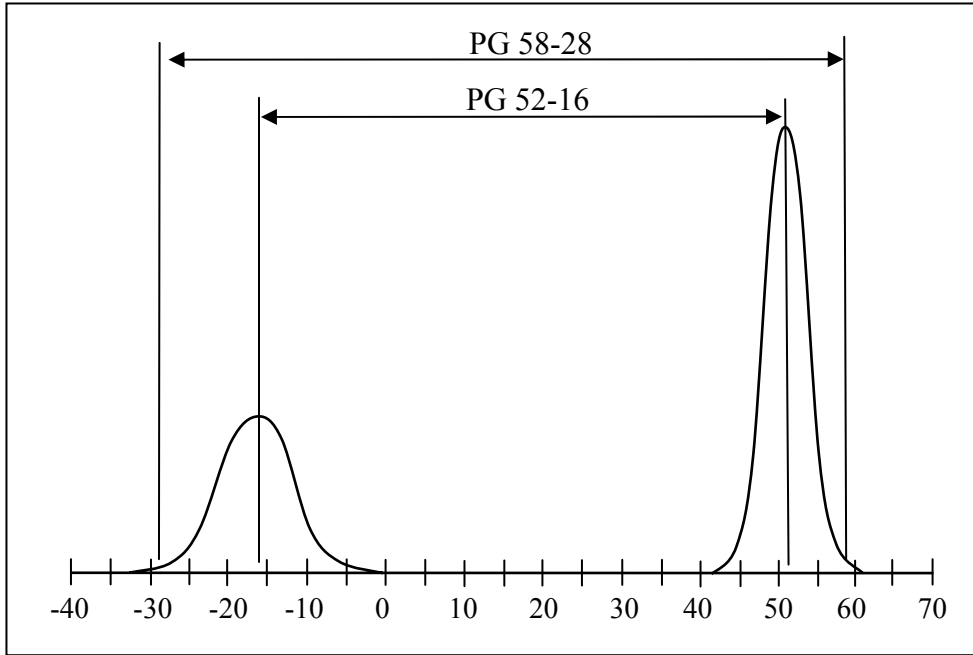
Aynı bölgede, benzer bir yaklaşım ile kış şartları için ortalama en düşük sıcaklık -21°C ve standart sapma 4°C olsun. Nitekim genellikle bir günlük en düşük sıcaklığın standart sapması 7 günlük en yüksek sıcaklığın standart sapmasından daha yüksek

olmakta, yani bir günlük en düşük sıcaklık daha fazla değişim göstermektedir. Sonuç olarak ortalama bir kış mevsiminde en düşük sıcaklık -21°C iken çok sert bir kış için %98 güvenilirlikle bu değer seviyesi -29°C olabilir.

İstenilen güvenilirlikte hava sıcaklıkları belirlendikten sonra, aynı örnekte o bölgenin enlemi $41,42^{\circ}$ ise, %50 güvenilirlikle kaplama yüzeyinden 20 mm derinlikteki en yüksek sıcaklık 52°C , kaplama yüzeyindeki en düşük sıcaklık ise -16°C hesaplanırken, %98 güvenilirlikle sırasıyla 56°C ve -23°C değerleri elde edilir. Buna göre bu bölgede yapılacak bitümlü sıcak karışım tabakasında kullanılacak bitümün performans sınıfı %50 güvenilirlik için PG 52-16, %98 güvenilirlik için ise PG 58-28 olarak belirlenmiş olur. Kullanılacak performans sınıflaması altışar derece artışla değiştiğinden, kaplama sıcaklıkları bir sınıf dereceleri arasında kalıyorsa bir üst sınıfa yuvarlanır. Bu nedenle %98 güvenilirlikle en yüksek kaplama sıcaklığı 56°C PG 58'e, en düşük kaplama sıcaklığı -23°C ise PG -28 'e yuvarlanmıştır. Gerçekte, böyle bir yuvarlamadan dolayı daha fazla güvenilirliğe (bu örnekte %99) ulaşılmış olunur.



Şekil 9.3. En yüksek ve en düşük kaplama sıcaklıkları [2]



Şekil 9.4. SUPERPAVE bitüm sınıfının seçimi [2]

Bağlayıcının seçimi işleminde bu yukarı yuvarlatma daima emniyetli tarafta doğru yapılır. Emniyetin diğer bir kaynağı da SUPERPAVE deneyleriyle bitüm sınıflandırması sırasında karşılaşılan benzer yuvarlamalar nedeniyle ortaya çıkar. Yukarıdaki örnekte, gerekli performans sınıfı PG 58-28 olarak belirlenen bir yolda kullanılacak bitüm, yapılan SUPERPAVE bağlayıcı deneylerinde yüksek sıcaklık kriterini 63°C 'de, düşük sıcaklık kriterini -33 °C 'de sağlayarak bir alt sınıfa yuvarlanan PG 58-28 sınıflı bitüm ise, iki kere yuvarlama nedeniyle gerçekte en yüksek kaplama sıcaklığı 58 °C iken 63 °C'ye kadar dayanabilen, en düşük kaplama sıcaklığı ise -23 °C iken -33 °C kadar dayanabilen bitüm kullanılmış olmaktadır. Bu nedenle bitüm sınıfının seçiminde yeterli derecede emniyetin sistem içerisinde zaten var olduğu bilinmelidir. Bu faktörlerden dolayı gelişigüzel yüksek güvenlikler veya anormal şekilde tutucu davranıp düşük ve yüksek sıcaklık derecesini seçme istemi gerekli ve ekonomik değildir.

Şunu vurgulamak gerekir ki doğru veya tutucu bir bitüm sınıfı seçimi yapmak kaplamanın toplam performansını garanti etmez. Yorulma çatlaklarına karşı gösterilen performans büyük ölçüde kaplamanın yapısı ve trafikten etkilenir. Kalıcı deformasyon veya tekerlek izlerinin oluşumu ise agrega özelliklerinden doğrudan

etkilenen karışımın kesme dayanımının bir fonksiyonudur. Termal çatlaklar ise büyük ölçüde bitümün özellikleri ile ilgilidir. Buna göre, bitüm sınıfı seçiminde pek çok faktörü göz önüne alarak iyi bir denge kurulmalıdır.

9.3. Trafik Yüğü ve Trafik Hızının Bitüm Sınıfı Seçimine Etkisi

Açıklanan sıcaklığa bağlı bitüm sınıfı seçim yöntemi hızlı trafik yükü koşulları için geçerlidir. Dinamik kesme reometresi (DSR) deneyinde kullanılan 10 radyan/saniye frekansı yaklaşık olarak 90 km/st trafik hızına karşılık gelmektedir. Bu koşullar altına yolun belirli hızda ve ağırlıkta transit trafiğe maruz kalacağı varsayılmıştır. Buna karşılık, daha önceki bölümlerde de ifade edildiği gibi, viskoelastik bir malzeme olan bitümün davranışı, sıcaklık yanında, maruz kaldığı yüke göre de değişmekte, yükün uygulama süresinin uzunluğu bitümün daha yüksek sıcaklıktaki davranışına karşılık gelmektedir. Özellikle kalıcı deformasyonla yakından ilişkili olan trafik yükünün etkisi geleneksel bitüm sınıflama sistemlerinde dikkate alınmazken, SUPERPAVE performans sınıflamasında performansa etki eden ek bir faktör olarak dikkate alınmaktadır.

Trafik yükünün dikkate alınması noktasında, AASHTO M320 standardı yavaş hareket eden ve duran yüklere göre yüksek dizayn sıcaklığının belirlenmesinde ilave bir kısım içerir. Daha önce de bahsedildiği gibi, trafik yükünün uzun süre etki ettiği yavaş trafik hızı koşullarında bitümün davranışı, yüksek sıcaklık koşullarında gösterdiği davranışa paralellik göstermektedir. Nitekim BBR deneyindeki deney sıcaklıklarından 10°C daha yüksek sıcaklıkta deneyi uygulamak, deney süresini 2 saatten 30 saniyeye indirmektedir. Bu nedenle performans sınıfı bitüm şartnamesinde yavaş seyreden ağır trafik yüklerinin etkisini karşılamak için yüksek sıcaklık performans sınıfı daha büyük olan bitümler kullanılır. Yavaş hareket eden dizayn yükleri için tabloda sağa doğru bir sütun atlayarak, örneğin PG 58 yerine PG 64 almak suretiyle bitüm seçilir. Duran yükler için ise sağa doğru iki sütun atlayarak seçim yapılır (örneğin yine PG 58 yerine PG 70 seçmek gibi).

Ayrıca AASHTO M320 standardında olağanüstü ağır trafik sayısı için ayrı bir seçim şekli önerilir. Eğer bir yolda proje süresi boyunca yoldan geçecek bir şeride düşen toplam standart dingil yükü tekerrür sayısı 10 milyondan fazla ise bu tür kesimler aşırı ağır yüke maruz yerler olarak tanımlanır. Eşdeğer yük iki dingilli ve dört tekerlekli araçta 80 kN (8,2 ton) olarak alınır ve tabaka kalınlıklarının hesaplanmasında birim yük olarak kabul edilir. Eğer trafik, 10 milyon ile 30 milyon eşdeğer dingil yükü arasında tahmin ediliyorsa iklime göre seçilen bitüm sınıfının bir yüksek değerlisini alıp almama konusu tercihe bağlıdır. Ancak trafiğin yükünün eşdeğer dingil sayısı olarak 30 milyondan fazla beklendiği durumlarda bir yüksek dereceli bitüm alınması gerekir. Trafik sayısı ve trafik hızına göre bitüm sınıfının ne kadar artırılması gerektiği aşağıdaki çizelgede gösterilmiştir.

Çizelge 9.2. Trafik yükü ve trafik hızına göre bitüm sınıfı artış basamaklarını gösterir özet tablo [2]

20 Yıllık Toplam Eşdeğer Standart Dingil Yükü Tekerrür Sayısı (Milyon)	Genel Trafik Hızı		
	Duran Trafik (Park)	Yavaş Trafik	Hızlı Trafik
	Bitüm Sınıfı Artış Basamakları		
<0,3	-	-	-
0,3-3	2	1	-
3-10	2	1	-
10-30	2	1	-
>30	2	1	1

9.4. Bitüm Sınıfı Seçim Çalışmaları

Rafineri bitümlerinin performans sınıfı belirlendikten sonra yapılması gereken şey, yapılacak herhangi bir yolda o yolun iklim ve trafik özelliklerine göre hangi türde bitümün kullanılması gerektiğinin belirlenmesidir. Bunun için, Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) tarafından yapılan kaplama sıcaklıklarının belirlenmesine yönelik çalışma ile oluşturulan veritabanı kullanılmıştır. Bu çalışmada KGM'nin Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden temin ettiği son 20 yıla ait toplam 493 meteorolojik istasyon verisi kullanılarak, her bir istasyon için hava sıcaklıklarının analizleri ile ortalama 7 günlük maksimum sıcaklık ve minimum sıcaklık değerleri belirlenmiştir. Bir yol kesiminin maruz kalacağı maksimum ve minimum sıcaklıkların belirlenmesi için ise söz konusu yola en yakın meteorolojik istasyon verileri kullanılmıştır. Yola ait sıcaklık değerleri hesaplanırken, meteorolojik istasyonun kotu ile yol kotu çoğunlukla farklı olacağından, bu kot farkından kaynaklanan sıcaklık değişiminin de hesaba katılması gerekmektedir. Bu amaçla, kotun her 100 metrelik artışında 1 °C azalma meydana geleceği kabul edilerek meteorolojik istasyonların sıcaklığı yol kotuna taşınmıştır. Daha sonra bu sıcaklıklar Eş.9.2, Eş.9.5 ve Eş.9.6 kullanılarak %70 ve %98 güvenilirlik seviyeleri için kaplama sıcaklığına çevrilmiştir. Kaplama sıcaklıkları hesaplanırken, asfalt betonu kaplamalı yollar için en yüksek kaplama sıcaklığı kaplamanın 20mm altındaki sıcaklık, sathi kaplamalar için kaplama yüzeyindeki sıcaklık olarak hesaplanmıştır. En düşük kaplama sıcaklığı ise her iki durum için de kaplama yüzeyinde hesaplanmıştır. Kaplamanın maruz kalacağı minimum ve maksimum kaplama sıcaklıkları belirlendikten sonra, bu yol kesimlerine hangi PG sınıfında bitüm getirilmesi gerektiği belirlenmiştir. Aynı zamanda trafik durumuna göre 20 yıllık toplam standart dingil (8,2 ton) yükü tekerrür sayısı 30 milyondan büyük olan asfalt betonu kaplamalı yollarda yüksek sıcaklık için bulunan performans sınıfı, bir sınıf yukarı çıkarılmıştır.

Belirlenen PG sınıfına göre kullanılacak penetrasyon sınıfı belirlerken Bitümlü Sıcak Karışım Yollar (BSK) için Çizelge 9.3, sathi kaplamalı yollar için ise Çizelge 9.4 kullanılmıştır.

Çizelge 9.3 : Asfalt betonu kaplamalar için PG sınıfına göre önerilen penetrasyon sınıfı bitüm seçim tablosu

		Maksimum Sıcaklık PG Sınıfı				
		52	58	64	70	76
Minimum Sıcaklık PG Sınıfı	-16	B 50/70	B 50/70	B 50/70	B 50/70 B B 50/70 M	B 50/70 M
	-22	B 50/70	B 50/70	B 50/70	B 50/70 B B 50/70 M	B 50/70 M
	-28	B 70/100 B B 100/150 M	B 70/100 B B 100/150 M	B 50/70 B B 100/150 M	B 70/100 BM B 100/150 M	B 70/100 BM B 100/150 M
	-34	B 100/150 BM	B 100/150 BM	B 100/150 BM	B 100/150 BM	B 100/150 BM
	-40	B 160/220 BM	B 160/220 BM	B 160/220 BM	B 160/220 BM	B 160/220 BM

AÇIKLAMALAR

B 50/70 : Bütün rafinerilere ait B 50/70 penetrasyon sınıfı bitüm

B 50/70 B : Batman rafinesine ait B 50/70 penetrasyon sınıfı bitüm

B 70/100 B : Batman rafinesine ait B 70/100 penetrasyon sınıfı bitüm

B 50/70 M : Modifiye edilmiş B 50/70

B 70/100 BM : Modifiye edilmiş B 50/70 B

B 100/150 BM : Modifiye edilmiş Batman rafinesine ait B 100/150 penetrasyon sınıfı bitüm

B 160/220 BM : Modifiye edilmiş Batman rafinesine ait B 160/220 penetrasyon sınıfı bitüm



Modifiye bitüm kullanımı gerekmez



Modifiye bitüm kullanımı tercihe bağlıdır



Modifiye bitüm kullanımı zorunludur

Çizelge 9.4 : Sathi kaplama bitümleri için SPG sınıfına göre önerilen penetrasyon sınıfı bitüm seçim tablosu

		Maksimum Sıcaklık SPG Sınıfı							
		52	55	58	61	64	67	70	73
Minimum Sıcaklık SPG Sınıfı	-16	B 160/220	B 160/220	B 160/220	B 100/150	B 70/100	B 70/100 B	B 70/100 B	B 70/100 B
	-22	B 160/220	B 160/220	B 160/220	B 100/150	B 70/100	B 70/100 B	B 70/100 B	B 70/100 B
	-28	B 160/220	B 160/220	B 160/220	B 100/150	B 70/100	B 70/100 B	B 70/100 B	B 70/100 B
	-34	B 160/220 B	B 160/220 B	B 160/220 B	B 160/220 B	B 160/220 B	B 100/150 B	B 160/220 BM	B 160/220 BM
	-40	B 160/220 B	B 160/220 B	B 160/220 B	B 160/220 B	B 160/220 B	B 160/220 BM	B 160/220 BM	B 160/220 BM

AÇIKLAMALAR

- B 70/100 : Bütün rafinerilere ait B 70/100 penetrasyon sınıfı bitüm
- B 100/150 : Bütün rafinerilere ait B 100/150 penetrasyon sınıfı bitüm
- B 160/220 : Bütün rafinerilere ait B 160/220 penetrasyon sınıfı bitüm
- B 70/100 B : Batman rafinesine ait B 70/100 penetrasyon sınıfı bitüm
- B 100/150 B : Batman rafinesine ait B 100/150 penetrasyon sınıfı bitüm
- B 160/220 B : Batman rafinesine ait B 160/220 penetrasyon sınıfı bitüm
- B 160/220 BM : Modifiye edilmiş Batman rafinesine ait B 160/220 penetrasyon sınıfı bitüm



Rafineriden bağımsız genel bitüm sınıfı

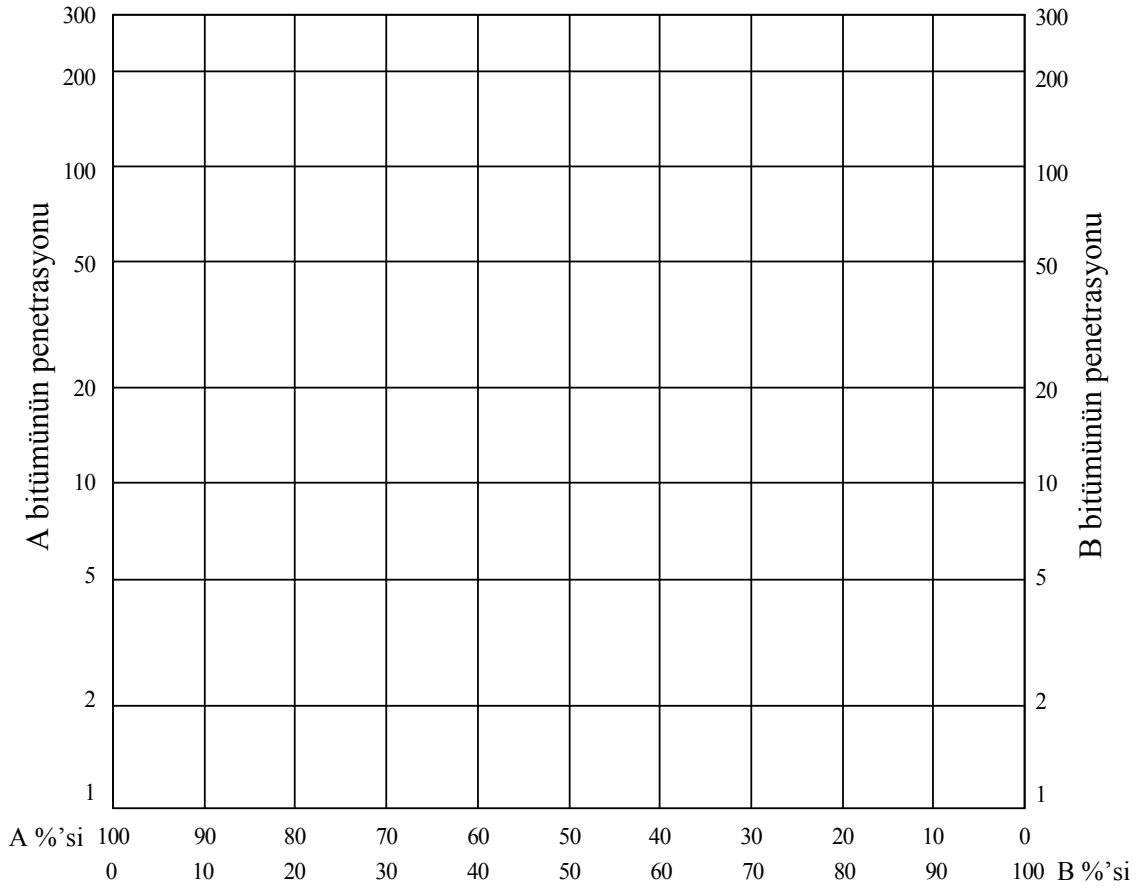


Batman rafinerisine ait modifiye olmayan bitümler



Modifiye bitümler

Bitüm sınıfı belirlenecek yollar, asfalt betonu kaplamalı veya yakın bir sürede asfalt betonu kaplama olabilecek, ağır trafikli devlet ve otoyollar arasından seçilmiştir. Buna göre toplam 11 279 km uzunluğa sahip yol ağında kullanılması gereken bitüm performans sınıfları, hem asfalt betonu kaplama hem de sathi kaplama için belirlenmiştir. Önerilen bitümlerden B 100/150 sınıfı bitüm Aliğa rafinerisi dışında üretilmemekte olup, farklı pernetrasyondaki bitümlerin karıştırılması ile istenilen bitüm sınıfı elde edilebilmektedir. Böyle bir karıştırma işleminde karışım oranları aşağıdaki şekilden veya Eş.9.1 kullanılarak belirlenebilir.

