

**DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SICAK KARIŞIM ASFALTLARA GÖRE İLİK VE**  
**YARI İLİK ASFALTLARDA RİSK**  
**DEĞERLENDİRMESİ**

**Gün AKSOY**

**Ekim, 2019**  
**İZMİR**

**SICAK KARIŞIM ASFALTLARA GÖRE ILIK VE  
YARI ILIK ASFALTLARDA RİSK  
DEĐERLENDİRMEŐİ**

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Yüksek Lisans Tezi**

**İŐ Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı**

**Gün AKSOY**

**Ekim, 2019**

**İZMİR**

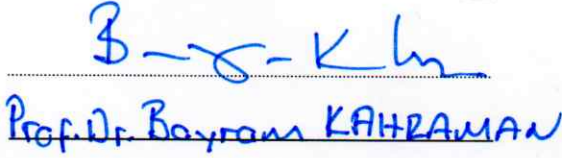
## YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

GÜN AKSOY, tarafından PROF. DR. ALİ TOPAL yönetiminde hazırlanan “SICAK KARIŞIM ASFALTLARA GÖRE ILIK VE YARI ILIK ASFALTLARDA RİSK DEĞERLENDİRMESİ” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



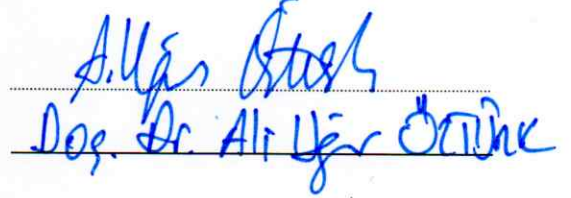
Prof. Dr. Ali TOPAL

Yönetici



Prof. Dr. Bayram KAHRAMAN

Jüri Üyesi



Doç. Dr. Ali Uğur ÖZTÜRK

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Kadriye ERTEKİN

Prof. Dr. Kadriye ERTEKİN

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

## TEŐEKKÖR

Bu çalıőmanın oluőturulmasında bŸyŸk emeği geçen ve bana YŸksek Lisans sŸrecimde yol gŸsteren danıőman hocam Prof. Dr. Ali TOPAL'a, ayrıca Doç. Dr. Sezai ŐEN'e, Dere Asfalt A.Ő.'den Ÿmit TİMURTAŐ'a ve IŐıl ASLAN'a, İnaőat MŸhendisi Anıl ŐZIRMAK'a, ōęrenim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini hiç bir zaman esirgemeyen ve bana gŸvendikleri için aileme ve Cemre SEYRAN'a teőekkŸr ederim.



GŸn AKSOY

# SICAK KARIŞIM ASFALTLARA GÖRE ILIK VE YARI ILIK ASFALTLARDA RİSK DEĞERLENDİRMESİ

## ÖZ

Karayolu, hızlı bir artış gösteren insan nüfusu ve gelişen endüstri ile birlikte gün geçtikçe daha fazla ihtiyaç duyulan bir ulaşım modu haline gelmektedir. Söz konusu ihtiyacın karşılanması için yapılan asfalt üretimi sırasında, işçi sağlığı ve güvenliği açısından risk oluşturacak birçok unsur bulunmaktadır. Bu riskler yönünden, sıcak ve ılık karışım prosesleri karşılaştırıldığında aralarındaki en büyük farkın, sıcak bitüm kaynaklı gaz ve buhar emisyonları olduğu görülmüştür. Asfalt üretiminde agreganın bitüm ile kaplanmasını kolaylaştırmak adına karıştırma sıcaklığı yüksek tutulmakta ve bu da petrol bazlı bitümden kaynaklanan, işçi ve çevre sağlığı için tehdit oluşturacak zararlı emisyonların çalışma ortamına salınmasına neden olmaktadır.

Son 20 yıl içerisinde edinilen çevre bilinci ve hız kazanan iş sağlığı ve güvenliği çalışmaları, Bitümlü Sıcak Karışıma (BSK) kıyasla daha düşük sıcaklıklarda üretildiği için çevre ve işçi sağlığına daha az zararlı olan Ilık Karışım Asfalt (IKA) teknolojisinin geliştirilmesine ön ayak olmuştur. Ülkemizde “çok tehlikeli işyerleri” sınıfına giren asfalt plantlerinde sadece bitümlü sıcak karışım asfalt üretimi yapıldığı izlenmiş, işçi sağlığı gözetimi amacıyla yapılan çalışmaların gelişmiş ülkelere kıyasla yetersiz kaldığı ve gerekli önlemlerin alınmadığı görülmüştür.

Bu çalışmada; sıcak ve ılık karışım asfalt proseslerindeki temel farklılıklar, mevcut tehlike ve riskler, atmosfere salınan emisyon çeşitleri ve miktarları, bu emisyonların azaltılması ve emisyon kaynaklı risklerin iş sağlığı ve güvenliği ilkelerine bağlı olarak kabul edilebilir risk seviyesine indirilmesi için alınması gereken önlemler incelenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Sıcak karışım asfalt, ılık karışım asfalt, emisyon, çevre ve işçi sağlığı

# **RISK ASSESSMENT OF WARM MIX AND HALF WARM MIX ASPHALTS COMPARING WITH HOT MIX ASPHALT**

## **ABSTRACT**

Due to rapid population growth and industrialization, the demand for highway transportation increases. During asphalt production process, there are numerous factors that can be considered as an occupational health and safety risk. When hot and warm mix production processes are compared from a risk perspective, the amount of gas and vapor emissions caused by the petroleum-based bitumen is determined to be the most significant factor. Higher temperatures in the mixing process ease the binding capability of bitumen with aggregates, which causes higher amounts of emissions to be released, posing threats for both the environment and occupational health.

In the past 20 years, due to increasing environmental awareness and the increasing number of occupational health and safety studies has led to the development of Warm Mix Asphalt (WMA) technology in asphalt industry. When the asphalt production plants and processes in our country are examined, it appears that the WMA technology is not currently being applied and the necessary studies to oversee workers' health are deemed to be insufficient, in comparison with developed countries.

In this study; the basic differences between hot and warm mix asphalt, the potential hazards and risks in asphalt plants, the composition and the amount of the emissions released, as well as the possible precautions that could be taken to lower these risks to an acceptable level are examined.

**Keywords:** Hot mix asphalt, warm mix asphalt, emissions, environmental and occupational health

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU .....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ .....	iv
ABSTRACT.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	viii
TABLolar LİSTESİ.....	ix
<b>BÖLÜM BİR - GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1 Tezin Amacı .....	2
<b>BÖLÜM İKİ - LİTERATÜR İNCELEMESİ.....</b>	<b>3</b>
2.1 Bitüm .....	3
2.2 Asfalt .....	3
2.2.1 Bitümlü Sıcak Karışım (BSK) .....	3
2.2.2 Ilık Karışım Asfalt (IKA).....	4
2.2.2.1 Organik Katkılar.....	5
2.2.2.1.1 Sasobit® .....	5
2.2.2.2 Kimyasal Katkılar .....	7
2.2.2.2.1 Rediset® .....	8
2.2.2.3 Köpüklendirme Teknikleri .....	8
2.3 Bitümlü Sıcak Karışım ve Ilık Karışım Asfaltın Karşılaştırılması.....	11

<b>BÖLÜM ÜÇ - RİSK DEĞERLENDİRMESİ.....</b>	<b>14</b>
3.1 İş Sağlığı ve Güvenliği .....	14
3.1.1 Tehlike .....	14
3.1.2 Risk .....	14
3.1.3 Risk Değerlendirmesi.....	14
3.2 Asfalt Plantlerine Genel Bakış .....	15
3.3 Asfalt Plantlerindeki Emisyon Çeşitleri ve Emisyon Noktaları .....	17
3.4 Plantlerde Öngörülen Emisyonlar .....	19
3.5 Kirletici Gazların Ölçüm Yöntemleri .....	25
3.6 Risk Yönetimi.....	27
3.6.1 Matris (L-Tipi Matris) Yöntemi.....	28
<b>BÖLÜM DÖRT - DEĞERLENDİRMELER .....</b>	<b>33</b>
4.1 Ilık Karışım Asfaltın avantajları .....	33
4.1.1 Asfalt işçileri açısından faydaları.....	33
4.1.2 Çevresel Faydaları .....	34
4.1.3 Üretim ve Uygulamadaki faydaları.....	36
<b>BÖLÜM BEŞ - SONUÇLAR .....</b>	<b>38</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>40</b>

## ŞEKİLLER LİSTESİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 2.1 Sasobit®'in yapısı.....	6
Şekil 2.2 Rediset®'in yapısı .....	8
Şekil 2.3 Advera®'nın yapısı.....	9
Şekil 2.4 Köpükendirme enjektörü .....	10
Şekil 2.5 Doğal zeolitin yapısı .....	11
Şekil 2.6 Yükleme işlemlerinde BSK (a) ve IKA (b) için kaçak emisyonlar .....	12
Şekil 2.7 Serim işlemlerinde BSK (a) ve IKA (b) için kaçak emisyonlar .....	13
Şekil 3.1 Asfalt deposu .....	16
Şekil 3.2 Asfalt yükleme işlemi .....	16
Şekil 3.3 Filtre ünitesi .....	17
Şekil 3.4 Harman karışım asfalt plentlerinde emisyon noktaları .....	18
Şekil 3.5 Tamburlu karışım asfalt plentlerinde emisyon noktaları .....	18
Şekil 3.6 Solunum alanı (a) ve aktif hava örnekleyici (b).....	25

## TABLolar LİSTESİ

	<b>Sayfa</b>
Tablo 2.1 İKA katkılarına genel bakış .....	5
Tablo 2.2 Organik İKA katkı çeşitleri .....	7
Tablo 2.3 İKA üretiminde kullanılan katkılara göre azalan emisyon miktarları .....	12
Tablo 3.1 Asfalt üretim prosesinde mevcut olan tehlike ve riskler.....	15
Tablo 3.2 Harman karışım BSK asfalt üretimi için öngörülen emisyon miktarları ...	20
Tablo 3.3 Tamburlu karışım BSK asfalt üretimi için öngörülen emisyon miktarları	21
Tablo 3.4 Harman karışım tesisinde kurutucu, elek ve mikser ünitesi emisyon miktarları .....	22
Tablo 3.5 Harman karışım tesisinde asfalt deposu emisyon miktarları .....	23
Tablo 3.6 Harman karışım tesisinde taşıma ve aktarım kaynaklı emisyon miktarları	24
Tablo 3.7 Plent işçilerinin solunum alanlarında incelenen PAH'lar.....	26
Tablo 3.8 Niteliksel risk hesabında kullanılan olasılık değerleri.....	28
Tablo 3.9 Niteliksel risk hesabında kullanılan şiddet değerleri .....	28
Tablo 3.10 5x5 L matris risk skoru tablosu.....	29
Tablo 3.11 Risk sonuçları .....	29
Tablo 3.12 BSK üretimi yapıldığı durum için risk değerlendirmesi örneği .....	30
Tablo 3.13 Kontrol önlemlerinin uygulanması sonucu değişen risk skorları .....	31
Tablo 3.14 İKA ve BSK üretiminde farklılık gösterebilecek diğer tehlike ve riskler	31
Tablo 3.15 İKA uygulaması sonucu değişen risk skorları .....	31
Tablo 4.1 İKA üretiminde ülkelere göre raporlanan plent emisyonlarındaki azalma miktarları .....	35

## BÖLÜM BİR

### GİRİŞ

Dünya üzerinde kullanılan en eski mühendislik malzemelerinden olan asfaltın kullanım izlerine ilk olarak Antik Mezopotamya’da su tanklarının ve tapınak banyolarının yalıtımında rastlanmaktadır. Sonraki yıllarda Fenikeliler bu malzemeyi gemilerinde, Romalılar su depoları ve kemerli su köprülerinin yalıtımında, Mısırlılar ise Nil Nehri kıyılarındaki erozyonu önlemek için inşa ettikleri setlerde kullanmışlardır (Asphalt Paving Association of Iowa [APAI], 2016). Asfaltın ilk kez yol yapımında kullanılması ise M.Ö 625 yılında Babil’de gerçekleştirilmiştir. 1873 yılında Amerika Birleşik Devletleri Washington D.C’de yapılan asfalt kaplamalar, bitümlü sıcak karışımlara (BSK) ilk örnek olarak gösterilmektedir. Ülkemizde yılda yaklaşık 13,75 milyon ton bitümlü karışım üretilmekte olup (Türkiye İstatistik Kurumu [TUIK], 2017), Amerika Birleşik devletlerinde yılda yaklaşık 400 milyon ton asfalt üretimi yapıldığı görülmektedir (National Asphalt Pavement Association [NAPA], 2017). Buna ek olarak Amerika ve Avrupa’da asfaltın üretimi, aktarımı ve serimi işlerinde 400.000’den fazla kişinin çalıştığı izlenmektedir (NAPA, 2011).

