T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TÜRKİYE COĞRAFİ BÖLGELERİ İÇİN BİTÜMLÜ BAĞLAYICILARIN PERFORMANS DERECELERİNİN BELİRLENMESİ VE SBS KATKILI GÖZLEM YOLU YAPILMASI

Mevlüt KAYA

DOKTORA TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

OCAK–2011
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Mevlüt KAYA tarafından hazırlanan "TÜRKİYE COĞRAFİ BÖLGELERİ İÇİN BİTÜMLÜ BAĞLAYICILARIN PERFORMANS DERECELERİNİN BELİRLENMESİ VE SBS KATKILI GÖZLEM YOLU YAPILMASI" adlı tez çalışması 12./01./2011 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği / ~~oy çokluğu~~ ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	**İmza**
Başkan Prof. Dr. M. Emin AYDIN	.....
Danışman Doç. Dr. Osman Nuri ÇELİK	.....
Üye Doç. Dr. Serdal TERZİ	.....
Üye Doç. Dr. Özcan TAN	.....
Üye Doç. Dr. S. Bahadır YÜKSEL	.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Bayram SADE
FBE Müdürü

Bu tez çalışması S.Ü. B.A.P. Koordinatörlüğü tarafından 08201005 nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Mevlüt KAYA

Tarih:22.02.2011

ÖZET

DOKTORA TEZİ

TÜRKİYE COĞRAFİ BÖLGELERİ İÇİN BİTÜMLÜ BAĞLAYICILARIN PERFORMANS DERECELERİNİN BELİRLENMESİ VE SBS KATKILI GÖZLEM YOLU YAPILMASI

Mevlüt KAYA

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Osman Nuri ÇELİK

2011, 127 Sayfa

Jüri
Doç. Dr. Osman Nuri ÇELİK
Prof. Dr. Mehmet Emin AYDIN
Doç. Dr. Serdal TERZİ
Doç. Dr. Özcan TAN
Doç. Dr. S. Bahadır YÜKSEL

Yüksek Performanslı Asfalt Kaplama (Superpave) yöntemi dünyada son 15 yılda kullanılmaya başlanmıştır. Bu çalışmada, Türkiye'nin farklı iklim koşullarına sahip coğrafi bölgelerinde bulunan meteoroloji istasyonları tarafından kaydedilmiş sıcaklık bilgileri incelenmiştir. Uzun yıllara ait sıcaklık verilerinden sıcaklık haritaları oluşturulmuştur. Bu haritalarda yol yapımında hangi PG sınıfı kullanılması gerektiği ortaya konulmaya çalışılmıştır. Yolun yapılacağı yer için PG sınıfı belirlemede özel bir çalışma yapılması daha uygundur.

Katkısız bitüme %4 ve %5 oranda SBS ilavesi ile iki farklı modifiye bitüm hazırlanmıştır. Katkısız bitümün ve hazırlanan modifiye bitümlerin hangi PG sınıfına uygun bitüm olduğu performans testleri yapılarak tespit edilmiştir. Konya-Afyon karayolu üzerinde üç tip bitümle hazırlanmış asfaltla bir gözlem yolu yapılmıştır. Gözlem yolunda yüzeysel deformasyon ölçümleri yapılarak oluşan kalıcı deformasyonlar gözlenmiştir. Gözlem yolu yapımında kullanılan karışımdan yapılmış Marshall briketlerine dolaylı çekme deneyi uygulanmıştır. Gözlem yolundaki ölçüm sonuçlarına göre en büyük deformasyonlar modifiye edilmemiş katkısız bitümle yapılan kesimde görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: PG sınıflı bitüm, katkısız bitüm, SBS, modifiye bitüm, Marshall, dolaylı çekme deneyi, gözlem yolu, yüzeysel deformasyon ölçümü, kalıcı deformasyon.

ABSTRACT

Ph. D THESIS

DETERMINING THE PERFORMANCE GRADE of BITUMINOUS BINDERS FOR GEOGRAPHIC REGIONS IN TURKEY AND CONSTRUCTION of SBS ADDITIVE OBSERVATION ROAD

Mevlüt KAYA

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY
DOCTOR OF PHILOSOPHY
IN CIVIL ENGINEERING

Advisor: Assoc. Dr. Osman Nuri ÇELİK

2011, 127 Pages

Jury
Assoc. Dr. Osman Nuri ÇELİK
Prof. Dr. Mehmet Emin AYDIN
Assoc. Dr. Serdal TERZİ
Assoc. Dr. Özcan TAN
Assoc. Dr. S. Bahadır YÜKSEL

High Performance Asphalt Pavement (Superpave) method has been started to use for last 15 years around the world. In this study, temperature data of cities of Turkey representing the geographic regions with different climatic conditions was studied to get the Performance Grade (PG) of bitumen. Temperature maps were developed from the temperature data for many years. The PG class has been carried out according to the map which class should be used on the road under the construction. It is necessary of course to make a special study to determine the more suitable PG class for even all roads within the province.

In this work, we prepared tree kind road construction in series; first was non-modified, neat bitumen, second was neat bitumen with 4% SBS, third was neat bitumen with 5% SBS. That bitumen has been identified by performance tests which kinds of PG classified bitumen were. In addition, road is constructed using by neat bitumen and modified by 4% and 5% SBS-blended bitumen on Konya-Afyon road. The permanent deformation on the road was observed by measuring the surface deformation. Indirect tensile strength test was applied to the Marshall samples made by mixture used in construction of the road. The largest deformations observed on the part of the road were that made of with neat bitumen.

Keywords: PG class bitumen, unadulterated bitumen, SBS, modified bitumen, Marshall, indirect tensile test, observing road, superficial distortion measurement, permanent deformation.

ÖNSÖZ

Bana bu çalışma olanağını sağlayan İnşaat Mühendisliği Bölüm Başkanı Sayın Prof. Dr. M. Yaşar KALTAKCI'ya, çalışmalarım süresince kıymetli yardımlarını esirgemeyen Danışman Hocam Doç. Dr. Osman Nuri ÇELİK'e, Karaman Belediye Başkanı Dr. Kâmil UĞURLU'ya, Prof. Dr. S. ZAİMOĞLU Üniversitesi Rektörü Prof. Dr. Adem ESEN'e, Konya Büyükşehir Belediyesi Fen İşleri Daire Başkanı Mim. H. Selim BÜYÜKKARAKURT'a, Karayolları Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma Daire Başkanlığı'na, fikir ve önerileri ile çalışmalarıma yön veren Dr. Süreyya TAYFUR ve İnş. Müh. Bülent GÜLER'e, laboratuar çalışmalarım sırasında yardımcı olan İnş. Müh. Mehmet İNANÇLI ve Tek. Mehmet ÖZCAN'a, çalışmanın arazi ölçümlerini yapan Harita Tek. Mehmet DEMİR'e ve sevgili aileme teşekkür ederim.

Mevlüt KAYA
KONYA-2011

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

ÖNSÖZ ..... **vi**

İÇİNDEKİLER ..... **vii**

1. GİRİŞ **1**

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI **5**

2.1. Yüksek Performanslı Asfalt Kaplama (*SUPERPAVE-Superior Performing Asphalt Pavements*) Tasarım Metodu ve PG Bitüm Sınıflandırması 5
2.2. Bitümlü Bağlayıcı Modifikasyon Çalışmaları 10

3. MATERYAL VE METOT **26**

3.1. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü İstasyon Sıcaklık Verileri 26
3.2. Bitümlü Bağlayıcı 26
3.2.1. Bitümlü Bağlayıcıların Kimyasal Özellikleri 30
3.2.2. Bitümlü Bağlayıcıların Fiziksel Özellikleri 32
3.2.3. Bitümlü Bağlayıcıya Uygulanan Deneyler 37
3.3. Agrega 38
3.3.1. Agregaya Uygulanan Deneyler 40
3.4. Modifiye Edici Katkı 42
3.5. Yüzeysel Deformasyon Ölçümleri 43
3.6. Yüksek Performanslı Asfalt Kaplama Yöntemi Bitüm Sınıflandırma Deneyleri 47
3.6.1. Dönmeli ince film halinde ısıtma deneyi *(Rolling Thin Film Oven Test - RTFOT)* 47
3.6.2. Basınçlı yaşlandırma kabı deneyi *(Pressure Aging Vessel - PAV)* 48
3.6.3. Dinamik Kayma Reometresi Deneyi *(Dynamic Shear Rheometer - DSR)* ... 49
3.6.4. Dönel viskozimetre deneyi *(Rotational Viscometer - RV)* 50
3.6.5. Eğilme kirişi reometre deneyi (*Bending Beam Rheometer - BBR*) 51
3.6.6. Direkt çekme deneyi (*Direct Tension Tester - DTT*) 53
3.7. Marshall Tasarım Metodu 54
3.8. Dolaylı Çekme Deneyi 55

4. TÜRKİYE'DE FARKLI COĞRAFİK BÖLGELER İÇİN BİTÜMLÜ BAĞLAYICILARIN PERFORMANS DERECELERİNİN BELİRLENMESİ **58**

4.1. Türkiye Uzun Yıllar Sıcaklık Haritaları 58
4.2. Türkiye Coğrafi Bölgeleri için PG Bitüm Sınıflandırması 62

5. GÖZLEM YOLU **75**

5.1. Kullanılan Agreganın Karakteristik Özelliklerinin Belirlenmesi 76

5.2. Kullanılan Bitümlü Bağlayıcının Karakteristik ve Performans Özelliklerinin Belirlenmesi 77
5.3. Marshall Yöntemi İle Optimum Bağlayıcı Oranı Tespiti 78
5.4. Dolaylı Çekme Deneyi Sonuçları 84
5.5. Deformasyon Ölçümleri 86
5.6. İstatistiksel Analizler 92
5.6.1. İstatistiksel T Testi 92
5.6.2. İstatistiksel Çift Yönlü ANOVA Testi 94

6. TARTIŞMA 98

7. SONUÇ VE ÖNERİLER 100

KAYNAKLAR 103

EKLER 109

EK-1 Uygulama Yolu Deformasyon Ölçümü Verileri 109
EK-2 Çalışmaların Fotoğrafları 115

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

AC	:	Asfalt çimentosu
b	:	Kiriş genişliği, mm
CMS	:	Orta hızda kesilen katyonik emülsiyonlar
CRS	:	Çabuk kesilen katyonik emülsiyonlar
CSS	:	Yavaş kesilen katyonik emülsiyonlar
DSR	:	Dinamik kayma reometresi, kPa
ε	:	Şekil değiştirme
E	:	Elastisite modülü
EDY	:	Eşdeğer dingil yükü, kN
En	:	Enlem, derece
σ	:	Gerilme, N/mm^2
G*	:	Kompleks kayma modülü, N/mm^2
G'	:	Kompleks kayma depolama modülü, N/mm^2
G"	:	Kompleks kayma kayıp modülü, N/mm^2
G_{max}	:	Teorik maksimum özgül ağırlık, gr/cm^3
G_{mb}	:	Özgül ağırlık, gr/cm^3
h	:	Kiriş yüksekliği, mm
L	:	Kirişin yük tatbik aralığı, mm
M	:	Sünme oranı
MC	:	Orta hızda kür olan katbekler
MS	:	Orta hızda kesilen anyonik emülsiyonlar
η*	:	Kompleks viskozite
P	:	Uygulanan sabit yük, N
P_a	:	Boşluk yüzdesi
PG	:	Performans derecesi
PI	:	Penetrasyon indeksi
RC	:	Çabuk kür olan katbekler
RS	:	Çabuk kesilen anyonik emülsiyonlar
RT	:	Yol katranı
δ	:	Faz açısı, derece
$\delta_{(t)}$	:	t anında yer değiştirme, mm
S	:	Sünme sertliği
SC	:	Yavaş kür olan katbekler
SS	:	Yavaş kesilen anyonik emülsiyonlar
$S_{(t)}$	:	t anında sünme sağlamlık modülü, MPa
T_{h7}	:	7 gün ortalama yüksek hava sıcaklığı, ºC
T_{hv}	:	Düşük hava sıcaklığı, ºC
T_{min}	:	Minimum kaplama dizayn sıcaklığı, ºC
T_{maks}	:	20 mm derinlikte maksimum kaplama dizayn sıcaklığı, ºC
V_a	:	Hava boşluklarının hacmi, cm^3

Kısaltmalar

AASHTO	:	Amerikan devlet otoyolu ve taşımacılık ofisleri derneği
BBR	:	Eğilme kirişi reometre deneyi
DSC	:	Fark taramalı kalorimetre deneyi
DSR	:	Dinamik kayma reometresi deneyi
DTT	:	Direkt çekme deneyi
EBA	:	Etilbromasetat
EVA	:	Etilen-vinil-asetat
PAV	:	Basınçlı yaşlandırma deneyi
Pen	:	Penetrasyon
PR	:	Polyester reçine
PTFE	:	Politetrafloraetilen
RTFOT	:	Dönmeli ince film halinde ısıtma deneyi
RV	:	Dönel viskozimetre deneyi
SBS	:	Stiren-butadien-stiren
SEBS	:	Stiren-etilen-bütilen-stiren
SHRP	:	Stratejik otoyol araştırma programı
Superpave	:	Yüksek performanslı asfalt kaplama
TSRST	:	Sınırlandırılmış numunede termal gerilme deneyi
Tüpraş	:	Türkiye Petrol Rafinerileri Anonim Şirketi

1. GİRİŞ

Asfalt kelimesinin, tarih öncesi dönemde Akadlara ait bir terim olan “asfaltik” den geldiğine inanılmaktadır. Asfalt, tarih öncesi geçmişinden bugüne kadar nesnelerin bağlanması, kopmaması ve geçirimsiz hale getirilmesi amacıyla bir bağlayıcı olarak kullanılmıştır. Asfalt kelimesinin kullanımı açısından da dünyada farklılıklar görülmektedir. Bazı ülkeler sıcak karışıma asfalt derken bazı ülkeler de sıcak karışım yapımında kullanılan bağlayıcı malzemeyi asfalt olarak isimlendirmektedir. Bu çalışmada, sıcak karışıma asfalt, sıcak karışımda kullanılan bağlayıcıya da bitümlü bağlayıcı ya da bitüm terimleri kullanılmıştır.

1900’lü yılların başlarında, ham petrolden bitümün rafine edilmeye başlanmasıyla ve otomobil endüstrisindeki gelişmelerle bitümün yollarda kullanımı hızla artmıştır. Kullanım miktarı arttıkça, asfaltın fiziksel özellikleri ile karakterinin belirlenmesi ve iyileştirilmesi ihtiyacı söz konusu olmuştur. Bu amaçla 1900’lü yılların başlarında çok sayıda deney ve tasarım yöntemi geliştirilmiştir.

Karışım tasarımının amacı, ulaşılabilecek maksimum performansı elde etmek değil, servis performansını sağlayan, mühendislik gereksinimlerini karşılayabilen ekonomik bir malzeme üretmektir.

Tasarım numunelerinin arazideki performansı temsil edebilmeleri için, istenen boşluk ve bitüm oranlarının elde edilmesinde sıkıştırılmış numunelere gerek duyulmuştur. 1920’li yılların ortalarında, Asfalt Enstitüsü’nden F.C. Field ile Prevostn Hubbard tarafından sıkıştırılmış bir asfalt karışımının fiziksel özelliklerinin değerlendirilmesi konusundaki en eski yöntemlerden biri geliştirilmiştir. Ampirik Hubbard-Field deneyi zımbalama-kayma tipi yükleme ile bir karışımın stabilitesini belirlemiştir.

Francis Hveem, sıkıştırılmış asfalt kaplama karışımlarının stabil olmasını ve fazla bitümü kusmasını sağlamak amacıyla 1930 yılında başka bir deney geliştirmiştir. Hveem yönteminin ilkeleri üç eksenli basınç deneyi ve agreganın yüzey alanı ile saptanan bir bitüm içeriği tahminine dayanmaktadır. Hveem metodu günümüzde hala kullanılmaktadır.

II. Dünya savaşının çıkmasıyla, askeri havaalanlarının uygun şekilde inşası ve tasarımı için basit bir deneyin geliştirilmesi ihtiyacı doğmuştur. Bruce Marshall tarafından, arzu edilen kıvam ve bitüm içeriğinin saptanarak ağır uçak tekerleği yüklerine karşı koyabilmek amacıyla bir karışım tasarım yöntemi düşünülmüştür.

Marshall yöntemi o günün şartlarına göre tatminkâr düzeyde tasarım ölçütleri getirmiştir. Günümüzde, bu ampirik yöntem dünya genelinde yaygın şekilde hala uygulama görmektedir.

1960'lı yılların ortalarından itibaren araçların hem miktarı hem de dingil yükleri çarpıcı şekilde artmıştır ve yetmişli yılların başlarında, o ana kadar tatminkâr performans sağlayan bitümlü karışımların artan miktardaki ağır dingil yükleri altında deformasyona uğradığı görülmüştür (Uluçaylı, 2002).

Bu nedenle, bitümlü karışımlar günümüz trafiğinin gereksinimlerini geniş çapta yerine getirmeli ve özellikle de;

- Kalıcı deformasyona dirençli,
- Yorulma çatlaklarına dirençli,
- Serilme esnasında işlenebilir, uygun ekipman ile tatmin edici şekilde sıkıştırılabilir,
- Yolun alt tabakalarını sudan korumak için geçirimsiz,
- Trafiğin aşındırmasına ve hava ile suyun etkilerine karşı dayanıklı,
- Üstyapının taşıma gücüne katkılı,
- Bakımı kolay ve daha da önemlisi düşük maliyetli olmalıdır (Albayrak, 1975).

Yukarıda belirtilen kıstaslara uygun malzeme üretme ihtiyacı, Marshall tasarım yöntemini gözden geçirmeye yönlendirmiştir.

Yol üzerindeki çeşitli bozulmalar, hava ve iklim şartlarına göre kaplamanın gerçek performansını koruyamaması, analiz ve uygulama sırasındaki sıkıştırma tekniklerinin farklı olması nedeniyle başta gelişmiş ülkeler olmak üzere pek çok ülkeyi yeni tasarım yöntemleri geliştirmeye yönlendirmiştir. Bu çalışmalardan bir bölümü, mevcut tasarım yöntemlerini karşılaştırmak suretiyle en uygun olanını bulmak ve yeni tasarım yöntemleri geliştirmek, bir bölümü de bağlayıcının özelliklerini iyileştirme üzerinedir. Bunların neticesinde yeni tasarım yöntemleri de ortaya çıkmaktadır. Bu tasarım yöntemlerinden birisi de *Superpave (Superior Performing Asphalt Pavements)* olarak isimlendirilen "Yüksek Performanslı Asfalt Kaplama" yöntemidir. Yüksek performanslı asfalt kaplama yöntemi, A.B.D.'deki "*Strategic Highway Research Program*" (*SHRP*) "Stratejik Yol Araştırmaları Programı" tarafından geliştirilmiştir.

Temsilciler Meclisi, 1987 yılında yaptığı kongrede, yolların durabilitesini ve performansını artırmak ve her türlü iklim şartlarında kaplamanın kalitesini koruyabilmek için bir programın başlatılması ve desteklenmesi için karar almıştır. 150

milyon dolarlık bu programın; 50 milyon dolarını asfalt araştırmaları için, kalan kısmını da bir deneme yolu yaparak kaplamanın davranışını incelemek için kullanmışlardır (Orhan, 2001).

Yüksek performanslı asfalt kaplama yöntemini Marshall'dan ayıran en önemli fark sıkıştırma sistemi ve bitüm sınıflamasında hâkim iklim koşullarının da göz önünde tutulmasıdır. Marshall yönteminde analiz aşamasında numuneye standart bir tokmakla belli sayıda darbe uygulanmaktadır. Hâlbuki arazide karışım yola serilip sıkıştırılırken silindirlerle sıkıştırma yapılmaktadır. Sıkıştırma durumundaki bu farklılığın arazideki şartları gerçek manada temsil etmediği birçok uzman tarafından kabul edilmektedir. Yüksek performanslı asfalt kaplama yönteminde ise yoldaki durumu temsil etmesi bakımından sıkıştırma, laboratuar ortamında yoğurmalı bir şekilde yapılmaktadır. Marshall yönteminde bitüm sınıflaması penetrasyon derecesine göre yapılmaktadır. 25ºC'deki penetrasyonu aynı olan bitümler farklı sıcaklıklarda farklı penetrasyon değerlerine sahip olabilmektedir. Yüksek performanslı asfalt kaplama yönteminde bağlayıcılar, sıcaklık koşullarında gösterdikleri performanslara göre sınıflanmaktadır. Bu nedenle bu tür bağlayıcılara "*Preformance Graded Binder*" "Performans Sınıflı Bağlayıcı" adı verilmiş ve PG simgesi ile tanımlanmaktadır. Sistemde, bitümün 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 bitümün kullanılacağı yerdeki iklim şartlarına göre farklılık gösterir. Örneğin PG 64-22 olarak adlandırılan bir 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, asfaltın hizmet vereceği yerdeki en yüksek ve en düşük hava sıcaklıkları ile ilgilidir. Yüksek performanslı asfalt kaplama yönteminde bitüm cinsinin belirlenmesinde, geniş bir meteorolojik veri tabanını kullanan bir yazılım da kullanılabilmektedir.

Bu çalışmada Türkiye'nin farklı iklim koşullarına sahip coğrafi bölgelerinde bulunan meteoroloji istasyonları tarafından ölçülmüş sıcaklık bilgilerine göre hangi PG sınıf bitüm ile yol yapımının gerçekleştirilmesi gerektiği tespit edilmeye çalışılmıştır. Uzun yıllara ait sıcaklık verilerinden sıcaklık haritaları oluşturulmuştur. Bu haritalardan da bölge içinde genel itibariyle aynı sıcaklıkların görüldüğü tespit edilmiştir. İl içinde yolun yapılacağı yer için sınıflama yapılarak yol yapımında bu PG sınıflı bitüm kullanılmalıdır. Modifiye edilmemiş katkısız bitüm, %4 SBS katkılı bitüm ve %5 SBS katkılı bitüm kullanılarak gözlem yolu yapılmıştır. Gözlem yolunda yüzeysel

deformasyon ölçümleri yapılarak oluşan kalıcı deformasyonlar gözlenmiştir. Deformasyon ölçümü sonuçlarına göre en büyük deformasyonlar modifiye edilmemiş katkısız bitümle yapılan kesimde görülmüştür. Dolaylı çekme deneyinden elden edilen sonuçlara göre yine dayanımı en düşük olan sıcak karışım asfalt sınıfı modifiye edilmemiş bitümle yapılan karışımlardır. Bu sonuçları, istatistiksel analiz için kullanılan t-testi ve çift yönlü ANOVA testi sonuçları da desteklemektedir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bitüm çok çeşitli amaçlar için kullanılan bir malzemedir. Dünya genelinde yıllık sıcak karışım asfalt üretimi 2007 yılı verilerine göre 920 milyon tonluk değere ulaşmıştır. 500 milyon tonluk kısmının üretimi Amerika Birleşik Devletleri'nde gerçekleştirilmektedir. Türkiye'de üretilen kısmı ise 22,2 milyon tondur. Avrupa'da üretilen sıcak karışım asfalt üretimi de 342,9 milyon tondur (URL 1). Sıcak karışımda ortalama %5 bitüm kullanıldığı kabul edilirse dünyada yıllık yaklaşık 46 milyon ton civarında sıcak karışım asfalt yapımı için bitüm kullanılmaktadır. Bu bitümün maliyeti de Tüpraş Petrol Rafinerileri A.Ş. nin internet sayfasından elde edilen Kırıkkale Rafinerisi fiyatlarına göre 38.701.180.000 TL tutmaktadır (URL 2). Dünya çapında bu kadar büyük oranda kullanımı olan, çok pahalı bir malzemenin kısa sürede bozulması veya istenen verimi sağlayamaması araştırmacıları konunun üzerinde çalışmaya yönlendirmiştir. Araştırmacıların bir kısmı mevcut tasarım yöntemlerini geliştirme ve yeni tasarım yöntemleri bulma üzerine, bir kısmı da kullanılan bağlayıcının çeşitli katkı malzemeleri ile modifiye edilmesi üzerine çalışmaktadır.

2.1. Yüksek Performanslı Asfalt Kaplama (*SUPERPAVE-Superior Performing Asphalt Pavements*) Tasarım Metodu ve PG Bitüm Sınıflandırması

1987 yılında, Stratejik Karayolu Araştırma Programı (*SHRP*) çerçevesinde, asfaltın fiziksel davranışlarının belirlenmesi ile ilgili yeni deneylerin geliştirilmesine başlanmış ve yeni bir seri deney ekipmanını içeren bir Yüksek Performanslı Asfalt Kaplama (*SUPERPAVE)* Bağlayıcı Şartnamesi hazırlanmıştır (Asphalt Institute, 1996; Orhan, 2001).

Bağlayıcı şartnamesinin en önemli özelliği, bağlayıcının ömrü boyunca karşı karşıya kalacağı üç kritik durumun deneylerle simüle edilmiş olmasıdır. Orijinal asfalt numunesi üzerinde uygulanan deneyler taşıma, depolama ve işlemeyi kapsayan ilk aşamayı temsil eder. İkinci aşama, karışım hazırlama ve serme sırasındaki asfaltı temsil eder. Üçüncü aşama ise, bağlayıcının uzun süre sonundaki yaşlanmasıdır. Yüksek performanslı asfalt kaplama bitüm deneyleri, malzemenin doğrudan arazi şartlarındaki performansı ile ilgili özelliklerini ölçmektedir. Tablo 2.1'de bu deneylerin listesi, kullanım amaçları ve deneyle ilgili performans özellikleri görülmektedir (Megennis ve ark., 1994; Tunç, 2001).

Tablo 2.1. Yüksek performanslı asfalt kaplama (SUPERPAVE) bağlayıcı deneyleri

Deneyler	**Kullanım Amaçları**
Dönmeli İnce Film Halinde Isıtma Deneyi (*Rolling Thin Film Oven-RTFO*)	Bağlayıcının sertleşme (yaşlanma) karakteristiklerini belirlemek
Basınçlı Yaşlandırma Deneyi (*Pressure Aging Vessel-PAV*)	
Dinamik Kayma Reometresi Deneyi (*Dynamic Shear Rheometer-DSR*)	Bağlayıcının farklı sıcaklıklarda elastik (katı) ve viskoz (sıvı) özelliklerini belirlemek
Dönel Viskozimetre Deneyi (*Rotational Viscometer-RV*)	Yüksek ısılarda bağlayıcının özelliklerini ölçmek
Eğilme Kirişi Reometre Deneyi (*Bending Beam Rheometer-BBR*)	Düşük ısılarda bağlayıcının düşük ısı çatlağı direncini belirlemek
Direkt Çekme Deneyi (*Direct Tension Tester-DTT*)	

Yüksek performanslı asfalt kaplama tasarım yöntemi, karışımın kullanılacağı bölgenin sıcaklık ve coğrafi koşullarına uygun performans sınıfı bitümlü bağlayıcının seçimi ile başlar. Kullanılacak agregaların fiziksel özelliklerinin şartnamesine uygunluğuna bakılır ve karışım gradasyonu, yüksek performanslı asfalt kaplama gradasyon limitleri dikkate alınarak belirlenir. Üç farklı deneme karışımı gradasyonu ile ikişer numune sıkıştırılarak ön tasarım çalışması yapılır. Bu çalışmanın sonucunda tasarım ölçütlerine uygun olan karışım gradasyonu seçilerek tasarıma başlanır. Tasarımın önemli bir özelliği de karışımın sıkıştırılmasında yoğurmalı sıkıştırıcının kullanılmasıdır. Sıkıştırma enerjisi tabakalar için sabit değildir, tabakanın yapılacağı bölgenin ortalama en yüksek hava sıcaklığına ve yolun proje trafiğine göre seçilir (Orhan, 2000; Tunç, 2001).

Numuneler yoğurmalı preste yükleme yapılarak sıkıştırılır. Daha önce ifade edildiği gibi Marshall yöntemi, sıkıştırmada tokmak kullanılmasının tekerlek yüklerinin kaplamaya yaptığı yükleme şeklini yeterince yansıtmaması ve briketlerdeki agregalarda darbeler sonucu kırılmaların olması nedenleri ile dezavantajlara sahiptir. Yoğurmalı preste ise, numune üzerine dikey bir basınç verilirken, belli bir eğilme açısıyla koni çizecek tarzda jirasyon hareketi yapılmaktadır. Bu hareket gerçek arazi şartlarındaki silindirin etkisini simüle ederek numune içinde kayma gerilmeleri doğurarak bir "yoğurma" etkisi yaratmakta ve agrega tanelerini, kırılma ve ezilmeye maruz bırakmadan yönlendirerek uygulamadakine benzer bir sıkışmayı sağlamaktadır (Uluçaylı, 1997; Öztürk ve Çubuk, 2004).

Yüksek performanslı asfalt kaplama tasarım yöntemi ve Marshall yöntemlerine göre hazırlanan sıcak karışım asfalt numunelerinin stabilite, birim ağırlık, boşluk yüzdesi, agregalar arası boşluk yüzdesi ve akma değerlerinin karşılaştırıldığı bir çalışma Kuloğlu ve Namlı (2007) tarafından yapılmıştır. Bu karşılaştırma neticesinde her iki yöntemin birbirine göre avantaj ve dezavantajları belirlenmiş ve şu sonuçlar elde edilmiştir;

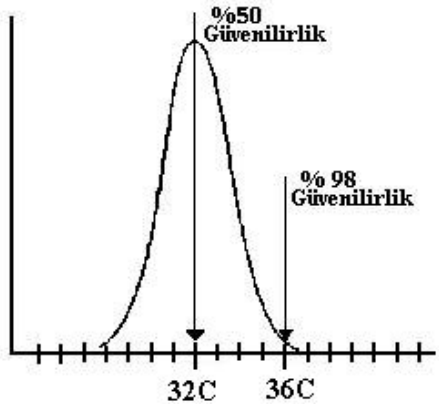
- Her iki yöntem için en uygun bitüm yüzdeleri incelendiğinde yüksek performanslı asfalt kaplama numuneleri, Marshall'a göre daha düşük bitüm yüzdesi içermektedir.
- Yapılan deneysel çalışmalar neticesinde iki yöntem arasındaki en büyük farklılık agrega gradasyonları, bitüm seçimi ve sıkıştırma teknikleri bakımından olmuştur. Yüksek performanslı asfalt kaplama yöntemi, Marshall'ın aksine sürekli gradasyonu değil, sınırlı gradasyonu kullanmaktadır. Ayrıca yüksek performanslı asfalt kaplama yönteminde bitüm seçimi Marshall'a göre daha hassas olmakta ve malzemelerin özelliklerinin yanında iklim koşulları ile coğrafi enlemi de önemli ölçüde dikkate almaktadır. Karışımların sıkıştırılması sırasında Marshall, darbeli sıkıştırma yaparken, yüksek performanslı asfalt kaplama yoğurmalı sıkıştırma yapmaktadır.
- Marshall yöntemi uzun yıllardır ülkemizde kullanılmaktadır. Fakat yüksek performanslı asfalt kaplama yöntemi son yıllarda dünyada kullanılmaya başlanmıştır. Ülkemizde ise kullanılması yok denecek kadar azdır.

Yüksek performanslı asfalt kaplama yönteminde bitümlü bağlayıcılar, sıcaklık koşullarında gösterdikleri performanslara göre sınıflandırılmıştır. Bu nedenle bu tür bağlayıcılara Performans Sınıflı Bağlayıcı (*Preformance Graded Binder*) adı verilmiş ve PG simgesi ile tanımlanmıştır. Bu sınıflandırmada aşağıda maddeler halinde belirtilen unsurlar göz önünde bulundurulur (Öztürk ve Çubuk, 2004);

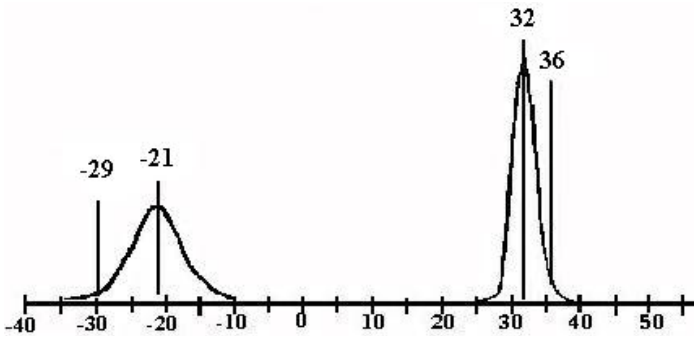
Meteorolojik veri tabanı: Yüksek performanslı asfalt kaplama (*SUPERPAVE*) yönteminde, bitüm sınıfı seçiminde meteorolojik veri tabanının önemi büyüktür. Meteorolojik veri tabanı oluşturmak üzere, meteoroloji istasyonlarında her yıl en yüksek 7 günlük sıcaklık periyodu ve en düşük bir günlük sıcaklık tespit edilir ve o istasyona ait ortalamalar ve standart sapmalar hem en yüksek 7 günlük periyot, hem de en düşük bir günlük sıcaklık için hesaplanır. Bu hesaplamalarda 20 yıldan az veriye sahip istasyonlar dikkate alınmamalıdır (Superpave Mix Design, 1996; Dinç, 1999).

Güvenilirlik: Güvenilirlik, bir yıl içerisinde aktüel sıcaklığın proje sıcaklığını geçmeme ihtimali olarak tanımlanmaktadır. Düşük ve yüksek sıcaklıkların seçiminde SHRP çok esnek bir özelliğe sahiptir. Örneğin, ortalama 7 günlük en yüksek sıcaklığı 32°C ve standart sapmanın 2°C olduğu bir bölgede, sıcaklıkların frekans dağılımı Şekil 2.1'deki gibi olur. Bu dağılıma göre bir yıl içinde sıcaklığın 32°C'yi aşma ihtimali %50'dir. Sıcaklığın 36°C'yi aşma ihtimali ise %2 olarak görülmektedir. Yani güvenilirlik %98 dir (Superpave Mix Design, 1996; Dinç 1999).

Hava sıcaklığının seçimi: Şekil 2.2'de iki tasarım hava sıcaklığının istatistiksel değişimi görülmektedir. Normal bir yaz döneminde, ortalama 7 günlük en yüksek hava sıcaklığı 32°C'dir. Çok sıcak geçen bir yazda bu ortalama 36°C'ye ulaşabilir. Benzer bir yaklaşım kış şartları için de uygulanırsa, 4°C'lik bir standart sapma ile bölgenin 21°C'lik bir ortalama en düşük sıcaklığa maruz olduğu görülür. Sonuç olarak, ortalama bir kış mevsiminde en düşük sıcaklık –21°C'dir ve çok sert bir kış için bu değer –29°C olabilir (Superpave Mix Design, 1996; Dinç 1999).



Şekil 2.1. Güvenilirlik (Superpave Mix Design, 1996; Dinç 1999).



Şekil 2.2. Hava sıcaklıklarının seçimi (Superpave Mix Design, 1996; Dinç 1999).

Trafik hızına ve trafik sayısına göre seçim: Bağlayıcı seçiminde, kaplamanın hızlı hareket eden yüklere maruz kaldığı kabul edilmektedir. Yavaş hareket eden ağır trafik yüklerine maruz kaplamalar için seçilen PG grubunun bir üst grubu, duran yükler için ise iki üst grubu (yüksek sıcaklık) projede kullanılacak PG sınıfı bitüm olarak belirlenir. Bağlayıcı sınıfının düşük sıcaklıkla ilgili değeri değişmez. Yavaş hareket eden tasarım yükleri tırmanma şeridi, çok eğimli ve ağır trafik yüklerinin olduğu kent dışı ve kentsel yollar için uygulanabilir. Hareketsiz tasarım yükleri ağır taşıt otoparkları, yükleme-boşaltma platformları, otobüs durakları ve kavşaklar için uygulanabilir. Trafik sayısı, 10.000.000 standart Eşdeğer Dingil Yükü (EDY) tekerrür sayısından fazla ise bir üst grubun (yüksek sıcaklık) seçilmesinde projeciye inisiyatif kullanma hakkı verilmekle birlikte, 30.000.000'i aşan değerler için hesap sonucu bulunan grubun bir üst grubu seçilmelidir (Superpave Mix. Design, 1996; Superpave for the Generalist Engineer and Project Staff, 1997; Dinç 1999).

Hava sıcaklıklarının kaplama sıcaklıklarına dönüştürülmesi: Yüksek Performanslı Asfalt Kaplama (SUPERPAVE) yazılımı, kaplama yüzeyinden 2 cm alttaki en yüksek kaplama sıcaklığını ve kaplama yüzeyindeki en düşük sıcaklığı aşağıdaki formüllerle hesaplar (Superpave Mix Design, 1996; Dinç 1999).

Performans esaslı bitümlü bağlayıcıların sınıfının seçimi kaplamanın hizmet edeceği iklim koşulları esas alınarak yapılmaktadır. Bunun için kaplamanın sahip olacağı maksimum ve minimum sıcaklıklara göre bağlayıcı sınıfı seçilmektedir (AASHTO M320, 2003). Örneğin, bağlayıcı PG 58-34 olarak sınıflandırılmışsa +58ºC için yüksek sıcaklıkta ve 34ºC için düşük sıcaklıkta Tablo 2.1'de belirtilen testler uygulandığında aranılan fiziksel özellikleri sağlamalıdır. Maksimum kaplama dizayn ısısı ve minimum kaplama dizayn ısısı Formül 2.1 ve 2.2 ile belirlenmelidir (Superpave Mix Design, 2001);

$$T_{\min} = 0.859.T_{hv} + 1.7 \qquad 2.1$$

$$T_{maks} = (T_{h7} - 0.000618\,En^2 + 0.2289\,En + 42.2)(0.9545) - 17.78 \qquad 2.2$$

Burada;

T_{min} = Minimum kaplama dizayn sıcaklığı, ºC

T_{maksv} = 20 mm derinlikte maksimum kaplama dizayn sıcaklığı, ºC

T_{hv} = Düşük hava sıcaklığı, ºC

T_{h7} = 7 gün ortalama yüksek hava sıcaklığı, ºC

En = Enlem, derece

Bu hesaplamalar için yeterli verinin elde edilmesi veya bunun için yazılmış bilgisayar programı ile tayin edilmesi gereklidir. Zira performans esaslı bitümlerin sınıflaması için bitümün maruz kalacağı maksimum ve minimum sıcaklıklar esas alınmaktadır. Bu sıcaklıklar tespit edildikten sonra bağlayıcı sınıfı seçilmelidir. Daha sonra trafik hızı ve yükleme şartları için düzeltilmelidir. Yüksek sıcaklık tasarım şartlarında yükleme hızının kaplamanın performansı üzerindeki ilave etkileri göz önüne alınmalıdır.

2.2. Bitümlü Bağlayıcı Modifikasyon Çalışmaları

Bitümün belirli bir sıcaklıktaki reolojisi, hem içeriği yani malzemedeki hâkim hidrokarbon moleküllerinin kimyasal bileşimi hem de fiziksel yapısı ile belirlenmektedir. Bu unsurlardan biri veya her ikisi değişikliğe uğratılırsa reolojik yapıda da değişiklikler olur. Bu nedenle, bitüm reolojisini anlayabilmek için, bir bitümün bileşim ve yapısının reolojiyi etkileyecek ne tür bir etkileşim içinde olduğunu bilmek gerekmektedir (Whiteoak, 2004).

Kaplama, hizmet ömrü boyunca değişik iklim koşullarına, havaya, ışığa maruz kalır. Ülkemizde minimum ve maksimum sıcaklık aralığı çok geniştir. Kaplamanın dayanıklılığı bu şartlar etkisiyle oluşan oksidasyona gösterdiği dirence bağlıdır. Zaman içerisinde oluşan sertleşmeye yaşlanma adı verilir. Yaşlanma viskozitenin artmasına, penetrasyonun düşmesine ve bunların sonucunda sertleşmeye neden olur. Bu durum karışımın kırılganlığını ve çatlaklara karşı duyarlılığını artırmaktadır (Vallegra, 1981).

Yaşlanma, kısa dönem yaşlanma ve uzun dönem yaşlanma olmak üzere iki aşamada oluşmaktadır. Kısa dönem yaşlanma bitümün şantiyeye taşınması, depolanması, ısıtılması, plentte karışıma katılması, sıcak karışımın yola taşınması, serilmesi ve sıkıştırılması esnasında oluşmaktadır. Uzun dönem yaşlanma ise yolun servis ömrü boyunca oluşmaktadır.

Sıcak karışımdan elde edilen bitümün penetrasyon ve ağırlık özelliklerini inceleyen Dow (1903) tarafından bitümün yaşlanmasına etkili faktörler ilk kez ortaya atılmıştır. Bağlayıcının yaşlanma özelliklerini etkileyen faktörler dört sınıfta incelenmektedir. Bunlar;

- Oksidasyon,
- Buharlaşma veya uçucu madde kaybı,
- Aktif ışığa bağlı polimerizasyon,
- Isıya bağlı yoğunlaşma polimerizasyonu (Traxler, 1961).

Traxler (1963), yaptığı çalışmalar sonucunda bu dört faktörü onbeşe çıkartmıştır. Bu faktörler Tablo 2.2'de görülmektedir.

