

**ILIK ASFALT KARIŞIMLARI İÇİN
OPTİMUM ASPHAMİN ORANININ
ARAŞTIRILMASI**

M. Ali ÇOLAK

**Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Prof. Dr. Sinan HINISLIOĞLU**

2012

Her hakkı saklıdır

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ILIK ASFALT KARIŞIMLARI İÇİN OPTİMUM
ASPHAMİN ORANININ ARAŞTIRILMASI**

M. Ali ÇOLAK

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ERZURUM
2012**

Her hakkı saklıdır



T.C.

ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEZ ONAY FORMU

**ILIK ASFALT KARIŞIMLARI İÇİN OPTİMUM ASPHAMİN ORANININ
ARAŞTIRILMASI**

Prof. Dr. Sinan HINISLIOĞLU danışmanlığında M. Ali ÇOLAK tarafından hazırlanan bu çalışma 19/12 2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek lisans tezi olarak **oybirliği/oy çokluğu (.../...)** ile kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Sinan HINISLIOĞLU İmza:

Üye Doç. Dr. Abdurrahim Bilal bey, İmza:

Üye : T.C. Doç. Dr. Fatih HATTATOĞLU İmza:

Yukarıdaki sonucu onaylıyorum

Prof. Dr. İhsan EFEOĞLU

Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirimlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ILIK ASFALT KARIŞIMLARI İÇİN OPTİMUM ASPHAMİN ORANININ ARAŞTIRILMASI

M. Ali ÇOLAK

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Sinan HINISLIOĞLU

Ilık asfalt karışım (WMA) teknolojisi, enerji tüketiminin azaltılmasına potansiyel bir çözüm olması yanında çevresel avantajları ile asfalt bağlayıcı ve karışımın mühendislik özelliklerini iyileştirmesi bakımından, son zamanlarda esnek yol üstyapılarında popülaritesi oldukça artmaktadır. Üstyapının kalitesini düşürmeden sıcak asfalt karışımlarının karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarını düşüren birçok yeni proses geliştirilmektedir. Sıcaklıkların düşürülmesinde önemli rol oynayan WMA katkılarının en önemlilerinden birisi de Asphamin'dir. Asphamin bünyesinde yaklaşık olarak ağırlıkça %21 oranında 85-182°C sıcaklık aralığında serbest kalan kristalize su içermektedir. Asphamin asfaltla beraber karışıma katıldığında su açığa çıkar. Köpük formda açığa çıkan bu su ise asfaltta hacim artışına neden olarak düşük sıcaklıklarda işlenebilirliğin artması ve bağlayıcının agregayı sarmasını sağlar.

Bu çalışmada, seçilen gradasyon için Marshall tasarım yöntemi kullanılarak optimum asfalt oranı %5 olarak belirlenmiştir. Optimum asfalt oranını kullanarak 110, 120, 130, 140 ve 150°C karıştırma sıcaklıklarında, her bir sıcaklık değeri için bağlayıcı ağırlığının %4, 5, 6, 7 ve 8 oranlarında asphamin katılarak, optimum asphamin oranı belirlenmeye çalışılmıştır. Marshall katsayısı açısından performans değerlendirmesi yapıldığında 110°C karışım sıcaklığı için %8, 120°C için %7, 130°C için %6, 140°C için %6 ve 150°C için %4 asphamin oranının en uygun oran olabileceği görülmüştür.

2012, 55 sayfa

Anahtar Kelimeler: Ilık Asfalt karışımları, Marshall Karışım Tasarımı, Asphamin

ABSTRACT

Master Thesis

INVESTIGATION OF OPTIMUM ASPHAMIN CONTENT FOR WARM MIX ASPHALT

M. Ali ÇOLAK

Atatürk University
Graduate School of Engineering Faculty
Department of Civil Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Sinan HINISLIOĞLU

Warm mix asphalt (WMA) technology has become increasingly popular in pavement construction because of its environmental benefits and its ability to improve the engineering properties of asphalt binders and mixtures. Several new processes have been developed to reduce the mixing and compaction temperatures of hot mix asphalt without sacrificing the quality of the resulting pavement. Asphamin which is the most used additive materials for WMA plays a significant role on decreasing the temperatures. Asphamin contains approximately 21 percent water by mass and is released in the temperature range of 85-182°C. When Asphamin is added to the mix at the same time as the binder, water is released. This water release creates a volume expansion of the binder that results in asphalt foam and allows increased workability and aggregate coating at lower temperatures.

In this study, 5% of optimum asphalt content is determined for chosen gradation by the Marshall Design method. The optimum asphamin content is tried to determine at temperatures of 110, 120, 130, 140 and 150°C by adding the asphamin to the asphalt of 4, 5, 6, 7 and 8% by weight of asphalt for each temperature using optimum asphalt content. The appropriate rate for optimum asphamin content for mixing temperature at 110°C, 120°C, 130°C, 140°C and 150°C can be suggested as 8%, 7%, 6%, 6% and 4%, respectively, according to Marshall Quotient.

2011, 55 Pages

Keywords: Warm Mix Asphalt, Marshall Mix Design, Asphamin,

TEŞEKKÜR

Bu alıőmanın her safhasında ilgi, teővik ve yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Sinan HINISLIOĞLU'na teőekkürlerimi sunarım.

Bilgi, tecrübe ve fikirlerinden faydalandığım Sayın Yrd. Doç. Dr. O. Ünsal BAYRAK'a, Sayın Yrd. Doç. Dr. Fatih HATTATOĞLU'na, Sayın Yrd. Doç. Dr. H. Ferit BAYATA'ya ve özellikle deneysel çalışmalar safhasında kıymetli vakitlerini ve yardımlarını esirgemeyen Sayın Arő. Gör. Erbil KAVCI'ya ve emeği geçen herkese teşekkür ederim.

Ayrıca, her zaman gerek maddi gerekse manevi desteklerini gördüğüm sevgili aileme teşekkür ederim.

M. Ali ÇOLAK

Aralık 2012

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Bitümlü Sıcak Karışımlar (BSK)	2
1.2. Ilık Karışım Asfaltı (WMA).....	2
1.2.1. Ilık karışım asfaltın avantajları	4
1.2.2.. WMA teknolojileri	5
1.2.3. Performans.....	6
1.3. Marshall Yöntemi İle Karışım Dizaynı	7
1.3.1. Agrega granülometrisinin belirlenmesi	8
1.3.2. Agrega ve bitümün özgül ağırlıklarının belirlenmesi.....	8
1.3.3. Agrega ve bitüm miktarlarının belirlenmesi	9
1.3.4. Briketlerin hazırlanması ve ilgili hesaplamalar	9
1.3.5. Briketlerin yoğunluk ve boşluk oranı analizleri	11
1.3.6. Stabilite ve akma değerlerinin belirlenmesi	13
1.3.7. Optimum asfalt miktarının belirlenmesi.....	14
2. KAYNAK ÖZETLERİ	15
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	20
3.1. Agrega	20
3.1.1. Agregaların fiziksel özelliklerinin belirlenmesi	20
3.2. Asfalt	21
3.3. Gradasyon.....	23
3.4. Asphamin.....	24
3.4.1. Optimum bağlayıcı oranının belirlenmesi (OBO).....	25

3.4.2. Marshall yöntemi ile karışım dizaynı	26
3.4.2.a. Agreganın granülometrisinin belirlenmesi	27
3.4.2.b. Agreganın ve bitümün özgül ağırlıklarının belirlenmesi.....	27
3.4.2.c. Agreganın ve bitüm miktarlarının belirlenmesi.....	27
3.4.2.d. Briketlerin hazırlanması ve ilgili hesaplamalar	29
3.4.2.e. Stabilite ve akma değerlerinin belirlenmesi	29
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	31
4.1. Çalışmada İncelenen Parametreler	31
4.2. Kontrol Numuneleri için OBO Tespiti	31
4.3. 110°C Karıştırma Sıcaklığında Asphamin Kullanımı	34
4.4. 120°C Karıştırma Sıcaklığında Asphamin Kullanımı	37
4.5. 130°C Karıştırma Sıcaklığında Asphamin Kullanımı	40
4.6. 140°C Karıştırma Sıcaklığında Asphamin Kullanımı	43
4.7. 150°C Karıştırma Sıcaklığında Asphamin Kullanımı	46
4.8. Sonuçların Karşılaştırılması	49
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	51
KAYNAKÇA.....	52
ÖZGEÇMİŞ	56

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

c	Düzeltilme Faktörü
D	Numune Çapı
D_T	Maksimum teorik özgül ağırlık
D_p	Hacim özgül ağırlık
$G_{mb_{düzeltilen}}$	Düzeltilen yoğunluk
$G_{mb_{hesap}}$	Hesaplanan yoğunluk
G_{sb}	Agrega Hacim özgül ağırlığı
N_{bas}	Başlangıç sıkışma sayısı
N_{diz}	Dizayn sıkışma sayısı
N_{maks}	Maksimum sıkışma sayısı
P	Maksimum yük
St	Dolaylı Çekme Dayanımı
VFA	Asfaltla dolu boşluk yüzdesi
Vh	Boşluk oranı
VMA	Agrega mineralleri arası boşluk yüzdesi
$\%G_{mm}$	Maksimum teorik yoğunluk yüzdesi
W_a	Asfalt Yüzdesi

Kısaltmalar

ESTDY	Eşdeğer standart tekil dingil yük
KGM	Karayolları Genel Müdürlüğü
KTŞ	Karayolları Teknik Şartnamesi
OBO	Optimum Bağlayıcı Oranı
ÖS	Ön sıkıştırma
SGC	Yoğurmalı sıkıştırıcı

ŞEKİLLER DİZİNİ

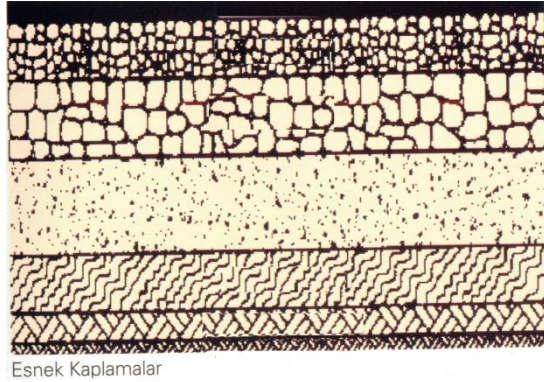
Şekil 1.1. Tipik bir esnek üstyapı kesiti.....	1
Şekil 1.2. HMA ve WMA üretimlerinde çıkan emisyonlar	3
Şekil 3.1. Aşınma elek analizi.....	24
Şekil 3.2. Marshall stabilite deney aleti	30
Şekil 4.1. Kontrol numunesi stabilite-boşluk %-asfalt oranı ilişkisi	33
Şekil 4.2. Kontrol numunesi Dp-VFA -asfalt oranı ilişkisi	33
Şekil 4.3. Kontrol numunesi VMA-akma -asfalt oranı ilişkisi	33
Şekil 4.4. 110°C karıştırma sıcaklığındaki Marshall özellikleri	36
Şekil 4.5. 120°C karıştırma sıcaklığındaki Marshall özellikleri	39
Şekil 4.6. 130°C karıştırma sıcaklığındaki Marshall özellikleri	42
Şekil 4.7. 140°C karıştırma sıcaklığındaki Marshall özellikleri	45
Şekil 4.8. 150°C karıştırma sıcaklığındaki Marshall özellikleri	48

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Tipik Bir Bsk Üretimine Göre WMA Teknolojisinde Emisyon Azalması ..4	
Çizelge 1.2. Aşınma tabakası şartname sınırları	13
Çizelge 3.1. Agrega fiziksel özellikleri.....	21
Çizelge 3.2. Asfalt çimentosuna uygulanan deneyler ve sonuçları	23
Çizelge 3.3. Çalışmada kullanılan agrega gradasyonu	23
Çizelge 3.4. Asphamin'in fiziksel ve kimyasal özellikleri	25
Çizelge 3.5. Her briket için dane boyutlarına göre alınan agrega miktarları	28
Çizelge 4.1. Çalışmada incelenen parametreler ve oranları.....	31
Çizelge 4.2. Kontrol numunelerine ait sonuçlar	32
Çizelge 4.3. 110°C karıştırma sıcaklığına ait numune sonuçları	35
Çizelge 4.4. 120°C karıştırma sıcaklığına ait numune sonuçları	38
Çizelge 4.5. 130°C karıştırma sıcaklığına ait numune sonuçları	41
Çizelge 4.6. 140°C karışım sıcaklığına ait numune sonuçları	44
Çizelge 4.7. 150°C karışım sıcaklığına ait numune sonuçları	47
Çizelge 4.8. Stabilite (kg)-sıcaklık-asphamin oranları karşılaştırması	49
Çizelge 4.9. Boşluk (%)-sıcaklık-asphamin oranları karşılaştırması.....	49
Çizelge 4.10. Dp (%)-sıcaklık-asphamin oranları karşılaştırması	49
Çizelge 4.11. VFA (%)-sıcaklık-asphamin oranları karşılaştırması	50
Çizelge 4.12. VMA (%)-sıcaklık-asphamin oranları karşılaştırması.....	50
Çizelge 4.13. Akma (mm)-sıcaklık-asphamin oranları karşılaştırması	50

1. GİRİŞ

Karayolu üstyapıları trafik yüklerini zemine ileten ve çevre etkilerine karşı dayanıklı olan mühendislik yapılarıdır. Kaplama tabakasında bağlayıcı olarak çimento kullanılan üstyapılara rijit üstyapılar, bağlayıcı olarak asfalt kullanılanlara ise esnek üstyapılar denilmektedir. Esnek yol üstyapılar, kaplama, temel ve alttemel olmak üzere üç tabakadan oluşmaktadır (Şekil 1.1). Bunlar, yüklerinin büyük bir kısmının üstyapıyı oluşturan bitümlü bağlayıcılı ya da bağlayıcısız tabakalar tarafından taşındığı, kalan kısmının tabana aktarıldığı üstyapı tipidir. Stabilitesi, agrega kenetlenmesine, dane sürtünmesine ve kohezyona bağlıdır. Bu tabakalar içerisinde fonksiyonel olarak, projelendirme ve yapım bakımından en önemli yeri kaplama tabakası oluşturmaktadır. 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 (Kuloğlu 1998; Önal ve Karaca 1990; Umar ve Açar 1985).



Şekil 1.1. Tipik bir esnek üstyapı kesiti

1.1. Bitümlü Sıcak Karışımlar (BSK)

Bitümlü sıcak karışım; iri ve ince agrega, filler ve bitümün plentlerde 150-180°C sıcaklıkta karıştırılıp düzgün bir tabaka halinde serilip sıkıştırılarak elde edilen bir yol kaplamasıdır.

Yüksek standartlı karayolları, otoyolar ve havaalanlarında yapılacak esnek kaplamalar için bitümlü sıcak karışımlar kullanılmaktadır. BSK yüksek kalitede imal edilmesi gerektiğinden aşağıda belirtilen hususlara titizlikle uyulmalıdır.

- Stabilite
- Rijitlik
- Dayanıklılık
- Yorulma mukavemeti
- Fleksibilite
- Geçirimsizlik
- Kayma direnci
- İşlenebilirlik (Tunç 2002)

1.2. Ilık Karışım Asfaltı (WMA)

Esnek üstyapılar için, agrega ve asfaltın ısıtılıp karıştırılmasıyla elde edilen BSK, birçok ülkede yaygın olarak kullanılmaktadır. Bir asfalt plentindeki emisyonların temel sebebi, toz, duman, egzoz buharı ve diğer gaz halindeki kirleticilerin dışarı atıldığı karıştırıcılar, kurutucular ve sıcak tanklardır (Sutton 2002). Asfalt plentlerinde meydana gelen emisyonları azaltmak için, karışımın özelliklerini değiştirmeden sıkıştırma ve karıştırma sıcaklığı düşürülmeye çalışılmaktadır. Çevresel faydalar ve enerji tasarrufu sağlamak için sıcak-soğuk asfalt karışımları üzerine son zamanlarda çalışmalar yapılmaktadır. Ancak, şimdiye kadar, soğuk asfalt karışımları BSK'ın yerini alamamıştır. Soğuk karışımların olumsuzlukları göz önüne alındığında, karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarını düşüren ılık asfalt karışımları önem kazanmıştır. Karıştırma ve sıkıştırma

sıcaklıkları ılık asfalt karışımları (WMA) için 100-140°C arasında, BSK'larda ise 150-180°C arasında yapılmaktadır. Böylece, WMA son yıllarda popülaritesini artırmıştır (Asfalt Mütahhitleri Derneği Bülteni 2008).



Şekil 1.2. HMA ve WMA üretimlerinde çıkan emisyonlar

WMA genellikle, yoğun gradasyonlu asfalt, taş mastik asfalt (SMA), poroz asfalt ve mastik asfalt karışımları dahil tüm asfalt betonu karışımlarında kullanılmaktadır. Bu karışım farklı kalınlıklarda uygulanabildiğinden, çok farklı trafik seviyelerine sahip yol kesimlerinde kullanılabilir. Avrupa'da WMA konusundaki gelişmeleri yönlendiren faktörler aşağıda belirtilmiştir:

- Çevre bilinci ve sürdürülebilir kalkınma kavramı ile özellikle enerji tüketiminin azaltılması ve dolayısıyla CO₂ emisyonlarının düşürülmesi,
- Karışımın yolda sıkıştırma şartlarının geliştirilmesi; WMA karışımıyla daha kolay sıkıştırma sağlanabildiğinden, bitümlü sıcak karışıma göre yapım sezonu uzatılabilmekte ve daha uzun mesafelere taşıma yapılabilmektedir.
- İşçilere daha temiz bir çalışma ortamının sağlanması; Bu teknoloji, özellikle normal bitümlü sıcak karışımdan daha yüksek sıcaklıklarda üretilen mastik asfalt veya gusasfalt için büyük bir önem taşımaktadır.

