

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİTÜMLÜ KARIŞIMLARIN GERİ DÖNÜŞÜMÜ,
ÇEVRESEL ETKİLERİ VE MALİYET ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Barış KAYA

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği

Programı : Ulaştırma Mühendisliği

Tez Danışmanı: Öğr. Gör. Dr. A. Faik İYİNAM

HAZİRAN 2011

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BITÜMLÜ KARIŞIMLARIN GERİ DÖNÜŞÜMÜ,
ÇEVRESEL ETKİLERİ VE MALİYET ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Barış KAYA

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 06 Mayıs 2011

Tezin Savunulduğu Tarih : 10 Haziran 2011

Tez Danışmanı : Öğr. Gör. Dr. A. Faik İYİNAM(İTÜ)

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Zübeyde ÖZTÜRK (İTÜ)

Doç. Dr. Osman Nuri ÇELİK (Selçuk Ü.)

HAZİRAN 2011

ÖNSÖZ

Bu çalışmayı hazırlama sürecinde her türlü problemi çözmeme yardımcı olan değerli hocam, Sayın Öğr. Gör. Dr. A. Faik İYİNAM'a teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim. Ayrıca öğrenim hayatım boyunca her türlü desteği gösteren aileme, katkılarıyla bu çalışmamın daha nitelikli olmasını sağlayan Ulaştırma ve Haberleşme Uzman Yardımcısı çalışma arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

HAZİRAN 2011

BARIŞ KAYA

İnşaat Mühendisi

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	v
KISALTMALAR.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xvii
SUMMARY.....	xix
1.GİRİŞ.....	1
2.BİTÜM.....	3
2.1 Bitüm Üretimi, Depolanması ve Kullanılması.....	3
2.1.1 Ham petrolün fraksiyonel damıtılması.....	4
2.1.2 Bitümlerin depolanma ve kullanılma sıcaklığı.....	5
2.1.2.1 Bitüm tankları.....	6
2.1.2.2 Depolama ve pompalama sıcaklıkları.....	7
2.1.2.3 Bitümün kullanılması sırasında karşılaşılabilecek tehlikeler.....	7
2.2 Bitüm Şartnameleri, Özellikleri ve Kalitesi.....	7
2.2.1 Penetrasyon cinsi bitümler.....	8
2.2.2 Oksitlendirilmiş bitümler.....	8
2.2.3 Sert bitümler.....	8
2.2.4 Katbek bitümler.....	8
2.2.5 Bitümün kalitesi.....	9
2.3 Bitümün Mühendislik Özellikleri.....	10
2.4 Yol Malzemesi Olarak Bitüm.....	11
2.4.1 Asfalt.....	12
2.4.2 Asfalt çimentoları.....	12
2.4.3 Sıvı petrol asfaltları.....	12
2.4.4 Asfalt emülsiyonları.....	13

3. BİTÜMLÜ KARIŞIMLAR.....	15
3.1 Sathi Kaplamalar.....	15
3.2. Asfalt Betonu.....	18
3.2.1 Asfalt betonun tanımı	18
3.2.2 Sıcak asfalt karışımların sınıflandırılması	19
3.2.3 Karışım dizaynına ilişkin değerlendirmeler	19
3.3. Harç Tipi Kaplamalar.....	23
4. BİTÜMLÜ KARIŞIMLARIN GERİ DÖNÜŞÜM ARAÇ VE TESİSLERİ...25	
4.1 Yerinde Geri Dönüşüm Sağlayan Tesisler.....	25
4.1.1 Yerinde geri dönüşüm araçları.....	27
4.1.1.1 Kazıma aletleri.....	27
4.1.1.2 Soğuk rehabilitasyon makinaları.....	30
4.1.1.3 Sıcak rehabilitasyon makinaları.....	33
4.1.1.4 Yerinde geri dönüşüm araçları.....	34
4.1.1.5 Karışım tesisi.....	35
4.1.1.6 Yardımcı ekipman.....	35
4.2 Asfalt Plantlerinde Geri Dönüşüm.....	36
4.2.1 Ağırlıklı tip asfalt plantlerinde geri dönüşüm.....	37
4.2.1.1 Tartım kovanı geri dönüşüm tekniği.....	37
4.2.1.2 Kullanılmış malzeme geri dönüşüm tekniği.....	38
4.2.1.3 Sepetli elevatör tekniği.....	38
4.2.1.4 Kullanılmış karışımın kurutucuya eklenmesi.....	39
4.2.2 Sürekli tip plantlerde geri dönüşüm.....	40
4.2.3 Asfalt geri dönüşüm plantlerine ratech teknolojisi.....	40
5. BİTÜMLÜ KARIŞIMLARIN GERİ DÖNÜŞÜM YÖNTEMLERİ.....45	
5.1 Geri Dönüşüm Türleri.....	46
5.1.1 Soğuk düzeltme (Cold planing).....	46
5.1.2 Sıcak geri dönüşüm.....	49
5.1.3 Sıcak yerinde geri dönüşüm	51
5.1.4 Soğuk geri dönüşüm.....	55
5.1.4.1 Yerinde soğuk dönüşüm.....	57
5.1.4.2 Plantte soğuk dönüşüm.....	60
5.1.5 Tam derinlikli geri dönüşüm.....	63
5.2 Geri Dönüştürme İşleminde Atık Madde Kullanımı.....	68

5.2.1 Köpük asfalt.....	68
5.2.2 Atık mermer.....	72
5.2.3 Uçucu kül.....	76
5.2.4 Fosfojips.....	78
5.2.5 Cam tozu.....	80
5.3 Bitümlü Karışımların Gençleştirilmesi.....	84
6. GERİ DÖNÜŞÜM İLE İLGİLİ GENEL DURUM.....	91
6.1 Ülkemizdeki Genel Durum.....	91
6.1.1 KGM uygulamaları.....	94
6.2 Dünyadaki Genel Durum.....	101
6.3 Bitümlü Karışımların Geri Dönüşümünde Kullanılan Standartlar.....	106
7. GERİ DÖNÜŞÜM UYGULAMALARININ ÇEVRESEL ETKİLERİ.....	113
8. GERİ DÖNÜŞÜM MALİYET ANALİZİ.....	121
8.1 Türkiye Geneli İçin Maliyet Analizi	125
8.2 İstanbul İli İçin Maliyet Analizi.....	131
9. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	135
KAYNAKLAR	139

KISALTMALAR

BSK	: Bitümlü Sıcak Karışım
AÇ	: Asfalt Çimentosu
RC	: Rapid Cure/ Çabuk Sertleşen
MC	: Medium Cure /Orta Hızda Sertleşen
SC	: Slow Cure / Yavaş Sertleşen
HMA	: Hot Mixture Asphalt / Sıcak Karışım Asfalt
RAP	: Reclaimed Asphalt Pavement / Yeniden Kullanılan Asfalt Kaplama
ARRA	: Asphalt Recycling and Reclaiming Association /Asfalt Geri Dönüşüm ve Rehabilitasyon Birliği
CP	: Cold Planing / Soğuk Düzeltme
CCPR	: Cold Central Plant Recycling / Soğuk Plentte Geri Dönüşüm
HIR	: Hot in Recycling / Sıcak Yerinde Geri Dönüşüm
FDR	: Full Depth Recycling / Tam Derinlikli Geri Dönüşüm
KGM	: Karayolları Genel Müdürlüğü

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1 : Model W150 özellikleri.....	27
Çizelge 4.2 : Model W200 özellikleri.....	28
Çizelge 4.3 : Model W210 özellikleri.....	28
Çizelge 4.4 : Model W2100 özellikleri.....	29
Çizelge 4.5 : Model W2200 özellikleri.....	29
Çizelge 4.6 : Model 2200 CR özellikleri.....	30
Çizelge 4.7 : Model WR4200 özellikleri.....	30
Çizelge 4.8 : Model WR2000 özellikleri.....	31
Çizelge 4.9 : Model WR2400 özellikleri.....	31
Çizelge 4.10 : Model WR2500 S özellikleri.....	32
Çizelge 4.11 : Model WR2500 SK özellikleri.....	32
Çizelge 4.12 : RX4500 özellikleri.....	33
Çizelge 4.13 : HM4500 özellikleri.....	33
Çizelge 4.14 : Bagela BA 4000 özellikleri.....	34
Çizelge 4.15 : Bagela BA 7000 özellikleri.....	34
Çizelge 4.16 : Bagela BA 10000 özellikleri.....	34
Çizelge 4.17 : KMA220 özellikleri.....	35
Çizelge 5.1 : Kaplama bozulma türlerine göre geri dönüşüm yöntemi seçimi.....	67
Çizelge 5.2 : Mermerlerin fiziksel mekanik ve teknolojik özellikleri.....	75
Çizelge 5.3 : Uçucu küllerin kimyasal özellikleri.....	76
Çizelge 5.4 : Fosfojipsin kimyasal özellikleri.....	78
Çizelge 5.5 : Cama ait bazı standartlar.....	80
Çizelge 5.6 : Değişen filler yüzdelere göre endüstriyel atık maddelerin marshall stabilite sonuç değerleri.....	83
Çizelge 5.7 : Modifiyeler ve değişiklik sağladığı özellikler.....	87
Çizelge 6.1 : Türkiye 'de 2003-2007 yılları arasında üretilen asfalt çeşitleri, miktarları ve kullanım alanları.....	92
Çizelge 6.2 : Ekstraksiyon sonrası elek analizleri.....	96

Çizelge 6.3 : Ekstraksiyon sonrası bitüm oranı.....	96
Çizelge 6.4 : Bitüm deney sonuçları.....	96
Çizelge 6.5 : Tasarım değerleri.....	97
Çizelge 6.6 : Sathi kaplama karotlarının deney sonuçları.....	100
Çizelge 6.7 : Amerika birleşik devletlerinde uygulanmış bazı projeler ve geri dönüştürülmüş asfalt kaplama (rap) kullanım oranları.....	104
Çizelge 7.1 : 1995-2006 yılları arasında, Kanada'nın Ontario eyaletinde yapılan yol iyileştirme işlemlerinin, türlere göre miktarları.....	117
Çizelge 7.2 : Ülkelere göre belirtilmiş emisyon azalma yüzdeleri.....	120
Çizelge 8.1 : Yeni karışım ile geri dönüşüm kaplama kullanımının karşılaştırması.	122
Çizelge 8.2 : Geri dönüştürülmüş kaplama kullanılması durumunda kazanç.....	122
Çizelge 8.3 : Amerika Karayolları İdaresi FHWA 1984 ölçümlerine göre, sıcak geri dönüşüm yöntemiyle elde edilen maddi kazançların özeti.....	123
Çizelge 8.4 : Geri dönüşüm yoluyla elde edilen maddi kazançlar.....	123

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 Bitüm üretimi şematik diyagramı.....	5
Şekil 2.2 Bitüm tankları.....	6
Şekil 2.3 Penetrasyon dereceli bitümler için hazırlanmış QUALAGON.....	10
Şekil 2.4 Penetrasyon indeksi için nomograf.....	11
Şekil 2.5 Bitümlü malzemelerin sınıflandırılması.....	14
Şekil 3.1 Sathi kaplama uygulamaları.....	16
Şekil 3.2 Asfalt betonu uygulaması.....	18
Şekil 4.1 Asfalt betonu kazıma ve sisteme yükleme.....	25
Şekil 4.2 Yerinde geri dönüşüm.....	26
Şekil 4.3 Sabit geri dönüşüm sistemi.....	26
Şekil 4.4 Taşınabilir sistem.....	26
Şekil 4.5 Model W150.....	27
Şekil 4.6 Model W200.....	27
Şekil 4.7 Model W210.....	28
Şekil 4.8 Model W2100.....	29
Şekil 4.9 Model W2200.....	29
Şekil 4.10 Model 2200 CR.....	30
Şekil 4.11 Model WR4200.....	30
Şekil 4.12 Model WR2000.....	31
Şekil 4.13 Model WR2400.....	31
Şekil 4.14 Model WR2500 S.....	32
Şekil 4.15 Model WR2500 SK.....	32
Şekil 4.16 Remikser RX 4500.....	33
Şekil 4.17 Panel tipi ısıtma makinası HM 4500.....	33
Şekil 4.18 Bagela BA 4000.....	34
Şekil 4.19 Bagela BA 7000.....	34
Şekil 4.20 Bagela BA 10000.....	34

Şekil 4.21 KMA 220.....	35
Şekil 4.22 WLB 10S.....	35
Şekil 4.23 Geri dönüşüm haznesi.....	37
Şekil 4.24 Ratech kapasite değişim tablosu.....	41
Şekil 4.25 Ratech bitümlü karışım geri dönüşüm plenti.....	41
Şekil 4.26 RAP malzemesinin düşük sıcaklıklarda ısıtılması.....	42
Şekil 4.27 RAP mikseri.....	42
Şekil 4.28 Taşıyıcı paletler.....	43
Şekil 4.29 RAP akışı.....	43
Şekil 4.30 Tahliye kapağı.....	44
Şekil 4.31 Binder ve aşınma üretimi.....	44
Şekil 5.1 Geri dönüşüm yöntemlerinin sınıflandırılması.....	46
Şekil 5.2 Soğuk düzeltme işleminden geçmiş yol yüzeyi örnekleri.....	47
Şekil 5.3 Soğuk düzeltme ve kazınan malzemenin nakliyesi.....	48
Şekil 5.4 Yerinde sıcak geri dönüşüm işlemi.....	53
Şekil 5.5 Yerinde sıcak geri dönüşüm uygulamalarından örnekler.....	54
Şekil 5.6 Yerinde soğuk geri dönüşüm uygulaması.....	57
Şekil 5.7 Plentte soğuk geri dönüşüm uygulaması.....	57
Şekil 5.8 Soğuk yerinde geri dönüşüm uygulamasında silindiraj.....	60
Şekil 5.9 Plentte soğuk karışım geri dönüşümü uygulaması.....	62
Şekil 5.10 Plentte soğuk karışım geri dönüşümü uygulaması.....	62
Şekil 5.11 Tam derinlikli geri dönüşümde ufalama ve rutubetlendirme.....	64
Şekil 5.12 Tam derinlikli geri dönüşümde kırma sıkıştırma ve şekillendirme.....	64
Şekil 5.13 Tam derinlikli geri dönüşüm uygulaması.....	66
Şekil 5.14 Köpük asfalt elde edilmesi.....	68
Şekil 5.15 Temsili köpük asfalt uygulaması.....	69
Şekil 5.16 Köpük asfalt makinasının çalışma prensibi.....	69
Şekil 5.17 Köpük asfalt laboratuvar dizayn cihazı.....	70
Şekil 5.18 Asfalt tasarımı örneği.....	71
Şekil 5.19 Boşluğun filler yüzdesi değişimi.....	73
Şekil 5.20 Marshall stabilitesinin filler yüzdesi ile değişimi.....	73
Şekil 5.21 Akmanın filler yüzdesi ile değişimi.....	74
Şekil 5.22 Boşluğun filler yüzdesi ile değişimi.....	77
Şekil 5.23 Marshall stabilitesinin filler yüzdesi ile değişimi.....	77

Şekil 5.24 Akmanın filler yüzdesi ile değişimi.....	78
Şekil 5.25 Boşluğun filler yüzdesi ile değişimi.....	79
Şekil 5.26 Marshall stabilitesinin filler yüzdesi ile değişimi.....	79
Şekil 5.27 Akmanın filler yüzdesi ile değişimi.....	80
Şekil 5.28 Boşluğun filler yüzdesi ile değişimi.....	81
Şekil 5.29 Marshall Stabilitesinin filler yüzdesi ile değişimi.....	81
Şekil 5.30 Akmanın filler yüzdesi ile değişimi.....	82
Şekil 6.1 2003-2007 yılları arasında üretilen asfaltın kullanım alanlarına dağılımı...	93
Şekil 6.2 2003-2007 yılları arasında şehir içi yollarda kullanılan bitümlü sıcak karışım miktarları.....	93
Şekil 6.3 Asfalt kazıma makinesi kullanımı.....	103
Şekil 7.1 Enerji kullanımlarının geri dönüşüm türüne göre değişimi.....	116
Şekil 7.2 Geri dönüşüm yönteminin çeşidine göre kullanılan CO ₂ miktarları.....	118
Şekil 7.3 Geri dönüşüm yönteminin çeşidine göre kullanılan NO _x miktarı.....	118
Şekil 7.4 Geri dönüşüm yönteminin çeşidine göre kullanılan sülfür miktarı.....	119
Şekil 8.1 2005-2009 Türkiye’deki bitümlü karışım üretim miktarı.....	125
Şekil 8.2 2009 yılına ait BSK üretimi ve geri dönüşüm miktarları.....	125
Şekil 8.3 Tesis alt yapısının ilk kez kurulacağı durumda sıcak geri dönüşüm için oluşan kar miktarları.....	129
Şekil 8.4 Tesis alt yapısının önceden kurulu olduğu durumda sıcak geri dönüşüm için oluşan kar miktarları.....	130
Şekil 8.5 Soğuk geri dönüşüm yöntemi için oluşacak kar miktarı.....	130
Şekil 8.6 İsfalt 2007 yılı geri dönüşüm kar maliyet analizi.....	133

BİTÜMLÜ KARIŞIMLARIN GERİ DÖNÜŞÜMÜ, ÇEVRESEL ETKİLERİ VE MALİYET ANALİZİ

ÖZET

Bozulmuş veya eski asfalt kaplamaların kazınarak yeni yapılacak bitümlü karışımlarda yeniden kullanılmasına geri kazanım (recycling) adı verilmektedir. Mevcut yol üstyapısından kazınarak elde edilen malzemenin yeni yapılacak bitümlü karışım imalatında kullanılması, kaynaklarımızın teknik ve ekonomik açıdan doğru bir şekilde kullanılması açısından son derece önemlidir. Bu çalışma kapsamında yol kaplamaları bileşenlerinden bitüm, bitüm ile oluşturulan karışımlar, bitümlü karışımların ne tür tesislerde geri dönüştürüldüğü, geri dönüşüm yöntemlerinin neler olduğu, ülkemizde ve dünyada bitümlü karışımların geri dönüşümünün genel durumu, geri dönüşüm uygulamalarının çevresel etkileri ve maliyet analizi konuları geniş olarak ele alınmıştır.

Yapılan araştırmalar sonucu, tüm dünyada ve ülkemizde de sökülen asfaltın mümkün olan en yüksek oranda geri kazanılmasının; daha az agrega ve bitüm kullanımı ile doğal kaynak tüketimini azalttığı, asfalt betonu atığının çevresel etkilerinin (hava, su ve toprak kirliliği, enerji tüketimi, gürültü, kazaların önlenmesi v.b.) kontrolünü kolaylaştırdığı tespit edilmiştir. Böylece asfalt üretim maliyetlerinin azalması, aynı miktarda kaynak kullanılarak daha fazla asfalt yol yapımı ile ekonomik kazanç sağladığı görülmüştür.

RECYCLING OF BITUMINOUS MIXTURES, ENVIRONMENTAL EFFECTS OF RECYCLING AND COST ANALYSIS

SUMMARY

Reclaiming old scraped asphalt pavements or broken down materials in new bituminous mixtures is called 'recycling'. Using the materials which scraped from current pavement in bituminous mixtures is very important to use our sources efficiently in order to technique and economy. In the thesis, bitumen, mixtures which consist by bitumen, asphalt plants that able to recycle pavements, methods of recycling, general situation of recycling in the world and Turkey, environmental effects of recycling applications and cost analysis of recycling subjects are considered with wide perspective.

According to researches, it is determined that recycling reduces the national source consuming and maximum recycling of scraped asphalt in the world and Turkey facilitate control of effects of waste asphalt (air and soil pollution, energy consuming, noise pollution, reducing of accidents etc.) . Consequently, it is clear that using recycled materials reduces cost of asphalt pavements and provide economic advantages.

1. GİRİŞ

Zaman içinde bozulan yol üstyapısı bakım ve onarım faaliyetleri ile iyileştirilir. Buna rağmen trafik, çevre ve iklim koşulları altında bozulmalar artarak yol üstyapıları büyük onarımlar gerektirecektir. Mevcut yol üstyapısının bozulan kesimlerinden kazılarak elde edilen malzemenin yeni yapılacak bitümlü sıcak karışım imalatında kullanılması, kaynaklarımızın ekonomik açıdan doğru bir şekilde kullanılması açısından son derece önemlidir. Ülkemiz otoyollarının ve önemli devlet yollarının trafiğe açılış tarihleri göz önünde bulundurulduğunda, halen ve önümüzdeki yıllarda üstyapı iyileştirme faaliyetlerinin yoğun bir şekilde gündeme geleceği açıktır. Bu durumda kazılmış eski BSK tabakalarının içerisinde bulunan ekonomik değeri yüksek bitümlü bağlayıcı ve agreganın belirli işlemlerden sonra yeniden yol yapımında kullanılması maliyetleri azaltacağı gibi, çevrenin korunması açısından da son derece önemlidir.

Bununla birlikte, Türkiye'de, hem agrega rezervlerinin hızla tükenmesi, hem de bitüm yönünden dışa bağımlılık ve çevre problemlerinin de daha da önem kazanacak olması ile önümüzdeki 5-10 yıl içinde atık malzemelerin yol yapımında yeniden kullanılması zorunluluğu ile karşı karşıya kalınacaktır.

Geri kazanım (recycling) tekniği yeni bir teknik değildir. Amerika Birleşik Devletleri ve Avrupa ülkelerinde özellikle Almanya ve Fransa'da yaygın olarak geri kazanılmış asfalt kaplama karışım teknikleri uygulanmaktadır. Günümüzde asfalt kaplamaların kazılması sonucu elde edilen geri kazanım malzemelerinin yeni yapılacak kaplama tabakasındaki kullanım oranları, geliştirilen teknik ve uygulama yöntemleri sayesinde % 80'e varan oranlara çıkabilmektedir[1].

Yukarıdaki açıklamalar, tüm dünyada ve ülkemizde de sökülen asfaltın mümkün olan en yüksek oranda geri kazanılmasının çok miktarda avantaj sağlayacağını göstermektedir. Bu avantajları irdeleyecek olursak;

- Doğal kaynakların tüketimini azaltma olanağı
- Maliyetlerin düşmesi
- Üretim sırasında çevreye zararlı olumsuz etkilerin azalmasına olanak vermesi

- Gelişen teknolojinin geri dönüşüm uygulamalarının önünü açması
- Enerji tasarrufu sağlaması
- Üretim ve yapım aşamalarında zaman kazandırması
- Yol geometrisini kontrollü düzeltme olanağı
- Trafik etkin haldeyken uygulama imkanı bulmak vb.

gibi önemli özellikler elde ederiz.

Bu bilgiler ışığında, tezin yazılış amacı; belirtilen avantajları tanıtabilmek, bu avantajların ne şekilde kazanılacağını insanlara aktarabilmek, toplumda geri dönüşüm bilinci oluşturabilmektir.

2. BİTÜM

Bitüm kelimesinin İngilizce karşılığı olan bitumenin, Sanskritçe'den geldiğine inanılmaktadır. Sanskritçe'deki 'jatu' kelimesinin anlamı zifttir ve 'jatu-krit'in anlamı ise zift yapan demektir. Burada ifade edilen reçineli ağaçlardan üretilen zifttir. Bazı çevreler kelimenin Latince karşılığının 'gwite-men' (zifte ilişkin) olduğunu iddia ederken, diğerleri 'pixtu-men' (fokurdayan zift) teriminden kaynaklandığını ve bu terimin daha sonra bitüm şeklinde kısaltıldığını ve fransızcadan da ingilizceye geçtiğini iddia etmektedirler.

Bitüm geniş çapta kullanılan bir inşaat mühendisliği malzemesidir. Özellikle yol inşaatı ve bakımı gibi çeşitli uygulamalarda çalışan birçok insan için özellikleri hala büyük bir bilinmezdir.

Bitüm ham petrolden elde edilir. Ham petrolün genelde deniz canlıları ve bitkisel madde kalıntılarının okyanus tabanındaki çamur ve kaya parçalarıyla karışmasından kaynaklandığı kabul edilmektedir. Milyonlarca yıl boyunca bu organik maddeler ve çamur, yüzlerce metre kalınlığında katmanlar halinde birikmiş ve üzerlerindeki katmanların çok büyük ağırlığıyla alt katmanlar tortul kayalar haline gelmiştir. Organizma ve bitkisel maddelerin ham petrolün hidrokarbonları haline dönüşmesinin nedeni yer kabuğundan gelen sıcaklık, üst tortul tabakaların yaptığı basınç, bakteriyel oluşum ve radyoaktif etkilerin bir sonucu olduğu düşünülmektedir. Petrolün oluştuğu tortular, tortul kayalar üzerinde birikirken ilave basınçların etkisiyle sıkıştırılan petrol, bu gözenekli kayaların içerisinden yana ve üste doğru ilerlemiştir. Gözenekli kayaların yeryüzüne doğru uzandığı yerlerde petrol dışarıya sızmış ve yukarıda bahsedilen birikintileri oluşturmuştur[2].

2.1 Bitüm Üretimi, Depolanması ve Kullanılması

Bitüimün üretimi

Ham petrol, moleküler ağırlıkları ve dolayısıyla da kaynama noktaları, değişen, çeşitli hidrokarbonların kompleks bir karışımıdır.

Kullanılmadan önce ayrıştırılması, arındırılması, karıştırılması ve bazen de kimyasal veya fiziksel değişikliğe uğratılması gereklidir.

2.1.1 Ham petrolün fraksiyonel damıtılması

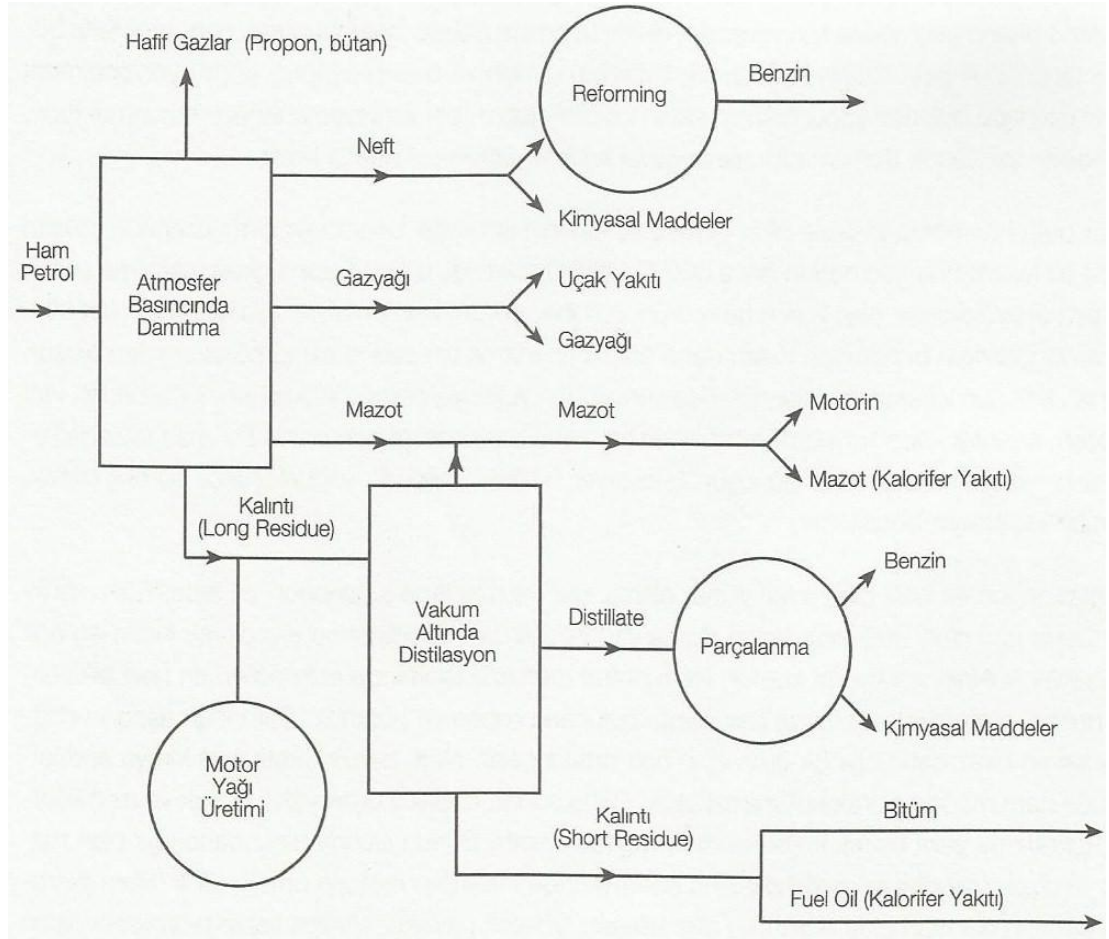
Ham petrolün rafine edilmesindeki ilk işlem fraksiyonel damıtmadır. Bu işlem fraksiyonlama veya damıtma kolonları denilen yüksek çelik kulelerde yapılır. Kolonun (çelik kule) içi aralıklarla, içerisinden buharın geçmesine izin verecek şekilde üzerinde delikler bulunan yatay çelik tepsilerle bölünmüştür. Deliklerin üzerinde kabarcık fincanları denen ve buharı aşağıya doğru yönlendirerek tabla üzerinde bulunan yoğunlaşmış sıvının içinden geçmesini sağlayan kubbeler bulunmaktadır. Kubbeler sayesinde damıtma işleminin etkisi artar ve kolon yüksekliği azalır [2].

Ham petrol damıtma tesisine girer girmez ve kulenin atmosfer basıncının biraz üzerinde çalışan daha alt kısımlarına geçmeden önce 300°C-350°C arasında ısıtılır. Kolona giren malzeme sıvı ve buhar karışımıdır; sıvı olan kısım ham ürünün daha yüksek kaynama noktasına sahip olan bileşenlerini içerirken buhar olan kısım daha düşük kaynama noktasına sahip bileşenlerden oluşur. Buhar, kolonun içindeki tablaların delikleri arasından yukarıya doğru çıktıkça ısını kaybeder. Her bileşen, sıcaklığı kendi kaynama noktasının hemen altına düştüğünde orada bulunan tablada yoğunlaşır ve tekrar sıvı haline dönüşür. Bileşenler tablalar üzerinde yoğunlaştıkça sürekli olarak, borular vasıtasıyla boşaltılırlar.

Ham petrolün en hafif bileşenleri buhar olarak kalır ve damıtma kolonunun en tepesinden alınırlar. Daha ağır olan bileşenler kolon dışına yan taraflardan çıkarılırlar ve sıvı olarak kalan en ağır bileşenler kulenin tabanında kalırlar. Ham petrol damıtma işleminde elde edilen en hafif bileşenler normal atmosfer basıncında gaz olarak bulunan propan ve bütandır. Sütundan aşağıya doğru inerken biraz daha ağır bir ürün olan petrol ortaya çıkar. Petrol, benzin üretimi ve kimya endüstrisinde ham madde olarak kullanılmaktadır. Daha sonra, özellikle uçak yakıtı olarak ve az miktarda konutlarda yakıt olarak kullanılan gaz yağı elde edilir. Bunun altında biraz daha ağır olan mazot ve dizel motorları ile merkezi ısıtma sistemlerinde kullanılan motorin ortaya çıkar. Ham petrolün damıtılmasından elde edilen en ağır bileşen, yüksek molekül ağırlığına sahip hidrokarbonların karışımıdır ve bunun bitüm imalatı için hammadde olarak kullanılmasından önce başka işlemlerden geçmesi gerekmektedir.

Bu kalıntı, vakumlu damıtma kolonunda ek bir damıtmaya tabi tutulur. Bu işlem motorin, damıtma ürünleri ve kısa kalıntı üretmek için 350°C-400°C’de 10mm ila 100mm civa basıncındaki vakum altında yapılır. Eğer bu ikinci damıtma işlemi sıcaklığın artırılmasıyla yapıldıysa, kalıntının parçalanması veya termik ayrışmaya uğraması meydana gelebilir. (Şekil 2.1)

Aşağıdaki şekilde (Şekil 2.1) bitüm üretiminin şematik diyagramı ayrıntılı şekilde görülmektedir [2].



Şekil 2.1 Bitüm üretimi şematik diyagramı [2]

2.1.2 Bitümlerin depolanma ve kullanılma sıcaklığı

Uygun bir şekilde kullanıldığında bitümler tekrar ısıtılabilir veya yüksek sıcaklıklarda özelliklerini kaybetmeden uzun süre saklanabilir. Bununla birlikte, aşırı derecede ısıtarak veya oksidasyona sebep olabilecek koşulları kullanarak bitümün yanlış işlenmesi kendi özelliklerini ve ondan yapılan malzemelerin uzun süreli performanslarını olumsuz etkileyebilir.

Yanlış işlemenin bir sonucu olarak oluşan sertleşme (veya bazı özel koşullarda meydana gelen yumuşama) derecesi, sıcaklık, hava ile temas, bitümün yüzey/hacim oranı, ısıtma yöntemi ve bu koşullara maruz kalma süresi gibi bir takım parametrelerin bir fonksiyonudur.

2.1.2.1 Bitüm tankları

Bütün bitümler bu amaç için özel olarak tasarlanmış tanklarda depolanmalıdır. Bitümün depolanması süresince olası sertleşmeleri minimize etmek için tankın tasarımında aşağıdaki özelliklerin dikkate alınması gerekmektedir:



Şekil 2.2 Bitüm tankları [3]

- Bitümün aşırı ısıtılması riskini azaltmak için tanka hassas sıcaklık algılama cihazları takılmalıdır. Bunlar ısıtıcıların bulunduğu bölgelere yerleştirilir ve kolayca çıkarılabilir olmaları düzenli temizleme işlemleri sırasında kolaylık sağlayacağından edilmelidir.
- Oksidasyon ve bünyesindeki uçucu maddelerin kaybı depolama tankının yüzey/hacim oranı ile ilişkilidir, bu silindirik bir tank için tankın dolu kısmının karşılıklı yüksekliğine, eşittir.
- Plantlerde bitümü işleme noktasına taşıyan boru hattının ısıtılması için büyük depolama tankları içinde saklanan bitümün devir-daim edilmesi sıkça yapılan bir işlemdir. Bir devir-daim sisteminin dönüş hattı sıcak bitümün havadan dökülmesini önlemek için depoya bitüm seviyesinin altından girmesi gerekir. Bitüm çoğunlukla büyük depolama tankına yan tarafı veya çatısı tankın en tepesindeki hava boşluğuna uzandığı tank flaşının üst kısmına monte edilmiş bir boru vasıtasıyla geri döndürülür [2].