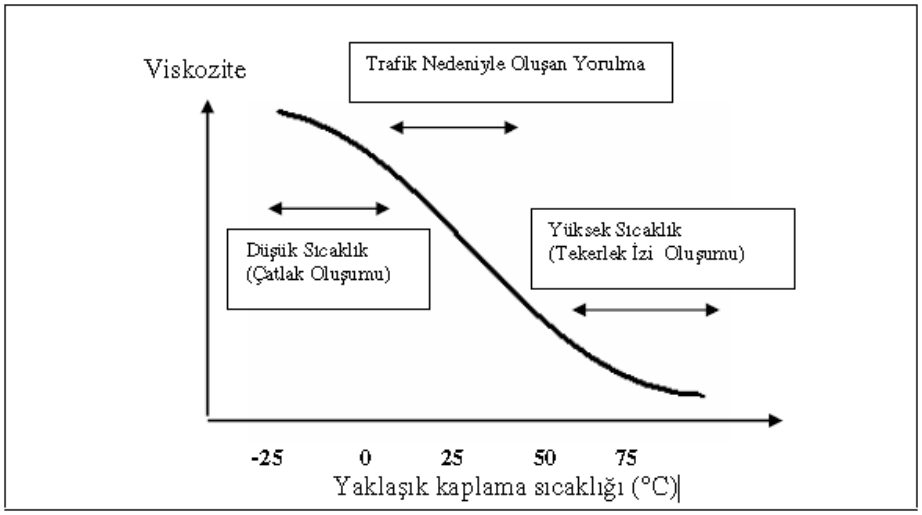
Tablo 2.2. Yaşlanmaya etki eden faktörler (Traxler, 1963)

Faktörler	Etkilerin bağlı olduğu nedenler				Etkilerin meydana geldiği yer	
	Zaman	Isı	Oksijen	Güneş Işığı	Yüzeyde	Kütlede
Oksidasyon (Işıksız ortam)	x	x	x	--	x	--
Fotooksidasyon (Direk ışık)	x	x	x	x	x	--
Buharlaşma	x	x	--	--	x	x
Fotooksidasyon (Yansıyan ışık)	x	x	x	x	x	--
Fotokimyasal (Direk ışık)	x	x	--	x	x	x
Fotokimyasal (Yansıyan ışık)	x	x	--	x	x	x
Polimerizasyon	x	x	--	--	x	x
Tiksotropi	x		--	--	x	--
Sinerisis	x	x	--	--	x	--
Nükleer enerjiye bağlı değişim	x	x	--	--	x	x
Suyun etkisi	x	x	x	x	x	--
Katı absorbsiyonu	x	x	--	--	x	x
Katı yüzeyinde bileşenlerin absorbsiyonu	x	x	--	--	x	--
Kimyasal reaksiyonlar veya ara fazda katalitik etkiler	x	x	--	--	x	x
Mikrobiyolojik bozulma	x	x	x	--	x	x

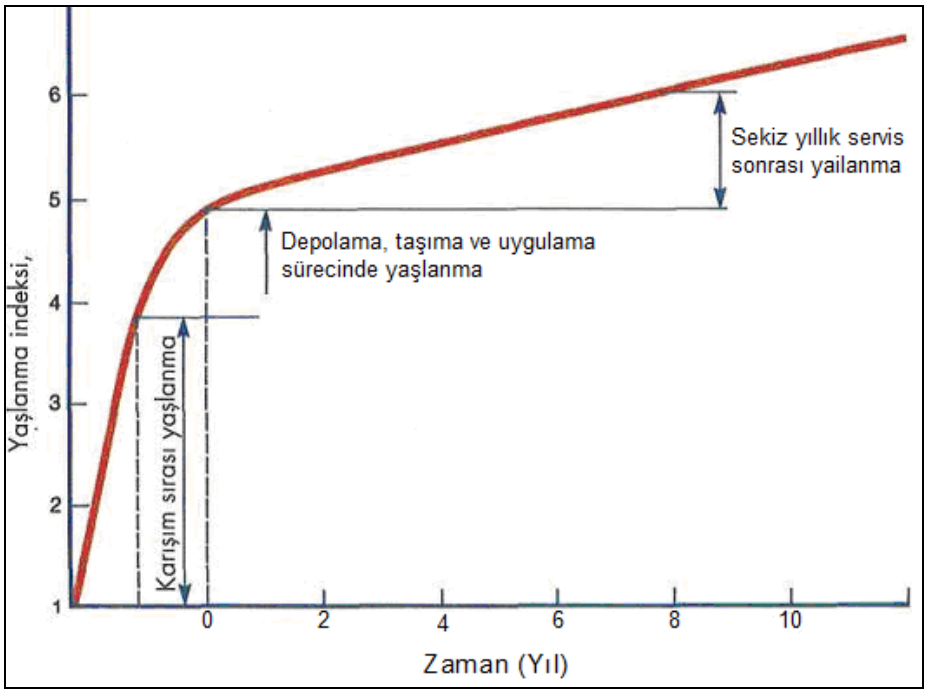
Hizmet aşamasında kaplama sıcaklığı yaklaşık, -25°C ile 0°C arasında iken, karışımın viskozitesi oldukça yüksektir ve bu sıcaklık aralığında düşük ısılardan dolayı, kaplamada düşük sıcaklık çatlakları oluşumu gözlenmektedir. Kaplama sıcaklığı yaklaşık 10°C ile 40°C arasında olduğunda, karışımın viskozitesi azalarak, karışım yumuşamaktadır. Bu sıcaklık aralıklarındaki karışımda, trafik yükü etkisi ile oluşan yorulma döngülerinin oluşumu artmaktadır. Kaplama sıcaklığı yaklaşık, 40°C'nin üstüne çıktığında ise karışımın viskozitesi daha da azalmakta ve kaplamada taşıtların etkilerinden dolayı tekerlek izi oluşumu hızlanmaktadır. Bu durum Şekil 2.3'de görülmektedir (Balta, 2004).

Uzun dönem yaşlanma sürecini kapsayan hizmet aşamasında oksidasyon çok yavaş olmaktadır. Depolama, plente taşınma, karıştırma, serim yerine tasıma, serme,

sıkıştırma esnasında toplam oksidasyonun yaklaşık %70'inin meydana geldiği ve yol üzerinde oksidasyonun yavaşladığı, uzun dönem yaşlanma sürecinde ise 8 yılda sadece toplam oksidasyonun geri kalan kısmı yani, %30'unun oluştuğu görülmüştür. Bu durum Şekil 2.4'de görülmektedir (Whiteoak, 2004).



Şekil 2.3. Bitümlü sıcak karışım asfalt kaplamanın farklı sıcaklıklarda gösterdiği deformasyonlar (Balta, 2004)



Şekil 2.4. Karıştırma, depolama, taşıma, uygulama ve servis sırasında bitümün yaşlanması (Whiteoak, 2004)

Bingöl ilinde uygulanabilecek bitümün performans seviyesi belirlenerek TÜPRAŞ Petrol Rafinerisinden temin edilen 70/100 ve 100/150 penetrasyon dereceli

bitümlere dinamik kayma reometresi (*DSR*) deneyi uygulanarak tekerlek izi bakımından Bingöl ili için uygun bağlayıcı belirlenmeye çalışılmıştır (Ahmedzade ve ark., 2008). Elde edilen meteorolojik verilerden en yüksek hava sıcaklığı 38°C, en düşük hava sıcaklığı -16°C bulunmuştur ve superpave formullerine göre performans sınıfı %50 güvenilirlik için PG 64-16, %98 güvenilirlik için PG 64-22 olarak tespit edilmiştir. Bingöl ili için tekerlek izi dayanımı bakımından Tüpraş Petrol Rafinerisinden temin edilen bağlayıcılara yaşlandırmadan önce ve sonra penetrasyon, yumuşama noktası ve dönmeli ince film halinde ısıtma (*RTFOT*) deneyleri uygulanmıştır. Yaşlandırılmış numunelere ise dinamik kayma reometresi deneyi uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 2.3 ve 2.4'de görülmektedir ve bu sonuçlara göre; 70/100 pen. bitümün tekerlek izi dayanımı bakımından uygun, 100/150 pen. bitümün ise uygun olmadığı görülmüştür (Ahmedzade ve ark., 2008).

Tablo 2.3. Tüpraş Petrol Rafinerisi 70/100 ve 100/150 pen bitüm deney sonuçları (Ahmedzade ve ark., 2008)

70/100			
Özellikler	Deney Metodu	Sonuç	Şartname Limitleri
Penetrasyon, 25°C, 0.1 mm	EN 1426	92	70-100
Yumuşama Noktası, °C	EN 1427	49.2	43-51
RTFO Yöntemiyle Yaşlandırıldıktan sonra			
Kütle Değişimi, %	EN 12607-1	0.493	mak. 0.8
Penetrasyon, 25°C, 0.1 mm	EN 12607-1	57	-
Kalıcı Penetrasyon, %	EN 12607-1	62	min. 46
Yumuşama Noktası, °C	EN 1427	57.1	min. 45
Yumuşama Noktasındaki Artış, °C	EN 1427	7.9	mak. 9
100/150			
Özellikler	Deney Metodu	Sonuç	Şartname Limitleri
Penetrasyon, 25°C, 0.1 mm	EN 1426	132	100-150
Yumuşama Noktası, °C	EN 1427	46.1	39-47
RTFO Yöntemiyle Yaşlandırıldıktan sonra			
Kütle Değişimi, %	EN 12607-1	0.668	mak. 0.8
Penetrasyon, 25°C, 0.1 mm	EN 12607-1	78	-
Kalıcı Penetrasyon, %	EN 12607-1	59	min. 43
Yumuşama Noktası, °C	EN 1427	55.9	min. 41
Yumuşama Noktasındaki Artış, °C	EN 1427	9.8	mak. 10

Tablo 2.4. 70/100 ve 100/150 pen bitümün DSR deney sonuçları (Ahmedzade ve ark., 2008)

70/100				
Sıcaklık, °C	G*, Pa	Faz Açısı, δ	G*/sinδ, Pa	Şartname Limitleri, Pa (AASHTO TP5)
DSR (İşlem Görmemiş Bağlayıcı)				
64	1485.33	82.04	1499.80	min. 1000
70	760.373	83.94	764.665	min. 1000
DSR (RTFO ile Yaşlandırılmış Bağlayıcı)				
64	4975.04	73.83	5180.02	min. 2200
100/150				
DSR (İşlem Görmemiş Bağlayıcı)				
58	2290.15	80.36	2323.05	min. 1000
64	985.546	83.63	991.667	min. 1000
DSR (RTFO ile Yaşlandırılmış Bağlayıcı)				
58	12087.4	68.6	12981.9	min. 2200

Güngör ve Sağlık (2008) tarafından basınçlı yaşlandırma deneyi (*PAV*), dönmeli ince film halinde ısıtma deneyi (*RTFOT*), eğilme kiriş reometre deneyi (*BBR*), dinamik kayma reometresi deneyi (*DSR*) ile Türkiye bitümlerinin hangi sıcaklık aralığında çalıştıkları araştırılmıştır. Bu amaçla ülkemizde üretim yapan dört rafineriden (Kırıkkale, İzmit, Aliağa, Batman rafinerileri) farklı penetrasyon değerlerine sahip bitüm numuneleri alınarak her penetrasyon sınıfı bitüm için üçer adet performans sınıflama deneyleri yapılmıştır. Bitüm performans sınıfları belirlenirken bitümün yüksek sıcaklık, düşük sıcaklık ve ortalama hizmet sıcaklığındaki davranışları ile kısa ve uzun dönem yaşlanma özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır.

Elde edilen deney sonuçları Tablo 2.5'de görülmektedir, bu verilere göre Kırıkkale, İzmit ve Aliağa rafinerilerinde üretilen 50/70, 70/100 ve 160/220 sınıfı bitümlerin performans sınıfları sırasıyla, PG 64-22, PG 58-22 ve PG 52-28 olup; Batman rafinerisine ait aynı penetrasyon sınıfı bitümlerin performans sınıfları ise genel olarak bir üst sınıf, yani sırasıyla PG 70-22/28, PG 64-28 ve PG 58-28/34 bulunmuştur.

Tablo 2.5. Kırıkkale, İzmit, Aliağa ve Batman Rafinerileri bitümleri *Superpave* sınıflama sonuçları (Güngör ve Sağlık, 2008)

BİTÜM		Orijinal Bitüm Deneyleri					RTFOT Sonrası Bitüm Deneyleri			PAV Sonrası Bitüm Deneyleri									Sınıfı
Rafinerisi	Sınıfı	Penetrasyon	Yumuşama Noktası, °C	Brookfield viskozite, 135°C	DSR (G*/sinδ>1 kPa)		Kütle Kaybı, %	DSR (G*/sinδ>2.2 kPa)		DSR (G*.sinδ<5000 kPa)		BBR (Eğilme Sünme Rijitliği)							
					Yenilme Sıcaklığı, °C	Sınıfı		Yenilme Sıcaklığı, °C	Sınıfı	Yenilme Sıcaklığı, °C	Sınıfı	S (≤300 Mpa)			m-değeri (≥0,300)				
												-12	-18	-24	-12	-18	-24		
Kırıkkale	50/70	63.5	49	365	66.8	64	0.05	67.5	64	20.5	22	162	320	-	0.32	0.27	-	PG 64-22	
	70/100	84.3	47	306	63.2	58	0.06	64.9	64	21.7	22	130	275	-	0.33	0.28	-	PG 58-22	
	160/220	181	40	179	53.8	52	-0.02	57.2	58	16.8	19	429	92.7	329	0.38	0.33	0.25	PG 52-28	
İzmit	50/70	71	51	333	64.8	64	0.11	64.4	64	23.1	25	193	345	-	0.32	0.26	-	PG 64-22	
	70/100	97	48	255	61.4	58	1.99	60.2	58	21.5	22	154	307	615	0.32	0.27	0.2	PG 58-22	
	160/220	190	40	165	54.4	52	-0.01	53	52	18.4	19	-	205	352	-	0.32	0.29	PG 52-28	
Aliağa	50/70	59	50	408	67.9	64	0.04	67	64	27.6	28	288	528	-	0.31	0.23	-	PG 64-22	
	160/220	198	40	201	55.6	52	0.74	54.4	52	14.55	16	-	204	447	-	0.35	0.25	PG 52-28	
Batman	50/70	70	51	539	70.8	70	-0.75	77.9	76	22.1	25	75.4	156	-	0.33	0.3	-	PG 70-22/28	
	70/100	95	47	408	66.6	64	-1.1	73.4	70	19.5	22	-	136	244	-	0.27	0.27	PG 64-28	
	160/220	184	40	235	60.6	58	-1.8	65.5	64	13.5	16	-	81.7	153	-	0.3	0.3	PG 58-28/34	

Üzerinde yarım yüzyılı aşkın bir süredir araştırmalar yapılan ve hala çözülemeyen bir sorun halinde olan termal çatlaklar, iki farklı şekilde ortaya çıkmaktadır. Kaplamalarda sıcaklık değişiminin tekrarlanması nedeniyle oluşan çatlaklar, termal yorulma çatlakları olarak adlandırılırken, kaplamalarda aşırı soğuk nedeniyle aniden oluşan çatlaklar ise düşük sıcaklık çatlakları olarak adlandırılmaktadır (Zeng, 1995).

Bitümlü kaplama, soğuk hava koşullarında büzülmeye çalışmaktadır. Bitümlü kaplama ile altındaki tabaka arasındaki ara yüzeyde oluşan sürtünme, bitümlü kaplamanın büzülmesini engellemeye çalışmakta ve bunun sonunda bitümlü kaplamada çekme gerilmeleri oluşmaktadır. Kaplama içerisinde termal nedenlerle ortaya çıkan çekme gerilmesi, bitümlü karışımın çekme dayanımına ulaştığında, kaplamada çatlaklar meydana gelmektedir. Sahada yapılan gözlemler, çatlağın birdenbire yüzeyde başladığını ve kaplamanın tabanına kadar indiğini göstermiştir (Jung, 1994).

Düşük sıcaklık çatlaklarını etkileyen faktörlerden bitümlü bağlayıcı oranını, katkı türlerini, hava boşluğu oranını ve yaşlandırma sürelerini ayrıntılı olarak inceleyebilmek amacıyla, sınırlandırılmış numunede termal gerilme testi (*Thermal Stress Restrained Specimen Test-TSRST*) cihazı kullanılarak deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları üzerinde, İstatistiksel Analiz Sistemi paket programı yardımıyla, genel lineer model işlemleri kullanılarak kovaryans analizi yapılmıştır. Bitümlü bağlayıcı oranı ve hava boşluğu oranının, karışımın kırılma sıcaklığı üzerinde etkili olmadığı belirlenmiştir. Katkı türüne göre, kırılma sıcaklığının değiştiği, yaşlanma süresi arttıkça, kırılma sıcaklığının yükseldiği görülmüştür. *TSRST* deneyinden elde edilen verilerin irdelenmesiyle aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir (Ağar ve Taşdemir, 2005);

- Bitümlü bağlayıcı oranının, karışımın kırılma sıcaklığı ve kırılma dayanımı üzerinde etkili olmadığı saptanmıştır.
- Hava boşluğu oranı, karışımın kırılma sıcaklığı üzerinde; küçük değişimlere sahip olduğunda etkisiz, büyük değişimlere sahip olduğunda ise etkili bulunmuştur. Hava boşluğu oranı arttıkça, yaşlandırılmamış veya 5 gün süre ile yaşlandırılmış karışımların kırılma sıcaklığı 1~2ºC düşmüştür. Bu değerler, *TSRST* deneyinin tekrarlanabilme aralığının içerisinde olduğu için ihmal edilebilir düzeydedir. Hava boşluğu oranındaki büyük değişimin, kırılma dayanımında, katkı türü ve yaşlandırma süresine bağlı olarak azalmaya neden olduğu saptanmıştır.

- Karışımlarda kullanılan katkı türlerine göre, kırılma sıcaklıklarının değiştiği gözlenmiştir. Fabrikada modifiye edilmiş bitümlü bağlayıcı ile üretilen karışım, diğerlerine göre daha düşük sıcaklıkta kırılmıştır. Bitümlü karışımlarda katkı kullanımı, karışımın kırılma dayanımını artırmıştır. Fabrikada modifiye edilmiş bitümlü bağlayıcı ile üretilen kaplamaların düşük sıcaklık çatlaklarına karşı, diğer karışımlara göre daha dirençli olabileceği ortaya çıkmıştır.
- Yaşlandırma süresi arttıkça; kırılma sıcaklığının yükseldiği, karışımın kırılma dayanımının azaldığı belirlenmiştir.
- Yapılan kovaryans analizi sonucunda kurulan kırılma sıcaklığı ve kırılma dayanımı modellerinin tümünde R^2'lerin anlamlı olduğu tespit edilmiştir.

Ahmedzade ve ark. (2008) tarafından yapılan çalışmada polyester reçinenin bitümlü bağlayıcıların yüksek sıcaklık performans seviyesi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Saf ve dört farklı oranda (%0.75 - %1.0 - %2.0 ve %3.0) polyester reçine (*PR*) kullanılarak hazırlanan modifiye bitümler dönmeli ince film halinde ısıtma deneyi (*RTFOT*) yöntemiyle yaşlandırılmıştır. Saf ve modifiye edilmiş bağlayıcılar yaşlandırılmadan önce ve sonra 64°C sıcaklıkta dinamik kayma reometresi (*DSR*) deneyine tabi tutulmuştur. Ayrıca bağlayıcıların yüksek performanslı asfalt kaplama sistemine göre tekerlek izi dayanımı bakımından performans seviyesi, yüksek sıcaklık değerleri belirlenmiştir. Modifiye bağlayıcılardaki polyester reçine oranı arttıkça tekerlek izi dayanım parametresi bakımından yüksek sıcaklıklardaki bağlayıcı performansının arttığı belirlenmiştir.

Elde edilen sonuçlardan bitümlü bağlayıcılardaki polyester reçine oranı arttıkça G* ve G*/sinδ değerinin arttığı faz açısının (δ) ise azaldığı belirlenmiştir. 25 mm'lik plaklar kullanılarak 1 mm kalınlığında yaşlandırılmamış numuneler üzerinde 10 radyan/saniye'lik frekansta 120 Pa yük uygulanarak yapılan dinamik kayma reometresi (*DSR*) deneyleri sonucunda tespit edilen artan polyester reçine içeriğine karşı G*/sinδ değeri artmış ve faz açısı (δ) azalmıştır. Bitümlü bağlayıcılardaki polyester reçine içeriği arttıkça tekerlek izine karşı dayanım artmıştır. Faz açısındaki (δ) azalma ayrıca bitümlü bağlayıcıların elastikiyet özelliğinin arttığını, uygulanan yük sonucu oluşan deformasyonlarda kalıcı deformasyon miktarının azalacağını göstermektedir (Ahmedzade ve ark., 2008).

Yılmaz ve Kök'e (2007) göre bitüm modifikasyonunda kullanılan stiren-butadien-stiren (*SBS*) katkı maddesinin bitümlü bağlayıcının yüksek sıcaklık

performansına ve işlenebilirliğine etkisi şu şekildedir; *SBS* oranı arttıkça karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları artmaktadır. Ayrıca *DSR* deneyleri sonucunda yaşlandırılmış ve yaşlandırılmamış bağlayıcılarda *SBS* oranı artması ile yüksek sıcaklık dayanım parametresi olan G*/sinδ değerinin arttığı belirlenmiştir. Üç farklı oranda (%2, 4 ve 6) *SBS*, 100/150 penetrasyonlu bitüme ilave edilerek modifiye bağlayıcılar elde edilmiştir. Saf ve modifiye bağlayıcılar, dönel viskozimetre (*RV*) deneyine tabi tutularak karışımların sıkıştırma ve karıştırma sıcaklıkları tespit edilmiştir. Saf ve modifiye bağlayıcılar dönel ince film halinde ısıtma deney (*RTFOT*) yöntemi ile yaşlandırılmıştır. Bağlayıcılara yaşlandırma işleminden önce ve sonra *DSR* deneyi uygulanarak bağlayıcıların yüksek performanslı asfalt kaplama sistemine göre yüksek sıcaklık performans seviyeleri belirlenmiştir.

RV deney sonuçlarından, *SBS* oranı arttıkça bağlayıcı rijitliklerinin arttığını dolayısıyla işlenebilirliğin azaldığını belirlemişlerdir. Buna rağmen %6 *SBS* kullanılması durumunda dahi *RV* deneyi için sınır değer olan 3000 cP değerinin aşılmadığı bu nedenle bütün bağlayıcıların işlenebilirlik açısından uygun olduğu tespit edilmiştir. *DSR* sonuçlarından artan *SBS* içeriği ile tekerlek izine karşı dayanımın arttığı belirlenmiştir. Yaşlandırılmadan önce ve sonra saf bitümün 64°C'de, %2 ve %4 *SBS* içeren bağlayıcının 70°C'de ve %6 *SBS* içeren modifiye bitümün 82°C sıcaklıkta *Superpave* şartnamelerini sağladığı tespit edilmiştir. %2 ve %4 *SBS* içeren bağlayıcıların yüksek sıcaklık performansları aynı çıkmasına karşın %4 *SBS* içeren bağlayıcının G*/sinδ değeri %2 *SBS* modifiyeli bağlayıcının sahip olduğu değerden yüksek çıkmıştır. Faz açısı değerlerinden, sıcaklık artışı ile faz açısının arttığı, bağlayıcılardaki *SBS* oranının artmasıyla ise düştüğü belirlenmiştir. Bu sonuçlardan sıcaklık artışı ile bağlayıcıların daha fazla viskoz özellik göstereceği, *SBS* kullanılması sonucu ise yüksek sıcaklıklarda daha fazla elastik davranış gösterecekleri söylenebilmektedir.

Bitüm modifikasyonu için kullanılan polimerler, elastomer ve plastomer adı altında iki geniş kategoriye ayrılabilmektedir (Airey, 2002). Elastomerler karakteristik olarak yüksek esneklik tepkimesine sahip olduğundan, kalıcı deformasyona daha iyi karşı koyar ve başlangıç biçimlerini tekrar alırlar. Plastomerler sert, katı, üç boyutlu ağsı yapılarıyla deformasyona karşı koyarlar. Termoplastik lastik olan *SBS* elastomerlere bir örmektir ve termoplastik polimer olan *EVA* plastomere bir örnektir (Airey ve Brown 1998). Yol kaplaması uygulamalarında sıkça kullanılmış plastomerlerden biri *EVA*'dır. *EVA* polimerler, 20 seneden fazla bir süredir, asfalt işlenebilirliğinin iyileştirilmesi ve

yolun hizmet süresi boyunca oluşabilecek deformasyonlara karşı dayanıklılığının geliştirebilmesi için yol inşasında kullanılmaktadır (Airey, 2002).

Bitümlü sıcak karışımlara *EVA* ilavesi sadece performansın iyileştirilmesi için kullanılmamakta, ayrıca soğuk havada yapılan uygulamalarda da önemli miktarda kullanılmaktadır. *EVA*, kesme kuvvetine hassaslığından ve daha yumuşak bitümle kullanılabildiğinden dolayı karışımın işlenebilirliğini artırmaktadır (Gonzales ve ark., 2004).

Genel olarak mekanik açıdan bakıldığında elastomerler bitümü esnek hale getirmekte böylece karışım daha ağır yükler altında kırılmadan esneyebilmektedir. Plastomerler ise bitümü sert hale getirmekte, karışım fazla esnemeden büyük yüklere dayanabilmektedir (Holleran, 1990).

Viskozite ölçümleriyle birleştirilmiş amprik testler, polimer modifiye bitümlerin performansını tanımlamada başarısız olmaktadır. Performans, bağlayıcıların temel reolojik karakterlerinin incelenmesiyle ifade edilebilir. Reoloji, bitüm araştırmacıları için çok önemli bir inceleme alanıdır. Farklı yükleme (yük ve frekans) ve ısı değerleri altında bitümün davranışının tam incelemesi arazideki bitümün davranışının tahmininde çok yardımcı olur (Ven ve Jenkins, 2002).

Mehndiretta ve ark. (2005), *EVA* ile modifiye edilmiş bitümün yüksek ısılarda gösterdiği reolojik özelliklerini incelemiştir. İki farklı penetrasyon değerine sahip bitümün farklı oranlarda *EVA* polimerle modifikasyonundan sonra *DSR* uygulamak suretiyle reolojik niteliklerini araştırmışlardır. Araştırmanın sonuçları göstermiştir ki, *EVA* polimer modifikasyonunda polimer içeriği arttıkça bağlayıcının dayanım ve elastikliği artmaktadır. *EVA* oranındaki artış yorulma ve kalıcı deformasyon direncini artırmaktadır. Bitümün modifiye edilmesiyle elastik geri kazanım değeri önemli derecede artmaktadır. 60/70 pen. bitüm için %5 katkı oranında geri kazanım değeri maksimuma ulaşırken bu değer 80/100 pen. bitüm için %7 katkı oranında elde edilmektedir.

Isacsson ve Lu (1999), çeşitli saf ve modifiye bitümlerin karakteristik özelliklerinin belirlenmesi üzerine çalışmışlardır. Bitümün ve polimerin uyuşabilirliği, depolama stabilitesi, reoloji ve yaşlanma üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Sonuçlar göstermiştir ki, uyuşabilirlik ve polimer modifiye bitümün depolama stabilitesi, büyük ölçüde polimer miktarına, temel saf bitümlerin karakteristiklerine ve polimer özelliklerine bağlıdır. Bitümün reolojik özellikleri polimer ilavesiyle

geliştirilebilmektedir. Geliştirilmiş vizkoelastik özellikler, faz açısı ve depolama modülleri gibi dinamik mekanik analiz kullanılarak elde edilmiş çeşitli katsayılarla tanımlanabilmektedir.

Oliver (2000), bitüm-lastik karışımı bağlayıcıların tekerlek izi ve yorulma özelliklerini 30 dak., 1 sa., 2 sa. ve 24 sa. için analiz etmiştir. Bitümün içerisine %15 oranında 160°C, 180°C ve 200°C sıcaklıklarda parçalanmış otomobil lastiği ilave etmiştir. Diğer bağlayıcılar gibi performansının değerlendirilmesi için *DSR* kullanmıştır. Zaman ve sıcaklık arttıkça 20°C ve 60°C'de yapılan ölçümlere göre kompleks kayma modülünün (G*) azaldığı gözlenmiştir. Faz açısına (δ) bakıldığında ise zaman ve ısı artışı ile 20°C'de faz açısında artış olmuş ve biraz elastik malzeme özelliği göstermiştir. Diğer taraftan, 60°C'de 24 saatten az süre için faz açısı sıcaklık ve zamanla azalmış ve çok elastik malzeme özelliği göstermiştir.

Souza ve ark. (2005) tarafından yapılan çalışmada gözlem süresi boyunca bitüm ve hurda lastik karışımlarının performansı gözlenmiştir. Brookfield viskozitesi, kompleks kayma modülü (G*), faz açısı (δ), yumuşama noktası sıcaklığı, sünme dayanımı ve tepki eğimi gibi değerler 0.2 mm ve 1.2 mm lastik parçacıkları katılmış bitümler için tespit edilmiştir. Ve şu sonuçları bulmuşlardır;

- Farklı ebatta lastik parçacıkları kullanılmasına rağmen gözlem süresince bitüm-lastik karışımları benzer performans göstermiştir.
- Düşük sıcaklıklarda 0.2 mm ebatlı lastik ile hazırlanmış bitüm karışımları daha iyi performans sergilemiştir. Gözlem süresince sağlamlık modülü değerleri azalma gösterirken m değerleri artış göstermiştir.
- Yüksek sıcaklıklarda en iyi performans 1.2 mm ebatlı lastik parçacıkları ile hazırlanan bitümlü karışımlarda görülmüştür. Kompleks Kayma Modülü (G*) ve yumuşama noktası değerleri yükselirken faz açısı (δ) azalmıştır.

Modifiye edilmemiş, penetrasyon dereceli bitümlerin kısa ve uzun süreli yaşlanmalarıyla alakalı yapısal ve kimyasal değişiklikler bilinebilmekte ve anlaşılabilmektedir. Ancak, polimer modifiye bitümlerde bu değişiklikler tam olarak anlaşılamamaktadır. Bağlayıcılara uygulanan geleneksel nitelik testleri (penetrasyon, yumuşama noktası ve viskozite) ve dinamik mekaniksel test kullanılarak 3 temel bitümün ve 15 polimer modifiye bitümün yaşlanmadan sonra oluşan yapısal değişiklikleri ölçülmüştür. Geleneksel testler modifiye edilmemiş bitümlerin reolojiksel

özelliklerine yaşlanmanın etkisini belirlemek için kullanılmıştır. Ancak modifiye bitümler için aynı şekilde kullanılabilmesi sınırlıdır. Polimer modifiye bitümler petnetrasyon dereceli bitümlere kıyasla yaşlanmaya karşı farklı tepkiler göstermektedirler. Dinamik kayma sonuçları göstermiştir ki, *EVA* modifiye bitümlerin yaşlanmadan sonra oluşan değişiklikleri yarı-kristal eşpolimerdeki bir kimyasal değişiklikle alakalı olabilir. *SBS* modifiye bitümlerin reolojiksel değişiklikleri eşpolimer moleküler yapının alt moleküler yapıya bozulmasıyla bağlantılı olabilir (Airey ve Brown, 1998).

Bitüm, birçok organik madde gibi ortamdaki oksijenden, ultraviole ışıktan ve sıcaklık değişimlerinden etkilenir. Bu harici etkiler bitümün sertleşmesine neden olur, penetrasyonu azalır, yumuşama noktası ve viskozitesi artar (Whiteoak, 1990).

Hizmet ömrü boyunca meydana gelen yaşlanma, karışımın sıkıştırılma derecesi (hava boşluk oranı), geçirgenliği ve agrega tanelerini saran bitüm film kalınlığı gibi faktörlere bağlıdır (Şengöz, 2005).

Lu ve ark. (2003) tarafından bitümlü bağlayıcıların ve bitümlü karışımların düşük sıcaklık özelliklerine polimer modifikasyonunun etkileri yapılan bir çalışmada araştırılmıştır. 3 tane bitümlü bağlayıcı %6 oranında *SBS*, *SEBS*, *EVA* veya *EBA* ile karıştırılmıştır. *Gyratory* kompaktör kullanılarak yoğun derecelenmiş asfalt karışımları hazırlanmıştır. Bağlayıcıların düşük sıcaklık özellikleri *DSR*, *BBR* deneyleri kullanılarak, bitümlü karışımların düşük sıcaklık özellikleri ise sınırlı çekme deneyi kullanılarak karakterize edilmiştir. Sonuçlar göstermiştir ki; düşük sıcaklık parametreleri büyük ölçüde temel bitüme dayanmaktadır, çoğu durumda polimer modifikasyonu önemli miktarda fayda göstermemektedir. Karışımların kırılma sıcaklıkları, *DSR* kullanılarak belirlenen sıcaklıklarla değil, bitümlü bağlayıcıların frass kırılma noktası tarafından elde edilen sıcaklıkla ilişkilidir. Düşük sıcaklıklardaki depolama durumunda bitümlü bağlayıcılar fiziksel sertleşme göstermekte bunda polimer modifikasyonunun etkisi küçük olmaktadır.

Al-Abdul-Wahhab ve ark. (1991) tarafından yapılan çalışmada lastik parçacıkları ilave edilerek yapılan sıcak karışım asfalt kaplamaların, katkısız sıcak karışım kaplamalara nazaran daha esnek olduğu, sıcaklık etkisiyle oluşan deformasyonlara ve soğuk etkisiyle oluşan çatlaklara daha dayanıklı olduğu görülmüştür.

Çetin (1997), sıcak karışım asfalt kaplamalara plastik ilave edilmesinin karışımların marshall stabilite değerini ve dolaylı çekme mukavemetini artırdığını tespit etmiştir.

Çelik (2000), parçalanmış otomobil lastiği ile modifiye edilmiş sıcak karışım asfaltın yorulma davranışını incelemiştir. Kiriş numunelerinin yorulma sürelerini belirlemek için sabit basınç deneyi yöntemini kullanmıştır. Asfalt karışımın yorulma dayanımına lastikle modifiye edilmiş bitümün ve farklı bağlayıcı oranlarının etkisi incelenmiştir. Otomobil lastiği ile modifikasyon asfalt karışımın yorulma süresini artırmıştır. %5 oranında katkı kullanımı halinde 50 penetrasyon bitümün yorulma süresini 2 kat, 100 penetrasyon bitümün yorulma süresini 23 kat artırmıştır.

Çelik (2003), yaptığı bir başka çalışmada vulkanize otomobil lastiği parçacıkları ile modifiye edilmiş bitümlerin Penetrasyon İndeksini (*PI*) incelemiştir. Dört farklı boyutta vulkanize otomobil lastiği parçacıkları, %2, %5, %10 ve %20 oranlarında, 50 ve 100 penetrasyon dereceli bitüm içerisine 160°C'de farklı karıştırma sürelerinde karıştırılmıştır. Uygulanan karıştırma süreleri ½, 2, 4 ve 6 saattir. 50 penetrasyon dereceli bitüme %5 oranında lastik katkısı ilavesi ile bağlayıcının sıcaklık hassasiyetinin arttığı, daha yüksek oranlarda katkı ilavesi halinde sıcaklık hassasiyetinin azaldığı gözlenmiştir. 100 penetrasyon dereceli bitüme yapılan lastik katkısının ise sıcaklık hassasiyetini azalttığı görülmüştür. Farklı boyutlarda lastik ilavesi halinde ise bitümlü bağlayıcıların katkı oranı arttıkça sıcaklık hassasiyetinde azalma olmuştur.

Tayfur ve ark. (2007) beş modifiye bitümlü asfalt karışımı kullanarak, karışımların mekanik özelliklerini değerlendirmişler ve asfaltların deformasyon dirençlerini araştırmışlardır. Modifiye edici olarak polialfaolefin, selüloz fiber, poliolefin, bitümlü selüloz fiber ve stiren-bütadien-stiren kopolimeri kullanmışlardır. Agrega olarak Çorlu yöresine ait bazalt kaba agrega ve Gebze bölgesine ait kalkerli filler agrega kullanmışlardır. Farklı yükleme ve sıcaklık değerleri için dolaylı çekme, sünme ve *LCPC* kırılma testleri uygulanmıştır. Sünme ve kırılma test sonuçlarına göre en iyi değerler *SBS* karışımlarında elde edilmiştir. Polialfaolefin katkılı karışımlar hariç Marshall stabilite değerleri yüksek elde edilmiştir.

Atasağun (2009) tarafından piroliz yöntemi kullanılarak elde edilen sıvılaştırılmış çörekotu küspesi ile modifiye edilen bitümlü bağlayıcının reolojik özellikleri araştırılmıştır. Reolojik özellikler üzerindeki etkiler penetrasyon, yumuşama noktası, dinamik kayma reometresi, dönmeli ince film halinde ısıtma deneyi ve eğilme kirişi reometresi deneyi kullanılarak belirlenmiştir. Modifiye edilmiş bitümün

penetrasyon derecesi yükselmiş, yumuşama noktası düşmüştür. Katkısız bitümün hem yaşlandırılmadan önce hem de *RTFOT* yöntemiyle yaşlandırıldıktan sonraki *DSR* deney sonuçlarının daha iyi olduğu görülmüştür. Çörekotu ilavesinin bitümün yüksek sıcaklık performansına iyileştirme yapmadığı görülmektedir. Düşük sıcaklık dayanımında iyileşme olmaktadır.

Polyester reçinenin asfalt betonu üzerindeki etkisini incelemek için 75/100, 100/150 penetrasyon bitüm ve %0.75 polyester reçine katkılı bitümlerle sıcak karışımlar hazırlanarak marshall numunelerinin dolaylı çekme sertlik modülleri ve statik yüklemeli sünme sertlikleri karşılaştırılmıştır. Polyester reçine katkılı sıcak karışımın marshall stabilitesinin ve dolaylı çekme sertlik modülünün saf bitümlü sıcak karışımlara nazaran daha yüksek olduğu görülmüştür. Statik yüklemeli sünme sertlik deneyinde ise en düşük dayanımı polyester reçine katkılı karışımlar göstermiştir (Yılmaz, 2005).

Katkı maddeleri ilave edilerek bitümün modifiye edilmesi ve bu katkı maddelerinin bitümün reolojik özellikleri üzerindeki etkisinin incelenmesi hususunda birçok çalışma yapılmıştır. Araştırmacılar çok değişik katkı maddeleri kullanmışlardır (Çubuk, 2007).

Katkı maddesi olarak, termoset grubu polimerlerden epoksi reçinesi, fenolformaldehit, termoplastik grubu polimerlerden politetrafloretilen (teflon) ve Mg abietat bileşiği kullanılarak bu katkı maddelerinin bitümün reolojisi üzerine etkileri araştırılmıştır. Bunun için modifiye edilmiş ve saf bağlayıcılara viskozite, penetrasyon, yumuşama noktası, dinamik kayma reometresi (*DSR*), fark taramalı kalorimetre (*DSC*), dönmeli ince film halinde ısıtma deneyi (*RTFOT*), basınçlı yaşlandırma deneyi (*PAV*), kiriş eğilme reometresi deneyi (*BBR*) ve yüzey enerjisi deneyi uygulanmıştır. Modifiye edilmiş bitümle hazırlanan sıkıştırılmamış sıcak karışımlara Nicholson soyulma deneyi uygulanmıştır. Ayrıca, saf ve modifiye edilmiş bağlayıcılar kullanılarak hazırlanan sıcak karışımların marshall stabiliteleri belirlenmiştir (Çubuk, 2007).

Deneysel çalışmalar sonunda katkıların bitümün reolojik özelliklerini geliştirdiği tespit edilmiştir. Kütlece %2'lik epoksi reçine katkısı bitümün viskozitesini artırmış, adezyon özelliklerini geliştirmiş ve tekerlek izi, yorulma çatlakları, soyulma direncini ve stabiliteyi artırmıştır. Benzer şekilde kütlece %2'lik fenolformaldehit reçine katkısı bitümün viskozitesini artırmış, adezyon özelliklerini geliştirmiş ve tekerlek izi, yorulma çatlakları, soyulma direncini ve stabiliteyi artırmıştır. Kütlece %3'lük *PTFE* katkısı bitümün viskozitesini artırmış, tekerlek izi ve yorulma çatlaklarına direnci artırmıştır.

Mg abietat bileşiği ise bitümün adezyonunu geliştirerek soyulma direncini artırmıştır (Çubuk, 2007).

Polimer oranının artışı ile bitümün fiziksel özelliklerinin ve kimyasal yapısının nasıl değiştiğini inceleyen araştırmacılar, 60/70 penetrasyonlu bitüme, 150-180°C sıcaklıkta %2.5; %3.0; %3.5; %4.0; %4.5; %5.0; %5.5 ve %6,0 oranlarında *SBS* Kraton D1192 polimeri karıştırarak modifiye bitümler elde etmişleridir. Elde edilen polimer modifiye bitümlerin penetrasyon, yumuşama noktası, düktilite, elastik geri dönme, viskozite, depolama stabilitesi deneyleri ile laboratuarda yaşlanmayı karakterize edebilmek amacıyla ince film halinde ısıtma kaybı (*Thin Film Oven Test-TFOT*) ve dönmeli ince film halinde ısıtma kaybı (*Rolling Thin Film Oven Test-RTFOT*) deneylerini yapmışlardır. Dönmeli tip viskozite cihazı kullanarak viskozite değerlerinin polimer miktarının artması ile arttığı ve *SBS* ilavesinin bitümün düşük sıcaklıktaki özelliklerini belli bir seviyeye kadar iyileştirdiği, yaşlanmayı belli bir orana kadar azalttığı tespit edilmiştir (Eribol ve Orhan, 2004).

Bitümün sertleşmesi, bitümlü karışımların durabilitesini olumsuz etkilemekte, atmosferik oksidasyon sertleşmenin ana nedenidir, bunun sonucu olarak viskozitede artış ve penetrasyon derecesinde azalma meydana gelmektedir. *SBS* türü katkılar bitümlü bağlayıcının yaşlanmasına olumlu etki yapmaktadır (Aksoy, 2000).

Etilen-vinil-asetat (*EVA*) kopolimer ile modifiye edilmiş bitümlerin morfolojik, termal ve reolojik özelliklerinin incelenmesinde, polimer konsantrasyonuna, polimer-bitüm uyumuna ve bitüm kalınlığına bağlı olarak düşük yüklemelerde ve yüksek servis sıcaklıklarında bitümün elastikiyetini ve sertlik özelliğini *EVA* artırmaktadır (Airey, 2002).

EVA kopolimer katkılı modifiye bitümlerin morfolojik, termal ve önemli reolojik karakteristiklerinin incelendiği çalışmada, üç tür bitüm (orta batı, Venezuella ve Rusya) üzerinde sırasıyla floresan mikroskop, fark taramalı kalorimetri (*DSC*) ve dinamik kayma reometresi kullanılmıştır. %3, 5 ve 7 polimer içeriğinde 170-185°C'de polimer modifiye karışımlar hazırlanmıştır. Metler DSC 30 cihazı ile 0-120°C arasında 5°C/dak ısıtma hızında termal özellikler belirlenmeye çalışılmış, ısıtma modunda endotermik erime pikleri ile soğutma modunda ekzotermik reaksiyonlar kristalizasyon pikleri ile ilişkilendirilmiştir. Araştırma sonuçlarında modifiye bitümlerin termal özellikleri katkısız bitümden daha iyi sonuçlar vermiş, düşük yükleme frekanslarında ve yüksek servis sıcaklıklarında *EVA* modifiye bitümlerin elastikiyetini ve rijitliğini artırmıştır (Airey, 2003).

Dinamik kayma reometresi (*DSR*) ve dönmeli ince film halinde ısıtma (*RTFO*) yaşlanması kullanılarak modifiye edilmiş ve modifiye edilmemiş bitümlü bağlayıcıların çeşitli reolojik özellikleri incelenmiş, sürekli ve boşluklu gradasyona sahip asfalt karışımların özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışmada 50 pen. bitüm, orta polimer içerikli radyal *SBS*, yüksek polimer içerikli lineer *SBS*, orta polimer içerikli *EVA* kullanılmıştır. *RTFOT* ile yaşlandırılmış modifiye edilmiş ve edilmemiş bağlayıcıların yaşlanma sonrası benzer reolojik karakter gösterdikleri görülmüştür (Airey, 2004).

3. MATERYAL VE METOT

Bu bölümde;

- Coğrafi bölgelerde kullanılması önerilen performans sınıflı bitümlerin belirlenmesinde kullanılan Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden temin edilen istasyon sıcaklık verilerinden,
- Sıcak karışım asfalt yapımında kullanılan malzemeler ve uygulanan deneylerden,
- Bitümü modifiye etmek için kullanılan katkı malzemesinden,
- Yüzeysel deformasyon ölçümü ve ölçümlerde kullanılan aletlerden bahsedilecektir.

3.1. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü İstasyon Sıcaklık Verileri

Türkiye coğrafi bölgelerinde kullanılması önerilen performans sınıflı bitümlerin belirlenmesinde kullanılmak üzere Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden bütün istasyonların sıcaklık verileri ve istasyon bilgileri alınmıştır.

Bu sıcaklık verileri analiz edilerek, kullanılabilecek durumda tasnif edildikten sonra yazılan özel bir bilgisayar programı ile sınıflamada kullanılacak her yıl için 7 günlük maksimum sıcaklıkların görüldüğü periyodun değerleri ve her yıl için en düşük sıcaklık değeri verileri edilmiştir. 20 yıldan daha az verisi bulunan istasyonlar kullanılmamaya çalışılmıştır. Belirlenen bu değerler PG değerlerinin tespitinde kullanılmıştır. Ayrıca, istasyon verilerinden o istasyonda ölçülmüş birer maksimum ve minimum sıcaklık değeri tespit edilmiştir.

