

**T.C.
SÜLEYMAN DEMREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**

İLİK KARI İM ASFALT

Mustafa TAHTA

Danışman: Prof. Dr. Serdal TERZ

**Yapı Etilimi Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

ISPARTA 2013

© 2013 [Mustafa TAHTA]

TEZ ONAYI

Mustafa TAHTA tarafından hazırlanan "**Ilık Karı ım Asphalt**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Yapı E itimi Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK L SANS TEZ** olarak başarı ile savunulmu tur.

Danı man **Prof. Dr. Serdal TERZ**

Süleyman Demirel Üniversitesi

Jüri Üyesi **Prof. Dr. Mehmet SALTAN**

Süleyman Demirel Üniversitesi

Jüri Üyesi **Yrd. Doç. Dr. Nuran BA IRGAN**

Dumlupınar Üniversitesi

Enstitü Müdürü **Doç. Dr. Ahmet AH NER**

TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldı ını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldı ını beyan ederim.

Mustafa TAHTA

Ç NDEK LER D Z N

Ç NDEK LER D Z N	i
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
ÖNSÖZ VE TE EKKÜRLER	viii
EK LLER D Z N	ix
TABLolar D Z N	x
S MGELER VE KISALTMALAR D Z N	xi
1. G R	1
2. L TERATÜR TARAMASI	4
3. ILIK KARI İM ASFALT	8
3.1. Materyal	8
3.1.1. İKA Katkıları	8
3.1.1.1. İKA Köpük	8
3.1.1.1.1. Asfalt Malzemesi	9
3.1.1.1.2. Laboratuar Çalı maları	10
3.1.1.1.3. Arazi Denemeleri	10
3.1.1.1.4. Çevresel Faydaları	12
3.1.1.1.5. İKA Köpük Özeti	13
3.1.1.2. Aspha-Min Zeolit	14
3.1.1.2.1. Asfalt Malzeme	14
3.1.1.2.2. Laboratuar Çalı maları	15
3.1.1.2.3. Arazi Denemeleri	17
3.1.1.2.4. Çevresel Faydaları	17
3.1.1.2.5. Aspha-min Zeolit Özeti	18
3.1.1.3. Sasobit Balmumu	18
3.1.1.3.1. Asfalt Malzemesi	19
3.1.1.3.2. Laboratuvar Çalı maları	20
3.1.1.3.3. Arazi Denemeleri	23
3.1.1.3.4. Çevresel Faydaları	28
3.1.1.3.5. Sasobit Balmumu Özeti	28
3.1.1.4. Di er İlık Karı İm Asfalt Katkıları	29
3.1.1.4.1. Asphaltan B Wax	29
3.1.1.4.2. Evotherm	29
3.1.2. Asfalt Ba layıcı	31
3.1.3. Agregalar	31
3.1.4. Yöntemler	33
3.1.5. Test Yöntemleri	35
3.1.5.1. Ba layıcı Maddede Örnek Hazırlık	35

3.1.5.2. Superpave Ba layıcı Madde Testleri	36
3.1.5.3. Atomik Kuvvet Mikroskobu	36
3.1.5.4. Superpave Karı m Dizaynı	37
3.1.5.5. Sıkı tırma Durum Çalı ması - (1) Sıcaklık Etkisi	38
3.1.5.6. Sıkı tırma Durum Çalı ması - (2) Sıkı tırma Seviyeleri	38
3.1.5.7. Oksidatif Ya lanma Analizi - (1) Numune Hazırlama	38
3.1.5.8. Oksidatif Ya lanma Analizi - (2) GPC Prosedürü	39
3.1.5.9. Oksidatif Ya lanma Analizi - (3) Örnekleme Yöntemi	40
3.1.5.10. Oksidatif Ya lanma Analizi - (4) GPC Sonucu	40
3.1.5.11. Karı m Performans Analizi	41
4. DÜNYADAK İLİK KARİ M ASFALT UYGULAMALARI	43
4.1. zlanda	43
4.1.1. Genel Bilgiler	43
4.1.2. zlanda' da İlık Karı m Asfalt	44
4.1.2.1. Teknik Sorunlar	44
4.1.2.1.1. zlanda' da Asfalt Kullanımı	45
4.1.2.1.2. Metotlar	45
4.1.2.1.3. Standart Özellikler	46
4.1.2.1.4. Asfalt Tesisleri	48
4.1.2.1.5. İlık Karı m Asfalt zlanda Ara tırması	48
4.2. Almanya, Norveç, Fransa	49
4.2.1. İKA Performansı	49
4.2.1.1. Norveç	49
4.2.1.2. Almanya	51
4.2.1.3. Fransa	53
4.2.2. İKA Özellikleri	55
4.2.2.1. Norveç	55
4.2.2.2. Almanya	55
4.2.2.3. Fransa	56
4.2.3. Genel Gözlemler ve Bulgular	57
4.2.3.1. Materyaller	57
4.2.3.2. Karı m dizaynı	60
4.2.3.3. n aat uygulamaları	65
4.3. İlık Karı m Asfalt Maliyeti	68
4.4. İKA Teknolojilerinin Avantajları ve Dezavantajları	68
4.5. İlık Karı m Asfaltın Faydaları	70
4.5.1. Enerji Tüketimi	70
4.5.2. Emülsiyon	70
4.5.3. Viskozite	72
5. SONUÇLAR VE ÖNER LER	73

KAYNAKLAR	74
ÖZGEÇM	82

ÖZET**Yüksek Lisans Tezi****Ilık Karı ım Asfalt****Mustafa TAHTA****Süleyman Demirel Üniversitesi****Fen Bilimleri Enstitüsü****Yapı E itimi Anabilim Dalı****Danı man: Prof. Dr. Serdal TERZ**

Artan çevre bilinci ve katı emülsiyon düzenlemeleriyle Sıcak Karı ım Asfalt' taki yüksek karı ım sıcaklı ını dü ürmek için Ilık Karı ım Asfalt geli imi sa lanmı tır. Faydalı üretim, yerle tirme ve dü ük emülsiyon sırasında enerji tüketiminde azalma olmu tur. En çok kullanılan üç katkı; WAM Köpük, Aspha-min zeolit ve Sasobit balmumudur. Bu üç katkı BSK üretiminden daha dü ük sıcaklıklarda agreganın kaplanabilmesini sa lamı tır. Belirli bir sıcaklık aralı ında ba layıcı viskozitesini azaltmı tır.

Bu ara tırmanın amacı sürdürülebilir ve çevre dostu asfalt yaratmak amacıyla asfalt karı ımlara endüstri standartlarında stiren bütadien stiren (SBS) modifiye edilerek yeni Ilık Karı ım Asfalt (IKA) teknolojisini ara tırmaktır. Öncelikle ılık asfalt konusunda yapılmı çalı malar özetlenmi tir. WAM köpük, aspha-min zeolit ve sasobit balmumunun asfalt malzemelerde karı ımı, alanda uygulanması, labaratuvar çalı maları, ba layıcı madde analizi, sıkı tırma durumu çalı ması, oksidatif ya lanma analizi, karı ım performans analizi verilmi tir. Elde edilen sonuçlarda Avrupa ve Amerika' daki uygulama tartı ılmı tır.

Sonuç olarak, gerek çevreye gerekse de esnek üstyapıların performansına olumlu etkisi nedeniyle ılık asfalt geli mi ÷lkelerde yaygın olarak kullanılmakta olup, ÷lkemizde de uygulamalarının yakın gelecekte artaca ı gör÷lmü tür.

Anahtar kelimeler: Ilık karı ım asphalt, stiren bütadien stiren (SBS), Superpave ba layıcı performans ve yüzey topografisi, Atomik Kuvvet Mikroskobu, Oksidatif ya lanma

2013, 82 sayfa

ABSTRACT**M. Sc. Thesis****WARM MIX ASPHALT****Mustafa TAHTA****Süleyman Demirel University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Construction Education****Supervisor: Prof. Dr. Serdal TERZ**

Increased environmental awareness and stricter emissions regulations have led to a development of Warm Mix Asphalt (WMA) to reduce the high mixing temperatures of regular Hot Mix Asphalt (HMA). Its benefits are reduction in energy consumption during production and reduced emissions during production and placement. The three most additives are; WAM Foam, Aspha-min zeolite and Sasobit wax. All three additives reduce the viscosity of the binder at a certain temperature range, allowing the aggregate to be fully coated at lower temperatures than in HMA production.

The purpose of this research is to create a sustainable and environmentally friendly asphalt mixtures asphalt industry standard styrene butadiene styrene (SBS) modified and new warm mix asphalt (WMA) technology to investigate. First of all, the trials are summarized in the warm asphalt. WAM foam, Asphan-min zeolite and wax sasobit a mixture of asphalt materials, implementation of field and laboratory studies, analysis of the binding agent, compression status work, oxidative aging analysis, performance analysis of the mixture are given. The results obtained in Europe and America in the application are discussed.

As a result, due to the positive effect on the performance of both the environment and the flexible warm asphalt pavements are widely used in the other countries and were found to increase in the near future in our country applications.

Key words: warm mix asphalt, Superpave binder performance and surface topography, Atomic Force Microscopy, Oxidative aging

2013, 82 pages

ÖNSÖZ VE TE EKKÜRLER

Ülkemiz gibi özellikle geli mekte olan ülkeler mevcut kaynaklarını aktaracakları alanları belirlemek için detaylı planlamalar yapmak zorundadır. Milli gelirimizin önemli bir kısmını aktardı ımız karayolu in aat ve onarım planlamasında ülkemiz ko ullarını dikkate alan, ülkemize özgü kaplama çe itleri kullanılmalıdır. Bu kaplama çe itleri bünyesinde özellikle öne çıkan ılık karı m asfalt geli tirilmeli ve düzenli olarak uygulanmalıdır. Bu çalı mada, dünya çapındaki ılık asfalt çalı malarına de inilmi ve sıcak karı m asfalta göre kar ıla tırmalar yapılmı tır. Yapılan çalı malarda ılık katkı malzemesi olarak kullanılan wam köpük, aspha-min zeolit ve sasobit balmumunun di er katkı malzemelerine göre daha da avantajlı oldu u hem deneysel hem de alanda uygulanması yönünden görülmü tür.

Bu çalı ma konusunu öneren aynı zamanda çalı mada katkılarını, destek ve görü lerini esirgemeyen danı manım Prof. Dr. Serdal TERZ ' ye ükranlarımı sunarım. Ayrıca her safhasında manevi katkıda bulunan Ö retim Üyesi smail UZUN' a, Yapı E itimi Bölümü ö retim üyelerine ve bugünlerimi borçlu oldu um aileme sonsuz te ekkürlerimi sunarım.

EK LER D Z N

ekil 3.1. BSK ile IKA sıcaklık kar ıla tırması	9
ekil 3.2. Ilık Karı ım Asfalt süreci	13
ekil 3.3. Silindir ekleindeki malzeme ve fiber ek hat	15
ekil 3.4. Küçük top ekleinde Sasobit Balmumu	20
ekil 3.5. Ufak Sasobit paketleri ve dağıtım kutusu	25
ekil 3.6. Sasobit balmumu eklenmesi	25
ekil 3.7. Tüp besleyici içinde akan Sasobit	26
ekil 3.8. Sasobit balmumu ve 35% RAP' lı karı ım	26
ekil 3.9. Sasobit balmumu olmadan 35% RAP' lı karı ım	27
ekil 3.10. Sasobit olmayan karı ımın termal resmi	27
ekil 3.11. Sasobitli karı ımın termal resmi	28
ekil 3.12. Agregaların elekten geçme yüzdeleri	32
ekil 3.13. (a) Atomik Kuvvet Mikroskobu ve (b) prensibi	37
ekil 3.14. (a) GPC sistemi ve (b) tipik kromatogram	39
ekil 3.15. Styragel HR 3 ve Styragel HR 4E	39
ekil 4.1. ABD tarama ekibinin Norveç IKA köpük kaplama tefti i	50
ekil 4.2. Enine Profil ölçümleri	51
ekil 4.3. Tabaka kalınlı ı ölçümleri	52
ekil 4.4. SETRA Aspha-min sertifikası	57
ekil 4.5. LEA (Dü ük Enerjili Asfalt) süreci	59
ekil 4.6. AB' nin küçük ölçekli tekerlek izi cihazı	60
ekil 4.7. Fransız karı ım dizaynı prosedürü	63
ekil 4.8. MLPC büyük ölçekli tekerlek izi cihazı	64
ekil 4.9. MLPC ikizkenar yamuk ekleinde numunelerle yapılan modül ve yorulma testi	64
ekil 4.10. Norveç Kolo Veidekke irketi üretim siloları	66
ekil 4.11. Fransa EIFFAGE Travaux Publics irketi üretim siloları	66
ekil 4.12. Kolo Veidekke' in RAP depolama için kullandı ı ta ınabilir branda	67
ekil 4.13. A ır titre imli fini er	68

TABLolar D Z N

Tablo 3.1. İKA köpük alan çalımların bir özet tablosu	11
Tablo 3.2. İKA köpük üretimi emülsiyon ölçüm sonuçları ve düzenli BSK üretimi	12
Tablo 3.3. Sasobit ve Sasoflex eklenerek oluşturulan bağlayıcı maddeler	20
Tablo 3.4. Sasobitli asfaltın düşük sıcaklıkta termal büzülmesi ve sıcaklığın düşmesiyle kırılmaların bulunması	23
Tablo 3.5. SBS ve özellikleri	31
Tablo 3.6. Ara tırmalarda kullanılan tip A ve B agrega özellikleri	32
Tablo 3.7. Her görevde kullanılan malzemeler	33
Tablo 3.8. Gözenek boyutu ve etkili bir moleküler ağırlık aralığı	40
Tablo 4.1. Reykjavik ve Akureyri' de 1961 ile 1990 yılları arasında ölçülen ortalama sıcaklıklar ve aylık yağış	43
Tablo 4.2. İzlanda yol sistemi	44
Tablo 4.3. Yol daresi yayını Alverk 95 göre sıcak karıma asfalt üretimi için karıma sıcaklıkları	47
Tablo 4.4. Yol daresi yayını Alverk 95 göre ilk yerle tirmeye başlanmadan önce sıcak karıma asfalt sıcaklıkları	48
Tablo 4.5. Test kesimlerinin BSK kontrol bölümleriyle karşılaştırılması	53
Tablo 4.6. Güncel tasarım uygulamaları özeti	61

S İMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials Devlet Yolu ve Ulaştırma Görevlileri Amerikan Derneği
AFM	Atomic Force Microscopy - Atomik Kuvvet Mikroskobu
APA	Asphalt Pavement Analyser - Asfalt Kaplama Analizör
ASTM	American Society for Testing and Materials. Amerikan Test ve Materyal Topluluğu
BASt	Bundesanstalt für Straßenwesen Alman Federal Otoyol Araştırma Enstitüsü
BBR	The Bending Beam Rheometer - İnin Bükme Reometre
BSK	Bitümlü Sıcak Karıım
BSM	Benzene Soluble Matter - Benzen Çözünabilir Madde
CE	Conformité Européenne - Avrupa Uygunluk
CEN	European Committees for Standardization Avrupa Standardizasyon Komitesi
DSR	Dynamic Shear Rheometer - Dinamik Kayma Reometre
EN	European Standards - Avrupa Standartları
FGSV	Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen Yol ve Taşıma Araştırma Enstitüsü
FHWA	Federal Highway Administration - Federal Karayolları Dairesi
FT	Fischer-Tropsch
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung - Limited Şirket
GPC	Gel Permeation Chromatography - Jel Geçirgenlik Kromatografisi
HP-GPC	High-Pressure Gel Permeation Chromatography Yüksek Basıncılı Jel Geçirgenlik Kromatografisi
HRB	High RAP Base - Yüksek oranda RAP
HRS	High RAP Surface – Karıım yüzeyindeki yüksek oranda RAP
Hz	Hertz
IKA	Ilık Karıım Asfalt
ISO	International Organization for Standardization Uluslararası Standardizasyon Örgütü
ITS	Indirect Tensile Strength - Dolaylı Çekme Dayanımı
kPa	Kilopaskal
LCPC	Laboratoire Central des Ponts et Chaussées Köprü ve Yollar Merkez Laboratuvarı
LEA	Low Energy Asphalts - Düşük Enerjili Asfalt
LMS	Large Molecular Size - Büyük Moleküler Boyutu
MLPC	Matériels des Laboratoires des Ponts et Chaussées Yollar ve Köprüler Malzeme Laboratuvarı

MMS	Medium Molecular Size - Orta Moleküler Boyutu
NCAT	North Carolina A&T
NIOSH	National Institute for Occupational Safety and Health Amerika i sa lı ı ve güvenli i ulusal enstitüsü
nm	Nanometre
NMAS	Nominal Maximum Aggregate Size - Nominal Maximum Agregat Boyutu
NMW	Norddeutsche Mischwerke - Kuzey Alman karı ım tesisleri
NPRA	Norwegian Public Roads Administration - Norveç Kamu Yolları dairesi
PAC	Polycyclic Aromatic Compounds - Polisiklik Aromatik Bile ikler
PARC	Petersen Asphalt Research Conference Petersen Asfalt Ara tırma Konferansı
RAP	Recycled Asphalt - Geri Dönü ümlü Asfalt
RS	Regular Screening - Düzenli Tarama
RTFO	Rolling Thin-Film Oven - Döner nce Film Fırın
RTS	Roads and Trials with Sasobit - Sasobitli Yollar ve Denemeler
SBS	Stiren Bütadien Stiren
SGS	Shell Global Solutions
STOA	Short-Term Oven Aging - Kısa Vadeli Fırında Ya lanma
SV	Semi-Volatiles
TBA	The Bitumen Additive - Bitüm Katkı
THF	Tetrahydrofuran
TMA	Ta mastik asfalt
TPM	Total Particulate Matter - Toplam Partikül Madde
TSR	Tensile Strength Ratio - Çekme Dayanımı Oranı
TWA	Time-Weighted Average - Zaman A ırlıklı Ortalama
VFA	Voids Filled with Asphalt – Asfalt ile Dolu Bo luk Oranı
VMA	Voids in Mineral Aggregate - Mineral Agregada Bo luklar
WAM	Warm Asphalt Mix - Ilık Asfalt Karı ım
YOGT	Yıllık Ortalama Günlük Trafik

1. G R

Çevresel farkındalık son yıllarda hızlıca artmaktadır. Avrupa Birliği tarafından uygulanmakta olan Kyoto protokolü ile hava kirliliğini azaltma hedefleri gibi yaygın ölçümler bu yöndeki çabaları cesaretlendirmektedir. Avrupa'da ilk olarak ortaya çıkan ve yeni bir kaplama teknolojisi olan Ilık Karı ım Asfalt (IKA) bu çabalardan biridir (Kristjansdottir, 2006).

Asfalttaki ısıyı düürme tartıması yeni ortaya çıkmamıtır. Enerjinin korunması ve emülsiyonun düürülmesi fikri üzerine uzun yıllardır tartılmıtır.

1956' da, Prof. Dr. Ladis H. Csanyi tarafından Iowa Eyalet Üniversitesi'nde köpük bitümün ba layıcı olarak kullanılma potansiyeli araştırılmıtır. O zamandan beri köpük teknolojisiyle düük sıcaklıkta karı tırma sa lanmı ve birçok ehirde kullanılmıtır. 1968' de Avusturalya Mobil Ya , Csanyi' nin bulunun paten haklarını satın almıtır. Sıcak karı ımdaki bitüm içerisine so uk su yerine buhar konularak yeni bir prosedür olu turulmu tur. Daha sonra, bitüm köpük süreci daha da geli erek pratik hale getirilmıtır. 1994 yılında Maccarone' de köpük bitüm kullanımına dayalı so uk karı ım asfalt geli meleri incelenmi ve çok yüksek emülsiyon içeren ba layıcı madde geli tirilmıtır. Yol yapımında daha fazla kabul görececek ekilde so uk karı ım kullanımı dünya çapında tanıtılmıtır. Bu tür sistemlerle enerji tasarrufu sa lamıtır. Çevre dostu olmu tur. So uk karı ımlar özellikle hidrokarbon yaymamı ve üretimde daha az yakıt tüketmi tir. Ba langıç dayanımı oldukça iyi olan so uk karı ımlar sıcak karı ımlara göre uzun vadede iyi bir performans gösterememi tir (Kristjansdottir, 2006).

1999' da Jenkins vd. bitümü yarı ılık köpükle karı tırarak yeni bir süreç ortaya çıkarmılardır. Bu hususlar ayrıntısıyla araştırılmı ve 100 °C altında bitümün köpüklenmesi için agreganın ısıtılmasının faydalı oldu u görülmü tür (Kristjansdottir, 2006).

Ilık Karı ım Asfalt süreci Avrupa' da 2000 yılında Sydney' deki ulusal asfalt kaplama konferansında Harrison ve Christodulaki tarafından sunulmu tur. Yenilenen ılık karı ım tamamlanma sürecine kadar laboratuvarında test edilmi ve büyük ölçekli saha denemelerinde denenmi tir (Norveç, ngiltere ve Hollanda' da). Çalı malar sonucunda Ilık Karı ım Asfalt (IKA) köpük kullanılarak ılık asfalt karı ımı geli tirilmi tir.

Barthel vd. 2004' de yapılan Eurobitüm kongresinde, ılık karı ım asfalt üretiminde sentetik zeolit katkısının kullanılmasını tanıtmı tir. Zeolit olu umu köpü ün bitümde hareket kolaylı ı ve bunun sonucunda yüksek i lenebilirlik sa lamı tir.

Ilık karı ım 2000' li yıllarda Avrupa' da ve Avusturalya' da çok ilgi görmü tür. 5 yıl sonra kaplamada kuzey Amerika ılık karı ıma bazı özellikler eklemi ve 2005 Haziranında Asfalt Teknolojisi Ulusal Merkezi ılık karı ımlı asfaltta sasobit, sentetik mum, Aspha-min, sentetik zeolit kullanılması hakkında iki rapor yayınlamı tir. ki rapor sonucunda ılık asfalt alanında birkaç yeni süreç ve ürün geli tirilmi tir.

Geleneksel bitümlü sıcak karı ım (BSK) genellikle 140 ila 180 °C (284 ila 356 °F) arasında üretilir ve 80 ila 160 °C (175 ila 320 °F) arasında sıkı tırılır. Bu sıcaklı ın; asfalt çimentosu ba layıcı ve böylece sıkı tırma viskozitesi üzerinde do rudan etkisi olur. Sıcak karı ım asfalt sıcaklı ı azaldı nda, asfalt çimento ba layıcısı viskoza ve deformasyona kar ı dayanıklı hale gelir. Sonunda ise hava bo luklarındaki azalmayı sa lamak için asfalt ba layıcı madde yeterince sertle ir.

