

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

169307

POLYESTER REÇİNESİNİN BİTÜM VE BİTÜMLÜ SICAK
KARIŞIMLAR ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

HAZIRLAYAN
Mehmet YILMAZ

DANIŞMAN
Yrd.Doç.Dr. Perviz AHMEDZADE

ELAZIĞ
TEMMUZ / 2005

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**POLYESTER REÇİNEİNİN BİTÜM VE BİTÜMLÜ SICAK
KARIŞIMLAR ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Mehmet YILMAZ

Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

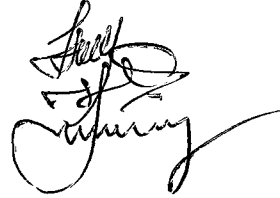
Bu tez, tarihinde aşağıda belirtilen jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile başarılı / başarısız olarak değerlendirilmiştir.

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Perviz AHMEDZADE

Üye: Yrd. Doç. Dr. Tamer ALATAŞ

Üye: Yrd. Doç. Dr. Servet YILDIZ

Üye:



Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 19.08.2005 tarih ve 2005-27/17 sayılı kararıyla onaylanmıştır.

TEŐEKKÖR

Yüksek lisans eğitiminin ilk gününden beri ilgi ve desteğini esirgemeyen danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Perviz AHMEDZADE başta olmak üzere, yüksek lisans ders hocalarım Sayın Prof. Bekir YILDIRIM, Prof. Dr. Necati KULOĞLU ve Doç. Dr. Zülfü Çınar ULUCAN'a, laboratuvar çalışmam boyunca bilgi ve zamanını esirgemeyen Sayın Seyfettin ÇİÇEK'e, malzeme temininde yardımcı olan Sayın A. Şevket GÖR'e ve desteklerini esirgemeyen aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Mehmet YILMAZ



İÇİNDEKİLER	I
ŞEKİLLER LİSTESİ	IV
TABLolar LİSTESİ	VI
SİMGELER LİSTESİ	VII
EKLER LİSTESİ	IX
ÖZET	X
ABSTRACT	XI

1. GİRİŞ	1
2. ESNEK KAPLAMALARIN MODİFİKASYONU	2
2.1. Esnek Kaplamalarda Modifiyerlerin Kullanım Amacı	2
2.2. Esnek Kaplamaların Modifikasyonunda Kullanılan Katkı Maddeleri	4
2.3. Kullanılan Katkı Tiplerinin Esnek Kaplamalar Üzerindeki Etkileri	6
3. BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIMLARDA (BSK) KULLANILAN MALZEMELER	8
3.1. BSK’larda Kullanılan Agregalar	8
3.1.1. Agregaların Fiziksel Özellikleri	8
3.1.1.1. Mineralojik Sınıflandırma	8
3.1.1.2. Boyut Sınıflandırması	8
3.1.1.3. Gradasyon Sınıflandırması	9
3.1.1.4. Biçim Sınıflandırması	11
3.1.1.5. Yüzey Yapısı Sınıflandırması	11
3.1.1.6. Porozite Sınıflandırılması	11
3.1.1.7. Yüzey Alanı ve Boşluk Sınıflandırması	12
3.1.2. Agregalara Uygulanan Deneyler	12
3.1.2.1. Dane Boyutu Deneyi	12
3.1.2.2. Aşınma (Los Angeles) Deneyi	12
3.1.2.3. Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık Deneyi	13
3.1.2.4. Cilalanma Deneyi	13
3.1.2.5. Su Tesirine Karşı Dayanıklılık (Soyulma) Deneyi	13
3.1.2.6. Özgül Ağırlık ve Su Emme Deneyi	14
3.1.2.7. Yassılık ve İnce – Uzunluk İndekslerinin Tayini Deneyi	15

3.2. BSK’larda Kullanılan Bitümlü Bağlayıcılar	15
3.2.1. Asfalt Çimentosunun Özellikleri	15
3.2.1.1. Asfalt Çimentosunun Kimyasal Özellikleri	15
3.2.1.2. AC Katılıklarının Sınıflandırması	16
3.2.1.3. Asfalt Çimentolarının Özgül Ağırlığı	16
3.2.1.4. AC’lerin Hacimsel Genleşmesi	16
3.2.1.5. Asfalt Çimentosunun Isıl Özellikleri	17
3.2.1.6. AC’lerin Reolojik Özellikleri	17
3.2.1.7. Asfalt Çimentoların Isıya Duyarlılığı	17
3.2.1.8. Asfalt Çimentolarının Kohezyonu	18
3.2.1.9. AC’lerin Çekme Dayanımı	18
3.2.1.10. Asfalt Çimentolarının Adezyonu	18
3.2.2. Asfalt Çimentosu Üzerinde Yapılan Deneyler	18
3.2.2.1. Penetrasyon Deneyi	19
3.2.2.2. Yumuşama Noktası Deneyi	19
3.2.2.3. Düktilite Deneyi	20
3.2.2.4. Özgül Ağırlık Deneyi	20
3.2.2.5. Fraas Kırılma Noktası Deneyi	21
4. BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIMLAR	22
4.1. BSK’ların Özellikleri	22
4.1.1. BSK’ların Stabilitesi	22
4.1.2. BSK’ların Rijitliği	22
4.1.3. Bitümlü Sıcak Karışımların Durabilitesi	23
4.1.4. BSK’ların Yorulma Mukavemeti	23
4.1.5. BSK’ların Esnekliği	23
4.1.6. BSK’ların Geçirimsizliği	24
4.1.7. BSK’ların Kayma Direnci	24
4.2. Materyal ve Metod	24
4.2.1. Marshall Karışım Dizayn Metodu	25
4.3. İndirekt Çekme Sertlik Modülü Deneyi	28
4.4 Statik Yüklemeli Sünme Sertliği Deneyi	30

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	31
5.1. Malzeme Özelliklerini Belirlemek Amacıyla Yapılan Deneyler	31
5.1.1. Agregaların Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi	31
5.1.1.1. Agrega Gradasyonunun Belirlenmesi	31
5.1.1.2. Agregaların Özgül Ağırlıklarının ve Su Emme Oranlarının Belirlenmesi	32
5.1.2. Bağlayıcılar Üzerinde Yapılan Deneyler	33
5.1.2.1. Penetrasyon Deney Sonuçları	33
5.1.2.2. Yumuşama Noktası Deney Sonuçları	34
5.1.2.3. Düktilite Deney Sonuçları	35
5.1.2.4. Özgül Ağırlık Deney Sonuçları	35
5.1.2.5. Fraas Kırılma Noktası Deney Sonuçları	36
5.2. Karışımlar Üzerinde Yapılan Deneyler	37
5.2.1. Optimum Bitüm İçeriklerinin (OBİ) Belirlenmesi	37
5.2.2. İndirekt Çekme Sertlik Modülü Deney Sonuçları	50
5.2.3. Statik Yüklemeli Sünme Sertliği Deney Sonuçları	52
6. MALİYET HESABI	54
7. SONUÇ	55
KAYNAKLAR	56
EKLER	

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Uygulanan statik yük sonucu oluşan gerilme ve deformasyonların zamana bağlı olarak değişimi	2
Şekil 2.2. Uygulanan dinamik yük sonucu oluşan gerilme ve deformasyonların zamana bağlı olarak değişimi	3
Şekil 3.1. Agregaların Gradasyon Sınıflandırılması	9
Şekil 3.2. Maksimum boyutu 3/4" olan Superpave Gradasyon Limitleri	10
Şekil 3.3. Penetrasyon Deney aleti	19
Şekil 3.4. Yumuşama Noktası Deneyi	19
Şekil 3.5. Düktilite Deneyi	20
Şekil 3.6. Frass Kırılma Deneyi İçin Numunenin Hazırlanması	21
Şekil 3.7. Fraas Deney Aleti ve Soğutucu	21
Şekil 3.8. Numunelerde Meydana Gelen Çatlaklar	21
Şekil 4.1. Karıştırıcı	25
Şekil 4.2. Marshall Tokmağı	25
Şekil 4.3. Marshall Stabilite ve Akma Aleti	27
Şekil 4.4. Temsili Marshall Karışım Dizayn Grafikleri	27
Şekil 4.5. İÇSM Aletinde Uygulanan Yük ve Deformasyonun Zamanla Değişimi	28
Şekil 4.6. İÇSM Aleti	29
Şekil 4.7. İndirekt Çekme Aletine Numunelerin Yerleştirilmesi	29
Şekil 4.8. Statik Yükleme Sünme Sertliği Deney Aleti	30
Şekil 4.9. Numunelerin SYSS Deney Aletine Yerleştirilmesi	30
Şekil 5.1. Kullanılan Agrega Gradasyon Grafiği	32
Şekil 5.2. Yumuşama Noktası Aleti Deney Sonu Ekranı	34
Şekil 5.3. Fraas Kırılma Noktası Aleti Deney Sonu Ekranı	36
Şekil 5.4. AC 75/100 Kullanılan Numunelerde Stabilite - % Bitüm İlişkisi	39
Şekil 5.5. AC 75/100 Kullanılan Numunelerde D_p - % Bitüm İlişkisi	39
Şekil 5.6. AC 75/100 Kullanılan Numunelerde V_h - % Bitüm İlişkisi	39
Şekil 5.7. AC 75/100 Kullanılan Numunelerde V_f - % Bitüm İlişkisi	40
Şekil 5.8. AC 75/100 Kullanılan Numunelerde VMA - % Bitüm İlişkisi	40
Şekil 5.9. AC 75/100 Kullanılan Numunelerde Akma - % Bitüm İlişkisi	40
Şekil 5.10. AC 100/150 Kullanılan Numunelerde Stabilite - % Bitüm İlişkisi	42

Şekil 5.11. AC 100/150 Kullanılan Numunelerde D_p - % Bitüm İlişkisi	42
Şekil 5.12. AC 100/150 Kullanılan Numunelerde V_h - % Bitüm İlişkisi	42
Şekil 5.13. AC 100/150 Kullanılan Numunelerde V_f - % Bitüm İlişkisi	43
Şekil 5.14. AC 100/150 Kullanılan Numunelerde VMA - % Bitüm İlişkisi	43
Şekil 5.15. AC 100/150 Kullanılan Numunelerde Akma - % Bitüm İlişkisi	43
Şekil 5.16. PR Katkılı Bağlayıcı Kullanılan Numunelerde Stabilite - % Bitüm İlişkisi	45
Şekil 5.17. PR Katkılı Bağlayıcı Kullanılan Numunelerde D_p - % Bitüm İlişkisi	45
Şekil 5.18. PR Katkılı Bağlayıcı Kullanılan Numunelerde V_h - % Bitüm İlişkisi	45
Şekil 5.19. PR Katkılı Bağlayıcı Kullanılan Numunelerde V_f - % Bitüm İlişkisi	46
Şekil 5.20. PR Katkılı Bağlayıcı Kullanılan Numunelerde VMA - % Bitüm İlişkisi	46
Şekil 5.21. PR Katkılı Bağlayıcı Kullanılan Numunelerde Akma - % Bitüm İlişkisi	46
Şekil 5.22. Üç Farklı Bağlayıcı ile OBİ'de Hazırlanan Numunelerin Stabilite Kıyası	48
Şekil 5.23. Üç Farklı Bağlayıcı ile OBİ'de Hazırlanan Numunelerin Özgül Ağırlık Kıyası	48
Şekil 5.24. Üç Farklı Bağlayıcı ile OBİ'de Hazırlanan Numunelerin Boşluk Oranı Kıyası	48
Şekil 5.25. Üç Farklı Bağlayıcı ile OBİ'de Hazırlanan Numunelerin Asfaltla Dolu Boşluk Oranı Karşılaştırması	49
Şekil 5.26. Üç Farklı Bağlayıcı ile OBİ'de Hazırlanan Numunelerin Agregalar Arası Boşluk Oranı Karşılaştırması	49
Şekil 5.27. Üç Farklı Bağlayıcı ile OBİ'de Hazırlanan Numunelerin Akma Miktarlarının Karşılaştırması	49
Şekil 5.28. 0 °C sıcaklıkta Elde Edilen İÇSM Değerlerinin Karşılaştırılması	51
Şekil 5.29. 20 °C sıcaklıkta Elde Edilen İÇSM Değerlerinin Karşılaştırılması	51
Şekil 5.30. 40 °C sıcaklıkta Elde Edilen İÇSM Değerlerinin Karşılaştırılması	51
Şekil 5.31. 40 °C sıcaklıkta Elde Edilen SYSS Değerlerinin Karşılaştırılması	53
Şekil 5.32. 60 °C sıcaklıkta Elde Edilen SYSS Değerlerinin Karşılaştırılması	53

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Karışma Eklenen Katkı Maddeleri	4
Tablo 2.2. Bağlayıcıya Eklenen Katkı Maddeleri	4
Tablo 2.3. K.G.M. Modifiye Bitüm Şartname Limitleri	5
Tablo 2.4. Farklı Tipteki Modifiyerlerin Faydaları	6
Tablo 3.1. Ülkemizde Kullanılan AC'lerin Yeni Penetrasyon Sınıflandırması	16
Tablo 5.1. Kullanılan Agregada Gradasyonu	31
Tablo 5.2. Kullanılan Agregaların Genel Özellikleri	33
Tablo 5.3. Penetrasyon Değerleri	33
Tablo 5.4. Yumuşama Noktası Değerleri	34
Tablo 5.5. Düktilite Değerleri	35
Tablo 5.6. Bulunan Bağlayıcı Özgöl Ağırlıkları	35
Tablo 5.7. Fraas Kırılma Noktası Deney Sonuçları	36
Tablo 5.8. AC 75 / 100 Kullanılarak Hazırlanan Numunelerin Özgöl Ağırlık ve Marshall Deney Sonuçları	38
Tablo 5.9. AC 100/150 Kullanılarak Hazırlanan Numunelerin Özgöl Ağırlık ve Marshall Deney Sonuçları	41
Tablo 5.10. PR Katkılı Bağlayıcı Kullanılarak Hazırlanan Numunelerin Özgöl Ağırlık ve Marshall Deney Sonuçları	44
Tablo 5.11. Optimum Bağlayıcı Oranlarının Tespitinde Kullanılan Değerler	47
Tablo 5.12. OBİ'de Hazırlanmış Numunelerin 0 °C Sıcaklıkta İÇSM Değerleri	50
Tablo 5.13. OBİ'de Hazırlanmış Numunelerin 20 °C Sıcaklıkta İÇSM Değerleri	50
Tablo 5.14. OBİ'de Hazırlanmış Numunelerin 40 °C Sıcaklıkta İÇSM Değerleri	50
Tablo 5.15. OBİ'de Hazırlanmış Numunelerin 40 °C Sıcaklıkta SYSS Değerleri	52
Tablo 5.16. OBİ'de Hazırlanmış Numunelerin 60 °C Sıcaklıkta İÇSM Değerleri	52
Tablo 6.1. Karışım İçerisindeki Bağlayıcı Oranları	54

SİMGELER LİSTESİ

G_k	: Kaba Agreganın Özgöl Ağırlığı
m_k	: Kaba Agreganın Su Emme Yüzdesi
G_i	: İnce Agreganın Özgöl Ağırlığı
m_i	: İnce Agreganın Su Emme Yüzdesi
G_f	: Filler Malzemesinin Özgöl Ağırlığı
V	: Karışım Numunesinin Hacmi
B	: Karışım Numunesinin Doygun Kuru Yüzey Ağırlığı
C	: Karışım Numunesinin Sudaki Ağırlığı
A	: Karışım Numunesinin Havadaki Ağırlığı
D_p	: Karışım Numunesinin Pratik Özgöl Ağırlığı
$D_{p\text{ ort}}$	: Karışım Numunelerinin Pratik Özgöl Ağırlıkları Ortalaması
$D_{p\text{ n}}$	: n. Karışım Numunesinin Pratik Özgöl Ağırlığı
W_a	: Agreganın İçerisindeki Bağlayıcı Yüzdesi
M_a	: Karışım İçindeki Agreganın Miktarı (gr)
M_b	: Karışım İçindeki Bağlayıcı Miktarı (gr)
W_b	: Karışım İçindeki Bağlayıcı Yüzdesi
G_{ag}	: Agreganın Karışımının Özgöl Ağırlığı
G_b	: Bağlayıcının Özgöl Ağırlığı
P_k	: Agreganın Karışımı İçindeki Kaba Agreganın Yüzdesi
P_i	: Agreganın Karışımı İçindeki İnce Agreganın Yüzdesi
P_f	: Agreganın Karışımı İçindeki Filler Yüzdesi
D_T	: Karışımın Teorik Özgöl Ağırlığı
V_h	: Karışımındaki Boşluk Yüzdesi
V_b	: Karışımındaki Bağlayıcı Yüzdesi
V_a	: Karışımındaki Agreganın Yüzdesi
VMA	: Agregalar Arası Boşluk Oranı
V_f	: VMA'nın Bağlayıcıyla Doluluk Oranı
S_t	: Çekme Gerilmesi (kPa)
E	: Sertlik Modülü (MPa)
L	: Numune Yüksekliği (mm)
D	: Numune Çapı (mm)
F	: Uygulanan Yükleme Sınır Değeri (N)

- R** : Poisson oranı
- H** : Yatay deformasyon
- ϵ_r** : Sünme
- ϵ_{ct}** : t süresince oluşan toplam eksenel deformasyon
- L_1** : Ön yüklemeden sonraki başlangıç referans yerdeğişim
- L_2** : t süresi sonunda duyargalarda meydana gelen yer değışim miktarı
- G** : Numunenin ilk yüksekliğı
- σ** : Uygulanan Düşey Gerilme
- F** : Uygulanan Düşey Kuvvet
- A** : Numunenin kesit alanı
- E_{ct}** : t süresi sonunda numunenin sünme sertliğı veya modülü
- $F_{AC\ 75/100}$** : 1 ton karışımında AC 75/100 bitümüne harcanan tutar
- $F_{AC\ 100/150}$** : 1 ton karışımında AC 100/150 bitümüne harcanan tutar
- $F_{karışım}$** : AC 75/100 bitümüne % 0,75 oranında polyester reçine katılmasıyla elde edilen bağlayıcının 1 tonunun fiyatı
- F_{mb}** : 1 ton karışımında, AC 75/100 bitümüne % 0,75 oranında polyester reçine ilave edilmesiyle elde edilen bağlayıcıya harcanan miktar.

EKLER LİSTESİ

Ek – 1 : Superpave Gradasyon Limitleri

Ek – 2 : Marshall Düzeltme Faktörleri

Ek – 3 : Marshall Hesabı



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

POLYESTER REÇİKENİN BİTÜM VE BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIMLAR ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Mehmet YILMAZ

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

2005, Sayfa :57

Bu çalışmada, katkı maddesi olarak kullanılan polyester reçinenin (PR) bitüm ve bitümlü sıcak karışımlar üzerindeki etkileri araştırılmıştır. AC 75/100 bitümü ve çeşitli oranlarda polyester reçine kullanılarak elde edilen karışımlar üzerinde bağlayıcı deneyleri yapılmıştır. Penetrasyon deneyi sonuçlarından, AC 100/150 bitümü ile aynı kıvamda bir bağlayıcının % 0,75 oranında PR kullanılmasıyla elde edildiği belirlenmiştir. AC 75/100, AC 100/150, AC 75/100 + % 0,75 PR bağlayıcıları kullanılan numunelerin Marshall karışım dizaynına göre optimum bağlayıcı içerikleri bulunmuştur. Optimum bağlayıcı içeriklerinde yapılan karışım numuneleri üzerinde Marshall Stabilite, indirekt çekme sertlik modülü ve statik yüklemeli sünme sertliği deneyleri yapılmıştır. Sonuç olarak AC 75/100 + % 0,75 PR katkılı bağlayıcının, karışımın stabilitesini ve indirekt çekme sertlik modülünü arttırdığı, statik yüklemeli sünme sertliğini ise azalttığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Polyester Reçine, Marshall Stabilite, İndirekt Çekme Sertlik Modülü, Statik Yüklemeli Sünme Sertliği, Fraas Kırılma Noktası.

ABSTRACT

Master Thesis

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF POLYESTER RESIN ON THE BITUMEN AND BITUMEN HOT – MIXES

Mehmet YILMAZ

Fırat University

Graduate School of Natural and Applied Science

Department of Civil Engineering

2005, Page :57

In this study, polyester resin (PR) that used like additional material was investigated effects on bitumen and bitumen hot – mixes. Binder tests were done on mixes that obtained AC 75/100 and various proportion polyester resin. From obtained penetration values, AC 100/150 bitumen same class a binder was supplied from mixes that used AC 75/100 bitumen and % 0,75 ratio PR. Samples' optimum binder content that used AC 75/100, AC 100/150, AC 75/100 + % 0,75 ratio PR binders were determined according to Marshall mix design. Marshall stability, indirect tensile stiffness modülüs and static loading creep stiffness tests were done on the mix samples that had optimum bitumen content. Test results have shown that AC 75/100 + % 0,75 ratio PR binder was increased Marshall stability and indirekt tensile stiffness modülüs and it was reduced static loading creep stiffness.