3.2. Bitümlü Bağlayıcı

Bitüm, siyah veya koyu kahverengi renkli, kuvvetli yapışma özelliği olan, karbondisülfürde çözünebilen, esasen hidrokarbonlar ve onların türevlerinden meydana gelen, ham petrolün damıtılmasından elde edilen veya doğal halde bulunan katı, yarı katı veya sıvı halde bulunabilen bir bağlayıcıdır (BS3690, 1989). Bitüm kısaca, bitümlü kaplamaların yapımında kullanılmak üzere kıvamlılık ve kalitesi bakımından özel olarak hazırlanmış olan yumuşatılmış veya yumuşatılmamış bir bağlayıcı olarak da

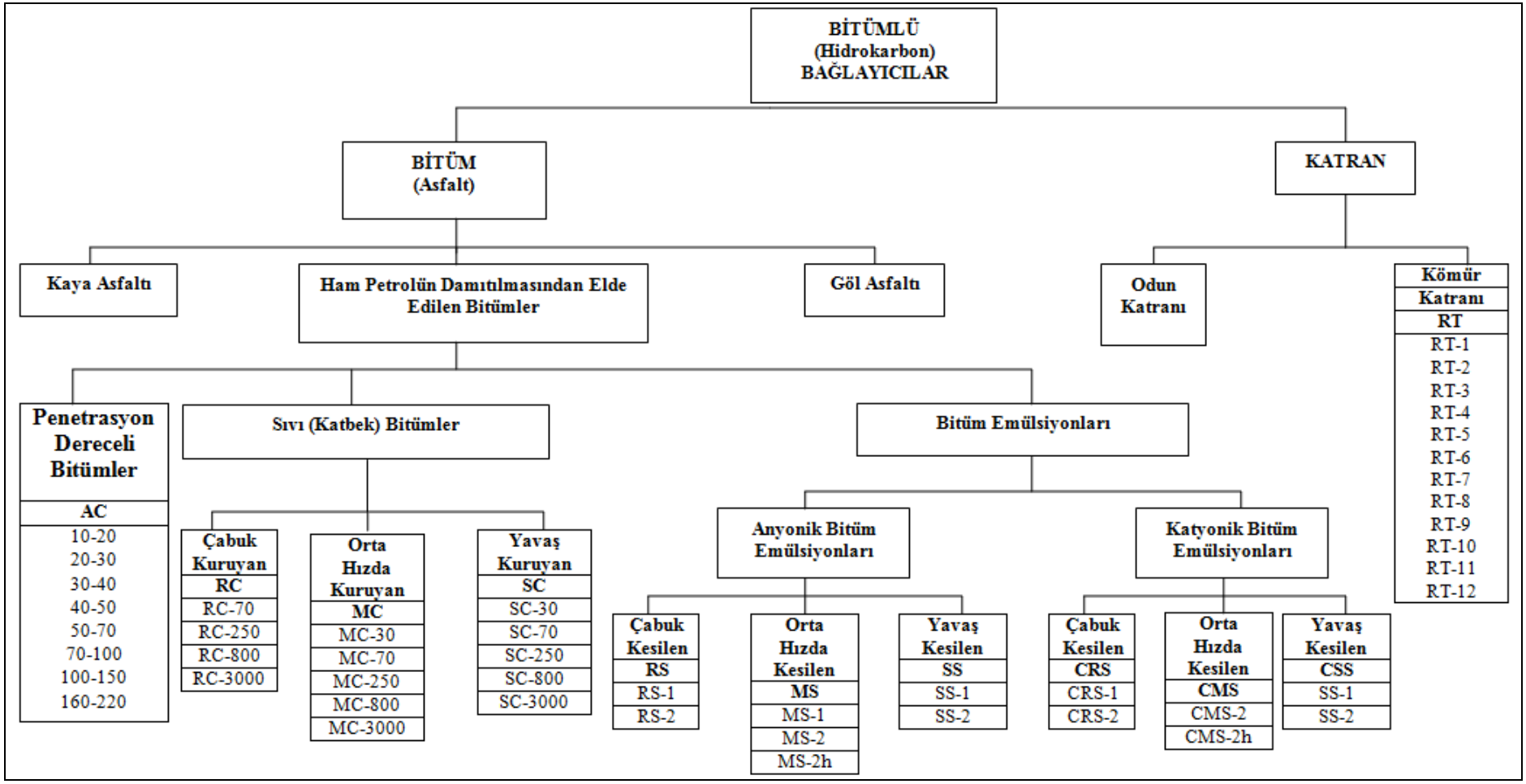
tanımlanabilir. Bitümlü bağlayıcıyı kullanabilmek için mutlaka sıvılaştırmak gerekir. Sıvılaşan bağlayıcı karışımdaki agregaları sarar ve sertleşerek bağlayıcılık görevini yerine getirir (Çelik, 2006). Yol üstyapısında kullanılan bitümlü bağlayıcıların sınıflaması Şekil 3.1'de verilmiştir.

Doğal bitümler doğada genellikle mineral maddelerle karışık halde bulunurlar. Doğal bitümler kaya bitümü ve göl bitümü gibi sınıflara ayrılırlar. Memleketimizde doğal bitüm Bolu, Eskişehir, Hatay ve Mardin civarında bulunur.

Kaya bitümü oldukça gözenekli kalkerin, daha seyrek olarak da kum taşının doğal olarak bitüm emmesinden oluşur. Mineral madde oranı genellikle malzemenin %90'ını oluşturur, bitüm oranı da %10 kadardır. Memleketimizde bulunan kaya bitümleri daha çok kum taşı, kalker, kil gibi mineral maddeler ile %2~12 civarında bitümün karışımından oluşmaktadır.

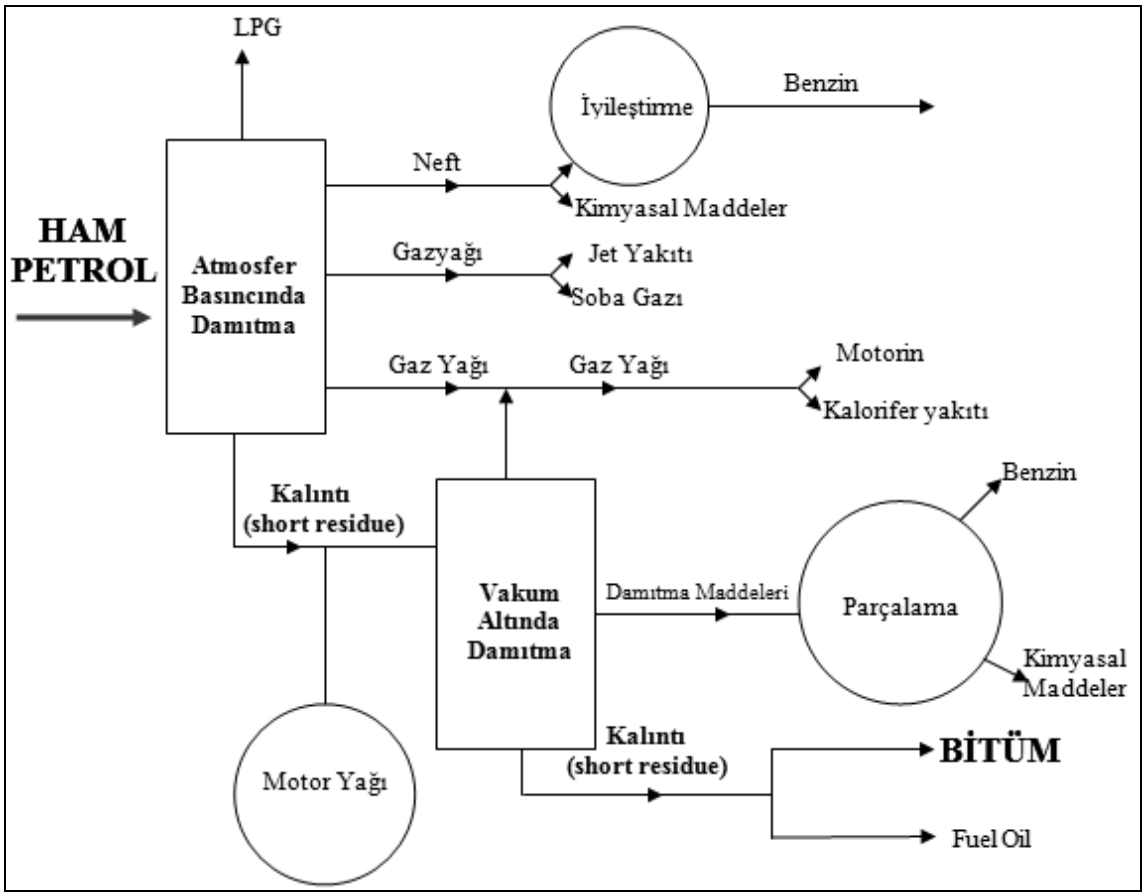
Göl bitümünde mineral malzeme çok ince taneler halinde bu bitüm ortamı içinde yayılmış durumdadır. En çok bilinen göl bitümü Trinidad göl bitümüdür. Trinidad adasında mevcut bir bitüm gölünün derinliği takriben 100 m olup geniş bir alanı kaplamaktadır. Göldeki malzeme yarı katı bir bitüm ile ince mineral agreganın çok iyi bir karışımıdır. Burada elde edilen bitüm içinde %35 kadar mineral malzeme mevcuttur.

Petrol bitümü dediğimiz bağlayıcılar ise ham petrolün işlenmesi ile elde edilirler. Ham petrol yatakları gerek fiziki şekil, gerekse kimyasal yapı bakımından çok farklı çeşitlilikler gösterir. Ham petrolün ihtiva ettiği bitüm, bölgelere, arazi cinsine ve yatakların çeşidine göre değişir. Asfalt yapımında çoğunlukla rafineri edilmiş bitümlü bağlayıcı kullanılır.



Şekil 3.1. Bitümlü bağlayıcıların sınıflaması

Petrol kuyularından çıkarılan ham petrol rafineriye gelir. Buradan pompalarla tanklara boşaltılır. Oradan ısıtma kolonlarına sevk edilerek sıcaklığı yükseltilen ham petrol daha sonra damıtma kolonlarına gelir. Kolay uçucu olan kısımlar bu kolonların üst kısmından çıkar ve soğutucularda yoğunlaşarak ayrılır. Bunlar hafif damıtıkları teşkil ederler. Daha az uçucu olanlar aynı şekilde orta damıtıkları, en ağır uçanlar ise ağır damıtıkları oluştururlar. Bu kısmi damıtılmada kimyasal bir değişme meydana gelmez. Sadece ayrı ayrı sıcaklıklarda muhtelif bileşenler buharlaşarak petrolden ayrılırlar. Şekil 3.2'de ham petrolün işlenmesi ile bitümlü bağlayıcının elde edilişi görülmektedir. Bu ayrılma, damıtma işlemindeki koşullara yani sıcaklık seviyesine, basıncın derecesine ve su buharı miktarına bağlı olarak değişir. Bu koşulların değişimi geride kalan bitümün özelliklerine de etki eder. Damıtma işlemi sonunda çökelek halinde kalan bitüm sıvı, katı ve yarı katı halde bulunabilir. Yukarıdaki koşulların değiştirilmesi ile istenilen penetrasyonda bitümlü bağlayıcı elde edilebilir. 25˚C'de 5 saniye süre ile 100 gr'lık bir yük uygulandığı zaman elde edilen penetrasyon 10-300 arasındadır (Ilıcalı ve ark., 2001). Asfalt çimentosu da denilen bitümlü bağlayıcı Amerikan kaynaklarında *Asphaltic Cement* olarak nitelenmekte ve *AC* ile gösterilmektedir. Bitümlü bağlayıcıyı kullanabilmek için mutlaka sıvılaştırmak gerekir. Sıvılaşan bağlayıcı karışımdaki agregaları sarar ve sertleşerek bağlayıcılık görevini yerine getirir.



Şekil 3.2. Petrolün işlenmesi ve bitümlü bağlayıcının elde edilişi (Lav, 2007)

3.2.1. Bitümlü Bağlayıcıların Kimyasal Özellikleri

Bitüm, hakim durumdaki hidrokarbon molekülleri ile az miktarda, sülfür, nitrojen ve oksijen atomları içeren fonksiyonel grupların kompleks bir kimyasal karışımıdır (Romberg ve ark., 1959). Çeşitli bitümlerin analiz sonuçları aşağıdaki elementleri içerdiğini göstermiştir (Traxler ve Coombs, 1936);

Karbon : %82-88
Hidrojen : %8-11
Sülfür : %0-6
Oksijen : %0-1.5
Nitrojen : %0-1

Bitümün kimyasal kompozisyonu oldukça karmaşık olduğundan malzemenin tam bir kimyasal analizi oldukça yoğun incelemeler gerektirmekte ve sonuçta reolojik

özelliklerle korelasyonu imkansız hale getirecek miktarda çok veri ortaya çıkmaktadır. Fakat bitümü asfaltenler ve maltenler olarak adlandırılan iki geniş kimyasal gruba ayırmak mümkündür. Maltenler de ayrıca, doygunlar, aromatikler ve reçineler olarak alt gruplara ayrılırlar (Whiteoak, 2004).

Asfaltenler: Karbon ve hidrojenden oluşan ve bir miktar nitrojen, sülfür ve oksijen içeren, siyah veya kahverengi amorf katılardır. Asfaltenler genel olarak, oldukça yüksek molekül ağırlığına sahip, polar (elektriksel yüke sahip) ve karmaşık aromatik maddelerdir. Asfalten miktarı bitümün reolojik özellikleri üzerinde önemli etkilere sahiptir. Asfalten miktarının artırılması ile daha düşük penetrasyon ve daha düşük yumuşama noktasına sahip, daha sert ve sonuç olarak daha yüksek viskoziteli bir bitüm elde edilmektedir. Asfaltenler, bitümün %5~25'ini oluşturmaktadır.

Reçineler: Reçineler, asfaltenler gibi geniş oranda hidrojen ve karbondan oluşmakta ve az miktarda oksijen, sülfür ve nitrojen içermektedir. Koyu kahverengi renkte, katı ya da yarı katı olan reçineler elektriksel olarak oldukça yüklüdür. Bu özellikleri reçinelerin güçlü bir yapışkan olmalarını sağlamaktadır.

Aromatikler: Aromatikler, bitüm içerisindeki en düşük moleküler ağırlıklı naftenik aromatik bileşenlerden oluşmakta ve bitüm içerisine dağılmış asfaltenlerin yayılımları için gereken ortamın büyük kısmını teşkil ederler. Aromatikler, toplam bitümün %40~65'ini oluşturan koyu kahverengi, viskoz sıvılardır.

Doygunlar: Bunlar, saman rengi veya beyaz renkteki polar olmayan viskoz yağlardır. Bitümün, %5~20'sini oluşturmaktadır. Tablo 3.1'de 100 pen. bitümden elde edilen yukarıdaki 4 grubun analiz sonuçları ayrıntılı bir şekilde görülmektedir.

Bitümü oluşturan doygunlar, aromatikler, reçineler ve asfalten oranlarının sistematik karışımı, bitümün reolojisinin yapısına bağlı olduğunu göstermiştir. Reoloji, malzemelerin sıcaklık ve yüklemenin etkisiyle zaman içerisindeki davranışının incelenmesidir. Asfalten içeriğini sabit tutarak, diğerlerinin içeriği değiştirildiğinde (İsfalt, 2001);

- Sabit bir doygun ve reçine oranında aromatik içeriği artırıldığı zaman kayma mukavemetindeki küçük miktardaki bir azalmadan başka bir etki oluşmaz.
- Reçine ve aromatiğin oranı sabit tutulup doygunların içeriği artırıldığında bitüm yumuşar.

- Reçine eklendiğinde bitüm sertleşir, penetrasyon endeksi azalır ancak viskozite yükselir.

Tablo 3.1 100 pen bitümün dört grubunun tipik element analizi (Chipperfield, 1984)

	Bitümdeki oranı	Karbon	Hidrojen	Nitrojen	Sülfür	Oksijen	Atomik Oranı
Asfaltenler	5.7	82.0	7.3	1.0	7.8	0.8	1.1
Reçineler	19.8	81.6	9.1	1.0	5.2	-	1.4
Aromatikler	62.4	83.3	10.4	0.1	5.6	-	1.5
Dougunlar	9.6	85.6	13.2	0.05	0.3	-	1.8

3.2.2. Bitümlü Bağlayıcıların Fiziksel Özellikleri

Bitüm, viskoelastik bir malzeme olup gerilme altındaki deformasyonu hem sıcaklığın hem de yükleme süresinin bir fonksiyonudur. Yüksek sıcaklıklarda veya uzun süreli yükleme durumlarında viskoz bir sıvı gibi; çok düşük sıcaklıklarda ya da kısa süreli yükleme durumlarında ise elastik bir katı gibi davranır. Kullanım sırasındaki tipik koşulları yansıtan orta dereceli sıcaklık ve yükleme süreleri ise viskoelastik davranışa sebep olmaktadır. Viskoelastik özellikleri tanımlamak amacıyla zaman içerisinde değişik kavramlar ortaya konmuştur. Bu gelişim sırasıyla incelenecektir.

Reoloji, malzemelerin sıcaklık ve yüklemenin etkisiyle zaman içerisindeki davranışının incelenmesidir. Tüm bitümler termoplastik özellik gösterir. Isıtıldıklarında yumuşar, soğutulduklarında sertleşirler. Viskozitenin sıcaklıkla değişimini tanımlamak amacıyla çeşitli ifadeler geliştirilmiştir. Bu ifadelerden en çok bilinenlerden biri, Pfeiffer ve Van Doormaal (1936) tarafından geliştirilmiş olanıdır. Penetrasyonun (P) logaritmasının, Sıcaklığa (T) karşı grafiği çizilirse For. 3.1'deki gibi düz bir çizgi elde edilir;

$$\log P = AT + K \qquad 3.1$$

Burada; A, penetrasyonun sıcaklığa karşı hassasiyeti (logaritmik olarak)
K, ise bir sabittir.

A'nın değeri 0.015 ile 0.06 arasında değişmekte olup sıcaklığa karşı hassasiyetteki farklılıkların önemli mertebelerde olabileceğini gösterir. Pfeiffer ve Van Doormaal (1936), yol bitümleri için sıfır civarında bir değer kabul eden, sıcaklık hassasiyetini veren bir ifade getirmişlerdir. Bu sebeple, araştırıcılar penetrasyon endeksini (PI) aşağıdaki gibi tanımlamışlardır;

$$\frac{20 - PI}{10 + PI} = 50A \qquad 3.2$$

ya da açık olarak;

$$PI = \frac{20(1 - 25A)}{1 + 50A} \qquad 3.3$$

PI değerleri, sıcaklık hassasiyeti yüksek olan bitümler için -3 civarında bir değer ile sıcaklık hassasiyeti düşük olan bitümler için (yüksek PI) +7 civarında bir aralıkta değişir. A ve PI değerleri, aşağıdaki eşitlik kullanılarak T_1 ve T_2 gibi iki sıcaklık noktasında yapılan penetrasyon ölçümlerinden elde edilir;

$$A = \frac{\log pen T_1 - \log pen T_2}{T_1 - T_2} \qquad 3.4$$

Yumuşama noktasındaki kıvam, hem penetrasyonun logaritması ile sıcaklık arasındaki ilişkinin lineer ekstrapolasyonu ile hem de yumuşama noktası sıcaklığında ekstra uzun bir penetrasyon iğnesi kullanılarak doğrudan ölçülen penetrasyon cinsinden ifade edilebilir. Pfeiffer ve Van Doormaal (1936), yumuşama noktası sıcaklığında, pek çok bitüm cinsinin 800 civarında bir penetrasyona sahip olduğunu bulmuşlardır. Yukarıdaki eşitlikte T_2 yerine yumuşama noktası sıcaklığını ve T_2 sıcaklığındaki penetrasyon yerine 800 değerini koyarak aşağıdaki denklemi elde etmişlerdir;

$$A = \frac{\log pen T_1 - \log 800}{T_1 - Yumuşama noktası} \qquad 3.5$$

Bu denklem (For. 3.5), yukarıdaki PI denkleminde (For. 3.3) yerine konarak ve

penetrasyon deney sıcaklığı 25ºC varsayılarak aşağıdaki formül elde edilir;

$$PI = \frac{1952 - 500\log pen - 20SP}{50\log pen - YN - 120} \qquad 3.6$$

Yumuşama noktası sıcaklığında penetrasyonun 800 olduğunun varsayılması tüm bitüm cinsleri için geçerli değildir. Bu yüzden T_1 ve T_2 gibi iki sıcaklık değerindeki penetrasyonlar kullanılarak sıcaklık hassasiyetinin hesaplanması daha uygun olacaktır.

Çeşitli abaklar kullanılarak, penetrasyon endeksinin (PI), ya 25ºC'deki penetrasyon ve yumuşama noktası sıcaklığından, ya da iki farklı sıcaklıktaki bitüm penetrasyonundan yaklaşık olarak çıkarılması mümkündür. Yumuşama noktası sıcaklığında penetrasyonun gerçek değerindeki yayılmadan ötürü bir penetrasyon ve bir yumuşama noktasından hesaplanan penetrasyon endeksi, iki penetrasyondan hesaplanan net değerden farklılık gösterebilir. Bununla birlikte, 25ºC'deki penetrasyon ve yumuşama noktası genellikle bitüm tanımlama kontrolü için saptandığından dolayı, bu şekillerin kullanılması uygundur.

PI sisteminin bir sakıncası, bitüm tanımlaması amacıyla, bitüm özelliklerinde nispeten küçük bir sıcaklık aralığında gerçekleşen değişimlerden yararlanmasıdır. Ekstrapolasyon yaparak ekstrem sıcaklıklardaki bitüm özelliklerini tahmin etmek bazen yanıltıcı olabilir. Penetrasyon endeksi (PI) beklenen davranış için iyi bir yaklaşım elde etmek amacıyla kullanılabilir fakat rijitlik ve viskozite ölçümü ile onaylanması gerekmektedir.

Van der Poel (1954), katıların elastik modülü ile benzerlik kurarak bitümlerin mekanik özelliklerini tanımlamada kullanılan temel bir parametre olarak rijitlik modülü kavramını ortaya koymuştur.

Malzemenin elastisite modülü, E; Hooke Kanunu ile ifade edilir;

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \qquad 3.7$$

Bitüm gibi viskoelastik malzemeler için, t=0 yükleme anında uygulanan çekme gerilmesi (σ), yükleme süresi ile orantılı olmayan bir şekil değiştirmeye (ε) sebep olur. t anındaki rijitlik modülü; S_t, uygulanan gerilme ve t anında meydana gelen şekil değiştirme arasındaki oran olarak tanımlanmaktadır;

$$S_t = \frac{\sigma}{\varepsilon_t} \qquad 3.8$$

Yukarıdaki açıklamalara göre, rijitlik modülünün değeri yükleme süresine bağlıdır. Benzer şekilde, rijitlik modülü aynı zamanda sıcaklığa da (T) bağlıdır. Sonuç olarak, herhangi bir rijitlik modülü ölçümünde hem sıcaklığı hem de yükleme süresini belirtmek gerekir;

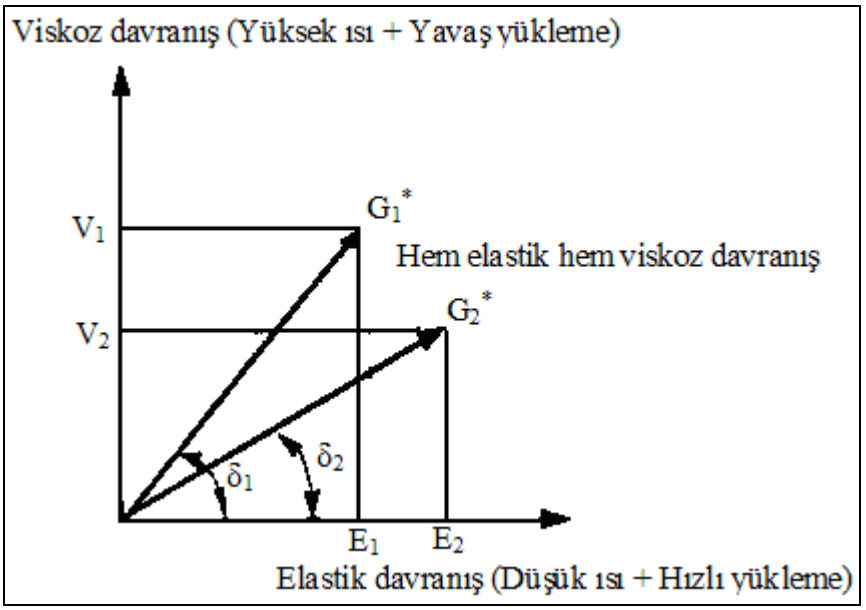
$$S_{tT} = \frac{\sigma}{\varepsilon_{t,T}} \qquad 3.9$$

Yüksek performanslı asfalt kaplama yöntemi ile bitümlü bağlayıcıların fiziksel özelliklerini belirlemede kullanılan yeni kavramlar gelmiştir. Bu yöntemde kullanılan dinamik kayma testi, bitümlü bağlayıcının kompleks kayma modülünü (G*), kompleks kayma kayıp modülünü (G"=G*.Sinδ), kompleks kayma depolama modülünü (G'=G*.cosδ), faz açısını (δ) ve kompleks viskoziteyi (η*=G*/ω) ölçerek viskoz ve elastik davranışlarını karakterize etmek için yapılmaktadır. G*, tekerrür eden kayma gerilmelerinin oluşturduğu deformasyonlara karşı bitümlü bağlayıcının gösterdiği toplam direncin ölçüsüdür. Buradaki deformasyon elastik (geçici) ve viskoz (kalıcı) olarak iki türlüdür. Gerek G*, gerekse δ değerleri bitümün sahip olduğu sıcaklık ve yükleme hızı ile önemli ölçüde değişir. Hâlbuki viskoelastik olmayan malzemelerin deformasyonu sadece gerilmenin büyüklüğüne bağlı olarak değişir. Yüksek ısılarda bitüm viskoz davranış yani kalıcı deformasyonlar gösterirken düşük ısılarda ise elastik davranış göstermektedir.

G*/sinδ değeri kaplama deformasyonu için deney sıcaklığında, orijinal bitüm için 1 kPa, *RTFO* deneyinde yaşlandırılmış bitüm için 2,2 kPa değeri ile sınırlandırılmıştır. Sinδ.G* değeri ise yorulma çatlakları için deney sıcaklığında, *PAV* deneyinde yaşlandırılmış bitümler için 5.000 kPa'dan küçük değerlerle sınırlandırılmıştır.

Şekil 3.3'de görüldüğü gibi, δ=90º için çok yüksek ısılarda bitüm sadece düşey aksda (viskoz davranış) temsil ederken G*ın yatay aksı (elastik davranış) olmayacaktır. Çok düşük ısılarda ise tamamen elastik (geçici) deformasyon gösteren bitümün sadece yatay bileşkesi olacaktır. Bu durumda, G* ın düşey bileşkesi (viskoz davranış) olmayacağından δ=0º olacaktır.

Ancak normal kaplama ısısı ve trafik yüklemesi için bitümlü bağlayıcılar hem viskoz hem de elastik davranış sergileyecektir. Bitümün viskoelastik malzeme oluşu ve her bir bitümün viskoelastik özelliklerinin de birbirinden farklı olması nedeniyle 1 ve 2 nolu bitümler yük altındaki viskoz ve elastik bileşenleri birbirinden farklı olacaktır. Şekil 3.3'de G_1^* ve G_2^* kompleks kayma modüllerinin vektörlerini temsil etmektedir. Burada 2 nolu bitümün δ faz açısı daha düşük olduğundan elastik bileşeni daha büyük olacak yani yük kalktığında daha çok deformasyon geri kalkacaktır. Aynı şekilde 1 nolu bitüm daha az elastik olup daha fazla kalıcı deformasyon yapacaktır. Şekil 3.3'deki iki bitümün G* değeri aynı ise farklı δ değerlerinden ötürü farklı viskozelastik davranış göstereceklerdir. Yani G*, tek başına bitümün davranışını izah edememektedir. Dolayısıyla bitümün viskoelastik özellikleri G* ve δ değerleri ile birlikte göz önüne alınmalıdır.



Şekil 3.3. Viskoelastik davranış

Kaplamada oluşan kalıcı deformasyonlar tekerrür eden ağır trafik yüklerinin yüksek hava sıcaklıklarında oluşturduğu viskoz deformasyonların birikmesi sonucu oluşmaktadır. G*/Sinδ değeri yüksek ısı rijitliğini veya tekerlek izi deformasyonuna gösterilen direnci ifade etmektedir. Bitümün sahip olması gereken G* ve Sinδ değerleri dinamik kayma testi ile tespit edilir. Kalıcı deformasyonu minimize etmek için G*/Sinδ değeri orijinal bitümlü bağlayıcıda minimum 1.00 kPa ve silindir ince film etüv testi bakiyesi bitümlü bağlayıcıda 2.20 kPa olmalıdır (AASHTO R29, 2001). Bu nedenle, kalıcı deformasyon direnci için yüksek G* değeri ve düşük δ değeri olması gereklidir.

Dolayısıyla yüksek performanslı asfalt kaplama şartnamesinde G*/Sinδ değerleri, yaşlanmamış orijinal ve silindir ince film fırın testi ile yaşlandırılmış bitümlü bağlayıcıların rijit ama elastik özellikte olması öngörülmektedir. Bu nedenle, dinamik kayma testi verileri kalıcı deformasyon direncini ifade etmektedir.

3.2.3. Bitümlü Bağlayıcıya Uygulanan Deneyler

Bu bölümde bitümlü bağlayıcılara uygulanan geleneksel deneylerden bahsedilecektir.

3.2.3.1. Penetrasyon Deneyi

Penetrasyon deneyi ile bitümlü bağlayıcıların sertlik veya kıvamlılıkları tayin edilir. Penetrasyonun kelime anlamı, batma veya içe girme demektir. Teknik olarak standart bir iğnenin belirli bir yük altında ve belirli bir süre içinde, bitüm numunesi içine dikey olarak batma mesafesi anlamında kullanılır. TS EN 1426'ya göre deney yapılır.

3.2.3.2. Yumuşama Noktası Tayini Deneyi

Yumuşama noktası, bir su banyosu içine yerleştirilmiş, üzerinde bir bilye bulunan, standart bir kalıp içerisindeki bitümlü bağlayıcının belli bir hızla ısıtılmasıyla, yumuşayan bağlayıcının tabana değdiği anda termometrede okunan sıcaklıktır. TS EN 1427'ye göre deney yapılır.

3.2.3.3. Parlama Noktası Tayini Deneyi

Bu deney parlama noktası 79ºC'nin üstünde olan petrol ürünlerine uygulanır. Parlama noktası, ısıtılan deney numunesinin buharına deney alevinin temas ettirilmesi sonucunda numunenin parladığı fakat yanmaya devam etmediği en düşük sıcaklıktır. Bitümlü bağlayıcının parlama noktasının bilinmesi özellikle uygulamalar sırasında doğabilecek tehlikelerin önlenmesi açısından çok önemlidir. TS EN ISO 2592'ye göre deney yapılır.

3.3. Agrega

Agrega, yol yapımında kullanılan ana malzemedir. Kaplamanın ağırlıkça ve hacimce önemli bir kısmını oluşturan agrega, yola etkiyen yüklerin oluşturduğu gerilmelerin karşılanmasında önemli rol oynamaktadır. Bu bakımdan agregaların özellikleri yol mühendisleri için çok önemli olup, değişik agrega tiplerinin karakteristik özelliklerinin bilinmesi yolların projelendirilmesi için gereklidir. Günümüzün modern karayolu pek çok sayıda araç taşımaktadır. Bu araçların büyük bir kısmını ağır yüklü ticari taşıtlar oluşturmaktadır. Bir başka deyişle, üstyapıyı etkileyen ağır taşıtlardır. Bunun yanında pek çok sayıda da yüksek hızlarda seyreden araçlar mevcuttur. Bütün bu ağır trafik şartları altında, kuvvetli, yoğun, su geçirmeyen, stabil ve aşınmaya dayanıklı kaplamalar istenir.

Değişik oranlarda, değişik tip agrega kullanılmak suretiyle istenen kalite ve özellikte kaplama yapma olanağı vardır. Kaplamanın aşınmaya karşı direnci ve su geçirmezliği aynı derecede önemi olan bir husustur. Karışımlarda kullanılan agregalar ile kullanılan bağlayıcının tam bir uyum içinde, birlikte çalışması gerekir. Asfalt betonu olarak adlandırılan sürekli derecelenmiş granülometriye sahip bitümlü sıcak karışımlarda ağırlıkça %88~96 kırma taş, kum ve mineral fillerden oluşan agrega kullanılır. Türkiye'de kullanılan asfalt betonu agrega şartnamesi Tablo 3.2'de verilmiştir. Bitümlü karışımlarda kullanılan agregalar tane boyutlarına göre üç grupta incelenebilir;

- İri agrega: (4.75 mm) elek üstünde kalan
- İnce agrega: (4.75-0.075 mm) elekler arasında kalan
- Filler: (0.075 mm) elekten geçen

Yapılan uygulamalarda, kırılmış taş, kırılmış çakıl ve cüruf iri malzeme olarak, kumlar ve ince kırma taşlar da ince malzeme olarak kullanılır. Mineral tozlar, kireçtaşı tozları ve diğer birçok tozlar da filler olarak kullanılır.

Bir kaplamanın direnci ve yoğunluğu üzerine etki eden en önemli faktör agregadır. Bu bakımdan agregaların sert ve dayanıklı olması, bünyelerinde zararlı maddeler bulunmaması ve yüzey şekillerinin bir kenetlenme yaparak direnci artıracak şekilde olması arzu edilir.

Yukarıdaki sebeplerden dolayı, agreganın istenen kalitede olup olmadığını

kontrol etmek çok önemlidir. Kullanılan agreganın istenen kalitede olup olmadığı *Los Angeles* aşınma deneyi, elek analizi, dayanıklılık için kimyasal direnç, soyulma ve adhezyon, donma-çözülme deneyleri gibi deneylerle kontrol edilir. Agregalara ait şartnameler, dane şeklini, temizliğini ve yüzey dokusunu belirten terimleri de içerirler. Asfalt betonundaki bitümlü bağlayıcılar plastik davranış gösterirler ve sıcaklık değişimine karşı duyarlıdırlar. Bu sebepten dolayı kaplamanın stabilitesi veya deformasyona karşı direnci büyük ölçüde mineral agregaların kenetlenmesine bağlıdır. Karışımın stabilitesi, tanelerin şekli ve agrega granülometrisi ile büyük ölçüde ilgilidir. Düzgün yüzeyli yuvarlak taneler karışıma istenen stabiliteyi veremezler. Köşeli, kırılmış agregalar karışımın stabilitesini artırırlar ve bunlar, yüksek stabilite istenen yerlerde kullanılırlar.

Farklı dane boyutundaki agregalar mümkün olan en yüksek yoğunluğu verecek şekilde karıştırılmalıdır. Karışımın yoğunluğunun artması ile stabilitesi de artmaktadır. İstenen yoğunluk ise ancak iyi bir dane dağılımı ile elde edilebilir.

Agreganın sertliği veya aşınmaya karşı direnci trafik bakımından önemli bir faktördür. Yumuşak agregaların çok fazla aşınması neticesinde, kaplama düz bir yüzey haline gelip, kaymaya karşı direnci çok azaltmaktadır. Aynı zamanda, yumuşak agregalar, trafik tesiri ile kısa zamanda kırılarak kaplamanın bozulmasına sebep olurlar.

Agregaların hava tesirlerine karşı gösterdikleri direnç ise, agreganın sağlamlığı olarak tanımlanır. Başka bir ifade ile agreganın, nem değişikliğine, donmaya, erimeye karşı direnme kabiliyetidir. Agregaların, büyük ölçüde sıcaklık değişmesinden dolayı, hacim değişikliğine uğramaması ve bu şartlar altında kimyasal reaksiyon verecek maddeler içermemesi gerekir.

Agrega-bitüm karışımında, uygun olmayan maddeler bulunabilir. Bunlar, büyük agrega parçaları arasındaki yüksek oranlı killer, ince uzun parçalar ile mika, kömür, linyit ve diğer bazı yabancı maddelerdir. Gerek büyük agregaları kaplayan killer, gerekse kil topakları, karışıma zararlı etkiler yaptığı için bunların karışımdan ayrılmaları gerekir. Bu işlem agregaların yıkanmasıyla sağlanabilir. Ayrıca, ince uzun parçalar karışımın yoğunluğunu ve yüzey dokusunu olumsuz yönde etkilediği için, bunların da karışımdan ayrılmaları gerekir. Farklı mineral agregalar, kendi özelliklerine ve bitümün viskozitesine bağlı olarak, farklı şekilde bitüm absorbe ederler. Aynı sebeplerden dolayı suyu emme özellikleri de farklıdır. Fakat agregaların bitüm absorbsiyonu ile su absorbsiyonu arasında bir bağlantı yoktur. Yüksek su absorbsiyonu olan bazı malzemelerin, düşük bitüm absorbsiyonuna sahip olmaları mümkündür. Bazı

agregaların ise aynı derecede su ve bitüm absorbsiyonu vardır. Agregaların bitüme karşı ilgisinin artması ile soyulmaya karşı direnci artar. Bunun için bitüm absorbsiyonu yüksek olan agreganın kullanılması istenir. Fakat bu bağlayıcı oranını artırdığından, genellikle ekonomik olmaz.

Tablo 3.2. Agrega granülometri şartnamesi (TCK Karayolu Teknik Şartnamesi, 2006)

Elek Boyutu	BİNDER TABAKASI	AŞINMA TABAKASI	
	Ağırlıkça Geçen Yüzde	Ağırlıkça Geçen Yüzde	
		Tip 1	Tip 2
1" (25.4mm)	100	---	---
3/4" (19.0mm)	80-100	100	---
1/2" (12.5mm)	58-80	83-100	100
3/8" (9.5mm)	48-70	70-90	80-100
No:4 (4.75mm)	30-52	40-55	55-72
No:10 (2.0mm)	20-40	25-38	36-53
No:40 (0.425mm)	8-22	10-20	16-28
No:80 (0.18mm)	5-14	6-15	8-16
No:200 (0.075mm)	2-7	4-10	4-10

Agregaların asfalt yapımında kullanılabilmesi için aşınmaya ve donmaya karşı dirençlerinin, özgül ağırlık, su absorbsiyonu, soyulma değerlerinin, elek analizleri ve dane şekillerinin, sürtünme etkileri ile meydana gelecek cilalanmaya karşı olan dirençlerinin bilinmesine gerek vardır. Yukarıda adı geçen bütün deneylerin, agregaların değerlendirilmesinde güvenilir olabilmesi için denenecek numunelerin çok özenle alınmış temsili numuneler olması gerekir.

3.3.1. Agregaya Uygulanan Deneyler

3.3.1.1. Elek Analizi Deneyi

Bu deney yöntemi, standart elekleri kullanarak agreganın dane büyüklüğü dağılımının tayin edilmesini kapsar. TS 130'a göre deney yapılır.

3.3.1.2. *Los Angeles* Aşınma Deneyi

Bu deney, agregaların aşınmaya karşı dayanıklılığını belirler (TS 1097-2, 2010). Kaba agreganın aşınması, aşındırıcı bir yük kullanılarak *Los Angeles* makinesi ile tayin edilir. *Los Angeles* deneyi, aynı mineral kompozisyona sahip çeşitli agrega kaynaklarının birbirine göre kalitesinin veya uygunluğunun bir göstergesi olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

3.3.1.3. Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık Deneyi

Bu deney metodu agregaların doygun sodyum sülfat (Na_2SO_4) veya magnezyum sülfat ($MgSO_4$) çözeltileri ile ufalanmaya karşı dayanıklılığının tayin edilmesini sağlar (TS EN 1367-1, 2009). Agregaların hava etkileri ile donarak ufalanmaya karşı olan dirençleri hakkında laboratuarda kısa süre içinde bir karar verebilmek amacı ile uygulanan hızlandırılmış bir deneydir.

3.3.1.4. Soyulma Mukavemeti Deneyi

Soyulma deneyi su ve trafik etkilerine karşı bir dayanıklılık deneyidir. Bazı bitümlü karışımlarda, suyun etkisiyle agrega ile bitüm arasındaki bağ kaybolur ve böylece kaplama bozulur. Bunun önüne geçebilmek için bu bağın kaybolmasını yani soyulmayı önleyecek bir takım katkı malzemeleri ile bağlayıcının agregaya daha iyi yapışması sağlanır.

3.3.1.5. Yassılık İndeksi Deneyi

Bu deney metodu, kalınlığı, nominal boyutunun 0,6'sından daha küçük olan agrega danelerinin yassı olarak sınıflandırılmasını esas alan bir metottur. 6,3 mm'lik ve 63 mm'lik iki elek arasında kalan tanenin nominal boyutu, bu iki elek açıklığının aritmetik ortalamasıdır. Yassılık indeksi, yassı danelerin ayrılması ile bulunan ağırlığın deneye alınan toplam numune ağırlığının yüzdesi olarak ifade edilir. Deney, 6,3 mm den büyük ve 63 mm'den küçük malzemeye uygulanır (Ilıcalı ve ark., 2001, TS 9582 EN 933-3, 1999).

3.3.1.6. Özgül Ağırlık Deneyi

Bu deneyin amacı, bitümlü karışımın teorik özgül ağırlığını, karışımdaki boşluk yüzdesini ve yine karışımın asfaltla doldurulmuş boşluk yüzdesini hesaplamak, agreganın hacim–ağırlık ilişkilerini tayin etmektir (TS EN 1097-6, 2002).

3.3.1.7. Su Absorbsiyonu Deneyi

Agreganın su emme miktarını belirlemek için yapılır (TS EN 1097-10, 2003)

3.4. Modifiye Edici Katkı

Kullanılan SBS elastomer polimerler Şekil 3.4.a'da görüldüğü gibi 15 kg'lık paketlerde temin edilmiştir. Çin'den ithal edilmektedir. Şekil 3.4.b'de numunesi görülmektedir. SBS nin özellikleri Tablo 3.3'de verilmiştir.

Tablo 3.3. SBS katkı malzemesi teknik özelikleri

Özellik, Birim	Değeri	Test Metodu
BD/SM Oranı, %	68/32	ASTM D5775
Özgül ağırlık, gr/cm^3	0.94	ASTM D792
Uçucu Madde Oranı, %	0.17	ASTM D5668
Kül Oranı, %	0.11	ASTM D5667
Yağ İçeriği,%	0	ASTM D5774
%25 wt Toluene Viskozitesi, cps	5400	ASTM D2196
Sertlik	75	ASTM D2240



Şekil 3.4.a. Modifiye edici katkı malzemesi



Şekil 3.4.b. Modifiye edici katkı malzemesi

3.5. Yüzeysel Deformasyon Ölçümleri

Yüzeysel deformasyon ölçümlerinde Topcon marka DL500 tip nivo, sehpası, mirası ve data okuma programı kullanılmıştır. Şekil 3.5'de fotoğrafı görülen nivonun teknik bilgileri de Tablo 3.4'de verilmiştir.