BSK’ya kıyasla daha enerji tüketimi ve düşük emisyon değerleri sebebiyle 1990’lı yılların sonunda araştırılmaya başlanan Ilık Karışım Asfaltlar (IKA) öncelikli olarak fosil yakıtların daha maliyetli olduğu Güney Afrika ve Avustralya gibi ülkelerde uygulanmaya başlamıştır (Button, Estakhri ve Wimsatt, 2007). Günümüzde ise Amerika, Kanada, Norveç, Fransa, İsveç gibi gelişmiş ülkelerin IKA uygulaması yaptığı ve genel olarak üretim miktarlarında son yıllarda hızlı bir artış izlenmekte olup, üretim tercihlerinde bitümlü sıcak karışımdan IKA üretimine doğru bir yönelme olduğu gözlenmektedir.

IKA teknolojisinin geliştirilmesinde enerji maliyetlerinin düşürülmesi ve işçi ve çevre sağlığının gözetilmek istenmesi önemli bir rol oynamıştır. Asfalt üretiminde hidrokarbon esaslı bitümün yüksek sıcaklıklarda karıştırılması sonucunda, karmaşık yapıdaki kimyasal bileşiklerin çalışma ortamına salındığı gözlenmiş, karıştırma sıcaklığının düşürülmesiyle söz konusu emisyonların azaltılması ve asfalt kaplama işçileri için mesleki hastalıklara sebep olması muhtemel olan bu bileşiklere maruz kalmasının büyük oranda önlenmesi amaçlanmıştır.

## 1.1 Tezin Amacı

Günümüz koşulları ve gelişen teknoloji ile birlikte, ülkemizdeki asfalt üretiminde 2000 yılı sonrasında geri kazanılmış asfalt (RAP), polimer modifiye bitüm, soyulma önleyici katkı maddeleri (DOP) gibi uygulamalar kullanılmaya başlanmıştır (Karayolları Genel Müdürlüğü [KGM], 2013). Ancak son yıllarda hız kazanan iş güvenliği çalışmaları ve iklim değişikliğinin gündeme gelmesiyle artan çevre bilinci sonucu doğal kaynakların korunmasını amaçlayan ve çevresel sürdürülebilirliğe yatkın uygulamalarda ülkemizin, gelişmiş ülkelere göre geri kaldığı anlaşılmaktadır.

Bu tez kapsamında sıcak ve ılık karışım asfalt proseslerindeki temel farklılıklar ve IKA prosesinin avantajları irdelenmiş, asfalt üretimi sonucu atmosfere salınan emisyon miktarları araştırılmıştır. BSK üretimi yapılan asfalt plantlerinde bulunan tehlike ve riskler göz önünde bulundurularak bu risklerin iş sağlığı ve güvenliği ilkelerine bağlı olarak kabul edilebilir seviyelere indirilmesi için alınması gereken önlemler ve izlenmesi gereken yollar incelenmiştir. Bu çalışma, BSK ve IKA üretim işlemlerinin temel olarak karşılaştırıldığı ve BSK üretimi sonucu salınan zararlı emisyonların baz alındığı bir risk değerlendirmesi niteliğindedir.

## **BÖLÜM İKİ**

### **LİTERATÜR İNCELEMESİ**

#### **2.1 Bitüm**

American Society Testing Material'a (ASTM) göre bitüm; Tabii olarak bulunan veya ham petrol çıkışlı, gaz, sıvı, yarı katı veya katı halde bulunabilen, karbon disülfürde tamamen eriyen hidrokarbon maddedir (Pimentel, 2007).

Günümüzde, yol inşaatında iki tip bitüm veya bitümlü malzeme kullanılmaktadır;

-Asfalt,

-Katran.

#### **2.2 Asfalt**

ASTM'e göre asfalt; Rengi siyah ve koyu kahverengi arası değişen, tabiatta öylece bulunan veya petrolün damıtılmasıyla elde edilen, çoğunluğu katı ya da sıvı haldeki bitümden oluşan bağlayıcı bir maddedir (Pimentel, 2007).

##### **2.2.1 Bitümlü Sıcak Karışım (BSK)**

Sıcak karışım asfalt olarak da adlandırılan bitümlü sıcak karışımlar, asfalt plantlerinde viskoz sıvı hale getirilmiş bitümün bağlayıcı olarak kullanılması amacıyla, 160 °C civarında ısıtılmış mineral agrega ile karıştırılmasıyla elde edilmektedir. Modifiye bitüm kullanılan karışımlarda yeterli işlenebilirliği sağlamak için sıcaklık 180 °C'lere çıkarılmaktadır. Karışımdaki agrega ve bitüm oranları karışımın kullanılacağı tabakaya, uygulanacağı yol veya alan özelliklerine ve kullanım amacına bağlı olarak değişmekle birlikte karışımın yaklaşık %93-97'sini agrega, %3-7'sini bitüm oluşturmaktadır.

BSK teknolojisi ülkemizde 50 yılı aşkın süredir uygulanmakta ve günümüzde hala en çok kullanılan asfalt üretim metodu olmaya devam etmektedir.

BSK prosesi esnasında bitüm içerisinde yüksek oranda bulunan alifatik hidrokarbonlar, aromatik hidrokarbonlar ve heterosiklik bileşenler, 160-180°C gibi yüksek sıcaklıklara maruz kaldıklarında çevre ve işçi sağlığı açısından tehlike arz edecek bileşenlerin atmosfere salınmasına neden olmaktadır.

### **2.2.2 Ilık Karışım Asfalt (IKA)**

Ilık karışım asfaltlar, üretimde enerji tasarrufu sağlamak, çevre ve işçi sağlığı açısından zararlı olan emisyonları azaltmak amacıyla karışım sıcaklığını en az 20-30°C düşürecek şekilde uygun metotla hazırlanan bitümlü bir karışımdır. IKA prosesinde düşük sıcaklıkta agreganın tamamen kaplanmasını ve karışımın sıkıştırılabilirliğini sağlamak için bağlayıcının viskozitesini düşüren değişik teknikler ve katkı maddeleri kullanılmaktadır (Avrupa Asfalt Üstyapı Birliği [EAPA], çev., 2014).

Bunlar;

- Organik katkılar (örn. Sasobit®)
- Kimyasal katkılar (örn. Rediset®, Cecabase®, Revix®, Iterlow®)
- Köpüklendirme teknikleri (örn. Aspha-Min®, Advera® [Yapay zeolit])

IKA teknolojisinin geliştirilmeye başlanması, 1992 yılında Birleşmiş Milletler'in çevre sağlığı konusunu gündeme getirmesi ve 1996 yılında Almanya'nın asfalt gazlarına maruziyet sınır değerlerini tekrar gözden geçirme kararı almasıyla oluşmuştur. Birleşmiş milletlerin bu konuyu ele alması, 1997 yılında Kyoto Protokolü'nün oluşturulmasına, Almanya'nın emisyon sınır değerlerini gözden geçirmesi ise 'Alman Bitüm Forumu'nun kurulmasına sebep olmuştur. Bu yıllar sonrasında yapılan çalışmalarda söz konusu emisyonun azaltılması için üretimdeki katılma ve karıştırma sıcaklığının düşürülmesinin gerektiği açık bir şekilde gözler önüne serilmiş ve IKA teknolojisinin geliştirilmesine ön ayak olmuştur (Croteau ve Tessier, 2008).

IKA katkılarının genel özellikleri ve kullanıldığı ülkelerin özetlendiği Tablo 2.1 aşağıda verilmiştir (Middleton ve Forfyflow, 2009).

Tablo 2.1 IKA katkılarına genel bakış (Middleton ve Forfylow, 2009)

IKA	Üretici	Katkı	Üretim Sıcaklığı(°C)	Kullanıldığı Ülkeler
Sasobit®	Sasol	Evet	BSK'ya kıyasla 30°C'ye kadar daha düşük	Almanya ve dünya çapında 20 diğer ülkede
Advera® (Sentetik Zeolit)	Eurovia, PQ Corporation	Evet	BSK'ya kıyasla 30°C'ye kadar daha düşük	Fransa, Almanya, Birleşmiş Milletler
WAM-Foam®	Kolo Veidekke, Shell Bitum	Yumuşak sınıf asfalt bağlayıcı	110-120°C	Fransa, Norveç, İngiltere, Kanada, İtalya, Hollanda, İsveç
Evotherm®	MeadWestvaco	Evet	85-115°C	Fransa, Kanada, Çin, Güney Afrika, Birleşmiş Milletler

### 2.2.2.1 Organik Katkılar

Organik ılık karışım katkıları, amid veya mum içeren ve doğada kolayca çözünebilen katkılardır. Bu katkıları bitüme doğrudan eklendiğinde bitüm içerisinde homojen olarak dağılırlar ve bitüm viskozitesinde önemli ölçüde azalmaya neden olurlar. Karışım içerisinde genel olarak bitüme ağırlığınca %2-4 oranında eklenerek, karıştırma sıcaklığında genellikle 20-30°C'lik bir düşüş sağlamaktadırlar (Rubio, Martinez, Baena ve Moreno, 2012).

2.2.2.1.1 *Sasobit®*. Organik IKA katkıları ile asfalt üretimi 1980'li yıllardan beri yapılmaktadır ve günümüzde en yaygın olarak kullanılan organik katkı olan Sasobit®, Güney Afrika menşeli Sasol firması tarafından Fischer-Tropsch yöntemi ile üretilen uzun zincirli yapıda bir alifatik hidrokarbon katkıdır (Sasol Wax Division, 2017).

Üretici firma Sasol Wax'a göre erime noktası 98°C Sasobit®, 115°C ve üzeri karıştırma sıcaklıklarında asfaltın içerisinde tamamen çözünerek homojen bir karışım

oluşturmakta ve asfaltın viskozitesinde önemli ölçüde azalmaya neden olmaktadır (Walker, 2009). Yapılan çalışmalarda Sasobit® katkısının asfaltlarda meydana gelen tekerlek izi oluşumuna karşı direnci arttırdığı saptanmış, asfaltın uygulanması sırasında sıkıştırma işlemini kolaylaştırdığı tespit edilmiştir (Hurley ve Prowell, 2007).

Şekil 2.1’de pellet formdaki Sasobit® katkısının yapısı gösterilmektedir (Topal, 2014)



Şekil 2.1 Sasobit®’in yapısı (Topal, 2014)

Diğer organik İKA katkıları hakkında genel bilgiler, üretim sıcaklıkları ve kullanıldığı ülkeler Tablo 2.2’de verilmiştir. (D’Angelo ve diğer., 2008).

Tablo 2.2 Organik IKA katkı çeşitleri (D' Angelo ve diğer., 2008)

Katkı	Üretici	Üretim Sıcaklığı (°C)	Kullanıldığı Ülkeler
Sasobit® (Fischer-Tropsch mumu)	Sasol	BSK'ya kıyasla 20-30°C daha düşük. Alman standartları önerisine göre 130-170°C arası.	Almanya ve dünya çapında 20 diğer ülkede
Asphaltan-B (Montan mumu)	Romonta	BSK'ya kıyasla 20-30°C daha düşük. Alman standartları önerisine göre 130-170°C arası.	Almanya
Licomont BS 100 (katkı) ya da Sübit (bağlayıcı) (yağ asidi amidleri)	Clariant	BSK'ya kıyasla 20-30°C daha düşük. Alman standartları önerisine göre 130-170°C arası.	Almanya
3E LT veya Ecoflex	Colas	BSK'ya kıyasla 30-40°C daha düşük.	Fransa

#### 2.2.2.2 Kimyasal Katkılar

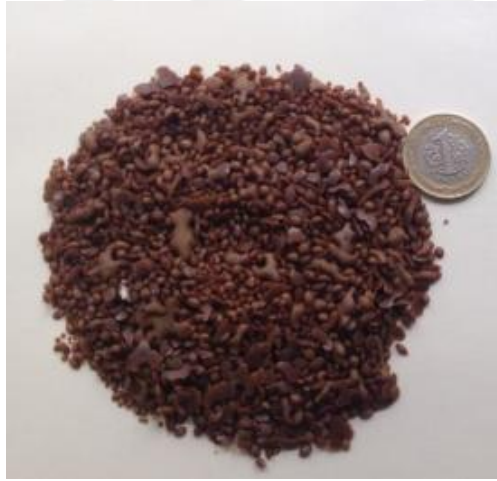
Kimyasal IKA katkıları genellikle emülsifikasyon katkıları, yüzey iyileştiriciler ve agregaların tamamen bitümlle kaplanmasını sağlayan, asfaltın işlenebilirliğini ve sıkıştırılabilirliğini arttıran katkıların bir kombinasyonudur. Bu katkılar agrega ile bitümün karıştırılma işleminden önce, direkt olarak bitüme ilave edilmektedir (Von Devivere, Barthel ve Marchand, 2004). Kimyasal katkılar karışım içerisinde genellikle %1,5-2,0 oranlarında eklenir ve karıştırma sıcaklıklarında 15-75°C'lık düşüş sağlamaları mümkündür.