Key Words : Polyester Resin, Marshall Stability, Indirekt Tensile Stiffness Modülüs, Static Loading Creep Stiffness, Fraas Breaking Point.

1. GİRİŞ

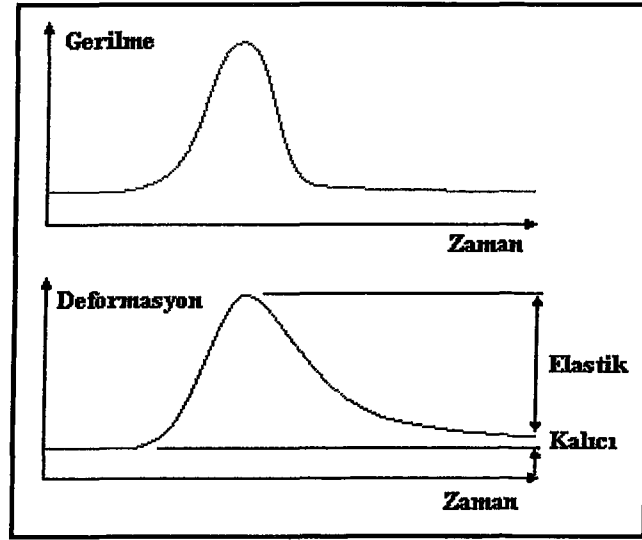
Kaplama tabakasında kullanılan bağlayıcı cinsine göre yol üstyapıları; esnek, rijit ve kompozit olarak üç ana sınıfa ayrılmaktadır. Bağlayıcı olarak bitümlü malzeme kullanılan üstyapı çeşidine, esnek yol üstyapısı denilmektedir. Esnek yol üstyapıları, alttan üste doğru alttemel, temel ve kaplama tabakalarından oluşmaktadır. Üstyapı içerisindeki her bir tabakanın görevi, çeşitli iklim şartlarında, uygulanan gerilmeleri kendi bünyesi içerisinde deformasyona maruz kalmadan bir alt tabakaya aktarmaktır. Bu tabakalarda kullanılan malzemelerin mekanik ve fiziksel özellikleri, karşıladıkları gerilmelere bağlı olarak aşağıdan yukarıya doğru artmaktadır. Buna bağlı olarak, her bir tabakanın maliyeti de altındaki tabakaya göre daha yüksek olmaktadır [1].

Esnek kaplamalar, uygulandıkları yolların trafik hacimlerine göre; yüzeysel, macadam, road-mix, plant-mix ve beton asfalt gibi çeşitli şekillerde yapılabilmektedir. Bitüm ve agreganın her ikisinin de ısıtılıp karıştırılmasıyla elde edilen karışımlara bitümlü sıcak karışımlar (BSK) denilmektedir. Bu karışım yöntemiyle yapılan kaplamalar içerisinde en yüksek performansı beton asfalt kaplamalar göstermektedir. Beton asfalt kaplamalar, binder tabakası ve bu tabakanın üzerine uygulanan aşınma tabakasından oluşmaktadır.

İlerleyen teknolojiye bağlı olarak, ağır taşıtların geliştirilmesi ve bu taşıt sayılarındaki artış, yolların servis kabiliyetinin azalmasına ve rehabilitasyon tarihinden daha önce bakım yapılmasına neden olmaktadır. Bu bozulmaların giderilmesi ve ilerleyen dönemde kaplamanın gelen yükleri taşıyabilmesi amacıyla kaplamanın kalınlığını arttırmak bu olumsuzlukları ortadan kaldırmakta fakat toplam maliyetin yükselmesine neden olmaktadır. Katkı maddeleri kullanarak karışımın özelliklerinin iyileştirilmesi bu ek maliyeti ortadan kaldırmanın bir yoludur. Karayollarında yük taşımacılığının %92, yolcu taşımacılığının ise %95 seviyelerinde olduğu ülkemizde, yeni teknolojik gelişmelerin takip edilmesi ve uygulanması önem arz etmektedir [2].

Bu tez çalışmasında, polyester reçinenin asfalt betonu üzerine etkisi araştırılmıştır. AC 75/100 bitümüne % 0,75 oranında polyester reçine (PR) ilave edilerek AC 100/150 bitümü ile aynı katılıkta bir bağlayıcı elde edilmiştir. AC 75/100, AC 100/150 ve % 0,75 PR katkılı bağlayıcı kullanılarak yapılan optimum bitüm içeriklerindeki Marshall numunelerinin stabilite ve akma karşılaştırması yapılmıştır. Ayrıca bu üç çeşit bağlayıcı kullanılarak yapılan optimum bitüm içeriğine sahip Marshall numunelerinin indirekt çekme sertlik modülleri ve sünme sertlikleri karşılaştırılmıştır.

Sonuç olarak, geri kazanılamayan ve doğrudan viskoz davranışın sebep olduğu bir miktar kalıcı deformasyon meydana gelmektedir.



Şekil 2.2. Uygulanan dinamik yük sonucu oluşan gerilme ve deformasyonların zamana bağlı olarak değişimi [3]

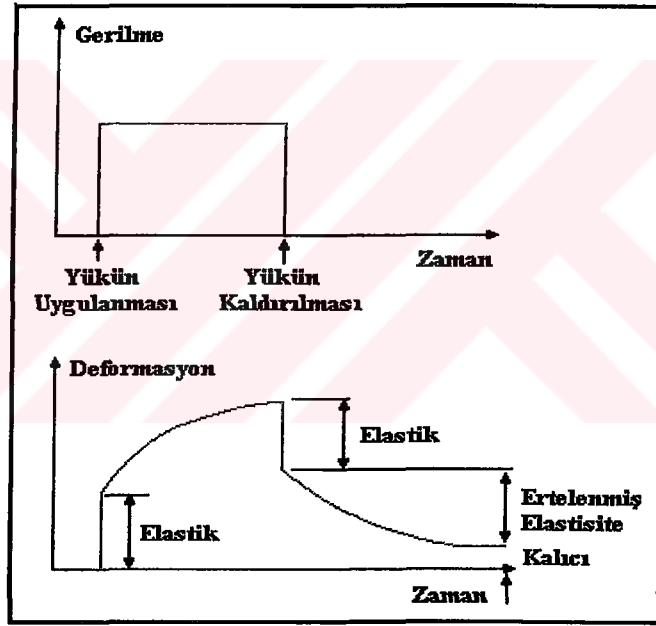
Şekil 2.2’de, bitümlü sıcak karışımların hareketli trafik yüklerine karşı davranışı görülmektedir. Deformasyon - zaman grafiğinde, her ne kadar yükün etkisinden önce ve sonra deformasyon değerleri aynı gibi görülse de çok küçük miktarlarda da olsa kalıcı deformasyonlar meydana gelmektedir. Sadece bir tekerlek yükü için tanımlanan küçük deformasyonlar, milyonlarca tekerlek yükü tekrarı sonucunda kaplama yapısında büyük bozulmalara sebep olmaktadır.

Bitüm modifiyerlerin başlıca görevlerinden biri, bitümün veya BSK’nın farklı sıcaklıklardaki özelliklerine aksi tesirde bulunmadan, yüksek sıcaklık değerlerinde kalıcı deformasyon oluşumuna karşı dayanımı arttırmaktır. Bunun için birinci yol, BSK’nın toplam visko-elastik deformasyonunu azaltmak amacıyla bitümü sertleştirmek, ikinci yol ise bitüm içerisindeki toplam viskoz öge oranını azaltmak amacıyla elastik ögelerin oranını arttırmaktır. Bitüm sertliğinin artırılması, aynı zamanda BSK’nın da sertliğinin artmasını sağlamaktadır. Bu sayede kaplama yapısı dayanımında, malzemelerin yük dağıtma yeteneğinde ve kaplamadan hedeflenen dizayn ömründe artış elde edilebilmektedir. Aynı etki kaplama tabakaları kalınlıklarının artırılmasıyla da elde edilebilmektedir. Fakat bu yöntem ilk inşaat masrafının yüksek olmasına neden olmaktadır. Bitüm bünyesindeki elastik öge oranının yükseltilmesi, çekme deformasyonu bakımından önemli olan kaplama esnekliğinde artış sağlamaktadır [3].

2. ESNEK KAPLAMALARIN MODİFİKASYONU

2.1. Esnek Kaplamalarda Modifiyerlerin Kullanım Amacı

Esnek yol kaplamalarında bağlayıcı olarak kullanılan bitüm, reolojik yapı olarak visko-elastik özellik göstermektedir. Başta çatlama ve kalıcı deformasyon dayanımı olmak üzere, yol performansının bir çok parametresinde büyük rol oynayan bitüm, asfalt karışımlarında visko-elastik özellik göstermesine sebep olmaktadır. Genel olarak, asfalt kaplama yapısında oluşan deformasyon miktarı, yükleme süresine ve sıcaklık değerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Şekil 2.1 ve Şekil 2.2 esnek kaplamalara uygulanan yük sonucunda oluşan gerilme ve deformasyonların zamanla değişimini göstermektedir [3].



Şekil 2.1. Uygulanan statik yük sonucu oluşan gerilme ve Deformasyonların zamana bağlı olarak değişimi [3]

Şekil 2.1’de görüldüğü gibi; yükün etki etmesiyle oluşan ani tepkiyi (deformasyonu), yük kaldırılınca kadar dereceli olarak artan deformasyon takip etmektedir. Zamana bağlı olarak deformasyonda meydana gelen bu değişim malzemenin visko-elastik özelliğinden kaynaklanmaktadır. Yükün kaldırılmasıyla elastik deformasyon ani olarak geri dönmekte ve zamanla ‘ertelenmiş elastisite’ adı verilen bir kısım geri dönüşüm daha elde edilmektedir.

2.2. Esnek Kaplamaların Modifikasyonunda Kullanılan Katkı Maddeleri

Kaplama yapılarında kullanılan malzemelerin özelliklerini iyileştirerek veya bazı özel maddeleri ilave ederek karışımların modifiye edilmesiyle performansı arttırmak mümkün olmaktadır. Modifikasyon işlemi, katkıların belirli oranlarda ve şartlarda bağlayıcı içerisine veya karışım plentinde bitümlü karışım içerisine katılmasıyla yapılmaktadır. Bu şekilde modifiye edilen bitüme ‘modifiye bitüm’, katkı maddesine ise ‘modifiyer’ denilmektedir. Bitümün modifiye edilmesi yönteminde, bu işlem için genellikle ilave ekipmanlar gerekmekte ayrıca hazırlanan modifiye bitümün depolanması, taşınması gibi sorunlar ortaya çıkarken karışımın modifiye edilmesi yönteminde bu problemler görülmemektedir. Tablo 2.1, esnek kaplamaların modifikasyonunda kullanılan karışıma eklenen katkıları [4], Tablo 2.2 ise bağlayıcıya eklenen katkıların sınıflarını ve örneklerini göstermektedir [5].

Tablo 2.1. Karışıma Eklenen Katkı Maddeleri [4]

KATKI MADDESİ TİPİ	ÖRNEKLER
Filler	Kireç, Siyah Karbon, Uçucu Kül
Soyulmayı Önleyiciler	Organik Aminler ve Amidler
Genleştirici Katkılar	Lignin, Sülfür
Oksidasyonu Önleyici Katkılar	Çinko ve Kurşun Oksidasyon Önleyiciler, Fenolinler

Tablo 2.2. Bağlayıcıya Eklenen Katkı Maddeleri [5]

KATKI MADDESİ TİPİ	ÖRNEKLER
Termoplastik Elastomerler	Stiren-Butadiyen-Stiren (SBS), Stiren-Butadiyen-Kauçuk (SBR), Stiren-İsopren-Stiren (SIS), Stiren-Etilen-Butadiyen-Stiren (SEBS), Etilen-Propilen-Dien Terpolimer (EPDM), İsobuten-İsopren Kopolimer (IIR), Doğal Kauçuk, Polibutadiyen (PBD), Polisopren, İşlenmiş kauçuk
Termoplastik Polimerler (Plastomerler)	Etilen Vinil Asetat (EVA), Etilen Metil Akrlat (EMA), Etilen Bütil Akrlat (EBA), Ataktik Polipropilen (APP), Polietilen (PE), Polipropilen (PP), Polivinil Klorid (PVC), Polisitiren (PS)
Termosetling Polimerler	Polyester Reçine, Epoxy Reçine, Poliüretan Reçine, Akrilik Reçine, Fenolik Reçine,
Kimyasal Modifiyerler	Organo-Metalik Bileşikler, Sülfür, Lignin
Lifler	Selüloz, Amino-Magnezyum Silikat, Cam Lif, Asbest

Modifikasyonda kullanılacak katkı maddelerinin tercih edilmeleri ve uygulamada etkili malzeme olabilmesi için sağlamaları gereken koşullar aşağıda maddeler halinde verilmiştir [3].

- Kolay elde edilebilmelidir.
- Asfalt karışım sıcaklığında özelliklerini kaybetmemelidir.
- Bitüm ile homojen bir şekilde karışabilmelidir.
- Yüksek yol sıcaklıklarında akışkanlığa karşı direnci arttırmalıdır.
- Düşük sıcaklıklarda ise asfaltın çok kırılgan veya sert olmamasını sağlamalıdır.
- Ekonomik olmalıdır.

Karayolları Genel Müdürlüğü (K.G.M.) tarafından belirtilen modifiye bitümlerin şartname limitleri Tablo 2.3’de verilmiştir [6].

Tablo 2.3. K.G.M. Modifiye Bitüm Şartname Limitleri [6]

Sıra No	Deney Adı	Standard	Şartname Limitleri			
			Tip - 1	Tip - 2	Tip - 3	Tip - 4
1	Penetrasyon (25 °C), 0,1 mm min.	EN 1426	20	20	40	60
2	Düktilite (25 °C), cm min.	ASTM D113	10	60	80	100
3	Yumuşama Noktası (R/B), °C	EN 1427	65-75	65-75	60-70	50-60
4	Fraas Kırılma Noktası, °C min.	EN 12593	-8	-12	-15	-20
5	Elastik Geri Dönme (25 °C), % min.	PrEN 13398	25	50	50	50
6	Parlama Noktası, °C min.	EN 22592	200	200	200	200
7	Özgül Ağırlık	ASTM D70	1,0-1,1	1,0-1,1	1,0-1,1	1,0-1,1
8	Depolama Stabilitesi					
8.1	Yumuşama Noktası Farkı, °C maks.	PrEN 13399	4	4	4	4
8.2	Penetrasyon Farkı, °C maks.		5	5	8	8
9	Sertleşmeye Karşı Direnç	EN 12607-2				
9.1	-Kütle Kaybı, % maks.		1	1	1	1
9.2	-Yumuşama Noktasındaki artma, °C maks.	EN 1427	7	7	7	7
	-Yumuşama Noktasındaki azalma, °C maks.		2	2	2	2
9.3	-Penetrasyondaki azalma, % maks.	EN 1426	40	40	40	40
	-Penetrasyondaki artma, % maks.		10	10	10	10
9.4	-Düktilite (25 °C), cm min.	ASTM D113	5	30	50	80
9.5	-Elastik Geri Dönme (25 °C), % min.	PrEN 13398	25	50	50	50

2.3. Kullanılan Katkı Tiplerinin Esnek Kaplamalar Üzerindeki Etkileri

Tablo 2.4, bitüm ve bitümlü kaplamaların modifikasyonunda kullanılan katkı maddelerini ve etki ettikleri yapısal bozulma şekillerini göstermektedir [3].

Tablo 2.4. Farklı Tipteki Modifiyerlerin Faydaları [3]

Modifiyer	Kalıcı Deformasyon	Termal Çatlama	Yorulma Çatlağı	Nem Hasarı	Yaşlanma
Elastomerler [7]	+	+	+		+
Plastomerler [8]	+				
İşlenmiş Kauçuk [9]		+	+		
Siyah Karbon [10]	+				+
Kireç [11]					+
Sülfür [12]	+				
Kimyasal Modifiyerler	+				
Antioksidanlar					+
Adezyon Arttırıcılar				+	+
Hidrate Kireç [13]				+	+

Khattak ve Baladi (1998), polimer modifiyeli asfalt karışımların mühendislik özelliklerini incelemişlerdir. SBS ve SEBS katkılı karışımların elastikiyet, yorulma, çekme ve kalıcı deformasyon özellikleri araştırılmıştır. % 5 oranında katılan SBS ve SEBS'in, 25 °C sıcaklıkta stabiliteyi, çekme dayanımını, sertliği arttırdığı; 60 °C sıcaklıkta çekme dayanımını, sertliği arttırıp düşey deformasyonu azalttığı; -5°C sıcaklıkta ise çekme dayanımını arttırıp sertliği ve düşey deformasyonu azalttığı belirlenmiştir [14].

Airey (2002) yapmış olduğu çalışmada; EVA polimer modifiyeli bitümün etkilerini araştırmıştır. Farklı üç kaynaktan elde ettiği modifiyerler ile üç ayrı polimer içeriğinde dokuz ayrı bağlayıcı gurubu oluşturmuştur. Yaptığı deneyler sonucunda EV polimer modifikasyonunun yüksek servis sıcaklıklarında ve düşük yükleme hızlarında bağlayıcının sertliğini ve elastikiyetini arttırdığını saptamıştır [15].

Daly ve ekibi (1993) yapmış oldukları çalışmada; polietilen kullanılan modifiye bağlayıcıların karakterizasyonunu araştırmışlardır. Atıklardan elde edilen farklı tür polietilenler iki çeşit asfalt çimentosuna (AC) eklenerek sünme ve düşük sıcaklık çatlaklarına karşı dayanım incelenmiştir. Asfalt – polietilen karışımların katkısız asfalt karışımlara göre daha rijit oldukları tespit edilmiştir [16].

Stuart (1993), kimyasal modifiyerler kullanarak yapmış olduğu çalışmada, bitüme % 1,5 oranında krom trioksit (CrO_3), % 6 oranında maleik anhidrit (MAH) ve % 0,75 oranında furfural katılarak elde edilen karışımları incelemiştir. Karışımların geri dönüşümü yapılarak elde edilen bağlayıcıların penetrasyon ve viskozite bilgileri belirlenmiş, bu bilgilerden yola çıkarak modifiyeli bitümlerin saf bitüme göre yüksek sıcaklıklarda daha sert, düşük sıcaklıklarda ise daha yumuşak olduğu saptanmıştır [17].

Airey (2003) yapmış olduğu çalışmada; SBS polimer modifiyeli yol bitümlerinin reolojik özelliklerini araştırmıştır. İki farklı bitüme üç değışik oranda SBS eklenmesi ile elde edilen bağlayıcılar üzerinde yapılan deneylerde, SBS oranının arttıkça viskozitenin, penetrasyonun, yumuşama noktasının ve düktilitenin arttığı tespit edilmiştir [18].

Fortier ve Vinson (1998) yapmış oldukları çalışmada; modifiye edilmiş asfalt beton numunelerin yaşlanma performansını ve düşük ısı çatlaklarını incelemiştir. Bu çalışmada, bitüme lateks polimer, etilen akrilat kopolimer, kauçuk tozu, elastomer ve polipropilen – fiber karışımı eklenerek beş ayrı modifiye bağlayıcı elde edilmiştir. Düşük sıcaklıklarda kırış eğilme deneyine tabi tutulan numunelerden sadece lateks polimer ve kauçuk tozu defleksiyonu ve yumuşaklığı arttırmıştır. Yaşlandırılmış numunelerden ise sadece elastomer katkılı karışım düşük ısı çatlaklarına karşı dayanımı arttırmıştır [19].

Rao ve Mazumdar (1993), uçucu külün etkilerini ve kum - asfalt - sülfür kaplama karışımların özelliklerini incelemiştir. Kaliteli kaba agrega bulunmayan yerlerde uygulanabilen kum - asfalt - sülfür karışımların kusurlarından birinin yüksek hava boşluğu olduğunu belirlemiştir. Bu istenmeyen durumu ortadan kaldırmak için karışıma fillerin yerine uçucu kül ilave etmişlerdir. Sonuç olarak, kum - asfalt – uçucu kül – sülfür karışımların yoğun gradasyona sahip beton asfalta göre daha yüksek stabilite değıerlerine ve daha düşük boşluk oranlarına sahip olduğu tespit edilmiştir [20].