1.2.1. ılık karışım asfaltın avantajları

WMA kullanımının aşağıda belirtildiği gibi birçok potansiyel faydaları mevcuttur:

Emisyonların azalması: ılık karışım asfalt teknolojisinde, klasik bitümlü sıcak karışımlarda beklenen tipik emisyonlara göre Çizelge 1.1’de belirtildiği gibi önemli azalmalar olmaktadır.

Çizelge 1.1. Tipik Bir Bsk Üretimine Göre WMA Teknolojisinde Emisyon Azalması

Emisyonlar	Tipik bir üretime göre emisyonlardaki azalma oranı (%)
CO ₂ ve SO ₂	30-40
Uçucu organik bileşikler	50
CO	10-30
Azot oksitler (NO _x)	60-70
Toz	20-25

Emisyonlardaki düşüş oranları, birçok faktöre bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Sıcaklık düşüşünün yüksek olduğu teknolojilerde, emisyonlardaki azalmada o nispette yüksek olmaktadır (Asfalt Mütahhitleri Derneği Bülteni (2008)).

Yakıt kullanımının azalması: WMA teknolojileri ile sağlanan yakıt tasarrufu, tipik olarak %11 ila %35 arasında değişmektedir. Düşük enerjiyle üretilen asfalt betonu–LEAB (Low-Energy Asphalt Concrete) ve düşük enerjiyle üretilen asfalt–LEA (Low Energy Asphalt) adlarıyla anılan üretim işlemlerinde yakıt tasarrufu %50 veya daha fazla olabilmektedir. Bu işlemlerde agregaların suyun kaynama derecesine kadar ısıtılması gerekmemektedir.

Yapım sırasındaki avantajları: Düşük sıcaklıklarda üretilen ılık karışım asfalt, kolay bir şekilde serilebilmekte ve istenilen yoğunluğa sıkıştırılabilmektedir. Yeterli işlenebilirliğe sahip olan bu karışım, uzun mesafelere taşınabilmektedir Ayrıca, düşük

sıcaklıklarda daha yüksek oranlarda eski asfaltın yeniden kullanımına imkân sağlamaktadır.

İşçilerin maruz kaldığı emisyonların azalması: Ilık asfalt teknolojisi, klasik BSK asfalt ile karşılaştırıldığında, duman ve poliaromatik hidrokarbonların (PAH) emisyonlarında %30 ila %50 arasında değişen azalmaların olduğu kanıtlanmıştır. WMA teknolojilerinde emisyonlar, konvansiyonel BSK'a göre kabul edilmiş emisyon limitlerinin oldukça altındadır.

1.2.2. WMA teknolojileri

Yapılan araştırmalarda, mevcut WMA üretim proseslerinin yanı sıra Amerika'da ve diğer ülkelerde yeni işlemlerin geliştirilmekte olduğu tespit edilmiştir. Mevcut teknolojiler aşağıda belirtilen iki farklı yönteme göre sınıflandırılmaktadır:

a. Karışım sıcaklığındaki azalma derecesine göre sınıflandırma: Nihai karışım sıcaklığına göre bu tip karışımları, "Ilık Karışım Asfalt" ve "Yarı-Ilık Karışım Asfalt" olarak sınıflandırmak mümkündür. WMA karışımları, klasik BSK sıcaklığının 30°C ila 50°C altında, 100°C'ın biraz üzerindeki sıcaklıklarda üretilebilmektedir.

b. Üretimde karışımın sıcaklığın azaltmak için kullanılan malzemelere bağlı olarak yapılan sınıflandırma: Bu amaçla, kullanılan su ve bazı organik katkıları veya parafin tipi malzemelere göre teknolojiler sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırma yöntemi ile uygulanan teknolojik işlemler daha açıklayıcı bir şekilde belirtilmiş olmaktadır. Sıcak bitüme az miktarda su verilmesi işlemlerinde, atmosferik basınç altında belirli bir hacimdeki suyun buhar haline dönüşmesi prensibiyle, bitümün köpük haline gelmesi için özel enjektörle su buharının bitüm içine püskürtülmesi veya zeolit, asphamin gibi bünyesinde kristal su bulunduran bir malzeme veya rutubetli agreganın bitümlü bağlayıcıya eklenmesiyle, bağlayıcı genişlerken, viskozitesi azalır. Genleşme miktarı ilave edilen suyun miktarına ve bağlayıcı sıcaklığına bağlı olarak değişir. Kristal su içeren katılardan en önemlilerinden biri asphamin'dir. Asphamin, bünyesinde

sodyum-alüminyum-silikat içerir, hidro-termal olarak kristallenmiş toz şeklindedir ve içerisinde %21 kristal su bulundurur. Genellikle karışım ağırlığının %0.3'ü kadar karışıma katılır. İçeriğinde bulunan %21 oranındaki su kristali bitüm içerisine yayılarak hacim artışına sebep olur. Bu da düşük sıcaklıkta işlenebilirliği ve sıkıştırılabilirliği kolaylaştırmaktadır.

Organik katkıların (Parafinler ve amidlerin-CONH₂) kullanıldığı işlemler, parafinin erime noktası üzerinde viskozitenin azalması prensibine bağlıdır. Parafinin erime noktası, yolda beklenen servis sıcaklığından daha yüksek olması gerektiğinden (aksi takdirde kalıcı deformasyon olabilir) ve düşük sıcaklıklarda asfaltın kırılma olmasının önlenmesi için, parafin tipinin çok dikkatli seçilmesi gerekmektedir (Asfalt Müt. Dern. Bülteni Nisan 2008, Sayı 4).

1.2.3. Performans

Avrupa ülkelerinden sağlanan laboratuvar değerleri ile kısa dönemde (3 yıl veya daha az) elde edilen arazi performans verilerine göre; WMA karışımlarının, BSK'nın performansına eşdeğer ve hatta daha yüksek performans sağladığı kanıtlanmıştır (Asfalt Müt. Dern. Bülteni Nisan 2008, Sayı 4). Norveç'te ki uygulamaların çok kısa bir kesiminde düşük bir performans gözlenmiş, ancak, bu kötü performansın, direkt olarak WMA karışımı ile bağlantılı olmadığı tespit edilmiştir. Almanya ve Fransa'da, WMA gibi yeni ürünlerin değerlendirilmesi için, laboratuvar deneyleri ile deneme kesimlerinden elde edilen performans sonuçlarının birleştirilmesi amacıyla yeni sistemler oluşturulmuştur. Otoriteler, WMA'dan BSK'a eşdeğer performans beklemektedirler. Müteahhitler ve kurumlarla yapılan görüşmelerde, WMA'nın yaygınlaşmamasının nedenleri arasında aşağıda belirtilen iki ayrı husus ortaya konmuştur:

- İlk WMA projelerinde garanti süreleri yeni tamamlanmıştır. Bu yöntemleri geliştiren müteahhitler, bu teknolojiyi yaygın olarak kullanmadan önce, gerekli güvenin sağlanması için, uzun vadeli performansın belirlenmesi gerektiğini belirtmektedirler.

•Önemli ölçüde yakıt tasarrufu sağlamasına rağmen, WMA maliyeti hala BSK maliyetinden daha yüksektir. Fransız kamu kurumlarının temsilcileri, WMA karışımının daha dayanıklı olacağına inandıkları için, daha fazla ödemeye gönüllü olmuşlardır.

WMA'nın enerji tasarrufu sağlaması ve emisyonların azalmasının yanında, karışımın daha uzun mesafelere nakledilebilmesi, binderin yaşlanmasını geciktirmesi, oksidasyon sertleşmesini önlemesinden dolayı meydana gelen çatlakları azaltması ve yolun daha kısa zamanda trafiğe açılması gibi avantajları da vardır (Hurley and Powell 2006). Bununla birlikte WMA kullanımı ile sağlanan emisyonlardaki azalma, işçi sağlığı açısından da çok önemlidir (Asfalt Mütahhitleri Derneği Bülteni (2008)).

1.3. Marshall Yöntemi İle Karışım Dizayını

Ülkemizde ve diğer birçok ülkede bitümlü kaplama karışımlarının dizaynında kullanılan Marshall yöntemi, maksimum dane boyutu 2.54 cm (1 inch) veya daha küçük agrega ihtiva eden ve bağlayıcı olarak asfalt çimentosu kullanılarak hazırlanan sıcak karışım asfalt kaplama karışımlarına uygulanır. Metot, sıcak karışımların Marshall dizayını ve sıcak karışım asfalt kaplamalarının uygulamadaki kontrolleri için kullanılır (Aras 2003). Marshall tasarım numunelerinin hazırlanması ile ilgili hesaplamalar ASTM D1559'a göre yapılır.

Marshall yöntemi ile hazırlanan sıcak karışım dizayını aşağıdaki işlem sırasına göre yapılır:

- Agrega granülometrisinin belirlenmesi
- Agrega ve bitümün özgül ağırlıklarının belirlenmesi
- Agrega ve bitüm miktarlarının hesabı
- Briketlerin hazırlanması, ilgili hesaplamalar ve boşluk analizleri
- Stabilite ve akma değerlerinin bulunması
- Optimum bitüm miktarının belirlenmesi

1.3.1. Agreganın granülometrisinin belirlenmesi

Karışımında kullanılacak değişik boyutlardaki agreganın elek analizi yapılarak karışımların granülometreleri belirlendikten sonra agreganın karışımlarının granülometri eğrileri ve şartname sınır eğrileri çizilir (Aras 2003).

1.3.2. Agreganın ve bitümün özgül ağırlıklarının belirlenmesi

Burada, her biri değişik özgül ağırlıklara sahip kaba agreganın, ince agreganın ve mineral fillerden oluşan agreganın karışımının, hacim özgül ağırlığı ve zahiri özgül ağırlıklarının nasıl hesaplandığı gösterilmiştir. Agreganın karışımı ile ilgili bu özgül ağırlıklar aşağıdaki gibi hesaplanır (Aras 2003).

$$G_{sb} = \frac{\%K + \%İ + \%F}{\% \frac{K}{G_{ka}} + \% \frac{İ}{G_{ia}} + \% \frac{F}{G_{fa}}}$$

$$G_{sa} = \frac{\%K + \%İ + \%F}{\% \frac{K}{G_{ka}} + \% \frac{İ}{G_{ia}} + \% \frac{F}{G_{fa}}}$$

G_{sb} : Agreganın karışımının hacim özgül ağırlığı

G_{sa} : Agreganın karışımının zahiri özgül ağırlığı

$\%K, \%İ, \%F$: Kaba agreganın, ince agreganın ve mineral fillerin ağırlıkça yüzdeleri

G_{kb}, G_{ib} : Kaba agreganın ve ince agreganın hacim özgül ağırlıkları

G_{ka}, G_{ia}, G_{fa} : Kaba agreganın, ince agreganın ve mineral fillerin zahiri özgül ağırlıkları

1.3.3. Agregaya ve bitüm miktarlarının belirlenmesi

63.5 mm yüksekliğinde ve 100 mm çapındaki bir Marshall briketi (numunesi) için yaklaşık 1100-1350 gram agregaya ihtiyaç vardır. Briketler set halinde hazırlanır. Farklı bitüm yüzdelere sahip her set için 3 briket hazırlanır.

Farklı boyutlardaki agregaların karışımdaki yüzdesi ile her briket için gerekli 1150 g agregaya miktarı çarpılarak farklı boyutlardaki agregalardan alınan miktarlar belirlenir.

Bitüm yüzdesi, agregaya ağırlığına göre bitüm yüzdesi ve karışım içindeki bitümün ağırlıkça yüzdesi (normal bitüm yüzdesi) olmak üzere iki şekilde belirlenebilir.

Agregaya ağırlığına göre bitüm yüzdesi (W_a): Hazırlanacak bir brikette, kullanılacak agregaya ağırlığına göre ne kadar bitüm katılacağını ifade eder.

Karışım içindeki bitümün ağırlıkça yüzdesi (W_b): Agregaya + bitüm ağırlığına göre ne kadar bitüm kullanılacağını ifade eder (Aras 2003).

1.3.4. Briketlerin hazırlanması ve ilgili hesaplamalar

- Briketler aşağıdaki işlem sırasına göre hazırlanır:
- Her brikette kullanılacak agregaya miktarı toplam briket sayısına göre ayrı ayrı kaplara doldurularak 24 saat bekletilmek üzere 165°C'lik etüve konulur.
- Kullanılacak asfalt çimentosu etüve konularak 165°C'ye kadar ısıtılır.
- Deneyde kullanılması gerekli olan mikser kabı, Marshall tokmağı, briket kalıbı, spatula, kürek vb. aletler de 165°C'lik etüvde ısıtılır.
- 165°C'lik etüvde ısıtılmış olan agregaya yine 165°C'lik etüvde ısıtılmış olan karıştırma kabına boşaltılarak kuru olarak karıştırılır. Bu şekilde hazırlanan agregaya içerisine bir çukur açılarak agregaya ağırlığına göre karışımın içerisine konulması gereken asfalt miktarı açılan çukura ilave edilir.

- Asfalt çimentosunun agrega içerisinde üniform bir şekilde dağılmasını sağlamak amacıyla mekanik bir mikser ile 1.5 dakika karıştırma işlemi yapılır.
- Karışım, kalıba boşaltılır ve ısıtılmış bir spatula ile iç kısımlarından ve çevresinden 10-15 kez çabukça darbelenerek sıkıca yerleştirilir. Numunelerde aynı boşluk oranlarını yakalayabilmek için numunelerin uygun sıkıştırma sıcaklıklarında 45.7 cm (18inch) yükseklikten serbest düşüş yapan sıkıştırma tokmağı ile numunenin ön ve arka yüzüne dizayn trafik sınırlandırmasına göre belirlenen 75 darbe uygulanarak sıkıştırılır.
- Sıkıştırılan numuneler numaralandırılarak kalıpla birlikte soğumaya bırakılır.
- Numune kalıptan kriko ile çıkarılarak düzgün bir yüzey üzerine konulduktan sonra yaklaşık 15 saat soğumaya bırakılır.

Briketlerin Yüksekliklerinin Belirlenmesi: Standart briket yüksekliği 63.5 mm olup stabilite değeri bu standart yüksekliğe göre değerlendirilir. Standart briket yüksekliğine karşılık gelen katsayı 1'dir. Yüksekliğin 63.5 mm den büyük olduğu durumda bu katsayı azalır, 63.5 mm den küçük olduğu durumda ise yükselir. Briketin ölçülen stabilitesi ile numunenin yüksekliğine bağlı katsayının çarpımı, 63.5 mm yüksekliğindeki (standart) brikete göre düzeltilmiş stabilite değerini verir. Bunun için bir setteki her briketin değişik yerlerinden üç okuma alınarak bu okumaların ortalaması briket yüksekliği olarak kaydedilir (Aras 2003).

Briketlerin Hacimlerinin Belirlenmesi: Bir briketin hacmi, briketin havadaki ağırlığından sudaki ağırlığının çıkarılması ile elde edilir. Briketlerin önce havada sonra sudaki ağırlıkları hassas bir şekilde tartılarak belirlendikten sonra biriket hacimler aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$V=B-C$$

V : Briketin hacmi (cm³)

B : Briketin doygun yüzey-kuru ağırlığı (g)

C : Briketin sudaki ağırlığı (g)

1.3.5. Briketlerin yoğunluk ve boşluk oranı analizleri

Briketin hacim özgül ağırlığı (D_p), briketin havadaki ağırlığının hacmine oranıdır:

$$D_p = \frac{A}{V}$$

D_p : Briketin hacim özgül ağırlığı (gr/cm^3)

A : Briketin havadaki ağırlığı (gr)

V : Briketin hacmi (cm^3)

Briketin maksimum teorik özgül ağırlığı (D_T), agreg ağırlığına göre bitüm yüzdesi cinsinden aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$D_T = \frac{100 + W_a}{\frac{100}{G_{ef}} + \frac{W_a}{G_b}}$$

D_T : Briketin maksimum teorik özgül ağırlığı

W_a : Agreg ağırlığına göre bitüm yüzdesi

G_{ef} : Agreganın efektif özgül ağırlığı

G_b : Bitümün özgül ağırlığı

Bitüm Absorbsiyonu ve Efektif Bitüm Yüzdesi:

$$P_{ba} = 100 \times \frac{(G_{ef} * G_{sb})}{(G_{ef} * G_{sb})}$$

$$P_{be} = W_a - P_{ba}$$

P_{ba} = Agreganın ağırlıkça yüzdesi olarak emilen bitüm

- G_{ef} =Agreganın efektif özgül ağırlığı
 G_{sb} =Agreganın hacim özgül ağırlığı
 P_{be} =Agreganın yüzdesi olarak efektif bitüm miktarı
 W_a =Agreganın ağırlıkça yüzdesi olarak bitüm miktarı

Efektif bitüm yüzdesi, toplam bitüm miktarının agregaların dışını kaplayan kısmıdır ve kaplama karışımının performansına etki edecek bitüm miktarıdır.

Briketlerdeki VMA Yüzdesi: VMA, agregalar arası boşluk yüzdesidir. Efektif bitüm miktarını ve hava boşluğunu içeren, sıkıştırılmış kaplama karışımının agrega daneleri arasındaki boşluk olarak tanımlanır ve toplam hacmin yüzdesi olarak aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$VMA = 100 - D_p \frac{100 - W_b}{G_{sb}}$$

- VMA : Agregalar arası boşluk yüzdesi
 D_p : Briketin hacim özgül ağırlığı
 G_{sb} : Agreganın hacim özgül ağırlığı
 W_b : Toplam karışıma göre bitüm yüzdesi

Briketlerin Hava Boşluğu ve Asfaltla Dolu Boşluk Yüzdesinin Hesabı: Sıkıştırılmış kaplama karışımı içindeki hava boşluğu, asfaltla kaplanmış agrega daneleri arasındaki küçük hava boşluklarından ibarettir.

$$V_h = \frac{D_t - D_p}{D_p} \times 100$$

$$V_h = \frac{VMA - V_h}{VMA} \times 100$$

- V_h : Briketteki boşluk yüzdesi
 D_T : Briketin maksimum teorik özgül ağırlığı (g/cm^3)
 D_p : Briketin hacim özgül ağırlığı (g/cm^3)
 V_f : Briketteki asfaltla dolu boşluk yüzdesi
 VMA : Briketteki agregalar arası boşluk yüzdesi

1.3.6. Stabilite ve akma değerlerinin belirlenmesi

Briketler, stabilite deneyine tabi tutulmadan önce 30 dakika $60^\circ C$ 'lik su banyosunda bekletildikten sonra su banyosundan çıkarılarak kurutulur. Briket, stabilite aletinin kırma kafası içerisine yerleştirildikten sonra sabit bir deformasyon hızıyla (51 mm/dak) kırılma anındaki yük değerine kadar yüklenir. Brikette kırılma meydana geldiği andaki yük miktarı (N) ve akma miktarı (mm) kaydedilir. Her briket için yük miktarı ve akma miktarı aynı şekilde belirlenir. Marshall Stabilite değerini ifade eden yük miktarları, düzeltme faktörleri ile çarpılarak her briket için düzeltilmiş stabilite değerleri hesaplanır (Aras 2003).