IKA sürecinin hedefi, yüksek sıcaklıkları azaltarak geleneksel asfalt karı ımlarından yeni ürünler üretmektir. Faydaları, BSK sıcaklı ından daha dü ük sıcaklıkta malzeme üreterek enerji tüketiminde azalma, emülsiyonu azaltarak kaplama bölgesi için malzeme olu turmaktır. Avrupa'da IKA üretmek için öncelikli olarak u teknolojilerden yararlanılmı tir (NCAT, 2005; Koenders vd., 2000):

1. Aspha-min Zeolite: Malzeme karı ım sırasında eklenen sentetik zeolit ba layıcı maddede köpük etkisi olu turur.
2. Sasobit Balmumu: Karı tırma sırasında malzemeye karı ımının viskozitesini azaltmak için Fischer - Tropsch parafin balmumu eklenmesinden olu ur.
3. Di er Metotlar: Dü ük molekül a ırlıklı balmumu esterlenerek (Esterler genel olarak karbon asitlerinden elde edilmektedirler. Burada karbon asitlerinde bulunan –OH grubu (alkol) bir –OR grubuyla yer de i tirmesi sonucunda olu maktadır. Esterle me tepkimelerin gerçekte mesi için ısının yanı sıra katalizör olarak genellikle sülfürik asit ve hidroklorik asit kullanılmaktadır.) Asphaltan B ve Evotherm gibi katkı maddeleri içeren çe itli kimya paketlerinden olu ur.

Bu bölümde ılık asfalt karı ım kavramı ve farklı geli tirme süreçleri ele alınmı tır. Bu çalı manın ikinci bölümünde ılık asfalt konusunda yapılmı çalı malar özetlenmi tir. Materyal ve Yöntem bölümünün materyal kısmında İKA köpük, aspha-min zeolit ve sasobit balmumunun asfalt malzemelerde karı ımı, alanda uygulanması, laboratuvar çalı maları kısaca özetlenmi yöntem kısmındaysa ba layıcı madde analizi, sıkı tırma durumu çalı ması, oksidatif ya lanma analizi, karı ım performans analizi verilmi tir. Dünyadaki ılık Asfalt Uygulamaları bölümünde, Avrupa ve Amerika' da uygulanması tartı ılımlı Türkiye' de uygulanabilirli i ölçülmü tür. Sonuçlar ve Öneriler bölümünde ise, çalı ma sonucunda elde edilen bulgular ve gelece e dönük öneriler verilmi tir.

2. L TERATÜR TARAMASI

Koenders vd. (2002), geleneksel Sıcak Karı ım Asphalt (BSK) sıcaklı ından daha dü ük sıcaklıkta malzeme üretmek, enerji tüketimi, koku ve dumanı azaltan ılık Karı ım Asphalt (IKA) malzemesi olu turma konusunda çalı mı lardır. Çalı ma özellikle köpüklü IKA üzerinde yo unla mı tır.

Russel ve Batchelor (2004), atomik kuvvet mikroskopuyla ılık karı ım malzeme yüzeyinin taranmasını incelemi lerdir. Bu mikroskoptan çıkan lazer ı nı bir foto raf dedektörü gibi yüzey üzerinde gezinmi tir. AFM (Atomik Kuvvet Mikroskobu) yazılımıyla yüzeyin taranması tamamlanmı ve görüntüleri kaydedilmi tir.

Barthel vd. (2005), sodyum alüminyum silikattan üretilen Aspha-min Zeolit' in suyla temas halinde karı ıma eklenme sürecini, laboratuar ortamında filler ve di er malzemelerle etkile imini incelemi lerdir.

Hurley (2005), Sasobit balmumunu eritme yöntemiyle karı ıma ekleme sürecini ara tırmı hava bo luklarının di er katkılara göre daha da azaldı nı ke fetmi tir. Laboratuar ortamında filler ve di er malzemelerle etkile imini incelemi tir.

Johannesson (2005), zlanda' da bulunan Reykjavik ve Akureyri adında iki bölge için sıcaklık ve aylık ya ı miktarını hesaplamı tır. Bu hesaplamalarda u i lemler takip edilmi tir:

- Agregalar 160 ile 180°C arasında kurutulmu tur.
- Toz ve partiküller egzoz hava filtresiyle filtrelenmi ve daha sonra asfalt ile karı tırılmı tır.
- Mazot ya da fuel-oil kurutma i leminde yakıt olarak kullanılmı tır.
- 50 ile 160 ° C arasında ısıtılan bitüm daha sonra agrega ile karı tırılmı ve sonunda karı ım silolara ta ınmı tır.
- 150 ile 160 °C arasında kamyonlara yüklenene kadar bekletilmi tir.

Johannesson vd. (2005), zlanda' da ılık karı ım ile sıcak karı ım uygulaması arasındaki de i imleri incelemi lerdir. Raporda ömür döngü maliyetlerine göre, ülkede kullanılan farklı kaplama türleri bazı bilgi ve kar ıla tırmaları verilmi tir. Fizibilite çalı ması sonuçlarında ılık karı ım asfaltın sıcak karı ımdan daha az maliyetli bir seçenek oldu u görülmü tür.

Gandhi ve Amirkhanian (2007), ba layıcı madde içine IKA katkı eklenmesinde iki tip süreç kullanımı ve örnek hazırlama i lemini tamamlamı tir. İlk a amada elle harmanlanımı Aspha-min® katkısını incelenmi tir. İkinci a amada ise mekanik karı tırma ile Sasobit® katkısını incelenmi tir.

Sines vd. (2007), yapılan ara tırmalarda IKA' nın BSK' ya e it ya da daha iyi bir performans sağladı ı hususunda genel bir fikir birli ine varmı lardır. Ara tırma ekibi Avrupa IKA kaplama çalı malarının görüntüleme ve veri toplama performansı ile da ilgilenmi tir.

Lee vd. (2009), ba layıcı maddenin analizini yapımı , sıkı tırma durum çalı masıyla BSK ve IKA karı ımlar arasında farklı hacimsel özellikleri tespit etmi , hacimsel özelliklere göre Jel geçirgenlik kromatografisi (GPC) kullanarak IKA teknolojileri ile yapılan styrene butadiene styrene (SBS) modifiyeli asfalt karı ımların oksidatif ya lanma etkilerini ara tırmı lardır.

Sanchez vd. (2010), dü ük sıcaklıkta karı ım üretmek için kimyasal ve organik gibi farklı katkıları, köpükleme için ise zeolit katkısını kullanarak malzemenin performansını gözlemlemi lerdir. Üretim ve sıkı tırma özelliğinin tespit edilmesi için yedi farklı karı ım ele alınımı tir. Sertlik gibi mekanik özellikler sarmal olarak dönen sıkı tırıcıda tespit edilmi tir. Sonuçta sıcaklı ın dü tü ü, daha az sıkı tırma enerjisiyle sıkı tırıldı ı ve neme kar ı hassasiyetinin arttı ı gözlemlenmi tir.

Silva vd. (2010), yol yapımında çevre dostu IKA üretmek için sentetik parafin katkı maddeleri kullanımı lardır. Bu katkı maddeleri üretim ve yerle tirme sıcaklı ını dü ürerek dü ük enerjili asfalt karı ım üretimini kolayla tırmı tir.

Kim vd. (2011), yaygın olarak kullanılan iki IKA yaklaşımını (köpük ve emülsiyon teknolojisi) ele alınarak saha denemesi ve laboratuvar çalışması yapmışlardır. Kaplama sırasında toplanan numuneler çeşitli deneysel değerlendirme için laboratuvara taşınmıştır. Laboratuvar test sonuçlarında IKA karışımların BSK'ya göre neme daha fazla duyarlı olduğu tespit edilmiştir. Buna rağmen güç oranı ve kritik kırılma oranı dahil olmak üzere birden fazla nem hasarı parametreleri aynı çıkmıştır.

Rubio vd. (2011), ulaşım altyapılarının inşaatı sırasında kirliliğin nedenlerinden biri olan atmosfere sera gazı salınımını incelemiştir. IKA teknolojisinin BSK'ya göre 20-40 °C gibi daha düşük sıcaklıklarda asfalt üretmek çevre için yararlı olduğu tespit edilmiştir. Sıcaklığın azalmasıyla organik katkı maddeleri, kimyasal katkı maddeleri ve su bazlı köpük gibi birçok teknoloji kullanımı geliştirilmiştir. Hepsinin aynı hedefi takip etmesine rağmen üretim süreçleri farklı olmuştur. Böylece ana hedef karışım ikenenebilirliği geliştirerek ve daha az emülsiyonlu üretim yapılarak bitüm viskozitesini azaltmak olmuştur.

Capitão vd. (2012), IKA hizmet performansını düşürmeden enerji tasarrufu ve üretim süresi boyunca emülsiyonun azalmasını hedefleyerek araştırma yapmışlardır. Bu amaçla çeşitli balmumu katkı maddeleri, kimyasal katkı maddeleri ve köpük teknikleri kullanmışlardır. Oluşturulan malzemeleri, karışım dizaynı ve mekanik performansı gözden geçirilip avantaj ve dezavantaj tablosu çıkarılmıştır.

Hamzah vd. (2012), sasobit içeren IKA teknolojilerinin yük, ekildekiler ve zaman faktörü altında davranışlarını incelemiştir. Laboratuvarda elde edilen bulgular ve saha denemeleri değerlendirilmiştir. Aynı zamanda ömür döngüsü de değerlendirmesi, sasobitli karışımın enerji tasarrufu potansiyeli ve sera gazı emülsiyonunda azalma potansiyeli incelenmiştir.

Zhao ve Guo (2012), Sasobitli IKA'nın ikenenebilirliğini de değerlendirmek için ikenenebilirlik test aracı kullanmıştır. İlk olarak asfalt harçla fizibilite çalışması yapılmıştır. Ardından IKA ikenenebilirliği farklı sıcaklık, frekansta saptanması ve

sıcak karı ımla kar ıla tırılmı tır. Sonuç olarak Sasobitli IKA' nın karı ım sıcaklı ını 30 ° C' ye dü ürdü ü ve sıcak karı ımla aynı i lenebilirli e sahip oldu u kanısına varılmı tır.

engöz vd. (2013), do al zeolit ve di er IKA katkılarını (organik, kimyasal ve sentetik zeolit) kar ıla tırmı lardır. Örnekler 50/70 penetrasyonlu bitümle IKA katkıları karı tırılarak üretilmi tir. Örneklerin temel ve yük, ekil de i tirme ve zaman faktörü altındaki davranı ları geleneksel test yöntemleri ve dinamik kayma reometresiyle tespit edilmi tir.

engöz ve Oylumluoglu (2013), farklı yüzdelerde RAP ve B50/70 penetrasyonlu bitüm ile hazırlanan üç farklı IKA katkı maddesi incelemi tir. B50/70 bitümle hazırlanan IKA katkı ile birlikte uygun RAP içeri i belirlenmi tir. RAP' lı IKA ve RAP' sız IKA mekanik özellikleri tespit edilerek kar ıla tırılmı tır.

Toraldo vd. (2013), IKA katkıları olan yapay mumun asfalta etkilerini labaratuar ortamında incelemi lerdir. nceleme Politecnico di Milano Yol Ara tırma Laboratuvarı'nda yapılmı tır. Çalışma iki ayrı amada yapılmı tır: (i) sıkı tırma ve hacim parametreleri bulunuu (ii) farklı asfalt karı ımların mekanik performanslarının de erlendirilmesi. Sonuçlarda balmumu içeren karı ımların dü ük sıcaklıklarda sertle ti i ve BSK' ya göre daha fazla deformasyona kar ı direncinin oldu u görülmü tür.

3. ILIK KARI IM ASFALT

3.1. Materyal

3.1.1. IKA Katkıları

3.1.1.1. IKA Köpük

IKA Köpük (ılık asfalt karı m köpü ü) patenti Shell Global Solutions ve Kolo Veidekke tarafından ortakla a Norveç' te geli tirilmi tir. IKA köpük üretim sürecinde, iki farklı bitüm (yumu ak ve sert bitüm) mineral agregayla birle tirilmi tir. Bu süreç karı m sürecinde 100 ila 120 °C (212 ila 248 °F) arasında, sıkı ma halindeyse 80 ila 110 °C (176 ila 194 °F) arasında olmu tur (Koenders vd., 2000).

IKA köpük eklenen asfalt malzemede ön kaplama ve sonrasında köpüklü bitüm olu ması için ilk olarak mineral agregayla yumu ak bitüm karı tırılmı tir. kinci adımda 100 °C' den daha az sıcaklıkta sert bitüm eklenmi tir (Larsen vd., 2004).

Yumu ak bitümün agregayla kaplanabilmesi için 100 °C (212 °F)' den dü ük sıcaklık seçilmi tir. Sert bitüm ise köpük ekinde eklenmi ve 25 °C (77 °F) (Koenders vd., 2000) 1 ve 10 mm arasında de i en alan büyüklüklerinde kademeli olarak karı m içine i lenmi tir (Larsen vd., 2004).

Yumu ak bitüm içinde sert bitümün erime oranı önemlidir. Çünkü bu, karı mın i lenebilirli ini, ilk ba layıcı bile imini ve özelliklerini belirler. Bunun arkasındaki dü ünçe ise kaplama sırasında iyi i lenebilirlik için iyi bir bitüm da ılımı elde etmektir (Koenders vd., 2002).

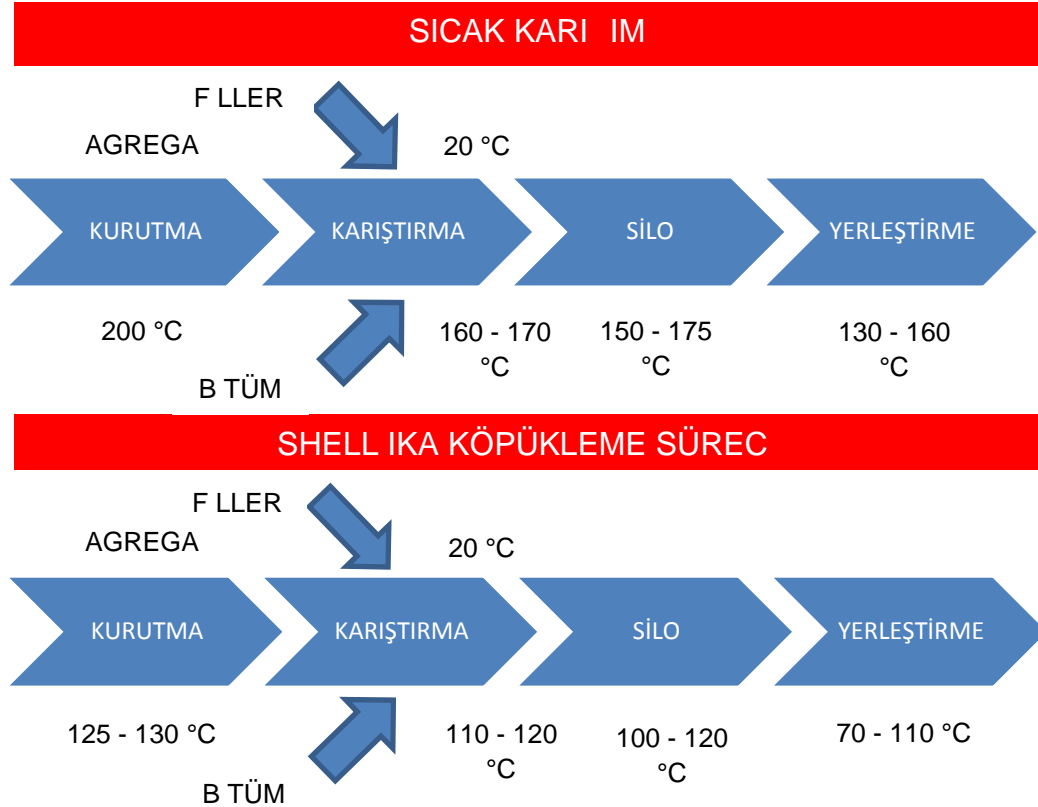
Köpüklü bitüm, sıcak bitüm içine % 1 ila %5 arasında bir oranda so uk suyla birlikte enjekte edilerek üretilir. Sıcak bitüme su temas etti inde, su buhara dönü ür ve ortaya büyük bir ses çıkarak köpük zamanla yava yava çöker.

Sonrasında ses yayılır ve bitüm asfalt karı ımla kaplanmı agregada e it da ılır (Koenders vd., 2002).

3.1.1.1.1. Asfalt Malzemesi

Dü ük sıcaklıkta asfaltlama i lemleri ile ilgili numaralandırılmı silolardan köpük yükselmesiyle agrega nemle birle mi tir. Ardından kurutma çalı ması için sıcaklık 120-130 °C (248-266 °F)' ye çıkarılmı tir. Bu sayede yakma ve toz toplama sistemlerinde sorun çıkmamı tir.

Karı tırcıda köpürme ve iyi bir emi için karı tırcıya basınçlı sistem kurulmu tur. Bitüm özel ba lık içinde karı tırcıya girmeden hemen önce su enjekte edilerek karı ıma eklenmi tir. Köpük enjektesi kesintili bir ekilde yapılmamı tir. Ayrıca bir hava tüfe i her köpük enjeksiyon sonrası köpük haznesi ve borularını temizlemek için kullanılmı tir (Larsen vd., 2004).



ekil 3.1. BSK ile İKA sıcaklık kar ıla tırması

3.1.1.1.2. Laboratuvar Çalışmaları

2002 yılında Koenders ve arkadaşları tarafından İKA ve geleneksel BSK karı ile tırılarak bir laboratuvar çalışması yapılmıştır. Bu çalışmada, tipik yoğun kademeli karı mlarında Norveç Agb11 ve Hollanda DAC0/11 karı mları kullanılmıştır. Sonuçları ise aşağıda özetlenmiştir:

- Kompaksiyon derecesi (% hava boşlukları) yoğun malı sıkı tırıcıda (gyrotary compactor) ölçülmü ve ılık karı mındaki % hava boşlukları sıcak karı mına göre daha fazla çıkmıştır.
- Kalıcı deformasyon Nottingham Asphalt Test cihazında test edilmiştir. Test sonucunda, aksenal gerilme (%) her iki tip asphalt karı mında da eşit performans benzerlikleri göstermiştir.
- Karı mında yapı malı performansını belirlemek için aşınma testi kullanılmıştır. Numuneler 24 saat suda batırıldıktan sonra yüzeylerinde çelik toplar hızlı hareket ettirilmiştir. Sonuçlarda İKA köpük karı mlarının sıcak karı mılara göre aşınma değerleri çok az farklı çıkmıştır (Koenders vd., 2002).

3.1.1.1.3. Arazi Denemeleri

İlk İKA köpük arazi denemesi Mayıs 1999'da Norveç'te gerçekleştirilmiştir. Midland kaplayıcısı kullanılarak karı m köpükle kaplanmıştır. Tüm kaplama işlemi sert hava koşullarında hatta kar yağışına rağmen tatmin edici sonuçlar ile gerçekleştirilmiştir. İkinci İKA köpük deneme testi ise Norveç'te Oslo'ya yakın bir yerde Mayıs 2000'de uygulanmıştır (Larsen vd., 2004).

İlk büyük ölçekli yol denemesi Hobal-Norveç Eylül 2000'de ana yol RV120'de aynı şekilde gerçekleştirilmiştir. Karı m yoğun asphalt beton Ab11 ile 85 penetrasyonlu kaplayıcıdan oluşumu ve bir asphalt tesisi içinde üretilmiştir. Boşluk içeriği köpük eklenmesi sırasında ölçülmü ve sonuçta BSK ile aynı oranda çıkmıştır. Tekerlek izi, düzgünlük ve yüzey dokusu yılda iki kez ölçülmü ve ölçümler 2000'den 2003'e kadar yıl yıl takip edilmiştir. Ilık ve sıcak karı mlar için benzer sonuçlar görülmüştür. Norveç'te arabaların

tekerlek izi olu ma yüzdesinin %60' a yakınının kı döneminde oldu u gözlenmi tir (Larsen vd.,2004).

Nisan 2001 Norveç' te FV82 yolunun bir bölümünde yo un asphalt beton ba layıcı maddeyle kaplanmı tır. Sıcak karı ımda bo luk içeri i oranı biraz yüksek bulunmu tur. Tekerlek izi derinlik ölçümlerinde 2000' den 2003' e ılık ve sıcak karı ımlar için tekerlek iz derinlikleri çok yakın özellikler göstermi tir. Düzgünsüzlük ölçümleri (Uluslararası Düzgünsüzlük ndeksi, IRI tarafından ölçülen) 2001-2003 arasında ılık ve sıcak karı ımlar için çok yakın sonuçlar vermi tir. Ortalama profil derinli i, patinaj direnci de erlendirmek için kullanılmı ve tüm sonuçlar kayma direnci sınırları içinde bulunmu tur.

Ba ka bir deneme 2001 yılında ngiltere'de yapılmı tır. ılık asphalt karı ım ile sıcak karı ım dokusunun rijitlik modülü benzer çıkmı tır. Yo unluk ölçümleri istatistiksel yo unlukla aynı özellik göstermi tir. Bu üç yerdeki denemeler Tablo 3.1'de de erlendirilmi tir.

Tablo 3.1. İKA köpük alan çalı maların bir özet tablosu

YER	RV120, NORVEÇ	FV82, NORVEÇ	NG LTERE
TAR H	EYLÜL 2000	2001	N SAN 2001
KARI İM T P	Yo un asphalt betonu Ab11 ile birlikte 85 penetrasyonlu ba layıcı	Yo un asphalt betonu WAgb 11 ile birlikte 180 penetrasyonlu ba layıcı	20 mm.lik (0,78 inç) 40/60 penetrasyonlu bitüm
HAVA BO LUKLARI [%] (İKA KÖPÜK DÜZENL L NE GÖRE)	Özde ortalama % 3.9	ılık karı ım için biraz daha yüksek	-
TEKERLEK Z (İKA KÖPÜK DÜZENL L E GÖRE)	ılık karı ım için dü ük	ılık karı ım için yüksek	-

3.1.1.1.4. Çevresel Faydaları

Köpükleme sürecinde, karbondioksit emülsiyonu ve bitümden çıkan duman miktarı BSK' ya göre yarıya inmiştir (SGS, 2005).

IKA köpük üzerinde Shell ve Kolo Veidekke birlikte çalı arak asfalt üretim malzemesinde emülsiyonu ölçümü ve sıcak karı ım üretimiyle kar ıla tırımı tır. Duman emülsiyonları Toplam Partikül Madde (TPM) adı altında hem organik hem de inorganik ekinde, Benzen Çözünebilir Madde (BSM) organik ekinde belirlenmiştir. Ham petrol kaynaklı Polisikrik Aromatik Bile ik (PAC) de erleri de ayrıca belirlenmiştir. Bunlardan bazı bile iklerin tahri edici ve kanserojen özelliklere sahip olduğu üphesine varılmıştır. PAC' ın gaz fazı bu üphe içinde yer almı ve Yarı Uçucu Madde (Semi-Volatiles- SV) olarak adlandırılmıştır. Tablo 3.2.' de bu ölçüm sonuçları gösterilmiştir (de Groot, 2001).