Kennedy ve ekibi (1998), atık toner ile modifiye edilen bağlayıcı ve karışımların performans karakteristiklerini araştırmışlardır. Asfalt Çimentosuna farklı oranlarda katılan atık tonerin bağlayıcı ve karışım özellikleri incelenmiş, karışımdaki atık toner miktarı arttıkça sertliğin ve viskozitenin arttığı gözlenmiştir. Ayrıca karışım analizleri yapıldığında toner modifiyeli karışımların, beton asfalt karışımlara göre daha yüksek stabilite gösterdiği saptanmıştır [21].

Zoorob ve Suparna (2000), agrega yerine geri dönüşümü yapılmış plastik kullanılan karışımların özelliklerini araştırmıştır. Agrega yerine aynı boyutta plastik kullanılması, taşıma maliyeti bakımından önemli olan karışım yoğunluğunu azaltmış, stabiliteyi ise % 250 oranına kadar arttırmayı başarmıştır [22].

3. BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIMLARDA (BSK) KULLANILAN MALZEMELER

3.1. BSK’larda Kullanılan Agregalar

Bitümlü sıcak karışımlarda kullanılan agregalar, karışımın ağırlıkça % 90 – 95’ini oluşturmaktadır. Agregaların ve agrega – bağlayıcı karışımların özellikleri, kaplamanın ömrüne, dayanımına ve performansına doğrudan etki etmektedir. Agregaların beklenen görevleri yerine getirebilmesi için belirli mekanik ve fiziksel özelliklere sahip olması gerekmektedir [23].

3.1.1. Agregaların Fiziksel Özellikleri

Agregaların fiziksel özelliklerini tespit etmek amacıyla; mineralojik, boyut, gradasyon, biçim, yüzey yapısı, porozite, özgül ağırlık, yüzey alanı ve boşluk oranı sınıflandırmaları yapılmakta ve bu sınıflandırmalara göre agregaların uygun olup olmadıkları belirlenmektedir.

3.1.1.1. Mineralojik Sınıflandırma

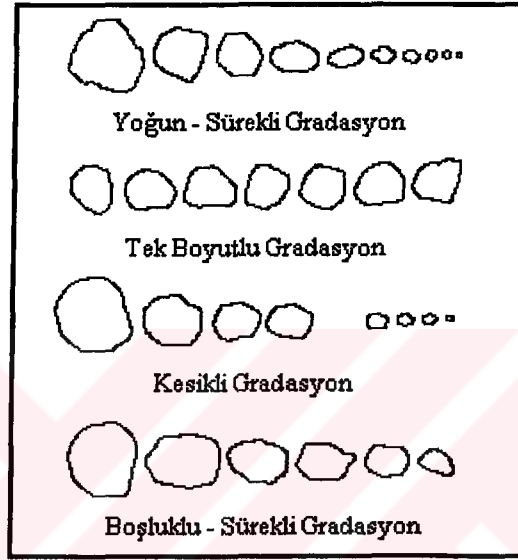
Agregalar genel olarak; dere malzemesi, kırmataş ve yapay taşlardan elde edilmektedir. Dere malzemeleri, sahip oldukları olumsuz özelliklerden dolayı alttemel hariç yol kaplamalarında kullanılmamaktadır. Yapay taşlar ise genellikle yüksek fırın cürufurundan elde edilmektedir. Yol kaplamalarında kullanılacak en ideal agrega, kayaların kırılması ile elde edilen kırmataş mineral agregalardır [23].

3.1.1.2. Boyut Sınıflandırması

Agregalar boyut bakımından; kaba, ince ve filler olarak sınıflandırılmaktadır. No: 4 (4,76 mm) eleğin üzerinde kalan kaba agrega, No: 4 elekten geçip No: 200 (0,075 mm) eleğin üzerinde kalan ince agrega ve No: 200 elekten geçen malzeme ise filler olarak isimlendirilir. Maksimum dane boyutu, malzemenin tamamının geçtiği minimum elek açıklığı olarak tanımlanmaktadır. Kaba agrega karışımın ana iskeletini oluştururken ince agrega ve filler bu iskeletin arasındaki boşlukları doldurarak daha yoğun bir karışım elde edilmesini sağlamaktadır [23].

3.1.1.3. Gradasyon Sınıflandırması

Gradasyon, agregat harmanını oluşturan danelerin boyutlarına göre dağılımını ifade etmektedir. Gradasyonundaki maksimum dane boyutu arttıkça işlenebilirlik ve sıkışma zorlaşmakta, segregasyon artmakta, yoğunluk ve stabilite artarken bağlayıcı ihtiyacı azalmaktadır. Agregat Gradasyon yönünden kesikli, yoğun – sürekli, boşluklu – sürekli ve tek boyutlu gradasyon olarak dört sınıfa ayrılmaktadır (Şekil 3.1) [23].

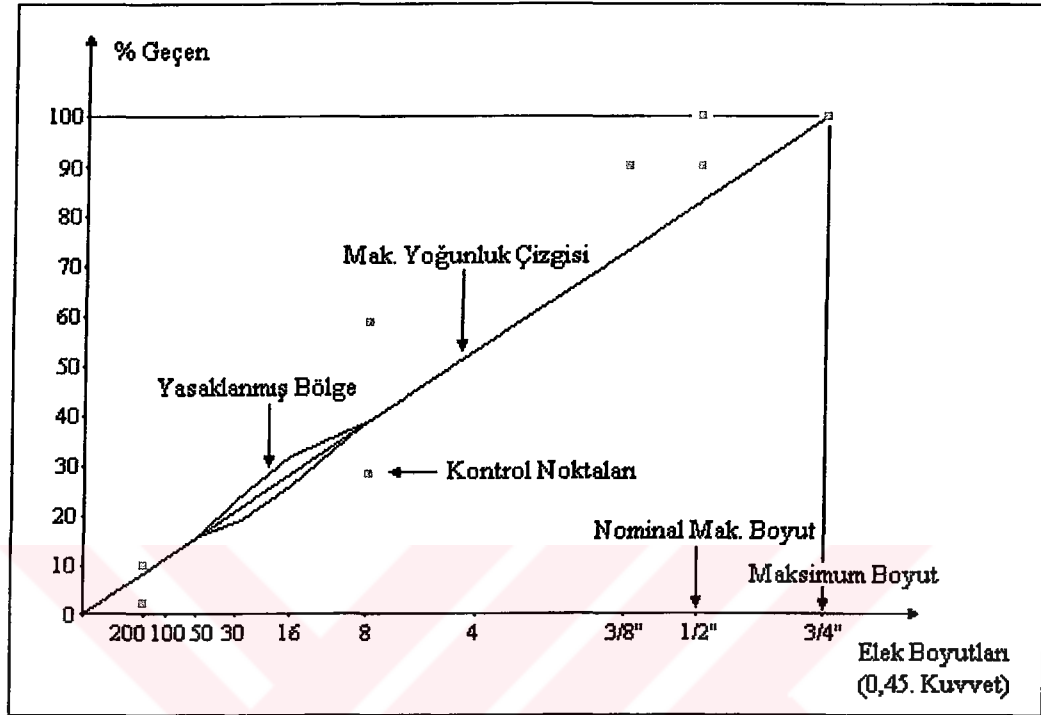


Şekil 3.1. Agregaların Gradasyon Sınıflandırılması [23]

Kesikli gradasyon, belirli aralıktaki dane çaplarını ihtiva etmediğinden boşluk miktarı fazladır. Yol kaplamalarında genel olarak kullanılmamaktadır. Yaklaşık olarak aynı boyuta sahip agregalardan oluşan tek boyutlu gradasyon ise sathi kaplama gibi düşük standartlı yol kaplamalarında kullanılmaktadır. Boşluklu – sürekli gradasyon, ince agregat ihtiva etmediğinden agregat karışımının boşluk oranı oldukça yüksektir. Bu tip, filtre ve drenaj malzemesi olarak kullanılabilir. Yoğun – sürekli gradasyon, maksimum yoğunluk ve minimum boşluk ihtiva eder. Bu tip, karışımın yoğunluğunu arttırmanın yanında geçirimsizliğin azalmasını sağlamaktadır. Yoğun – sürekli gradasyon, bitümlü sıcak karışımlarda tercih edilen gradasyon sınıfıdır.

Asfalt karışım tasarımında yeni bir yaklaşım olan Superpave, farklı bir gradasyon yapısı sunmaktadır. Bu yeni sistemde maksimum yoğunluktaki karışımı tespit etmek amacıyla gradasyon grafiğinin yatay ekseninde bulunan elek açıklıklarının 0,45. kuvveti dikkate alınmaktadır. Superpave gradasyon sisteminde maksimum boyut, nominal maksimum boyut,

maksimum yoğunluk çizgisi, yasaklanmış bölge ve kontrol noktaları terimleri kullanılmaktadır. Şekil 3.2, maksimum dane boyutu 3/4" için Superpave gradasyon limitlerini göstermektedir.



Şekil 3.2. Maksimum boyutu 3/4" olan Superpave Gradasyon Limitleri [23]

Nominal maksimum boyut, üzerinde toplam % 10'dan daha fazla malzemenin kaldığı ilk elek boyutundan bir boyut büyük olan elek çapıdır. Maksimum boyut ise nominal maksimum boyuttan bir boyut büyük olan elek çapıdır. Kontrol noktaları, gradasyon eğrisinin geçmek zorunda olduğu hattı belirlemektedir. Bu noktalar, nominal maksimum elek, orta elek (2,36 mm.) ve en küçük boyutlu elekte belirlenmiştir.

Maksimum yoğunluk çizgisi, orjinden maksimum agrega boyutunun % 100 geçen noktasına çizilen doğru ile elde edilmektedir. Bu çizgiye yakın gradasyonlarda, agregalar arasında bitümün girebileceği yeterli boşluk oluşmamakta, yetersiz bağlayıcı sebebiyle de kaplamanın durabilitesinde azalma meydana gelmektedir.

Yasaklanmış bölge, gradasyon eğrisinin geçmemesi gereken bant şeklinde bir bölgeyi temsil etmektedir. Yasaklanmış bölge, 2,36 mm. ve 0,3 mm. açıklıklı elekler arasında maksimum yoğunluk çizgisine yakın bir bölgeyi ifade etmektedir. Gradasyonun maksimum yoğunluk çizgisinden uzaklaşmasını sağlayan yasaklanmış bölge, bu sayede agregalar arasında bitümün girebileceği yeterli boşluğun oluşmasını sağlamaktadır.

Yasaklanmış bölgenin içinden geçen gradasyonlar yetersiz agregası arası boşluğa sahip olurken, yasaklanmış bölgenin altı ile kontrol noktaları arasından geçen gradasyonlar ise aşırı ince malzeme ihtiva ettiğinden dolayı yapım sırasında birtakım güçlüklerle neden olmakta ve kalıcı deformasyon direncinde azalmaya sebep olmaktadır. Trafik seviyesi arttıkça gradasyonun, yasaklanmış bölgenin altında minimum kontrol noktasına yaklaşması tavsiye edilmektedir. Ek 1, nominal boyuta göre karışım gradasyon limitlerini göstermektedir [23].

3.1.1.4. Biçim Sınıflandırması

Agrega danelerinin biçimleri, karışımların; sıkışma direncine, işlenebilirliğine, yoğunluğuna, stabilitesine, içsel kenetlenmesine ve kayma mukavemetine etki etmektedir. Agregalar biçim bakımından; yuvarlak, köşeli, düzensiz, yassı, ince – uzun ve yassı – ince – uzun olarak sınıflandırılmaktadırlar. Yuvarlak biçimli agregaların işlenebilirlik özelliği köşeli agregalara göre daha yüksek olmasına karşın stabilite bakımından temas noktası sayısı fazla olduğundan köşeli agregalar daha üstün özellik göstermektedir [23].

3.1.1.5. Yüzey Yapısı Sınıflandırması

Agregaların yüzey yapısı, danelerin pürüzlülük veya cilalılık durumunu ifade etmektedir. Agregası danelerinin yüzey pürüzlülüğü arttıkça işlenebilirlik azalmakta fakat içsel sürtünme açısı, stabilite, kayma mukavemeti ve asfalt ile adezyon kuvveti artmaktadır. Bu sebepten dolayı cilalı agregaların esnek yol üstyapılarında kullanımı uygun değildir [23].

3.1.1.6. Porozite Sınıflandırılması

Agregası danelerinin, asfaltın emilmesine olanak sağlayacak oranda poroziteye sahip olması gerekmektedir. Yeterli poroziteye sahip agregalar, bağlayıcı ile güçlü bir adezyon sağlayarak stabilitenin artmasına ve asfalt film tabakasında soyulmanın azalmasına olanak sağlamaktadır. Porozitenin fazla olması ise yoğunluğun ve stabilitenin düşük olmasına ayrıca asfalt ihtiyacının artması sebebiyle sıcak havalarda terleme meydana gelmesine neden olmaktadır [23].

3.1.1.7. Yüzey Alanı ve Boşluk Sınıflandırması

Agrega danelerinin sahip oldukları yüzey alanlarının toplamı ve agreg a daneleri arasındaki boşlukların toplamı karışımların bütün özelliklerine doğrudan etki eden faktörlerdir. Toplam yüzey alanı ve toplam boşluk hacmi; gradasyon, maksimum dane çapı, dane biçimi gibi özelliklere bağlıdır [23].

3.1.2. Agregalara Uygulanan Deneyler

Bitümlü sıcak karışımlarda kullanılacak agregaların uygunluğunu belirlemek amacıyla dane boyutu, Los Angeles aşınma, hava tesirlerine karşı dayanıklılık, cilalanma, su tesirine karşı dayanıklılık, özgül ağırlık ve yassılık indeksi tayini deneyleri yapılmaktadır.

3.1.2.1. Dane Boyutu (Elek Analizi) Deneyi (TS 1900)

Elek analizi, numuneleri elekler üzerinde en az 2 dakika sarsmak ve her elek üzerinde kalan agregayı tartmak suretiyle yapılmaktadır. Elek analizinde eleğin fazla yüklenmesi, önemli hatalara neden olabilmektedir. Elektan geçen miktar tartılıp numunenin bütün ağırlığına bölünerek karışımdaki yüzdesi tespit edilmektedir. Her bir elek üzerinde kalan malzeme yüzdelere göre agreg a karışımının granülometri eğrisi çizilmektedir [24].

3.1.2.2. Aşınma (Los Angeles) Deneyi (TS 3694)

Agregaların sağlamlığını tespit etmek amacıyla yapılan bir deneydir. Bu deneyde kullanılacak agreganın maksimum dane boyutuna bağlı olarak 1250, 2500 veya 5000 gr. malzeme ve yeterli miktarda bilye, çelik silindir tamburun içerisine bırakılır. Kullanılan malzeme miktarına göre tambur yatay eksen etrafında 500 veya 1000 devir döndürülür. Tamburdan çıkarılan malzeme 1,7 mm.den daha büyük açıklıklı bir elekte elenir. Daha sonra 1,7 mm. açıklıklı elekte elenir. Elek üzerinde kalan malzeme yıkanır ve kurutulur. Kayıp malzeme miktarı ilk ağırlığa bölünerek aşınma oranı tespit edilir [24]. Bitümlü sıcak karışımlarda kullanılacak agregaların aşınma oranı % 30'u aşmamalıdır [25].

3.1.2.3. Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık Deneyi (TS 3655)

Agregaların hava etkileriyle donarak ufalanmasına karşı dirençlerinin tespiti amacıyla yapılan bir deneydir. Etüvde önceden kurutulmuş numune, sodyum sülfat veya magnezyum sülfat eriyiğı içerisinde daldırılıp oda sıcaklığında 16 – 18 saat bekletilir. Bu süre sonunda çıkarılan numune 15 dakika süzölmeye bırakılır ve 110 °C sıcaklıkta sabit sıcaklığa kadar kurutulur. Bu işlem 5 kez tekrarlanır. 5. devre sonunda etüvden çıkarılan malzeme soğutulur, yıkanır ve kurutulur. Eleme işlemi yapılarak donma kaybı tespit edilir [24]. Bu oran % 10'u aşmamalıdır [25].

3.1.2.4. Cilalanma Deneyi (BS 812)

Agregaların, taşıt lastikleriyle sürtünmesi sonucunda aşınarak cilalanması oranının tespiti amacıyla yapılan bir deneydir. Cilalanma makinesinin alt tekerleğine 14 adet numune sabitlenir. Üstteki teker 6 saat süre ile bu agregalara temas eder. Tekerlek ile agregalar arasında ince aşındırıcı maddeler eklenir. Deney sonucunda elde edilen cilalanma miktarı, yoğun trafikli yolların birkaç ayda, az yoğunluklu yolların ise bir kaç yılda ulaşabileceğı aşınmaya tekabül etmektedir. Deney sonucunda ölçölen kayma direnci, ilk kayma direncine oranlanarak cilalanma katsayısı tespit edilir [24]. Beton asfalt kaplamalarda kullanılacak agregaların minimum cilalanma katsayısının % 50 olması istenmektedir [25].

3.1.2.5. Su Tesirine Karşı Dayanıklılık (Soyulma) Deneyi

Soyulma; bağlayıcının, suyun ve trafiğın birlikte etkisi sonucunda agrega üzerinden ayrılmasıdır. K.G.M. yollar fenni şartnamesi Ek A'ya uygun olarak yapılan deneyde agregaların soyulmaya karşı dayanımını belirlemek amacıyla belirli miktarda malzeme alınarak yıkanır ve etüvde kurutulur. Bu malzemeye bağlayıcıya eklenir ve tamamen kaplanıncaya kadar karıştırılır. Karışım, 24 saat 60 °C etüvde bekletilir. Daha sonra karışım ısıtılarak daha geniş bir kaba aktarılır ve yine 60 °C sıcaklıkta 24 saat bekletilir. Deney sonunda soyulmamış yüzeyin bütün yüzeye oranı soyulmaya karşı dayanımı göstermektedir [24]. Bu oran minimum % 50 olmalıdır [25].

3.1.2.6. Özgöl Ağırlık ve Su Emme Deneyi (TS 3526)

Kaba agreganın özgöl ağırlığını bulmak amacıyla gradasyona uygun olarak ayarlanmış 500 gr. malzeme yıkanıp üzerindeki tozlardan arındırılır. Su içinde 24 saat bekletildikten sonra çıkarılır, danelerin üzerinde gözle görülebilir su kalmayacak şekilde kurulanır ve tartılarak doygun kuru yüzey ağırlığı bulunur (W_1). Daha sonra malzemenin sudaki ağırlığı alınır (W_2). Malzeme tekrar etüvde kurutulduktan sonra oda sıcaklığına kadar soğutulur ve tartılarak malzemenin havadaki ağırlığı tespit edilir (W_3). Aşağıdaki formüller yardımıyla kaba agreganın özgöl ağırlığı ve su emme yüzdesi (m) tespit edilir [24].

$$G_k = \frac{W_3}{W_1 - W_2} \quad (3.1)$$

$$m_k = \frac{W_1 - W_3}{W_3} \times 100 \quad (3.2)$$

İnce agreganın özgöl ağırlığını bulmak için gradasyona göre ayarlanmış 300 gr. malzeme alınır, sabit ağırlığa ulaşıncaya kadar etüvde kurutulur ve tartılır (W_1). Numune 24 saat suda bekletilir. Sudan çıkarılan numune, süzülür ve kohezyonunu kaybedince kadar kurutulup tartılır (W_2). Piknometreye belirli bir seviyeye kadar saf su doldurulur ve tartılır (W_3). Piknometre içindeki su boşaltılır, yerine malzeme koyulur ve aynı seviyeye kadar saf su ilave edilip tartılır (W_4). Ağırlıklar belirlendikten sonra aşağıdaki bağıntılardan ince agreganın özgöl ağırlığı ve su emme yüzdesi (m_{ince}) saptanır [24].

$$G_i = \frac{W_1}{W_2 + W_3 - W_4} \quad (3.3)$$

$$m_i = \frac{300 - W_1}{W_1} \times 100 \quad (3.4)$$

Fillerin özgöl ağırlığının tayininde Le Chatelier kabından faydalanılır. Belirli bir miktar malzeme etüvde sabit sıcaklığa kadar kurutulur ve nem kapmayacak şekilde bir kabın içinde soğutulur. Filler malzemesi suya ilave edildiğinde tam olarak çökme sağlanamadığından deney, özgöl ağırlığı daha düşük olan gazyağı ile yapılmaktadır. Le Chatelier şişesi belirli bir noktaya kadar gazyağı ile doldurulur. Soğutulan filler malzemesinden 60 gr. alınır (M) ve malzeme kaybı olamayacak şekilde şişeye doldurulur.