Hurley ve Prowell'a göre kimyasal katkılar üretim ve karıştırma işlemleri sırasında herhangi bir plent modifikasyonu gerektirmemektedir, ki bu da; ılık karışım asfalt prosesinin uygulandığı ve halihazırda çalışmakta olan plentlerde ekstra bir ilk yatırım maliyeti düşünülmezsizin, ılık karışım asfaltların üretilebilmesi anlamına gelmektedir (Hurley ve Prowell, 2006).

2.2.2.2.1 *Rediset*<sup>®</sup>. Katyonik yüzey aktif madde ve organik katkıların bir kombinasyonu olan *Rediset*<sup>®</sup>, Hollanda menşeli AkzoNobel firması tarafından üretilmektedir (Chowdhury ve Button, 2008). Optimum karışım oranı üretici firma tarafından %2 olarak belirlenen *Rediset*<sup>®</sup>, üretim sıcaklığında BSK'ya göre 22-33°C arasında bir düşüş sağlayabilmektedir (AkzoNobel, 2012).

Ilık karışım asfalt prosesinde karıştırma sıcaklıklarının düşük tutulması sonucu karışım öncesi agregaların tamamen kurumaması zorlaşmaktadır (Wozuk ve Franus, 2017). Bazı durumlarda agrega yüzeyi ve bitüm arasındaki yetersiz kohezyon sonucu IKA kaplamalarda soyulmaya neden olmaktadır (Habal ve Singh, 2019). *Rediset*<sup>®</sup> katkısı söz konusu kohezyonu arttırmakla tekerlek izi oluşumunun önüne geçmekte ve asfalt kaplamaların servis ömrünün kısalmasına neden olan neme karşı hassasiyet sorununun karışıma bir soyulma önleyici bileşik eklenmeksizin bertaraf edilmesine yardımcı olmaktadır (Prowell, 2007; Şengöz, Topal ve Görkem, 2013a).

Şekil 2.2'de pellet formdaki *Rediset*<sup>®</sup> katkısının yapısı gösterilmektedir (Topal, 2014)



Şekil 2.2 *Rediset*<sup>®</sup>'in yapısı (Topal, 2014)

### 2.2.2.3 Köpüklendirme Teknikleri

Ilık karışım asfalt üretiminde köpüklendirme teknikleri genellikle iki şekilde uygulanmaktadır. Bunlar;

- Zeolit ilavesi (Sentetik veya doğal zeolit)
- Bitüme doğrudan su enjeksiyonu

Bitümün içerisinde yüksek su tutma özelliği bulunan sentetik veya doğal zeolit katılarak, içeriğindeki suyun buharlaşması sağlanmaktadır. Karışımdaki sıcaklık nedeniyle açığa çıkan buhar bitümü köpükendirerek kısa süreli hacim artışına neden olmakta, bitüm viskozitesinin düşmesine olanak tanıyarak işlenebilirliği arttırmakta ve agreganın bitüm ile kaplanmasını kolaylaştırmaktadır (Topal, 2014). Şekil 2.3’de sentetik bir zeolit olan Advera®’nın yapısı gösterilmektedir (Topal, 2014).



Şekil 2.3 Advera®’nın yapısı (Topal, 2014)

Bitüme doğrudan su enjeksiyonu ise iki adet giriş ve bir adet çıkış kanallı özel bir köpükendirme kabini kullanılarak yapılmaktadır. Üst kanaldan kabine sıcak bitüm enjeksiyonu yapılırken, ikinci kanaldan soğuk su püskürtülür. Sıcak bitümle temas eden soğuk su buharlaşır ve bitümde ani bir köpükendirme yaratarak hacim artışına neden olur. Köpükendirilmiş bitüm kabindeki üçüncü kanaldan tahliye edilir ve agrega ile karıştırılır. IKA köpükendirme teknikleri, karıştırma sıcaklıklarında genellikle 20-40°C’lik bir düşüş sağlarlar (EAPA, çev., 2014). Köpükendirme enjektörü Şekil 2.4’de gösterilmiştir (Jenkins, 2000).



Şekil 2.4 Köpüklendirme enjektörü (Jenkins, 2000)

Ilık karışım asfalt teknolojisini benimseyen EAPA (Avrupa Asfalt Üstyapı Birliği) üyesi ülkelerden Çek Cumhuriyeti, Danimarka ve İsviçre, ılık karışım asfalt üretiminin büyük bir çoğunluğunu sentetik zeolit ilavesi ile yapmaktadır. EAPA üyesi olmayan ülkelere bakıldığında ise Amerika Birleşik Devletleri'nin toplam ılık karışım asfalt üretiminin %88,1'lik kısmını plantte köpüklendirme yöntemi ile ürettiği görülmektedir (EAPA, çev., 2014).

2014 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi'nde yürütülen 110M567 numaralı "Doğal Zeolit İçeren Ilık Karışım Asfaltların Performansları ve Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi, Sonuçların Farklı Ilık Karışım Asfalt Uygulamaları İle Karşılaştırılması" Tübitak projesinde üretim maliyetlerinin en aza indirilmesi ve ülke ekonomisine sağlayacağı katkıların irdelenmesi adına ülkemizde 50 milyar ton rezervi olduğu öngörülen doğal zeolitin sentetik zeolit katkılara alternatif olarak kullanılabilirliğini araştırmış ve çalışmada sentetik zeolit olarak kullanılan Advera WMA® katkısı ile karşılaştırmak için doğal zeolit kullanılmıştır (Topal, 2014). Bitüm miktarının %5'i oranında eklenen doğal zeolit katkılı asfaltlarda üretim sıcaklığı 148-153°C olarak ölçülmüştür (Şengöz, Topal ve Görkem, 2013b). Bu araştırmaya göre doğal zeolit İKA katkısı içeren bitüm örneklerinin diğer İKA katkısı içeren bitümler ile benzer özellikler gösterdiği görülmüş, suya karşı duyarlılık analizleri ise doğal

zeolit içeren karışımların sudan kaynaklanan bozulmalara karşı dirençlerinin sıcak karışım asfaltlara ve sentetik zeolit ile hazırlanan karışımlara göre kayda değer derecede daha iyi performans gösterdiği izlenmiştir (Topal, 2014). Türkiye’de en çok gözlenen zeolit olan klinoptilolit’in sadece Manisa-Gördes bölgesinde görünür olarak 18 milyon ton civarında rezervi bulunmaktadır ve ayrıca bu alanda 20 milyon ton zeolitik tüf rezervi tespit edilmiştir. (Ayan, 2002). Şekil 2.5’de doğal zeolit örneği gösterilmiştir (Topal, 2014).



Şekil 2.5 Doğal zeolitin yapısı (Topal, 2014)

### 2.3 Bitümlü Sıcak Karışım ve Ilık Karışım Asfaltın Karşılaştırılması

Teorik olarak karışımın hazırlanması sırasında sıcaklığın 12°C düşürülmesi, işçi sağlığı açısından risk oluşturan emisyonların %50 oranında azalmasına neden olmaktadır. Bu da prosesteki ortalama olarak 25°C’lik bir düşüşün, sıcak bitümden atmosfere salınan emisyonun %75 azaltılması anlamına gelmektedir (EAPA, 2010). 2011 yılında Norveç Asfalt Birliği (FAV) tarafından İKA ve BSK asfalt uygulamalarının karşılaştırılması amacıyla yapılan çalışmada, asfalt sıcaklığının ortalama olarak 29°C düşmesiyle, asfalt dumanlarındaki azalma %58-67 olarak ölçülmüştür (Olsen ve diğer., 2012). Söz konusu azalmanın asfalt işçilerinin uzun vadede mesleki hastalıklara yakalanma risklerinin kabul edebilir seviyelere indirilmesinde önemli bir rol oynayacağı anlaşılmaktadır.

2008 yılında Gandhi tarafından yürütülen çalışmalar sonucunda IKA üretiminde uygulanan proses ve kullanılan katkılarına göre BSK'ya kıyasla azalan emisyon miktarları Tablo 2.3' de verilmiştir (Gandhi, 2008).

Tablo 2.3 IKA üretiminde kullanılan katkılarına göre azalan emisyon miktarları (Gandhi, 2008)

	Aspha-min®	Sasobit®	Evotherm®	WAM-Foam®
SO <sub>2</sub>	%17,6	-	%81	-
CO <sub>2</sub>	%3,2	%18	%46	%31
CO	-	-	%63	%29
NO <sub>x</sub>	%6,1	%34	%58	%62
Partikül madde (PM)	%35,3	-	-	-
Uçucu organik bileşikler (VOC)	-	%8	%25	-

İlık karışım asfalt üretiminde emisyonu yapılan kirlletici miktarlarının kullanılan IKA katkıları ve IKA üretim proseslerine göre farklılık gösterdiği izlenmektedir.

BSK ve IKA yükleme ve serim işlemleri sırasında oluşan kaçak emisyonlardaki gözle görülebilir farklılıklar Şekil 2.6 ve 2.7' de gösterilmiştir (Sebaaly, 2015).



Şekil 2.6 Yükleme işlemlerinde BSK (a) ve IKA (b) için kaçak emisyonlar (Sebaaly, 2015)



(a)



(b)

Şekil 2.7 Serim işlemlerinde BSK (a) ve IKA (b) için kaçak emisyonlar (Zydex, 2019)

## **BÖLÜM ÜÇ**

### **RİSK DEĞERLENDİRMESİ**

#### **3.1 İş Sağlığı ve Güvenliği**

İş sağlığı ve güvenliği, iş yerinde çalışanların normal sağlıklı hallerini sürdürmeleri için yürütülmesi gereken ve işin yürütümü sırasında çalışanların sağlığına zarar verebilecek koşullardan korunması amacıyla yapılan sistemli ve bilimsel çalışmalardır.

##### **3.1.1 Tehlike**

İşyerinde var olan ya da dışarıdan gelebilecek, çalışanı veya işyerini etkileyebilecek zarar veya hasar verme potansiyelidir (İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği, 2012). Asfalt plentleri düşünüldüğünde, örnek olarak 160°C civarlarındaki bitüm sıcaklığı çalışanlar için bir tehlikedir.

##### **3.1.2 Risk**

Tehlikeden kaynaklanacak kayıp, yaralanma ya da başka zararlı sonuç meydana gelme ihtimalidir (İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği, 2012). Asfalt plentleri düşünüldüğünde, örnek olarak çalışanların yüksek sıcaklıktaki bitüme olası bir teması sonucu 1, 2 veya 3. derece yanıklara maruz kalması bir risktir.

##### **3.1.3 Risk Değerlendirmesi**

İşyerinde var olan ya da dışarıdan gelebilecek tehlikelerin belirlenmesi, bu tehlikelerin riske dönüşmesine yol açan faktörler ile tehlikelerden kaynaklanan risklerin analiz edilerek derecelendirilmesi ve kontrol tedbirlerinin kararlaştırılması amacıyla yapılması gerekli çalışmalardır.

Asfalt plentlerinde mevcut olan belli başlı tehlikeler ve bu tehlikelerden kaynaklanabilecek riskler, Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1 Asfalt üretim prosesinde mevcut olan tehlike ve riskler

<b>Tehlike</b>	<b>Risk</b>
Yüksekte çalışma	Yüksekten düşme
Doğalgaz	Patlama/yangın
Elektrik tesisatı	Elektriğe kapılma
Yüksek sıcaklık	1, 2 ve 3. derece yanıklar
Hareketli aksamalar (örn. konveyör bantlar)	Sıkışma/ezilme
Zararlı gaz emisyonları	Mesleki hastalıklar
Kapalı alanda çalışma	Zararlı gazlardan etkilenme
Araçlar ve iş makineleri	Çarpma, ezilme ve kaza
Gürültü	İşitme kaybı

Risk değerlendirmesi açısından BSK ile IKA teknolojileri karşılaştırıldığında, yüksek karıştırma sıcaklığından dolayı tehlike arz eden zararlı emisyonlar ve bu gazlara maruziyet sonucu oluşabilecek olan mesleki hastalık riski, sıcak karışım asfalt üreten plantlerde ön plana çıkmaktadır.

Zararlı emisyonların dışında kalan tehlike ve riskler, BSK ve IKA üreten tesisler arasında kayda değer bir farklılık göstermemektedir.

### **3.2 Asfalt Plantlerine Genel Bakış**

Örnek asfalt plantleri incelendiğinde, çalışma alanlarının kontrol odaları ve depolar dışında genellikle açık havada bulunduğu izlenmektedir. Örnek bir asfalt plantinden kesitler Şekil 3.1, 3.2 ve 3.3’de verilmiştir.