Tablo 3.2. IKA köpük üretimi emülsiyon ölçüm sonuçları ve düzenli BSK üretimi

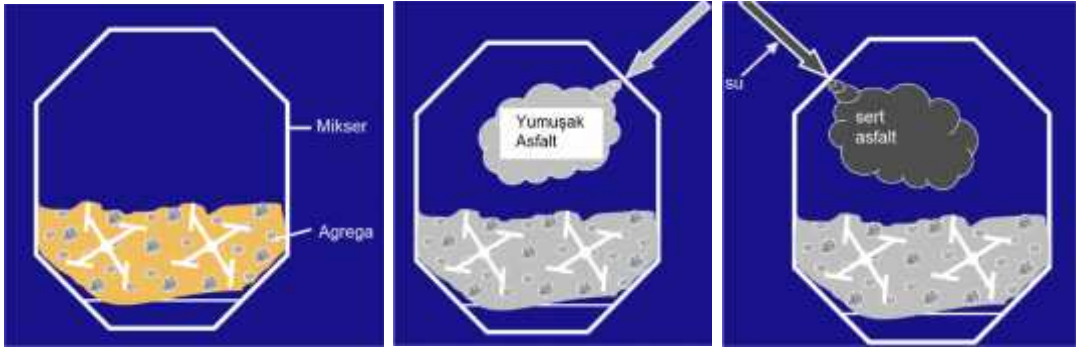
	KARIM SICAKLI I [°C (°F)]	BSM EMÜLS YON [mg/m ³]	PAC EMÜLS YON [ng/m ³]	TPM EMÜLS YON [mg/m ³]
BSK ÜRETİM	165 (329)	0.2 ve 0.5	38 ve 119	1.2 ve 0.93
IKA KÖPÜK ÜRETİM	115 (239)	0.05 (0,05 mg/m ³ altında algılama seviyesi)	4.9 ve 2.5 (zemin örneklerindeki benzer özellikte)	0.09

Norveç' te IKA köpük üretiminde (% 15 geri dönüşümlü asfalt karı ımı kullanılarak) yakıt tüketimi ve gaz/toz emülsiyonları ölçümüyle u sonuçlar ortaya çıkmıştır (Larsen vd., 2004):

- dizel tüketiminde % 40 azalma;
- CO₂ emülsiyonlarında % 31 azalma;
- CO emülsiyonlarında % 29 azalma;
- NO_x emülsiyonlarının % 62 azalma.

3.1.1.1.5. İKA Köpük  zeti

İKA köpük 100 ila 120  C' de (212 ila 248  F)  retilmi ve 80 ila 110  C' de (176 ila 230  F) sıkı tırılmı tır. İKA köpük asfalt malzemeyle karı tırılırken ilk olarak yumu ak bitüm mineral agregayla karı tırılmı tır. kinci adımdaysa sert bitüm olarak adlandırılan köpük kademeli olarak karı ıma eklenmi tir (ekil 3.2). Bu prosedürle, bitüm iyi da ılmı ve kaplama boyunca iyi i lenebilirlik elde edilmi tir. Köpük yo un karı ımlarda fazla kullanılmı ama açık kademeli ve bo luk kademeli karı ımlarda e it kullanılmı tır.



ekil 3.2. İlık Karı ım Asfalt süreci

Köpükler iyi bir basınçlı emi sistemiyle köpürerek mikserde birikir. Mikserde biriken köpük özel bir memeli boru sisteminde ilerlerken su enjekte edilerek bitüm içine yerle tirilir. Bu esnada bir sonraki k p klemeye girmeden hemen önce bir hava tüfe i her köpük enjeksiyon sonrası köpük haznesi ve boruları temizlemede kullanılır. Bu uygulama, malzeme üretimindeki hatayı giderir.

Laboratuvar  alı malarında BSK ve İKA ile yapılan alan denemelerinden elde edilen raporlarda hava bo lukları yüzdesi, tekerlek izi derinlikleri, düzgünsüzlük, yüzey dokusu, kayma direnci, sertlik modülü ve yorulma benzer özellik göstermi tir. İk alan denemesi 1999 Mayıs ayında Norveç'te yapılmı tır. Bazı kaplamalar so uk havalarda d k lm  tür ve birkaç yıl kaplama performansı takip edilmi tir. BSM (Benzen  z n r Madde) ve PAC (polisiklik aromatik bile ikler) emülsiyonlarında enerji tüketimi ölümleri %30

ila %40 arasında azalmı ve emülsiyon ölçümleri %30 ila %90 arasında azalmı , NOx' de en iyi azalı görülmü tür.

3.1.1.2. Aspha-Min Zeolit

Aspha-min zeolit, Eurovia GmbH irketi tarafından Almanya' da üretilmi tir. Hidro-termal kristal kayna ından çıkan sodyum-alüminyum silikattan imal edilmi tir. A ırlı ının yakla ık %21' i su içerir ve sıcaklık aralı ı 8-180 °C (185-360 °F) arasında çıkmı tır. Asfalt karı ımı elde ederken karı ıma kütlece %0.3 oranında Aspha-min eklenmi tir. Ekleme esnasında sıcaklık 30 °C' ye (54 °F) kadar dü mü tür.

Aspha-min karı ıma eklenirken aynı zamanda su da enjekte edilmi tir. Ekleme esnasında ses ortaya çıkmı ve sesin kesilmesiyle dü ük sıcaklıktaki İKA karı ım elde edilmi tir. İlenebilirlik kolayla mı tır.

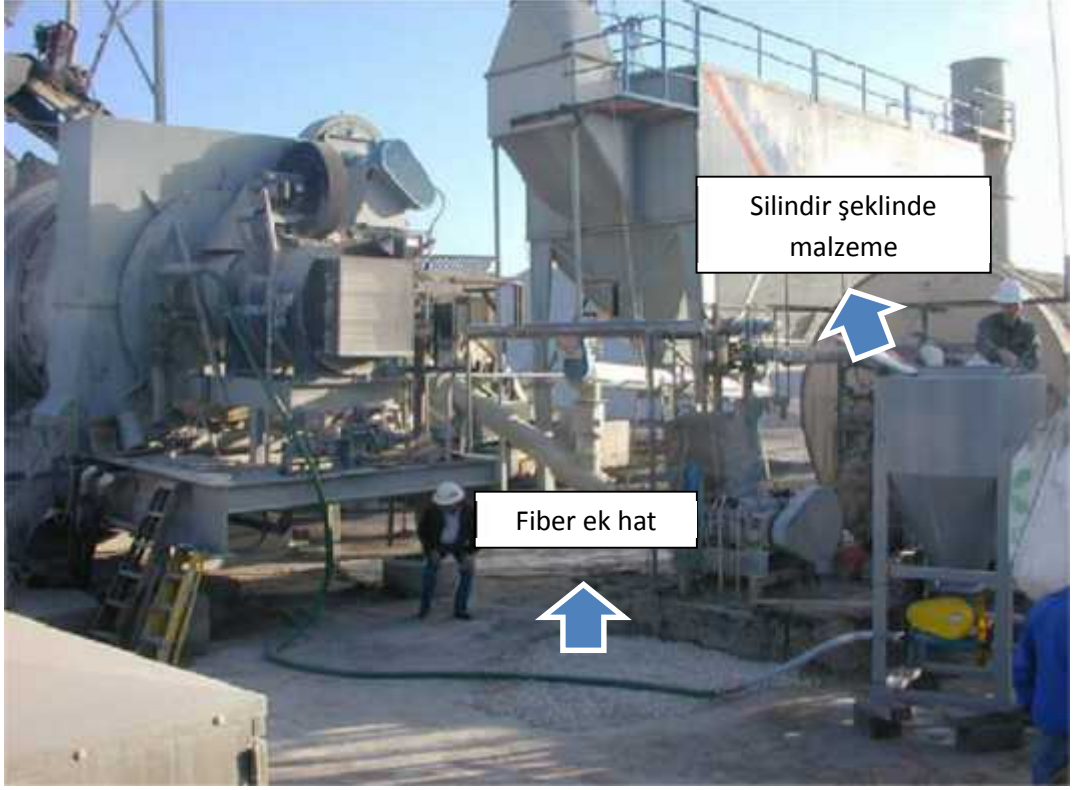
Eurovia, polimer bitüm modifiye ve geri dönü ümlü asfaltı (RAP) ılık karı ım sürecinde kullanmı tır. Ayrıca, normal mineral agrega ve filler kullanılmı tır. Bu nedenle normal karı ım dizaynına eklemelere gerek duyulmamı tır. Karı tırma sürecine ek olarak özel cihazlarla liflerin belirli türleri eklenmi tir. Bu i lemlerle yapılmak istenen karı ımın karı tırma süresini kısaltmaktır (Barthel vd., 2005).

3.1.1.2.1. Asfalt Malzeme

Zeolit, asfalt tesisi içinde RAP kuyusunda veya pnömatik besleyicide eklenmi tir. Daha sonrasında Aspha-min ekleme cihazları geli tirilmi ve bu özel besleyicilere gerek kalmamı tır.

NCAT' in yaptı ı yol deneyinde, silindir ekindeki malzeme zeolit eklemesi için kullanılmı tır. Bu esnada besleyici vanaları aynı anda çalı tırılmı ve sonrasında pnömatik silindir malzeme içine asfalt çimentoyla aynı noktada zeolit eklenmi tir (Hurley vd., 2005). ekil 3.3' de silindir ekindeki

malzemede Aspha-Min zeolite eklenmesi için gereken fiber ek hat gösterilmi tir.



ekil 3.3. Silindir ekindeki malzeme ve fiber ek hat

3.1.1.2.2. Laboratuvar alı maları

ABD' de Ulusal Asfalt Teknoloji Merkezi (NCAT) tarafından yapılan laboratuvar çalı masında tipik kaplama yöntemlerinde Aspha-min zeolit uygulanabilirli i belirlenmi ve buna uygun çevre ko ulları bulunmu tur. ki agrega tipi olan granit ve kalker, iki ba layıcı sınıfından PG 64-22 ve PG 58-28 karı m hazırlanması için kullanılmı tir. Titreimli kompaktörlerde sıkı tırma esnasında karı mların belirli bir ısı aralı nda kaldı ı tespit edilmi tir. Bu sıcaklık aralıkları u ekinde sıralanmı tir: karı tırma sıcaklıkları 149 °C, 129 °C, 110 °C ve 88 °C (300 °F, 265 °F, 230 °F ve 190 °F) , sıkı tırma sıcaklı ı yakla ık 19 °C (35 °F).

Bu çalı madan elde edilen ana sonuçlar unlardır (Hurley vd., 2005):

- Aspha-min hava bo lukları yo urnalı kompaktör kullanılarak dü ürülmü tür. Ilık karı ımda ayrı ayrı kullanılan PG 64-22 ile PG 58-28 ba layıcı maddelerinin hemen hemen aynı hava bo luk düzeyine sahip oldu u gözlenmi tir.
- Zeolit ilavesiyle tüm ba layıcı karı ım a amasında kontrol edilmi tir. Her kontrolde sıkı tırılabilirli in daha da kolayla tı ı görülmü tür (sert ba layıcılarda da sıkı tırılabilirlik kolayla mı tır, Örn: PG 64-22 sert ba layıcısında oldu u gibi). Sonuçta %0.65' in üzerinde hava bo lu u azalmı 88°C (190 °F) gibi dü ük sıcaklıkta sıkı ma gerçekte mi tir.
- Zeolit ilavesi esneklik modülünü etkilememi tir. Ama esneklik modülü sıkı tırma sıcaklıklarıyla azalmı ve hava bo luklarıyla artmı tır.
- Zeolit eklemek karı ımın tekerlek izi potansiyelini etkilememi tir. z derinlikleri sıcaklıkların azalmasıyla artmı tır.
- Ilık asfalt üretilirken dü ük sıcaklıkta karı tırma ve sıkı tırma Aspha-min' deki nem dayanımını yükseltebilir. Ama bir yandan da dü ük sıcaklıkta agrega, kuruması tamamlanamayabilir ve kaplanan agrega bünyesinde kalan su hasara yol açabilir.
- Çekme Dayanımı Oranı (TSR) karı ımda nem hassasiyeti belirlemek için kullanılmı tır. Zeolit eklenerek kontrollü karı tırılan karı ımda TSR de erleri dü mü tür buna ra men nem hassasiyeti kabul edilebilir de erlerde çıkmı tır. Ayrıca bu süreçte %1.5 kireç eklenerek iyi bir performans sa lanmı ve neme kar ı direnci artmı , tekerlek izi oranı azalmı tır.

NCAT' in raporunda Aspha-min zeolit kullanarak u sonuca varılmı tır:

- Optimum asfalt içeri i Aspha-min eklenmeden tespit edilmelidir;
- Karı tırma sıcaklı ı < 135 °C (275 °F) ise tekerlek izi olma olasılı ı yükselir. Bunu engellemek için karı ıma kireç eklenmelidir.
- Çekme oranı test sonuçları olumlu de ilse çekme dayanımı oranında artı için karı ıma sökülmeyi engelleyici sönmü kireç eklenebilir.

3.1.1.2.3. Arazi Denemeleri

NCAT laboratuvar çalı masından elde edilen arazi projesi ile Florida' da ubat 2004 yılında bir park alanında deneme yapmı tır. Bu alanda toplam karı ımın %20' si geri dönü türülmü kaplama (RAP) ile kaplanmı tır. Toplam karı ım a ırlı ının %0.3 oranında Aspha-min zeolite uygulanmı tır. Zeolit malzeme daha önce açıklandı ı gibi özel bir besleyici kurularak eklenmi tir. Kaplama boyunca e it yo unlukta asfalt oldu u tespit edilmi tir. Uygulamadan bir yıl sonra hiçbir sıkıntı görülmemi ve karı ımın her bir bölümünde e it nem direnci tespit edilmi tir (Hurley vd., 2005).

Aspha-min test kesimleri ve BSK ile kar ıla tırma kesimleri Eurovia GmbH tarafından uygulanmı tır. Eurovia tarafından ilk uygulamadan üç yıl sonra, yüzey özelliklerinde hiçbir önemli de i iklimik gözlenmemi ve geleneksel sıcak karı ım asfalt kar ıla tırma kesimleriyle zeolit kesimleri benzer bulunmu tur (Barthel vd., 2005).

3.1.1.2.4. Çevresel Faydaları

GmbH Eurovia tarafından enerji tüketiminde %30 azalma gözlenmi tir. Çünkü karı ım sıcaklı ında 30-35 °C (86-95 °F) azalma olmu tur. Ölçümlerde 26 °C (47 °F) olan üretim sıcaklı ı azalarak duman emülsiyonu %75 azalmı tır.

Uygulama yerindeki ölçümlerde ise duman emülsiyonlarında %90' ın üzerinde azalma gözlenmi tir. Bu da karı ım sıcaklı ının 175 °C (347 °F)' den 140 °C (285 °F)' ye dü mesinden ve her durumda zeolit eklenmesinden kaynaklanmı tır. Sonuçta sıcaklık dü mü , koku azalmı ve çalı ma ko ullarında iyile me GmbH Eurovia takım üyelerince do rulanmı tır (Barthel vd., 2005).

3.1.1.2.5. Aspha-min Zeolit Özeti

Aspha-min zeolit, a ırlı nın yakla ık %21' i kadar su içeren kristal sulu alüminyum silikattan oluşur. Karı rma kütlesinin %0.3 oranında asfalt karı rımı eklenmiştir. Bu da üretimde sıcaklı ın 30 °C (54 °F) gibi yakla ık dere dü mesini sağlamıştır. Zeolit karı rma suyla eklendi inde ba layıcı maddede ses ortaya çıkmı , i lenebilirlikte artı sa lanmı ve agrega dü ük sıcaklıkta kaplanmı tır. Karı rma sürecine ek özel cihazlarla liflerin belirli türleri eklenerek karı rma i lemi kısalmı tır.

Laboratuvar çalı ması ve arazi denemelerinde zeolitli karı rım ile sıcak karı rım sonuçları çok benzer çıkmı tır. stisna olarak yo ırmalı kompaktör kullanılarak hava bo lukları daha da dü ük hale gelmi ve sıkı rma kolayla mı tır.

Kaplama boyunca Aspha-min zeolitli ılık karı rım sıcak karı rımdan daha fazla i lenebilmi ve kokular belirgin bir ekilde azalmı tır. Enerji tüketimi ölçümleri %30 oranında dü mü ve emülsiyon ölçümleri %75 ila %90 arasında azalmı tır.

3.1.1.3. Sasobit Balmumu

Sasobit, kömürün gaz halinden oluş an uzun zincirli hidrokarbondan Fischer-Tropsch (FT) sentezi kullanılarak üretilir. Bu madde FT parafin balmumu olarak da bilinmektedir. Sasol balmumu kül yapıcı madde olan klor, kükürt, azot ve oksijen gibi hiçbir hetero-atom içermez.

Sasobitin erime noktası yakla ık 100 °C' dir (212 °F). 120 °C (248 °F) üzerindeki sıcaklıklarda tamamen bitüm içinde erimi tır. Bu da asfalt çalı ma sıcaklıklarında viskoziteyi azaltarak i lemi kolayla tırmı tır. Ayrıca duman emülsiyonlarını azaltarak üretim döngüsünü kısalmı tır.

Sasol balmumu, sert asfalt ile karı tırıldı ında i lenebilirlri i imkanlı hale getirmi tir. Aynı zamanda deformasyona ve akmaya kar ı dayanımı artırmı tir.

Karı tırma ve yerle tirme sırasında asfalt ba layıcısında viskoziteyi dü ürmek için çalı ma sıcaklıkları 18-54 °C' ye (32-97 °F) kadar dü ürlmü tür.

Dü ük sıcaklıklarda sasobite elastiklik katmak için bazı polimerler eklenmi tir. Sasobit (plastomer) dü ük sıcaklıkta polimerle birle im (elastomer) sırasında esnekli ini kaybetmemi yüksek sıcaklıkta kıvamını korumu tur (Hurley vd., 2005).

3.1.1.3.1. Asfalt Malzemesi

Sasobit, karı ıma önceden eritilerek veya küçük top ekinde karı ım sıcaklı ıyla eriyebilecek ekilde eklenmi tir (ekil 3.4). Avrupa, Güney Afrika ve Asya' daki uygulamalarda ufak top Sasobitler dozaj sayaç aracılı ıyla eritilerek agrega karı ımına direk eklenmi tir. Sonuçlarda bu ekilde eritilip olu turulan karı ımlarda görülen stabil hal Sasobitte de aynısını göstermi tir (Hurley vd., 2005).

Sasol balmumu sıcak bitüm içine basit bir karı tırıcı kullanılarak karı tırılmı tir. Yüksek hızla dönen karı tırıcılara gerek duyulmamı tir (TBA, 2004).



ekil 3.4. Küçük top ekinde Sasobit Balmumu

3.1.1.3.2. Laboratuvar alı maları

ABD' de NCAT tarafından yapılan laboratuvar çalı masında Sasobit uygulanabilirli ini belirlenmeye çalı ılımtır. Bu alı mada iki agrega tipi (granit ve kireçta ı), iki ba layıcı madde tipi (PG 64-22 ve PG 58-28) kullanılmı tır. Üç de i ik ekinde sasobit katkılı iki ba layıcı madde denenmi tir (Tablo 3.3). PG 64-22 ve PG 58-28' e %2.5 Sasobit ya da %4 Sasoflex eklenmi tir.

Tablo 3.3. Sasobit ve Sasoflex eklenerek olu turulan ba layıcı maddeler

Ba layıcı madde	Sasobit katkıları	Ortaya ıkan Sasobit katkılı ba layıcı madde
PG 58-28	%2.5 Sasobit	PG 64-22
PG 58-28	%4 Sasoflex	PG 70-22
PG 64-22	%4 Sasoflex	PG 76-22

Karı ımın hazırlanması için Superpave yo ırmalı kompaktör kullanılmı tır ama bu kompaktör sıkı tırmayı yapamadı ından sıkı tırma i lemi için ayrıca titre imli sıkı tırıcı kullanılmı tır. Bu nedenle karı ım titre imli sıkı tırıcı ile 149 °C, 129 °C, 110 °C ve 88 °C (300 °F, 265 °F, 230 °F ve 190 °F)'lerde sıkı tırılmı tır.

Bu çalı ımdan elde edilen ana sonuçlar ınlarıdır:

- Eklenen Aspha-min' deki hava bo luklarını ölçmede yo ırmalı kompaktör kullanılmı tır.
- Döner ince film fırın (RTFO) testiyle sasobitin ba layıcı maddede ya lanmayı azalttı ı belirlenmi tir.
- Sasobit eklenmi PG 64-22' nin sıkı tırma ve yerle tirmede viskozitesi aynı olmu tur. Yerle tirme sıcaklı ı sıkı tırma sıcaklı ından 18 °C (32 °F) daha dü ük çıkmı tır,
- Sasobit eklenmi karı ımlarda sıkı tırmanın iyi olabilmesi için titre imli kompaktör kullanılmı tır. Sasobit eklenmi PG 64-22' de yakla ık %0.87 oranında hava bo lu u azalarak 88 °C gibi dü ük sıcaklıklarda daha iyi sıkı tırma elde edilmı tir. Di er ba layıcı maddelerde %0.11 ve %0.07 oranında de i en hava bo lukları azalarak aynı sıcaklıkta sıkı tırma elde edilmı tir.
- Sasobit eklenmesi esneklik modülünü etkilememi tir ama sıcaklı ın dü mesiyle esneklik modülü dü mü tür.
- Tekerlek izi potansiyeli Asfalt Kaplama Analizörüyle (APA) incelenmi tir. Genellikle çalı ıma sıcaklıklarının azalmasıyla tekerlek izi potansiyeli artmı ama sasobit ve ya sasoflex kullanılarak dü ük sıcaklıklarda tekerlek izi potansiyeli azaltılmı tır. Bu nedenle, Sasobit içeren karı ımların tekerlek izine kar ı direncinin fazla oldu u kanısına varılmı tır.
- Çekme Dayanımı Oranı (TSR) karı ımlarda nem hassasiyetini belirlemek için kullanılmı tır. Eklenen sasobit, neme hassasiyeti artırmı tır. Çekmede ve gözle görülür sökölmede azalma yapılan kontrolde görölmü tür.

- Sasobitli ılık asfalt üretilirken düşük sıcaklıklarda karı tırıp sıkı tırıldı nda agregaların kuruması i lemi tamamlanmamı tır. Kaplanan agregalar bünyesinde su hapsedti inden nem hasara yol açmı tır.
- TSR sonuçlarını do rulamak için, Hamburg tekerlek izi cihazı nem dayanımını ölçmek için kullanılmı tır. Nem duyarlılı ı, sasobit içeren karı ımda tekerlek izi olu umu ve sasoflex içeren karı ımda kaydırmaz etkisi tek tek incelenip iyi sonuçlar elde edilmi tir (Hurley, 2005).

NCAT tarafından yayınlanan raporunda sasobit balmumu kullanarak u sonuca varılmı tır:

- yi bir performans için ba layıcı maddeye sasobit ve ya sasoflex eklenmelidir.
- Sıkı tırma ve tekerlek izi sonuçları, minimum karı tırma sıcaklı ının 129 °C (265 °F) ve minimum sıkı tırma sıcaklı ının 110 °C (230 °F) oldu unu göstermi tir.
- Nem duyarlılık test sonuçları olumlu de ilse karı ıma nem duyarlılı nı arttırmak için sıyırma önleyici eklenmi tir.

Sasobit katkılı asfaltın düşük sıcaklıklarda davranı ı bir dizi so utma simülasyonlarında test edilmi tir. Asfalt test numuneleri tabi ortamda saatte 10 °C azalarak so umu ve olu an termal büzülme, sıcaklı ın dü mesiyle kırılmalar ölçülmü tür. Sonuçlar Tablo 3.4' de görülmektedir.