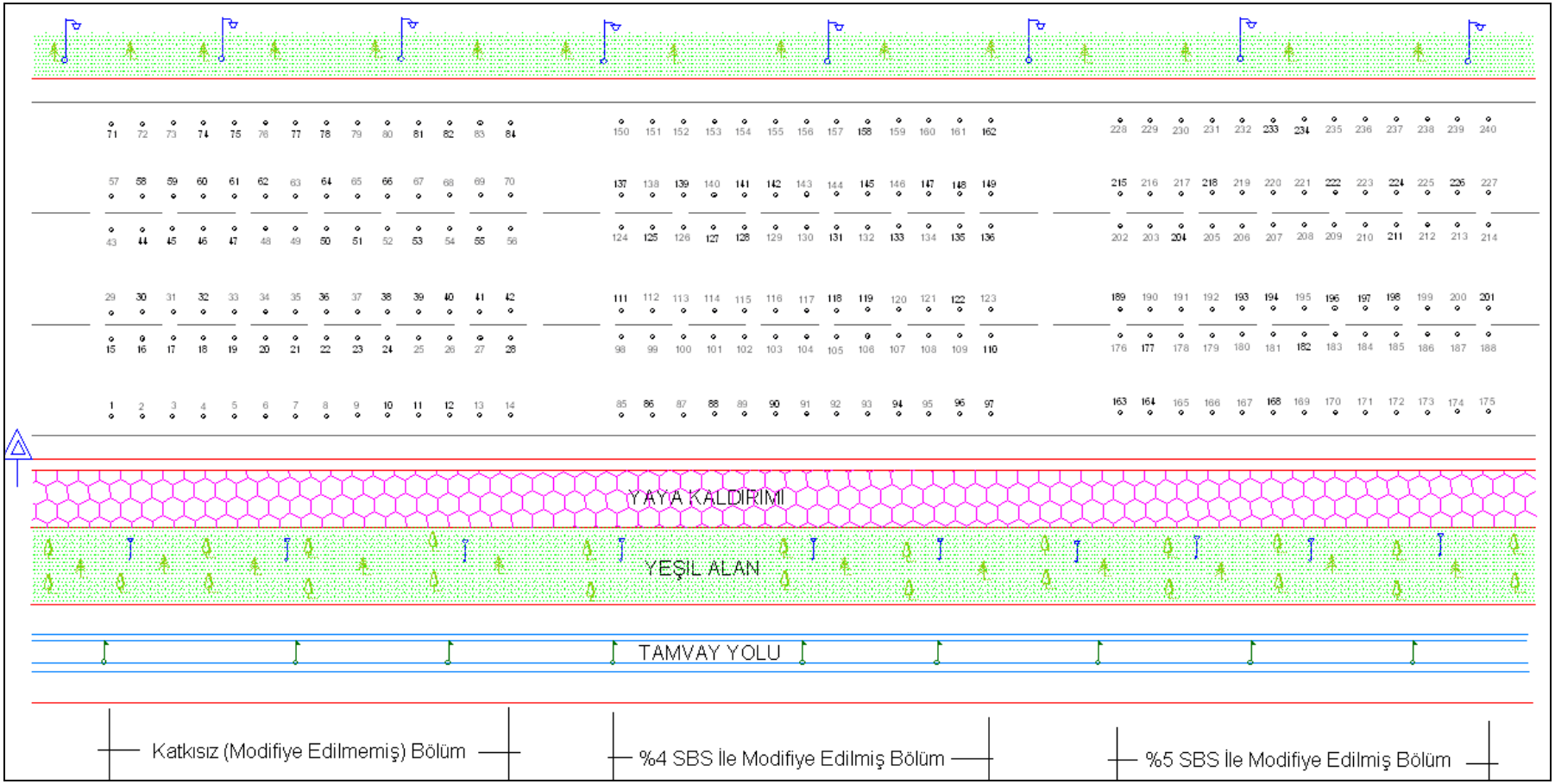


Şekil 3.5.Deformasyon ölçüm nivosu

Tablo 3.4. Deformasyon ölçüm nivosu teknik özellikleri

	Dürbün
Büyütme	32x
Objeltif uzunluğu	45mm
Görüş alanı	1º20’
Çözünürlük Gücü	3"
	Kompensatör
Çalışma Aralığı	±12’
Ayarlama Hassasiyeti	0.3"
	Yükseklik Ölçme Hassasiyeti (1km gidiş dönüş nivelman hassasiyeti)
Elektronik Okuma	0.4mm w/Invar mira
Optik Okuma	1.0mm
Min okuma	0.1mm/0.01mm
	Mesafe Ölçme
Min.Okuma	1cm/1mm
Hassasiyeti	1cm - 5cm
Ölçme aralığı	2m - 100m : Aluminyum mira
Küresel Düzeç Hassasiyeti	8’/2mm
	Diğer
Ekran	2-Satır, Her satırda 8-digit . Dot matrix LCD geriden aydınlatmalı
Dahili Hafıza	yaklaşık 8.000 data
Yatay Daire	360º veya 400 grad
Çalışma sıcaklık aralığı	-20ºC ~ +50ºC
Mira	Uzunluğu: 4m, Katlanabilir, Bir tarafı barkotlu ve bir tarafı E taksimatlı

Konya-Afyon karayolunun şehir içi kesiminde Yazır tramvay durağı mevkiinde şehir merkezine gidiş istikametinde ardı sıra devam eden 26, 24 ve 24 metrelik uzunluktaki 3 kesimde katkısız bitüm, %4 SBS katkılı bitüm ve %5 SBS katkılı bitüm kullanılarak gözlem yolu yapılmıştır. Bu yolda gridleme işlemi yapılarak 240 noktada 2 şer aylık dilimlerde yüzeysel deplasman ölçümleri yapılmıştır. 240 noktanın 84'ü katkısız bitümlü kesimde, 78'er adedi de %4 SBS katkılı ve %5 SBS katkılı bitümlü kesimdedir. Yolun son durumunu görmek için 28.05.2010 tarihinde son bir ölçüm daha yapılmıştır. Uygulama yolu ölçüm noktaları Şekil 3.6'da görülmektedir.



Şekil 3.6 Yüzeysel okuma noktaları

3.6. Yüksek Performanslı Asfalt Kaplama Yöntemi Bitüm Sınıflandırma Deneyleri

Yüksek performanslı asfalt kaplama (*SUPERPAVE*) bitüm deneyleri, malzemenin doğrudan arazi şartlarındaki performansı ile ilgili özelliklerini ölçmektedir. Bu deneyler asfaltın; yaşlanma, işlenebilirlik, oluklanma, yorulma ve termal etkilere karşı performanslarının belirlendiği bir seri deneyler grubudur.

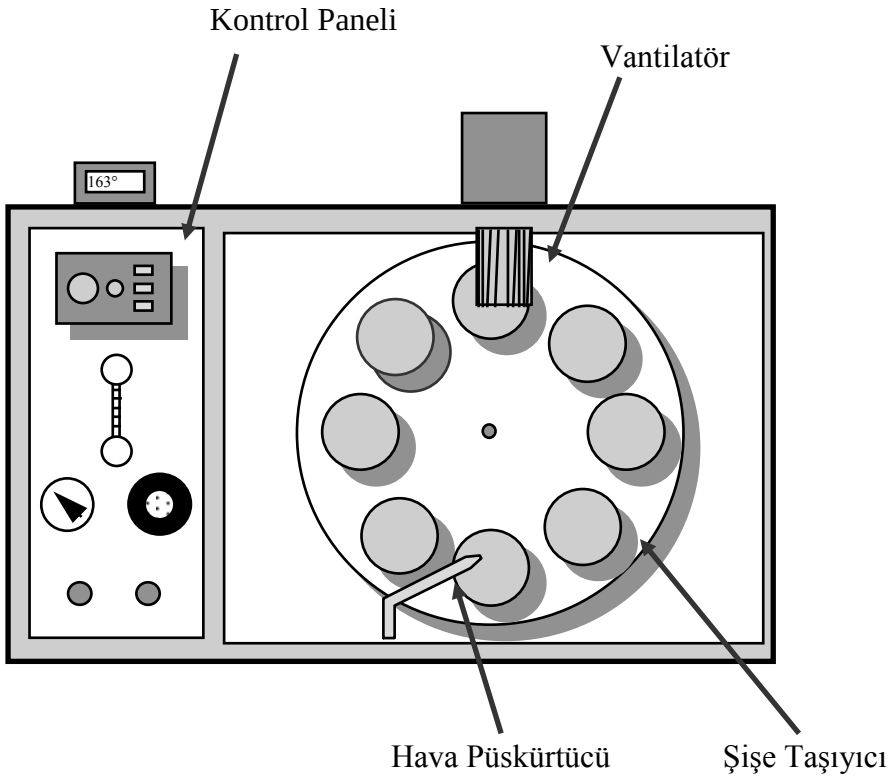
Yüksek performanslı asfalt kaplama bağlayıcı şartnamesinin en önemli özelliği, asfaltın ömrü boyunca karşı karşıya kalacağı üç kritik durumun deneylerle simüle edilmiş olmasıdır. Orijinal asfalt numunesi üzerinde uygulanan deneyler taşıma, depolama ve işlemeyi kapsayan ilk aşamayı temsil eder. İkinci aşama, karışım hazırlama ve serme sırasındaki asfaltı temsil eder. Dönmeli ince film etüvünde asfalt, ısı ve havaya maruz bırakılarak okside olması sağlanır ve serme sırasındaki sertleşme tahmin edilir. Üçüncü aşama ise, bağlayıcının uzun süre sonundaki yaşlanmasıdır. Bu durum da, basınçlı oksidasyon deneyi ile simüle edilmektedir.

3.6.1. Dönmeli ince film halinde ısıtma deneyi *(Rolling Thin Film Oven Test - RTFOT)*

Bu deney, ısıtma ile uçucu kaybının tespit edilmesi ve ısıtmadan sonra elde edilen sertleşmiş bitümlü bağlayıcının fiziksel özelliklerinin belirlenmesi için yapılır. Bitümlü bağlayıcılar iki değişik faktörden dolayı yaşlanırlar. Bunlardan biri bitüm içindeki hafif yağların buharlaşması, diğeri ise havadaki oksijen ile reaksiyon neticesinde oluşan oksidasyondur. Plentte ve serim esnasındaki harmanlama ve karıştırma işlemi sırasında, yüksek sıcaklık ve hava akışı olması nedenleriyle, her iki olay da meydana gelir ve bitümün yaşlanmasına katkıda bulunur. Yüksek performanslı asfalt kaplama şartnamesi, bu olayı temsil eden dönmeli ince film halinde ısıtma deneyini gerekli görür. Deneyin amacı, oksidasyon sonrasında buharlaşan kütle kaybını belirlemek ve daha sonra yapılacak diğer performans deneyleri için yaşlanmış numune elde etmektir (Dinç, 1999; Dinç ve Yazıcı, 2000; TS EN 12607-2, 2003).

Bunun için, Şekil 3.7'de görülen 163°C'lik ısıya sahip bir etüvün dönen tablası üzerine 8 adet silindir içine 0.0001 gram hassasiyetle tartılmış 35 gram bitümlü bağlayıcı numunesi yerleştirilir. Numune silindirlerinin konulduğu tabla dakikada 15 devir yapacak şekilde döndürülür. Bu ısıda 85 dakika süreyle bekletilen numuneler üzerine 400 ml/dk olacak şekilde hava püskürtülür. Deney sonunda iki tanesi alınır ve

0.0001 gram hassasiyetle tartılıp kütle kaybı hesaplanır. Geriye kalan 6 numunenin bakiyesi bir kaba boşaltılır ve homojenliği sağlamak üzere karıştırılır. Bu bakiye numune daha sonra basınçlı yaşlandırma kabı deneyi ve dinamik kayma reometresi deneyinde kullanılmak üzere saklanır.



Şekil 3.7 RTFO deney düzeneği

3.6.2. Basınçlı yaşlandırma kabı deneyi *(Pressure Aging Vessel - PAV)*

Bu test bitümlü bağlayıcının kaplama ömrü boyunca (uzun süreli) maruz kalacağı sertleşme etkilerini belirlemek amacıyla yapılır, deney aleti Şekil 3.8'de görülmektedir. Bu deneyde, uzun süreli yaşlanmayı temsil etmek üzere, bitüm numunesi bir basınç kabına konarak etüvde 20 saat süreyle sıcaklık ve basınç etkisinde bırakılır. Deneyde kullanılacak bitüm, dönmeli ince film halinde ısıtma deneyinde kullanılmış olan asfalt numunesi olacaktır. Böylece kaplamanın inşaat ve hizmet sırasında karşılaşacağı çevresel koşullar deneylere yansıtılmış olur (Dinç, 1999; Dinç ve Yazıcı, 2000). Elde edilen bakiye numune dinamik kayma reometresi deneyi, eğilme kirişi deneyi ve direkt çekme deneyi uygulanmak üzere saklanır (Tunç, 2001).

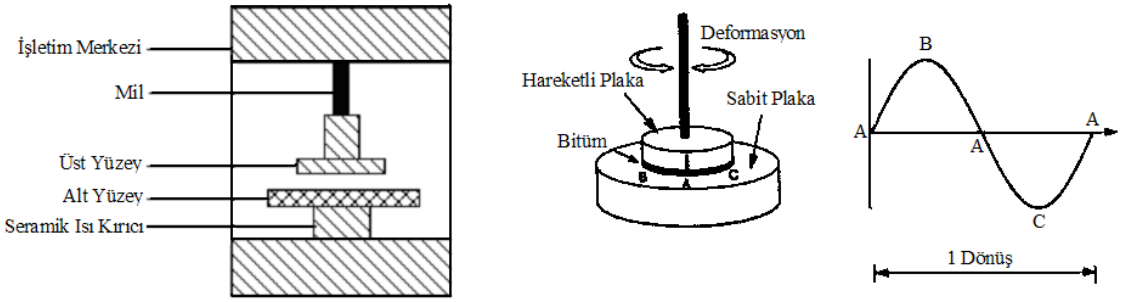


Şekil 3.8 Basınçlı yaşlandırma kabı deney aleti

3.6.3. Dinamik Kayma Reometresi Deneyi *(Dynamic Shear Rheometer - DSR)*

Bitüm hem viskoelastik hem de termoplastik bir malzeme olduğundan dolayı karakteristiklerinin belirlenmesinde her iki özelliği de birlikte göz önüne alınmalıdır. Asfaltın sıcaklık ve yük altında yorulma ve oluklanmaya karşı direncini tespit etmek amacıyla geliştirilmiştir. Bu test ile yükleme süresi ve ısının bitümlü bağlayıcı üzerindeki etkileri değerlendirilmektedir. Bitümlü bağlayıcıların yüksek ve orta derece sıcaklıklardaki kompleks kayma modülü (G*) ve faz açısının (δ) ölçülmesi suretiyle hem viskoz hem de elastik davranışı belirlenir (Asphalt Institute, 1994). Şekil 3.9 ve 10'da görülen deney aleti ve deney düzeneğinde sabit bir plaka ile dönebilen bir plaka arasına konan sabit kalınlıktaki bitüm numunesi belirli bir ısı altında ve belirli bir hızda döndürülmeye çalışılır. Döner tablaya tatbik edilen gerilme ile tablanın merkezinden yani A noktasından B noktasına kadar hareket ettirilir. Daha sonra döner tabla B noktasından A noktasına ve C noktasına kadar döndürülür. Daha sonra C noktasından tekrar A noktasına kadar döndürülür. Buna 1 devir denilir ve test süresince tekrar edilir. Bu devrin dönme hızına frekans denilir. Bu test 10 radyan/saniye frekans yani yaklaşık 1.59 Hz (devir/saniye) ile yapılmaktadır (AASHTO T315-TP5, 1994; Mcgennis ve ark.,

1994; Zaniewski ve Pumphrey, 2004).



Şekil 3.9 Dinamik kayma test düzeneği ve hareket tarzı



Şekil 3.10 Dinamik kayma deney aleti

3.6.4. Dönel viskozimetre deneyi *(Rotational Viscometer - RV)*

Dönel viskozimetre deneyi, asfaltın sıcak karışım tesisinde, hangi derecede pompalanabilirlik ve işlenebilirliğe sahip olduğunun tespiti için akış karakteristiklerinin belirlenmesinde kullanılır (Dinç ve Yazıcı, 2000). Dönel viskozite; silindirik bir çubuğun sabit bir sıcaklıkta, bitüm numunesi içinde kendi etrafında dönüş hızını sabit tutacak burulma kuvvetinin ölçülmesi ile belirlenir (Şekil 3.11). Bu deney, asfaltın

pompalanıp agrega ile karıştırılacak kıvamda olup olmadığını anlamak amacıyla, orijinal haldeki bitümlere uygulanır. Ayrıca viskozimetre, karışım tasarımında kullanılacak karıştırma ve sıkıştırma sıcaklığının tahmininde kullanılan sıcaklık-viskozite tablosunun hazırlanmasında da önemli bir görev üstlenir (Dinç, 1999; Dinç ve Yazıcı, 2000).

Bitümlü bağlayıcının yüksek ısıdaki (135°C) akışkanlık karakteristiklerinin belirlenmesi için yapılır. Bu test için özel olarak geliştirilmiş cihazın kaşığı 20 devir/dk hızla döndürülerek viskozluk değeri saptanır.



Şekil 3.11 Dönel viskozimetre deney aleti

3.6.5. Eğilme kirişi reometre deneyi (*Bending Beam Rheometer - BBR*)

Bitüm, düşük sıcaklıklarda *DSR* ile alınacak sonuçlara güvenilmeyecek kadar sertleşir. Bu nedenle, asfaltı düşük sıcaklıklarda gözlemek üzere *SHRP* tarafından eğilme reometresi geliştirilmiştir. Deney genellikle sıfırın altındaki sıcaklıklarda gerçekleştirilir ve sabit yük uygulanan kiriş şeklindeki asfalt bir çubuğun, bu yük altında zaman içindeki sehimi izlenir (Şekil 3.12). Deney sıcaklığı, asfaltın servis durumundaki karşılaşacağı en düşük sıcaklığa göre değişir. Bu deneyde *RTFO* ve *PAV* deneyleri ile yaşlandırılmış numuneler kullanılır. Böylece servis durumundaki veya karışım ve serme sırasındaki bitüm deneyde temsil edilmiş olur. Deney bilgisayar kontrollü yapılır ve yine bilgisayar tarafından anlık zaman-deformasyon ile zaman-sünme sertliği grafikleri

çizilerek 60 sn sonundaki sünme sertliği “S” ve sünme oranı “m” hesaplanır (Dinç, 1999; Dinç ve Yazıcı, 2000).

Belirli bir ısıda ve sabit bir yük altında bağlayıcının ne kadar sünme veya defleksiyon yapacağı ölçülür. Asfalt kaplamanın düşük sıcaklıklarda maruz kalabileceği elastik davranış belirlenmeye çalışılır (Asphalt Institute, 1994).

Bu deney için 6.25 mm yükseklik, 12.5 mm genişlik ve 125 mm uzunlukta hazırlanan bitümlü bağlayıcı numunesi eksi derecelerde donmayan bir sıvı banyosu içinde 980 N ve 240 saniye süreyle tek nokta yüklemesine maruz bırakılır. Test süresince defleksiyon ölçülür ve sağlamlık modülü For. 3.12 ile tayin edilir (Şekil 3.13);

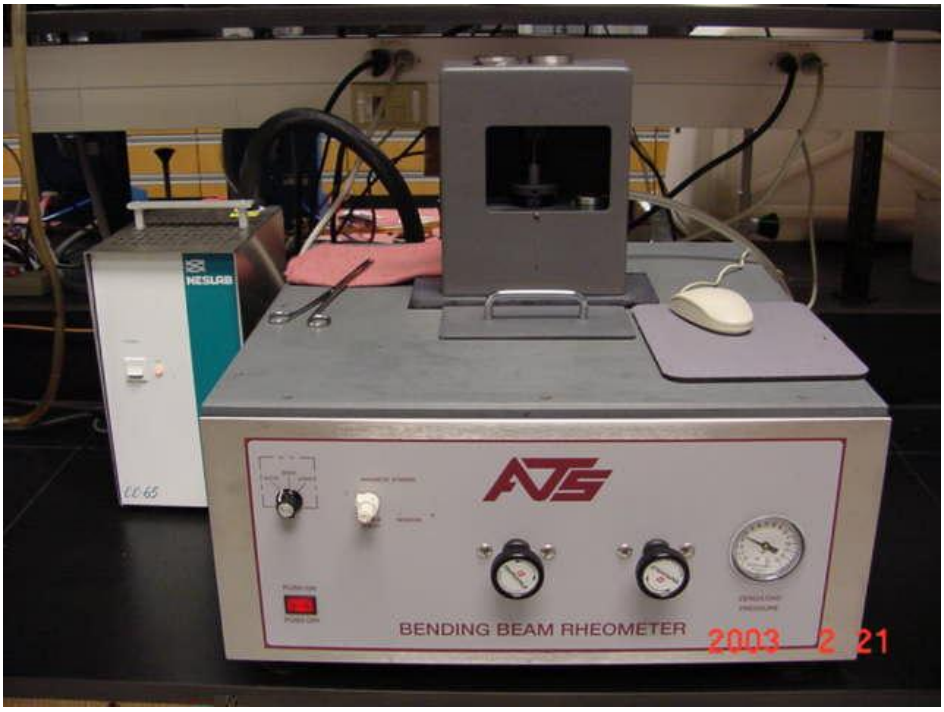
$$S_{(t)} = \frac{PL^3}{4bh^3\delta_{(t)}} \qquad 3.12$$

$S_{(t)}$ = t anında sünme sağlamlık modülü (MPa),
P = Uygulanan sabit yük (N),
L = Kirişin yük tatbik aralığı (102 mm),
b = Kiriş genişliği (12.5 mm),
h = Kiriş yüksekliği (6.25 mm),
$\delta_{(t)}$ = t anında yer değiştirme (mm).

60 sn için sağlamlık modülü değeri 300 MPa dan büyük olmamalıdır. m değeri zamana karşı $S_{(t)}$ değerinin değişimini temsil eder. m değerini belirlemek için sünme sağlamlığı değişik yükleme zamanlarında ölçülür ve sünme sağlamlığı zaman eğrisinde belirli bir andaki teğetin eğimi m değerini verir. Bu değer 60 sn için en az 0.300 olmalıdır (Dinç ve Yazıcı, 2000).



Şekil 3.12. BBR deneyi numuneleri



Şekil 3.13. *BBR* deney aleti

3.6.6. Direkt çekme deneyi (*Direct Tension Tester - DTT*)

Yapılan araştırmalar, bitümün düşük sıcaklıklardaki sertliği ile kopma anından önceki uzama oranı arasında bir ilişki olduğunu göstermiştir. Kopma anından önceki uzaması nispeten fazla olan asfaltlar sünek (düktil), fazla uzamadan kopanlar ise gevrek (kırılgan) olarak nitelendirilirler. *BBR* deneyi ile ölçülen sertlik, bitümün zayıflama anından önceki çekmeye karşı kapasitesini anlatabilmekte yeterli değildir. Örneğin, bazı bitümler yüksek sünme sertliğine sahip olsa bile çok fazla miktarda çekilebilirler. Bu

yüzden *SHRP* araştırmacıları, bu tür sert fakat düktil asfaltlar için bir deney geliştirmişlerdir. Bu deneyde *RTFO* ya da *PAV* deneyleriyle yaşlandırılmış numuneler kullanılır. Kemik formu verilmiş asfalt numunesi, düşük sıcaklıklarda iki ucundan zayıflama anına kadar çekilir. Bilgisayar tarafından hazırlanan gerilme uzama grafiğinde gerilme eğrisinin tepe noktası uzama oranı için kritik noktadır (Dinç 1999, Dinç ve Yazıcı, 2000).

Bu deney için silikon lastik bir kap içinde numuneler hazırlanır. Bu numuneler her iki ucunda 12 mm çapında ve 27 mm lik efektif yükseklikte ve kare kesitlidir. Numuneler direkt çekmeye tabi tutulur ve gerilme kopma deformasyonu For. 3.13 ile hesaplanır;

$$\sigma = P/A = P/36\ mm^2 \qquad ve \qquad \varepsilon_t = \Delta L/27 \tag{3.13}$$

Eğilme kirişi deneyi sonuçları 300 ve 600 MPa arasında ise ilave olarak direkt çekme deneyi uygulanır 300 MPa dan küçük ise ilave testlerin yapılmasına gerek yoktur.

3.7. Marshall Tasarım Metodu

Bitümlü karışımlar için en uygun bağlayıcı oranını bulmaya çalışan, en geniş kullanım oranına sahip metot *Marshall* deneyidir. *Marshall* deneyi deneme numunelerinin hazırlanması ile başlar.

Marshall metodunda 6.35 cm yüksekliğinde ve 10.16 cm çapında deney numuneleri kullanılır. *Marshall* numuneleri, bitüm-agrega karışımlarının belirli bir ısıtma, karıştırma ve sıkıştırma işlemi sonunda hazırlanır. Bu metodun başlıca iki özelliği sıkıştırılmış numunelerde, yoğunluk-boşluk analizi ve stabilite - akma denemesidir.

Deney sonucunda;

a. Bitümlü bağlayıcı yüzdesi - stabilite,
b. Bitümlü bağlayıcı yüzdesi - akma,
c. Bitümlü bağlayıcı yüzdesi - birim ağırlık,

d. Bitümlü bağlayıcı yüzdesi - boşluk yüzdesi,

e. Bitümlü bağlayıcı yüzdesi - Vb/VMA,

f. Bitümlü bağlayıcı yüzdesi - VMA, eğrileri çizilmektedir. Bu eğrilerden hareket edilerek optimum bitüm oranı saptanır. Aşağıdaki beş koşulu gerçekleştiren bitüm oranlarının ortalaması optimum bitüm oranı olarak kaydedilir;

a. Maksimum stabilitenin verdiği bitüm oranı,
b. Maksimum birim ağırlığının verdiği bitüm oranı ,
c. %4 boşluk oranının verdiği bitüm oranı,
d. %80 Vb/VMA değerinin verdiği bitüm oranı,
e. Minimum VMA değerinin verdiği bitüm oranı.

3.8. Dolaylı Çekme Deneyi

Bitümlü bağlayıcı ve agrega karışımı numunelerinden iki set oluşturulur. Bir set koşulsuz dolaylı çekme deneyi için kuru konumda test edilir. Diğer set koşullu dolaylı çekme deneyi için vakum altında doyurulduktan sonra test edilir. Dolaylı çekme deneyi sonuçları koşullu ve koşulsuz test verilerinden oluşur. Şekil 3.14 ve 15'de deney düzeneği ve deney aleti görülmektedir.



Şekil 3.14. Dolaylı çekme deneyi test düzeneği



Şekil 3.15. Dolaylı çekme deney aleti

Karışım numunelerinin, teorik maksimum özgül ağırlığı (G_{max}), numunenin kalınlığı (t), çapı (D), özgül ağırlığı (G_{mb}), hacmi (E) belirlenir. Hava boşluklarının yüzdesi (P_a) hesaplanır. Her iki setteki ortalama hava boşluklarının yaklaşık olarak eşit olacağı şekilde numuneleri, her birisinde en az üç numune olacak şekilde iki alt guruba ayrılır.

Hava boşluklarının hacmi (V_a) 3.14'deki eşitlikten hesaplanır;

$$V_a = \frac{P_a E}{100} \qquad 3.14$$

Burada:

V_a = Hava boşluklarının hacmini, cm^3

P_a = Hava boşluklarının yüzdesini ve

E = Numunelerin hacmini, cm^3 gösterir.

Koşulsuz test seti oda sıcaklığında muhafaza edilir. Numuneler daha sonra 2 sa ± 10 dk boyunca yüzeyinde en az 25 mm su olacak şekilde 25 ± 0.5°C sıcaklığında su içerisinde bekletilir.

Koşullu test seti kabın tabanından en az 25 mm yukarda delikli bir boşlukla desteklenen bir vakum kabına yerleştirilir. Kap, yüzeyinde en az 25 mm su olacak şekilde, oda sıcaklığında içme suyu ile doldurulur. Kısa bir süre için (yaklaşık 5 ila 10

dakika) 13 ila 67 kPa mutlak basınçta bir vakum uygulanır. Vakum kaldırılıp numune kısa bir süre için (yaklaşık 5 ila 10 dakika) suyun içinde bekletilir.

Vakum doygunluğu sonrasında doymuş, yüzeyi kuru numunenin kütlesi ve emilen suyun hacmi belirlenir. Emilen suyun hacmi boşlukların hacmine bölünerek doygunluk derecesi yüzdesi bulunur.

Eğer doygunluk derecesi yüzde 70 ile 80 arasında ise teste devam edilir. Eğer doygunluk derecesi yüzde 70'in altındaysa, koşullandırma prosedürü, daha fazla vakum ve/veya daha uzun süre kullanarak tekrar edilir. Eğer doygunluk derecesi yüzde 80'den fazla ise numune hasarlanmıştır, test dışı bırakılır. Bu durumda, bir sonraki numune ile koşullandırma prosedürü, daha az vakum ve/veya daha kısa süre kullanarak tekrar edilir.

Vakumla doyurulmuş numunelerin her birisini sıkı bir şekilde bir plastik film ile örtülür. Sarılmış olan her bir numune 10±0.5 ml su içeren bir plastik torba içerisine koynur ve torbanın ağzı yapıştırılır. Numuneleri içeren torbalar en az 16 saat boyunca -18 ± 3°C ısıda bir buzdolabında bekletilir. Bu işlem sonunda numuneler 24±1 sa boyunca 60±1°C içme suyu içeren bir küvette bekletilir. Numunelerin yüzeyinde en az 25 mm su olmalıdır. Su küvetinin içerisine yerleştirilir yerleştirilmez, her bir numuneyi saran plastik torba ve film çıkartılır. Bu işlemden sonra 2 sa±10 dk boyunca 25±0.5°C su banyosuna konur. Numunelerin yüzeyinde en az 25 mm su olmalıdır. Suyun sıcaklığının 25°C üzerine çıkmasını engellemek için buz eklemek gerekebilir. Suyun sıcaklığının 25±0.5°C olması için 15 dakikadan daha fazla vakit geçmemelidir. Numuneleri su banyosundan çıkarılır ve teste geçilir.

Numune çelik yükleme plakaları arasına yerleştirilir. Numunenin çapı boyunca yük uygulanması konusunda dikkat edilmelidir. Yük, test makinesinin başlığının 50 mm/dk bir sabit hareket oranıyla numuneye uygulanır. Test makinesinde gösterilen azami basınç kuvveti kaydedilir ve dikey bir çatlama görününceye kadar yük uygulamaya devam edilir ve deney sonlandırılır (AASHTO T283-07, 2007).

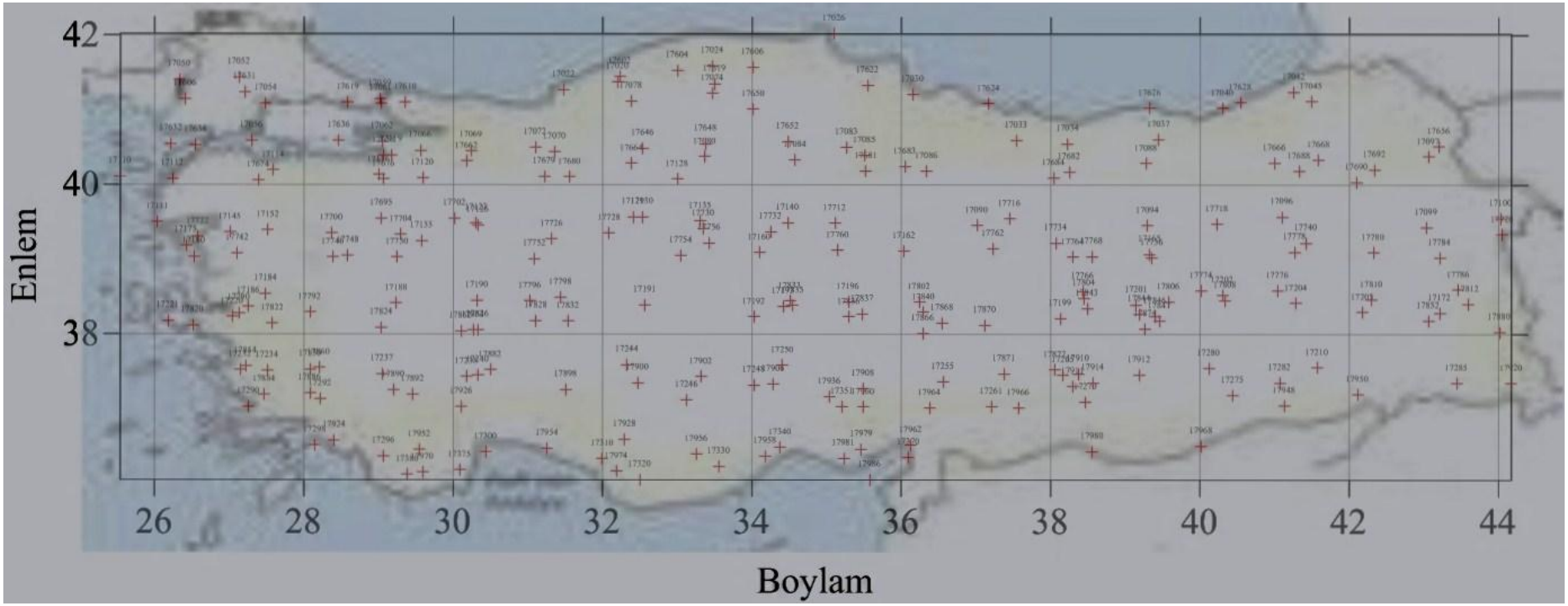
4. TÜRKİYE'DE FARKLI COĞRAFİK BÖLGELER İÇİN BİTÜMLÜ BAĞLAYICILARIN PERFORMANS DERECELERİNİN BELİRLENMESİ

4.1. Türkiye Uzun Yıllar Sıcaklık Haritaları

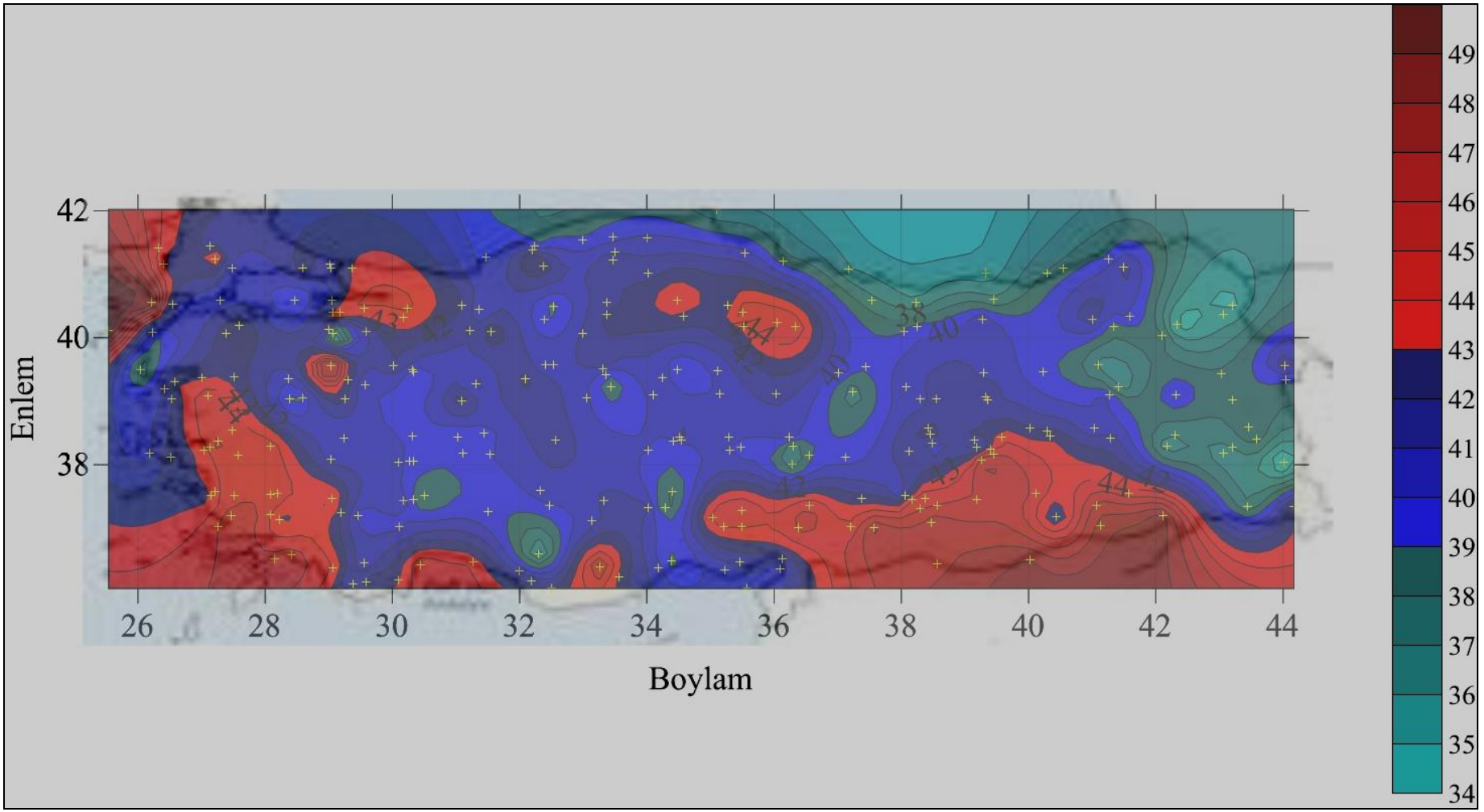
Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünden Türkiye'deki sıcaklık ölçümü yapan tüm istasyonların ölçüm verileri istenmiştir. Ölçüm verileri temin edilen istasyonların büyük çoğunluğunun son 25~30 yıllık kayıtları mevcuttur. İstasyonların dağılımı Şekil 4.1'de görülmektedir. Bu verilerin içinden özel olarak yazılmış bir bilgisayar programı yardımıyla bir maksimum sıcaklık değeri bir de minimum sıcaklık değeri tespit edilmiştir. Bu değerlere göre uzun yıllar maksimum ve minimum sıcaklık haritaları oluşturulmuştur. Şekil 4.2 ve 4.3'de görülmektedir. Türkiye'nin en uç noktalarında istasyon olmadığından Türkiye haritasının bir kısmı sıcaklık haritalarının dışında kalmaktadır. Bu haritalar sayesinde Türkiye'de görülen maksimum ve minimum sıcaklıkların yöre bazında görsel olarak kıyaslaması yapılabilmektedir.

Coğrafi bölgelerimizde değişik maksimum sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Güneydoğu Anadolu Bölgesinde birbirine yakın ortalama 50°C civarı sıcaklıklar, İç Anadolu Bölgesinde ortalama 45°C civarı sıcaklıklar, Doğu Anadolu Bölgesinde Erzurum, Kars, Van civarında maksimum sıcaklık çok yükselmeyip 35°C civarında seyrederken güney kısmında 47-48°C sıcaklıkları görmektedir. Iğdır Kars'a yakın olmasına rağmen 42°C'lik maksimum sıcaklık ölçülmüştür. Akdeniz bölgesinin sahil kesiminde 45°C, iç kesimlerinde 37-39°C sıcaklıklar görülmektedir. Ege Bölgesinde de genellikle 45°C civarı, Marmara Bölgesinde Uludağ ve çevresinde 31°C, genelinde 40°C'nin üstünde değerler ölçülmüştür. Karadeniz bölgesinin iç kesimlerinde 40°C'nin üstünde, sahil kenarında daha düşük değerler görülmektedir.

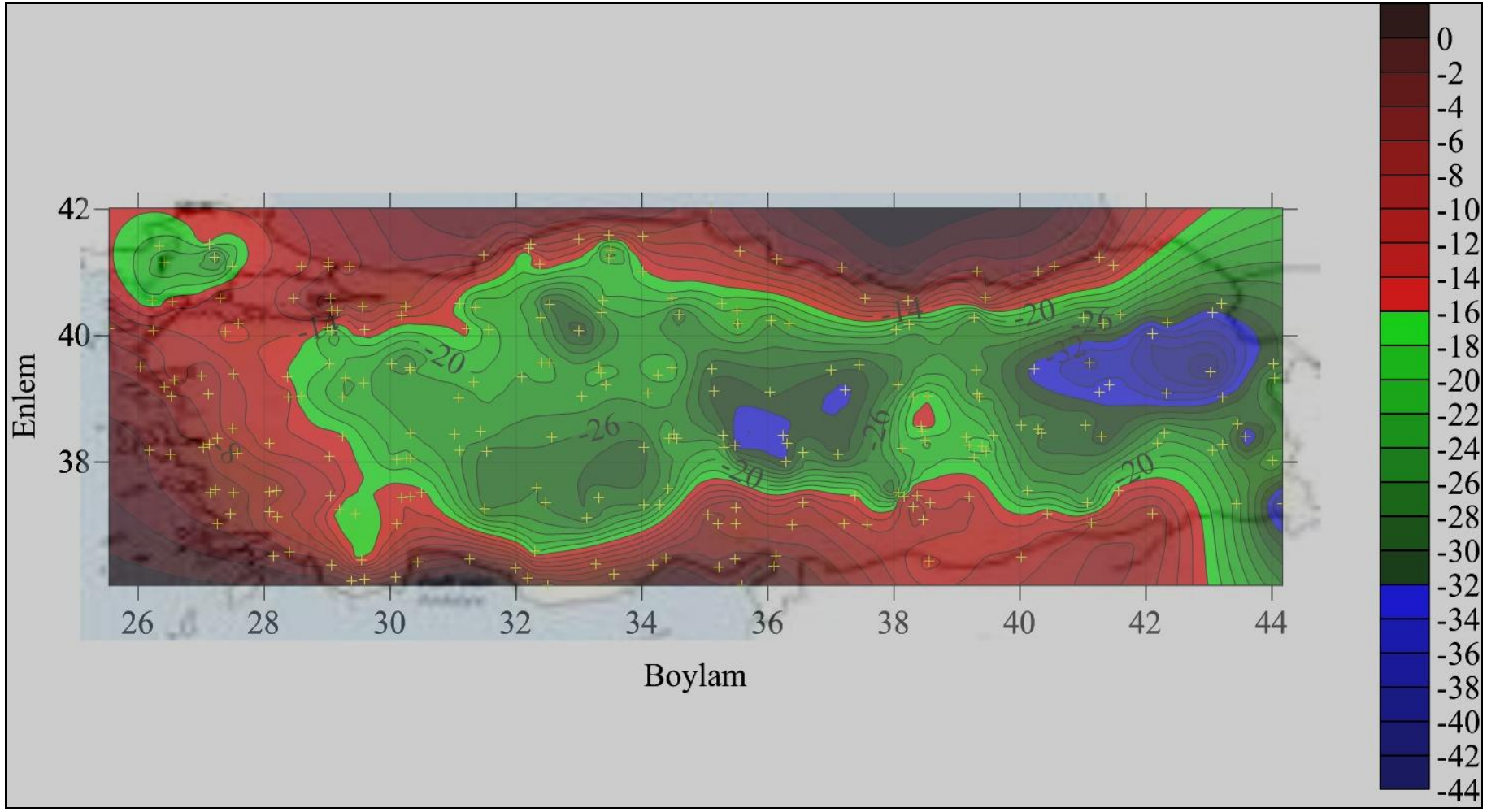
Düşük sıcaklık haritasını incelediğimizde genellikle sahil kenarlarında çok düşük değerler görülmemekte, buralarda ölçülen değerler -8°~4°C arasında değişmektedir. İç kesimlerde ise İç Anadolu Bölgesinde -35°C'ye kadar sıcaklık değerleri görülmüş, Doğu Anadolu Bölgesinde -43°C'ye kadar sıcaklıkların düştüğü görülmüştür.



Şekil 4.1. Türkiye'deki sıcaklık ölçüm istasyonlarının dağılımı



Şekil 4.2. Türkiye uzun yıllar maksimum sıcaklıklar haritası



Şekil 4.3. Türkiye uzun yıllar minimum sıcaklıklar haritası

4.2. Türkiye Coğrafi Bölgeleri için PG Bitüm Sınıflandırması

Performans esaslı bitümlü bağlayıcıların sınıfının seçimi kaplamanın hizmet edeceği iklim koşulları esas alınarak yapılmaktadır. Bunun için kaplamanın sahip olacağı maksimum ve minimum sıcaklıklara göre bağlayıcı sınıfı seçilmektedir (Cortizo ve ark., 2004). Kaplama yüzeyinden 2 cm alttaki en yüksek kaplama sıcaklığı ve kaplama yüzeyindeki en düşük sıcaklık hesaplanır. Maksimum Kaplama Dizayn Isısı ve Minimum Kaplama Dizayn Isısı Formül 4.1 ve 4.2 ile belirlenmelidir (Superpave Mix Design, 2001);

$$T_{\min} = 0.859.T_{hv} + 1.7 \qquad 4.1$$

$$T_{maks} = (T_{h7} - 0.00618\,En^2 + 0.2289En + 42.2)(0.9545) - 17.78 \qquad 4.2$$

Burada;

T_{min} = Minimum kaplama dizayn sıcaklığı, ºC

T_{maks} = 20 mm derinlikte maksimum kaplama dizayn sıcaklığı, ºC

T_{hv} = 20 yılın en soğuk günlerinin ortalama sıcaklığı, ºC

T_{h7} = 20 yılın en sıcak 7 günün ortalama sıcaklığı, ºC

En = Enlem, derece

Bu çalışmada PG sınıflaması için kullanılan meteoroloji istasyonlarına ait bilgiler Tablo 4.1'de görülmektedir. Formül 4.1 ve 4.2 deki hesaplamaları yapabilmek için istasyonların enlem bilgilerine ihtiyaç vardır. Verilen istasyon bilgileri ve Tablo 4.1'de verilen son 20 yılı kapsayan bir yılda görülen maksimum 7 günlük sıcaklık verileri ortalamaları (T_{h7}) ile son 20 yılı kapsayan bir yılda görülen minimum sıcaklık verilerinin ortalamaları (T_{hv}) kullanılır. T_{min} ve T_{maks} kaplama sıcaklıkları hesaplanır, bu sıcaklıkların Tablo 4.2'deki hangi gruba girdiğine bakılarak hesaplamalar tamamlanır. Türkiye coğrafi bölgeleri için bulunan PG değerlerinin harita olarak gösterimi Şekil 4.4 ve 4.5'dedir.