Bu çalışmada aşınma tabakası özelliklerini sergileyen Marshall numuneleri üretilmiş ve şartname sınırları olarak Çizelge 1.2'de ki değerler dikkate alınmıştır.

Çizelge 1.2. Aşınma tabakası şartname sınırları (Karayolları teknik şartnamesi 2006)

Marshall Özellikleri	Min	Max
Marshall Stabilitesi (kg)	900	-
Boşluk (%)	3	5
Bitüm Bağlayıcı ile dolu boşluk (VFA)(%)	65	75
Agrega taneleri arası boşluk (VMA)(%)	14	-
Akma (mm)	2	4

1.3.7. Optimum asfalt miktarının belirlenmesi

Marshall yöntemi agrega karışımı için optimum bitüm miktarı tayininde kullanılan yöntemlerden biridir. Çalışmada optimum bitümün bulunmasında kullanılan deney numuneleri, %4 ile %7 bitüm yüzdeleri arasında, asfalt miktarının %1'lik artışlarıyla hazırlanır. Deney sonuçlarının sağlıklı olmasını sağlamak amacı ile kullanılan her bitüm yüzdesinde minimum üç deney numunesi hazırlanır. Her bitüm yüzdesindeki numunelerin düzeltilmiş stabilite değerlerinin ortalaması alınır.

Optimum asfalt miktarı tayininde, deney eğrilerinin dördü göz önünde bulundurularak ve bu değerlerden aşağıdaki değerleri veren asfalt miktarları tespit edilir:

- a-) Maksimum stabilite,
- b-) Maksimum birim ağırlık,
- c-) Hava boşluğunun verilen limitlerinin ortalaması,
- d-) Bitümle dolu boşluk yüzdesi.

Bu dördüden elde edilen asfalt yüzdesinin sayısal ortalaması, optimum asfalt yüzdesi olarak ortaya çıkmaktadır (Öcal 2001).

Çalışmada; şartname limitleri içinde kalan bir agrega gradasyonu için optimum asfalt oranı belirlenerek, 110°C, 120°C, 130°C, 140°C, 150°C'lik karıştırma sıcaklıkları için farklı asphamin oranlarında (bitüm ağırlığının %4, 5, 6, 7) Marshall tasarım yöntemi kullanılarak optimum asphamin oranı belirlenmeye çalışılmıştır (Aras 2003).

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Bu bölümde, ılık asfaltlar için kullanılan katkı maddelerinin karışım ve sıkıştırma sıcaklıkları üzerindeki etkileri ve Marshall tasarım yöntemi kullanılarak karışımdaki optimum asfalt oranının belirlenmesi hakkında yapılmış çalışmalardan özetler aktarılmıştır.

Ali Jamshidi *et al.* (2013), ılık asfalt için katkı maddesi olan Sasobit kullanarak asfaltların reolojik özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmada laboratuvar ve arazi deneyleri yapılmıştır. Aynı zamanda Sasobit içeren WMA'nın, ortaya çıkan emisyonlardaki azalmalar, enerji tasarrufu ve hizmet ömürleri de incelenmiştir. Sonuç olarak Sasobit kullanmanın avantajları ve dezavantajları ortaya konmuştur. Sasobitin asfaltın viskozitesini düşürerek karışım sıcaklığının ve yaşlanmanın azalmasına neden olduğu anlaşılmıştır. Bununla birlikte sasobitle üretilen karışımlar, yorulmayı artırarak düşük ve orta sıcaklıklarda çatlamalara neden olduğu belirlenmiştir.

Omer Tatari *et al.* (2012), ılık asfalt karışımları sonucu ortaya çıkan emisyonların çevreye olan doğrudan ve dolaylı etkilerini araştırmışlardır. Araştırmada termodinamik'e tabanlı karışık hayat döngü yöntemi (hibrid life cycle) kullanılarak WMA'ların BSK ile karşılaştırması yapılmıştır. Kritik verilerin değişkenliğinin değerlendirilmesinde Monte Carlo simülasyonu yapılmıştır. Sonuç olarak, farklı katkı maddeleri ile üretilen WMA'lardan çıkan emisyonların çok farklı etkilerinin olduğu bulunmuştur. Evotherm ve sasobit ile üretilen WMA'ların diğerlerine göre daha az emiyon çıkardığı belirlenmiştir. Genel olarak sasobit ile üretilen WMA'ların diğerlerine ve HMA'ya göre ekolojik açıdan daha az zararlı olduğu belirlenmiştir.

Soon-Jae Lee *et al.* (2009), yaşlandırılmış bitümler kullanarak WMA'ların performanslarını laboratuvar ortamında incelemişlerdir. WMA'lar, asphamin ve sasobit katkıları kullanılarak üretilmiştir. Numuneler üzerinde dönel ince film halinde kütle kaybı deneyi (RTFO) ve basınçlı yaşlandırma deneyi (PAV) yapılmıştır. Süperpave

deney yöntemlerinden olan rotasyonel viskozimetre, dinamik kesme reometresi ve eğilme kiriş reometresi ayrıca yapılmıştır. Sonuç olarak, katkı maddeleri ve yaşlandırılmış asfaltların, bağlayıcılık özelliklerinin belirlenmesi üzerinde önemli bir rol oynadığı, düşük PG sınıflarının bağlayıcının rijitliğinin artırılması üzerinde kritik rol oynadığı, düşük oranlarda (%15) geri dönüştürülmüş asfalt kullanılması halinde bile superpave şartnamesini sağladığı bulunmuştur.

Hakseo Kim *et al.* (2011), uzun dönem yaşlandırılmış bağlayıcıları içeren WMA'ların reolojik özelliklerini incelemiştir. WMA'lar, asphamin ve sasobit katkıları kullanılarak üretilmiştir. Bu çalışmada kullanılan temel reolojik faktör, yük ile WMA'ların buna gösterdiği tepki arasındaki ilişki; zamanın, sıcaklığın ve dinamik kesme reometresinin faktörü olarak incelenmiştir. Sonuç olarak sasobitin, geri dönüştürülmüş asfaltların bağlayıcılık özelliklerinin belirlenmesi üzerinde önemli bir rol oynadığı belirlenmiştir.

Feipeng Xiao *et al.* (2012), yüksek sıcaklıklarda köpüklenmeyen WMA katkı maddelerinin reolojik özelliklerinin belirlenmesi için laboratuvar çalışmaları yapmışlardır. Viskozite, performans sınıfı, sünme gibi deneyler yapılarak asfalt bağlayıcılar üzerinde köpüklenmeyen katkıların etkileri incelenmiştir. Sonuç olarak, köpüklenmeyen WMA katkı maddelerinin, bağlayıcının viskozite değerini düşürdüğü, böylece karışımın karıştırma ve sıkıştırma sıcaklığının azaldığı bulunmuştur. Köpüklenmeyen katkı maddeleri içeren bağlayıcıların karışımın tekerlek izi direncini artırdığı tespit edilmiştir.

Chandra Akisetty *et al.* (2009), WMA katkıları ile üretilen karışımlar sıkıştırma sıcaklıklarının etkilerini araştırmışlardır. Bunun için iki farklı bağlayıcı ve farklı iki gradasyonlu agrega kullanılarak superpave yöntemiyle optimum asfalt oranı belirlenmiştir. Çalışmada, 97, 116, 135 ve 154°C olmak üzere dört farklı sıcaklık kullanılmıştır. Sonuçlar, kullanılan sıkıştırma sıcaklığı aralığında WMA'ların hacimsel özelliklerinin iyileştiği bulunmuştur.

Maupin (1998) çalışmasında, optimum asfalt oranını seçmek üzere çeşitli yöntemleri karşılaştırmıştır. 50 ve 75 darbeli Marshall dizaynı, 2 marka SHRP yoğurmalı pres, USA Ordu mühendislerinin yoğurmalı deney aleti (GTM) (hem hidrolik hem havalı silindir şeklinde) karşılaştırmaya tabi tutulmuştur. Ayrıca maksimum izin verilebilir asfalt içeriğinin tespiti için Georgia yüklemeli tekerlek deneyi de kullanılmıştır. Hava silindirli GTM ve 75 darbeli Marshall dizaynı optimum asfalt içeriğini belirlemede en büyük farkları oluşturmuştur. 2 adet SHRP yoğurmalı pres aleti ise karşılaştırılabilir sonuçlar vermiştir.

Affan *et al.* (1998), Superpave ve Marshall yöntemlerinin kullanıldığı bir çalışma yapmıştır. Superpave yöntemine göre 19 mm nominal maksimum boyut agrega grubu için AC-10(PC 58-22), bağlayıcı olarak kullanılmıştır. Numuneler hem Marshall tokmağı hem de Superpave yoğurmalı presi ile sıkıştırılmıştır. Optimum asfalt oranı, hava boşluğu, agregalar arası boşluk ve boşlukların asfaltla doldurulma yüzdeleri hesaplanmıştır. Sonuçta aynı dizayn agrega yapısında Superpave ile elde edilen numunelerdeki optimum asfalt yüzdesi, Marshall ile elde edilenlerden %0,7 daha az bulunmuştur. Superpave karışımlarındaki agregalar arası boşluk ve bu boşlukların asfaltla doldurulma yüzdeleri de Marshall numunelerinden daha az elde edilmişlerdir.

Swami *et al.* (2004) çalışmalarının amacı, Hindistan koşulları için, Marshall ve superpave karışım dizaynlarını karşılaştırmak ve farklı yoğurma açısı ve yoğurma sayılarında SP karışımlarının özelliklerini belirlemektir. SP dizayn haricinde; yoğurma açısı, yoğurma sayısı, yoğunluk, stabilite, endirekt çekme dayanımı incelenmiştir. Sonuçta SP numuneleri tüm kriterleri sağlarken, Marshall tasarımın'dan daha az optimum asfalt oranı sağlamıştır. Maksimum teorik yoğunluğun yoğurma sayısının artışıyla arttığı, endirekt çekme dayanımının yoğurma açısı arttıkça azaldığı, Marshall tasarım dizaynının tekerlek izi dayanımına yeterli cevap vermediği ve SP'in Marshall tasarımın'dan daha az hava boşluğu ürettiği görülmüştür. 100 mm çaplı kalıplarda 75 tokmak vuruşuyla numune üretilmiştir. Bağlayıcı içeriğini %4.5'den %6'ya çıkarmak için mineral agrega ağırlığı %0,5 oranında artırılmıştır. 3 numune üretilmiş ve bu numunelerin hacim özgül ağırlığı, stabilite, akma oranı, % hava boşluğu, VFA değerleri

bulunmuştur. SP'deki yoğurmalı sıkıştırıcı, arazideki silindir sıkıştırmasını en iyi temsil ediyor, SP de daha az bağlayıcı içeriğinde tüm kriterlerin daha kolay ve daha iyi sağlamaktadır. Bağlayıcı içeriğindeki artış, aynı yoğurma sayısında iyi bir karışım ortaya çıkarmamaktadır. SP karışımları sudan daha az etkilenmektedir.

Scherocman and Acott (1989), sıkışmanın ve sıkıştırma miktarının birçok faktör üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Bu faktörler, kalıcı deformasyonlar, yorulma çatlakları, düşük sıcaklık çatlakları ve rutubet zararlarıdır. Sıkıştırmanın bunların üzerinde (düşük sıcaklık hariç) önemli rol oynadığını belirtmişlerdir.

Linden *et al.* (1992) çalışmalarında, hava boşluklarını ölçerek sıkıştırmanın asfalt betonu üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Hava boşluğundaki %1 artışın, kaplamanın Marshall tasarımında yaklaşık %10 kayıp oluşturduğunu gözlemlemişlerdir. Bu çalışmada, yorulma çatlakları ve yaşlanmayı parametre olarak almışlardır.

Parker *et al.* (2000) yaptıkları çalışmada, asfalt içeriği, boşluklar ve yoğunluk kalite kontrol verilerini; 1997 de seçilen Marshall ve Superpave karışımları için toplamışlardır. Analizler, Marshall ve Superpave karışımlar için ölçülen asfalt içeriğinin değişkenliği ve doğruluğunun karşılaştırılabilir olduğunu göstermiştir. Bununla beraber, analizler, boşluklar ve yoğunluk ölçümlerinin değişkenliği ve doğruluğunun karşılaştırılabilir olmadığını göstermiştir. Üstelik, Superpave karışımları için; değişkenliğin daha yüksek, ölçümler Marshall karışımlarına göre hedefin dışında olduğunu göstermiştir. Gözlenen farklılıkları açıklamak için; yoğurmalı sıkıştırıcı kullanımı, tek eksenli yükleme ve maksimum agrega boyutu etkisi araştırılmıştır. Birkaç eğilim gözlenmesine rağmen, bütün bu faktörlerin Superpave karışımlarının hava boşluğu ve yoğunluğunun değişkenliği ve doğruluğunu etkilediği görülmektedir.

Peterson *et al.* (2004) yaptıkları çalışmada, asfalt kaplamanın uygun sıkıştırılmasındaki başarının, kaplamanın uzun ömürlü olmasını ve performansının iyi olmasını önemli derecede etkilediğini belirterek laboratuvar sıkıştırmasının karışım dizaynının önemli bir parçası olduğunu ifade etmişlerdir. Karışım dizaynı prosesinin etkili olması için,

laboratuvar sıkıştırmasının arazideki şartları iyi temsil etmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, arazi ve laboratuvar sıkışmasını değerlendirmek üzere Superpave kesme deneyi ile ölçülen mekanik özellikler kullanılmıştır. Arazi sıkışması, farklı sıkıştırma elemanlarıyla 3 deney bölümünde yapılırken, laboratuvar sıkıştırması ise çeşitli parametreleri ayarlanan Superpave yoğurmalı sıkıştırıcı ile yapılmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre, mevcut yoğurma protokolünün, aynı malzeme ve aynı hava boşluğuyla üretilen numunelerde arazi karotlarından önemli derecede farklı mekanik özellikler sergilediği görülmüştür. Yoğurmanın belli parametrelerindeki ayarlamalarla, kaplama karotlarının mekanik özelliklerini daha iyi temsil edebilen numune üretilbildiği de belirtilmiştir.

Kunnawee Kanitpong *et al.* (2012), WMA'daki nem hasar mekanizması üzerinde agrega yapısı ve fiziksel özelliklerinin etkilerini incelemişlerdir. Çalışmalarında, kalıcı deformasyonun etkilerini görmek üzere nem hassasiyetini değerlendirmişlerdir. WMA'ların kalıcı deformasyonunun BSK'lara göre daha dirençli olduğunu söylemişlerdir.

Mo *et al.* (2012), çalışmalarında kimyasal katkılarla WMA üretimi gerçekleştirmişlerdir. %2 kimyasal katkının sıkıştırmayı kolaylaştırdığı, böylece sıkışabilirliğin bağlayıcı viskozitesine daha az bağımlı olduğu ifade edilmiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışmada yapılan deneylerde kullanılan malzemeler ve özellikleri aşağıda verilmiştir.

3.1. Agregata

Çalışmada kullanılan kalker esaslı kırmataş agregata, Erzurum'un Aşkale-Tercan yolu üzerindeki Akbaba tepesi taşocağından elde edilmiştir. Ocak gri-bej renkli kırıklı-çatlaklı kalkerlerden oluşmaktadır.

3.1.1. Agregaların fiziksel özelliklerinin belirlenmesi

Bitümlü karışım kaplamalarının performansına doğrudan etki eden agreganın görevi, üst yapının yük taşıma kapasitesini sağlamaktır. Bitümlü karışımlarda, düşük boşluk ve yüksek stabilite elde edilmesi agregata granülometrisinin iyi olmasına bağlıdır. Agregata bitüm adezyonunun iyi olması ve suyun etkisiyle soyulma (bağlayıcının agregadan ayrılması) olayının olmaması; agreganın yüzey yapısı, dane boyutu, gözenekliliği ve su emme (absorpsiyonu) özellikleri ile doğrudan ve yakından ilgilidir. Ayrıca agreganın ısı değişimleri neticesinde oluşan donma ve çözölmeye, aşınmaya ve kaymaya karşı sağlam ve dayanıklı olması gerekir. Bitümlü karışım kaplamalarında kullanılacak agreganın özelliklerini belirlemek amacıyla aşağıda verilen kalite kontrol deneyleri uygulanır:

- Elek Analizi (ASTM C 136)
- Aşınma (Los Angeles) Deneyi (ASTM C 131)
- Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık (Donma ve çözölmeye) Deneyi
- Özgöl Ağırlık ve Su Emme Deneyi (ASTM C 127-128)
- Cilalanma Deneyi (BS 812)
- Soyulma Deneyi

Uygulanan bu deneyler neticesinde özellikleri belirlenen agreganın kaplama yapımında kullanılıp kullanılmayacağına karar verilir. Ancak bu deneylerin hepsi her zaman aynı derecede önemli değildir. Örneğin, temel tabakasında kullanılacak agreganın aşınma ve cilalanma değeri bir önem teşkil etmez.