Tablo 3.4. Sasobitli asfaltın dü ğük sıcaklıkta termal bü zülmesi ve sıcaklı ın dü mesiyle kırılmaların bulunması (TBA, 2004)

	Maximum termal bü zülme [N/mm]	Kırılma Sıcaklı ı [°C (°F)]
TMA 0/11 S; B 50/70	4.4	-25.5 (77.9)
TMA 0/11 S; B 50/70 + 3% Sasobit	4.5	-24.5 (76.1)
Mastik Asfalt 0/11; B 30/45	6.0	-26.5 (79.7)
Mastik Asfalt 0/11; B 30/45 + 3% Sasobit	5.9	-25.5 (77.9)
Mastik Asfalt 0/11; PmB 45	6.8	-30.0 (86.0)
Mastik Asfalt 0/11; PmB 45 + 3% Sasobit	7.0	-30.0 (86.0)

3.1.1.3.3. Arazi Denemeleri

2005' de Maryland Eyaleti Karayolu daresince sasobit içeri iyle yüksek oranda RAP 'in (dönü türülmü asfalt kaplama) karı ımdaki performansı ve karı ım yüzeyindeki performansını inceleyen 2 rapor yayınlanmı tır. ki rapordaki amaç yüksek oranda RAP'ın sıkı tırma öncesi ve sonrasındaki performansını de erlendirmektir. Bu de erlendirmede üretim sıcaklı ıyla kontrol edilme sıcaklı ı aynı alınmı tır. İlk raporda 19 mm kalınlı ında iki tabaka incelenmi tir. Bu iki tabaka %45 oranında RAP içermi ve silindir ekindeki malzemedeki üretilmi tir. Silindir malzeme içinde fiber ek sistem kullanılarak karı ım içine toplam asfalt a ırlı ınca %1.5 de erinde Sasobit eklenmi tir.

Birbirini takip eden laboratuvar testlerinde örnekler yo ırmalı kompaktör ile sıkı tırlımı ve %7 oranında hava bo lu u hedeflenmi tir. Çalı ma sonucunda a a ıdaki sonuçlar ortaya çıkmı tir:

- Sasobitli karı ımda yüksek sıcaklıkta sertle me artmı tir ve bu çizilen grafikte az ve dengeli bir yükseli oldu u görülmü tür (AASHTO TP62-03).
- Ya lanma, tekerlek izi, yorulmaya dayalı çatlama ve sıcaklıkla çatlama ya kar ı direnç gibi de erler sasobit eklenmesiyle bir de i ikli e u ramamı tir.
- Sasobit karı ımın neme kar ı dayanımını artırmı tir. Bu da çekmeye kar ı direnç oranıyla ölçülmü tür.
- Kritik kırılma sıcaklı ı her iki karı ımda $-24\text{ }^{\circ}\text{C}$ de ($-11\text{ }^{\circ}\text{F}$) olmu tur.

De erlendirmeler sonucunda sasobit sıkı tırmaya yardımcı küçük mekanik etkiler göstermi tir ve kullanılan RAP sıkı tırmayı engelleyici bir etki göstermemi tir (HRB, 2005).

kinci raporda, 9.5 mm kalınlı ında iki üst tabaka (yüzey tabaka) incelenmi tir. Bu iki tabaka %35 oranında RAP içermi tir. Silindir malzeme içinde fiber ilave edilerek karı ım içine toplam asfalt a ırlı ınca %1.5 de erinde Sasobit eklenmi tir.

kinci rapor birinci rapora çok benzerlik göstermi tir. Ana farklılık birinci rapora göre biraz daha yüksek oranda sertle meye rastlanması ve kritik kırılma sıcaklı ının kontrol sırasında $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-22\text{ }^{\circ}\text{F}$) ve üretim sırasında $-28\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-18\text{ }^{\circ}\text{F}$) gibi daha dü ük sıcaklıklarda olmasıdır (HRS, 2005).

ekil 3.5., 3.6., 3.7., 3.8., 3.9., 3.10. ve 3.11. Maryland Eyaleti Karayolu daresinden alınmı tir ve üretimden yerle tirmeye kadar süreç gösterilmi tir.

ekil 3.5' de küçük sasobit paketleri ve da ıtım kutusu merkezdeki mavi kutuda toplanmaktadır. ekil 3.6.' da sasobit balmumu eklenmesi gösterilmi tir. ekil 3.10' da sasobit olmadan mat termal resmi, yol boyunca oldukça mat görünüm sıcaklıklarla görülmü tür. ekil 3.11' de dü ük sıkı ma sıcaklıkları ekil 3.10.' dan daha da dü üktür ve yine yol boyunca oldukça mat görünüm sıcaklıklarla görülmü tür (Burke, 2005).



ekil 3.5. Ufak sasobit paketleri ve dağıtım kutusu



ekil 3.6. Sasobit balmumu eklenmesi (Burke, 2005)



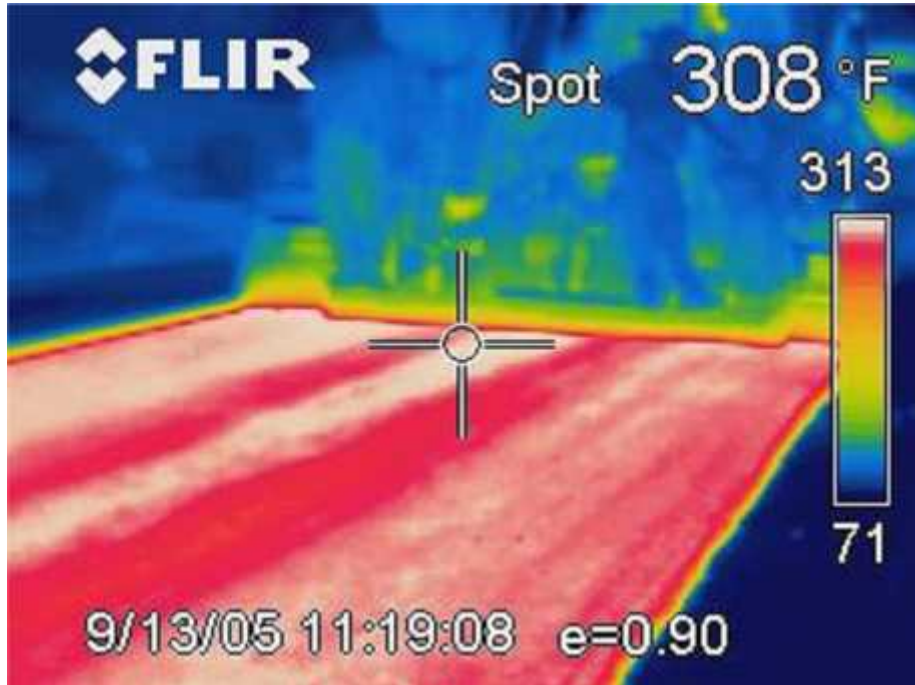
ekil 3.7. Tüp besleyici içinde akan Sasobit (Burke, 2005)



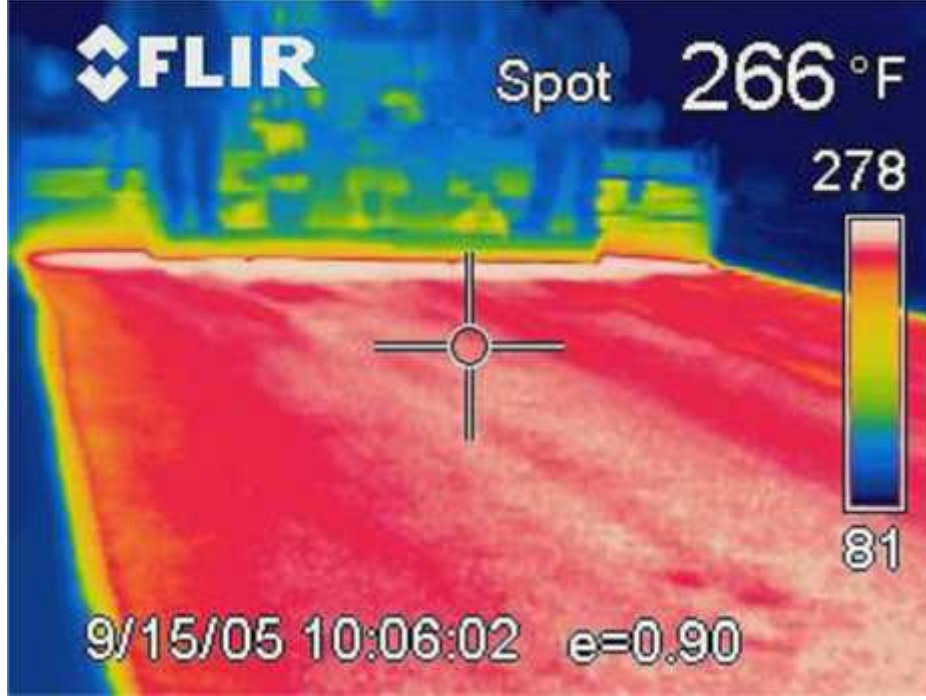
ekil 3.8. Sasobit balmumu ve 35% RAP' lı karı ım serilmesi (Burke, 2005)



ekil 3.9. Sasobit balmumu olmadan 35% RAP' lı karı ım serilmesi
(Burke, 2005)



ekil 3.10. Sasobit olmayan karı ımın termal resmi (Burke, 2005).



ekil 3.11. Sasobitli karı ımın termal resmi (Burke, 2005).

Sasol balmumu 143 yol projesinde ele alınıp uygulanmıştır. Bunların büyük bir ço unlu u Almanya' da denenmiştir. Çe itli yo un kademeli karı ımlar, ta mastik asfalt (TMA), mastik asfalt kullanılmıştır. Sasobit ekleme oranları %1 ila %4.5 aralı nda de i ecek ekilde seçilmiştir (RTS, 2004).

3.1.1.3.4. Çevresel Faydaları

Sasol balmumu çalı maları sonuçlarında üretim sıcaklı ında 20 °C (68 °F), enerji tüketiminde %20 azalma olmu tur (PARC, 2005).

3.1.1.3.5. Sasobit Balmumu Özeti

Sasobit balmumu FT parafin balmumu olarak da adlandırılır. Sasobit kömür gazından elde edilen uzun zincirli hidrokarbon karı ımdan üretilmiştir. Asfalt ba layıcı maddesinin dü ük viskoziteye sahip olması i lenebilirli i kolaylaştırır ; karı tırma sıcaklı ını (18-54 °C (32-97 °F)), duman emülsiyonunu, uygulama zamanını azaltmıştır ; enerji tasarrufu sa lamıştır. Sasol balmumu katkısı bitüm a ırlı ının %3' ü olarak tespit edilmiştir. Erime

sıcaklığına (100 °C (212 °F)) bir kristal yapıya dönüşür. Bu da asfalt karışımının içinde stabiliteyi sağlar.

Balmumu doğrudan agregaya eklenip daha sonra bağlayıcı maddeyle karıştırılır veya bağlayıcı maddeyle önceden karıştırılıp agregayla sonradan karıştırılır. Bu karışım esnasında lif gibi katkıları eklenmez.

Laboratuvar ve saha çalışmalarında Sasobit İKA köpük ve Aspha-min zeolitten çok daha belirgin farklılıklar göstermiştir. Sasobit balmumu; hava boşlukları ölçüsünü düşürmüştür, bağlayıcı madde ömrünü arttırmıştır, sıkı masacılığı düşürmüştür, sıkı mayı kolaylaştırarak, üretim sıcaklığını azaltarak tekerlek izi direnci arttırmıştır.

3.1.1.4. Diğer Ilık Karışım Asfalt Katkıları

3.1.1.4.1. Asphaltan B Wax

Asphaltan B Almanya'da Romonta GmbH şirketi tarafından üretilmiştir. Yüksek moleküler ağırlıkta balmumundan elde edilmiş ve viskoziteyi azaltarak yüksek sıcaklıklarda asfalt karışımlarına uygulanmıştır. Romonta şirketi Asphaltan B'nin bağlayıcı maddede %2 ile %4 arasında kullanılmasını önermiştir. Bu değerler de Asphaltan B'nin doğrudan bağlayıcı maddeye eklenmesine olanak sağlar.

Asphaltan B'nin erime noktası yaklaşık 99 °C (210 °F)'dir ve bu sıcaklık üretim sıcaklığının azalmasını sağlar (FHWA, 2005).

3.1.1.4.2. Evotherm

Evotherm; inelastik ve bağlayıcı maddenin agregayla kaplanmasını kolaylaştırır. Evotherm ürünüyle emülsiyonun en iyi şekilde sağlanması için büyük oranda asfalt atıkları (yaklaşık %7) tercih edilmiştir. Geleneksel asfalt bağlayıcının aksine Evotherm 80 °C (176 °F)'de saklanabilir. Ortaya çıkan ılık karışım kaplama, renk açısından sıcak karışım gibi görünmez.

İlk Evotherm projesi Güney Afrika' da 2003 yılında uygulanmıştır. Temmuz 2005' te, ABD' nin Indiana / Indianapolis eyaletinde 660 ton asfalt atılarak ilk deneme yapılmıştır.

Evotherm %15 RAP ile aynı anda 12.5 mm dolomit agregaya eklenmiştir. 93 °C' de (200 °F) agregayla tamamen kaplanmıştır. Karı m genellikle 71 °C ila 93 °C (160 °F ve 200 °F) aralı nda 50 mm (2 inç) kalınlık olacak ekilde yerle tirilmiştir (Prowell vd., 2005).

NCAT temsilcileri uygulama esnasında örnekler alarak a a ıdaki sonuçlara ula mıştır:

- Evotherm karı mda titre imli kompaktör kullanılarak sıkı ma daha da kolayla mıştır. statistikler, bu sıkı mayla ortalama hava bo luklarında %1.5 oranında azalmayı göstermiştir.
- Evotherm aynı performans dereceli (PG) ba layıcı maddeleriyle karı tırılarak di er asfalt karı mlarla kar ıla tırıldı nda esneklik modülünde de i iklik olmamıştır.
- Evotherm genellikle tekerlek izi olu umlarını azaltmıştır.
- İKA üretilirken kullanılan dü ük sıcaklıklar nem hasar potansiyelini arttırmıştır (NCAT, 2005).

Di er Evotherm denemesi Ontario, Canada'da yapılmıştır ve J.K. Davidson tarafından A ustos 2005' te rapor edilmiştir. Deneme bir park alanında yapılmıştır. Bu denemede kullanılan karı m 130 °C (266 °F)' de üretilmiştir. Sonuçları u ekilde olmu tur:

- Evotherm karı mda karı tırma i lemi veya emülsiyonu sa lama sırasında herhangi bir sorun çıkmamıştır. Emülsiyonun sa lanması için asfalt yava ça asfalt tartım hunisinden geçirilmiştir.
- Sıcak karı mlarda karı m üretiminde genellikle 10 m³ ton ba ına gaz çıkarken Evotherm karı mlarda 2.3 m³ ton ba ına gaz meydana çıkmıştır (Davidson, 2005).

3.1.2. Asfalt Ba layıcı

Çalı maların ço unda stiren bütadien stiren (SBS) (ba layıcı a ırlı ının %3'ü kadar) içeren asfalt ba layıcısı kullanılmı tır. Tablo 3.5.' de kullanılan tipik SBS gösterilmi tir. Her ba layıcı genellikle PG 76-22 ba layıcı maddesi kullanılarak yüksek trafikli bölgelerde uygulanmı tır (örne in, eyaletler arasında veya kav aklarda) (Davidson, 2005).

Tablo 3.5. SBS ve özellikleri

Özellikler	Resim
Fiziksel durum	Katı
Renk	Beyaz ve do al
Koku	Kokusuz
Yo unluk(kg/m³)	880-950
Çözünürlük(Suda)	Çözünmez
Özgül A ırlık	< 1



3.1.3. Agregalar

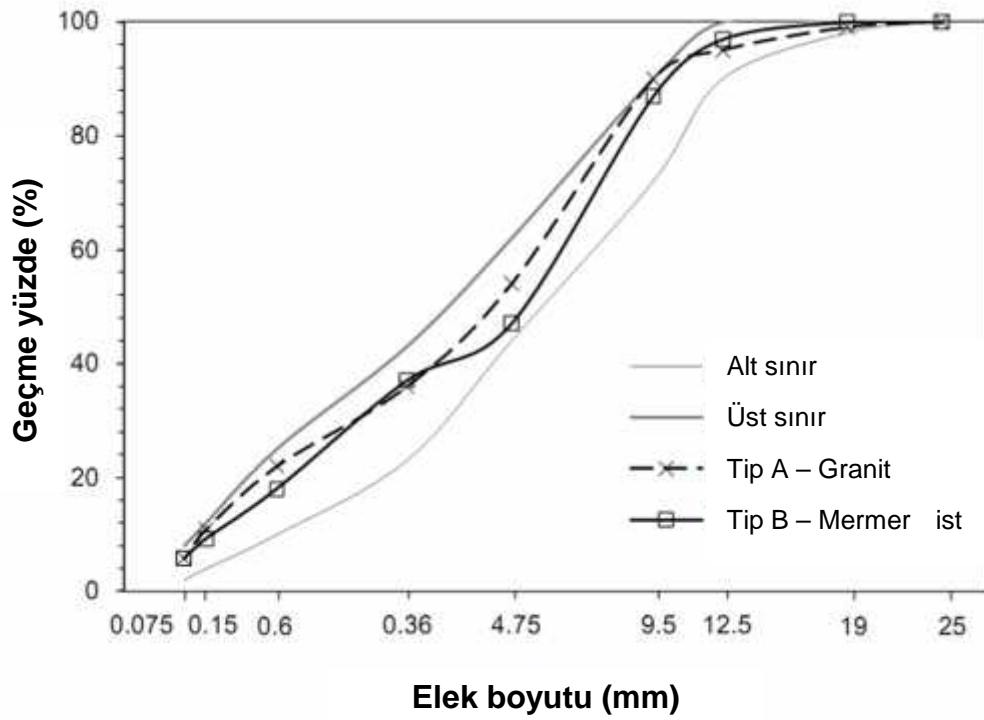
Farklı yer ve ara tırmalarda iki agrega kayna ı olan granit (A tipi) ve mermer ist (B tipi) kullanılmı tır. Kalsiyumu yüksek oranda olan B Tipi (CaO = %19.9), A tipinden (CaO = %3.2) sökülmelere kar ı daha iyi direnç sa lamı tır (Caro vd., 2008; Copeland vd., 2007; Huang vd., 2005). ABD' de ta ımacılık acentelerinin %82' si nem hasarını önlemek için de sökülmeyi engelleyici kullanılmasını önermi tir. Güney Karolayna Ula tırma Bölümü, sökülmeyi engelleyici olarak hidrate kireç kullanıldı ını belirtmi tir (Putman ve Amir Khanian, 2006).

Tablo 3.6.' da bu çalı malarda kullanılan agregaların özellikleri, ekil 3.12.' de de her iki agrega tipinin elekten geçme yüzdeleri gösterilmi tir.

Tablo 3.6. Ara tırmalarda kullanılan tip A ve B agrega özellikleri:

Özgül a ırlık							
	Kuru Hacim Açıklık	Sa lamlık	Su emme	LAa ınma	ncelik		
	hacim SSD	(%)	(%)	(%)	Modülü		
tip A	2.67	2.72	2.77	0.1	1.1	46	2.82
tip B	2.77	2.78	2.82	0.6	0.7	32	2.81

Not: Tip A - Granit (Volkanik kaya), Tip B - Mermer ist (Metamorphic rock).



ekil 3.12. Agregaların elekten geçme yüzdeleri

3.1.4. Yöntemler

Ara tırma süreci dört ayrı alanda ele alınmıştır: Ba layıcı madde analizi, sıkı ma durumu çalı ması, oksidatif ya landırma analizi ve karı m performans analizi. Her süreçte kullanılan malzemeler Tablo 3.7.' de gösterilmiştir. Ara tırmalar için piyasada a ırlıklı olarak kullanılan 3 ba layıcı madde kayna ı (Süreç 1), Superpave Karı m Dizayn ve Karı m Performansı Analizi (Süreç 2 ve 4), ba layıcı madde kaynakları I, II ve agrega kaynaklardan A, B kullanılmı tır. Sıkı tırma durum çalı masında (odaklanma agrega özellikleri üzerine daha fazla olmu tur) ba layıcı madde kayna ı dı nda hacimsel özelliklerin de büyük bir etkisi olmu tur. Oksidatif ya landırma analizi için, yapılan ara tırmalarda farklı ba layıcı madde kaynaklarının ya lanma davranı nı etkiledi i görülmü tür. Bu tür farklılıkları açıkça görmek için, her üç ba layıcı kayna ı ile sadece bir tane rastgele agrega kayna ı seçilerek etkileri ara tırılmı tır. Katkı maddesi olarak da iki İKA katkı maddesi (Aspha-min ve Sasobit) seçilip her süreçte kullanılmı tır.

Tablo 3.7. Her süreçte kullanılan malzemeler

	Ba layıcı Kaynak	Agrega kaynak	İKA katkı
Süreç 1 Ba layıcı Madde Analizi	I, II ve III.		
Süreç 2 Superpave Karı m Tasarımı	I ve II	A ve B	her
Sıkı tırma Durum Çalı ması	I	A ve B	süreçte
Süreç 3 Oksidatif Ya lanma Analizi	I, II ve III	A	benzer
Süreç 4 Karı m Performans Analizi	I ve II	A ve B	katkı

Süreç 1: Ba layıcı Madde Analizi

İk süreç asfalt performansının ölçülmesi için Superpave ba layıcı özellikleri ve test metotlarına dayanmı tır. Bunlar ba layıcı madde ömrü boyunca üç

kritik a amada gösterilmi tir: orijinal halleriyle, karı tırma-in aat sonrası ve hizmet ömrü sonrası. Bu süreç farklı IKA katkılarıyla olu turulan SBS ba layıcı performansının ölçülmesine yardımcı olmu tur. Ayrıca, AFM yoluyla ba layıcı kayna ının ve IKA katkısının topo rafisi ile ilgili ek bilgiler toplanmı tir.

Süreç 2: Karı ım Tasarımı ve Sıkı tırma Durum Çalı ması

kinici süreç Superpave konili kompaktöründen elde edilen örneklerle uygun asfalt de erleri ve hacimsel farklılıkların hesaplanmasını kapsamı tir. Kompaktörle elde edilen asfalt karı ım örnekleri benzer trafik yükü ve iklim ko ulları altında uygulanmı tir.

Bu süreç iki alt ana ba lıkta ele alınmı tir: Uygun asfalt içeri ini belirlemek için karı ım tasarımı, sıcaklık ve di er de i im fonksiyonlarını belirlemek için sıkı tırma durumu çalı ması. Uygun asfalt içeri ini için tüm test örneklerinden elde edilen de erler kullanılmı tir. Sıkı tırma durumu çalı ması içinse BSK ve IKA karı ımları arasındaki farklı hacimsel özellikler belirlenmi tir.

Süreç 3: Oksidatif Ya lanma Analizi

Kısa sürede ya lanma analizi, asfalt ba layıcı maddesi için dönel ince film fırında (RTFO) ve laboratuvarda elde edilen asfalt karı ımları için kısa vadeli fırında test edilmi tir. Sonuç olarak ya lanma süreci boyunca ilk ba larda u sınırlayıcılar ortaya çıkmı tir (Li ve Nazarian, 1995):

- Asfalt ba layıcı maddede ya lanma tam olarak ölçülememi tir. Çünkü asfalt ba layıcısının agregayla etkile imi test edilebilir halde olmamı tir,
- Asfalt ya lanma duyarlılı ı tanımlamak için büyük u ra lar gereklidir,
- Kısa vadeli fırında ya lanma (STOA) öncesi ve sonrasında karı ımın ba layıcı maddesinde ya lanma düzeyinin belirlenmesi için herhangi bir metot belirlenmemi tir.