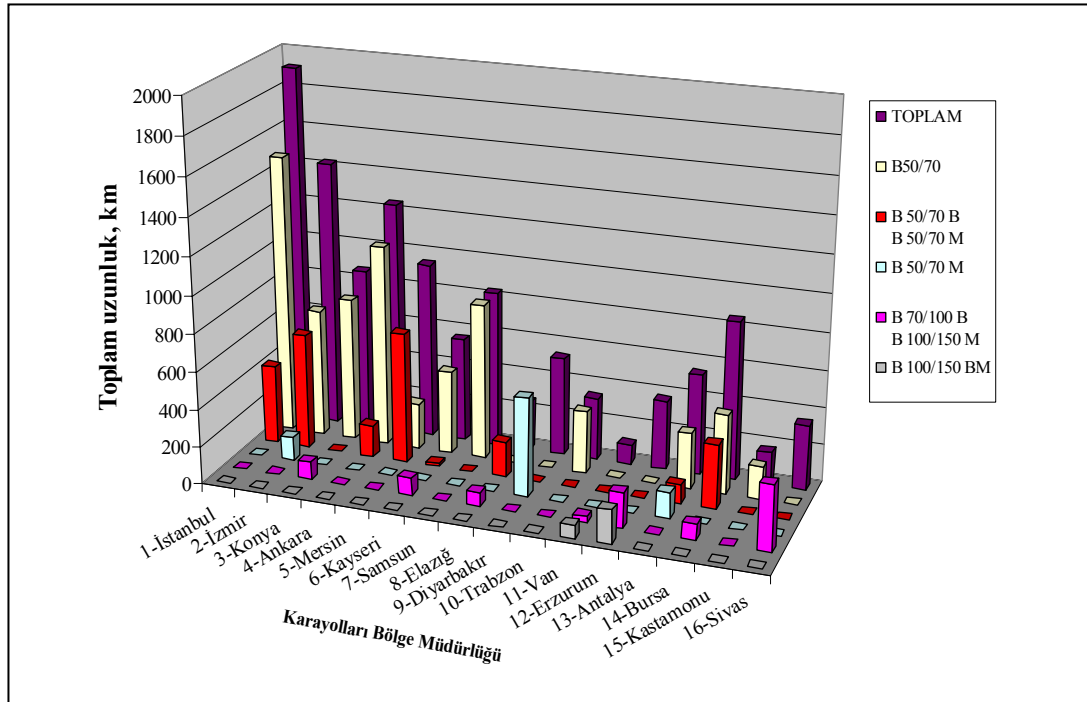


Şekil 9.5. İstenilen penetrasyonda bitüm üretimi için karışım oranlarının bulunması [2]

$$\log P = \frac{A \log P_A + B \log P_B}{100} \quad (9.1)$$

Çizelge 9.5. Seçilen örnek yol ağında kullanılması gereken asfalt betonu bitüm sınıflarının TCK Bölge Müdürlüklerine göre dağılımı tablosu

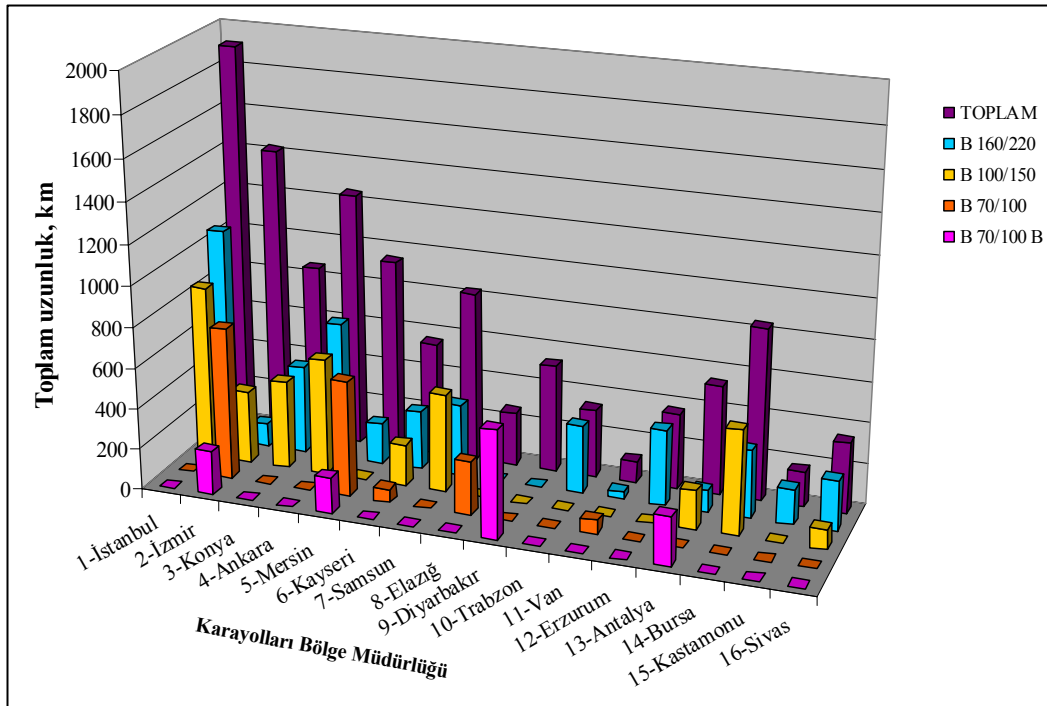
TCK Bölge Müdürlüğü	Toplam uzunluk, km					
	B50/70	B 50/70 B B 50/70 M	B 50/70 M	B 70/100 B B 100/150 M	B 100/150 BM	TOPLAM
1-İstanbul	1495	420	-	-	-	1915
2-İzmir	683	616	126	-	-	1425
3-Konya	768	-	-	94	-	862
4-Ankara	1078	170	-	-	-	1248
5-Mersin	245	696	-	-	-	941
6-Kayseri	446	16	-	94	-	556
7-Samsun	833	-	-	-	-	833
8-Elazığ	-	187	-	74	-	261
9-Diyarbakır	-	-	527	-	-	527
10-Trabzon	333	-	-	-	-	333
11-Van	-	-	-	35	70	105
12-Erzurum	-	-	-	188	183	371
13-Antalya	298	101	138	-	-	537
14-Bursa	422	340	-	84	-	846
15-Kastamonu	173	-	-	-	-	173
16-Sivas	-	-	-	346	-	346
TOPLAM	6774	2546	791	915	253	11279



Şekil 9.6. Seçilen örnek yol ağında kullanılması gereken asfalt betonu bitüm sınıflarının TCK Bölge Müdürlüklerine göre dağılımı

Çizelge 9.5. Seçilen örnek yol ağında kullanılması gereken sathi kaplama bitüm sınıflarının TCK Bölge Müdürlüklerine göre dağılımı tablosu

TCK Bölge Müdürlüğü	Toplam uzunluk, km				
	B 70/100	B 100/150	B 160/220	B 70/100 B	TOPLAM
1-İstanbul	-	850	1065	-	1915
2-İzmir	745	354	112	214	1425
3-Konya	-	431	431	-	862
4-Ankara	-	572	676	-	1248
5-Mersin	566	-	200	175	941
6-Kayseri	64	203	289	-	556
7-Samsun	-	481	352	-	833
8-Elazığ	261	-	-	-	261
9-Diyarbakır	-	-	-	527	527
10-Trabzon	-	-	333	-	333
11-Van	70	-	35	-	105
12-Erzurum	-	-	371	-	371
13-Antalya	-	192	106	239	537
14-Bursa	-	514	332	-	846
15-Kastamonu	-	-	173	-	173
16-Sivas	-	99	247	-	346
TOPLAM	1706	3696	4722	1155	11279



Şekil 9.7. Seçilen örnek yol ağında kullanılması gereken sathi kaplama bitüm sınıflarının TCK Bölge Müdürlüklerine göre dağılımı

9.5 Çalışmanın Ekonomik Yönden Değerlendirmesi

Bitümlü bağlayıcıların çoğu yol üstyapılarının imalatında kullanılmakta ve bu üstyapıların performansını büyük oranda tayin etmektedir. Bir karayolu yapımının maliyeti çok yüksek olup, bu maliyetin yaklaşık %35-%45 arasındaki bir kısmını üstyapı maliyetleri oluşturmaktadır. Yol trafiğe açıldıktan sonraki tüm maliyetler ise özel durumlar haricinde kaplama tabakası ile ilgili bakım ve onarım çalışmaları ile ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle, karayolu yapımında en önemli maliyet unsurlarından biri olan üstyapılarda, mevcut iklim ve trafik koşullarına uygun nitelikte bitüm kullanılmadığı zaman yol öngörülenden çok daha kısa bir süre içerisinde bozulmakta ve sürekli olarak yenilenen bakım ve onarım çalışmaları ile yolum maliyeti iyice artmaktadır. Bitümlü sıcak karışım tabakalarında; tekerlek izinde oturma, termal çatlak ve yorulma çatlağı; sathi kaplamalı yollara ise, kuma, agrega kaybı, çukur oluşumu şeklinde ortaya çıkan bu bozulmalar aynı zamanda yol konforunu da etkileyerek trafik güvenliğini tehlikeye sokmaktadır. Bu nedenle yol koşullarında hakim olan trafik ve iklim koşullarının iyi etüt edilerek bu şartlara uygun performansa dayalı bitüm sınıfı seçmek, hem trafik güvenliğine hem de ülke ekonomisine büyük katkı sağlayacaktır. Bu noktada, bu çalışma kapsamında ortaya konulan sonuçların performansa dayalı bitüm sınıfı seçiminin Türkiye’de de kullanılabilmesi yönünde önemli bir kaynak olacağı düşünülmektedir.

Bu çalışma kapsamında tespit edilen en önemli sonuçlardan biri de, Batman rafineri bitümünün aynı penetrasyon sınıfındaki diğer rafineri bitümlerinden çok daha iyi performans göstermesi, hatta çoğu durumda modifiye bitümler kadar iyi performans gösterdiğiidir. Zira test edilen modifiye bitümler yüksek sıcaklık PG sınıfını bir veya iki sınıf artırırken çoğu durumda düşük sıcaklık performans sınıfını bir hatta iki sınıf düşürmekte, yani bitümün çalışma sıcaklık aralığı önemli ölçüde değişmemiş olmaktadır. Oysaki, Batman rafineri bitümlerinin çalışma sıcaklığı aralığı çok geniş olup, düşük sıcaklıklarda en iyi performansı verdiği gibi, yüksek sıcaklıkta da modifiye bitümlere yakın değerler verdiği tespit edilmiştir. Bu nedenle, pek çok yolda yüksek maliyet gerektiren modifiye bitüm yerine Batman rafineri bitümü kullanılabilir.

10. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez kapsamında yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar ve uygulamaya yönelik öneriler aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

Sonuçlar

- Türkiye’de bitüm üretimi yapan başlıca dört rafineri olan Kırıkkale, İzmit, Aliğa ve Batman Rafinerilerden alınan farklı penetrasyon sınıflarında bitümlere hem geleneksel penetrasyon ve yumuşama noktası deneyleri yapılmış, hem de SUPERPAVE bitüm performans şartnamesine göre dönel viskozite (RV), döner ince film ısıtma, basınçlı yaşlandırma kabı (PAV), dinamik kesme reometresi ve kırılgan eğilme reometresi deneyleri yapılarak her bir bitümün SUPERPAVE performans sınıfı (PG) belirlenmiştir. Deneye tabi tutulan bitümler Kırıkkale, İzmit ve Batman rafinerilerine ait B 50/70, B70/100 ve B 160/220 sınıfı bitümler ile Aliğa rafinerisine ait B 50/70, B100/150 ve B 160/220 sınıfı bitümlerdir.
- Rafinerilere ait elde edilen bitüm performans sınıfları incelendiğinde Batman rafinerisine ait bitümlerin diğer rafinerilere ait aynı penetrasyon sınıfındaki bitümlerden belirgin derecede farklılık gösterdiği, hem yüksek sıcaklık, hem de düşük sıcaklık performans sınıflarında her penetrasyon sınıfı için diğer üç rafineri bitümünden bir üst sınıf daha iyi performans gösterdiği görülmüştür.
- Buna göre bitüm performans sınıfları Kırıkkale, İzmit ve Aliğa rafinerilerine ait B 50/70 sınıfı bitümler için PG 64-22, B 160/220 sınıfı bitümler için PG 52-28, Kırıkkale ve İzmit rafinerilerine ait B 70/100 sınıfı bitümler için PG 58-22, Aliğa rafinerisine ait B 100/150 sınıfı bitüm için ise PG 58-22 olarak bulunmuştur. Diğer bir ifadeyle; bu rafinerilere ait B 50/70 sınıfı bitümler tekerlek izinde oturmaya karşı 64 °C’ye, B 70/100 sınıfı bitümler 58 °C’ye ve B 160/220 sınıfı bitümler 52 °C’ye kadar direnç gösterebilirken, termal çatlama yönünden B 50/70 ve B 70/100 sınıfı bitümler -22 °C’ye, B 160/220 sınıfı bitümler ise -28 °C’ye kadar direnç gösterebilmektedir. Yani bu üç rafineriye ait

aynı penetrasyon sınıfına sahip bitümler aynı PG sınıfını vermekte olup, uygulamada birbirinin yerine kullanılabilir.

- Batman rafinerisine ait bitümlerin performans sınıfları ise B 50/70 için PG 70-22/28, B 70/100 için PG 64-28, 160/220 için PG 52-28/34 'dir. Batman rafinerisi B 50/70 penetrasyon sınıflı bitümünün -18 °C 'de yapılan BBR deneyinde S=156 MPa olarak bulunan sertlik değeri şartname kriterini (<300 MPa) sağlarken m değeri 0,296 gibi çok kritik bir seviyede çıkmıştır. Bu nedenle PG-22 ile PG-28 sınıfı arasında bir sınıfa sahip olduğu ve PG-28 sınıfı bitüm kullanılması gereken ve modifiye bitüm kullanımının kısıtlı olduğu durumlarda kullanılabileceği düşünülmektedir.
- Performans sınıflama sisteminde bitümlerin yüksek sıcaklıktaki tekerlek izinde oturma ve düşük sıcaklıktaki termal çatlak oluşumu yanında trafik yükleri altında uzun dönemli yorulmaya karşı dirençleri de belirlenmiştir. Bunun için PAV ile uzun dönemli yaşlandırılmış bitümün ortalama servis sıcaklığındaki DSR deneyi esas alınmaktadır. Buna göre söz konusu bitümlerin yorulmaya karşı direnç yönünden performans sıcaklıkları 28 °C ila 16 °C arasında değişmekte olup, rafineri düzeyinde hemen hemen benzer özellik göstermekte, büyük bir farklılaşma görülmemektedir. En iyi performansı 16 °C ile Batman ve Aliğa rafinerilerinde üretilen B 160/220 sınıfı bitümler gösterirken, Batman rafinerisindeki bu farklılık tekerlek izinde oturma ve termal çatlak oluşumu performansında olduğu gibi belirgin değildir. Yorulmaya karşı dayanım yönünden en zayıf davranışı ise, 28 °C ile Aliğa B 50/70 bitümleri göstermektedir. Yani bu bitümler, ortalama servis sıcaklığı 28 °C 'den daha düşük yollarda yorulma çatlağı oluşumuna yeterince direnç gösteremeyecek derecede kırılgan olmaktadır.
- Yapılan deney sonuçları kullanılarak tespit edilen PG sınıfları asfalt betonu kaplamalı üstyapılar için geçerli olup, sathi kaplama uygulamalarında PG sınıfının aynen kullanılması uygun değildir. Çünkü, sathi kaplamada performansı etkileyen bozulma faktörleri asfalt betonundakinden farklı ve daha çok kuma ve agrega kaybı şeklinde olduğundan, SUPERPAVE deneylerinde kabul edilen

şartname değerleri sathi kaplamalar için uygun değildir. Bu nedenle rafineri bitümlerinin sathi kaplamada kullanımı için yapılan sınıflama Teksas Karayolu İdaresi tarafından hazırlanan bir proje raporu ile verilen sathi kaplama bitümü performans sınıflama (SPG) şartnamesi esas alınarak yapılmıştır.

- SPG sınıflamasında yüksek sıcaklık performans sınıflamasında sadece orijinal bitümün DSR sonuçları kullanılırken, RTFOT ile kısa dönemli yaşlanma şartnameden kaldırılmıştır. Yüksek sıcaklık SPG performans sınıfları üçer üçer değişmekte olup, düşük sıcaklık SPG sınıfının ise bu çalışma kapsamında PG sınıfı ile aynı olduğu kabul edilmiştir.
- Buna göre sathi kaplama bitümü performans sınıfları Kırıkkale, İzmit ve Aliğa rafinerilerine ait B 50/70 sınıfı bitümler için SPG 70-22, B 70/100 sınıfı bitümler için SPG 64-22, B 100/150 sınıfı bitümler için SPG 61-28 ve B 160/220 sınıfı bitümler için SPG 58-28; Batman rafinesine ait B 50/70 sınıfı bitümler için SPG 73-22, B 70/100 sınıfı bitümler için SPG 70-28, B 100/150 sınıfı bitümler için SPG 67-28 ve B 160/220 sınıfı bitümler için SPG 64-34 olarak belirlenmiştir.
- Performans olarak Batman rafinerisi ve diğer rafineriler olarak iki gruba ayrılan bitümleri temsilen Kırıkkale ve Batman rafineri bitümleri %5 oranında SBS (Kraton D 1101) ve %2 oranında elvaloy katkı malzemesi ile laboratuarda modifiye edilerek, üretilen modifiye bitümlerin performans sınıfları (PG) belirlenmiştir.
- Modifiye bitümlerin yüksek sıcaklık PG sınıfını genel olarak bir veya iki sınıf artırdığı, bununla birlikte Kırıkkale rafinerisi B 50/70 ve B 70/100 bitümlerinde SBS modifiyesinin, daha sert olan diğer bitümlerde ise Elvaloy modifiyesinin daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.
- Modifiye bitümlerin düşük sıcaklık PG sınıflarının ana bitümün PG sınıfından göre genel olarak daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Kırıkkale, İzmit ve Aliğa rafinerilerine ait bitümlerde SBS katkılı modifiye bitümlerin düşük sıcaklık performansının genellikle bir sınıf azaldığı, Elvaloy katkılı bitümlerde ise çok az

bir azalma olduğu ve çoğunlukla ana bitüm sınıfı ile aynı performans sınıfı içerisinde kaldığı görülmüştür. Batman rafineri bitümünden her iki SBS ve Elvaloy katkı malzemesi ile üretilen modifiye bitümlerin performans sınıfının en az bir, çoğunlukla ise iki sınıf azaldığı yani, düşük sıcaklık performansının kötüleştiğı tespit edilmiştir.