2.1.2.2 Depolama ve pompalama sıcaklıkları

Bitüm, her zaman mümkün olan en optimum sıcaklıkta depolanmalı ve kullanılmalıdır. Normal işlemlerde, yani sıvı haldeki bitümün karıştırılması ve transferi için, minimum pompalama sıcaklığının 10°C ila 50°C üzerindeki bir sıcaklıkta yapılması tavsiye edilir. Ancak bitümün kendi kendine tutuşmasını, önlemek için 230°C sıcaklık asla aşılmalıdır [2].

Bitüm depoda tekrar ısıtılırken uzun sürede ve aralıklarla ısıtılmasına dikkat edilmelidir. Böylece ısıtma boruları veya bobinleri etrafındaki ürünün bölgesel olarak aşırı ısınması önlenir. Buna özellikle doğrudan alev veren ısıtma sisteminin kullanıldığı yerlerde önem verilmelidir. Çünkü bu sistemle 300°C'lik yüzey sıcaklıklarına ulaşılabilir. Bu gibi durumlarda ilk olarak bitümün sıcaklığını yumuşama noktasından biraz yukarıya getirilmesine yetecek kadar sınırlı miktarda ısı uygulanmalıdır. Bu malzemenin yumuşamasını sağlayacaktır. Daha sonra yeniden ısı uygulanarak bitümün çalışma sıcaklığına getirilmesi sağlanabilir. Bu teknik çok yararlıdır, çünkü bitüm sıvı haldeyken, viskoz bir malzeme olmasına karşın, konveksiyon akımları sıcaklığın malzeme içinde daha iyi yakılmasını sağlar. Eğer bitüme çok uzun süreli ve doğrudan alev verilirse bitümde çatlamlar meydana gelebilir. Sıcak yağ, buhar veya uygun şekilde tasarlanmış elektrikli ısıtıcılarla soğuk malzemenin tekrar ısıtılmasında yukarıdaki problemler meydana gelmez [2].

2.1.2.3 Bitümün kullanılması sırasında karşılaşılabilecek tehlikeler

*Bitümün kimyasal zararları

*Cilt Temasıyla oluşabilecek tehlikeler

*Solunum yoluyla oluşabilecek tehlikeler

2.2 Bitüm şartnameleri, özellikleri ve kalitesi

Bitümler genel olarak dört çeşit olarak üretilirler. Bu çeşitler birbirlerinden penetrasyon, yumuşama noktası, ve viskozite özelliklerinin kombinasyonları ile ayrılır.

2.2.1 Penetrasyon cinsi bitümler

Penetrasyon cinsi bitümlerin özellikleri penetrasyon ve yumuşama noktası deneyleriyle belirtilir, fakat cinsi (türü) sadece penetrasyon değeri ile gösterilir, yani yumuşama noktası ile ifade edilmez. Örneğin 100 pen bitümün penetrasyonu 100 ± 20 ve yumuşama noktası $46 \pm 5^{\circ}\text{C}$ 'dir. Penetrasyon değeri 15'den 450'ye kadar, her cinse karşılık gelen yumuşama noktasıyla birlikte değişmektedir. Penetrasyon ve yumuşama noktasına ilave olarak trikloroetilen içerisinde çözünabilirlik, ısınma kaybı ve aşınma tabakasında kullanılan asfalt cinsleri için 50, 70, 100 ve HD 40 gibi limitler verilmiştir [2].

2.2.2 Oksitlendirilmiş bitümler

Oksitlendirilmiş bitümlerin neredeyse tamamı çatı kaplama, zemin döşeme, mastikleme, boru kaplama işlerinde vb. endüstriyel uygulamalarda kullanılır. Bu bitümlerin özellikleri yumuşama noktası ve penetrasyon deneyleriyle belirtilir ve birlikte gösterilir.

Oksitlendirilmiş bitümlerin yumuşama noktası, karşılık gelen penetrasyon cinsi bitümlerin yumuşama noktasından çok daha yüksektir. Bu sebeple sıcaklık duyarlılığı da o oranda yüksektir. Örneğin, penetrasyon endeksi +2 ile +8 arasındadır [2].

2.2.3 Sert bitümler

Sert bitümler kömür briketleme, boya üretimi, vb. endüstriyel uygulamalarda geniş biçimde kullanılırlar. Bu bitüm şartnamelerinde yumuşama noktası ve penetrasyon deneyleriyle belirtilir, ancak yalnızca yumuşama noktası aralığı ile ve bir H önekiyle adlandırılır. Örneğin H 80/90 sert ve yumuşama noktası 80°C ile 90°C arasında olan bir bitümü gösterir. Penetrasyon endeksi 0 ile +2 arasında değişir [2].

2.2.4 Katbek bitümler

Katbek bitümler şartnamelerde belirtilen bir viskozitenin sağlanması amacıyla 100 pen ya da 200 pen bitümlerin gazyağı ile karıştırılmasıyla üretilir, standart bir katran viskometresi ile belirtilir ve gösterilir. 50sn, 100sn ve 200 sn akış süresine sahip 3 farklı cins katbek bitümü vardır. Katbek bitümlerin büyük çoğunluğu yüzeysel kaplamalarda kullanılır.

Ayrıca önemli bir miktarı da standart ve geciktirilmiş makadamların imalatında kullanılır. Katbek bitümler için şartnameler mevcuttur, bu şartnameler katbek bitümün uygulanması ve kullanılması sırasında eritici malzemelerin tutarlı ve temin edilebilir bir oranda buharlaşmasını, kalan bitümün de uygun özelliklere sahip olmasını sağlar [4].

2.2.5 Bitümün kalitesi

Yollarda her geçen gün gittikçe artan toplam dingil yükleri ve daha yüksek performans talebi, üstyapıların uzun süreli davranışlarının tahminini zorunlu kılmıştır. Bir üst yapının performansı, tasarım, uygulama ve kullanılan malzemenin kalitesinin de dahil olduğu birçok faktöre bağlıdır. Bitüm karışım içerisinde hacimce küçük bir yer tutmasına karşın, dayanıklılık ve bitümlü karışıma viskoelastik özellik kazandırması sebebiyle karışımlarda çok önemli bir role sahiptir.

Esas olarak, bitümün yol üzerinde tatmin edici bir performans göstermesi aşağıda sıralanan dört özelliğin kontrol edilmesiyle sağlanabilir.

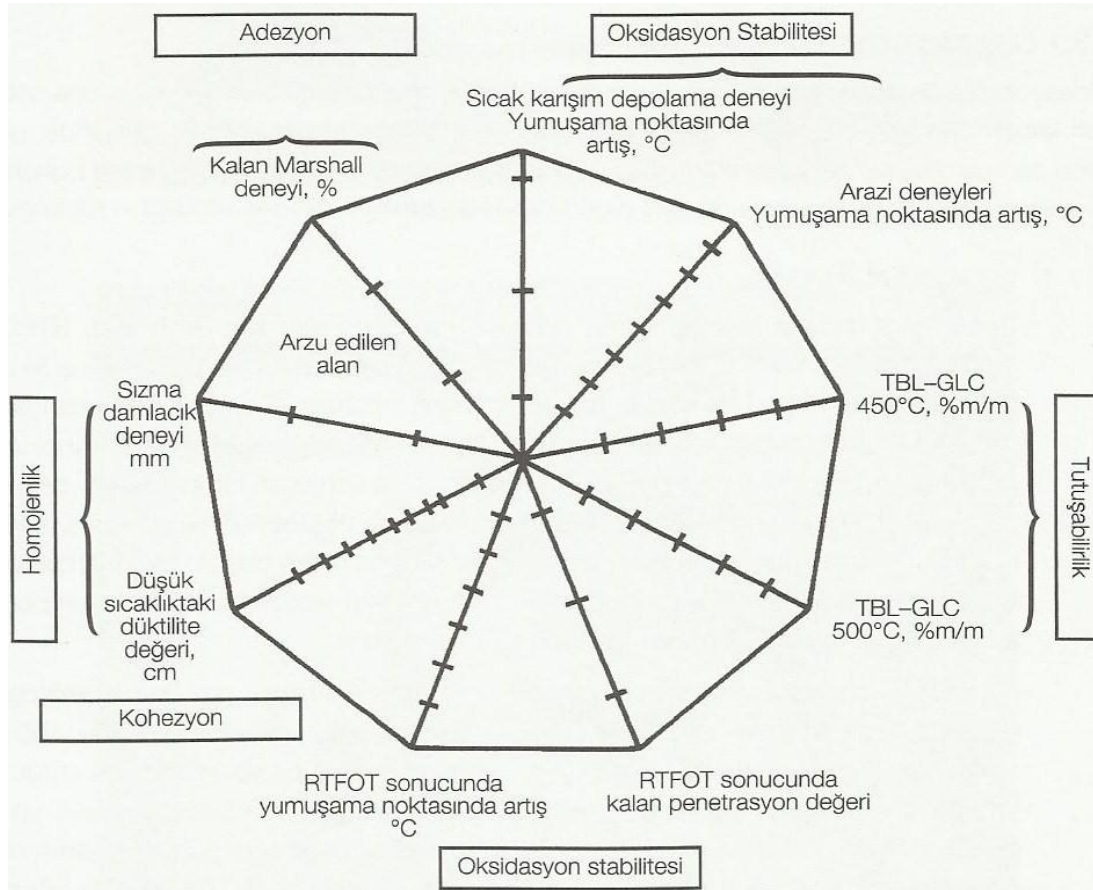
*reoloji;

*kohezyon;

*adezyon;

*dayanıklılık

Hizmet sıcaklıkları altında bitümün reolojisi, penetrasyon ve penetrasyon endeksi ile uygun biçimde nitelendirilmektedir. Deneysel ve ticari bitümlerin laboratuvar deneylerinde ölçülen özellikleri ile arazideki performansları arasındaki korelasyonları inceleyerek bitümün kalitesini değerlendirebilen birtakım laboratuvar deneyleri geliştirilmiştir. Bu deneylerin altı tanesi bitümün kendisine, üç tanesi de bitümlü karışımlara uygulanmaktadır. Değerlendirmenin kolaylaştırılması için bu deneylerden elde edilen dokuz sonuç, bitüm QUALAGON'u (Şekil 2.3) adı verilen düzgün bir poligon üzerinde sunulmuştur. QUALAGON içerisinde, geriye kalan üç kilit performansı saptayan kohezyon, adezyon, dayanıklılık deneyleri bulunmaktadır.



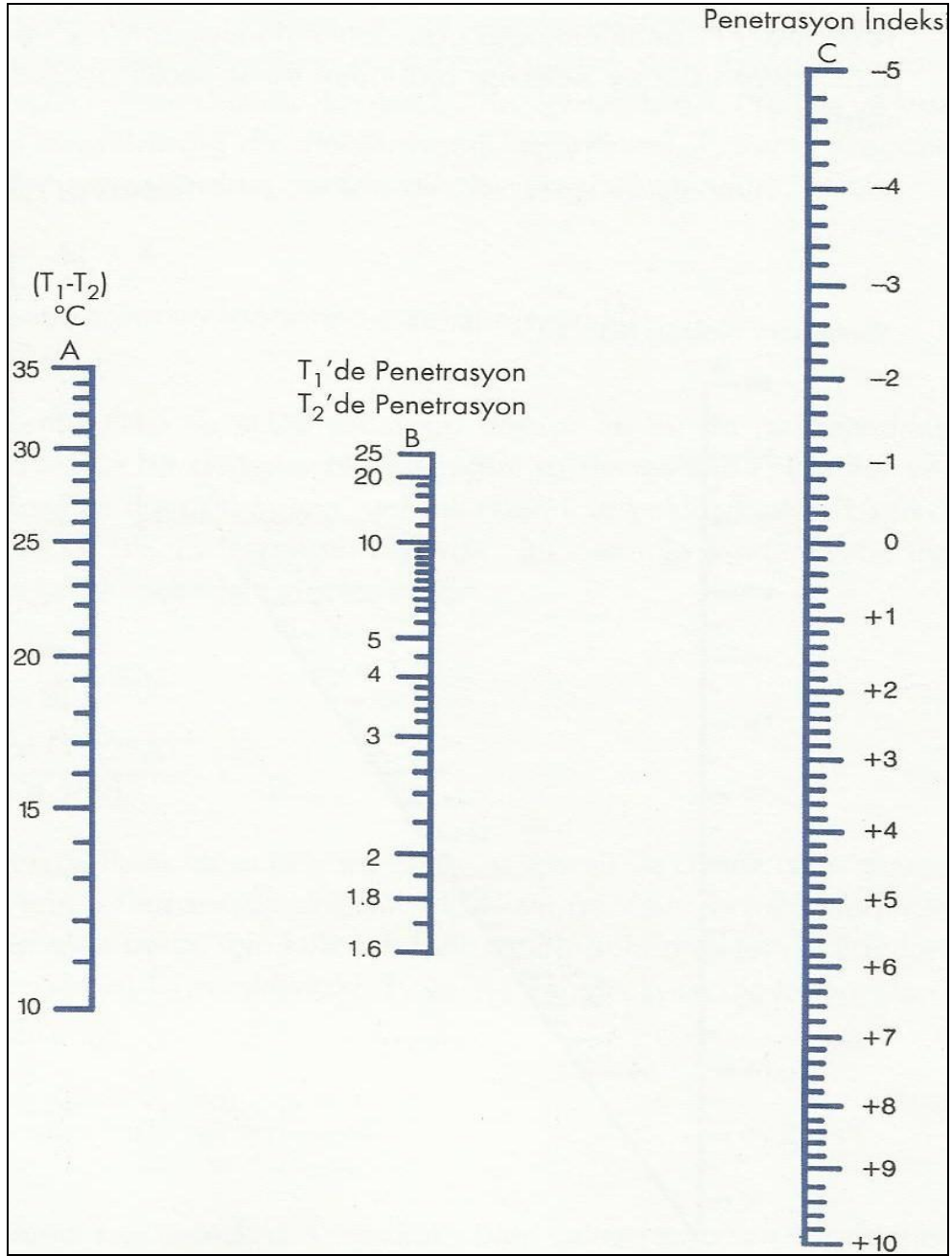
Şekil 2.3 Penetrasyon dereceli bitümler için hazırlanmış QUALAGON [2]

2.3 Bitümün Mühendislik Özellikleri

Bitüm inşaat ve endüstri sahalarında yapım malzemesi olarak yaygın biçimde kullanılır. Ancak bitümün mekanik özellikleri çelik ya da çimento betonu gibi malzemelerden daha karmaşıktır. Bunun yanında; bu malzemelerin mekanik özelliklerinin iyi bir şekilde tanımlanması kullanıcılar açısından çok önemlidir. Aşağıda bu özellikler özetlenmiştir.

Yumuşama noktasıyla (çizgi 'A') penetrasyon değerleri (çizgi 'B') arasında bir çizgi çizin. 'C' çizgisindeki ara parçası, bitümün Pl'sidir. (Şekil 2.4)

İki penetrasyon deney sıcaklığı arasındaki fark 'A' çizgisinde ve iki penetrasyonun oranı da 'B' çizgisinde gösterilir. Bu iki nokta üzerinden bir çizgi çizilir ve bunun 'C' çizgisini kestiği yer bitümün Pl'sidir [4].



Şekil 2.4 Penetrasyon indeksi için nomograf [4]

2.4 Yol Malzemesi Olarak Bitüm

Bitüm, doğal kökenli hidrokarbonların bir karışımı ya da pirojenik kökenli (doğal, ısı etkisiyle oluşan ergime sonucu oluşan) hidrokarbonların Arışımı ya da bunların her ikisinin bir kombinasyonu olup çok kez bunların gaz, sıvı, yarı-katı ya da katı halde olabilen, metal dışı türevleriyle bir arada bulunan, yapıştırıcı özellikleri olan maddedir.

2.4.1 Asfalt

Koyu kahverenginden siyaha kadar değişen, kuvvetli bağlayıcı özelliği olan, kıvamlılık bakımından katı, yarı-katı, ya da sıvı halde olabilen doğal halde bulunan ya da ham petrolün arıtılmasından elde edilen başlıca hidrokarbonlardan oluşan bir maddedir. Asfaltlar, kökenler göre doğal asfaltlar ve yapay asfaltlar olarak iki gruba ayrılabilirler.

a. Doğal Asfaltlar

Doğada genellikle mineral maddelerle karışmış halde bulunurlar. Kullanılabilir hale getirmek için bir takım işlemlerden geçirmek gerekir. Göl asfaltı, kaya asfaltı bu sınıfa girerler.

b. Yapay Asfaltlar

Ham petrolün arıtılmasından elde edilirler. Petrol kuyularından çıkarılan ham petrol rafinerilerden pompalarla tanklara, buradan da ısıtma kulelerine gönderilerek sıcaklığı yükseltilir; daha sonra damıtma kulelerine gelir. Kolay uçucu olan kısımlar bu kulelerin üst kısmından çıkar ve soğutucularda yoğunlaştırılarak ayrılır. Bunlar hafif ürünleri, daha az uçucu olanlar aynı biçimde orta ürünleri, en ağır uçarlarsa ağır ürünleri oluştururlar.

2.4.2 Asfalt çimentoları (AÇ)

Kalıntı maddelerinin daha ileri damıtılmasından SC sınıfı yavaş kür olan yol yağları elde edilir ve geriye asfalt çimentosu kalır. Koşulların değiştirilmesiyle istenilen penetrasyonda asfalt çimentosu elde edilir.

Yol üstyapılarında kullanılan asfalt çimentoları, özellik ve kıvam bakımından doğrudan doğruya bitümlü kaplamalarda kullanılmak için hazırlanmış petrol kökenli asfaltlardır.

AÇ ile gösterilen asfalt çimentoları, kıvamlılığı gösteren ve 10-300 arasında değişen penetrasyon derecelerine göre sınıflandırılırlar.

2.4.3 Sıvı Petrol asfaltları (Katbek asfaltlar)

Asfalt çimentosuyla kaynama noktası düşük, yani kolay uçan bir çözücü (benzin, nafta) ile karıştırılarak çabuk kür olan RC Sıvı Petrol Asfaltları kullanılır.

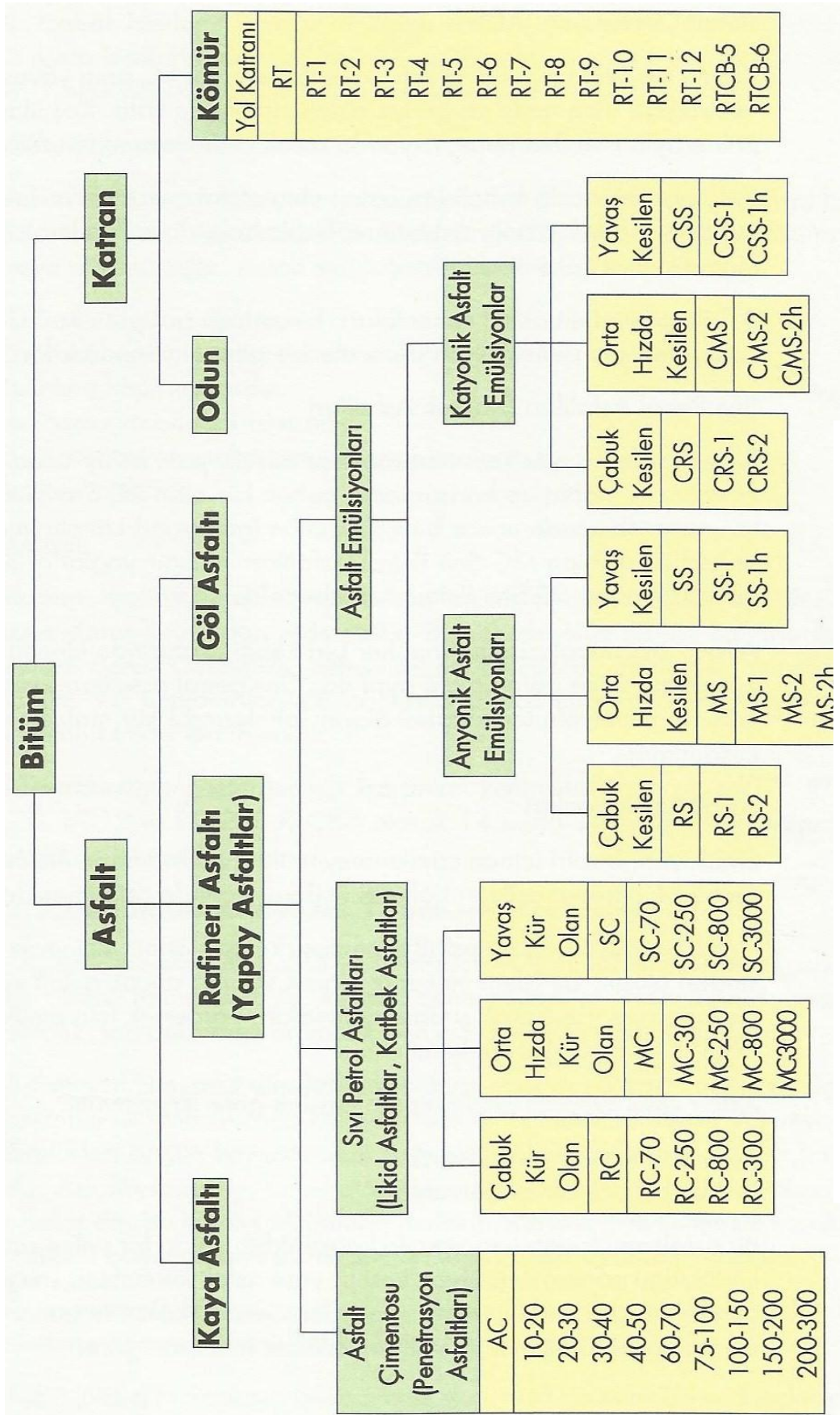
Orta derecede uçucu bir çözücünün (gaz yağı) karıştırılmasıyla orta hızda kür olan MC Sıvı Petrol Asfaltları ve ağır yağlarla inceltilerek yavaş kür olan SC Sıvı Petrol Asfaltları elde edilir.

Ayrıca sıvı petrol asfaltlarının her biri kendi aralarında kinematik viskozite değerlerine göre tiplere ayrılırlar. Sıvı petrol asfaltları, asfalt malzemesi ve çimentolu temel tabakaların tabakalarında kür malzemesi olarak kullanılırlar.

2.4.4 Asfalt emülsiyonları

Emülsiyon, birbiri içinde çözünemeyen iki sıvıdan birinin ötekisi içerisinde küçük küre tanecikleri halinde üniform halinde dağılmasıdır.

Asfalt emülsiyonları da asfalt çimentosu küreciklerinin su içinde dağılmasından oluşur. Bu işlem mekanik olarak yapılır; ancak asfalt küreciklerinin birbirine yapışarak sudan ayrılmalarını önlemek için emülgatör denilen katkı maddeleri kullanılır [4].



Şekil 2.5 Bitümlü malzemelerin sınıflandırılması [4]

3. BİTÜMLÜ KARIŞIMLAR

Rengi koyu kahve ile siyah arasında olan ve petrolün damıtımı sırasında ortaya çıkan *bitüm*, yüksek viskoz, hidrokarbon bir atıktır. Damıtım, petrol rafinerilerinde yapılabildiği gibi doğada asfalt göllerinde kendiliğinden de oluşabilmektedir. Yüksek oranda hidrokarbonlardan oluşan katı, yan katı veya viskoz bağlayıcılara verilen genel isim olan bitümün en geniş kullanım alanı yollardır [5].

Sıcak karışımlarda, su geçirimsiz, termoplastik ve viskoelastik bir bağlayıcı görevi gören bitüm, ısıtıldığında yumuşayıp akışkan hale gelerek agreganın kaplanmasını sağlar, soğuduğunda ise katılaşarak parçacıkları bir arada tutar. Günümüzde doğal yollarla, kendiliğinden damıtılmış bitümü bulmak mümkün olmadığından, kullanılan bitümün tamamı petrol rafinerilerinden elde edilmektedir. Bitümün birçok kullanım alanından birisi de yol kaplamalarıdır ve bu amaçla kullanılan bitüme genellikle asfalt çimentosu ya da bağlayıcı adı verilmektedir. Oldukça viskoz ve yapışkan bir malzeme olarak bilinen bitümün agrega tanecikleri ile arasındaki aderansı, ona iyi bir bağlayıcı malzeme olma özelliği kazandırmaktadır. Birçok asit, alkali ve tuzdan etkilenmiyor oluşu da, bitümlü sıcak karışımın kesinlikle geçirimsiz ve pek çok kimyasala karşı dayanıklı olmasını sağlamaktadır. Sıcak karışımların genellikle ağırlıkça %3-8 ini oluşturan bitüm; toplam maliyetin, sıcak karışımın miktar ve tipine bağlı olarak, %25-30'una denk gelmektedir [6].

3.1 Sathi Kaplamalar

Sathi kaplamalar, yol kaplamalarının en çok kullanılan şekli olup, yol yüzeylerinin, korunması için yerleşik, ekonomik ve çok etkin bir yöntemdir. Hafif trafik yüküne sahip köy yollarından günde on binlerce aracın geçtiği şehirlerarası yollara kadar her türlü yolda başarıyla kullanılabilen sathi kaplamalar, basit ve ucuz bir yöntem olmakla birlikte; planlama, kontrol ve denetleme eksiklikleri nedeniyle deformasyonlar ve istenmeyen durumlar oluşturabilirler. Sathi kaplamaların deformasyonları genellikle kötü hava koşullarından kaynaklansa da, verilen talimatlar gerektiği gibi uygulanırsa tüm bu sorunların üstesinden gelinebilir.

Sathi kaplamaların sürücüler için daha güvenli ve kullanışlı hale gelebilmesi, trafik halinde mıcırın sökülüp fırlamaması için uygun bir tasarım yapılması ve serme işlemlerinin uzman sericiler tarafından uygulanması gerekir [7].

Sathi kaplamalar ilk olarak, yalnızca yolu tozdan korumak amacıyla yapılmış ancak geçen zaman içerisinde fren mesafesini kısaltmak, kullanılan agreganın ömrünü uzatmak, aşınmış, eskimiş ve cilalanmış sıcak karışımlı yollarda trafik emniyetini sağlamak gibi yeni istekler için de kullanılmaya başlamıştır.

Sathi kaplama, granüler, plent-miks, çimento bağlayıcılı granüler ve benzeri temellerle asfalt ya da beton kaplamalar üzerine, ince bir katman şeklinde bitümlü bağlayıcı uygulanması ve ardından agreganın serilip sıkıştırılmasıyla oluşturulur. Genel olarak tek tabaka ve çift tabaka sathi kaplama ile bir veya birkaç tabaka koruyucu sathi kaplama olarak sınıflandırılır [8].



Şekil 3.1 Sathi kaplama uygulamaları [8]

Daha detaylı irdelenecek olursak, yol yüzeyine ince bir bağlayıcı tabakasının püskürtülmesi ve bunun üzerine bir tabaka mıcır serilmesinden ibarettir. (Şekil 3.1) Daha sonra silindirle sıkıştırılarak, mıcırın bağlayıcı ile teması sağlanır ve bu malzemelerin birbirlerine kenetlenmesi ile iskelet yapısı oluşturulur.

Sathi kaplamaların amacı, Marshall Raporunda "üstyapıya su girişini önlemek için sızdırmazlık sağlamak, mıcır kaybı, vb. sebeplerle oluşan bozulmanın başlaması sırasında yüzeyi korumak, yüzey bozulmalarını geciktirmek veya cilalanma ve benzer sebeplerle azalan sürtünme katsayısını artırmak şeklinde açıklanmaktadır [7].

Buna göre sathi kaplamaların amaçları: .

- Düşük maliyetli ve kayma direnci yüksek bir yol yüzeyi sağlamak,
- Temel, alttemel ve taban zeminine, yol yüzeyinden gelen yüzey suların geçişini engellemek,
- Yol yüzeyindeki tozu kontrol etmek,
- Var olan yüzeyi iyileştirmek,
- Bozulmuş eski kaplamaların bakım ve onarımlarını yapmak,
- Banketleri kaplamaktır [8].

İlk dönemlerde sathi kaplamalarda anyonik tipte asfalt emülsiyonu kullanırken zamanla bu katyonik tipte emülsiyona dönüşmüş, bu emülsiyonun soğuk olarak uygulanmasından dolayı da kullanılan makineler basitleştirilmiştir. Bu yöntemle, mevsim sonlarında oluşan nemli ve soğuk hava koşullarından etkilenme oranı azalmaktadır. Bunların dışında katyonik emülsiyonlarla elde edilen avantajlar şu şekilde sıralanabilir:

- Çabuk kesildiklerinden dolayı, mıcırın rutubeti ve yol yüzeyinin neminden etkilenmeden, yolun kısa zamanda trafiğe açılmasını sağlar.
- Her türlü mıcır, emülsiyonla kimyevi reaksiyona girdiğinden, çok iyi bir adezyon sağlar.

Bunlarla birlikte, aynı bitüm yüzdesi ile yapılan anyonik ve katyonik emülsiyonlu kaplamalardan katyonik emülsiyonlu olanlarda, kuvvetli adezyondan dolayı bitüm yüzdesi daha düşüktür [8].

Asfalt emülsiyonları genellikle çok katlı sathi kaplamalarda kullanılır ve bu kaplamaların avantajları şu şekilde sıralanabilir:

- Toplam mıcır miktarı dikkate alınırsa, tek katlı kaplamalara göre, daha az emülsiyon sarfıyatı ile yapılabilir.
- Boşluk yüzdesinin çokluğu, fazla miktarda kullanılan bitümün yoğunluğunu aldığı gibi, sürtünme katsayısını da artırır.
- Kullanılan mıcır miktarına oranla, yapışmadan kalan mıcır toplamı tek kat kaplamalara göre daha azdır.
- İkinci ve üçüncü katlarda kullanılan agrega boyutları gittikçe küçüleceğinden birbirinin boşluğunu doldurarak daha düzgün bir satıh meydana getirir.
- Toplam kalınlıkta daha düzgün bitüm dağılımı sağlanmakta, bitüm miktarlarındaki ayarsızlıklar giderildiğinden, geçirimsizlik sağlanmaktadır [8].

Bunların dışında olumsuz özellik olarak, sathi kaplamalar, deforme olmuş yol yüzeylerinin düzgünlüğünü geri kazandırmadığı gibi yol üstyapısına önemli miktarda yapısal mukavemet de sağlamazlar [7].

3.2 Asfalt Betonu

3.2.1 Asfalt betonun tanımı

Sıcak asfalt karışımı (HMA), asfalt çimentosu ve bu bağlayıcı ile üniform şekilde karıştırılmış ve sarılmış agrega birleşiminden oluşmaktadır. Uygun bir karışım ve işlenebilirlik elde etmek için agregaları kurutmak ve asfalt çimentosunun yeterli akışkanlığını sağlamak amacıyla karıştırma işleminden önce hem agrega hem de asfalt ısıtılmaktadır ve bundan dolayı karışıma sıcak sıfatı eklenmektedir.

Agregalar ile asfalt, istenilen düzeyde bir kaplama karışımı elde etmek amacıyla bünyesinde ilgili tüm bileşen malzemelerin ısıtıldığı, oranlandığı ve karıştırıldığı bir karışım tesisinde (plant) bir araya getirilmektedir. Plantte karışım süreci tamamlandıktan sonra sıcak karışım kaplama alanına taşınmakta ve üniform, düzgün bir yüzeye, hafifçe sıkıştırılmış halde bir kaplama makinası (finişer) yardımıyla serilmektedir. Karışım hala sıcak durumda iken, malzeme, pürüzsüz ve iyi konsolide olmuş bir kaplama tabakası elde etmek amacıyla ağır motorlu silindirler ile sıkıştırılmaktadır.



Şekil 3.2 Asfalt betonu uygulaması [9]

3.2.2 Sıcak asfalt karışımların sınıflandırılması

Sıcak asfalt karışımları, her biri özel dizayn ve yapım amaçlarına uygun kendine özgü karakteristiklere sahip çok çeşitli agrega kombinasyonlarından üretilmektedir. Kullanılan asfalt sınıfı ve miktarına ek olarak, karışımın esas karakteristikleri aşağıdaki elemanların göreceli miktarları tarafından belirlenmektedir:

- a) 2,36 mm (No.8) elekte kalan kaba agrega
- b) 2,36 mm (No.8) elekten geçen ince agrega
- c) 75 μ m (No.200) elekten geçen mineral dolgu

Asfalt betonu, sıkı koşulları sağlayan bir sıcak karışımdır. Asfalt betonu üniformluğu sağlayacak tarzda gerektiği gibi sıkıştırıldığında yoğun sıcak karışımların tipik bir örneğini oluşturmaktadır [10].

3.2.3 Karışım dizaynına ilişkin değerlendirmeler

Arzu edilen özellikler;

Güncel karışım dizayn yöntemleri ampirik olarak değerlendirilmekte, diğer bir deyişle bu yöntemler gözlenen arazi performansı temelinde oluşturulmuş deney değerlerine dayanmaktadır. Deney değerleri ile kaplama performansının spesifik özellikleri arasında ölçülebilen bir ilişki olmamasından dolayı, güncel karışım dizaynının bir sanat ve bilim kombinasyonu olup olmadığı tartışmaya açık bir konudur.

Karışım özelliklerinin arazideki performansla ilişkilendirecek mekanistik bir dizayn yöntemi geliştirme çalışmaları günümüzde de devam etmektedir. Bununa birlikte mevcut karışım dizayn yöntemleri uzun bir kabul edilebilir kullanım geçmişine sahiptir. Uygun şekilde uygulandığında, bu yöntemler tatminkar düzeyde işyeri karılım formülleri ile kalite kontrol sistemleri ile sağlanmaktadır.

