

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIMLARDA BİTÜM FİLM KALINLIĞININ
STABİLİTE VE RİJİTLİĞE ETKİSİ**

Mesude KULOĞLU

Tez Yöneticisi
Yrd.Doç.Dr. Perviz AHMEDZADE

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ELAZIĞ , 2006

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIMLARDA BİTÜM FİLM KALINLIĞININ
STABİLİTE VE RİJİTLİĞE ETKİSİ**

Mesude KULOĞLU

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 :

Üye:

Üye:

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun / / tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimimin ilk gününden beri ilgi ve desteğini esirgemeyen Aileme ve danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Perviz AHMEDZADE'ye teşekkür ederim.

Mesude KULOĞLU

İÇİNDEKİLER	I
ŞEKİLLER LİSTESİ	IV
TABLolar LİSTESİ	V
SİMGELER LİSTESİ	VI
EKLER LİSTESİ	VII
ÖZET	VIII
ABSTRACT	IX

1. GİRİŞ	1
2. BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIMLAR (BSK)	2
2.1. BSK'ların Özellikleri	2
2.1.1. Stabilité	2
2.1.2. Rijitlik	2
2.1.3. Durabilite	3
2.1.4. Yorulma Mukavemeti	3
2.1.5. Esneklik	3
2.1.6. Geçirimsizlik	4
2.1.7. Kayma Direnci	4
3. BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIMLARDA (BSK) KULLANILAN MALZEMELER	5
3.1. BSK'larda Kullanılan Agregalar	5
3.1.1. Agregaların Fiziksel Özellikleri	5
3.1.1.1. Mineralojik Sınıflandırma	5
3.1.1.2. Boyut Sınıflandırması	5
3.1.1.3. Gradasyon Sınıflandırması	6
3.1.1.4. Biçim Sınıflandırması	6
3.1.1.5. Yüzey Yapısı Sınıflandırması	6
3.1.1.6. Porozite Sınıflandırılması	6
3.1.1.7. Yüzey Alanı ve Boşluk Sınıflandırması	7
3.1.2. Agregalara Uygulanan Deneyler	7
3.1.2.1. Dane Boyutu Deneyi	7
3.1.2.2. Aşınma (Los Angeles) Deneyi	7
3.1.2.3. Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık Deneyi	8

3.1.2.4. Cilalanma Deneyi	8
3.1.2.5. Su Tesirine Karşı Dayanıklılık (Soyulma) Deneyi	8
3.1.2.6. Özgül Ağırlık ve Su Emme Deneyi	9
3.2. BSK’larda Kullanılan Bitümlü Bağlayıcılar	10
3.2.1. Asfalt Çimentosunun Özellikleri	10
3.2.1.1. AC’lerin Kimyasal Özellikleri	10
3.2.1.2. AC Kıvam Sınıflandırması	10
3.2.1.3. AC’lerin Özgül Ağırlığı	10
3.2.1.4. AC’lerin Hacimsel Genleşmesi	11
3.2.1.5. AC’lerin Isıl Özellikleri	11
3.2.1.6. AC’lerin Reolojik Özellikleri	11
3.2.1.7. AC’lerin Isıya Duyarlılığı	12
3.2.1.8. AC’lerin Kohezyonu	12
3.2.1.9. AC’lerin Çekme Dayanımı	12
3.2.1.10. AC’lerin Adezyonu	12
3.2.2. Asfalt Çimentosu Üzerinde Yapılan Deneyler	13
3.2.2.1. Penetrasyon Deneyi	13
3.2.2.2. Yumuşama Noktası Deneyi	14
3.2.2.3. Düktilite Deneyi	15
3.2.2.4. Özgül Ağırlık Deneyi	15
3.2.2.5. Fraas Kırılma Noktası Deneyi	16

4. BSK’LARIN OPTİMUM BİTÜM MUHTEVASININ BELİRLENMESİNDE KULLANILAN YÖNTEMLER

4.1. Deneysel Yöntemler	17
4.1.1. Santrifüj Kerosen Eşdeğeri (CKE) Yöntemi	18
4.1.2. Marshall Yöntemi	20
4.1.2.1. Marshall Numunelerinin Hazırlanması	22
4.2. Ampirik Yöntemler	25
4.2.1. Mc Kesson – Frickstad Formülü	26
4.2.2. Nebreska Formülü	26
4.2.3. Alrich – Anderson Formülü	26
4.2.4. Asfalt Enstitüsü Formülü	28
4.3. Bitüm Film Kalınlığı	28

4.3.1. Bitüm Film Kalınlığı İle İlgili Literatür Taraması	29
4.3.2. Bitüm Film Kalınlığının Hesaplanması İçin Geliştirilen Yöntemler	35
4.3.2.1. Goode Ve Lufsey Tarafından Geliştirilen Yöntem	35
4.3.2.2. Güney Afrika Devlet Yolları Komitesi Tarafından Geliştirilen Yöntem	35
4.3.2.3. Bağlayıcı Hacmi ve Yüzey Alanına Bağlı Olarak Geliştirilen Yöntem	36
4.3.2.4. Akjassar ve Haas Tarafından Geliştirilen Yöntem	37
4.3.2.5. Ohio Eyaleti Ulaştırma Departmanı Tarafından Geliştirilen Yöntem	38
4.3.2.6. Kandhall ve Diğerleri Tarafından Geliştirilen Yöntem	39
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	40
5.1.Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri	40
5.2. Film Kalınlığına Göre Bitüm Muhtevasının Hesaplanması	41
5.3. Marshall Deney Sonuçları	42
5.4. İndirekt Çekme Rijitlik Modülü Deneyi	47
6. SONUÇ	50
KAYNAKLAR	51
ÖZGEÇMİŞ	
EKLER	

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Penetrasyon Deney Aleti	13
Şekil 3.2. Yumuşama Noktası Deneyi	14
Şekil 3.3. Düktilite Deneyi	15
Şekil 3.4. Fraas Deney Aleti	16
Şekil 3.5. Numunelerde Meydana Gelen Çatlaklar	16
Şekil 4.1. CKE Değerinden İnce Malzeme Yüzey Sabiti K_f İçin Abak	19
Şekil 4.2. Kaba Agrega Yüzey Sabiti K_c İçin Abak	19
Şekil 4.3. Agrega Karışımının K_m Yüzey Sabitinin Bulunması Abağı	20
Şekil 4.4. Marshall Metoduna Ait Örnek Grafikler	21
Şekil 4.5. Karıştırıcı	23
Şekil 4.6. Marshall Tokmağı	23
Şekil 4.7. Marshall Yükleme Aygıtı	25
Şekil 4.8. Bitüm Film Kalınlığı Gösterimi	29
Şekil 4.9. Çift konsol Kiriş Mafsalı	30
Şekil 4.10. Küt Ek Mafsalı	31
Şekil 4.11. Film Kalınlığının Yaşlanma Üzerine Etkisi	33
Şekil 5.1. Stabilitate – Bitüm Film Kalınlığı İlişkisi	45
Şekil 5.2. D_p - % Bitüm Film Kalınlığı İlişkisi	45
Şekil 5.3. V_h - % Bitüm Film Kalınlığı İlişkisi	46
Şekil 5.4. V_f - % Bitüm Film Kalınlığı İlişkisi	46
Şekil 5.5 Akma - % Bitüm Film Kalınlığı İlişkisi	47
Şekil 5.6. Deney Aletine Numune Yerleştirilmesi	48
Şekil 5.7. ITSM – Bitüm Film Kalınlığı Değişimi	49

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 4.1. Bağlayıcı Miktarının Kaplama Performans Parametreleri Üzerindeki Etkileri	17
Tablo 4.2. Marshall Tasarım Kriterleri	22
Tablo 4.3. Yüzey Alanı Faktörleri	28
Tablo 5.1. Bağlayıcı Fiziksel Özellikleri	40
Tablo 5.2. Kullanılan Agregada Gradasyonu	40
Tablo 5.3. Agregada Fiziksel Özellikleri	41
Tablo 5.4. Yüzey Alanı Hesabı	41
Tablo 5.5. Formüllerle Bulunan Bitüm Muhtevaları	42
Tablo 5.6. Marshall Deney Sonuçları	43
Tablo 5.7. ITSM Deney Sonuçları	48

SİMGELER LİSTESİ

- G_k : Kaba Agreganın Özgöl Ağırlığı
 G_i : İnce Agreganın Özgöl Ağırlığı
 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
 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 : Agregaların 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 Yükün Sınır Değeri (N)
 R : Tahmini Poisson Oranı
 H : Yatay Çap Doğrultusundaki Geçici Deformasyonun Sınır Değeri
 ϵ_r : Geçici yatay Gerilmenin Sınır Değeri

EKLER LİSTESİ

Ek – 1 : Marshall Stabilite Faktörleri

Ek – 2 : Film Kalınlığına Göre Bitüm Muhtevasının Hesaplanması (7 µm)

Ek – 3 : Marshall Hesabı

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIMLARDA BİTÜM FİLM KALINLIĞININ STABİLİTE VE RİJİTLİĞE ETKİSİ

Mesude KULOĞLU

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

2006, Sayfa: 52

Bu çalışmada, bitüm film kalınlığının karışımın stabilite ve rijitlik modülü üzerine etkisi araştırılmıştır. Film kalınlıklarına bağlı bitüm muhtevaları formüllerle bulunmuştur. Bulunan bitüm muhtevalarıyla hazırlanan numuneler üzerinde Marshall Stabilite ve İndirekt Çekme Rijitlik Modülü Deneyleri yapılmıştır. 7 – 13 μm film kalınlıklarında hazırlanan numuneler içerisinde en yüksek stabilite ve rijitlik 8 μm film kalınlığına ait numunelerde tespit edilmiştir. Sonuç olarak bitümlü sıcak karışımlarda bitüm film kalınlığının 8 μm olarak uygulanmasının uygun olacağı gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bitüm Film Kalınlığı, Marshall Stabilite, İndirekt Çekme Rijitlik Modülü, bitüm muhtevası

ABSTRACT

Master Thesis

THE EFFECT OF BITUMEN FILM THICKNESS ON STABILITY AND STIFFNESS IN BITUMINOUS HOT MIXTURES

Mesude KULOĞLU

Firat University

Graduate School of Natural and Applied Science

Department of Civil Engineering

2006, Page: 52

In this study, the effect of bitumen film thickness was investigated on stability and stiffness modulus. Bitumen contents that dependent on film thickness were been availabled by formula. Marshall stability and indirect tensile stiffness modulus tests were done on prepared specimens. In prepared specimens with 7-13 μm film thickness , maximum stability and stiffness was proved on specimens which have 8 μm film thickness. The results have shown that 8 μm film thickness has been appropriate in bituminous hot mixtures.

Key Words : Bitumen Film Thickness, Marshall Stability, Indirect Tensile Stiffness Modulus, Bitumen Content

1. GİRİŞ

Esnek yol üstyapısı; kaplama, temel ve alttemel olmak üzere üç tabakadan oluşmaktadır. Bu tabakalar içerisinde fonksiyonel olarak, projelendirme ve yapım bakımından en önemli yeri kaplama tabakası oluşturmaktadır. Kaplama tabakalarının inşaa edildiği malzeme cinsine göre yol üstyapıları Esnek ve Rijit Üstyapı olarak adlandırılmaktadır. Kaplama tabakası üstyapıya gelecek olan dinamik ve statik yükler sonucu oluşan gerilmelerin büyük bir kısmını karşıladığından, bu tabakada kullanılacak malzemelerin mekanik özelliklerinin iyi olması gerekmektedir. Bu nedenle kaplama tabakasının maliyeti de yüksektir [1,2,3].

Dünyada gelişmiş ülkelerde olduğu gibi ülkemizde de yol kaplamalarında Bitümlü Sıcak Karışımlar (BSK), yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. BSK'lar içerisinde en çok kullanılan tür Asfalt Betonu karışımlardır. Asfalt Betonu karışımlar yol kaplamalarında iki tabaka halinde uygulanmaktadır. Üstteki tabaka aşınma, bunun altındaki tabaka ise binder tabakası olarak adlandırılmaktadır. Bu tabakaların tasarım ölçütleri farklı olmakla birlikte, karışımda bağlayıcı ve agrega olmak üzere iki çeşit malzeme kullanılmaktadır. Karışımdaki bağlayıcı oranları, agrega ağırlığının % 3'ü ile % 7'si arasında değişmektedir. Bağlayıcı oranının, karışımın mekanik özellikleri üzerinde etkisi olduğu gibi, agrega gradasyonunun da bağlayıcı oranı üzerinde etkisi bulunmaktadır. Gerek agrega gradasyonunun gerekse bağlayıcı cins ve oranının uygun seçilip tasarlanmaması halinde kaplamalarda zamanla değişik bozulmalar oluşmaktadır [1,2,3].

Karışımdaki optimum bağlayıcı oranının belirlenmesinde; Santrifüj Kerosen Eşdeğeri (CKE), Marshall gibi deneysel metotların yanı sıra ampirik formüller de kullanılmaktadır [2,3]. Ancak son yıllarda bitüm film kalınlığına bağlı olarak optimum bitüm muhtevasının tespit edilmesi ile ilgili çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Bitüm filminin anlamı; agregalar arasındaki bağlayıcı kalınlığıdır. Bu kalınlık uygun seçildiği takdirde karışımın hacimsel değerleri ve mekanik özellikleri de şartname değerlerine uygun olmaktadır. Yapılmış olan çalışmalarda bitüm film kalınlığının 8 – 13 µm arasında olmasının uygun olduğu belirtilmektedir [4].

Bu tez çalışmasında, bitüm film kalınlığının karışımın stabilite ve rijitlik modülü üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Deneyler sonucunda elde edilmiş verilere dayanılarak optimum film kalınlıkları tespit edilmiştir. Formüllerle bulunan film kalınlıklarına göre bitüm muhtevaları incelenerek sonuçlar irdelenmiştir.

2. BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIMLAR (BSK)

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

2.1. 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 [5,6,7].