Öneriler

- Karayolları Genel Müdürlüğü sorumluluğunda yer alan toplam 11 279 km ‘lik bir yol ağının meteorolojik istasyon verileri kullanılarak her bir yol kesiminde ortalama minimum hava sıcaklığı ve ortalama 7 günlük maksimum hava sıcaklığı bulunmuş, bu sıcaklıklar gerekli formüller kullanılarak kaplama sıcaklığına dönüştürülmüştür. Asfalt betonu kaplamalarda ortalama 7 günlük maksimum hava sıcaklığı kaplama yüzeyinin 20 mm altındaki sıcaklık olarak alınırken, sathi kaplamalı yollarda kaplama yüzeyindeki sıcaklık olarak alınmıştır.
- Maksimum ve minimum sıcaklıkları belirlenen yol kesimlerine hangi sınıfta bitüm kullanılması gerektiğı %70 ve %98 iki güvenilirlik seviyesi için tespit edilmiştir. Burada asfalt betonu kaplamalı yollarda %98, sathi kaplamalı yollarda ise %70 güvenilirlik seviyesinin kullanılması önerilmektedir.
- Aynı zamanda bitüm sınıfı seçilirken toplam proje trafiğı 30 milyondan büyük olan yollarda yüksek sıcaklık PG sınıfı bir üst sınıfa çıkarılmıştır. Sathi kaplamalı yollarda ise proje trafiğı her zaman 30 milyondan küçük olacağından trafik artırması yapılmamıştır.
- Seçilen yol ağında yer alan her bir yol kesiminin özellikleri ve yapılan bitüm sınıfı belirleme çalışmaları EK-1 ve EK-2 ‘de verilmiştir. Bunagöre, seçilen yol ağının %60’ında modifiye bitüm kullanımına gerek kalmadan rafineri bitümlerinin kullanılabileceğı, %10 ‘luk bir yol kesiminde modifiye bitüm kullanımının zorunlu olduğı, geriye kalan %30 ‘luk yol kesiminde ise, yolun trafik koşulları ve bitüm taşıma mesafesine bağılı olarak, Batman rafinerisine ait B 50/70 sınıfı bitümü veya diğerk rafinerilere ait modifiye edilmiş B 50/70 bitümün tercihli olarak kullanılabileceğı tespit edilmiştir.

- Aynı yol kesiminin sathi kaplama uygulaması için güvenilirlik seviyesi %70 alınarak belirlenen bitüm sınıflarının %42'si B 160/220, %33'ü B 100/150, %25'i ise B 70/100 olarak tespit edilmiştir.
- Karayolu uygulamalarında performans sınıflamasına dayalı bitüm sınıfı kullanımının yaygınlaşması ve yerleşmesi için, bitümlerin rafineriler tarafından performans sınıfına göre piyasaya arzının sağlanmasının ve rafinerilerin bu doğrultuda üretim sistemlerini düzenlemelerinin büyük önem taşıdığı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

1. EN 12597:2000, Bitumen and bituminous binders – Terminology, **European Committee for Standardization**, Brussels, 1-2 (2006)
2. Read, J., Whiteoak, D., “The Shell Bitumen Handbook 5th Edition”, Technical Editor, **Robert N Hunter, Shell Bitumen**, London, 1-173 (2003)
3. Uluçaylı, M., “Superpave ve Fransız Bitüm şartnameleri”, **2. Asfalt Sempozyumu**, Ankara, 10-11, 118-129 (1998)
4. Güngör, A.G., Sağlık, A., “Türkiye bitümlerinin performans sınıflarının belirlenmesi”, **1. Karayolu Kongresi**, Ankara, 185-194 (2008)
5. Kennedy, T.W., Harrigan, E.T., “Hypotheses and Models Employed in the SHRP Asphalt Research Program”, **SHRP-A/WP-90-008 Report**, Washington DC, 5-7 (1990)
6. Togunde, O.P., “Low temperature investigations on asphalt binder performance - a case study on Highway 417 trial sections”, the degree of master of science, **Queen's University the Department of Chemistry**, Ontario, Canada, 5-20 (2008)
7. Malkoç, G., “Asfalt çimentosunun kimyasal yapısı, modifikasyona olan etkisi ve bu kapsamda ülkemiz ürünlerinin değerlendirilmesi”, **3.Ulusal Asfalt Sempozyumu**, Ankara, 13-25 (2000)
8. Read, J., Whiteoak, D., “Shell bitüm el kitabı”, Çeviri Editörleri, **A.H.Lav, M.A.Lav, İsfalt**, İstanbul, 1-98 (2004)
9. Balta, İ., “Bitümlü sıcak karışımların sudan kaynaklanan bozulmalara karşı duyarlılığı”, Yüksek Lisans Tezi, **Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İzmir, 40-56, 80-88 (2004)
10. Arıkan Öztürk E., ve Çubuk, M.K., “Karayolu Esnek Üstyapı Tasarımında Yeni Bir yöntem: SUPERPAVE”, **1.Trafik ve Yol Güvenliği Kongresi**, Ankara, 25-27, 334-345 (2001)
11. McGennis, R.B., Shuler, S., Bahai, H.U., “Background of superpave asphalt binder test methods”, **U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, Publication No. FHWA-SA-94-069, Lexington**, 1-86 (1994)
12. Dinç, E., “Superpave”, **TCK 16. Bölge Müdürlüğü, Sivas**, 1-36 (1999)
13. Dinç, E., ve Yazıcı, A., “Superpave Bitüm Deneyleri ve Agrega Gradasyonu”, **3. Asfalt Sempozyumu**, Ankara, 16-17, 161-172 (2000)

14. Van De Ven, M.F.C., Jenkins, K.J., Bahia, H.U., “Concepts Used For Development Of Bitumen Specifications”, **8th Conference On Asphalt Pavements For Southern Africa**, Sun City, 70-85 (2004)
15. Önal, M., ve Kahramangil, M., “Bitümlü Karışımlar Laboratuvar El Kitabı”, **Karayolları Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı**, Ankara, 20-45 (1993)
16. Huber, G.A., “Weather database for the superpave mix design system”, Strategic Highway Research Program, National Research Council, **SHRP-A-648A, Washington**, 2-4 (1994)
17. Superpave Mix Design, **Asphalt Institute**, Superpave series No: 2, Lexington, Kentucky, 9-45 (1996).
18. TS 1081 EN 12591, “Bitümler Ve Bitümlü Bağlayıcılar – kaplama Sınıfı bitümler – Özellikler”, **Türk Standardları Enstitüsü**, 1-5 (2003)
19. internet : the European Asphalt Pavement Association “Superpave from the European Perspective” http://www.eapa.org/START/positionprs_publications/papers/superpave.htm (1998)
20. McGennis, R.B., Shuler, S., Bahai, H.U., “Superpave for the Generalist Engineer and Project Staff-Participant Manual”, **U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, Publication No. FHWA-HI 97-031**, Lexington, 1-64 (1997)
21. Anderson, R.M., McGennis, R.B., “Superpave asphalt mixture design illustrated level 1 lab method S”, **U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, Publication No. FHWA-SA-94-004**, Lexington, 1-86 (1994)
22. Aksoy, A. “Bitüm reolojik yapısının bitümün yaşlanmasına ve kaplamanın performansına olan etkisinin incelenmesi”, **Uluslararası Trafik ve Yol Güvenliği Kongresi-Fuarı**, Ankara, 1-9 (2002)
23. Şengöz, B., AĞAR, E., “Asfalt film kalınlığının bitümlü karışımların yaşlanmasına etkisi”, **İTÜ Dergisi**, 4(1): 71-82 (2005)
24. İnternet : Washington State Department of Transportation, “Asphalt Grading Systems” <http://training.ce.washington.edu/wsdot> (2006)
25. “TS 1081 EN 12591 : Bitümler ve bitümlü bağlayıcılar-kaplama sınıfı bitümler – özellikler”, **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, 5-6 (2003)
26. Epps, A.L., Glover, C.J., Barcena, R., “A performance graded binder specification for surface treatments”, **Texas Transportation Institute**, FHWA/TX-02/1710-1 Report, Virginia, 11-26 (2001)

27. Walubita, L.F., Martin, A.E., Glover, C.J., “A surface performance graded (SPG) specification for surface treatment binders: Development and initial validation”, ***Texas Transportation Institute***, FHWA/TX-05/0-1710-2 Report, Virginia, 63-89 (2005)
28. Bakım Dairesi Başkanlığı, “2007 Yılı devlet ve il yolları Uzunlukları”, ***Karayolları Genel Müdürlüğü***, Ankara, 6-7 (2008)
29. Temren, Z., “Asfalt sektörünün bakış açısıyla karayolları”, ***1. Karayolu Ulusal kongresi***, Ankara, 220-222 (2008)

EKLER

EK-1 Seçilen bir yol ağı için yol bilgileri

TCK Bölgesi	Yolun Adı	Kontrol Kesim Numaraları	Uzunluk, km	Yol kotu, m	Yıllık Ortalama Günlük Trafik (YOGT)					20 yıllık toplam eşdeğer dingil yükü tekerar sayısı, milyon	İstasyonlar	Ortalama istasyon kotu, m	Ortalama istasyon enlemi	Maks. 7 günlük ortalama sıcaklık		Minimum sıcaklık	
					Otomobil	Or. yük tic. taşıt	Otobüs	Kamyon	Tır					Sıcaklık, °C	Standart Sapma	Sıcaklık, °C	Standart Sapma
1	Eceabat-Gelibolu-Edirne İl Sınırı	550-03,15	115	53	2394	270	143	502	136	17	2156, 2665	10	40,30	30,80	1,40	- 5,0	2,48
1	Edirne İl Sınırı-Keşan-(İbriktepe-Uzunköprü) Ayr.Yolu	550-01,02,05	50	104	2478	276,2	103	488	156	17	1183, 931	113	41,12	34,40	2,15	-10,0	2,10
1	Edirne İl Sınırı-Keşan-İspala Sınır Kapısı Yolu	110-01,02	37	140	4177	445	181	612	299	25	1183	150	41,02	33,93	2,57	- 9,3	2,37
1	Şarköy-(Tekirdağ-Keşan) Ayr.Yolu	555-05/0	30	174	1273	119	38	159	12	5	1847, 1848, 1349	75	40,74	31,28	1,74	- 6,8	3,08
1	Edirne İl Sınırı-(Tekirdağ-Şarköy) Ayr. Yolu	110-03	25	186	5092	585	304	851	326	34	1847, 1183, 1349	120	40,86	32,53	2,02	- 8,0	2,96
1	(Gelibolu-Keşan) Ayr,- Şarköy Yolu	120-01,02	26	128	386	61	1	86	1	2	1847	10	40,62	31,07	1,38	- 6,4	2,02
1	Tekirdağ-(Şarköy-Keşan) Ayr. Yolu	110-03/3	47	206	4996	519	333	841	330	33	1349	200	40,93	34,09	2,47	-10,1	5,22
1	Tekirdağ-Hayrabolu-(İstanbul-Edirne) Ayr.Yolu	555-03,04	65	65	1746	224	27	318	26	8	1191, 934, 1045, 758	74	41,24	33,92	1,99	- 9,7	4,05
1	Tekirdağ-Muratlı-(İstanbul-Edirne) Ayr.Yolu	565-04	27	124	3093	413	168	516	107	18	1191	150	41,07	33,08	0,88	-11,8	5,48
1	Edirne-Hamzabeyli Sınır Kapısı	535-01	37	146	928	127	13	198	47	6	547	160	41,83	34,08	1,29	-10,3	2,05

EK-1 (Devam) Seçilen bir yol ağı için yol bilgileri

TCK Bölgesi	Yolun Adı	Kontrol Kesim Numaraları	Uzunluk, km	Yol kotu, m	Yıllık Ortalama Günlük Trafik (YOGT)					20 yıllık toplam eşdeğer dingil yükü tekerar sayısı, milyon	İstasyonlar	Ortalama istasyon kotu, m	Ortalama istasyon enlemi	Maks. 7 günlük ortalama sıcaklık		Minimum sıcaklık	
					Otomobil	Or.yük.tic. taşıt	Otobüs	Kamyon	Tır					Sıcaklık, °C	Standart Sapma	Sıcaklık, °C	Standart Sapma
1	Babaeski-Kırıklareli Yolu	555-02/0	36	76	3587	504	121	443	42	14	758, 597, 943	178	41,58	33,37	1,37	- 9,6	2,47
1	İstanbul-Silivri-Yolu	100-04/3	29	49	19311	1783	280	2037	241	59	943	160	41,28	31,68	1,57	-12,1	5,36
1	İstanbul Edirne Yolu Silivri-Çorlu Arası	100-03,04	41	90	6681	854	243	1495	250	44	943	160	41,28	31,68	1,57	-12,1	5,36
1	İstanbul Edirne Yolu Çorlu-Lüleburgaz Arası	100-02,03	46	97	6156	838	235	1324	223	40	943, 700	185	41,43	31,68	1,52	-11,2	4,93
1	Lüleburgaz-Edirne-Kapıkule Sınır Kapısı Yolu	100-01,02	93	71	3249	333,8	165	402	463	25	758, 9004	48	41,48	34,20	1,24	- 9,8	2,25
1	TEM İstanbul Edirne Otoyolu		190	115	9964,75		5003			106	636, 758, 9004, 836, 758, 943	72	41,44	33,24	-10,9	1,47	4,36
1	(İstanbul-Edirne) Ayr.-Çerkezköy-Saray Yolu	567-01,02	47	133	4551	611,5	73	1136	262	33	943, 766	150	41,37	31,65	1,56	-11,4	4,67
1	B,Çekmece-Çatalca-(Saray-Kemerburgaz) Ayr,Yolu	569-01	27	56	4842	580,8	214	1919	52	45	943, 771, 766	117	41,38	31,00	1,65	-10,8	4,30
1	Hasdal-Kemerburgaz-(Saray-Çatalca) Ayr, Yolu	020-06 010-01	64	101	1187	143,7	23	639	21	14	771	50	41,40	29,03	1,91	- 8,9	3,05
1	Pendik-Şile Yolu	020-07	57	113	5205	427	28	1415	415	41	1214	150	41,07	31,52	1,06	- 7,3	3,12

EK-1 (Devam) Seçilen bir yol ağı için yol bilgileri

TCK Bölgesi	Yolun Adı	Kontrol Kesim Numaraları	Uzunluk, km	Yol kotu, m	Yıllık Ortalama Günlük Trafik (YOGT)					20 yıllık toplam eşdeğer dingil yükü tekerar sayısı, milyon	İstasyonlar	Ortalama istasyon kotu, m	Ortalama istasyon enlemi	Maks. 7 günlük ortalama sıcaklık		Minimum sıcaklık	
					Otomobil	Or.yük.tic. taşıt	Otobüs	Kamyon	Tır					Sıcaklık, °C	Standart Sapma	Sıcaklık, °C	Standart Sapma
1	Şile-Kandıra-Kaynarca Yolu	020-08,09,10,11	90	100	1071	75,5	6	68	3	2	1076, 1221	75	41,05	31,37	1,68	- 6,7	3,06
1	İzmit-Kandıra-Kefken Yolu	605-01	63	131	2492	271,5	28	285	19	8	1076, 1532	138	40,96	31,63	2,00	- 6,7	2,94
1	Kaynarca-Karasu-Kocaali Yolu	54-78/0 010-04/0	56	42	1842	173,5	17	283	36	7	1226, 1221	50	41,04	30,31	1,17	- 5,3	2,57
1	Adapazarı-Karasu Yolu	650-01/1	56	49	2799	314	7	578	35	13	1532, 1690, 1226	85	40,87	32,34	2,09	- 5,3	2,51
1	Kaynarca-(Adapazarı-Karasu) Ayr. Yolu	020-11	35	75	1539	220,5	4	370	15	8	1221, 1532	113	40,94	31,16	2,01	- 6,0	2,87
1	İzmit-Altınova-Yalova Yolu	130-01 575-01	80	19	12759	1609	575	2925	1578	117	1855	1	40,70	30,34	1,05	- 4,8	1,88
1	Adapazarı-Pamukova-(Karamürsel-Bilecik) Ayr.Yolu	650-02	50	111	7595	965,5	304	3052	841	88	1863, 2019	75	40,58	34,52	1,96	- 7,7	3,57
1	(Adapazarı-Pamukova) Ayr,-Taraklı-4,B1,Hd,Yolu	150-05/0	35	502	481	70	3	198	13	4	2183	350	40,40	33,46	1,53	- 8,5	1,56
1	(Adapazarı-Hendek) Ayr,-Karapürçek	140-01/0	10	74	8889	1205	546	2727	1499	109	1865	50	40,68	33,15	1,15	- 8,2	2,70
1	Karapürçek-Dokurcun-4,B1,Hd,Yolu	140-01/2	28	75	481	70	3	198	13	4	1865	50	40,68	33,15	1,15	- 8,2	2,70

EK-1 (Devam) Seçilen bir yol ağı için yol bilgileri

TCK Bölgesi	Yolun Adı	Kontrol Kesim Numaraları	Uzunluk, km	Yol kotu, m	Yıllık Ortalama Günlük Trafik (YOGT)					20 yıllık toplam eşdeğer dingil yükü tekerar sayısı, milyon	İstasyonlar	Ortalama istasyon kotu, m	Ortalama istasyon enlemi	Maks. 7 günlük ortalama sıcaklık		Minimum sıcaklık	
					Otomobil	Or.yük.tic. taşıt	Otobüs	Kamyon	Tır					Sıcaklık, °C	Standart Sapma	Sıcaklık, °C	Standart Sapma
1	Ankara-İstanbul Devlet Yolu Gebze-Adapazarı Arası	100-07,08,09	90	83	16789	1902	264	3683	1384	121	1690, 1524	80	40,76	31,65	3,87	- 1,1	2,64
1	Ankara-İstanbul Devlet Yolu Adapazarı-Hendek-4.BI,Hd, Arası	100-10	46	56	10327	1524	135	1748	965	69	1537, 1865	113	40,74	32,86	2,81	- 7,3	2,18
1	Ankara-İstanbul Otoyolu İstanbul-4.BI,Hd, Arası		187	115	20392,92857		14360			304	1690, 1524, 1537, 1865, 1863	92	40,73	32,56	-5,81	3,04	
2	Manisa-Balıkesir Yolu Akhisar-Gelembe-4.BI,Hd,Arası	565-08	41	288	5378	560,5	448	2554	675	68	4575, 4406	220	39,21	36,13	1,83	- 6,5	2,49
2	Manisa- Akhisar Yolu	565-09	48	63	12175	925,5	646	2287	634	75	5269	50	38,73	38,30	1,18	- 6,0	1,72
2	İzmir-Manisa Yolu	565-10,11	31	295	16751	1384	806	2333	766	76	5269, 5615	85	38,62	38,22	1,46	- 5,1	1,91
2	Manisa-(İzmir-Aliğa) Ayr, Yolu	250-02,03	34	69	3784	579	43	1208	356	35	5269, 5091	88	38,77	37,02	1,42	- 4,9	1,80
2	Manisa-(İzmir-Salihli) Ayr, Yolu	250-04/0	26	55	3980	578	50	2305	523	53	5615, 5269	85	38,62	38,22	1,46	- 5,1	1,91
2	İzmir-Aliğa Yolu	550-09	52	50	35843	2893	1184	4138	815	124	5091, 5434	68	38,73	33,85	1,66	- 3,1	1,77
2	Ayvalık-Gömeç-(Edremit-Balıkesir) Ayr, Yolu	550-07	44	42	4215	501	225	735	220	24	3860, 4393	27	39,39	36,28	1,96	- 5,2	1,66