Burada dikkat edilmesi gereken önemli bir husus; denenecek agrega numunelerinin çok özenle alınmış temsili numuneler olması ve deneylerin kişisel hatalardan uzak titiz bir şekilde yapılmasıdır.

Agreganın fiziksel özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Agrega fiziksel özellikleri

Deneyler	Kaba Agrega	İnce Agrega	Filler
Hacim özgül ağırlık	2,678	2,686	-
Zahiri özgül ağırlık	2,710	2,729	2,738
Absorpsiyon(%) (TS 3526)	0,4	0,52	-
Aşınma Kaybı (%) (ASTM DC 131)	27,6	-	-
Soyulma Mukavemeti (%)	65-70	-	-
Donma Kaybı (%) (ASTM C88)	2	-	-

3.2. Asfalt

Bitümlü bağlayıcılar üzerinde yapılan deneyler

Yol inşaatında kullanılacak bağlayıcının, yapılacak işe ait özel şartnamede istenilen özellikleri sağlayıp sağlamadığını kontrol etmek maksadıyla bir takım deneyler yapılmaktadır. Bu deneylerin; gerçekte, bitümlü bağlayıcının yoldaki tutumu ve davranışı hakkında kesin sonuçlar verdiği ileri sürülemez. Ancak, yapılacak işe uygun bağlayıcının seçiminde yardımcı ve çok faydalı bilgiler sağladığı da bir gerçektir.

Bitümlü karışımlardan beklenen özelliklerin sağlanabilmesi, agreganın yanında karışımda kullanılan bitümlü bağlayıcının özellikleri ile de yakından ilgilidir. Kaplamada kullanılacak bağlayıcının, kıvamı, duktilitesi, içerisindeki yabancı madde miktarı ve bağlanma yeteneği gibi özelliklerinin bilinmesi, elde edilecek karışımın esnekliği, geçirimsizliği, durabilitesi ve yorulmaya karşı direnci bakımından oldukça önemlidir.

Bu itibarla, bağlayıcı özelliklerini belirlemek amacıyla aşağıda verilen standart deney yöntemleri geliştirilmiştir:

- Özgül Ağırlık Deneyi
- Kıvam Deneyleri
- Penetrasyon Deneyi
- Viskozite Deneyi
- Yüzdürme Deneyi
- Yumuşama Noktası Deneyi
- Duktilite Deneyi
- Yanma (Parlama) Noktası Deneyi
- Damıtma (Distilasyon) Deneyi
- Çözünürlük Deneyi

Kuşkusuz ki; bu deney yöntemlerinin tamamının her tür bağlayıcıya uygulanması mümkün değildir. Kullanılacak bağlayıcı türüne göre uygulandığında deney türü de farklı olacaktır.

Bu çalışmada, uygulanan Marshall yöntemine göre sıcak karışım dizaynında bitümlü bağlayıcı olarak asfalt çimentosu kullanılmıştır. Bu bakımdan, bitümlü bağlayıcılar üzerine uygulanan deneylerden asfalt çimentosu üzerine uygulanan deneyler yapılmıştır.

Bu çalışmada bağlayıcı olarak Türkiye Petrol Rafinerileri Anonim Şirketi (TÜPRAŞ) Batman rafinerisinden temin edilen 70/100 penetrasyonlu orijinal asfalt çimentosu

kullanılmıştır. Bu asfalt çimentosuna uygulanan deneyler ve sonuçları Çizelge 3.3’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Asfalt çimentosuna uygulanan deneyler ve sonuçları

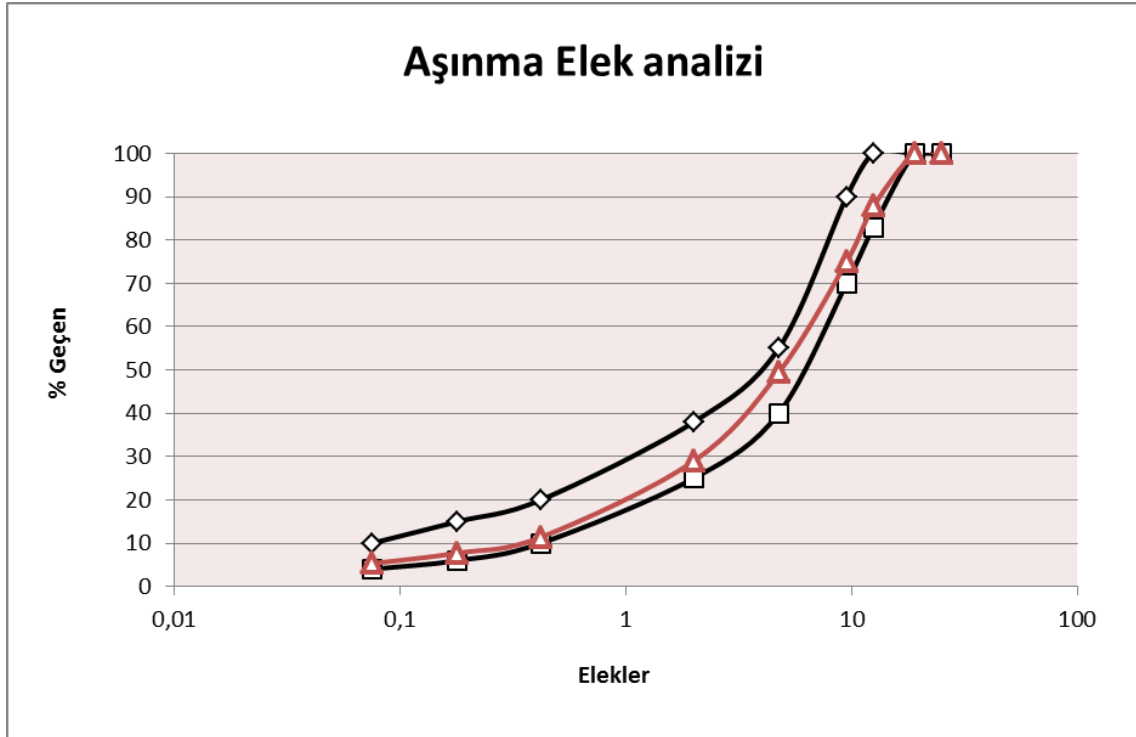
Deneyin Adı	Deney Sonuçları
Penetrasyon (25° C, 100gr, 5 sn)	85
Yumuşama noktası (Bilya Halka Yöntemi), °C	47
Parlama Noktası (Cleveland açık kap), °C	205
Özgül Ağırlık, (25/25°C)	1,041

3.3. Gradasyon

Taşocağından elde edilen taşın, konkasörde kırılması ile elde edilen ¾’’-1/2’’, 1/2’’-No 4, No 4-0, bu çalışmanın karışım agregasını oluşturmaktadır. Bu üç grup agrega elek analizine tabi tutularak bütün eleklerden ayrı ayrı elendikten sonra aşağıda Çizelge 3. 2’de ve Şekil 3.1’de verilen gradasyon elde edildi. Şartname sınırlarında Karayolları Teknik Şartnamesi dikkate alınmıştır.

Çizelge 3.3. Çalışmada kullanılan agrega gradasyonu

Elek No		1.Gurup	2. Grup	3 Grup	Karışım Gradasyonu	Şartname Sınırları	
İnc.	mm	0,22	0,41	0,37			
1"	25	100	100	100	100,0	100	100
¾"	19	100	100	100	100,0	100	100
½"	12,5	44,6	100	100	87,8	83	100
⅜"	9,5	2,6	91,3	100	75,0	70	90
No 4	4,75	1,3	29,5	100	49,4	40	55
No 10	2	1,2	4,8	72,3	29,0	25	38
No 40	0,42	1,1	2,4	27,5	11,4	10	20
No 80	0,18	1	2,2	17,9	7,7	6	15
No 200	0,075	0,8	1,8	11,9	5,3	4	10



Şekil 3.1. Aşınma elek analizi

3.4. Asphamin

Ilık asfalt üretiminde birçok katkı maddesi kullanılmaktadır. Bunlardan birisi de Asphamin'dir. Genel olarak karışımın toplam ağırlığının %0,3 'ü oranında asphamin bitüme katılarak kullanılır. Asphamin, bitümlü karışımın karıştırma sıcaklığına getirildikten sonra bitümün içerisine eklenir ve homojen dağılması için karıştırılır. Elde edilen bitüm ve asphamin karışımı agrega karışımına eklenir ve Marshall yöntemine uygun olarak numune üretme işlemi gerçekleştirilir. Çalışmada kullanılan asphamin Alman aspha-min GmbH firmasından temin edilmiştir. Asphamine ait fiziksel ve kimyasal özellikler Çizelge 3.4'te verilmiştir (Anomius 2012).

Çizelge 3.4. Asphamin'in fiziksel ve kimyasal özellikleri

Renk	Beyaz
Özgül ağırlık g/cm ³	2,0
Kimyasal Özellikleri	Hidro termal olarak kristalize olmuş alüminyum nitrat silikasıdır. Kristal su miktarı ağırlığın %21'dir.
Şekli	Ortalama partikül çapı 3,5µm olan çok ince pudra malzemedir.
Sıkıştırma Yoğunluğu	500 g/l
PH-Hacmi	11,6
Suda Çözünürlük	Yok
Termal Davranış	85-180°C sıcaklık aralığında bünyesindeki tüm kristalize olmuş su açığa çıkar; bu, bağlayıcının köpük formuna gelmesine neden olur ve düşük sıcaklıklarda işlenebilirliği artırır.
Depolanması	Depolama sıcaklığı -15+70°C
Üretimi	Genellikle karışıma %0,3 oranında katılır. Fillerle beraber karışıma katılabilir.

3.4.1. Optimum bağlayıcı oranının belirlenmesi (OBO)

Marshall yöntemi seçilen agrega karışımı için OBO tayininde kullanılan yöntemlerden biridir. Optimum bitümün bulunmasında kullanılan deney numuneleri, %4 ile %7 bitüm yüzdeleri arasında, asfalt miktarının %1'lik artışlarıyla hazırlanmıştır. Deney sonuçlarının sağlıklı olmasını sağlamak amacı ile kullanılan her bitüm yüzdesinde üç deney numunesi hazırlanmıştır. Her bitüm yüzdesindeki numunelerin düzeltilmiş stabilite değerlerinin ortalaması alınmıştır.

Optimum asfalt miktarı tayininde, deney eğrilerinin dördü göz önünde bulundurulmuş ve bu değerlerden aşağıdaki değerleri veren asfalt miktarları tespit edilmiştir:

- a- Maksimum stabilite,
- b- Maksimum birim ağırlık,
- c- Hava boşluğunun verilen limitlerinin ortalaması,
- d- Asfaltla dolu boşluk yüzdesi.

Bu dördülden elde edilen asfalt yüzdesinin sayısal ortalaması, optimum asfalt yüzdesi olarak ortaya çıkmaktadır (Öcal 2001).

Bu çalışma kapsamında elde edilen deney sonuç eğrilerinin incelenmesinden her iki asfalt tipi için optimum asfalt yüzdesi %5 olarak bulunmuştur.

3.4.2. Marshall yöntemi ile karışım dizaynı

Ülkemizde ve diğer birçok ülkede bitümlü kaplama karışımlarının dizaynında kullanılan Marshall yöntem, maksimum dane boyutu 2.54 cm (1 inch) veya daha küçük agrega ihtiva eden ve bağlayıcı olarak asfalt çimentosu kullanılarak hazırlanan sıcak karışım asfalt kaplama karışımlarına uygulanır. Yöntem, sıcak karışımların laboratuvar dizaynı ve sıcak karışım asfalt kaplamalarının uygulamadaki kontrolleri için kullanılır.

Marshall yöntemi ile hazırlanan sıcak karışım dizaynı aşağıdaki işlem sırasına göre yapılmıştır:

- Agrega granülometrisinin belirlenmesi
- Agrega ve bitümün özgül ağırlıklarının belirlenmesi
- Agrega ve bitüm miktarlarının hesabı
- Briketlerin hazırlanması, ilgili hesaplamalar ve boşluk analizleri
- Stabilite ve akma değerlerinin bulunması
- Optimum bitüm miktarının belirlenmesi

3.4.2.a. Agreg a granulometrisinin belirlenmesi

Karışım da kullanılacak değişik boyutlardaki agreganın elek analizi yapılarak karışımın granulometrisi belirlendikten sonra agreg a karışımının granulometri eğrisi (Şekil 3.1) çizildi. Tolerans sınırı belirlenerek tolerans eğrisi çizildikten sonra şartname sınır eğrisi çizildi.

3.4.2.b. Agreg a ve bitümün özgül ağırlıklarının belirlenmesi

Burada, her biri değişik özgül ağırlıklara sahip kaba agreg a, ince agreg a ve mineral fillerden oluşan agreg a karışımının, hacim özgül ağırlığı ve zahiri özgül ağırlıklarının nasıl hesaplandığı gösterilmiştir. Agreg a karışımı ile ilgili bu özgül ağırlıklar aşağıdaki gibi hesaplanarak agreg a karışımının, hacim özgül ağırlığı 2.713 zahiri özgül ağırlığı ise 2.747 olarak belirlendi.

3.4.2.c. Agreg a ve bitüm miktarlarının belirlenmesi

63.5 mm yüksekliğinde ve 100 mm çapındaki bir marshall briketi (numunesi) için yaklaşık 1100-1350 gram agregaya ihtiyaç vardır. Briketler set halinde hazırlanır. Farklı bitüm yüzdelerine sahip her set için 3 briket hazırlanır. Bu çalışmada, her bir briket için 1150 gr agreg a kullanılmasına karar verildi. Farklı boyutlardaki agregaların karışımındaki yüzdesi ile her briket için gerekli 1150 gr agreg a miktarı çarpılarak farklı boyutlardaki agregalardan alınan miktarlar, Çizelge 3.5.de gösterilen şekilde belirlendi (Aras 2003).

Çizelge 3.5. Her briket için dane boyutlarına göre alınan agrega miktarları

Elek Açıklığı	Karışım Granülometrisi % Geçen	Her Elek Üzerinde % Kalan	Her Briket için Alınan Miktar (gr)
3/4"	100.0	0	$1150 \times 0.0 = 0$
1/2"	87.8	12.2	$1150 \times 0.122 = 140.3$
3/8"	75.0	12.8	$1150 \times 0.128 = 147.2$
No.4	49.4	25.6	$1150 \times 0.256 = 294.4$
No. 10	20.3	29.1	$1150 \times 0.291 = 334.6$
No.40	11.4	8.9	$1150 \times 0.089 = 102.3$
No. 80	7.7	3.7	$1150 \times 0.037 = 42,6$
No.200	5.3	2.4	$1150 \times 0.024 = 27,7$
Tava	0	5.3	$1150 \times 0.053 = 60.9$
Toplam:			1150

Bitüm yüzdesi, agrega ağırlığına göre bitüm yüzdesi ve karışım içindeki bitümün ağırlıkça yüzdesi (normal bitüm yüzdesi) olmak üzere iki şekilde belirlenebilir.

Agrega ağırlığına göre bitüm yüzdesi W_a : Hazırlanacak bir brikette, kullanılacak agrega ağırlığına göre ne kadar bitüm katılacağını ifade eder.

Belirlenen bitüm yüzdesi ile hazırlanacak bir brikette, kullanılacak agrega miktarına göre bitüm miktarı şu şekilde hesaplandı.

Örneğin, 1150 gr kuru agrega ile %5 bitüm yüzdesine sahip bir briketin hazırlanabilmesi için gerekli bitüm miktarı : $1150 \times 5/100 = 57,5$ gr dır.

Karışım içindeki bitümün ağırlıkça yüzdesi W_b : Normal bitüm yüzdesi olarak ifade edilir. Örneğin, 100 birim kuru agregaya 5 birim bitüm karıştırılırsa, 105 birimlik karışımda: $W_b = 100 \times 5/105 = 4.76$ birim bitüm olur.

3.4.2.d. Briketlerin hazırlanması ve ilgili hesaplamalar

Briketler aşağıdaki işlem sırasına göre hazırlandı:

- Her brikette kullanılacak agrega miktarı toplam briket sayısına göre ayrı ayrı kaplara doldurularak 24 saat bekletilmek üzere 165°C lik etüve konuldu.
- Kullanılacak asfalt çimentosu etüve konularak 165°C'ye kadar ısıtıldı.
- Deneyde kullanılması gerekli olan mikser kabı, marshall tokmağı, briket kalıbı, spatula, kürek vb. aletler de 165°C lik etüve ısıtıldı.
- 165°C'lik etüve ısıtılmış olan agrega yine 165°C lik etüve ısıtılmış olan karıştırma kabına boşaltılarak kuru olarak karıştırıldı. Bu şekilde hazırlanan agrega içerisine bir çukur açılarak agrega ağırlığına göre karışımın içerisine konulması gereken asfalt miktarı açılan çukura ilave edildi.
- Asfalt çimentosunun agrega içerisinde üniform bir şekilde dağılmasını sağlamak amacıyla mekanik bir mikser ile 1.5 dakika karıştırma işlemi yapıldı. Karıştırma sıcaklığı 150°C olarak alındı.
- Karışım, kalıba boşaltıldı ve ısıtılmış bir spatula ile iç kısımlarından ve çevresinden 10-15 kez çabukça darbelenerek sıkıca yerleştirildi. Numunelerde aynı boşluk oranlarını yakalayabilmek için numunelerin uygun sıkıştırma sıcaklıklarında 45.7 cm (18inch) yükseklikten serbest düşüş yapan sıkıştırma tokmağı ile numunenin ön ve arka yüzüne dizayn trafik sınırlamasına göre belirlenen 75 darbe uygulanarak sıkıştırıldı.
- Sıkıştırılan numuneler numaralandırılarak kalıpla birlikte soğumaya bırakıldı.
- Numune kalıptan kriko ile çıkarılarak düzgün bir yüzey üzerine konulduktan sonra yaklaşık 15 saat soğumaya bırakıldı (Aras 2003).