2.1.1. Stabilite

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 olasılığı azalırken düşük sıcaklıklarda çatlama olasılığı artmaktadır. Bu yüzden stabilitenin belirli bir optimum değerde olması istenmektedir. Stabiliteye etki eden faktörler kayma mukavemeti, ısı ve eylemsizlik direncidir [5,6,7]. Bağlayıcı muhtevası optimumun üzerinde veya çok altında olduğunda stabilite azalmaktadır. Stabilite, laboratuarda Marshall Stabilite Deneyi ile tespit edilebilmektedir.

2.1.2. Rijitlik

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 arttıkça karışımın rijitliği de artmaktadır [5,6,7]. Optimum bitüm içeriğinin altında veya üstünde bağlayıcı kullanılması durumunda rijitlik azalmaktadır. Bitümlü sıcak karışımların rijitliğinin tespiti için laboratuarda indirekt çekme deneyi yapılmaktadır.

2.1.3. Durabilite

Durabilite, 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 oranının yükseltilmesiyle film kalınlıklarını arttırarak, yüksek kıvamlı bağlayıcı kullanarak, iyi bir sıkışma sağlayarak ve yoğun gradasyonlu ve sağlam agregalar kullanarak durabilitede artma sağlanabilmektedir [5,6,7]. Optimum bitüm içeriğinden az bağlayıcı kullanıldığında durabilite de azalmaktadır.

2.1.4. Yorulma Mukavemeti

Karışımın, taşıyabileceği maksimum çekme mukavemeti aşılmadan, yorulma çatlakları oluşuncaya kadar geçirebileceği maksimum yük tekrür 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 miktarının arttırılması ve kıvamı düşük bağlayıcı kullanılmasıyla, daha esnek bir karışım elde edilerek yorulma mukavemetinde artış sağlanmaktadır [5,6,7]. Optimum bitüm içeriğinden az bağlayıcı kullanılması BSK'ların yorulma mukavemetini azaltmaktadır.

2.1.5. Esneklik

BSK'larda yüksek sıcaklıklar için rijitlik ne kadar önemliyse düşük sıcaklıklar için de esneklik o kadar önemlidir. Yeterli esnekliğe sahip karışımlar, düşük sıcaklıklarda eğilmeden kaynaklanan çatlak oluşmasına izin vermeyerek kaplama ömründe artış sağlamaktadır [5,6,7]. Optimum bağlayıcı içeriğinden az bağlayıcı muhteva eden karışımların esneklik oranı da düşüktür.

2.1.6. Geçirimsizlik

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 tekrarı sonucu agrega parçalanması artmaktadır. Geçirimsizlik; bağlayıcı miktarı, agrega gradasyonunun yoğunluğu, karışımın yoğunluğu ve sıkışma oranına bağlı olarak artmaktadır [5,6,7]. Bağlayıcı miktarının yetersiz, karışımın boşluk oranının yüksek olması durumunda ise geçirgenlik artmaktadır.

2.1.7. Kayma Direnci

Kayma direnci, araçların frenleme sırasında emniyetle durabilmesi ve kurplarda savrulmaması için teker ile kaplama arasında gerekli sürtünme direncini ifade etmektedir. 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 [5,6,7]. Bağlayıcı oranının aşırı olması durumunda yol ile tekerlekler arasındaki sürtünme kuvveti ve sürüş emniyeti azalmaktadır.

3. BSK’LARDA 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 [5,8].

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 cürufarından elde edilmektedir. Yol kaplamalarında kullanılacak en ideal agrega, kayaların kırılması ile elde edilen kırmataş mineral agregalardır [5,8].

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 [5,8].

3.1.1.3. Gradasyon Sınıflandırması

Gradasyon, agrega 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. Agregada Gradasyon yönünden kesikli, yoğun – sürekli, boşluklu – sürekli ve tek boyutlu gradasyon olarak dört sınıfa ayrılmaktadır [5,8]. Yoğun – sürekli gradasyon, bitümlü sıcak karışımlarda tercih edilen gradasyon sınıfıdır.

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 [5,8].

3.1.1.5. Yüzey Yapısı Sınıflandırması

Agregaların yüzey yapısı, danelerin pürüzlülük veya cilalılık durumunu ifade etmektedir. Agregada 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 [8].

3.1.1.6. Porozite Sınıflandırılması

Agrega 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 [5,8].

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 [5,8].

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. Elekten geçen miktar tartılıp numunenin bütün ağırlığına bölünerek karışımdaki yüzdesi tespit edilmektedir. Her bir elek üzerinde kalan malzeme yüzdelerine göre agreg a karışımının granülometri eğrisi çizilmektedir [8].

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 [8]. Bitümlü sıcak karışımlarda kullanılacak agregaların aşınma oranı % 30'u aşmamalıdır [9].

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 kurutulan numune, sodyum sülfat veya magnezyum sülfat eriyiği içerisine 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 [8]. Bu oran % 10'u aşmamalıdır [9].

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 arasına ince aşındırıcı maddeler eklenir. Deney sonucunda elde edilen cilalanma miktarı, yoğun trafikli yolların birkaç ayda, az yoğunluklu yolların ise bir kaç yılda ulaşabileceği aşınmaya tekabül etmektedir. Deney sonucunda ölçülen kayma direnci, ilk kayma direncine oranlanarak cilalanma katsayısı tespit edilir [8]. Beton asfalt kaplamalarda kullanılacak agregaların minimum cilalanma katsayısının % 50 olması istenmektedir [9].

3.1.2.5. Su Tesirine Karşı Dayanıklılık (Soyulma) Deneyi

Soyulma; bağlayıcının, suyun ve trafiğin birlikte etkisi sonucunda agrega üzerinden ayrılmasıdır. KGM 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 bağlayıcı 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 [8]. Bu oran minimum % 50 olmalıdır [9].

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

Kaba agreganın özgül 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 özgül ağırlığı ve su emme yüzdesi (m) tespit edilir [8].

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

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

İnce agreganın özgül 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 özgül ağırlığı ve su emme yüzdesi (m_{ince}) saptanır [8].

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

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

Fillerin özgül 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, özgül 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 olmayacak şekilde şişeye doldurulur.

Şişede işaretli bölmelerden yararlanılarak hacim değişikliği saptanır (V) ve aşağıdaki formülle fillerin özgül ağırlığı tayin edilir [8].

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

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 stabilitesini arttırmakta ve karışımın boşluklarını doldurarak geçirimsizliğini sağlamaktadır. Asfalt çimentosu, doğal asfaltın işlenmesi veya petrolün rafine edilmesiyle elde edilmektedir [8,9].

3.2.1. Asfalt Çimentosunun (AC) Özellikleri

3.2.1.1. AC’lerin 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 [8,9].

3.2.1.2. AC Kıvam Sınıflandırması

Normal şartlar altında katı halde bulunan AC’nin katılık derecesi, penetrasyon veya viskozite değerlerine göre sınıflandırılmaktadır. Penetrasyon ile kıvam ters orantılıdır. Penetrasyon değeri arttıkça bağlayıcının kıvamı azalmaktadır. Viskozite ise sıvıların akmaya karşı dirençlerinin bir göstergesidir. Viskozite değeri arttıkça kıvamda artmaktadır.

3.2.1.3. AC’lerin 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 [8,9].

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 genleşerek 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 [8,9].

3.2.1.5. AC'lerin 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 [8,9].

3.2.1.6. AC'lerin Reolojik Özellikleri

Asfalt çimentoları, hem yüke hem de yükleme süresine bağlı olarak yapılan reolojik sınıflandırmada visko – elastik malzeme grubuna girmektedir. Bu özellikten dolayı uygulanan yük ve yükleme süresine bağlı olarak BSK'da oluşan kalıcı deformasyon miktarı değişiklik göstermektedir. Ayrıca AC, termoplastik bir malzeme olduğundan yüksek sıcaklıklarda viskoz sıvı özelliği 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 özelliği bitümlü sıcak karışımlara da yansımaktadır. Bu nedenle yükleme süresi ve sıcaklık, AC'nin ve BSK'nın rijitliğine doğrudan etki etmektedir [10].

3.2.1.7. AC'lerin Isıya Duyarlılığı

Asfalt çimentoları termoplastik malzemeler olduklarından viskozlukları ısıyla değişmektedir. AC katılıklarının ısıya bağlı olarak değişmesi, 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 çatlama eğilimi gösterirler. Asfalt çimentolarının ısıya duyarlılığı penetrasyon indeksi (PI) ile tanımlanmaktadır. Yumuşama noktasına ve penetrasyon değerine bağlı olarak asfalt çimentolarının penetrasyon indeksleri belirlenebilmektedir [8].

3.2.1.8. AC'lerin Kohezyonu

Asfalt çimentolarının kohezyon mukavemeti, düşük ısılardaki düktiliteleri ile karakterize edilmektedir. Yapılan deneyler sonucunda normal ve düşük sıcaklık düktilite değerleri arasındaki farkın fazla olmaması istenmektedir. BSK'larda düşük sıcaklıklarda yeterli gevreklik sağlanmadığı takdirde düşük ısı çatlakları meydana gelmektedir [8].

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 gerilmeleri altında kopmalar meydana gelmezken düşük sıcaklıklarda rijitlik fazla olduğundan bu tip deformasyonlar görülebilmektedir [8].

3.2.1.10. AC'lerin Adezyonu

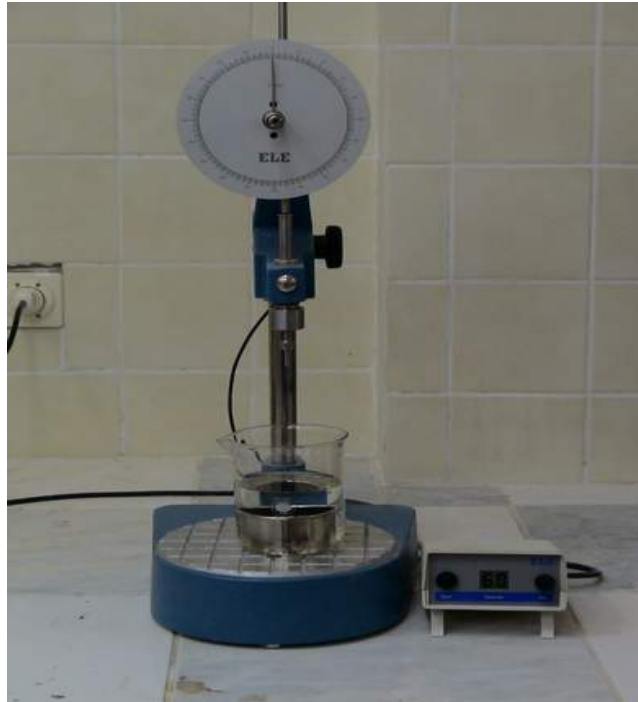
Bitümlü sıcak karışımların stabilitesi, agrega daneleri arasındaki asfalt çimentosunun bağ kuvvetine bağlıdır. Bu bağ kuvveti ise agrega danelerini saran bağlayıcı filmin agregaya yapışma yeteneğine yani asfalt çimentosunun adezyonuna bağlıdır. Asfalt çimentosunun agrega ile iyi bir adezyon sağlayabilmesi için viskozluğunun mümkün olduğunca az olması gerekmektedir[8].

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 da Fraas kırılma noktası deneyleri yapılmaktadır.

3.2.2.1. Penetrasyon Deneyi (TS 118 - EN 1426)

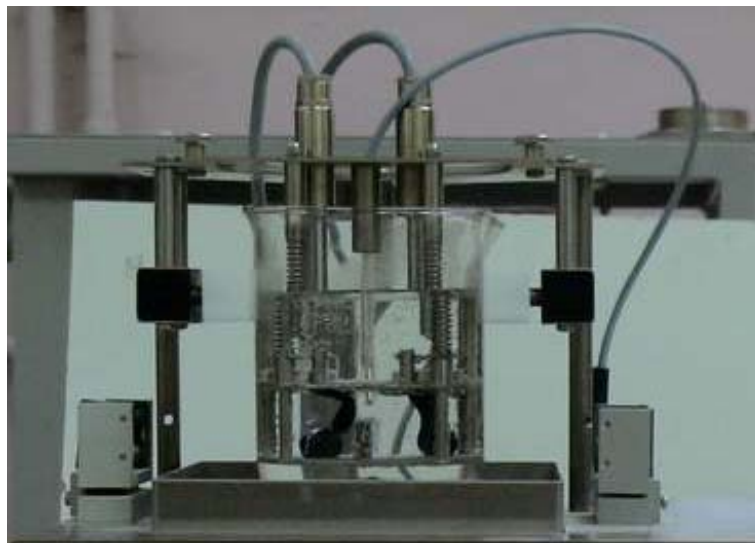
Penetrasyon deneyi, asfalt çimentosunun sertlik veya kıvamını belirlemek amacıyla yapılmaktadır. Standart penetrasyon deneyi, 100 gr. ağırlığındaki bir iğnenin 25 °C sıcaklıkta ve 5 saniye süreyle bitüm içerisinde kat ettiği düşey mesafe olarak tanımlanmaktadır. Penetrasyonun birimi 10^{-1} mm dir. Asfalt çimentolarının penetrasyon değeri kıvamla ters orantılıdır. Penetrasyon deney aleti Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Penetrasyon Deney Aleti

3.2.2.2. Yumuşama Noktası Deneyi (TS 120 – EN 1427)

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 3.2'de görülmektedir.



Şekil 3.2. 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 3.3). Asfalt çimentosunun düktilite değeri, yük altında kopmadan uzayabilmesinin bir göstergesi olup karışımların kayma mukavemetine etki etmektedir.