Bağlayıcı seçiminde, kaplamanın hızlı hareket eden yüklere maruz kaldığı kabul edilmektedir. Yavaş hareket eden ağır trafik yüklerine maruz kaplamalar için seçilen PG grubunun bir üst grubu, duran yükler için ise iki üst grubu (yüksek sıcaklık) projede kullanılacak PG sınıfı bağlayıcı olarak belirlenir. Bitümlü bağlayıcı sınıfının düşük

sıcaklıkla ilgili değeri değişmez. Yavaş hareket eden dizayn yükleri tırmanma şeridi, çok eğimli ve ağır trafik yüklerinin olduğu kent dışı ve kentsel yollar için uygulanabilir. Hareketsiz dizayn yükleri ağır taşıt otoparkları, yükleme-boşaltma platformları, otobüs durakları kavşaklar için uygulanabilir.

Karadeniz Bölgesi için PG58-22 sınıf, Marmara Bölgesi için PG58-16 sınıf, Ege Bölgesi için PG64-16 sınıf, Akdeniz Bölgesi için PG64-16 sınıf, İç Anadolu Bölgesi için PG64-22 sınıf, Doğu Anadolu Bölgesi için PG70-28, Güneydoğu Anadolu Bölgesi için PG70-10 sınıf bitüm kullanılması gerektiği tespit edilmiştir.

Tablo 4.1. Türkiye coğrafi bölgelerine göre bitümlü bağlayıcıların PG sınıfının seçimi

Bölge	İstasyon Adı	İstasyon No	Enlem	Boylam	Yükseklik	Thv	Th7	σhv	σh7	Tmin	Tmaks	PG
Karadeniz	Bartın	17020	41.38	32.20	32.52	-9.21	31.68	3.08	2.88	-6	52	58-10
	Zonguldak	17022	41.27	31.48	135.35	-3.66	28.11	1.87	2.79	-1	48	52-10
	İnebolu	17024	41.59	33.47	63.82	-5.04	28.87	2.05	1.97	-3	49	52-10
	Sinop	17026	42.02	35.10	32.00	-2.06	28.53	1.79	1.94	0	48	52-10
	Samsun	17030	41.21	36.15	4.00	-3.19	28.91	1.75	2.23	-1	49	52-10
	Ordu	17033	40.59	37.54	4.13	-2.87	29.56	1.86	1.73	-1	50	52-10
	Giresun	17034	40.55	38.23	38.00	-1.71	28.73	1.51	1.62	0	49	52-10
	Trabzon	17037	40.60	39.45	30.00	-2.27	28.81	1.49	2.07	0	49	52-10
	Rize	17040	41.02	40.30	8.60	-2.61	28.98	1.60	2.01	-1	49	52-10
	Hopa	17042	41.24	41.26	32.56	-3.30	29.97	1.79	2.70	-1	50	52-10
	Artvin	17045	41.11	41.49	628.35	-7.86	31.00	2.00	3.95	-5	51	52-10
	Bolu	17070	40.44	31.36	742.92	-14.80	32.05	2.93	3.16	-11	52	58-16
	Düzce	17072	40.50	31.10	145.67	-9.14	32.93	5.20	2.87	-6	53	58-10
	Kastamonu	17074	41.22	33.47	799.91	-14.81	32.78	2.54	2.84	-11	53	58-16
	Karabük	17078	41.12	32.38	259.31	-9.80	36.75	2.48	3.28	-7	57	58-10
	Merzifon	17083	40.50	35.27	544.00	-11.60	32.59	2.99	3.18	-8	53	58-10
	Çorum	17084	40.33	34.58	775.91	-15.85	33.94	4.46	3.00	-12	54	58-16
	Amasya	17085	40.39	35.51	411.69	-10.89	35.94	4.32	3.10	-8	56	58-10
	Tokat/Bölge	17086	40.18	36.34	607.60	-13.03	34.22	4.44	3.20	-9	54	58-10
	Gümüşhane	17088	40.28	39.28	1219.00	-17.81	33.62	3.34	3.39	-14	54	58-16
	Amasra	17602	41.45	32.23	73.00	-3.65	28.09	1.97	2.58	-1	48	52-10
	Cide	17604	41.53	33.00	36.00	-4.66	29.32	3.41	2.45	-2	49	52-10
	Bozkurt	17606	41.57	34.01	167.00	-5.32	29.67	2.00	3.06	-3	50	52-10
	Devrekani	17619	41.35	33.50	1050.00	-20.58	29.85	4.50	3.26	-16	50	52-22
	Bahçeköy	17619	41.10	28.59	129.63	-6.88	31.31	2.46	3.66	-4	51	52-10
	Bafra	17622	41.33	35.55	103.00	-4.20	30.03	1.95	2.22	-2	50	52-10
	Ünye	17624	41.08	37.17	20.00	-2.35	28.06	1.64	1.72	0	48	52-10
	Akçaabat	17626	41.02	39.33	6.00	-2.31	28.87	1.74	1.88	0	49	52-10
	Pazar	17628	41.10	40.54	79.00	-3.42	28.15	1.55	1.91	-1	48	52-10
	Tosya	17650	41.01	34.02	870.00	-11.03	32.79	2.57	2.90	-8	53	58-10
	Osmancık	17652	40.58	34.48	419.00	-10.31	36.28	4.05	2.75	-7	56	58-10
	Zile	17681	40.18	35.53	717.00	-13.34	35.00	3.60	2.87	-10	55	58-16

	Şebinkarahisar	17682	40.17	38.25	1364.00	-15.61	32.66	2.55	2.72	-12	53	58-16
	Turhal	17683	40.24	36.05	529.73	-12.71	34.55	5.01	3.16	-9	55	58-10
Bölge	İstasyon Adı	İstasyon No	Enlem	Boylam	Yükseklik	Thv	Th7	σhv	σh7	Tmin	Tmaks	PG
Marmara	Edirne	17050	41.41	26.33	51.19	-10.59	35.65	3.06	2.42	-7	55	58-10
	Kırklareli	17052	41.44	27.13	231.50	-9.47	34.40	2.51	2.77	-6	54	58-10
	Çorlu	17054	41.09	27.49	183.00	-9.14	32.62	2.74	2.64	-6	53	58-10
	Tekirdağ	17056	40.59	27.30	3.60	-6.99	30.27	2.34	2.16	-4	51	52-10
	Kumköy	17059	41.15	29.02	38.18	-5.28	30.14	1.86	2.67	-3	50	52-10
	Sarıyer	17061	41.09	29.03	58.54	-3.67	29.84	2.21	2.87	-1	50	52-10
	İstanbul/Bölge	17062	40.58	29.05	32.98	-3.62	31.99	2.02	2.30	-1	52	58-10
	Kocaeli	17066	40.46	29.56	76.00	-3.86	33.31	1.87	2.67	-2	53	58-10
	Sakarya	17069	40.46	30.24	30.43	-5.05	33.48	2.24	2.95	-3	54	58-10
	Gökçeada	17110	40.11	25.54	79.00	-4.23	33.17	2.12	3.68	-2	53	58-10
	Bozcaada	17111	39.50	26.04	30.00	-2.11	29.58	2.38	2.44	0	50	52-10
	Çanakkale	17112	40.08	26.24	5.50	-5.43	33.39	2.04	2.08	-3	54	58-10
	Bandırma	17114	40.19	27.59	63.00	-6.19	31.62	2.65	3.30	-4	52	58-10
	Bursa	17116	40.13	29.00	100.32	-8.10	34.58	3.40	2.49	-5	55	58-10
	Yalova	17119	40.40	29.17	3.81	-3.88	31.63	2.02	2.27	-2	52	58-10
	Bilecik	17120	40.09	29.59	539.19	-9.26	32.88	2.29	2.93	-6	53	58-10
	Balıkesir/Bölge	17152	39.39	27.52	153.00	-7.28	34.70	2.77	3.05	-5	55	58-10
	Uzunköprü	17606	41.15	26.41	51.69	-11.81	35.41	3.80	2.45	-8	55	58-10
	Şile	17610	41.10	29.36	83.00	-5.16	29.09	2.13	3.30	-3	49	52-10
	Lüleburgaz	17631	41.24	27.21	46.00	-11.73	35.78	4.10	3.39	-8	56	58-10
	İpsala	17632	40.55	26.22	9.71	-9.61	34.72	3.15	3.37	-7	55	58-10
	Malkara	17634	40.53	26.55	207.00	-10.30	33.58	2.56	2.61	-7	54	58-10
	Florya	17636	40.59	28.47	37.20	-4.43	31.35	2.34	2.11	-2	52	58-10
	Çınarcık	17658	40.39	29.07	16.25	-2.09	30.44	1.76	3.06	0	51	52-10
	Geyve	17662	40.31	30.18	100.00	-9.02	33.61	3.13	3.17	-6	54	58-10
	Gönen	17674	40.06	27.39	37.00	-7.88	33.83	2.75	2.89	-5	54	58-10
	Uludağ	17676	40.07	29.07	1877.00	-17.02	23.37	2.31	2.97	-13	44	46-16
	Keleş	17695	39.55	29.04	1063.00	-13.73	30.53	2.39	2.71	-10	51	52-16
	Dursunbey	17700	39.35	28.37	637.00	-10.29	33.67	2.50	2.63	-7	54	58-10
	Bozüyük	17702	39.55	30.02	754.00	-17.28	32.55	3.68	3.21	-13	53	58-16
	Burhaniye	17722	39.30	26.58	20.00	-5.29	35.76	1.96	2.35	-3	56	58-10

Bölge	İstasyon Adı	İstasyon No	Enlem	Boylam	Yükseklik	Thv	Th7	σhv	σh7	Tmin	Tmaks	PG
Ege	Edremit	17145	39.36	27.01	20.66	-3.80	31.97	1.68	2.35	-2	52	58-10
	Kütahya	17155	39.25	29.58	969.28	-14.34	32.89	3.11	2.54	-11	53	58-16
	Ayvalık	17175	39.19	26.42	3.55	-3.04	35.22	1.67	2.01	-1	56	58-10
	Dikili	17180	39.04	26.53	3.40	-3.35	34.95	1.81	2.72	-1	55	58-10
	Akhisar	17184	38.54	27.49	92.03	-6.35	38.49	1.98	2.47	-4	59	64-10
	Manisa	17186	38.37	27.26	71.00	-4.71	38.87	1.73	2.29	-2	59	64-10
	Uşak	17188	38.41	29.24	919.22	-10.31	34.21	2.06	2.22	-7	55	58-10
	Afyonkarahisar/Bölge	17190	38.45	30.32	1033.74	-14.76	33.31	3.01	2.32	-11	54	58-16
	İzmir/Bölge	17220	38.23	27.04	28.55	-1.53	36.30	1.70	2.20	0	57	58-10
	Çeşme	17221	38.18	26.18	5.00	-1.31	33.11	1.34	1.89	1	54	58-10
	Kuşadası	17232	37.52	27.15	25.00	-2.86	34.44	1.58	2.71	-1	55	58-10
	Aydın	17234	37.51	27.51	56.30	-3.13	39.17	1.21	2.19	-1	60	64-10
	Denizli	17237	37.47	29.05	425.29	-5.65	37.83	2.09	2.23	-3	59	64-10
	Bodrum	17290	37.03	27.26	26.47	0.45	37.72	1.87	2.61	2	59	64-10
	Muğla	17292	37.13	28.22	646.07	-5.92	36.89	1.68	2.12	-3	58	64-10
	Fethiye	17296	36.37	29.07	3.00	-1.45	37.51	1.37	2.26	0	58	64-10
	Marmaris	17298	36.51	28.15	16.19	-0.13	37.56	1.51	2.40	2	58	64-10
	Tavşanlı	17704	39.33	29.30	833.00	-15.69	34.78	3.35	2.92	-12	55	58-16
	Bergama	17742	39.08	27.11	53.00	-4.42	37.15	1.91	2.59	-2	57	58-10
	Demirci	17746	39.03	28.39	855.00	-8.00	33.20	2.12	4.40	-5	54	58-10
	Simav	17748	39.05	28.59	809.00	-11.91	33.15	2.89	2.46	-9	54	58-10
	Gediz	17750	39.03	29.25	736.00	-11.84	36.08	3.14	2.65	-8	56	58-10
	Emirdağ	17752	39.01	31.09	983.00	-15.66	33.95	3.56	2.64	-12	54	58-16
	Bornova	17790	38.28	27.13	27.00	-3.42	37.35	1.61	2.31	-1	58	64-10
	Salihli	17792	38.29	28.08	111.00	-5.41	38.28	2.15	2.14	-3	59	64-10
	Bolvadin	17796	38.44	31.03	1018.00	-15.17	33.26	3.29	2.38	-11	54	58-16
	Selçuk	17854	37.57	27.22	17.00	-4.12	36.81	1.04	2.31	-2	58	64-10
	Nazilli	17860	37.55	28.20	84.00	-3.76	38.84	1.33	2.02	-2	59	64-10
	Dinar	17862	38.04	30.10	864.00	-11.24	35.09	2.76	2.24	-8	56	58-10
	Seferihisar	17820	38.12	26.51	22.00	-3.56	35.80	1.42	2.37	-1	56	58-10
	Ödemiş	17822	38.14	27.58	111.00	-5.08	38.57	1.32	2.18	-3	59	64-10
	Güney	17824	38.09	29.04	825.00	-9.10	34.87	2.32	2.31	-6	56	58-10
	Sultanhisar	17850	37.53	28.09	73.00	-4.09	38.72	1.12	1.99	-2	59	64-10
	Milas	17884	37.19	27.47	52.00	-2.56	39.03	1.24	2.45	0	60	64-10

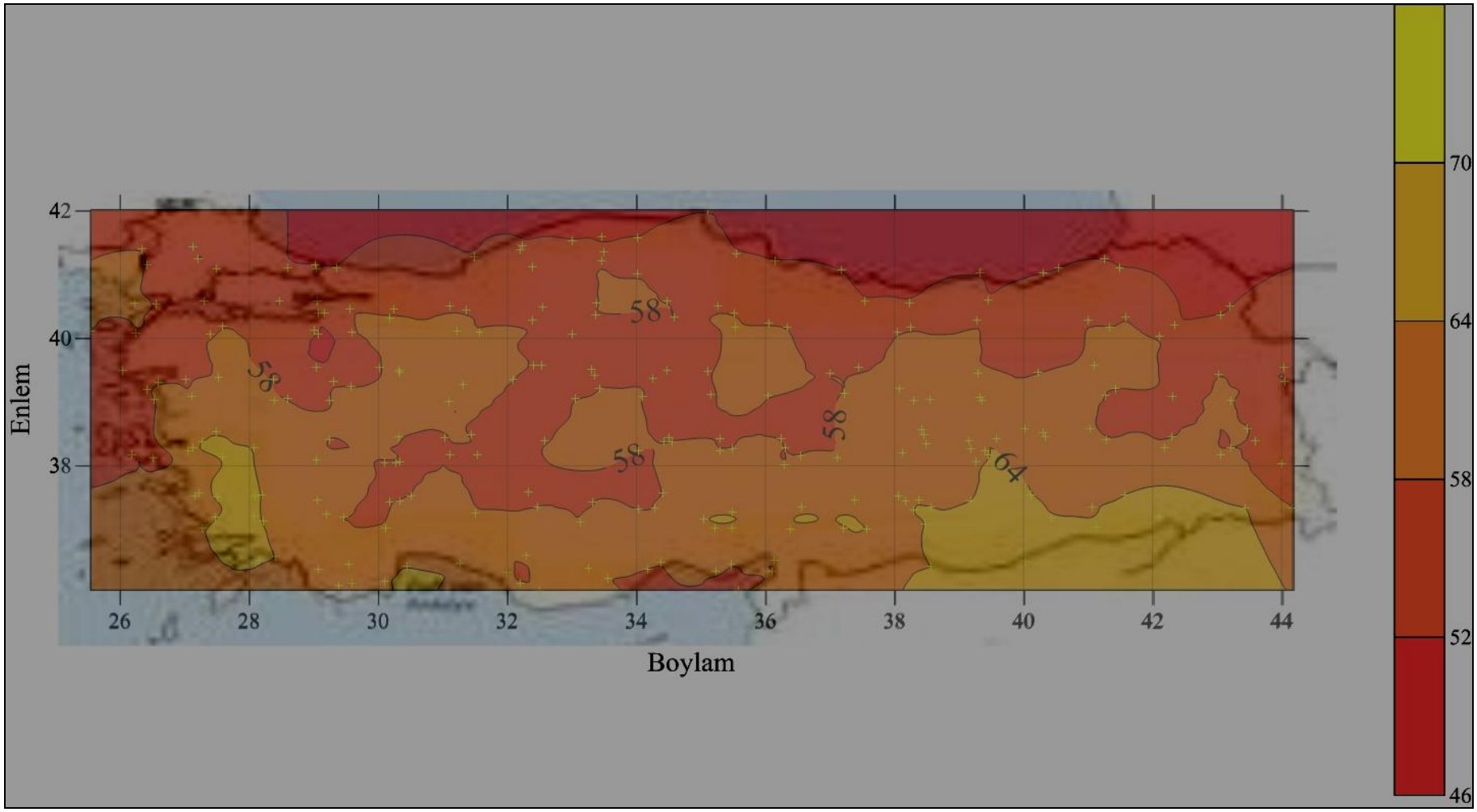
	Acıpayam	17890	37.25	29.20	941.00	-12.03	35.47	2.78	3.67	-9	56	58-10
	Köyceğiz	17924	36.58	28.41	24.00	-3.81	39.50	1.46	2.42	-2	60	64-10
	Yatağan	17886	37.21	28.08	365.00	-5.49	38.53	1.45	2.32	-3	59	64-10
Bölge	İstasyon Adı	İstasyon No	Enlem	Boylam	Yükseklik	Thv	Th7	σhv	σh7	Tmin	Tmaks	PG
Akdeniz	Burdur	17238	37.43	30.18	957.00	-9.84	35.34	1.93	1.97	-7	56	58-10
	Isparta/bölge	17240	37.45	30.33	996.88	-12.06	33.88	2.64	1.99	-9	55	58-10
	Kahramanmaraş	17255	37.36	36.56	572.13	-5.39	39.26	2.14	2.46	-3	60	64-10
	Antalya/Meydan	17300	36.42	30.44	63.57	-0.44	38.71	1.43	2.80	1	60	64-10
	Alanya	17310	36.33	32.00	5.88	1.89	34.22	1.84	1.90	3	55	58-10
	Anamur	17320	36.05	32.50	3.94	2.12	35.16	1.45	2.10	4	56	58-10
	Silifke	17330	36.23	33.56	15.01	0.90	35.68	1.98	2.31	2	57	58-10
	Mersin	17340	36.48	34.38	3.40	0.85	32.48	1.75	1.75	2	54	58-10
	Adana/Bölge	17351	37.03	35.21	27.00	-1.77	37.17	1.76	2.31	0	58	64-10
	İskenderun	17370	36.35	36.10	3.59	2.14	33.13	1.69	2.09	4	54	58-10
	Finike	17375	36.18	30.09	2.02	1.58	37.61	1.61	2.43	3	59	64-10
	Kaş	17380	36.12	29.39	153.39	2.67	34.54	2.13	2.34	4	56	58-10
	Yalvaç	17828	38.18	31.11	1096.00	-15.33	33.42	4.58	2.20	-11	54	58-16
	Manavgat	17954	36.47	31.26	38.00	0.32	37.63	1.46	2.57	2	59	64-10
	Mut/Mersin	17956	36.39	33.26	375.00	-4.26	38.71	1.99	5.99	-2	60	64-10
	Erdemli	17958	36.37	34.18	9.00	-0.97	33.24	1.50	1.96	1	54	58-10
	Ceyhan	17960	37.02	35.49	30.00	-4.08	37.14	1.79	2.35	-2	58	64-10
	Senirkent	17826	38.06	30.33	959.00	-13.60	34.47	3.20	2.11	-10	55	58-16
	Afşin	17868	38.15	36.55	1180.00	-19.26	34.55	4.77	1.95	-15	55	58-16
	Uluborlu	17864	38.05	30.27	1025.00	-12.23	33.35	2.80	2.10	-9	54	58-10
	Göksun	17866	38.01	36.29	1344.00	-24.70	32.70	4.59	1.71	-20	53	58-22
	Elbistan	17870	38.12	37.12	1137.00	-20.92	35.49	5.16	1.69	-16	56	58-22
	Eğirdir	17882	37.52	30.50	920.00	-9.31	32.13	2.86	1.87	-6	53	58-10
	Tefenni	17892	37.19	29.46	1142.00	-13.02	34.08	2.35	2.01	-9	55	58-10
	Kozan	17908	37.27	35.49	109.00	-0.61	38.81	1.66	2.37	1	59	64-10
	Korkuteli	17926	37.03	30.11	1017.00	-9.44	34.26	1.87	2.04	-6	55	58-10
	Karaisalı	17936	37.16	35.04	241.00	-0.61	37.42	2.07	2.30	1	58	64-10
	Elmalı	17952	36.45	29.55	1095.00	-10.96	34.51	2.59	1.81	-8	56	58-10
	Dörtyol	17962	36.51	36.13	28.00	-1.64	34.17	1.73	2.50	0	55	58-10
	Kale-Demre	17970	36.15	29.59	25.00	-0.54	36.20	1.48	2.52	1	57	58-10
	Gazipaşa	17974	36.16	32.19	21.00	0.09	35.05	2.01	2.19	2	56	58-10

	Yumurtalık	17979	36.46	35.47	27.00	0.04	33.95	1.80	2.44	2	55	58-10
	Karataş	17981	36.34	35.23	22.00	-0.49	32.97	1.50	2.50	1	54	58-10
	Samandağ	17986	36.05	35.58	4.00	0.06	32.45	1.55	2.55	2	54	58-10
Bölge	İstasyon Adı	İstasyon No	Enlem	Boylam	Yükseklik	Thv	Th7	σhv	σh7	Tmin	Tmaks	PG
İç Anadolu	Çankırı	17080	40.37	33.37	751.00	-14.64	35.48	3.77	2.58	-11	56	58-16
	Sivas	17090	39.45	37.01	1285.00	-20.76	32.94	4.30	2.79	-16	53	58-22
	Eskişehir/Anadolu	17123	39.49	30.31	787.00	-15.97	33.44	3.94	2.86	-12	54	58-16
	Eskişehir/Bölge	17126	39.46	30.33	801.00	-12.39	32.60	3.64	2.19	-9	53	58-10
	Esenboğa/Meydan	17128	40.07	33.00	959.33	-19.26	33.05	5.51	2.49	-15	53	58-16
	Etimesgut/Meydan	17129	39.57	32.41	806.15	-13.17	35.63	3.76	2.31	-10	56	58-16
	Ankara/Bölge	17130	39.57	32.53	890.52	-11.59	30.29	3.66	2.43	-8	51	52-10
	Kırıkkale	17135	39.51	33.31	750.89	-11.24	30.95	4.17	2.55	-8	51	52-10
	Yozgat	17140	39.49	34.48	1298.43	-14.96	27.37	2.67	2.80	-11	48	52-16
	Kırşehir/Bölge	17160	39.09	34.10	1007.17	-15.71	33.79	4.12	2.35	-12	54	58-16
	Gemerek	17162	39.11	36.04	1171.00	-22.09	34.42	4.17	2.41	-17	55	58-22
	Cihanbeyli	17191	38.39	32.57	968.73	-16.35	34.68	3.48	2.56	-12	55	58-16
	Aksaray	17192	38.23	34.03	960.77	-15.38	34.26	4.47	2.15	-12	55	58-16
	Nevşehir	17193	38.37	34.42	1259.54	-16.27	32.58	3.33	2.67	-12	53	58-16
	Kayseri/Bölge	17196	38.43	35.29	1092.00	-20.46	34.70	4.27	2.44	-16	55	58-22
	Konya/Meydan	17244	37.59	32.33	1030.61	-15.22	34.11	3.91	2.35	-11	55	58-16
	Karaman	17246	37.12	33.13	1023.05	-18.10	34.76	4.57	2.24	-14	56	58-16
	Ereğli	17248	37.32	34.03	1042.00	-17.51	34.87	4.16	2.24	-13	56	58-16
	Niğde	17250	37.58	34.41	1210.50	-16.90	32.99	3.71	2.19	-13	54	58-16
	Çerkeş	17646	40.49	32.54	1126.00	-22.27	31.10	4.12	2.88	-17	51	52-22
	Ilgaz	17648	40.55	33.38	885.00	-15.21	33.51	3.06	2.71	-11	54	58-16
	Kızılcahamam	17664	40.28	32.39	1033.00	-15.81	32.77	3.07	2.67	-12	53	58-16
	Nallıhan	17679	40.11	31.22	650.00	-11.55	35.32	2.49	2.45	-8	55	58-10
	Beypazarı	17680	40.10	31.56	682.00	-10.70	36.22	3.09	2.55	-7	56	58-10
	Suşehri	17684	40.09	38.04	1163.00	-14.07	32.86	3.16	2.65	-10	53	58-16
	Sorgun	17712	39.48	35.11	1110.00	-19.72	32.53	5.11	3.00	-15	53	58-16
	Zara	17716	39.54	37.45	1347.00	-23.63	32.45	4.73	2.76	-19	53	58-22
	Sivrihisar	17726	39.27	31.32	1070.00	-13.12	33.00	3.39	2.23	-10	53	58-16
	Polatlı	17728	39.35	32.09	886.00	-14.07	34.48	3.54	2.64	-10	55	58-16
	Keskin	17730	39.41	33.35	1140.00	-13.22	31.98	2.75	2.50	-10	52	58-16
	Çiçekdağı	17732	39.37	34.25	900.00	-14.45	34.01	3.69	2.61	-11	54	58-16

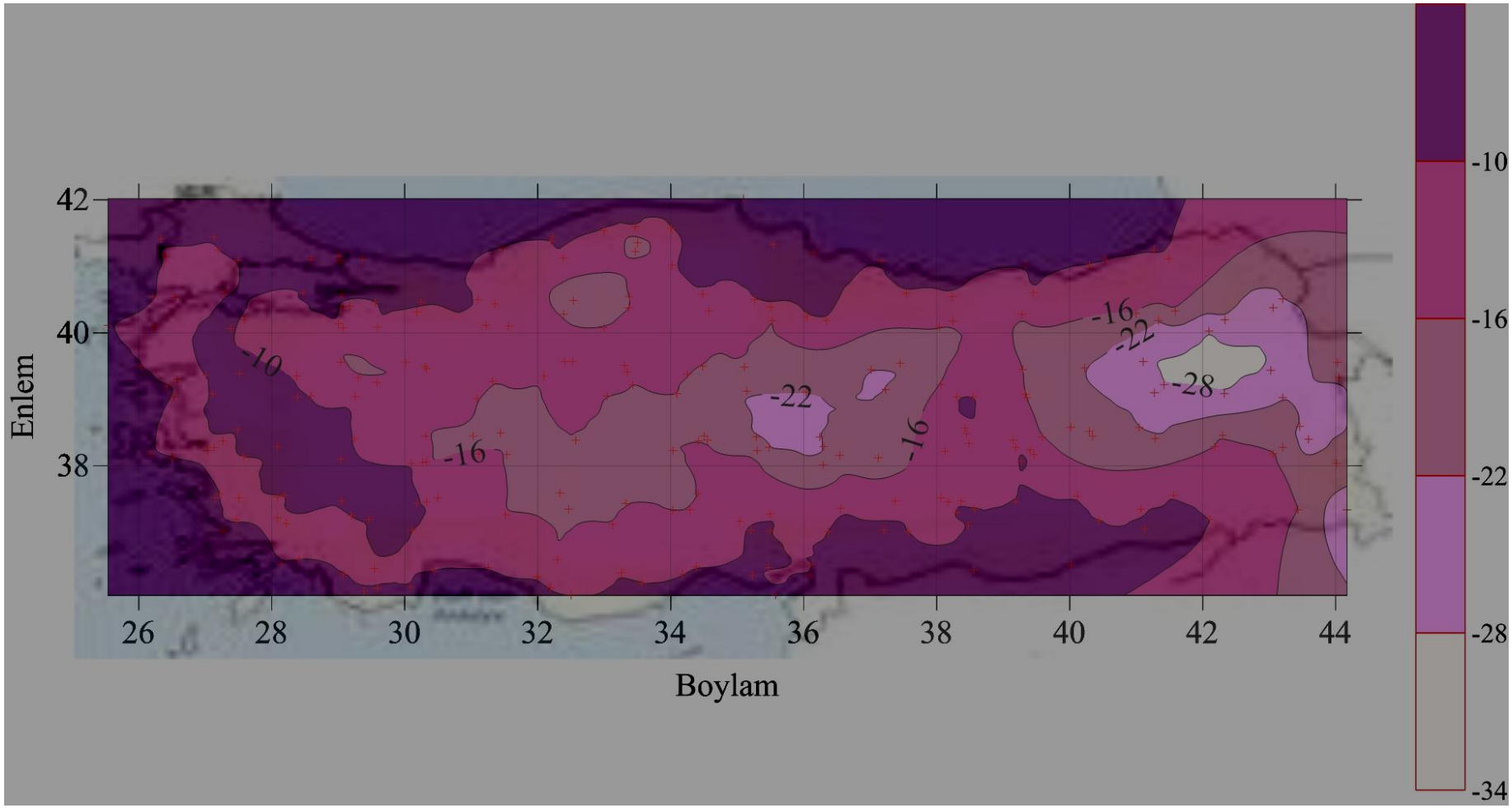
İç Anadolu	Divriği	17734	39.22	38.07	1120.00	-17.21	35.76	4.10	2.09	-13	56	58-16
	Kulu	17754	39.05	33.05	1010.00	-16.41	33.99	3.25	2.48	-12	54	58-16
	Boğazlıyan	17760	39.12	35.15	1067.00	-21.53	33.40	5.05	2.62	-17	54	58-22
	Kangal	17762	39.14	37.23	1541.00	-25.84	32.18	4.23	2.18	-20	53	58-22
	Yunak	17798	38.49	31.44	1140.00	-13.66	32.63	2.79	2.58	-10	53	58-16
	Pınarbaşı	17802	38.43	36.24	1500.00	-23.20	31.60	3.71	3.35	-18	52	58-22
	Ilgın	17832	38.17	31.54	1034.00	-17.94	33.39	4.07	2.32	-14	54	58-16
	Avanos	17833	38.44	34.51	950.00	-15.45	35.84	4.61	2.30	-12	56	58-16
	Ürgüp	17835	38.38	34.55	1060.00	-18.64	33.62	3.73	2.73	-14	54	58-16
	Develi	17836	38.23	35.30	1180.00	-16.89	33.95	3.02	2.18	-13	55	58-16
	Gölbaşı	17871	37.47	37.38	900.00	-10.13	37.80	2.52	1.63	-7	58	64-10
	Seydişehir	17898	37.26	31.51	1131.00	-16.30	33.61	4.77	2.06	-12	55	58-16
	Çumra/Konya	17900	37.35	32.47	1013.00	-17.01	34.05	3.88	2.27	-13	55	58-16
	Karapınar	17902	37.43	33.32	1004.00	-18.85	34.84	4.39	2.35	-14	56	58-16
	Hadim	17928	36.59	32.30	1552.00	-15.49	30.39	2.27	2.32	-12	52	58-16
	Tomarza	17837	38.27	35.48	1397.00	-26.10	32.41	4.22	2.39	-21	53	58-22
	Sarız	17840	38.29	36.30	1500.00	-23.14	31.21	2.88	2.27	-18	52	58-22
	Doğanşehir	17872	37.52	38.06	1280.00	-20.00	34.36	4.42	2.22	-15	55	58-16
	Ulukışla	17906	37.33	34.29	1453.00	-17.98	31.77	2.42	2.21	-14	53	58-16
	Kaman	17756	39.22	33.43	1075.00	-14.47	31.92	3.53	2.75	-11	52	58-16
Bölge	İstasyon Adı	İstasyon No	Enlem	Boylam	Yükseklik	Thv	Th7	σhv	σh7	Tmin	Tmaks	PG
Doğu Anadolu	Erzincan	17094	39.45	39.30	1218.22	-17.84	35.26	4.02	1.98	-14	56	58-16
	Erzurum/Meydan	17096	39.57	41.10	1758.18	-30.29	31.13	4.74	2.01	-24	52	58-28
	Kars/Bölge	17097	40.37	43.06	1775.00	-27.90	30.17	3.17	2.35	-22	51	52-28
	Ağrı	17099	39.43	43.03	1632.00	-32.85	33.36	3.85	2.03	-27	54	58-28
	Iğdır	17100	39.55	44.03	858.00	-16.82	36.68	4.63	1.68	-13	57	58-16
	Tunceli	17165	39.07	39.33	980.91	-16.88	38.13	4.53	1.85	-13	58	64-16
	Van/Bölge	17172	38.28	43.21	1670.52	-16.20	30.92	3.44	1.99	-12	52	58-16
	Malatya/Bölge	17199	38.21	38.13	947.87	-11.37	37.48	2.91	1.97	-8	58	64-10
	Elazığ/Bölge	17201	38.39	39.15	989.75	-12.36	37.51	3.32	1.81	-9	58	64-10
	Bingöl	17202	38.52	40.30	1177.00	-16.79	37.65	4.11	1.67	-13	58	64-16
	Muş	17204	38.41	41.29	1322.76	-26.08	36.25	5.26	1.84	-21	57	58-22
	Tatvan	17205	38.29	42.18	1664.65	-15.71	32.15	2.72	1.93	-12	53	58-16
	Hakkari	17285	37.34	43.44	1727.74	-17.50	33.37	3.35	2.82	-13	54	64-16
	Arpaçay	17656	40.51	43.20	1688.00	-24.85	29.57	3.11	2.18	-20	50	52-22

Doğu Anadolu	İspir	17666	40.29	41.00	1222.00	-19.66	34.67	3.99	2.35	-15	55	58-16
	Oltu	17668	40.33	41.59	1322.00	-17.70	33.95	3.25	2.40	-14	54	58-16
	Horasan	17690	40.03	42.10	1540.00	-30.95	33.68	4.21	1.99	-25	54	58-28
	Sarıkamış	17692	40.20	42.34	2102.00	-24.11	27.80	2.54	2.63	-19	48	52-22
	Tortum	17688	40.18	41.33	1572.00	-20.74	32.39	3.29	2.22	-16	53	58-22
	Tercan	17718	39.47	40.23	1425.00	-25.01	33.80	4.48	1.91	-20	54	58-22
	Doğubeyazıt	17720	39.33	44.05	1725.00	-19.17	32.94	3.00	5.34	-15	53	58-22
	Mazgirt	17736	39.02	39.36	1400.00	-16.33	34.68	3.75	2.08	-12	55	58-16
	Hınıs	17740	39.22	41.42	1715.00	-27.12	31.67	3.37	1.68	-22	52	58-28
	Arapkir	17764	39.03	38.30	1200.00	-12.64	35.49	2.69	2.04	-9	56	58-10
	Ağın	17766	38.57	38.43	900.00	-10.48	38.16	2.95	1.84	-7	59	64-10
	Çemişgezek	17768	39.04	38.55	953.00	-11.57	38.15	2.94	1.95	-8	58	64-10
	Karakoçan	17774	38.58	40.02	1090.00	-21.01	36.54	5.22	1.87	-16	57	58-22
	Solhan	17776	38.58	41.04	1366.00	-20.10	35.36	4.21	1.71	-16	56	58-22
	Varto	17778	39.10	41.27	1650.00	-25.63	33.94	4.52	2.13	-20	54	58-22
	Malazgirt	17780	39.09	42.32	1565.00	-29.06	34.71	3.87	1.96	-23	55	58-28
	Erciş	17784	39.02	43.21	1678.00	-21.13	33.58	3.34	2.01	-16	54	58-22
	Muradiye	17786	38.59	43.46	1706.00	-20.75	33.63	3.25	3.29	-16	54	58-22
	Keban	17804	38.48	38.45	808.00	-8.68	38.40	2.52	1.89	-6	59	64-10
	Genç	17808	38.45	40.34	1250.00	-20.61	37.93	5.47	1.82	-16	58	64-22
	Özalp	17812	38.40	43.59	2100.00	-29.08	32.61	3.45	2.28	-23	53	58-28
	Maden	17846	38.24	39.40	1100.00	-8.88	38.02	2.55	2.07	-6	59	64-10
	Başkale	17880	38.03	44.01	2400.00	-18.80	29.13	1.93	1.73	-14	50	52-16
	Yüksekova	17920	37.34	44.17	1877.00	-29.84	31.34	4.56	3.87	-24	52	58-28
	Ahlat	17810	38.46	42.30	1750.00	-14.30	31.43	2.71	2.19	-11	52	58-16
	Baskil	17843	38.34	38.49	1300.00	-15.05	34.87	3.18	5.11	-11	55	58-16
	Sivrice	17844	38.27	39.19	1240.00	-12.12	34.95	2.98	1.95	-9	56	58-10
	Gevaş	17852	38.18	43.06	1694.00	-16.91	30.67	2.47	2.12	-13	52	58-16
	Cizre	17950	37.19	42.11	400.00	-3.26	44.29	2.71	1.71	-1	65	70-10
	Palu	17806	38.43	39.58	1000.00	-14.04	39.26	3.95	1.90	-10	60	64-16

Bölge	İstasyon Adı	İstasyon No	Enlem	Boylam	Yükseklik	Thv	Th7	σhv	σh7	Tmin	Tmaks	PG
Güneydoğu Anadolu	Siirt	17210	37.55	41.57	895.54	-8.28	39.81	3.52	1.70	-5	60	64-10
	Gaziantep	17261	37.03	37.21	854.00	-7.65	38.63	2.18	1.88	-5	59	64-10
	Adıyaman	17265	37.45	38.17	672.00	-5.40	40.68	2.14	1.84	-3	61	64-10
	Şanlıurfa/Bölge	17270	37.09	38.47	547.19	-3.99	41.42	1.95	1.79	-2	62	64-10
	Mardin	17275	37.18	40.44	1050.00	-7.09	37.97	2.64	1.90	-4	59	64-10
	Diyarbakır/Meydan	17280	37.54	40.12	674.01	-12.12	41.25	5.21	6.44	-9	62	64-10
	Batman	17282	37.35	41.07	610.00	-10.16	42.21	5.15	1.66	-7	63	64-10
	Siverek	17912	37.45	39.19	801.00	-6.63	39.97	2.62	2.00	-4	61	64-10
	Ergani	17847	38.17	39.46	1000.00	-8.23	40.03	3.04	2.01	-5	60	64-10
	Çermik	17874	38.07	39.27	700.00	-9.31	40.97	4.13	2.08	-6	61	64-10
	Kahta	17910	37.47	38.37	675.00	-5.57	40.41	2.28	2.56	-3	61	64-10
	Samsat	17911	37.30	38.30	605.00	-4.58	40.66	2.09	2.79	-2	61	64-10
	Hilvan	17914	37.35	38.57	589.31	-6.61	40.90	5.78	1.06	-4	61	64-10
	Nusaybin	17948	37.04	41.13	500.00	-3.61	42.89	2.42	1.90	-1	63	64-10
	Islahıye	17964	37.01	36.38	512.84	-5.05	38.20	1.96	2.51	-3	59	64-10
	Birecik	17966	37.01	37.57	345.07	-5.90	42.81	2.14	1.87	-3	63	64-10
	Ceylanpınar	17968	36.50	40.02	359.80	-7.34	43.44	2.09	1.96	-5	64	70-10
	Akçakale	17980	36.43	38.56	360.77	-6.85	42.47	2.62	1.77	-4	63	64-10



Şekil 4.4. Türkiye yüksek PG sınıfı haritası



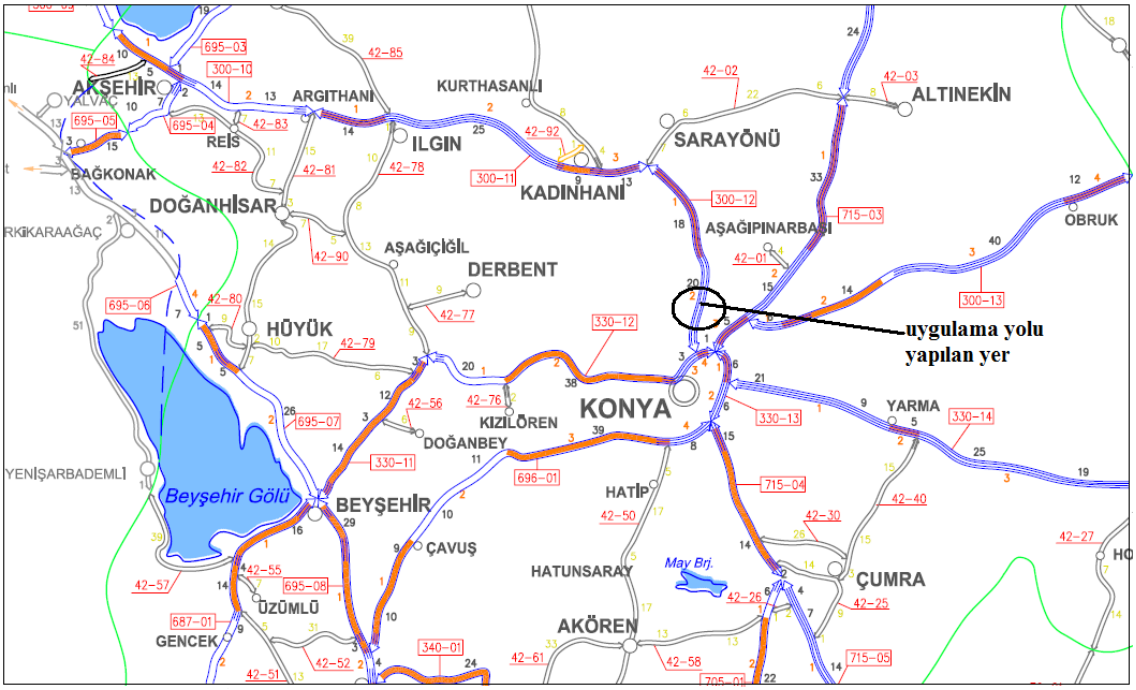
Şekil 4.5. Türkiye düşük PG sınıfı haritası

Tablo 4.2. Yüksek performanslı asfalt kaplama yöntemi bitüm sınıflaması ve uygulanacak deneyler (AASHTO R29-02, 2001)

Performans Derecesi (Deney No Ve Kriterler)	PG46			PG52							PG58					PG64						PG70						PG76					PG82				
	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
Ortalama 7 gün maksimum 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
Orijinal Bağlayıcı																																					
Parlama noktası sıcaklığı, minimum, °C	230																																				
Viskozite[b], maksimum 3 Pa.s, test sıcaklığı, °C	135																																				
Dinamik kayma[c], G*/Sinδ[d], minimum 1.00 kPa, test sıcaklığı, 10 rad/sn, °C	46			52							58					64						70						76					82				
Silindir İnce Film Etüv (T240) veya İnca Film Etüv Bakiyesi (T179)																																					
Kütle kaybı[e], maksimum, %	1.00																																				
Dinamik kayma, G*/Sinδ[d], minimum 2.20 kPa, test sıcaklığı, 10 rad/sn, °C	46			52							58					64						70						76					82				
Basınç Sertleşme Kabı Bakiyesi (PP1)																																					
PAV yaşlanma sıcaklığı, °C[f]	90			90							100					100						100 (110)						100 (110)					100 (110)				
Dinamik kayma, G*.Sinδ[d], maksimum 5000 kPa, test sıcaklığı, 10 rad/sn, °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	22	40	37	34	31	28
Sünme modülü[g]; S, maksimum 300 Mpa, m değeri, minimum 0.300, test sıcaklığı, 60 sn, °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[g], Kopma deformasyonu minimum %1.0, test sıcaklığı 1.0 mm/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

5. GÖZLEM YOLU

Konya-Afyon karayolunun Konya girişinde bulunan Yazır Mahallesi tramvay durağı mevkiinde bir gözlem yolu yapılmıştır. 2007 yılında Konya Büyükşehir Belediyesi tarafından yolda yenileme çalışmaları başlatılmıştır. Yapılan bu çalışmalar kapsamında Şekil 5.1'de görülen yol kesiminde 11.09.2007 tarihinde bir gözlem yolu yapılmıştır. Yoldaki trafik verileri 2007, 2008, 2009 yılları için Tablo 5.1'de verilmiştir. YOGT değerinin taşıt cinsine göre dağılımına bakıldığında en yüksek oran otomobillere aittir. Yol yapım çalışmaları Fermak İnş. Taah. A.Ş. tarafından yapılmıştır. Yol yapımında kullanılan asfalt, Selçuklu Belediyesi Asfalt Şantiyesinde üretilmiştir.