Uygulanan laboratuvar yöntemi ne olursa olsun yoğun gradasyonlu bir asfalt kaplama karışımının özel bir uygulama için uygun bir şekilde dizayn edilebilmesi için aşağıdaki karışım özelliklerine dikkat edilmelidir:

- Stabilité
- Dayanıklılık

- Esneklik
- Yorulma direnci
- Kayma direnci
- Geçirimsizlik
- İşlenebilirlik

Stabilite, asfalt kaplama karışımının etkiyen yüklerden dolayı meydana gelebilecek deformasyonlara karşı koyma yeteneğidir. Stabil olmayan kaplamalar, tekerlek izi ve ondülasyon oluşumları ile göze çarpmaktadır. Stabilite hem içsel sürtünmeye hem de kohezyona bağlıdır.

İçsel sürtünme yüzey dokusuna, agrega gradasyonuna, dane şekline, karışım yoğunluğuna ve asfalt miktarı ile tipine bağlıdır. Stabilite karışımındaki agreganın içsel sürtünme ve içsel kenetlenme direncinin bir fonksiyonudur. Yüzey pürüzlülüğü ve agrega danelerinin köşeliliği ve aynı zamanda dane temas alanı arttıkça sürtünme direnci de artış göstermektedir. Karışımda aşırı derecede asfalt bulunması durumunda asfalt bir yağlayıcı gibi görev yapmaya başlayacak ve taş iskeletin içsel sürtünmesini azaltarak karışımın stabilitesini düşürecektir.

Kohezyon, asfalt kaplama karışımının doğasında varolan içsel bağlayıcı kuvvettir. Asfalt, agrega daneleri arasında gelişen temas noktalarının sürdürülmesi görevini üstlenmektedir. Kohezyon, yükleme hızı, yüklenen alan ve sıcaklıkla ters orantılı olan asfalt viskozitesinin etkisi ile doğrudan değişiklik göstermekte olup, asfalt içeriğinin optimum seviyeye kadar yükselmesiyle yükselmekte, bu seviyeden sonra ise azalmaktadır.

Dayanıklılık, (durability), bir asfalt kaplama karışımının, hava, su, sıcaklık ve trafiğin zarar verici etkilerine direnme yeteneğini gösteren bir özelliktir. Bu etkiler arasında, asfalt özelliklerindeki değişiklikler (oksidasyon ve buharlaşma gibi), su etkisi dolayısıyla (donma ve çözülme) kaplama ve agrega üzerinde meydana gelen değişiklikler de eklenebilir.

Dayanıklılık özelliği, genelde yüksek asfalt içeriği, yoğun (iyi derecelendirilmiş) agrega gradasyonu ve iyi sıkıştırılmış, geçirimsiz karışımlar sayesinde iyileşmektedir.

Asfalt miktarının artırılmasına ilişkin bir argüman da agrega danelerini saran asfalt filminin daha da kalınlaşmasıdır. Daha kalın filmler yaşlanma-sertleşmeye karşı direncin artmasını sağlamaktadır. Diğer bir deyişle kalın bir film tabakasını ince bir filmin kırılma değeri getirmek için daha uzun bir zaman geçmesi gerekmektedir. Diğer bir olumlu argüman ise, asfalt miktarının artmasıyla birbirlerine içten bağlı olan boşluk boyutlarının azalması veya karışım işlemi birlikte bu gözeneklerin yalıtılarak karışıma hava ve su girişinin daha da zorlaştırılmasıdır. Diğer yandan, daha kalın asfalt filminin tekerlek izi ve deformasyon oluşumuna yatkın olduğuna çok dikkat edilmelidir.

Su etkisine karşı koymak için de aynı koşullar geçerlidir. (yoğun-gradasyonlu agregalar, yüksek asfalt oranı ve uygun sıkıştırma). Su varlığı altında dahi üzerinde bir asfalt filmi tutabilen agrega türlerinin kullanılması arzu edilmektedir. Daha yoğun bir asfaltın agregadan soyulmasına karşı daha yüksek dirence sahip olacaktır. Bununla birlikte, agrega hidrofilik (su sever) yapıda ise asfalt çimentosuna bir anti-soyulma katkı maddesi eklenmesi gerekebilmektedir.

Trafiğin aşındırıcı etkilerine karşı koymaya elverişli bağlayıcı özellikler sağlamak amacıyla karışıma yeterli miktarda asfalt katılmalıdır. Yetersiz oranda asfalt agreganın yüzeyden kopmasına sebep olabilmektedir. Bu duruma yüzeyden ayrılma (ravelling) denilmektedir. Asfalt kırılma hale gelmiş ise aşınma durumu yine ortaya çıkabilmektedir. Sıcak karıştırma işleminde asfaltın aşırı derecede ısıtılması durumunda ileride asfaltın kırılma olmasına neden olmakta ve aşınma ortaya çıkmaktadır.

Boşlukları tamamen asfaltla doldurulmuş yüksek asfalt içerikli bir karışım maksimum dayanıklılık sağlamakla birlikte, bu durum stabilite açısından arzu edilmeyen bir durum olmaktadır. Yol üzerine serildiğinde, kaplama oluklanacak ve trafik altında hareket edecektir. Karışımın kusması da gözlenebilmektedir.

Bir asfalt/agrega kütlelerinde daneleri saran asfalt miktarı kritik bir değere ulaşana dek maksimum stabiliteye erişilmemektedir. Bu andan sonra ilave edilecek asfalt, bağlayıcı malzemeden çok bir yağlayıcı madde gibi davranarak karışımın stabilitesini azaltacak ve dayanıklılığı artıracaktır. Dolayısıyla, yeterli bir stabilite değeri korunmak kaydıyla asfalt miktarını olabildiğince artırarak orta bir değere ulaşılmalıdır.

Esneklik, bir asfalt kaplama karışımının çatlamadan hafifçe eğilebilme ve temel ve alt temel tabakalarının tedrici oturmalarına uyabilme yeteneğini ifade etmektedir. Bazı durumlarda dolgu kısımlarında farklı oturma hareketleri gözlenebilmektedir. Yapım süresince tabanda tüm kesimlerin tamamen aynı taşıma değerine sahip olacağı üniform bir yoğunluk geliştirmek hemen hemen imkansızdır. Dolayısıyla, asfalt kaplama küçük çaplı yerel ve farklı oturma hareketlerine çatlama yapmaksızın uyum gösterebilmelidir. Genel olarak, bir asfalt kaplama karışımının esnekliği, yüksek asfalt içeriği ve nispeten açık gradasyonlu (boşluklu) agregalar ile geliştirilebilmektedir, fakat diğer yandan, tatminkar düzeyde bir işyeri karışım formülü elde etmek amacıyla tüm karışım dizaynı kriterleri dengelenmelidir.

Yorulma mukavemeti, bir asfalt kaplamasının tekerlek yüklerinin geçmesinden doğan tekrarlı gerilmelere karşı koyabilme yeteneğidir. Bu konuda gerçekleştirilen deneyler, bir kaplama karışımının yorulma direnci değerlendirilirken asfalt içeriğinin çok büyük önem taşıdığını göstermiştir. Bir kural olarak, asfalt içeriği arttıkça yorulma mukavemeti artmaktadır. Deneyler, yoğun gradasyonlu asfalt karışımlarının, açık-gradasyonlu karışımlara göre daha yüksek yorulma mukavemetine sahip olduklarını ortaya koymaktadır. Karışım içine, sıkıştırılmış bir kaplamada kusmaya sebep olmaksızın daha yüksek asfalt içeriğine izin veren iyi derecelenmiş agregalar katılmalıdır.

Kayma direnci, bir asfalt kaplama karışımının özellikle ıslak halde iken kaymaya karşı gösterdiği dirençtir. Yüksek kayma direnci elde etmeye ilişkin faktörler genellikle yüksek stabilite için gerekli olan faktörlerle aynıdır. Uygun asfalt içerikleri ve pürüzlü yüzey dokusuna sahip agregalar, yüksek kayma direncine katkıda bulunan ana faktörlerdir. Cilalanmaya eğilimi olan agregalar ise aşınma tabakalarında değil daha alt tabakalarda kullanılabilir. Farklı aşınma veya cilalanma özelliklerine sahip ve cilalanmayan malzemeler içeren agregalar, kaymaya karşı dirençli bir yüzey ve kaplama dokusunun sürekli yenilenmesini sağlar.

Sıkıştırılmış kaplama içindeki boşlukları dolduracak derecede asfaltça zengin olan karışımlar muhtemelen kusacaklardır. Yol yüzeyinde kalın asfalt tabakası kaplama yaşken kayma direncinin yetersizliğinden dolayı arzu edilmez.

Geçirgenlik (Permeabilite), bir asfalt kaplamasının içine doğru veya içinden hava ve su geçişine karşı gösterdiği direnci ifade etmektedir.

Boşluk oranı, sıkıştırılmış bir kaplama karışımının hava veya su geçişine karşı hassaslık derecesinin bir göstergesi olmakla birlikte, bu boşlukların birbirlerine bağlı halde olmaları ve yüzeye erişimlerinin bulunması çok daha büyük önem taşımaktadır. Hava ve suya karşı geçirimsizlik de asfalt kaplama karışımlarının dayanıklılığı için gerek duyulan bir özelliktir.

İşlenebilirlik, kaplama karışımlarının serilme ve sıkıştırma kolaylığıdır. Uygun karışım dizaynına dikkat edilip, makina ile serme işlemi uygulandığında işlenebilirlik bir problem arz etmemektedir. Bazı durumlarda, yüksek stabiliteyi teşvik eden agrega özellikleri, bu agregaları içeren asfalt karışımlarının serilmesini veya sıkıştırılmasını zorlaştırmaktadır. İşlenebilirlik problemlerine en sık olarak serim operasyonu sırasında karşılaşılmışından dolayı, işin olabildiğince verimli şekilde ilerlemesi amacıyla karışım dizayn ayarlamalarının yapılması gereken süreç de bu operasyon sırasında gerçekleşmektedir.

Amaçlar

Diğer mühendislik malzemelerinin dizaynlarında olduğu gibi asfalt kaplama karışımlarının dizaynı da büyük oranda nihai inşaat istenilen kalite ve özelliklerin elde edilmesi amacıyla malzeme seçimi ve oranlanması meselesidir. Son amaç ise ekonomik bir agrega karışımı ve gradasyonu (şartname limitleri dahilinde) ile aşağıdaki özelliklere sahip bir karışım verecek bir asfalt içeriği tayin etmektir.

- Dayanıklı bir kaplama sağlayacak yeterli miktarda asfalt
- Deformasyon veya yerdeğiştirme olmaksızın trafik taleplerini karşılayacak derecede yeterli karışım stabilitesi
- Kusma veya stabilite kaybı göstermeksizin yaz aylardaki sıcaklıklarda asfalt ve agreganın termal genişlemesini tolere edecek toplam sıkıştırılmış karışım içerisinde yeterli oranda hava boşluğu.
- Segregasyon olmaksızın karışımın efektif şekilde serilmesine izin verecek yeterlikte işlenebilirlik [10].

3.3 Harç Tipi Kaplamalar

İlk olarak, askeri havaalanlarında kullanılan harç tipi kaplamalar, iniş-kalkış pistlerinin bozulmasının önüne geçmek amacıyla 1950'li yılların ortalarında İngiltere'de uygulanmıştır.

Bununla birlikte bu tür uygulamalar, hızlı kesilen katyonik emülsiyonlar uygulamaya girinceye kadar, karayollarında yaygın hale gelememiştir.

Harç tipi kaplamalar kullanılarak oluşturulan yollarda doku derinliği daha düşük olduğundan, bu malzeme yüksek hızlı trafik altındaki karayollarına uygun değildir. Mevcut bir üstyapıya, yalnızca ince bir iyileştirme tabakası olarak hizmet eden harç tipi kaplamalar üstyapının mukavemetini önemli ölçüde arttırmadığı gibi, uygun olmayan alt tabakalar üzerine serildiğinde dayanıklılık da sağlamamaktadır. Bu nedenle, otoyol banketlerinde kullanılan yüksek doku derinliğine sahip özel tasarım harç tipi kaplama uygulaması haricinde bu malzeme genellikle, hafif uçakların kullanıldığı hava alanı pistleri, otoparklar, vb. hafif trafik koşulları altındaki yollarda uygulanmaktadır.

Temel amacı, yol yüzeyine hava ve su girişini engellemek ve yüzey bozulmalarına karşı kaplamayı korumak olan harç tipi kaplamalar ayrıca, küçük çukurları doldurarak daha düzgün (üniform) bir sürüş kalitesi sağlar.

Agrega (parçalanmış magmatik kayalar, kireçtaşı veya cüruf), katkı maddesi ve bitüm emülsiyonundan oluşan harç tipi kaplamalarda, bahsi geçen katkı maddesi genellikle, karışımın kıvamının kontrolü, sertleşme süresi ve segregasyonunun kontrol edilmesi amacıyla karışıma ilave edilen sönmüş kireç veya portland çimentosudur. Normal koşullarda katkı maddesi, toplam agreganın %2'sini teşkil etmekte iken, yolun erken trafiğe açılması gerektiğinde, ya da ıslak havadan kaynaklanan hasarları geciktirmek amacıyla karışımın hızlı sertleşmesi istendiğinde, hızlı kesilen bir A4 sınıfı anyonik emülsiyon, ya da K3 sınıfı katyonik emülsiyon kullanılmaktadır. Sürenin kritik olduğu durumlarda, A4 sınıfı yavaş kesilen bir anyonik emülsiyon kullanılabilir. Agreganın özelliklerine bağlı olarak, bir ton agregaya başına 180 ila 250 litre arasında emülsiyon kullanımı gerekmektedir. Malzemenin kompozisyonu yaklaşık olarak %80 agregaya, %20 bitüm şeklindedir. Harç tipi karışımlar, bu iş için özel olarak tasarlanmış, günde 8.000 m²'ye kadar serme işlemi yapabilme kapasitesine sahip, arkasına takılmış bir depolama tankına sürekli besleme yapan (bir mikser içerisine dökülecek agregaya, emülsiyon, su ve katkı maddelerinin ölçümünü ve uygulanmasını sürekli olarak sağlayan) makineler ile uygulanmaktadır. Serme işleminden sonra, karışımın kompozisyonuna bağlı olarak, lastik tekerlekli silindir ile hafif bir sıkıştırma yapılması gerekebilmektedir. Sıkıştırma işlemi, karışım tekerlek izi derinliğinin engellenebileceği derecede sertleşince uygulanmalıdır [4].

4. BİTÜMLÜ KARIŞIMLARIN GERİ DÖNÜŞÜM ARAÇ VE TESİSLERİ

Bitümlü malzemelerin geri kazanımı genel anlamda iki kategoriye ayrılır. Bunlar, yerinde (arazide) geri kazanım ve arazi dışında (asfalt plantlerinde) geri kazanımdır[2].

4.1 Yerinde Geri Dönüşüm Sağlayan Tesisler

Bu sistem atık asfaltı yerinde geri dönüştürerek atık nakliye masraflarını ortadan kaldırmaktadır. Atık asfalt geri dönüştürüldüğü için yeni hammadde kullanım miktarını düşürmekte ve geri dönüşüm makineleri taşınabilir olduğundan ekstra nakliye maliyeti getirmektedir. Zamandan kazandıran sistem: Mobil geri dönüşüm Asfalt Geri Dönüşüm Makineleri ile her kilogram asfalt atığı geri dönüştürülerek karayollarına uygulanabilir. Geri dönüşüm sistemi üç şekilde çalışabilmektedir;

- Sabit geri dönüşüm tesisi (Şekil 4.14)
- Taşınabilir sistem (Şekil 4.15)
- Kazınmış asfaltın mevcut üretim sürecine girmesi. (Şekil 4.12)

Kazınmış asfaltın geri dönüştürülerek yeniden yollara uygulanması sürecini kısaltan mobil sistem, halen Türkiye'nin birçok noktasında uygulanmaktadır. Sistem, ünite başına saatte 10 tona kadar atık asfaltı geri dönüştürebilmektedir.



Şekil 4.1 Asfalt betonu kazıma ve sisteme yükleme [15]



Şekil 4.2 Yerinde geri dönüşüm [16]



Şekil 4.3 Sabit geri dönüşüm sistemi [13]



Şekil 4.4 Taşınabilir sistem [17]

4.1.1 Yerinde geri dönüşüm araçları

Yerinde geri dönüşüm bozulmuş asfaltın sökülerek mobil araçlarla kazı işleminin yapıldığı alanda geri dönüştürülmesi şeklinde gerçekleşir. Kazınan malzeme, ileriki konularda detaylı şekilde anlatılan geri dönüşüm yöntemlerine göre istenilen şekilde geri dönüştürülür veya uygun şekilde depolanır. Kazıma ve geri dönüştürme işlemi oldukça maliyetli olduğundan kullanılacak araçların tayini oldukça önemlidir. Bu araçları genel olarak inceleyecek olursak;

4.1.1.1 Kazıma aletleri

Bitümlü karışımların geri dönüşümünde kazıma maliyetleri önemli bir yer tutar. Bu nedenle birçok firma kazıma aletleri üzerine farklı özelliklerde, çeşitli makinalar üretmişlerdir. Ülkemizde yaygın olarak kullanılan Wirtgen marka kazıma araçlarıdır. Bu araçlar çeşitleri ve teknik özelliklerine bakacak olursak,

Model W150



Şekil 4.5 Model W150

Seçmeli olarak 1.20 m yada 1.50 m çalışma enine sahip kazıma tamburlarının takılabildiği kompakt büyük kazıma makinasıdır (Şekil 4.5). W 150 değişik çeşitte uygulamalar için kullanılır; geniş yüzeylerin kazınmasında, serili tabakaların tamamen kaldırılmasında yada seviyelendirilmesinde kullanılabilir. Makina seçmeli olarak yeni seviyeleme sistemi ile donatılabilir[68].

Çizelge 4.1 Model W150 özellikleri

Tip	Kazıma genişliği	Kazıma derinliği	Motor gücü	Çalışma ağırlığı
W150	1.200mm	0-320 mm	276 kW / 375 PS	20.280 kg

Model W200



Şekil 4.6 Model W200

Kompakt büyük freze, 1,50 m, 2,0 m veya 2,20 m freze cihazları ile çalışma genişliğinde ayarlanabilir. Üç ayarlanabilir motor devir sayıları sayesinde kapasite spektrumuna sahiptir (Şekil 4.6).

Büyük yüzeyli kapatma katmanı düzeltmesi, komple uygulama, hassas freze çalışmaları ve daha fazlası yapılabilir. PTS ile otomatik makine düzenlemesi, akıllı hareket tahrik kumandası ICS makine kumandası WIDRIVE sayesinde azami traksiyon ve hesaplı işletme giderleri sağlar. Freze seviyelendirme otomatığı ile donatılabilir[68].

Çizelge 4.2 Model W200 özellikleri

Tip	Kazıma genişliği	Kazıma derinliği	Motor gücü	Çalışma ağırlığı
W200	2000mm	0-330 mm	410 kW / 558 PS	27.186 kg

Model W210



Şekil 4.7 Model W210

Kompakt büyük freze, 1,50 m, 2,0 m veya 2,20 m freze cihazları ile çalışma genişliğinde ayarlanabilir. İki dizel motorlu dizel tasarruflu tahrik konseptidir (Şekil 4.7). Ayarlanabilir motor devir sayıları ile geniş kapasite spektrumu: Büyük yüzeyli kapatma yüzeyi düzeltmesi, komple uygulama, hassas freze çalışmaları ve daha fazlası yapılabilir. PTS ile otomatik makine düzenlemesi, akıllı hareket tahrik kumandası ICS makine kumandası WIDRIVE sayesinde azami traksiyon ve hesaplı işletme giderleri sağlar. Freze seviyelendirme otomatığı ile donatılabilir[68].

Çizelge 4.3 Model W210 özellikleri

Tip	Kazıma genişliği	Kazıma derinliği	Motor gücü	Çalışma ağırlığı
W210	2000mm	0-330 mm	500 kW / 680 PS	28.186 kg

Model W2100



Şekil 4.8 Model W2100

Yollardaki ve havaalanlarındaki kaplama tabakasının tamamının kaldırılması için paletler üzerine monteli yüksek performanslı soğuk kazıma makinasıdır (Şekil 4.8). Kazınmış malzeme makinanın önden yüklemeli iki aşamalı konveyör ile yüklenir. [68].

Çizelge 4.4 Model W2100 özellikleri

Tip	Kazıma genişliği	Kazıma derinliği	Motor gücü	Çalışma ağırlığı
W2100	2.200mm	0-320 mm	522 kW / 710 PS	41.249 kg

Model W2200



Şekil 4.9 Model W2200

Anayol kaplamalarının tüm kalınlığının tek bir seferde kaldırılması için geniş paletler üzerine monteli yüksek performanslı soğuk kazıma makinasıdır (Şekil 4.9). Büyük projelerde kullanım için kısmen uygun. Güçlü motor ve yüksek taşıma kapasitesine sahip iki aşamalı önden yüklemeli konveyör sistemi mevcuttur[68].

Çizelge 4.5 Model W2200 özellikleri

Tip	Kazıma genişliği	Kazıma derinliği	Motor gücü	Çalışma ağırlığı
W2200	2.200mm	0-350 mm	708 kW / 963 PS	44.700 kg

4.1.1.2 Soğuk rehabilitasyon makinaları

Paletli rehabilitasyon makinaları

Model 2200 CR



Şekil 4.10 Model 2200 CR

Yol katmanlarının yerinde soğuk rehabilitasyonu (recycling) için entegre serme tablasına sahip soğuk rehabilitasyon makinasıdır (Şekil 4.10). Makine bitüm emülsiyonu, köpüklü bitüm yada çimento su karışımı katılmasına müsaade eden oldukça esnek yapıya sahiptir. Makina yol kazıma makinası olarakta kullanılabilir[68].

Çizelge 4.6 Model 2200 CR özellikleri

Tip	Kazıma genişliği	Kazıma derinliği	Motor gücü	Çalışma ağırlığı
2200CR	2.200mm	0-250 mm	708 kW/963 PS	46.200 kg

Model WR4200



Şekil 4.11 Model WR4200

Yolları ayrı ayrı yada yolun enine tamamının rehabilitasyonu için soğuk rehabilitasyon makinasıdır (Şekil 4.11). Makinanın çalışma eni 2.80 m ile 4.20 m arasında kesintisiz ayarlıdır. Recycling makinası bitüm emülsiyonu, köpüklü bitüm yada çimento su karışımı katılmasına olanak sağlar[68].

Çizelge 4.7 Model WR4200 özellikleri

Tip	Kazıma genişliği	Kazıma derinliği	Motor gücü	Çalışma ağırlığı
WR4200	3.000-4.200mm	0-200 mm	866 kW/589 PS	77.200 kg

Lastik tekerlekli rehabilitasyon makinaları

Model WR2000



Şekil 4.12 Model WR2000

Bitüm emülsiyonu yada köpüklü bitüm gibi çeşitli bağlantı elemanları katılarak yolun tamamının rehabilitasyonu için kompakt soğuk rehabilitasyon makinasıdır (Şekil 4.12). Makine soğuk stabilizasyon içinde ideal uygunluktur. Düşük ağırlığı ve kompakt eni kolay nakliye sağlar[68].

Çizelge 4.8 Model WR2000 özellikleri

Tip	Kazıma genişliği	Kazıma derinliği	Motor gücü	Çalışma ağırlığı
WR2200	2.000mm	0-500 mm	315 kW	22.900 kg

Model WR2400



Şekil 4.13 Model WR2400

Bitüm emülsiyonu yada köpüklü bitüm gibi çeşitli bağlantı elemanları katılarak yolun tamamının rehabilitasyonu için kompakt soğuk rehabilitasyon makinasıdır (Şekil 4.13). Yüksek motor gücü ve 2.40 m lik çalışma eni, ki dünya standardıdır, makineyi öncelikle toprak stabilizasyonu için uygun hale getirir[68].

Çizelge 4.9 Model WR2400 özellikleri

Tip	Kazıma genişliği	Kazıma derinliği	Motor gücü	Çalışma ağırlığı
WR2400	2.400mm	0-500 mm	420 kW/571 PS	26.500 kg

WR2500 S



Şekil 4.14 Model WR2500 S

Çimento, bitüm emülsiyonu yada köpüklü bitüm gibi çeşitli bağlantı elemanları katılarak yolun tamamının rehabilitasyonu için yüksek performanslı soğuk rehabilitasyon makinasıdır (Şekil 4.14). WR 2500 S özellikle yapışkan olmayan toprağın kireç yada çimento ile stabilizasyonu için uygundur. İsteğe bağlı olarak 3,048 mm lik çalışma eni de mevcuttur[68].

Çizelge 4.10 Model WR2500 S özellikleri

Tip	Kazıma genişliği	Kazıma derinliği	Motor gücü	Çalışma ağırlığı
WR2500S	2.400mm	0-500 mm	500 kW/680 PS	32.000 kg

Model WR 2500 SK



Şekil 4.15 Model WR2500 SK

Bitüm emülsiyonu yada köpüklü bitüm gibi çeşitli bağlantı elemanları katılarak yolun tamamının rehabilitasyonu için yüksek performanslı soğuk rehabilitasyon makinasıdır (Şekil 4.15). WR 2500 SK makinaya entegre çimento yada kireç yayma aparatına sahiptir. Bu özellik stabilizasyon yada rehabilitasyon sırasında toz oluşumunu engeller[68].

Çizelge 4.11 Model WR2500 SK

Tip	Kazıma genişliği	Kazıma derinliği	Motor gücü	Çalışma ağırlığı
WR2500SK	2.438mm	0-500 mm	500kW/680 PS	36.500 kg

4.1.1.3 Sıcak rehabilitasyon makinaları

Remikser RX 4500



Şekil 4.16 Remikser RX 4500

Bitüm bağlantılı yol katmanlarının geniş ölçüde rehabilitasyonu için sıcak geri dönüşüm aracıdır (Şekil 4.16). Remikser çalışma eni hem giriş ağzında ve hem de geri kazanılmış kaplama malzemesinin bağlantı elemanı ve yeni karışım ile serildiği tarafta sürekli ayarlıdır[68].

Çizelge 4.12 RX4500 özellikleri

Tip	Isıtma genişliği	Isıtma Yüzeyi	Motor gücü	Çalışma ağırlığı
RX4500	3000-4500mm	0-60m ²	500 kW/ 680 PS	36.500 kg

Panel tipi ısıtma makinesi HM 4500



Şekil 4.17 Panel tipi ısıtma makinesi HM 4500

Remikser 4500 ile geri kazanılacak bitümlü yol katmanlarının ısıtılarak yumuşatılması için panel tipi ısıtma makinasıdır (Şekil 4.17). Yol tabakalarının dikkatli bir şekilde ısıtılması için makinanın ısıtma gücü ayarlanabilir. Isıtma eni küçük artışlarla ayarlanabilir[68].

Çizelge 4.13 HM4500 özellikleri

Tip	Isıtma genişliği	Isıtma Yüzeyi	Motor gücü	Çalışma ağırlığı
HM4500	24500mm	44,64 m ²	75 kW/102 PS	19.700 kg

4.1.1.4 Yerinde geri dönüşüm araçları

Bagela BA 4000



Şekil 4.18 Bagela BA 4000

Çizelge 4.14 Bagela BA 4000 özellikleri

Üretim Kapasitesi	Boyutlar	Yakıt Türü	Yakıt Tüketimi
4 ton/saat	2mx2mx4,5m	Dizel	2.25 litre/ton

Bagela BA 7000 [69]



Şekil 4.19 Bagela BA 7000

Çizelge 4.15 Bagela BA 7000 özellikleri

Üretim Kapasitesi	Boyutlar	Yakıt Türü	Yakıt Tüketimi
7 ton/saat	2mx2mx5,5m	Dizel	3.25 litre/ton

Bagela BA 10000 [69]



Şekil 4.20 Bagela BA 10000

Çizelge 4.16 Bagela BA 10000 özellikleri

Üretim Kapasitesi	Boyutlar	Yakıt Türü	Yakıt Tüketimi
10ton/saat	2,5mx2,5mx7m	Dizel	3.8 litre/ton

4.1.1.5 Karışım tesisi

Mobil Geri dönüşüm karıştırma tesisi KMA 220



Şekil 4.21 KMA 220

Yol yapımı için bitüm emülsiyonu yada köpüklü bitüm gibi çeşitli bağlantı elemanları katılarak karışımlar üreten mobil soğuk karışım tesisidir (Şekil 4.20). Tesis treyler üzerine montelidir ve kendi dizel motoru ile çalışır. Bu mobil tasarım kolay nakliye ve iş yerinde çabuk hazırlık yapılmasını sağlar[68].

Çizelge 4.17 KMA220 özellikleri

Tip	Ebatlar	Karıştırma Kapasitesi	Motor gücü
KMA220	13,4x2,5x4m	30.000Kg	129,4kW/176PS

4.1.1.6 Yardımcı ekipman

WLB 10S



Şekil 4.22 WLB 10S

Köpürtme sürecinde bitüm sıcaklığı, içindeki su miktarı yada hava basıncı gibi farklı parametrelere sahip köpüklü bitümün üretilmesi için laboratuvar ünitesidir (Şekil 4.21). Laboratuvar plantı köpüklü bitüm özelliklerinin belirlenmesi için bir seri test yapılmasını sağlar.

Bu araçlar dışında, herhangi bir asfalt uygulamasında kullanılan nakliye amaçlı kamyonlar, sıkıştırma için silindir ve diğer benzeri ekipmanlar da geri dönüşüm işleminde kullanılır.

Diğer asfalt uygulamalarında da kullanılması ve geri dönüşüme özel araçlar olmadıkları için detaylı olarak ele alınmamıştır[68].

4.2 Asfalt Plentlerinde Geri Dönüşüm

Bu işlemde mevcut bir kaplamadan çıkartılan malzeme, daha sonra kullanılmak üzere depolanır ya da bir sıcak karışım plentinde hemen işleme alınır. Hem ağırlıklı hem de sürekli tip plentler bu uygulama için kullanılabilir. Çeşitli yöntemler kullanılarak, geri kazanılan malzeme çevreye aşırı duman ve zararlı emisyon yaymadan ısıtılabilir. Bu yöntemle, yeniden kazanılan karışımlara uygulanan laboratuvar performans deneyleri, bu malzemenin yeni malzeme kullanılarak hazırlanan bitümlü karışımlarla aynı performansı sağlayabildiğini de göstermiştir.

Ağırlıklı tip plentlerde geri kazanım, kullanılmamış yani yeni agreganın çok yüksek derecede ısıtılması ve bunun ardından geri kazanılacak malzemenin kurutucudan hemen sonra ya da doğrudan mikserde eklenmesiyle gerçekleştirilir. Karıştırma sırasında ısı transferi olmaktadır. Bu yöntemin duman ve emisyon problemini yenmede başarılı olmasına karşın, agreganın ısıtılması uzun sürdüğünden plentden maksimum üretim elde edilemez. Uygun derecede ısı transferi sağlamak için, her bir harman karışımında ancak en fazla % 25 ile % 40 arasında geri kazanılmış malzeme olabilir. Geri kazanım işlemi için ağırlıklı tip plentlerin kullanılmasından doğan dezavantajlardan diğerleri de, yüksek ısıtma maliyeti ve yüksek imalat sıcaklıklarından dolayı, toz kolektörleri ile karıştırıcıdaki yıpranma ve aşınmanın hızlanmasıdır [2].

Sürekli tip plentlerde geri kazanım işlemi, geri kazanılan malzemenin kurutucu/miksere eklenmesinden ibarettir. Bu plent kullanılarak gerçekleştirilen ilk denemelerde, çevreye zararlı duman ve emisyonlar ortaya çıkmıştır. Duman yüksek sıcaklıkta bitümün buharlaşması ile oluşmaktadır. Yoğuşmuş malzeme mevcut emisyon kontrol cihazları ile tutulamayacak kadar küçük çapta parçalardan oluşmakta ve dolayısıyla bacadan dışarı kaçabilmektedir. Bitüm, 450°C civarında buharlaşmaktadır, kurutcu/mikserin içerisindeki gaz sıcaklıkları da 2000°C'ye ulaşabileceğinden, geri kazanılan malzemenin ilavesi dikkatli şekilde kontrol edilmelidir. Yasalarla belirlenmiş emisyon sınırlarını aşmaksızın %60 oranında geri kazanımlı malzeme alabilecek şekilde tasarlanmış plentler de bulunabilmektedir. Geri kazanımlı malzemenin giriş noktası yaklaşık olarak silindirin yarısından fazladır.

Silindir içerisindeki bölümler, bitüm ve fillerin ilave edilmesinden önce yeni agrega ve geri kazanımlı malzemenin homojenlik sağlamak amacıyla modifiye edilmiştir.

Buna ek olarak, yeniden tasarlanmış kademeler geri kazanımlı malzemeleri, ısıtma ünitesinden kaynaklanan yoğun ısıya karşı da korumaktadır[2].

4.2 Ağırlıklı Tip Asfalt Plantlerinde Geri Dönüşüm

Ağırlıklı tip plantlerde, tüm geri dönüşüm metotları, kondüktif ısı transferine dayanır. Kondüktif ısı transferi, soğuk malzemenin aşırı sıcak malzemeyle karışması ile elde edilir. Konvektif ısı transferi ise, soğuk agreganın sıcak gazlarla karşılaştırılması ile sağlanır.

Ağırlıklı tip plantlerde, geri dönüşüm metoduna bağlı olmaksızın, aşırı sıcak agrega dönüştürülmüş, soğuk, nemli karışımı ısıtmak için kullanılır. En çok kullanılan geri dönüşüm tesis teknikleri aşağıda açıklanmıştır.