Şekil 3.3. Düktilite Deneyi

3.2.2.4. Özgül Ağırlık Deneyi (TS 1087)

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 faydalananarak 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. Daha sonra plak ve numune soğumaya bırakılır. Soğuyan numune düzeneğe yerleştirilerek yalıtımlı bölme bırakılır (Şekil 3.4). 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 3.5). Numunede çatlakların oluştuğu bu sıcaklık değeri kırılma noktası olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 3.4. Fraas Deney Aleti



Şekil 3.5. Numunelerde Meydana Gelen Çatlaklar

4. BSK'LARIN OPTİMUM BİTÜM MUHTEVASININ BELİRLENMESİNDE KULLANILAN YÖNTEMLER

Sıcak karışım olarak üretilen esnek kaplamaların istenilen performansı sağlaması için gerekli olan bağlayıcı miktarına optimum bitüm muhtevası denilmektedir. Karışımda, gerekenden fazla miktarda bağlayıcı kullanılması; düşük stabilite, oluklaşma ve sürtünme katsayısında azalma gibi sorunlara neden olurken, gerekenden az miktarda bağlayıcı kullanılması ise soyulma, yüksek hava boşluğu ve düşük rijitlik gibi sorunlara neden olmaktadır. Bağlayıcı miktarının performans üzerindeki etkileri Tablo 4.1’de görülmektedir. Optimum bitüm muhtevası, gerek deneylere gerekse ampirik formüllere dayalı olarak çeşitli yöntemlerle hesaplanabilmektedir

Tablo 4.1 Bağlayıcı Miktarının Kaplama Performans Parametreleri Üzerindeki Etkileri [5]

	Terleme (Kusma)	Yapım Sırasında Kılcal Çatlaklar	Düşük Kayma Mukavemeti	Soyulma	Yağlı Noktalar	Petek Şeklinde Çatlaklar ve Kopmalar	Dalgalanmalar	Serim Sırasında Yüzeyde Yırtılmalar	Tekerlek İzleri
Yetersiz Bağlayıcı İçeriği		X		X		X		X	
Aşırı Bağlayıcı İçeriği	X		X		X		X		X

4.1. Deneysel Yöntemler

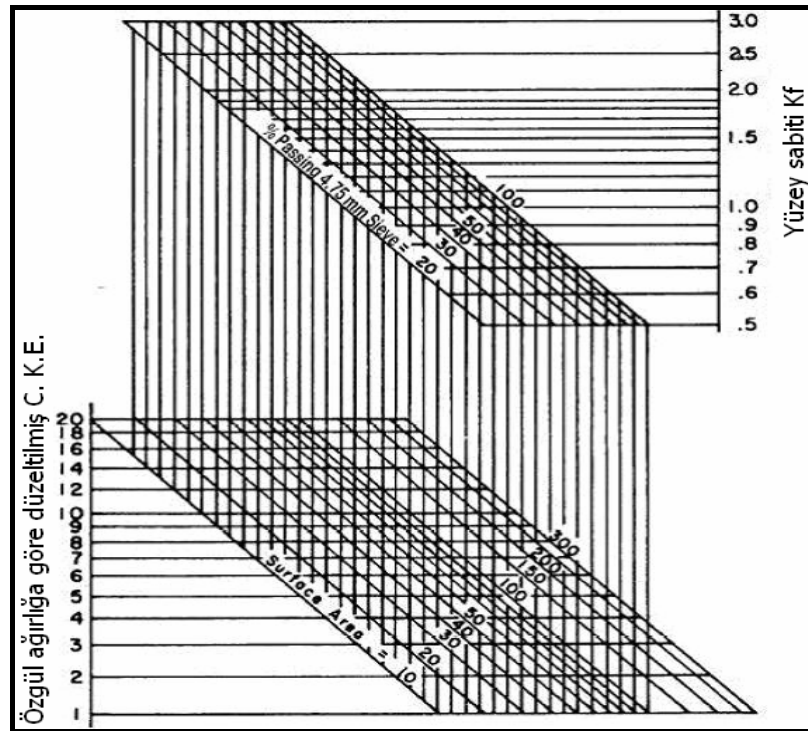
Deneysel yöntemler arazi şartlarını laboratuara yansıtarak, en uygun bağlayıcı miktarını belirlemek amacıyla kullanılan yöntemlerdir. Bu amaçla Santrifüj Kerosen Eşdeğeri (CKE) ve Marshall gibi yöntemler kullanılmaktadır.

4.1.1. Santrifüj Kerosen Eşdeğeri (CKE) Yöntemi

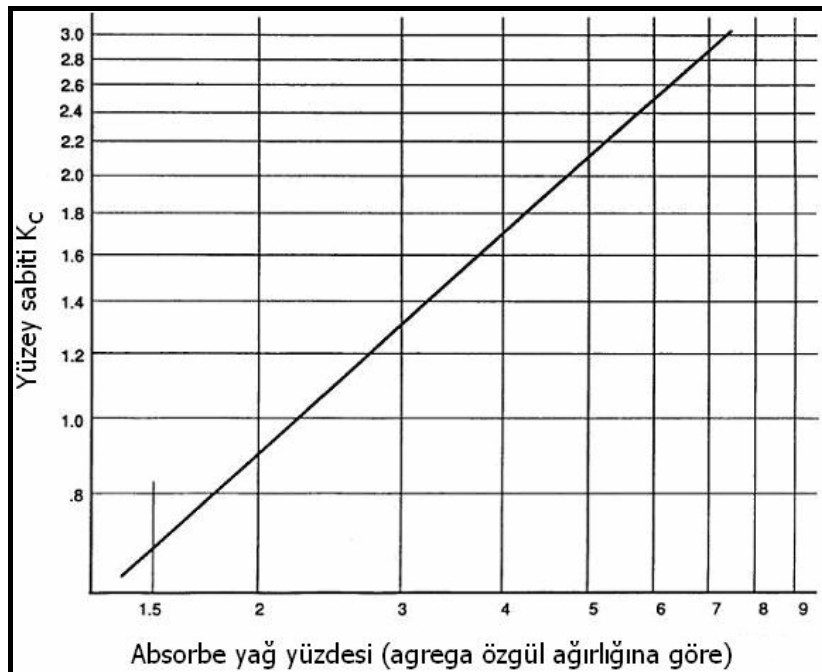
Bu yöntemde, karışımda kullanılan agregada gradasyonunun yüzey alanına bağlı olarak bitüm muhtevası belirlenmektedir [2,7]. Yüzey alanı, karışımın agregada gradasyonu kullanılarak her elekten geçen toplam yüzdenin bir yüzey alanı faktörü ile çarpılması şeklinde elde edilmektedir. Bu yöntemde aşağıda sıralanan işlemler uygulanmaktadır [2,7];

- a) Karışımda kullanılacak agregada gradasyonu belirlenir,
- b) Kaba ve ince agregada özgül ağırlıkları tespit edilir,
- c) Agregada yüzey alanı bulunur,
- d) 100 gram ağırlığındaki kuru agregada (4.75 mm ‘No:4’ elekten geçen malzemeden temsili olarak alınmış) altına filtre kağıdı yerleştirilmiş santrifüj kaplarına konur,
- e) Santrifüj kabının alt kısmı gazyağına batırılır ve agregada doymuş hale gelene kadar bekletilir,
- f) Doymuş numune, yerçekimi ivmesinin 400 katına eşit bir kuvvetle 2 dakika süre ile santrifüje tabi tutulur.
- g) Santrifüj işleminden sonra agregada tartılarak absorbe edilmiş gazyağı miktarı, kuru numune ağırlığının %’si olarak ifade edilir. Bu değere CKE değeri denir.
- h) İnce agregada CKE değeri bulunur,
- ı) Kaba agregada absorbe yağ %’si bulunur,

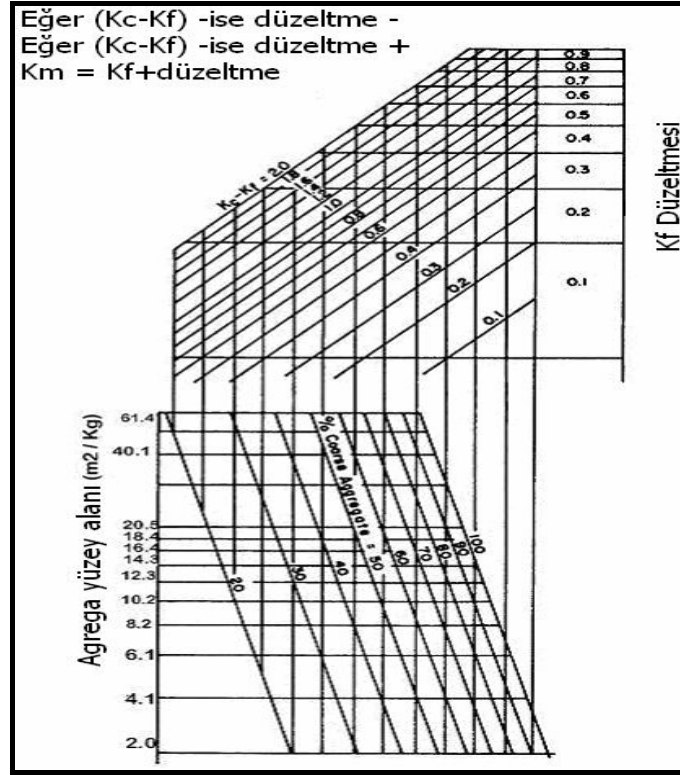
Bu işlemlerden sonra CKE değeri için düzenlenmiş abaktan (Şekil 4.1); ince malzeme yüzey sabiti (K_f), absorbe edilmiş yağ %’si için düzenlenmiş abaktan (Şekil 4.2); kaba agregada yüzey sabiti (K_c), K_f ve K_c ’ye bağlı olarak düzenlenmiş abaktan (Şekil 4.3) ; kaba ve ince agregada karışımının yüzey sabiti (K_m) bulunur. Bulunan bu değerlere bağlı olarak bitüm muhtevası, karışımda kullanılan agregada ağırlığının %’si olarak tespit edilir.



Şekil 4.1. CKE Değerinden İnce Malzeme Yüzey Sabiti K_f için Abak [2]



Şekil 4.2. Kaba Agrega Yüzey Sabiti K_c için Abak [2]



Şekil 4.3. Agregat Karışımının K_m Yüzey Sabitinin Bulunması Abağı [2]

4.1.2. Marshall Yöntemi

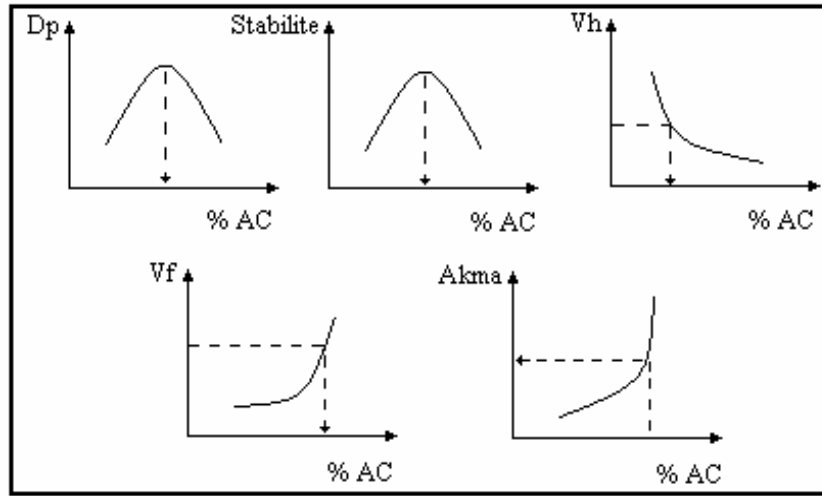
Marshall Yöntemi, maksimum boyutu 25 mm (1 inç) veya daha küçük agregat içeren ve penetrasyon veya viskozite ile sınıflandırılmış asfalt çimentosu (AC) kullanılan BSK kaplamalara uygulanmaktadır [7,11]. Bu yöntem BSK kaplamaların laboratuvar ortamında optimum bitüm yüzdesinin bulunmasında kullanılmaktadır. Marshall Yöntemi ile karışımda kullanılacak optimum bağlayıcı muhtevası aşağıda sıralanan yol izlenerek belirlenmektedir [7,11]:

1. Şartnamelerde verilmiş uygun gradasyonlu agregat ve uygun penetrasyonlu AC seçilir.
2. Deney sonuç eğrilerinin optimum değeri gösterebileceği değişik bitüm yüzdelерinde bir seri deney numunesi hazırlanır. 101,6 mm (4 inç) çapında ve 63,5 mm (2,5 inç) yüksekliğinde standart deney numuneleri kullanılır. Bu deney numuneleri bitüm-agregat karışımının ısıtılması, karıştırılması ve sıkıştırılması için belirlenmiş bir yöntem uygulanarak hazırlanır. Deney numuneleri, optimum değerin altında ve üstünde olmak

üzere en az iki değişik bitüm yüzdesinde hazırlanır. Deney sonuçlarının sağlıklı olması için kullanılan her bitüm yüzdesinde en az üç deney numunesi hazırlanır.

3. Hazırlanan numuneler, standarda uygun şartlar altında, Marshall Test Cihazında denenerek stabilite ve akma değerleri bulunur. Akma değeri, test cihazından doğrudan alınırken, stabilite değeri, düzeltme faktörü ile düzeltilerek alınır. Akma değeri; stabilite ölçümü sırasında yüksüz ve maksimum yük arasında meydana gelen 0.25 mm (1/100 inç) cinsinden deformasyondur. Karışım tasarımında, Marshall Metodu'nun iki temel niteliği; sıkıştırılmış deney numunelerinin stabilite – akma testi ve yoğunluk – boşluk analizleridir.