Şekil 5.1. Uygulama yeri haritası

Tablo 5.1. Konya-Afyon yolu gözlem yolu yapılan kesimdeki trafik sayıları

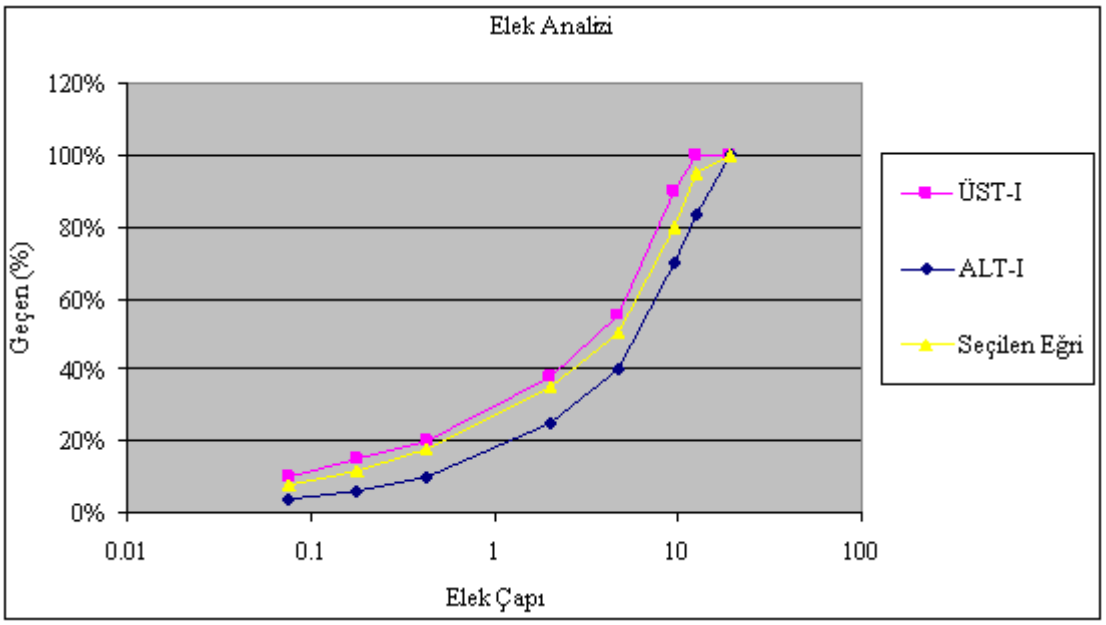
Yol Adı	Yıl	Toplam YOGT taşıt/gün	Otomobil YOGT taşıt/gün	Orta Yüklü Ticari Taşıt YOGT taşıt/gün	Otobüs YOGT taşıt/gün	Kamyon YOGT taşıt/gün	Kamyon+Römork, Çekici+Yarı Römork YOGT taşıt/gün
Konya-Afyon Yolu	2009	25812	20399	1547	486	2332	1048
	2008	23.699	18.585	1.495	407	2.320	892
	2007	29.020	23.173	1.653	439	2.758	997

5.1. Kullanılan Agreganın Karakteristik Özelliklerinin Belirlenmesi

Selçuklu Belediyesi Asfalt Şantiyesinde üretilen asfaltta kullanılan agrega, Konya Karaömerler mevkiindenki taşocaklarından temin edilmiştir. Agregaların karakteristik özelliklerini belirlemek için Tablo 5.2'de belirtilen deneyler yapılmıştır ve bulunan sonuçlar aynı tabloda verilmiştir. Bu malzemelere elek analizi uygulanarak Tablo 3.2'de verilen aşınma Tip-1 şartname limitlerine uygun olarak Şekil 5.2'de görülen gradasyon eğrisi belirlenmiştir. Bu eğriye göre laboratuar ortamında Marshall briketleri hazırlanmak üzere kuru karışımlar hazırlanmıştır.

Tablo 5.2. Agregalara uygulanan deneyle ve sonuçları

Deney Adı	Limit Değer	Bulunan Değer	İlgili Standart
Los Angeles Aşınma Deneyi	Maks. %35	%28.79	TS 3694 TS EN 1097-2
Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık Tayini	Maks. %10	%8.5	TS 3655
Kırılmışlık Tayini	Min. %60	%99	
Su absorbsiyonu	Maks. %2.5	Ort. %0.5	TS EN 1097-6
Yassılık İndeksi	Maks. %35	%22	BS 812 TS 3814
Soyulma Mukavemeti	Min. %50	%60	



Şekil 5.2. Karışımlarda kullanılan agreganın gradasyon eğrisi

5.2. Kullanılan Bitümlü Bağlayıcının Karakteristik ve Performans Özelliklerinin Belirlenmesi

Selçuklu Belediyesi Asfalt Şantiyesinde 2007 yılındaki sıcak asfalt üretimlerinde Fermak İnş. Taah. A.Ş. tarafından Mısır'dan ithal edilen 50/70 penetrasyon dereceli bitüm kullanılmıştır. Bu çalışma için aynı bitüme %4 ve %5 oranlarında SBS ilave ederek modifiye bitüm yapılmıştır. Katkısız ve modifiye bitümlere karakteristik ve performans özelliklerini tespit etmek için geleneksel deneyler ve Superpave deneyleri uygulanmıştır. Uygulanan deneyler ve bulunan sonuçlar Tablo 5.3'de verilmiştir. Katkısız bitümün PG58-22, %4 SBS katkılı bitümün PG70-16, %5 SBS katkılı bitümün PG76-16 performans sınıfında olduğu belirlenmiştir.

Tablo 5.3. Bitümlere uygulanan deney sonuçları

Deney Adı			Bulunan Değer			İlgili Standart
			Saf Bit.	%4 Mod. Bit.	%5 Mod. Bit.	
Penetrasyon deneyi			64	41	41	TS118 EN 1426
Yumuşama noktası deneyi			48	57.8	60.2	TS120 EN 1427
Karıştırma Sıcaklığı Tespiti			160	180	185	
Parlama Noktası			260+			
Brookfield Viskozitesi	Viskozite		475	597.5	950	ASTM D 4402
	Kayma Gerilmesi		32.3	111.1	176.7	
Dinamik Kayma Reometresi	Yenilme Sıcaklığı		64.7	75.3	79.4	TS EN 14770
	Sınıfı		64	70	76	AASHTO T315
Dönmeli İnce Film Etüvü Deneyi (RTFOT) Sonucu Yaşlandırılmış Bitüm Deneyleri (EN 12607-1 ve AASHTO T240)						
Kütle Kaybı			0.565	0.464		AASHTO T240
Dinamik Kayma Reometresi	Yenilme Sıcaklığı		62.2	71.4	77.6	TS EN 14770
	Sınıfı		58	70	76	AASHTO T315
Basınçlı Yaşlandırma Kabı (PAV) ile Yaşlandırılmış Bitüm Deneyleri (TS EN 14769 ve AASHTO R28-02)						
Eğilme Kirişi Reometresi	Sıcaklık					ASTM D 6648 TS EN 14771 AASHTO T313
	-6	S	-	105	69.3	
		m	-	0.332	0.330	
	-12	s	188	263	164	
		m	0.304	0.263	0.271	
Bitüm PG Sınıfı			PG 58-22	PG 70-16	PG 76-16	AASHTO M320

5.3. Marshall Yöntemi İle Optimum Bağlayıcı Oranı Tespiti

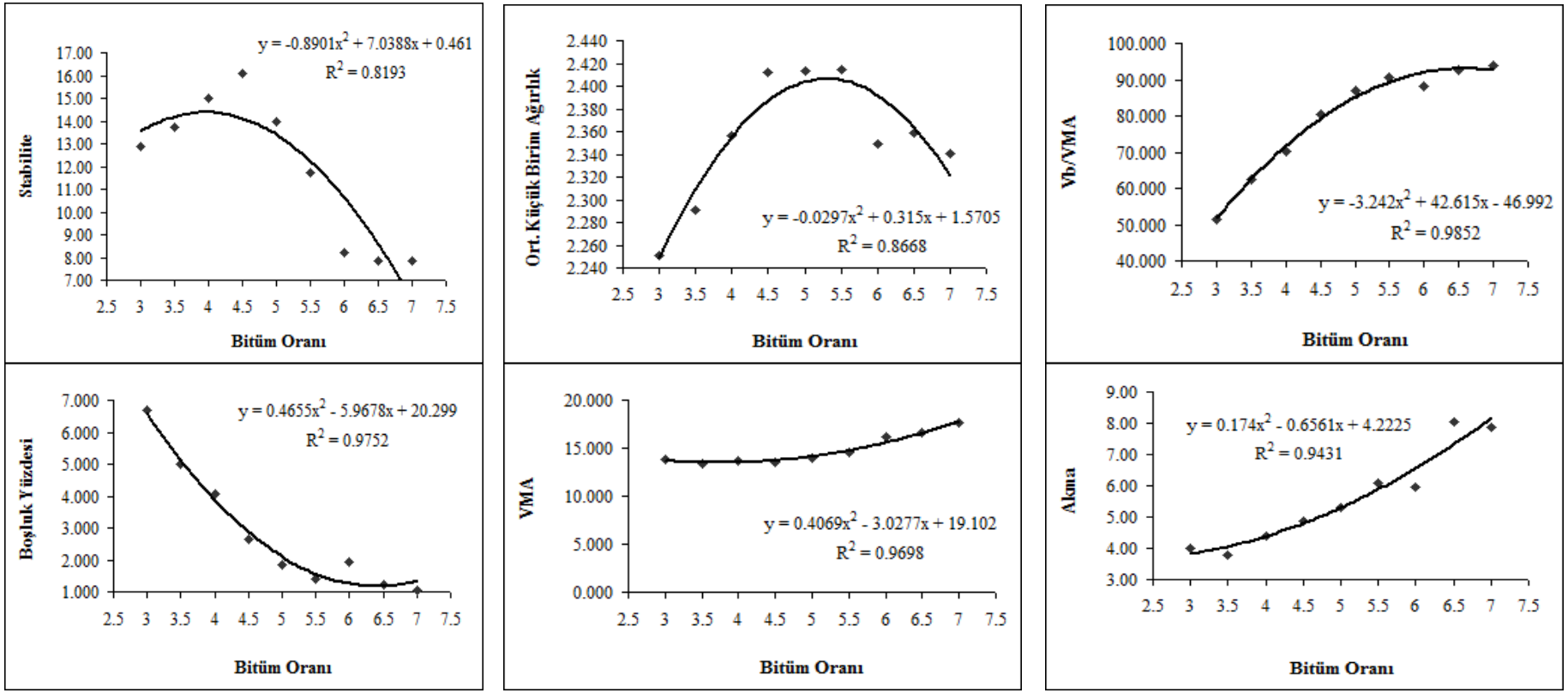
Bağlayıcı oranlarının tespitine başlamadan önce hazırlanacak karışımlarda kullanılacak karıştırma sıcaklıkları belirlenmiştir. Yumuşama noktası ve penetrasyon derecesi değerlerine göre katkısız bitüm için 160°C, %4 SBS katkılı bitüm için 180°C ve %5 SBS katkılı bitüm için 185°C sıcaklıklarında karışımların hazırlanmasına karar verilmiştir. Marshall yöntemine göre değişik bitüm oranlarında katkısız bitüm, %4SBS katkılı ve %5 SBS katkılı modifiye bitümlerle karışımlar hazırlanarak üç farklı bitüm için en uygun bitüm oranları tespit edilmiştir.

Tablo 5.4. Katkısız bitüm karışımları Marshall sonuçları

BİTÜMLÜ BAĞ. ORANI (%)	DÜZELTİLMİŞ STABİLİTE	ORT. KÜÇÜK BİRİM AĞIRLIK	Vb/VMA	Boşluk Oranı	VMA	DÜZELTİLMİŞ AKMA
3	12.9	2.251	51.472	6.698	13.802	4.00
3,5	13.74	2.291	62.644	4.993	13.366	3.79
4	14.98	2.356	70.163	4.077	13.663	4.37
4,5	16.08	2.412	80.355	2.655	13.514	4.85
5	13.95	2.414	86.882	1.823	13.899	5.32
5,5	11.72	2.415	90.495	1.391	14.631	6.07
6	8.24	2.350	88.038	1.937	16.192	5.95
6,5	7.83	2.358	92.665	1.222	16.660	8.03
7	7.84	2.341	93.944	1.066	17.594	7.86

Tablo 5.5. Katkısız bitüm en uyun bağlayıcı oranı

Maksimum stabilite için	3.95%
Ort. Küçük Bir. Ağ. İçin	5.30%
%4 boşluk için	3.95%
min VMA için	3.72%
Vb/VMA %80 için	4.57%
Katkısız bitümlü karışım bitüm oranı %4.30 ve Akma 4.61	



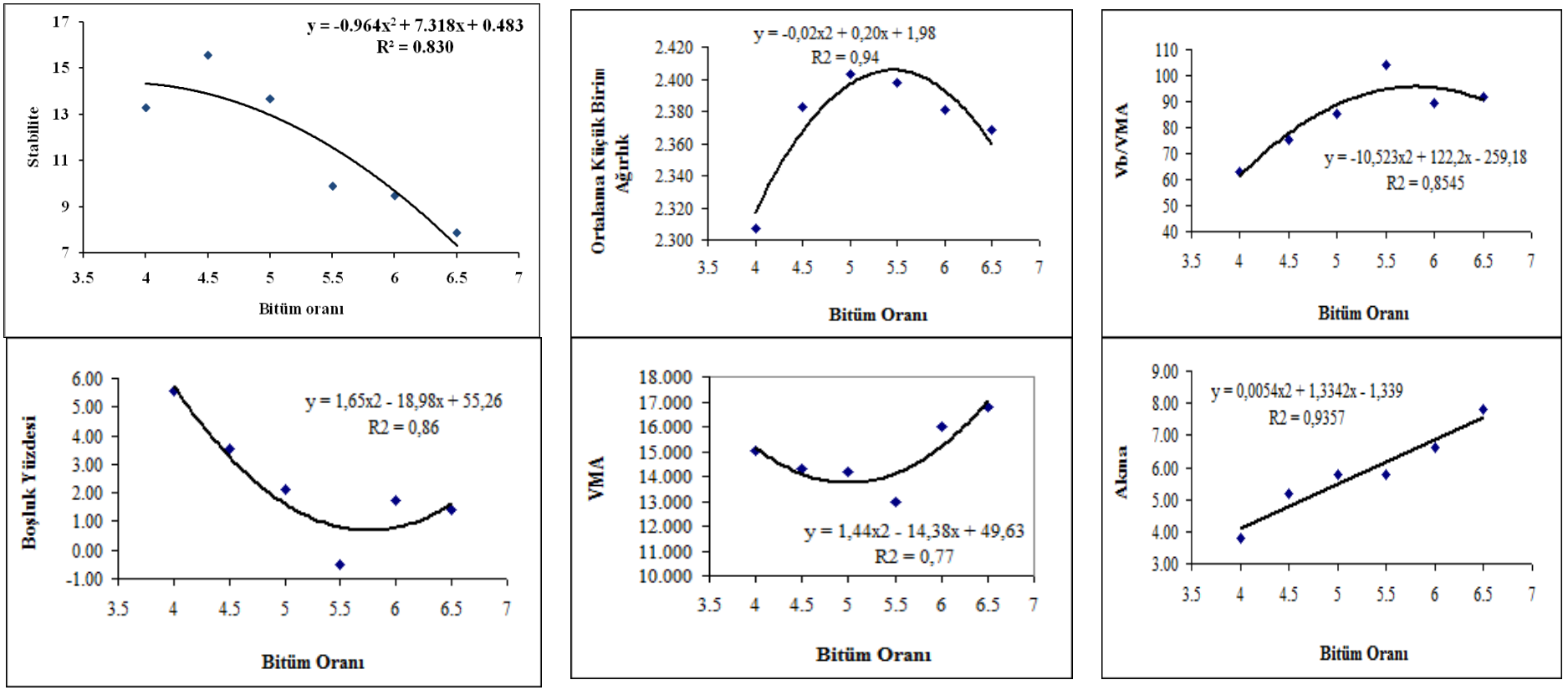
Şekil 5.3. Katkısız bitüm Marshall grafikleri

Tablo 5.6. %4 SBS katkılı modifiye bitüm karışımları Marshall sonuçları

BİTÜMLÜ BAĞ. ORANI (%)	DÜZELTİLMİŞ STABİLİTE	ORT. KÜÇÜK BİRİM AĞIRLIK	Vb/VMA	BOŞLUK ORANI	VMA	DÜZELTİLMİŞ AKMA
4	13.29	2.307	62.916	5.56	15.000	3.80
4,5	15.55	2.383	75.210	3.55	14.306	5.16
5	13.67	2.403	85.050	2.12	14.156	5.76
5,5	9.9	2.397	103.945	-0.51	12.983	5.75
6	9.47	2.381	89.260	1.72	16.005	6.64
6,5	7.87	2.368	91.710	1.39	16.805	7.79

Tablo 5.7. %4 SBS katkılı modifiye bitüm en uyun bağlayıcı oranı

Maksimum stabilite için	3.79%
Ort. Küçük Bir. Ağ. İçin	5.00%
%4 boşluk için	4.33%
min VMA için	4.99%
Vb/VMA %80 için	4.59%
%4 SBS katkılı bitümlü karışım bitüm oranı %4.54 ve Akma 4.83	



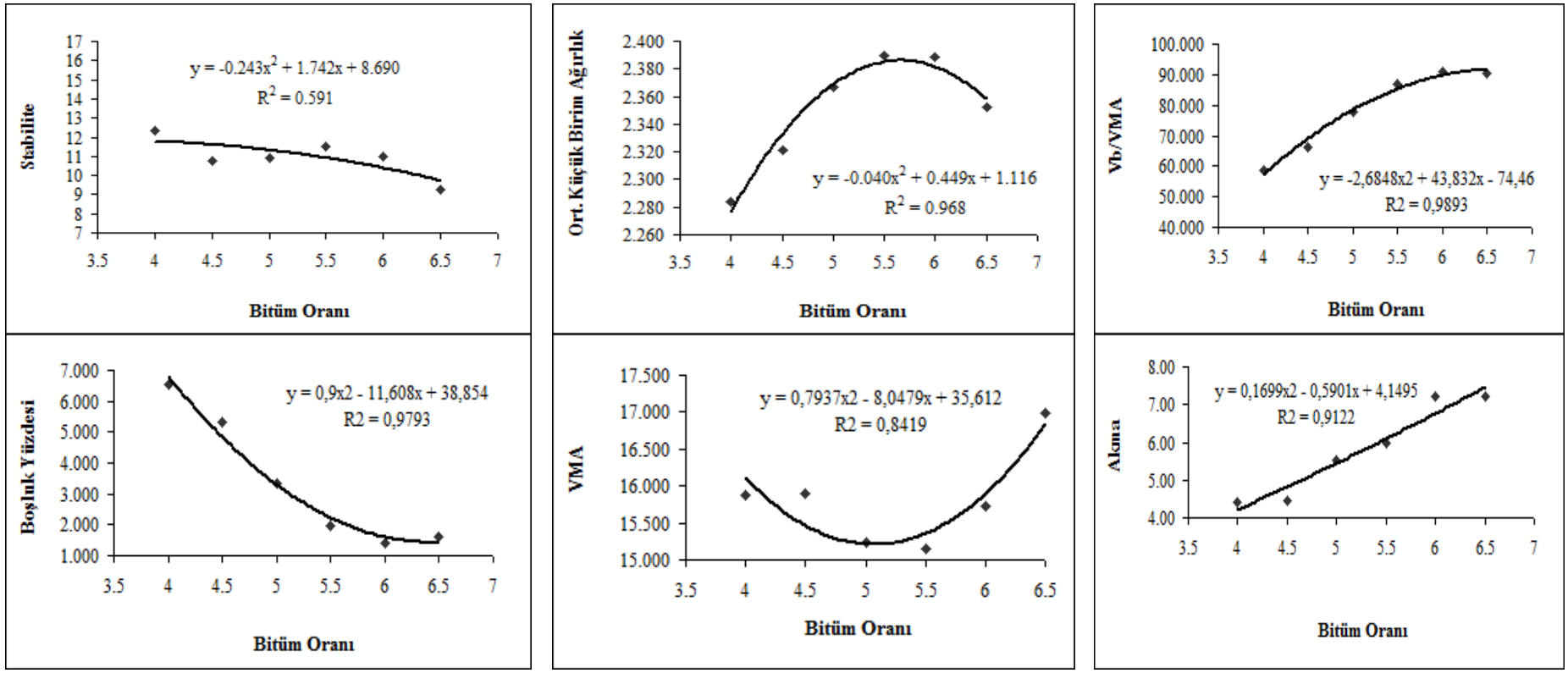
Şekil 5.4. %4 SBS katkılı bitüm Marshall grafikleri

Tablo 5.8. %5 SBS katkılı modifiye bitüm karışımları Marshall sonuçları

BİTÜMLÜ BAĞ. ORANI (%)	DÜZELTİLMİŞ STABİLİTE	ORT. KÜÇÜK BİRİM AĞIRLIK	Vb/VMA	BOŞLUK ORANI	VMA	DÜZELTİLMİŞ AKMA
4	12.34	2.284	58.851	6.531	15.872	4.43
4,5	10.75	2.322	66.407	5.342	15.901	4.47
5	10.93	2.367	77.994	3.354	15.241	5.52
5,5	11.49	2.390	86.866	1.990	15.149	5.97
6	10.95	2.388	91.082	1.403	15.736	7.21
6,5	9.26	2.353	90.509	1.613	16.990	7.22

Tablo 5.9. %5 SBS katkılı modifiye bitüm en uyun bağlayıcı oranı

Maksimum stabilite için	3.58%
Ort. Küçük Bir. Ağ. İçin	5.61%
%4 boşluk için	4.76%
min VMA için	5.07%
Vb/VMA %80 için	5.15%
%5 SBS katkılı bitümlü karışım bitüm oranı %4.80 ve Akma 5.23	



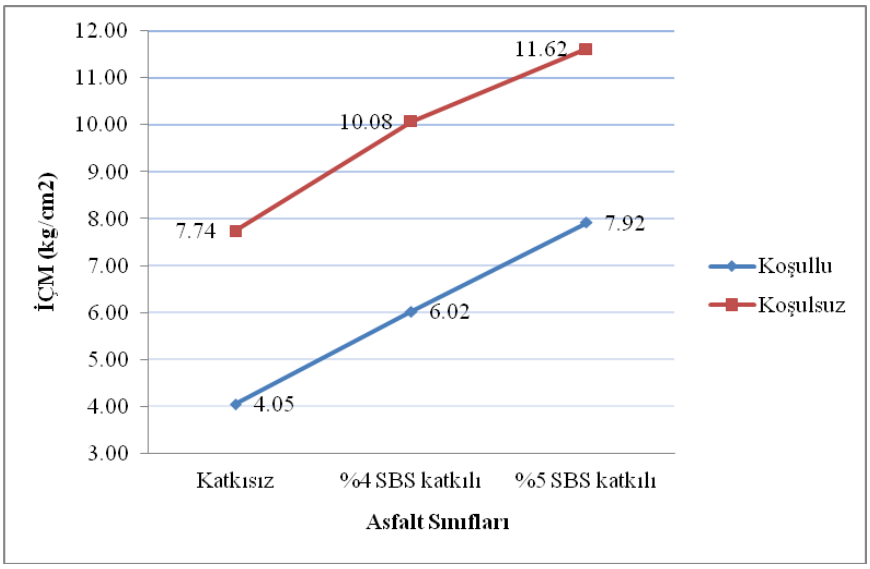
Şekil 5.5. %5 SBS katkılı modifiye bitüm Marshall grafikleri

5.4. Dolaylı Çekme Deneyi Sonuçları

Şekil 5.6'da görülen her sınıf karışım için 8'er tane Marshall briketlerine dolaylı çekme deneyi uygulanmıştır. Dolaylı çekme deneyi sonuçları Tablo 5.10'da verilmiştir. Deney sonuçlarının grafiksel gösterimi Şekil 5.7'de görülmektedir. Koşullu ve koşulsuz dolaylı çekme deneyi sonuçlarının ikisinde de en düşük değerler katkısız bitümlü grupta, en yüksek değerler de %5 SBS katkılı grupta görülmüştür.



Şekil 5.6. Marshall briketleri



Şekil 5.7. Dolaylı çekme deneyi grafiği

Tablo 5.10. Dolaylı çekme deneyi sonuçları

50/70 katkısız bitümlü karışım								
Grup	Briket No	Dp	Briket Yüksekliği (cm)	Yük (kg)	Koşullu İÇM (kg/cm^2)	Ort. Koşullu İÇM (kg/cm^2)	Koşulsuz İÇM (kg/cm^2)	Ort. Koşulsuz İÇM (kg/cm^2)
Katkısız	1	2.382	6.41	400	3.91	4.05		
	2	2.403	6.36	475	4.68			
	3	2.422	6.33	400	3.96			
	4	2.372	6.44	375	3.65			
	5	2.376	6.23	800			8.05	7.74
	6	2.398	6.32	900			8.92	
	7	2.417	6.27	750			7.5	
	8	2.375	6.27	650			6.5	
%4 SBS katkılı modifiye bitümlü karışım								
Grup	Briket No	Dp	Briket Yüksekliği (cm)	Yük (kg)	Koşullu İÇM (kg/cm^2)	Ort. Koşullu İÇM (kg/cm^2)	Koşulsuz İÇM (kg/cm^2)	Ort. Koşulsuz İÇM (kg/cm^2)
%4 SBS katkılı	1	2.407	6.27	650	6.5	6.02		
	2	2.426	6.50	640	6.17			
	3	2.361	6.47	600	5.81			
	4	2.375	6.45	575	5.59			
	5	2.397	6.28	1125			11.22	10.08
	6	2.419	6.26	1125			11.26	
	7	2.359	6.41	975			9.53	
	8	2.336	6.59	875			8.32	
%5 SBS katkılı modifiye bitümlü karışım								
Grup	Briket No	Dp	Briket Yüksekliği (cm)	Yük (kg)	Koşullu İÇM (kg/cm^2)	Ort. Koşullu İÇM (kg/cm^2)	Koşulsuz İÇM (kg/cm^2)	Ort. Koşulsuz İÇM (kg/cm^2)
%5 SBS katkılı	1	2.417	6.23	625	6.29	7.92		
	2	2.402	6.27	850	8.49			
	3	2.435	6.19	800	8.1			
	4	2.429	6.22	875	8.81			
	5	2.427	6.20	950			9.6	11.62
	6	2.415	6.24	1250			12.55	
	7	2.391	6.29	1250			12.45	
	8	2.435	6.20	1175			11.87	

Katkısız bitümlü karışımın çekme dayanımı oranı: 4.95/7.74=%53,32

%4 SBS katkılı bitümlü karışımın çekme dayanımı oranı: 6.02/10.08=%59,72

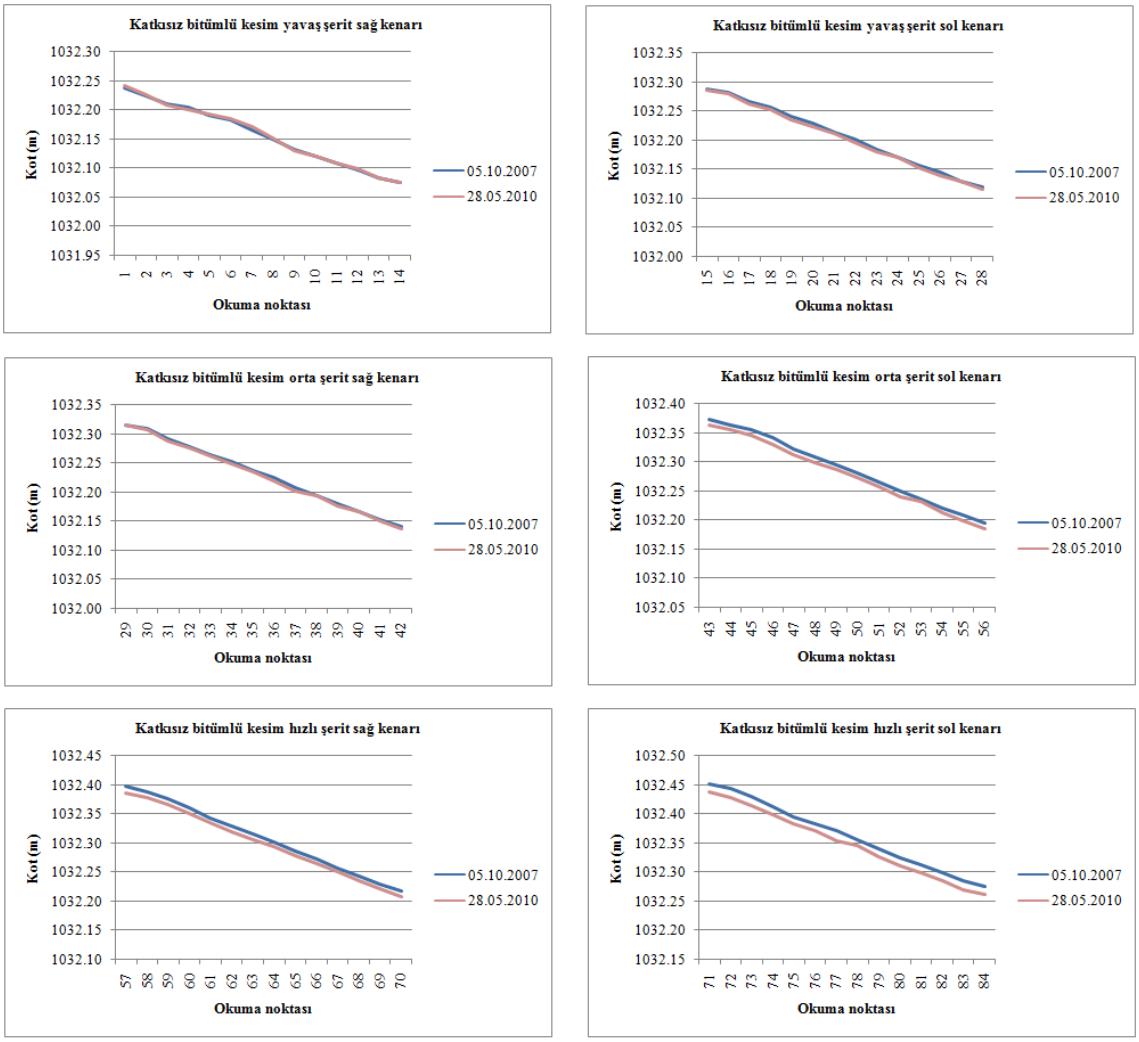
%4 SBS katkılı bitümlü karışımın çekme dayanımı oranı: 7.92/11.62=%68,16

5.5. Deformasyon Ölçümleri

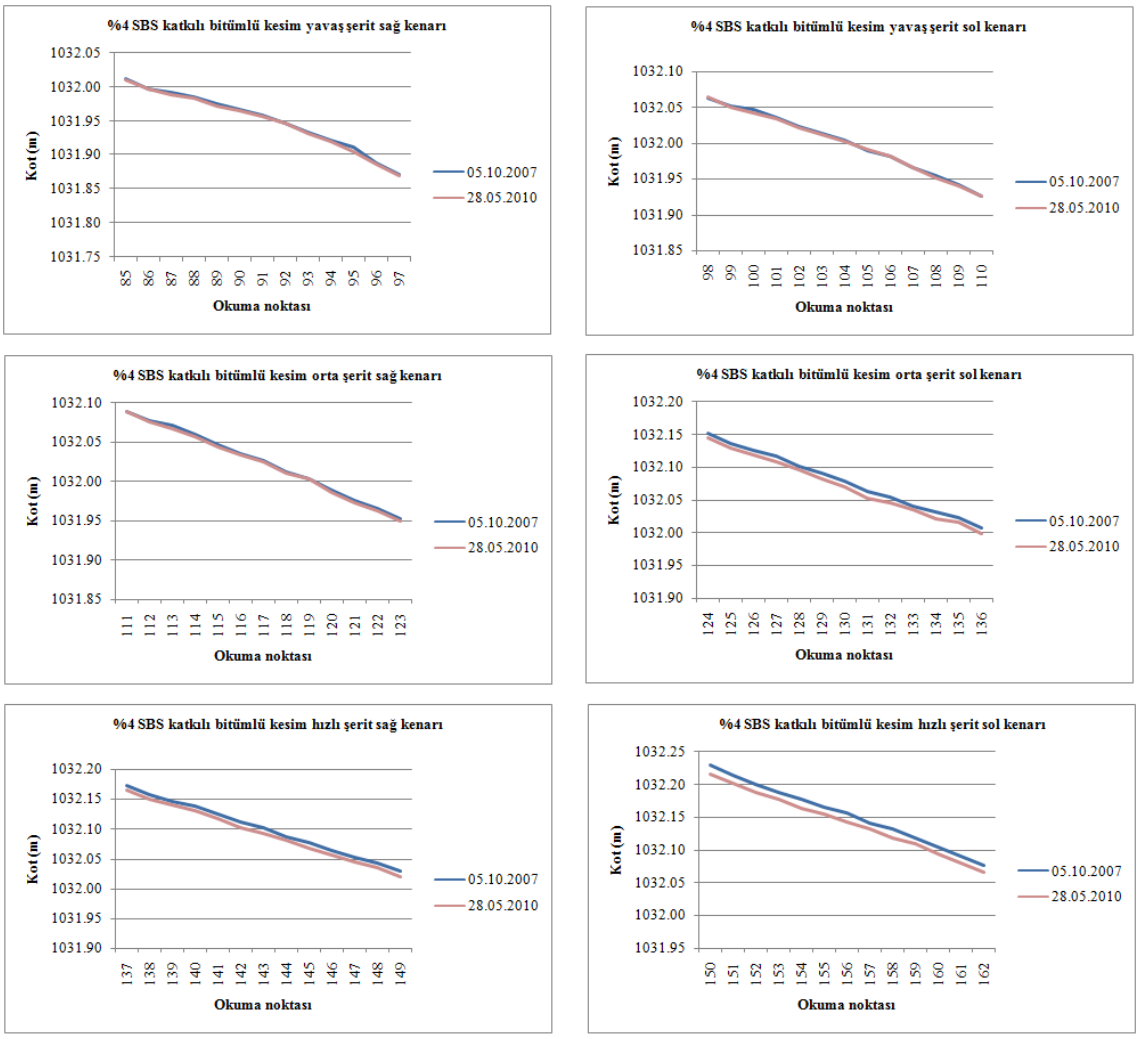
Gözlem yolu 11.09.2007 tarihinde yapılmıştır. Gözlem yolu yapıldıktan sonra yol gridlere ayrılarak okuma yapılacak noktalar sprey boya ile boyanmıştır. Yol gridlere ayrılırken aracın şeridin ortasından gideceği düşüncesiyle şerit çizgilerinin 50 cm içinden doğrultu belirlenmiştir. Noktalar arası uzaklık enine 2.5 m, boyuna 2.0 m'dir. Toplam 240 tane okuma noktası oluşmuştur (Şekil 5.8). Deformasyon ölçümü 8 defa yapılmıştır. İlk ölçüm 05.10.2007 tarihinde yapılmıştır. İlk ölçümün yol yapılır yapılmaz yapılmamasının sebebi yapım koşullarından veya sıkıştırmadan kaynaklanan hareketliliklerin sona ermesini beklemektir. İkişer aylık dilimlerde 14.10.2008 tarihine kadar 7 ölçüm yapılmıştır. Bu ölçümlerden sonra son durumu görmek için 28.05.2010 tarihinde son ölçüm yapılmıştır. Yapılan bütün ölçümlerin verileri Ek-1'de verilmiştir. Bu ölçüm sonuçlarından ilk ve son ölçüm verilerine göre çizilen grafikler Şekil 5.9'da görülmektedir. Şekil 5.9'deki grafikler asfalt karışımı tiplerine göre ayrı ayrı çizilmiştir. Kot farklılıklarının az olması deformasyonun az olduğu manasına gelmektedir. İlk ve son ölçüm eğrilerinin üst üste çakışması kot farklılığının olmadığını yani deformasyon oluşmadığını gösterir. Bu grafiklerden en çok deformasyonun katkısız bitümle yapılan yol kesiminde olduğu görülmektedir. Katkısız bitümle yapılan kesimde de en sol şeride ait eğriler çok farklılık gösteren noktalardır. Üç asfalt tipinde de hızlı şeritte deformasyon fazla oluşmuştur, bunun sebebi yol kesiminden geçen araç sayısının fazla olmasından veya hızlı şeritin orta refüjdeki bitkilerin sulama çalışmalarından etkilenmiş olmasındandır. Katkısız bitümle yapılan kesimdeki deformasyonların toplamı 0.558 cm, %4 SBS katkılı bitümle yapılan kesimdeki deformasyonların toplamı 0.421 cm, %5 SBS katkılı bitümle yapılan kesimdeki deformasyonların toplamı 0.306 cm'dir.



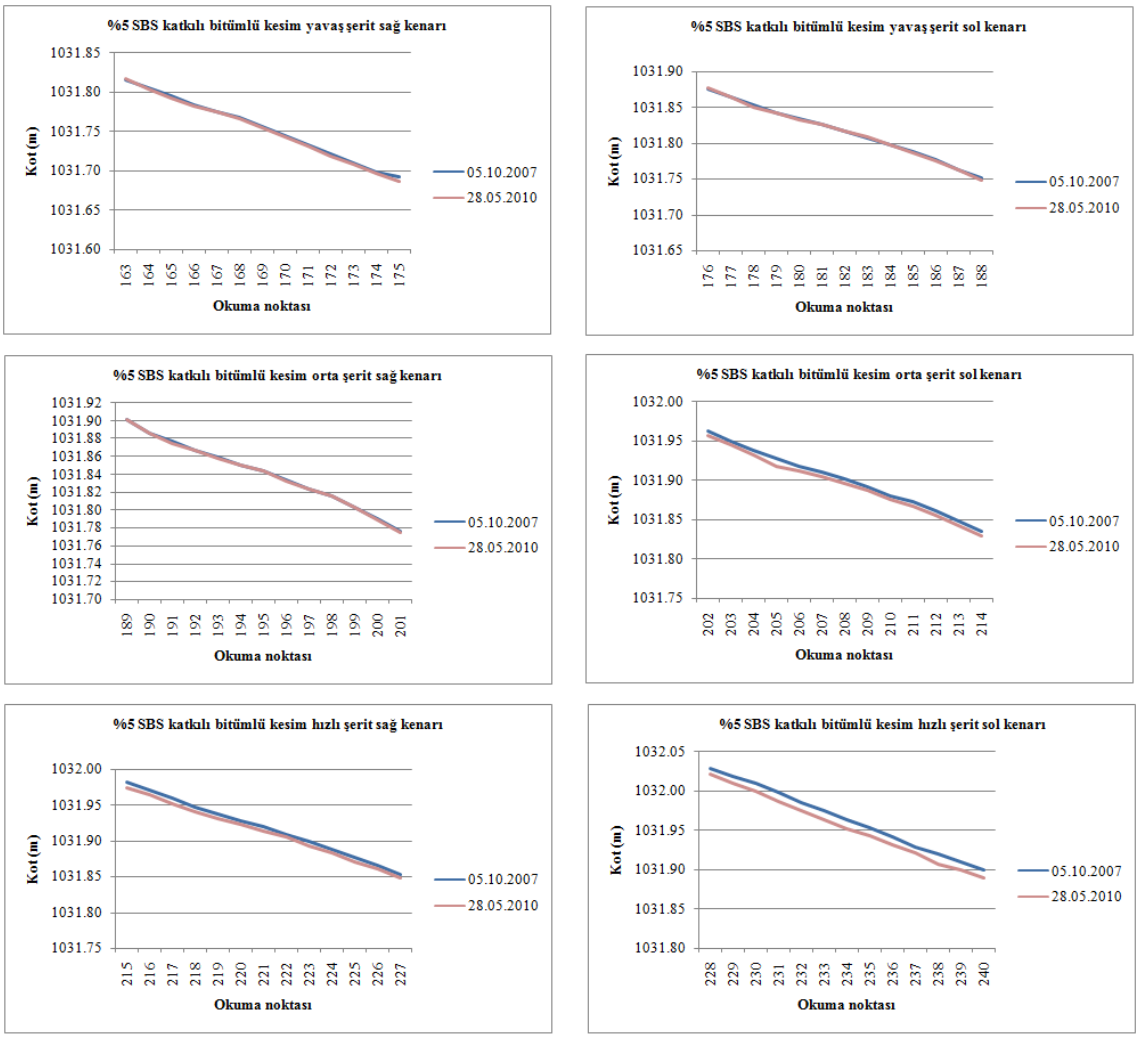
Şekil 5.8 Gözlem yolu üzerindeki yüzeysel okuma noktaları



Şekil 5.9.a. Katkısız bitümle yapılan yol kesimi kot okumaları grafiği

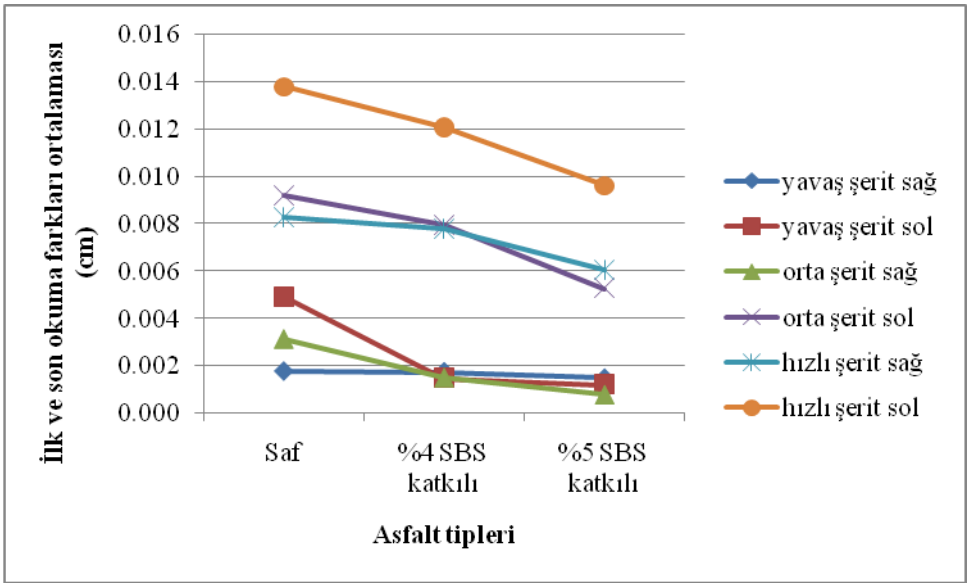


Şekil 5.9.b. %4 SBS katkılı bitümle yapılan yol kesimi kot okumaları grafiği



Şekil 5.9.c. %5 SBS katkılı bitümle yapılan yol kesimi kot okumaları grafiği

Üç farklı asfalt kaplamalı yoldaki yavaş, orta ve hızlı şeritlerin sağı ve solu olmak üzere toplam 6 okuma eksenindeki deformasyon farklarının ortalamaları ve koşulsuz dolaylı çekme deneyi verileri Tablo 5.11'de görülmektedir. Bu verilerle çizilen grafik Şekil 5.10'da görülmektedir. Bu şekilden de anlaşıldığı üzere en büyük deformasyonlar katkısız bitümle yapılan yol kesiminde oluşmakta ve şeritler içerisinde de en çok deformasyon hızlı şeridin sol kenarındaki yani orta refüj tarafındaki doğrultusunda olmuştur.