Şekil 3.1 Asfalt deposu (Kişisel arşiv, 2018)



Şekil 3.2 Asfalt yükleme işlemi (Kişisel arşiv, 2018)

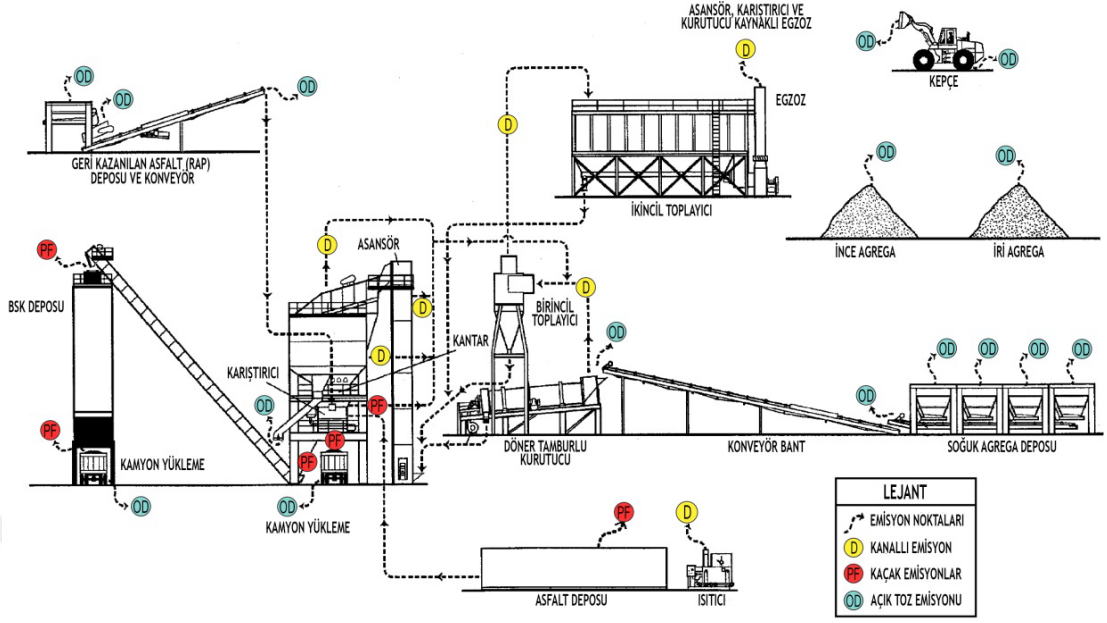


Şekil 3.3 Filtre ünitesi (Kişisel arşiv, 2018)

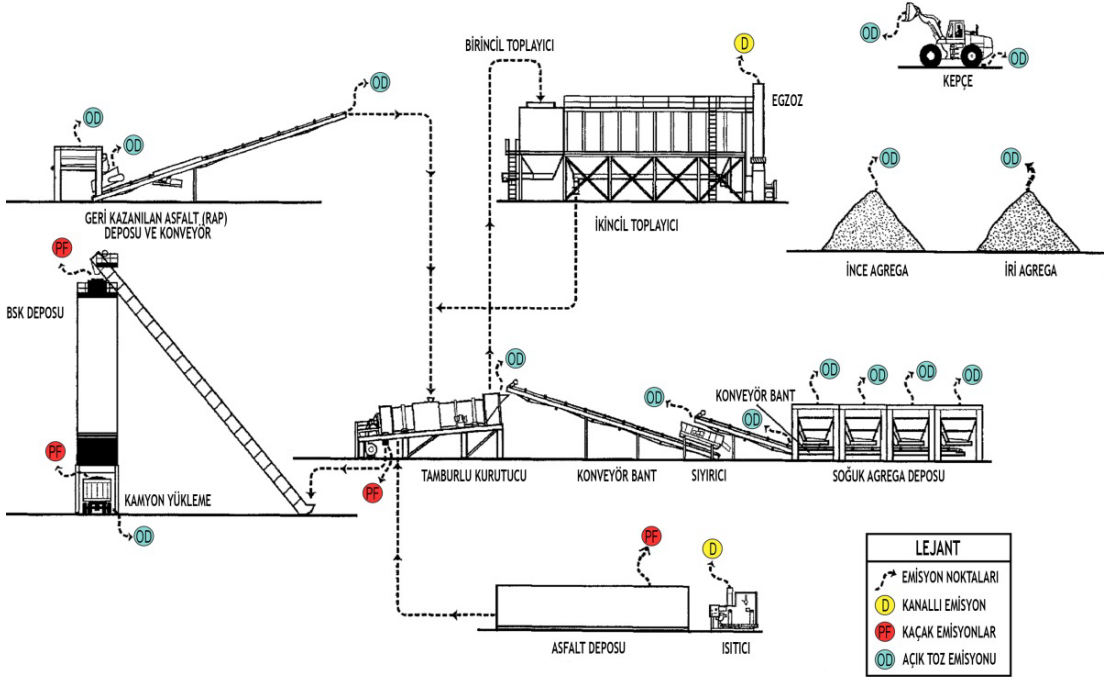
### 3.3 Asfalt Plantlerindeki Emisyon Çeşitleri ve Emisyon Noktaları

Asfalt plant tipleri bitüm ve agreganın karıştırılma tekniği yönünden genel olarak tamburlu karışım ve harman (sürekli karışım) olarak ikiye ayrılır. Tamburlu karışım sistemlerinde öncelikle agrega kurutulur ve kurutulduktan sonra sıvı bitüm ile karıştırılmak üzere karıştırıcıya aktarılır. Harman karışım sistemlerinde ise karıştırıcı ünitesinde agreganın kurutulması ve bitüm ile karıştırılması aynı anda gerçekleşir. Karıştırma işlemi tamamlandıktan sonra bitümlü sıcak karışım geçici bir süre için asfalt deposu ya da bir siloya aktarılır ve bu silodan kamyonlara yüklenerek serim alanına transfer edilir.

Asfalt plantlerinde genel olarak 3 tip emisyon çeşidi görülmektedir. Kanallı emisyonlar; mikser, toplayıcılar ve ısıtıcı gibi ünitelerin egzoz gazlarını, açık toz emisyonları; çoğunlukla agrega kaynaklı ve rüzgar ile taşınabilecek partikül emisyonlarını ve kaçak emisyonlar da bitümün içerisinden salınan organik gaz ve buhar emisyonlarını ifade etmektedir. Harman karışım ve tambur karışım plantlerinde bu emisyonların ünite bazlı çıkış noktaları, Şekil 3.1 ve 3.2' de verilmiştir (EMAD, 2000).



Şekil 3.4 Harman karışım asfalt plantlerinde emisyon noktaları (EMAD, 2000)



Şekil 3.5 Tamburlu karışım asfalt plantlerinde emisyon noktaları (EMAD, 2000)

### 3.4 Plentlerde Öngörülen Emisyonlar

ABD Çevre Koruma Ajansı'nın (EPA) 2000 yılında BSK üretimi yapan plentler için yaptığı emisyon çalışmasında, tipik birer harman ve tamburlu karışım plentinde ünite bazında atmosfere salınacak olan yıllık emisyonlar hesaplanmıştır.

Kriter hava kirleticileri EPA'ya göre insan ve çevre sağlığına zararı bulunan ve hava kirliliği ölçümünde öncelikle belirlenecek olan temel altı adet kirleticiyi ifade etmektedir (EPA, 2015). Tehlikeli hava kirleticileri ise EPA'ya göre "insanlar için kanser yapıcı veya diğer ciddi sağlık sorunlarına yol açan hava kirleticileri" olarak tanımlanmaktadır (EPA, 2014). Yıllık 100.000 ton BSK üreten bir harman karışım plenti için ünite bazında kriter ve tehlikeli hava kirleticilerinin emisyon miktarları Tablo 3.2'de, yıllık 200.000 ton BSK üreten bir tamburlu karışım plenti için ünite bazında kriter ve tehlikeli hava kirleticilerinin emisyon miktarları Tablo 3.3'de verilmiştir (EMAD, 2000). Tablolarda belirtilen PM-10 değerleri çapları 10 mikron ve daha küçük olan partikül madde miktarlarını, NO<sub>x</sub> değerleri ise ölçülen azot oksit (NO ve NO<sub>2</sub>) miktarlarını ifade etmektedir.

Tablo 3.2 Harman karışım BSK asfalt üretimi için öngörülen emisyon miktarları<sup>a</sup> (EPA Emisyon İzleme ve Analiz Bölümü [EMAD], 2000)

Kirlenici	Kaynak bazında emisyon miktarı (kg/yıl)							Toplam (Fuel oil)	Toplam (Doğalgaz)
	Mobil Kaynaklar (Dizel egzoz)	Materyal idaresi ve yol kaynaklı tozlar	Fuel oil kurutucu, sıcak elek ve mikser <sup>b</sup>	Doğalgaz kurutucu, sıcak elek ve mikser <sup>c</sup>	Yükleme <sup>d</sup>	Asfalt Depolama	Saha <sup>e</sup>		
Kriter hava kirlenicileri									
PM-10	20,87	3583,38	1224,70	1224,70	23,59			4852,53	4852,53
Uçucu organik bileşikler (VOC)	45,36		371,95	371,95	177,35	14,51	49,90	659,07	659,07
Karbon Monoksit (CO)	317,51		18143,69	18143,69	61,23	1,36	15,88	18539,68	18539,68
Sülfür Dioksit (SO <sub>2</sub> )	9,98		3991,61	208,65				4001,59	218,63
NO <sub>x</sub>	172,37		5443,11	1133,98				5615,47	1306,35
Tehlikeli Hava Kirlenicileri (THK)									
Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar (PAH)	0,016		4,99	4,99	0,91	0,054		5,97	5,97
Fenol					0,18			0,18	0,18
Uçucu THK	0,86		340,65	340,65	2,81	63,50	0,73	408,55	408,55
Metal THK			0,64	0,64				0,64	0,64
Toplam THK	0,86		344,73	344,73	3,90	63,50	0,73	413,72	413,72

<sup>a</sup> Yıllık 100.000 ton BSK üretimi için öngörülen emisyon miktarları.

<sup>b</sup> BSK üretiminde %10-30 oranında fuel oil kullanılmıştır.

<sup>c</sup> BSK üretiminde %70-90 oranında doğalgaz kullanılmıştır.

<sup>d</sup> Bitümlü sıcak karışımın kamyonlara yüklenmesi işlemi.

<sup>e</sup> Plent sahasında kamyonlara yüklenmiş olan BSK kaynaklı kaçak emisyonlar.

Tablo 3.3 Tamburlu karışım BSK asfalt üretimi için öngörülen emisyon miktarları<sup>a</sup> (EMAD, 2000)

Kirlenici	Kaynak bazında emisyon miktarı (kg/yıl)								Toplam (Fuel oil)	Toplam (Doğalgaz)
	Mobil Kaynaklar (Dizel egzoz)	Materyal idaresi ve yol kaynaklı tozlar	Fuel oil kurutucu <sup>b</sup>	Doğalgaz kurutucu <sup>c</sup>	Yükleme <sup>d</sup>	Siloya doldurma <sup>e</sup>	Asfalt Depolama	Saha <sup>f</sup>		
Kriter hava kirlenicileri										
PM-10	99,79	11793,40	2086,52	2086,52	47,17	53,07			14061,36	14061,36
Uçucu organik bileşikler (VOC)	86,18		2902,99	2902,99	354,71	1106,77	29,03	99,79	4535,92	4535,92
Karbon Monoksit (CO)	544,31		11793,40	11793,40	122,47	107,05	2,72	32,66	12700,59	12700,59
Sülfür Dioksit (SO <sub>2</sub> )	11,79		997,90	308,44					997,90	322,05
NO <sub>x</sub>	254,01		4989,52	2358,68					5443,11	2630,84
Tehlikeli Hava Kirlenicileri (THK)										
Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar (PAH)	0,06		79,83	16,78	1,81	2,63	0,05		86,18	22,68
Fenol					0,36				0,36	0,36
Uçucu THK	2,99		707,60	462,66	5,62	14,06	63,50	1,50	816,47	544,31
Metal THK			8,62	7,26					8,62	7,26
Toplam THK	3,04		816,47	498,95	7,71	16,78	63,50	1,50	907,18	589,67

<sup>a</sup> Yıllık 200.000 ton BSK üretimi için öngörülen emisyon miktarları.

<sup>b</sup> BSK üretiminde % 10-30 oranında fuel oil kullanılmıştır.

<sup>c</sup> BSK üretiminde % 70-90 oranında doğalgaz kullanılmıştır.

<sup>d</sup> Bitümlü sıcak karışımın kamyonlara yüklenmesi işlemi.

<sup>e</sup> Kamyonlara yükleme öncesi geçici silo doldurma işlemi.

<sup>f</sup> Plent sahasında kamyonlara yüklenmiş olan BSK kaynaklı kaçak emisyonlar.