EK-1 (Devam) Seçilen bir yol ağı için yol bilgileri

TCK Bölgesi	Yolun Adı	Kontrol Kesim Numaraları	Uzunluk, km	Yol kotu, m	Yıllık Ortalama Günlük Trafik (YOGT)					20 yıllık toplam eşdeğer dingil yükü tekerar sayısı, milyon	İstasyonlar	Ortalama istasyon kotu, m	Ortalama istasyon enlemi	Maks. 7 günlük ortalama sıcaklık		Minimum sıcaklık	
					Otomobil	Or.yük.tic. taşıt	Otobüs	Kamyon	Tır					Sıcaklık, °C	Standart Sapma	Sıcaklık, °C	Standart Sapma
2	(Bergama-İzmir) Ayr,- Ayvalık Yolu	550-07,08	50	27	4635	423,8	223	747	219	24	4393	3	39,22	36,24	1,87	- 5,6	1,44
2	Aliaga-(Bergama-Ayvalık) Ayr. Yolu	550-08,09	40	41	6080	913	315	1481	454	46	4916, 5091	68	38,87	36,02	1,84	- 3,5	1,73
2	İzmir-Çeşme Otoyolu		86	102	12136	1319	117	839	56	20	5956	50	38,3	33,6	2,9	- 2,2	1,3
2	Güzelbahçe-Çeşme Devlet Yolu	300-01	53	71	8541	915,7	80	592	42	18	5956	50	38,3	33,6	2,9	- 2,2	1,3
2	İzmir-Aydın Otoyolu		107	124	12768	2318	135	1629	334	42	6296, 6819	43	38,0	38,2	2,3	- 3,8	1,6
2	İzmir-Aydın Devlet Yolu Menderes Ayr,-Selçuk Arası	550-10,11	49	89	10834	1968	116	1384	283	40	6296	40	38,2	38,2	2,6	- 3,5	1,6
2	Selçuk-Germencik-Aydın Yolu	550-11,12	51	77	4347	685,3	117	725	174	24	6819	45	37,9	38,2	1,7	- 4,4	1,5
2	Selçuk-Kuşadası-Söke-(İzmir-Aydın) Ayr. Yolu	515-01,02 525-01	43	59	5314	528	117	326	30	11	6989, 6819	60	37,8	35,9	2,4	- 3,5	1,6
2	Aydın-Çine Yolu	550-13	36	82	4768	625	146	1143	407	35	6989, 6819	60	37,8	35,9	2,4	- 3,5	1,6
2	Çine-Yatağan-Muğla-(Marmaris-Köyceğiz) Ayr. Yolu	550-14	88	347	6473	782,2	185	972	206	28	8034, 7161, 7513	327	37,4	39,0	1,7	- 4,6	1,8

EK-1 (Devam) Seçilen bir yol ağı için yol bilgileri

TCK Bölgesi	Yolun Adı	Kontrol Kesim Numaraları	Uzunluk, km	Yol kotu, m	Yıllık Ortalama Günlük Trafik (YOGT)					20 yıllık toplam eşdeğer dingil yükü tekerar sayısı, milyon	İstasyonlar	Ortalama istasyon kotu, m	Ortalama istasyon enlemi	Maks. 7 günlük ortalama sıcaklık		Minimum sıcaklık	
					Otomobil	Or.yük.tic. taşıt	Otobüs	Kamyon	Tır					Sıcaklık, °C	Standart Sapma	Sıcaklık, °C	Standart Sapma
2	Yatağan-Milas-Bodrum-Turgutreis Yolu	330-01,02	104	243	6006	763	151	1028	126	26	7513, 7856, 8027	142	37,3	37,3	1,8	- 4,2	1,1
2	Aydın-Denizli Yolu	320-0,10,20,3	126	121	7023	945,6	388	1620	488	51	6657, 6662, 7003	406	37,9	38,6	2,1	- 4,4	1,5
2	İzmir-Salihli Yolu	300-02,03	82	228	8968	1137	682	4005	953	109	5615	120	38,5	38,2	1,6	- 4,6	2,0
2	Salihli-Uşak Yolu	300-04,05	122	665	4021	620,3	414	1660	470	56	5624, 5282, 5974	480	38,6	37,3	2,0	- 6,0	2,5
2	Uşak-Afyon Yolu	300-06,07	112	1107	4192	619,5	603	2345	410	71	4947, 5292	1,088	38,8	32,4	1,0	-13,3	2,4
3	Ankara-Adana-Yolu Kulu Ayr,-Aksaray Arası	750-09,10,11	126	949	3042	310,8	541	2170	969	81	4982, 5330	1,063	38,8	32,6	1,3	-15,7	3,7
3	Ankara-Adana-Yolu Aksaray-Pozantı Arası	750-12,13,14,15,16	143	1175	3622	461,4	483	2279	1047	84	6178, 7574	1,088	37,8	32,6	1,4	-17,0	3,7
3	Konya-Cihanbeyli Yolu	715-02,03	94	989	3089	322,5	195	799	246	27	6018	970	38,3	32,1	0,7	-20,0	3,9
3	Cihanbeyli-Kulu-(Ankara-Adana) Ayr. Yolu	715,01	61	1010	2923	295	186	711	194	24	5149	950	38,9	33,4	0,4	-17,8	3,1
3	Konya-Ereğli-Çakmak-(Ankara-Adana) Ayr. Yolu	300-14,15,16	179	1037	2198	268,4	225	1446	382	44	6872, 7743, 7574	1,087	37,5	32,7	1,4	-17,6	3,7

EK-1 (Devam) Seçilen bir yol ağı için yol bilgileri

TCK Bölgesi	Yolun Adı	Kontrol Kesim Numaraları	Uzunluk, km	Yol kotu, m	Yıllık Ortalama Günlük Trafik (YOGT)					20 yıllık toplam eşdeğer dingil yükü tekerar sayısı, milyon	İstasyonlar	Ortalama istasyon kotu, m	Ortalama istasyon enlemi	Maks. 7 günlük ortalama sıcaklık		Minimum sıcaklık	
					Otomobil	Or.yük.tic. taşıt	Otobüs	Kamyon	Tır					Sıcaklık, °C	Standart Sapma	Sıcaklık, °C	Standart Sapma
3	Konya-Akşehir Yolu	300-10,11,12	126	1108	6847	718,8	476	2611	505	77	6164, 6006	1,075	38,3	33,2	2,2	-16,3	3,8
3	Akşehir-Afyon Yolu	300-8,9,10	87	1014	4327	532,3	458	2263	431	67	5650, 5477	997	38,6	32,3	2,2	-14,2	3,5
3	(Afyon-Uşak) Ayr.-Sandıklı Yolu	650-09/0	46	1214	4228	393	431	1649	439	54	5643	1,100	38,5	32,4	1,5	-16,7	4,3
4	Afyon-Sivrihisar Yolu	260-01,02	120	1033	3429	300,8	424	1026	238	36	4437, 5643	988	38,9	32,6	1,4	-17,2	4,2
4	Sivrihisar-Ankara Yolu	200-10,11,12	112	910	7616	722,6	1030	2448	1002	99	3542, 4092	1,038	39,6	31,5	1,5	-13,6	3,6
4	(Sivrihisar-Eskişehir) Ayr.-Mahmudiye-Çifteler-(Sivrihisar-Afyon) Ayr. Yolu	675-01	56	903	1829	188	98	1068	243	30	3899, 4257	910	39,4	33,1	2,2	-17,0	4,2
4	Sivrihisar-Eskişehir Yolu Sivrihisar-Hamidiye Arası	200-09	56	976	2980	267	367	1089	398	41	3899, 4257, 3530	858	39,5	33,4	2,1	-16,3	3,9
4	Sivrihisar-Eskişehir Yolu Eskişehir-Hamidiye Arası	200-08	40	850	12405	1484	1098	4600	1232	151	3343, 3899, 3520	878	39,7	33,6	1,6	-15,0	4,4
4	Ankara-Kızılcahamam Yolu	750-06/2	55	800	6937	952	73	2806	790	77	2375, 3005	829	40,2	34,1	1,8	-13,2	3,5
4	Kızılcahamam-Gerede Yolu	750-04,05	60	1126	1512	196	30	2160	858	66	1886, 2200, 17642	1,273	40,6	29,3	1,6	-15,7	3,0

EK-1 (Devam) Seçilen bir yol ağı için yol bilgileri

TCK Bölgesi	Yolun Adı	Kontrol Kesim Numaraları	Uzunluk, km	Yol kotu, m	Yıllık Ortalama Günlük Trafik (YOGT)					20 yıllık toplam eşdeğer dingil yükü tekerar sayısı, milyon	İstasyonlar	Ortalama istasyon kotu, m	Ortalama istasyon enlemi	Maks. 7 günlük ortalama sıcaklık		Minimum sıcaklık	
					Otomobil	Or.yük.tic. taşıt	Otobüs	Kamyon	Tır					Sıcaklık, °C	Standart Sapma	Sıcaklık, °C	Standart Sapma
4	Gerede-Bolu-Kaynaşlı Yolu	100-12	81	1007	4202	449	133	2494	625	69	1708, 17642, 1392	907	40,8	28,0	1,8	-16,0	2,9
4	Kaynaşlı-Düzce-Ky,1,B1,Hd, Yolu	100-11	37	224	6849	750,4	429	2375	869	81	1537	175	40,8	33,8	1,9	- 6,4	1,5
4	Gerede-Çerkeş-4,B1,Hd,Yolu	100-12,13,14	75	1195	2971	312	617	1034	616	51	17642, 1397	1,014	40,9	29,9	1,6	-15,4	3,4
4	Kırıkkale-Delice Yolu Kırıkkale-Balışeyh-4,B1,Hd,Arası	200-14	59	868	5944	766	555	1088	507	49	3187	860	39,9	34,0	0,7	-15,7	3,5
4	Ankara-Yenikent-Ayaş Yolu	140-05	40	918	17857	1683	309	2401	733	79	3000, 3005	897	40,0	33,7	1,9	-12,3	3,3
4	Ankara-Akyurt Yolu	140-06	24	973	13463	1379	408	1653	255	53	3180, 9643	945	40,1	32,0	1,3	-16,8	4,2
4	Düzce-Akçakoca Yolu	655-01/0	33	228	4293	453	143	1003	391	35	1082, 1226	40	41,1	29,9	1,2	- 5,3	2,1
4	Akçakoca-Kocaali Yolu	010-05	32	52	2512	243,5	77	558	214	19	1082, 1226	40	41,1	29,9	1,2	- 5,3	2,1
4	Ankara-Adana-Yolu Ankara-Kulu Ayr. Arası	750-08	83	1096	5490	568	762	2666	1041	98	4092, 3920	1,263	39,5	30,6	1,5	-13,2	2,3
4	Ankara-Kırıkkale Yolu	200-13,14	60	872	12293	1173	1192	3510	912	122	3180, 3182	1,040	39,9	31,1	2,3	-13,0	2,4

EK-1 (Devam) Seçilen bir yol ağı için yol bilgileri

TCK Bölgesi	Yolun Adı	Kontrol Kesim Numaraları	Uzunluk, km	Yol kotu, m	Yıllık Ortalama Günlük Trafik (YOGT)					20 yıllık toplam eşdeğer dingil yükü tekerar sayısı, milyon	İstasyonlar	Ortalama istasyon kotu, m	Ortalama istasyon enlemi	Maks. 7 günlük ortalama sıcaklık		Minimum sıcaklık	
					Otomobil	Or.yük.tic. taşıt	Otobüs	Kamyon	Tır					Sıcaklık, °C	Standart Sapma	Sıcaklık, °C	Standart Sapma
4	Kırıkkale-Keskin-Kırşehir Yolu	765-08,09	110	1004	3855	413,9	486	1320	345	47	3952, 4287	1,175	39,4	32,1	1,1	-19,0	4,3
4	Ankara çevre yolu	100-25,27	115	850	7068,4		3344			71	3005, 3180	917	40,0	34,1	-12,8	2,0	
5	Pozantı-(Adana-Tarsus) Ayr. Yolu	750-17,18	76	853	1959	432,7	216	1270	668	49	8402, 8258, 8257	712	37,0	32,8	2,5	- 5,5	2,7
5	Silifke-Erdemli-İçel-Adana-Osmaniye Yolu	400-17,18,19,20	238	40	14320	1656	323	2451	372	68	8899, 8522, 8257, 8402	447	36,8	33,9	2,2	- 2,8	2,4
5	Osmaniye-Nurdağı Yolu	400-21,22	44	653	3087	299	12	1689	372	42	8541	460	36,8	37,8	1,6	- 2,9	1,9
5	Nurdağı-Gaziantep Yolu	400-22	70	889	12327	1639	556	2695	266	74	8285, 7782	688	37,1	39,7	1,1	- 6,9	2,7
5	Osmaniye-İskenderun-(Kırıkkhan-Hatay) Ayr. Yolu	818-03,04	90	157	6282	658,5	232	1807	284	50	8541, 8820, 8907, 8822	380	36,5	37,9	1,5	- 2,7	1,4
5	Kırıkkhan-Hatay Yolu	825-08	40	141	5504	786,5	127	1433	216	39	8907, 8822	180	36,4	39,0	1,4	- 2,4	1,4
5	Kırıkkhan-Reyhanlı-Suriye Sınırı Yolu	827-01	45	108	2058	182,3	54	235	148	10	8822	190	36,5	39,5	1,5	- 2,4	1,5
5	Pozantı-Yenice Otoyolu		214	850	4000		7700			162,9	8402, 8258, 8257	711,667	37,0	32,8	2,5	- 5,5	2,7

EK-1 (Devam) Seçilen bir yol ağı için yol bilgileri

TCK Bölgesi	Yolun Adı	Kontrol Kesim Numaraları	Uzunluk, km	Yol kotu, m	Yıllık Ortalama Günlük Trafik (YOGT)					20 yıllık toplam eşdeğer dingil yükü tekerar sayısı, milyon	İstasyonlar	Ortalama istasyon kotu, m	Ortalama istasyon enlemi	Maks. 7 günlük ortalama sıcaklık		Minimum sıcaklık	
					Otomobil	Or.yük.tic. taşıt	Otobüs	Kamyon	Tır					Sıcaklık, °C	Standart Sapma	Sıcaklık, °C	Standart Sapma
5	Mersin-Osmaniye Otoyolu		68	40	5683		5731			121,3	8899, 8522, 8257, 8402	447	36,8	33,9	- 2,8	2,2	
5	Osmaniye-Nurdağı Yolu / Otoyolu		97	653	4000		7000			148,1	8541	460	36,8	37,8	- 2,9	1,6	
5	Nurdağı-Gaziantep Otoyolu		146	889	2732		7104			150,3	8285, 7782	687,5	37,1	39,7	- 6,9	1,1	
6	Kırşehir-Mucur-Himmetdede-Kayseri Devlet Yolu	260-08,09,10	119	1163	3367	399,1	405	1272	268	42	4287, 4821, 4817, 4993, 5516	1,135	39,0	32,5	1,4	-16,4	4,1
6	(Kayseri-Himmetdede) Ayr,-Niğde Yolu	300-17/2 805-05,06,	115	1169	2475	304,9	170	966	222	29	5516, 6040, 6719	1,108	38,3	33,7	1,2	-16,6	3,8
6	Niğde-Kemerhisar-(Ulukışla-Pozantı) Ayr, Yolu	805-07/0	52	1337	2043	235	98	967	209	27	6719	1,100	37,9	33,5	0,6	-16,1	4,7
6	Niğde-Bor-(Ulukışla-Ankara) Ayr, Yolu	330-17,18	45	1068	762	107	30	343	77	10	6719	1,100	37,9	33,5	0,6	-16,1	4,7
6	Kayseri-(Himmetdede-Adana) Ayr, Yolu	300-17/3	16	1052	9411	1238	763	2995	597	91	5518	1,500	38,7	30,5	1,9	-18,8	4,9
6	Kayseri-Sivas Yolu Kayseri-Bünyan Ayr, Arası	260-11/1	27	1099	2604	408	193	1164	141	32	5177	1,300	38,9	31,3	1,0	-19,2	2,9
6	Kayseri-Sivas Yolu Bünyan Ayr,-16,B1,Hd, Arası	260-11/2	42	1258	2452	293	109	918	130	25	5177, 4833	1,225	39,0	33,0	1,3	-21,3	4,2

EK-1 (Devam) Seçilen bir yol ağı için yol bilgileri

TCK Bölgesi	Yolun Adı	Kontrol Kesim Numaraları	Uzunluk, km	Yol kotu, m	Yıllık Ortalama Günlük Trafik (YOGT)					20 yıllık toplam eşdeğer dingil yükü tekerar sayısı, milyon	İstasyonlar	Ortalama istasyon kotu, m	Ortalama istasyon enlemi	Maks. 7 günlük ortalama sıcaklık		Minimum sıcaklık	
					Otomobil	Or.yük.tic. taşıt	Otobüs	Kamyon	Tır					Sıcaklık, °C	Standart Sapma	Sıcaklık, °C	Standart Sapma
6	(Kırıkkale-Delice) Ayr,-Yerköy Yolu	200-15/0	64	683	1953	179	207	626	152	21	1486, 3479	827	39,7	34,4	1,7	-16,0	4,1
6	Yerköy-Yozgat-Sorgun-Kayseri Ayr, Yolu	200-16,17	76	1180	3022	352	255	852	130	27	3479, 3023, 1309	1,008	39,9	31,9	1,7	-14,9	3,3
7	Çorum-Sungurlu-4,BI,Hd,Yolu	190-01, 785-04,05	117	767	3192	302,4	358	1131	311	39	2746, 2750, 2223	823	40,3	32,7	1,4	-17,9	4,6
7	Çorum-Merzifon Yolu	795-03,04	65	959	2673	280,3	298	1250	352	41	2070, 1742, 1424	682	40,7	32,1	1,5	-13,3	3,3
7	Merzifon-Havza-Ladik Ayr, Yolu	100-17, 795-02	45	675	5096	519,3	668	1786	610	67	1428, 1431	850	40,9	31,2	1,9	-14,2	3,9
7	Samsun-Kavak-Ladik Ayr, Yolu	795-01	72	655	5790	615	573	2058	612	71	1278, 901	375	41,3	29,9	1,1	- 6,1	2,2
7	Samsun-Bafra Yolu	010-15	46	49	11533	1611	352	1993	251	59	901	150	41,4	29,4	0,9	- 4,9	1,6
7	Samsun-Ünye-Ordu-7,BI,Hd,Yolu	010-16,17,18	169	45	7748	1074	357	1747	531	60	1135, 1293	8	41,1	31,2	1,2	- 4,4	1,8
7	Merzifon-Osmancık 7,BI,Hd,Yolu	100-16,17	112	597	2322	245,7	463	1157	474	46	1742, 1424, 1113, 1737	593	40,9	34,3	1,3	-10,5	3,0
7	Merzifon-Amasya-Erbaa-Niksar Yolu	100-17,18,19,20	140	432	2271	257,3	307	775	335	31	1744, 1742, 1925, 1751, 2087	359	40,7	34,2	2,0	- 8,7	4,0

EK-1 (Devam) Seçilen bir yol ağı için yol bilgileri

TCK Bölgesi	Yolun Adı	Kontrol Kesim Numaraları	Uzunluk, km	Yol kotu, m	Yıllık Ortalama Günlük Trafik (YOGT)					20 yıllık toplam eşdeğer dingil yükü tekerar sayısı, milyon	İstasyonlar	Ortalama istasyon kotu, m	Ortalama istasyon enlemi	Maks. 7 günlük ortalama sıcaklık		Minimum sıcaklık	
					Otomobil	Or.yük.tic. taşıt	Otobüs	Kamyon	Tır					Sıcaklık, °C	Standart Sapma	Sıcaklık, °C	Standart Sapma
7	Niksar-7,Bl,Hd,Yolu	100-21	67	507	1087	139	160	464	264	20	2420, 2090, 2600	1,042	40,4	29,8	1,7	-20,3	3,0
8	Malatya-(Gölbaşı-Darende) Ayr,-Elazığ-Kovancılar Yolu	300-23,24	187	941	6656	934,7	353	1418	152	41	6068, 6582, 6231, 9002, 5559, 5386	1,200	38,5	35,8	2,0	-12,3	3,3
8	Kovancılar-Bingöl Yolu	300-26,27	74	1163	1186	228,5	112	464	28	13	4703, 5053	1,538	39,0	33,6	1,2	-24,0	6,5
9	Gaziantep-Şanlıurfa Yolu	400-23,24,25	140	518	6297	515,6	316	3174	765	87	8285, 8289, 7963	612	37,1	40,3	1,3	- 6,4	2,9
9	Şanlıurfa-Viranşehir-Kızıltepe Yolu	400-26,27,28	166	530	2612	203,5	89	1928	631	55	17946, 7809, 7987	618	37,3	40,7	1,6	- 7,3	3,6
9	Kızıltepe-Nusaybin-Cizre-Habur Sınır Kapısı Yolu	400-29,30,31	201	504	2372	219,3	56	1880	566	51	7987, 7825	650	37,3	42,0	1,2	- 7,5	3,4
9	Diyarbakır-Mardin Yolu Diyarbakır-Batman Ayr, Arası	950-09/1	20	601	4521	684	92	1757	176	41	6950	505	37,8	42,3	1,3	-10,8	4,9
9	Gaziantep-Şanlıurfa Otoyolu			518	3000		5000			105,8	8285, 8289, 7963	611,667	37,1	40,3	1,3	- 6,4	2,9
10	Karadeniz Sahil Yolu Trabzon-Giresun-10,Bl,Hd,Arası	010-19,20,21	155	41	6304	755,5	317	1782	335	53	1453, 1457, 1978, 1460, 1300, 1302	24	41,0	28,5	1,3	- 2,9	1,7
10	Karadeniz Sahil Yolu Trabzon-Of-Ikizdere Ayr, Arası	010-22,23,24,25	55	32	9689	1076	202	1368	224	41	1471, 1472, 1475	10	41,0	28,6	1,2	- 3,1	2,0