4. Analiz ve deney sonuçlarına bağlı olarak; Bitüm Yüzdesi – Pratik Özgül Ağırlık, Bitüm Yüzdesi – Stabilite, Bitüm Yüzdesi – Akma, Bitüm Yüzdesi – Asfaltla Dolu Boşluk Yüzdesi (V_f), Bitüm Yüzdesi – Hava Boşluğu Yüzdesi (V_h), Bitüm Yüzdesi – Agregalar Arası Boşluk (VMA) yüzdesi ilişkilerini veren grafikler çizilir. Örnek Grafikler Şekil 4.4'de gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Marshall Metoduna Ait Örnek Grafikler

Bu grafiklerden, yoğunluk ve stabilite eğrilerinin maksimum değerine karşılık gelen bitüm yüzdesi, şartnamede belirtilen hava boşluğu yüzdesine (% 4) ve bitümle dolu boşluk yüzdesine (%80) karşılık gelen bitüm yüzdesi toplanarak bunların aritmetik ortalamalarından optimum bitüm muhtevası bulunmaktadır. Bulunan bu değer akma eğrisi üzerinde kontrol edilerek, buna karşılık gelen akma değerinin şartnameye uygun olup olmadığı kontrol edilmektedir [6,7,11]. Marshall Tasarım Kriterleri Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.2. Marshall Tasarım Kriterleri [11]

Özellikler	Hafif trafikli yollar (yüzey ve temel tabakasında)		Orta trafikli yollar (yüzey ve temel tabakasında)		Ağır trafikli yollar (Yüzey ve temel tabakasında)	
	min.	mak.	min.	Mak.	min.	mak.
Numunenin her bir yüzeyine uyg. darbe sayısı	35	35	50	50	75	75
Stabilite kg (N)	333,6 (3336)	-	533,8 (5338)	-	800,6 (8006)	-
Akma (mm)	2	5	2	4,5	2	4
Boşluk (%)	3	5	3	5	3	5
VMA	13	-	13	-	13	-

4.1.2.1 Marshall Numunelerinin Hazırlanması

Marshall metodu kullanılarak herhangi bir karışımın veya agrega gradasyonunun optimum asfalt içeriğinin belirlenmesinde, deney verilerine ilişkin eğrilerin net şekilde optimum değeri göstermeleri amacıyla farklı asfalt içerikleri aralığı için bir dizi deney numuneleri hazırlanmaktadır. Marshall deneylerinde, deney briketleri hazırlanmasında TS 3270'in öngördüğü hususlardan hareket edilmektedir. Her asfalt yüzdesi için üç adet briket numunesi hazırlanmakta ve bu briketlerde bağlayıcı olarak kullanılan asfalt çimentosu, kuru agreganın yüzdesi olarak karışımda kullanılmaktadır [11].

TS 3270'e uygun olarak hazırlanan agrega numuneleri ve bağlayıcı 165 °C karışım sıcaklığına kadar ısıtılır. Isıtılmış agrega, karıştırıcının kovalasına alınarak kuru şekilde karıştırılıp, karışımın orta kısmına bir çukur açılarak bağlayıcıdan belirli bir miktar dökülür. Agrega, bitümlü malzeme ile iyice kaplanıncaya kadar karıştırıcı ile iyice karıştırılır. Karıştırma işlemi 1–2 dakika içerisinde yapılmalıdır. Şekil 4.5'te malzeme karıştırıcı gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Karıştırıcı

Numune kalıpları her seferinde iyice temizlenmeli ve tokmağın sıkıştırma kafasında artık malzemenin kalmamasına özen gösterilmelidir. Daha önce etüvde 90–150 °C ısıtılmış kalıpların çapına göre daire şeklinde kesilmiş pelür kâğıt, malzeme konmadan kalıbın tabanına yerleştirilir. Karışım, ayrışma olmamasına özen gösterilerek daha önceden ısıtılmış olan sıcak bir kürek ile kalıba aktararak, 15 defa kenarları ve 10 defa ortası spatula ile şişlenir. Numune üzerine tekrar pelür kâğıt konarak sıkıştırma aletine yerleştirilip 457 mm. yükseklikten serbest olarak düşen sıkıştırma tokmağı ile numuneye 75 darbe uygulanarak sıkıştırma yapılır. Aynı işlem numunenin diğer yüzeyine de uygulanır. Sıkıştırmada kullanılan Marshall tokmağı Şekil 4.6’da gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Marshall Tokmağı

Bu şekilde hazırlanan briketler, soğuduktan sonra kalıptan çıkarılarak tartılır (A) ve oda sıcaklığında suyun içerisine 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 4.7). 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 – 1’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 ortalaması Marshall stabilitesi olarak kabul alınır. Bu da sağlanmadığı takdirde deney yenilenir.



Şekil 4.7. Marshall Yükleme Aygıtı

4.2. Ampirik Yöntemler

Optimum bitüm muhtevasının belirlenmesinde kullanılan ampirik formüller; Mc Kesson – Frickstad formülü, Nebraska formülü, Alrich - Anderson formülü ve Asfalt Enstitüsü formülleridir. Optimum bitüm içeriğinin belirlenmesinde kullanılan ampirik yaklaşımlarda agrega gradasyonu temel alınmaktadır.

4.2.1. Mc Kesson – Frickstad Formülü

Bitüm muhtevasının hesaplanmasında kullanılan bilinen en eski formüllerden biri Mc Kesson – Frickstad formülüdür [12]. Bu formül, yavaş kuruyan bağlayıcılar için önerilmektedir ve (4.13) bağıntısı ile verilmiştir:

$$P=0.015a+0.03b+0.17c \quad (4.13)$$

Burada;

- P: Agreganın ağırlıkça %'si olarak bağlayıcı miktarı
- a: 10 nolu elek üzerinde kalan agreganın ağırlıkça %'si
- b: 10 nolu ile 200 nolu elekler arasında kalan agreganın ağırlıkça %'si
- c: 200 nolu elekten geçen agreganın ağırlıkça %'si

4.2.2. Nebraska Formülü

Nebraska ve Kansas tarafından kullanılan ve Nebraska Formülü olarak bilinen formül (4.14) bağıntısı ile verilmiştir [12].

$$P=0.02a+0.06b+0.1c+Sd \quad (4.14)$$

Burada;

- P: Bitümlü karışım içinde gerekli olan bitümün ağırlıkça %'si
- a: 50 nolu elek üzerinde kalan agreganın ağırlıkça %'si
- b: 50 nolu elekten geçen fakat 100 nolu elek üzerinde kalan agreganın ağırlıkça %'si
- c: 100 nolu elekten geçen fakat 200 nolu elek üzerinde kalan agreganın ağırlıkça %'si
- d: 200 nolu elekten geçen agreganın ağırlıkça %'si
- S: Filler malzemenin emiciliğine ve inceliğine bağlı olan deneme faktörü

4.2.3. Alrich - Anderson Formülü

Bitümlü karışımların içereceği optimum bitüm muhtevasının hesaplanmasında en çok kullanılan ampirik formüllerden biri de Alrich ve Anderson tarafından belirlenen ampirik formüldür [13]. Bu formül (4.15) bağıntısı ile verilmiştir :

$$P=k.\alpha.5.\sqrt{\Sigma} \quad (4.15)$$

Burada;

P: Agreganın ağırlıkça %'si olarak asfalt muhtevası

$$\alpha = 2.65/\gamma$$

γ : Agregada zahiri özgül ağırlığı

k: Agregada zenginlik modülü,(maksimum agregada boyutuna bağlı olarak 3 - 3.5 arasında bir değerdir.)

Σ : Agregada özgül yüzey alanı (m^2/kg)

Agregada özgül yüzey alanı ise (4.16) formülü ile hesaplanmıştır.

$$\Sigma=0.25G+2.3S+12s+135f \quad (4.16)$$

Burada;

G: 6.3 mm açıklıklı elek üzerinde kalan agregada %'si

S: 6.3 mm açıklıklı elekten geçen ve 50 nolu elek üzerinde kalan agregada %'si

s: 50 nolu elekten geçen ve 200 nolu elek üzerinde kalan agregada %'si

f: 200 nolu elekten geçen agregada (filler) %'si

Ayrıca yüzey alanı gradasyona göre de hesaplanabilmektedir. Her elekten % geçenlerin bir yüzey alanı faktörü ile çarpılmasıyla her elek boyutu için yüzey alanı bulunur. Daha sonra bu yüzey alanları toplanarak toplam yüzey alanı hesaplanmış olur. Hesaplama yapılırken gradasyonda kullanılan en büyük elek boyutu için No.4 elek boyutuna ait yüzey alanı faktörü kullanılır. En büyük elek boyutu ile No.4 elek arasında kalan elek boyutlarına ise yüzey alanı faktörü kullanılmaz. Toplam yüzey alanı hesaplanmasında bu elekler hesaba katılmaz. Tablo 4.3'te bu şekilde bulunan yüzey alanı hesabına ait yüzey alanı faktörleri gösterilmiştir.

Tablo 4.3. Yüzey Alanı Faktörleri [2,12]

% geçen elek no		Max. boyut	4.75 mm (No.4)	2.36 mm (No.8)	1.18 mm (No.16)	600µm (No.30)	300µm (No.50)	150µm (No.100)	75µm (No.200)
Yüzey alanı faktörü	ft ² /lb	2	2	4	8	14	30	60	160
	m ² /kg	0,41	0,41	0, 82	1, 74	2,87	6,14	12,29	32,77

4.2.4. Asfalt Enstitüsü Formülü

Asfalt Enstitüsü'nün 1994 yılında önermiş olduğu formül [14] ise (4.17) bağıntısıyla verilmiştir;

$$DBC = 0.035a + 0.04b + Kc + F \quad (4.17)$$

Formülde;

DBC : Karışımın toplam ağırlığının %'si olarak yaklaşık dizayn bitüm muhtevası

a : 2.36 mm elek üzerinde kalan agrega %'si

b : 2.36 mm elekten geçen ve 0.075 mm elek üzerinde kalan agrega %'si

c : 0.075 mm elekten geçen agrega %'si

K : 0.15 (0.075 mm eleği geçen % 11 – 15 için)

0.18 (0.075 mm eleği geçen % 6 – 10 için)

0.20 (0.075 mm eleği geçen % 5 veya daha az için)

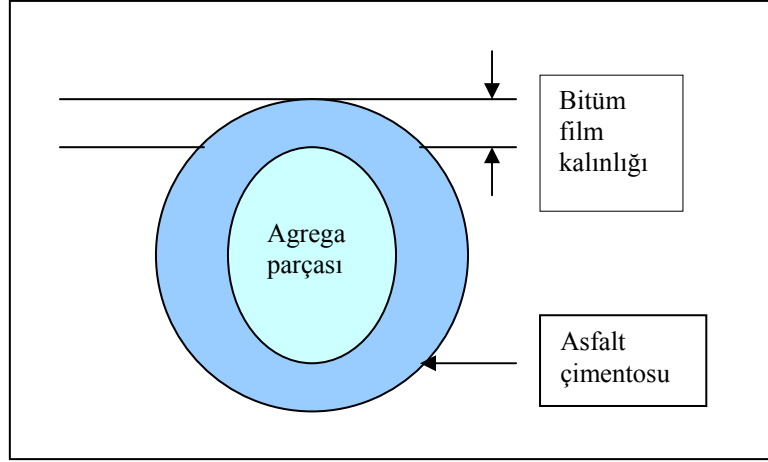
F : % 0-2 (bitüm absorbesi temel alınarak önerilen değer 0.7)

4.3. Bitüm Film Kalınlığı

Bir asfalt karışımının nem hassasiyeti ve durabilite içinde anahtar elemanlarından biri de bitüm film kalınlığıdır. Bitüm film kalınlığı; agrega parçalarını kaplayan asfalt bağlayıcının boyutu olarak tanımlanır [15]. Bir başka deyişle agregalar arasındaki bağlayıcı kalınlığı bitüm

filmidir. Bitüm film kalınlığına bağı olarak bitüm muhtevası tayini ise son yıllarda üzerinde durulan yeni bir konudur ve bu konu hakkında birçok çalışma yapılmıştır.

Bitüm film kalınlığı Şekil 4.8’de görüldüğü gibi mikron olarak ölçülür. Bu, asfalt bağlayıcının efektif hacminin agrega parçalarının hesaplanmış toplam yüzey alanına bölümüyle hesaplanabilir [15].



Şekil 4.8. Bitüm Film Kalınlığı Gösterimi [15]

4.3.1. Bitüm Film Kalınlığı İle İlgili Literatür Taraması

Robert ve diğerlerine göre [15]; yetersiz film kalınlığı agrega parçaları arasında kohezyon azlığı yapabilir. Ayrıca bitüm filmi çok ince ise kaplamanın kırılma olmasına neden olur. İlaveten, eğer agrega hidrofilik ise, ince bitüm filmleri oldukça kolay ve hızlı bir şekilde suyla etkileşerek asfalt bağlayıcının agregadan soyulmasına neden olur.

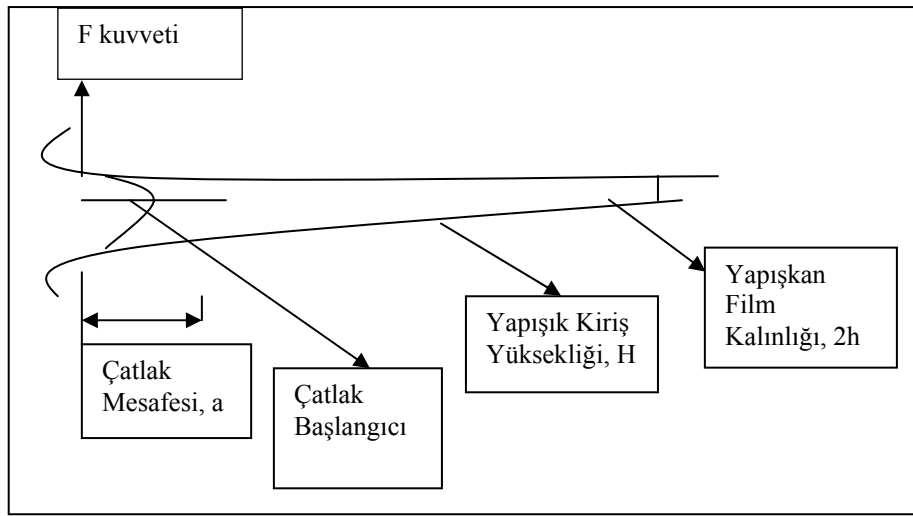
Film kalınlığı hesaplanmış olduğunda, agreganın yüzeyindeki asfaltın hacmine temel teşkil edebilir ve bu hacim agrega parçaları içinde absorbe edilmiş alanı içermez. Agrega yüzeyindeki asfaltın büyük kısmı, toplam asfalt muhtevısından % asfalt absorpsiyonu çarpılarak hesaplanabilen efektif asfalt muhtevası olarak tanımlanır [15].