3.4.2.e. Stabilite ve akma değerlerinin belirlenmesi

Stabilite ve akma değerleri Bölüm 1.3.6'da belirtildiği gibi elde edildi. Deneylerde kullanılan Marshall deney aleti Şekil 3.2'de görülmektedir



Şekil 3.2. Marshall stabilite deney aleti

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Çalışmada İncelenen Parametreler

Bu çalışmada, ılık asfalt üretiminde kullanılan asphaminin farklı sıcaklıklarda ve farklı kullanım oranlarında asfalt betonunun performansına etkisi araştırılmıştır. İncelenen sıcaklık ve asphamin oranları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Çalışmada incelenen parametreler ve oranları

Parametreler	Seviyeler
Sıcaklık (°C)	110
	120
	130
	140
	150
Asphamin (asfaltın ağırlıkça %'si)	0
	4
	5
	6
	7
	8

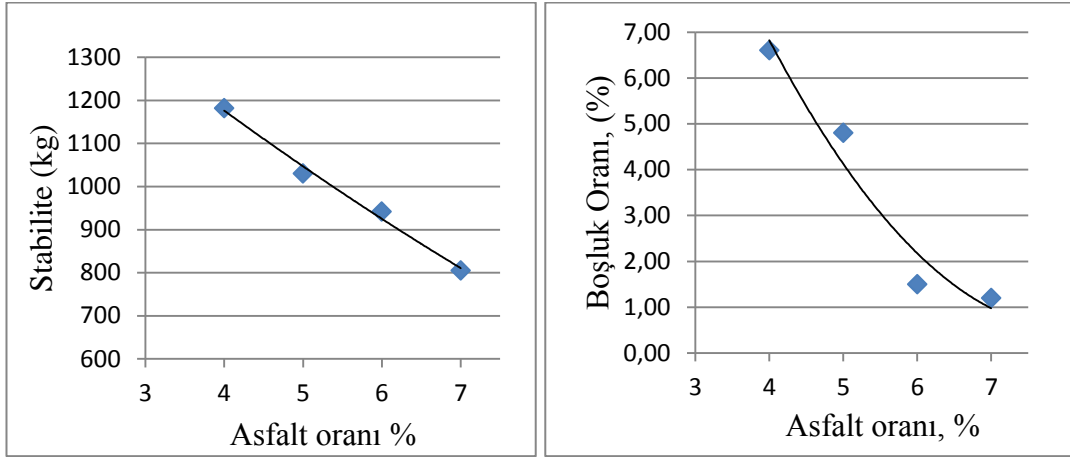
4.2. Kontrol Numuneleri için OBO Tespiti

Asphamin ile üretilcek numunelerin performanslarını BSK ile karşılaştırmak amacıyla kontrol numuneleri üretilmiş ve OBO bulunmuştur. Kontrol numunelerinde asphamin katkı oranı %0 ve karıştırma sıcaklığı 150°C olarak alınmıştır. Kontrol numunelerine ait sonuç değerler Çizelge 4.2’de tasarım için grafikler ise Şekil 4.1-4.3’de verilmiştir. Bu tasarım için OBO %5 olarak tespit edilmiştir.

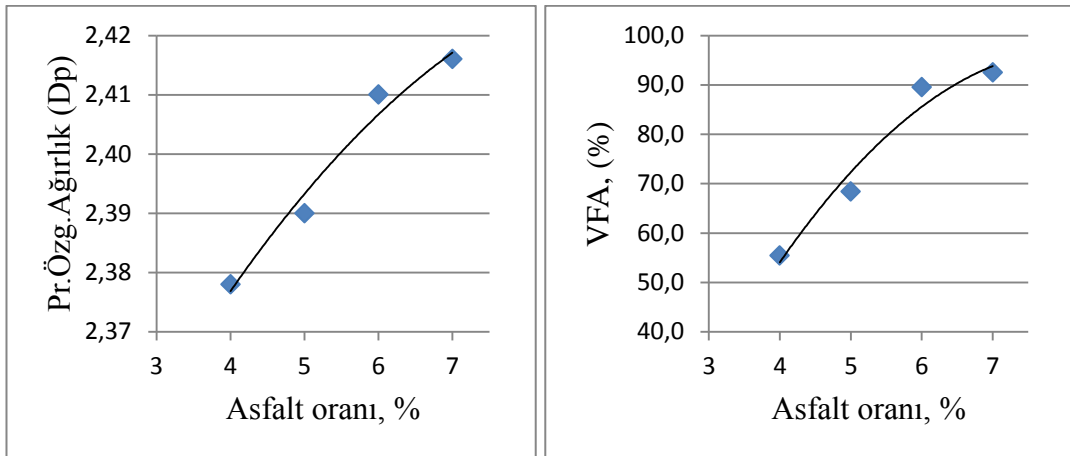
Kontrol numunelerine ait tasarımın OBO’nun %5 bulunmasından sonra Asphamin kullanılarak üretilen numunelerde bağlayıcı oranı sabit %5 olarak alınmıştır. Değişen asphamin kullanım oranları bu bağlayıcının ağırlıkça yüzdesi olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.2. Kontrol numunelerine ait sonuçlar

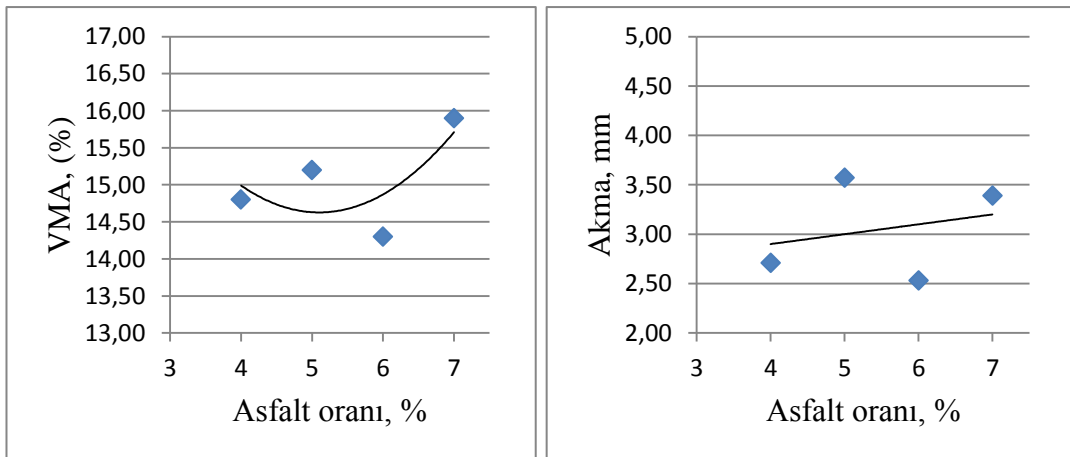
BİRİKET NO	BITÜM % e	BİRİKET YÜKSEKLİĞİ				HAVADAKİ AĞIRLIK A	SUDAKİ AĞIRLIK C	DOY. YÜZ. K AĞIRLIK B	HACİM (cm ²) V	HAC. ÖZG. AĞIRLIK D _p	MAKS TEO ÖZ AĞIRLIK Dt	BOŞLUK % S _i V _h	VMA %	ASF. DOLU BOŞLUK%	AKMA (mm)	STABİLİTE (kg)	DUZELTME FAKTÖRÜ	DÜZEL. STABİLİTE	MQ
		1	2	3	ORT														
1	4,0	62,8	63,9	63,3	63,3	1188,8	696,3	1196,0	499,7	2,379	2,545	6,6	14,8	55,4	2,96	1065	1,005	1070	361,49
2	4,0	62,9	63,1	64,3	63,4	1186,5	694,9	1192,4	497,5	2,385					2,38	1245	0,980	1220	512,61
3	4,0	63,2	63,3	64	63,5	1192,5	695,8	1198,8	503,0	2,371					2,79	1271	0,988	1256	450,18
ORTALAMALAR										2,378				2,71			1182	436,16	
4	5,0	63,1	63,8	63,9	63,6	1200,8	698,1	1202,4	504,3	2,381	2,510	4,8	15,2	68,4	3,64	975	0,990	965	235,11
5	5,0	62,1	62,2	63,3	62,5	1199,8	705,0	1201,0	496,0	2,419					4,14	1075	1,005	1080	260,87
6	5,0	62,6	63,1	62,9	62,9	1200,3	701,2	1202,0	500,8	2,397					3,50	1079	1,015	1095	312,86
ORTALAMALAR										2,390				3,57			1030	288,52	
7	6,0	62,8	63,3	62,4	62,8	1202,2	702,3	1203,3	501,0	2,400	2,477	1,5	14,3	89,5	3,35	979	1,018	997	297,61
8	6,0	61,5	61,3	62,1	61,6	1207,4	713,8	1207,9	494,1	2,410					2,03	880	1,049	923	454,68
9	6,0	62,5	62,1	61,8	62,1	1211,8	714,8	1212,6	497,8	2,420					3,03	928	1,035	960	316,83
ORTALAMALAR										2,41				2,53			942	372,33	
10	7,0	63,4	63,2	62,6	63,1	1218,0	713,2	1218,1	504,9	2,412	2,445	1,2	15,9	92,5	3,30	709	1,010	716	216,97
11	7,0	62,7	62,5	62,0	62,4	1214,5	712,2	1215,4	503,2	2,414					3,08	867	1,028	891	289,29
12	7,0	63,1	62,9	62,8	62,9	1216,6	714,2	1216,6	502,4	2,422					3,80	796	1,015	808	212,63
ORTALAMALAR										2,416				3,39			805	237,46	



Şekil 4.1. Kontrol numunesi stabilite-boşluk %-asfalt oranı ilişkisi



Şekil 4.2. Kontrol numunesi Dp-VFA -asfalt oranı ilişkisi



Şekil 4.3. Kontrol numunesi VMA-akma -asfalt oranı ilişkisi

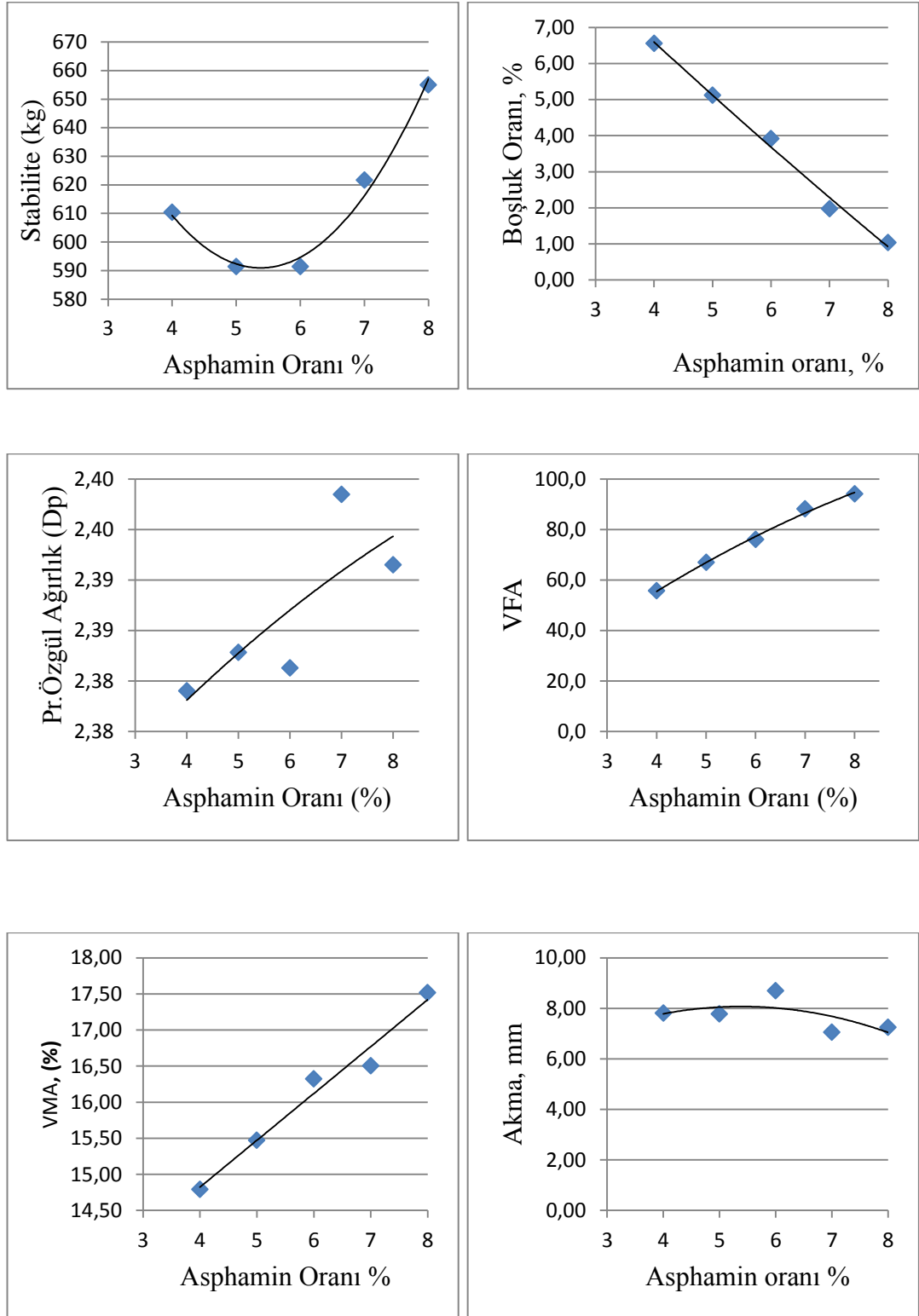
4.3. 110°C Karıştırma Sıcaklığında Asphamin Kullanımı

110°C karıştırma sıcaklığında Asphamin kullanım yüzdeleri %4-5-6-7-8 olarak alınmıştır. Her bir asphamin yüzdesi için %5 OBO'nun ağırlıkça yüzdesi hesaplanmış (örneğin %5 bitüm miktarı=57.5 gr için %4 asphamin= $57.5 \times 0.04 = 2.3$ gr alındı) ve bitüme bu miktar eklenerek numuneler üretilmiştir. Her bir asphamin yüzdesi için üçer adet numune hazırlanmış ve asfalt oranı ile Stabilite-akma-VMA-VFA-D_p-boşluk oranı ilişkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.3 ve Şekil 4.4-4.6'da verilmiştir.

Karışım sıcaklığının 110°C alınması halinde; en yüksek stabilite %8 asphamin oranında ve en düşük ise %5-6 asphamin oranlarında gözlenmiştir. Asphamin yüzdesi artışına bağlı olarak beklendiği ölçüde boşluk oranında düşüş, VFA ve D_p'de ise artış gözlenmiştir. Akma değerleri açısından numuneler arasında genelde benzer bir trend izlenmiştir. Stabilite ve akmanın birlikte ele alındığı Marshall Katsayısı (MQ) açısından %8 asphamin oranının 110°C karıştırma sıcaklığında uygun oran olduğu söylenebilir.

Çizelge 4.3. 110°C karıştırma sıcaklığına ait numune sonuçları

No	BİTÜM	YÜKSEKLİKLER				Havada-A	Suda-C	D.Yüz.Kur.-B	HACİM-V	Hac.Öz.Ağ.	T.Öz.Ağ.	Boşluk	VMA	Asf.Do.	Akma	Stabl.	MQ
	W _a	1	2	3	ort	gr	gr	gr	cm ³	D _p	D _t	% V _h	%	% V _f	mm	kN	
1,0	4,0	66,80	66,20	67,10	66,70	1198,30	698,10	1202,40	504,3	2,376	2,546	6,67	14,895	55,222	7,85	603,00	76,82
2,0	4,0	67,40	66,70	66,70	66,93	1202,50	699,20	1205,70	506,5	2,374	2,546	6,75	14,967	54,907	9,45	586,00	62,01
3,0	4,0	67,10	67,20	66,90	67,07	1205,80	703,40	1208,60	505,2	2,387	2,546	6,25	14,515	56,921	6,12	642,00	104,90
									Ort:	2,379	2,55	6,56	14,79	55,68	7,81		
1,0	5,0	67,1	66,8	66,4	66,77	1203,70	700,50	1205,80	505,3	2,382	2,511	5,15	15,493	66,783	7,44	594,0	79,84
2,0	5,0	67,5	67,2	67,7	67,47	1198,00	697,60	1201,40	503,8	2,378	2,511	5,31	15,643	66,027	7,25	575,0	79,31
3,0	5,0	66,2	66,4	66,9	66,50	1205,90	703,40	1208,30	504,9	2,388	2,511	4,90	15,271	67,930	8,64	605,0	70,02
									Ort:	2,383	2,51	5,12	15,47	66,91	7,78		
1,0	6,0	67,10	66,80	66,90	66,93	1205,40	702,40	1209,30	506,9	2,378	2,478	4,05	16,437	75,358	6,35	648,0	102,05
2,0	6,0	64,80	67,20	67,10	66,37	1222,00	711,00	1225,80	514,8	2,374	2,478	4,22	16,586	74,546	8,34	568,0	68,11
3,0	6,0	65,20	66,40	66,60	66,07	1198,00	701,60	1202,40	500,8	2,392	2,478	3,48	15,938	78,179	11,40	558,0	48,95
									Ort:	2,381	2,48	3,92	16,32	76,03	8,70		
1,0	7,0	66,90	66,60	67,10	66,87	1201,30	701,40	1204,20	502,8	2,389	2,447	2,35	16,826	86,016	6,35	625,0	98,43
2,0	7,0	65,90	66,50	66,40	66,27	1209,20	709,40	1214,80	505,4	2,393	2,447	2,22	16,710	86,736	8,34	685,0	82,13
3,0	7,0	65,80	66,40	66,10	66,10	1201,00	704,80	1202,40	497,6	2,414	2,447	1,36	15,978	91,506	6,45	555,0	86,05
									Ort:	2,398	2,45	1,98	16,50	88,09	7,05		
1,0	8,0	66,70	66,20	67,10	66,67	1203,40	702,60	1205,80	503,2	2,391	2,417	1,04	17,518	94,075	7,25	640,0	88,28
2,0	8,0	65,80	66,10	66,20	66,03	1207,30	706,20	1209,50	503,3	2,399	2,417	0,74	17,267	95,732	7,40	705,0	95,27
3,0	8,0	65,90	66,30	66,10	66,10	1204,40	705,20	1206,70	501,5	2,402	2,417	0,62	17,170	96,389	6,45	620,0	96,12
									Ort:	2,397	2,42	0,80	17,32	95,40	7,03		