EK-1 (Devam) Seçilen bir yol ağı için yol bilgileri

TCK Bölgesi	Yolun Adı	Kontrol Kesim Numaraları	Uzunluk, km	Yol kotu, m	Yıllık Ortalama Günlük Trafik (YOGT)					20 yıllık toplam eşdeğer dingil yükü tekerar sayısı, milyon	İstasyonlar	Ortalama istasyon kotu, m	Ortalama istasyon enlemi	Maks. 7 günlük ortalama sıcaklık		Minimum sıcaklık	
					Otomobil	Or.yük.tic. taşıt	Otobüs	Kamyon	Tır					Sıcaklık, °C	Standart Sapma	Sıcaklık, °C	Standart Sapma
10	Karadeniz Sahil Yolu İkizdere Ayr.-Rize-Sarp Sınır Kapısı Arası	010-23,24,25	123	39	5898	643,1	148	1000	157	29	1156, 1015, 907	40	41,3	28,9	1,2	- 3,5	1,9
11	Van-Edremit-Gevaş Yolu	300-33	35	1676	2178	323,7	97	1156	63	27	6276	1,743	38,3	30,7	1,6	-22,3	3,3
11	Van-(Erciş-Çaldıran) Ayr. Yolu	975-05	70	1713	1166	217,5	96	2214	77	47	5594	1,900	38,7	33,2	3,1	-25,8	6,2
12	Erzurum-Aşkale-Tezcan Yolu	100-26,27,28	69	1806	1748	283,5	248	861	416	34	753, 3080	1,663	39,8	32,2	1,1	-23,3	4,3
12	Erzurum-Ağrı Yolu	100-29,30,31	183	1826	1785	292,4	126	777	299	27	3084, 3645, 4017, 3834	1,653	39,7	32,6	2,0	-29,4	3,9
12	Ağrı-Doğubeyazıt-Gülbulak İran Sınır Kapısı Yolu	100-32,33	119	1720	982,2	238,4	50	407	229	16	3838, 4025	1,800	39,6	30,1	2,1	-27,6	2,9
13	Afyon-Antalya Yolu Sandıklı-Keçiborlu-Arası	650-10,11	65	1113	3348	317,8	341	1335	377	44	6147, 6146, 6676	1,030	38,2	33,0	2,2	-11,0	2,8
13	Afyon-Antalya Yolu Keçiborlu-Burdur-Çeltikçi Arası	650-11,12	66	910	3847	360,8	293	1468	416	47	6676, 6843, 7186	996	37,8	33,2	1,3	-11,2	2,0
13	Antalya-Afyon Yolu Korkuteli Ayr.-Çeltikçi Arası	650-13,14	84	822	3792	325,8	237	1373	342	42	7710	800	37,3	35,7	0,5	- 8,9	1,3
13	Antalya-Korkuteli Yolu	650-14/2 350-05/0	59	154	14188	1065	307	2096	268	56	7710	800	37,3	35,7	0,5	- 8,9	1,3

EK-1 (Devam) Seçilen bir yol ağı için yol bilgileri

TCK Bölgesi	Yolun Adı	Kontrol Kesim Numaraları	Uzunluk, km	Yol kotu, m	Yıllık Ortalama Günlük Trafik (YOGT)					20 yıllık toplam eşdeğer dingil yükü tekerar sayısı, milyon	İstasyonlar	Ortalama istasyon kotu, m	Ortalama istasyon enlemi	Maks. 7 günlük ortalama sıcaklık		Minimum sıcaklık	
					Otomobil	Or.yük.tic. taşıt	Otobüs	Kamyon	Tır					Sıcaklık, °C	Standart Sapma	Sıcaklık, °C	Standart Sapma
13	(Afyon-Antalya) Ayr,-İsparta-Ağlasun Ayr, Yolu	685-01	42	979	3639	327	202	744	224	26	7186, 6679	1,075	37,8	32,9	1,4	-11,0	2,3
13	(İsparta-Antalya) Ayr,-Çeltikçi Yolu	685-02	41	1061	735	77	10	241	15	6	7186	1,150	37,7	31,7	1,3	-11,3	1,9
13	Antalya-Kemer Yolu	400-09/1	42	85	9699	1166	370	1535	131	44	8880, 7710	430	36,8	36,1	1,4	- 2,0	1,1
13	Antalya-Alanya Yolu	400-10,11,12	138	39	15429	1811	998	1967	258	70	8364, 8717	500	36,8	37,4	2,5	- 3,1	1,4
14	Bursa-Gemlik-Orhangazi-Yalova Yolu	575-02	66	120	15860	2103	911	3403	2159	151	2169, 2171	66	40,5	33,5	1,7	- 5,3	2,8
14	(Bursa-Eskişehir) Ayr,-Bilecik-(Karamürsel-Pamukova) Ayr, Yolu	650-03	80	361	4579	538,3	307	2325	739	73	2019, 2351, 3149, 2980	431	40,2	32,8	1,8	-11,9	3,1
14	Karamürsel-(Pamukova-Bilecik) Ayr, Yolu	695-01,02,03,04	82	226	984,8	145	5	264	26	6	2175, 2351	95	40,4	34,8	2,4	- 5,8	2,5
14	(Bursa-Eskişehir) Ayr,-Kütahya Yolu	650-04,05,06	68	882	3163	298,5	280	1435	408	46	3891, 3336	965	39,7	31,2	2,2	-19,6	3,5
14	(Afyon-Uşak) Ayr,-Kütahya Yolu	650-07,08	84	1069	3400	445,5	303	1661	432	52	4777, 4774	1,005	39,1	32,1	1,6	-18,2	5,1
14	Balıkesir-Akhisar-İzmir Yolu Balıkesir-2,B1,Hd, Arası	565-07,08	47	212	5133	527,5	429	2540	737	77	3868, 4228, 4323	265	39,4	34,8	1,8	- 8,3	2,9

EK-1 (Devam) Seçilen bir yol ağı için yol bilgileri

TCK Bölgesi	Yolun Adı	Kontrol Kesim Numaraları	Uzunluk, km	Yol kotu, m	Yıllık Ortalama Günlük Trafik (YOGT)					20 yıllık toplam eşdeğer dingil yükü tekerar sayısı, milyon	İstasyonlar	Ortalama istasyon kotu, m	Ortalama istasyon enlemi	Maks. 7 günlük ortalama sıcaklık		Minimum sıcaklık	
					Otomobil	Or.yük.tic. taşıt	Otobüs	Kamyon	Tır					Sıcaklık, °C	Standart Sapma	Sıcaklık, °C	Standart Sapma
14	Karacabey-(Susurluk-Aksakal) Ayr, Yolu	573-01	36	56	7012	874,5	581	2934	782	93	2508, 2683	45	40,2	34,8	1,6	- 5,4	2,7
14	(Karacabey-Bandırma) Ayr,-Susurluk-Balıkesir Yolu	565-06	51	137	7499	936,5	589	2856	1017	95	3132, 3685	60	39,8	35,3	1,7	- 7,9	3,6
14	Bursa-Mudanya Yolu	575-05/0	22	124	18468	1400	50	732	171	25	2339	10	40,4	32,5	2,7	- 4,0	1,8
14	Bursa Çevre Otoyolu		54	158	12869	1458	767	4408	785	128	2169, 2339, 2508	12	40,3	32,7	3,9	- 4,4	2,0
14	Bursa-Karacabey-Bandırma Yolu	200-03,04,05	98	49	7362	724,5	226	1607	348	48	2508	15	40,2	33,8	5,1	- 5,3	2,4
14	Bursa-Uludağ Yolu	575-03/0	33	1124	1098	146	34	128	0	4	2973, 3146	568	40,0	33,7	1,6	-13,1	4,1
14	Bursa-İnegöl-Tavşanlı Ayr, Yolu	200-06/4	54	230	8012	907	467	2741	820	88	2973	335	40,1	33,7	1,6	-13,6	4,3
14	Bursa-Eskişehir Yolu Bozüyük-Tavşanlı Ayr, Arası	200-06,07	49	681	4812	546,5	345	1739	557	58	3146, 3149	813	40,0	31,0	1,6	-15,4	2,8
14	Bozüyük-Eskişehir Yolu	200-07,08	22	875	5124	689,5	490	2478	764	81	3520, 3336	950	39,8	32,2	1,2	-15,3	3,1
15	Ilgaz-Kurşunlu-15,Bl,Hd,Yolu	100-14	57	1102	2568	235	507	905	499	43	1405, 1251, 1723	758	40,9	33,9	1,7	-11,2	3,8

EK-1 (Devam) Seçilen bir yol ağı için yol bilgileri

TCK Bölgesi	Yolun Adı	Kontrol Kesim Numaraları	Uzunluk, km	Yol kotu, m	Yıllık Ortalama Günlük Trafik (YOGT)					20 yıllık toplam eşdeğer dingil yükü tekerar sayısı, milyon	İstasyonlar	Ortalama istasyon kotu, m	Ortalama istasyon enlemi	Maks. 7 günlük ortalama sıcaklık		Minimum sıcaklık	
					Otomobil	Or.yük.tic. taşıt	Otobüs	Kamyon	Tır					Sıcaklık, °C	Standart Sapma	Sıcaklık, °C	Standart Sapma
15	İlgaz-Tosya-15,Bl,Hd,Yolu	100-14,15	65	718	2528	218	460	938	491	42	1726, 983	503	41,0	30,6	1,3	-15,8	3,4
15	Devrek-Zonguldak Yolu	750-01	51	204	3764	530,5	93	668	95	19	962	100	41,2	33,3	1,4	- 5,5	2,9
16	Sivas-İmranlı-Refahiye-Erzincan Yolu	200-21,22,23,24	247	1548	1239	191,5	188	571	182	21	3219, 3407, 3231, 2885, 3237, 3794	1,377	39,9	32,4	1,4	-22,5	4,6
16	Erzincan-Üçdam-Tezcan Yolu	100-25,26	99	1327	1338	176	195	650	300	25	753, 3794	1,300	39,5	34,2	1,2	-20,6	3,9

EK-2 Seçilen bir yol ağı için gerekli bitüm performans sınıflarını belirleme tablosu

		%70 Güvenilirlik									%98 Güvenilirlik								
TCK Bölgesi	Yolun Adı	Maks. 7 günlük ort. hava sıcaklığı	Min. Ort. hava sıcaklığı	Maks. 7 günlük ort. kaplama sıcaklığı, °C, T_{200m}	Maks. 7 günlük ort. Kaplama yüzey sıcaklığı, °C, $T_{yüzey}$	Min ort. kaplama sıcaklığı	PG sınıfı	SPG sınıfı	BSK için bitüm sınıfı	Sathi kaplama için bitüm sınıfı	Maks. 7 günlük ort. hava sıcaklığı	Min ort. hava sıcaklığı	Maks. 7 günlük ort. kaplama sıcaklığı, °C, T_{200m}	Maks. 7 günlük ort. Kaplama yüzey sıcaklığı, °C, $T_{yüzey}$	Min ort. kaplama sıcaklığı	PG sınıfı	SPG sınıfı	BSK için bitüm sınıfı	Sathi kaplama için bitüm sınıfı
1	Eceabat-Gelibolu-Edirne İl Sınırı	31,1	-6,7	52,2	55,5	-4,08	PG 58-10	PG 58-10	50/70	160/220	33,2	-10,4	53,4	56,8	-7,23	PG 58-10	PG 58-10	50/70	160/220
1	Edirne İl Sınırı-Keşan-(İbriktepe-Uzunköprü) Ayr,Yolu	35,6	-11,0	56,5	60,0	-7,79	PG 58-10	PG 61-10	50/70	100/150	38,8	-14,1	58,5	62,2	-10,45	PG 64-16	PG 64-16	50/70	70/100
1	Edirne İl Sınırı-Keşan-İspala Sınır Kapısı Yolu	35,4	-10,4	56,3	59,8	-7,28	PG 58-10	PG 61-10	50/70	100/150	39,2	-13,9	58,9	62,6	-10,28	PG 64-16	PG 64-16	50/70	70/100
1	Şarköy-(Tekirdağ-Keşan) Ayr,Yolu	31,2	-9,4	52,3	55,6	-6,39	PG 58-10	PG 58-10	50/70	160/220	33,8	-14,0	53,8	57,2	-10,29	PG 58-16	PG 58-16	50/70	160/220
1	Edirne İl Sınırı-(Tekirdağ-Şarköy) Ayr, Yolu	32,9	-10,2	53,9	57,3	-7,07	PG 64-10	PG 58-10	50/70	160/220	35,9	-14,6	55,9	59,3	-10,82	PG 64-16	PG 61-16	50/70	100/150
1	(Gelibolu-Keşan) Ayr,-Şarköy Yolu	30,6	-8,6	51,7	55,0	-5,69	PG 52-10	PG 58-10	50/70	160/220	32,7	-11,6	52,8	56,2	-8,25	PG 58-10	PG 58-10	50/70	160/220
1	Tekirdağ-(Şarköy-Keşan) Ayr, Yolu	35,3	-12,9	56,2	59,7	-9,41	PG 64-10	PG 61-10	50/70	100/150	39,0	-20,6	58,8	62,4	-16,04	PG 70-22	PG 64-22	50/70 B 50/70 M	70/100
1	Tekirdağ-Hayrabolu-(İstanbul-Edirne) Ayr,Yolu	35,1	-11,7	56,0	59,5	-8,34	PG 58-10	PG 61-10	50/70	100/150	38,0	-17,7	57,7	61,3	-13,47	PG 58-16	PG 64-16	50/70	70/100

EK-2 (Devam) Seçilen bir yol ağı için gerekli bitüm performans sınıflarını belirleme tablosu

		%70 Güvenilirlik									%98 Güvenilirlik								
TCK Bölgesi	Yolun Adı	Maks. 7 günlük ort. hava sıcaklığı	Min. Ort. hava sıcaklığı	Maks. 7 günlük ort. kaplama sıcaklığı, °C, T _{20mm}	Maks. 7 günlük ort. Kaplama yüzey sıcaklığı, °C, T _{yüzey}	Min ort. kaplama sıcaklığı	PG sınıfı	SPG sınıfı	BSK için bitüm sınıfı	Sathi kaplama için bitüm sınıfı	Maks. 7 günlük ort. hava sıcaklığı	Min ort. hava sıcaklığı	Maks. 7 günlük ort. kaplama sıcaklığı, °C, T _{20mm}	Maks. 7 günlük ort. Kaplama yüzey sıcaklığı, °C, T _{yüzey}	Min ort. kaplama sıcaklığı	PG sınıfı	SPG sınıfı	BSK için bitüm sınıfı	Sathi kaplama için bitüm sınıfı
1	Tekirdağ-Murathı- (İstanbul-Edirne) Ayr,Yolu	33,8	-14,4	54,8	58,2	-10,64	PG 58-16	PG 61-16	50/70	100/150	35,1	-22,5	55,0	58,5	-17,59	PG 58-22	PG 61-22	50/70	100/150
1	Edirne-Hamzabeyli Sınır Kapısı	34,9	-11,3	55,8	59,3	-7,98	PG 58-10	PG 61-10	50/70	100/150	36,8	-14,3	56,4	60,0	-10,58	PG 58-16	PG 61-16	50/70	100/150
1	Babaeski- Kırıklareli Yolu	35,1	-9,9	56,0	59,5	-6,77	PG 58-10	PG 61-10	50/70	100/150	37,1	-13,5	56,8	60,3	-9,90	PG 58-10	PG 61-10	50/70	100/150
1	İstanbul-Silivri- Yolu	33,6	-13,8	54,6	58,0	-10,13	PG 64-16	PG 61-16	50/70	100/150	35,9	-21,7	55,8	59,2	-16,93	PG 64-22	PG 61-22	50/70	100/150
1	İstanbul Edirne Yolu Silivri-Çorlu Arası	33,2	-14,2	54,2	57,6	-10,49	PG 64-16	PG 58-16	50/70	160/220	35,5	-22,1	55,4	58,8	-17,28	PG 64-22	PG 61-22	50/70	100/150
1	İstanbul Edirne Yolu Çorlu- Lüleburgaz Arası	33,4	-13,0	54,3	57,8	-9,42	PG 64-10	PG 58-10	50/70	160/220	35,6	-20,2	55,4	58,9	-15,67	PG 64-16	PG 61-16	50/70	100/150
1	Lüleburgaz-Edirne- Kapıkule Sınır Kapısı Yolu	34,6	-11,2	55,5	59,0	-7,92	PG 58-10	PG 61-10	50/70	100/150	36,4	-14,5	56,2	59,7	-10,78	PG 58-16	PG 61-16	50/70	100/150
1	TEM İstanbul Edirne Otoyolu	33,6	-13,6	54,5	58,0	-10,00	PG 64-10	PG 58-10	50/70	160/220	35,7	-20,0	55,5	59,0	-15,52	PG 64-16	PG 61-16	50/70	100/150

EK-2 (Devam) Seçilen bir yol ağı için gerekli bitüm performans sınıflarını belirleme tablosu

		%70 Güvenilirlik									%98 Güvenilirlik								
TCK Bölgesi	Yolun Adı	Maks. 7 günlük ort. hava sıcaklığı	Min. Ort. hava sıcaklığı	Maks. 7 günlük ort. kaplama sıcaklığı, °C, T _{20mm}	Maks. 7 günlük ort. Kaplama yüzey sıcaklığı, °C, T _{yüzey}	Min ort. kaplama sıcaklığı	PG sınıfı	SPG sınıfı	BSK için bitüm sınıfı	Sathi kaplama için bitüm sınıfı	Maks. 7 günlük ort. hava sıcaklığı	Min ort. hava sıcaklığı	Maks. 7 günlük ort. kaplama sıcaklığı, °C, T _{20mm}	Maks. 7 günlük ort. Kaplama yüzey sıcaklığı, °C, T _{yüzey}	Min ort. kaplama sıcaklığı	PG sınıfı	SPG sınıfı	BSK için bitüm sınıfı	Sathi kaplama için bitüm sınıfı
1	(İstanbul-Edirne) Ayr,-Çerkezköy-Saray Yolu	32,6	-13,7	53,7	57,0	-10,09	PG 64-16	PG 58-16	50/70	160/220	34,9	-20,6	54,8	58,2	-16,01	PG 64-22	PG 61-22	50/70	100/150
1	B,Çekmece-Çatalca-(Saray-Kemerburgaz) Ayr,Yolu	32,5	-12,4	53,5	56,9	-8,95	PG 64-10	PG 58-10	50/70	160/220	34,9	-18,8	54,8	58,2	-14,41	PG 64-16	PG 61-16	50/70	100/150
1	Hasdal-Kemerburgaz-(Saray-Çatalca) Ayr, Yolu	29,5	-11,0	50,7	53,9	-7,73	PG 52-10	PG 55-10	50/70	160/220	32,3	-15,5	52,3	55,6	-11,59	PG 58-16	PG 58-16	50/70	160/220
1	Pendik-Şile Yolu	32,4	-8,6	53,5	56,8	-5,66	PG 64-10	PG 58-10	50/70	160/220	34,0	-13,2	54,0	57,4	-9,62	PG 64-10	PG 58-10	50/70	160/220
1	Şile-Kandıra-Kaynarca Yolu	32,0	-8,5	53,0	56,4	-5,61	PG 58-10	PG 58-10	50/70	160/220	34,5	-13,0	54,4	57,9	-9,49	PG 58-10	PG 58-10	50/70	160/220
1	İzmit-Kandıra-Kefken Yolu	32,7	-8,1	53,8	57,1	-5,29	PG 58-10	PG 58-10	50/70	160/220	35,7	-12,5	55,6	59,1	-9,01	PG 58-10	PG 61-10	50/70	100/150
1	Kaynarca-Karasu-Kocaali Yolu	31,0	-6,6	52,1	55,4	-3,95	PG 58-10	PG 58-10	50/70	160/220	32,7	-10,4	52,8	56,1	-7,22	PG 58-10	PG 58-10	50/70	160/220
1	Adapazarı-Karasu Yolu	33,8	-6,2	54,8	58,2	-3,65	PG 58-10	PG 61-10	50/70	100/150	36,9	-9,9	56,8	60,3	-6,83	PG 58-10	PG 61-10	50/70	100/150