Şekil 5.10. Deformasyon farkı ortalamaları ve koşulsuz İÇM grafiği

Tablo 5.11. Deformasyon farkı ortalamaları ve koşulsuz İÇM değerleri

Asfalt Tipleri	Yavaş Şerit Sağ	Yavaş Şerit Sol	Orta Şerit Sağ	Orta Şerit Sol	Hızlı Şerit Sağ	Hızlı Şerit Sol
Saf	0.001784	0.004923	0.003125	0.009201	0.00829	0.013801
%4 SBS Katkılı	0.001753	0.001488	0.001502	0.007951	0.007788	0.01209
%5 SBS Katkılı	0.001485	0.001208	0.000775	0.005268	0.006049	0.009621

5.6. İstatistiksel Analizler

Bu bölümle gözlem yolunda yapılan deformasyon ölçümü verilerine SPSS programı yardımıyla uygulanan t-testi ve çift yönlü ANOVA testi sonuçları verilecektir.

5.6.1. İstatistiksel T Testi

t testi, hipotez testlerinde en yaygın olarak kullanılan yöntemdir. t testi ile iki grubun ortalamaları karşılaştırılarak, aradaki farkın rastlantısal mı, yoksa istatistiksel olarak anlamlı mı olduğuna karar verilir. Küçük örneklem teorisi olarak da bilinen t dağımı, küçük örneklemlerle de çalışmaya imkân verdiğinden, araştırmacılar için büyük kolaylık sağlamaktadır. Üç tür t testi bulunmaktadır. Bunlar tek grup t testi (*one-sample t test*), bağımsız iki grup arası farkların t testi (*independent samples "t" test*) ve eşleştirilmiş iki grup (*paired-samples "t" test*) arasındaki farklılıkların incelenmesine yönelik "t" testidir (URL 3).

Deformasyon ölçümü verilerine istatistiksel eşleştirilmiş iki grup t-testi uygulanmıştır. Katkısız bitümlü kesim, %4 SBS katkılı kesim ve %5 SBS katkılı kesim olmak üzere 3 ayrı yol kesimi verilerine ikişerli eşleştirilmiş gruplar halinde SPSS programı yardımıyla t-testi yapılmış ve sonuçların anlamlılığına bakılmıştır. Tablo 5.14 ve 5.15 ’deki sonuçlar bulunmuştur. Bulunan p değerleri, %95 güvenilirlik için 0.05’den küçük olduğundan sonuçlar anlamlıdır. Yani veriler farklı gruplara aittir.

Tablo 5.11. Katkısız bitümlü kesim ilk ve son okumalar arası farklar

Nok. No	Farklar	Nok. No	Farklar	Nok. No	Farklar	Nok. No	Farklar	Nok. No	Farklar	Nok. No	Farklar
1	0.00411	15	0.00334	29	0.00060	43	0.00945	57	0.01061	71	0.01410
2	0.00110	16	0.00452	30	0.00217	44	0.00796	58	0.00842	72	0.01555
3	0.00232	17	0.00525	31	0.00335	45	0.00927	59	0.00911	73	0.01581
4	0.00204	18	0.00452	32	0.00296	46	0.01042	60	0.00848	74	0.01349
5	0.00070	19	0.00780	33	0.00234	47	0.01109	61	0.00835	75	0.01208
6	0.00222	20	0.00647	34	0.00269	48	0.00978	62	0.00903	76	0.01263
7	0.00507	21	0.00484	35	0.00283	49	0.00680	63	0.00891	77	0.01776
8	0.00247	22	0.00553	36	0.00729	50	0.00812	64	0.00732	78	0.01004
9	0.00241	23	0.00373	37	0.00745	51	0.00917	65	0.00731	79	0.01381
10	0.00151	24	0.00188	38	0.00063	52	0.01113	66	0.00698	80	0.01296
11	0.00015	25	0.00611	39	0.00397	53	0.00535	67	0.00593	81	0.01232
12	0.00036	26	0.00798	40	0.00122	54	0.00929	68	0.00830	82	0.01424
13	0.00042	27	0.00232	41	0.00216	55	0.01015	69	0.00787	83	0.01467
14	0.00009	28	0.00463	42	0.00409	56	0.01083	70	0.00944	84	0.01375

Tablo 5.12. %4 SBS katkılı bitümlü kesim ilk ve son okumalar arası farklar

Nok. No	Farklar	Nok. No	Farklar	Nok. No	Farklar	Nok. No	Farklar	Nok. No	Farklar	Nok. No	Farklar
85	0.00148	98	0.00174	111	0.00003	124	0.00706	137	0.00891	150	0.01430
86	0.00004	99	0.00097	112	0.00082	125	0.00761	138	0.00812	151	0.01239
87	0.00259	100	0.00415	113	0.00349	126	0.00761	139	0.00568	152	0.01257
88	0.00037	101	0.00120	114	0.00235	127	0.00782	140	0.00824	153	0.01098
89	0.00296	102	0.00286	115	0.00279	128	0.00643	141	0.00826	154	0.01427
90	0.00085	103	0.00079	116	0.00097	129	0.00921	142	0.00967	155	0.01205
91	0.00110	104	0.00185	117	0.00153	130	0.00892	143	0.00797	156	0.01425
92	0.00059	105	0.00060	118	0.00058	131	0.00952	144	0.00605	157	0.00970
93	0.00152	106	0.00026	119	0.00041	132	0.00825	145	0.00884	158	0.01324
94	0.00258	107	0.00015	120	0.00115	133	0.00485	146	0.00715	159	0.00998
95	0.00623	108	0.00351	121	0.00240	134	0.01097	147	0.00769	160	0.01168
96	0.00123	109	0.00087	122	0.00126	135	0.00673	148	0.00665	161	0.01068
97	0.00125	110	0.00040	123	0.00175	136	0.00838	149	0.00802	162	0.01108

Tablo 5.13. %5 SBS katkılı bitümlü kesim ilk ve son okumalar arası farklar

Nok. No	Farklar	Nok. No	Farklar	Nok. No	Farklar	Nok. No	Farklar	Nok. No	Farklar	Nok. No	Farklar
163	0.00150	176	0.00255	189	0.00003	202	0.00521	215	0.00700	228	0.00720
164	0.00130	177	0.00146	190	0.00004	203	0.00454	216	0.00566	229	0.00885
165	0.00178	178	0.00209	191	0.00265	204	0.00488	217	0.00704	230	0.01063
166	0.00102	179	0.00069	192	0.00009	205	0.00887	218	0.00657	231	0.01115
167	0.00027	180	0.00021	193	0.00073	206	0.00593	219	0.00549	232	0.00916
168	0.00082	181	0.00105	194	0.00051	207	0.00454	220	0.00617	233	0.00997
169	0.00025	182	0.00095	195	0.00006	208	0.00527	221	0.00650	234	0.01088
170	0.00041	183	0.00257	196	0.00158	209	0.00415	222	0.00371	235	0.00858
171	0.00114	184	0.00023	197	0.00027	210	0.00459	223	0.00642	236	0.00945
172	0.00217	185	0.00082	198	0.00053	211	0.00452	224	0.00592	237	0.00772
173	0.00174	186	0.00005	199	0.00085	212	0.00478	225	0.00645	238	0.01277
174	0.00172	187	0.00018	200	0.00092	213	0.00583	226	0.00566	239	0.00954
175	0.00519	188	0.00285	201	0.00182	214	0.00537	227	0.00605	240	0.00917

Tablo 5.14. İlk okuma ve son okuma arasındaki farkların istatistik verileri SPSS sonuç tablosu

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	Katkısız Kesim Farklar	,00633295	78	,004133016	,000467972
	%4 SBS Katkılı Kesim Farklar	,00542885	78	,004336400	,000491001
Pair 2	Katkısız Kesim Farklar	,00633295	78	,004133016	,000467972
	%5 SBS Katkılı Kesim Farklar	,00406769	78	,003412292	,000386366
Pair 3	%4 SBS Katkılı Kesim Farklar	,00542885	78	,004336400	,000491001
	%5 SBS Katkılı Kesim Farklar	,00406769	78	,003412292	,000386366

Tablo 5.15. İlk okuma ve son okuma farkları eşleştirilmiş t-testi SPSS sonuç tablosu

Paired Samples Test

		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference Lower	Upper			
Pair 1	Katkısız Kesim Farklar - %4 SBS Katkılı Kesim Farklar	,00090410	,003205576	,000362960	,00018136	,00162685	2,491	77	,01489397
Pair 2	Katkısız Kesim Farklar - %5 SBS Katkılı Kesim Farklar	,00226526	,002833436	,000320823	,00162642	,00290410	7,061	77	,00000000
Pair 3	%4 SBS Katkılı Kesim Farklar - %5 SBS Katkılı Kesim Farklar	,00136115	,001953337	,000221172	,00092074	,00180156	6,154	77	,00000003

5.6.2. İstatistiksel Çift Yönlü ANOVA Testi

Çift yönlü ANOVA testinde iki bağımsız değişken ve bir bağımlı değişken söz konusudur. Bağımsız örneklemler için çift yönlü ANOVA testi ile bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken üzerindeki ortak etkileri belirlenirken, aynı zamanda ayrı ayrı her iki değişkene ilişkin grupların bağımlı değişkene göre ortalamalarının karşılaştırılarak ortalamalar arasındaki farkın belirli bir güven düzeyinde (%95, %99 gibi) anlamlı olup olmadığı test edilir.

Çift yönlü ANOVA testinde temel amaç, bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken üzerindeki ortak etkisini ölçmektir. Ek-1'deki deformasyon ölçümleri tablosundaki 05.10.2007, 08.04.2008, 14.10.2008 ve 28.05.2010 tarihlerinde yapılan ölçümlerin sonuçları kullanılarak çift yönlü ANOVA testi yapılmıştır. Buradaki amaç zaman içinde asfalt çeşitleri arasındaki değişimi test etmektir. İki tane hipotez vardır. Bunlar;

H_0: Zaman ile asfaltta kalıcı deformasyonların oluşumunda SBS kullanılması ile kullanılmaması arasında fark yoktur.

H_1: Zaman ile asfaltta kalıcı deformasyonların oluşumunda SBS kullanılması ile kullanılmaması arasında fark vardır.

Tablo 5.16'daki grup faktörü sonuçlarına göre p:0.01 elde edilmiştir. Böylece 0.05 anlamlılık seviyesinde H_0 hipotezi reddedildiğinden karşılaştırılan üç grup arasında fark olduğu söylenebilir.

Tablo 5.16. SPSS grup faktörü değerleri

Tests of Between-Subjects Effects

Measure: MEASURE_1

Transformed Variable: Average

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Intercept	1021283734,1	1	1021283734,1	3,901E+10	,000
GRUP	24,938	2	12,469	476,226	,010
Error	6,205	237	,026		

SPSS'te grup faktörünün değerine bakıldıktan sonra, önemli bir fark bulunduğu takdirde ileri analizin yapılması için TUKEY HSD testi kullanılır. Böylece gruplar arasında fark olup olmadığına karar verilir. H_0 hipotezi ret edildiğinden asfalt çeşitleri arasında farkın olduğuna karar verilir. Çok boyutlu analizde birden fazla bağımsız değişken bulunur. Çalışmada asfalt çeşidinin yanı sıra ikinci bağımsız değişkenimiz zamanla oluşan yıpranmadır. Farkın hangi gruplar arasında olduğunu belirlemek için TUKEY-HSD testi kullanılmıştır. Tablo 5.17'deki zaman faktörü p değeri belirlenen α:0.05 önemlilik seviyesinden küçük olduğu için multivariate yaklaşımı kullanılacaktır.

Tablo 5.17. SPSS zaman faktörü değeri

Mauchly's Test of Sphericity

Measure: MEASURE_1

Within Subjects Effect	Mauchly's W	Approx. Chi-Square	df	Sig.	Epsilon		
					Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt	Lower-bound
ZAMAN	,103	535,808	5	,000	,451	,457	,333

Tablo 5.18'deki sonuçlara göre multivariate yaklaşımı ile zaman ve asfalt çeşitlerinin deformasyonu etkileşimi α=0,05 seviyesinde anlamlıdır. Multivariate yaklaşımında en fazla Pillai's ve Willks' lambda testi dikkate alınır.

Tablo 5.18. SPSS Multivariate test sonuçları

Multivariate Tests

Effect		Value	F	Hypothesis df	Error df	Sig.
ZAMAN	Pillai's Trace	,652	146,922	3,000	235,000	,000
	Wilks' Lambda	,348	146,920	3,000	235,000	,000
	Hotelling's Trace	1,876	146,919	3,000	235,000	,000
	Roy's Largest Root	1,876	146,918	3,000	235,000	,000
ZAMAN * GRUP	Pillai's Trace	,225	9,979	6,000	472,000	,000
	Wilks' Lambda	,776	10,566	6,000	470,000	,000
	Hotelling's Trace	,286	11,153	6,000	468,000	,000
	Roy's Largest Root	,279	21,931	3,000	236,000	,000

Tablo 5.19'da asfalt gruplarının farklı zamanlardaki deformasyon ölçümü verilerine göre ortalamalar ve standart hatalar görülmektedir. Katkısız asfalt grubunun tüm ölçüm dönemlerinde diğer gruplara nazaran daha büyük bir örneklem ortalamasına sahip olduğu görülmektedir. Bunda yolun eğimli olmasından kaynaklanan kot farklılığı da etkilidir.

Tablo 5.19. SPSS ANOVA tanımlama tablosu

Descriptives

	GRUP		Statistic	Std. Error
05.10.2007	Katkısız Kesim	Mean	1032,2586	,00969054
	%4 SBS Katkılı Kesim	Mean	1032,0510	,00914152
	%5 SBS Katkılı Kesim	Mean	1031,8650	,00908580
08.04.2008	Katkısız Kesim	Mean	1032,2534	,00923763
	%4 SBS Katkılı Kesim	Mean	1032,0466	,00869903
	%5 SBS Katkılı Kesim	Mean	1031,8606	,00873898
14.10.2008	Katkısız Kesim	Mean	1032,2518	,00925723
	%4 SBS Katkılı Kesim	Mean	1032,0454	,00873721
	%5 SBS Katkılı Kesim	Mean	1031,8606	,00877368
28.05.2010	Katkısız Kesim	Mean	1032,2521	,00931157
	%4 SBS Katkılı Kesim	Mean	1032,0457	,00877062
	%5 SBS Katkılı Kesim	Mean	1031,8613	,00879532

Farklar üzerinden yapılan ANOVA testi sonuçlarına göre; ilgili gruplar arasında yapılan çalışmada tüm değerler p:0.05 değerinden daha düşük olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar ışığında SBS kullanımı ile asfalt deformasyonu arasında istatistiksel açıdan %95 güven düzeyi ile anlamlı ilişki vardır.

Tablo 5.20. SPSS ANOVA sonuçları

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
05.10.2007	Between Groups	6,281	2	3,140	450,404	,000
	Within Groups	1,652	237	,007		
	Total	7,933	239			
08.04.2008	Between Groups	6,256	2	3,128	491,532	,000
	Within Groups	1,508	237	,006		
	Total	7,764	239			
14.10.2008	Between Groups	6,205	2	3,103	484,316	,000
	Within Groups	1,518	237	,006		
	Total	7,724	239			
28.05.2010	Between Groups	6,197	2	3,098	479,604	,000
	Within Groups	1,531	237	,006		
	Total	7,728	239			

Tablo 5.21'deki sonuçlar ışığında p=0,000.. değeri gözlenmiştir. Üç grup arasında (asfalt çeşitleri) 4 ölçüm dönemleri değerlendirilmesi sonucunda istatistiksel açıdan %95 güven düzeyi ile farklılıklar gözlenmiştir.

Tablo 5.21. Farklı zamanlardaki ölçümlerin kıyaslamasına ait t-testi SPSS sonuçları

Paired Samples Test

		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference Lower	Upper			
Pair 1	05.10.2007 - 08.04.2008	,0046780	,00500253	,00032291	,0040419	,0053142	14,487	239	,00146190
Pair 2	05.10.2010 - 14.10.2008	,0056440	,00481844	,00031103	,0050313	,0062567	18,146	239	,00075469
Pair 3	05.10.2007 - 28.05.2010	,0052161	,00455792	,00029421	,0046365	,0057957	17,729	239	,00018469
Pair 4	08.04.2008 - 14.10.2008	,0009659	,00166205	,00010728	,0007546	,0011773	9,003	239	,00000706
Pair 5	08.04.2010 - 28.05.2010	,0005381	,00224930	,00014519	,0002521	,0008241	3,706	239	,00026166
Pair 6	14.10.2008 - 28.05.2010	-,0004278	,00152749	,00009860	-,0006221	-,0002336	-4,339	239	,00002112

6. TARTIŞMA

1987 yılında, Stratejik Karayolu Araştırma Programı (*SHRP*) çerçevesinde, asfaltın fiziksel davranışlarının belirlenmesi ile ilgili yeni deneylerin geliştirilmesine başlanmış ve yeni bir seri deney ekipmanını içeren bir Yüksek Performanslı Asfalt Kaplama (*SUPERPAVE)* Bağlayıcı Şartnamesi hazırlanmıştır (Asphalt Institute, 1996; Orhan, 2001).

Bağlayıcı şartnamesinin en önemli özelliği, bağlayıcının ömrü boyunca karşı karşıya kalacağı üç kritik durumun deneylerle simüle edilmiş olmasıdır. Orijinal asfalt numunesi üzerinde uygulanan deneyler taşıma, depolama ve işlemeyi kapsayan ilk aşamayı temsil eder. İkinci aşama, karışım hazırlama ve serme sırasındaki asfaltı temsil eder. Üçüncü aşama ise, bağlayıcının uzun süre sonundaki yaşlanmasıdır. Yüksek performanslı asfalt kaplama bitüm deneyleri, malzemenin doğrudan arazi şartlarındaki performansı ile ilgili özelliklerini ölçmektedir (Megennis ve ark., 1994; Tunç, 2001).

Yüksek performanslı asfalt kaplama tasarım yöntemi, karışımın kullanılacağı bölgenin sıcaklık ve coğrafi koşullarına uygun performans sınıfı bitümlü bağlayıcının seçimini öngörür.

Bu çalışmada dünyada geniş çapta kullanılmaya başlanan yüksek performanslı asfalt kaplama sisteminin getirdiği bağlayıcı sınıflama sistemini uygulayarak Türkiye'deki coğrafi bölgelerimizde istasyon bazında görülen sıcaklık bilgilerine göre bir sınıflanma yapılmasına çalışılmıştır.

Yüksek performanslı asfalt kaplama bağlayıcı sınıflama sistemini Türkiye coğrafi bölgeleri için yapmanın amacı, bitümlü bağlayıcının asfalt maliyetinde ve kaplama dayanımında büyük etkiye sahip olmasından dolayı farklı iklim koşullarında uygun bitümün kullanımını sağlamaktır. Bitüm değişik sıcaklık koşullarında farklı davranışlar gösteren bir malzemedir. Halen yaygın olarak kullanılan penetrasyon derecesine göre sınıflama bu gerekliliği sağlayamamaktadır.

Konya Büyükşehir Belediyesinin Konya-Afyon karayolunda asfalt yenileme çalışması yapması ve bu çalışmaların tezin yapıldığı döneme denk gelmesi gözlem yolu yapımının çok maliyetli bir çalışma olması nedeniyle büyük kolaylık sağlamıştır. Çalışmamın arazi uygulamalarına örnek teşkil edebilecek, arazi ölçümlerine dayanan bir çalışma bulunamamıştır. Bunun sebebi yol yapım maliyetinin yüksek olmasıdır.

Deformasyon ölçümleri sırasında yolun devlet yolu olması nedeniyle trafiğe kapatılması mümkün olmadığından trafiği yönlendirme sırasında zorluklar yaşanmıştır. Yol kısmi olarak tek şeride düşürülerek ölçüm çalışmaları tamamlanmıştır.

Arazi deformasyon ölçümlerini yapmakta kullanılan diğer testler, deney aletlerinin Konya'da bulunmaması ve maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle uygulanamamıştır.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nün Türkiye genelindeki bütün istasyonlarında ölçülmüş maksimum ve minimum sıcaklıkları incelenmiştir ve bu uzun yıllara ait sıcaklık verilerinden maksimum, minimum sıcaklıklar haritaları ile yüksek PG ve düşük PG değerleri haritaları oluşturulmuştur. PG haritalarının hazırlanmasındaki amaç yol yapımında hangi PG sınıfı bitümün kullanılması gerektiğini ortaya koymaktır. Uzun yıllar sıcaklık haritalarının hazırlanmasındaki amaç ise PG sınıflaması için gerekmemesine rağmen ölçülmüş ekstrem maksimum ve minimum sıcaklıkların da bilinmesini sağlamaktır. Haritalarda aynı sıcaklığın ölçüldüğü yerler görülebilmektedir.

Coğrafi bölgelerimizde değişik maksimum sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Güneydoğu Anadolu Bölgesinde birbirine yakın ortalama 50°C civarı sıcaklıklar, İç Anadolu Bölgesinde ortalama 45°C civarı sıcaklıklar, Doğu Anadolu Bölgesinde Erzurum, Kars, Van civarında maksimum sıcaklık çok yükselmeyip 35°C civarında seyrederken güney kısmında 47-48°C sıcaklıkları görmektedir. Iğdır Kars'a yakın olmasına rağmen 42°C'lik maksimum sıcaklık ölçülmüştür. Akdeniz bölgesinin sahil kesiminde 45°C, iç kesimlerinde 37-39°C sıcaklıklar görülmektedir. Ege Bölgesinde de genellikle 45°C civarı, Marmara Bölgesinde Uludağ ve çevresinde 31°C, genelinde 40°C'nin üstünde değerler ölçülmüştür. Karadeniz bölgesinin iç kesimlerinde 40°C'nin üstünde, sahil kenarında daha düşük değerler görülmektedir.

Düşük sıcaklık haritasını incelediğimizde genellikle sahil kenarlarında çok düşük değerler görülmemekte, buralarda ölçülen değerler -8°~4°C arasında değişmektedir. İç kesimlerde ise İç Anadolu Bölgesinde -35°C'ye kadar değerler görülmüş, Doğu Anadolu Bölgesinde -43°C'ye kadar düşmüştür.

Bölgeler için tespit edilen PG değerleri de şunlardır;

Karadeniz Bölgesi PG58-22,

Marmara Bölgesi PG58-16,

Ege Bölgesi PG64-16,

Akdeniz Bölgesi PG64-16,

İç Anadolu Bölgesi PG64-22,

Doğu Anadolu Bölgesi PG70-28,

Güneydoğu Anadolu Bölgesi PG70-10.

Bu değerler yolun uygulanacağı kesimin özelliklerine göre, istenen güvenilirlik düzeyine göre düzeltilmelidir. Ancak bu durumda da ölçülmüş sıcaklık verisi temininde güçlükler yaşanacaktır.

Yolun yapıldığı yerde geçerli PG sınıflı bitüm kullanımı ile asfalt kaplamalar düşük ve yüksek sıcaklık etkisinden kaynaklanan bozulmalara daha dayanıklı olacaktır. Bitümün penetrasyon değerleri farklı sıcaklıkta farklı değerler gösterebileceğinden penetrasyon sınıfına göre bitüm kullanmak yolun bozulmasını engellemek için yeterli değildir. PG sınıflı bitüm tercih edilmesi ile bitümler modifiye edilmiş olacağından daha homojen ve dayanım özelliği değerleri kontrol altında tutulmuş bitümler kullanılmış olacaktır.

Tezin uygulama kısmında katkısız bitüme %4 ve %5 oranında SBS ilavesi ile iki farklı modifiye bitüm hazırlanmıştır. Katkısız bitümün ve hazırlanan modifiye bitümlerin hangi PG sınıfına uygun bitüm olduğu performans testleri yapılarak tespit edilmiştir. Bulunan sınıflar şunlardır; katkısız bitüm PG58-22, %4 SBS katkılı bitüm PG70-16 ve %5 SBS katkılı bitüm PG76-16'dır.

Konya-Afyon Karayolu'nun Konya girişinde bulunan Yazır Mahallesi tramvay durağı mevkiinde bir gözlem yolu yapılmıştır. 2007 yılında Konya Büyükşehir Belediyesi tarafından yolda yenileme çalışmaları başlatılmıştır. Yapılan bu çalışmalar kapsamında 11.09.2007 tarihinde bir gözlem yolu yapılmıştır. Yol yapım çalışmaları Fermak İnş. Taah. A.Ş. tarafından yapılmıştır. Yol yapımında kullanılan asfalt, Selçuklu Belediyesi Asfalt Şantiyesinde üretilmiştir.

Gözlem yolunda yüzeysel deformasyon ölçümleri yapılarak oluşan kalıcı deformasyonlar gözlenmiştir. Gözlem yolu yapımında kullanılan karışımdan yapılmış Marshall briketlerine dolaylı çekme deneyi uygulanmıştır. Uygulama yolundaki gözlem sonuçlarına göre en büyük deformasyonlar modifiye edilmemiş katkısız bitümle yapılan kesimde görülmüştür. Katkısız bitümle yapılan kesimdeki deformasyonların toplamı 0.558 cm, %4 SBS katkılı bitümle yapılan kesimdeki deformasyonların toplamı 0.421 cm, %5 SBS katkılı bitümle yapılan kesimdeki deformasyonların toplamı 0.306 cm'dir. Üç asfalt tipinde de hızlı şeritte deformasyon fazla oluşmuştur. Hızlı şeritte fazla deformasyonun olmasının sebebi o şeridin çok taşıt yüküne maruz kalması veya orta refüjdeki bitkilerin aşırı sulanmasından ötürü direne olan suyun kaplama altına girerek yol üstyapısında deformasyonlara neden olmuş olmasıdır. Sulamanın aşırı ve kontrolsüz yapılmasından dolayı şehir içindeki yolların deformasyona uğraması sık karşılaşılan bir durumdur. Bunu önlemek için sulama kontrollü yapılmalı, aşırıya gidilmemeli ve orta

refüjdeki bordürlerin altına yeterli derinlikte beton duvar yaparak fazla suyun asfalt kaplama altına geçmesine izin verilmemelidir.

Türkiye'de henüz yüksek performanslı asfalt kaplama yönteminde karışım tasarımı ve bitüm sınıflama sistemi yaygınlaşmadığından, bundan sonraki çalışmalarda yolun yapılacağı bölge için uygun PG sınıfında bitümle gözlem yolları yapılarak sınıflamanın uygun olup olmadığı gözlenmelidir. Bu gözlemler yapılırken kot ölçümü yoluyla deformasyonların tespitinin yanında diğer arazi deformasyon ölçüm testleri de yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

AASHTO Designation R29-02, 2001, Grading or Verifying the Performance Grade of an Asphalt Binder.

AASHTO Designation M320-05, 2005, Performance Graded Asphalt Binder. *Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing,* 24th Edition, AASHTO, Washington, DC, American Association of State Highway and Transportation Officials.

AASHTO Designation T283-07, 2007, Resistance of Compacted Hot Mix Asphalt (HMA) to Moisture Induced Damage. *Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Samplin and Testing , 27th Ed.* Washington, D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials.

AASHTO Designation TP5, 1994, Standard method of test for determining the rheological properties of asphalt binder using a dynamic shear rheometer (DSR), 1994.

Ağar, E., Taşdemir, Y., 2005, Bitümlü Kaplamalarda Düşük Sıcaklık Çatlaklarının İncelenmesi, İtü dergisi, 4 (1), 59-70, İstanbul.

Ahmedzade, P., Yılmaz, M. ve Geçkil, T., 2008, Appropriate Binder Selection to Application Region According to Superpave System: Bingol Example, Journal of Engineering and Natural Sciences, 25 (4), 338 – 348, Elazig, Turkey.

Ahmedzade, P., Yılmaz, M. ve Yılmaz, M., 2008, Polyester Reçinenin Bitümlü Bağlayıcıların Yüksek Sıcaklık Performans Seviyesi Üzerindeki Etkisi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 24 (1-2) 227 – 240, Elazığ.

Airey, G., D., ve Brown, S., F., 1998, Rheological Performance of Aged Polymer Modified Bitumens. Association of Asphalt Paving Technologists. Proceedings, 67, 66-100.

Airey, G., D., 2002, Rheological evaluation of ethylene vinly acetate polymer modified bitumens, Construction and Building Materials, 16 (8), 473-487.

Airey, G., D., 2003, Rheological properties of styrene butadiene styrene polymer modified road bitumens, Fuel, 82 (14), 1709-1719.

Airey, G., D., Rahimzadeh, B., 2004, Combined bituminous binder and mixture linear rheological properties, Construction and Building Materials, 18 (7), 535-548.

Aksoy, A., 2000, Bitümün reolojik yapısının bitümün yaşlanmasına ve kaplamanın performansına olan etkisinin incelenmesi.

Al-Abdul-Wahhab, H. Ve Al Amri, G., 1991, Laboratory Evaluation of Reclaimed Rubber Asphaltic Concrete Mixes, *Journal of Materials in Civil Engineering*, ASCE, Vol. 3, No: 3, 189-203.

Albayrak, A., 1975, Beton Asfalt Karışımlarının Deformasyona Karşı Dirençlerine Etkiyen Faktörlerin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Karayolları Araştırma Fen Heyeti Müdürlüğü*, Ankara.

Asphalt Institute, 2002, Asfalt El Kitabı, Editör: Uluçaylı, M., Çeviren: Yavuz, M., İ*stanbul Büyükşehir Belediyesi* İ*stanbul Asfalt Fabrikaları Sanayi ve Ticaret A.*Ş., İstanbul, 35-39.

Asphalt Institute, 1994, Performance Graded Asphalt Binder Specification end Testing, Superpave Series No. 1, SP-1, Kentucky, USA.

Asphalt Institute, 1996, Superpave Mix Design, Superpave Series No. 2, SP-2, Kentucky, USA.

Atasağun, N., 2009, Piroliz Yöntemi Kullanılarak Sıvılaştırılmış Ççrekotu Küspesiyle Modifiye Eedilen Bitümlü Bağlayıcıların Reolojik Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya

Balta, İ., 2004, Bitümlü sıcak karışımların sudan kaynaklanan bozulmalara karşı duyarlılığı, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz *Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 51-52, 83.

BSI3690, 1989, Bitumens for Building and Civil Engineering, Part 1, Specification for Bitumens for Road Purposes, *British Standarts Institution*, Part 1, Londra, UK.

Chipperfield, E., H., 1984, Bitumen Production, Properties and Uses in Relation to Occupational Exposures, *IARC Review on Bitumen Carcinogenicity Instıtute of Petroleum*, Report IP 84006.

Cortizo, M., S., Larsen, D., O., Bianchetto H, Alessandrini J., L., 2004, Effect of the thermal degradation of SBS copolymers during the ageing of modified asphalts, *Polym Degrad Stab*, 86(2), 275–282.

Çelik, O., N., 2000, Atık Parçalanmış Otomobil Lastiği ile Modifiye Edilmiş Bağlayıcılarla Yapılmış Asfalt Betonunun Sünme Davranışı, *İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler, IV. Uluslararası Kongre*, 1-3 Kasım, Doğu Akdeniz Üniversitesi, Gazimagusa, KKTC.

Çelik, O., N., 2003, Otomobil Lastiği ile Modifiye Edilmiş Bitümlü Bağlayıcıların Sıcaklık Hassasiyeti ve Viskozite-Penetrasyon Arasındaki İlişki, *16. Teknik Kongre*.

Çelik, O., N., 2006, Karayolu Ders Notları, *Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü*, Konya.

Çetin, A., 1997, Endüstriyel Atıkların Asfalt Beton Kaplama Karışımında Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir.

Çubuk, M., 2007, Katkı Maddeleri İle Bitümün Reolojik Özelliklerinin Geliştirilmesi ve Esnek Kaplama Malzeme Oluşumunda Problemlerin Giderilmesi, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara

Dinç, E., 1999, Superpave, *TCK 16. Bölge Müdürlüğü*, Sivas, 11-31.

Dinç, E., ve Yazıcı, A., 2000, Superpave Bitüm Deneyleri ve Agrega Gradasyonu, *3. Asfalt Sempozyumu*, 16-17 Kasım, Ankara, 161-172.

Dow, A. W., 1903, Asphalt Experiments at Washington, *Engineering News Record*, 47, 18-25.

Eribol, S., Orhan, F., 2004, "Elostomerlerle modifiye edilmis bitümlerin özellikleri", *4.Ulusal Asfalt Sempozyumu*, Ankara, 80-93.

Gonzales, O., Munoz, M., E., Santamaria, A., Garcia-Morales, M., Navarro, F., J., Partal, P., 2004, Rheology and stability of bitumen/EVA blends, *European Polymer Journal*, 40 (10): 2365-2372.

Güngör, A., G., Sağlık, A., 2009, Türkiye Bitümlerinin Performans Sınıflarının Belirlenmesi, 18-19 Kasım 2009, *5. Ulusal Asfalt Sempozyumu ve Sergisi, KGM Toplantı Salonu*, Ankara.

Isacsson, U. and Lu, X., 1999, Laboratory investigation of polymer modified bitumens, *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists*, 68**,** 35-63.

İsfalt, 2001, Asfalt ve Uygulamaları, *İsfalt A.Ş.*, İstanbul.

Jung, D., 1994, Selection and Performance Evaluation of Test Method to Assess Thermal Cracking Resistance of Asphalt-Aggregate Mixtures, PhD Thesis, *Oregon State University*, Corvallis, Oregon.

Keçeciler, A. F., Akkol, G., Gümrükçüoğlu, A., Gökçe, A., F., 1988, Bitümlü Bağlayıcılara Uygulanan Deneyler, Bitümlü Malzemeler Laboratuar El Kitabı, *Karayolları Araştırma Dairesi Başkanlığı*, Ankara, Türkiye.

KGM Yayınları, 2006, Karayolu Teknik Şartnamesi, *Karayolları Genel Müdürlüğü*, Ankara.

Kuloğlu, N., Namlı, R., 2007, Superpave ve Marshall Yöntemlerinin Deneysel Karşılaştırılması, *İmo Teknik Dergisi*, 4103-4118.

Lav, A., H., 2007, Bitümlü Bağlayıcılar (Türleri, Temel Özellikleri, Yapıları, Uygulanan Deneyler ve İlgili Şartnameler), *Asfalt Günleri, Konya Dedeman Otei*, 23-25 Mart, Konya, Türkiye

Lu, X., Isacsson, U., Ekblad, J., 2003, Influence of Polymer Modification on Low Temperature Behaviour of Bituminous Binders and Mixtures, *Materials and Structures*, 36: 652-656.

Mcgennis, R., B., Shuler, S., Bahia, H., U., 1994, Background of Superpave Asphalt Binder Test Methods, No: FHWA-SA-94-069, 104.

Mehndiratta, H., C., Kumar, P., Singh, K., L., 2005, Influence on Rheological Properties of Modified Bitumens at High Temperatures, *International Symposium on Pavement Recycling*, March 14-16, Sao Paulo, Brasil.

Oliver, J., W., H., 2000, Rutting and Fatigue Properties of Crumbed Rubber Hot-mix Asphalts, *Asphalt-rubber 2000 Proceedings*, 221-239.

Orhan, F., 2000, Asfaltın Geleceği Superpave, *3. Asfalt Sempozyumu*, Ankara, 146-160.

Orhan, F., 2001, Asfaltın Geleceği Superpave, *K.G.M. Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı*, 379-393, Ankara.

Öztürk, E., A., Çubuk, M., K., 2004, Karayolu Esnek Üstyapı Tasarımında Yeni Bir Yöntem: Yüksek Performanslı Asfalt Kaplama, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Dergisi*, Cilt: 19, No: 2, 175-184.

Pfeiffer, J., P., H., Van Doormaal, P., M., 1936, The Rheological Proporties of Asphaltic Bitumens, *Journal of The Institute of Petroleum*, Vol 22, 414-440.

Reomberg, J., W., Nesmitts, S., D., Traxler, R., N., 1959, Some Chemical Aspects of The Components of Asphalt, *Journal of Chemical and Engineering Data*, Vol 4, No: 2.

Shell, 1978, Shell Bitumen Hand Book, *Shell International Petroleum Company Limited*.

Shell, 1990, Bitumen and Asphalt Nomographs, Version 1990, Release:Me 1.1.

Souza, R., Himeno, K., Kobayashi, A., 2005, Behaviour of Asphalt-Rubber Binders Along Different Times of Digestion, *International Symposium on Pavement Recycling*, March 14-16, Sao Paulo, Brasil.

Superpave Mix Design, 1996, *Asphalt Institute*, Superpave series No: 2, 56.

Superpave Mix Design, 2001, *Asphalt Institute*, Superpave series No: 2, 20.

Superpave for the Generalist Engineer and Project Staff, 1997, *US. Department of Transportation Federal Highway Administration, National Highway Institute*, Publication No: FHWA HI 97-031, USA,.

Sengöz, B., Agar, E., 2005, Asfalt Film Kalınlığının Bitümlü Karışımların Yaşlanmasına Etkisi", *İTÜ Dergisi*, 4 (1), 71-82, İstanbul.

Tayfur, S., Özen, H., Aksoy, A., 2007, Investigation of Rutting Performance of Asphalt Mixtures Containing Polymer Modifiers, *Construction and Building Materials*, 21(2): 328-337.

Traxler, R., N., Coombs, C., E., 1936, The Colloidal Nature of Asphalt as Shown by Its Flow Properties, *Thirteenth Colloid Symposium*, St. Louis, Missouri.

Traxler, R. N., 1961, Relation Between Asphalt Composition and Hardening by Volatilization and Oxidation, *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists*, 30, 359-377.

Traxler, R. N., 1963, Durability of Asphalt Cements, *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists*, 32, 44-58.

TS 130, 1978, Agrega Karışımlarının Elek Analizi Deneyi İçin Metot, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

TS 9582 EN 933-3, 1999, Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler, Bölüm 3: Tane Şekli Tayini Yassılık Endeksi, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

TS EN 1097-6, 2002, Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler,

Bölüm 6: Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

TS EN 1097-2, 2010, Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler, Bölüm 2: Parçalanma Direncinin Tayini İçin Metotlar, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

TS EN 1097-10, 2003, Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler, Bölüm 10: Su Emme Yüksekliğinin Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

TS EN 1367-1, 2009, Agregaların ısıl ve bozunma özelliklerini tayin için deneyler, Bölüm 1: Donmaya ve çözülmeye karşı direncin tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

TS EN 1426, 2008, Bitüm ve bitümlü bağlayıcılar-İğne batma derinliği tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

TS EN 1427, 2008, Bitüm ve bitümlü bağlayıcılar-Yumuşama noktası tayini-Halka ve bilye yöntemi, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

TS EN 12607-1, 2003, Bitümler ve Bitümlü Bağlayıcılar–Sıcaklık ve Havanın Etkisiyle Sertleşmeye Karşı Direncin Tayini, Bölüm 1: RTFOT (Etüvde Hareket Halinde İnce Film Deneyi) Yöntemi, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

TS EN 12607-2, 2003. Bitümler ve Bitümlü Bağlayıcılar–Sıcaklık ve Havanın Etkisiyle Sertleşmeye Karşı Direncin Tayini, Bölüm 2: TFOT (Etüvde İnce Film Deneyi) Yöntemi, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

TS EN ISO 2592, 2006, Petrol Ürünleri-Parlama ve Yanma Noktası Tayini-Cleveland Açık Kap Metodu, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

Tunç, A., 2001, Yol Malzemeleri ve Uygulamaları, *Atlas Yayınları*, İstanbul.

Uluçaylı, M., 1997, Bitümlü Karışımların Tasarımında Yeni Gelişmeler Yoğurmalı Pres, *Yollar Türk Milli Komitesi*, Ankara.

Vallegra, B., A., 1981, Pavement Deficiencies Related to Asphalt Durability, *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists*, 50, 481-491.

Van der Poel, C., 1954, A General System Describing The Viscoelastic Properties of Bitumens and Its Relation to Routine Test Data, *Journal of Applied Chemistry*, Vol 4, 221-236.

Ven, M., V., D., Jenkins, K., 2002, Rheological Characterization of Some (polymer modified) Bitumen and Bitumen-filler System at Compaction and in- Service Temperatures, *6. RILEM Symposium PTEBM`03*, Zurich, 88-94.

Vonk, W., Korenstra, J., 2004, "Geliştirilmiş Sathi Kaplamalar İçin SBS Modifiye Bitüm Emülsiyonu", *4. Ulusal Asfalt Sempozyumu*, Ankara, 106-116.

Whiteoak, D., 2004, "Shell Bitüm El Kitabı", Editörleri, Lav, A., H., Lav, M., A., İ*stanbul Büyükşehir Belediyesi* İ*stanbul Asfalt Fabrikaları Sanayi ve Ticaret A.Ş.*, İstanbul, 33-34, 101-108, 133, 136.

Yılmaz, M., 2005, Polyester Reçinenin Bitüm ve Bitümlü Sıcak Karışımlar Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 1-7.

Yılmaz, M., Kök, B., V., 2007, Stiren-Bütadien-Stiren Modifiyeli Bitümlü Bağlayıcıların Superpave Sistemine Göre Yüksek Sıcaklık Performans Seviyesinin Ve İşlenebilirliğinin Belirlenmesi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi,* 23 (4), 811-819.

Zaniewski, J.P., Pumphrey, M. E., 2004, Evaluation of Performance Graded Asphalt Binder Equipment and Testing Protocol, *Asphalt Technology Program*, 107.

Zeng, H., 1995, On The Low Temperature Cracking of Asphalt Pavements, *TRITA-IP FR 95-07*, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.