Harman karışım ve tamburlu karışım plantleri için üretim miktarları göz önünde bulundurularak tablo verileri karşılaştırıldığında, öngörülen emisyon miktarlarında iki plant arasında farklılıklar olduğu görülmüştür. Bunun en büyük nedenleri BSK karıştırma teknikleri ve plant kapasiteleri olarak gösterilebilir.

Yıllık 100.000 ton BSK üreten bir harman karışım planti için ünite bazında kriter hava kirleticileri, tehlikeli hava kirleticileri ve polisiklik aromatik hidrokarbon emisyon miktarları Tablo 3.4, Tablo 3.5 ve Tablo 3.6’da verilmiştir (EMAD, 2000).

Tablo 3.4 Harman karışım tesisinde kurutucu, elek ve mikser ünitesi emisyon miktarları (EMAD, 2000)

Kirletici	Doğalgaz yakıtlı kurutucu	Kirletici	Doğalgaz yakıtlı kurutucu
Kriter Kirleticiler	(Emisyon miktarı, kg/yıl)	Kriter Kirleticiler	(Emisyon miktarı, kg/yıl)
PM-10	1224,7	SO <sub>2</sub>	208,65
VOC	371,95	NO <sub>x</sub>	1133,98
CO	18143,69	Uçucu THK (Tehlikeli Hava Kirleticileri)	
PAH (Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar)		Asetaldehit	14,5
Naftalin*	1,6	Benzen	12,7
2-Metilnaftalin	3,2	Etilbenzen	99,8
Asenaften*	0,041	Formaldehit	33,6
Asenaftilen*	0,026	Kinin	12,2
Antrasen*	0,0095	Toluen	45,4
Benzo(a)antrasen*	0,00021	Ksilen	122,5
Benzo(a)piren*	0,000014	Toplam Uçucu THK	340,6
Benzo(b)florenten*	0,00043	Metal THK	
Benzo(g,h,i)perilen*	0,000023	Arsenik	0,021
Benzo(k)florenten*	0,00059	Berilyum*	0,0068
Krisen*	0,00017	Kadmiyum	0,028
Dibenzo(a,h)antrasen*	0,0000004	Krom	0,026
Florenten*	0,0073	Kurşun	0,027
Floren*	0,073	Manganez	0,27
İnden(1,2,3-c,d)piren*	0,000014	Civa	0,019
Fenantren*	0,12	Nikel**	0,14
Piren*	0,0028	Selenyum	0,022
Toplam PAH	5,1	Toplam Metal THK	0,55

\* Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği Ek-1’e göre 1. derece kanserojen maddeler

\*\* Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği Ek-1’e göre 2. derece kanserojen maddeler

Tablo 3.5 Harman karışım tesisinde asfalt deposu emisyon miktarları (EMAD, 2000)

Kirletici	(Emisyon miktarı, kg/yıl)
<b>Kriter Kirleticiler</b>	
PM-10	-
VOC	14,51
CO	1,36
<b>PAH (Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar)</b>	
Asenaften*	0,0012
Asenaftalin*	0,00045
Antrasen*	0,00042
Benzo(b)florenten*	0,00023
Florenten*	0,00010
Floren*	0,000073
Naftalin*	0,039
Fenantren*	0,011
Piren*	0,000073
Toplam PAH	0,053
<b>Uçucu THK (Tehlikeli Hava Kirleticileri)</b>	
Benzen***	0,0045
Bromometan	0,00073
2-Bütanon	0,0054
Karbon disülfür	0,0023
Kloroetan	0,00054
Klorometan	0,0034
Etilbenzen	0,0054
Formaldehit	63,50
n-Hekzan	0,015
isooktan	0,000045
Metilen klorit	0,000039
Fenol	0,00
Stiren	0,00077
Toluen	0,0091
Dimetilbenzen	0,028
O-ksilen	0,0082
Toplam Uçucu THK	63,59

\* Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği Ek-1'e göre 1. derece kanserojen maddeler

\*\*\* Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği Ek-1'e göre 3. derece kanserojen maddeler

Tablo 3.6 Harman karışım tesisinde taşıma ve aktarım kaynaklı emisyon miktarları (EMAD, 2000)

Kirletici	(Emisyon miktarı, kg/yıl)	Kirletici	(Emisyon miktarı, kg/yıl)
Kriter Kirleticiler		Diğer yarı uçucu THK	
PM-10	23,59	Fenol	0,18
VOC	177,35	Uçucu THK	
CO	61,23	Benzen***	0,10
PAH (Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar)		Bromometan	0,018
Asenaften*	0,04	2-Bütanon	0,091
Asenaftilen*	0,0043	Karbon disülfür	0,024
Antrasen*	0,011	Kloroetan	0,00039
Benzo(a)antrasen*	0,0029	Klorometan	0,028
Benzo(b)florenten*	0,0012	Kümen	0,21
Benzo(k)florenten*	0,00034	Etilbenzen	0,53
Benzo(g,h,i)perilen*	0,00029	Formaldehit	0,17
Benzo(a)piren*	0,00035	n-Hekzan	0,28
Benzo(e)piren*	0,0012	isooktan	0,0034
Krisen*	0,016	Metilen klorit	0,00
Dibenzo(a,h)antrasen*	0,000059	Metil eter	0,00
Florenten*	0,0077	Stiren	0,014
Floren*	0,12	Tetrakloroeten	0,015
İnden(1,2,3-c,d)piren*	0,000073	Toluen	0,39
2-Metilnaftalin	0,37	1-1-1-Trikloroetan	0,00
Naftalin*	0,20	Trikloroeten	0,00
Perilen	0,0034	Triklorlorometan	0,0024
Fenantren*	0,13	Dimetilbenzen	0,77
Piren*	0,023	O-ksilen	0,15
Toplam PAH	0,92	Toplam Uçucu THK	2,79

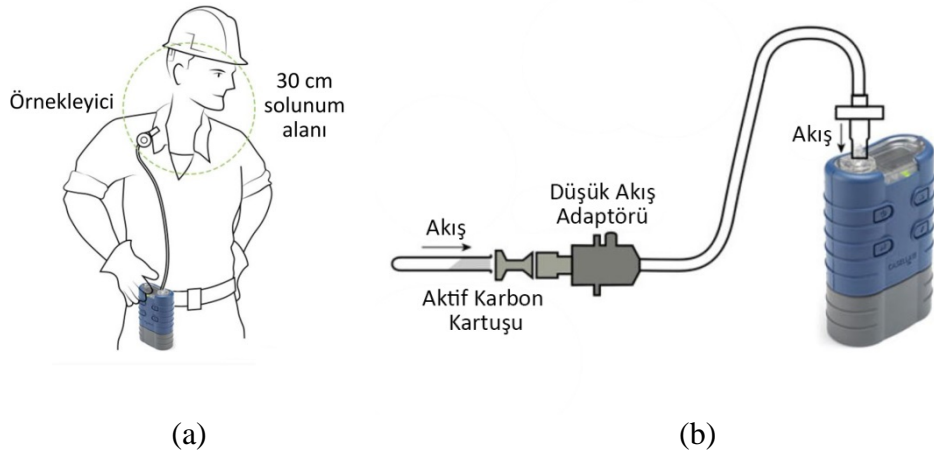
\* Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği Ek-1'e göre 1. derece kanserojen maddeler

\*\*\* Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği Ek-1'e göre 3. derece kanserojen maddeler

Plentten emisyonu yapıldığı belirlenen 19 adet polisiklik aromatik hidrokarbon bileşenden 17'sinin "Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği" Ek-1'e göre 1. derece kanserojen maddeler sınıfına girdiği görülmüştür (T.C Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2009). Bu yönetmelikte "Atık gazlarda bulunan kanser yapıcı maddeler prensip olarak en düşük düzeyde tutulur. Bu konuda işyeri atmosferlerinde (açık ortam hariç) İş Sağlığı ve Güvenliği Mevzuatı da dikkate alınır." ibaresi yer almaktadır.

### 3.5 Kirlenici Gazların Ölçüm Yöntemleri

İşyerlerindeki kirlenici gazların ölçümleri; ortamda bulunan gaz moleküllerinin difüzyon yoluyla örnekleyici içerisindeki tutma ortamında toplandığı pasif örnekleyiciler yardımıyla, çoğunlukla aktif karbon kartuşlu ve taşınabilir pompalı aktif örnekleyiciler yardımıyla, veya otomatik analizörler kullanılarak yapılabilir. İşyerlerindeki kirlenici gaz ölçümü yapan çevre laboratuvarları genellikle kazan bacalarından, plant bacasından ve tesis içerisinde işçilerin bulunduğu ya da bulunabileceği bir kaç noktadan otomatik analizörler yardımıyla örnekleme alırlar ve bu yöntem oldukça hassas sonuçlar verir. Kirlenici gazların iş sağlığı ve güvenliği açısından yol açacağı riskler düşünüldüğünde ise, işçilerin özellikle organik buhar emisyonlarından kişisel koruyucu donanım vasıtasıyla efektif olarak korunması için maruz kaldıkları gaz kompozisyonunun bilinmesi yararlı olacaktır. Kirlenici gaz ölçüm yöntemlerinden aktif örnekleyiciler, bitüm dumanında bulunan uçucu organik bileşiklerin ölçümü için uygun olması ve işçilerin solunum alanlarından vardiya süresi boyunca örnekleme yapmayı mümkün kıldığı için işçi sağlığının gözetimi amacıyla yapılan ölçümlerde tercih sebebidir. Solunum alanı, çalışanların ağız ve burun civarını merkez alan, 30 cm'lik bir küre alanı olarak tanımlanmaktadır. Şekil 3.3'de solunum alanı ve aktif örnekleyici gösterilmiştir (Intercontinental Service Inc. [ISI], b.t).



Şekil 3.6 Solunum alanı (a) ve aktif hava örnekleyici (b) (ISI, b.t)

Aktif örnekleme cihazındaki Solid Phase Extraction (SPE) kartuşları tarafından adsorblanan bileşikler, organik solventler yardımıyla yıkanarak ve gaz kromatografisi-kütle spektrometresi (GC-MS) cihazı yardımıyla hassas biçimde ölçülmektedir.

2014 yılında Prowell ve arkadaşlarının yürüttüğü çalışmada, BSK üretimi yapılan 3 farklı plentte 8 farklı işçinin solunum alanlarından  $2,0 \pm 0,2$  L/dk debi ile aktif örnekleme yapılmış, ve ortalama olarak işçilerin  $0,81 \text{ mg/m}^3$  dozunda organik bileşiklere maruz kaldığı ölçülmüştür (Prowell, Frank, Osborne, Kreich ve West, 2014). İşçilerin maruz kaldığı PAH'lar Tablo 3.7'de verilmiştir.

Tablo 3.7 Plent işçilerinin solunum alanlarında incelenen PAH'lar (Prowell ve diğer., 2014)

	CAS numarası	Polisiklik Aromatik Bileşik		CAS numarası	Polisiklik Aromatik Bileşik
1	95-15-8	Benzotiyofen	21	5522-43-0	Nitropiren
2	91-20-3	Naftalin*	22	27208-37-3	Siklopenta(cd)piren
3	83-32-9	Asenaften*	23	205-99-2	Benzo(b)florenten*
4	208-96-8	Asenaften*	24	205-82-3	Benzo(j)florenten
5	225-11-6	Benz(a)akridin**	25	207-08-9	Benzo(k)florenten*
6	225-51-4	Benz(c)akridin**	26	194-59-2	7H-Dibenzo(c,g)karbazol**
7	86-74-8	Karbazol**	27	56-49-5	3-Metilklorenten
8	132-65-0	Dibenzotiyofen**	28	50-32-8	Benzo(a)piren*
9	86-73-7	Floren*	29	192-97-2	Benzo(e)piren*
10	120-12-7	Antrasen*	30	53-70-3	Dibenz(a,h)antrasen
11	85-01-8	Fenantren*	31	226-36-8	Dibenz(a,h)akridin**
12	239-35-0	Benzo(b)nafto(2,1-d)tiyofen**	32	224-42-0	Dibenz(a,j)akridin**
13	206-44-0	Florenten*	33	224-53-3	Dibenz(c,h)akridin**
14	243-46-9	Benzo(b)nafto(2,3-d)tiyofen	34	2997-45-7	Dibenzo(a,e)florenten
15	56-55-3	Benz(a)antrasen	35	193-39-5	İndeno(1,2,3-cd)piren*
16	3697-24-3	Metilkrisen	36	191-24-2	Benzo(g,h,i)perilen
17	218-01-9	Krisen*	37	192-65-4	Dibenzo(a,e)piren
18	129-00-0	Piren*	38	189-55-9	Benzo(rst)pentafen
19	57-97-6	Dimetilbenz(a)antrasen	39	189-64-0	Dibenzo(a,h)piren
20	57-97-6	Trifenilen	40	191-30-0	Dibenzo(a,l)piren

\* Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği Ek-1'e göre 1. derece kanserojen maddeler

\*\* Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı'na (IARC) göre öncelikli olarak araştırma yapılması gereken maddeler

Plent işçilerinin solunum alanlarından alınan örneklerde 40 adet polisiklik aromatik hidrokarbon bileşenden 14'ünün "Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği" Ek-1'e göre 1. derece kanserojen maddeler sınıfına, ve 9'unun WHO

bünyesinde kurulan Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı'na göre "öncelikli olarak araştırma yapılması gereken bileşikler" sınıfına girdiği görülmüştür (Prowell ve diğer., 2014). Bu araştırma sonucunda Tablo 3.4, 3.5 ve 3.6'da listelenen bileşiklerin işçilerinin solunum alanlarında da görülmesi, plant işçilerinin tehlikeli bileşiklere maruziyetinin muhtemel olduğunu ve bu bileşiklerin işçiler üzerinde ciddi oranda mesleki hastalık riski oluşturduğu görülmektedir.