EK-2 (Devam) Seçilen bir yol ağı için gerekli bitüm performans sınıflarını belirleme tablosu

		%70 Güvenilirlik									%98 Güvenilirlik								
TCK Bölgesi	Yolun Adı	Maks. 7 günlük ort. hava sıcaklığı	Min. Ort. hava sıcaklığı	Maks. 7 günlük ort. kaplama sıcaklığı, °C, T _{20mm}	Maks. 7 günlük ort. Kaplama yüzey sıcaklığı, °C, T _{yüzey}	Min ort. kaplama sıcaklığı	PG sınıfı	SPG sınıfı	BSK için bitüm sınıfı	Sathi kaplama için bitüm sınıfı	Maks. 7 günlük ort. hava sıcaklığı	Min ort. hava sıcaklığı	Maks. 7 günlük ort. kaplama sıcaklığı, °C, T _{20mm}	Maks. 7 günlük ort. Kaplama yüzey sıcaklığı, °C, T _{yüzey}	Min ort. kaplama sıcaklığı	PG sınıfı	SPG sınıfı	BSK için bitüm sınıfı	Sathi kaplama için bitüm sınıfı
1	Kaynarca-(Adapazarı-Karasu) Ayr, Yolu	32,6	-7,1	53,6	57,0	-4,40	PG 58-10	PG 58-10	50/70	160/220	35,5	-11,3	55,5	59,0	-8,03	PG 58-10	PG 61-10	50/70	100/150
1	İzmit-Altınova-Yalova Yolu	30,7	-5,9	51,8	55,1	-3,38	PG 58-10	PG 58-10	50/70	160/220	32,3	-8,7	52,4	55,7	-5,77	PG 64-10	PG 58-10	50/70	160/220
1	Adapazarı-Pamukova-(Karamürsel-Bilecik) Ayr,Yolu	35,2	-9,9	56,1	59,6	-6,79	PG 64-10	PG 61-10	50/70	100/150	38,1	-15,2	58,0	61,6	-11,32	PG 70-16	PG 64-16	50/70 B 50/70 M	70/100
1	(Adapazarı-Pamukova) Ayr,-Taraklı-4,BI,Hd,Yolu	32,7	-10,8	53,8	57,1	-7,61	PG 58-10	PG 58-10	50/70	160/220	35,0	-13,1	55,1	58,6	-9,58	PG 58-10	PG 61-10	50/70	100/150
1	(Adapazarı-Hendek) Ayr,-Karapürçek	33,5	-9,8	54,5	57,9	-6,76	PG 64-10	PG 58-10	50/70	160/220	35,2	-13,8	55,2	58,7	-10,18	PG 64-16	PG 61-16	50/70	100/150
1	Karapürçek-Dokurcun-4,BI,Hd,Yolu	33,5	-9,9	54,5	57,9	-6,76	PG 58-10	PG 58-10	50/70	160/220	35,2	-13,8	55,2	58,7	-10,19	PG 58-16	PG 61-16	50/70	100/150
1	Ankara-İstanbul Devlet Yolu Gebze-Adapazarı Arası	33,6	-2,5	54,6	58,0	-0,45	PG 64-10	PG 61-10	50/70	100/150	39,4	-6,4	59,2	62,8	-3,80	PG 70-10	PG 64-10	50/70 B 50/70 M	70/100
1	Ankara-İstanbul Devlet Yolu Adapazarı-Hendek-4,BI,Hd, Arası	34,9	-7,8	55,8	59,3	-5,04	PG 64-10	PG 61-10	50/70	100/150	39,1	-11,1	58,9	62,5	-7,80	PG 70-10	PG 64-10	50/70 B 50/70 M	70/100

EK-2 (Devam) Seçilen bir yol ağı için gerekli bitüm performans sınıflarını belirleme tablosu

		%70 Güvenilirlik								%98 Güvenilirlik									
TCK Bölgesi	Yolun Adı	Maks. 7 günlük ort. hava sıcaklığı	Min. Ort. hava sıcaklığı	Maks. 7 günlük ort. kaplama sıcaklığı, °C, T _{200mm}	Maks. 7 günlük ort. Kaplama yüzey sıcaklığı, °C, T _{yüzey}	Min ort. kaplama sıcaklığı	PG sınıfı	SPG sınıfı	BSK için bitüm sınıfı	Sathi kaplama için bitüm sınıfı	Maks. 7 günlük ort. hava sıcaklığı	Min ort. hava sıcaklığı	Maks. 7 günlük ort. kaplama sıcaklığı, °C, T _{200mm}	Maks. 7 günlük ort. Kaplama yüzey sıcaklığı, °C, T _{yüzey}	Min ort. kaplama sıcaklığı	PG sınıfı	SPG sınıfı	BSK için bitüm sınıfı	Sathi kaplama için bitüm sınıfı
1	Ankara-İstanbul Otoyolu İstanbul-4,BI,Hd, Arası	33,9	-7,3	54,9	58,3	-4,57	PG 64-10	PG 61-10	50/70	100/150	38,4	-10,8	58,3	61,9	-7,61	PG 70-10	PG 64-10	50/70 B 50/70 M	70/100
2	Manisa-Balıkesir Yolu Akhisar-Gelembe-4,BI,Hd,Arası	36,4	-8,5	57,3	60,8	-5,57	PG 64-10	PG 61-10	50/70	100/150	39,1	-12,1	59,3	63,0	-8,73	PG 70-10	PG 64-10	50/70 B 50/70 M	70/100
2	Manisa- Akhisar Yolu	38,8	-7,0	59,5	63,2	-4,34	PG 70-10	PG 64-10	50/70 B 50/70 M	70/100	40,5	-9,6	60,8	64,5	-6,53	PG 70-10	PG 67-10	50/70 B 50/70 M	70/100 B
2	İzmir-Manisa Yolu	36,9	-8,2	57,7	61,3	-5,37	PG 64-10	PG 64-10	50/70	70/100	39,0	-11,1	59,4	63,1	-7,79	PG 70-10	PG 64-10	50/70 B 50/70 M	70/100
2	Manisa-(İzmir-Aliğa) Ayr, Yolu	37,9	-5,7	58,7	62,3	-3,18	PG 70-10	PG 64-10	50/70 B 50/70 M	70/100	40,0	-8,3	60,3	64,0	-5,47	PG 70-10	PG 67-10	50/70 B 50/70 M	70/100 B
2	Manisa-(İzmir-Salihli) Ayr, Yolu	39,3	-5,8	60,0	63,7	-3,31	PG 70-10	PG 64-10	50/70 B 50/70 M	70/100	41,4	-8,7	61,7	65,5	-5,74	PG 70-10	PG 67-10	50/70 B 50/70 M	70/100 B
2	İzmir-Aliğa Yolu	34,9	-3,9	55,8	59,3	-1,65	PG 64-10	PG 61-10	50/70	100/150	37,4	-6,5	57,8	61,3	-3,90	PG 64-10	PG 64-10	50/70	70/100
2	Ayvalık-Gömeç-(Edremit-Balıkesir) Ayr, Yolu	37,2	-6,2	58,0	61,6	-3,64	PG 58-10	PG 64-10	50/70	70/100	40,1	-8,7	60,2	63,9	-5,74	PG 64-10	PG 64-10	50/70	70/100

EK-2 (Devam) Seçilen bir yol ağı için gerekli bitüm performans sınıflarını belirleme tablosu

		%70 Güvenilirlik									%98 Güvenilirlik								
TCK Bölgesi	Yolun Adı	Maks. 7 günlük ort. hava sıcaklığı	Min. Ort. hava sıcaklığı	Maks. 7 günlük ort. kaplama sıcaklığı, °C, T _{20mm}	Maks. 7 günlük ort. Kaplama yüzey sıcaklığı, °C, T _{yüzey}	Min ort. kaplama sıcaklığı	PG sınıfı	SPG sınıfı	BSK için bitüm sınıfı	Sathi kaplama için bitüm sınıfı	Maks. 7 günlük ort. hava sıcaklığı	Min ort. hava sıcaklığı	Maks. 7 günlük ort. kaplama sıcaklığı, °C, T _{20mm}	Maks. 7 günlük ort. Kaplama yüzey sıcaklığı, °C, T _{yüzey}	Min ort. kaplama sıcaklığı	PG sınıfı	SPG sınıfı	BSK için bitüm sınıfı	Sathi kaplama için bitüm sınıfı
2	(Bergama-İzmir) Ayr,-Ayvalık Yolu	37,0	-6,6	57,8	61,4	-3,97	PG 58-10	PG 64-10	50/70	70/100	39,7	-8,7	59,9	63,6	-5,80	PG 64-10	PG 64-10	50/70	70/100
2	Aliağa-(Bergama-Ayvalık) Ayr. Yolu	37,3	-4,1	58,1	61,7	-1,83	PG 70-10	PG 64-10	50/70 B 50/70 M	70/100	40,0	-6,7	60,2	63,9	-4,03	PG 70-10	PG 64-10	50/70 B 50/70 M	70/100
2	İzmir-Çeşme Otoyolu	34,6	-3,4	55,5	59,0	-1,22	PG 58-10	PG 61-10	50/70	100/150	38,8	-5,3	59,3	62,9	-2,88	PG 64-10	PG 64-10	50/70	70/100
2	Güzelbahçe-Çeşme Devlet Yolu	34,9	-3,1	55,8	59,3	-0,96	PG 58-10	PG 61-10	50/70	100/150	39,1	-5,0	59,5	63,2	-2,61	PG 64-10	PG 64-10	50/70	70/100
2	İzmir-Aydın Otoyolu	38,6	-5,5	59,3	63,0	-3,00	PG 70-10	PG 64-10	50/70 B 50/70 M	70/100	42,1	-7,8	62,4	66,2	-5,02	PG 70-10	PG 67-10	50/70 B 50/70 M	70/100 B
2	İzmir-Aydın Devlet Yolu Menderes Ayr,-Selçuk Arası	39,0	-4,9	59,8	63,4	-2,50	PG 70-10	PG 64-10	50/70 B 50/70 M	70/100	42,8	-7,3	63,1	67,0	-4,56	PG 70-10	PG 67-10	50/70 B 50/70 M	70/100 B
2	Selçuk-Germencik-Aydın Yolu	38,7	-5,5	59,5	63,1	-3,06	PG 64-10	PG 64-10	50/70	70/100	41,2	-7,8	61,6	65,4	-4,98	PG 64-10	PG 67-10	50/70	70/100 B
2	Selçuk-Kuşadası-Söke-(İzmir-Aydın) Ayr. Yolu	37,2	-4,4	58,0	61,6	-2,04	PG 58-10	PG 64-10	50/70	70/100	40,7	-6,7	61,1	64,9	-4,06	PG 64-10	PG 67-10	50/70	70/100 B

EK-2 (Devam) Seçilen bir yol ağı için gerekli bitüm performans sınıflarını belirleme tablosu

		%70 Güvenilirlik									%98 Güvenilirlik								
TCK Bölgesi	Yolun Adı	Maks. 7 günlük ort. hava sıcaklığı	Min. Ort. hava sıcaklığı	Maks. 7 günlük ort. kaplama sıcaklığı, °C, T_{200m}	Maks. 7 günlük ort. Kaplama yüzey sıcaklığı, °C, $T_{yüzey}$	Min ort. kaplama sıcaklığı	PG sınıfı	SPG sınıfı	BSK için bitüm sınıfı	Sathi kaplama için bitüm sınıfı	Maks. 7 günlük ort. hava sıcaklığı	Min ort. hava sıcaklığı	Maks. 7 günlük ort. kaplama sıcaklığı, °C, T_{200m}	Maks. 7 günlük ort. Kaplama yüzey sıcaklığı, °C, $T_{yüzey}$	Min ort. kaplama sıcaklığı	PG sınıfı	SPG sınıfı	BSK için bitüm sınıfı	Sathi kaplama için bitüm sınıfı
2	Aydın-Çine Yolu	37,0	-4,6	57,8	61,4	-2,24	PG 64-10	PG 64-10	50/70	70/100	40,4	-6,9	60,9	64,7	-4,25	PG 70-10	PG 67-10	50/70 B 50/70 M	70/100 B
2	Çine-Yatağan-Muğla-(Marmaris-Köyceğiz) Ayr. Yolu	39,7	-5,8	60,4	64,1	-3,28	PG 64-10	PG 67-10	50/70	70/100 B	42,2	-8,5	62,7	66,5	-5,62	PG 64-10	PG 67-10	50/70	70/100 B
2	Yatağan-Milas-Bodrum-Turgutreis Yolu	37,3	-5,8	58,1	61,7	-3,30	PG 64-10	PG 64-10	50/70	70/100	40,0	-7,4	60,6	64,4	-4,68	PG 64-10	PG 67-10	50/70	70/100 B
2	Aydın-Denizli Yolu	42,6	-2,3	63,1	67,0	-0,29	PG 70-10	PG 67-10	50/70 B 50/70 M	70/100 B	45,7	-4,6	65,9	69,9	-2,24	PG 76-10	PG 70-10	50/70 M	70/100 B
2	İzmir-Salihli Yolu	37,9	-6,8	58,7	62,3	-4,12	PG 70-10	PG 64-10	50/70 B 50/70 M	70/100	40,3	-9,7	60,6	64,3	-6,66	PG 70-10	PG 67-10	50/70 B 50/70 M	70/100 B
2	Salihli-Uşak Yolu	36,5	-9,1	57,3	60,9	-6,15	PG 64-10	PG 61-10	50/70	100/150	39,5	-12,9	59,8	63,5	-9,35	PG 70-10	PG 64-10	50/70 B 50/70 M	70/100
2	Uşak-Afyon Yolu	32,7	-14,7	53,8	57,1	-10,95	PG 64-16	PG 58-16	50/70	160/220	34,2	-18,3	54,7	58,1	-14,02	PG 64-16	PG 61-16	50/70	100/150
3	Ankara-Adana-Yolu Kulu Ayr.-Aksaray Arası	34,4	-16,5	55,3	58,8	-12,49	PG 64-16	PG 61-16	50/70	100/150	36,3	-22,0	56,8	60,3	-17,19	PG 64-22	PG 61-22	50/70	100/150

EK-2 (Devam) Seçilen bir yol ağı için gerekli bitüm performans sınıflarını belirleme tablosu

		%70 Güvenilirlik									%98 Güvenilirlik								
TCK Bölgesi	Yolun Adı	Maks. 7 günlük ort. hava sıcaklığı	Min. Ort. hava sıcaklığı	Maks. 7 günlük ort. kaplama sıcaklığı, °C, T_{200m}	Maks. 7 günlük ort. Kaplama yüzey sıcaklığı, °C, $T_{yüzey}$	Min ort. kaplama sıcaklığı	PG sınıfı	SPG sınıfı	BSK için bitüm sınıfı	Sathi kaplama için bitüm sınıfı	Maks. 7 günlük ort. hava sıcaklığı	Min ort. hava sıcaklığı	Maks. 7 günlük ort. kaplama sıcaklığı, °C, T_{200m}	Maks. 7 günlük ort. Kaplama yüzey sıcaklığı, °C, $T_{yüzey}$	Min ort. kaplama sıcaklığı	PG sınıfı	SPG sınıfı	BSK için bitüm sınıfı	Sathi kaplama için bitüm sınıfı
3	Ankara-Adana-Yolu Aksaray-Pozantı Arası	32,4	-19,8	53,4	56,8	-15,28	PG 64-16	PG 58-16	50/70	160/220	34,4	-25,2	55,2	58,6	-19,99	PG 64-22	PG 61-22	50/70	100/150
3	Konya-Cihanbeyli Yolu	32,2	-22,2	53,3	56,6	-17,39	PG 58-22	PG 58-22	50/70	160/220	33,2	-27,9	53,9	57,3	-22,31	PG 58-28	PG 58-28	70/100 B 100/150 M	160/220
3	Cihanbeyli-Kulu-(Ankara-Adana) Ayr. Yolu	33,0	-20,0	54,0	57,4	-15,47	PG 58-16	PG 58-16	50/70	160/220	33,7	-24,6	54,2	57,6	-19,43	PG 58-22	PG 58-22	50/70	160/220
3	Konya-Ereğli-Çakmak-(Ankara-Adana) Ayr. Yolu	33,9	-19,0	54,8	58,3	-14,63	PG 64-16	PG 61-16	50/70	100/150	35,9	-24,4	56,7	60,2	-19,28	PG 64-22	PG 61-22	50/70	100/150
3	Konya-Akşehir Yolu	34,0	-18,6	55,0	58,4	-14,27	PG 64-16	PG 61-16	50/70	100/150	37,3	-24,2	57,8	61,4	-19,07	PG 64-22	PG 64-22	50/70	70/100
3	Akşehir-Afyon Yolu	33,2	-16,2	54,2	57,6	-12,22	PG 64-16	PG 58-16	50/70	160/220	36,5	-21,4	57,0	60,5	-16,68	PG 64-22	PG 61-22	50/70	100/150
3	(Afyon-Uşak) Ayr.-Sandıklı Yolu	32,1	-20,0	53,1	56,5	-15,52	PG 64-16	PG 58-16	50/70	160/220	34,4	-26,4	55,0	58,4	-20,96	PG 64-22	PG 61-22	50/70	100/150
4	Afyon-Sivrihisar Yolu	32,9	-19,8	53,9	57,3	-15,33	PG 64-16	PG 58-16	50/70	160/220	35,0	-26,1	55,5	58,9	-20,70	PG 64-22	PG 61-22	50/70	100/150

EK-2 (Devam) Seçilen bir yol ağı için gerekli bitüm performans sınıflarını belirleme tablosu

TCK Bölgesi	Yolun Adı	%70 Güvenilirlik									%98 Güvenilirlik								
		Maks. 7 günlük ort. hava sıcaklığı	Min. Ort. hava sıcaklığı	Maks. 7 günlük ort. kaplama sıcaklığı, °C, T_{200m}	Maks. 7 günlük ort. Kaplama yüzey sıcaklığı, °C, $T_{yüzey}$	Min ort. kaplama sıcaklığı	PG sınıfı	SPG sınıfı	BSK için bitüm sınıfı	Sathi kaplama için bitüm sınıfı	Maks. 7 günlük ort. hava sıcaklığı	Min ort. hava sıcaklığı	Maks. 7 günlük ort. kaplama sıcaklığı, °C, T_{200m}	Maks. 7 günlük ort. Kaplama yüzey sıcaklığı, °C, $T_{yüzey}$	Min ort. kaplama sıcaklığı	PG sınıfı	SPG sınıfı	BSK için bitüm sınıfı	Sathi kaplama için bitüm sınıfı
4	Sivrihisar-Ankara Yolu	33,6	-14,2	54,6	58,0	-10,51	PG 64-16	PG 58-16	50/70	160/220	35,8	-19,6	56,1	59,6	-15,13	PG 64-16	PG 61-16	50/70	100/150
4	(Sivrihisar-Eskişehir) Ayr.,-Mahmudiye-Çifteler-(Sivrihisar-Afyon) Ayr. Yolu	34,4	-19,1	55,3	58,8	-14,73	PG 58-16	PG 61-16	50/70	100/150	37,6	-25,3	57,8	61,4	-19,99	PG 58-22	PG 64-22	50/70	70/100
4	Sivrihisar-Eskişehir Yolu Sivrihisar-Mahmudiye Ayr. Arası	33,3	-19,6	54,3	57,7	-15,10	PG 64-16	PG 58-16	50/70	160/220	36,4	-25,3	56,6	60,1	-20,06	PG 64-22	PG 61-22	50/70	100/150
4	Sivrihisar-Eskişehir Yolu Eskişehir-Mahmudiye Ayr. Arası	34,7	-17,1	55,6	59,1	-12,95	PG 64-16	PG 61-16	50/70	100/150	37,1	-23,5	57,3	60,9	-18,49	PG 64-22	PG 61-22	50/70	100/150
4	Ankara-Kızılcahamam Yolu	35,3	-14,8	56,2	59,7	-10,99	PG 64-16	PG 61-16	50/70	100/150	38,0	-20,0	58,0	61,6	-15,46	PG 70-16	PG 64-16	50/70 B 50/70 M	70/100
4	Kızılcahamam-Gerede Yolu	31,7	-15,8	52,7	56,1	-11,85	PG 64-16	PG 58-16	50/70	160/220	34,1	-20,2	54,2	57,6	-15,66	PG 64-16	PG 58-16	50/70	160/220
4	Gerede-Bolu-Kaynaşlı Yolu	27,9	-18,5	49,2	52,3	-14,22	PG 58-16	PG 55-16	50/70	160/220	30,6	-22,8	50,8	54,1	-17,90	PG 58-22	PG 55-22	50/70	160/220