Yüksek basınçla jel geçirgenlik kromatografisi (HP-GPC ve ya GPC), bu sorunları a mak için alternatif bir yöntem olarak ortaya atılmıştır. Sorunun çözülmesinde GPC kullanmanın avantajı, asfalt karışımlardan seçilen test örneklerinin ba layıcı maddesinin tetrahidrofuran solüsyonda çözünmesi olmasından kaynaklanmıştır. Bu yöntemle çe itli örnekler denenip ya lanma etkisini de erlendirmek için yeni bir metot çıkarılmıştır (Lee vd., 2009; Kim vd. 2006).

Süreç 4: Karışım Performans Analizi

Bu son görevde SBS eklenmiş asfalt karışımı içeren IKA teknolojilerinin performansı araştırılmıştır. ki farklı kaynaktan SBS eklenmiş ba layıcı madde iki IKA teknolojisinde (Aspha-min ve Sasobit) kullanılmıştır. Uygulamalardan sonra alınan örneklerle laboratuvarda tekerlek izi oluşumu, nem hassasiyeti (dolaylı çekme dayanımına dayalı, ITS), esneklik modülü (sıcaklık duyarlılığına dayalı) ve uzun vadede özellik değişimi (ITS' den sonra fırında ya lanmaya dayalı) gibi test modları hesaplanmıştır.

3.1.5. Test Yöntemleri

3.1.5.1. Ba layıcı Maddede Örnek Hazırlık

SBS' li ba layıcı madde içine veya karışıma IKA ekleme sürecinde iki tip IKA katkısı kullanılmıştır.

Süreç 1, elle harmanlanmış aspha-min katkısını kapsamıştır. Ba layıcı madde a ırlılığının %5' i kadar aspha-min katkısı kullanılmıştır. SBS katkılı ba layıcı maddeye ekleme 150 °C' de yapılmıştır ve iyice dağılması için elle karıştırılmıştır.

Süreç 2, mekanik karışıklı Sasobit katkısını kapsamıştır. Ba layıcı madde a ırlılığının %1,5' u kadar Sasobit katkısı kullanılmıştır. SBS katkılı ba layıcı maddeye ekleme 150 °C' de yapılmıştır ve 5 dakika boyunca mekanik bir karıştırıcı ile karıştırılmıştır (Gandhi ve Amirkhanian, 2007).

3.1.5.2. Superpave Ba layıcı Madde Testleri

Superpave ba layıcı madde testleri viskozite testi (AASHTO T 316' e uygun), ı n bükme reometre (BBR) testi (AASHTO T 313' e uygun), dinamik kayma reometre (DSR) testi (AASHTO T 315' e uygun) adı altında ele alınmı tır. Birbirini takip eden üç numune test edilmi ve sonuçlar bu testlerin ortalaması alınarak rapor edilmi tir.

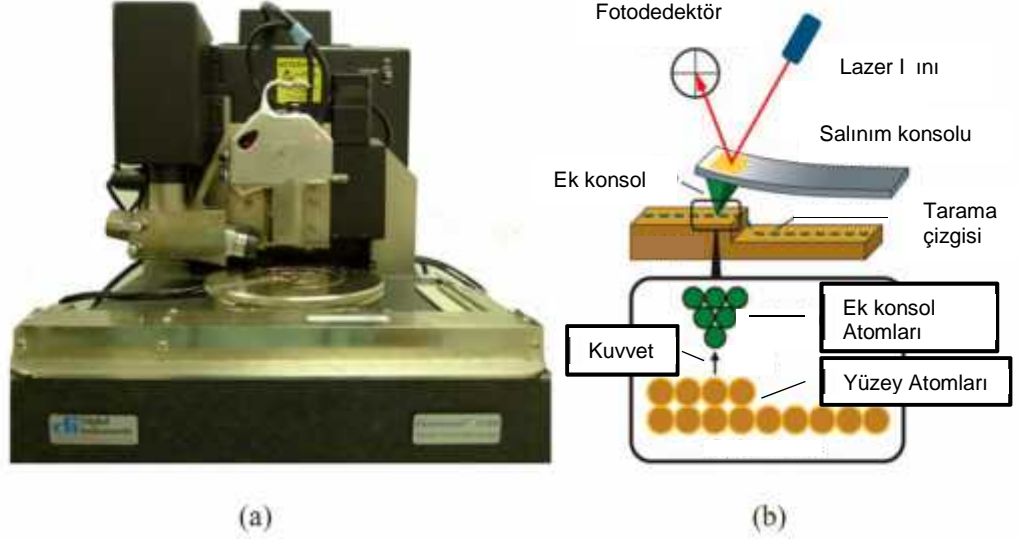
Viskozite testinde 10,5 gram a ırlı nda ba layıcı madde örne i 135 °C' de 27 mil hızla dönen viskozimetreye test edilmi tir. DSR testinde, ba layıcı madde saniye ba ına yakla ık 1,59 Hz' e denk gelen 10 radyanlık bir frekansla test edilmi tir. BBR testi ise -12 °C' de asfalt kırı ler (125 x 6.35 x 12,7 mm.) kullanılmı ve ba layıcı maddede sünme oranı 60 saniye sonunda çıkarılmı tır.

3.1.5.3. Atomik Kuvvet Mikroskobu

Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM), nanoteknolojik bir üründür ve nano ölçekli ucu (2-10 nm) malzemenin yüzeyini tarayarak topografyasını çıkarmaktadır. Bu teknoloji dokunan ve ileten iki çalı ma modundan olu mu tur. Bu modlardan TappingMode en avantajlısıdır çünkü yumu ak, kırılğan ve yapı kan bir yüzeyde kayma olasılı nı ortadan kaldırmı tır (Russel ve Batchelor, 2004; Blanchard, 1996). TappingMode' un çalı ması örnek yüzeyinde atom salınımı yapan konsolun dola arak derinlikleri ölçmesini kapsamı tır. Bu çalı mada konsoldan çıkan atomlar tarama yapılan yüzeydeki atomlara hafifçe dokunmu tur (ekil 3.13. (b)) ve dokunma anında bir lazer ı nı kullanılarak foto raf dedektörü gibi görüntü elde edilmi tir.

ekil 3.13.' de (a), bu çalı ma sırasında kullanılan AFM (Dijital Cihazlar/Veeco Boyut 3100) donanımları gösterilmı tir. Toplam 9 ba layıcı madde örne i (her üç SBS katkılı ba layıcı madde iki IKA katkı maddesi ile denenmi tir) bu test için hazırlanmı tır. Her örnek, DSR silikon kalıp içine dökülmü tür. Sonra kalıptan çıkartılıp ince bir plastik filme yerle tirilmı tir. Bu, AFM testi için gerekli olan sadece bir hazırlık olmu tur. Kalibrasyon (lazer

ayarları ve ek konsol ayarları), bu model için kullanım kılavuzunda belirtilen talimatlara göre yapılmı ve AFM yazılımıyla derinlik operasyonu tamamlanmı , numune yüzeylerinin görüntüleri kaydedilmis tir. Tarama 0.996 Hz tarama hızında $20 \times 20 \mu\text{m} \times 50 \text{ nm}$ boyutunda bir alanda yapılmı tır.



ekil 3.13. (a) Atomik Kuvvet Mikroskobu ve (b) prensibi

3.1.5.4. Superpave Karı ım Dizaynı

Güney Karolayna Ulaştırma Bölümü'nde (SC DOT) tip a agregayla oluşturulmuş yüzey tabakasını Superpave karı ım tasarımında kullanılmı tır. Bu tabaka maksimum agrega büyüklü ü 12.5 mm., bağlayıcı maddesi PG 76-22 olacak şekilde seçilmis tir. Bu çalışmada örneklerin hazırlanması için AASHTO T 312 (standart metotlu testlerde BSK örneklerinin yoğunluğunu Superpave Konili Kompaktörle hazırlanıp belirlenir) prosedürü takip edilmiş tir. Uygun asfalt içeriği için hedef hava boşluğu (%4) ve diğer hacimsel özellikler (örneğin, VMA, VFA ve dökme yoğunluğu) hesaplanıp kontrol edilmiş tir (Hurley vd., 2005 a, b).

3.1.5.5. Sıkı tırma Durum Çalı ması - (1) Sıcaklık Etkisi

Bu çalı ma için kullanılan karı tırma sıcaklıkları BSK için 163 °C (325 °F) ve IKA için 143 °C (290 °F) olmu tur. SBS katkılı asfalt karı ımlar 2 saat boyunca dört sıcaklıkta sıkı tırılmı tır (96, 118, 135 ve 154 °C).

BSK kaplama sırasında ba layıcı maddede ya lanma ve emilimi tespit etmek için genellikle 135 °C ila 154 °C arasında sıcaklık de eri seçilmi tir (Asfalt Enstitüsü, 2003). Bu sıkı tırma sıcaklı ı (96 ve 118 °C) IKA katkıları için daha da dü mü ve 96 ila 118 °C arasında de i en bir sıcaklık aralı ı kullanılmı tır. Numunelerde sırasıyla 25 ve 100 devirli Superpave konili kompaktör kullanılarak %7±1 ve %4±1 oranında hava bo lu u hedeflenmi tir. Her numune, 150 mm çapında ve 115±5 mm yüksekli inde olmu tur. Toplam 96 numune ele alınarak (3 ba layıcı madde tipi × 2 agrega kayna ı × 4 sıkı tırma sıcaklı ı × 2 sıkı tırma seviyesi × her sıkı tırma sonrasında 2 tekrar) hacimsel özellikler tespit edilmi tir.

3.1.5.6. Sıkı tırma Durum Çalı ması - (2) Sıkı tırma Seviyeleri

Gev ek karı ımları sıkı tırmada BSK ve IKA karı ımlar için sırasıyla 154 °C ve 135 °C gibi sıcaklık de erleri kullanılmı tır. Sıkı tırma i lemi Superpave konili kompaktörde 25, 50, 75 ve 100 devir de erleri ele alınarak yapılmı tır. Bu devirlerle %7±1 ve %4±1 oranında hava bo lu u hedeflenmi tir. Toplam 48 numune kullanılarak (3 ba layıcı madde tipi × 2 agrega kayna ı × 4 sıkı tırma sıcaklı ı × 2 sıkı tırma seviyesi × her sıkı tırma sonrasında 2 tekrar) hacimsel özellikleri tespit edilmi tir.

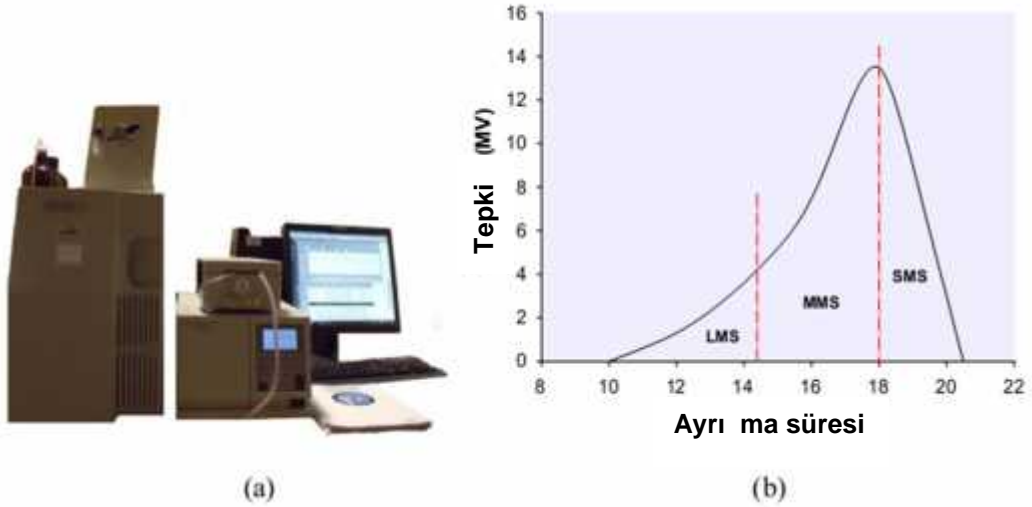
3.1.5.7. Oksidatif Ya lanma Analizi - (1) Numune Hazırlama

Toplam 18 gev ek karı ım (9 ba layıcı madde tipi × 1 agrega kayna ı (tip A) × 2 fırında ya lanma sıcaklıkları) hazırlanmı ve her bir örnek karı tırma i lemi, fırında ya lanma sürecinde u durumlar göz önüne alınarak ya lanma nedenlerini de erlendirmek için alınmı tır:

- Fırında ya lanmada önerilen durum (2 saat boyunca 154 °C);
- Fırında ya lanmada alternatif durum (4 saat süreyle 154 °C);
- Fırında ya lanmada azaltılmış durumlar (2 ve 4 saat boyunca 135 °C).

3.1.5.8. Oksidatif Ya lanma Analizi - (2) Jel Geçirgenlik Kromatografisi (GPC) Prosedürü

Bilgisayar yazılımı ile Waters' ın GPC ekipmanı, ba layıcı maddelerde kromatografik analiz için kullanılmı tır. (ekil 3-14 (a)). Analiz için iki ayrı boyuttaki sütun (Waters, HR 4E ve HR 3) asfalt ba layıcı bile enlerinin ayrı ması için kullanılmı tır. Sütunların özellikleri Tablo 3.8.' de gösterilmi tir. Sütunlar test boyunca 35 °C' de sabit bir sıcaklıkta sütun fırında tutulmu tur. Bu esnada 1 ml/dak. hızında akan ba layıcı madde a ırlı ının %0,5 oranında tetrahidrofur (THF) sütuna akıtılmı tır ve ölçüm de erleri hesaplanmı tır.



ekil 3.14. (a) GPC sistemi ve (b) tipik kromatogram



ekil 3.15. Styragel HR 3 ve Styragel HR 4E

Tablo 3.8. Gözenek boyutu ve etkili bir moleküler a ırlık aralı ı

Sütun	Dı Uzunluk (cm)	Gözenek büyüklü ü (Å)	Etkin moleküler a ırlık aralı ı (ps)
Styragel HR 3	30	1,000	500~30,000
Styragel HR 4E	30	Karı ım yata ı	50~100,000

THF içinde çözünmü her ba layıcı madde örne i, enjeksiyon modülü içine koyulmadan önce 0.45 µm' lik filtre süzgecinden geçirilmi tir. Her test için 50 µl hacminde örnekler enjeksiyon modülüne alınmı tır. Bir test 30 dk. sürmü ve yakla ık 11. dakikada ayrı ma ba lamı yakla ık 21. dakikada bitmi tir. ekil 3.14.' de bu gösterilmi tir. Her bir numune için test 3 kez yapılmı ve sonrasında moleküler büyüklü ünün ortalama de eri (LMS) kısmı bildirilmi tir.

3.1.5.9. Oksidatif Ya lanma Analizi - (3) Örnekleme Yöntemi

Bu analiz için 4.75 mm elekten geçen bir miktar ya landırılmı ba layıcı madde örne i THF içine yerle tirilmi tir. THF çözücü oldu undan karı ımdaki ba layıcı maddeler elle sallanarak 5 dakika içinde da ılmı tır. Da ılma tüm testlerde aynı zaman aralı ında olmu tur. Ate leme fırın testi (ortalama AASHTO T 308-04) 4.75 mm elekten geçen karı ım için ba layıcı içeri ini ölçmek için yapılmı tır.

3.1.5.10. Oksidatif Ya lanma Analizi - (4) Jel Geçirgenlik Kromatografisi (GPC) Sonucu

ekil 3.14. (b), e rinin altında kalan alanı GPC sistemi içine enjekte edilen ba layıcı madde moleküllerini temsil etmi tir (Kim vd., 2004). Asfalt

ba layıcı bile enleri birkaç grupta gösterilmi tir (Jennings, 1980; Jennings ve Prabanic, 1985; Kim vd., 1995; Noureldin ve Wood, 1989).

Bu çalı mada, bir kromatogram profili üç parçaya bölünmü 13 dilimle ele alınmı tır: büyük moleküler boyut (LMS; dilimleri 1 ile 5 arası), orta moleküler boyut (MMS, 6 ile 9 arası) ve küçük molekül boyut (SMS; 10-13) (ekil 3.14. (b)). Sadece ön kısımdaki LMS sayısal de eri ba layıcı madde özelliklerini saptamak için kullanılmı tır. Ara tırmalar büyük moleküler boyutun (LMS) di er boyutlara göre asfalt ba layıcı özellikleri ile daha iyi ve kesin sonuç verdi ini göstermi tir (Al-Abdul Wahhab vd., 1999; Kim vd., 1995; Kim vd., 2006).

3.1.5.11. Karı ım Performans Analizi:

Dolaylı çekme dayanımı (ITS) de eri karı ımların nem duyarlılı nı de erlendirmesine yardımcı olmu tur. ASTM D 6931 test prosedürü ise ITS de erinin ölçülmesine yardımcı olmu tur. Numuneler 95 mm. yüksekli e sahip 150 mm. çapında hava bo lu u içeri i 7 ± 1 arasında de i en de erlerde alınmı tır. Numuneler daha sonra do al (kuru) ve iklimlendirilmi (ıslak) adı altında iki gruba ayrılmı tır. Kuru grup örnekleri özel bir iklimlendirme olmadan 25 °C' de test edilmi tir. Islak grup örnekleri ise iklimlendirmeden sonra test edilmi tir. Islak grup iklimlendirmesi u ekilde olmu tur:

- Numunenin %55 ~ 80 oranını kapsayacak ekilde vakumla suya doyurulmu ,
- Yüksek sıcaklıkta (60 °C) su banyosuna 24 saat boyunca daldırılmı ,
- Su banyosunda test için sıcaklık 25 °C dü ürülmü tür.

ITS ve çekme gücü oranı (TSR) de erleri hesaplanmı ve sonuçların ortalaması rapor edilmi tir.

Asfalt Kaplama Analizörü (APA), her karı ımda tekerlek izi olu umu özelli ini de erlendirmek için kullanılmı tır. Silindirik numuneler, 150 mm. çapında 75

mm. yüksekli e sahip ve hava bo lu u $\%4\pm0.5$ olacak ekilde hazırlanmı tır. Daha sonra 6 örnek 3 kalıplı analizör içine yerle tirilmı ve 6 saat boyunca $64\text{ }^{\circ}\text{C}$ de bırakılmı tır. Her test $64\text{ }^{\circ}\text{C}$ test sıcaklı nda, 690 kPa lastik hortum basıncında, 445 N' luk çelik jant yüküyle, 8.000 kere dönerek yapılmı tır. Tekerlek izi olu umu de erlendirmesini için 135 dakikalık bir test süresi gerekmi tir. Her numunenin tekerlek izi derinli i elle çevrilen çevirmeli ölçer ile ölçülmü ve de erler rapor edilmi tir.

ASTM 4123 prosedürüne dayanarak 5, 25 ve $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ deki sıcaklıklarda esneklik modülü testleri yapılmı tır. Her i lemde 4 numune alınmı tır. Numune boyutları 150 mm çapında, 95 mm kalınlı nda ve $\%4\pm0.5$ hava bo lu unda olmu tur. Dört numuneden biri tekrarlanan yük altında belirlenen ITS de erini ölçmek için kullanılmı tır. 5, 25 ve $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ de numunede tekrarlanan yükle sırasıyla $\%30$, $\%15$ ve $\%5$ gibi ITS de erleri elde edilmi tir. Yük 0.9 saniyelik bir dinlenme süresiyle (yükleme) 0.1 saniye uygulanma süresinde olmu do rusal-de i ken çalı an dönü türücüler (LVDT) ile 30 defa tekrarlanarak deformasyon de erleri (dikey ve yatay) hesaplanmı tır. 30 defa tekrarın son 4' ü (26. dan 30. ya kadar) esneklik modülünü hesaplamak için kullanılmı tır. Daha sonra esneklik modülü de erleri üç örnek ortalaması olarak alınıp rapor edilmi tir.

Laboratuvardaki yapay bir ortam karı m numunelerinin uzun vadede ya lanmasını sa lamı tır (fırında 2 gün, $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ de ya landırma). Bu ya landırma metodu için numuneler 10 - 20 yıllık kaplama alanından seçilmı tir. Ya lanma süresince çatlama potansiyeli ara tırılmı tır.

4. DÜNYADAKİ İLİK KARIŞIM ASFALT UYGULAMALARI

4.1. İzlanda

4.1.1. Genel Bilgiler

İzlanda’da bulunan Reykjavik ve Akureyri adında iki yerde 1961’den 1990 yılına kadar 30 yıllık bir süre içinde ölçülen ortalama sıcaklık ve aylık yağış miktarına ilişkin tablo aşağıda verilmiştir. Reykjavik, İzlanda’nın güneybatı bölümünde yer almaktadır ve ülkenin en büyük yüzölçümüne sahiptir. Akureyri ise ülkenin kuzey bölümünde yer almaktadır ve ülkenin en büyük ilçesidir.

Tablo 4.1. Reykjavik ve Akureyri’de 1961 ile 1990 yılları arasında ölçülen ortalama sıcaklıklar ve aylık yağış miktarı.

	Ocak ayında ortalama sıcaklık [°C (°F)]	Temmuz ayında ortalama sıcaklık [°C (°F)]	Ocak ayı için aylık yağış ortalaması [mm (in)]	Temmuz ayı için aylık yağış ortalaması [mm (in)]
Reykjavik	-0.5 (31.1)	10.6 (51.1)	75.6 (2.95)	51.8 (2.02)
Akureyri	-2.2 (28.0)	10.5 (50.9)	55.2 (2.15)	33.0 (1.29)

İzlanda’da yıl içinde mevsimsel sıcaklık değişimi aynı देशlerde gözlemlendiğinden üstyapı tasarımı için uygun bir ortam olduğu gözlemlenmiştir (Johannesson, 2005).

2004 yılında İzlanda’da 13,000 km (8080 mil) yeni karayolu kaplaması yapılmıştır. 2004 yılı Yol Dairesi’nin yaptığı bir raporda ise eski kaplamaların sökülüp yeniden kaplanmasının 623 km² (387 mil) (3.737.000 m² (40.225.000 ft²)) ulaşılabileceği söylenmiştir. Bu kaplama genellikle sathi kaplama olarak uygulanmıştır. Kentsel alanlarda, yoğun trafiğe olan yollarda (Trafik 3000 YOGT’ye (Yıllık Ortalama Günlük Trafik, araç/gün) ulaşınca) BSK

tercih edilmi tir (Johannesson vd., 2005). 623 km' nin (387 mil), 572 km' si (355 mil) sathi kaplamayla 51 km' si (30.500 ton) ise BSK ile kaplanmı tır. Bu sayısal veriler kentsel alanlardaki sokakları kapsamamı tır.

Reykjavik Belediyesi toplamda 400 km'lik (250 mil) BSK ile kaplı kentsel alandır. Di er kıyı belediyeler ise 600 km' lik (370) BSK ile kaplı kentsel alandır. Bu veriler, Tablo 4.2'de özetlenmi tir.