JAF Harvey ve D. Cebon tarafından yapılan bir çalışmada [16]; bitüm filmlerinin kırılma davranışının hesaplanması için yapışkan testi tartışılmış, hem gevrek hemde sünek filmler gözden geçirilerek sünek-gevrek geçişi tespit edilmiştir.

Bilindiği gibi asfalt yol yüzeyi çatlaması, yorulma olayının bir sonucudur. Yapılan incelemelerde, asfalt test numunelerindeki çatlak yüzeylerinin; bağlayıcı film boyunca, agrega bağlayıcı sınırı boyunca veya agreganın kendi yüzeyi boyunca olduğu gösterilmiştir. Bunun

yanında bitüm visko-elastik bir malzemedir, kopma oranına ve sıcaklık değışikliklerine duyarlıdır. JAF Harvey ve D. Cebon'ın yapmış oldukları proje, bitüm filmlerindeki çatlamaları araştırmaktadır. Bu anlamda, filmler ; bir kısım sıcaklıklar üzerindeki gerilmede test edilmiş gerilme oranlarını içermektedir [16].

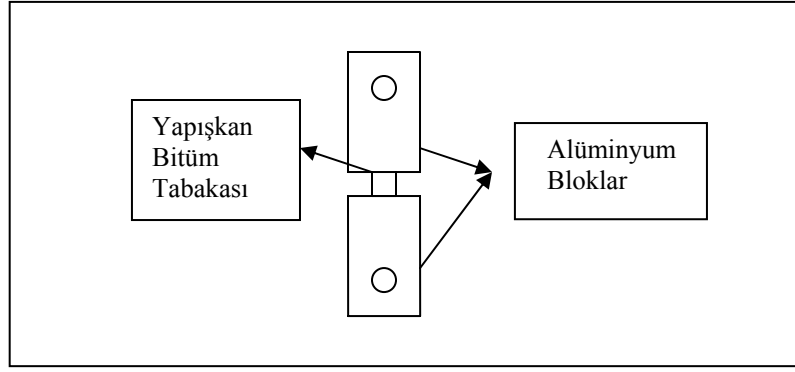
Test yöntemine göre; yapıştırıcılar için kullanılmış test metotları, saf bitümün kırılma özelliklerini hesaplamak için uyarlanmış, 0.5 mm den 3 mm kalınlık oranlarında bitüm filmleri ‘ Çift Konsol Kiriş (ÇKK) Mafsalı’ (Şekil 4.9) ve ‘Küt Ek Test Modeli’ (Şekil 4.10) olmak üzere iki geometride test edilmiştir.



Şekil 4.9. Çift Konsol Kiriş Mafsalı [16]

ÇKK Mafsalı; bir çift 3 mm’lik alüminyum plak ile bunların arasına bitüm tabakasının sıkıştırılmasıyla oluşturulmuştur. Yükleme sonunda bitüm tabakasının merkezinde çok ince bir çatlak başlangıcı (0.5 mm kadar) görülmüştür. Bu, test çatlama yüzünde doğru açılarda yüklenmiş kuvvetlerin tesiri altında bağlayıcı boyunca çatlama başlamasıdır. Burada; ‘kirişler, yapışkan altında eğilebilme yeteneğine sahip olabilmeli ki yapışkan kalınlığı yeterince küçük olsun’ kanısına varılmıştır.

‘Küt Ek’ Test Modeller ise; yük altında fleksible tabaka içinde yer yer hareket eden agrega parçalarının bitüm-agrega temasıdır. Bu numune konfigürasyonu, bitüm film tarafından birleştirilmiş dörtgen alüminyum blokları içermektedir. Bu bloklar, planda 25 mm dörtgen ve kırılma çizgisi olmadan kullanılmıştır.



Şekil 4.10. Küt Ek Mafsalı [16]

‘Çift Konsol’ ve ‘Küt Ek’ içinde gevrek kırılma, tepesi kesilen lineer yük değiştirme eğrisi tarafından karakterize edilmiştir. Kırılma yüzeyleri de düz ve parlaktır.

Yüksek sıcaklıklar ve düşük gerilme oranlarında bitümün davranışı göreneksel çatlaklar göz önünde tutulmaksızın oldukça sünektir. Küt ek çatlaklarında film malzemesi kırılma noktasının altında ve köşesinden içe yöneliktir. Başka bir deyişle film içinde boşluklar olur. Bu boşluklar birbiriyle kaynaşarak malzeme ile aralarında bağ oluştururlar [16].

ÇKK’da basit bir bağın eşitliği; numunenin kalınlığı boyunca yapılmış malzemenin duvarı olduğu kanısına varılmış, diğer testlerde de boşluğun kanıtı olarak gösterilmiştir. Bütün yük - yer değiştirme eğrileri nonlineerdir. Sünek bölgede de bitümün gerilme – çekme tepkisinin nonlineer görünüşü üstün gelmiştir. Bitüm film testleri ise, gerilme miktarındaki artma ile kopma yükündeki artışı göstermektedir.

Yapılan çalışma; bitüm filmlerinin farklı kopma mekanizmalarının sıcaklık ve yük ile değişen gerilme oranlarına bağlı olduğunu göstermiştir. Sonuçta çok yüksek sıcaklıklarda veya düşük gerilme oranlarında bitüm filmlerinin yüksek kırılma enerjisi ile sünek – viskoz davranış gösterdiği kanısına varılmıştır[16].

Bitüm filmi hakkında yapılan bir diğer çalışma da, film kalınlığının bitümlü karışımların yaşlanmasına etkisinin araştırıldığı çalışmadır [17].

Yaşlanma, kaplamanın yapımı sırasında bağlayıcının hafif bileşenlerinin buharlaşması ve oksidasyonudur. Her iki durum da bağlayıcının viskozitesinin artışına, penetrasyon değerinin düşmesine ve karışımın sertleşmesine neden olmaktadır. Yapılmış olan bu çalışmada; bitüm film kalınlığının ve hava boşluk oranının, bitümlü sıcak karışımların, kısa dönem ve uzun dönem yaşlanma özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiş ve optimum bitüm film kalınlığı saptanmıştır [17].

Kısa dönem yaşlanma, sıcak karışımın depolanma, plentte karıştırılma, şantiyeye taşınma, serilme ve sıkıştırılma işlemleri sırasında, uzun dönem yaşlanma ise, yolun servis ömrü boyunca oluşmaktadır.

Şengöz, B., Açar, E. [17] yaptıkları çalışmada bağlayıcının yaşlanma özelliklerini etkileyen faktörleri 4 sınıfta incelemişlerdir;

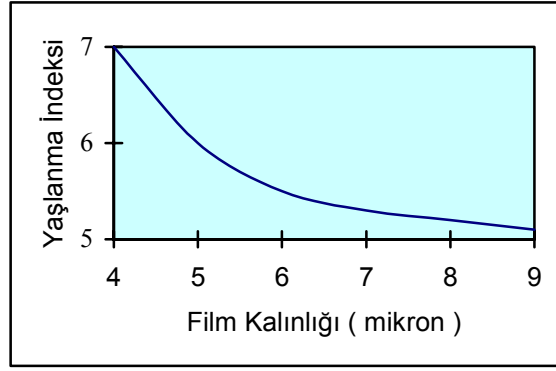
1. Oksidasyon
2. Buharlaşma ve uçucu madde kaybı
3. Polimerizasyon (aktif ışığa bağlı)
4. Yoğunlaşma polimerizasyon (ısıya bağlı)

Bu faktörlerin en önemlilerinin oksidasyon ve buharlaşma olduğu belirtilmiştir [17]. Bu iki faktör bağlayıcı yapısındaki kimyasal değişiklik nedeni ile oluşmakta, diğerleri ise sadece fiziksel nedenlere bağlı olarak meydana gelmektedir. Fiziksel yaşlanmaya maruz kalmış bağlayıcılar orijinal viskozite değerine kadar ısıtılacak olursa yaşlanma büyük ölçüde giderilebilir ancak oksidasyon sertleşmesi kesinlikle giderilememektedir [17].

Bitümlü bağlayıcı, rafineriden çıkışından yol üzerinde hizmete başlayana kadar yapılan işlemlerde önemli oranda oksidasyona uğradığından bağlayıcının reolojik davranışını, performansını ve dayanıklılığını büyük ölçüde etkiler. Karışımlar için uygun bir bağlayıcı seçiminde karıştırma sırasındaki yaşlanma göz önüne alınmıştır. Agregayla karıştırma işlemi sırasındaki yaşlanma, sıcaklık, karıştırma süresi, bağlayıcı %'si ve film kalınlığı gibi birçok faktöre bağlıdır. Yaşlanma indeksi ve film kalınlığı arasındaki ilişki incelenmiş ve sonuçta agrega danelerini saran film kalınlığı azaldıkça yaşlanma indeksinin arttığı gözlenmiştir [17]. Yaşlanma indeksi; yaşlanmış bağlayıcının viskozitesinin (η_a), orijinal bağlayıcının viskozitesine (η_o) oranıdır.

$$\text{Yaşlanma indeksi} = \frac{\eta_a}{\eta_o} \quad (4.18)$$

Yaşlanma indeksi ile film kalınlığı arasındaki ilişki Şekil 4.11' de grafik halinde gösterilmiştir.



Şekil 4.11. Film Kalınlığının Yaşlanma Üzerine Etkisi [17]

Sonuçlar incelendiğinde, bitümlü sıcak karışımlarda yüksek hava boşluğu oranı, yüksek hava geçirgenliği ve agrega danelerini saran bağlayıcı filminin inceliği, kaplamanın dayanıklılığını azaltan yaşlanmanın en önemli nedenleri olarak görülmüştür [17].

Aynı çalışmada; yaşlanma, bitüm film kalınlığıyla hava boşluk oranına bağlı olarak esneklik modülünün değişimini incelemek için farklı bitüm film kalınlıkları ile düşük (% 3–5) ve yüksek (% 6–7) hava boşluk oranına sahip, kısa (135 °C de, 4 saat) ve uzun (85 °C de, 12 saat) yaşlandırılmış numunelerin esneklik modülü analizleri yapılmıştır. Çalışma sonunda, esneklik modülü model eğrileri film kalınlığına bağlı olarak incelendiğinde 9-10 μ 'luk film kalınlıklarının bir özellik taşıdığı; eğrinin 9-10 μ 'nun altındaki kalınlıklarda dikleştiği, 9-10 μ 'dan büyük kalınlıklarda ise yatıklaştığı gözlenmiştir. Yani belirtilen film kalınlıklarından küçük değerlerde yaşlanmanın etkisi artmakta, büyük değerlerde ise değişmediği sonucuna varılmıştır [17].

Campen ve diğerleri [18] yapmış oldukları bir çalışmalarında, yoğun gradasyonlu karışımlarda bağlayıcı film kalınlığı ile karışımın stabilite değerleri arasında ilişki kurarak, kalın bağlayıcı filmi içeren karışımların daha esnek ve dayanıklı olduğunu, buna karşın ince bağlayıcı filmi içeren karışımların daha gevrek, kırılgan olduğunu ve yolun servis ömrünü düşürdüğünü ortaya çıkarmışlardır. Deney sonuçlarına göre, ortalama 6-8 μ film kalınlığı içeren sıcak karışımların ideal karışımlar olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanında, film kalınlığının, agreganın yüzey alanı artışı ile azaldığını ve aralarında doğrusal ilişki bulunmamakla birlikte gerekli bağlayıcı içeriğinin de yüzey alanı ile arttığını bulmuşlardır. Bu çalışmada ayrıca, yoğun gradasyonlu asfalt karışımlar için; boşluk oranları, yüzey alanı, film kalınlıkları ve stabilite arasındaki ilişkiler gösterilmiştir. Oldukça ince asfalt bağlayıcı filmi içeren karışımların, esnek ve durabil olmalarına karşın kırılgan, çatlamaya eğilimli

oldukları, kaplamanın performansını ve servis ömrünü azalttıkları görülmüştür. Birçok uygun kaplama karışımlarından elde edilmiş verilerin temeli analiz edilerek ortalama film kalınlıkları 6-8 μ olarak tayin edilmiştir [18].

Asfalt kaplama karışımının uygun durabilite sağlaması için agrega daneleri arasında yeterli bitüm film kalınlığı sağlanmış olmalıdır. Mevcut literatür verilerine dayanılarak minimum bitüm film kalınlığı genellikle 6-8 μ oranında tavsiye edilmiştir.

Bitüm filmi kalınlığına ait bir diğer çalışma ise Kandhall ve Chakraborty [19] tarafından yapılan çalışmadır. Araştırmacılar, bağlayıcı film kalınlığının karışımların kısa ve uzun dönem üzerindeki etkilerini araştırarak, yüksek hava boşluk oranına ve farklı film kalınlıklarına sahip numunelere esneklik modülü deneyi uygulamışlardır. Esneklik modülü model eğrilerini film kalınlığına bağlı olarak incelemişler ve 9-10 μ film kalınlıklarının bir özellik taşıdığını gözlemlemişlerdir. 9-10 μ 'nun altındaki kalınlıklarda eğri dikleşerek yaşlanmanın arttığını, 9-10 μ 'nun üstündeki kalınlıklarda ise eğri yatıklaşarak yaşlanma etkilerinin azaldığını kanıtlamışlardır [17,19].

Yapılmış olan çalışmada farklı bitüm kalınlıkları arasındaki ilişki miktarları ve asfalt kaplama karışımının yaşlanma karakteristikleri araştırılmış, karışımlar yaklaşık 4-13 μ oranında değişen bitüm film kalınlıkları ile hazırlanmıştır [19]. Bu çalışmanın amacı; asfalt bağlayıcının kısa ve uzun dönem yaşlanmasını minimuma indirmek için bir asfalt kaplama karışımında optimum asfalt bağlayıcı film kalınlığı hesaplayarak karışımın uygun durabilitesini bulmaktır.