EK-2 (Devam) Seçilen bir yol ağı için gerekli bitüm performans sınıflarını belirleme tablosu

		%70 Güvenilirlik									%98 Güvenilirlik								
TCK Bölgesi	Yolun Adı	Maks. 7 günlük ort. hava sıcaklığı	Min. Ort. hava sıcaklığı	Maks. 7 günlük ort. kaplama sıcaklığı, °C, T_{200mm}	Maks. 7 günlük ort. Kaplama yüzey sıcaklığı, °C, $T_{yüzey}$	Min ort. kaplama sıcaklığı	PG sınıfı	SPG sınıfı	BSK için bitüm sınıfı	Sathi kaplama için bitüm sınıfı	Maks. 7 günlük ort. hava sıcaklığı	Min ort. hava sıcaklığı	Maks. 7 günlük ort. kaplama sıcaklığı, °C, T_{200mm}	Maks. 7 günlük ort. Kaplama yüzey sıcaklığı, °C, $T_{yüzey}$	Min ort. kaplama sıcaklığı	PG sınıfı	SPG sınıfı	BSK için bitüm sınıfı	Sathi kaplama için bitüm sınıfı
4	Kaynaşlı-Düzce-Ky,1,BI,Hd, Yolu	34,2	-7,6	55,2	58,6	-4,84	PG 64-10	PG 61-10	50/70	100/150	37,0	-9,8	56,9	60,5	-6,73	PG 64-10	PG 61-10	50/70	100/150
4	Gerede-Çerkeş-4,BI,Hd,Yolu	28,9	-19,0	50,1	53,3	-14,62	PG 58-16	PG 55-16	50/70	160/220	31,3	-24,0	51,5	54,8	-18,92	PG 58-22	PG 55-22	50/70	160/220
4	Kırıkkale-Delice Yolu Kırıkkale-Balışeyh-4,BI,Hd,Arası	34,3	-17,6	55,3	58,7	-13,43	PG 64-16	PG 61-16	50/70	100/150	35,5	-22,8	55,7	59,1	-17,87	PG 64-22	PG 61-22	50/70	100/150
4	Ankara-Yenikent-Ayaş Yolu	34,5	-14,2	55,4	58,9	-10,51	PG 64-16	PG 61-16	50/70	100/150	37,3	-19,1	57,4	61,0	-14,70	PG 64-16	PG 61-16	50/70	100/150
4	Ankara-Akyurt Yolu	32,4	-19,3	53,4	56,8	-14,87	PG 64-16	PG 58-16	50/70	160/220	34,3	-25,5	54,5	57,9	-20,24	PG 64-22	PG 58-22	50/70	160/220
4	Düzce-Akçakoca Yolu	28,7	-8,3	49,9	53,1	-5,46	PG 58-10	PG 55-10	50/70	160/220	30,4	-11,5	50,6	53,8	-8,17	PG 58-10	PG 55-10	50/70	160/220
4	Akçakoca-Kocaali Yolu	30,4	-6,6	51,5	54,8	-3,94	PG 52-10	PG 55-10	50/70	160/220	32,2	-9,7	52,2	55,6	-6,65	PG 58-10	PG 58-10	50/70	160/220
4	Ankara-Adana-Yolu Ankara-Kulu Ayr, Arası	33,0	-12,8	54,0	57,4	-9,30	PG 64-10	PG 58-10	50/70	160/220	35,3	-16,2	55,6	59,1	-12,26	PG 64-16	PG 61-16	50/70	100/150

EK-2 (Devam) Seçilen bir yol ağı için gerekli bitüm performans sınıflarını belirleme tablosu

		%70 Güvenilirlik									%98 Güvenilirlik								
TCK Bölgesi	Yolun Adı	Maks. 7 günlük ort. hava sıcaklığı	Min. Ort. hava sıcaklığı	Maks. 7 günlük ort. kaplama sıcaklığı, °C, T _{200m}	Maks. 7 günlük ort. Kaplama yüzey sıcaklığı, °C, T _{yüzey}	Min ort. kaplama sıcaklığı	PG sınıfı	SPG sınıfı	BSK için bitüm sınıfı	Sathi kaplama için bitüm sınıfı	Maks. 7 günlük ort. hava sıcaklığı	Min ort. hava sıcaklığı	Maks. 7 günlük ort. kaplama sıcaklığı, °C, T _{200m}	Maks. 7 günlük ort. Kaplama yüzey sıcaklığı, °C, T _{yüzey}	Min ort. kaplama sıcaklığı	PG sınıfı	SPG sınıfı	BSK için bitüm sınıfı	Sathi kaplama için bitüm sınıfı
4	Ankara-Kırıkkale Yolu	33,9	-12,6	54,9	58,3	-9,13	PG 64-10	PG 61-10	50/70	100/150	37,3	-16,2	57,5	61,0	-12,19	PG 64-16	PG 64-16	50/70	70/100
4	Kırıkkale-Keskin-Kırşehir Yolu	34,4	-19,6	55,3	58,8	-15,11	PG 64-16	PG 61-16	50/70	100/150	36,0	-25,9	56,4	59,9	-20,55	PG 64-22	PG 61-22	50/70	100/150
4	Ankara çevre yolu	35,8	-14,0	56,7	60,2	-10,34	PG 64-16	PG 61-16	50/70	100/150	38,8	-19,3	58,8	62,5	-14,88	PG 70-16	PG 64-16	50/70 B 50/70 M	70/100
5	Pozantı-(Adana-Tarsus) Ayr, Yolu	32,7	-8,3	53,7	57,1	-5,42	PG 64-10	PG 58-10	50/70	160/220	36,3	-12,3	57,2	60,7	-8,89	PG 64-10	PG 61-10	50/70	100/150
5	Silifke-Erdemli-İçel-Adana-Osmaniye Yolu	39,1	0,0	59,9	63,5	1,70	PG 70-10	PG 64-10	50/70 B 50/70 M	70/100	42,4	-3,6	63,0	66,9	-1,39	PG 70-10	PG 67-10	50/70 B 50/70 M	70/100 B
5	Osmaniye-Nurdağı Yolu	36,7	-5,8	57,5	61,1	-3,32	PG 64-10	PG 64-10	50/70	70/100	39,0	-8,6	59,8	63,5	-5,68	PG 70-10	PG 64-10	50/70 B 50/70 M	70/100
5	Nurdağı-Gaziantep Yolu	38,2	-10,3	59,0	62,6	-7,16	PG 70-10	PG 64-10	50/70 B 50/70 M	70/100	39,9	-14,3	60,6	64,3	-10,60	PG 70-16	PG 67-16	50/70 B 50/70 M	70/100 B
5	Osmaniye-İskenderun-(Kırıkhan-Hatay) Ayr, Yolu / Otoyolu	40,9	-1,2	61,5	65,3	0,64	PG 70-10	PG 67-10	50/70 B 50/70 M	70/100 B	43,1	-3,3	63,8	67,6	-1,11	PG 70-10	PG 70-10	50/70 B 50/70 M	70/100 B

EK-2 (Devam) Seçilen bir yol ağı için gerekli bitüm performans sınıflarını belirleme tablosu

TCK Bölgesi	Yolun Adı	%70 Güvenilirlik									%98 Güvenilirlik								
		Maks. 7 günlük ort. hava sıcaklığı	Min. Ort. hava sıcaklığı	Maks. 7 günlük ort. kaplama sıcaklığı, °C, T_{200m}	Maks. 7 günlük ort. Kaplama yüzey sıcaklığı, °C, $T_{yüzey}$	Min ort. kaplama sıcaklığı	PG sınıfı	SPG sınıfı	BSK için bitüm sınıfı	Sathi kaplama için bitüm sınıfı	Maks. 7 günlük ort. hava sıcaklığı	Min ort. hava sıcaklığı	Maks. 7 günlük ort. kaplama sıcaklığı, °C, T_{200m}	Maks. 7 günlük ort. Kaplama yüzey sıcaklığı, °C, $T_{yüzey}$	Min ort. kaplama sıcaklığı	PG sınıfı	SPG sınıfı	BSK için bitüm sınıfı	Sathi kaplama için bitüm sınıfı
5	Kırıkhan-Hatay Yolu	40,2	-2,7	60,8	64,6	-0,64	PG 70-10	PG 67-10	50/70 B 50/70 M	70/100 B	42,3	-4,7	63,0	66,8	-2,36	PG 70-10	PG 67-10	50/70 B 50/70 M	70/100 B
5	Kırıkhan-Reyhanlı-Suriye Sınırı Yolu	41,1	-2,4	61,7	65,5	-0,38	PG 64-10	PG 67-10	50/70	70/100 B	43,2	-4,7	63,9	67,7	-2,31	PG 64-10	PG 70-10	50/70	70/100 B
5	Pozantı-Yenice Otoyolu	32,7	-8,3	53,7	57,1	-5,40	PG 64-10	PG 58-10	50/70	160/220	36,4	-12,3	57,2	60,8	-8,86	PG 64-10	PG 61-10	50/70	100/150
5	Mersin-Osmaniye Otoyolu	39,1	0,0	59,9	63,5	1,70	PG 70-10	PG 64-10	50/70 B 50/70 M	70/100	42,4	-3,6	63,0	66,9	-1,38	PG 70-10	PG 67-10	50/70 B 50/70 M	70/100 B
5	Osmaniye-Nurdağı Yolu / Otoyolu	36,7	-5,8	57,5	61,1	-3,32	PG 64-10	PG 64-10	50/70	70/100	39,0	-8,6	59,8	63,5	-5,68	PG 70-10	PG 64-10	50/70 B 50/70 M	70/100
5	Nurdağı-Gaziantep Otoyolu	38,2	-10,3	59,0	62,6	-7,17	PG 70-10	PG 64-10	50/70 B 50/70 M	70/100	39,9	-14,3	60,6	64,3	-10,60	PG 70-16	PG 67-16	50/70 B 50/70 M	70/100 B
6	Kırşehir-Mucur-Himmetdede-Kayseri Devlet Yolu	32,9	-18,8	53,9	57,3	-14,42	PG 64-16	PG 58-16	50/70	160/220	34,9	-24,8	55,4	58,8	-19,57	PG 64-22	PG 61-22	50/70	100/150
6	(Kayseri-Himmetdede) Ayr.-Niğde Yolu	33,7	-19,2	54,7	58,1	-14,76	PG 58-16	PG 61-16	50/70	100/150	35,5	-24,8	56,1	59,6	-19,58	PG 58-22	PG 61-22	50/70	100/150

EK-2 (Devam) Seçilen bir yol ağı için gerekli bitüm performans sınıflarını belirleme tablosu

		%70 Güvenilirlik									%98 Güvenilirlik								
TCK Bölgesi	Yolun Adı	Maks. 7 günlük ort. hava sıcaklığı	Min. Ort. hava sıcaklığı	Maks. 7 günlük ort. kaplama sıcaklığı, °C, T _{20mm}	Maks. 7 günlük ort. Kaplama yüzey sıcaklığı, °C, T _{yüzey}	Min ort. kaplama sıcaklığı	PG sınıfı	SPG sınıfı	BSK için bitüm sınıfı	Sathi kaplama için bitüm sınıfı	Maks. 7 günlük ort. hava sıcaklığı	Min ort. hava sıcaklığı	Maks. 7 günlük ort. kaplama sıcaklığı, °C, T _{20mm}	Maks. 7 günlük ort. Kaplama yüzey sıcaklığı, °C, T _{yüzey}	Min ort. kaplama sıcaklığı	PG sınıfı	SPG sınıfı	BSK için bitüm sınıfı	Sathi kaplama için bitüm sınıfı
6	Niğde-Kemerhisar-(Ulukışla-Pozantı) Ayr, Yolu	31,4	-20,9	52,5	55,8	-16,27	PG 58-22	PG 58-22	50/70	160/220	32,3	-27,9	53,1	56,5	-22,29	PG 58-28	PG 58-28	70/100 B 100/150 M	160/220
6	Niğde-Bor-(Ulukışla-Ankara) Ayr, Yolu	34,1	-18,2	55,1	58,5	-13,95	PG 58-16	PG 61-16	50/70	100/150	35,0	-25,2	55,7	59,2	-19,97	PG 58-22	PG 61-22	50/70	100/150
6	Kayseri-(Himmetdede-Adana) Ayr, Yolu	35,9	-16,9	56,8	60,3	-12,82	PG 64-16	PG 61-16	50/70	100/150	38,7	-24,2	59,1	62,7	-19,05	PG 70-22	PG 64-22	50/70 B 50/70 M	70/100
6	Kayseri-Sivas Yolu Kayseri-Bünyan Ayr, Arası	33,9	-18,7	54,8	58,3	-14,39	PG 64-16	PG 61-16	50/70	100/150	35,3	-23,0	55,8	59,2	-18,03	PG 64-22	PG 61-22	50/70	100/150
6	Kayseri-Sivas Yolu Bünyan Ayr,-16,BI,Hd, Arası	33,4	-23,8	54,3	57,8	-18,76	PG 58-22	PG 58-22	50/70	160/220	35,2	-30,0	55,7	59,2	-24,06	PG 58-28	PG 61-28	70/100 B 100/150 M	100/150
6	(Kırıkkale-Delice) Ayr,-Yerköy Yolu	36,8	-16,7	57,6	61,2	-12,64	PG 58-16	PG 64-16	50/70	70/100	39,4	-22,7	59,5	63,1	-17,83	PG 64-22	PG 64-22	50/70	70/100
6	Yerköy-Yozgat-Sorgun-Kayseri Ayr, Yolu	31,1	-18,4	52,2	55,5	-14,10	PG 58-16	PG 58-16	50/70	160/220	33,6	-23,3	53,9	57,3	-18,33	PG 58-22	PG 58-22	50/70	160/220
7	Çorum-Sungurlu-4,BI,Hd,Yolu	34,0	-19,8	54,9	58,4	-15,27	PG 64-16	PG 61-16	50/70	100/150	36,1	-26,6	56,1	59,7	-21,14	PG 64-22	PG 61-22	50/70	100/150

EK-2 (Devam) Seçilen bir yol ağı için gerekli bitüm performans sınıflarını belirleme tablosu

TCK Bölgesi	Yolun Adı	%70 Güvenilirlik									%98 Güvenilirlik								
		Maks. 7 günlük ort. hava sıcaklığı	Min. Ort. hava sıcaklığı	Maks. 7 günlük ort. kaplama sıcaklığı, °C, T_{200m}	Maks. 7 günlük ort. Kaplama yüzey sıcaklığı, °C, $T_{yüzey}$	Min ort. kaplama sıcaklığı	PG sınıfı	SPG sınıfı	BSK için bitüm sınıfı	Sathi kaplama için bitüm sınıfı	Maks. 7 günlük ort. hava sıcaklığı	Min ort. hava sıcaklığı	Maks. 7 günlük ort. kaplama sıcaklığı, °C, T_{200m}	Maks. 7 günlük ort. Kaplama yüzey sıcaklığı, °C, $T_{yüzey}$	Min ort. kaplama sıcaklığı	PG sınıfı	SPG sınıfı	BSK için bitüm sınıfı	Sathi kaplama için bitüm sınıfı
7	Çorum-Merzifon Yolu	30,1	-17,9	51,2	54,5	-13,64	PG 58-16	PG 55-16	50/70	160/220	32,4	-22,8	52,5	55,8	-17,86	PG 64-22	PG 58-22	50/70	160/220
7	Merzifon-Havza-Ladik Ayr, Yolu	33,9	-14,5	54,9	58,3	-10,78	PG 64-16	PG 61-16	50/70	100/150	36,7	-20,3	56,6	60,1	-15,74	PG 64-16	PG 61-16	50/70	100/150
7	Samsun-Kavak-Ladik Ayr, Yolu	27,7	-10,0	48,9	52,1	-6,89	PG 58-10	PG 55-10	50/70	160/220	29,4	-13,3	49,5	52,7	-9,69	PG 58-10	PG 55-10	50/70	160/220
7	Samsun-Bafra Yolu	30,9	-4,7	52,0	55,3	-2,36	PG 58-10	PG 58-10	50/70	160/220	32,3	-7,0	52,2	55,6	-4,34	PG 64-10	PG 58-10	50/70	160/220
7	Samsun-Ünye-Ordu-7,Bl,Hd,Yolu	31,5	-5,7	52,6	55,9	-3,19	PG 64-10	PG 58-10	50/70	160/220	33,3	-8,4	53,3	56,7	-5,53	PG 64-10	PG 58-10	50/70	160/220
7	Merzifon-Osmancık 7,Bl,Hd,Yolu	34,9	-12,1	55,8	59,3	-8,71	PG 64-10	PG 61-10	50/70	100/150	36,8	-16,6	56,7	60,2	-12,53	PG 64-16	PG 61-16	50/70	100/150
7	Merzifon-Amasya-Erbaa-Niksar Yolu	34,5	-11,5	55,4	58,9	-8,20	PG 64-10	PG 61-10	50/70	100/150	37,4	-17,4	57,3	60,9	-13,29	PG 64-16	PG 61-16	50/70	100/150
7	Niksar-7,Bl,Hd,Yolu	36,1	-16,5	56,9	60,5	-12,46	PG 58-16	PG 61-16	50/70	100/150	38,6	-20,9	58,5	62,1	-16,22	PG 64-22	PG 64-22	50/70	70/100

EK-2 (Devam) Seçilen bir yol ağı için gerekli bitüm performans sınıflarını belirleme tablosu