Şişede işaretli bölmelerden yararlanılarak hacim değişikliği saptanır (V) ve aşağıdaki formülle fillerin özgül ağırlığı tayin edilir [24].

$$G_f = \frac{M}{V} \quad (3.5)$$

3.1.2.7. Yassılık ve İnce – Uzunluk İndekslerinin Tayini Deneyi (BS 812)

Yassı ve ince uzun daneler, yük altında daha kolay kırılarak bitümlü sıcak karışımın daha düşük dayanım göstermesine ve gerçek gradasyonun bozulmasına neden olmaktadır. Bu nedenle agrega danelerinin şekil olarak yassı ve ince uzun olmaması veya sınırlı miktarda olması gerekmektedir. Bunun tespiti için yassılık indeksi deney aparatı kullanılmaktadır. En büyük boyutunun en küçük boyutuna oranı 5'ten büyük olan agregalar yassı ve ince uzun daneler olarak kabul edilmektedir. Beklenen eşdeğer standart tek dingil yükü tekerrür sayısı 1×10^6 'dan büyük olan yollarda maksimum yassı ve ince – uzun malzeme oranı % 10'u aşmamalıdır [23].

3.2. BSK'larda Kullanılan Bitümlü Bağlayıcılar

Bitümlü sıcak karışımlar, agrega ve genellikle bağlayıcı olarak asfalt çimentosu (AC) kullanılarak elde edilmektedir. AC, karışımların ağırlıkça en fazla % 5 – 7'sini oluştursa da karışımların özellikleri üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır. Asfalt çimentosu, agrega danelerini birbirine bağlayarak trafik yükleri altında dağılmalarını önlemekte, sağladıkları düzgün yüzeyler ile sürüş konforunu arttırmakta, kohezyonu sayesinde karışım stabilitesinin arttırmakta ve karışımın boşluklarını doldurarak geçirimsizliğini sağlamaktadır. Asfalt çimentosu, doğal asfaltın işlenmesi veya petrolün rafine edilmesiyle elde edilmektedir [23].

3.2.1. Asfalt Çimentosunun Özellikleri

3.2.1.1. Asfalt Çimentosunun Kimyasal Özellikleri

Asfalt, organik bir madde olduğu için kimyasal yapıları farklılık göstermektedir. Genel olarak asfaltlar; % 82 – 88 karbon, % 8 – 11 hidrojen, % 0 – 1 nitrojen, % 1 – 6 sülfür, % 0 – 1,5 oksijen ve çok az miktarda metallere meydana gelmektedir [23].

3.2.1.2. AC Katılıklarının Sınıflandırması

Normal şartlar altında katı halde bulunan AC'nin katılık derecesi, penetrasyon veya viskozite değerlerine göre sınıflandırılmaktadır. Tablo 3.1, ülkemizde kullanılan AC'lerin yeni penetrasyon sınıflandırmasını göstermektedir [26].

Tablo 3.1. Ülkemizde Kullanılan AC'lerin Yeni Penetrasyon Sınıflandırması [26]

Penetrasyon Miktarı	Yeni Penetrasyon Sınıfı
20 – 30 Pen. AC	B – 20/30
30 – 45 Pen. AC	B – 30/45
35 – 50 Pen. AC	B – 35/50
40 – 60 Pen. AC	B – 40/60
50 – 70 Pen. AC	B – 50/70
70 – 100 Pen. AC	B – 70/100
100 – 150 Pen. AC	B – 100/150
160 – 220 Pen. AC	B – 160/220
250 – 330 Pen. AC	B – 250/330
330 – 430 Pen. AC	B – 330/430
500 – 650 Pen. AC	B – 500/650
650 – 900 Pen. AC	B – 650/900

3.2.1.3. Asfalt Çimentolarının Özgül Ağırlığı

Asfalt çimentolarının özgül ağırlıkları elde edildikleri petrole bağlı olarak 25 °C'de 0,97 ile 1,05 arasında değişiklik göstermektedir. Yüksek penetrasyonlu asfaltların özgül ağırlıkları genellikle düşük penetrasyonlu asfaltlara göre daha düşüktür [23].

3.2.1.4. AC'lerin Hacimsel Genleşmesi

Asfalt çimentoların hacimsel genleşmesi agregadan yaklaşık 10 kat daha fazladır. Bu sebepten ötürü, yetersiz boşluğa sahip BSK'larda, yüksek sıcaklıklarda AC agregadan daha fazla genişerek terlemeye neden olmaktadır. Ayrıca asfalt çimentosu, derz dolgu malzemesi olarak kullanıldığında, düşük ısılarda daha fazla büzülerek geçirimsizliğe, yüksek sıcaklıklarda ise derz dışına taşmaya neden olmaktadır. AC'nin hacimsel genleşme katsayısı yaklaşık $6,1 \times 10^{-4} / ^\circ\text{C}$ 'dir [23].

3.2.1.5. Asfalt Çimentosunun Isıl Özellikleri

Asfalt çimentolarının ısı iletkenliği agregaya göre daha düşük olduğundan daha geç ısınmakta ve soğumaktadır. Bu özellikten ötürü BSK'lar bağlayıcıya göre daha çabuk soğumakta bu da asfalt karışım içerisinde farklı büzölmelerden kaynaklanan ilave gerilmelere sebep olmaktadır. Ayrıca asfalt çimentosunun ısıyı absorbe edebilme özelliğinden dolayı kaplamanın altı ve üstü arasında sıcaklık farkı meydana gelmekte bu da farklı genleşmelerden kaynaklanan ilave gerilmelerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır [23].

3.2.1.6. AC'lerin Reolojik Özellikleri

Asfalt çimentoları, hem yüke hem de yükleme süresine bağılı olarak yapılan reolojik sınıflandırmada visko – elastik malzeme grubuna girmektedir. Bu özellikten dolayı uygulanan yük ve yükleme süresine bağılı olarak BSK'da oluşan kalıcı deformasyon miktarı değışiklik göstermektedir. Ayrıca AC, termoplastik bir malzeme olduğundan yüksek sıcaklıklarda viskoz sıvı özelliğı göstermektedir. Visko – elastik malzemeler, yüksek hızlı yüklemelerde elastik davranış ve yüksek mukavemet gösterirken, düşük hızlı yüklemelerde viskoz davranış ve düşük mukavemet gösterirler. Termoplastik malzemeler, yüksek sıcaklıklarda düşük mukavemet, düşük sıcaklıklarda ise yüksek mukavemet gösterirler. Asfalt çimentosunun bu özelliğı bitümlü sıcak karışımlara da yansımaktadır. Bu nedenle yükleme süresi ve sıcaklık, AC'nin ve BSK'nın rijitliğine doğrudan etki etmektedir [27].

3.2.1.7. Asfalt Çimentoların Isıya Duyarlılığı

Asfalt çimentoları termoplastik malzemeler olduklarından viskozlukları ısıyla değışmektedir. AC katılıklarının ısıya bağılı olarak değışmesi, ısıya karşı duyarlı olduklarının göstergesidir. Asfalt çimentolarının ısıya duyarlılığının düşük olması yani yüksek hava sıcaklıklarında yeterince katı, düşük hava sıcaklıklarında ise yeterince esnek olması istenmektedir. Aksi halde BSK'lar yüksek ısılarda deformasyon, düşük ısılarda ise çatılama eğilimi gösterirler. Asfalt çimentolarının ısıya duyarlılığı penetrasyon indeksi (PI) ile tanımlanmaktadır. Yumuşama noktasına ve penetrasyon değırine bağılı olarak asfalt çimentolarının penetrasyon indeksleri belirlenebilmektedir [23].

3.2.1.8. Asfalt Çimentolarının Kohezyonu

Asfalt çimentolarının kohezyon mukavemeti, düşük ısılardaki düktiliteleri ile karakterize edilmektedir. Düktilite deneyi standardındaki sıcaklıktan daha düşük sıcaklıklarda yapılan deneylerle kohezyonda meydana gelen değişiklik tespit edilebilmektedir. Yapılan deneyler sonucunda düktilite değerleri arasındaki farkın fazla olmaması istenmektedir. BSK'larda düşük sıcaklıklarda yeterli gevreklik sağlanmadığı takdirde düşük ısı çatlakları meydana gelmektedir [23].

3.2.1.9. AC'lerin Çekme Dayanımı

Asfalt çimentoları visko – elastik ve termoplastik malzemeler olduklarından dolayı çekme mukavemetleri de ısıya ve yükleme süresine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Yüksek sıcaklıklarda asfalt çimentolarının rijitliği düşük olduğu için çekme gerimleri altında kopmalar meydana gelmezken düşük sıcaklıklarda rijitlik fazla olduğundan bu tip deformasyonlar görülebilmektedir [23].

3.2.1.10. Asfalt Çimentolarının Adezyonu

Bitümlü sıcak karışımların stabilitesi, agrega daneleri arasındaki asfalt çimentosunun bağ kuvvetine bağlıdır. Bu bağ kuvveti ise agrega danelerini saran bağlayıcı filmin agregaya yapışma yeteneğine yani asfalt çimentosunun adezyonuna bağlıdır. Asfalt çimentosunun agrega ile iyi bir adezyon sağlayabilmesi için viskozluğunun mümkün olduğunca az olması gerekmektedir. Bunun için kıvamı yüksek olan bağlayıcıların uygun sıcaklığa kadar ısıtılıp akışkanlık kazanması sağlanmalıdır. Agregaların yüzey pürüzlülüğü, porozitesi ve su emme özelliği arttıkça bağlayıcının adezyon özelliği artmaktadır [23].

3.2.2. Asfalt Çimentosu Üzerinde Yapılan Deneyler

Asfalt çimentolarının fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla bağlayıcı üzerinde çeşitli deneyler yapılmaktadır. Bağlayıcıların kıvamını belirlemek amacıyla penetrasyon, adezyon özelliğini belirlemek amacıyla düktilite, yüksek sıcaklık davranışlarını belirlemek amacıyla yumuşama noktası ve düşük sıcaklık davranışlarını tespit etmek amacıyla Fraas kırılma noktası deneyleri yapılmaktadır.

3.2.2.1. Penetrasyon Deneyi (TS 118)

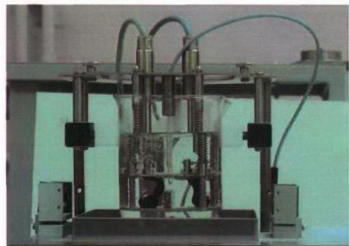
Penetrasyon deneyi, asfalt çimentosunun sertlik veya kıvamını belirlemek amacıyla yapılmaktadır. Standart penetrasyon deneyi, 100 gr. ağırlığındaki bir iğnenin 25 °C sıcaklıkta ve 5 saniye süreyle bitüm içerisinde kat ettiği düşey mesafe olarak tanımlanmaktadır. Penetrasyonun birimi 10^{-1} mm.dir. Asfalt çimentolarının penetrasyon değeri kıvamla ters orantılıdır. Penetrasyon deney aleti Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Penetrasyon Deney Aleti

3.2.2.2. Yumuşama Noktası Deneyi (TS 120)

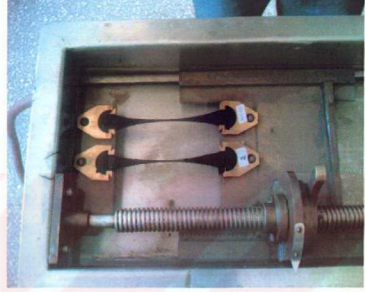
AC'lerin yumuşama sıcaklığının tespiti amacıyla yapılan bir deneydir. Bu deneyde bitüm doldurulmuş standart halka düzeneğe yerleştirilir ve bitüm üzerine standart bir bilye bırakılır. Deney başlangıç sıcaklığı 5 °C'dir ve sıcaklık dakikada 5 °C arttırılır. Yumuşama noktası değeri, bitümlü maddenin tabana değdiği anda termometrenin gösterdiği değerdir. Otomatik yumuşama noktası deney aleti Şekil 3.4'te görülmektedir.



Şekil 3.4. Yumuşama Noktası Deneyi

3.2.2.3. Düktilite Deneyi (TS 119)

Düktilite, standart kalıp içerisinde hazırlanmış bitümün, 25 °C sıcaklıkta ve 5 cm./dak. hızla çekilerek kopuncaya kadar uzadığı miktardır (Şekil 3.5). Asfalt çimentosunun düktilite değeri, yük altında kopmadan uzayabilmesinin bir göstergesi olup karışımların kayma mukavemetine etki etmektedir.



Şekil 3.5. Düktilite Deneyi

3.2.2.4. Özgül Ağırlık Deneyi

Hacmi bilinen ağız kısmı düzgün bir kap ve saf su yardımıyla asfalt çimentosunun özgül ağırlığı bulunabilmektedir. Kabin boş ağırlığı alınır (W_0). Kap, tamamen saf su ile doldurulur, yüzeyde düzgün bir cam gezdirilerek fazla su uzaklaştırılır ve tartılır (W_1). Bu iki ağırlığın farkı kabın hacmini vermektedir. Yüzeyde boşluk kalacak şekilde kap bitüm ile doldurulur. Numune soğuduktan sonra tartılır (W_2). Kabin bağlayıcı üzerindeki boşluk hacmini belirlemek amacıyla saf su eklenir, fazla miktardaki su uzaklaştırılır ve tartılır (W_3). Aşağıdaki bağıntılardan faydalanarak bitümün özgül ağırlığı tespit edilir.

$$\text{Bitümün Ağırlığı (M)} = W_2 - W_0 \quad (3.6)$$

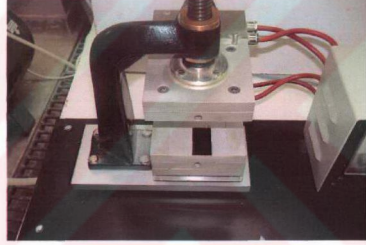
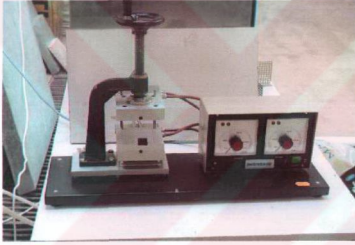
$$\text{Kabin Hacmi (V}_0\text{)} = W_1 - W_0 \quad (3.7)$$

$$\text{Bitümün Hacmi (V)} = V_0 - (W_3 - W_2) \quad (3.8)$$

$$\text{Bitümün Özgül Ağırlığı (G}_{\text{bitüm}}\text{)} = \frac{M}{V} \quad (3.9)$$

3.2.2.5. Fraas Kırılma Noktası Deneyi (TS EN 12593)

Fraas kırılma noktası deneyi, bitümlü bağlayıcıların düşük sıcaklıklardaki davranışlarını belirlemek amacıyla yapılan bir deneydir. Bu deneyde $0,4 \pm 0,01$ gr. bitüm, 41×20 mm. boyutundaki plak üzerine bırakılır. Plak, belirli bir sıcaklıkta ısıtılarak üzerindeki bitümün tam olarak yayılması sağlanır (Şekil 3.6). Daha sonra plak ve numune soğumaya bırakılır. Soğuyan numune düzeneğe yerleştirilerek yalıtımlı bölmeye bırakılır (Şekil 3.7). Sıcaklığın dakikada 1°C azaldığı bölmede numuneye dakikada 24 sn. yükleme uygulanır. Sıcaklık düştükçe bitümün rijitliği arttığından uygulanan yük de artmaktadır. İşlemin devamında bitümlü bağlayıcı kritik bir katılığa ulaşır ve yüzeyinde çatlaklar meydana gelir (Şekil 3.8). Numunede çatlakların oluştuğu bu sıcaklık değeri kırılma noktası olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 3.6. Fraas Kırılma Noktası Deneyi İçin Numunenin Hazırlanması



Şekil 3.7. Fraas Deney Aleti ve Soğutucu



Şekil 3.8. Numunelerde Meydana Gelen Çatlaklar

4. BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIMLAR (BSK)

Bitüm ve agreganın her ikisinin de ısıtılıp karıştırılmasıyla elde edilen karışımlara bitümlü sıcak karışımlar (BSK) denilmektedir. BSK'lar kullanılarak yapılan kaplamalar içerisinde en iyi performans gösteren, gradasyonu tam olarak kontrol edilen ve bağlayıcı olarak asfalt çimentosu kullanılan beton asfalt kaplamalardır.

4.1. BSK'ların Özellikleri

BSK'ların servis ömürleri boyunca iyi performans göstermeleri için uygulandıkları bölgenin iklim şartlarına bağlı olarak yeterli stabilite, rijitlik, durabilite, yorulma mukavemeti, esneklik, geçirimsizlik ve kayma direncine sahip olmaları gerekmektedir [23].

4.1.1. BSK'ların Stabilitesi

Stabilite terimi, mukavemet ile yakından ilgili olup kaplamaların trafik yükü altında oluşacak deformasyonlara karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanmaktadır. Stabilitenin yüksek olması rijitliği arttırdığından yüksek sıcaklıklarda deformasyon olasılığını azalırken düşük sıcaklıklarda çatlama olasılığını artmaktadır. Bu yüzden stabilitenin belirli bir optimum değerde olması istenmektedir. Stabiliteye etki eden faktörler kayma mukavemeti, ısı ve eylemsizlik direncidir. Kayma mukavemeti, agregalar tarafından sağlanan içsel sürtünme açısına ve AC tarafından sağlanan bağ kuvvetine bağlı olarak yüksek sıcaklıklarda azalmakta, düşük sıcaklıklarda ise artmaktadır. Eylemsizlik direnci, karışımın trafik yükleri altında yer değiştirmeye karşı gösterdiği dirençtir. Yükün miktarı azaldıkça, yükleme süresi ve kaplama kalınlığı arttıkça eylemsizlik direnci de artmaktadır [23]. Stabilite, laboratuarda Marshall stabilite deneyiyle tespit edilebilmektedir.

4.1.2. BSK'ların Rijitliği

BSK'lar, visko – elastik ve termoplastik malzemeler olduğundan mekanik özelliklerini belirlemek için 'Rijitlik Modülü' kullanılmaktadır. Rijitlik, bitümlü sıcak karışımların yükleme süresi ve ısı etkisi altında gerilme ve deformasyon arasındaki ilişkinin ifadesidir. Bu sebeple yükleme süresi azaldıkça, ısı azaldıkça, karışımın yoğunluğu ve asfaltın katılığı

artıkça karışımın rijitliği de artmaktadır [23]. Bitümlü sıcak karışımların rijitliğinin tespiti için laboratuarda sünme deneyi ve indirekt çekme deneyi yapılmaktadır.

4.1.3. Bitümlü Sıcak Karışımların Durabilitesi

BSK'ların durabilitesi, trafik ve çevre şartlarının aşındırma etkisine direnç göstermesi olarak ifade edilmektedir. Bitümlü sıcak karışımların; bağlayıcının özellik değiştirmesine, agregaların kırılmasına ve ufalanmasına, bağlayıcının soyulmasına karşı dayanıklı olması istenmektedir. Bağlayıcı oranını yükseltmesiyle film kalınlıklarını arttırarak, yüksek kıvamlı bağlayıcı kullanarak, iyi bir sıkışma sağlayarak ve yoğun gradasyonlu ve sağlam agregalar kullanarak durabilitede artma sağlanabilmektedir [23].

4.1.4. BSK'ların Yorulma Mukavemeti

Karışımın, taşıyabileceği maksimum çekme mukavemeti aşılmadan, yorulma çatlakları oluşuncaya kadar geçirebileceği maksimum yük tekerrür sayısına yorulma mukavemeti denilmektedir. Yoğun gradasyonlu agregalar kullanılarak ve kaplama kalınlığı arttırılarak rijitliğin artması sağlanabilmektedir. Rijitliği yüksek olan karışımlarda deplasman az olacağından yorulma mukavemetinde artış sağlanacaktır. Ayrıca karışımda elastikiyeti sağlayan bağlayıcının miktarını arttırılması ve kıvamı düşük bağlayıcı kullanılmasıyla, daha esnek bir karışım elde edilmekte bu sayede de yorulma mukavemetinde artış sağlanmaktadır [23].

4.1.5. BSK'ların Esnekliği

BSK'larda yüksek sıcaklıklar için rijitlik ne kadar önemliyse düşük sıcaklıklarda içinde esneklik o kadar önemlidir. Yeterli esnekliğe sahip karışımlar, düşük sıcaklıklarda eğilmeden kaynaklanan çatlak oluşmasına izin vermeyerek kaplama ömründe artış sağlamaktadır. Ayrıca yol eksenine yarma ve dolgulardan geçtiğinden dolgulardaki farklı oturmalardan kaynaklanan gerilmeler yeterli esnekliğe sahip karışımlar sayesinde karşılanabilmektedir [23].