Yüksek permeabilite, yüksek hava boşlukları ve agrega daneleri üzerindeki ince asfalt filmi içeren kaplamalar karşılaştırılarak, bu karışımların durabilitelerinin artışına karşın, bağlayıcının aşırı yaşlanmasına neden olduğu tespit edilmiştir [19]. Bunun yanında, yoğun gradasyonlu asfalt karışımlar için ortalama bir film kalınlığı kavramı kolayca anlaşılamamıştır. Gradasyondan bulunmuş olan agrega toplam yüzey alanı efektif asfalt muhtevasına bölünerek basitçe hesaplanmış, oldukça yüksek olmamakla birlikte karışımdaki bütün danelerin asfalt kaplamanın aynı film kalınlığına sahip olduğu varsayılmıştır. İnce agrega daneleri, kaba agrega daneleri ile karşılaştırıldığında ince agrega danelerinin daha ince bir film kalınlığına sahip oldukları gözlenmiştir [19].

Bütün bu çalışmalardan da anlaşılabileceği gibi; film kalınlığı, karışım içindeki bağlayıcı içeriği ile ilişkili olduğu için, film kalınlığının optimum değerinin saptanması son derece önemlidir. Çünkü film kalınlığının gerekenden fazla olması kaplamanın deformasyon direncini azaltır, gerekenden az olması halinde ise; kaplama kırılma bir yapıya sahip olur [17].

4.3.2. Bitüm Film Kalınlığının Hesaplanması İçin Geliştirilen Yöntemler

Bitüm film kalınlığının hesaplanması için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir.

4.3.2.1. Goode ve Lufsey Tarafından Geliştirilen Yöntem

Bu çalışmada ‘bitüm indeks’i minimum 0,00123, hava boşluklarının bitüm indeksine oranı maksimum %4 olarak alınmıştır. Hava boşluğunun bitüm indeksine oranı (4.19), mikron olarak film kalınlığı (4.20), hava boşlukları muhtevasına bağlı olarak minimum film kalınlığı (4.21) eşitlikleri ile verilmiştir [20]

$$\text{Hava boşlukları (\%)} / (\text{bitüm indeks} * 103) = \%4 (\text{max.}) \quad (4.19)$$

$$\text{Film kalınlığı} = \text{bitüm indeks} * 4870 \quad (4.20)$$

$$\text{Mikron film kalınlığı (min.)} = \text{Hava boşluğu (\%)} * 4870 / 4 * 10^3 \quad (4.21)$$

4.3.2.2. Güney Afrika Devlet Yolları Komitesi Tarafından Geliştirilen Yöntem

Bu yöntemde bitüm film kalınlığı (4.22) formülü ile verilmiştir [14] ;

$$F = \frac{P_{be}}{100 - P_b} * \frac{1}{A} * \frac{1}{P_b} * \frac{1}{S} * 10^6 \quad (4.22)$$

Burada;

F : Film kalınlığı

P_{be} : BSK’nın efektif bitüm muhtevası (karışımın kütlece %’si)

P_b : BSK’nın toplam bitüm muhtevası (karışımın kütlece %’si)

A : Agrega yüzey alanı (m²/kg)

S : 25°C deki bitümün yoğunluğu (kg/m³)

(4.10) formülünde kullanılan yüzey alanı ise (4.23) bağıntısı ile hesaplanmıştır [14,21];

$$A = (2 + 0,02a + 0,04b + 0,08c + 0,14d + 0,30e + 0,60f + 1,60g) * 0,20482 \quad (4.23)$$

Formülde;

- a: 4.75 mm elekten geçen (%)
- b: 2.36 mm elekten geçen (%)
- c: 1.18 mm elekten geçen (%)
- d: 0.60 mm elekten geçen (%)
- e: 0.30 mm elekten geçen (%)
- f: 0.15 mm elekten geçen (%)
- g: 0.075 mm elekten geçen (%)

4.3.2.3. Bağlayıcı Hacmi ve Yüzey Alanına Bağlı Olarak Geliştirilen Yöntem

Bu yöntemde bitüm film kalınlığı, efektif asfalt bağlayıcı hacminin agreg a yüzey alanına bölünmesiyle bulunmuştur [22]. Agreg a yüzey alanı ise, her elekten geçen toplam %'nin bir yüzey alanı faktörü ile çarpılması ile hesaplanmıştır. Bu yönteme ait prosedür incelendiğinde, efektif asfalt ağırlığı (4.24), kuru agreg a ağırlığı (4.25), efektif asfalt hacmi (4.26), absorbe edilmiş asfalt ağırlığı ise (4.27) formülü ile verilmiştir.

$$\text{Efektif asfalt ağır.} = \text{karışım ağır.} - \text{kuru agreg a ağır.} - \text{absorbe edilmiş asfalt ağır.} \quad (4.24)$$

$$\text{Kuru agreg a ağır.} = \frac{\text{kar. agr.}}{1 + \% \text{asfalt}} \quad (4.25)$$

$$\text{Efektif asfalt hacmi (m}^3\text{)} = \frac{\frac{\text{efek.asf. agr.}}{\text{asfl.özgül. agr.}}}{1000} \quad (4.26)$$

$$\text{Absorbe edilmiş asf. ağır.} = \text{kuru agreg a ağır.} * \frac{\text{asf. absorbiyonu}}{100} \quad (4.27)$$

Yüzey Alanı Hesaplanması ise (4.28) formülünde gösterilmiştir.

$$\text{Yüz. alanı (m}^2\text{/kg)} = 0.41 + .0038a + .0078b + .0155c + .029d + .054e + .1218f + .290g \quad (4.28)$$

Burada;

a: % geçen 5000 gr

b: % geçen 2500 gr

c: % geçen 1250 gr

d: % geçen 630 gr

e: % geçen 315 gr

f: % geçen 160 gr

g: % geçen 80 gr

Düzeltilme faktörü ise (4.29) formülü ile verilmiştir.

$$D_F = \text{Yüzey alanı (m}^2\text{/kg)} * \frac{2.650}{\text{agrega.hacm.özg.agr.}} \quad (4.29)$$

Yukarıdaki formüller göz önünde tutularak bitüm film kalınlığı (4.30) formülüyle hesaplanmıştır.

$$\text{Bitüm film kalınlığı (}\mu\text{m)} = \frac{\text{efek.asf.hacmi}}{\text{agrega.yüzey.alanı}} * 10^6 \quad (4.30)$$

(4.30) formülündeki agrega yüzey alanı ise (4.31) bağıntısı ile bulunmuştur.

$$\text{Agrega yüzey alanı} = \text{yüzey alanı} * \text{agrega ağırlığı} \quad (4.31)$$

4.3.2.4. Akjassar ve Haas Tarafından Geliştirilen Yöntem

Akjassar ve Haas agrega yüzey alanı için basit bir yöntem kullanarak agrega gradasyonunun yaklaşık yüzey alanı hesaplamasını (4.32) formülü ile göstermişlerdir [15].

$$A_T = a_s * N = \frac{6W_s}{G_{SB} * q_w * d} \quad (4.32)$$

Formülde;

A_T : Tüm agregâ parçalarının toplam yüzey alanı (m^2)

a_s : Bir agregâ parçasının yüzey alanı (m^2)

N : Agregâ parçalarının sayısı

W_S : Agregâ ağırlığı (kg)

G_{SB} : Agregâ özgül ağırlığı

q_w : Suyun yoğunluğu (1000 kg/ m^3 alınıyor)

d : Agregâ parçalarının çapı (m)

(4.33) formülü ile de bir agregâ parçasına bağılı ortalama film kalınlığını hesaplamışlardır.

$$T_F = \frac{V_{be}}{A_T * W_S} * 304800 \quad (4.33)$$

Formülde;

T_F : ortalama film kalınlığı, mikron

V_{be} : efektif asfalt bağlayıcının hacmi (ft^3)

(304800 , T_F de kullanılan çevirme faktörü)

4.3.2.5. Ohio Eyaleti Ulaştırma Departmanı Tarafından Geliştirilen Yöntem

Bu yöntemde [23]; film kalınlığı (4.34) formülüyle verilmiştir.

$$T_F = \frac{V_{asf}}{(SA * W)} \quad (4.34)$$

Burada;

T_F : Ortalama film kalınlığı(inç)

V_{asf} : Asfalt çimentosunun efektif hacmi (inç³)

SA : Agregâ yüzey alanı (ft^2/lb)

W : Agregâ ağırlığı

4.3.2.6. Kandhall Ve Diğerleri Tarafından Geliştirilen Yöntem

Bu tez çalışmasında ise; Kandhall P.S. , Foo K.Y. ve Mallick R.B. nin yapmış oldukları çalışmadaki formüller esas alınarak bitüm film kalınlıklarına bağlı bitüm muhtevaları hesaplanmıştır [4]. Hesaplamada kullanılan formüller aşağıda (4.35) ve (4.36) bağıntıları ile verilmiştir.

$$\text{Efektif Bağlayıcı Ağırlığı (EBA)} = YA \times t \times \delta_b \quad (4.35)$$

Burada;

YA = Yüzey alanı (m^2/ kg)

t = bitüm film kalınlığı (m)

γ_b = bitüm yoğunluğu (kg/m^3)

$$\text{Bitüm Muhtevası (BM)} = \left[\frac{EBA}{1 + EBA} \right] \times 100 \quad (4.36)$$

5.DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneyisel çalışmalarda; öncelikle deneylerde kullanılacak agrega ve bağlayıcının fiziksel özellikleri tespit edilmiştir. Bu özellikler göz önünde tutularak belirlenen bitüm film kalınlıklarına ait bitüm muhtevaları bulunarak bu bitüm muhtevalarındaki numuneler deneylere tabi tutulmuştur. Sonuçta bitüm film kalınlığının stabilite ve rijitliğe etkisi araştırılmıştır.

5.1. Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

Deneylerde, bağlayıcı olarak AC 75-100 penetrasyonlu bitüm, agrega malzemesi olarak da kalker kökenli kırmataş malzeme kullanılmıştır. Kullanılan bitümün fiziksel özelliklerinin tayini için yapılan deneylerin sonuçları Tablo 5.1.'de, kullanılan agrega gradasyonu ise Tablo 5.2'de gösterilmiştir. Ayrıca agrega fiziksel özellikleri de Tablo 5.3.'te verilmiştir.

Tablo 5.1. Bağlayıcı Fiziksel Özellikleri

Özellikler	Deney Sonuçları	Standartlar
Penetrasyon 25°C, mm ⁻¹	92	EN 1426
Yumuşama Noktası, °C	49,2	EN 1427
Düktilite, cm	>100	TS 119
Fraas Kırılma Noktası, °C	-18,2	EN 12593
Özgül Ağırlık, gr/cm ³	1,035	TS 1087
Parlama Noktası, °C	338	EN 22592

Tablo 5.2. 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	-

Tablo 5.3. Agrega Fiziksel 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)	2.687	2.654	2.725

5.2. Film Kalınlığına Göre Bitüm Muhtevasının Hesaplanması

Literatür taramasında bitüm film kalınlığının 8µm ile 13µm arasında seçilmesinin uygun olacağı görülmüştür [4,17,18]. Bu çalışmada, bitüm film kalınlığı 7µm ile 13 µm aralığı için hesaplanmıştır. Hesaplamalarda; (4.35) ve (4.36) formülleri kullanılmıştır. Bu formüller için gerekli olan yüzey alanı ise yüzey alanı faktörleri kullanılarak hesaplanmıştır. Yüzey alanı hesabı Tablo 5.4'te gösterilmiştir. Formüllerden bulunan değerler ise Tablo 5.5'de verilmiştir. Bitüm film kalınlığı 7µm için yapılan hesaplama EK- 2'de gösterilmiştir.

Tablo 5.4. Yüzey Alanı Hesabı

Elek Boyutu	Yüzey Alanı Faktörü (m ² /kg)	% Geçen	Yüzey Alanı (m ² /kg)
¾ inç. (19 mm.)	0,41	100	0,41
½ inç. (12.5 mm.)		95	
3/8 inç. (9.5 mm.)		88	
No.4 (4.75 mm.)	0,41	65	0,2665
No.8 (2.36 mm.)	0,82	39	0,3198
No.16 (1.18 mm.)	1,64	24	0,3936
No.30 (600 µm.)	2,87	18	0,5166
No.50 (300 µm.)	6,14	14	0,8596
No.100 (150 µm.)	12,29	10	1,2290
No.200 (75 µm.)	32,77	6	1,9662
		Toplam yüzey alanı = 5,9613	

Tablo 5.5. Formüllerle Bulunan Bitüm Muhtevaları

Bitüm Filmi Kalınlığı (μm)	Bitüm Muhtevası BM (%)
7	4.14
8	4.70
9	5.26
10	5.81
11	6.36
12	6.90
13	7.43

5.3. Marshall Deney Sonuçları

Marshall yöntemine göre hazırlanan numunelerin havadaki ağırlıkları alındıktan sonra 24 saat su içerisinde bırakılmış daha sonra da sudaki ve doymuş – yüzey kuru ağırlıkları tespit edilmiştir. Daha sonra numuneler 60 °C sıcaklıktaki suyun içerisinde 30 dakika bekletilmiş ve Marshall stabilite aletinde denenmiştir. Deney sonucunda aletten okunan stabilite ve akma değerleri kaydedilmiştir. Stabilite değerleri numune yüksekliklerine bağlı olan Marshall Stabilite Faktörleri ile çarpılarak düzeltilmiş stabilite değerleri elde edilmiştir.

(4.1) – (4.12) formülleri kullanılarak D_p , V_f , V_h , değerleri tespit edilmiştir. Ayrıca pratik özgül ağırlık (D_p) - % bitüm, stabilite - % bitüm, boşluk oranı (V_h) - % bitüm, asfaltla dolu boşluk oranı (V_f) - % bitüm grafikleri çizilmiş ve değişimler belirlenmiştir.

Tablo 5.6; farklı bitüm film kalınlıklarında hazırlanmış numunelerin deney sonuçlarını, Şekil (5.1) – (5.5) ise bu numunelerin bitüm film kalınlıklarıyla farklı özelliklerindeki değişim grafiklerini göstermektedir.