4.2.1 Tartım kovanı geri dönüşüm tekniği

Bu teknikte soğuk, nemli, kullanılmış karışım, ek malzeme olarak tartıldığı, üretim kulesindeki tartım kovanına ilave edilir. Kullanılmış karışım, geri dönüşüm haznesinden elevatör yardımıyla tartım kutusuna ilave edilir. Konveyör ve elevatör ani çalıştırılma ve durdurulmaya uygun motorlara sahip olmalıdır (Şekil 4.23).



Şekil 4.23 Geri Dönüşüm Haznesi [11]

Kullanılmış malzeme, tartım kovanında ısıtılmış agrega ile karıştırılır. Kondüktif ısı transferi burada başlar ve mikserde devam eder.

Isı transferi esnasında kullanılmış malzemeden yüksek miktarda buhar çıkışı olur. Buharın ve buharla beraber çıkan ince malzemenin sızıntı olmadan emisyon kontrol sistemine yönlendirilmesi için, tartım kovası ve mikserin iyi bir şekilde izole edilmiş olması gerekmektedir.

Bu metot ile yeniden kullanılabilen malzemenin oranı teorik olarak % 50'lere kadar çıkmasına rağmen, pratikte bu değer % 25'i geçmemektedir. Bunun sebebi kullanılmış malzemenin nem oranının % 3–5 civarında oynaması ve kullanılmamış agreganın 315 °C'den fazla ısıtılamamasıdır. Bu sıcaklık kurutucu limitlerinin üstünde olabilir veya emisyon kontrol sistemindeki filtreler bu sıcaklığa dayanamayabilirler. Kurutucu istenen sıcaklığa ulaşsa da, maksimum sıcaklığı belirleyen temel ekipman filtrelerdir.

4.2.2 Kullanılmış malzeme geri dönüşüm tekniği

Bu teknikte, kullanılmış malzeme ayrı bir tartım kovası ile miksere boşaltılır. Bu metot son yıllarda popülerlik kazanmıştır. Birçok avantajı vardır:

- Agregası ve bitüm karışımı için hazırlanırken, kullanılmış malzeme de ayrı bir kovada tartıldığından harman hazırlama süresini kısaltmaktadır.
- Isı transferi ve buharlaşma, tartım kovası tekniğinde olduğu gibi gerçekleşmektedir.
- Kullanılmış malzemeyle yapılan uzun süreli üretimlerde, harman hazırlama süresi kısaldığından kapasite artmaktadır.
- Tartım işlemi ayrı bir kovada, buhar çıkışından etkilenmeden yapıldığından daha doğru olmaktadır.

4.2.3 Sepetli elevatör tekniği

Son zamanlarda kabul gören bir diğer geri dönüşüm tekniği de basitliği ve buhar çıkışının üretim kulesi içinde olmasını engellemesi sebebiyle, sepetli elevatör tekniğidir.

Bu metotta; soğuk, nemli malzeme, aşırı sıcak agregası ile agreganın kurutucudan çıkıp, sepetli elevatöre yüklendiği yerde karşılaşır. Kondüktif ısı transferi sonucu buharlaşma, agregası ve kullanılmış karışımı, üretim kulesine giderken elevatör sepetlerinde gerçekleşmektedir. Gerçekleşen buharlaşma, bir boru sistemi ile emisyon kontrol sistemine çekilir.

Yeniden kullanılacak olan karışım, sürekli olarak agregâ ile karıştırıldığı için, hem agregâ, hem de kullanılmış malzeme besleme konveyörlerinde tartılı bant sistemi bulunmalıdır.

Yapılan tartımlar ile agregâ ve kullanılmış karışım oranlı olarak beslenmektedir.

Kullanılmış malzeme ile yapılan karışımın, granülometri kontrolü iki farklı yöntemi ile yapılmaktadır. Fakat bu yöntemler, yeni üretilen karışımlara nazaran oldukça farklıdır.

İlk metotta, kullanılmış malzeme ve aşırı sıcak agregâ kulede beraber elenir ve karışım farklı bunkerlere ayrılır. Tüm bunkerlerden, içindeki malzemenin granülometrisinin ve bağlayıcı oranının belirlenmesi için numune alınır. Malzemenin bağlayıcı miktarının belirlenebilmesi için ayrıştırma yapılır. Yapılan ayrıştırma sonucu, granülometri ve bağlayıcı oranları saptanır. Bu doğrultuda, eklenecek bitüm miktarı belirlenir. Bu yaklaşım diğer metotlara oranla zor ve karışık olduğundan, eleme işleminin yapılmadığı bir diğer metot uygulanmaktadır. Bu metotta, granülometri, sürekli tip plantlerde olduğu gibi soğuk besleme ünitesinde kontrol edilmektedir. Agregâ ve kullanılmış karışım, elenmeden, kuledeki tek bir bunkerde stoklanır. Buradan tartım kovalasına alınır ve bağlayıcı ile karıştırılmak üzere miksera yönlendirilir.

İlk metottaki zorluklar ve zaman kaybı nedeniyle genelde ikinci metot kullanılmaktadır. Fakat bu metotta da soğuk bunkerlerin her birinde oranlama kontrolleri, malzemeleri sepetli elevatöre besleyen konveyörlerde hız kontrolleri ve tartım bantları bulunmalıdır. Bu ekipmanlar, standart sürekli tip plantin ekipmanları ile aynıdır. Malzemenin elevatörle kuleye çıkartılma süresi kısa olduğundan ve kullanılmış karışımın, üretime katılmadan önce nemden arınmış olması gerektiğinden ötürü bu metotta kullanılan geri dönüştürülecek karışım miktarı % 20'yi geçmemektedir.

4.2.4 Kullanılmış karışımın kurutucuya eklenmesi

Bu yaklaşım, sepetli elevatör tekniği ile aynı sayılabilir. Fakat ek olarak, kullanılmış malzeme, kurutucunun yanma bölgesine boşaltılır ve ısı transferi bu bölgede başlar. Buhar, kurutucu içinde açığa çıkar. Bu sayede aşırı sıcak agregâ ile kullanılmış karışım kurutucu içinde karışarak elevatöre yüklenir. Karışım, ısı transferi için kurutucu içinde daha uzun bir süre kaldığından %25-%35 civarı kullanılmış malzeme kullanılabilir. İşlemin devamı, sepetli elevatör tekniği ile aynı ilerler.

4.3 Sürekli Tip Plentlerde Geri Dönüşüm

Kullanılmış bitümlü sıcak karışımın, sürekli tip bir plentte geri dönüştürülme metodu, ağırlıklı tip plentten çok daha farklıdır. Kullanılmış malzeme, herhangi bir ek işleme tabi tutulmadan, sıcak agrega ve bitümle karıştırılmak için kurutucu/miksere boşaltılır. Kullanılmış malzemenin giriş ağzı, alevden olabildiğince uzak tutulmalıdır. Kullanılmış karışım, sıcak agrega ile karşılaştığında, karışım içindeki buhar dışarıya çıkar. Buhar miktarı, karışım içindeki nem miktarına bağlıdır. Geri dönüştürülmüş karışımın kalitesi, kullanılan malzemelerin kalitesine ve uygulanan metoda bağlıdır.

Paralel akımlı kurutucu/mikserlerde, kullanılmış karışım, tamburun orta kısmına üstteki bir ağızdan boşaltılır. Karşıt akımlı kurutucu/mikserlerde ise, brülörün hemen önünde, üstteki bir ağızdan boşaltılır.

Kaplama ünitesi olan bir paralel akımlı kurutucu, kullanılmış malzemeyi paralel akımlı kurutucu/mikserle aynı şekilde alır. Kaplama ünitesi olan, karşıt akımlı bir kurutucuda ise malzeme, kaplama ünitesinin girişine boşaltılır.

Çift kademeli tamburlarda, malzeme, dış tamburun brülöre en yakın kısmından alınır. Kullanılmış karışım, dış tambura bağlayıcıdan önce verilir, bu sayede malzemenin ısıtılmış agregadan ve iç tamburdan yeterince ısı alması sağlanmış olur. Üç kademeli tamburda, malzeme, üstteki bir ağızdan birinci ve ikinci bölge arasına boşaltılır. İlk olarak ısıtılmış agrega ile karıştırılır, ikinci bölgeden geçer ve üçüncü bölgede bağlayıcı eklenir. Çift tamburlu plentlerde, kullanılmış malzeme, tamburlu miksere boşaltılır. Tamburlu mikserde agreganın girdiği, bitümün ilave edildiği giriş kısmına boşaltılır.

4.4 Asfalt Geri Dönüşüm Plentlerine Ratech Teknolojisi

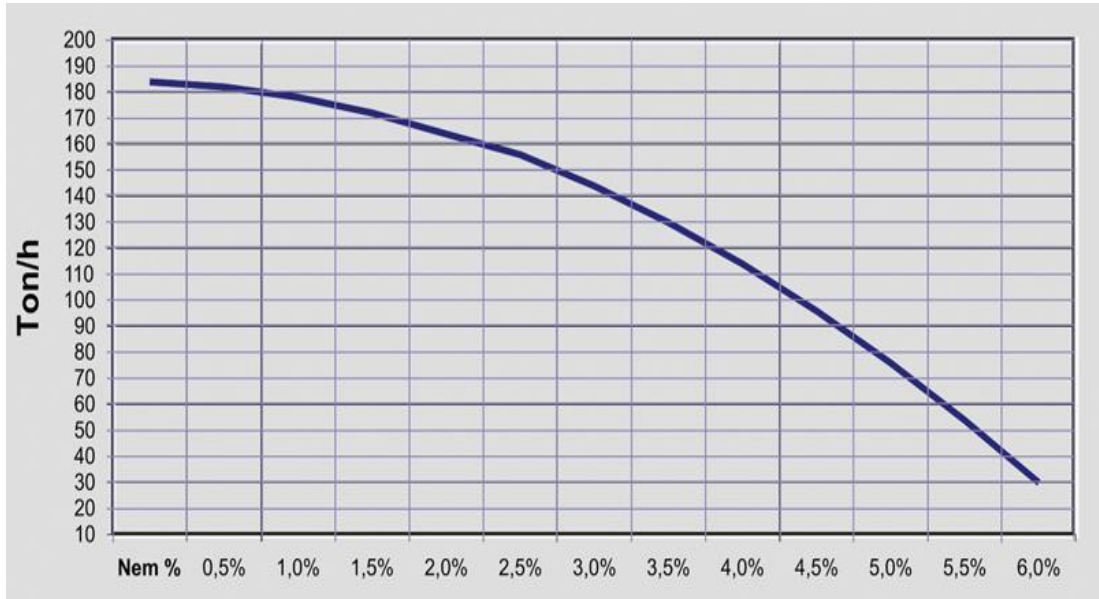
Bu teknoloji ile birlikte;

Asfalt Plentinden Bağımsız olarak; Rap(Recycled Asphalt Pavement) + ilave agrega + ilave bitüm + anti aging alarak kendi mikserinde karıştırarak bitümlü temel için % 100 asfalt üretim yapabilmektedir. (Şekil 4.24)

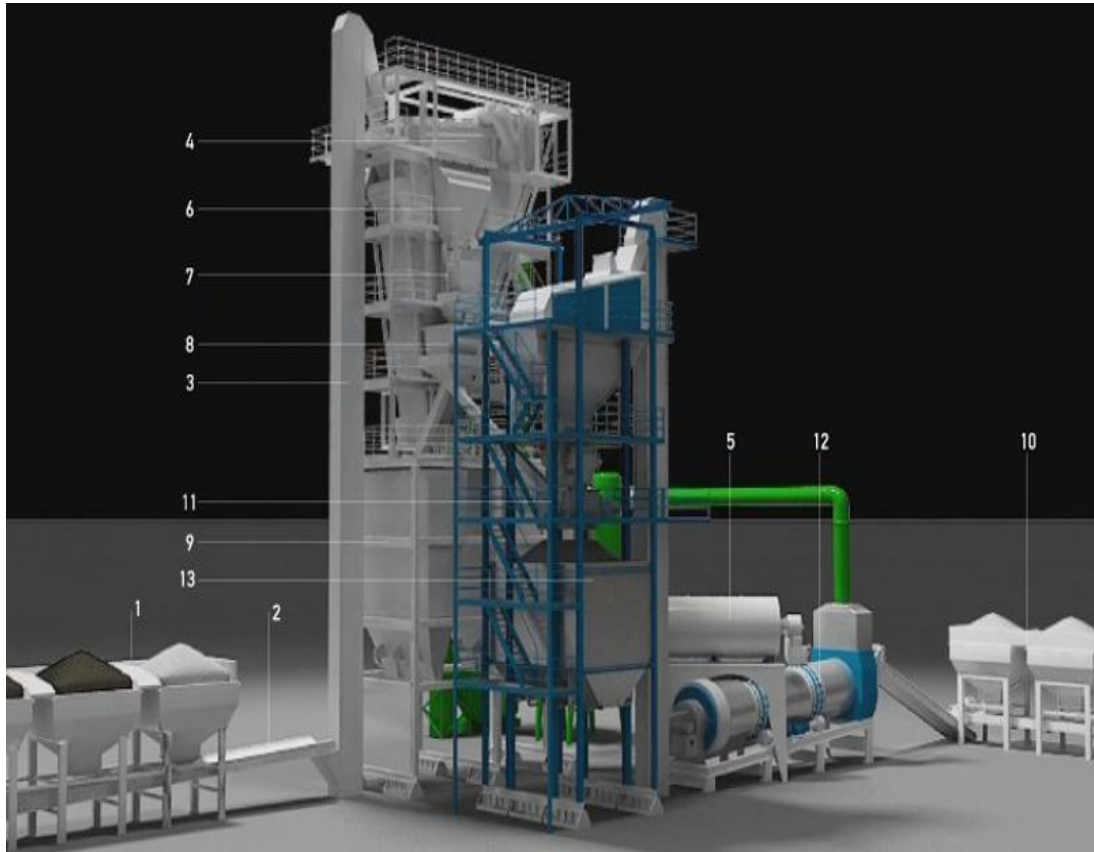
Asfalt Plenti ile birlikte;

* % 70'e kadar RAP malzemesi kullanmak suretiyle binder tabakası

* % 50'ye kadar RAP malzemesi kullanmak suretiyle aşınma tabakası



Şekil 4.24 Ratech kapasite değişim tablosu (Nem oranına göre) [12]

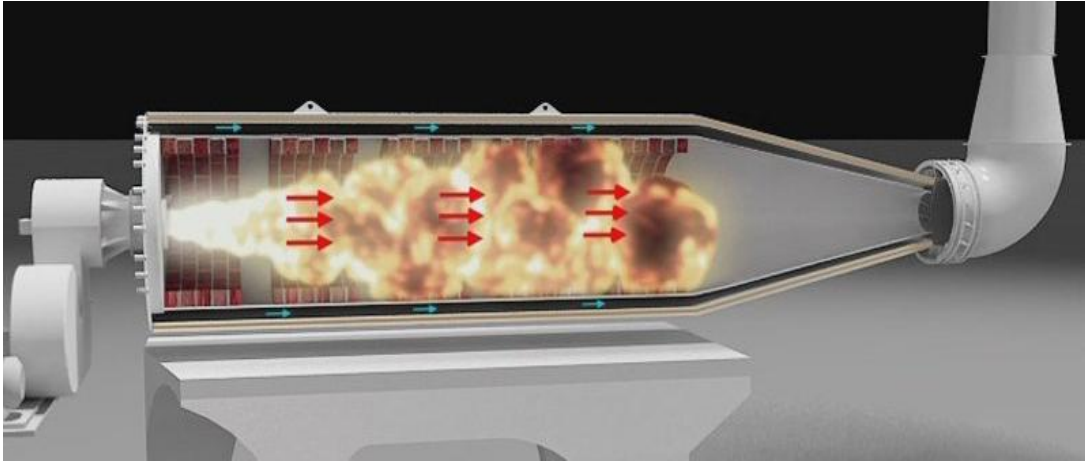


Şekil 4.25 Ratech bitümlü karışım geri dönüşüm plantı [12]

Şekil 4.25'teki numaralar aşağıdaki sırayla plant bölümlerini göstermektedir.

1. Ratech Soğuk Agrega ve RAP Siloları
2. Besleme Konveyörü
3. Dik Elevatör
4. Paletli Üçgen Kurutucu

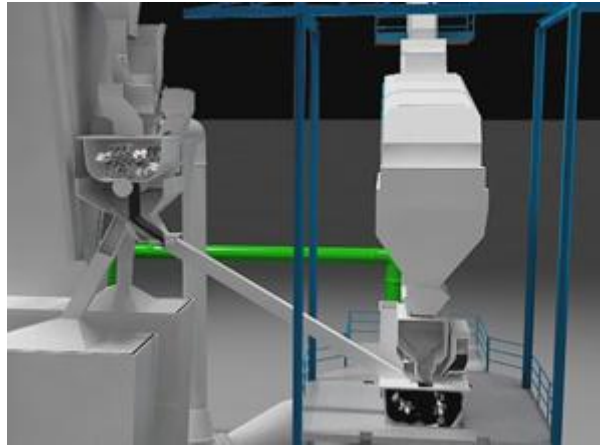
5. Sıcak Hava Jeneratörü
6. Sıcak RAP Deposu
7. RAP Kantarı
8. RATEch Mikseri
9. RATEch Hazır Asfalt Bunkeri
10. Asfalt Plenti Soğuk Agrega Siloları
11. Asfalt Plenti Mikseri
12. Asfalt Plenti Kurutucusu (Şekil 4.8)
13. Asfalt Plenti Hazır Asfalt Bunkeri (Şekil4.7)



Şekil 4.26 RAP malzemesinin düşük sıcaklıklarda ısıtılması [12]

Neden RATEch?

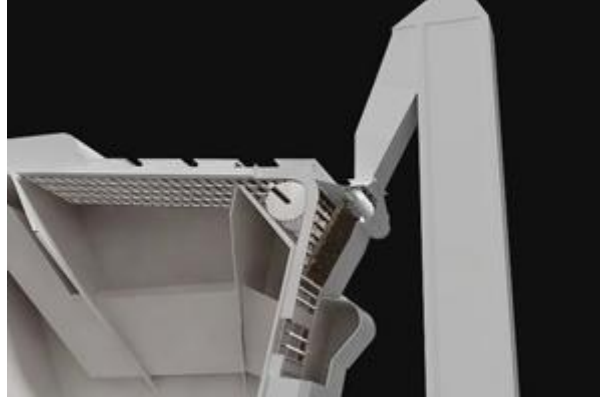
RATEch bitümlü temel çalışmalarını agrega, bitüm ve anti-aging'i RAP malzemesine katarak asfalt plentine ihtiyaç duymadan yapabilmektedir. Böylece asfalt plentinin kapasitesine RATEch kapasitesi eklenir ve tesisin kapasitesi %100 artar. Kantar sistemi ile tartılarak karışıma ilave edilmesi sağlanmıştır. (Şekil 4.25)



Şekil 4.27 RAP mikseri

Kendi özel mikseri ile bitümlü temel için 45 sn. karışım yapma, mikser üzerindeki bitüm kantarı ile ilave bitüm ekleme, toz veya katı anti-aging katkı dozajlamasını sağlama imkanı vardır (Şekil 4.27).

RATech sisteminde yapışmayı önlemek için ısıtılacak RAP malzemesini sabit zeminler üzerinde taşıyıcı paletlerle sürükleyerek kurutulması sağlandığı için malzemenin cidarlara yapışması önlenmiştir (Şekil 4.28).



Şekil 4.28 Taşıyıcı paletler [12]

Binder ve aşınma tabakalarına asfalt üretmek için RAP malzemesini RATech mikserinde ilave 45sn. daha karıştırma ve anti aging ile dozajlama imkanı sağlar. Böylece 45sn'lik ağırlık tipi süresi içerisinde (45+25sn.) toplam 70sn. karışım imkanı sağlar [12].

Bu sistemde de ısıtılmış malzemenin akışı yukarıdan aşağıyadır, ısıtılmış RAP malzemesi içinde ısıtma sistemi olan bir depoya konulduğu için soğuması önlenmiştir. (Şekil 4.29)



Şekil 4.29 RAP akışı[12]

Dik elevatör soğuk RAP malzemesi taşıdığı için yapışma olmaz. Sıkışmaları önlemek için tahliye kapağı mevcuttur. (Şekil 4.30)

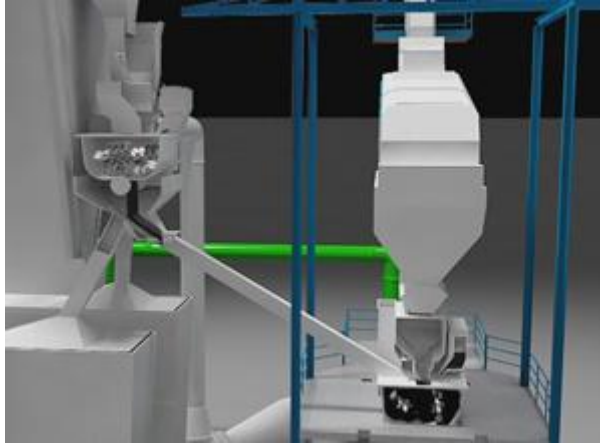


Şekil 4.30 Tahliye kapağı [12]

Binder temel üretimi

Binder ve aşınma üretiminde, RATEch'te ısıtılan malzeme bir kantar vasıtası ile tartılarak RATEch mikserinden geçerek asfalt plentin (Şekil 4.31) mikserine yönlendirilmektedir.

Laboratuarda daha önce belirlenen reçeteye göre tartılan RAP malzemesi asfalt plentin mikserinde diğer malzemelerle belirli bir süre karıştırıldıktan sonra asfalt plentin hazır asfalt bunkerine boşaltılmaktadır[12].



Şekil 4.31 Binder ve aşınma üretimi [12]

5. BİTÜMLÜ KARIŞIMLARIN GERİ DÖNÜŞÜM YÖNTEMLERİ

Sınıflandırma ve tanımlar

Geri dönüşüm, ilk amacına hizmet etmiş olan malzemelerin, çoğunlukla bazı işlemlerden geçirilerek yeniden kullanılmasıdır. Asfalt kaplamaların geri dönüşümünde, tüm normal şartname gerekliliklerini sağlayacak bitümlü karışımları oluşturmak için, kullanılmış kaplamalardan edinilen malzemeler, bir takım yeni malzemelerle karıştırılırlar. Geri kazanılmış bu karışımlar; eski malzemelerin geldiği yol tabanlarına yerleştirilebildiği gibi, bitümlü sıcak karışımlara gerek duyulan başka yerlerde de kullanılabilirler. Geçmiş yıllar öncesine dayanan bir teknik olan asfalt geri dönüşümü, artan ekonomik ve çevresel gereksinimlerle, birçok teknolojik gelişim kazanmıştır [4].

Geri dönüşüm yöntemleri esas olarak yolda geri dönüşüm ve plentte geri dönüşüm başlığında iki farklı şekilde uygulanmakla beraber, Asfalt geri dönüşüm ve rehabilitasyon birliği (ARRA) beş farklı geri dönüşüm tekniği tanımlamaktadır: Soğuk Düzeltme (Cold Planing), Sıcak Geri Dönüşüm(Hot Recycling), Sıcak Yerinde Geri Dönüşüm (Hot In-Place Recycling), Soğuk Geri Dönüşüm(Cold Recycling), Tam Derinlikli Geri Dönüşüm (Full Depth Reclamation) [14].

Kaplamanın iyileştirilmesi esnasında ısı kullanılıp kullanılmamasına göre, sıcak geri dönüşüm ve soğuk geri dönüşüm olarak da iki ana başlıktan söz edilebilir. Bunlar da kendi içlerinde plentte ve yerinde olmak üzere iki türde uygulanabilmektedir. Eski kaplamanın, söküldüğü inşaat sahasından uzak merkezi bir plentte iyileştirilmesine plentte geri dönüşüm, koşullar uygun olduğunda kaplamanın yerinde iyileştirilmesine ise yerinde geri dönüşüm adı verilir.

Sınıflandırma sistemi Şekil 5.1'de şematik olarak gösterilmiştir.

Kaldırılan kaplamanın derinliğine bağlı olarak sınıflandırmaya katılan; yüzeysel geri dönüşüm ve tam derinlikli geri dönüşüm olmak üzere iki ana başlık daha bulunmaktadır. Kaplamanın üst tabakaları aşındığında, bu üst tabakaların kaldırılıp yeniden serilmesi yöntemi, yüzeysel geri dönüşüm olarak bilinir.

Ancak aşınma ve bozulmalar taban tabakalarına kadar inmişse, tabanın üzerinde bulunan tüm tabakalar kaldırılıp tekrar serilir. Bu işleme de, tam derinlikli geri dönüşüm adı verilmektedir [18].

GERİ DÖNÜŞÜM YÖNTEMLERİ	Soğuk Düzeltme	
	Sıcak Geri Dönüşüm	
	Sıcak Yerde Geri Dönüşüm	
	Soğuk Geri Dönüşüm	Soğuk Yerde Geri Dönüşüm
		Soğuk Plentte Geri Dönüşüm
	Tam Derinlikli Geri Dönüşüm	

Şekil 5.1 Geri dönüşüm yöntemlerinin sınıflandırılması

Geri dönüştürülmüş asfalt kaplama malzemesi (RAP), kaplama, temel ve alttemel tabakalarının her birinde kullanılabilmektedir. Yoldaki trafik yoğunluğu kullanılacak işlemi seçmede etkili bir faktördür. Örneğin sıcak uygulama, yüksek trafik hacimli yollarda kullanılabilirken soğuk karışım, daha çok orta ve düşük trafik yoğunluğu olan yollarda tercih edilir [19].

5.1 Geri Dönüşüm Türleri

5.1.1 Soğuk düzeltme (Cold planing)

Soğuk düzeltme mevcut kaplamanın istenilen derinlik, boykesit ve enine eğimde kontrollü olarak olduğu yerden kaldırılmasıdır. Bu işlem sonucunda ortaya çıkan yüzey dokusu; işlem biter bitmez yolun trafiğe açılmasına imkan verebildiği gibi, diğer asfalt geri dönüşüm yöntemlerinden biriyle müdahale edilebilmesine ya da mevcut tabaka kaldırıldıktan sonra temizlenip asfalt tabakalarının birbirine daha iyi yapışmasını sağlayan tack coat tabakası atıldıktan sonra standart sıcak karışım asfalt kaplama veya geri dönüşümlü asfalt tabakasıyla kaplanmasına izin verecek şekilde üç farklı çözüm yöntemi sunar.

Bunların dışında soğuk düzeltme (cold planing) işlemi yolun kayganlığını azaltmak amacıyla ve yolun pürüzlülüğünü ve dolayısıyla sürtünmesini arttırmak amacıyla da uygulanabilir.

Şekil 5.2 'de görülen yol yüzeyleri bu amaçla yapılan uygulamalara örnek olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.2 Soğuk düzeltme işleminden geçmiş yol yüzeyi örnekleri [17]

Soğuk düzeltme işleminde kullanılan kazıma makineleri kaplama yüzeyini istenen derinlikte ve enine eğimde kesebilen kendinden yürür ekipmanlardır. İşlem sırasında gerek makinede kullanılan parçaların olası yıpranma paylarını azaltmak, dolayısıyla servis ömrünü uzatmak, gerekse işlem sırasında ortaya çıkacak tozu kontrol edebilmek amacıyla su kullanılır. Gereken su, kesici uçların bulunduğu bölgeye çok sayıda enjektör aracılığıyla iletilmektedir.

Son yıllarda üretilen tüm kazıma makinelerinde otomatik eğim kontrolü seçeneğiyle istenilen yüksekte ve eğimde kazı yapmak çok kolay bir işleme dönüşmüştür. Uygulamalarda yolun bozulma derecesine göre en üstteki tabaka ya da tabakalar kaldırıldığı gibi tüm bitümlü tabakalarında kazınarak yolun temel seviyesinde ulaşabilmektedir. (Şekil 5.2)

Soğuk düzeltme (Cold Planing) işlemi sırasında kazıyıcı (milling machine) tarafından yoldan sökülen asfalt kaplama malzemesi konveyörler aracılığıyla direkt olarak kamyonlara yüklenerek sahadan uzaklaştırılır. (Şekil 5.3)



Şekil 5.3 Soğuk düzeltme ve kazınan malzemenin nakliyesi [17]

Geri dönüştürülecek olan malzeme (RAP) pek çok yerde değişik amaçlarla kullanılabilir; bu çalışmanın konusu olan geri dönüşüm işlemlerinden soğuk plentte geri dönüşüm (CCPR) veya sıcak geri dönüşüm aşamalarından geçirilip yeni yapılacak asfalt karışımlarına katılabileceği gibi yol inşaatında temel gövdesini oluşturmada, hendek kaplamalarında, yol tamir işlerinde veya direkt olarak stabilize yol yapımında kullanılabilir.

Soğuk düzeltme (CP) işleminin avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Sürüş konforunu çok olumsuz etkileyen tekerlek izlerinin, bozulmuş kaplama yüzeylerinin ve /veya okside olmuş asfaltın kaldırılması.
- Boyuna profil ve enine eğimlerin istenildiği gibi düzenlenmesi.
- İsteniyorsa yolun yüzeysel drenajının yeniden modellenmesi.
- İleriye yönelik olarak yolun yeniden yapımı ya da banket genişletilmesi gibi projelerin daha rahat uygulanabilmesi için yolun mevcut asfalt tabakalarının kaldırılması.
- Yama ya da tamir işlerinde çatlaklı ya da bozuk kesimlerin sağlıklı şekilde kaldırılarak ön hazırlık yapılması.
- Sürtünmenin artırılması.
- Daha sonra istenirse yapılacak ilave geri dönüşüm yöntemleri için zeminin hazır hale getirilmesi.
- Diğer yeniden yapım yöntemlerine göre daha az enerji tüketimi.
- Kamuyu daha az rahatsız edip daha verimli çalışma[14].

5.1.2 Sıcak geri dönüşüm

Sıcak geri dönüşüm işlemi; geri dönüştürülecek kullanılmış asfalt kaplama malzemesinin asfalt plentlerinde yeni agrega ve yeni bitüm malzemesiyle karıştırılarak geri dönüşümlü karışım oluşturulması şeklinde tanımlanabilir. Sıcak geri dönüşüm sırasında geri dönüştürülecek asfalt kaplama malzemesi ısı transferi yöntemi kullanılarak yumuşatılır ve sıcak karışımın diğer elemanları olan yeni agrega ve bitümle karışıma girer. Sıcak geri dönüşüm uygulaması için sürekli veya ağırlık tipi asfalt plentlerinin bu amaçla baştan tasarlanmış olması ya da sonradan modifiye edilmiş olması gerekmektedir.

Sıcak karışım asfalt üretiminde sıcak karışım geri dönüşüm yöntemi kullanımı, enerji tasarrufu sağlamak, doğal agrega kaynaklarının tükenmesine engel olmak ve ekonomik yararlar sağlamak gibi nedenlerle gündeme gelmiştir [4].

Bu işlemin yerinde yapılan geri dönüşümden farkı ısıtma işleminin plentte yapılmasıdır. Mevcut kaplamadan kazınan ve daha sonra kullanılmak üzere depolanan malzeme, ağırlıklı tip ya da sürekli tip sıcak asfalt plentinde işlem görür. Geri dönüştürülen malzeme, bu uygulamada kullanılan çeşitli yöntemlerle, çevreye fazla miktarda duman ve zararlı emisyon yaymadan ısıtılabilir. Sıcak karışım geri dönüştürme işlemi için yapılan çeşitli laboratuvar deneyleri, bu yöntemle elde edilen karışımın, yeni malzeme kullanılarak hazırlanan bitümlü karışımlarla aynı performans düzeyinde olabildiğini göstermektedir [2].

Asfalt kaplamaların geri dönüşümü uygulamalarında sıcak geri dönüşüm yöntemi (hot recycling) bazı ülkelerde en fazla tercih edilen yöntemdir. Amerika Birleşik Devletleri'nde Devlet Karayolları Kurumunca yılda 50.000.000 tonun üzerinde geri dönüştürülmek istenen malzeme (RAP) üretilmekte ya da ortaya çıkmaktadır. Bu malzemenin % 33'ü sıcak geri dönüşüm yöntemiyle yeniden kullanılırken % 47'si diğer geri dönüşüm yöntemi yeterince kullanılmakta ve %20'den az bir bölümünde atıl kalmaktadır [14].

Birçok ülkede sıcak geri dönüşüm uygulamasında kullanılan geri dönüştürülecek asfalt kaplama (RAP) yüzdesi farklı değerlerde karışınla katılmaktadır. Birçok farklı kurumun yaptığı incelemeler ve teknolojidaki gelişmelerle geri dönüştürülecek malzemenin sıcak geri dönüşümdeki karışım yüzdesinin arttırılması ve yolun sadece bitümlü temel ya da binder değil son kat olan aşınma tabakasında da kullanılabilmesi konusunda ilerlemeler sağlanmıştır.

İşlem sırasında kullanılan geri dönüştürülecek asfalt kaplama malzemesi (RAP) değişik yöntemlerle üretilmektedir. Mevcut asfalt kaplama loader, ripperli dozer, ekskavatör gibi farklı iş makineleriyle kazılabileceği gibi bu işlem için en sağlıklı yöntem özel olarak bu işlem için üretilen asfalt kazıma makinelerinin kullanılarak yapıldığı soğuk düzeltme yöntemidir. Özellikle büyük ölçekli, prestijli projelerin tamamına yakınında asfalt kazıma makineleri ile soğuk düzeltme işlemi yapılmaktadır.

Sıcak geri dönüşüm yönteminde; geri dönüştürülecek malzeme (RAP) ile karışıma girecek olan yeni agrega arasında ısı transferi yaşanacağından geri dönüştürülecek malzemenin (RAP) karışıma girmeden önceki rutubet değerinin minimumda kalacak şekilde hazırlıklı olunması önemlidir. Fazla olan rutubet karışıma girecek olan yeni agreganın rutubetini de arttıracığından yumuşatma işlemi için kullanılması gereken ısı enerjisi agrega karışımının kurutulmasına harcanacak ve dolayısıyla plant üretim kapasitesini olumsuz etkileyecektir.