4.1.6. BSK'ların Geçirimsizliği

Bitümlü sıcak karışımlarda geçirimsizlik, kaplama yapısı içerisine hava ve suyun nüfuz etmesinin bir ölçütüdür. Geçirimsizlik arttıkça, hava ve suyun etkisiyle bağlayıcının yaşlanması hızlanmakta, soyulma mukavemeti azalmakta ve donma – çözülme tekerrürü sonucu agrega parçalanması artmaktadır. Bağlayıcı miktarı arttıkça, agrega gradasyonunun ve karışımın yoğunluğu arttıkça ve sıkışma arttıkça geçirimsizlik genel olarak artmaktadır [23].

4.1.7. BSK'ların Kayma Direnci

Kayma direnci, araçların frenleme sırasında emniyetle durabilmesi ve kurplarda savrulmaması için teker ile kaplama arasında gerekli sürtünme kuvvetini ifade etmektedir. Kayma direnci genel olarak, düşük asfalt miktarı, cilalanma direnci yüksek agrega, kırmataş veya pürüzlü yüzeyli agrega ve boşluklu gradasyon ile artmaktadır. Fakat kaplamanın kayma direnci arttıkça pürüzlülük artmakta bu nedenle de sürüş konforu azalmaktadır. Bitümlü sıcak karışımlarda, pürüzsüz yüzeylerinden dolayı özellikle yağışlı havalarda keskin kurplarda ve eğimin fazla olduğu yerlerde sürüş emniyeti azalmaktadır. Kaplama üzerine, aşınma direnci yüksek tek boyutlu kırmataş serilip kaplamaya gömülmesi veya sathi kaplama uygulanması bu bölgeler için uygun çözümler olacaktır [23].

4.2. Materyal ve Metod

Arazi şartlarını daha iyi bir şekilde laboratuara yansıtabilmek amacıyla birçok araştırmalar yapılmış ve bir çok sıkıştırma yöntemi geliştirilmiştir. Yapılan bu çalışmalar sonucunda arazi şartlarını en iyi şekilde laboratuara taşıyan yöntemin Superpave yöntemi, sıkıştırma metodunun ise 1,25 derecelik dönel pres olduğu tespit edilmiştir. Bu yöntem hala geliştirilmeye devam ettiğinden ülkemizde Marshall karışım dizayn metodu kullanılmaya devam etmektedir.

4.2.1. Marshall Karışım Dizayn Metodu (TS 3720)

Marshall karışım dizayn metodunda aşınma ve binder tabakaları için farklı gradasyon limitleri bulunmaktadır. Optimum bitüm muhtevasını tespit etmek için belirli bir yüzdeden başlayarak ardışık olarak agreganın % 0,5'i oranında artan en az 5 bitüm içeriğinde üçer numune hazırlanır. Bu yöntemde her bir numune için belirlenen gradasyona uygun olarak yaklaşık 1200 gr. agrega alınır. Hazırlanan agrega ve asfalt çimentosu, 150 – 160 °C sıcaklıkta bekletilir. Belirli bir süre bu sıcaklıkta bekletilen agrega ve AC, karıştırıcıya alınarak agrega daneleri tamamen bitümle kaplanıncaya kadar karıştırılır (Şekil 4.1). Karıştırma tamamlandıktan sonra karışım kalıba doldurulur ve Marshall tokmağı yardımıyla sıkıştırılır (Şekil 4.2). Marshall tokmağında karışma trafik seviyelerine bağlı olarak 50 veya 75 darbe uygulanır. Her iki tarafına darbe uygulanan numune soğumaya bırakılır.



Şekil 4.1. Karıştırıcı



Şekil 4.2. Marshall Tokmağı

Kalıptan çıkarılan numuneler tartılır (A) ve oda sıcaklığında suyun içersine bırakılarak 24 saat beklenir. Numuneler sudan çıkarıldıktan sonra yüzeyde su kalmayacak şekilde kurulanır ve tartılarak doymun kuru yüzey ağırlığı alınır (B). Daha sonra numunelerin sudaki ağırlıkları alınır (C). Bu ağırlıklar, numunelerin özgül ağırlığının, boşluk oranının ve bitümle dolu boşluk oranının tespitinde kullanılmaktadır. Bu amaçla kullanılan formüller aşağıda verilmiştir.

$$V = B - C \quad (4.1)$$

$$D_p = A / V \quad (4.2)$$

$$D_{Port} = (D_{P1} + D_{P2} + D_{P3})/3 \quad (4.3)$$

$$W_a = \frac{M_b}{M_a} \times 100 \quad (4.4)$$

$$W_b = \frac{M_b}{M_a + M_b} \times 100 \quad (4.5)$$

$$G_{ag} = \frac{100}{\frac{P_k}{G_k} + \frac{P_i}{G_i} + \frac{P_f}{G_f}} \quad (4.6)$$

$$D_T = \frac{100}{\frac{100 - W_b}{G_{ag}} + \frac{W_b}{G_b}} \quad (4.7)$$

$$V_h = \frac{D_T - D_{Port}}{D_T} \times 100 \quad (4.8)$$

$$V_b = \frac{D_{Port} \times W_b}{G_b} \quad (4.9)$$

$$V_a = 100 - (V_h + V_b) \quad (4.10)$$

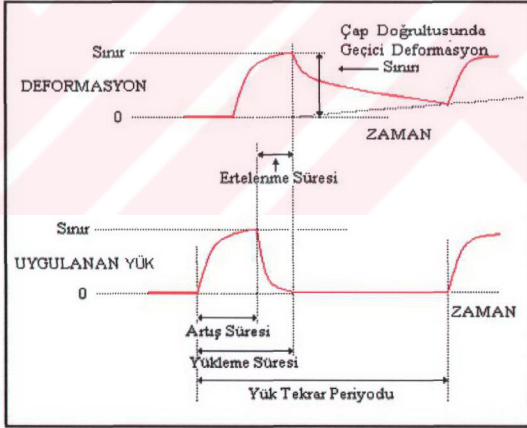
$$V.M.A = 100 - V_a = (V_h + V_b) \quad (4.11)$$

$$V_f = \frac{V_b}{V.M.A} \times 100 \quad (4.12)$$

Yükseklikleri ve gerekli ağırlıkları alınan numunelerin stabilite ve akma değerlerinin tayini için numune 60 ± 1 °C suda 30 – 40 dakika bekletilir. Sudan çıkarılan numune elektronik Marshall yükleme aletine yerleştirilir, akma çubuğu sabitlenir ve yükleme yapılır (Şekil 4.3). Yüklemeye, en yüksek yük değerine ulaşıncaya kadar devam edilir. En yüksek yük değeri ve buna karşılık gelen akma değeri aletin ekranından okunarak kaydedilir. Marshall stabilite deneyinde standart numune yüksekliği 63.5 mm.dir. Bu değerden farklı yükseklikte olan numunelerin stabilite değerleri düzeltme katsayıları ile çarpılarak düzeltilir. Marshall stabilitesi düzeltme katsayıları Ek – 2’de verilmiştir. Aynı bitüm yüzdesindeki üç numunenin düzeltilmiş stabilite değerleri arasındaki farkın 120 kgf.den az olması durumunda üçünün ortalaması Marshall stabilitesi olarak alınır. Eğer fark bu değerden büyük ise, aralarında 60 kgf.den daha az fark olan iki değer in ortalaması Marshall stabilitesi olarak kabul alınır. Bu da sağlanmadığı takdirde deney yenilenir.

4.3. İndirekt Çekme Sertlik Modülü Deneyi

İndirekt çekme sertlik modülü (İÇSM) deneyi, dinamik yükler karşısında bitümlü karışımların rijitliğini tespit etmek amacıyla yapılmaktadır. Bu amaçla numunelere ard arda 5 defa yük etki ettirilir. Deney için hazırlanan numuneler deney sıcaklığında 3 saat bekletilir. Daha sonra numuneler elektronik İÇSM deney aletine yerleştirilir (Şekil 4.6). Tek eksenli yüklemenin yapılacağı yükleme aparatı yerleştirilir ve duyargalar bağlanır (Şekil 4.7). Taşıt hızları göz önünde bulundurularak yük artış süresi belirlenir. Karışımın tahmini poisson oranı, hedef deformasyon ve yük artış süreleri bilgisayardan girilir ve deney başlatılır. Deneyde önce 5 defa ön yükleme yapılır, daha sonra 3000 ms. boyunca 5 defa yük etki ettirilir. Burada yük artış süresi ve hedef deformasyon olmak üzere iki önemli etken vardır. Alette, yük artış süresi sonunda hedef deformasyon sağlanacak şekilde numuneye yük etki ettirilir. Uygulanan bu yük değeri kullanılarak sertlik modülü tespit edilir. Deneylerde genellikle yük artış süresi 124 ± 2 ms. ve hedef deformasyon $7 \mu\text{m}$. olarak alınmaktadır. Deformasyonun ve uygulanan yükün zamanla değişimi Şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.5. İÇSM Aletinde Uygulanan Yük ve Deformasyonun Zamanla Değişimi

Şekil 4.5'te görüldüğü gibi önceden belirlenen artış süresi boyunca yük ve deformasyon parabolik olarak artmaktadır. Bu sürenin sonunda yük azalmaya başlamasına rağmen yük uygulanmaya devam ettiğinden numune içerisinde biriken gerilmeler artmaya devam etmekte ve böylece deformasyon artışı da devam etmektedir. Yükün kaldırılmasından

itibaren elastik deformasyon geri dönmeye başlamaktadır. Belirlenen yük etki periyoduna bağlı olarak diğer yük etkisi başlamaktadır. Uygulanan maksimum yüke bağlı olarak sertlik modülü, aşağıdaki bağıntılar kullanılarak hesaplanmaktadır [29].

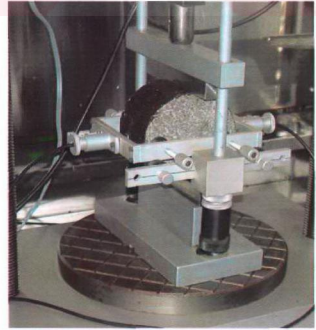
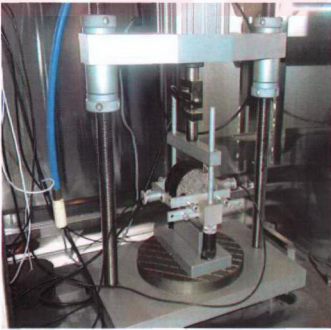
$$S_t = 2 F / \pi L D \quad (4.13)$$

$$(\text{İÇSM}) E = F (R + 0,27) / L H \quad (4.14)$$

$$C_r = H / D \quad (4.15)$$



Şekil 4.6. İÇSM Aleti



Şekil 4.7. İndirekt Çekme Aletine Numunelerin Yerleştirilmesi

4.4. Statik Yükleme Sünme Sertliği Deneyi

Bitümlü sıcak karışımların statik yükler altında sertliklerinin tespit etmek amacıyla bu deney yapılmaktadır. Statik yükleme sünme sertliği (SYSS) deneyi, karışımların tekerlik izi deformasyonuna karşı dayanımı hakkında fikir vermektedir. Standart deney sıcaklığı 20 °C olmasına karşın aşırı sıcak bölgeler göz önünde bulundurularak daha yüksek sıcaklıklarda da yapılabilmektedir. Deney için numune 3 saat deney sıcaklığında bekletilir. Bu sürenin sonunda numune SYSS deney aletine yerleştirilir (Şekil 4.8). Yükleme aparatı yerleştirilerek duyargalar bağlanır ve deney başlatılır (Şekil 4.9). Deneyde ilk olarak arazideki gerilmeleri yansıtmak amacıyla 10 dakika boyunca 10 kPa.lık yük ile önyükleme yapılır. Bu sürenin sonunda otomatik olarak deney başlar ve 1 saat boyunca sürekli olarak 100 kPa.lık yük uygulanır. Oluşan deformasyon miktarına göre sünme sertliğinin hesaplanmasında kullanılan formüller aşağıda verilmiştir [29].

$$C_{ct} = (L_2 - L_1) / G \quad (4.16)$$

$$\sigma = F / A \quad (4.17)$$

$$(SYSS) E_{ct} = \sigma / \epsilon_{ct} \quad (4.18)$$



Şekil 4.8. Statik Yükleme Sünme Sertliği Deney Aleti



Şekil 4.9. Numunenin SYSS Deney Aletine Yerleştirilmesi

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1. Malzeme Özelliklerini Belirlemek Amacıyla Yapılan Deneyler

BSK yapımında kullanılan malzemelerin özellikleri karışıma doğrudan etki etmektedir. Bu nedenle kullanılacak malzemelerin şartname limitlerine uygunluğunun araştırılması gerekmektedir. Bu çalışmada agrega üzerinde elek analizi yapılarak gradasyon ayarlanmış, karışım hesabında kullanılacak olan agrega özgül ağırlıkları bulunmuştur. Bağlayıcılar üzerinde ise penetrasyon, yumuşama noktası, duktilite, özgül ağırlık ve Fraas kırılma noktası deneyleri yapılmıştır.

5.1.1. Agregaların Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi

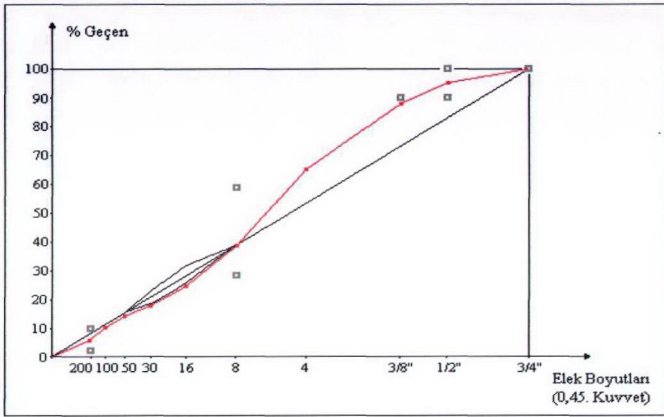
Bu çalışmada Elazığ Belediyesi Hanpınar Şantiyesi'nden temin edilen kalker kökenli agregalar kullanılmıştır.

5.1.1.1. Agrega Gradasyonunun Belirlenmesi

Bu çalışmada Superpave yöntemine göre nominal maksimum elek boyutu 12,5 mm. olan gradasyona uygun bir gradasyon üzerinde çalışılmıştır. Şantiyeden kaba ve ince olarak üç ayrı gruptan temin edilen agregalar laboratuarda elek analizi yapılarak on gruba ayrılmıştır. Kullanılan gradasyon Tablo 5.1'de ve grafik olarak Şekil 5.1'de gösterilmiştir.

Tablo 5.1. Kullanılan Agrega Gradasyonu

Elek No	Elekten Geçen %
19 mm (3/4")	100
12,5 mm (1/2")	95
9,5 mm (3/8")	88
No: 4	65
No: 8	39
No: 16	24
No: 30	18
No: 50	14
No: 100	10
No: 200	6
Filler	-



Şekil 5.1. Kullanılan Agrega Gradasyon Grafiği

5.1.1.2. Agregaların Özgül Ağırlıklarının ve Su Emme Oranlarının Belirlenmesi

Formül 3.1 kullanılarak kaba agreganın özgül ağırlığı, Formül 3.2 kullanılarak da su emme oranı belirlenmiştir.

$$G_k = \frac{499,46}{502,37 - 312,23} = 2,627 \text{ gr / cm}^3 \quad (3.1)$$

$$m_k = \frac{502,37 - 499,46}{499,46} \times 100 = 0,58 \quad (3.2)$$

İnce agreganın özgül ağırlığı Formül 3.3, fillerin ise Formül 3.5 yardımıyla bulunmuştur.

$$G_i = \frac{299,34}{299,54 + 866,46 - 1052,57} = 2,639 \text{ gr / cm}^3 \quad (3.3)$$

$$G_f = \frac{60}{22,8} = 2,632 \text{ gr / cm}^3 \quad (3.5)$$

Kullanılan agregaların fiziksel özellikleri Tablo 5.2’de verilmiştir.

Tablo 5.2. Kullanılan Agregaların Genel Özellikleri

Fiziksel Özellik	Agrega Boyutu		
	Kaba	İnce	Filler
Los Angeles Aşınma Kaybı, %	29	-	-
Na ₂ So ₄ ile Donma Kaybı, %	3,74	-	-
Özgül Ağırlık, gr / cm ³	2,627	-	-
Özgül Ağırlık, gr / cm ³	-	2,639	-
Özgül Ağırlık, gr / cm ³	-	-	2,632

5.1.2. Bağlayıcılar Üzerinde Yapılan Deneyler

AC 75/100, AC 100/150 saf asfalt çimentoları ve AC 75/100 asfalt çimentosuna ağırlıkça % 0,5 , 0,75 , 1 , 2 , 3 oranında polyester reçine (PR) katılarak elde edilen karışımlar üzerinde bağlayıcı deneyleri yapılmıştır.

5.1.2.1. Penetrasyon Deney Sonuçları

Penetrasyon deneyi AC 75/100, AC 100/150 saf asfalt çimentoları ve AC 75/100 asfalt çimentosuna ağırlıkça % 0,5 , 0,75 , 1 , 2 , 3 oranında polyester reçine katılarak elde edilen karışımlar üzerinde yapılmıştır. TS 118’e uygun olarak yapılan penetrasyon deneyi sonucunda Tablo 5.3’deki değerler elde edilmiştir.

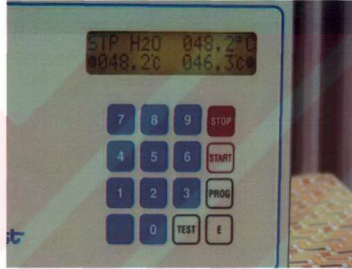
Tablo 5.3. Penetrasyon Değerleri

Bağlayıcı	Penetrasyon (mm ⁻¹)
AC 75 / 100	90
AC 100 / 150	138
AC 75/100 + % 0,5 PR	116
AC 75/100 + % 0,75 PR	142
AC 75/100 + % 1 PR	167
AC 75/100 + % 2 PR	184
AC 75/100 + % 3 PR	237

Penetrasyon deneyi sonucunda karışımdaki polyester reçine oranının arttıkça penetrasyon değerinin de arttığı yani polyester reçinenin bağlayıcıyı yumuşattığı tespit edilmiştir.

5.1.2.2. Yumuşama Noktası Deney Sonuçları

TS 120'ye uygun olarak AC 75/100, AC 100/150 saf asfalt çimentoları ve AC 75/100 asfalt çimentosuna % 0,5 ; 0,75 ; 1 ; 2 ; 3 oranında polyester reçine katılarak elde edilen karışımlar üzerinde yapılan yumuşama noktası deneyleri sonucunda Tablo 5.4'deki değerler elde edilmiştir. Deney, otomatik yumuşama noktası aleti kullanılarak yapılmıştır (Şekil 5.2).



Şekil 5.2. Yumuşama Noktası Aleti Deney Sonu Ekranı

Tablo 5.4. Yumuşama Noktası Değerleri

Bağlayıcı	Yumuşama Noktası (°C)
AC 75 / 100	48,2
AC 100 / 150	46,7
AC 75/100 + % 0,5 PR	47,7
AC 75/100 + % 0,75 PR	47,1
AC 75/100 + % 1 PR	46,6
AC 75/100 + % 2 PR	46,3
AC 75/100 + % 3 PR	44,7

Yumuşama noktası deney sonuçlarına göre kullanılan polyester reçine oranı arttıkça yumuşama noktası düşmüştür. Buna göre; polyester reçinenin oranının artması bağlayıcının yüksek sıcaklıklarda ki rijitliğini azaltmaktadır.

5.1.2.3. Düktilite Deney Sonuçları

AC 75/100, AC 100/150 saf asfalt çimentoları ve AC 75/100 asfalt çimentosuna ağırlıkça % 0,5 , 0,75 , 1 , 2 , 3 oranında polyester reçine katılarak elde edilen karışımlar üzerinde TS 119'a uygun olarak yapılan deney sonuçları Tablo 5.5'de verilmiştir. Saf bağlayıcıların düktilite değerlerinin standarttaki alt limit olan 100 cm.den daha yüksek olduğu, katkılı karışımlarda ise % 0,75 katkı oranına kadar standarttaki minimum değerin sağlandığı fakat daha fazla katkı oranlarında ise düktilitenin azaldığı tespit edilmiştir.