Tablo 4.2. zlanda yol sistemi

	Yol daresi	Reykjavik Belediyesi	Reykjavik Kıyı Belediyeleri	Toplam
Toplam karayolu sisteminin uzunlu u [km (mi)]	13,000 (8,080)	400 (250)	600 (370)	14,000 (8,700)
Asfalt yolların toplam uzunlu u (sathi kaplama dahil) [km (mi)]	4,500 (2,800)	400 (250)	600 (370)	5,500 (3,420)

4.1.2. zlanda' da Ilık Karı ım Asfalt

4.1.2.1.Teknik Sorunlar

Bu bölümde, zlanda kaplaması ile ilgili çe itli teknik sorunlar ele alınmı ve ülkenin kaplama durumuna İKA nasıl uygulanmı , metotlar ve standartlarıyla ele alınarak bilgi verilmi tir.

4.1.2.1.1. zlanda' da Asfalt Kullanımı

zlanda' da sıcak karı m asfalt üretimi yıldan yıla de i mi tir ama kaba bir tahmin yapmak gerekirse bu de i im yılda yakla ık 250.000 ton olmu tur.

zlanda' da BSK ile yüzey kaplaması arasında farkı inceleyen raporda ömür döngü maliyetleri göz önüne alınarak ülkede kullanılan farklı kaplama türlerinin bazı bilgi ve kar ıla tırmaları verilmi tir. Verilen bilgilerde trafik yılda %2.5 artıp YOGT 4000'e ula tı ında BSK sathi kaplamadan daha az pahalı bir seçenek olur. Trafik yılda %2.5 artıp YOGT 3000 oldu unda veya trafik yılda %0 artıp YOGT 5000 oldu unda BSK sathi kaplamaya e it maliyetli bir seçenek olur. Trafik hacimleri dü ük oldu unda sathi kaplama her zaman daha az pahalı bir seçene e dönü mü tür (Johannesson vd., 2005).

Ta Mastik Asfalt (TMA) zlanda' da a ır trafik hacmi ta ıyan yollarda (> 5000 YOGT) kullanılmı tır, ama fizibilite çalı masında ele alınmamı tır.

zlanda' da kullanılan TMA üretimi için lifler ve söktürmez etkenli (özellikle aminler) katkıları nem varlı ında agrega arasındaki yapı mayı artırmak için kullanılmı tır (Arason, 2004; Johannesson vd., 2005)

4.1.2.1.2. Metotlar

zlanda' da alı ılmı sıcak karı m asfalt tasarım yöntemi olan Marshall karı m tasarım yöntemi nem hassasiyetini azaltmak için biraz de i tirilmi olmasına ra men özellikle bitüm yo unlu unu artırmı tır. zlanda' da ço unlukla Superpave sınıflandırma sistemine göre PG 64-22 ve PG 58-28 benzer özelliklere sahip 70/100 ve 160/220 'lük iki bitüm sınıfı kullanılmı tır (Johannesson, 2005).

zlanda' nın en büyük iki asfalt fabrikasının bilgilerine göre (Hofdi Ltd. ve Hladbaer-Colas Ltd.) sıcak karı m asfalt üretimi ve yerle tirilmesi a a ıdaki basamaklarda takip edilmi tir:

- Agregalar (genellikle yaklaşık %3-6 nem içeren) yaklaşık 160 ila 180 °C (320 ila 356 °F) arasında kurutulmuştur. Toz ve partiküller egzoz hava filtresiyle filtrelenmiştir. Mazot ya da fuel-oil kurutma işleminde kullanılmıştır ama üretimin büyük bir kısmında kurutma için elektrik kullanılmıştır. 150-160 °C (302-320 °F) arasında ısıtılan bitüm daha sonra agrega ile karıştırılmış ve silolara taşınmıştır. Asfalt yaklaşık 130-140 °C'de (266-284 °F) yerleştirilmiştir ve kalınlığı genellikle 40-50 mm (1.6-2.0 in) olmuştur (Johannesson vd., 2005).
- IKA üretiminde yakıt tüketimi azaldıkça nem miktarının %3-6 arasında bir dereğe yükseldiği gözlemlenmiştir. Örneğin, 2001 yılında Norveç IKA Köpük üretiminde yakıt tüketiminin %31.5 azaldığı gözlemlenmiştir. Buna bağlı olarak kurutma kutusuna girmeden önce agregalardaki ortalama nem miktarı %2.3 olarak gözlemlenmiştir. IKA Köpük denemeleriyle hazırlanan bir başka rapordaysa yakıt tüketiminin yaklaşık %25 azalmasıyla nem içeriğinin %4.5 olduğu gözlemlenmiştir. Bu da BSK'ya göre daha az yakıt tüketimiyle istenilen derecede (%3-6) neme ulaşıldığını ortaya koymuştur (Koenders vd., 2002).

4.1.2.1.3. Standart Özellikler

Yol daresi'nin yayını Alverk '95' de, yol ve köprü inşaatı gibi genel iş sahaları için ASTM, EN ve ISO gibi uygun standartlar tanımlanmıştır. Bu tanımlamadaki amaç çeşitli tipteki projeler için inşaat, muayene ve ölçümlerin düzenlenip koordine edilmesi olmuştur.

BSK üretimi ve yerleştirmeyle ilgili düzenleme şu şekilde sıralanmıştır (Alverk '95, 2005):

- Karıştırım için bağımlı maddede sıcaklık değeri Tablo 4.3.' e göre düzenlenmelidir:

Tablo 4.3. Yol daresi yayını Alverk 95 göre sıcak karı ım asfalt üretimi için karı ım sıcaklıkları

	Pen. 40	Pen. 60	Pen. 85	Pen. 120	Pen. 180
Maks. Karı tırma sırasında izin verilen sıcaklı ı [°C (°F)]	205 (401)	190 (374)	175 (347)	165 (329)	160 (320)
Normal artlar altında karı tırma sırasında sıcaklık [°C (°F)]	180 (356)	170 (338)	160 (320)	155 (311)	150 (302)

- Asfaltta hava bo lu u %3 olmalıdır. E er iki veya daha fazla tabaka serilirse hava bo lukları yakla ık %6 olmalıdır;
- Ya murlu havada, 1 °C (34 °F) den daha dü ük sıcaklıkta, rüzgarlı havada imalat yapılmamalıdır;
- BSK üst tabakasının yerle tirilmesine 1 Eylül' den sonra, temel tabakası yerle tirilmesine 15 Ekim' den sonra izin verilmemelidir;
- Fini erdeki karı ım sıcaklı ı Tablo 4.4.' de belirtilenden daha dü ük olmamalıdır.
- Karı ımın ta ınması sırasında kamyon kasası sa lam, temiz olmalı ve karı ım tamamen kapalı bir kasada ta ınmalıdır.
- Kaplama sıcaklı ı 60 °C' nin (140 °F) altına dü tü ünde yol trafi e açılmalıdır (Alverk '95, 2005).

Tablo 4.4. Yol daresi yayını Alverk 95 göre ilk yerle tirmeye ba lanmadan önce sıcak karı m asfalt sıcaklıkları

Ba layıcı madde tipi	Pen. 40	Pen. 85	Pen. 180
zin verilen en dü ük karı m sıcaklı ı [°C (°F)]	165 (329)	145 (293)	135 (275)

4.1.2.1.4. Asfalt Tesisleri

zlanda tümü beton santralinden olu an 9 asfalt tesisine sahiptir ve bunlardan üçü ta inabilmektedir. Ülkenin 5 farklı noktasında 6 karı m tesisi bulunmaktadır. Reykjavik' da bulunan büyük bir tesis 330 ton/saat üretim, üç ta inabilir tesis 200 ton/saat üretim, geri kalanlarıysa 120 ton/saat üretim yapmaktadır.

Sabit durumdaki tesisten çıkan asfaltın maksimum ta ıma mesafesi 200 km (124 mil), hizmet çapı içindeki tüm yollarda trafik 1500 YOGT olarak alınmı tır. Hizmet çapı dı ındaki kalan yollarda ta inabilir tesisten yararlanılmaktadır (Johannesson vd., 2005).

4.1.2.1.5. Ilık Karı m Asfalt zlanda Ara tırması

Asfalt üretim sıcaklı ının dü ürülmesi çalı ması zlanda' da laboratuvarlarda yürütölmekte ve Yol daresi Ara tırma Fonu tarafından desteklenmektedir. Proje hala devam etmektedir ve henüz bir rapor yayımlanmamı tır.

zlanda' da iki agrega türü dört karı m türünde kullanılmı tır. Bu karı mlar BSK, aspha-min zeolitli karı m, sıyırmayı önleyicili (Wetfix N) aspha-min zeolit karı m, sasobit balmumlu karı m olarak ele alınmı tır. Tüm karı mlar 115 °C (239 °F) 140 °C' de (284 °F) arasında üretilmi ve yakla ık 5 °C' ye (9 °F) dü ünçeye kadar sıkı tırılmı tır.

Ön sonuçlarda sasobitli karı ımın aspha-min zeolitli karı ımdan denge, deformasyon, yüzde hava bo lukları ve nem hassasiyeti açısından daha iyi performans gösterdi i görülmü tür. 115 °C' deki (239 °F) Sasobitli karı ım ile 140 °C' deki (284 °F) sıcak karı ımın ise benzer performans gösterdi i görülmü tür.

4.2. Almanya, Norveç, Fransa

4.2.1. IKA Performansı

ABD'den gelen bir ara tırma ekibi (FHWA-Federal Karayolları daresi) Avrupa'daki IKA kaplama alanlarında görüntüleme ve veri toplama çalı ması yapmı lardır. Ara tırmalardan sonra ziyaret edilen ülkelerde "IKA' nın BSK' ya göre e it ya da bazı özellikleriyle daha iyi bir performans sa ladı ı görülmüyor" genel fikrine varmı lardır.

4.2.1.1. Norveç

Tarama ekibi Norveç' te 3.500-25.000 araç arasında de i en günlük ortalama trafik ile 6 IKA köpük kaplama bölümünü incelemi tir (ekil 4.1). ncelenen dört kaplamada yo un gradasyonlu karı ımlar ve iki ta mastik asfalt kullanıldı ı görülmü tür. Genel olarak kaplamaların çok iyi durumda oldu u gözlenmi tir. Ara tırmalarda yer yer tekerlek izi olu umlarına rastlanmı tir, ama bu tekerlek izlerinin IKA teknolojileriyle olu turulan kaplamaya ait olmadı ı tespit edilmi tir.

1970' lerde ve 1980' lerde çivili lastiklerin a ınmaya etkilerini belirlemek için ara tırmalar yapılmı tir. Ara tırmalar sonucunda BSK özelliklerinde sert ve iri agrega yüzdesini yükselterek çivili lastik a ınmasının azaltılabilece i kanaatine varılmı tir. 1990' lı yıllarda çivisiz lastiklerin geli imiyle çivili lastik kullanımı azalmı ve bu sorun ortadan kalkmı tir (Berntsen, 2007).



ekil 4.1. ABD tarama ekibinin Norveç İKA köpük kaplama tefti i

1990 yılından bu yana, Norveç Kamu Yolları daresi (NPRA) 56.000 km.' lik (35.000 mil) ilçe ve ulusal yol a nda yıl yıl kaplama durumunu ara tırmı tır. Durum raporunda kaplamada pürüzlülük, doku, profil, tekerlek izi olu umu ve her 20 metrede bir çekilen kaplanan yol foto rafı yer almı tır. Tekerlek izi olu umu ölçümleri kümülatif frekans da ılımı ile analiz edilmi tir. Tekerlek izi derinli i 25 mm.' yi a tı nda kümülatif frekans de eri %90' ı göstermi tir. z derinli i azaldıkça bu de erde azalmı tır.

NPRA, İKA ile yapılmı ya ları 2 ila 8 arasında de i en 17.800 metrik tonluk (16,198 ton) 28 İKA köpük bölümüyle ilgili veriler elde etmi tir. Bu veriler tüm ülkelerdeki performans de erlerini kapsamı tır. İKA köpük dı ndaki kaplamalar genellikle kötü bir performans sergilemi tir (Berntsen, 2007).

4.2.1.2. Almanya

BAST (Federal Otoyol Ara tırma Enstitüsü Kimya Bölümü Başkanlığı) yeni malzemeleri ve in aat uygulamalarını ara tırmak için bazı prosedürler belirlemi tir. Yeni malzemelerle laboratuvar testleri denemeye ba lamı tir. Ba arılı bir laboratuvar de erlendirmesinden sonra alan denemeleri farklı yol ve farklı ko ullar altında yapılmı tir. Alan denemeleri için u artlar aranmı tir:

- Yüksek trafik
- Gidi güzergahı sa dan olan erit
- Kesim uzunlu u > 500 m (1,640 ft)

Alan denemeleri en az 5 yıl izlenmi tir. Toplanan IKA verileri karı m sıcaklık izlemesini, emülsiyon verilerini, de i en karı m örneklerini ve ilk profil de erlerini içermi tir. 5 yıllık de erlendirme süresi boyunca kesimlerde enine profil, tabaka kalınlı ı ve yüzey durumu takip edilmi tir. Test kesimleri her zaman bir kontrol kesimi ile birlikte in a edilmi tir. Tarama ekibi bu kesimlerden Köln ve Frankfurt arasındaki otobanda bulunan IKA mastik asfalt bölümünü izlemi tir (ekil 4.2. ve 4.3.).



ekil 4.2. Enine Profil ölçümleri.



ekil 4.3. Tabaka kalınlı ı ölçümleri.

Laboratuvar ve saha performans verileri BAST tarafından izlenmekte olan yedi IKA test kesiminden alınmı tır. Yedi test kesimi 1998 ve 2001 yılları arasında in a edilmi tır. 6. ve 7. kesimler TMA karı ımlar ve yo un kademeli karı ımdan olu turulmu tur. 2 TMA kesiminde maksimum agrega boyutu (NMA) 8 mm ve geri kalanındaysa 11 mm alınmı tır. Yedi bölümde dört IKA teknolojisi olan Sasobit, Asphaltan-B, Aspha-min, ve Sübit (asfalt licomont 100 B ile modifiyeli) kullanılmı tır. Tablo 4.5' de test kesimleri BSK kontrol bölümleriyle kar ıla tırılmı ve test kesim verilerinin BSK kontrol bölümlerindeki verilerden daha iyi sonuç verdi i görülmü tür (Harnischfeger, 2007; BAST, 2007).

Ayrıca IKA katkı üreticilerinden bazıları ticari projelerde performans verilerini sunmu tur. Bu projelerde de IKA' nın performans olarak BSK' dan (veya daha önce yerinde kullanılmı olan bazı durumlarda) daha iyi sonuç verdi i görülmü tür.

Almanya Fischer-Tropsch balmumu (sasobit), Montan mumu (Asphaltan-B), ve amid ya asidi kullanılan IKA katkı maddelerinin üçünün avantajı, sıcaklıkla beraber sertli in artması olmu tur.

Tablo 4.5. Test kesimlerinin BSK kontrol bölümleriyle karşılaştırılması (BAST, 2007)

	SmB 35 B 209 (ön karımlı) Sasobit	50/70 Pen + 4% Sasobit (malzemeye ekleme) Hamburg	50/70 pen. + Asphaltan B B 193	50/70pen. + Asphaltan B L 303	50/70 pen. + Aspha-min B3	Sübit VR 45 B 283	Sübit VR 35 B 51	
Kesim Numarası	1	2	3	4	5	6	7 ³	
Arazi Ölçümleri	Tekerlek izi ¹	E it	E it	E it	E it	E it	E it	Düük
	Teker yolu üzerinde sıkı tırma yüzölçümü	E it	Daha iyi	E it	Daha iyi	Daha iyi	E it	yok
	Çatlak	E it ²	E it ²	E it ²	E it ²	E it ²	E it ²	
Laboratuvar Ara tirmaları	Termal stabilite	Daha iyi	Daha iyi	E it	Daha iyi	E it	Daha iyi	Çok iyi
	Düük sıcaklıkta performans	E it	E it ve ya daha iyi	E it	E it	E it ve ya daha iyi	E it ve ya daha iyi	iyi
	Balayıcıda yapışma	E it ve ya daha iyi	E it ve ya daha iyi	E it ve ya daha iyi	E it ve ya daha iyi	E it	E it	düük
	Balayıcıda yapma	E it ve ya daha iyi	E it ve ya daha iyi	Daha iyi	E it	E it ve ya daha iyi	E it ve ya daha iyi	iyi

1. Düük seviyeli = <10 mm (0.4 inç)

2. e it=yok

3. Kontrol bölümü yok

4.2.1.3. Fransa

Fransa’da laboratuvar çalışması ve alan denemeleriyle çeşitli IKA katkıları incelenmiştir. Laboratuvar çalışmalarında tekerlek direnci için tekerlek izi testleri, nem direnci için Durez testi, saha sıkı tırma tahmini ve inelenebilirlik için koni testleri yapılmıştır (Brosseaud, 2007). IKA’ya geliştirme için inelenebilirlik ele alınmıştır. IKA’da tekerlek izine karşı direnç BSK ile aynı çıkmıştır. Bazı testlerde Durez test sonuçlarının oranı IKA için biraz daha

düük çıkmıtır. Yorulma testleri BSK ile benzer sonuç göstermiştir. Yollar ve otoyollar teknik çalışmaları servisi (Setra) yeni ürünler için sertifikasyon sürecinin bir parçası olarak saha denemelerini üstlenmiştir.

Eure-et-Loir Dairesi (Yol Daire Başkanlığı) Paris'in güneybatısında Aspha-min zeolit ile deneme yapmıştır. Bu deneme 2007 yılında 40 km'lik (24 mil) bir yolda yapılmıştır. Eure-et-Loir İKA katkılarının çevresel faydaları artırdığını, içinin buhar vb. durumlardan etkilenmesini azalttığını, ya murda serilimde buharı düürdü ünü gözlemlemiştir. Daire aynı zamanda İKA'nın uzun menzilli mesafelere taşımada ve kaplama sezonunda uzamaya yardımcı olduğunu gözlemlemiştir (Sauterey, 2007).

Paris ehrinde otobüs yolunun da dahil olduğu kentsel çevrede birkaç İKA süreci denenmiştir. ehrin asfaltlama projelerinden çıkan dumanlar ve kokulardan endişe duyan Parislilerden gelen çağrılara yanıt olarak İKA teknolojileri değerlendirilmiştir. İlk denemede mastik asfaltla birlikte İKA kullanılmıştır. Paris ehrinde 2004 yılında aynı anda başlayan BSK karışımlarla altı İKA süreci test edilmiştir. Projelerin bazıları geceleri inat edilmiştir. Proje en az 3 yıl takip edilmiştir (Leroy, 2007).

Paris'in güneybatısında paralı yol işletmesi yapan özel paralı yol idaresi Cofiroute, 2003 yılında A81 yol bölümü üzerinde Aspha-min zeolit ile bir deneme kesimi yapmıştır. Bu deneme kesimine 2.500 metrik ton'luk (2.275 ton) 2,4 inç (6-cm) kalınlığında aspha-min yerleştirilmiştir. BSK'dan daha düşük 30 °C (54 °F) gibi bir sıcaklıkta aspha-min karışımı eklenmiş ve sıkıştırılmıştır. Yerle tirirken boğluklar yüzde 6,5 gibi bir derdeyken yerle tirildikten sonra yüzde 7,3 gibi bir derde olmuştur. Cofiroute A81 bölümünde performanstan memnun olunmasına rağmen artan maliyet nedeniyle denemelerini tamamlayamamıştır (George, 2007).

4.2.2. IKA Özellikleri

Bu bölümde üreticilerin eklenecek IKA' yı nasıl belirlediği, özelliklerinin nasıl olması gerektiği anlatılmıştır. İlk belirlemelerde BSK ile aynı ve ya daha iyi performans gösterdiği kanısına varılmıştır.

IKA' da yoğun kademeli, taş matris, gözenekli ve mastik asfalt dahil olmak üzere asfalt çimentonun her türü kullanılmıştır. Tabaka kalınlıkları kullanıma göre değişimiştir. IKA bölümleri düşük yüksek ayırt edilmeden çok çeşitli yollar üzerinde uygulanmıştır. Norveç'te, IKA köpük uygulamalarında araç vasıtalarla günde maksimum araç 2.500 (tek yön), günlük ortalama trafik (YOGT) (iki yönde) 25.000 olarak hesaplanmıştır. Almanya'da YOGT değerleri hakkında bir rapor hazırlanmamış ancak gün başına 1.600 araç vasıtanın trafiğe çıktığı tespit edilmiştir. Fransa'daki A81 paralı yolunda günde ortalama 1.500 (tek yön) araç vasıtayla 21.000 YOGT (iki yönde) hesaplanmıştır. Ziyaret edilen ülkeler arasında aks yükü Fransa'da 13 metrik ton (11,8 ton) Norveç'te 10 metrik ton (9,1 ton) olarak alınmıştır.

4.2.2.1. Norveç

Norveç Kamu Yolları Dairesi BSK'nın yerine IKA uygulanmasını uygun bulmuştur. Bunun için IKA'nın (IKA-köpük) BSK için geçerli tüm uygulanabilir şartları sağlaması gerekmektedir. Bazı ufak sapmalara izin verilmiştir. Balyıcı maddede istikrarlı olarak sağlaması için en iyi yol olan IKA köpük tercih edilmiştir. Büyük çapta ara tırma için geçerli 5 yıl gibi bir arda dayalı deneme yapılmamıştır. Çukurların kapatılması, boyuna derzlerde kullanım, boşluk doldurma gibi ufak şartlarda inceleme imkanından yararlanılmıştır.

4.2.2.2. Almanya

Avrupa standartlarında sıcak karışım asfalt için oluşturulan malzeme içeriği şu şekilde olmuştur: "Sadece uygunluğu olan malzemeler kullanılmalıdır: 1) Avrupa standartları, 2) Avrupa Teknik Onayı 3) Malzeme özellikleri eskiden kullanılarak uygulanabilirliği kanıtlanabilir geçmişi dayanmalıdır. Bu kanıt,

pratikte elde edilen kanıtlar ile birlikte ara tırmaya dayalı olmalıdır.” (Bull-wasser, 2007).

BASSt, sasobit, romontan-B, licomont BS 100 (sübit), ve Aspha-min' in performansı ile ilgili verileri toplamı ve toplanan verileri ara tırma, test sitelerini kullanarak kar ıla tırma tır. Bu, en az 5 yıl a ır trafik altında yer alan test kesiminde izlenmesini içermi tir. Verilerin bir kısmı müteahhitler tarafından in a edilen test kısımlarından alınmı tır (BASSt, 2007).

Bu deneyimler A ustos 2006' da "Merk-Blatt" adlı bir dergide yayınlanmı tır. Dergide IKA için genel açıklamalar, referanslar olmu ve standart in aat yöntemlerinde do ru adımlarla sunulmu tur. BSK' ya eklenmi be katkı maddesi olan Fischer-Tropsch mum, Montan mumu, amid ya asidi, Montan mumu ve amid ya asidi karı ımı ve zeolit gibi katkı maddeleri veya de i tircileri hakkında bilgi, IKA için önerilen karı tırma ve sıkı tırma sıcaklıkları verilmi tir (FGSV, 2006).

IKA ile kaplama sırasında geleneksel BSK kaplama sıcaklıkları 36 ila 54 °F (20-30 °C) arasında dü mü tür. A 70/100 penetrasyonlu ba layıcı maddesi bir PG 64-22' e e de erde ba layıcı madde özelli i göstermi tir (FGSV, 2006; BASSt, 2007).