### 3.6 Risk Yönetimi

İşçilerin sağlık ve güvenlikleri için tehlike oluşturan veya oluşturabilecek unsurlar belirlendikten ve tehlikelerden kaynaklanan riskler ile bu tehlikelerin riske dönüşmesine yola açan faktörler açıkça listelendikten sonra kontrol önlemlerinin belirlenmesi gerekir. İş sağlığı ve güvenliği gözetimi amacıyla yapılan risk değerlendirmesi adımları içerisinde, kontrol önlemleri belirlenirken aşağıdaki hiyerarşik sıra uygulanmalıdır (Tokgöz, 2016):

- Ortadan kaldırma
- Yerine koyma
  - Tehlikelinin yerine tehlikesiz veya daha az tehlikelisini koyma.  
(Örn. Benzen yerine Toluen, asbest yerine Polivinil Klorür [PVC] malzeme)
- Mühendislik kontrolleri
  - Ekipman ve tesis tasarımı
  - Tehlikeleri bertaraf eden proses oluşturulması
  - Tehlikelerin izolasyonu vb.
- İşaretler/uyarılar ve / veya diğer idari kontroller
  - Prosedür oluşturma
  - Çalışma izni verme
  - Çalışma zamanını kısıtlama
  - Çalışan eğitimi vb.
- Kişisel koruyucu donanım kullanımı

Risk yönetiminin iş sağlığı ve güvenliği ilkelerine uygun olarak yapılması için riskle öncelikle kaynağında mücadele edilmelidir. İşyerlerinde mesleki hastalıklara

neden olabilecek zararlı emisyonların yönetimi için, önce asfalt üretim prosesindeki emisyonları azaltacak değişiklikler yapılmalıdır.

### 3.6.1 Matris (L-Tipi Matris) Yöntemi

Risk değerlendirme yöntemlerinden L-tipi matris uygulaması, işyerlerinde özellikle bir an önce önlem alınması gerekli olan risklerin tespit edilmesi amacıyla kullanılır (Ceylan ve Başhelvacı, 2011). Bu metot, işyerlerinde istenmeyen bir olayın gerçekleşme ihtimali ve gerçekleşmesi sonucunda meydana gelecek sonuçların derecelendirilmesi ve raporlanması amacıyla oluşturulur.

L-tipi matris uygulamalarında “Risk Skoru” aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$\text{Risk skoru} = \text{Olasılık} \times \text{Şiddet} \quad (3.1)$$

Risk skorunu elde etmek için gerekli olan olasılık ve şiddet değerlerinin belirlenmesinde kullanılacak olan veriler Tablo 3.8 ve 3.9’da verilmiştir.

Tablo 3.8 Niteliksel risk hesabında kullanılan olasılık değerleri (Ceylan ve Başhelvacı, 2011)

Frekans	Olasılık	Olasılık değeri
Yılda bir	Çok düşük	1
Üç ayda bir	Küçük	2
Ayda bir	Orta	3
Haftada bir	Yüksek	4
Her gün	Çok yüksek	5

Tablo 3.9 Niteliksel risk hesabında kullanılan şiddet değerleri (Ceylan ve Başhelvacı, 2011)

Durum	Şiddet	Şiddet değeri
İş saati kaybı yok, ilkyardım gerektiren	Çok hafif	1
İş günü kaybı yok, ilk yardım gerektiren	Hafif	2
Hafif yaralanma, tedavi gerekir	Orta	3
Ölüm, Ciddi yaralanma, meslek hastalığı	Ciddi	4
Birden çok ölüm, sürekli iş göremezlik	Çok ciddi	5

İşyerlerinde bulunan tehlikeli durum ve mevcut riskler için uygun “Frekans” ve “Durum” başlıklarına bakılarak olasılık ve şiddet değerleri belirlendikten sonra risk skorları hesaplanır. L-tipi matrisler için “Risk skoru” tablosu Tablo 3.10’da verilmiştir.

Tablo 3.10 5x5 L matris risk skoru tablosu

RİSK SKORU	ŞİDDET				
	1 (Çok hafif)	2 (Hafif)	3 (Orta)	4 (Ciddi)	5 (Çok ciddi)
OLASILIK	1 (Çok düşük)	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük
1 (Çok düşük)	Çok düşük 1	Düşük 2	Düşük 3	Düşük 4	Düşük 5
2 (Düşük)	Düşük 2	Düşük 4	Düşük 6	Orta 8	Orta 10
3 (Orta derece)	Düşük 3	Düşük 6	Orta 9	Orta 12	Yüksek 15
4 (Yüksek)	Düşük 4	Orta 8	Orta 12	Yüksek 16	Yüksek 20
5 (Çok yüksek)	Düşük 5	Orta 10	Yüksek 15	Yüksek 20	Tolere edilemez 25

Risk değerlendirme uygulaması için hesaplanan risk skorlarına karşılık gelen risk kategorileri ve uygulanması gereken faaliyetler Tablo 3.11’de verilmiştir.

Tablo 3.11 Risk sonuçları

Renk	Risk skoru	Risk kategorisi	Faaliyet
Kırmızı	25	Tolere edilemez risk	Çalışma faaliyetleri durdurulur
Turuncu	15, 16, 20	Kabul edilemez risk	Risklerle ilgili hemen faaliyete geçilmelidir
Sarı	8, 9, 10, 12	Dikkate değer risk	Risklere mümkün olduğu kadar çabuk müdahale edilir
Yeşil	1, 2, 3, 4, 5, 6	Kabul edilebilir risk	Risklere daha uzun vadede müdahale edilebilir

İşyerlerinde mevcut durum için yapılan değerlendirmelerde risk skorunun sarı, turuncu veya kırmızı alanlarda olduğu tespit edildiği durumlarda Bölüm 3.6 “Risk

Yönetimi” başlığı altında bahsedildiği şekilde kontrol önlemlerinin hiyerarşik sıra ile belirlenmesi ve uygulanması gereklidir. Kontrol önlemlerinin uygulanmasının ardından risk skorlarının yeşil alanlarda izlenmesi durumu, risklerin kabul edilebilir risk seviyesine çekildiğini göstermektedir.

Asfalt plentinde BSK üretimi yapıldığı durum için zararlı emisyonlar bakımından bir L tipi matris yöntemi ile risk değerlendirmesi uygulaması yapılacak olursa;

Tablo 3.12 BSK üretimi yapıldığı durum için risk değerlendirmesi örneği

No	Alan	Tehlike kaynağı	Tehlike	Risk	O	Ş	Risk skoru	Risk seviyesi
1	Plent alanı	Bitüm dumanı	Bitüm dumanında bulunan organik bileşikler	Akut veya kronik solunum yolu hastalıkları, meslek hastalığına yakalanma	5	4	20	Yüksek
2	Asfalt kaplama serim alanı	Bitüm dumanı	Bitüm dumanında bulunan organik bileşikler	Akut veya kronik solunum yolu hastalıkları, meslek hastalığına yakalanma	5	4	20	Yüksek

Bitüm dumanında bulunan tehlikeli kirleticiler ve Bölüm 3.4’te bahsedilen organik bileşiklerin plent çalışanlarının solunum alanlarında gözlenmesiyle işçilerin tehlikeli bileşiklere maruziyetinin muhtemel olduğu göz önüne alındığında, yapılan risk değerlendirmesinde risk skoru 20, risk seviyesinin ise “Yüksek” olduğu görülmektedir.

Risk yönetiminde kontrol önlemleri olarak sırasıyla IKA uygulamasına geçilmesi, gerekli mühendislik kontrollerin yapılması ve doğru KKD kullanımının uygulanması sonucu değişen risk skoru ve seviyesi Tablo 3.13’de gösterilmiştir.

Tablo 3.13 Kontrol önlemlerinin uygulanması sonucu değişen risk skorları

No	Alan	Tehlike kaynağı	Risk skoru	Risk seviyesi	Alınacak önlemler	O	Ş	Risk skoru	Risk seviyesi
1	Plent alanı	Bitüm dumanı	20	Yüksek	IKA uygulaması, tehlike izolasyonu ve KKD kullanımı	1	4	4	Düşük
2	Asfalt kaplama serim alanı	Bitüm dumanı	20	Yüksek	IKA uygulaması, KKD kullanımı	1	4	4	Düşük

Kontrol önlemlerinin uygulanması sonucu risk skorunun 4'e ve riskin "Düşük" seviyesine inmesi, işyerindeki risklerin kabul edilebilir risk seviyesine çekildiğini göstermektedir. IKA uygulamasında BSK ile farklılık gösterebilecek olan diğer tehlike ve riskler Tablo 3.14'te, IKA uygulaması sonucu değişen risk skorları Tablo 3.15'de verilmiştir.

Tablo 3.14 IKA ve BSK üretiminde farklılık gösterebilecek diğer tehlike ve riskler

No	Alan	Tehlike kaynağı	Tehlike	Risk	O	Ş	Risk skoru	Risk seviyesi
3	Plent alanı	Sıcak bitüm	Yüksek sıcaklık	Temas sonucu 1, 2 veya 3. derece yanıklar	3	4	12	Orta
4	Asfalt kaplama serim alanı	Sıcak bitüm	Yüksek sıcaklık	Temas sonucu 1, 2 veya 3. derece yanıklar	3	4	12	Orta

Tablo 3.15 IKA uygulaması sonucu değişen risk skorları

No	Alan	O	Ş	Risk skoru	Risk seviyesi	Alınacak önlemler	O	Ş	Risk skoru	Risk seviyesi
3	Plent alanı	3	4	12	Orta	IKA uygulamasına geçilmesi	3	3	9	Orta
4	Asfalt kaplama serim alanı	3	4	12	Orta	IKA uygulamasına geçilmesi	3	3	9	Orta

IKA üretimi yapılan plantlerde veya asfaltın taşınımı sırasında olası bir kaza durumu göz önünde bulundurulduğunda işçinin sıcak bitüm ile teması riskinin BSK'ya kıyasla nispeten düşük olduğu fakat risk seviyelerinde bir değişim meydana gelmediği görülmüştür. Bunların dışında kalan tehlike ve riskler, Bölüm 3.1.3'de bahsedildiği gibi BSK ve IKA üreten tesisler arasında kayda değer bir farklılık göstermemektedir.



## **BÖLÜM DÖRT**

### **DEĞERLENDİRMELER**

#### **4.1 Ilık Karışım Asfaltın avantajları**

Ilık karışım asfalt uygulamalarının araştırılmaya başlanmasındaki en önemli sebep, asfalt üretimi sırasında atmosfere salınan, çevre ve işçi sağlığı için zararlı emisyonların ve asfalt üretiminde kullanılan enerji miktarının azaltılmaya çalışılmasıdır.

Asfalt üretiminde İKA avantajlarını genel olarak sıralayacak olursak;

- Asfalt işçileri açısından faydalar,
- Çevresel faydalar,
- Üretim ve uygulamadaki (serme ve sıkıştırma işlemleri) faydalar.

##### ***4.1.1 Asfalt işçileri açısından faydaları***

2000 yılı öncesi çoğu Avrupa’da olmak üzere, plent çalışanlarının bitüm gazlarına maruziyeti sonucu kanser ve meslek hastalıklarına yakalanma risklerinin araştırıldığı çalışmalar yapılmış fakat, çalışanların sigara alışkanlıkları ve diğer çevresel sebepler dolayısıyla bu araştırmalarda kesin sonuçlar elde edilememiştir. 2010’da yayınlanan “Avrupa asfalt işçileri üzerinde yapılan akciğer kanseri kontrol çalışması” sonucunda işyerlerinde yüksek miktarda bulunan bitüm buharının solunmasının ve cilde maruziyetinin işçi sağlığı açısından yol açabileceği riskler araştırılmış, ılık karışım asfalt uygulamalarıyla söz konusu risklerin azaltılmasında mevcut girişimlerin önemi vurgulanmıştır (Olsson ve diğer., 2010).