Tablo 5.5. Düktilite Değerleri

Bağlayıcı	Düktilite (cm)
AC 75 / 100	> 100
AC 100 / 150	> 100
AC 75/100 + % 0,5 PR	> 100
AC 75/100 + % 0,75 PR	> 100
AC 75/100 + % 1 PR	85
AC 75/100 + % 2 PR	76
AC 75/100 + % 3 PR	68

5.1.2.4. Özgül Ağırlık Deney Sonuçları

Yapılan deneyler sonucunda Formül (3.6) , (3.7) , (3.8) , (3.9) kullanılarak bulunan AC 75/100, AC 100/150 saf asfalt çimentolarının ve AC 75/100 asfalt çimentosuna ağırlıkça % 0,5 , 0,75 , 1 , 2 , 3 oranında polyester reçine katılarak elde edilen karışımların özgül ağırlıkları Tablo 5.6'da verilmiştir. Deney sonuçları, PR oranının arttıkça özgül ağırlığın azaldığını göstermektedir.

Tablo 5.6. Bulunan Bağlayıcı Özgül Ağırlıkları

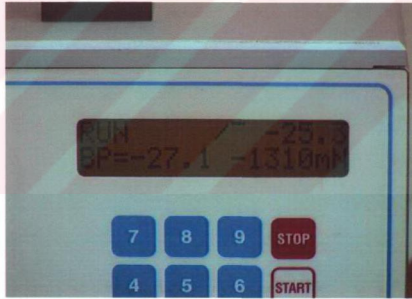
Bağlayıcı	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)
AC 75 / 100	1,036
AC 100 / 150	1,035
AC 75/100 + % 0,5 PR	1,035
AC 75/100 + % 0,75 PR	1,033
AC 75/100 + % 1 PR	1,032
AC 75/100 + % 2 PR	1,030
AC 75/100 + % 3 PR	1,027

5.1.2.5. Fraas Kırılma Noktası Deney Sonuçları

Bağlayıcıların kırılma noktalarının tespitinde Fraas otomatik deney aleti kullanılmıştır (Şekil 5.3). AC 75/100, AC 100/150 saf bitümleri ve AC 75/100 bitümüne % 0,75 oranına PR eklenmesiyle elde edilen bağlayıcı üzerinde TS EN 12593'e uygun olarak yapılan deney sonucunda Fraas kırılma noktası deney aletinden okunan sonuçlar Tablo 5.7'de verilmiştir.

Tablo 5.7. Fraas Kırılma Noktası Deney Sonuçları

Bağlayıcı	Fraas Kırılma Noktası (°C)
AC 75 / 100	- 27,1
AC 100 / 150	- 21, 4
AC 75/100 + % 0,75 PR	- 26,3



Şekil 5.3. Fraas Kırılma Noktası Aleti Deney Sonu Ekranı

Yapılan deneyler sonucunda en düşük sıcaklıkta çatlama AC 75/100 bitümünde meydana gelmiştir. Katkılı bağlayıcıda çatlak oluşumu ise AC 100/150 bitümünden daha düşük sıcaklıkta meydana gelmiştir. Fraas kırılma noktası deneyi bağlayıcıların düşük sıcaklık karakteristiğini gösterdiğinden düşük sıcaklıklarda en iyi dayanımı AC 75/100 bitümünün gösterdiği tespit edilmiştir.

5.2. Karışımlar Üzerinde Yapılan Deneyler

Bağlayıcılar üzerinde yapılan penetrasyon deneyleri sonucunda, AC 100/150 bitümü penetrasyonuna en yakın değere, AC 75/100'e % 0,75 oranında polyester reçine katılarak elde edilen bağlayıcının sahip olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle karışımlarda; AC 75/100, AC 100/150 saf bitümleri ve AC 75/100 bitümüne % 0,75 oranında polyester reçine katılarak elde edilen bağlayıcı kullanılmıştır. AC 75/100 bitümüne % 0,75 oranında polyester reçine ilave edilerek elde edilen bağlayıcı 'PR Katkılı Bağlayıcı' olarak isimlendirilmiştir. Yapılan numuneler üzerinde Marshall, indirekt çekme sertlik modülü ve statik yüklemeli sünme sertliği deneyleri yapılmıştır. Her bir bağlayıcının optimum bitüm içeriklerinin belirlenmesi için 18 adet ve indirekt çekme deneyi için 9 adet olmak üzere toplam 81 adet numune denenmiştir.

5.2.1. Optimum Bitüm İçeriklerinin (OBİ) Belirlenmesi

AC 75/100, AC 100/150 saf bitümleri ve PR katkı bağlayıcı, toplam agreganın ağırlığının % 4,0 ; 4,5 ; 5,0 ; 5,5 ve 6,0'sı oranında kullanılmış ve her bir yüzde için üçer numune hazırlanmıştır. Bu numunelerin havadaki, sudaki ve doymuş kuru yüzey ağırlıkları alınarak Formül 3.1 – 3.12'nin yardımıyla hacim özgül ağırlıkları (D_p), boşluk oranları (V_h), agregalar arası boşluk oranları (VMA) ve asfaltla dolu boşluk oranları (V_f) belirlenmiştir. Bu değerlerin bulunmasına örnek Ek – 3'te verilmiştir. Daha sonra numuneler Marshall stabilite aletinde deneyerek stabilite ve akma değerleri belirlenmiştir. Bulunan bu değerler kullanılarak stabilite, D_p , V_h , V_f ve akma - % bitüm grafikleri çizilmiştir.

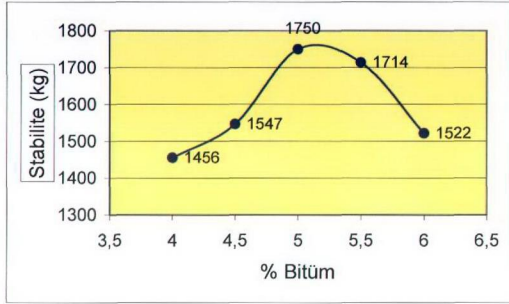
Tablo 5.8, AC 75/100 bağlayıcısı içeren numunelerin sonuçlarını, Şekil 5.4 – 5.9 ise aynı bağlayıcı kullanılarak elde edilen numunelerin optimum bitüm içeriklerinin tayininde kullanılan grafiklerini göstermektedir.

Tablo 5.9, AC 100/150 bitümü kullanılan numunelerin sonuçlarını, Şekil 5.10 – 5.15 ise aynı bağlayıcının OBİ hesabında kullanılan grafiklerini göstermektedir.

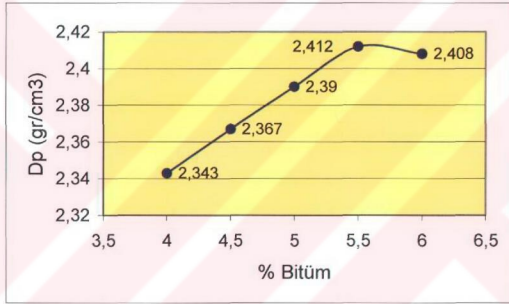
AC 75/100 bitümüne % 0,75 oranında polyester reçine katılarak elde edilen karışımın kullanıldığı numunelerin sonuçları Tablo 5.10'da , OBİ'nin belirlenmesinde kullanılan grafikler ise Şekil 5.16 – 5.21'de gösterilmiştir.

Tablo 5.8. AC 75 / 100 Kullanılarak Hazırlanan Numunelerin Özgül Ağırlık ve Marshall Deney Sonuçları

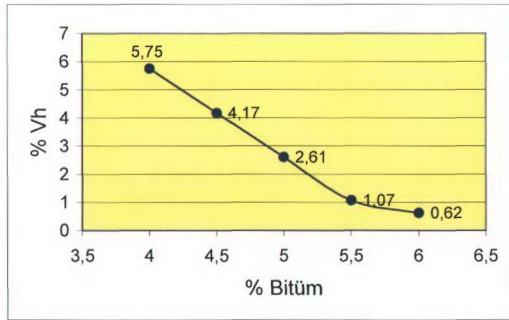
Bri ket No:	Bitüm		Briket Yükleklığı				A (gr)	C (gr)	B (gr)	V (cm ³)	Dp gr/cm ³	D _s gr/cm ³	V _h %	V.M.A %	V _f %	Akma (mm)	Stab. (kg)	Düz. Fak.	Düz. Stab
	W _a %	W _b %	1	2	3	Ort													
1	4,0	3,85	48	66,9	67,0	66,9	1243,1	719,6	1248,2	528,6	2,352					2,73	1520	0,920	1398
2	4,0	3,85	48	66,4	66,5	66,5	1241,1	716,7	1247,8	531,1	2,337					2,87	1610	0,927	1493
3	4,0	3,85	48	66,4	66,2	66,3	1242,8	718,9	1249,9	531,0	2,341	2,486	5,75	14,47	60,26	2,93	1580	0,934	1476
ORTALAMALAR																			
4	4,5	4,31	54	65,4	65,4	65,5	1248,5	724,4	1252,4	528,0	2,365					2,84			1456
5	4,5	4,31	54	65,9	66,0	65,9	1248,7	726,3	1252,6	526,3	2,373					2,94	1640	0,953	1563
6	4,5	4,31	54	65,8	65,8	65,9	1249,3	726,3	1254,9	528,6	2,363	2,470	4,17	14,01	70,24	2,85	1590	0,943	1499
ORTALAMALAR																			
7	5,0	4,76	60	64,9	65,0	64,9	1253,5	730,7	1255,5	524,8	2,367					2,92			1547
8	5,0	4,76	60	65,3	65,3	65,3	1256,1	732,6	1259,0	526,4	2,386					3,11	1770	0,965	1708
9	5,0	4,76	60	64,8	64,9	64,9	1254,1	732,4	1255,9	523,5	2,396	2,454	2,61	13,58	80,78	3,09	1820	0,955	1738
ORTALAMALAR																			
10	5,5	5,21	66	64,6	64,8	64,7	1259,1	739,5	1260,7	521,2	2,416					3,12			1750
11	5,5	5,21	66	64,8	64,9	64,9	1260,7	739,1	1262,2	523,1	2,410					3,75	1810	0,970	1756
12	5,5	5,21	66	64,7	64,7	64,7	1256,6	736,8	1258,3	521,5	2,410	2,438	1,07	13,20	91,89	3,11	1740	0,965	1679
ORTALAMALAR																			
13	6,0	5,66	72	65,2	65,2	65,2	1264,6	740,8	1265,9	525,1	2,408					3,40			1714
14	6,0	5,66	72	65,0	65,1	64,9	1264,5	742,1	1266,0	523,9	2,414					4,15	1630	0,957	1560
15	6,0	5,66	72	65,4	65,5	65,4	1264,2	740,2	1266,3	526,1	2,403	2,423	0,62	13,76	95,49	3,86	1570	0,962	1510
ORTALAMALAR																			
K-1	5,0	4,76	60	64,8	64,9	64,8	1251,8	730,4	1254,6	524,2	2,388					4,05			1522
K-2	5,0	4,76	60	65,0	65,2	65,1	1253,4	733,1	1256,9	523,8	2,393					2,69	1810	0,967	1750
K-3	5,0	4,76	60	64,8	64,7	64,8	1254,5	734,3	1257,9	523,6	2,396	2,454	2,53	13,51	81,27	2,99	1770	0,960	1699
ORTALAMALAR																			
											2,392					2,97			1746



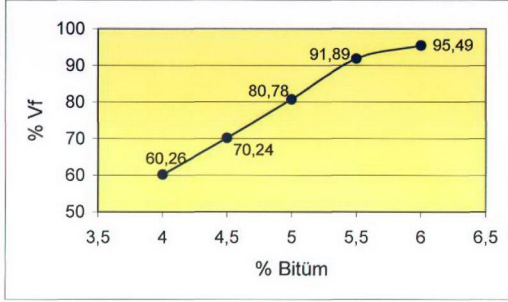
Şekil 5.4. AC 75 / 100 Kullanılan Numunelerde Stabilite - % Bitüm İlişkisi



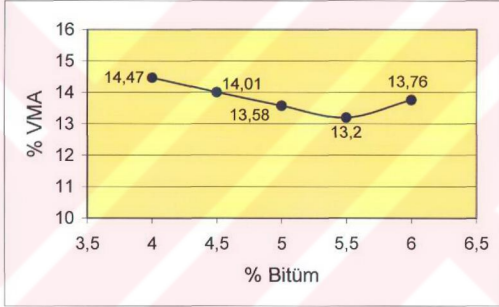
Şekil 5.5. AC 75 / 100 Kullanılan Numunelerde D_p - % Bitüm İlişkisi



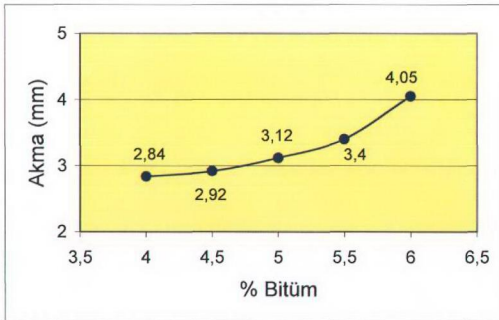
Şekil 5.6. AC 75 / 100 Kullanılan Numunelerde V_h - % Bitüm İlişkisi



Şekil 5.7. AC 75 / 100 Kullanılan Numunelerde V_f - % Bitüm İlişkisi



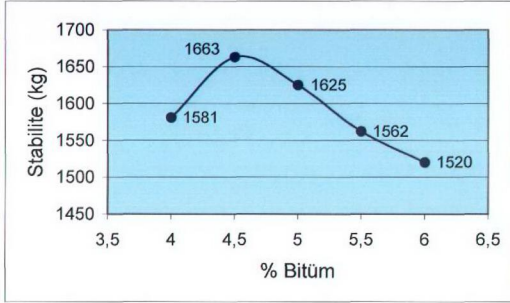
Şekil 5.8. AC 75 / 100 Kullanılan Numunelerde VMA - % Bitüm İlişkisi



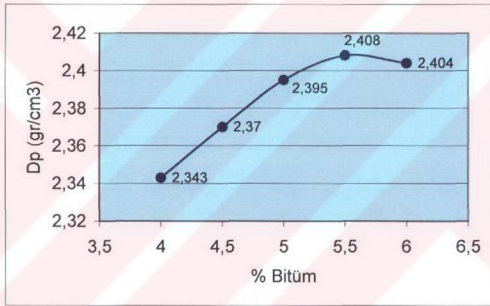
Şekil 5.9. AC 75 / 100 Kullanılan Numunelerde Akma - % Bitüm İlişkisi

Tablo 5.9. AC 100 / 150 Kullanılarak Hazırlanan Numunelerin Özgütlü Ağırlık ve Marshall Deney Sonuçları

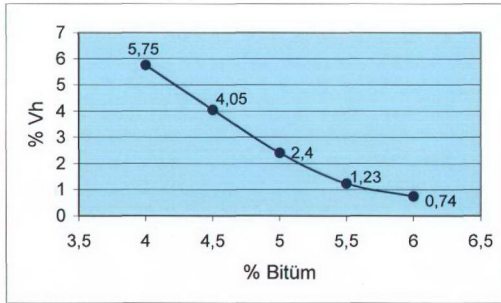
Bri ket No:	Bitüm		Briket Yüksekliği				A (gr)	C (gr)	B (gr)	V (cm ³)	Dp gr/cm ³	Dt gr/cm ³	Vh %	V.M.A %	Vf %	Akma (mm)	Stab (kg)	Düz Fak.	Düz Stab
	Wa %	gr	1	2	3	Ort													
1	4,0	3,85	48	66,2	66,3	66,2	1243,9	720,7	1249,3	528,6	2,353					2,75	1700	0,936	1591
2	4,0	3,85	48	66,1	66,3	66,2	1242,1	716,3	1247,6	531,3	2,338					2,64	1670	0,936	1563
3	4,0	3,85	48	66,1	66,0	66,0	1242,5	717,8	1249,2	531,4	2,338	2,486	5,75	14,47	60,26	2,64	1690	0,940	1589
ORTALAMALAR																			
4	4,5	4,31	54	65,6	65,4	65,5	1248,1	725,1	1251,7	526,6	2,370					2,68			1581
5	4,5	4,31	54	65,3	65,5	65,4	1246,3	723,0	1249,7	526,7	2,366					2,80	1710	0,951	1626
6	4,5	4,31	54	65,3	65,1	65,2	1247,9	725,4	1251,2	525,8	2,373	2,470	4,05	13,92	70,91	2,64	1780	0,953	1658
ORTALAMALAR																			
7	5,0	4,76	60	65,0	64,9	65,0	1252,7	730,4	1254,4	524,0	2,391					2,84			1663
8	5,0	4,76	60	64,8	64,8	64,8	1254,2	732,4	1255,8	523,4	2,396					2,93	1690	0,962	1626
9	5,0	4,76	60	64,8	64,8	64,9	1253,1	731,9	1254,5	522,6	2,398	2,454	2,40	13,40	82,09	3,25	1720	0,967	1663
ORTALAMALAR																			
10	5,5	5,21	66	65,1	65,2	65,2	1259,9	738,2	1261,4	523,2	2,408					2,94			1625
11	5,5	5,21	66	65,0	65,0	65,1	1259,2	737,6	1260,7	523,1	2,407					2,82	1630	0,957	1560
12	5,5	5,21	66	64,8	64,7	64,8	1260,2	738,7	1261,9	523,2	2,409	2,438	1,23	13,34	90,78	3,51	1620	0,962	1558
ORTALAMALAR																			
13	6,0	5,66	72	64,8	64,9	65,0	1265,8	740,6	1267,0	526,4	2,405					3,28			1562
14	6,0	5,66	72	65,0	65,0	64,9	1265,3	740,7	1266,7	526,0	2,406					4,15	1610	0,965	1554
15	6,0	5,66	72	65,0	64,8	64,8	1263,4	738,6	1264,5	525,9	2,402	2,422	0,74	13,90	94,68	4,27	1530	0,962	1572
ORTALAMALAR																			
K-1	4,85	4,63	58,2	64,8	64,9	65,0	1252,8	729,4	1254,4	525,0	2,386					4,05			1520
K-2	4,85	4,63	58,2	65,1	65,1	64,9	1253,9	730,1	1255,4	525,3	2,387					2,67	1710	0,965	1650
K-3	4,85	4,63	58,2	64,8	64,7	64,9	1253,1	728,9	1254,7	525,8	2,383	2,458	2,97	13,65	78,24	2,91	1680	0,962	1616
ORTALAMALAR																			
											2,385					2,86			1650



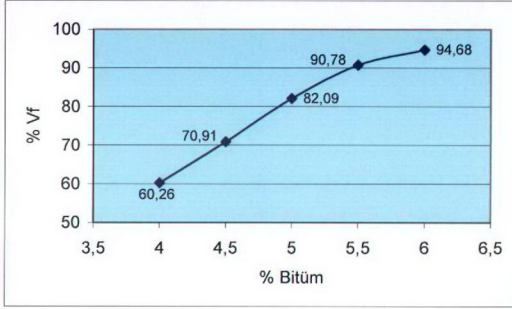
Şekil 5.10. AC 100 / 150 Kullanılan Numunelerde Stabilite - % Bitüm İlişkisi



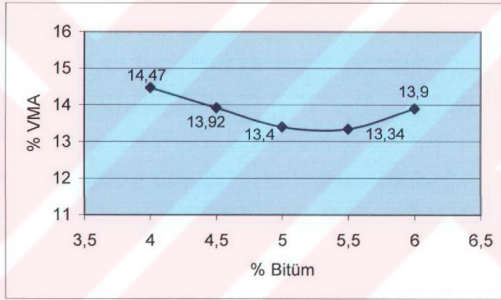
Şekil 5.11. AC 100 / 150 Kullanılan Numunelerde D_p - % Bitüm İlişkisi



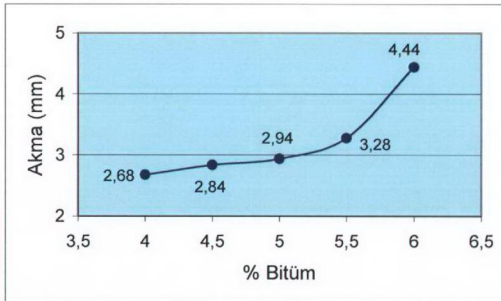
Şekil 5.12. AC 100 / 150 Kullanılan Numunelerde V_h - % Bitüm İlişkisi



Şekil 5.13. AC 100 / 150 Kullanılan Numunelerde V_f - % Bitüm İlişkisi



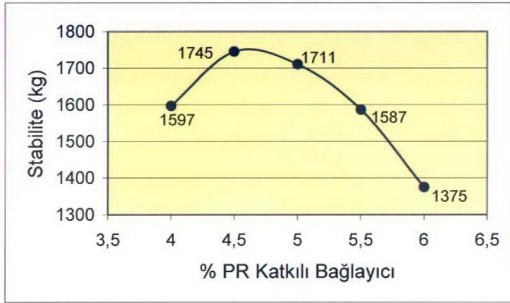
Şekil 5.14. AC 100 / 150 Kullanılan Numunelerde VMA - % Bitüm İlişkisi