TCK Bölgesi	Yolun Adı	%70 Güvenilirlik									%98 Güvenilirlik								
		Maks. 7 günlük ort. hava sıcaklığı	Min. Ort. hava sıcaklığı	Maks. 7 günlük ort. kaplama sıcaklığı, °C, T _{200m}	Maks. 7 günlük ort. Kaplama yüzey sıcaklığı, °C, T _{yüzey}	Min ort. kaplama sıcaklığı	PG sınıfı	SPG sınıfı	BSK için bitüm sınıfı	Sathi kaplama için bitüm sınıfı	Maks. 7 günlük ort. hava sıcaklığı	Min ort. hava sıcaklığı	Maks. 7 günlük ort. kaplama sıcaklığı, °C, T _{200m}	Maks. 7 günlük ort. Kaplama yüzey sıcaklığı, °C, T _{yüzey}	Min ort. kaplama sıcaklığı	PG sınıfı	SPG sınıfı	BSK için bitüm sınıfı	Sathi kaplama için bitüm sınıfı
8	Malatya-(Gölbaşı-Darende) Ayr,-Elazığ-Kovancılar Yolu	39,4	-11,4	60,1	63,8	-8,11	PG 70-10	PG 64-10	50/70 B 50/70 M	70/100	42,4	-16,3	62,7	66,5	-12,28	PG 70-16	PG 67-16	50/70 B 50/70 M	70/100 B
8	Kovancılar-Bingöl Yolu	38,0	-23,6	58,7	62,4	-18,61	PG 64-22	PG 64-22	50/70	70/100	39,7	-33,3	60,0	63,6	-26,87	PG 64-28	PG 64-28	70/100 B 100/150 M	70/100
9	Gaziantep-Şanlıurfa Yolu	41,9	-6,9	62,5	66,3	-4,24	PG 70-10	PG 67-10	50/70 B 50/70 M	70/100 B	43,8	-11,1	64,3	68,2	-7,87	PG 76-10	PG 70-10	50/70 M	70/100 B
9	Şanlıurfa-Viranşehir-Kızıltepe Yolu	42,5	-8,3	63,0	66,9	-5,44	PG 70-10	PG 67-10	50/70 B 50/70 M	70/100 B	44,9	-13,7	65,3	69,2	-10,07	PG 76-16	PG 70-16	50/70 M	70/100 B
9	Kızıltepe-Nusaybin-Cizre-Habur Sınır Kapısı Yolu	44,1	-7,8	64,6	68,5	-5,00	PG 76-10	PG 70-10	50/70 M	70/100 B	45,9	-12,8	66,3	70,3	-9,31	PG 76-10	PG 73-10	50/70 M	70/100 B
9	Diyarbakır-Mardin Yolu Diyarbakır-Batman Ayr, Arası	42,1	-14,3	62,7	66,5	-10,60	PG 70-16	PG 67-16	50/70 B 50/70 M	70/100 B	44,0	-21,5	64,3	68,2	-16,78	PG 76-22	PG 70-22	50/70 M	70/100 B
9	Gaziantep-Şanlıurfa Otoyolu	41,9	-6,9	62,5	66,3	-4,24	PG 70-10	PG 67-10	50/70 B 50/70 M	70/100 B	43,8	-11,1	64,3	68,2	-7,87	PG 76-10	PG 70-10	50/70 M	70/100 B
10	Karadeniz Sahil Yolu Trabzon-Giresun-10,Bl,Hd,Arası	29,0	-4,0	50,1	53,4	-1,73	PG 58-10	PG 55-10	50/70	160/220	30,8	-6,5	51,0	54,2	-3,85	PG 58-10	PG 55-10	50/70	160/220

EK-2 (Devam) Seçilen bir yol ağı için gerekli bitüm performans sınıflarını belirleme tablosu

TCK Bölgesi	Yolun Adı	%70 Güvenilirlik									%98 Güvenilirlik								
		Maks. 7 günlük ort. hava sıcaklığı	Min. Ort. hava sıcaklığı	Maks. 7 günlük ort. kaplama sıcaklığı, °C, T_{200m}	Maks. 7 günlük ort. Kaplama yüzey sıcaklığı, °C, $T_{yüzey}$	Min ort. kaplama sıcaklığı	PG sınıfı	SPG sınıfı	BSK için bitüm sınıfı	Sathi kaplama için bitüm sınıfı	Maks. 7 günlük ort. hava sıcaklığı	Min ort. hava sıcaklığı	Maks. 7 günlük ort. kaplama sıcaklığı, °C, T_{200m}	Maks. 7 günlük ort. Kaplama yüzey sıcaklığı, °C, $T_{yüzey}$	Min ort. kaplama sıcaklığı	PG sınıfı	SPG sınıfı	BSK için bitüm sınıfı	Sathi kaplama için bitüm sınıfı
10	Karadeniz Sahil Yolu Trabzon-Of-İkizdere Ayr, Arası	29,0	-4,4	50,2	53,4	-2,10	PG 58-10	PG 55-10	50/70	160/220	30,9	-7,4	51,0	54,3	-4,69	PG 58-10	PG 55-10	50/70	160/220
10	Karadeniz Sahil Yolu İkizdere Ayr,-Rize-Sarp Sınır Kapısı Arası	29,5	-4,5	50,7	53,9	-2,21	PG 52-10	PG 55-10	50/70	160/220	31,3	-7,4	51,3	54,6	-4,66	PG 52-10	PG 55-10	50/70	160/220
11	Van-Edremit-Gevaş Yolu	32,3	-23,4	53,3	56,7	-18,37	PG 58-22	PG 58-22	50/70	160/220	34,7	-28,3	55,3	58,8	-22,58	PG 58-28	PG 61-28	70/100 B 100/150 M	100/150
11	Van-(Erciş-Çaldıran) Ayr, Yolu	36,6	-27,2	57,5	61,0	-21,64	PG 64-22	PG 64-22	50/70	70/100	41,2	-36,3	61,4	65,2	-29,46	PG 70-34	PG 67-34	100/150 BM	100/150 B
12	Erzurum-Aşkale-Tezcan Yolu	31,4	-27,0	52,5	55,8	-21,47	PG 64-22	PG 58-22	50/70	160/220	33,0	-33,3	53,4	56,7	-26,94	PG 64-28	PG 58-28	70/100 B 100/150 M	160/220
12	Erzurum-Ağrı Yolu	31,9	-33,2	52,9	56,3	-26,82	PG 58-28	PG 58-28	70/100 B 100/150 M	160/220	34,8	-39,0	55,1	58,6	-31,82	PG 58-34	PG 61-34	100/150 BM	160/220 B
12	Ağrı-Doğubeyazıt-Gülbulak İran Sınır Kapısı Yolu	32,0	-28,4	53,0	56,4	-22,66	PG 58-28	PG 58-28	70/100 B 100/150 M	160/220	35,1	-32,6	55,4	58,8	-26,32	PG 58-28	PG 61-28	70/100 B 100/150 M	100/150
13	Afyon-Antalya Yolu Sandıklı-Keçiborlu-Arası	33,3	-13,3	54,3	57,7	-9,73	PG 64-10	PG 58-10	50/70	160/220	36,5	-17,4	57,1	60,6	-13,29	PG 64-16	PG 61-16	50/70	100/150

EK-2 (Devam) Seçilen bir yol ağı için gerekli bitüm performans sınıflarını belirleme tablosu

TCK Bölgesi	Yolun Adı	%70 Güvenilirlik									%98 Güvenilirlik								
		Maks. 7 günlük ort. hava sıcaklığı	Min. Ort. hava sıcaklığı	Maks. 7 günlük ort. kaplama sıcaklığı, °C, T_{200m}	Maks. 7 günlük ort. Kaplama yüzey sıcaklığı, °C, $T_{yüzey}$	Min ort. kaplama sıcaklığı	PG sınıfı	SPG sınıfı	BSK için bitüm sınıfı	Sathi kaplama için bitüm sınıfı	Maks. 7 günlük ort. hava sıcaklığı	Min ort. hava sıcaklığı	Maks. 7 günlük ort. kaplama sıcaklığı, °C, T_{200m}	Maks. 7 günlük ort. Kaplama yüzey sıcaklığı, °C, $T_{yüzey}$	Min ort. kaplama sıcaklığı	PG sınıfı	SPG sınıfı	BSK için bitüm sınıfı	Sathi kaplama için bitüm sınıfı
13	Afyon-Antalya Yolu Keçiborlu-Burdur-Çeltikçi Arası	34,7	-11,4	55,6	59,1	-8,13	PG 64-10	PG 61-10	50/70	100/150	36,7	-14,5	57,4	60,9	-10,72	PG 64-16	PG 61-16	50/70	100/150
13	Antalya-Afyon Yolu Korkuteli Ayr.-Çeltikçi Arası	35,8	-9,8	56,7	60,2	-6,75	PG 64-10	PG 61-10	50/70	100/150	36,6	-11,8	57,4	61,0	-8,43	PG 64-10	PG 61-10	50/70	100/150
13	Antalya-Korkuteli Yolu	42,5	-3,2	63,1	66,9	-1,01	PG 70-10	PG 67-10	50/70 B 50/70 M	70/100 B	43,3	-5,1	63,8	67,6	-2,69	PG 70-10	PG 70-10	50/70 B 50/70 M	70/100 B
13	(Afyon-Antalya) Ayr.-İsparta-Ağlasun Ayr. Yolu	34,6	-11,2	55,6	59,0	-7,94	PG 58-10	PG 61-10	50/70	100/150	36,7	-14,6	57,3	60,9	-10,86	PG 58-16	PG 61-16	50/70	100/150
13	(İsparta-Antalya) Ayr.-Çeltikçi Yolu	33,2	-11,4	54,2	57,6	-8,14	PG 58-10	PG 58-10	50/70	160/220	35,2	-14,3	55,9	59,4	-10,55	PG 58-16	PG 61-16	50/70	100/150
13	Antalya-Kemer Yolu	40,3	0,9	61,0	64,7	2,46	PG 70-10	PG 67-10	50/70 B 50/70 M	70/100 B	42,4	-0,7	63,1	66,9	1,09	PG 70-10	PG 67-10	50/70 B 50/70 M	70/100 B
13	Antalya-Alanya Yolu	43,3	0,7	63,8	67,7	2,31	PG 70-10	PG 70-10	50/70 B 50/70 M	70/100 B	47,0	-1,4	67,4	71,4	0,48	PG 76-10	PG 73-10	50/70 M	70/100 B
14	Bursa-Gemlik-Orhangazi-Yalova Yolu	33,8	-7,3	54,8	58,2	-4,59	PG 64-10	PG 61-10	50/70	100/150	36,4	-11,5	56,4	59,9	-8,17	PG 64-10	PG 61-10	50/70	100/150

EK-2 (Devam) Seçilen bir yol ağı için gerekli bitüm performans sınıflarını belirleme tablosu

TCK Bölgesi	Yolun Adı	%70 Güvenilirlik									%98 Güvenilirlik								
		Maks. 7 günlük ort. hava sıcaklığı	Min. Ort. hava sıcaklığı	Maks. 7 günlük ort. kaplama sıcaklığı, °C, T_{20mm}	Maks. 7 günlük ort. Kaplama yüzey sıcaklığı, °C, $T_{yüzey}$	Min ort. kaplama sıcaklığı	PG sınıfı	SPG sınıfı	BSK için bitüm sınıfı	Sathi kaplama için bitüm sınıfı	Maks. 7 günlük ort. hava sıcaklığı	Min ort. hava sıcaklığı	Maks. 7 günlük ort. kaplama sıcaklığı, °C, T_{20mm}	Maks. 7 günlük ort. Kaplama yüzey sıcaklığı, °C, $T_{yüzey}$	Min ort. kaplama sıcaklığı	PG sınıfı	SPG sınıfı	BSK için bitüm sınıfı	Sathi kaplama için bitüm sınıfı
14	(Bursa-Eskişehir) Ayr.-Bilecik-(Karamürsel-Pamukova) Ayr, Yolu	34,4	-12,8	55,3	58,8	-9,27	PG 64-10	PG 61-10	50/70	100/150	37,1	-17,3	57,2	60,7	-13,19	PG 64-16	PG 61-16	50/70	100/150
14	Karamürsel-(Pamukova-Bilecik) Ayr, Yolu	34,7	-8,4	55,6	59,1	-5,55	PG 58-10	PG 61-10	50/70	100/150	38,3	-12,1	58,2	61,8	-8,67	PG 64-10	PG 64-10	50/70	70/100
14	(Bursa-Eskişehir) Ayr,-Kütahya Yolu	33,2	-20,6	54,1	57,6	-16,00	PG 64-16	PG 58-16	50/70	160/220	36,4	-25,8	56,6	60,1	-20,48	PG 64-22	PG 61-22	50/70	100/150
14	(Afyon-Uşak) Ayr,-Kütahya Yolu	32,3	-21,5	53,3	56,7	-16,74	PG 64-22	PG 58-22	50/70	160/220	34,6	-29,0	55,1	58,5	-23,20	PG 64-28	PG 61-28	70/100 B 100/150 M	100/150
14	Balıkesir-Akhisar-İzmir Yolu Balıkesir-2,B1,Hd, Arası	36,3	-9,3	57,1	60,7	-6,27	PG 64-10	PG 61-10	50/70	100/150	39,0	-13,6	59,2	62,8	-10,01	PG 70-16	PG 64-16	50/70 B 50/70 M	70/100
14	Karacabey-(Susurluk-Aksakal) Ayr, Yolu	35,5	-7,0	56,4	59,9	-4,28	PG 64-10	PG 61-10	50/70	100/150	37,9	-11,0	58,0	61,6	-7,73	PG 70-10	PG 64-10	50/70 B 50/70 M	70/100
14	(Karacabey-Bandırma) Ayr,-Susurluk-Balıkesir Yolu	35,4	-10,6	56,3	59,8	-7,41	PG 64-10	PG 61-10	50/70	100/150	38,0	-16,0	58,1	61,7	-12,02	PG 70-16	PG 64-16	50/70 B 50/70 M	70/100

EK-2 (Devam) Seçilen bir yol ağı için gerekli bitüm performans sınıflarını belirleme tablosu

TCK Bölgesi	Yolun Adı	%70 Güvenilirlik									%98 Güvenilirlik								
		Maks. 7 günlük ort. hava sıcaklığı	Min. Ort. hava sıcaklığı	Maks. 7 günlük ort. kaplama sıcaklığı, °C, T_{200m}	Maks. 7 günlük ort. Kaplama yüzey sıcaklığı, °C, $T_{yüzey}$	Min ort. kaplama sıcaklığı	PG sınıfı	SPG sınıfı	BSK için bitüm sınıfı	Sathi kaplama için bitüm sınıfı	Maks. 7 günlük ort. hava sıcaklığı	Min ort. hava sıcaklığı	Maks. 7 günlük ort. kaplama sıcaklığı, °C, T_{200m}	Maks. 7 günlük ort. Kaplama yüzey sıcaklığı, °C, $T_{yüzey}$	Min ort. kaplama sıcaklığı	PG sınıfı	SPG sınıfı	BSK için bitüm sınıfı	Sathi kaplama için bitüm sınıfı
14	Bursa-Mudanya Yolu	32,8	-6,1	53,8	57,2	-3,54	PG 58-10	PG 58-10	50/70	160/220	36,8	-8,8	56,9	60,4	-5,87	PG 58-10	PG 61-10	50/70	100/150
14	Bursa Çevre Otoyolu	33,3	-6,9	54,3	57,7	-4,26	PG 64-10	PG 58-10	50/70	160/220	39,1	-10,0	59,1	62,7	-6,85	PG 70-10	PG 64-10	50/70 B 50/70 M	70/100
14	Bursa-Karacabey-Bandırma Yolu	36,2	-6,9	57,0	60,6	-4,21	PG 64-10	PG 61-10	50/70	100/150	43,8	-10,5	63,5	67,4	-7,29	PG 70-10	PG 70-10	50/70 B 50/70 M	70/100 B
14	Bursa-Uludağ Yolu	29,0	-20,9	50,1	53,4	-16,23	PG 52-22	PG 55-22	50/70	160/220	31,3	-27,0	51,7	55,0	-21,48	PG 52-22	PG 55-22	50/70	160/220
14	Bursa-İnegöl-Tavşanlı Ayr. Yolu	35,6	-14,8	56,5	60,0	-11,01	PG 64-16	PG 61-16	50/70	100/150	38,0	-21,1	58,1	61,7	-16,46	PG 70-22	PG 64-22	50/70 B 50/70 M	70/100
14	Bursa-Eskişehir Yolu Bozüyük-Tavşanlı Ayr. Arası	33,2	-15,6	54,1	57,6	-11,66	PG 64-16	PG 58-16	50/70	160/220	35,5	-19,7	55,7	59,2	-15,24	PG 64-16	PG 61-16	50/70	100/150
14	Bozüyük-Eskişehir Yolu	33,5	-16,1	54,5	57,9	-12,15	PG 64-16	PG 58-16	50/70	160/220	35,3	-20,7	55,5	59,0	-16,09	PG 64-22	PG 61-22	50/70	100/150
15	İlgaz-Kurşunlu-15,B1,Hd,Yolu	31,4	-16,6	52,5	55,8	-12,57	PG 64-16	PG 58-16	50/70	160/220	34,0	-22,2	54,0	57,4	-17,41	PG 64-22	PG 58-22	50/70	160/220

EK-2 (Devam) Seçilen bir yol ağı için gerekli bitüm performans sınıflarını belirleme tablosu

		%70 Güvenilirlik									%98 Güvenilirlik								
TCK Bölgesi	Yolun Adı	Maks. 7 günlük ort. hava sıcaklığı	Min. Ort. hava sıcaklığı	Maks. 7 günlük ort. kaplama sıcaklığı, °C, T_{200m}	Maks. 7 günlük ort. Kaplama yüzey sıcaklığı, °C, $T_{yüzey}$	Min ort. kaplama sıcaklığı	PG sınıfı	SPG sınıfı	BSK için bitüm sınıfı	Sathi kaplama için bitüm sınıfı	Maks. 7 günlük ort. hava sıcaklığı	Min ort. hava sıcaklığı	Maks. 7 günlük ort. kaplama sıcaklığı, °C, T_{200m}	Maks. 7 günlük ort. Kaplama yüzey sıcaklığı, °C, $T_{yüzey}$	Min ort. kaplama sıcaklığı	PG sınıfı	SPG sınıfı	BSK için bitüm sınıfı	Sathi kaplama için bitüm sınıfı
15	Ilgaz-Tosya-15,Bl,Hd,Yolu	29,1	-19,7	50,3	53,5	-15,25	PG 58-16	PG 55-16	50/70	160/220	31,1	-24,8	51,2	54,5	-19,58	PG 58-22	PG 55-22	50/70	160/220
15	Devrek-Zonguldak Yolu	33,0	-8,0	54,0	57,4	-5,20	PG 58-10	PG 58-10	50/70	160/220	35,1	-12,3	55,0	58,4	-8,87	PG 58-10	PG 61-10	50/70	100/150
16	Sivas-İmranlı-Refahiye-Erzincan Yolu	31,4	-26,6	52,5	55,8	-21,17	PG 58-22	PG 58-22	50/70	160/220	33,5	-33,4	53,8	57,2	-26,97	PG 58-28	PG 58-28	70/100 B 100/150 M	160/220
16	Erzincan-Üçdam-Tezcan Yolu	34,6	-22,9	55,5	59,0	-17,97	PG 58-22	PG 61-22	50/70	100/150	36,4	-28,7	56,6	60,2	-22,96	PG 58-28	PG 61-28	70/100 B 100/150 M	100/150

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : SAĞLIK, Ahmet
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 01.05.1974 Sungurlu
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (312) 415 85 77
 Faks : 0 (312) 415 78 54
 e-mail : asaglik75@gmail.com.

Eğitim Derece

Eğitim Birimi

Mezuniyet tarihi

Lisans	Kırıkkale Üniversitesi / İnşaat mühendisliği	2005
Lisans	Hacettepe Üniversitesi / Jeoloji Mühendisliği	1997
Lise	İskilip Lisesi	1992

İş Deneyimi Yıl

Yer

Görev

1997-1998	Spektra-Jeotek Ltd.Şti./Ankara,	Jeoloji Mühendisi
1998-2001	Karayolları 6. Bölge Müdürlüğü Araştırma Başmühendisliği/Kayseri,	Mühendislik Jeolojisi Mühendisi
2001-2004	Karayolları Genel Müdürlüğü Jeolojik Hiz. Şb. Müdürlüğü/Ankara,	Jeolojik Etüt Mühendisi
2004-2005	Karayolları Genel Müdürlüğü Üstyapı Şubesi Müdürlüğü/Ankara,	Üstyapı Yönetim Sistem Mühendisi
2005-2007	Karayolları Genel Müdürlüğü Üstyapı Şubesi Müdürlüğü/Ankara,	Üstyapı Etüt Proje Mühendisi
2007-	Karayolları Genel Müdürlüğü Üstyapı Şubesi Müdürlüğü/Ankara,	Bitümlü Karışımlar Lab. Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. Güngör, A.G., Sağlık, A., “Türkiye bitümlerinin performans sınıflarının belirlenmesi”, I. Karayolu Kongresi, Ankara, (2008).
2. Güngör, A.G., Sağlık, A., “Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi”, Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara, (2008).
3. Güngör, A.G., Arman, M., Sağlık, A., "Bölünmüş Yollarda Kademeli İnşaat", 4.Ulusal Asfalt Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 2004

Hobiler

Bilgisayar teknolojileri, Futbol, Ekonomi