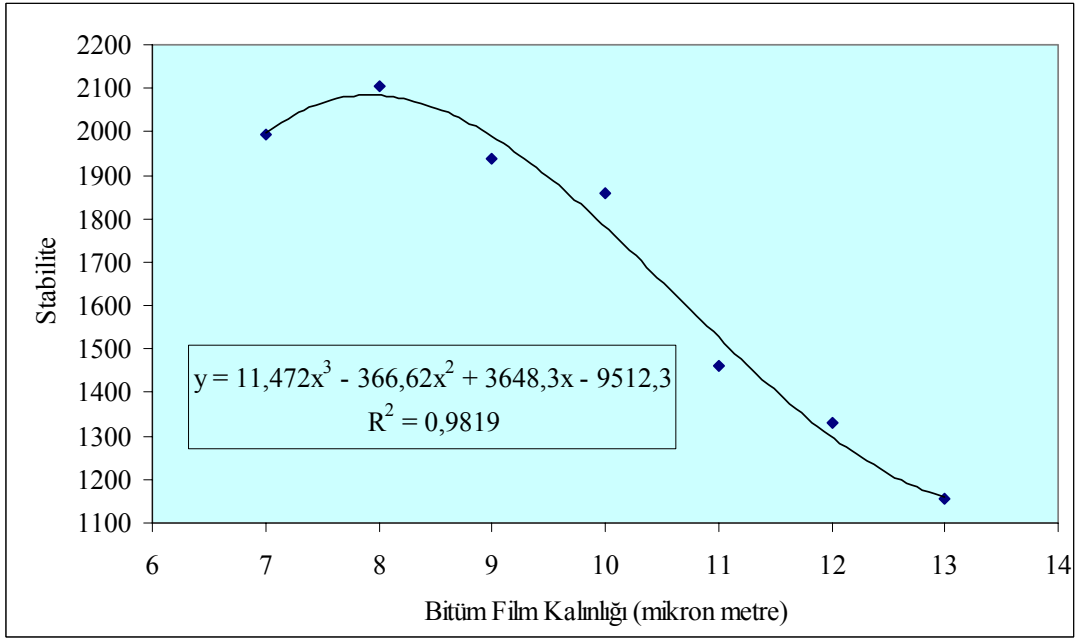
7 μm için yapılan hesaplar EK-3’ te verilmiştir.

Tablo 5.6. 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													
7-1	4,14	3,98	49,7	65,0	65,1	65,0	65,0	1237,25	724,21	1243,25	519,04	2,384	2,481	4,19	13,33	68,57	2,40	2100	0,962	2020
7-2	4,14	3,98	49,7	65,1	65,3	65,3	65,2	1242,58	728,21	1249,56	521,35	2,384					2,41	2070	0,955	1977
7-3	4,14	3,98	49,7	65,0	65,1	65,1	65,1	1242,12	724,25	1250,11	525,86	2,362					2,48	2060	0,960	1978
ORTALAMALAR												2,377					2,43			1992
8-1	4,70	4,49	56,4	64,7	64,9	64,7	64,8	1252,90	735,51	1257,30	521,79	2,401	2,463	2,84	13,22	78,52	3,17	2220	0,967	2147
8-2	4,70	4,49	56,4	64,7	64,7	64,6	64,7	1250,86	732,76	1254,98	522,22	2,395					3,99	2190	0,970	2124
8-3	4,70	4,49	56,4	64,9	64,9	65,0	64,9	1250,18	732,02	1256,51	524,49	2,384					3,11	2120	0,965	2046
ORTALAMALAR												2,393					3,09			2106
9-1	5,26	5,00	63,12	65,0	65,0	64,9	65,0	1256,67	739,22	1260,51	521,29	2,411	2,445	1,31	12,97	89,90	3,70	2030	0,962	1953
9-2	5,26	5,00	63,12	65,0	64,8	64,9	64,9	1258,56	741,60	1262,30	520,70	2,417					3,99	1950	0,965	1882
9-3	5,26	5,00	63,12	64,9	64,8	64,8	64,8	1259,04	740,47	1262,98	522,51	2,410					3,17	2040	0,967	1973
ORTALAMALAR												2,413					3,62			1936
10-1	5,81	5,49	69,72	64,7	64,8	64,9	64,8	1262,11	743,69	1264,90	521,21	2,422	2,428	0,25	13,10	98,09	4,49	1860	0,967	1799
10-2	5,81	5,49	69,72	64,7	64,9	64,8	64,8	1261,89	744,02	1264,41	520,39	2,425					4,09	1980	0,967	1915
10-3	5,81	5,49	69,72	65,1	65,0	65,0	65,0	1261,97	743,14	1264,80	521,66	2,419					4,51	1930	0,962	1957
ORTALAMALAR												2,422					4,36			1857

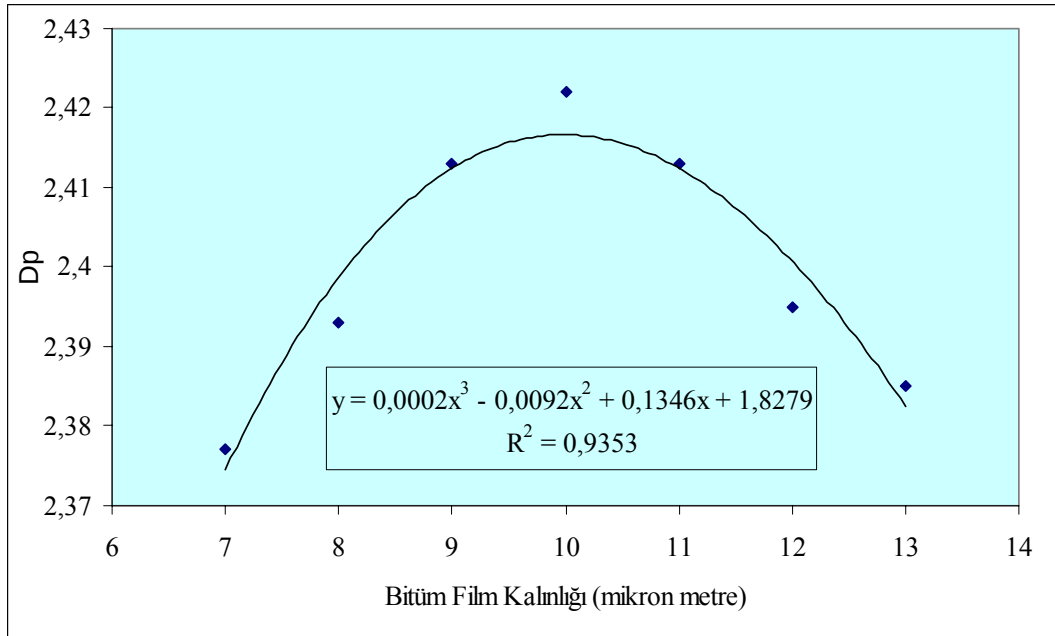
Tablo 5.6. Marshall Deney Sonuçları (devamı)

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													
11-1	6,36	5,98	76,32	65,4	65,4	65,2	65,3	1264,65	742,72	1266,92	524,2	2,413	2,411	0	13,94	100	4,84	1500	0,957	1436
11-2	6,36	5,98	76,32	65,0	65,0	65,1	65,0	1263,36	742,47	1265,45	522,98	2,416					4,90	1570	0,962	1510
11-3	6,36	5,98	76,32	65,4	65,3	65,3	65,3	1267,31	743,65	1269,58	525,93	2,410					5,14	1500	0,955	1433
ORTALAMALAR												2,413					4,96			1460
12-1	6,90	6,45	82,8	66,0	65,9	65,9	65,9	1270,35	742,49	1272,48	529,99	2,397	2,395	0	14,93	100	5,89	1430	0,943	1349
12-2	6,90	6,45	82,8	65,9	66,0	66,0	66,0	1271,60	742,26	1273,47	531,21	2,394					5,36	1430	0,940	1344
12-3	6,90	6,45	82,8	65,9	66,0	65,8	65,9	1271,71	742,42	1273,90	531,48	2,393					5,77	1380	0,943	1301
ORTALAMALAR												2,395					5,67			1331
13-1	7,43	6,92	89,16	66,2	66,3	66,2	66,2	1272,30	741,42	1274,24	532,82	2,388	2,380	0	15,95	100	6,53	1280	0,936	1198
13-2	7,43	6,92	89,16	66,4	66,4	66,4	66,4	1271,79	740,92	1273,93	533,01	2,386					6,79	1200	0,932	1118
13-3	7,43	6,92	89,16	66,6	66,8	66,6	66,7	1276,74	742,86	1278,82	535,96	2,382					6,76	1240	0,925	1147
ORTALAMALAR												2,385					6,69			1154



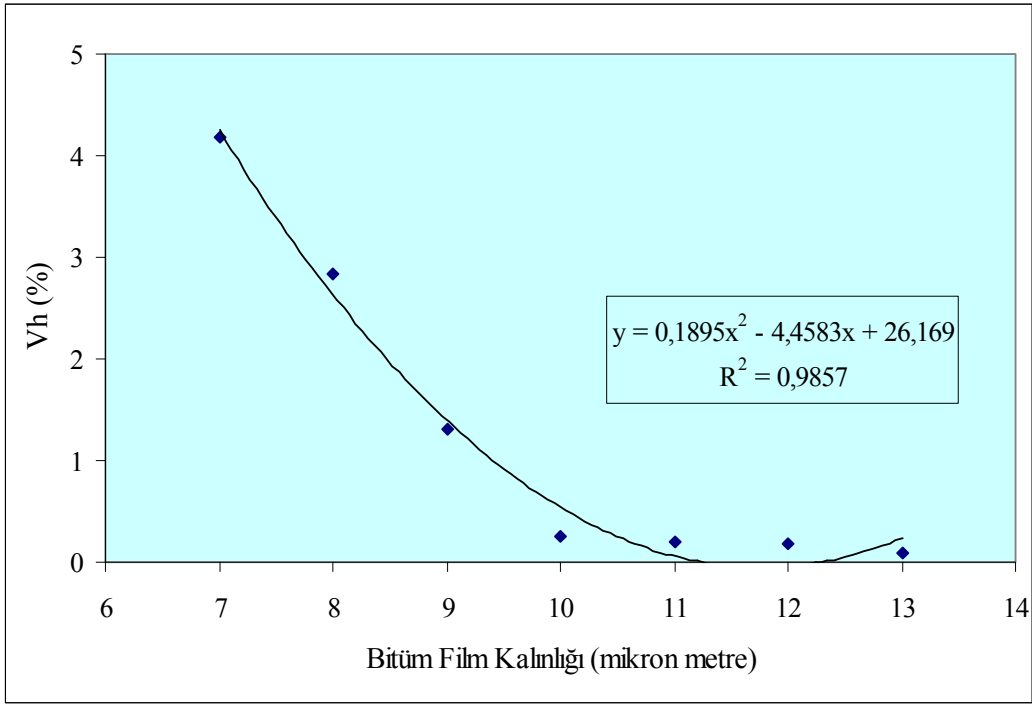
Şekil 5.1. Stabilité – Bitüm Film Kalınlığı İlişkisi

Şekil 5.1. incelendiğinde stabilitenin 8 µm film kalınlığında maksimum olduğu, bu değerden daha büyük film kalınlıklarında ise sürekli bir düşüş gösterdiği görülmektedir.



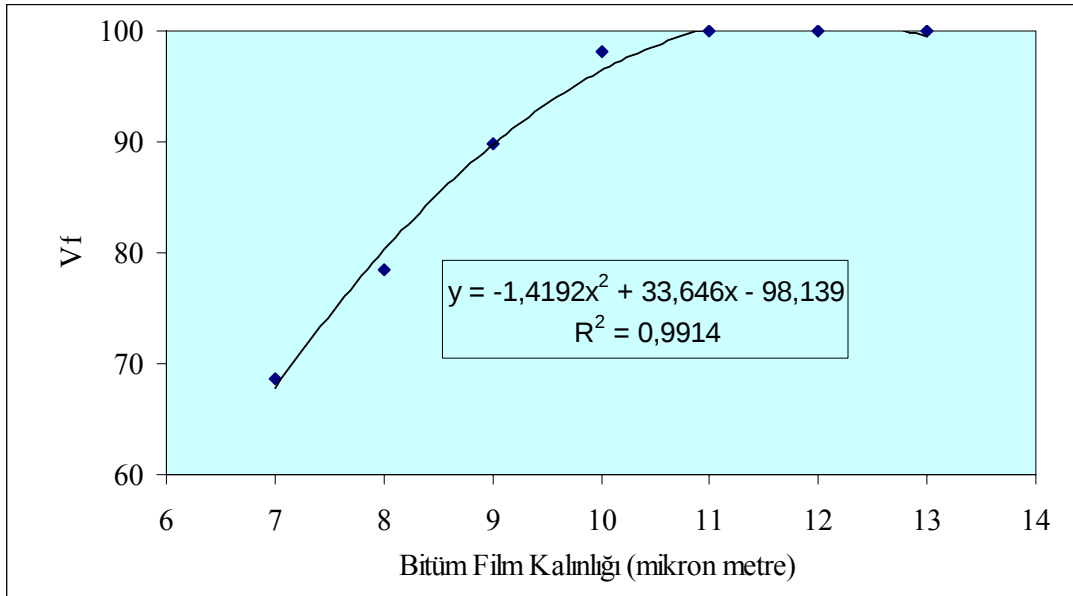
Şekil 5.2. Dp– Bitüm Film Kalınlığı İlişkisi

Şekil 5.2. incelendiğinde; pratik özgül ağırlığı film kalınlığının 10 µm olduğu noktaya kadar yükseldiği ve bu değerden daha büyük film kalınlıklarında düştüğü görülmektedir.