Sıcak geri dönüşüm aşamasından geçen karışımın, standart bitümlü sıcak karışımdan (BSK) taşıma, serme ve sıkıştırma aşamalarında bir farkı olmadığı gibi yıllardır yapılan performans gözlemleri sonucunda kalite ve dayanım özellikleri açısından da farkı bulunmamaktadır [14].

Sıcak karışım işlemini uygulandığı iki tip plantten biri olan ağırlıklı tip plantlerde yapılan geri dönüştürme işleminde, işlenmemiş yeni agreganın yüksek sıcaklıklarda ısıtılmasının ardından geri dönüştürülecek eski kaplama malzemesi kurutucudan hemen sonra ya da doğrudan miksera eklenir. Yöntem, duman ve emisyon sorununu çözmede başarı sağlamış olsa da, agreganın bu sıcaklıklara ulaştırılması çok uzun zaman gerektirdiğinden plantten maksimum verim almak olanaksız hale gelmektedir. Bu yöntemdeki karıştırma esnasında ısı transferi oluşmakta ve bu ısı transferinin uygun derecede olmasını sağlamak için, her bir harmandan ancak %25-40 arasında geri dönüştürülmüş malzeme üretilmektedir. Ağırlıklı tip plantlerin geri dönüşüm işlemi için kullanılmasının doğurduğu başka dezavantajlar ise; yüksek ısıtma maliyetleri ve toz kolektörleri ile karıştırıcıda, yüksek imalat sıcaklıkları sebebiyle meydana gelen yıpranma ve aşınmanın hızlı olmasıdır [2].

İkinci tip plant olan sürekli tip plantte ise bu işlem, geri dönüştürülen eski kaplama malzemesinin mikser/kurutucuya eklenmesinden ibarettir.

Sürekli tip plantler kullanılarak yapılan ilk çalışmalarda, yüksek sıcaklıkta bitümün buharlaşması sonucu duman oluşmuş ve mevcut emisyon kontrol ekipmanları ile tutulamayacak kadar küçük çaptaki partiküllerden oluşan yoğunlaşmış malzeme, bacadan kaçarak zararlı emisyon meydana getirmiştir. Buharlaşma derecesi 450°C dolaylarında olan bitümün konulduğu mikser/kurutucu içindeki gaz sıcaklıkları 2000°C ye çıkabileceğinden, geri dönüştürülen malzemenin ilavesinin dikkatli şekilde kontrolü yapılmalıdır. Aynı zamanda, emisyon oluşumunda yasalarla belirlenmiş olan sınırları aşmadan, %60 dolaylarında geri dönüşmüş malzeme verebilecek şekilde tasarlanan plantler mevcuttur. Burada geri dönüşümlü malzemenin giriş noktası, silindirin yaklaşık olarak yansına karşılık gelmekte olup, silindir içerisindeki bölümlerde, agrega ve geri dönüşmüş malzemenin, bitüm ve fillerin ilave edilmesinden önce, homojen olarak karışmasını sağlayacak şekilde modifiye edilmiştir. Bunun yanı sıra, yeniden tasarlanan kademeler, geri dönüşümlü malzemeleri ısıtma ünitesinden kaynaklanan yoğun ısıya karşı da korumaktadır [2].

5.1.3 Sıcak yerinde geri dönüşüm

Yerinde sıcak geri dönüşüm (HIR) uygulamasının önemli bir özelliği geri dönüştürülmek üzere olduğu yerden kazılan mevcut asfalt kaplamasının % 100 'ünün işleme girmesidir. Uygulamanın ilk yıllarında tipik iyileştirme derinliği 20-50 mm arasında değişmekle birlikte bu kazıma ve geri dönüştürme derinliği günümüzde geliştirilen özel ekipmanlarla 75 mm ye kadar çıkabilmektedir.

Sıcak yerinde geri dönüşüm yönteminde mevcut asfalt kaplama ısıtma düzeneği kullanılarak yumuşatılır. Isıyla işlenebilir ve kolay müdahale edilebilir hale getirilen asfalt kaplama tabakası; kazıma ve agrega tanelerinin kaplama tabakasından ayrışması işlemlerinden geçirilir. Kazılan ve gevşek hale geçen asfalt kaplama çok iyi biçimde harmanlanıp homojen bir karışım oluşturularak yeni karışımın tekrar yola serilmesi ve sıkıştırılması işlemleri gerçekleştirilir. Zaman kaybı olmadan birbirini takip eden bu aşamalar sırasında gerek duyulduğu takdirde karışıma yeni agrega, yeni bitüm, katkı malzemeleri ve/veya yeni bitümlü sıcak karışım ilavesi yapılabilir.

Genelde yeni agrega ya da yeni bitümlü sıcak karışımın ana karışıma eklenme oranları ana karışımın ağırlıkça % 30 'unun altında kalır. Katkı oranları mevcut asfalt kaplamanın laboratuvar ortamında belirlenen özellikleri ve yeni karışımda hedeflenen tasarım kriterleri göz önüne alınarak belirlenir [14].

Bu işlemin yerinde yapılması daha az zaman aldığından, trafikte oluşacak aksamalar ve malzeme taşınmasına gerek kalmadığından, taşıma maliyetleri azalmaktadır. Ancak bu işlemin yapılmasında kullanılan ekipmanlar hayli büyük olduğundan, çalışma alanını oluşturmak için yolda şerit kısıtlamasına gitmek gerekmektedir. Şehir içinde uygulanan yerinde geri dönüşümlerde bu unsuru göz önünde bulundurmakta fayda vardır [18].

Sıcak yerinde geri dönüşüm yöntemi 3 alt başlıkta incelenebilir;

- Yüzeysel Geri Dönüşüm (Surface Recycling)
- Yeniden Karıştırma (Remixing)
- Yeniden Kaplama (Repaving) Yüzeysel Geri Dönüşüm

Yüzeysel Geri Dönüşüm en eski sıcak yerinde geri dönüşüm yöntemidir. Isıtılarak yumuşatılan mevcut asfalt kaplama kazınarak gevşek hale getirilir daha sonra gerekiyorsa katkı malzemesi ilave edilir. Gevşek halde bulunan geri dönüştürülecek karışım iyice karıştırıldıktan sonra standart asfalt serim ekipmanıyla yerine yerleştirilir. Serilen malzemenin sıkıştırma işlemi geleneksel lastik tekerlekli, düz çelik bandajlı ve/veya vibrasyonlu çelik bandajlı silindirler yardımıyla gerçekleştirilir.

Yüzeysel geri dönüşüm yönteminde yeni bitümlü sıcak karışım veya yeni agrega işleme girmez. Dolayısıyla kaplamanın işlem sonundaki kalınlığı aynı kalır. Yüzeysel geri dönüşüm yöntemi çoğunlukla yeni yapılacak bitümlü sıcak karışım kaplama tabakasının alt yüzeyini oluşturmak için kullanılan bir yöntemdir. BSK kaplama tabakası (aşınma) yerine chipping (chip seal) adı verilen bitümlü emülsiyon malzemenin ince film halinde yol yüzeyine püskürtüldükten sonra maksimum tane çapı 10-12 mm arasında ince taneli agregaların serpiştirilmesi de kullanılan bir yöntemdir.

Düşük trafik hacimli yollarda yüzeysel geri dönüşüm yönteminden sonra herhangi bir sıcak karışım kaplama ya da chipping uygulamasına gerek kalmadan karışımın yeterli sıkışma yüzdesine erişmesi sağlandıktan sonra ilgili yol kesimi trafiğe açılabilir [14].

Sıcak yerinde geri dönüşüm yönteminde önemli bir bölüm, mevcut bozuşmuş kaplamanın ısıtılarak yumuşatılması ve kazıma, karıştırma işlemlerine hazır hale getirilmesidir. Bu amaçla kullanılan ekipmanlarda dizel yakıtlı yanma kabinde bulunan hava; 700°C ye kadar ısıtılır.

Özel olarak dizayn edilmiş boru sistemiyle mevcut asfalt kaplamaya püskürtülerek geri dönüştürülecek kaplamanın yumuşamasını sağlar.



Şekil 5.4 Yerinde Sıcak Geri Dönüşüm işlemi

Yol ve hava şartlarına bağlı olarak sıcak yerinde geri dönüşüm yöntemiyle 8 saatlik bir çalışma gününde ortalama 2-3 km. ye kadar bir yol şeridinin kaplama işi tamamlanabilmektedir (Şekil 5.4).

Yeniden karıştırma

Yeniden karıştırma yöntemi mevcut kaplamanın ciddi iyileştirme, yenileme gerektirdiği durumlarda uygulanır. Bu yöntemde yüzeysel geri dönüşüm yönteminden farklı olarak ısıtılarak yumuşatılan ve kazınan kaplamaya yeni agrega, yeni bitüm, katkı malzemesi ve/veya yeni bitümlü sıcak karışım malzemesi ilavesi yapılır.

Genel uygulamada yeniden karıştırma işleminden geçirilen ve tekrar serilip sıkıştırılan yol aşınma tabakası olarak kullanılır. Bunun yanında chipping veya yeni bitümlü sıcak karışım kaplamasının ayrıca uygulandığı örnekler de görülmektedir [14].

Yeniden karıştırma yöntemi kendi içinde iki alt bölümde incelenebilir;

- Tek aşamalı yöntem
- Çok aşamalı yöntem

Tek aşamalı yöntemde mevcut asfalt tabakası sırasıyla ısıtma ve yumuşatma işlemlerinden geçirilip 25-50 mm arasında değişen iyileştirilmesi hedeflenen tabaka tek seferde yerinden kazınıp karıştırılarak serme ve sıkıştırma işlemlerinden geçirilir. Çok aşamalı yöntemde ise iyileştirilmesi hedeflenen mevcut kaplama aynı şekilde ısıtma ve yumuşatma işlemlerinden geçirildikten sonra ince, tabakalar halinde kazılarak istenen derinliğe inilir. Genellikle 2 ile 4 tabakaya kadar kazıma işlemi gerçekleştirildikten sonra daha aşağıdaki tabakaların ısıtma-yumuşatma-kazıma aşamalarından geçerken rahat çalışılabilmesi için ilk tabakalardan ortaya çıkan kazınmış malzeme ortada kümelenir (Şekil 5.5). Çok aşamalı yöntemde genelde hedeflenen kalınlık 40-75 mm arasında değişmektedir.



Şekil 5.5 Yerinde sıcak geri dönüşüm uygulamalarından örnek[39]

Gerek tek aşamalı gerekse çok aşamalı yeniden karıştırma yönteminde mevcut kaplama malzemesinin karakteristik özelliklerini değiştirmek veya toplam asfalt kaplama kalınlığını arttırmak amacıyla işlem sırasında karışıma yeni agrega veya yeni bitümlü sıcak karışım ilavesi olabilmektedir. Her iki yöntemdede katılacak yeni malzeme oranı karışımın % 30 'unu geçmemektedir.

Yeniden kaplama

Yeniden kaplama yöntemi yüzeysel geri dönüşüm ve yeniden karıştırma yöntemlerinin birleştirilmesiyle yeni bitümlü sıcak karışım tabakasının serilmesinin eş zamanlı olarak yapılmasıyla meydana gelir. Yüzeysel geri dönüşüm veya yeniden karıştırma aşamasından geçen kaplama ve serilecek olan (BSK) birlikte sıkıştırılır.

Bu iki tabakanın birbiri ardına vakit kaybetmeden serilmesi ve eş zamanlı olarak sıkıştırılması sağlandığı takdirde yeni kaplama tabakasının kalınlığı standart uygulamalardan daha ince olabilir. Yeni serilecek bitümlü sıcak karışım tabakasının aşınma tabakası olarak davranacağı uygulamalarda, yüzeysel geri dönüşüm işleminden geçen tabaka düzeltme tabakası görevini yerine getirir.

Yeniden kaplama yöntemi de tek geçişli ve çok geçişli olarak ikiye ayrılabilir. Çok geçişli yöntemde; yüzeysel geri dönüşüm işleminden geçen tabaka kazıma makinesinin tablası ve kot ayarlama sistemiyle boyuna profil ve enine eğim ayarlamaları yapılarak ilk tabaka serimi tamamlanır. Sonrasında yeni bitümlü sıcak karışım standart asfalt sericiler aracılığıyla alttaki yüzeysel geri dönüşüm aşamasından geçmiş ve sıkıştırılmamış tabakanın üzerine serilir. İki tabaka eş zamanlı olarak lastik tekerlekli ve demir bandajlı titreşimli silindirler yardımıyla sıkıştırılır. Tek geçişli yöntemde ise iki parçalı bir ünite yardımıyla tüm işlemler yapılmaktadır. Bir taraftan ısıtılıp yumuşatılan asfalt tabakayı kazıyıp gerektiği miktarda gençleştirici katkıyı kazıdığı malzemeye harmanlarken, diğer parça yeni bitümlü sıcak karışımı bünyesine alır ve işlemde geçirilerek yeniden serilen geri dönüştürülmüş tabaka üzerine ikinci kat olan yeni bitümlü sıcak karışımın uygulanmasını sağlar. Sonraki aşamada diğer yöntemde olduğu gibi iki tabakanın aynı anda sıkıştırma işlemine başlanır [14].

Şekil 5.5’de sıcak yerinde geri dönüşüm uygulamalarının şehir merkezinde ve şehir dışında farklı ekipmanlarla uygulaması gösterilmiştir.

5.1.4 Soğuk geri dönüşüm

Soğuk Geri Dönüşüm (Cold Recycling) uygulamaları adından da anlaşılacağı üzere ısıtılma yapılmadan bozulmuş ya da iyileştirme istenen asfalt kaplamaların geri dönüştürülmesi işlemlerinin genel adıdır. Soğuk geri dönüşüm uygulamaları iki alt başlıkta toplanmaktadır;

- Soğuk Yerinde Geri Dönüşüm (Cold In-Place Recycling)
- Soğuk Plentte Geri Dönüşüm (Cold Central Plant Recycling)

Soğuk yerinde geri dönüşüm uygulamaları kamyon, asfalt kazıyıcı, kırma ve eleme üniteleri, karıştırıcı, serim makineleri ve silindir gibi çok sayıda ekipmanın birlikte kullanıldığı kombine sistemlerdir. Bu ekipmanların tıpkı sıcak yerinde geri dönüşüm yönteminde olduğu gibi uygulama gereği birbirine yakın mesafede seyretmesi gerekir.

Ekipmanların toplu halde olduğu görüntü de dikkate alınarak tüm bu makine ekipman topluluğu için tren tabiri kullanılmaktadır.

Soğuk yerinde geri dönüşüm; bozulmuş kaplama tabakasının, bazı durumlarda temel tabakasını da içine alacak derinlikte, yerinde veya kaldırılarak soğuk olarak karıştırılarak yeniden işlenmesidir. Oluşturulan soğuk karışım, temel tabakası olarak kullanılabildiği gibi, daha yüksek mukavemetli bir temel olması için, asfalt ve/veya diğer katkı maddeleri (kireç, çimento gibi) eklendiği uygulamalarda vardır. Genelde katkı malzemesiyle yapılan karışımlar, bir aşınma tabakası veya kaplama tabakası serilmesi gereken durumlarda uygulanmaktadır[22].

Soğuk geri dönüştürülmüş asfalt kaplamalı yollarda mühendislik gerekliliklerini karşılamak amacıyla, viskoziteyi düşürmek ve/veya penetrasyonu arttırmak için genellikle bitümlü bağlayıcıyı güçlendirmek ya da arttırmak önemlidir. Bu durum, emilsüfiye edilmiş ya da köpürtülmüş bitümden oluşan bir veya daha fazla maddenin eklenmesiyle gerçekleştirilir. Bir miktar ilave agrega da karışımın derecelenmesini ya da hava boşlukları içeriğini ayarlamak için eklenebilir.

Soğuk asfalt karışımlar, kaplama yüzeylerinin zemin ve zemin altı için kullanılabılırler. Her ne kadar soğuk karışım geri dönüşümü için herkesce kabul görmüş tasarım yöntemleri bulunmasa da, Asfalt Enstitüsünün önerdiği ve çoğu firmanın kullandığı yöntem Marshall karışım tasarım yönteminin bir varyasyonudur. Asfalt soğuk karışımı için herkes tarafından kabul edilmiş yapısal tabaka katsayı değeri yok iken, soğuk karışım asfaltın sıcak karışımın yapısal eşdeğeri olmadığı fakat kırma taş ya da çakıldan daha üstün olduğu kabul edilmektedir. Asfalt soğuk karışımının temel tabakalarında yapısal anlamda ve yolun dayanıklılık süresinin uzatılması açısından kaplama yüzeyi olarak kullanılması tavsiye edilmemektedir. Geri dönüştürülmüş soğuk karışımın yapısal dayanım kapasitesi, geleneksel soğuk karışım kaplama malzemesi ile eşit olarak düşünülebilir [23].

Şekil 5.6 ' da düşük trafik yoğunluğu olan bir yolda uygulanan yerinde soğuk geri dönüşüm uygulaması görülmektedir. Fotoğrafta da (Şekil 5.6) görüleceği üzere gidiş-gelişin birer şeritle sağlandığı bu tip 2x1 yollarda, trafik yoğunluğu düşük olsa dahi, yerinde geri dönüşüm uygulamaları sırasında trafik güvenliği açısından ek önlemler alınması, gerek uygulamanın sağlıklı yapılması gerekse akan trafiğin engellenmemesi açısından oldukça önemli bir konudur [24].



Şekil 5.6 Yerinde soğuk geri dönüşüm uygulaması [24]

Şekil 5.7’ de ilerleyen bölümde daha ayrıntılı inceleyeceğimiz plentte soğuk geri dönüşüm uygulaması görülmektedir.



Şekil 5.7 Plentte soğuk geri dönüşüm uygulaması [24]

5.1.4.1 Yerinde soğuk dönüşüm

Eski kaplama tabakasının, geleneksel yapım ekipmanları olan buldozer, greyder, vibratörlü sıkıştırıcı veya silindirler yardımıyla parçalanarak, temel veya alt temel tabakası ile beraber işlenmesiyle yeni bir temel tabakası oluşturma işlemi olan yerinde soğuk karışım yöntemi yeni olmayıp bilinen iyileştirme yöntemine (stabilizasyon) oldukça benzemektedir. Bağlayıcı olarak bitüm, çimento ve/veya kirecin kullanıldığı bu işlem ısı gerektirmemektedir [22].

Yerinde soğuk geri dönüştürme işleminde ilk olarak kazıyıcı kullanılarak kazınır. Kazınan malzeme gerekli dereceye kadar ezilerek ufalanır. Ardından gerekli miktarda soğuk agrega ve bağlayıcı eklenip sıkıştırılır ve havalanması için bırakılır.

İşlem sırasında, çimento, sönmemiş kireç, ince kül kullanılabilir. Soğuk karışım geri dönüşümü, kaplamada meydana gelen yüzey çatlakları gibi istenmeyen durumların düzeltilmesi için kullanılabilir. Yerinde uygulanan bir işlem olması nedeniyle taşıma maliyetleri önemli ölçüde düşüktür. Yapım sırasında hava durumundan kaynaklanan sorunlar, sıcak karışım işlemiyle kıyaslandığında neredeyse ihmal edilecek kadar azdır. Yerinde sıcak geri dönüşüme benzer şekilde, geri dönüşüm makineleri oldukça büyüktür, makinenin yönlendirilebilmesi için yeterli alan ayrılmalıdır. Ayrıca, şerit belirli bir süreliğine kapatılmalı ve yeni serilen yolun trafiğe açılması için özellikle bitüm emülsiyonun uygulandığı çalışmalarda emülsiyonun yol yüzeyine nüfuz etmesi için yeterli süre beklenmelidir. Derecelendirme kontrolünü, karıştırmayı ve geri dönüştürülen karışımın çalışabilirliğini büyük ölçüde etkilediği için rutubet yüzdesine (bitümlü emülsiyon kullanıldığında) çok önem verilmelidir [18].

Kazıyıcı ile 3-4" derinliğinde kazılarak uzaklaştırılan kaplama, ufalanarak hacim kazandırılıp bir katkı maddesiyle karıştırılır. Gerekli durumlarda geri dönüştürülecek mevcut kaplama malzemesinin (RAP) özelliklerini değiştirmek için kullanılmamış agrega eklenebilir. Malzeme, asfalt emülsiyonu veya geri dönüşüm katkısı eklendikten sonra serilip sıkıştırılır. Yine isteğe bağlı olarak serilen malzeme üzerine, yüzey kaplaması veya 1-3cm kalınlığında bitümlü sıcak karışım gibi bir tabaka eklenebilir.

Yerinde karışım yöntemleri kullanılarak soğuk karışımların üretilmesi maliyeti düşürür. Genellikle karışıma katılan agreganın tamamını asfaltla kaplamak mümkün olmamaktadır. Bunu sağlamak için, karıştırma işleminin çok iyi yapılması gerekmektedir. Seçilen karıştırma işlemi, kaplanmamış agrega taneciklerinin miktarını minimum seviyede tutmalıdır. Miktarlar ve karıştırma işleminin daha iyi kontrol edilebilmesi için sabit karıştırma ekipmanları kullanılabilir. Karıştırma işleminden önce agreganın ısıtılması ya da kurutulmasının gerekmediği bazı durumlar olabilir [4].

Yerinde soğuk karışım sürecine, kullanılmamış agrega eklenmesinin daha az boşluk kalmasını sağladığı ve bunun sonucu olarak da kabarmanın azaldığı ve stabilitenin arttığı görülmüştür. Karışım içinde bulunan geri dönüştürücü malzemenin (yeni asfalt ya da modifiye bitüm) kuru kullanılmış kaplama ağırlığının %2-3' üne karşılık gelen ideal aralıkta bulunmasının da, karışımın davranışına belirgin bir etkisi olmaktadır.

Yerinde soğuk karıştırma, genellikle sıkıntı yaratan ilk 100-150 mm derinlikteki kaplamaların rehabilitasyonunda kullanılmaktadır. Zayıf durumdaki bir kaplama kesitine uygulandığında, kesiti yapısal anlamda sağlam ve uygun hale getirebilmektedir [23].

Karıştırıcı ekipmanın cinsine göre, yerinde karıştırma işleminde 3 farklı yöntem uygulanabilmektedir. Bunlar:

- Greyderle karıştırma
- Döner karıştırma
- Mobil plant karıştırması

Greyderle karıştırma

Asfalt ve agregayı birlikte karıştıran çok bıçaklı ekipmanlar ya da greyderler kullanılarak gerçekleştirilen bu yöntemde, agregaya öncelikle; güneşe ve havaya maruz kalması için greyderle platforma serilerek, rutubet içeriği %3'e veya daha alt bir seviyeye düşüncüye kadar kurutulur. Daha sonra figüre malzeme yayılarak platformun yaklaşık olarak yansının üzerine eşit gelecek şekilde serilir.

Sonraki işlemde bitüm; distribütörle iki ya da üç kereden püskürtülerek uygulanır. Uygulamalar sonucunda, satıhta mümkün olduğunca az miktarda bitüm bırakmak ve serbest bitüm birikimi oluşmasını önlemek için asfalt ve agregaya kısmen karıştırılmalıdır. Agregaya parçacıkları kaplanıncaya kadar ve karışım homojen bir görünüm kazanıncaya kadar, karıştırılmış malzeme platform üzerinde greyderle ileri-geri işlenir.

Bıçağın pozisyonu, karıştırma işlemi için önemli bir unsurdur. Bıçağı, figüre malzemeyi tam olarak sıkıştırarak şekilde yerleştirmek gerekmektedir. Bunun yanı sıra, karıştırma işlemi sırasında figürenin içine fazla malzeme konulmaması ve figüreden dışarıya malzeme çıkmamasına dikkat edilmesi de gerekmektedir. Kazanın malzeme greyderle karıştırmaya hazır hale gelmiş durumda olmalı, iyileştirilecek ya da geri dönüştürülecek tüm kesim kazıldıktan sonra greyderle yolda karışım yapılarak serime geçilecek daha sonra sıkıştırma işlemi başlayacaktır[22].

Döner karıştırma

Kendi kendine hareket edebilen bir makinenin arkasına bağlanmış hareketli bir karıştırma kısmından oluşan döner karıştırma ekipmanı ile sıkıştırma, eski sıcak ya da soğuk karışım yüzeylerinin karışıma katılacağı, yerinde soğuk karışım geri dönüşümü için oldukça yararlıdır.

Mobil plant karıştırması

Mevcut asfaltı kazımak için asfalt kazıyıcı ünitesi, gereken durumlarda yeni agregaya ilave edebilmek amaçlı agregası silosu, bitüm deposu, karıştırıcı ünitesi ve titreşimli tablaya sahip serim ünitesinden oluşan mobil plantler; yol boyunca ilerlerken belirlenmiş oranda bitüm ve/veya diğer katkı malzemeleriyle kazınmış, elenmiş malzemeyi ve gerektiği takdirde yeni agregayı karıştırırlar. Ekipman içerisinde karıştırılan ve hazır hale gelen karışım, düzeneğin arka tarafından serilerek kalınlığı istenilen şekilde ayarlanabilir. Yerinde soğuk karışım yönteminde, oluşturulan karışımın serilmesi işlemi, karışımın yapıldığı aynı ekipmanlarla yapıldığı için uygulamanın tüm aşamalarını aynı anda kontrol etme ve gerektiğinde müdahale etme şansı vardır[4].

Yerinde soğuk karışım serildikten sonra kullanılan sıkıştırıcılar, ağır lastik tekerlekli ve demir bandajlı silindirlerden oluşurlar. [25] (Şekil 5.8)



Şekil 5.8 Soğuk yerinde geri dönüşüm uygulamasında silindiraj

5.1.4.2 Plentte soğuk dönüşüm

Plentte soğuk geri dönüşüm, yerinde geri dönüşümün olanaklı olmadığı ve gen dönüştürülmek üzere kazılmış asfalt kaplama stoğunun yeterli olduğu durumlarda uygulanabilir bir yöntemdir [25].

Plentte soğuk geri dönüşüm uygulaması, asfalt kaplamanın geri dönüşüm işleminin yapıldığı sabit soğuk karışım plantlerinde yapılır.

Plent, özel olarak bu iş için tasarım edilmiş olabileceği gibi Soğuk Yerde Karışım (CIR) makine katarından (tren) kazıma makinesinin çıkarılmasıyla da oluşturulabilir. Plentte soğuk geri dönüşüm uygulamasıyla elde edilen karışımın, üretimin hemen sonrasında yol yapımında kullanılabilme özelliğinin yanında; bakım işleri, yama yapılması gibi uygulamalar için sonradan kullanılmak üzere stok yapılarak saklanabilme seçeneği de vardır.

Kullanılacak olan geri dönüşümlü asfalt kaplama malzemesi, asfalt kazıyıcıların kullanıldığı soğuk düzeltme uygulaması veya asfalt kaplamanın bir şekilde kırılıp, yerinden sökülüp kırıcıda elenmesi şeklinde elde edilir ve plent sahasında stoklanır. Plentte soğuk geri dönüşüm uygulamasında katkı malzemesi olarak bitüm emülsiyonu ya da emülsiyon haldeki geri dönüşüm katkıları kullanılır. Kullanılacak olan katkı malzemesi tipi, sınıfı ve katkı oranı mevcut asfalt kaplama malzemesinin ve karışım tasarımının birlikte değerlendirilmesiyle belirlenir [14].

Karıştırma süresinin hassas bir şekilde kontrol edilmesi çok önemlidir, aşırı karıştırma uygulanması emülsiyon halindeki bitümün zamanından önce kırılmasına, az karıştırma ise agregaların yüzeyinin yetersiz kaplanmasına neden olacaktır[18]. Katkı malzemesi olarak kullanılabilecek malzemeler arasında portland çimentosu, asfalt emülsiyonları, su, sönmemiş kireç, uçucu kül, emülsiyon halinde bitüm gençleştiriciler sayılabilir[14].

Plentte soğuk geri dönüşüm uygulamasıyla elde edilen karışım sonradan kullanılmak üzere stok sahasına nakledileceği gibi, direkt yol inşaatında kullanılmak üzere kamyonlara yüklenip şantiye sahasına gönderilebilir. Plentten gelen karışım geleneksel bitümlü sıcak karışım malzemenin seliminin yapıldığı asfalt sericilerle(finişer) serilebileceği gibi deneyimli bir operatörün kullanacağı greyder aracılığıyla da serilebilir. Operatörün deneyimi malzemenin harmanlanması, homojen bir yapıda kalması açısından önemlidir. Asfalt serici ya da greyder aracılığıyla yola serilen karışım, mümkün olabildiğince geniş tabanlı lastik tekerlekli silindir ve vibrasyonlu demir bandajlı silindirlerle sıkıştırılır. Genelde sıkıştırılan Plentte Soğuk Geri Dönüşüm (CCPR) malzemesinin üzeri geleneksel bitümlü sıcak karışım malzemesi kaplanır. Ender olarak çok düşük trafik hacimli yollarda tek ya da çift kat bitüm emülsiyonu esaslı harç tipi kaplamalar da kullanılabilir [14].

Yerinde uygulama yöntemine göre bazı avantajları olan bu yöntemde öncelikle, hava koşullarının önemi yoktur ve gerekli durumlarda agrega, karışımdan önce ısıtılıp kurutulabilir. Ayrıca bu işlem yerinde yöntemde saatler alırken, plentte birkaç dakika içerisinde sonuçlanır. Karışımdaki malzeme oranı ve karıştırma süresinin çok daha iyi biçimde kontrol edilebildiği bu yöntemde, karışımın homojenliği de sağlanabilmektedir. Karıştırma işleminde önce agregayı ısıtmak da daha viskoz bitüm kullanımına olanak sağlar [4].

Şekil 5.9 ve Şekil 5.10 'da sırasıyla plente getirilen geri dönüştürülecek malzemenin kırıcıda elenmesi, elenen malzemenin karışıma girmek üzere soğuk karışım plentinin bunkerlerine yüklenmesi ve son olarak elde edilen Plentte Soğuk Geri Dönüşüm (CCPR) karışımının yolda serimi ve sıkıştırması ile ilgili fotoğraflar görülmektedir.



Şekil 5.9 Plentte soğuk karışım geri dönüşümü uygulaması [24]



Şekil 5.10 Plentte soğuk karışım geri dönüşümü uygulaması [27]

Plentte soğuk geri dönüşüm uygulamalarında sabit plentlerin yanında mobil plentlerde kullanılmakta ve sürekli geliştirilen modellerle oldukça kullanışlı hale gelmektedir. Yol inşaatı sektöründe özellikle asfalt kazıma ve serme ekipmanları konusunda uluslararası isme sahip olan Wirtgen firmasının KMA 220 modeli plentte soğuk geri dönüşüm ve genel olarak soğuk karışım uygulamaları için ideal bir mobil plent örneği olup bu anlamda çok kullanışlı ve üretimi hızlandıran bir modeldir.

Uluslararası taşımacılık şartlarına uygun boyutlarıyla tüm parçaları treyler üzerine monte edilebilmektedir. Kurulumu için çok küçük bir mekana ihtiyaç duyar ve 1-2 saatte kurulumu tamamlanabilir. İki ayrı toplama haznesi ve eleği olması dolayısıyla aynı anda iki farklı malzemeyi alma ve karıştırma seçeneği vardır. Plentte karıştırılan soğuk geri dönüşümlü karışım mobil plente monte edilmiş bulunan konveyörlerle kamyonlara yüklenip yola getirilir ve sıcak karışımların serim işleminde kullanılan ve şantiyelerde finişer olarak da isimlendirilen sericiler yardımıyla serim işlemi gerçekleşir. [28].

5.1.5 Tam derinlikli geri dönüşüm

Diğer birçok yol yapım tekniğinde olduğu gibi tam derinlikli geri dönüşüm de mevcut yolun fiziksel özellikleri ve yeni yolun performans gerekliliklerine bağlı olarak değişik biçimlerde uygulanabilir. Uygulamalarda genellikle öğütme ve rutubetlendirme işleminden, bitmiş yol yüzeyinin sıkıştırılması işlemine kadar sekiz ana aşama vardır.

Tam derinlikli geri dönüşüm (FDR), geri dönüştürücü yol makinesi tarafından yolun mevcut bitümlü tabakalarının öğütülerek ufalanması ve önceden belirlenmiş oranda temel veya alt temel malzemesi ile karıştırılması ile başlar.

Eğer geri dönüştürücü (reclaimer), bir kırma makinesi değilse ve kaplamayı, orjinal agrega veya temel malzemesindeki taştan küçük boyutlara indiremiyorsa, arkasında homojen ve iyi derecelenmiş bir malzeme bırakır. Tipik bir işte geri dönüştürücü, malzemenin %95' i 1,5cm eleklerden geçecek ve maksimum 2 cm boyutunda parçalar bırakacak şekilde ayarlanabilir. Ufalama işlemi boyunca malzeme, istenen yoğunluğa ulaşabilmesi için genellikle suyla sürekli rutubetlendirilir(Şekil 5.11).

Bazı durumlarda karışım, geri dönüştürücünün sıvı ekleme sistemi tarafından rutubetlendirilebildiği gibi, geri dönüştürücünün ilk geçişinden sonra, su direkt olarak da yüzeye serpiştirilebilir.

Kaplama kalınlığının 6 " in altında olduğu, stabilizasyon katkısı gerektirmeyen ve önemli geometrik düzeltmelere ihtiyacı olmayan uygulamalarda sadece bir geçiş yeterli olabilmektedir[29].