Şekil 4.4. 110°C karıştırma sıcaklığındaki Marshall özellikleri

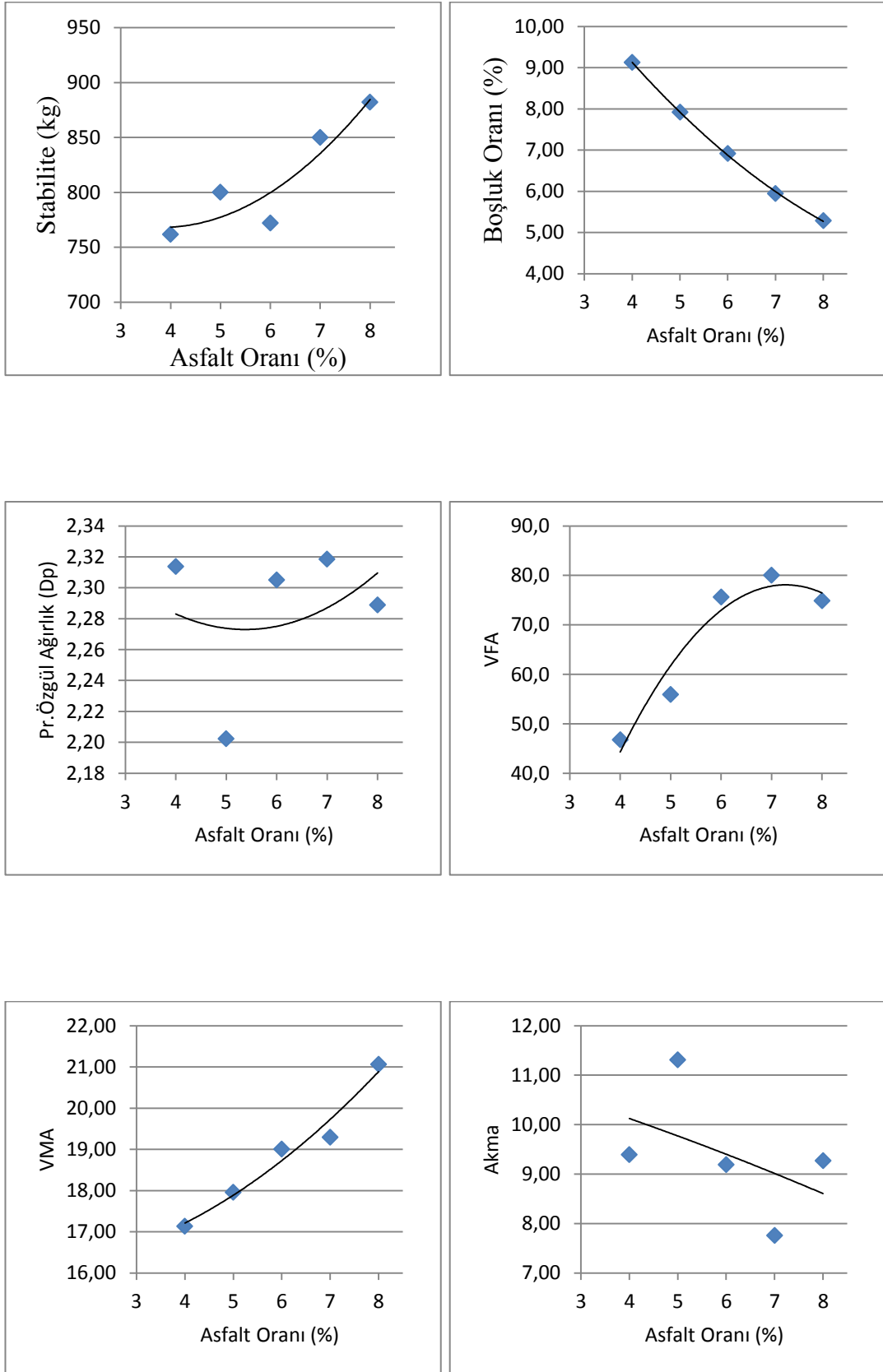
4.4. 120°C Karıştırma Sıcaklığında Asphamin Kullanımı

120°C karıştırma sıcaklığında Asphamin kullanım yüzdeleri %4-5-6-7-8 olarak alınmıştır. Her bir asphamin yüzdesi için %5 OBO'nun ağırlıkça yüzdesi hesaplanmış (örneğin %5 bitüm miktarı=57.5 gr için %4 asphamin= $57.5 \times 0.04 = 2.3$ gr alındı) ve bitüme bu miktar eklenerek numuneler üretilmiştir. Her bir asphamin yüzdesi için üçer adet numune hazırlanmış ve asfalt oranı ile Stabilite-akma-VMA-VFA-Dp-boşluk oranı ilişkileri incelemiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.4 ve Şekil 4.7-4.9'da verilmiştir.

Karışım sıcaklığının 120°C alınması halinde; en yüksek stabilite %8 asphamin oranında ve en düşük ise %4 asphamin oranlarında gözlenmiştir. Asphamin yüzdesi artışına bağlı olarak boşluk oranında düşüş, VMA ve VFA'da artış gözlenmiştir. Akma değerleri açısından genelde azalma belirlenmiştir. Marshall Katsayısı (MQ) açısından %7 asphamin oranının 120°C karıştırma sıcaklığında uygun oran olduğu söylenebilir.

Çizelge 4.4. 120°C karıştırma sıcaklığına ait numune sonuçları

No	BİTÜM	YÜKSEKLİKLER				Havada-A	Suda-C	D.Yüz.Kur.-B	HACİM-V	Hac.Öz.Ağ.	T.Öz.Ağ.	Boşluk	VMA	Asf.Do.	Akma	Stabl.	Düz.	MQ
	Wa	1	2	3	ort	gr	gr	gr	cm ³	D _p	D _t	% V _h	%	% Vf	mm	kN	Fak.	
1,0	4,0	66,50	66,70	66,10	66,43	1205,90	686,20	1207,10	520,9	2,315	2,546	9,08	17,087	46,886	11,55	795,00	1,000	68,83
2,0	4,0	65,10	65,70	66,20	65,67	1203,40	684,70	1204,60	519,9	2,315	2,546	9,09	17,100	46,844	7,95	685,00	1,000	86,16
3,0	4,0	66,20	65,80	66,40	66,13	1198,20	683,80	1202,10	518,3	2,312	2,546	9,20	17,203	46,504	8,67	805,00	1,000	92,85
									Ort:	2,314	2,55	9,12	17,13	46,74	9,39		Ort	
1,0	5,0	66,4	66,7	66,1	66,40	1203,60	685,10	1204,80	519,7	2,316	2,512	7,79	17,844	56,361	13,70	825,0	1,000	60,22
2,0	5,0	65,9	65,9	66,2	66,00	1201,20	683,40	1203,50	520,1	2,310	2,512	8,04	18,071	55,500	11,56	775,0	1,000	67,04
3,0	5,0	65,4	65,3	65,1	65,27	1209,60	689,70	1300,20	610,5	1,981	2,512				8,67	804,0	1,000	92,73
									Ort:	2,202	2,51	7,91	17,96	55,93	11,31		Ort	
1,0	6,0	66,30	66,00	66,70	66,33	1190,70	678,20	1193,90	515,7	2,309	2,478	6,84	18,867	63,732	8,57	794,0	1,000	92,65
2,0	6,0	64,90	65,90	66,40	65,73	1203,40	684,20	1206,20	522,0	2,305	2,478	6,99	18,991	63,218	11,44	621,0	1,000	54,28
3,0	6,0	64,80	65,30	65,40	65,17	1206,40	685,30	1209,60	524,3	2,301	2,478		19,146	100,000	7,56		1,000	
									Ort:	2,305	2,48	6,91	19,00	75,65	9,19		Ort	
1,0	7,0	66,40	66,90	66,70	66,67	1202,80	682,40	1204,90	522,5	2,302	2,447	5,92	19,865	70,189	8,57	884,0	1,000	103,15
2,0	7,0	65,30	65,40	65,50	65,40	1195,60	688,90	1197,10	508,2	2,353	2,447		18,104	100,000	8,95	925,0	1,000	103,35
3,0	7,0	64,80	65,50	65,20	65,17	1206,80	684,70	1209,20	524,5	2,301	2,447	5,97	19,905	70,012	5,75	816,0	1,000	141,91
									Ort:	2,318	2,45	5,95	19,29	80,07	7,76		Ort	
1,0	8,0	66,50	66,80	67,20	66,83	1198,70	677,40	1201,10	523,7	2,289	2,417	5,29	21,059	74,891	9,27	872,0	1,000	94,07
2,0	8,0	66,10	66,40	66,30	66,27	1202,70	681,50	1204,40	522,9	2,300	2,417		20,675	100,000	5,25	945,0	1,000	180
3,0	8,0	64,80	64,90	65,00	64,90	1202,10	681,40	1204,30	522,9	2,299	2,417	4,87	20,714	76,471	7,77	892,0	1,000	114,80
									Ort:	2,296	2,42	5,08	20,82	83,79	7,43		Ort	



Şekil 4.5. 120°C karıştırma sıcaklığındaki Marshall özellikleri

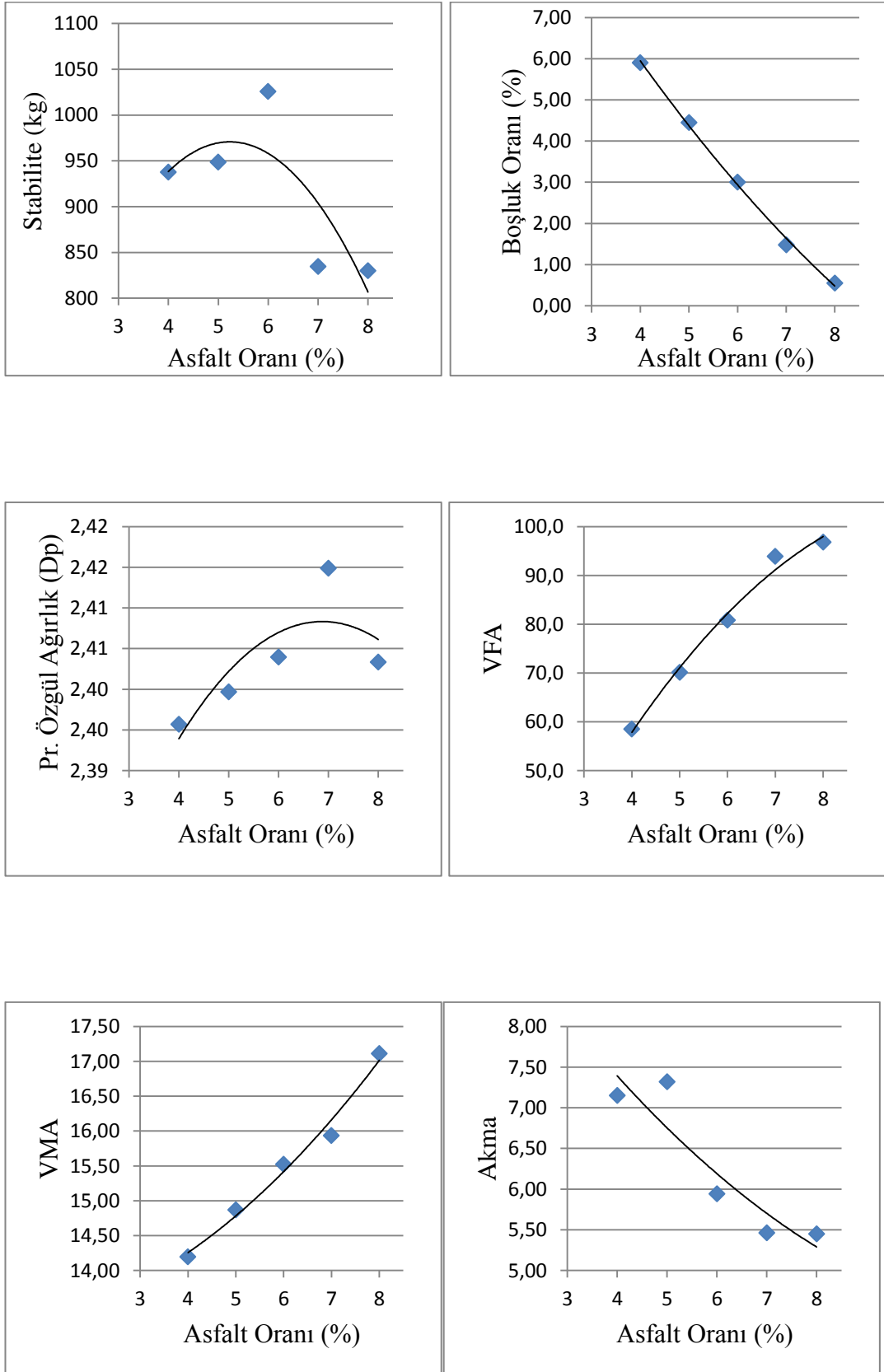
4.5. 130°C Karıştırma Sıcaklığında Asphamin Kullanımı

130°C karıştırma sıcaklığında Asphamin kullanım yüzdeleri %4-5-6-7-8 olarak alınmıştır. Her bir asphamin yüzdesi için %5 OBO'nun ağırlıkça yüzdesi hesaplanmış (örneğin %5 bitüm miktarı=57.5 gr için %4 asphamin= $57.5 \times 0.04 = 2.3$ gr alındı) ve bitüme bu miktar eklenerek numuneler üretilmiştir. Her bir asphamin yüzdesi için üçer adet numune hazırlanmış ve asfalt oranı ile Stabilite-akma-VMA-VFA-Dp-boşluk oranı ilişkileri incelemiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.5 ve Şekil 4.10-4.12 'de verilmiştir.

Karışım sıcaklığının 130°C alınması halinde; en yüksek stabilite %6 asphamin oranından sonra ciddi bir azalma gözlenmiştir. Asphamin yüzdesi artışına bağlı olarak boşluk oranında azalma, VMA ve VFA'da artış gözlenmiştir. Akma değerlerinin ise sürekli azalan bir trend içinde olduğu tespit edilmiştir. Marshall Katsayısı (MQ) açısından %6 asphamin oranının 130°C karıştırma sıcaklığında uygun oran olduğu söylenebilir.

Çizelge 4.5. 130°C karıştırma sıcaklığına ait numune sonuçları

No	BİTÜM	YÜKSEKLİKLER				Havada-A	Suda-C	D.Yüz.Kur.-B	HACİM-V	Hac.Öz.Ağ.	T.Öz.Ağ.	Boşluk	VMA	Asf.Do.	Akma	Stabl.	MQ
		Wa	1	2	3												
1,0	4,0	66,90	67,10	66,50	66,83	1204,40	701,20	1205,80	504,6	2,387	2,546	6,25	14,512	56,932	7,85	986,00	125,61
2,0	4,0	65,80	65,60	65,30	65,57	1184,60	696,20	1186,20	490,0	2,418	2,546	5,04	13,412	62,393	7,34	942,00	128,34
3,0	4,0	65,60	65,20	65,70	65,50	1203,50	700,20	1205,30	505,1	2,383	2,546	6,41	14,661	56,257	6,26	885,00	14,37
									Ort:	2,396	2,55	5,90	14,20	58,53	7,15		
1,0	5,0	66,7	66,3	66,3	66,43	1202,70	699,70	1203,90	504,2	2,385	2,511	5,02	15,379	67,369	8,56	1025,0	119,74
2,0	5,0	65,2	65,6	65,8	65,53	1195,40	701,50	1197,00	495,5	2,413	2,511	3,94	14,416	72,688	7,44	956,0	128,49
3,0	5,0	65,2	65,2	65,7	65,37	1201,80	702,40	1202,90	500,5	2,401	2,511	4,39	14,817	70,388	5,96	865,0	145,13
									Ort:	2,400	2,51	4,45	14,87	70,15	7,32		
1,0	6,0	66,50	65,80	66,30	66,20	1200,80	698,10	1202,40	504,3	2,381	2,478	3,92	16,326	75,967	5,84	1040,0	178,08
2,0	6,0	64,80	65,60	66,00	65,47	1199,80	706,20	1201,00	494,8	2,425	2,478	2,16	14,791	85,392	5,65	1054,0	186,55
3,0	6,0	65,20	65,40	65,70	65,43	1200,30	703,10	1202,00	498,9	2,406	2,478	2,92	15,456	81,080	6,34	983,0	155,05
									Ort:	2,404	2,48	3,00	15,52	80,81	5,94		
1,0	7,0	64,30	64,50	64,20	64,33	1203,90	703,20	1204,40	501,2	2,402	2,447	1,83	16,380	88,833	5,8	925	159,48
2,0	7,0	64,80	64,10	65,00	64,63	1205,60	708,40	1205,90	497,5	2,423	2,447		15,639	100,000	5,4	814	150,74
3,0	7,0	65,20	65,00	64,90	65,03	1201,40	705,20	1201,80	496,6	2,419	2,447	1,13	15,781	92,867	5,1	765	150,00
									Ort:	2,415	2,45	1,48	15,93	93,90	5,46		
1,0	8,0	64,20	64,10	64,00	64,10	1204,80	704,90	1206,20	501,3	2,403	2,417	0,55	17,109	96,801	5,45	875,0	160,55
2,0	8,0	64,50	63,90	64,30	64,23	1201,60	701,20	1202,80	501,6	2,396	2,417	0,87	17,379	94,990	5,12	820,0	160,16
3,0	8,0	64,80	65,00	64,80	64,87	1201,40	705,20	1202,50	497,3	2,416	2,417		16,678	100,000	4,93	795,0	161,26
									Ort:	2,405	2,42	0,71	17,06	97,26	5,17		