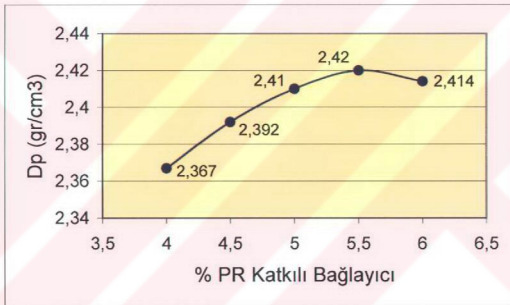
Şekil 5.15. AC 100 / 150 Kullanılan Numunelerde Akma - % Bitüm İlişkisi

Tablo 5.10. Modifiye Bitüm Kullanılarak Hazırlanan Numunelerin Özgül Ağırlık ve Marshall Deney Sonuçları

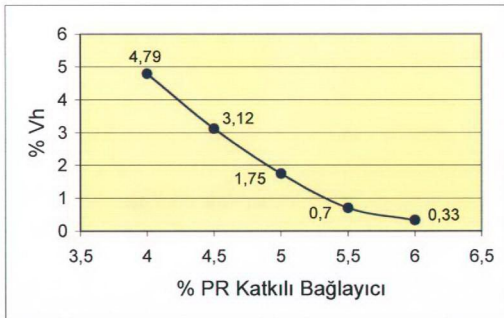
Bri ket No:	Bitüm		Briket Yüksekliği				A (gr)	C (gr)	B (gr)	V (cm ³)	Dp gr/cm ³	D _t gr/cm ³	V _h %	V.M.A %	V _f %	Akma (mm)	Stab (kg)	Düz. Fak.	Düz. Stab	
	W _a %	W _b %	gr	1	2	3														Ort
1	4,0	3,85	48	65,6	65,7	65,6	65,6	1243,2	726,8	1250,6	523,8	2,373				2,17	1740	0,949	1651	
2	4,0	3,85	48	65,6	65,7	65,7	65,7	1241,2	724,2	1248,5	524,3	2,367				2,46	1680	0,947	1591	
3	4,0	3,85	48	65,4	65,5	65,5	65,5	1243,7	725,7	1252,4	526,7	2,361	2,486	4,79	13,60	64,78	2,57	1630	0,951	1550
ORTALAMALAR																				
4	4,5	4,31	54	64,7	64,6	64,8	64,7	1247,0	729,6	1251,0	521,4	2,392				2,40			1597	
5	4,5	4,31	54	64,7	64,9	64,9	64,8	1247,4	730,3	1251,4	521,1	2,394				2,73	1810	0,970	1759	
6	4,5	4,31	54	64,7	64,7	64,8	64,7	1246,8	729,4	1251,4	522,0	2,389	2,469	3,12	13,10	76,18	2,42	1770	0,967	1712
ORTALAMALAR																				
7	5,0	4,76	60	64,6	64,5	64,7	64,6	1254,1	735,5	1257,1	521,6	2,404				2,60			1745	
8	5,0	4,76	60	64,3	64,2	64,2	64,2	1251,4	735,1	1254,5	519,4	2,409				2,76	1760	0,972	1711	
9	5,0	4,76	60	64,4	64,4	64,3	64,4	1254,7	738,6	1257,5	518,9	2,418	2,453	1,75	12,86	86,39	3,05	1740	0,982	1709
ORTALAMALAR																				
10	5,5	5,21	66	64,4	64,6	64,6	64,5	1257,8	743,5	1262,2	518,7	2,425				2,82			1711	
11	5,5	5,21	66	64,5	64,6	64,5	64,5	1257,8	742,2	1262,5	520,3	2,417				3,52	1640	0,975	1599	
12	5,5	5,21	66	64,3	64,2	64,2	64,2	1255,3	740,9	1259,8	518,9	2,419	2,437	0,70	12,91	94,58	3,34	1610	0,975	1570
ORTALAMALAR																				
13	6,0	5,66	72	64,6	64,5	64,7	64,6	1261,3	743,7	1265,5	521,8	2,420				3,52			1587	
14	6,0	5,66	72	64,9	64,8	65,0	64,9	1262,7	743,8	1267,0	523,2	2,413				3,70	1460	0,972	1419	
15	6,0	5,66	72	64,9	64,8	64,8	64,8	1261,5	743,1	1266,3	523,2	2,411	2,422	0,33	13,54	97,56	4,52	1370	0,965	1322
ORTALAMALAR																				
K-1	4,74	4,52	56,8	64,8	64,9	64,8	64,8	1249,9	732,2	1253,8	521,6	2,396				4,05			1375	
K-2	4,74	4,52	56,8	65,0	65,0	64,8	64,9	1248,9	731,2	1252,8	521,6	2,394				2,89	1820	0,967	1760	
K-3	4,74	4,52	56,8	64,8	64,8	64,7	64,8	1248,7	731,4	1252,3	520,9	2,397	2,462	2,68	13,15	79,62	2,40	1850	0,965	1785
ORTALAMALAR																				
																2,80			1772	



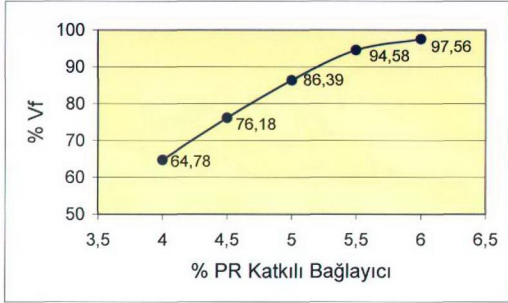
Şekil 5.16. PR katkılı bağlayıcı kullanılan Numunelerde Stabilité - % Bitüm ilişkisi



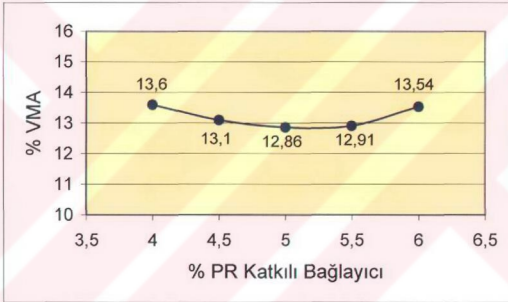
Şekil 5.17. PR katkılı bağlayıcı kullanılan Numunelerde D_p - % Bitüm ilişkisi



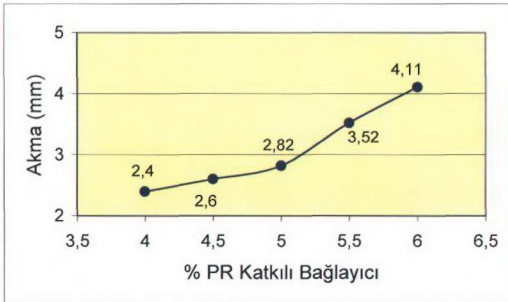
Şekil 5.18. PR katkılı bağlayıcı kullanılan Numunelerde V_h - % Bitüm ilişkisi



Şekil 5.19. PR Katkılı Bağlayıcı Kullanılan Numunelerde V_f - % Bitüm İlişkisi



Şekil 5.20. PR Katkılı Bağlayıcı Kullanılan Numunelerde VMA - % Bitüm İlişkisi



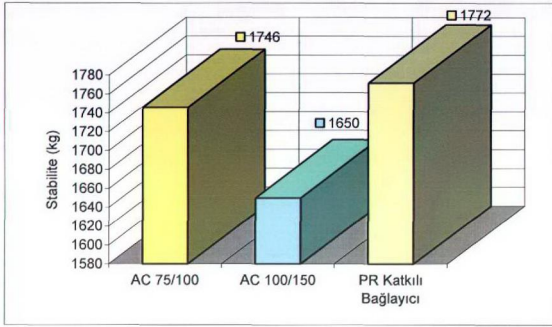
Şekil 5.21. PR Katkılı Bağlayıcı Kullanılan Numunelerde Akma - % Bitüm İlişkisi

Çizilen grafiklerden stabilitenin ve hacim özgül ağırlığın maksimum olduğu yüzdelere, boşluk oranının % 4'e, asfaltla dolu boşluk oranının % 80'e tekabül ettiği yüzdelere alınmıştır. Bu yüzde değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak optimum bitüm içeriği belirlenmiştir. Her bir bağlayıcı türü için OBI'lerinde üç adet kontrol numunesi hazırlanmıştır. Kontrol numuneleri üzerinde de aynı işlemler yapılarak elde edilen değerlerin grafiklerle uygunluğu karşılaştırılmıştır. Kontrol numunelerinden elde edilen değerler Tablo 5.8 , 5.9 ve Tablo 5.10'un altında verilmiştir. Tablo 5.11, OBI'lerin belirlenmesinde kullanılan değerleri göstermektedir.

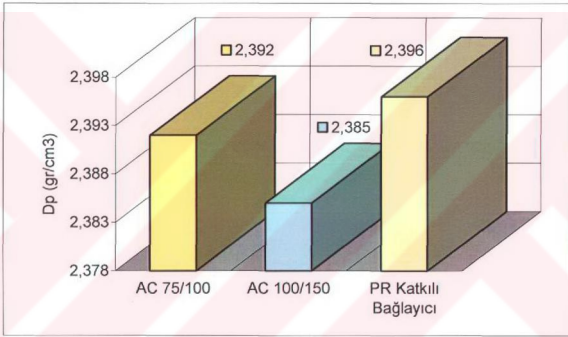
Tablo 5.11. Optimum Bağlayıcı Oranlarının Tespitinde Kullanılan Değerler

Kriterler	AC 75 / 100	AC 100 / 150	PR Katkılı Bağlayıcı
Maksimum Stabilité	5,0	4,5	4,5
Maksimum D_p	5,5	5,5	5,5
% 4 V_h	4,55	4,51	4,25
% 80 V_f	4,95	4,9	4,69
Optimum	% 5,0	% 4,85	% 4,74

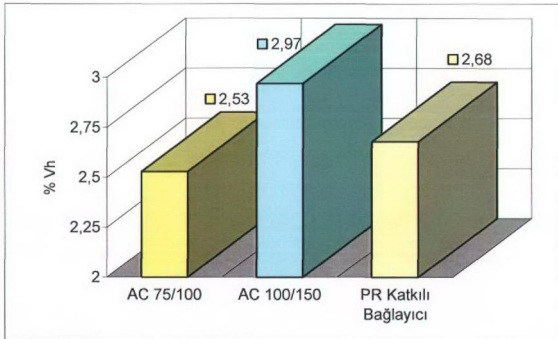
Şekil 5.22 – 5.27, üç çeşit bağlayıcı ile optimum bitüm içeriklerinde hazırlanan kontrol numunelerinden elde edilen değerleri karşılaştırmaktadır. Bu grafiklere göre en yüksek stabilite ve özgül ağırlık, PR katkılı bağlayıcı kullanılan numunelerden elde edilirken, en düşük stabilite ve özgül ağırlık ise AC 100/150 bitümü kullanılan numunelerde görülmüştür. En yüksek boşluk oranı AC 100/150 bitümü kullanılan numunelerde meydana gelmiştir. Üç çeşit bağlayıcıdan optimum oranda kullanılarak yapılan numunelerin akma karşılaştırılmasında ise en büyük değer AC 75/100 kullanılan numunelerden, en düşük değer ise polyester reçine katkılı bağlayıcı kullanılan numunelerden elde edilmiştir. Bütün numuneler içerisinde en fazla yükü PR katkılı bağlayıcı kullanılan numuneler taşıdığından ve en yüksek yük değerinde meydana gelen deformasyon miktarı anlamına gelen akma miktarları arasında en düşük değere PR katkılı bağlayıcı kullanılan numuneler sahip olduğundan Marshall deneyi sonucunda en iyi sonucu PR katkılı bağlayıcı kullanılan numunelerin verdiği söylenebilmektedir.



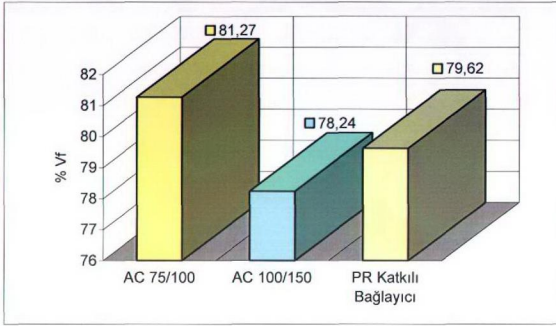
Şekil 5.22. Üç Farklı Bağlayıcı ile OBİ’de Hazırlanan Numunelerin Stabilite Kıyası



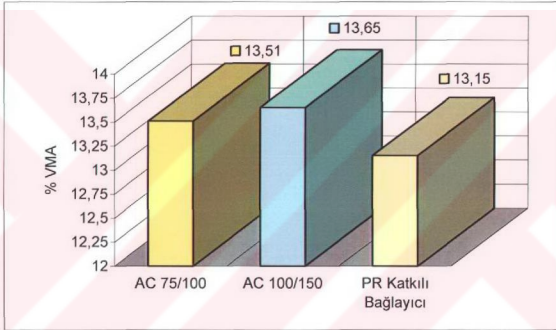
Şekil 5.23. Üç Farklı Bağlayıcı ile OBİ’de Hazırlanan Numunelerin Özgül Ağırlık Kıyası



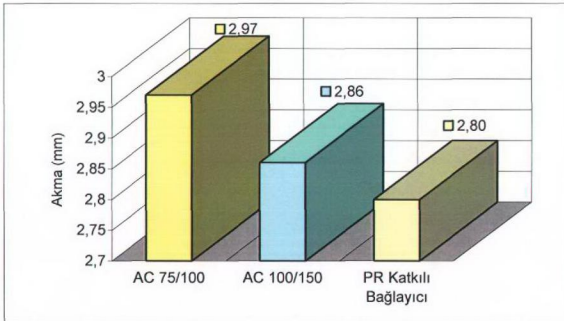
Şekil 5.24. Üç Farklı Bağlayıcı ile OBİ’de Hazırlanan Numunelerin Boşluk Oranı Kıyası



Şekil 5.25. Üç Farklı Bağlayıcı ile OBİ'de Hazırlanan Numunelerin Asfaltla Dolu Boşluk Oranı Karşılaştırılması



Şekil 5.26. Üç Farklı Bağlayıcı ile OBİ'de Hazırlanan Numunelerin Agregalar Arası Boşluk Oranı Karşılaştırılması



Şekil 5.27. Üç Farklı Bağlayıcı ile OBİ'de Hazırlanan Numunelerin Akma Miktarlarının Karşılaştırılması

5.2.2. İndirekt Çekme Sertlik Modülü Deney Sonuçları

İndirekt çekme sertlik modülü (İÇSM) deneyi 0 , 20 ve 40 °C sıcaklıklarda yapılmıştır. Her bir sıcaklık değeri için AC 75/100, AC 100/150 ve % 0,75 oranında PR içeren bağlayıcıların optimum bitüm içeriklerinde hazırlanmış olan üçer numune denenmiştir. Elde edilen sonuçlardan birbirine en yakın iki değerin ortalaması alınarak indirekt çekme sertlik modülleri tayin edilmiştir.

Tablo 5.12, Optimum bitüm içeriklerinde hazırlanan numunelerin 0 °C sıcaklıktaki İÇSM değerlerini göstermektedir. Tablo 5.13 numunelerin 20 °C sıcaklıkta, Tablo 5.14 ise 40 °C sıcaklıktaki İÇSM deney sonuçlarını göstermektedir.

Tablo 5.12. OBİ’de Hazırlanan Numunelerin 0 °C Sıcaklıkta İÇSM Değerleri

Bağlayıcı	İÇSM (E) (MPa)
AC 75 / 100	10770,5
AC 100 / 150	5474
% 0,75 Katkılı	17372,5

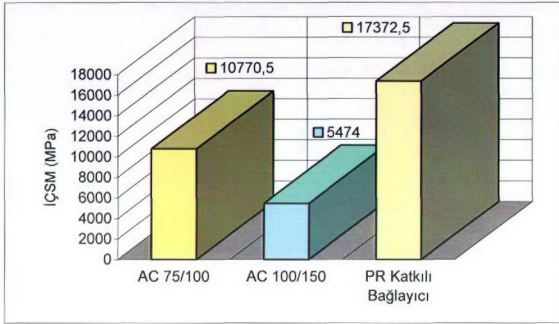
Tablo 5.13. OBİ’de Hazırlanan Numunelerin 20 °C Sıcaklıkta İÇSM Değerleri

Bağlayıcı	İÇSM (E) (MPa)
AC 75 / 100	1962,5
AC 100 / 150	1465
% 0,75 Katkılı	1986,5

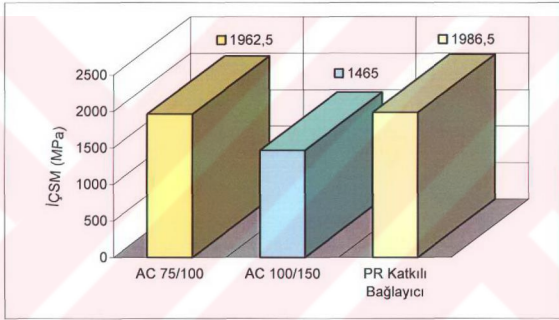
Tablo 5.14. OBİ’de Hazırlanan Numunelerin 40 °C Sıcaklıkta İÇSM Değerleri

Bağlayıcı	İÇSM (E) (MPa)
AC 75 / 100	340,5
AC 100 / 150	247,8
% 0,75 Katkılı	462,8

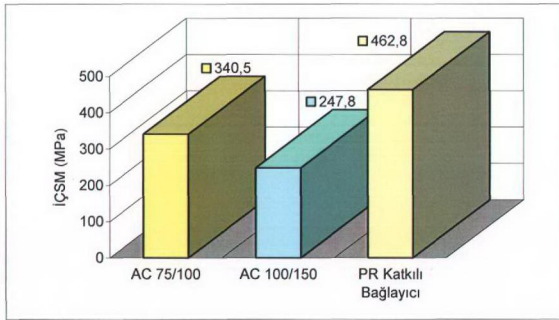
Şekil 5.28 – 5.30, üç çeşit bağlayıcı kullanılarak optimum bitüm içeriklerinde hazırlanmış numunelerin deney sıcaklıklarındaki İÇSM sonuçlarını karşılaştırmaktadır.



Şekil 5.28. 0 °C Sıcaklıkta Elde Edilen İÇSM Değerlerinin Karşılaştırılması



Şekil 5.29. 20 °C Sıcaklıkta Elde Edilen İÇSM Değerlerinin Karşılaştırılması



Şekil 5.30. 40 °C Sıcaklıkta Elde Edilen İÇSM Değerlerinin Karşılaştırılması

0 , 20 ve 40 °C sıcaklıklarda yapılan indirekt çekme sertlik modülü deneyleri sonucunda, bütün sıcaklıklarda en yüksek sertlik değerine polyester reçine katkılı bağlayıcı kullanılan numunelerin sahip olduğu, en düşük değere ise AC 100/150 kullanılan numunelerin sahip olduğu belirlenmiştir. Sıcaklık arttıkça visko – elastik özellikten dolayı karışımların sertlik değerleri azalmıştır. Sonuçlar, dinamik yükler karşısında en iyi dayanımın PR katkılı bağlayıcı kullanılan karışımlardan, en düşük dayanımın ise AC 100/150 kullanılan karışımlardan elde edileceğini göstermektedir.

5.2.3. Statik Yüklemeli Sünme Sertliği Deney Sonuçları

Statik yüklemeli sünme sertliği (SYSS) deneyi optimum bitüm içeren numuneler üzerinde 40 ve 60 °C sıcaklıklarda yapılmıştır. Her bir sıcaklık değerinde AC 75/100, AC 100/150 ve % 0,75 polyester reçine kullanılarak hazırlanan numunelerden üçer tane denenmiştir. Elde edilen sonuçlardan birbirine en yakın iki tane sonucun ortalaması alınarak sünme sertlik değeri tespit edilmiştir.

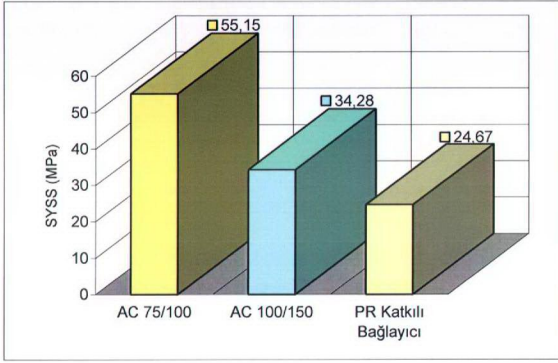
Tablo 5.15, 40 °C sıcaklıkta, Tablo 5.16 ise 60 °C sıcaklıkta elde edilen sonuçları göstermektedir. Şekil 5.31 ve 5.32 ise bu değerlerin karşılaştırmalarını göstermektedir.