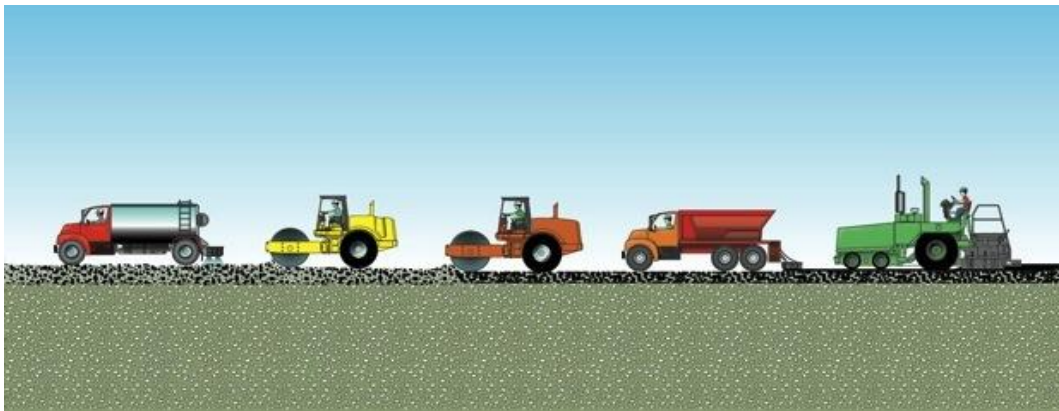


Şekil 5.11 Tam derinlikli geri dönüşümde ufalama ve rutubetlendirme [30]

Geometrik düzeltmeler ve stabilize katkısı gerektiren durumlarda ise birden çok geçiş gerekmektedir. Ayrıca kaplama kalınlığının 6 " ten çok olduğu durumlarda ve kaplamanın genişletildiği durumlarda da birden çok geçiş kullanılır.

Tipik bir çok geçişli uygulamada makinenin ilk geçişinden sonra, malzeme ilk şeklini alır ve sıkıştırılır, sonra stabilize katkısı uygulanıp ikinci harmanlama geçişinde bunlar karıştırılır. Birden çok stabilize katkısı gerektiren uygulamalarda üç geçiş gerekebilmektedir.

İslah edilmiş malzemenin, greyderle şekillendirilmeden önce kalıcı bir malzeme yoğunluğuna ulaşabilmesi için son geri dönüştürücü geçişinden sonra zemin boşluklarını en aza indirecek şekilde tek tamburlu keçi ayak silindir veya 25 tonluk lastik tekerlekli silindir yardımıyla sıkıştırması yapılır. (Şekil 5.12)



Şekil 5.12 Tam derinlikli geri dönüşümde kırma sıkıştırma ve şekillendirme[31]

Şekillendirme, yolun yüzey düzgünlüğünün ve enine eğiminin greyder bıçağıyla yapıldığı aşama olarak da tanımlanabilir. Zamanında tasarım parametrelerine uygun olarak tasarlanmış ve yapılmış ancak şimdiki trafik hacmine karşılık veremeyen yollarda, önemli geometrik değişiklikler yapılmasına olanak sağlaması açısından tam derinlikli geri dönüşüm yöntemi çok avantajlıdır.

Tam derinlikli geri dönüşüm yönteminin daha önce açıklanan soğuk yerinde geri dönüşümden en önemli farkı yoldaki çatlakların, bozulmaların yolun en üst tabakalarında kalmayıp temel seviyesine kadar inmesi durumunda uygulanmasıdır. Bozulmaları ve problemleri bölgedeki sorunu tamamen giderebilmek için tüm asfalt kaplama tabakaları kaldırılarak uygulamaya başlanır [32].

Yol genişletme, tam derinlikli geri dönüşüm işleminin şekillendirme sırasında uygulanabilen başka bir faydasıdır. Bölgesel kalınlığın korunması amacıyla genellikle ilave granüler malzemelerin kullanılması gerekir.

İlk sıkıştırmadan sonra rutubet ayarlaması yapıp ara sıkıştırma aşamasına geçilir. Yine kalınlık ve yüzey durumuna bağlı olarak, bu adımda malzemeyi sıkıştırmak için bir lastik tekerlekli silindir veya greyder tarafından geride bırakılan kayıp agregaları sermek için ağır titreşimli silindir sıkıştırıcı kullanılabilir. Son pas silindirleme yapıldıktan sonra, sıkıştırılarak düzeltilmiş yol yüzeyi, asfalt emülsiyonu veya başka bir özel sızdırmazlık elemanı ile kaplanır. Bu yüzey örtüsü agregalar arası boşluktan meydana gelen gevşek zemin yüzeylerini birbirine bağlamak ve sıkıştırılarak son haline gelmiş yol tabakasını hava koşulları ve trafik etkilerinden korumak için uygulanır. Kaplama tabakası yüzeye nüfuz ettikten sonra yol trafiğe açılabilir. (Şekil 5.13)

Geri dönüşüm işlemi eski yol tabakalarını dönüştürdüğü ve tabanın bir bölümü yeni ve yapısal olarak daha güçlü bir yol taban haline geldiği için tam derinlikli ıslah projesinin son aşaması, geliştirilen tabana yeni bir yüzey iyileştirmesi uygulanmasıdır. Dört farklı yüzey iyileştirmesi yöntemi en yaygın kullanılan iyileştirme biçimleridir: ikili çatlak kaplama (chip seal), tekli veya ikili çatlak ucu kaplama, soğuk karışım kaplama veya sıcak karışım kaplama.



Şekil 5.13 Tam derinlikli geri dönüşüm uygulaması [27]

Geri dönüştürülen yeni yol gövdesi asfalt kaplama tabakası takviye edilerek daha dayanıklı duruma getirilir, bu sayede gelecek yıllarda çoğunlukla daha büyük maliyetlerle yapılacak bakım-onarım giderleri azaltılmış olur. Bazı durumlarda yeniden asfalt kaplama yerine çatlak dolgu ve sızdırmazlık malzemelerinden birinin kullanılmasına olanak sağladığı gibi daha ince asfalt tabakaları serilmesi şeklinde de ekonomik faydaları olmaktadır [29].

Oluşturulan soğuk karışım, temel tabakası olarak kullanılabildiği gibi, daha yüksek mukavemetli bir temel olması için, bitüm ve/veya diğer katkı maddeleri (kireç, çimento gibi) eklendiği uygulamalarda vardır. Genelde katkı malzemesiyle yapılan karışımlar, bir aşınma tabakası veya kaplama tabakası serilmesi gereken durumlarda uygulanmaktadır.

Türkiye'de uygulaması henüz yapılmayan genellikle bitüm emülsiyonu, çimento, kireç, köpüklendirilmiş bitüm vb. katkılı soğuk geri dönüşüm uygulamaları gerek daha az enerji tüketimi gerek çevreye zararlı gazların daha az ortaya çıkması gerekse daha az maliyetli olması nedeniyle yurtdışında oldukça sık kullanılır bir geri dönüşüm uygulaması haline gelmiştir [23].

Viskoziteyi düşürmek ve/veya penetrasyonu arttırmak için genellikle bitümü modifiye etmek veya miktarını arttırmak önemlidir. Bu durum, emülsüfiye edilmiş ya da köpürtülmüş bitümden oluşan bir veya daha fazla maddenin eklenmesiyle gerçekleştirilir. Bir miktar ilave agrega da karışımın derecelenmesini ya da hava boşlukları içeriğini ayarlamak için eklenebilir.

Detaylı olarak anlatılan yöntemlerin özelliklerinin iyi bilinmesi gerekir. Ancak yöntem özelliklerini iyi bilmenin yanında, hangi yöntemin hangi kaplama kusurlarında daha uygun olacağını bilmek de önemlidir. Kaplama bozulma türlerine göre uygun geri dönüşüm yöntemleri Çizelge 5.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1 Kaplama bozulma türlerine göre geri dönüşüm yöntemi seçimi [55]

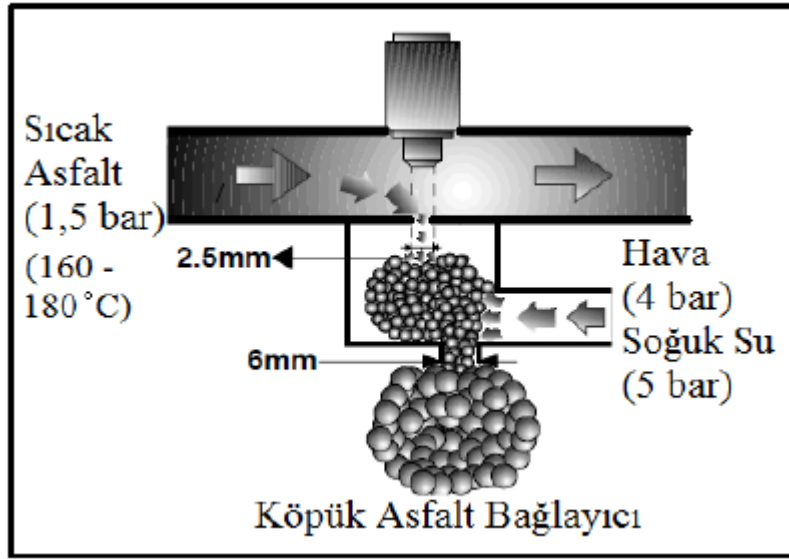
Kaplama bozulma tipi	Soğuk düzeltme	Sıcak geri dönüşüm	Sıcak yerinde geri dönüşüm	Soğuk yerinde geri dönüşüm	Tam derinlikli geri dönüşüm
Yüzey kusurları					
-Sökülme	x	x	x		
-Cilalanma	x	x	x		
Kalıcı deformasyon					
-Tekerlek izi-sığ	x	x	x		
-Tekerlek izi-derin		x		x	x
Trafikten kaynaklanan çatlaklar					
-Timsah sırtı		x		x	x
-Boyuna çatlaklar		x	x	x	x
-Kaplama kenarı çatlakları		x		x	x
-Yansıma çatlakları		x	x		
Trafikten kaynaklanmayan çatlaklar					
-Blok tipi çatlaklar		x		x	x
-Boyuna çatlaklar		x	x		
-Enine çatlaklar		x		x	x
Yamalar					
-Yüzeysel yamalar		x			x
-Derin yamalar		x			x
-Problemlili temel/alttemel					x
Seyahat konforu/pürüzlülük					
-Genel olarak pürüzlü	x	x	x		
-Çukur	x	x	x		x

5.2 Geri Dönüştürme İşleminde Atık Madde Kullanımı

Daha önce bahsettiğimiz yöntemlere ek olarak, bu yöntemlerin uygulanması sırasında veya öncesinde karışıma ya da mevcut kaplamaya çeşitli katkı maddelerinin eklenmesi bitümlü karışımların geri dönüşümüne yardımcı olabilmektedir. Bu yolların başlıcaları;

5.2.1 Köpük asfalt

Karayolu esnek üstyapılarının soğuk yerinde geri dönüşümünde ve tam derinlikli geri dönüşüm yönteminde kullanılan köpük asfalt yönteminde bitümün içerisine hava ve bir miktar (yaklaşık %2) su ilave edilerek bitümün hacmi artırılmakta böylece az miktarda bitüm ile daha fazla malzemenin kaplanması sağlanmaktadır. Soğuk su ve hava sıcak bitüme enjekte edildiğinde su hızlı bir şekilde buharlaşmakta, böylece bitüm partiküllerinin kabarcık haline gelmesi sağlanmaktadır (Şekil 5.14).



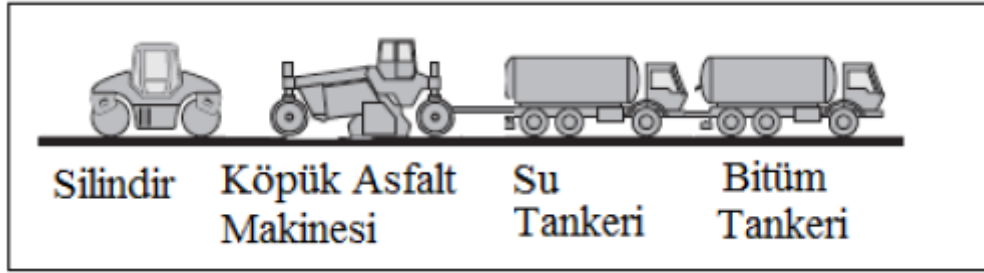
Şekil 5.14 Köpük asfalt elde edilmesi [55]

Bu yöntemde bitümün hacmi 15-20 kat artırılabilir. Köpük asfalt yönteminin avantajları aşağıda verilmiştir.

- * Köpük asfalt granüler malzemelerin kayma dayanımını artırmakta ve nem hassasiyetini azaltmaktadır. Ayrıca köpük asfalt yöntemi karışımın daha elastik davranış göstermesini sağlamakta dolayısıyla yorulma ömrünü arttırmaktadır.
- * Taşıma ve bağlayıcı harcamalarını azalttığından diğer geri dönüşüm ve stabilizasyon yöntemlerine göre daha ekonomiktir.

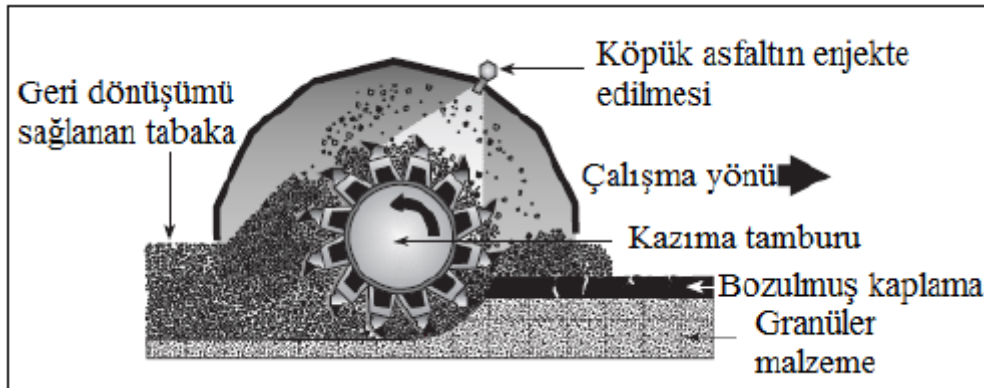
- * Köpük asfalt hemen sıkıştırıldığından ve dolayısıyla hazırlanan yol kısa sürede trafiğe açıldığından zamandan tasarruf sağlamaktadır.
- * Agreganın ve geri dönüşüm malzemesinin ısıtılmasına gerek olmadığından enerjiden tasarruf sağlamaktadır.
- * Doğaya daha az buharlaşan malzemenin salınmasına neden olduğundan çevreci bir yöntemdir.
- * Bitümün süzülmesi söz konusu olmadığından depolama olanağı sunmaktadır.
- * Köpük asfalt yöntemi daha geniş çalışma mevsimi sunmaktadır. Soğuk havalarda ya da hafif yağmur altında dahi çalışma yapılabilmekte ve bu şartlarda imalat kaliteyi olumsuz yönde etkilememektedir[55].

Arazide katarın içerisinde bulunan bitüm ve su tankerinden köpük asfalt makinesine gerekli olan soğuk su ve bitüm iletilmekte, köpük asfalt makinesinde bitüme istenen hacim kazandırılarak kazınan malzemeye köpük asfalt püskürtülmektedir. Şekil 5.15 temsili arazideki uygulama katarını göstermektedir.



Şekil 5.15 Temsili köpük asfalt uygulaması [55]

Şekil 5.16 ise köpük asfalt makinesinin çalışma prensibini göstermektedir. Şekilde görüldüğü üzere tambur yardımıyla istenen kalınlıkta kazınan malzemeye köpük asfalt püskürtülmekte ve ayrıca tambur sayesinde karıştırma işlemi gerçekleştirilmekte ve serilmektedir.



Şekil 5.16 Köpük asfalt makinesinin çalışma prensibi [55]

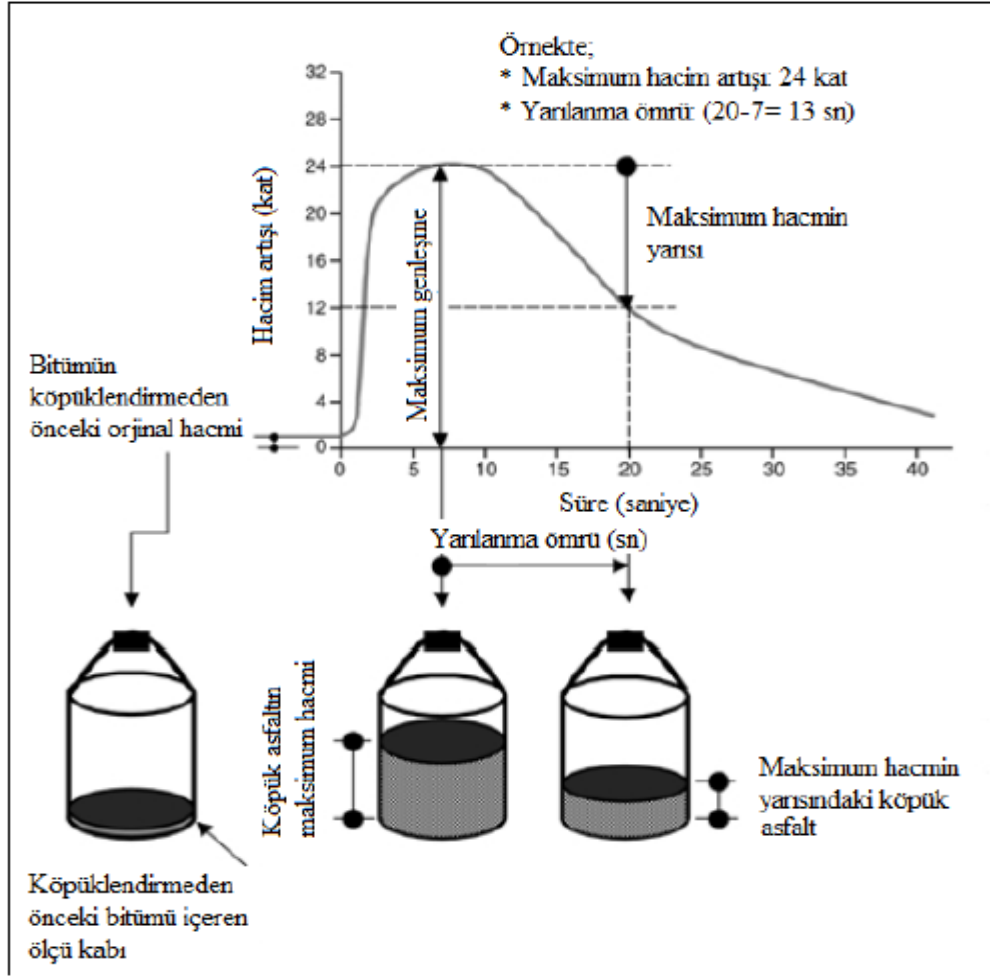
Köpük asfalt karışım tasarımı

Köpük asfalt yöntemi, kumdan çakıla, kırma taştan geri dönüşüm malzemesine kadar geniş bir malzeme aralığında kullanılabilen bir yöntemdir. Bu yöntemde agreganın türü ve sağlamlığı kadar agrega dayanımı kadar kullanılacak malzemenin gradasyonu da büyük önem arz etmektedir. İnce malzeme miktarının az olması köpük asfalt yönteminde karışımın iyi bir şekilde gerçekleşmesini engellemektedir. Yetersiz ince malzemenin bulunması durumunda köpük asfalt karışımında bulunan bitümlü geri dönüşüm malzemesi parçalar üzerinde birikmekte ve topaklanma olmakta bu durumun stabilitenin ve dayanımın azalmasına neden olmaktadır. Köpük asfalt uygulanacak malzemenin gradasyona uygun olmaması durumunda gradasyonu sağlayacak şekilde malzeme ilave edilebilmektedir.

Köpük asfaltın hacim artış miktarı ve yarılanma ömrü olmak üzere iki önemli özellikle karakterize edilmektedir. Hacim artış miktarı köpük asfaltın viskozitesinin bir ölçüsüdür ve köpük asfaltın karışımında iyi bir şekilde karışıp karışmayacağını göstermektedir. Hacim artış miktarı, köpük asfaltın maksimum hacminin başlangıç hacmine oranlanması şeklinde belirlenmektedir. Yarılanma ömrü ise köpüğün stabilitesinin bir ölçüsü olup köpüğün sönme oranını göstermektedir, Yarılanma ömrü köpük asfaltın hacminin maksimum hacmin yarısına indiği andaki sürenin belirlenmesi şeklinde tespit edilmektedir. Şekil 5.17'de köpük asfalt laboratuvar dizayn cihazı görülmektedir, Şekil 5.18'de ise asfalt tasarımına bir örnek şekilde açıklanmıştır[55].



Şekil 5.17 Köpük asfalt laboratuvar dizayn cihazı [55]



Şekil 5.18 Asfalt tasarımı örneği [55]

Köpük asfalt yönteminde bitümün sıcaklığı en az 160 °C olmak üzere üç farklı sıcaklık denenmektedir. Her bir sıcaklıkta farklı oranda su ilave edilerek genişleme oranı ve yarılanma oranı belirlenmektedir. Yarılanma ömrü ve genişleme oranı değerlerinden en uygun sıcaklık ve en uygun su oranı belirlenmektedir. 25°C sıcaklıkta kabul edilebilir minimum değerlerin genişleme oranı için 8 kat yarılanma ömrü için 6 saniye olarak belirlenmiştir.

Sonuç olarak, soğuk ve tam derinlikli geri dönüşüm yöntemlerinde kullanılan köpük asfalt yöntemiyle ömrünü tamamlamış üstyapı malzemelerinden düşük maliyetle faydalanılması sağlanmaktadır. Bu yöntem, trafiğin fazla olduğu **yollarda** temel tabakasının elde edilmesi amacıyla, düşük trafik hacimli yollarda ise kaplama **tabakası** olarak kullanılabilir. Bu **tip** çalışmaların ülkemizde de **biran** önce yapılmaya başlanması çevre ve ekonomi bakımından büyük önem arz etmektedir[55].

5.2.2 Atık mermer

Atık mermer parçaları ve tozunun, asfalt kaplamalarda iki şekilde kullanımı mümkün olabilir. Birincisi sürtünme tabakası ve binder tabakalarında agrega olarak, diğeri ise bağlayıcı katkı malzemesi veya ince malzeme olarak kullanılır. (Çizelge 5.2)

Asfalt karışımında agrega olarak kullanımı

Atık mermer parçalarının asfalt yol kaplamalarında agrega olarak kullanımı bu malzemelerin değerlendirilmesi için en uygun yollardan biridir. Burada dikkat edilmesi gereken en önemli konu, kullanılan mineralin sürtünmeye karşı olan direncinin tespit edilmesi, önemli olduğu bölgelerde kullanılacak malzemenin PSV (cilalanma direnci) değerinin 45'den yüksek olmasının sağlanmasıdır [56]. Yüksek PSV değeri olmayan mermerlerin, binder tabakası sürtünme tabakasının alt kısmında bulunan ve sürtünmeye maruz kalmayan katmanlarda kullanımı en uygun değerlendirme yöntemi olacaktır. Bu katmanın işlevi, yüzeyden gelen yüklerin, yapıya zarar vermeden alt tabakaya transferini sağlamaktır.

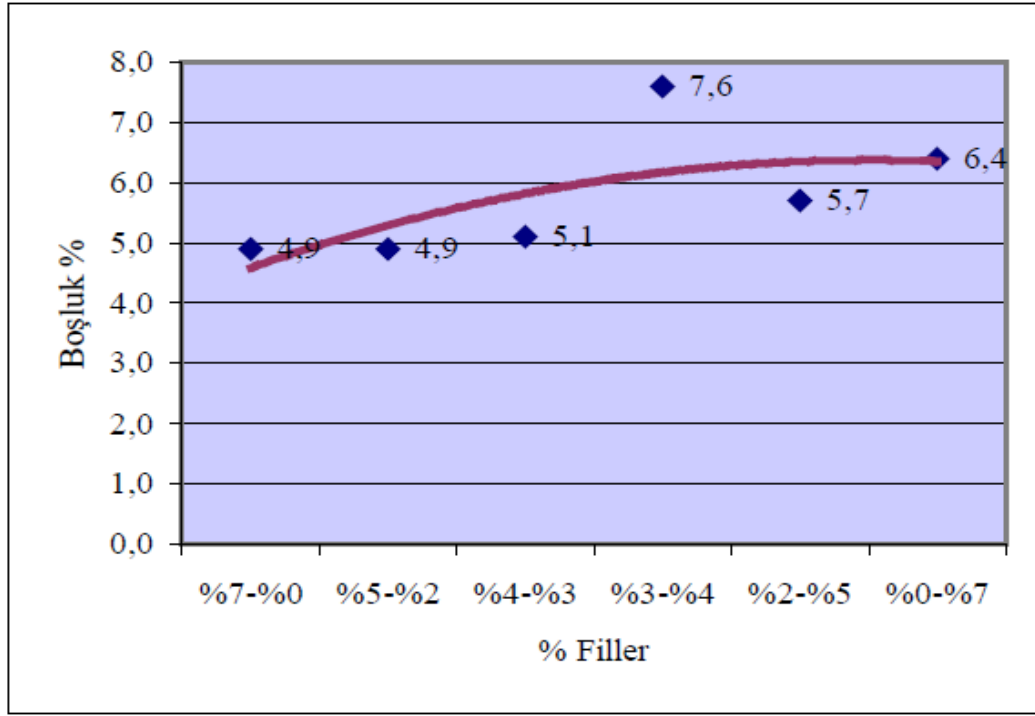
Bitumen katkı maddesi olarak kullanımı

Yukarıda anlatılan kaplama malzemesinde (SMA) kullanılan kaba agregalardan dolayı ve yüksek karışım sıcaklığı nedeni ile kullanılan bağlayıcının, tabakanın alt kısmına doğru aktığı ve bağlayıcının karışımın içerisinde eşit olarak dahil olmadığı bilinmektedir. Buna ek olarak, sıcak iklimli (örneğin Türkiye'de, yaz sıcaklığında yol yüzeyinde kullanılan bitümünde bir erime ve bunun neticesinde agrega ile bağlayıcı arasındaki aderans zayıflamakta ve çeşitli etkiler nedeni ile yüzeyden kolayca ayrılmaktadır. Ayrılan bu agregalar yol kenarında birikerek sürüş güvenliğini önemli ölçüde tehdit etmekte ve yüzeyde hızlı bir soyulmaya, bunun sonucu olarak da yüzey sürtünme katsayısının çok azalmasına neden olmaktadır.

Bu problemleri çözenin en önemli yolu, kullanılan bağlayıcının viskozitesini artırmak olacaktır. Bu açıdan bakılırsa atık viskozitesinde önemli artış sağlayacaktır. Agrega gradasyonunda kullanılan filler malzemesinin, atık mermer tozundan sağlanması problemin çözümüne katkı sağlayacaktır.

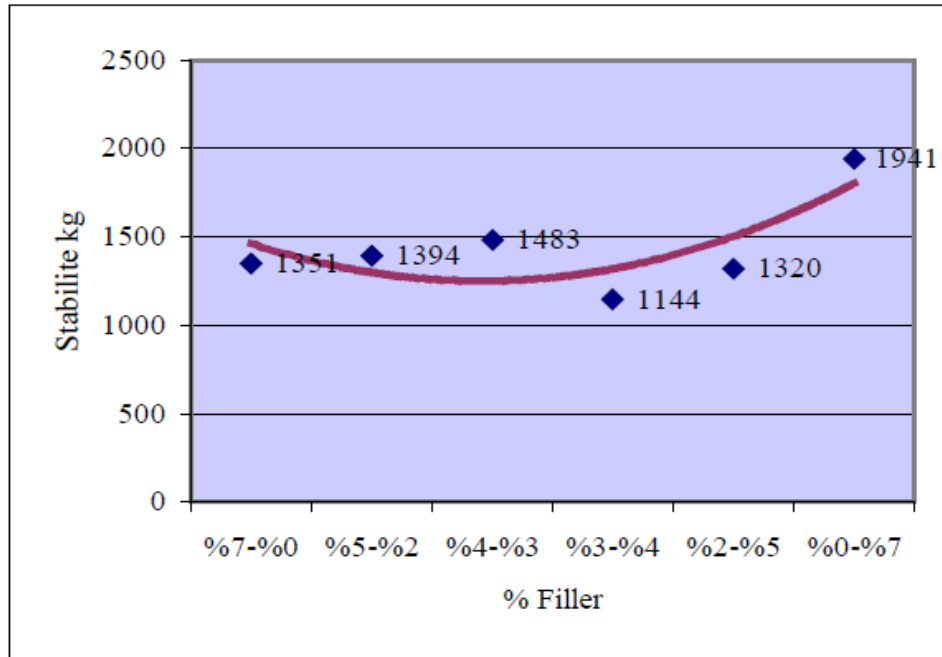
Mermer tozu marshall stabilite deney sonuçları

Mermer tozu atığı ile değişen filler yüzdelerinde yapılan Marshall stabilite deney sonuçlarına göre boşluk, stabilite ve akma değerlerinin değişimi Şekil 5.19 ile 5.20 ve 5.21'de verilmiştir [56].



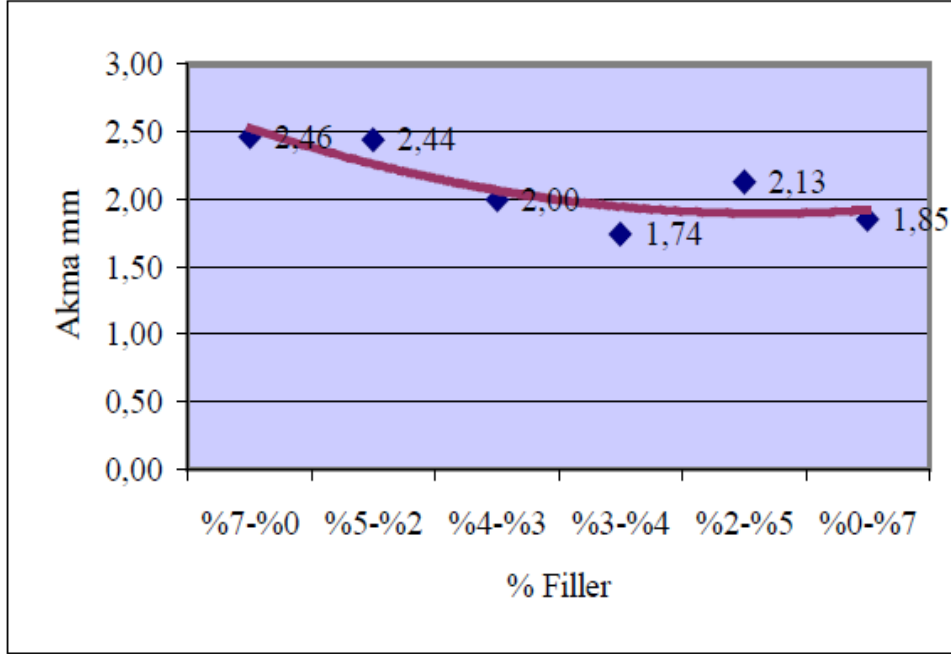
Şekil 5.19 Boşluğun filler yüzdesi değişimi [56]

Taş tozu filler yerine mermer tozu filler kullanılarak yapılan Marshall stabilite deney sonuçlarında, mermer tozu filler yüzdeleri arttıkça boşluk değeri artmaktadır.



Şekil 5.20 Marshall stabilitesinin filler yüzdesi ile değişimi [56]

Taş tozu filler yerine mermer tozu filler kullanılarak yapılan Marshall stabilite deney sonuçlarında, mermer tozu filler yüzdeleri arttıkça stabilite değeri belli bir orana kadar azaldıktan sonra artmaktadır.



Şekil 5.21 Akmanın filler yüzdesi ile değişimi

Taş tozu filler yerine mermer tozu filler kullanılarak yapılan Marshall stabilite deney sonuçlarında, mermer tozu filler yüzdeleri arttıkça akma değeri azalmaktadır.

Bitümlü karışımların geri dönüşümünde mermer atıklarının kullanılması sonucu;

- Türkiye'de kullanılamayan mermer atıldan önemli ekonomik kayıp oluşturmaktadır.

Bu malzemelerin bir şekilde ekonomiye kazandırılması gerekmektedir.

- Mermer atıklarının en iyi kullanım alanlarından birisi de, asfalt yol kaplamalarıdır.

Kullanılan agreganın (atık mermer) sertlik derecesine göre yüzey kayma tabakasında veya binder tabakalarında kullanım imkanı olabilir.

- Atık mermer tozunun, asfalt kaplamalarda kullanılan bitümen viskozitesini artırmak ve erimesine engel olmak için kullanımı kayda değer bir katkı sağlayacaktır.

- Kullanılan mermer atıkları sadece enerji tasarrufu sağlamakla kalmayacak çevreye ve tarım arazilerine verilen zararları da minimuma indirilecektir.

- Atık mermer çamuru, yol temel ve temel altı katmanlarında iyi bir sıkışma malzemesi olacaktır.

- Kullanılan bu toz atıkların çevre ve sağlığa karşı olan etkileri minimum düzeye inecektir.
- Geri dönüştürülmüş asfalt kaplamadan sağlanacak ekonomik kazanım, endüstriye yeni bir kaynak sağlayacaktır. Bunun sonucu olarak, kullanımdaki kaplamaların ve geometrik standartların artırılması gerçekleştirilebilecektir[57].

Çizelge 5.2 Mermerlerin fiziksel mekanik ve teknolojik özellikleri [58]

Fiziksel. Mekanik ve Teknolojik Özellikler	Birimi	Değer
Sertlik	Mohs	3-4
Birim Hacim Ağırlığı	gr cm ³	2.68
Özgül Ağırlığı	gr/cm ³	2.74
Atmosfer Basıncında Su Emme	%	Ağırlıkça 0.15
	%	Hacimce:0.49
Kaynar Suda Emme	%	Ağırlıkça:0.17
	%	Hacimce:0.44
Porozite	%	0.49
Basınç Direnci	kg/cm ²	1238
Don Sonrası Basınç Direnci	kg/cm ²	970
Darbe Dilenci	kg/cm ²	4
Eğilme Direnci	kg/cm ²	338
Elastisite Modülü	kg/cm*	293x10
Doluluk Oranı	%	99
Gözeneklilik Derecesi	%	0.70
Ortalama Aşınma Derecesi	cm ²	7.72
Ortalama Çekme Derecesi	kg/cm*	42

5.2.3 Uçucu kül

Düşük kalorili linyit kömürlerinin yakıldığı termik santrallerde, elektrik üretimi sırasında toz halindeki kömürün yanması sonucu baca gazları ile sürüklenen ve elektro filtreler yardımı ile tutularak atmosfere çıkışı önlenen mikron boyutunda kül tanecikleri meydana gelmektedir (Çizelge 5.3). Endüstriyel bir atık olan ve uçabilen bu küllere 'uçucu kül' adı verilmektedir.