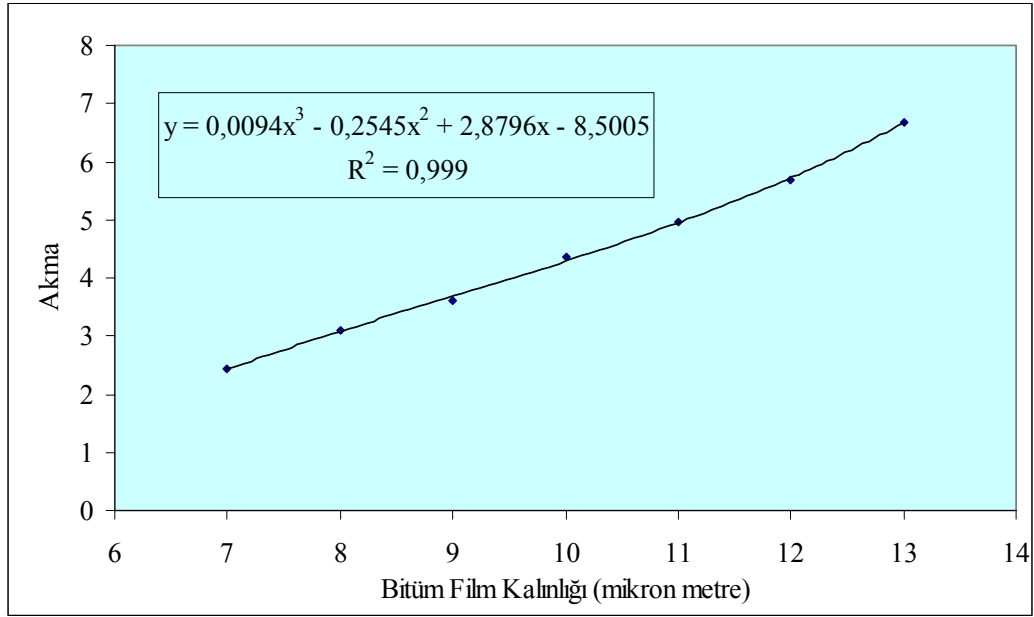
Şekil 5.3. V_h – Bitüm Film Kalınlığı İlişkisi

Şekil 5.3. incelendiğinde; film kalınlığının artışı ile boşluk oranının sürekli bir şekilde düştüğü, film kalınlığının 11 μm olduğu noktadan itibaren de anlamsız bir hale geldiği görülmektedir.



Şekil 5.4. V_f – Bitüm Film Kalınlığı İlişkisi

Şekil 5.4. incelendiğinde asfaltla dolu boşluk oranının film kalınlığına paralel olarak arttığı, ancak film kalınlığının 11 μm olduğu noktadan itibaren anlamsızlaştığı görülmektedir.



Şekil 5.5. Akma – Bitüm Film Kalınlığı İlişkisi

Şekil 5.5. incelendiğinde; akma değerleri film kalınlığına paralel olarak arttığı görülmektedir.

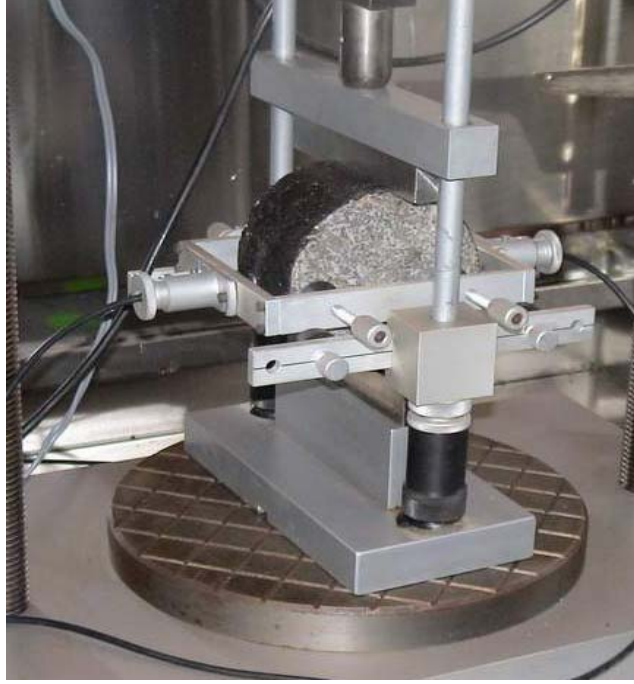
5.4. İndirekt Çekme Rijitlik Modülü Deneyi

İndirekt Çekme Rijitlik Modülü (ITSM) deneyi, dinamik yükler karşısında bitümlü karışımların rijitliğini tespit etmek amacıyla yapılmaktadır. Bu amaçla numunelere artarda 5 defa yük etki ettirilmiştir. Deney için hazırlanan numuneler deney sıcaklığında 3 saat bekletildikten sonra elektronik ITSM deney aletine yerleştirilmiştir. Tek eksenli yüklemenin yapılacağı yükleme aparatı yerleştirilmiş ve duyargalar bağlanmıştır (Şekil 5.6). Taşıt hızları göz önünde bulundurularak yük artış süresi 124 ms, istenilen hedef deformasyon 7 µm ve poisson oranı 0,35 olarak belirlenmiştir. Bu değerlerle birlikte numune yüksekliği de bilgisayardan girilerek deney başlatılmıştır. Deneyde önce 5 defa ön yükleme yapılmış, daha sonra 3000 ms boyunca 5 defa yük etki ettirilmiştir. Bu deney standart sıcaklığı olan 20 °C sıcaklıkta yapılmıştır. İstenen hedef deformasyona ulaşılması için uygulanan yük miktarlarına bağlı olarak İndirekt Çekme Rijitlik Modülü, (5.1), (5.2) ve (5.3) bağıntıları kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$S_t = 2 F / \pi L D \quad (5.1)$$

$$E = F (R + 0,27) / L H \quad (5.2)$$

$$C_r = H / D \quad (5.3)$$

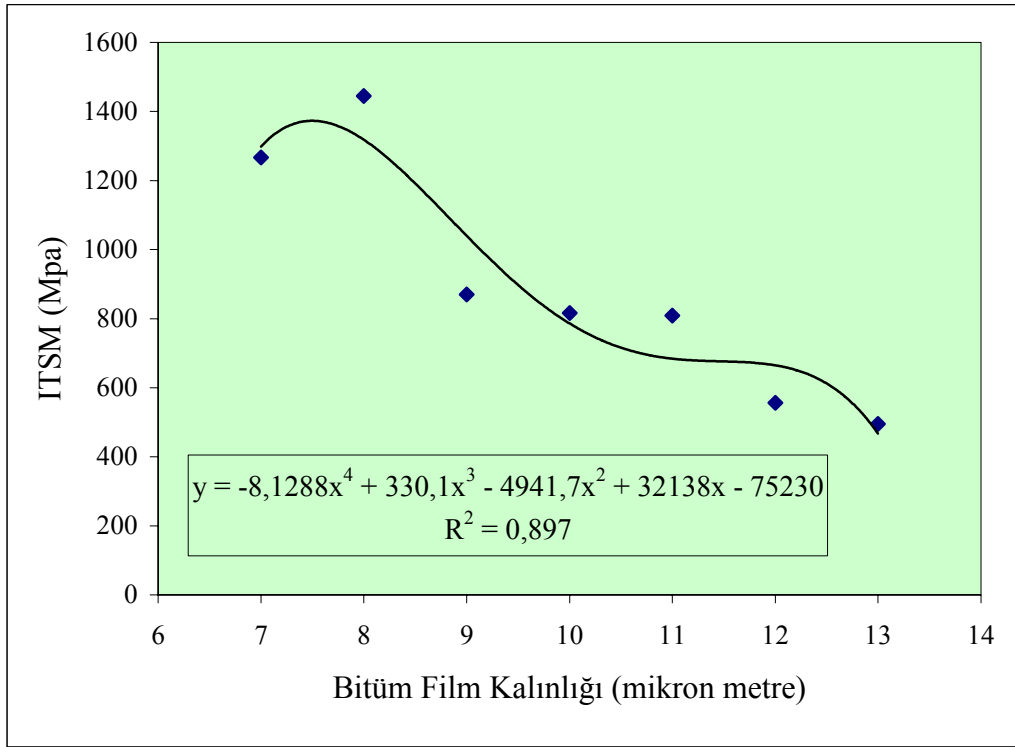


Şekil 5.6. Deney Aletine Numunenin Yerleştirilmesi

Film kalınlıklarına göre ITSM deney sonuçları Tablo 5.7’de verilmiştir. Tablodaki değerler Şekil 5.7’de grafik olarak gösterilmiştir.

Tablo 5.7. ITSM Sonuçları

Film Kalınlığı (μm)	ITSM (MPa)
7	1267
8	1445
9	870
10	816
11	809
12	556
13	495



Şekil 5.7. ITSM – Bitüm Film Kalınlığı Değişimi

Şekil 5.7. incelendiğinde; rijitlik, bitüm film kalınlığının 8 μm olduğu kısımda maksimuma ulaşmakta ve bu değerden sonra sürekli bir düşüş göstermektedir.

6.SONUÇ

Bitümlü sıcak karışımların optimum bitüm muhtevasının belirlenmesinde Marshall ve CKE gibi deneysel yöntemlerin yanında formüllere dayalı amprik yöntemler kullanılmaktadır. Son yıllarda bu konu hakkında bitüm filmi kalınlığına bağılı yeni bir yöntem kullanılmaktadır. Bu deneysel çalışmada, özellikle Kandhall [4] tarafından geliştirilmiş yöntem kullanılarak film kalınlığının hangi değerlerindeki sonuçların Marshall kriterleri ile paralellik gösterdiği araştırılmıştır.

Deneyler sonucunda; stabilite 8 μm ' de, pratik özgül ağırlık (d_p) 10 μm ' de, boşluk oranının %3-5'ine karşılık gelen değeri 7 μm ' de, bitümle dolu boşluk oranının % 80'ine karşılık gelen değeri 8 μm ' de, akma değerinin 2-4 mm değerine karşılık gelen değerinin ise 8 μm civarında olduğu ortaya çıkmıştır.

İndirekt Çekme Rijitlik Deneyi sonucunda da en yüksek rijitlik değeri 8 μm ' de elde edilmiştir.

Bitüm film kalınlığı hakkında yapılan literatürlerde de [4,17,18] bitüm film kalınlıklarının 8–13 μm arasında olması önerilmektedir.

Yeni bir yaklaşım olan bitüm film kalınlığı yöntemi esas alınarak yapılan bu tez çalışmasında; bitümlü sıcak karışımlarda bitüm film kalınlığının 8 μm olarak uygulanmasının uygun olacağı gösterilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Kuloğlu, N., 1998, Agregat Gradasyonunun Asfalt Muhtevasına Etkisi, 4. Ulaştırma Kongresi, Denizli, 271-280
- [2] Önal, M.A., Karaca, S., 1990, Asfalt Betonu Ve Diğer Karışım Tipleri İçin Karışım Dizayn Metotları, K.G.M. Tek. Arşt. D. Bşk., Ankara
- [3] Umar, A.F., Ağar, E., 1985, Yol Üstyapısı, İ.T.Ü. İnş. Fak.
- [4] Kandhall, P.S., and all, Critical Review of Voids in Mineral Aggregate Requirments in Superpave, Trans. Research Record
- [5] Tunç, A., 2004, Esnek Kaplama Malzemeleri El Kitabı, Asil Yayın Dağıtım, 352 s.
- [6] Keçeciler, A.F., Gümrükçüoğlu, A., Akkol, G., Gökçe, A.F., 1990, Bitümlü Malzemeler Laboratuar El Kitabı, K.G.M. Tek. Arşt. D. Bşk., Ankara
- [7] Önal, M.A., Kahramangil, M., 1993, Bitümlü Karışımlar Laboratuar El Kitabı, K.G.M. Tek. Arşt. D. Bşk., Ankara
- [8] Asfalt ve Uygulamaları, 2001, İSFALT bilimsel yayınları, No : 1, 280 s.
- [9] Yollar Fenni Şartnamesi, 1989, K.G.M. Yayınları, Ankara, 258 – 264 . s.
- [10] Kuloğlu, N., 2000, Bitüm ve bitümlü sıcak karışımların rijitliğine etki eden parametreler. Tübitak, 61 – 67 . s.
- [11] Asfalt El Kitabı, 2002, İsfalt Bilimsel Yayınları, No : 2, 573 s.
- [12] Legault, A.R., Highway and Airport Engineering, F.Ü. demirbaş no 16901
- [13] Al-Qadı, I.L. and all, 1994, Asphalt Portland Cement Concrete Composite: Laboratory Evaluation, Vol.120, pp.94-107, ASCE
- [14] A Guide To The Desing Of Hot Mix Asphalt İn Tropical And Sub-Tropical Countries, 1987, Committee of State Road Authorities, South Africa
- [15] The Effect of Voids in Mineral Aggregate (VMA) on Hot-mix Asphalt Pavements, 2000, Minnesota Department of Transportation
- [16] Harvey, JAF., Cebon, D., 2000, Bitumen Films in Tension, Young Research Forum, organised by SCI Construction Materials Group, London, UK
- [17] Şengöz, B., Ağar E., 2005, Asfalt Bitüm Film Kalınlığının Bitümlü Karışımların Yaşlanmasına Etkisi, İTÜ Dergisi, cilt 4, sayı 1, s. 71-82
- [18] Campen, W.H., Smith, J.R., Mertz, L.R. and Erickson, L.G., 1959, The Relationship Between Voids, Surface Area, Film Thickness and stability in Bituminous Paving Mixtures, Journal of the association of asphalt paving technologists, 28, 149-157. s.

- [19] Kandhall, P.S., Chakraborty, S., 1996, Effect of Asphalt Film Thickness on Short and Long Term Aging Asphalt Paving Mixtures, National Research for Asphalt Technology, Transportation Research board, 22, 45-68 s.
- [20] Goode, J.F. and Lufsey, L.A., Voids, Permeability, Film Thickness vs. Asphalt Hardening, Proceeding, AAPT, Vol.34, 1965
- [21] Binder Film Index, 2003, Austroads Asphalt Test
- [22] Asphalt Film Thickness in Bituminous Mixtures, 1992
- [23] Ultrathin Bonded Asphalt Concrete , 2002, State of Ohio Department of Transportation