Şekil 4.6. 130°C karıştırma sıcaklığındaki Marshall özellikleri

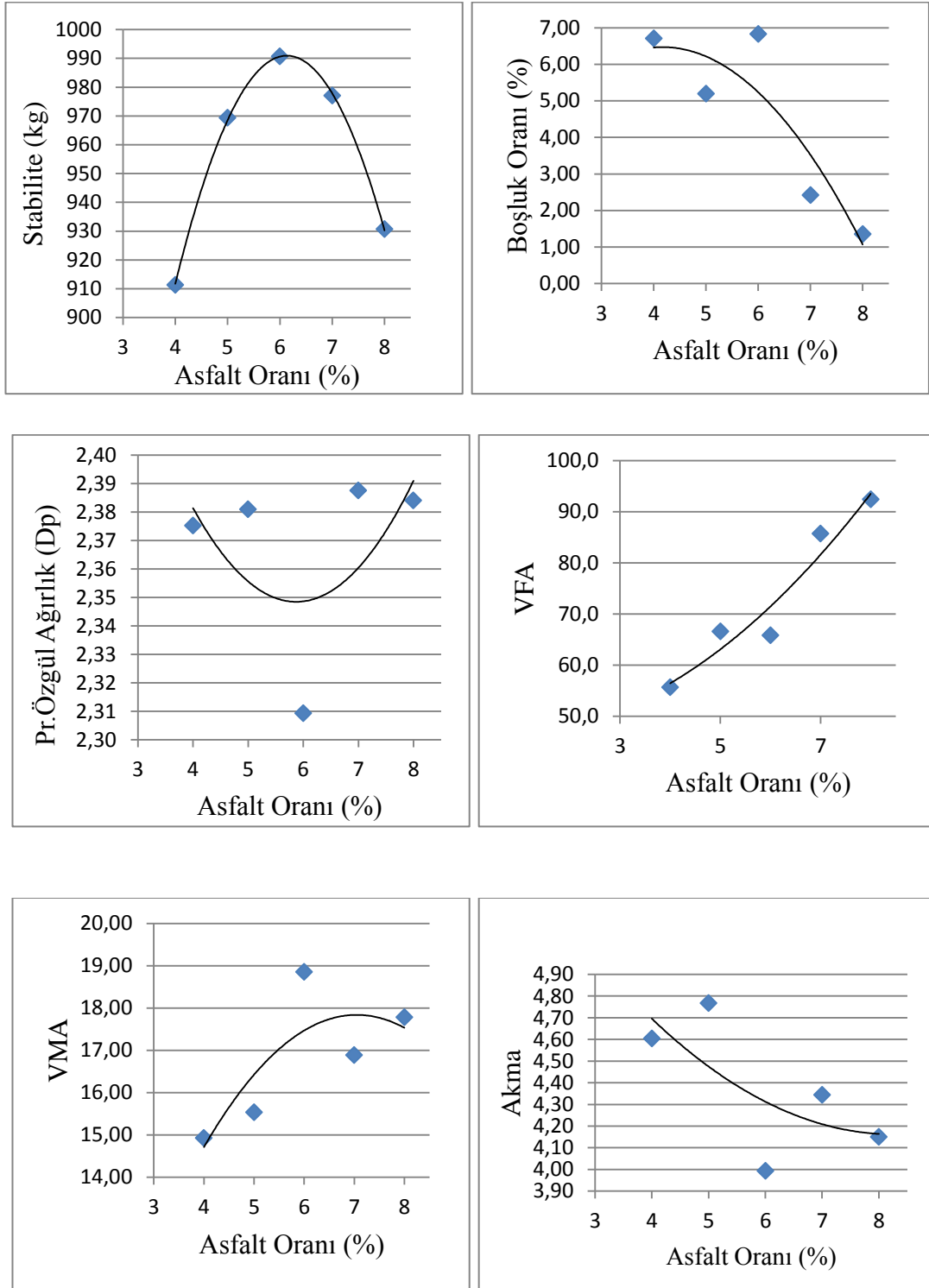
4.6. 140°C Karıştırma Sıcaklığında Asphamin Kullanımı

140°C karıştırma sıcaklığında Asphamin kullanım yüzdeleri %4-5-6-7-8 olarak alınmıştır. Her bir asphamin yüzdesi için %5 OBO'nun ağırlıkça yüzdesi hesaplanmış (örneğin %5 bitüm miktarı=57.5 gr için %4 asphamin= $57.5 \times 0.04 = 2.3$ gr alındı) ve bitüme bu miktar eklenerek numuneler üretilmiştir. Her bir asphamin yüzdesi için üçer adet numune hazırlanmış ve asfalt oranı ile Stabilite-akma-VMA-VFA-Dp-boşluk oranı ilişkileri incelemiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.6 ve Şekil 4.13-4.15'te verilmiştir.

Karışım sıcaklığının 140°C alınması halinde; en yüksek stabilite %6 asphamin oranından sonra ciddi bir azalma gözlenmiştir. Asphamin yüzdesi artışına bağlı olarak boşluk oranında genel olarak azalma, VMA ve VFA'da ise genel olarak artış gözlenmiştir. Akma değerlerinin ise genel olarak azalan bir trend içinde olduğu tespit edilmiştir. Marshall Katsayısı (MQ) açısından %6 asphamin oranının 140°C karıştırma sıcaklığında uygun oran olduğu söylenebilir.

Çizelge 4.6. 140°C karışım sıcaklığına ait numune sonuçları

No	BİTÜM	YÜKSEKLİKLER				Havada-A	Suda-C	D.Yüz.Kur.-B	HACİM-V	Hac.Öz.Ağ.	T.Öz.Ağ.	Boşluk	VMA	Asf.Do.	Akma	Stabl.	MQ
	Wa	1	2	3	ort	gr	gr	gr	cm ³	D _n	D _t	% V _h	%	% V _f	mm	kN	
1,0	4,0	64,70	65,20	65,30	65,07	1189,20	692,10	1204,90	512,8	2,319	2,546	8,91	16,941	47,384	4,44	896,00	201,80
2,0	4,0	65,30	65,50	65,90	65,57	1186,40	691,20	1186,80	495,6	2,394	2,546	5,97	14,261	58,107	4,89	928,00	189,78
3,0	4,0	64,90	65,00	65,10	65,00	1202,30	696,10	1194,40	498,3	2,413	2,546	5,23	13,582	61,491	4,48	910,00	203,13
									Ort:	2,375	2,55	6,71	14,93	55,66	4,60		
1,0	5,0	64,9	65,3	66,1	65,43	1203,80	697,40	1204,90	507,5	2,372	2,511	5,55	15,852	64,992	4,86	945,0	194,44
2,0	5,0	65,8	65,8	65,9	65,83	1185,70	690,40	1186,80	496,4	2,389	2,511	4,89	15,264	67,968	5,21	960,0	184,26
3,0	5,0	65,7	65,2	65,1	65,33	1192,80	693,70	1194,40	500,7	2,382	2,511	5,14	15,489	66,804	4,23	1003,0	237,12
									Ort:	2,381	2,51	5,19	15,54	66,59	4,77		
1,0	6,0	64,70	65,50	66,30	65,50	1205,30	696,80	1207,10	510,3	2,362	2,478	4,70	17,000	72,368	3,82	929,0	243,19
2,0	6,0	65,80	66,00	65,90	65,90	1154,30	690,30	1218,80	528,5	2,184	2,478	11,87	23,250	48,931	3,83	1014,0	264,75
3,0	6,0	65,30	65,50	65,70	65,50	1193,70	695,10	1196,30	501,2	2,382	2,478	3,90	16,307	76,077	4,33	1029,0	237,64
									Ort:	2,309	2,48	6,82	18,85	65,79	3,99		
1,0	7,0	64,60	64,80	64,80	64,73	1207,90	701,30	1208,40	507,1	2,382	2,447	2,65	17,079	84,489	4,0	914	228,50
2,0	7,0	65,10	65,90	65,00	65,33	1185,40	692,30	1186,50	494,2	2,399	2,447	1,97	16,499	88,068	4,8	1032	215,00
3,0	7,0	64,30	64,10	64,70	64,37	1204,60	700,20	1205,90	505,7	2,382	2,447	2,65	17,076	84,503	4,3	985	229,07
									Ort:	2,388	2,45	2,42	16,88	85,69	4,34		
1,0	8,0	64,10	63,60	63,90	63,87	1195,80	695,30	1196,90	501,6	2,384	2,417	1,35	17,778	92,411	4,15	894,0	215,42
2,0	8,0	64,20	63,80	64,00	64,00	1192,40	693,50	1193,40	499,9	2,385	2,417	1,30	17,732	92,696	4,86	983,0	202,26
3,0	8,0	64,20	64,10	64,10	64,13	1205,30	701,30	1206,80	505,5	2,384	2,417	1,33	17,764	92,498	4,23	915,0	216,31
									Ort:	2,385	2,42	1,33	17,76	92,53	4,41		



Şekil 4.7. 140°C karıştırma sıcaklığındaki Marshall özellikleri

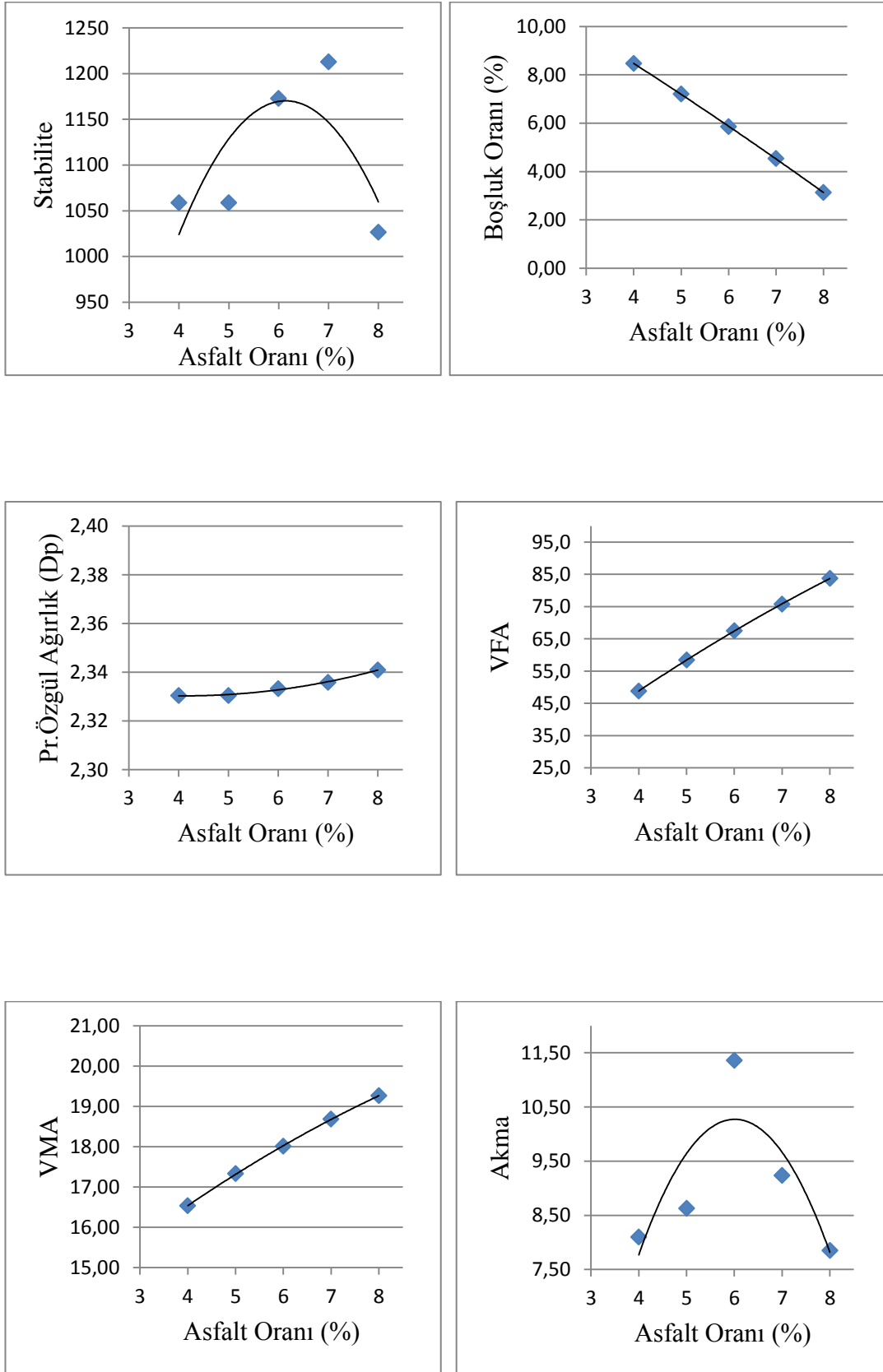
4.7. 150°C Karıştırma Sıcaklığında Asphamin Kullanımı

150°C karıştırma sıcaklığında Asphamin kullanım yüzdeleri %4-5-6-7-8 olarak alınmıştır. Her bir asphamin yüzdesi için %5 OBO'nun ağırlıkça yüzdesi hesaplanmış (örneğin %5 bitüm miktarı=57.5 gr için %4 asphamin= $57.5 \times 0.04 = 2.3$ gr alındı) ve bitüme bu miktar eklenerek numuneler üretilmiştir. Her bir asphamin yüzdesi için üçer adet numune hazırlanmış ve asfalt oranı ile Stabilite-akma-VMA-VFA-Dp-boşluk oranı ilişkileri incelemiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.7 ve Şekil 4.16-4.18 'te verilmiştir.

Karışım sıcaklığının 150°C alınması halinde; en yüksek stabilite %7 asphamin oranında gözlenmiştir. Asphamin yüzdesi artışına bağlı olarak boşluk oranında sürekli olarak azalma, VMA ve VFA ve Dp'de ise sürekli olarak artış gözlenmiştir. Akma değerlerinin ise %6 asphamin oranına kadar artış, buradan sonra azalma gözlenmiştir. Marshall Katsayısı (MQ) açısından %5-6 asphamin oranları haricinde diğerlerinin 150°C karıştırma sıcaklığında uygun oranlar olduğu söylenebilir.

Çizelge 4.7. 150°C karışım sıcaklığına ait numune sonuçları

No	BİTÜM	YÜKSEKLİKLER				Havada-A	Suda-C	D.Yüz.Kur.-B	HACİM-V	Hac.Öz.Ağ.	T.Öz.Ağ.	Boşluk	VMA	Asf.Do.	Akma	Stabl.	MQ
	Wa	1	2	3	ort	gr	gr	gr	cm ³	D _n	D _t	% V _h	%	% V _f	mm	kN	
1,0	4,0	64,30	64,80	65,10	64,73	1202,40	687,90	1203,10	515,2	2,334	2,546	8,33	16,410	49,229	8,8	1102	125,23
2,0	4,0	64,30	64,50	64,10	64,30	1207,60	689,40	1208,30	518,9	2,327	2,546	8,59	16,647	48,391	7,4	989	133,65
3,0	4,0	64,80	65,10	64,70	64,87	1205,20	688,90	1206,10	517,2	2,330	2,546	8,47	16,540	48,769	8,1	1085	133,95
									Ort:	2,330	2,55	8,47	16,53	48,80	8,10		
1,0	5,0	65,5	65,4	64,8	65,23	1202,40	687,90	1203,10	515,2	2,334	2,511	7,07	17,206	58,914	9,8	1102	112,45
2,0	5,0	63,4	63,5	64,1	63,67	1207,60	689,40	1208,30	518,9	2,327	2,511	7,33	17,441	57,956	7,7	989	128,44
3,0	5,0	64,3	64,8	64,9	64,67	1205,20	688,90	1206,10	517,2	2,330	2,511	7,21	17,334	58,388	8,4	1085	129,17
									Ort:	2,330	2,51	7,21	17,33	58,42	8,63		
1,0	6,0	65,50	65,00	64,70	65,07	1201,90	685,40	1202,30	516,9	2,325	2,478	6,18	18,291	66,214	10,4	1102	105,96
2,0	6,0	65,50	64,00	63,90	64,47	1214,10	695,20	1214,70	519,5	2,337	2,478	5,70	17,875	68,101	12,0	1248	104,00
3,0	6,0	64,80	64,90	65,20	64,97	1206,40	691,70	1207,80	516,1	2,338	2,478	5,68	17,858	68,179	11,7	1168	99,83
									Ort:	2,333	2,48	5,85	18,01	67,50	11,36		
1,0	7,0	63,80	63,90	64,00	63,90	1203,80	688,70	1204,30	515,6	2,335	2,447	4,58	18,722	75,543	9,6	1197	124,69
2,0	7,0	64,40	64,10	63,90	64,13	1205,50	690,10	1206,30	516,2	2,335	2,447	4,56	18,702	75,643	8,9	1273	143,03
3,0	7,0	64,90	64,20	64,70	64,60	1206,40	691,70	1207,80	516,1	2,338	2,447	4,47	18,626	76,025	9,3	1168	125,59
									Ort:	2,336	2,45	4,53	18,68	75,74	9,23		
1,0	8,0	63,10	63,50	62,90	63,17	1205,80	691,20	1206,30	515,1	2,341	2,417	3,13	19,263	83,744	7,9	1102	139,49
2,0	8,0	63,50	63,60	63,90	63,67	1202,80	689,20	1204,10	514,9	2,336	2,417	3,33	19,432	82,839	7,0	1032	147,43
3,0	8,0	64,20	64,20	64,80	64,40	1207,30	692,90	1208,40	515,5	2,342	2,417	3,09	19,225	83,948	5,9	945	160,17
									Ort:	2,340	2,42	3,18	19,31	83,51	6,89		