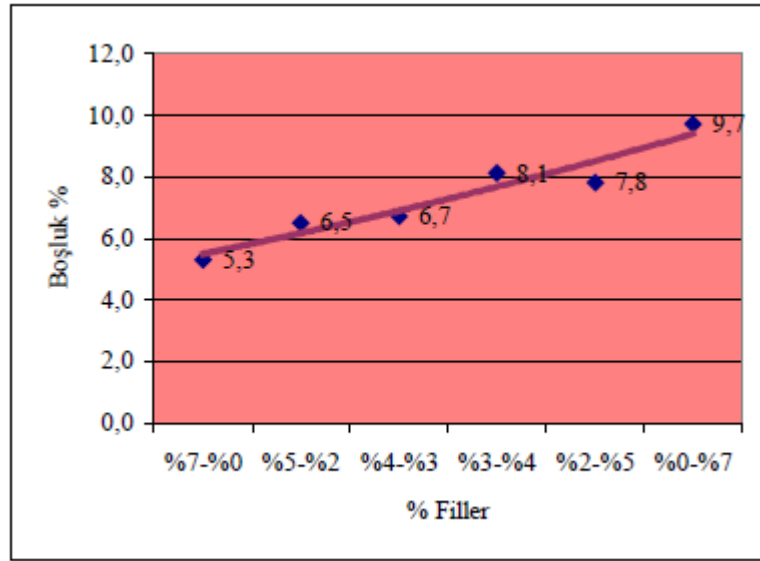
Türkiye'de elektrik enerjisinin yaklaşık yansının üretildiği termik santrallerde 55 milyon ton/ yıl düşük kalorili linyit kömürü yakılmakta, bunun sonucunda 2009 yılı verilerine göre yaklaşık 13 milyon ton/yıl uçucu kül elde edilmektedir [59].

Çizelge 5.3 Uçucu küllerin kimyasal özellikleri [60]

Bileşen	Değer %
SiO ₂	43.19
Al ₂ O ₃	20.22
Fe ₂ O ₃	4.81
CaO	22.31
MgO	1.67
SO ₃	3.91
K ₂ O	1.19
Na ₂ O	0.61
Kızdırma kaybı	0.90

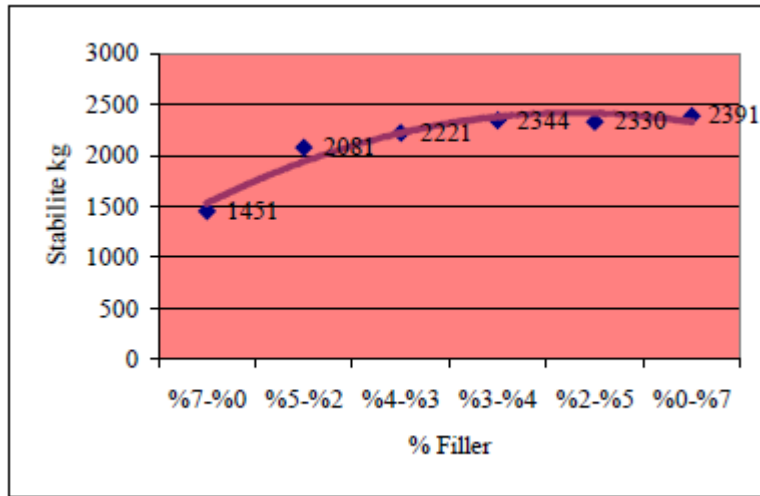
Uçucu Kül Marshall Stabilite Deney Sonuçları

Uçucu kül atığı ile değişen filler yüzdelerinde yapılan Marshall stabilite deney sonuçlarına göre boşluk, stabilite ve akma değerlerinin değişimi Şekil 5.22, 5.23, 5.24 'de verilmiştir.



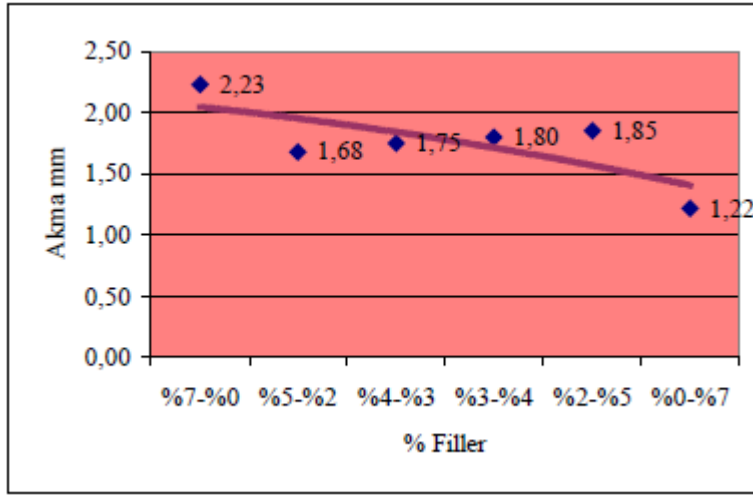
Şekil 5.22 Boşluğun filler yüzdesi ile değişimi

Taş tozu filler yerine uçucu kül filler kullanılarak yapılan Marshall stabilite deney sonuçlarında, uçucu kül filler yüzdeleri arttıkça boşluk değeri artmaktadır.



Şekil 5.23 Marshall stabilitesinin filler yüzdesi ile değişimi

Taş tozu filler yerine uçucu kül filler kullanılarak yapılan Marshall stabilite deney sonuçlarında, uçucu kül yüzdeleri arttıkça stabilite değeri artmaktadır.



Şekil 5.24 Akmanın filler yüzdesi ile değişimi

Taş tozu filler yerine uçucu kül filler kullanılarak yapılan Marshall stabilite deney sonuçlarında, uçucu kül filler yüzdeleri arttıkça akma yüzdeleri azalmaktadır.

5.2.4 Fosfojips

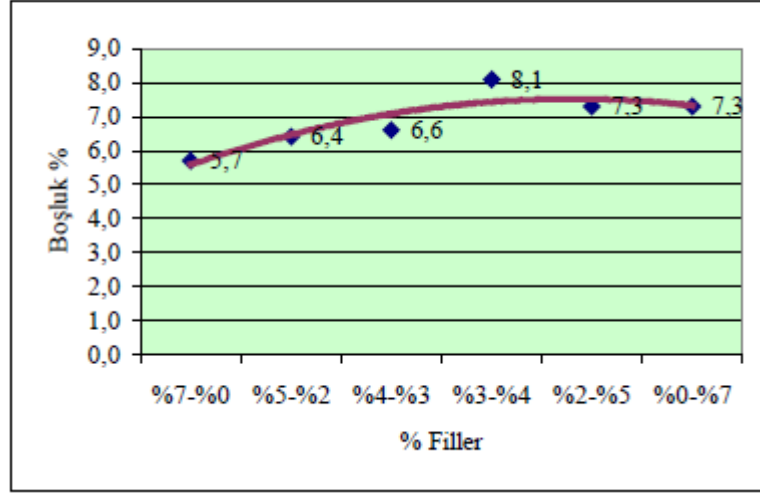
Yaş yöntemle fosforik asit üretimi, fosfat kayasının sülfürik, asitle reaksiyona sokulması esasına dayanır. Reaksiyonda oluşan fosforik asit ve yan ürün fosfojips süzülerek birbirinden ayrılır. Ele geçen bu yan ürün fosfojips olarak bilinir. Yaş yöntemle fosforik asit üretiminde oluşan fosfojipsin kimyasal formuna (Çizelge 5.4) göre dihidrat, hemihidrat-dihidrat, hemihidrat ve anhidrit yöntemi olmak üzere dört ayrı üretim yöntemi vardır [61].

Çizelge 5.4 Fosfojipsin kimyasal özellikleri

Kimyasal Özellikleri		Fiziksel Özellikleri	
Eleman	%	%	
CaO	32.04	10 nolu elekte kalan	0.00
SO ₄	53.47	40 nolu elekte kalan	9.00
P ₂ O ₅ (Toplam)	0.50	60 nolu elekte kalan	16.00
P ₂ O ₅ (Çözünen)	0.11	200 nolu elekte kalan	49.04
F (Toplam)	1.30	Özgül ağırlık (gr/cm ³)	2.39

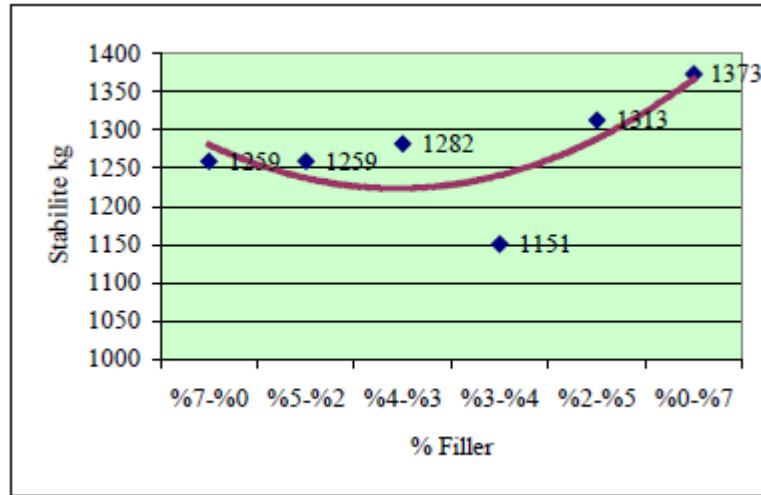
Fosfojips marshall stabilite deney sonuçları

Fosfojips atığı ile değişen filler yüzdelерinde yapılan Marshall stabilite deney sonuçlarına göre boşluk, stabilite ve akma değерlerinin değışimi Şekil 5.25, 5.26, 5.27'de verilmiştir.



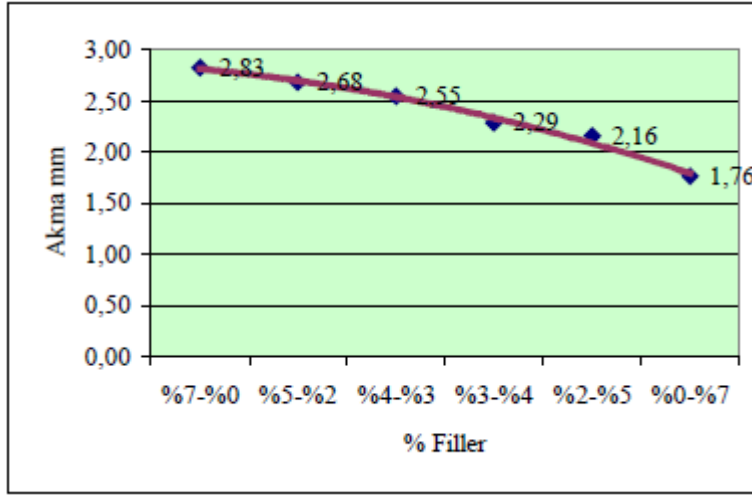
Şekil 5.25 Boşluğun Filler Yüzdesi ile Değişimi

Taş tozu filler yerine fosfojips filler kullanılarak yapılan Marshall stabilite deney sonuçlarında, fosfojips filler yüzdeleri arttıkça boşluk değeri belli bir değere kadar arttıktan sonra azalmaktadır.



Şekil 5.26 Marshall stabilitesinin filler yüzdesi ile değışimi

Taş tozu filler yerine fosfojips filler kullanılarak yapılan Marshall stabilite deney sonuçlarında, fosfojips filler yüzdeleri arttıkça stabilite değeri belli bir değere kadar azaldıktan sonra artmaktadır.



Şekil 5.27 Akmanın Filler yüzdesi ile değişimi

Taş tozu filler yerine fosfojips filler kullanılarak yapılan Marshall stabilite deney sonuçlarında, fosfojips filler yüzdeleri arttıkça akına değeri azalmaktadır.

5.2.5 Cam tozu

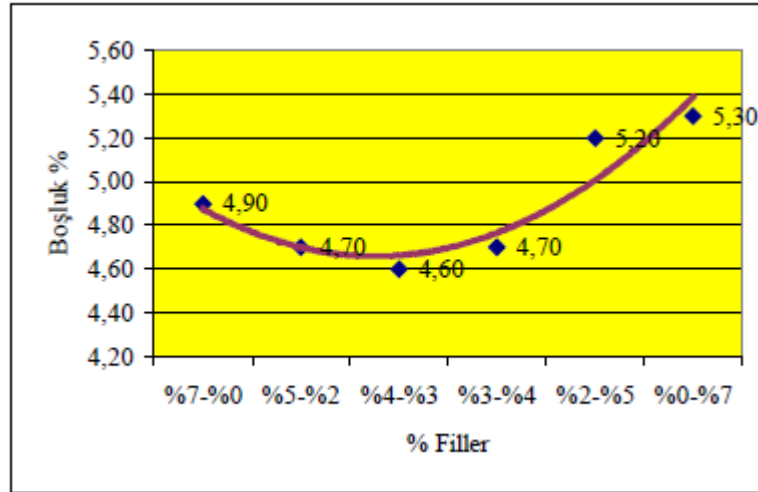
Cam, silikat ve diğer daha küçük oksitleri içine alan seçilmiş ham materyalleri katılaştırmakla yapılan, ametal inorganik bir materyaldir. Cam parlak olmasının yanında küçük bir etkiyle kolayca kırılabilir. Bu fiziki özellik (Çizelge 5.5), filler malzeme haline getirmek amacıyla camın ezilmesinde kullanılmaktadır[62].

Çizelge 5.5 Cama ait bazı standartlar

Özellik	İlgili Standart	Değer
Doğrusal Isıl Genleşme	ASTM E 228-71	$90 \times 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}$
Yoğunluk	ASTM C 693-84	2.499 g/cm^3
Yumuşama Sıcaklığı, T_s	ASTM C 338-73	$715 \text{ } ^\circ\text{C}$
Tavlama Sıcaklığı, T_a	ASTM C 336-71	$536 \text{ } ^\circ\text{C}$
Gerilme Sıcaklığı, T_s^t	ASTM C 336-71	$500 \text{ } ^\circ\text{C}$
Kırılma İndisi, n_o		1.5188
Kırılma Modülü, S	ASTM C 158-84	100 MPa
Esneklik Modülü, E		71 GPa

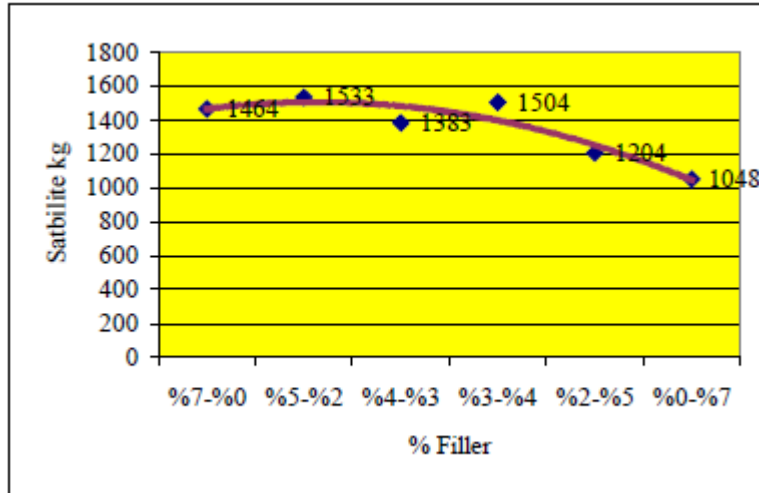
Cam tozu marshall stabilite deney sonuçları

Cam tozu atığı ile değişen filler yüzdelinde yapılan Marshall atabilire deney sonuçlarına göre boşluk, stabilite ve akma değerlerinin değişimi Şekil 5.28, 5.29, 5.30'de verilmiştir.



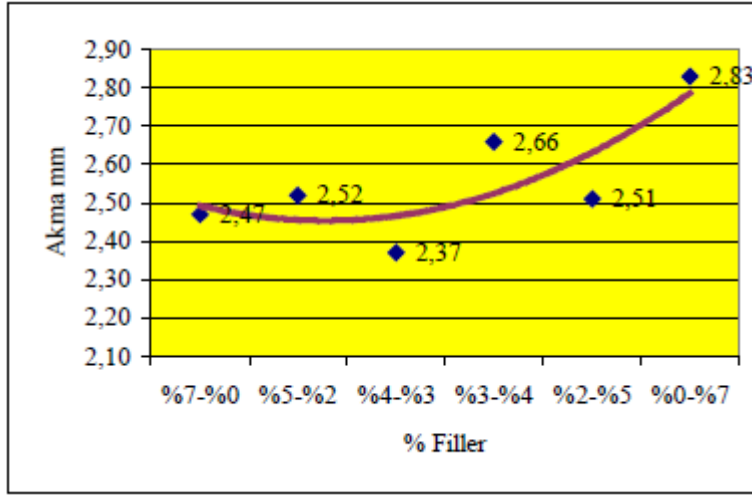
Şekil 5.28 Boşluğun filler yüzdesi ile değişimi

Taş tozu filler yerine cam tozu filler kullanılarak yapılan Marshall stabilite deney sonuçlarında, cam tozu filler yüzdeleri arttıkça boşluk değeri belli bir orana kadar azaldıktan sonra anmaktadır.



Şekil 5.29 Marshall stabilitesinin filler yüzdesi ile değişimi

Taş tozu filler yerine cam tozu filler kullanılarak yapılan Marshall stabilite deney sonuçlarında, cam tozu filler yüzdeleri arttıkça stabilite değeri belli bir orana kadar arttıktan sonra azalmaktadır.



Şekil 5.30 Akmanın filler yüzdesi ile değişimi

Taş tozu filler yerine cam tozu filler kullanılarak yapılan Marshall stabilite deney sonuçlarında, cam tozu filler yüzdeleri arttıkça akma değeri belli bir orana kadar azaldıktan sonra artmaktadır.

Mermer tozu, uçucu kül, fosfojips ve cam tozu Marshall stabilite sonuç değerleri toplu halde Çizelge 5.6 'da verilmiştir.

Deney sonuçlarına göre genel olarak farklı taş tozu ve endüstriyel atık filler yüzdeleri ile hazırlanan bitümlü karışımlarda Marshall stabilite değerleri şartname limitlerine yakın değerler almıştır. Sonuçların değerlendirilmeleri boşluk, stabilite ve akma değerleri ile yapılmıştır.

Boşluk oranları, mermer tozu, uçucu kül, fosfojips ve cam tozu atıkları filler yüzdeleri arttıkça artmaktadır. Stabilite değerleri, uçucu kül ve fosfojips atıkları filler yüzdeleri arttıkça artmaktadır. Cam tozu atığı stabilite değeri filler yüzdesi arttıkça azalmaktadır. Mermer tozu, uçucu kül ve fosfojips atıkları filler yüzdesi arttıkça akma değerleri azalmakta, cam tozu atığı akma değeri ise filler yüzdesi arttıkça artmaktadır.

Çizelge 5.6 Değişen filler yüzdelerine göre endüstriyel atık maddelerin marshall stabilite sonuç değerler

Endüstriyel Atıklar		Filler Yüzdesi (% taş tozu - % endüstriyel atık)					
		%7-%0	%5-%2	%4-%3	%3-%4	%2-%5	%0-%7
Mermer Tozu	Pr.Öz.Ağ.gr/cm3	2.386	2.386	2.381	2.317	2.367	2.347
	Boşluk %	4.9	4.9	5.1	7.6	5.7	6.4
	VMA %	15.2	15.2	15.4	17.7	15.9	16.6
	Asf. Dol. Boş. %	67.8	67.9	66.9	56.7	64.4	61.2
	Stabilite kg	1351	1394	1483	1144	1320	1941
	Akma mm	2.46	2.44	2.00	1.74	2.13	1.85
Uçucu Kül	Pr.Öz.Ağ.gr/cm3	2.376	2.346	2.342	2.305	2.314	2.265
	Boşluk %	5.3	6.5	6.7	8.1	7.8	9.7
	VMA %	15.6	16.6	16.8	18.1	17.8	19.5
	Asf. Dol. Boş. %	66.1	61.1	60.4	55.1	56.3	50.2
	Stabilite kg	1451	2081	2221	2344	2330	2391
	Akma mm	2.23	1.68	1.75	1.80	1.85	1.22
Fosfojips	Pr.Öz.Ağ.gr/cm3	2.366	2.348	2.344	2.306	2.326	2.326
	Boşluk %	5.7	6.4	6.6	8.1	7.3	7.3
	VMA %	15.9	16.6	16.7	18.1	17.4	17.3
	Asf. Dol. Boş. %	64.3	61.4	60.7	55.2	58.0	58.1
	Stabilite kg	1259	1259	1282	1151	1313	1373
	Akma mm	2.83	2.68	2.55	2.29	2.16	1.76
Cam Tozu	Pr.Öz.Ağ.gr/cm3	2.386	2.392	2.393	2.390	2.378	2.375
	Boşluk %	4.9	4.7	4.6	4.7	5.2	5.3
	VMA %	15.2	15.0	15.0	15.1	15.5	15.6
	Asf. Dol. Boş. %	67.9	69.0	69.2	68.6	66.4	65.9
	Stabilite kg	1464	1533	1383	1504	1204	1048
	Akma mm	2.47	2.52	2.37	2.66	2.51	2.83

5.3 Bitümlü Karışımların Gençleştirilmesi

Yol üst yapılarının yüksek sıcaklıklarda yeterli rijitliğe sahip olması tekerlek izi gibi deformasyonlara karşı direncin artmasına, düşük sıcaklıklarda ise yeterli esnekliğe sahip olması çatlamalara ve kırılmalara karşı direncin artmasını sağlayacaktır. Kaplamanın trafik yükleri altında yorulma nedeniyle meydana gelen çatlamlar ile su etkisiyle meydana gelen soyulmalara karşı dirençli olması ve kaplama yüzeyinde istenilen seviyede kayma direncinin elde edilerek sürüş emniyetinin sağlanması da yine bitümün modifiye edilmesinde amaçlanan hedefler arasındadır.

Genel olarak bitümün modifiye edilme sebepleri aşağıdaki gibi sıralanabilir [63].

1. Düşük servis sıcaklıklarında daha esnek karışımlar elde etmek ve böylece kalıcı deformasyonları azaltmak,
2. Yüksek servis sıcaklıklarında daha sert karışımlar elde etmek ve böylece tekerlek izlerini azaltmak,
3. Kayma direnci yüksek yüzeyler elde etmek,
4. Karışımların stabilitesini ve mukavemetini arttırmak,
5. Karışımların yorulma direncini arttırmak,
6. Yaşlanmış bitümlü bağlayıcıları gençleştirmek,
7. Düşük kaliteli agregaları kullanılır hale getirmek,
8. Agregaların üzerinde daha kalın bağlayıcı filmleri oluşturarak, bağlayıcı ve agregaların birbirine yapışma özelliğini artırarak, soyulmayı azaltmak,
9. Akmayı ya da kusmayı azaltmak,
10. Yakıt dökülmelerine karşı direnci sağlamak,
11. Kaplama tabakalarının kalınlıklarını azaltmak ve daha ince aşınma tabakalarının kullanımını sağlamak,
12. Çatlakları geciktirmek,
13. Uygulama alanlarını artırmak,
14. Absorpsiyonu minimize etmek,
15. Kaplamaların performansını yükseltmek,
16. Kaplamaların uzun vadede ekonomik olmasını sağlamak

Bağlayıcıya veya karışıma çeşitli katkı maddeleri ilave edilmesiyle bu özellikler tam olmasa da kısmen sağlanabilmektedir.

Bitümlü karışımları gençleştirme yöntemleri

Gençleştirme işlemi genel olarak katkı maddesinin mevcut kaplamadaki bitüme katılması ile modifiye bitüm elde edilmesi veya katkı maddesinin asfalt plentinde doğrudan doğruya karışıma katılması ile modifiye karışım elde edilmesi şeklinde yapılabilmektedir.

Bitümlü bağlayıcı için özelliklerinin belirlenmesinde uygulanan test yöntemleri, daha kısa sürelerde yapılabilmektedir. Karışıma yönelik testler ise bitümlü bağlayıcılara uygulanan test yöntemlerine göre daha uzun süre, daha fazla işlem ve daha kapsamlı test ekipmanlarını gerektirmektedir. Ayrıca, hizmet aşamasının performansını belirlemede daha temsili olmaktadır.

Modifiye edilmiş bitüme, çeşitli standart test yöntemleri uygulanmak suretiyle, katkılı bitümün katkısız bitüme göre özelliklerindeki değişimlerin tespit edilebilmesi mümkün olabilmektedir. Böylece modifiye bitümün özelliklerinin belirlenmesine ve değerlendirilmesine imkan sağlanabilmektedir.

Bitüm katkı maddelerinde aranan özellikler

Bitümlü bağlayıcıların modifikasyonunda kullanılacak olan katkı maddelerinin uygulamada etkili, pratik ve ekonomik olması bakımından bazı koşulları sağlaması istenilmektedir;

1. Kolay elde edilebilmelidir
2. Bitümle uyuşmalıdır,
3. Bitüm karışım sıcaklığında özelliğini kaybetmemelidir
4. Bitüm ile homojen olarak karışabilmelidir
5. Bitümün yüksek karıştırma ve serme sıcaklıklarında, çok fazla viskoz hale gelmeden akışkanlığa karşı direncinin artmasını sağlamalıdır
6. Düşük sıcaklıklarda ise kaplamanın çok kırılğan veya sert olmasını önlemelidir,
7. Uygun maliyette olmalıdır.

Gençleştirilmiş bitümlerde aranan özellikler

Modifikasyonda kullanılacak katkı maddelerinin bitüm ile karıştırılmasından sonra, elde edilen modifiye bitümden beklenen özellikler ise şunlardır [64];

1. Depolama, uygulama ve hizmet sırasında sahip olduğu özelliklerini kaybetmemelidir,
2. İşlenebilirlik özelliğine sahip olmalıdır,

3. Depolama, uygulama ve hizmet sırasında fiziksel ve kimyasal olarak stabil olmalıdır,
4. Uygulama sıcaklıklarında püskürtülebilme ve agregayı sarabilme akışkanlığını sağlayabilmelidir.

Bitümün modifikasyonu için kullanılan katkılar

Modifiye bitüm eldesinde kullanılan katkı malzemeleri günümüzde çeşitlilik arz etmekte olup, gelecekte daha da artacağı beklenmektedir. Kullanımı oldukça artan modifiye bitümler konusundaki çalışmalarda katkı maddesi olarak polimerlere ve kimyasal reaksiyon modifikasyonlarına ilginin arttığı görülmektedir. Polimer modifikasyonlarında plastiklerin, elastomerlerin, işlenmiş kauçukların ve fiberlerin ana modifikasyon başlıklarını oluşturduğu görülmektedir. Kimyasal reaksiyonlu modifikasyonlarda ise katkı reaksiyonları, vulkanizasyon ve nitrasyon reaksiyonları dikkat çekmektedir.

Çizelge 5.7’de bazı yaygın kullanılan modifiyeler ve değişiklik sağladığı özellikler verilmektedir.

Kimyasal katkı maddelerinin bitüme ilavesi ile bitümün viskozite, sertlik, yumuşama, adezyon, yaşlanma, soyulma ve işlenebilirlik gibi özelliklerinde iyileştirmeye gidilebilmektedir. Yorulma direncini artırmak için stiren-bütadien (SBR), etil-vinil-asetat (EVA), oksidan vb., kalıcı deformasyon direncini artırmak için stiren-bütadien-stiren (SBS), mineral filler, vb., düşük ısı çatlağı direnci için SBS. genişletirici katkılar, vb., sertleşme direnci için SBR, oksidan, antioksidan, mineral elyaflar, vb., soyulmaya karşı organik esaslı metal katkı maddeleri kullanılabilmektedir [65].

EVA, SBS, termoset veya termoplastik polimerler, doğal ve yapay kauçuk, modifiyerler bitüme katıldığında özellikler farklı olduğundan bitümle uyumu için gerek cins gerekse miktar doğru saptanmalıdır.

Çizelge 5.7 Modifiyeler ve değişiklik sağladığı özellikler [64];

BAZI YAYGIN KULLANILAN MODİFİYELERİN ROLÜ	
	Kimyasal Katkıların Rolü
Yağ	Bitümün yapısı, Bağlayıcılık , Viskozite Penetrasyon değeri, Yumuşama
Filler tozu	Yumuşama noktası, Viskozite, Sertlik, Yoğunluk, Maliyet, Mekanik sağlamlık
Fiberler	Tiksotropik, Çatlak direnci, Viskozite
Balmumu	Viskozite (sıcak), Sertlik (soğuk) Bağlayıcılık, Adezyon
APP (Ataktik polipropilen) EVA (Etilen vinil asetat)	Sertlik, Penetrasyon değeri, Frass kırılma noktası, Yumuşama noktası
SBS (stiren-butadien-stiren)	Penetrasyon değeri, Yumuşama noktası, Elastik geri dönüş, Düşük sıcaklık kırılabilirliği
Solvent	Viskozite
Emülsifikasyon	Viskozite, Islatma kabiliyeti, Uygulama sıcaklığı
Islatma ajanları	Islatma kabiliyeti, Adezyon

Bunun için modifiye bitüm üzerinde yapılacak bir takım deneyler (viskozite, yumuşama noktası, soyulma, kırılabilirlik, vb.) yapılarak sonuçlar modifiye edilmemiş bitümle karşılaştırılmalıdır.

Bitümün geliştirilme türleri

Kullanılan katkıları yani modifiyerler gerek cins gerekse miktar olarak farklı bitümlerde farklı sonuçlar yaratmaktadır. Bunun nedeni asfalt ve malten olarak belirttiğimiz iki ana grubun her bitimde farklı oranlarda olmasıdır. Aynı şekilde katkı cinsinin ve miktarının belirlenmesi de önemli bir husustur.

Kükürt ilavesi yoluyla bitümün gençleştirilmesi

Kükürt kullanım miktarına göre, kükürtlü asfalt denilen ve kükürdün az miktarda kullanıldığı uygulamalar ve fazla miktarda kükürt kullanılan uygulamalar olmak üzere iki şekilde modifiyer olarak kullanılmaktadır. Az miktardaki uygulamalarda kükürt bitümün seyreltilmesi işlevini görür. Fazla miktarda uygulamalarında ise kükürdün izlenebilirliği arttırdığı, silindir kullanmadan yani sıkıştırma gerekmeden, sadece finişer ile serilebilecek derecede çalışılabilir ve hizmet süresince deformasyona karşı yüksek dirençli bir karışım elde edilmektedir [2].

Bitüm ile reaksiyona girecek kükürt miktarı sıcaklığa ve bitüm kompozisyonuna göre değişmektedir. Kükürt moleküle ilave olarak veya hidrojen sülfat olarak hidrojen çıkartılması yoluyla oksitlendirilerek, en yoğun şekilde bitümün naften-aromatik kısmı ile reaksiyona girdiği gösterilmiştir [66].

Yüksek sıcaklıklarda ortaya çıkacak hidrojen sülfür gazları sağlığa zararlı olduğundan, sıcaklığın dikkatli bir şekilde kontrol edilmesi ve uygun ekipmanın kullanımı gerekmektedir.

Bitüm yaklaşık 160 °C sıcaklıklarda düşük viskoziteli bir madde olmasından ötürü karışımı kolayca işlenebilir hale getirmektedir. Karışım soğuduğunda fazla kükürt malzeme içerisindeki boşluklara kısmen dolar ve agregaların birbirleriyle sürtünmesini arttırarak karışıma yüksek mukavemet kazandırır [2].

Kükürt ile modifiye edilmiş karışım özellikleri ve davranışlarındaki değişiklikler zamana bağlıdır. İlk etapta, kükürt ile modifiye edilmiş bitümlü karışımların Marshall stabilitesi sadece bitüm kullanılarak hazırlanan karışımların değerinden az miktarda düşük olmakla birlikte, 7 ile 21 gün sonrasında, Marshall stabilitesi, modifiye edilmemiş malzemenin stabilite değerinin yaklaşık iki katına yükselmiştir.

Bu durumun en geçerli açıklamasının ise bitümle etkileşime girmesi sonucunda kükürt kristalizasyonunun yavaşlaması olduğu belirtilmektedir.

Kauçuk ilavesi yoluyla bitümün gençleştirilmesi

Polibütadien, poliizopren, doğal kauçuk, bütül kauçuk, klorofin, düzensiz stiren-butadien-kauçuk, vb. gibi bileşenlerin çoğu bitüm ile birlikte kullanılmakta olup, başlıca etkileri viskoziteyi arttırmaktır.

Bazı durumlarda, kauçuklar vulkanize halde (çapraz-bağlı) kullanılır. Genellikle kullanılmış taşıt lastiklerinden elde edilen bu malzeme bitümlü karışımlara yüksek sıcaklıklarda karıştırılarak kullanılır.

Yol yapımı için kullanılan karışımlar haricinde kauçuğun bitüm ve agregaya karıştırılarak futbol ve çocuk oyun sahasında kullanılabilecek elastik yüzeye sahip malzeme yapımında da kullanılabileceği görülmektedir[67].

Organo-mangan bileşiklerinin ilavesi yoluyla bitümün gençleştirilmesi

Bitümde organo-mangan bileşiklerinin kullanımı, ya tek basına veya organo-kobalt veya organo-bakır bileşikleriyle kombinasyon halinde yapılmaktadır [2].

Organo-mangan bileşiminin bitüm içerisinde hızlı bir şekilde dağılmasını sağlamak amacıyla malzeme bir katalizör ile karıştırılarak kullanılmaktadır. Manganın, kararlı, kimyasal direnci yüksek metalli komplekslerin oluşumunu hızlandırdığına inanılmaktadır. Bu kompleksler bitüm moleküllerini birbirine bağlayarak, bitümlü karışımın mukavemetini güçlendirmektedir.

organo metalik mangan katkı maddesi ile kalker ve bazalt agregalarının soyulmaya karşı mukavemet değerinde genel olarak % 90 oranına ulaşan artışlar ve organik metalik mangan bileşiğinin kalkerlerde bazaltlardan daha etkin olduğu tespit edilmiştir.