Tablo 5.15. OBİ’de Hazırlanmış Numunelerin 40 °C Sıcaklıkta SYSS Değerleri

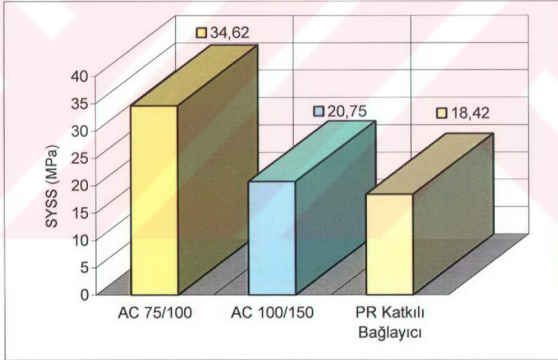
Bağlayıcı	SYSS (E _{cl}) (MPa)
AC 75 / 100	55,15
AC 100 / 150	34,28
% 0,75 Katkılı	24,67

Tablo 5.16. OBİ’de Hazırlanmış Numunelerin 60 °C Sıcaklıkta SYSS Değerleri

Bağlayıcı	SYSS (E _{cl}) (MPa)
AC 75 / 100	34,62
AC 100 / 150	20,75
% 0,75 Katkılı	18,42



Şekil 5.31. 40 °C Sıcaklıkta Elde Edilen SYSS Değerlerinin Karşılaştırılması



Şekil 5.32. 60 °C Sıcaklıkta Elde Edilen SYSS Değerlerinin Karşılaştırılması

40 ve 60 °C sıcaklıklarda yapılan statik yüklemeli sünme sertliği deneyleri sonucunda her iki sıcaklıkta da en yüksek değere AC 75/100 kullanılan karışımların, en düşük değere ise polyester reçine katkılı bağlayıcı kullanılan karışımların sahip olduğu belirlenmiştir.

6. MALİYET HESABI

Bütün dünyada olduğu gibi büyük şehirlerimiz başta olmak üzere ülkemizde de yol kaplamalarının performansını arttırmak amacıyla modifiye bitümler tercih edilmeye başlanmıştır. Bitüm modifikasyonunda kullanılacak malzemelerin tercih edilir olabilmesi için sağladığı faydaların yanında maliyetinin uygun ve kolaylıkla elde edilebilir olması gerekmektedir.

2005 Bayındırlık Birim Fiyat Katalogu'nda asfalt çimentosu rafineri çıkış fiyatı 250 YTL / ton olarak belirtilmiştir. Marshall yöntemiyle bulunan karışımındaki optimum bağlayıcı oranları Tablo 6.1'de verilmiştir.

Tablo 6.1. Karışım İçerisindeki Bağlayıcı oranları

Bağlayıcı	AC 75 / 100	AC 100 / 150	PR Katkılı Bağlayıcı
Toplam			
Karışımındaki Bitüm	% 4,76	% 4,63	% 4,52
Yüzdesi			

AC 75/100 bitümü kullanılarak hazırlanan 1 ton karışım için bitüme harcanan miktar aşağıda belirlenmiştir.

$$F_{AC\ 75/100} = 250 \times 4,76 / 100 = 11,90\ YTL$$

AC 100/150 bitümü kullanılarak hazırlanan 1 ton karışım için bitüme harcanan miktar aşağıda belirlenmiştir.

$$F_{AC\ 100/150} = 250 \times 4,63 / 100 = 11,575\ YTL$$

PR katkılı bağlayıcı, AC 75/100 bitümüne % 0,75 oranında polyester reçine ilave edilerek elde edilmiştir. Polyester reçinenin fiyatı 5000 YTL / ton'dur. 1 ton karışım için PR katkılı bağlayıcıya harcanan miktar aşağıda belirlenmiştir.

$$F_{\text{karışım}} = [250 \times (99,925) + 5000 \times (0,075)] / 100 = 253,5625\ YTL / \text{ton}$$

$$F_{mb} = 253,5625 \times 4,52 / 100 = 11,461\ YTL$$

Yapılan çalışmada, AC 75/100 bitümüne % 0,75 oranında polyester reçine katılarak elde edilen PR katkılı bağlayıcı, AC 100/150 bitümü ile karşılaştırılmaktadır. AC 100/150 bitümü yerine PR katkılı bağlayıcı kullanılmasıyla 11,4 YKr / ton kazanç sağlanmaktadır.

7. SONUÇ

Bağlayıcı üzerinde yapılan deneyler sonucunda AC 75/100 bitümüne % 0,75 oranında polyester reçine katılarak elde edilen PR katkılı bağlayıcının, elde edildiği bağlayıcının penetrasyonunu arttırdığı, yumuşama noktasını ve özgül ağırlığını azalttığı, Fraas kırılma noktasını ise yükselttiği belirlenmiştir. Yapılan bu deneyler kullanılan katkının, bitümü yumuşattığını ve esneklik kazandırdığını göstermektedir.

AC 75/100 bitümüne % 0,75 oranında polyester reçine katılmasıyla AC 100/150 bitümü ile aynı penetrasyon sınıfında bir bağlayıcı elde edilmiştir. Modifiye bitüm, AC 100/150 bitümü ile karşılaştırıldığında ise penetrasyonları yaklaşık olarak aynı olmasına rağmen modifiye bitümün yumuşama noktasının daha yüksek, Fraas kırılma noktasının ise daha düşük olduğu belirlenmiştir.

Karışım üzerinde yapılan deneyler sonucunda; PR katkılı bağlayıcı kullanılan karışımların diğer iki saf bağlayıcı kullanılanlara göre daha yüksek stabilite ve indirekt çekme sertlik modülüne sahip oldukları belirlenmiştir. Statik yüklemeli sünme sertlik deneyinde ise en düşük dayanımı PR katkılı bağlayıcı kullanılan karışımlar göstermiştir.

Optimum bitüm içeriklerinde en düşük bağlayıcı ihtiyacını PR katkılı bağlayıcı kullanılan karışımlar göstermektedir. Ayrıca karışımlarda kullanılan en ekonomik bağlayıcının da, PR katkılı bağlayıcı olduğu belirlenmiştir.

Bağlayıcılar ve karışımlar üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda AC 75/100'den elde edilen PR katkılı bağlayıcı, stabiliteyi ve dinamik yükler karşısında rijitliği arttırmaktadır. Bu nedenle PR katkılı bağlayıcının hava sıcaklıklarının aşırı yüksek olmadığı bölgelerde trafik hızlarının yüksek olduğu yollarda hem AC 75/100 hem de AC 100/150 yerine, Fraas kırılma noktası deneyinden yola çıkarak AC 100/150 kullanılması düşünülen soğuk iklimli bölgelerde ise bu bağlayıcının yerine kullanılmasının daha uygun olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Kuloğlu, N., 2004 Esnek Yol Üstyapıları Ders Notları
- [2] 4.Ulusal Asfalt Sempozyumu Bildiriler Kitapçığı, 2004, K.G.M. Yayınları, Ankara, 3. s.
- [3] The Shell Bitumen Handbook, Chapter 5, Polymer Modified And Special Bitumens, pp. 61 – 74.
- [4] Francken, L., 1998, Bituminous Binders And Mixes, Rilem Reports, pp. 1 – 33.
- [5] Nicholls, C., 1998, Asphalt Surfacing, E & FN Spon, pp. 68 – 79.
- [6] Modifiye Bitüm Teknik Şartnamesi, 2002, K.G.M. Yayınları, Ankara, 11 s.
- [7] Monishmith, C. L. and Tayebalı, A. A., 1988, Behaviour of mixes containing a conventional and a polymer modified asphalts, University of California at Berkeley.
- [8] Shuler, T. S., and Pavlovich, R. D., 1987, Characterization of polymer modified binders, New Mexico State Highway Department, Research Report 52001 – 1F.
- [9] Schnormeier, R. H., 1981, Time proves asphalt – rubber seals cost effective, National seminar on asphalt – rubber, San Antonio, Texas.
- [10] Yao, Z. and Monishmith, C. L., 1986, Behaviour of asphalt mixtures with carbon black reinforcement, Association of Asphalt Paving Technologists., Vol. 55, pp 564 – 585.
- [11] Plancher, H., Green, E. L. and Petersen, J. C., 1976, Reduction to oxidative bardening of asphalts by treatment with hydrated lime, Association of Asphalt Paving Technologists., Vol. 45, pp 1 – 24.
- [12] Denning, J. H., and Carswell, J., 1981, Improvements in rolled asphalt surfacings by the addition of sulphur, Transport and Road Research Laboratory Report No: 963.
- [13] Kennedy, T. W., Roberts, F. L., and Lee, K. W., 1982, Evaluation of asphalt mixtures using the freeze – thaw pedestal test, Association of Asphalt Paving Technologists., Vol. 51, pp 327 – 341.
- [14] Khattak, M. J., and Baladi, G. Y., 1998, Engineering properties of polymer – modified asphalt mixtures. Transportatiton Research Record Vol. 1638, pp. 12 – 22.
- [15] Airey, G. D., 2002, Rheological evaluation of ethlene vinly acetate polymer modified bitumens. Construction and Building Materials, Vol. 16, pp. 473 – 487.
- [16] Daly, W. H., Zhaoyao, Q., and Negulescu, I., 1993, Preparation and characterization of asphalt – modified polyethylene blends. Transportatiton Research Record Vol. 1391, pp. 56 – 64.

- [17] Stuart, K. D., 1993, Asphalt mixtures containing chemically modified binders. Transportatiton Research Record Vol. 1417, pp. 74 – 83.
- [18] Airey, G. D., 2003, Rheological properties of styrene butadiene styrene polymer modified road bitumens. Fuel.
- [19] Fortier, R., and Vinson, T. S., 1998, Low – temperature cracking and aging performance of modified asphalt concrete specimens. Transportatiton Research Record Vol. 1630, pp. 77 – 86.
- [20] Mazumdar, M., and Rao, S. K., 1993, Effect of flyash on engineering properties of sand – asphalt – sulfur paving mixes. Transportatiton Research Record Vol. 1417, pp. 144 – 149.
- [21] Solaimanian, M., Kennedy, T. W., Tripathi, R, 1998, Performance characterization of asphalt binders and mixtures modified by waste toner. Transportatiton Research Record Vol. 1638, pp. 120 – 128.
- [22] Zoorob, S. E., Suparma, L. B., 2000, Laboratory design and investigation of the properties of continuously graded asphaltic concrete containing recyled plastic aggregate replacement. Cement and Concrete Composites, Vol. 22, pp. 233 – 242.
- [23] Tunç, A., 2004, Esnek Kaplama Malzemeleri El Kitabı, Asil Yayın Dağıtım, 352 s.
- [24] Asfalt ve Uygulamaları, 2001, İSFALT bilimsel yayınları, No : 1, 280 s.
- [25] Yollar Fenni Şartnamesi, 1989, K.G.M. Yayınları, Ankara, 258 – 264 . s.
- [26] TS 1081 EN 12591, 2003, Bitümler ve Bitümlü Bağlayıcılar – Kaplama Sınıfı Bitümler – Özellikler, TSE, 1 – 13. s.
- [27] Kuloğlu, N., 2000, Bitüm ve bitümlü sıcak karışımların rijitliğine etki eden parametreler. Tübitak, 61 – 67 . s.
- [28] Asfalt El Kitabı, 2002, İsfalt Bilimsel Yayınları, No : 2, 573 s.
- [29] Matta İTSM ve SYSS aleti kullanım kılavuzu

Ek - 1

Nominal Boyuta göre Karışım Gradasyon Limitleri

ELEK BOYUTU mm (No)	37,5 mm. Nominal Boyut				25 mm Nominal Boyut				19 mm Nominal Boyut				12,5 mm Nominal Boyut				9,5 mm Nominal Boyut			
	Kontrol		Yasak		Kontrol		Yasak		Kontrol		Yasak		Kontrol		Yasak		Kontrol		Yasak	
	Min.	Mak.	Min.	Mak.	Min.	Mak.	Min.	Mak.	Min.	Mak.	Min.	Mak.	Min.	Mak.	Min.	Mak.	Min.	Mak.	Min.	Mak.
50		100																		
37,5	90	100				100														
25		90			90	100														
19						90			90	100										
12,5										90	100			100						
9,5													90	100			90	100		
4,75 (No :4)			34,7	34,7			39,5	39,5												
2,36 (No :8)	15	41	23,3	27,3		45	26,8	30,8	23	49	34,6	34,6	28	58	39,1	39,1	32	67	47,2	47,2
1,18 (No:16)			15,5	21,5			18,1	24,1			22,3	28,3			25,6	31,6			31,6	37,6
0,600 (No :30)			11,7	15,7			13,6	17,6			16,7	20,7			19,1	23,1			23,5	27,5
0,300 (No:50)			10	10			11,4	11,4			13,7	13,7			15,5	15,5			18,7	18,7
0,150 (No:100)																				
0,075 (No:200)	0	6			1	7			2	8			2	10			2	10		

Marshall Stabilite Düzeltme Katsayıları

Numune (mm)		Numune (mm)		Numune (mm)		Numune(mm)		Numune (mm)	
Boy	Faktör	Boy	Faktör	Boy	Faktör	Boy	Faktör	Boy	Faktör
50.0	1.470	55.3	1.256	60.6	1.079	65.9	0.943	71.2	0.834
50.1	1.467	55.4	1.253	60.7	1.076	66.0	0.940	71.3	0.832
50.2	1.463	55.5	1.250	60.8	1.073	66.1	0.938	71.4	0.830
50.3	1.469	55.6	1.247	60.9	1.070	66.2	0.936	71.5	0.829
50.4	1.456	55.7	1.243	61.0	1.067	66.3	0.934	71.6	0.828
50.5	1.453	55.8	1.239	61.1	1.064	66.4	0.932	71.7	0.826
50.6	1.449	55.9	1.235	61.2	1.062	66.5	0.930	71.8	0.825
50.7	1.446	56.0	1.231	61.3	1.056	66.6	0.927	71.9	0.824
50.8	1.442	56.1	1.228	61.4	1.053	66.7	0.925	72.0	0.822
50.9	1.439	56.2	1.224	61.5	1.050	66.8	0.922	72.1	0.821
51.0	1.435	56.3	1.220	61.6	1.047	66.9	0.920	72.2	0.820
51.1	1.432	56.4	1.216	61.7	1.044	67.0	0.918	72.3	0.817
51.2	1.428	56.5	1.214	61.8	1.040	67.1	0.915	72.4	0.816
51.3	1.425	56.6	1.210	61.9	1.038	67.2	0.913	72.5	0.815
51.4	1.421	56.7	1.206	62.0	1.036	67.3	0.911	72.6	0.814
51.5	1.418	56.8	1.202	62.1	1.033	67.4	0.908	72.7	0.812
51.6	1.414	56.9	1.198	62.2	1.032	67.5	0.906	72.8	0.811
51.7	1.411	57.0	1.194	62.3	1.031	67.6	0.904	72.9	0.810
51.8	1.497	57.1	1.190	62.4	1.028	67.7	0.901	73.0	0.809
51.9	1.404	57.2	1.187	62.5	1.026	67.8	0.899	73.1	0.808
52.0	1.400	57.3	1.184	62.6	1.023	67.9	0.897	73.2	0.806
52.1	1.207	57.4	1.181	62.7	1.021	68.0	0.894	73.3	0.804
52.2	1.293	57.5	1.178	62.8	1.018	68.1	0.892	73.4	0.802
52.3	1.390	57.6	1.175	62.9	1.016	68.2	0.890	73.5	0.800
52.4	1.382	57.7	1.172	63.0	1.013	68.3	0.888	73.6	0.799
52.5	1.375	57.8	1.169	63.1	1.011	68.4	0.886	73.7	0.797
52.6	1.368	57.9	1.164	63.2	1.008	68.5	0.885	73.8	0.795
52.7	1.359	58.0	1.161	63.3	1.006	68.6	0.883	73.9	0.794
52.8	1.351	58.1	1.158	63.4	1.003	68.7	0.881	74.0	0.792
52.9	1.344	58.2	1.155	63.5	1.000	68.8	0.879	74.1	0.790
53.0	1.337	58.3	1.152	63.6	0.998	68.9	0.877	74.2	0.788
53.1	1.328	58.4	1.149	63.7	0.995	69.0	0.875	74.3	0.786
53.2	1.320	58.5	1.146	63.8	0.992	69.1	0.874	74.4	0.784
53.3	1.317	58.6	1.143	63.9	0.990	69.2	0.872	74.5	0.782
53.4	1.314	58.7	1.140	64.0	0.988	69.3	0.870	74.6	0.780
53.5	1.311	58.8	1.137	64.1	0.985	69.4	0.868	74.7	0.779
53.6	1.306	58.9	1.133	64.2	0.982	69.5	0.866	74.8	0.777
53.7	1.305	59.0	1.130	64.3	0.900	69.6	0.864	74.9	0.776
53.8	1.302	59.1	1.127	64.4	0.978	69.7	0.862	75.0	0.775
53.9	1.299	59.2	1.124	64.5	0.975	69.8	0.860	75.1	0.773
54.0	1.296	59.3	1.120	64.6	0.972	69.9	0.858	75.2	0.772
54.1	1.293	59.4	1.117	64.7	0.970	70.0	0.856	75.3	0.771
54.2	1.290	59.5	1.114	64.8	0.967	70.1	0.854	75.4	0.770
54.3	1.286	59.6	1.110	64.9	0.965	70.2	0.852	75.5	0.769
54.4	1.283	59.7	1.107	65.0	0.962	70.3	0.850	75.6	0.767
54.5	1.280	59.8	1.104	65.1	0.960	70.4	0.849	75.7	0.766
54.6	1.277	59.9	1.100	65.2	0.957	70.5	0.847	75.8	0.765
54.7	1.274	60.0	1.097	65.3	0.955	70.6	0.845	75.9	0.764
54.8	1.271	60.1	1.094	65.4	0.953	70.7	0.843	76.0	0.762
54.9	1.268	60.2	1.090	65.5	0.951	70.8	0.841	76.1	0.761
55.0	1.265	60.3	1.088	65.6	0.494	70.9	0.839	76.2	0.760
55.1	1.262	60.4	1.085	65.7	0.947	71.0	0.837	76.3	0.759
55.2	1.259	60.5	1.082	65.8	0.945	71.1	0.836	76.4	0.785

Ek – 3

Ek – 3'te AC 100/150 bağlayıcısından % 4,5 oranında kullanılan numunelerin hesabı verilmiştir.

P_k	=	Kaba agreganın yüzdesi	=	35
P_i	=	İnce agreganın yüzdesi	=	59
P_f	=	Filler'in yüzdesi	=	6
G_k	=	Kaba agreganın özgül ağırlığı (gr/cm ³)	=	2,627
G_i	=	İnce agreganın özgül ağırlığı (gr/cm ³)	=	2,639
G_f	=	Filler'in özgül ağırlığı (gr/cm ³)	=	2,632
G_b	=	Bitümün özgül ağırlığı (gr/cm ³)	=	1,035

$$W_a = \frac{54}{1200} \times 100 = 4,5$$

$$W_b = \frac{54}{1200 + 54} \times 100 = 4,31$$

$$V = 1249,7 - 723,0 = 526,7 \text{ cm}^3$$

$$D_p = \frac{1246,3}{526,7} = 2,366 \text{ gr/cm}^3$$

$$D_{Port} = (2,370 + 2,366 + 2,373) / 3 = 2,370 \text{ gr/cm}^3$$

$$G_{ag} = \frac{100}{\frac{35}{2,627} + \frac{59}{2,639} + \frac{6}{2,632}} = 2,634 \text{ gr/cm}^3$$

$$D_r = \frac{100}{\frac{100 - 4,31}{2,634} + \frac{4,31}{1,035}} = 2,470 \text{ gr/cm}^3$$

$$V_h = \frac{2,470 - 2,370}{2,470} \times 100 = 4,0485$$

$$V_b = \frac{2,370 \times 4,31}{1,035} = 9,87$$

$$V.M.A. = 4,05 + 9,87 = 13,92$$

$$V_f = \frac{9,87}{13,92} \times 100 = 70,91$$

ÖZGEÇMİŞ

21.06.1981 yılında Elazığ'da doğdu. İlk, orta ve lise tahsilini Elazığ'da tamamladı. 1999 yılında Fırat Üniversitesi İnşaat Mühendisliği'ni kazandı. 2003 yılında bu bölümden mezun oldu. Aynı sene Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı.

Mehmet YILMAZ