İNTERNET KAYNAKLARI

URL1: http://www.asmud.org.tr/asfalt.php?sayfa=26

URL2: http://www.tupras.com.tr/detailpage.tr.php?redirect=asphaltprices.tr.php&lRedirectPageID=6351

URL3: http://www.istatistikanaliz.com/t-testi.asp

EKLER

EK-1 Uygulama Yolu Deformasyon Ölçümü Verileri

Tablo Ek-1.1. Uygulama yolu yavaş şerit sağ kenar deformasyon ölçümü verileri

	Nokta No	05.10.2007	07.12.2007	07.02.2008	08.04.2008	09.06.2008	09.08.2008	14.10.2008	28.05.20010
Katkısız bitümlü kesim	1	1 032.23787	1 032.23807	1 032.23537	1 032.23873	1 032.23617	1 032.23984	1 032.24082	1 032.24198
	2	1 032.22479	1 032.22386	1 032.22100	1 032.22432	1 032.22252	1 032.22449	1 032.22445	1 032.22589
	3	1 032.21142	1 032.21091	1 032.20788	1 032.21128	1 032.20889	1 032.20777	1 032.20886	1 032.20910
	4	1 032.20380	1 032.20306	1 032.20001	1 032.20318	1 032.20158	1 032.20024	1 032.20078	1 032.20176
	5	1 032.19159	1 032.19110	1 032.18812	1 032.19104	1 032.18870	1 032.19147	1 032.19244	1 032.19229
	6	1 032.18249	1 032.18195	1 032.17880	1 032.18181	1 032.18015	1 032.18426	1 032.18412	1 032.18471
	7	1 032.16562	1 032.16645	1 032.16254	1 032.16568	1 032.16538	1 032.16863	1 032.16945	1 032.17069
	8	1 032.14958	1 032.14941	1 032.14621	1 032.14886	1 032.14628	1 032.15055	1 032.15126	1 032.15205
	9	1 032.13272	1 032.13328	1 032.12975	1 032.13258	1 032.13065	1 032.13180	1 032.13241	1 032.13031
	10	1 032.11968	1 032.12002	1 032.11648	1 032.11983	1 032.11859	1 032.12056	1 032.12113	1 032.12119
	11	1 032.10954	1 032.10944	1 032.10556	1 032.11898	1 032.10638	1 032.10807	1 032.10806	1 032.10939
	12	1 032.09766	1 032.09768	1 032.09435	1 032.09740	1 032.09480	1 032.09689	1 032.09703	1 032.09802
	13	1 032.08301	1 032.08337	1 032.08012	1 032.08225	1 032.07989	1 032.08284	1 032.08304	1 032.08343
	14	1 032.07531	1 032.07580	1 032.07259	1 032.07520	1 032.07216	1 032.07295	1 032.07361	1 032.07540
%4 SBS katkılı kesim	85	1 032.01230	1 032.01324	1 032.00952	1 032.01193	1 032.01121	1 032.01138	1 032.01059	1 032.01082
	86	1 031.99685	1 031.99845	1 031.99482	1 031.99744	1 031.99360	1 031.99665	1 031.99611	1 031.99689
	87	1 031.99220	1 031.99344	1 031.98949	1 031.99219	1 031.99050	1 031.99196	1 031.99139	1 031.98961
	88	1 031.98461	1 031.98550	1 031.98198	1 031.98357	1 031.98097	1 031.98342	1 031.98303	1 031.98424
	89	1 031.97585	1 031.97691	1 031.97289	1 031.97515	1 031.97459	1 031.97424	1 031.97410	1 031.97289
	90	1 031.96662	1 031.96754	1 031.96383	1 031.96623	1 031.96410	1 031.96560	1 031.96446	1 031.96577
	91	1 031.95831	1 031.95947	1 031.95550	1 031.95842	1 031.95716	1 031.95721	1 031.95695	1 031.95721
	92	1 031.94694	1 031.94816	1 031.94405	1 031.94676	1 031.94478	1 031.94550	1 031.94566	1 031.94635
	93	1 031.93375	1 031.93485	1 031.93157	1 031.93392	1 031.93250	1 031.93222	1 031.93257	1 031.93223
	94	1 031.92218	1 031.92241	1 031.91936	1 031.92179	1 031.92069	1 031.91936	1 031.91971	1 031.91960
	95	1 031.91131	1 031.91113	1 031.90730	1 031.90978	1 031.90753	1 031.90655	1 031.90612	1 031.90508
	96	1 031.88834	1 031.88909	1 031.88519	1 031.88834	1 031.88642	1 031.88692	1 031.88669	1 031.88711
	97	1 031.87100	1 031.87204	1 031.86786	1 031.87120	1 031.86935	1 031.86932	1 031.86921	1 031.86975
%5 SBS katkılı kesim	163	1 031.81610	1 031.81852	1 031.81431	1 031.81836	1 031.81738	1 031.81443	1 031.81715	1 031.81760
	164	1 031.80548	1 031.80574	1 031.80193	1 031.80602	1 031.80476	1 031.80471	1 031.80499	1 031.80418
	165	1 031.79524	1 031.79562	1 031.79140	1 031.79527	1 031.79399	1 031.79389	1 031.79363	1 031.79346
	166	1 031.78379	1 031.78406	1 031.77959	1 031.78308	1 031.78567	1 031.78175	1 031.78185	1 031.78277
	167	1 031.77482	1 031.77436	1 031.77008	1 031.77489	1 031.77328	1 031.77313	1 031.77266	1 031.77509
	168	1 031.76815	1 031.76738	1 031.76269	1 031.76611	1 031.76599	1 031.76688	1 031.76512	1 031.76733
	169	1 031.75608	1 031.75541	1 031.75271	1 031.75530	1 031.75391	1 031.75370	1 031.75381	1 031.75583
	170	1 031.74462	1 031.74499	1 031.74057	1 031.74365	1 031.74377	1 031.74263	1 031.74436	1 031.74421
	171	1 031.73378	1 031.73317	1 031.72978	1 031.73319	1 031.73194	1 031.73164	1 031.73228	1 031.73264
	172	1 031.72181	1 031.72065	1 031.71827	1 031.72100	1 031.71973	1 031.71926	1 031.71986	1 031.71964
	173	1 031.71007	1 031.70928	1 031.70419	1 031.70889	1 031.70713	1 031.70760	1 031.70755	1 031.70833
	174	1 031.69854	1 031.69633	1 031.69278	1 031.69693	1 031.69721	1 031.69681	1 031.69698	1 031.69682
	175	1 031.69243	1 031.68944	1 031.68540	1 031.68939	1 031.68892	1 031.68758	1 031.68839	1 031.68724

Tablo Ek-1.2. Uygulama yolu yavaş şerit sol kenar deformasyon ölçümü verileri

	Nokta No	05.10.2007	07.12.2007	07.02.2008	08.04.2008	09.06.2008	09.08.2008	14.10.2008	28.05.20010
Katkısız bitümlü kesim	15	1 032.28910	1 032.28864	1 032.28641	1 032.28960	1 032.28836	1 032.28702	1 032.28790	1 032.28576
	16	1 032.28345	1 032.28254	1 032.27986	1 032.28330	1 032.28094	1 032.27910	1 032.27836	1 032.27893
	17	1 032.26685	1 032.26610	1 032.26356	1 032.26657	1 032.26321	1 032.26256	1 032.26370	1 032.26160
	18	1 032.25684	1 032.25587	1 032.25394	1 032.25659	1 032.25498	1 032.25507	1 032.25328	1 032.25232
	19	1 032.24211	1 032.24177	1 032.23955	1 032.24177	1 032.23878	1 032.23775	1 032.23866	1 032.23431
	20	1 032.22989	1 032.22904	1 032.22589	1 032.22874	1 032.22611	1 032.22509	1 032.22622	1 032.22342
	21	1 032.21535	1 032.21523	1 032.21158	1 032.21484	1 032.21435	1 032.21274	1 032.21305	1 032.21051
	22	1 032.20218	1 032.20156	1 032.19825	1 032.20104	1 032.19950	1 032.19979	1 032.19957	1 032.19665
	23	1 032.18470	1 032.18481	1 032.18122	1 032.18467	1 032.18368	1 032.18224	1 032.18168	1 032.18097
	24	1 032.17152	1 032.17166	1 032.16592	1 032.17177	1 032.16712	1 032.16991	1 032.16882	1 032.16964
	25	1 032.15825	1 032.15869	1 032.15531	1 032.15808	1 032.15514	1 032.15548	1 032.15508	1 032.15214
	26	1 032.14613	1 032.14624	1 032.14256	1 032.14582	1 032.14123	1 032.14365	1 032.14258	1 032.13815
	27	1 032.13068	1 032.13098	1 032.12706	1 032.13006	1 032.12796	1 032.12777	1 032.12711	1 032.12836
	28	1 032.12019	1 032.12033	1 032.11668	1 032.11923	1 032.11828	1 032.11790	1 032.11753	1 032.11556
%4 SBS katkılı kesim	98	1 032.06285	1 032.06521	1 032.06089	1 032.06431	1 032.06256	1 032.06420	1 032.06246	1 032.06459
	99	1 032.05181	1 032.05355	1 032.04994	1 032.05198	1 032.05055	1 032.05173	1 032.05090	1 032.05084
	100	1 032.04616	1 032.04696	1 032.04324	1 032.04630	1 032.04452	1 032.04534	1 032.04448	1 032.04201
	101	1 032.03551	1 032.03699	1 032.03320	1 032.03538	1 032.03401	1 032.03468	1 032.03491	1 032.03431
	102	1 032.02371	1 032.02416	1 032.02045	1 032.02308	1 032.02204	1 032.02214	1 032.02230	1 032.02085
	103	1 032.01343	1 032.01432	1 032.01026	1 032.01315	1 032.01201	1 032.01237	1 032.01165	1 032.01264
	104	1 032.00358	1 032.00490	1 032.00102	1 032.00351	1 032.00376	1 032.00308	1 032.00316	1 032.00173
	105	1 031.99029	1 031.99183	1 031.98773	1 031.99051	1 031.99023	1 031.98950	1 031.98987	1 031.99089
	106	1 031.98182	1 031.98220	1 031.97882	1 031.99142	1 031.97977	1 031.98054	1 031.98072	1 031.98208
	107	1 031.96651	1 031.96721	1 031.96381	1 031.96603	1 031.96564	1 031.96538	1 031.96578	1 031.96636
	108	1 031.95400	1 031.95446	1 031.95010	1 031.95281	1 031.95150	1 031.95208	1 031.95139	1 031.95049
	109	1 031.94130	1 031.94228	1 031.93782	1 031.94121	1 031.94010	1 031.94134	1 031.94021	1 031.94043
	110	1 031.92613	1 031.92688	1 031.92213	1 031.92566	1 031.92522	1 031.92568	1 031.92543	1 031.92573
%5 SBS katkılı kesim	176	1 031.87503	1 031.87752	1 031.87477	1 031.87730	1 031.87639	1 031.87688	1 031.87691	1 031.87758
	177	1 031.86311	1 031.86412	1 031.86002	1 031.86344	1 031.86321	1 031.86338	1 031.86254	1 031.86457
	178	1 031.85260	1 031.85279	1 031.84887	1 031.85233	1 031.85122	1 031.85193	1 031.85124	1 031.85051
	179	1 031.84159	1 031.84123	1 031.83768	1 031.84121	1 031.84026	1 031.83990	1 031.84083	1 031.84228
	180	1 031.83371	1 031.83234	1 031.82886	1 031.83242	1 031.83059	1 031.83181	1 031.83198	1 031.83350
	181	1 031.82532	1 031.82371	1 031.82063	1 031.82487	1 031.82308	1 031.82310	1 031.82421	1 031.82637
	182	1 031.81649	1 031.81640	1 031.81241	1 031.81530	1 031.81473	1 031.81549	1 031.81632	1 031.81744
	183	1 031.80644	1 031.80707	1 031.80410	1 031.80709	1 031.80603	1 031.80608	1 031.80642	1 031.80901
	184	1 031.79749	1 031.79612	1 031.79382	1 031.79715	1 031.79596	1 031.79622	1 031.79694	1 031.79772
	185	1 031.78718	1 031.78547	1 031.78228	1 031.78578	1 031.78492	1 031.78440	1 031.78634	1 031.78636
	186	1 031.77546	1 031.77332	1 031.77028	1 031.77461	1 031.77261	1 031.77352	1 031.77466	1 031.77541
	187	1 031.76194	1 031.76101	1 031.75766	1 031.76117	1 031.76095	1 031.76108	1 031.76101	1 031.76176
	188	1 031.75061	1 031.74778	1 031.74429	1 031.74755	1 031.74618	1 031.74715	1 031.74787	1 031.74776

Tablo Ek-1.3. Uygulama yolu orta şerit sağ kenar deformasyon ölçümü verileri

	Nokta No	05.10.2007	07.12.2007	07.02.2008	08.04.2008	09.06.2008	09.08.2008	14.10.2008	28.05.20010
Katkısız bitümlü kesim	29	1 032.31576	1 032.31344	1 032.31091	1 032.31420	1 032.31236	1 032.31338	1 032.31383	1 032.31516
	30	1 032.30951	1 032.30931	1 032.30681	1 032.30941	1 032.30813	1 032.30732	1 032.30773	1 032.30734
	31	1 032.29185	1 032.29131	1 032.28816	1 032.28919	1 032.29041	1 032.28896	1 032.28908	1 032.28850
	32	1 032.27923	1 032.27811	1 032.27587	1 032.27821	1 032.27559	1 032.27680	1 032.27648	1 032.27627
	33	1 032.26496	1 032.26546	1 032.26179	1 032.26525	1 032.26137	1 032.26149	1 032.26166	1 032.26262
	34	1 032.25198	1 032.25115	1 032.24788	1 032.25090	1 032.24932	1 032.24868	1 032.24922	1 032.24929
	35	1 032.23676	1 032.23663	1 032.23406	1 032.23621	1 032.23377	1 032.23382	1 032.23358	1 032.23393
	36	1 032.22596	1 032.22579	1 032.22296	1 032.22566	1 032.22387	1 032.22155	1 032.22226	1 032.21867
	37	1 032.20848	1 032.20819	1 032.20606	1 032.20770	1 032.20631	1 032.20463	1 032.20448	1 032.20103
	38	1 032.19400	1 032.19464	1 032.19121	1 032.19414	1 032.19207	1 032.19282	1 032.19288	1 032.19337
	39	1 032.18010	1 032.18005	1 032.17627	1 032.17844	1 032.17706	1 032.17713	1 032.17687	1 032.17613
	40	1 032.16706	1 032.16754	1 032.16385	1 032.16744	1 032.16534	1 032.16484	1 032.16454	1 032.16584
	41	1 032.15290	1 032.15325	1 032.14964	1 032.15167	1 032.15062	1 032.15058	1 032.15024	1 032.15074
	42	1 032.14090	1 032.14135	1 032.13776	1 032.14018	1 032.13817	1 032.13864	1 032.13844	1 032.13681
%4 SBS katkılı kesim	111	1 032.08940	1 032.09068	1 032.08744	1 032.08890	1 032.08884	1 032.08893	1 032.08870	1 032.08937
	112	1 032.07720	1 032.07798	1 032.07464	1 032.07626	1 032.07539	1 032.07685	1 032.07603	1 032.07638
	113	1 032.07150	1 032.07197	1 032.06847	1 032.07103	1 032.06921	1 032.07041	1 032.07023	1 032.06801
	114	1 032.05961	1 032.06117	1 032.05623	1 032.05855	1 032.05826	1 032.05847	1 032.05825	1 032.05726
	115	1 032.04683	1 032.04733	1 032.04264	1 032.04612	1 032.04435	1 032.04436	1 032.04388	1 032.04404
	116	1 032.03584	1 032.03679	1 032.03231	1 032.03537	1 032.03464	1 032.03388	1 032.03318	1 032.03487
	117	1 032.02658	1 032.02743	1 032.02366	1 032.02647	1 032.02523	1 032.02499	1 032.02482	1 032.02505
	118	1 032.01152	1 032.01266	1 032.00920	1 032.01210	1 032.01083	1 032.01040	1 032.01100	1 032.01094
	119	1 032.00353	1 032.00469	1 032.00028	1 032.00344	1 032.00171	1 032.00219	1 032.00238	1 032.00312
	120	1 031.98796	1 031.98876	1 031.98526	1 031.98791	1 031.98633	1 031.98677	1 031.98730	1 031.98681
	121	1 031.97539	1 031.97659	1 031.97196	1 031.97497	1 031.97488	1 031.97382	1 031.97441	1 031.97299
	122	1 031.96440	1 031.96591	1 031.96159	1 031.96439	1 031.96269	1 031.96288	1 031.96311	1 031.96314
	123	1 031.95189	1 031.95207	1 031.94847	1 031.95043	1 031.95007	1 031.95004	1 031.95005	1 031.95014
%5 SBS katkılı kesim	189	1 031.90162	1 031.90269	1 031.89892	1 031.90303	1 031.90116	1 031.90197	1 031.90197	1 031.90159
	190	1 031.88651	1 031.89051	1 031.88668	1 031.88841	1 031.88793	1 031.88889	1 031.88849	1 031.88647
	191	1 031.87757	1 031.87789	1 031.87460	1 031.87794	1 031.87710	1 031.87751	1 031.87694	1 031.87492
	192	1 031.86682	1 031.86668	1 031.86355	1 031.86732	1 031.86618	1 031.86628	1 031.86675	1 031.86673
	193	1 031.85927	1 031.85809	1 031.85497	1 031.85784	1 031.85753	1 031.85767	1 031.85806	1 031.85854
	194	1 031.85095	1 031.85050	1 031.84823	1 031.85110	1 031.84873	1 031.85030	1 031.85049	1 031.85044
	195	1 031.84379	1 031.84339	1 031.84071	1 031.84325	1 031.84221	1 031.84247	1 031.84338	1 031.84385
	196	1 031.83399	1 031.83411	1 031.83062	1 031.83369	1 031.83249	1 031.83319	1 031.83430	1 031.83241
	197	1 031.82379	1 031.82357	1 031.82067	1 031.82356	1 031.82163	1 031.82345	1 031.82310	1 031.82406
	198	1 031.81606	1 031.81509	1 031.81192	1 031.81500	1 031.81463	1 031.81529	1 031.81553	1 031.81553
	199	1 031.80384	1 031.80314	1 031.80003	1 031.80294	1 031.80219	1 031.80288	1 031.80439	1 031.80299
	200	1 031.79023	1 031.78922	1 031.78567	1 031.78828	1 031.78689	1 031.78854	1 031.78977	1 031.78931
	201	1 031.77669	1 031.77533	1 031.77133	1 031.77443	1 031.77322	1 031.77508	1 031.77606	1 031.77487

Tablo Ek-1.4. Uygulama yolu orta şerit sol kenar deformasyon ölçümü verileri

	Nokta No	05.10.2007	07.12.2007	07.02.2008	08.04.2008	09.06.2008	09.08.2008	14.10.2008	28.05.20010
Katkısız bitümlü kesim	43	1 032.37348	1 032.36534	1 032.36205	1 032.36575	1 032.36396	1 032.36149	1 032.36119	1 032.36403
	44	1 032.36445	1 032.35719	1 032.35419	1 032.35766	1 032.35544	1 032.35484	1 032.35575	1 032.35649
	45	1 032.35557	1 032.34821	1 032.34617	1 032.34896	1 032.34738	1 032.34618	1 032.34635	1 032.34630
	46	1 032.34154	1 032.33328	1 032.33067	1 032.33358	1 032.33198	1 032.33070	1 032.33049	1 032.33112
	47	1 032.32369	1 032.31585	1 032.31339	1 032.31614	1 032.31440	1 032.31338	1 032.31366	1 032.31260
	48	1 032.30894	1 032.30086	1 032.29809	1 032.30073	1 032.29925	1 032.29811	1 032.29875	1 032.29916
	49	1 032.29466	1 032.28836	1 032.28555	1 032.28820	1 032.28650	1 032.28546	1 032.28493	1 032.28786
	50	1 032.28185	1 032.27473	1 032.27299	1 032.27522	1 032.27379	1 032.27330	1 032.27229	1 032.27373
	51	1 032.26684	1 032.26008	1 032.25703	1 032.25923	1 032.25877	1 032.25852	1 032.25696	1 032.25767
	52	1 032.25120	1 032.24457	1 032.24121	1 032.24397	1 032.24256	1 032.24130	1 032.23906	1 032.24007
	53	1 032.23735	1 032.23047	1 032.22716	1 032.22960	1 032.22819	1 032.22680	1 032.22589	1 032.23200
	54	1 032.22200	1 032.21585	1 032.21244	1 032.21397	1 032.21271	1 032.21153	1 032.21143	1 032.21271
	55	1 032.20954	1 032.20314	1 032.20002	1 032.20249	1 032.20063	1 032.19960	1 032.19851	1 032.19939
	56	1 032.19619	1 032.19125	1 032.18775	1 032.19050	1 032.18711	1 032.18614	1 032.18632	1 032.18536
%4 SBS katkılı kesim	124	1 032.15156	1 032.14606	1 032.14277	1 032.14554	1 032.14372	1 032.14430	1 032.14306	1 032.14450
	125	1 032.13572	1 032.12982	1 032.12677	1 032.12938	1 032.12674	1 032.12846	1 032.12755	1 032.12811
	126	1 032.12537	1 032.12066	1 032.11784	1 032.11992	1 032.11927	1 032.11893	1 032.11807	1 032.11776
	127	1 032.11657	1 032.11143	1 032.10794	1 032.11016	1 032.10809	1 032.10992	1 032.10854	1 032.10875
	128	1 032.10208	1 032.09741	1 032.09400	1 032.09651	1 032.09555	1 032.09570	1 032.09381	1 032.09565
	129	1 032.09073	1 032.08547	1 032.08722	1 032.08474	1 032.08329	1 032.08411	1 032.08246	1 032.08152
	130	1 032.07902	1 032.07347	1 032.07077	1 032.07260	1 032.07121	1 032.07130	1 032.07046	1 032.07010
	131	1 032.06311	1 032.05864	1 032.05549	1 032.05798	1 032.05515	1 032.05660	1 032.05648	1 032.05359
	132	1 032.05440	1 032.04909	1 032.04568	1 032.04859	1 032.04470	1 032.04745	1 032.04682	1 032.04615
	133	1 032.03998	1 032.03580	1 032.03211	1 032.03504	1 032.03357	1 032.03377	1 032.03305	1 032.03513
	134	1 032.03175	1 032.02594	1 032.02260	1 032.02539	1 032.02392	1 032.02407	1 032.02387	1 032.02078
	135	1 032.02233	1 032.01760	1 032.01384	1 032.01643	1 032.01256	1 032.01565	1 032.01472	1 032.01560
	136	1 032.00753	1 032.00327	1 031.99977	1 032.00253	1 032.00042	1 032.00096	1 032.00108	1 031.99915
%5 SBS katkılı kesim	202	1 031.96232	1 031.95790	1 031.95470	1 031.95759	1 031.95668	1 031.96283	1 031.95836	1 031.95711
	203	1 031.94960	1 031.94432	1 031.94171	1 031.94462	1 031.94208	1 031.94409	1 031.94447	1 031.94506
	204	1 031.93747	1 031.93259	1 031.93024	1 031.93250	1 031.93041	1 031.93124	1 031.93169	1 031.93259
	205	1 031.92686	1 031.92138	1 031.91934	1 031.92059	1 031.91990	1 031.92012	1 031.91977	1 031.91799
	206	1 031.91733	1 031.91199	1 031.90895	1 031.91126	1 031.91010	1 031.91064	1 031.90916	1 031.91140
	207	1 031.90938	1 031.90395	1 031.90093	1 031.90415	1 031.90277	1 031.90292	1 031.90214	1 031.90484
	208	1 031.90081	1 031.89547	1 031.89122	1 031.89414	1 031.89398	1 031.89379	1 031.89348	1 031.89554
	209	1 031.89164	1 031.88556	1 031.88347	1 031.88606	1 031.88413	1 031.88481	1 031.88512	1 031.88749
	210	1 031.87981	1 031.87428	1 031.87203	1 031.87486	1 031.87331	1 031.87380	1 031.87372	1 031.87522
	211	1 031.87159	1 031.86572	1 031.86352	1 031.86532	1 031.86278	1 031.86425	1 031.86470	1 031.86707
	212	1 031.86042	1 031.85393	1 031.85134	1 031.85497	1 031.85198	1 031.85404	1 031.85418	1 031.85564
	213	1 031.84764	1 031.84134	1 031.83754	1 031.84095	1 031.84037	1 031.83984	1 031.84147	1 031.84181
	214	1 031.83440	1 031.82760	1 031.82519	1 031.82805	1 031.82715	1 031.82669	1 031.82822	1 031.82903

Tablo Ek-1.5. Uygulama yolu hızlı şerit sağ kenar deformasyon ölçümü verileri

	Nokta No	05.10.2007	07.12.2007	07.02.2008	08.04.2008	09.06.2008	09.08.2008	14.10.2008	28.05.20010
Katkısız bitümlü kesim	57	1 032.39767	1 032.38501	1 032.38297	1 032.38597	1 032.38488	1 032.38671	1 032.38544	1 032.38706
	58	1 032.38793	1 032.37805	1 032.37604	1 032.37790	1 032.37751	1 032.37762	1 032.37821	1 032.37951
	59	1 032.37591	1 032.36646	1 032.36442	1 032.36684	1 032.36606	1 032.36668	1 032.36571	1 032.36680
	60	1 032.36027	1 032.35003	1 032.34816	1 032.35078	1 032.34983	1 032.35079	1 032.34981	1 032.35179
	61	1 032.34381	1 032.33461	1 032.33208	1 032.33470	1 032.33409	1 032.33811	1 032.33458	1 032.33546
	62	1 032.33014	1 032.32015	1 032.31793	1 032.32022	1 032.32002	1 032.32028	1 032.31969	1 032.32111
	63	1 032.31543	1 032.30649	1 032.30677	1 032.30812	1 032.30745	1 032.30796	1 032.30690	1 032.30652
	64	1 032.30255	1 032.29354	1 032.29344	1 032.29296	1 032.29387	1 032.29445	1 032.29395	1 032.29523
	65	1 032.28572	1 032.27807	1 032.27630	1 032.27762	1 032.27804	1 032.27801	1 032.27614	1 032.27841
	66	1 032.27161	1 032.26414	1 032.26163	1 032.26440	1 032.26322	1 032.27438	1 032.25969	1 032.26463
	67	1 032.25660	1 032.24964	1 032.24623	1 032.24842	1 032.24864	1 032.24894	1 032.24845	1 032.25067
	68	1 032.24368	1 032.23557	1 032.23208	1 032.23485	1 032.23443	1 032.23534	1 032.23436	1 032.23538
	69	1 032.22920	1 032.22219	1 032.21907	1 032.22132	1 032.22101	1 032.22134	1 032.22157	1 032.22133
	70	1 032.21764	1 032.20985	1 032.20684	1 032.20918	1 032.20884	1 032.20826	1 032.20760	1 032.20820
%4 SBS katkılı kesim	137	1 032.17332	1 032.16502	1 032.16305	1 032.16493	1 032.16418	1 032.16543	1 032.16450	1 032.16441
	138	1 032.15745	1 032.14980	1 032.14697	1 032.14805	1 032.14885	1 032.14941	1 032.14918	1 032.14933
	139	1 032.14593	1 032.13902	1 032.13649	1 032.13825	1 032.13792	1 032.13881	1 032.13825	1 032.14025
	140	1 032.13823	1 032.13070	1 032.12713	1 032.12971	1 032.12858	1 032.12972	1 032.12936	1 032.12999
	141	1 032.12454	1 032.11664	1 032.11399	1 032.11611	1 032.11617	1 032.11656	1 032.11585	1 032.11628
	142	1 032.11242	1 032.10438	1 032.10178	1 032.10373	1 032.10252	1 032.10443	1 032.10334	1 032.10275
	143	1 032.10126	1 032.09194	1 032.08971	1 032.09239	1 032.09084	1 032.09228	1 032.09190	1 032.09329
	144	1 032.08712	1 032.08067	1 032.07842	1 032.08082	1 032.07979	1 032.08020	1 032.08011	1 032.08107
	145	1 032.07725	1 032.06864	1 032.06615	1 032.06881	1 032.06745	1 032.06808	1 032.06773	1 032.06841
	146	1 032.06302	1 032.05543	1 032.05316	1 032.05512	1 032.05445	1 032.05518	1 032.05500	1 032.05587
	147	1 032.05230	1 032.04421	1 032.04178	1 032.04452	1 032.04358	1 032.04386	1 032.04429	1 032.04461
	148	1 032.04234	1 032.03578	1 032.03257	1 032.03511	1 032.03457	1 032.03481	1 032.03506	1 032.03569
	149	1 032.02866	1 032.02104	1 032.01802	1 032.02041	1 032.01859	1 032.02062	1 032.02014	1 032.02064
%5 SBS katkılı kesim	215	1 031.98175	1 031.97511	1 031.97352	1 031.97477	1 031.97410	1 031.97502	1 031.97617	1 031.97475
	216	1 031.97083	1 031.96220	1 031.96074	1 031.96236	1 031.96169	1 031.96266	1 031.96304	1 031.96517
	217	1 031.95962	1 031.95052	1 031.94977	1 031.95044	1 031.94930	1 031.95092	1 031.95122	1 031.95258
	218	1 031.94770	1 031.93826	1 031.93780	1 031.93988	1 031.93846	1 031.93983	1 031.93987	1 031.94113
	219	1 031.93739	1 031.92920	1 031.92721	1 031.92914	1 031.92686	1 031.92948	1 031.92999	1 031.93190
	220	1 031.92866	1 031.92057	1 031.91807	1 031.92063	1 031.91963	1 031.92045	1 031.92107	1 031.92249
	221	1 031.91950	1 031.91117	1 031.90874	1 031.91155	1 031.91068	1 031.91137	1 031.91170	1 031.91300
	222	1 031.90880	1 031.90175	1 031.89994	1 031.90122	1 031.90048	1 031.90205	1 031.90282	1 031.90509
	223	1 031.89927	1 031.89162	1 031.88779	1 031.89198	1 031.89057	1 031.89106	1 031.89206	1 031.89285
	224	1 031.88871	1 031.88148	1 031.87915	1 031.88077	1 031.88128	1 031.88125	1 031.88218	1 031.88279
	225	1 031.87698	1 031.87093	1 031.86689	1 031.86934	1 031.86963	1 031.87011	1 031.87179	1 031.87053
	226	1 031.86551	1 031.85851	1 031.85486	1 031.85768	1 031.85610	1 031.85855	1 031.85925	1 031.85985
	227	1 031.85356	1 031.84574	1 031.84131	1 031.84440	1 031.84340	1 031.84490	1 031.84317	1 031.84751

Tablo Ek-1.6. Uygulama yolu hızlı şerit sol kenar deformasyon ölçümü verileri

	Nokta No	05.10.2007	07.12.2007	07.02.2008	08.04.2008	09.06.2008	09.08.2008	14.10.2008	28.05.20010
Katkısız bitümlü kesim	71	1 032.45178	1 032.43650	1 032.43475	1 032.43742	1 032.43571	1 032.43713	1 032.43678	1 032.43768
	72	1 032.44300	1 032.42782	1 032.42514	1 032.42822	1 032.42743	1 032.42820	1 032.42714	1 032.42745
	73	1 032.42972	1 032.41452	1 032.41257	1 032.41484	1 032.41483	1 032.41473	1 032.41465	1 032.41391
	74	1 032.41157	1 032.39701	1 032.39434	1 032.39733	1 032.39738	1 032.39724	1 032.39720	1 032.39808
	75	1 032.39467	1 032.38107	1 032.37821	1 032.38118	1 032.38115	1 032.38083	1 032.38080	1 032.38259
	76	1 032.38324	1 032.36850	1 032.36664	1 032.36897	1 032.36733	1 032.36843	1 032.36803	1 032.37061
	77	1 032.37097	1 032.35518	1 032.35418	1 032.35585	1 032.35518	1 032.35572	1 032.35538	1 032.35321
	78	1 032.35486	1 032.34025	1 032.33968	1 032.34126	1 032.34083	1 032.34150	1 032.34050	1 032.34482
	79	1 032.34046	1 032.32632	1 032.32447	1 032.32616	1 032.32485	1 032.32536	1 032.32439	1 032.32665
	80	1 032.32392	1 032.31060	1 032.30819	1 032.31014	1 032.30892	1 032.31018	1 032.30863	1 032.31096
	81	1 032.31153	1 032.29806	1 032.29454	1 032.29773	1 032.29623	1 032.29735	1 032.29516	1 032.29921
	82	1 032.29797	1 032.28419	1 032.28141	1 032.28414	1 032.28351	1 032.28294	1 032.28322	1 032.28373
	83	1 032.28442	1 032.27091	1 032.26882	1 032.27083	1 032.27005	1 032.27041	1 032.27002	1 032.26975
	84	1 032.27483	1 032.26139	1 032.25892	1 032.26125	1 032.26091	1 032.26093	1 032.25964	1 032.26108
%4 SBS katkılı kesim	150	1 032.22988	1 032.21647	1 032.21368	1 032.21538	1 032.21557	1 032.21516	1 032.21495	1 032.21558
	151	1 032.21364	1 032.20233	1 032.19955	1 032.20131	1 032.19955	1 032.20195	1 032.20019	1 032.20125
	152	1 032.19982	1 032.18812	1 032.18451	1 032.18755	1 032.18406	1 032.18668	1 032.18657	1 032.18725
	153	1 032.18774	1 032.17656	1 032.17359	1 032.17477	1 032.17449	1 032.17501	1 032.17370	1 032.17676
	154	1 032.17715	1 032.16502	1 032.16202	1 032.16480	1 032.16360	1 032.16432	1 032.16378	1 032.16288
	155	1 032.16632	1 032.15434	1 032.15167	1 032.15288	1 032.15306	1 032.15360	1 032.15315	1 032.15427
	156	1 032.15639	1 032.14325	1 032.14102	1 032.14321	1 032.14237	1 032.14275	1 032.14217	1 032.14214
	157	1 032.14127	1 032.12955	1 032.12650	1 032.12804	1 032.12856	1 032.12848	1 032.12846	1 032.13157
	158	1 032.13172	1 032.11925	1 032.11609	1 032.11796	1 032.11824	1 032.11837	1 032.11880	1 032.11848
	159	1 032.11927	1 032.10819	1 032.10575	1 032.10765	1 032.10653	1 032.10770	1 032.10694	1 032.10929
	160	1 032.10533	1 032.09452	1 032.09165	1 032.09403	1 032.09312	1 032.09373	1 032.09333	1 032.09365
	161	1 032.09075	1 032.08026	1 032.07781	1 032.07934	1 032.07837	1 032.07971	1 032.07978	1 032.08007
	162	1 032.07687	1 032.06547	1 032.06259	1 032.06534	1 032.06436	1 032.06515	1 032.06465	1 032.06579
%5 SBS katkılı kesim	228	1 032.02824	1 032.01919	1 032.01622	1 032.01824	1 032.01859	1 032.01947	1 032.01906	1 032.02104
	229	1 032.01872	1 032.00791	1 032.00599	1 032.00819	1 032.00649	1 032.00824	1 032.00852	1 032.00987
	230	1 032.00970	1 031.99858	1 031.99612	1 031.99781	1 031.99748	1 031.99900	1 031.99872	1 031.99907
	231	1 031.99819	1 031.98628	1 031.98388	1 031.98559	1 031.98568	1 031.98631	1 031.98653	1 031.98704
	232	1 031.98410	1 031.97318	1 031.97098	1 031.97269	1 031.96906	1 031.97373	1 031.97356	1 031.97494
	233	1 031.97400	1 031.96287	1 031.96064	1 031.96254	1 031.96233	1 031.96286	1 031.96273	1 031.96403
	234	1 031.96309	1 031.95211	1 031.94935	1 031.95153	1 031.95093	1 031.95200	1 031.95156	1 031.95221
	235	1 031.95240	1 031.94103	1 031.93903	1 031.94154	1 031.94171	1 031.94223	1 031.94188	1 031.94382
	236	1 031.94078	1 031.93088	1 031.92876	1 031.93108	1 031.93052	1 031.93158	1 031.93181	1 031.93133
	237	1 031.92883	1 031.91885	1 031.91575	1 031.91927	1 031.91766	1 031.91911	1 031.91879	1 031.92111
	238	1 031.91999	1 031.90926	1 031.90588	1 031.90819	1 031.90863	1 031.90980	1 031.90925	1 031.90722
	239	1 031.90946	1 031.89861	1 031.89436	1 031.89887	1 031.89702	1 031.89896	1 031.89889	1 031.89992
	240	1 031.89931	1 031.88874	1 031.88550	1 031.88665	1 031.88692	1 031.88890	1 031.88905	1 031.89014

EK-2 Çalışmaların Fotoğrafları



Şekil Ek-2.1. Agrega numuneleri



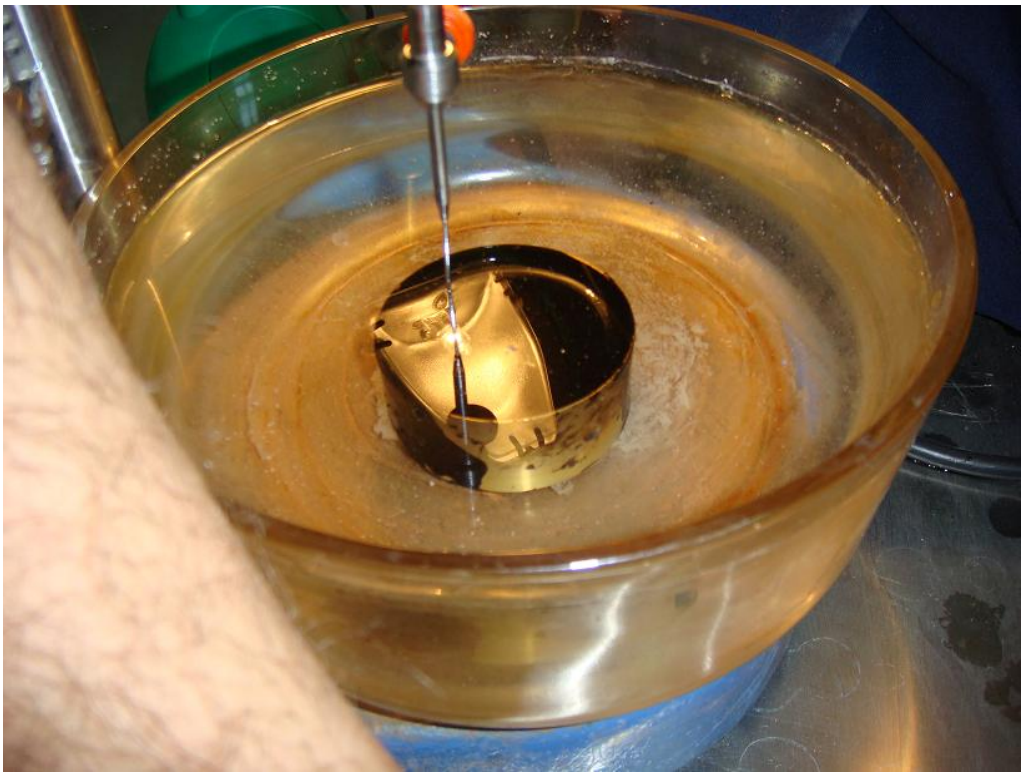
Şekil Ek-2.2. Aşınma deneyi numuneleri



Şekil Ek-2.3. Aşınma deneyi içindeki agregalar



Şekil Ek-2.4. Marshall deneyi için hazırlanan agrega karışımları



Şekil Ek-2.5. Penetrasyon deneyi uygulaması



Şekil Ek-2.6. Yumuşama noktası deney düzeneği



Şekil Ek-2.7. Marshall karışımlarının hazırlanması



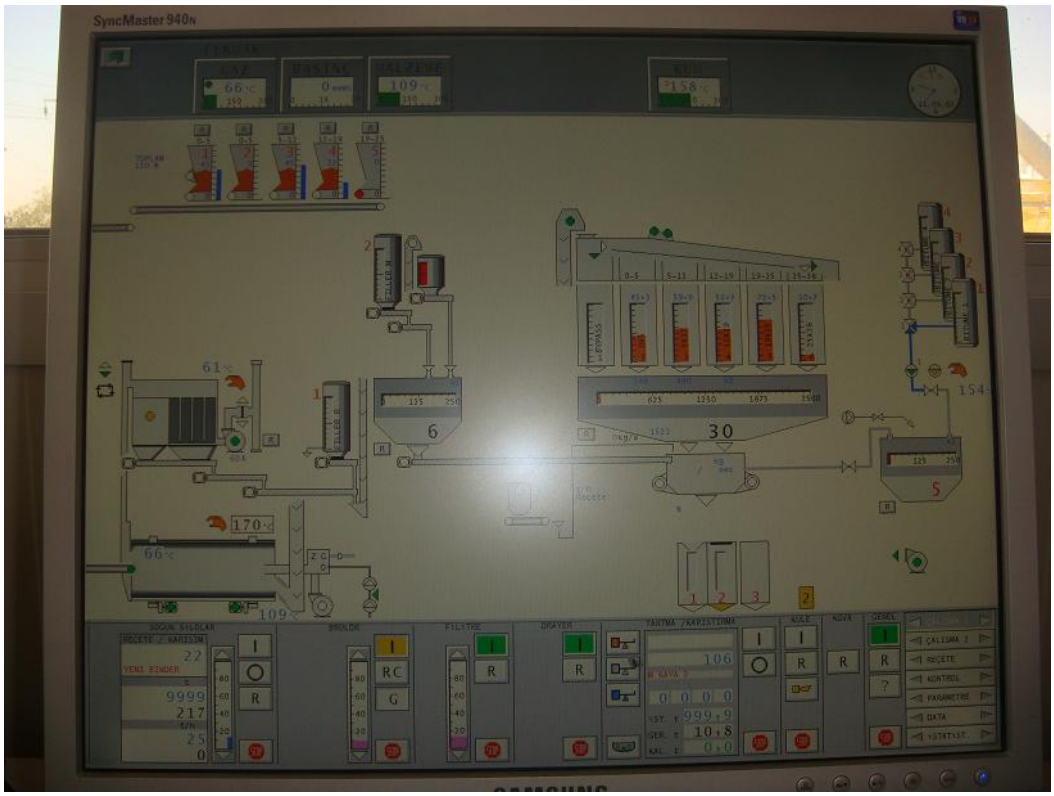
Şekil Ek-2.8. Marshall briketlerinin sıkıştırılması



Şekil Ek-2.9. Marshall briketlerinin ısıtılması



Şekil Ek-2.10. Marshall briketlerinin stabilite ve akma değerlerinin ölçülmesi



Şekil Ek-2.11. Asfalt plentinin üretim kontrol panosu



Şekil Ek-2.12. Mamul asfaltın kamyonlara doldurulması



Şekil Ek-2.13. Mamul asfalttan analiz için numune alınması



Şekil Ek-2.14. Asfalt serimine hazır finişer



Şekil Ek-2.15. Serim yapan finişer



Şekil Ek-2.16. Ek yerlerinin sıkıştırılması



Şekil Ek-2.17. Finişer arkasında tesviye ve süpürme işleri



Şekil Ek-2.18. İki finişerle asfalt serimi



Şekil Ek-2.19. Serimi bitmiş bölümde sıkıştırma öncesi



Şekil Ek-2.20. Son sıkıştırma işlemleri



Şekil Ek-2.21. Sıkıştırması bitmiş yol bölümü



Şekil Ek-2.22. Deformasyon ölçümü öncesi trafik önlemleri



Şekil Ek-2.23. Deformasyon ölçümü için nivonun hazırlanması



Şekil Ek-2.24. Deformasyon ölçümleri

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER



Adı Soyadı	**:**	Mevlüt KAYA
Uyruğu	**:**	TC
Doğum Yeri ve Tarihi	**:**	Konya-02.01.1976
Telefon	**:**	05337359573
Faks	**:**	0338.2264068
e-mail	**:**	mevlutkaya@engineer.com

EĞİTİM

Derece		**Adı, İlçe, İl**	**Bitirme Yılı**
Lise	:	Mehmet Akif Ersoy Lisesi, Selçuklu, Konya	1993
Üniversite	:	Yıldız Teknik Üniversitesi, Beşiktaş, İstanbul	1999
Yüksek Lisans	:	Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, Konya	2003
Doktora	:	Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, Konya	2010

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	**Kurum**	**Görevi**
2000-2003	Tavşançalı Belediyesi	Mühendis
2003-2009	Selçuklu Belediyesi	Mühendis
2009-Halen	Karaman Belediyesi	Fen İşleri Müdürü

UZMANLIK ALANI

Yol altyapısı yapımı, sıcak asfalt kaplama yapımı, sathi kaplama yapımı

YABANCI DİLLER

İngilizce

BELİRTMEK İSTEDİĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

YAYINLAR

M. Kaya, O. N. Çelik, 2009, Türkiye Coğrafi Bölgeleri İçin Performans Dereceli Bitümlü Bağlayıcı Sınıflarının Belirlenmesi, 18-19 Kasım 2009, 5. Ulusal Asfalt Sempozyumu ve Sergisi, KGM Toplantı Salonu, Ankara. (Doktora tezinden yapılmıştır)

M. Kaya, O. N. Çelik, C. Cömert, 2004, Bitümlü Sıcak Karışımlarda Karıştırma ve Sıkıştırma Sıcaklıklarının Karışımın Statik ve Dinamik Sünme Modülüne Etkisi, 25-26 Kasım 2004, 4. Ulusal Asfalt Sempozyumu ve Sergisi, KGM Toplantı Salonu, Ankara, 314-323. (Yüksek Lisans tezinden yapılmıştır)

M. Kaya, O.N. Çelik, C. Cömert, İ. Topçu, A. Kaya, 2004, Effect of Mixing Temperature on the Properties of Hot Bituminous Mixtures, 6-8 October 2004, 6th International Congress on Advances in Civil Engineering, İstanbul, 1685-1693. (Yüksek Lisans tezinden yapılmıştır)