Şekil 4.8. 150°C karıştırma sıcaklığındaki Marshall özellikleri

4.8. Sonuçların Karşılaştırılması

Çalışmada İncelenen sıcaklıklar ve asphamin oranlarının birbirleriyle karşılaştırılması Çizelge 4.8’de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Stabilite (kg)-sıcaklık-asphamin oranları karşılaştırması

Asphamin Yüzdesi	110°C	120°C	130°C	140°C	150°C	Kontrol
4	610	762	938	911	1059	436,16
5	591	801	949	969	1059	288,52
6	591	744	1026	991	1168	372,33
7	622	875	835	977	1145	237,46
8	655	903	830	931	989	

Çizelge 4.9. Boşluk (%)-sıcaklık-asphamin oranları karşılaştırması

Asphamin Yüzdesi	110°C	120°C	130°C	140°C	150°C	Kontrol
4	6,55	9,11	5,90	6,70	8,46	6,6
5	5,11	7,75	4,44	5,19	7,20	4,8
6	3,91	6,99	3,00	5,20	5,85	1,5
7	1,97	5,24	1,30	2,41	4,53	1,2
8	0,79	4,98	0,48	1,32	3,18	

Çizelge 4.10. Dp (%)-sıcaklık-asphamin oranları karşılaştırması

Asphamin Yüzdesi	110°C	120°C	130°C	140°C	150°C	Kontrol
4	2,379	2,314	2,396	2,375	2,330	2,378
5	2,383	2,316	2,400	2,381	2,330	2,390
6	2,381	2,305	2,404	2,349	2,333	2,410
7	2,398	2,318	2,415	2,388	2,336	2,416
8	2,397	2,296	2,405	2,385	2,340	

Çizelge 4.11. VFA (%)-sıcaklık-asphamin oranları karşılaştırması

Asphamin Yüzdəsi	110°C	120°C	130°C	140°C	150°C	Kontrol
4	55,77	46,84	58,61	55,74	48,87	55,4
5	66,98	56,53	70,22	66,66	58,49	68,4
6	76,09	63,26	80,87	70,55	67,56	89,5
7	88,14	73,04	91,91	85,74	75,79	92,5
8	95,44	76,07	97,25	92,58	83,56	

Çizelge 4.12. VMA (%)-sıcaklık-asphamin oranları karşılaştırması

Asphamin Yüzdəsi	110°C	120°C	130°C	140°C	150°C	Kontrol
4	14,80	17,14	14,21	14,94	16,54	14,8
5	15,48	17,83	14,88	15,55	17,34	15,2
6	16,33	19,01	15,54	17,46	18,02	14,3
7	16,52	19,30	15,94	16,90	18,69	15,9
8	17,33	20,82	17,07	17,77	19,32	

Çizelge 4.13. Akma (mm)-sıcaklık-asphamin oranları karşılaştırması

Asphamin Yüzdəsi	110°C	120°C	130°C	140°C	150°C	Kontrol
4	7,81	9,39	7,15	4,60	8,10	2,71
5	7,78	11,31	7,32	4,77	8,63	3,57
6	8,70	9,19	5,94	3,99	11,36	2,53
7	7,05	7,76	5,46	4,34	9,23	3,39
8	7,03	7,43	5,17	4,41	6,89	

Stabilite açısından değerlendirildiğinde en yüksek stabilitelerin 150°C ve en düşük stabilitelerin ise 110°C karışım sıcaklığında üretilen numunelerde elde edilmiştir. Boşluk yüzdeleri ve VMA için, düşük boşluk oranları ve VMA değerleri 130°C iken yüksek boşluk oranları ve VMA ise 120°C karışım sıcaklığında üretilen numunelerde gözlenmiştir. Dp ve VFA zaviyesinden ise daha yüksek değerler 130°C'de ve daha düşük değerler ise 120°C de olduğu tespit edilmiştir.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, ılık asfalt üretiminde kullanılan asphaminin farklı sıcaklıklarda ve farklı kullanım oranlarında asfalt betonunun performansına etkisi araştırılmıştır.

Asphamin ile üretilen numunelerin performanslarını BSK ile karşılaştırmak amacıyla kontrol numuneleri üretilmiş ve OBO bulunmuştur. Kontrol numunelerinde asphamin katkı oranı %0 ve karıştırma sıcaklığı 150°C olarak alınmıştır. Bu tasarım için OBO %5 olarak tespit edilmiştir. Kontrol numunelerine ait tasarımın OBO'nun %5 bulunmasından sonra Asphamin kullanılarak üretilen numunelerde bağlayıcı oranı sabit %5 olarak alınmıştır. Değişen asphamin kullanım oranları bu bağlayıcının ağırlıkça yüzdesi olarak hesaplanmıştır.

110°C karıştırma sıcaklığında Asphamin kullanım yüzdeleri %4-5-6-7-8 olarak alınmıştır. Karışım sıcaklığının 110°C alınması halinde Marshall Katsayısı (MQ) açısından %8 asphamin oranının 120°C karıştırma sıcaklığında %7 asphamin oranının, 130°C ve 140°C karıştırma sıcaklıklarında %6 asphamin oranının, 150°C karıştırma sıcaklığında ise %5-6 asphamin oranları haricinde diğerlerinin uygun oranlar olabileceği görülmüştür.

Bütün sonuçlar beraber değerlendirildiğinde; en yüksek stabilite değerlerinin 150°C ve en düşük stabilitelerin ise 110°C karışım sıcaklığında üretilen numunelerde elde edildiği, boşluk yüzdeleri ve VMA açısından, düşük boşluk oranları ve VMA değerlerinin 130°C'de, yüksek boşluk oranları ve VMA değerlerinin 120°C karışım sıcaklığındaki numunelerde olduğu gözlenmiştir. D_p ve VFA zaviyesinden ise daha yüksek değerlerin 130°C'de ve düşük değerlerin ise 120°C de olduğu tespit edilmiştir.

Daha sonraki çalışmalarda, asphamin malzemesinin farklı gradasyonlarda ve farklı agrega kaynakları kullanılarak performansı araştırılabilir.

KAYNAKÇA

- Amer N, Delatte N, Storey C., 2003. Using gyratory compaction to investigate density and mechanical properties of roller-compacted concrete, *Concrete 2003 Transportation Research Record (1834)*77-84.
- Arabani M. and Kheiry P.T., Characterizing engineering properties of asphalt concrete using UPV test, *Advanced Characterisation of Pavement and Soil Engineering Materials*, 2007.
- Asi Ibrahim M., 2006. Performance evaluation of Superpave and Marshall asphalt mix design to suite Jordan climatic and traffic conditions, *Construction and Building Materials, In Pres.*
- Asphalt Institute, MS-2 Mix Design Methods, pp:55-72, Sixth Edition, 1997.
- ASTM, 1982. Compaction and shear properties of bituminous mixtures by means of US corps of engineers gyratory testing machine. ASTM D 3387, ASTM Part 15.
- Bahia H. U. and Faheem A. F., Using the superpave gyratory compactor to estimate rutting resistance of hot-mix asphalt, *Transportation research board*, ISSN: 0097-8515, pp 45-61, 2007.
- Bell, C. A., Sosnovske, D. ve Wieder J. A., (1994). Aging, binder validation, SHRP A-384, National Research Council, Washington D.C.
- Buchanan MS, Brown ER., 2001. Effect of superpave gyratory compactor type on compacted hot-mix asphalt density, *Construction 2001 Transportation Research Record (1761)*50-60.
- Buchanan MS, Brumfield J, Sheffield R, 2004. Investigation of the gyration angle of superpave gyratory compactors, *Journal Of Materials In Civil Engineering* 16 (5):444-451.
- Campan, W. H., Smith, J. R., Mertz, L. R. ve 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.
- Chen J. S. And Huang L. S. (2000), Developing an aging model to evaluate engineering properties of asphalt paving binders, *Materials and Structures*, Vol. 33, pp. 559-565
- Consuergra A, Little DN, Quintus HV, Burati J., 1992. Comparative evaluation of laboratory compaction devices based on their ability to produce mixtures with engineering properties similar to those produced in the field. *Transportation research record No. 1228*. Washington, DC: Transportation Research Board, National Research Council, 87.
- Coree B. and VanDerHorst K., 1998. Superpave Compaction, *Transportation Conference Proceeding*.
- Demirboğa R., Türkmen İ., Karakoç M. B., 2004. Relationship between ultrasonic velocity and compressive strength for high-volume mineral-admixture concrete. *Cement and Concrete Research*, 34, (2004), 2329-2336.
- Dessouky S, Masad E, Bayomy F, 2004. Prediction of hot mix asphalt stability using the superpave gyratory compactor, *Journal Of Materials In Civil Engineering* 16 (6): 578-587.
- Dinç E, 1999. Superpave, TCK 16. Bölge Müdürlüğü, Sivas.

- Dow, A. W., (1903). Asphalt Experiments at Washington, Engineering News Record, 47, 18-25.
- Garrick N. W., (1995), Nonlinear differential equation for modelling asphalt aging, Journal of Materials in Civil Eng.
- George KP., 1994. Resilient testing of soils using gyratory testing machine. Transportation research record No. 1369. Washington, DC: Transportation Research Board, National Research Council, 63]72.
- Goetz W. H., 1989. "The evaluation of Asphalt Concrete Mix design: Development of more rational approaches ASTM STP 1041, Philadelphia, pp. 5-14.
- Hattatoğlu, F., Doktora tezi, "Bitümlü sıcak karışımlarda farklı sıkıştırma, karıştırma ve yaşlandırma yöntemlerinin karışımının özellikleri üzerindeki etkilerinin araştırılması", Erzurum, 2009.
- Heithaus, J. J. ve Johnson, R. W. (1958). A Microviscometer study of road asphalt hardening in the field and laboratory, Journal of the association of asphalt paving technologists, 27, 571-605.
- Hınıslioğlu S., ve Hattatoğlu F., Marshall Tasarımında Optimum Asfalt Oranı Yerine Optimum Bitüm Aralığının Belirlenmesi, 5.Ulusal asfalt sempozyumu, 2009.
- Hınıslioglu, S., Bayrak, O.Ü., "Optimization of early flexural strength of pavement concrete with silica fume and fly ash by the Taguchi method", Civil Engineering and Environmental Systems, Vol. 21, No. 2, pp.79-90 (2004).
- http://training.ce.washington.edu/PGI/Modules/05_mix_design/05-5_body.htm
- Hunter, R.N. (1994). Bituminous Mixtures In Road Construction, Thomas Telford Services Ltd., Thomas Telford House, 1 Heron Quay, London.
- Kackar, Raghu N., 1986. Taguchi's Quality Philosophy: Analysis and Commentary, Quality Progress., 21-29.
- Kandhal, P. ve Chakraborty, S., (1996). Effect of asphalt film thickness on the short and long term aging of asphalt paving mixtures, National Research for Asphalt Technology, Transportation Research Board, 22, 45-68.
- Kandhal, P.S., 1992, Moisture susceptibility of hma mixes: identification of problem and
- Kanneganti V., 2002. Comparison of 19mm Superpave and Marshall Base II Mixes in West Virginia, Masters of Science in Civil and Environmental Engineering, Department of Civil and Environmental Engineering Morgantown, West Virginia.
- Karayolları Genel Müdürlüğü, 2006. Yollar Fenni Şartnamesi, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Yayın No:170/2, Ankara.
- Khan Z, Al-Abdul Wahab H., Asi I., Ramadhan R., 1998. Comparative study of asphalt concrete laboratory compaction methods to simulate field compaction, Construction and Building Materials, Vol 12, pp.373-384.
- Kök, Baha Vural, Doktora tezi, "Bitümlü sıcak karışımların üretiminde yeni bir karıştırma yönteminin araştırılması, Elazığ, 2007.
- Kumar, A. ve Goetz, W. H., (1977). Asphalt hardening as affected by film thickness, voids, permeability in asphaltic mixtures, Journal of the association of asphalt paving technologists, 46, 571-605.
- Lee S.J, Amirkhanian S.N., Shatanawi K., Kim K., (2007). Short-term aging characterization of asphalt binders using gel permeation chromatography and selected Superpave binder test, Construction and Building Materials., basımda.

- Linden F, Van Der Heiden J., 1992. Some aspect of the compaction of asphalt mix and its influence on mix properties. Proc Assoc Asphalt Paving Technol 1989;58:571]623.
- Linden RN, Mahoney JP, Jackson NC. Effect of compaction on asphalt concrete performance. Transportation research record No. 1217. Washington, DC: Transportation Research Board, National Research Council, 20]28.
- Linden RN, Mahoney JP, Jackson NC., 1992. Effect of compaction on asphalt concrete performance. Transportation research record No.1217. Washington, DC: Transportation Research Board, National Research Council, 20]28.
- Lubbers, H. E., (1985). Bitumen in De Wegen Waterbauw, Hollanda.
- Malkoç, G. (2000). Asfalt Çimentosunun Kimyasal Yapısı, Modifikasyona Etkisi Ve Bu Kapsamda Ülkemiz Ürünlerinin Değerlendirilmesi III. Asfalt Sempozyumu, Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Mastrafoni, D.,Scarsella, M. (2000). The Application Of Rheology To The Evaluation Of Bitumen Aging, Fuel 79, pp 1005-1015.
- Maupin G. W., 1998. Final Report:Comparison of several asphalt design methods, Virginia Transportation Council, Virginia Department of Transportation and University of Virginia.
- NAPA, Education Foundation Lanham, Maryland., 1994 " Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design and Construction" p 177-181
- Noureldin, A. S. (1995). Long Term Performance Of Asphalt Cement Binders;A Dual View, Physical Properties Of Asphalt Cement Binders, ASTM STP 1241, John C. Hardin, Ed., American Society For Testing And Materials, Philadelphia.
- Orhan, F., 2000. Asfaltın Geleceği Superpave, 3. Asfalt Sempozyumu, Ankara, 146-160 16-17 Kasım 2000.
- Önal, M., ve Kahramangil, M., 1993. Bitümlü Karışımlar Laboratuvar El Kitabı, TC. Karayolları Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- Öztürk E. A. ve Çubuk M. K., 2004. Gazi üniversitesi mühendislik-mimarlık fakültesi dergisi, Cilt 19, Sayı 2.
- Parker F, Hossain MS,Song JS , 2000. Analysis of quality control and quality assurance data for Superpave mixes, Construction 2000 Transportation Research Record (1712)25-34.
- Petersen, J.C. (1984). Chemical Composition Of Asphalts As Related To Asphalt Durability; State Of Art, Transportation Research Record 999, pp13-30.
- Peterson RL, Mahboub KC, Anderson RM, Masad E, Tashman L, 2004. Comparing superpave gyratory compactor data to field cores, Journal Of Materials In Cıvıl Engineering 16 (1): 78-83.
- Phadke, M.S. 1989. Quality Engineering Using Robust Design", Prentice hall, Englewood Cliff, NJ. November.
- Powel WD, Lister NW., 1989. Compaction of bituminous materials. In: Pell PS, editor. Developments in highway pavement engineering} 1, London: Applied Science Publishers, 127]162.
- Scherocman JA, Acott M., 1989. Hot mix asphalt production, placement, and compaction related to pavement performance. Proc Assoc Asphalt Paving Technol; 58:571.
- Shalaby Ahmed (2002), Modelling short-term aging of asphalt binders using Rolling thin film oven test, Can. J. Civ. Eng., 29: 135-144.

- SHRP., 1994. The SUPERPAVE mix design system, manual of specifications, test methods, and practices. In: Harrigan ET, editor. Washington, DC: National Research Council.
- Sigurjonsson S, Ruth B., 1992. Use of gyratory testing machine to evaluate shear resistance of asphalt paving mixture. Transportation research record No. 1259. Washington, DC:Transportation Research Board, National Research Council, 63]72.
- Sousa JB, Deacon JA, Monismith CL., 1991. Effect of the laboratory compaction method on permanent deformation characteristics of asphalt aggregate mixtures.. Proc Assoc Asphalt Paving Technol 60:533]585.
- Swami B. L., Mehta Y. A., Bose S., 2004. A Comparison Of The Marshall and Superpave Design Procedure For Materials Sourced in India", The International Journall of Pavement Engineering, Vol. 5 (3), pp. 163-173.
- Şengöz B. ve Ağar E. Asphalt film kalınlığının bitümlü karışımların yaşlanmasına etkisi, itüdergisi/d, mühendislik Cilt:4, Sayı:1, 71-82, Şubat 2005.
- Topcu İ. B., 2006. Beton Teknolojisi. Uğur Ofset. Eskişehir.
- Traxler, R. N., (1961). Relation Between Asphalt Composition and Hardening by Volatilization and Oxidation, Journal of the association of asphalt paving technologists, **30**, 359-377.
- Troxler Inc., 2001. Application Brief Troxler Gyratory Compactor Specimen Preparation in Superpave Mix Design.
- Tunç Argun, 2001. Yol Malzemeleri ve Uygulamaları, Atlas Yayın Dağıtım, İstanbul.
- Tunç,A.,2004, Esnek kaplama malzemeleri el kitabı. Asil Yayın Dağıtım, Ankara.
- Uluçaylı, M., 1997. Bitümlü Karışımların Tasarımında Yeni Gelişmeler Yoğurmalı Pres, Yollar Türk Milli Komitesi, Ankara.
- Umar F, Ağar E., (1991) Yol Üstyapısı www.wikipedia.org
- Zaniewski J. P. and Srinivasan G, 2004. Evaluation of Indirect tensile strength to Identify asphalt Concrete Rutting Potential, Asphalt technology program, West Virginia University.

ÖZGEÇMİŞ

1979 yılında doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Erzurum'da tamamladı. 1998 yılında girdiği Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden 2003'te mezun oldu. 2008-2009 Öğretim Yılında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimine başladı. 2003-2007 yılları arasında Ankara Büyükşehir Belediyesi'nde inşaat mühendisi olarak çalıştı. 2009 yılından beri Erzincan Üniversitesi Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı'nda inşaat mühendisi olarak çalışmaktadır.