Bölüm 2.3’te asfalt plentlerinden emisyonu yapılan gaz bileşimlerine bakıldığında, tehlikeli hava kirleticilerinin büyük çoğunluğunun Dünya Sağlık Örgütü (WHO), ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA) ve Türkiye Cumhuriyeti yönetmeliklerine göre “1. derece kanserojen” veya “akut veya kronik solunum hastalıklarına yol açan bileşikler” olduğu görülmektedir.

Bölüm 2.3’de bahsedildiği üzere, teorik olarak karıştırma sıcaklığının 25°C düşürülmesi, toplam emisyonda %75 gibi yüksek bir oranda azalmaya neden olmaktadır (EAPA, 2010). Bu oranın uygulamada %58-67 arası olduğu ölçülmüştür (Olsen ve diğer., 2012). Solunum ve maruziyet açısından tehlike oluşturan kaçak hidrokarbon emisyonlarında (bitüm dumanı) sıcak karışıma göre %30-50 oranında önemli azalmalar olduğu yapılan deneylerle belirlenmiş ve bu azalmanın uzun vadede mesleki hastalıklara yakalanma riskinin kabul edilebilir seviyeye indirilmesinde önemli bir rol oynayacağı görülmektedir.

#### **4.1.2 Çevresel Faydaları**

İlık ve yarı ılık karışım asfaltlarda yapılan denemelerde BSK prosesine kıyasla enerji kazancının mevcut üretim sistemine, agrega içerisindeki nem miktarına ve plentin üretim verimine bağlı olarak %20 ile %35 arasında olduğu görülmüştür. Bu da İKA teknolojisine geçildiğinde, ton bazında üretilen asfalt miktarı başına 1,5- 2,0 litre yakıt tasarrufu yapılması anlamına gelmektedir (Monu, Banger ve Duggal, 2015). Üretimde agregaların veya en azından agregaların bir kısmının 100°C’den fazla ısıtılmadığı düşük enerji asfalt (Low Energy Asphalt Concrete [LEAB®] ve Low Energy Asphalt [LEA]) proseslerinin kullanıldığı durumlarda enerji tüketimlerinin %50’den yüksek miktarda azaltılmasının mümkün olduğu gözlemlenmiştir (D’Angelo ve diğer., 2008). Günümüzde uygulanan BSK prosesinde karıştırma sıcaklığının 160-180°C dolaylarına çıkartılması için fazladan yakılan yakıt dolayısıyla atmosfere antropojenik kaynaklı sera gazlarından en büyük paya sahip karbondioksitin salınımı ortalama olarak %38 daha fazla yapılmaktadır (EAPA, 2010).

Sera gazı emisyonlarının yol açtığı küresel ısınma ve iklim değişikliği konusunda mücadeleyi sağlamaya yönelik olarak oluşturulan ve 2009 yılında taraf olan ülkemizin Kyoto Protokolü’ne herhangi bir emisyon sınırlandırma veya azaltım taahhüdü bulunmamasına rağmen, “Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği” incelendiğinde, emisyon sınır değerlerinde yıllara göre kademeli azaltım uygulandığı görülmektedir. Bu alana giren asfalt plantlerinde İKA üretimi yapıldığı durumda, prostedeki enerji tüketimi ile sera gazı salınımı arasındaki yakın ilişki nedeniyle CO<sub>2</sub> salınımının %20 ile %35 arasında azalması anlamına gelmektedir ve bu da yaklaşık

olarak ton bazında üretilen İKA başına 4,1 ile 5,5 kg CO<sub>2</sub>'in atmosfere salınımının engellenmesine neden olacaktır. Bir diğer sera gazı olan azot oksitlerde (NO<sub>x</sub>) ise İKA proseslerinde BSK'ya göre olan azalma miktarı %60-70 seviyelerine ulaşabilmektedir (D'Angelo ve diğer, 2008).

Bunlara ek olarak ılık ve yarı ılık asfalt karışımlarında plentin baca emisyonları izlendiğinde, emisyonu yapılan SO<sub>2</sub> miktarının %20-35, CO miktarının %10-30, uçucu organik bileşiklerin (VOC) %50 ve partikül madde miktarının %20-55 oranında azaltıldığı görülmüştür (D'Angelo ve diğer., 2008).

Asfalt işçileri için tehlike arz eden asfalt buharları ve EPA tanımına göre "Tehlikeli Hava Kirleticileri" arasında geçen Polisiklik Aromatik Hidrokarbon (PAH) emisyonlarında %30-50 arasında azalma olduğu saptanmıştır (Rühl ve Lindemeier, 2006).

Ilık karışım asfalt üretimi yapılan plentlerdeki emisyon miktarlarındaki azalmaların ülkelere göre oranları Tablo 4.1'de verilmiştir (Erkens, Liu ve Anupam, 2016).

Tablo 4.1 İKA üretiminde ülkelere göre raporlanan plent emisyonlarındaki azalma miktarları (Erkens ve diğer., 2016)

<b>Emisyon</b>	<b>Norveç</b>	<b>İtalya</b>	<b>Hollanda</b>	<b>Fransa</b>
<b>CO<sub>2</sub></b>	%31,5	%30-40	%15-30	%23
<b>SO<sub>2</sub></b>	-**	%35	-	%18
<b>VOC</b>	-	%50	-	%19
<b>CO</b>	%28,5	%10-30	-	-
<b>NO<sub>x</sub></b>	%61,5	%60-70	-	%18*
<b>Toz</b>	%54,0	%25-55	-	-

\* NO<sub>2</sub> olarak ölçülmüştür.

\*\* Verilmeyen değerler ölçülmemiştir.

İKA plentlerinde raporlanan ölçümler sonucunda BSK'ya kıyasla atmosfere salınan emisyonlardaki azalma oranlarının, literatürdeki değerlerle örtüştüğü görülmekle birlikte, bazı gaz emisyonlarında ülkeler arası büyük farklar olduğu izlenmektedir. Bunun en büyük nedeni ülkelerin benimsediği İKA üretim prosesleri ve kullandıkları katkıları olarak gösterilebilir. Ilık karışım asfalt üretimine geçileceği durumda, asfalt üretimi yapılan sanayi bölgelerinin bulunduğu coğrafi konum ve bu alanların

meteorolojik özellikleri göz önünde bulundurularak, IKA prosesinin atmosferde düşük düzeyde tutulmak istenilen kirleticilere göre seçilmesi, bu teknolojinin çevre sağlığının ülke şartlarına uygun olarak gözetilmesine yardımcı olacaktır.

IKA üretimiyle BSK'ya kıyasla sağlanan daha düşük emisyon değerlerinin yanısıra bir diğer çevresel faydası ise IKA teknolojisinin atıl halde bulunan kullanılmış asfaltın geri kazanılmış asfalta (RAP) dönüştürülmesi ile uyumlu bir proses olmasıdır. Yapılan çalışmalara göre IKA uygulamalarında asfalt stabilitesinden ödün vermeden karışıma eklenebilecek optimum RAP miktarı BSK'ya oranla daha fazladır (Şengöz ve diğer., 2016). Kullanılmış asfaltın RAP'a dönüştürülmesiyle genel olarak sağlanacak faydalar aşağıdaki gibi sıralanabilir (Güngör, Orhan, Kaşak, Çalışkol ve Yönter, 2011).

- Kazınan asfalt tabakasının tekrar değerlendirilmesi ile ekonomik kazanımlar elde edilir,
- RAP kullanımıyla karışıma eklenecek agrega miktarı azaltılarak milli kaynakların korunması sağlanır,
- Mevcut kaplama yapısı üzerine bir tabaka daha eklenmeksizin geri dönüştürülerek daha mukavim bir tabaka elde edilir, yansıma çatlaklarının oluşumu önlenir ve kot yükselmesi gibi sorunlar giderilebilir,
- Atıl durumda bulunan kazınmış asfaltın bir bakıma bertaraf işlemi gerçekleştirilir,
- Geri kazanım işlemi, geleneksel üretim teknikleriyle karşılaştırıldığında büyük miktarda enerji tasarrufu sağlanabilir.

#### **4.1.3 Üretim ve Uygulamadaki faydaları**

IKA üretiminde ve aynı zamanda uygulamasında BSK'ya kıyasla bir çok avantajı vardır.

Üretimdeki avantajlar:

- Enerji tüketiminde %20-35 arasında azalma görülür,
- Düşük asfalt sıcaklığı nedeniyle bitüm daha az yaşlanır,
- Karıştırma sıcaklığının azalması ile plant donanımında oluşan termal yorgunluklar azalır,

- İKA asfaltın geri kazanımına daha uyumlu bir prosestir.

Uygulamadaki avantajlar:

- Köpüklendirme teknikleri kullanılarak üretilen asfaltlar, BSK'ya göre daha düşük sıcaklıkta daha kolay sıkıştırılabilir,
- Ilık karışım tekniğiyle üretilen asfaltın uygulama (taşımaya, sermeye ve sıkıştırma) süresi uzamaktadır. Böylelikle serim işlemi yapılacak olan yer ile plant arası uzak mesafeler olduğu durumlarda kurulan ikincil taşıma istasyonlarına gerek kalmamakta ve serim maliyetleri azaltılmaktadır,
- Ilık karışım asfaltların kolay sıkıştırılma özelliği dolayısıyla yılın daha soğuk aylarında veya trafiğin nispeten daha az olacağı akşam/gece saatleri serim işlemleri yapılabileceğinden inşaat sezonu uzatılabilir.

Özetleyecek olursak;

- Ilık ve yarı ılık asfalt karışım proseslerinde BSK'ya göre baca emisyonlarında önemli azalmalar olmaktadır,
- Kullanılan yakıt miktarının ve sera gazı salınımının azaltılması ile plantlerin karbon ayak izi küçülmektedir,
- Karıştırma ve serme sıcaklığının düşmesiyle kaçak emisyon, duman ve koku miktarları azalmakta ve dolayısıyla işçilerin potansiyel maruziyet seviyelerinin azaltılması sağlanmaktadır.

## BÖLÜM BEŞ

### SONUÇLAR

Asfalt kaplama yapım sürecinde çevre ve işçi sağlığı açısından zararlı emisyonların ve yol açacağı risklerin minimuma indirilmesi için risk yönetiminde “kaynağında mücadele” ilkesine dayanarak, öncelikle salınımı yapılan emisyonların daha çevreci ve yenilikçi teknolojiler kullanılarak azaltılması gerekmektedir. İş sağlığı ve güvenliği ilkelerine göre risk yönetimi aşamasında, Bölüm 3.6 “Risk Yönetimi” başlığı altında bahsedilen kontrol önlemlerinin belirlenmesi adımları hiyerarşik olarak uygulanmalıdır. Dolayısıyla mevcut BSK üretim yöntemi uygulandığı durumda işçilerin zararlı emisyonlardan tehlike izolasyonu veya kişisel koruyucu donanım yoluyla korunması mümkün olsa bile, bu yöntem iş sağlığı ve güvenliği ilkelerine ters düşmekte ve yanlış bir risk yönetimi uygulaması olarak değerlendirilmektedir. İşçi sağlığı gözetiminin sağlanması için öncelikle zararlı emisyonlar açısından çok daha güvenli olan IKA teknolojisi incelenmeli, ülke şartları, iklim özellikleri, ve kullanılacağı yol ve yollar için en uygun katkı malzemeleri belirlenmeli ve mevcut durumda plantlerde uygulanan üretim prosesine adapte edilmelidir. Bunun yanı sıra, asfalt dayanım performansından ödün vermeden karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarında optimum azalmayı sağlayan katkının seçilmesiyle IKA üretiminin çevre dostu olarak değerlendirilebilmesi mümkün olmamakta, bunun için seçilen katkıların üretimi sırasında çevreye olan etkilerinin araştırılmasının da gerektiği göz ardı edilmemelidir. Örneğin IKA katkısı olarak çevreci olduğu iddia edilen bazı katkıların Fischer-Tropsch yöntemlerle üretilmeleri nedeni ile çevreye olumsuz etkilerinin faydalarından daha fazla olduğu bilinmektedir.

Yapılacak olan asfalt kaplamalardan en yüksek verimin alınması adına, proseste kullanılmak üzere yeni katkı malzemeleri geliştirilebilir veya diğer katkılarla eşdeğer performans gösterdiği görülen ve ülkemizde yüksek miktarda rezervi bulunan doğal zeolit IKA katkısı olarak kullanılabilir. Bu sayede plantlerde kullanılan katkı malzemeleri ve doğalgaz, fuel oil gibi yakıtların kullanımı ciddi oranda düşürülerek, ülkemizin dışa bağımlılığı azaltılacak, yüksek verimli IKA teknolojisinin kullanımıyla çevre ve işçi sağlığı da gözetilmiş olacaktır.