4.2.2.3. Fransa

Fransa' da yol yapımı genellikle bir müteahhit ve yol müdürlü ü arasında bir ortaklık kurularak de erlendirilmi tir. Setra, servis yollarını ve otoyol teknik çalı malarını, yol müdürlü ünü temsil etmi tir. Her iki ortak için bir de erlendirme yapması istenmi tir. De erlendirme süreci bir laboratuvar de erlendirmesi ile ba lamı , ba arılı olursa saha denemesine geçilmi tir. Son adımda mevcut standartlar uygunsa o standartlar devam edilmi uygun de ilse yenileri geli tirilmi tir. Deneme kesimlerinin her biri en az 500 metre uzunlu unda olmu tur. En az 3 yıllık takipten sonra de erlendirilmi tir. Genellikle tek bir ürün en az üç deneme kesimiyle de erlendirmek için kullanılmı ve ba arılı bir de erlendirme sonunda sertifika verilmi tir.

Sertifika, teknik ürünlerdeki do ruları ve ürünün kullanım için yönergeleri sa lamı tır. İlk sertifika 2007 yılında, Setra' ya Aspha-min zeolit (ekil 4.4.) kullanımı için verilmi tir. Bu da Setra' ya müteahhitlere sertifika verilmesinin önünü açmı tır. Sertifikalar genellikle pazarlama için müteahhitler tarafından kullanılmı tır (Brosseaud, 2007).



ekil 4.4. SETRA Aspha-min sertifikası

4.2.3. Genel Gözlemler ve Bulgular

Ara tırma takımı dört Avrupa ülkesi üzerinde seyahat ederek karı ım tasarımı, in ası için çok de erli bilgiler kazanmı ve ABD-Avrupa uygulamaları arasında bazı önemli farklılıklar gözlemlemi tir.

4.2.3.1. Materyaller

Avrupa ve Amerika' daki gözlemlerde bir dizi farklılıklar görülmü ve sonucunda malzeme seçimi pratiklik kazanmı tır. A a ıda açıklanaca ı gibi bu farklılıklar karı tırma ve ekleme sırasında çıkmı tır. En belirgin farklılıkta

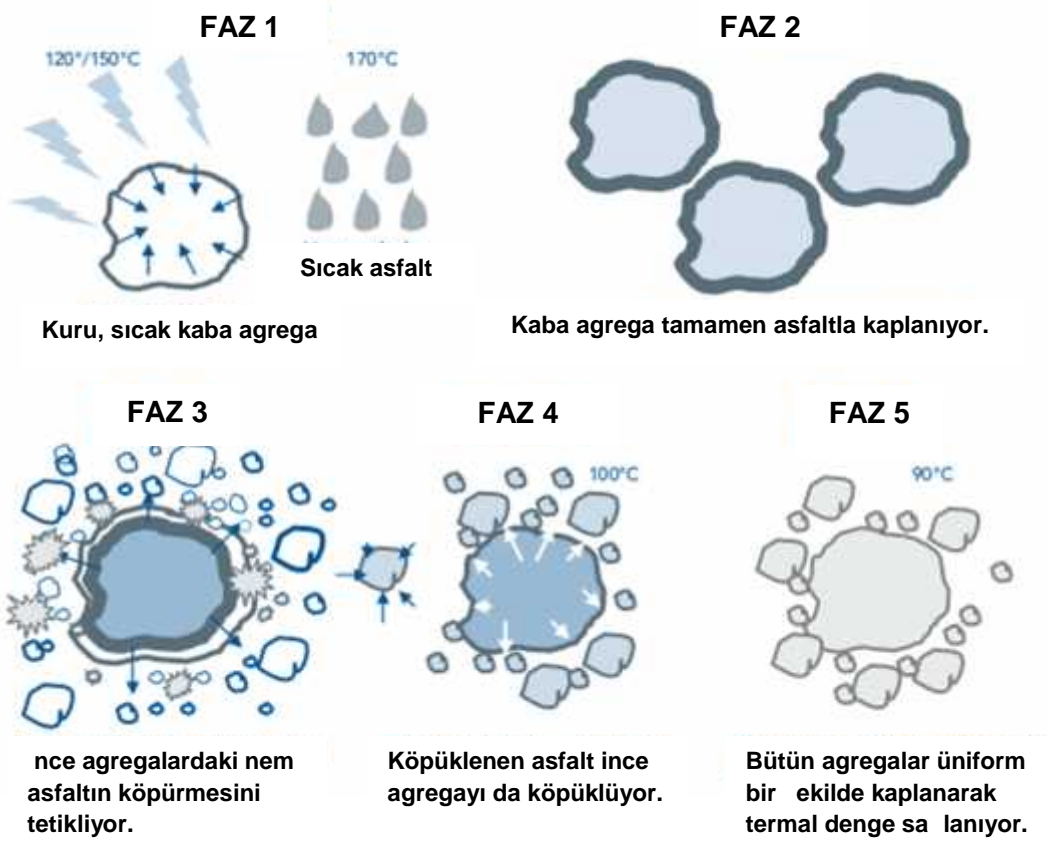
Avrupa' da kullanılan karı ımların ABD' de kullanılanlardan daha dü ük su emme de erlerine sahip olması ekinde çıkmı tır.

Ba layıcı Maddeler:

Ziyaret edilen ölkelerde müteahhitler üretim sırasında düzenli olarak ba layıcı maddelere eklemeleri ve olu an karı ımları gözlemlemi tir. BSK' ya karı tırılan sert ve yumu ak malzemeyle olu turulan IKA Norveç için endüstriyel standart haline gelmi tir. Yumu ak ba layıcı madde genellikle viskozite de eri 1.500 santistok olan tipik bir ba layıcı maddeden olu mu tur. Sert ba layıcı madde ise 70/100 penetrasyonlu ya da PG 58/64-22 de erli tipik bir ba layıcı maddeden olu mu tur.

Almanya' daki Wilhelm Schütze irketi üretim sırasında düzenli olarak ba layıcı maddeyi de i tirmi tir. Benzer uygulamalar yapılarak Berlin Norddeutsche Mischwerke GmbH (NMW) da düzenli olarak ba layıcı maddeyi de i tirmi tir. Ba layıcı maddeyi de i tirmek için sasobit ve ya licamont B 100 gibi ba layıcı de i tiriciler eklenmi tir.

Fransa' da 10/20 gibi sert ba layıcı maddelerle yüksek katsayılı karı ımlar üretilmi tir. Sert ba layıcılar IKA üretmenin zorlu unu artırmı tır. Ancak LEA (Dü ük Enerjili Asfalt) süreciyle bu zorluk ortadan kalkmı tır.



ekil 4.5. LEA (Dü ük Enerjili Asfalt) süreci

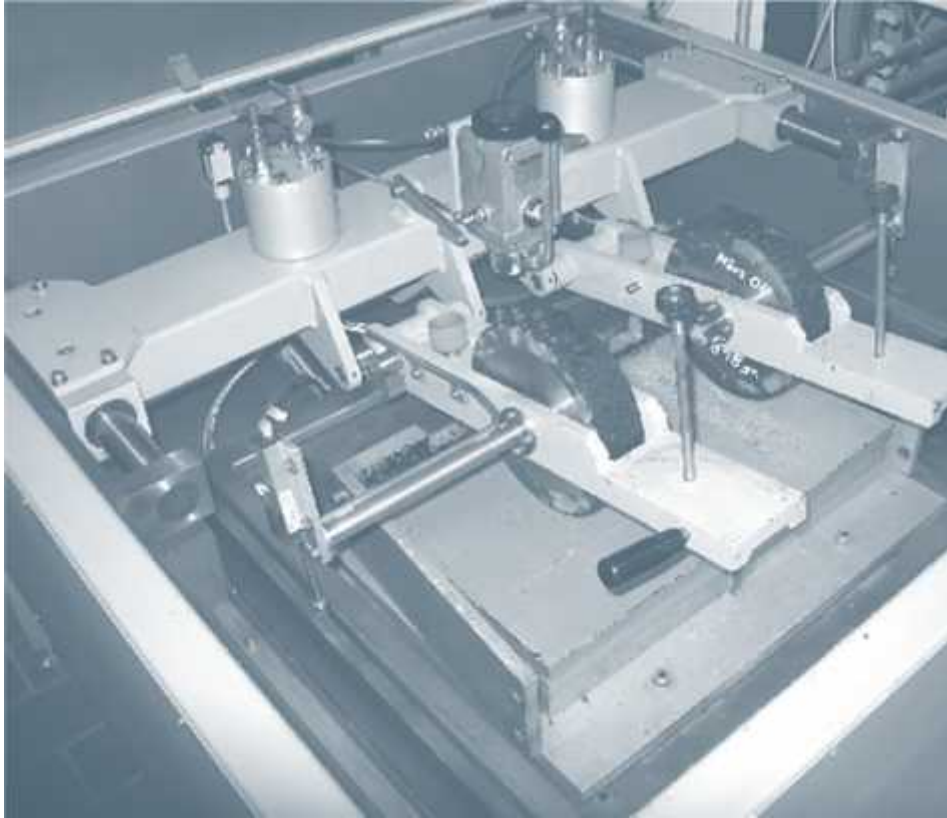
Agregalar:

ABD' de İKA sürecinde agregaların yeteri kadar kurumaması endi e do urmu tur. Bu endi e agregata su emiliminin bazı bölgelerde yüzde 5' i a masından ve üretim sıcaklığının dü ük olmasından kaynaklanmı tır. Avrupa' da ise bu de er beklenildi inden dü ük çıkmı tır.

Norveç, Kolo Veidekke irketi Ås ehrine yakın tesisinde agregata nem içeri inin yüzde 2 ila 3 arasında de i ti i bildirmi tir. Almanya, agregalarda genellikle gnays, granit ve kuvarsit gibi dü ük su emiciler kullanarak nem içeri ini dü ürdü ünü bildirmi tir. Hollanda, agregata nem içeri inin yüzde 2,2 oldu unu bildirmi tir. Bu de erler de agregata seçiminin yüzde nem içeri ini etkiledi ini ve dü ük sıcaklıklarda bile istenen agregata kurulu unun sa landı ını göstermi tir.

4.2.3.2. Karı ım dizaynı

Avrupa' da her bir ¼lke için Tablo 4.6' da açıklandı ı gibi farklı dizayn prosed¼rleri uygulanmı tır. Bazı tasarımlarda parametreler, testler belirlenen endi eleri gidermek için de i tirilmi tir. ¼rne in: Norveç, ivili lastik kullanımına izin vermi tir. Norveç' de kaplamalar çivili lastikler nedeniyle ¼nemli bir a ınmaya maruz kalmı tır. Nordic A ınma Testi olarak bilinen agrega test y¼ntemi, çivili lastik a ınmasına dayanıklı agrega kayna ı tanımlamak için geli tirilmi tir. ABD' de kullanılan yo ırmalı sıkı tırıcı Norveç ve Almanya' da kullanılmı tır. Ayrıca bu iki ¼lkede hacimsel ¼zellikleri belirlemek için Marshall y¼ntemi kullanılmı tır. Almanya, tekerlek izi potansiyeli ve nem duyarlılı ı de erlendirmek için elik jant ile 50 ¼C' de (122 ¼F) ıslak Hamburg y¼kl¼-tekerlek testini kullanmı tır. Yeni AB standartlarına bu test alınmamı tır. Onun yerine aks y¼kleri en az 13 ton olan tekerlek izi cihazına sahip sert kauçuk tekerlekle yapılan kuru Hamburg y¼kl¼-tekerlek testi alınmı tır (ekil 4.6).



ekil 4.6. AB' nin k¼¼k ¼lekli tekerlek izi cihazı

Tablo 4.6. Güncel tasarım uygulamaları özeti.

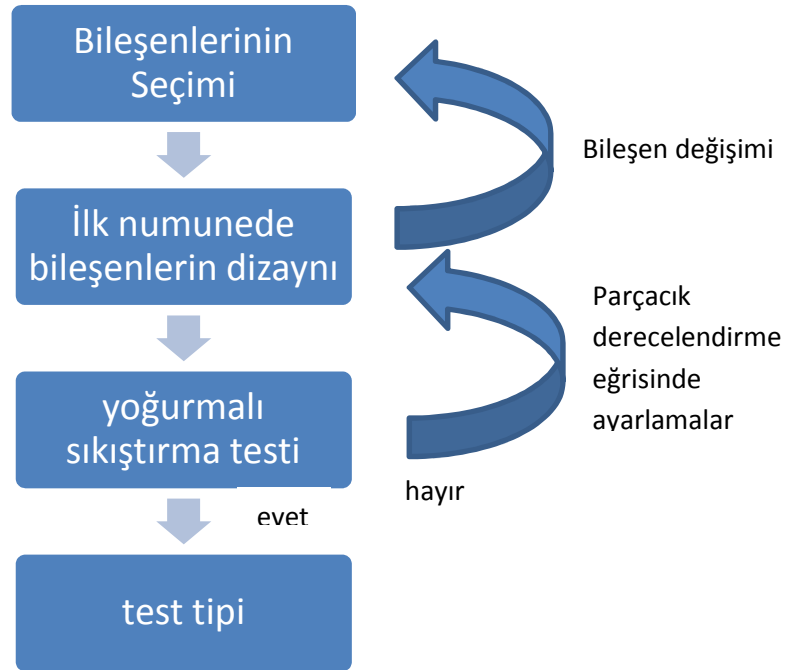
Avrupa standartları	Kategori	Norveç	Almanya	Fransa
Temel Malzemeler	Agrega özellikleri	<ul style="list-style-type: none"> - Yüzey karışımların Polonyaca deneyi - ri agreg için LA a ınma deneyi (trafik yoğunlu na göre 25 ila 35 sınırı) - ri agreg için Nordic a ınma testi (maksimum 7- 14 trafik dayalı) - ri agreg için Yassılık indeksi - nce agreg için hiçbir gereksinim yoktur. 	<ul style="list-style-type: none"> - Yüzey karışımların Polonyaca deneyi - ri agreg için Schlagversuch darbe testi - ri agreg için Yassılık indeksi 	<ul style="list-style-type: none"> - Bile en seçimi - Özelliklerin seçimi (performans sınıfı)
	Ba layıcı özellikleri	<ul style="list-style-type: none"> - 25 °C Pen. (77 °F) (sert) - Viskozite (Yumu ak) - Yüzük&top yumu ama noktası 	<ul style="list-style-type: none"> - 25 °C Pen. (77 °F) - Viskozite - Fraaß kırılma noktası (dü ük sıcaklık) - Yüzük&top yumu ama noktası 	<ul style="list-style-type: none"> - Bile en seçimi - Özelliklerin seçimi (performans sınıfı)

Tablo 4.6. Devam

Avrupa standartları	Kategori	Norveç	Almanya	Fransa
Karı ım dizaynı	Bile en Seçimi	- Her karı ım türü için gradasyon bantları (yo un, TMA, gözenekli, vb.)	- Her karı ım türü için gradasyon bantları (yo un, TMA, gussasphalt (mastik), gözenekli, vb.)	- Sözle mede belirtilen karı ım dizayn düzeyi (1-4) - Gradasyon seçiminde deneyim
	Ba layıcı içerik metodolijisi	- Marshall karı ım dizaynı sistemi (75 darbeli / bölüm)	- Marshall karı ım tasarımı (50 darbeli / bölüm)	- Tanımlanan minimum ba layıcı içeri i, k zenginli i modülü (film kalınlı ı)
	lenebilirlik	- Fin yo ırmalı Fransız sistemi	- Yo ırmalı sistem tercih edilmez	- Fransız yo ırmalı kompaktör; kriterleri: karı ım türü ve kalınlık fonksiyonu
	Neme dayanıklılık	- Çekme gücü oranı (TSR) de eri	- TSR' ı ke fetmek, ıslak Hamburg' a AB izin vermez	- Daldırma sıkı tırma (Duriez) testi
	Tekerlek izine direnç	- 50 °C (122 °F) kuru Hamburg tipi yüklü tekerlek testi	- 50 °C (122 °F) kuru Hamburg yüklü tekerlek testi	- Fransız yüklü-tekerlek testi
	Karı ımda rijitlik			- Do rudan çekme ve ya 2 noktada e ilme
	Yorulma direnci		- 3 noktada e ilme testi	- 2 noktada e ilme testi (yapısal tasarımı ba lantı için)
Geçerli süresi	Onaylı dizayn	2 yıl	2 yıl	5 yıl

Fransa' da kullanılan karı m dizaynı performans özellikleri ve karı m özellikleri olmak üzere iki ana bölüme ayrılmı tır. Performans özellikleri ince, ultra-ince, gözenekli, yo un dereceli, yüksek modüllü gibi sınıflarda karı m türlerini belirlemek için verilmi tir. Karı m özellikleri ise 10 nolu elekten geçen agregaların boyutlarının ve ba layıcı maddede da ılımının belirlenmesi için verilmi tir.

Performans özellikleri dört bölümde incelenmi tir. 1. bölümde yo ırmalı sıkı tırma testleri için i lenebilirlik (alanında sıkı tırılma ile ilgili) ve nem hassasiyeti yapılmı tır. 2. bölümde tekerlek izine duyarlılık için tekerlek izi testi yapılmı tır. 3. bölümde ikizkenar yamuk ekinde numunelerle uygulanan modül testleri ve 4. bölümde yorulma testleri yapılmı tır.



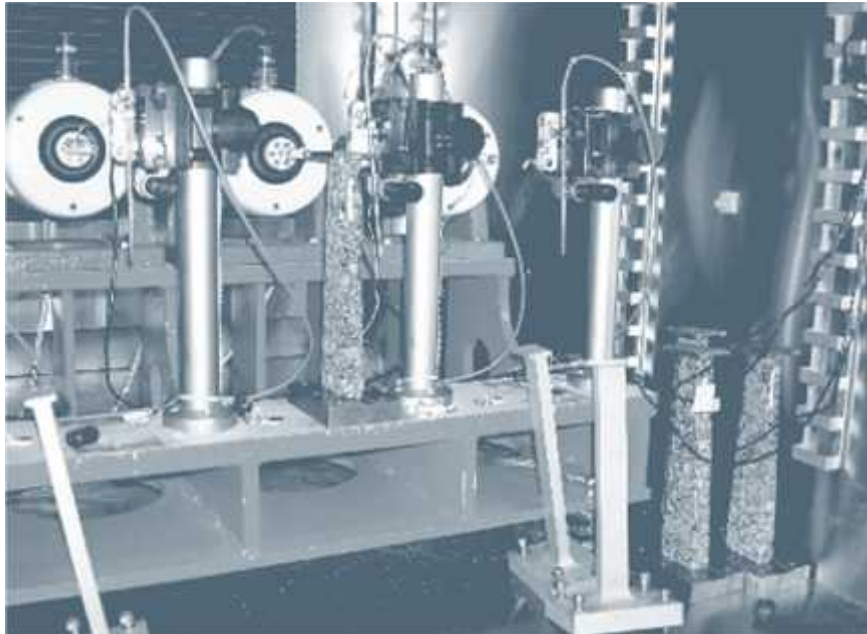
ekil 4.7. Fransız karı m dizaynı prosedürü

n aat malzemeleri dahil olmak üzere Avrupa iç pazar üzerinde satılan her üründe CE i areti olması gerekir. CE i areti, bir ürünün Yapı Malzemeleri Direktifinin tüm hükümlerine uygun oldu unu gösterir. CE i aretini elde etmek için üretici firma sahibi, fabrika üretim kontrolcüsü ve ba ımsız bir kontrolcü tarafından numunelerle deney yapılmı ve deney süresince izlenmi tir. Test

tipleri pazar taleplerine uygun şekilde yürütülmü tür. Test tipleri yaygın olarak nem direnci ve tekerlek izi duyarlılık testini kapsamı tır. Kimi zaman bu testlerle beraber yakıt tasarrufu testi de yapılmı tır (Beuving, 2007).



ekil 4.8. MLPC büyük ölçekli tekerlek izi cihazı.



ekil 4.9. MLPC ikizkenar yamuk şekilde numunelerle yapılan modül ve yorulma testi.

4.2.3.3. n aat uygulamaları

Tarama ekibi ABD' deki uygulamalardan farklı olarak unları gözlemlemi tir:

- Üretim santralleri oranı ABD'ye göre daha azdır.
- Üretim oranları daha da dü üktür.
- Yaygın olarak a ır titre imli fini er karı ımı yerle tirmek için kullanılmı tir.

Tüm farklılıklara ra men IKA için in aat uygulamalarının BSK için in aat uygulamalarıyla aynı oldu u sonucuna varılmı tir.

Tarama ekibi, Norveç, Almanya, Fransa' da bulunan üç ayrı IKA asfalt tesisini ziyaret etmi tir (ekil 4.10. ve 4.11.). Ziyaretler sırasında asfalt tesisinde köpükleme için ek silindir kutu malzeme kullanıldı ını tespit etmi tir. Silindir kutu malzeme saatte maksimum 250 ton genellikle saatte 125 ila 150 ton arasında köpük üretmi tir. Farklı boyutlarda silindir kutu malzeme Fransa ve spanya gibi yerlerde kullanılarak köpükleme miktarı arttırılmı tir. Bunlardan en büyü ü Fransa'nın EIFFAGE Travaux Publics irketi tarafından LEA üretmek için tasarlanmı tir.

Agregalar silindir kutu malzemedede ba layıcı maddeyle kaplanmadan önce sıcak bidonlarda saklanmı ve ta ınaca ı zaman yine aynı sıcaklıkta asansörle ta ınmı tir. Depolamadan ta ımaya kadar süren zamanda agregalar kurumu tur. Bazı durumlarda kurulamayı ayarlamak için brüler ayarlama (brüler ayarlama dü mesi) yapılmı tir. Bu sırada yakıt tüketimi de hesaplanmı tir. Kuruma i leminde çıkan tozu en aza indirmek için so utucu-besleyici kemer kullanılmı tir. Ayrıca bu kemer agregaların ya murdan etkilenmesini de engelleme tir. Kolo Veidekke irketi geri dönü ümlü kaplama (RAP) stoklarında (ekil 4.12.) malzeme nem içeri ini en aza indirmek ve ya murdan korunması için ta ınabilir bir branda kullanmı tir.



ekil 4.10. Norveç Kolo Veidekke ırketi üretim siloları



ekil 4.11. Fransa EIFFAGE Travaux Publics ırketi üretim siloları

Tarama ekibi dört ayrı kaplama operasyonu gözlemlemiştir. Malzemelerin araçlara yerleştirilmesi sırasında BSK ve IKA için kullanılan ekipmanlarda bir değişiklik olmadığını görülmüştür. BSK veya IKA damperli kamyonlarla çekilmesi ve finişer haznesine doldurulan boşaltılmıştır. Karımlı alana yerleştirilmek için ağır titreşimli finişer kullanılmıştır (ekil 4.13.). Bu finişerle yüksek derecede yoğunluk sağlanmıştır. Sıkı tırma için çelik tekerlekli-vibrasyonlu silindir sıkı tırıcı kullanılmıştır. Silindir sıkı tırıcı geneliği ABD’de kullanılanlardan daha dar seçilmiştir.



ekil 4.12. Kolo Veidekke’ in RAP depolama için kullandığı tahılabilir branda



ekil 4.13. A ır titre imli fini er

4.3. ılık Karı ım Asfalt Maliyeti

ılık karı ım asfaltın ilk yatırım maliyeti geleneksel sıcak karı ım asfalttan daha fazladır. Ortalama olarak, katkı maddelerine ihtiyaç duydu u için ılık karı ım asfalt sıcak karı ım asfalttan bir ton için 3 – 5 \$ daha pahalıdır. Bununla beraber, İKA BSK'dan daha hızlı serilebilir ve daha az yakıt tüketir (Oberding, 2011).