IKA teknolojisine geçildiği durumda bile, söz konusu emisyonların sıfıra indirilmesi mümkün olmadığından, öncelikle gerekli mühendislik önlemler alınmalıdır. Bu mühendislik önlemler, plantlerden çıkan gaz ve toz emisyonlarının çevreye dağılımının kontrol altında tutulması ve emisyon kaynaklarıyla işçiler arasında bir bariyer oluşturulması ile sağlanır. Emisyonlardan kaynaklanacak olan risklerin kabul edilebilir risk seviyesine çekilmesi amacıyla işçiler için saha içerisine uyarıcı işaret ve levhaların konulması, işçilere kanunlarca belirtilen yıllık iş sağlığı ve güvenliği eğitimlerin verilmesi gerekmektedir. Risk yönetiminde son çare olarak kullanılan kişisel koruyucu donanımların işçiler tarafından kullanılmalarının denetlenmesi sağlanabilir.

Asfalt plantlerinde çalışanların toz ve organik bileşiklere maruziyetini önlemek amacıyla kartuş filtreli yarım yüz maskeleri kullanılabilir. Bu maskelerde organik gaz/buhar ve toz partikül filtreleri kullanılmalıdır. Filtre seçiminin tesisteki kirletici gaz kompozisyonunun hava örnekleme ile belirlendikten sonra yapılması, emisyonla mücadelede daha etkili olacaktır.

Ayrıca plantlerdeki emisyon değerleri, ilgili kanunlar ve yönetmelikler göz önünde bulundurularak ölçülmeli, raporlanmalı ve üst sınır değerlerin aşılmasına özen gösterilmelidir. Söz konusu sınır değerler aşıyor ise, bu emisyonların azaltılması ve kontrol altında tutulması için gerekli çalışmalar yapılmalıdır.

## KAYNAKLAR

- AkzoNobel N.V. (2012). *Superior warm-mix additive for exceptional compaction, coating and moisture resistance*. 18 Mayıs 2019, <https://surfacechemistry.nouryon.com/siteassets/pdfs/brochure-asphalt-redisetLQ.pdf>
- Asphalt Paving Association of Iowa [APAI] (2016). *The history of asphalt*. 21 Mayıs 2019, [http://www.apai.net/Files/content/Asphalt/The\\_History\\_of\\_Asphalt.pdf](http://www.apai.net/Files/content/Asphalt/The_History_of_Asphalt.pdf)
- Ayan, S. (2002). Fidan yetiştiriciliği ve ağaçlandırma çalışmalarında zeolit mineralinin kullanımı. *Orman Fakültesi Dergisi*, (2), 78-88.
- Button, J.W., Estakhri, C., ve Wimsatt, A. (2007). A Synthesis of Warm-Mix Asphalt, SWUTC/07/0-5597-1, Texas Transportation Institute, USA.
- Ceylan, H. ve Başhelvacı, V. S. (2011), Risk değerlendirme tablosu yöntemi ile risk analizi: bir uygulama. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 3(2), 25-33.
- Chowdhury, A. ve Button, J. W. (2008). *A Review of Warm Mix Asphalt*. SWUTC/08/473700-00080-1. Texas: Texas Transportation Institute.
- Croteau, J.M. ve Tessier, B. (2008). Warm mix asphalt paving technologies: a Road builder's perspective. *Annual Conference of the Transportation Association of Canada*, Toronto, 1-12.
- D'Angelo J, Harm, E., Bartoszek, J., Baumgardner, G., Corrigan, M., Cowsert ve diğer. (2008). *Warm-Mix asphalt: European Practice*. FHWA-PL-08-007 Washington D.C, USA.
- European Asphalt Pavement Association (EAPA), (2010). The Use of Warm Mix Asphalt. *EAPA position paper*. 20 Mayıs 2018, <http://www.asfaltblj.nl/media/1416/2009june-the-use-of-warm-mix-asphalt.pdf>

European Asphalt Pavement Association (EAPA), (2014). *Ilık karışım asfalt EAPA tespit dokümanı* (Z. Temren, Çev.). Ankara: Türkiye Asfalt Mütahhitleri Derneği (2016).

EPA Emissions Monitoring and Analysis Division (EMAD), (2000). Hot Mix Asphalt Plants Emission Assessment Report EPA-454/R/00/019.

Erkens, S., Liu, X., Anupam, K. (2016). *Functional Pavement Design: Proceedings of the 4th Chinese-European Workshop on Functional Pavement Design*. 18 Mayıs 2019, <https://www.crcpress.com/Functional-Pavement-Design-Proceedings-of-the-4th-Chinese-European-Workshop/Erkens-Liu-Anupam-Yiqiu/p/book/9781138029248>

Gandhi, T. (2008). *Effects of warm mix asphalt additives on asphalt binder and mixture properties*. Doktora tezi, Clemson University, South Carolina.

Güngör, A. G., Orhan, F., Kaşak, S., Çalışkol, A. ve Yönter, G. (2011). Kazınmış asfalt kaplamaların yeniden kullanımı KGM uygulamaları. 5. *Ulusal Asfalt Sempozyumu*. Ankara 1-10.

Habal, A. ve Singh, D. (2019). Effects of warm mix asphalt additives on bonding potential and failure pattern of asphalt-aggregate systems using strength and energy parameters. *International Journal of Pavement Engineering*, 1-13.

Hurley, G. C. ve Prowell, B. D. (2006). Evaluation of potential process for use in warm mix asphalt, *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists*, 75, 41-90.

Hurley, G. C. ve Prowell, B. D. (2007). *Warm-mix asphalt: Best Practices*. National Asphalt Pavement Association. Greenbelt, USA.

Intercontinental Service Inc. (ISI), (bt). *Introduction to personal air sampling*. 21 Mayıs 2019 <http://isi-be.eu/introduction-personnal-air-sampling/>

Jenkins, K. J. (2000). *Mix design considerations for cold and half-warm bituminous mixes with emphasis on foamed bitumen*. Doktora Tezi, University of Stellenbosch, South Africa.

- Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM), (2013). *Karayolu teknik şartnamesi*. 25 Ağustos 2019, [https://www.academia.edu/35050177/KARAYOLU\\_TEKN%C4%B0K\\_%C5%9EARTNAMES%C4%B0](https://www.academia.edu/35050177/KARAYOLU_TEKN%C4%B0K_%C5%9EARTNAMES%C4%B0)
- Middleton, B. ve Forfyflow, B. (2009). An evaluation of warm mix asphalt produced with the double barrel green process. *Transportation Research Record*, 2126 (1), 19-26.
- Monu, K. M., Banger, ve P., Duggal, A. K. (2015). A review paper on warm mix asphalt technologies. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 2 (05), 378-381.
- National Asphalt Pavement Association [NAPA], (2011). *Asphalt industry: a global perspective 2<sup>nd</sup> edition*. 31 Ekim 2019, <https://eapa.org/wp-content/uploads/2018/07/GL101-2nd-Edition.pdf>
- National Asphalt Pavement Association [NAPA], (2017). *Engineering overview*. 31 Ekim 2019, [http://www.asphaltpavement.org/index.php?option=com\\_content&view=article&id=14&Itemid=33](http://www.asphaltpavement.org/index.php?option=com_content&view=article&id=14&Itemid=33)
- Olsen, R., Daae, H., Halgard, K., Hersson, M., Thorud, S., Madsen, R. ve diğer. (2012). *Low temperature asphalt 2011 main report*. 17 Mayıs 2018, [https://www.vegvesen.no/fag/fokusomrader/forskning+og+utvikling/Avsluttede+FoU-program/Varige+veger/Rapporter/\\_attachment/1337373?\\_ts=154611d3240&fast\\_title=Norwegian+WMA+project+%E2%80%93+Low+Temperature+Asphalt+2011](https://www.vegvesen.no/fag/fokusomrader/forskning+og+utvikling/Avsluttede+FoU-program/Varige+veger/Rapporter/_attachment/1337373?_ts=154611d3240&fast_title=Norwegian+WMA+project+%E2%80%93+Low+Temperature+Asphalt+2011)
- Olsson, A., Kromhout, H., Agostini, M., Hansen, J., Lassen, C. F., Johansen, C. ve diğer. (2010). A case-control study of lung cancer nested in a cohort of european asphalt workers. *Environmental Health Perspectives*, 118(10), 1418-1424.

- Pimentel, J. M. F. (2007). *Accelerated testing methodology for evaluating pavement patching materials*. Yüksek Lisans Tezi, Worcester Polytechnic Institute, Massachusetts, USA.
- Prowell, B., Frank, B., Osborne, L., Kreich, T., ve West, R. (2014) Effects of WMA on plant energy and emissions and worker exposures to respirable fumes. *National Cooperative Highway Research Program*, Washington DC, USA.
- Rubio, M. C., Martinez, G., Baena, L., ve Moreno, F. (2012). Warm mix asphalt: an overview. *Journal of Cleaner Production*, 24, 76-84.
- Rühl, R. ve Lindemeier, B. (2006). Progress report 2006. *The German Bitumen Forum*. 1-33. Heinrich Lauck GmbH, Germany. 21 Mayıs 2018, [http://www.aapaq.org/q/2012st/doc/REF/G02\\_dav\\_The\\_bitumen\\_forum-Progress\\_Report\\_2006\\_OCR.pdf](http://www.aapaq.org/q/2012st/doc/REF/G02_dav_The_bitumen_forum-Progress_Report_2006_OCR.pdf)
- Sasol Performance Chemicals Wax Division, (2017). *Sasobit: the versatile additive for asphalt mixes*. 17 Mayıs 2019, [https://www.sasobit.com/files/downloads/en/sasobit/ProductInformation\\_en.pdf](https://www.sasobit.com/files/downloads/en/sasobit/ProductInformation_en.pdf)
- Sebaaly, P. (2015). WMA additives. *Western Regional Superpave Center*, University of Nevada, USA. 1 Kasım 2019, <https://www.slideshare.net/CaliforniaAsphalt/wma-admixtures>
- Şengöz, B., Topal, A. ve Görkem, C. (2013a). Evaluation of moisture characteristics of warm mix asphalt involving natural zeolite. *Road Materials and Pavement Design*, 14 (4), 933-945.
- Şengöz, B., Topal, A. ve Görkem, C. (2013b). Evaluation of natural zeolite as warm mix asphalt additive and it's comparison with other warm mix additives. *Construction and Building Materials*, 43, 242-252.
- Şengöz, B., Topal, A., Oner, J., Yılmaz, M., Dokandari, P.A. ve Kok, B.V. (2016). Performance evaluation of warm mix asphalt mixtures with recycled asphalt pavement. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 61 (1), 117-127.

- Topal, A. (2014). Doğal zeolit içeren ılık karışım asfaltların performansları ve Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi, Sonuçların Farklı Ilık Karışım Asfalt Uygulamaları ile Karşılaştırılması. *TÜBİTAK Projesi*, MAG 110M567 Final Raporu: İzmir.
- T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı. (2012). İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği. Resmi Gazete Sayısı: 28512.
- T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2009). Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği. Resmi Gazete Sayısı: 27277.
- Tokgöz, H. (2016). *Hizmet sektöründe işg yönetim sistemleri*. 16 Mayıs 2018, <https://www.scribd.com/doc/292340167/Koruma-Politikalar%C4%B1-Cal%C4%B1%C5%9Fma-Ortam-Gozetimi>
- Türkiye İstatistik Kurumu [TÜİK], (2017). *Yıllık sanayi ürün istatistikleri*. 31 Ekim 2019, [http://www.tuik.gov.tr/PreIstatistikTablo.do?istab\\_id=773](http://www.tuik.gov.tr/PreIstatistikTablo.do?istab_id=773)
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (2014). *Environments and contaminants: hazardous air pollutants*. 20 Mayıs 2018, <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-05/documents/environments-contaminants-hazardous-air-pollutants.pdf>
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (2015), *Environments and contaminants: criteria air pollutants*. 20 Mayıs 2018, [https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-10/documents/ace3\\_criteria\\_air\\_pollutants.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-10/documents/ace3_criteria_air_pollutants.pdf)
- Von Devivere, M., Barthel ve W., Marchand, J.P. (2004). Warm asphalt mixes by adding aspha-min, a synthetic zeolite. *22nd PIARC World Road Congress*, Durban, South Africa.
- Walker, D. (2009). Gaining experience with warm mix asphalt. *Asphalt*, 24 (3). 18 Mayıs 2019, <http://asphaltmagazine.com/gaining-experience-with-warm-mix-asphalt/>

Wozuk, A. ve Franus, W. (2017). A review of the application of zeolite materials in warm mix asphalt technologies. *Applied Sciences*, 7 (3), 293.

Zydex (2019). *Things to know about warm mix asphalt*. 1 Kasım 2019, <http://zydexindustries.com/blog-post/things-to-know-about-warm-mix-asphalt>