4.4. İKA Teknolojilerinin Avantajları ve Dezavantajları

İKA karı ımlarda tehlikeli madde emülsiyonları BSK karı ımlarına göre daha dü ük çıkmı tır. BSK ile yapılan tünellerde, yo unla an duman açık bir alandaki dumana göre çok daha yava temizlenmi ve yol çalı anlarının üzerinde olumsuz etki yapmı tır. Bu durumda dü ük emülsiyonlu İKA karı ımlar önemli bir avantaja sahip olmu tur.

IKA karı ımlarının üretiminde zararlı emülsiyonların azaltılması u de erlerde olmu tur:

- % 30-40 oranında CO₂ azaltılmı ;
- % 35 oranında SO₂ azaltılmı ;
- % 10-30 oranında CO azaltılmı ;
- % 60-70 oranında NO_x azaltılmı ;
- % 20-25 oranında toz azaltılmı tır.

IKA karı ımların bir ba ka avantajıysa yakıtta tasarruf olmu tur. BSK karı ımlarla kar ıla tırılırsa IKA karı ımlarda %40 daha dü ük yakıt masrafı elde edilmis tir. Sıcaklı ın yakıt maliyetlerinin azalmasında rol oynadı ı görülmü tür. Bu azalmanın büyüklü ü üretim süreci ve kullanılan yakıt türünün fiyatına göre de i mi tir. Litvanya' da bu fiyatlar oldukça yüksektir ve sürekli artmı tır. Bu nedenle bu azalmayı etkileyen etkenler Litvanya yol irketleri için çok önemli olmu tur.

IKA karı ımlarının üretim ve kullanımda yararları u eilde özetlenmi tir:

- 1) Duman emülsiyonlarının azalmasıyla asfalt i çilerinin çalı ma ko ulları iyile mi ;
- 2) Zararlı emülsiyonlar azaltılmı (sera gazları);
- 3) Asfaltlama ko ulları iyile mi :
 - Asfalt daha dü ük bir sıcaklıkta yerle tirilebilmi , asfalt kaplama sezonu uzamı ;
 - Asfalt karı ımı uzun mesafelere ta ınabilmi ;
 - Asfalt kaplama sürecinde mekanik kullanımı ve gerekli sıkı tırma derecesine ula ım kolayla mı ;
 - Yollar daha kısa sürede trafi e açılmı , kısa sürede kaplama sa lanmı tır.
- 4) Geri Dönü ümlü Kaplama (RAP) %50 ve daha fazla asfalt karı ıma eklenebilmi ;
- 5) Yakıt tüketimi azalmı tır.

Kısa bir sürede yapılan incelemeler IKA' in dezavantajının ara tırılmasını kısıtlamı tır. Görülen bazı dezavantajlar u ekilde sıralanmı tır:

- 1) Pek çok ara tırma sonuçlarına göre, IKA karı ımların fiziksel ve mekanik özellikleri BSK karı ımlardan daha kötü çıkmı tır. Bu da IKA karı ımlarda kullanılan teknolojinin tam olarak incelenmedi inden kaynaklanmı ;
- 2) IKA' da teknolojik maliyetleri fazla olmasından dolayı asfalt karı ım fiyatı yükselme ;
- 3) Uzun asfalt karı ım döngüsü nedeniyle bazı katkı maddeleri eklenme ;
- 4) Mineral maddelerdeki a ırı nem nedeniyle bitüm ve mineral uyumsuzlu u çıkmı , bitüm ve mineral maddeler arasındaki uyumu artırmak için katkı maddeleri kullanmak gerekmi tir (Rühl ve Lindemeier, 2006).

4.5. Ilık Karı ım Asfaltın Ana Faydaları

A a idaki bölümlerde, IKA' nın ana yararları ele alınmı tır. Emülsiyon azalması, enerji tüketimi azalması ve viskozite azalmasından bahsedilmı tir.

4.5.1. Enerji Tüketimi

Ara tırmalarda üretim sıcaklı ının dü ü rülmesi için enerji tüketiminin en fazla %40 olabilece i görülmü tür Bu dü ü asfalt üretiminde harcanan enerjiyi dü ü rümü ve aynı zamanda IKA sürecinde katkı maddesi ekleme zamanından, enerji tüketiminden tasarruf edilmesini sa lamı tır (Rühl ve Lindemeier, 2006).

4.5.2. Emülsiyon

IKA' nın ana yararlarından biri üretim sıcaklı ının dü mesinden kaynaklanan emülsiyonun azalmasıdır. Literatürlere göre, IKA üretilirken BSK' ya göre önemli ölçüde emülsiyon, koku ve duman olu umu azalmı tır.

2000 yılında, Amerika' da Sa lı ı ve Güvenli i Ulusal Enstitüsü' nde (NIOSH) asfalt mesle inin sa lık üzerine etkileri incelenmi ve

yayınlanmıştır. Bu incelemede asfalttaki mesleki maruziyetlerin sağlık üzerine etkileri de değerlendirilmiştir.

NIOSH 1977' de membranların konjunktiva ve solunum yollarında tahri etkisini tespit etmiştir. Hayvanlarla yapılan uzun süreli çalı malarda asfaltın cilt üzerinde oluşturdu u tümörleri belirlemiştir. Bu kanıtlarla NIOSH, maruz kalma sınırını u şekilde açıklamıştır:

“NIOSH çıkan zararlı dumandan akci er etkilenmesini en aza indirmek için 5 mg/m³ lük asfalt bazlı boyalardan herhangi birine 15 dk. maruz kalınmasını önermiş ve önlem olarak a a ıdaki uygulamaların yapılması gerektiğini vurgulamıştır:

- Derhal maruz kalma önlenec;
- Asfalt uygulama sıcaklığı mümkün oldu unca düşük tutulacak;
- Mühendis kontrolünde tüm i sahasında iyi i çilik uygulanarak i çilerin asfalt dumanı ve asfalt bazlı boya aerosollara maruziyeti en aza indirilecek;
- Uygun soluma koruması kullanılacak.”

1988' de, NIOSH asfalt dumanının aynı zamanda kansere sebep oldu unu belirlemiştir. Ardından insan ve hayvanlarla yapılan denemelerle ek veriler toplanmış ve bu belirleme do rulanmıştır. 2000 yılı sonunda toplanan veriler açıklanmıştır:

“Denemeler gözde, burunda ve bo azda tahri e maruz kalmayla ilgili olmuştur. Yapılan çalı malarla geometrik ortalama (TWA (zaman a ırlıklı ortalama)) alınmış ve 1 mg/m³ toplam parçacık, 0.3 mg/m³ benzen çözü nür ve ya karbon disülfid çözü nür partiküller altında asfalt dumana maruz kalan i çiler incelenmiştir. ncelemelerde asfalt dumana maruz kalan i çilerde akut alt solunum yolu semptomları görülmüştür.”

Asfalt dumanından kanserojen etkisi olumsuz olarak açıklanmıştır:

“Asfalt kaplama dumanı ile kanserojen etkisi değerlendirilirken elde edilen veriler sınırlı kalmıştır. Çünkü Genotoksikite testleri sahada yapılamamış sadece laboratuvar ortamında yapılmıştır. Bu nedenle, NIOSH asfalt kaplama çalışanlarında akciğer kanseri ve kaplama sırasında asfalt dumanına maruz kalma arasında bir ilişki için yeterli kanıt elde edememiştir. Ancak, mevcut veriler, kaplama işlemleri sırasında oluşan asfalt dumanının kanserojenik riskini kanıtlamıştır.”

Bunun dışında diğer vücut bölümlerinde olası kanser riski ile ilgili birkaç rapor hazırlanmıştır ancak ekilde söylenerek sınırlı olduğu görülmüştür:

“Diğer maddelerin içeriği ve sorunların ortaya çıkması arasında tutarlılık eksikliği nedeniyle solunum yolu kanserlere maruz kalma için kanıt zayıftır ve daha fazla deneme gerektirir.”

Aynı zamanda laboratuvar ortamında oluşturulan asfalt dumanıyla hayvan çalışanlarında elde edilen pozitif mutajenik yanıtlar için daha fazla araştırma gerekmektedir (Rühl ve Lindemeier, 2006).

4.5.3. Viskozite

IKA teknolojilerinin gelişmesi, belirli bir sıcaklık aralığında asfalt bağlayıcı madde viskozitesinin azaltılmasına dayanmıştır. Düşük viskozite agreganın geleneksel BSK üretiminde gerekli olandan daha düşük bir sıcaklıkta kaplanabilirliğini sağlamıştır. Çünkü viskozite, IKA sürecinde hava sıkıştırılması, genellikle kaplama sezonu, uzun menzilli mesafeler ve gerekli silindir sıkıştırma azalmasına bağlıdır (Rühl ve Lindemeier, 2006).

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Ilık karı ım asfalt kolay i lenebilirlik, çalı ma kolaylı ı ve karı tırma açısından di er karı ım türlerine göre daha da avantajlı bir bile im olarak kar ımıza çıkmı tır. Ilık karı ım asfalt yakıt harcamasını dü ürmü ; CO₂, CO emülsiyonunu azaltmı ve bitümde daha iyi da ılımı sa lamı tır. Bitümün dengeli da ılması ise kaymaya kar ı direnci arttırmı tır. İKA karı ımlarının bir ba ka göze çarpan özelli iyse yüksek sıcaklıklarda sertli ini, dü ük sıcaklıklarda esnekli ini korumasıdır. Bu bakımdan ya lanmayı daha da geciktirmi tir.

Ilık Karı ım Asfalt' ın di er karı ımlarla benzer özellikler gösterdi i noktalar da olmu tur. Viskozitesi her labaratuvar çalı masında e ite yakın özellikte ama daha iyi bir performansla önümüze çıkmı tır. Elde edili fiyatında di er karı ımlara göre fazla farklılık görülmemi tir.

Çalı malarda İKA karı ımların tehlikeli madde emülsiyonları BSK karı ımlarına göre daha dü ük çıkmı tır. BSK ile yapılan alan denemelerinde yo unla an duman açık bir alandaki dumana göre çok daha yava temizlenmi ve yol çalı anlarının üzerinde olumsuz etki yapmı tır. Bu durumda dü ük emülsiyonlu İKA karı ımlar önemli bir avantaja sahip olmu tur. Buna ba lı olarak çi maruziyeti ve sonucunda kanserojen etkiler azalmı tır.

Ülkemizde Ilık Asfalt çalı maları henüz yaygın de ildir. Özellikle enerjinin pahalı oldu u ve büyük oranda yurt dı ından temin edildi i ülkemizde ılık asfalt uygulamasının yaygınla ması kaçınılmaz bir durumdur. Ilık asfalt çalı malarının ihtiyaç duydu u ekipman ve test cihazlarıyla teknolojisinin hızlı bir biçimde temin edilip uygulanması yakın gelecekte zorunlu olacaktır. Gerek sanayinin gerekse de üniversitelerin bu teknolojiye sahip olması kendilerinin avantajı olacaktır.

KAYNAKLAR

- Al-Abdul Wahhab, H. I., Asi, I. M., Ali, F. M., and Al-Dubabi, I. A. (1999). "Prediction of Asphalt Rheological Properties Using HP-GPC." *Journal of Materials in Civil Engineering*, ASCE, 11(1), 6-14.
- Alverk '95. The Icelandic Road Administration. Reykjavik, January 2005. [http://www.vegagerdin.is/vefur2.nsf/Files/Alverk95/\\$file/Alverk%2095.pdf](http://www.vegagerdin.is/vefur2.nsf/Files/Alverk95/$file/Alverk%2095.pdf). Accessed November 2005.
- Andersen, E. "WAM-foam®: An environmentally friendly Alternative to hot mix Asphalt." Norwegian Public Roads Administration, Norway, Presentation to WMA scan team, May 2007.
- Arason, A.O. Biktheyta til klaedinga – Afangaskýrsla 1. Report no. 03-20. Icelandic Building Research Institute. Reykjavik, January 2004.
- Asphalt Institute. (2003). "Performance Graded Asphalt Binder Specification and Testing." SHRP Series No. 1 (SP-1).
- Barthel, W., J.P. Marchand, M. Von Devivere. Warm asphalt mixes by adding a synthetic zeolite. Eurovia. www.asphamin.com. Accessed November 2005.
- Berntsen, G. "NPRA's experience with wAm- foam Pavements." Norwegian Public Roads Administration, Norway, Presentation to WMA scan team, May 2007.
- Beuving, E. "Asphalt mixtures standardization in Europe." European Asphalt Pavement Association, Brussels, Belgium, Presentation to WMA scan team, May 2007.

- Blanchard, C. R. (1996). "Atomic Force Microscopy." *The Chemical Educator*, 1(5), 1-8.
- Brosseaud, Y. "Warm Asphalt-overview in France." LCPC, France, Presentation to WMA scan team, may 2007.
- Bull-wasser, R. "Presentation of the federal highway research institute-Part 2." BAST, Cologne, Germany, Presentation to WMA scan team, may 2007.
- Caro, S., Masad, E., Bhasin, A, and Little, D. N. (2008). "Moisture Susceptibility of Asphalt Mixture, Part 1: Mechanisms." *International Journal of Pavement Engineering*, 9(2), 81-98.
- Colas. Colas in 2006. Annual report, euro RSCG C&O, 2006.
- Copeland, A. R., Youtcheff, J., and Shenoy, A. (2007). "Moisture Sensitivity of Modified Asphalt Binders." *Transportation Research Board*, 86th Annual Meeting, Washington DC, 18-28.
- Davidson, J.K. Evotherm Trial. McAsphalt Engineering Services, Ontario, August 2005
- De Groot, P.C., C. Bowen, B.G. Koenders, D.A. Stoker, O. Larsen, J. Johansen. A comparison of emissions from hot mixture and warm asphalt mixture production. IRF World Meeting, Paris, 2001.
- Erfahrungssammlung über die Verwendung von Fertigprodukten und Zusätzen zur Temperaturabsenkung von Asphalt. BAST, http://www.bast.de/cln_007/nn_37284/DE/BAST/Organisation/abteilung-s/referat-s5/temperaturreduzierter-asphalt/erfahrungssammlung,templateld=raw,property=publicationFile.pdf/erfahrungssammlung.pdf, accessed June 2007. translated in part by Peter Bellin.

FGSV. Merkblatt für Temperaturabsenkung von Asphalt. Cologne, Germany, August 2006

George, L.A. " Warm-mix Asphalt in French Toll Motorway Companies." DGR, France, Presentation to WMA scan team, May 2007.

Gandhi, T. and Amir Khanian, S. (2007). "Performance Evaluation of Sbs Modified Asphalt Mixtures Using Warm Mix Technologies" Department of Civil Engineering, Clemson University.

Harnischfeger, S. "Aspha-min retrospectives and Prospects." BAST, Germany, Presentation to WMA scan team, May 2007.

Hazard Review – Health Effects of Occupational Exposure to Asphalt. U.S. Department of Health and Human Services, National Institute for Occupational Safety and Health, USA, December 2000.
<http://www.cdc.gov/niosh/pdfs/01-110.pdf>

Huang, S. C., Robertson, R. E., Branthaver, J. F., and Peterson, J. C. (2005). "Impact of Lime Modification of Asphalt and Freeze-Thaw Cycling on the Asphalt-Aggregate Interaction and Moisture Resistance to Moisture Damage." Journal of Materials in Civil Engineering, ASCE, 17(6), 711-717.

Hurley, G.C. and B.D. Prowell. Evaluation of Aspha-min® zeolite for use in warm mix asphalt. NCAT Report 05-04 (a). National Center for Asphalt Technology, Auburn University, USA, June 2005.

Hurley, G.C. and B.D. Prowell. Evaluation of Sasobit® for use in warm mix asphalt. NCAT Report 05-06 (b). National Center for Asphalt Technology, Auburn University, USA, June 2005.

- Jennings, P. W. (1980). "High Pressure Liquid Chromatography as a Method of Measuring Asphalt Composition." Publication FHWA-MT-7930, FHWA, U. S. Department of Transportation.
- Jennings, P. W. and Prabanic, J. A. S. (1985). "The Expanded Montana Asphalt Quality Study Using High Pressure Liquid Chromatography." Publication FHWA-MT-85-001, FHWA, U.S. Department of Transportation.
- Johannesson, A., I. Arnason, ÖS. Hjartarson, S. Sigurdsson, Th. Thorsteinsson. *Samanburdur a ardsemi malbiks og klaedingar a thjodvegum*. Report no. 05-05. Icelandic Building Research Institute. Reykjavik, March 2005.
- Johannesson, A. Superpave. Report no. 05-04. Icelandic Building Research Institute. Reykjavik, February 2005.
- Kim, K. W., Burati, J. L. and Park, J. S. (1995). "Methodology for Defining LMS Portion in Asphalt Chromatogram." *Journal of Materials in Civil Engineering*, ASCE, 7(1), 31-40.
- Kim, K. W., Doh, Y. S. and Amirhanian, S. N. (2004). "Evaluation of Aging Characteristics of Selected PMA using HP-GPC." *Journal of Korean Society of Pavement Engineers*, 6(2), 15-24.
- Kim, K. W., Kim, K., Doh, Y. S., and Amirhanian, S. N. (2006). "Estimation of RAP's binder viscosity using GPC without binder recovery." *Journal of Materials in Civil Engineering*, ASCE, 18(4), 227-232.
- Koenders, B.G., D.A. Stoker, C. Bowen, P. de Groot, O. Larsen, D. Hardy & K.P. Wilms. Innovative processes in asphalt production and application to obtain lower nd operating temperatures. 2 Eurasphalt & Eurobitume Congress, Barcelona, Spain September 2000.

- Koenders, B.G., D.A. Stoker, C. Robertus, O. Larsen, J. Johansen. WAM-Foam, Asphalt Production at Lower Operating Temperatures. International Society for Asphalt Pavements, 9 conference, Copenhagen, 2002.
- Larsen, O.R., Q. Moen, C. Robertus, B.G. Koenders. WAM Foam asphalt production at lower operating temperatures as an environmental friendly alternative to HMA. 3 Eurasphalt & Eurobitume Congress, Vienna, 2004.
- Lee, S. J., Amirkhanian, S. N., and Kim, K. W. (2009). "Laboratory Evaluation of the Effects of Short-term Oven Aging on Asphalt Binders in Asphalt Mixtures using HP-GPC." *Construction and Building Materials*, Vol. 23(9), pp. 3087-3093.
- Leroy, C. " warm mix-Asphalt in Paris." Dgr, France, Presentation to WMA scan team, May 2007.
- Li, Y., and Nazarian, S. (1995). "Evaluation of Aging of Hot-mix Asphalt using Wave Propagation Techniques." *Engineering properties of asphalt mixtures and the relationship to their performance*, ASTM, STP 1265, 167-168.
- NCAT Evaluates Warm Mix Asphalt. *Asphalt Technology News*, volume 17, number 2, fall 2005, pages 1-8.
- Nourendin, A. S. and Wood, L. E. (1989). "Variation in Molecular Size Distribution Virgin and Recycled Binders Associated with Aging." *Transportation Research Record*, No. 1228, TRB, National Research Council, Washington, D. C., 191-197.
- Oberding, Brian. 2011. *Green Purchasing Case Studies Maintenance Crews "Warm Up" to Warm-Mix Asphalt*, Construction Inspection & Pavement Management, Portland Bureau of Transportation

Performance Evaluation of High RAP Base Mixture Containing Sasobit®.
Advanced Asphalt Technologies for Maryland State Highway
Administration, USA, August 2005.

Performance Evaluation of High RAP Surface Mixture Containing Sasobit®.
Advanced Asphalt Technologies for Maryland State Highway
Administration, USA, December 2005.

Prem Naidoo. Fischer-Tropsch Hard Wax Chemistry in “Warm Mix Asphalt”
Applications. Presentation document. Petersen Asphalt Research
Conference. June 2005. Sent by electronic mail from Dave Newcomb,
Vice President of Research and Technology, National Asphalt
Pavement Association.

Prowell, B.D., G.C. Hurley. Starting to Warm. Roads and Bridges, volume 42,
number 9, 2005.

Putman, B. J., and Amir Khanian, S. N. (2006). “Laboratory Evaluation of
Anti-Strip Additives in Hot Mix Asphalt.” Clemson University, Report
No. FHWA-SC-06-07.

Russel, P., and Batchelor, D. (2004). “SEM and AFM: Complementary
Techniques for High Resolution Surface Investigations.” Veeco
Instruments Inc.

Rühl, R. and B. Lindemeier, Ed. “Progress Report 2006, The German
Bitumen Forum.” Heinrich Lauck GmbH, Germany, 2006.

Sasobit: Roads and Trials with Sasobit. Product information. Sasol Wax,
Germany, Germany, 2004.

<http://www.sasolwax.com/data/sasolwax/Bitumen%20Modification/Roads%20and%20trials%20e.pdf>

Sasobit: The Bitumen Additive for Highly Stable Easily Compactable Asphalts. Product information 124. Sasol Wax, Germany, April 2004.
http://www.sasolwax.com/data/sasolwax_/Bitumen%20Modification/Sasobit%20since%201997.pdf

Sauterey, D. "les Departements." D gr, France, Presentation to WMA scan team, May 2007.

Sent by mail from Gloria Burke, Maryland State Highway Administration. June 2005.

The RST working group. "Design of hot Asphalt mixtures." under the supervision of Delorme, J. I., C. De la roche, and I. wendling, LPC Bituminous Mixtures Design Guide. LCPC, nantes, france 2005.

Unpublished report. Laekkun hita vid framleidslu a malbiki. The Icelandic Road Administration. Sent by electronic mail from Halldor Torfason, Hofdi ltd.

Warm Mix Technology as a RAP Compaction Aid. Presentation document. Maryland SHA. June 2005. Sent by electronic mail from Dave Newcomb, Vice President of Research and Technology, National Asphalt Pavement Association.

Webpage of Aspha-min. www.asphamin.com. Accessed November 2005.

Webpage of European Asphalt Pavement Association.

http://www.eapa.org/default_news.htm. Accessed February 2006.

Webpage of Hladbaer-Colas ltd. <http://www.colas.is/pjonusta.php>. Accessed January 2006.

Webpage of Hofdi ltd. <http://www.malbik.is/>. Accessed January 2006.

Webpage of Sasol Wax. www.sasolwax.com. Accessed November 2005.

Webpage of Shell Global Solutions. <http://www.shell.com> . Accessed November 2005.

Webpage of the Federal Highway Administration.
<http://www.fhwa.dot.gov/pavement/asphalt/wma.cfm>. Accessed November 2005.

Webpage of the Icelandic Road Administration. www.vegagerdin.is. Accessed January 2006.

ÖZGEÇM :Kişisel Bilgiler :

Adı Soyadı : Mustafa TAHTA

Doğum Yeri : Ilgın

Doğum Yılı : 1983

Medeni Hali : Bekar

Eğitim ve Akademik Durumu :

Lise : 1998 – 2002 Cem Bakıoğlu Lisesi

Lisans : 2004 – 2008 SDÜ Teknik Eğitim Fakültesi
Yapı Öğretmenliği Bölümü

Yüksek Lisans : 2009 – SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi Bölümü
(Devam Ediyor)

Yabancı Dil : İngilizce ve Almanca