Termoplastik polimerlerin ilave edilmesi yoluyla bitümlerin gençleştirilmesi

Fiziksel olarak düz ve dallanmış zincir yapısına sahip olan bu polimerler, ısıtıldıklarında önce yumuşarlar sonra kıvamlı akışkan haline gelirler [66]. Polietilen, polipropilen, polivinil klorür, polistiren ve etilen vinil asetat (EVA) modifiye karışımlarda denenmiş olan başlıca polimerleri oluşturmaktadır. Termoplastik polimerler bitüm ile karıştırıldıklarında ortam sıcaklığında birleşerek bitümün viskozitesini artırır.

Termoplastik kauçukların ilavesi ile bitimi gençleştirilmesi

Stirenik blok kopolimerler, dört ana termoplastik elastomer grubu (poliüretan, polieter-poliester kopolimerler, olefinik kopolimerler ve stirenik kopolimerler) arasında bitüm ile karıştırılmak için en büyük potansiyeli taşıdığı kanıtlanmış olup. bu polimerlerle birçok çalışma yapılmıştır.

Termoplastik kauçuklar mukavemet ve elastikliğini moleküllerin üç boyutlu bir ağa fiziksel olarak çapraz şekilde bağlanmalarından elde etmektedir.

Polistirenin camlaşma noktasının üzerindeki sıcaklıklarda (100 °C üzeri) ortamın zayıflamasından ötürü polistiren yumuşamakta ve gerilme altında ayrılmakta dolayısıyla da kolayca işlenmeye olanak sağlamaktadır. Soğutma ile ortamlar tekrar birleşmekte, mukavemet ve elastisite geri kazanılmaktadır.

Termoset modifiyeli bağlayıcılar

Yüksek oranda çapraz bağ içeren polimerler ısıtıldıkları zaman termoplastikler gibi yumuşamazlar ve erimezler, hatta aksine sertleşirler. Sıcaklık daha da artırılırsa doğrudan ısısal bozunmaya uğrarlar yani kimyasal olarak parçalanırlar. Bu nedenle ısıtılınca sertleşen polimerlere ısı ile sertleşen anlamına gelen termoset polimerler denir.

Biri sertleştirici diğeri bir reçineden oluşan iki sıvı bileşenin kimyasal reaksiyona girmesinden termoset polimerler elde edilmektedir. Bitüm ile karıştırılan iki bileşenli epoksi reçinesi karışımları bitümü ilkinden çok termoset reçinelerin özelliklerini yansıtmaktadır.

Termoset polimerler ile modifiye edilen bitümler ısıya daha az duyarlı, daha elastik ve aşınma direnci daha yüksektir. Dolayısıyla deformasyona karşı daha dirençlidirler. Ayrıca, bitüm-agrega adezyonu daha fazladır [65].

6. GERİ DÖNÜŞÜM İLE İLGİLİ GENEL DURUM

6.1 Ülkemizdeki Genel Durum

2003-2007 yılları arasında asfalt yol yapımında kullanılmak üzere çeşitli kurum ve kuruluşlar tarafından üretilen asfalt çeşitleri, miktarları ve bunların kullanım alanları Çizelge 6.1’ de verilmiştir [33]. Üretilen asfalt çeşitleri arasında bulunan sathi kaplamanın kullanıldıktan sonra sökülerek geri kazanılması mümkün olmadığından değerlendirme dışında tutulmuştur. Asfaltın geri kazammına dair öngörüler, kullanıldığı yerden geri kazanılabilecek şekilde sökülmesi mümkün olabilen bitümlü sıcak karışıma dair veriler üzerinden yapılmıştır.

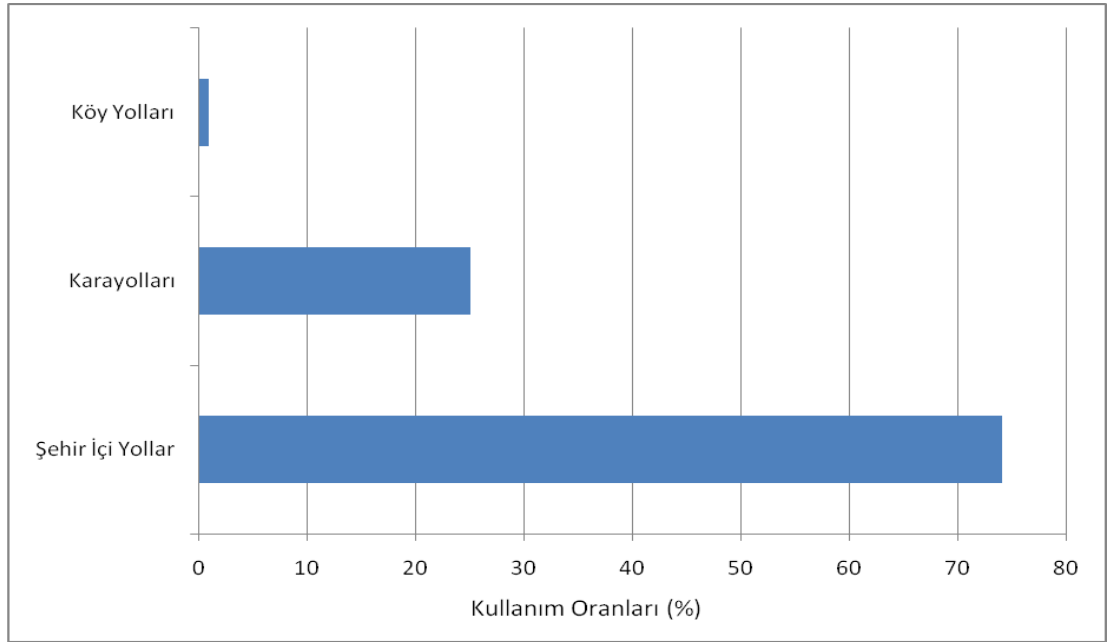
Çizelge 6.1’ de verilen 2003-2007 yılları verilerine göre ülkemizde yıllık bitümlü sıcak karışım üretimi yaklaşık 16,4 milyon tondur [34]. Çizelge 6.1’ de verilen 2003-2007 yılları verilerine göre ülkemizde yılda yaklaşık olarak üretilen toplam 16,4 milyon ton bitümlü sıcak karışımın % 74 ü şehir içi yol yapımında kullanılmıştır (Şekil 6.2). Bu miktar yılda yaklaşık 12 milyon tondur.

2003-2007 yılları verilerine göre şehir içi yollarda kullanılan bitümlü sıcak karışım üretim miktarı giderek artan eğilimi göstermektedir (Şekil 6.2).

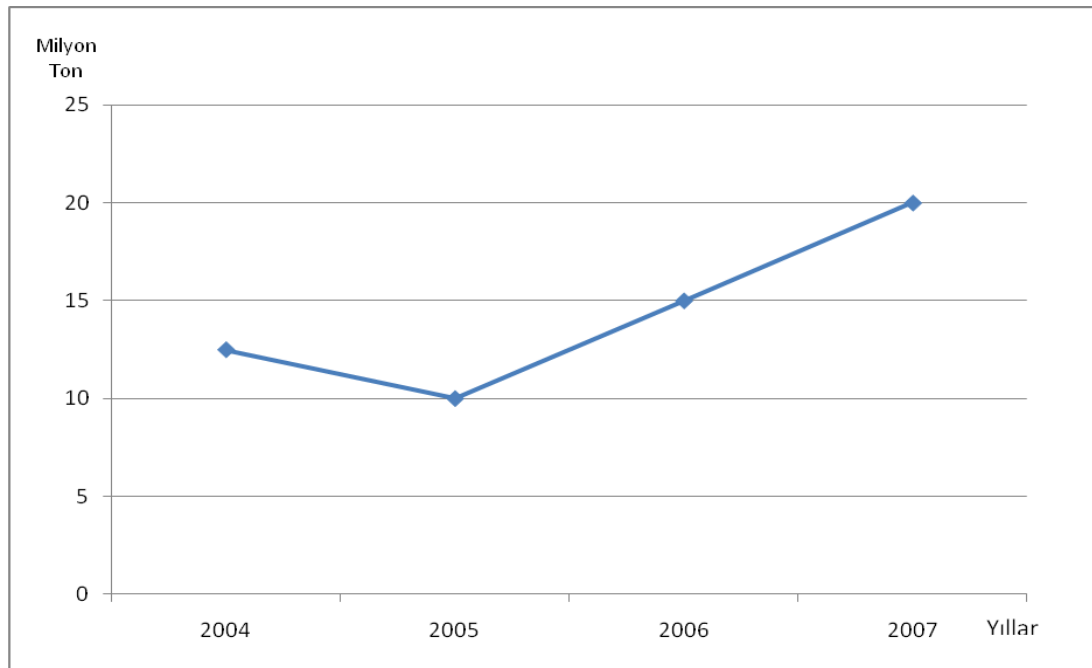
Bütün bunlar, en verimli geri kazanımın şehir içi yollarda kullanılan ve miktarı her yıl giderek artan bitümlü sıcak karışım ile yapılmış yollardan sökülen asfalttan olacağını göstermektedir. Şehir içi yolların yapımından sorumlu yerel yönetimlerin hem şehir içi yol yapımında kullanılan bitümlü sıcak karışımın üreticisi hem de sökülen asfaltın kontrolünden sorumlu olmaları geri kazanımı kolaylaştıran çok önemli bir avantajdır. Çevre denetimlerinin de en önemli paydaşlarından olan yerel yönetimler bu nedenle, geri kazanım konusunda daha aktif rol üstlenmeli, örnek ve öncü olmalıdırlar. Bu durum elbette diğer ilgili kurum ve kuruluşların sorumluluklarını ortadan kaldırmayacaktır.

Çizelge 6.1 Türkiye 'de 2003-2007 yılları arasında üretilen asfalt çeşitleri, miktarları ve kullanım alanları [33]

Kullanım Alanı	Yıl	Bitümlü Sıcak Karışım Milyon ton	Sathi Kaplama	Soğuk Bitümlü Karışım Milyon ton
Karayolları	2003	2,71	80	1.040
	2004	2,93	137	960
	2005	4,07	163	580
	2006	5,9	141	620
	2007	4,9	164	470
Şehiriçi yollar	2003	10,4	11	93
	2004	8,3	19	53
	2005	12,3	21	66
	2006	12,8	20	11
	2007	16,9	18	84
Köy Yolları	2003	0,061	63	430
	2004	0,01	69	502
	2005	0,23	66	640
	2006	0,12	93	530
	2007	0,31	158	746
Toplam	2003	73,2	154	1.560
	2004	11,2	225	1.530
	2005	16,6	250	1.290
	2006	18,9	254	1.160
	2007	22,1	340	1.300



Şekil 6.1: 2003-2007 yılları arasında üretilen asfaltın kullanım alanlarına dağılımı[33]



Şekil 6.2: 2003-2007 yılları arasında şehir içi yollarda kullanılan bitümlü sıcak karışım miktarları [33]

Türkiye'de sökülen asfaltın kontrolü

Mevcut yasa ve yönetmeliklere göre sökülen asfaltın 18 Mart 2004 tarih ve 25406 Sayılı Resmi Gazete ile yayınlanan "Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği" ne göre kontrol edilmesi gereklidir.

Yani sökülen asfalt, inşaat atığı (moloz) olarak kabul edilmektedir. Yönetmelikte asfalt atığının tanımı: Yol, havaalanı pisti ve benzeri yapıların tamirâtı, tadilatı, yenilenmesi ve yıkımı sırasında ortaya çıkan ve bünyesinde asfalt, zift, doğal polimer ve benzeri malzeme bulunan atıklar şeklinde yapılmaktadır. 28. Madde: Asfalt (yol kaplama) atıklarının geri kazanılması ile ilgili olarak yönetmeliğin yol, havaalanı pisti ve benzeri yapıların tadilatı/tamirâtı ve yıkımı sırasında oluşan asfalt atıkları, diğer inşaat/yıkım atıklarından ayrı olarak toplanır, taşınır ve geri kazanılır. Asfalt atıklarının gelişigüzel yerlere atılması yasaktır. Şeklinde düzenlenmiştir.

Sökülen asfalt dışındaki diğer hafriyat toprağı, inşaat ve yıkıntı atıkları, yönetmeliğe göre, toplanıp, lisanslı depolama alanlarına taşınmakta ve mümkün olabildiği durumlarda başka amaçlarla değerlendirilebilmekte ve kısıtlı oranlarda da olsa geri kazanılması mümkün olabilmektedir. Örneğin, beton atıkları çeşitli amaçlarla (dolgu v.b.) kolaylıkla ve yaygın olarak değerlendirilmekle birlikte yeni beton yapımında kullanılmak üzere geri kazanılması aynı derecede kolay olmamaktadır. Oysa sökülen asfalt, tam tersi olarak yeni asfalt yapımı için geri kazanılmaya çok daha uygundur. Özellikle Amerika Birleşik Devletlerindeki uygulamaların etkinliğinden de anlaşılacağı gibi asfalt atığının uygun işleyişlerle geri kazanılarak yeni asfalt yapımında kullanılması ile önemli bir ekonomik değer yaratılabilmektedir.

Yukarıdaki üretim miktarlarından yola çıkarak aşağıdaki öngörülerini yapmak yanlış olmayacaktır. Şehir içi yol yapımı için üretilen yılda 12 milyon ton bitümlü sıcak karışımın sadece % 1 nin geri kazanılmış asfalt ile üretilmesi ile;

- Her yıl 120 bin ton olmak üzere asfalt atığı yığınları oluşmayacak
- Her yıl taş ocaklarından yaklaşık 114 bin ton daha az taş çıkarılacak ve konkasörlerden daha az agrega üretilcek
- Her yıl yaklaşık 6 bin ton daha az bitüm tüketilecek
- Bütün bu hammadde tüketimlerinin azalması ile bunların üretimleri sırasında oluşan entegre kirlilik aynı oranda azalacak
- Asfalt üretim maliyetleri düşecek, dolayısıyla aynı miktarda hammadde ve diğer kaynaklar tüketilerek daha fazla asfalt yol yapılacaktır.

6.1.1 KGM uygulamaları

Karayolları Genel Müdürlüğünün, İstanbul' u Ankara' ya bağlayan O-4 otoyolunun "Sakarya KöprülÜ Kavşağı - Gümüşova arasında ilk uygulama yapılmıştır.

Yol üstyapısında oluşan bozulmaların iyileştirilmesi sırasında elde edilecek kazılmış malzemenin, yeni yapılacak olan BSK tabakalarında kullanılması planlanmış ve 2006 yılında işin ihalesi Ky. 17. Bl. Md tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu kesimde otoyol trafiğe açıldığı 90' lı yıllardan itibaren herhangi bir büyük onarım görmemiş olup, yolun özellikle aşınma tabakasında yoğun ve şiddetli bozulmalar (enine, boyuna, timsah sırtı çatlaklar vb.) meydana gelmiştir. Defleksiyon etütleri ve performans gözlemleri neticesinde yolda yapılacak onarım tipleri belirlenmiş olup, yer yer aşınma, binder ve hatta bitümlü temel tabakasının dahi kazılacağı kesimler mevcuttur.

Geri dönüşüm işlemi için seçilen metot sıcak geri dönüşüm olarak belirlenmiştir. Asfalt plenti kullanılarak yapılan uygulama, geri kazanılmış malzemenin yeni hazırlanacak karışıma katılması şekline göre sıcak ve soğuk besleme olarak iki kısma ayrılır. Burada plentin özelliği ön plana çıkmaktadır. Plentte bulunan ilave kurutucu sayesinde geri kazanılmış asfalt kaplama ısıtılarak yeni hazırlanacak karışıma katılması sıcak besleme olarak adlandırılmaktadır. Soğuk beslemede ise ilave kurutucu yoktur ve kazınmış asfalt malzeme ısıtılmış yeni agregaya mikserde eklenerek belirli bir süre karıştırıldıktan sonra bitüm ilavesi ile sıcak karışım hazırlanmaktadır. Bu metotla yapılan uygulamalarda geri kazanım malzemesinin kullanım oranı % 30'lar civarında kalmaktadır. Ülkemizdeki bu uygulamada geri kazanılmış malzeme plentte soğuk olarak beslenmiştir.

Laboratuar çalışmaları

Dizaynlarda ve uygulamada kazılan binder malzemesinin kullanılması kararlaştırılmıştır. Kazılmış binder malzemesi üzerinde yapılan ekstraksiyon deneyi sonuçları Çizelge 6.3'de, deney sonucu elde edilen agregaya ait elek analizleri ise Çizelge 6.2 'de verilmektedir.

Bunlara ek olarak kazınmış malzemeden geri kazanım yoluyla elde edilen bitüm, karışıma katılacak normal bitüm ve eski ve yeni bitüm karışımları üzerinde deneyler yapılarak sonuçları Çizelge 6.4' da verilmiştir. Ayrıca EN 13108-1:2006 standardına göre hesaplamalar yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Çizelge 6.2 : Ekstraksiyon sonrası elek analizleri [34]

ELEK AÇIKLIĞI		1	2	3	4	5	6	Ortalama
mm	inch	% geçen	% geçen	% geçen	% geçen	% geçen	% geçen	% geçen
19,1	3/4"	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
12,7	1/2"	97,4	95,1	94,2	94,4	94,3	93,3	94,8
9,52	3/8"	88,6	85,5	79,8	84,4	83,2	75,8	82,9
4,76	No.4	72,5	66,3	56,5	63,6	60,7	52,8	62,1
2,00	No. 10	50,6	44,7	35,6	42,3	39,4	34,6	41,2
0,42	No.40	27,4	23,7	19,3	22,6	21,1	19,1	22,2
0,177	No.80	20,4	17,9	14,8	17,0	16,0	14,7	16,8
0,075	No.200	14,8	13,3	11,2	12,7	12,0	10,9	12,5

Çizelge 6.3 : Ekstraksiyon sonrası bitüm oranı [34]

Örnek No.	1	2	3	4	5	6	Ortalama
% Bitüm Oranı Agreganın (%'si)	4,64	4,31	3,88	4,15	4,01	3,66	4,11
% Bitüm Oranı Bitümlü Karışımın (%'si)	4,43	4,13	3,74	3,99	3,85	3,53	3,95

Çizelge 6.4 : Bitüm deney sonuçları [34]

Sıra no	DENEY ADI	STANDARDI	Geri Kazanılmış Bitüm	Normal Bitüm B50/70	(%82) Normal Bitüm+ (%18) Geri Kazanılmış Bitüm	TS EN 12591 B50/70
1	Penetrasyon (25°C,100g,5sn.) 0,1mm	TS EN 1426	50	65	58	50-70
2	Yumuşama Noktası .,°C (R/B, 25°C)°C	TS EN 1427	54	51,6	51,5	46-54
3	Özgül Ağırlık	TS 1087	1,054	-	1,037	-

Binder ve bitümlü temel dizaynları için kazılarak elde edilen ve 19mm elekten elenen geri dönüşüm malzemesi ile birlikte Genç Osman taşocağından elde edilen agregalar kullanılmıştır. Çizelge 6.5' de binder ve bitümlü temelde kazılmış malzemenin kullanım oranları ve dizayn değerleri verilmektedir.

Çizelge 6.5: Tasarım değerleri [34]

Tasarım Değerleri	Bitümlü Temel	Binder	KTŞ Kriterleri	
			Bitümlü Temel	Binder
Geri Kazanılan malzemenin Kullanım oranı	%20	%10	-	-
Optimum Bitüm % Karışımındaki Toplam Bitüm	4,10	4,40	3,80-4,40	4,10-4,70
Karşıma Eklenecek Yeni Bitüm %	3,30	4,00		
Hava Boşluğu, %	5,36	4,85	4-7	4-6
VMA, %	14,50	14,40	Min. 12	Min. 13
VFA, %	63,00	66,30	55-70	60-75
Stabilite, Kg	1330	1180	Min. 600	Min. 750
Akma, mm	2,60	3,04	2-5	2-4

Arazi çalışmaları

Bozulmuş binder kaplaması kazıma makineleri ile kazındıktan sonra şantiyeye nakledilip depolanmıştır.

Üretim çalışmaları

Kazıma malzemesi eleme işleminden geçirilerek 0-19mm ve 19 mm üzeri olarak iki gruba ayrılmıştır. Dizaynda ve imalatda 0-19 mm grup kullanılmıştır. Kazınmış malzeme ayrı bir bunkerden beslenerek taşıyıcı bantla kurutucunun sonunda yeni malzeme ile birleşerek elevatörle sıcak silolara iletilir. Bu aşamada kazınmış malzeme alev ve yüksek ısıya maruz kalmamıştır. Sonra dizaynla belirlenen oranda yeni agrega ve bitümlü bağlayıcı ile karıştırılmış, serilip, sıkıştırılarak imalat tamamlanmıştır.

Uygulamada agrega sıcaklıkları 190-200 °C, sıcak silo sıcaklıkları 170-180 °C, karışımın sıcaklığı 155-160 °C olarak belirlenmiştir. "Sakarya KöprülÜ Kavşağı - Gümüşova (17.Bölge Müdürlüğü Sınırı) Arası Otoyol ve Bağlantı Yolları Üstyapı İyileştirmesi ve Büyük Onarım İşi" kapsamında 2007-2008 yılı içinde; 93 000 ton bitümlü temel ve 161 000 ton binder imalatı yapılmış olup yaklaşık olarak 35 000 ton kazınmış asfalt kullanılmıştır.

Dikkat edilecek konular

Kazınmış malzemenin gradasyonu ve/veya bitümlü bağlayıcı miktarı değiştiğinde karışım dizaynının tekrar hazırlanması gerekeceğinden, kazınmış asfalt kaplama malzemesinin gradasyonu ve bitümlü bağlayıcı miktarı homojen olmalıdır. Bu nedenle kazımda kullanılan makineler; aynı tip ve özellikte kazınmış malzeme üretecek şekilde kazıma yapmalı; sıcak karışım hazırlamakta kullanılan, kazılmış asfalt kaplama malzemesinden günde en az bir kez numune alınarak bitüm miktarı ve gradasyon kontrolü yapılmalıdır [35].

Kazıma makinesi kendinden hareketli/kendi yürür, yeterli çekiş gücüne sahip olmalı kazıma derinliğini doğru, düzgün bir şekilde ve süreklilik sağlayacak şekilde sürdürebilecek kapasitede olmalıdır. Boyuna ve enine eğim ve kot kontrolünü doğru ve hassas bir şekilde yapacak otomatik sisteme sahip olmalı, kazıma sırasında oluşabilecek toz ve parçaların dışarıya gitmesini etkili olarak önleyecek bir sisteme sahip olarak seçilmelidir.

Kazılan malzemenin statik yük ve yüksek hava sıcaklıkları nedeniyle birbirine yapışmasını önlemek üzere, depolama sırasındaki yüksekliği 3 metreyi geçmemelidir. Aynı nedenlerle yükleyiciler ve kamyonlar deponun üzerine çıkartılmamalıdır. Depo malzeme mutlaka rutubetten, yağıştan etkilenmeyecek şekilde korunmalıdır.

Uygulama sırasında kullanılan plent harman tipi olup, 200 ton\saat kapasiteli ve tam otomatiktir. Kazılan malzeme plentte işleme tabi tutulmadan önce 19 mm. elekten elenmiş ve ayrı bir bunkerden beslenerek, yeni agrega ile kurutucunun çıkışında birleşerek elavator yardımıyla eleklerle taşınmış, elenerek karıştırıcıda yeni bitümle birleştirilmiştir. Geri kazanım malzemenin kullanım miktarını, dizayna uygunluğunun yanında yeni karışımın plentten çıkış sıcaklığı kontrol etmiştir. Bu aşamada dikkat edilmesi gereken bir hususta kazılan malzemenin soğuk olarak beslenmesi nedeniyle yeni agrega ve bitüm bir miktar daha fazla ısıtılması ve karıştırma süresinin arttırılmasıdır. Sıkıştırma sırasında ise karışım daha çabuk ısı kaybettiğinden silindir sayısının arttırılması uygun olacaktır.

Sathi kaplamanın yeniden kullanımı

Bozulmuş sathi kaplamanın kazılarak yerinde/plentte yeniden bitümlü karışım tabakası olarak kullanımının araştırılması amacıyla bir çalışma yürütülmüştür.

Çalışmada, 2 farklı yol kesimi değerlendirilmiştir. Birinci kesim Ayaş - Beypazarı Yolunda, iki kattan fazla sathi kaplama yapılmış yaklaşık 4 km uzunluğunda bölünmüş yol kesimidir. Diğer kesim ise Çubuk Ayr. - Akyurt Yolunda iki kat sathi kaplamalı yaklaşık 4 km uzunluğunda bölünmüş yol kesimidir.

Her iki kesimde de belirli aralıklar ile sathi kaplamalardan karot numuneleri alınmıştır. Karotlar üzerinde, bitüm miktarı tayini gradasyon, hacim özgül ağırlık deneyleri yapılmış, geri kazanılan bitümün penetrasyon ve yumuşama noktası değerleri belirlenmiştir. İlave olarak, çok katlı sathi kaplama karot numunelerinin esneklik modülü değerleri de belirlenmiştir.

Deney sonuçları Çizelge 6.6'da verilmiştir.

Çok katlı sathi kaplamanın esneklik modülü, bitümlü temel tabakası esneklik modülünün neredeyse yarısına yakındır. Bu durumda sathi kaplamanın yerinde kazılarak yeniden kullanımının ekonomik olmayacağı düşünülmüştür. Bu çalışma, sathi kaplamanın yeniden BSK ya da soğuk karışım olarak kullanımı ile ilgili ileride yapılacak uygulamalara bir başlangıç oluşturması amacıyla, bir ön araştırma çalışması olarak yürütülmüştür.

Bu çalışma sonucunda;

Agrega kaynakları hızla tükenmekte ve bitümlü bağlayıcı fiyatları ve buna bağlı olarak yapım maliyetleri artmaktadır. Mevcut kaynakları tüketmemek ve onlara olan ihtiyacı azaltmak için Avrupa'da birçok ülkede kullanımı gittikçe artan geri kazanım yönteminin (recycling) ülkemizde de kullanılmasının artarak devam etmesi, bu konudaki bilgi birikiminin ve tecrübenin artırılması gerekmektedir.

Sakarya Köprülü Kavşağı-Gümüşova Arası Otoyol ve Bağlantı Yolları üstyapı onarım işinde geri kazanılmış malzeme ile bitümlü temel ve binder imalatları başarı ile tamamlanmış olup, konunun ülkemiz uygulamalarına başlangıç olması nedeniyle son derece önemli olduğu düşünülmektedir.

Çizelge 6.6 Sathi kaplama karotlarının deney sonuçları [34]

<i>DENEY ADI</i>		<i>DENEY SONUÇLARI</i>	
		<i>ORTALAMASI</i>	
		<i>Ayaş Yolu</i>	<i>Akyurt Yolu</i>
		<i>36+100-39+600</i>	<i>0+000-4+400</i>
Karot yüksekliği (mm)		52,8	37,4
Bitüm Miktarı (Agreganın %'si olarak)		5,8	4,7
Geri kazanılan bitüm	Penetrasyon	217	200
	Yumuşama Noktası	40	38
Ekstraksiyon Kalıntısına Elek Analizi, % Geçen			
	1"	100	100,0
	3/4"	88,05	100,0
	1/2"	60,8	62,4
	3/8"	45,85	51,5
	No.4	28,6	34,4
	No.10	18,6	22,9
	No.40	9,8	11,7
	No.80	7,75	8,9
	No.200	5,75	7,3
Esneklik Modülü, <i>M Pa</i>		2536	-

Yol ağımızın önemli bir kısmının oluşturan sathi kaplama tabakasının yeniden kullanımı da oldukça önemlidir. Uygun ekipman ve teknik ile mevcut bozulmuş sathi kaplamanın kazınarak yerinde soğuk/sıcak karışım ya da plentte sıcak/soğuk karışım olarak yeniden kullanımı söz konusu olabilecektir.

6.2 Dünyadaki Genel Durum

Amerika Birleşik Devletleri ve Avrupa ülkelerinde özellikle Almanya ve Fransa'da yaygın olarak geri kazanılmış asfalt kaplama karışım teknikleri uygulanmaktadır. Günümüzde asfalt kaplamaların kazılması sonucu elde edilen geri kazanım malzemelerinin yeni yapılacak kaplama tabakasındaki kullanım oranları, geliştirilen teknik ve uygulama yöntemleri sayesinde % 80'e varan oranlara çıkabilmektedir [36]. Bununla birlikte, artan ekonomik ve çevresel gereksinimler bu yöntemlere birçok teknik incelik getirmiş ve daha yakın bir ilgi uyandırmıştır.

Gelişmiş ülkelerde hem ekonomik hem de çevresel nedenlerden yeni üretilen asfalt karışıma katılan kazılmış asfalt kaplama, ülkemizde ya atılmakta ya da ekonomik değerinin çok altında değerlendirilerek asfalt kaplamaya dönüştürülmeden köy yollarında stabilize malzeme olarak kullanılmaktadır. Asfalt kaplamanın geri kazanılmasının ülke ekonomisine ciddi ölçüde fayda sağlayacağı aşikardır[37].

Yapı malzemelerinin maliyetindeki devamlı artışla bağlantılı olarak, atık malzeme artışına karşı düzenlemelere gidilmekte, dolayısıyla karayolları sektörü, daha önceki bölümlerde sıralanmış olan ve kendi içlerinde birbirlerine göre daha avantajlı ve avantajsız oldukları geri dönüşüm yöntemlerinden (sıcak karışım, soğuk karışım, yüzeysel karışım ve tam derinlikli karışım gibi) herhangi biriyle, Geri Kazanılmış Asfalt Kaplama (RAP) malzeme kullanımını artırmaya çalışmaktadır. Geri dönüşüm, yeni agregada kullanımındaki sarmal maliyeti ve ham malzeme bulmadaki zorluğu işaret ederek RAP kullanımını önerir. RAP kullanımı aynı zamanda, atık malzeme artışıyla birlikte gelen yüksek maliyetleri kesmeye yardımcı olduğu kadar, çevresel sorunlar yaratan atıkları da engeller. RAP kullanmakla hem yükleniciler hem de müşteriler, yapı maliyetlerini azalttıkları gibi sürdürülebilirlik için gerekli "yeşil" tasarrufu da yaparlar.

Amerika 'da geri dönüşüm uygulamaları

Geri dönüştürme işleminin ilk uygulandığı yer olan Florida'da 30 yılı aşkın süredir devam eden süreci incelersek; karayollarında geri dönüşümlü asfalt kaplama kullanmanın sayısız faydası olduğunun bilincindeki Florida Ulaşım Departmanı (FDOT) malzeme maliyetinden yapılan tasarrufun daha çok yol yapılmasına olanak sağladığını farketmiştir.

Bunun yanı sıra, yeni agrega üretimi, işlemesi ve nakliyesi gibi çok konuda enerji tasarrufu yapıldığının bilincine çok erken vararak geri dönüşümlü asfalt kaplamalar konusunda ilk adımları atmışlardır.

Florida West Palm Beach'te ilk kez 1977'de uygulanan bu geri dönüşümlü asfalt kaplama uygulama projesinde, %25 RAP içeren bir ağırlıklı tip plentten üretilen 25.000 ton sıcak asfalt karışımı kullanılmıştır. 1978'de Panama City'de yeni yol yüzeyi oluşturmak için yapılan başka bir projede modifiye edilmiş bir ağırlıklı tip plentten %30 RAP içeren karışım kullanılmıştır. Daha sonra 1979 yılında, Ocala'da yeni bir deneme yapılmış sürekli tip plentte üretilen yüksek RAP içerikli 31.500 ton malzeme kullanılmıştır. O zamanın şartları içinde yapılan uygulamanın her aşamasında planlı ve bilinçli hareket etmediklerini kurumun kendisinde ifade etse de uygulanan kaplamanın 12-13 yıl kadar dayandığı bilinmektedir[38].

Yeterli miktarda denemeler sonucunda oluşturulan sıcak asfalt karışımı (HMA) 1980 şartnamelerinde, %60 a kadar RAP kullanımına izin verilmiş ve bu malzeme Florida'da yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. İlerleyen yıllarda, yol kaplamalarında şiddetli tekerlek izleri göze çarpmış ve sonuç olarak RAP kullanımına bir limit getirme kararı alınmıştır. 1990'larda Superpave şartnameleri oluşturulduğunda, malzeme gradasyonu konusunda yeni ve karşılaması daha zor limitler ortaya çıkmış ve karışıma katılacak geri dönüşümlü asfalt kaplama (RAP) kullanım oranının azaltılması gerektiği belirlenmiştir.

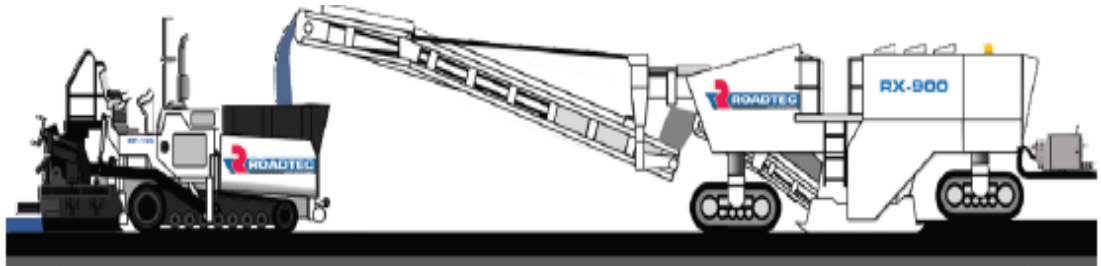
2000'li yıllardan sonra, Florida'da artan nüfus, yeni yolların yapılmasını gerektirmiş, dolayısıyla yeni yapılacak yollar için gereken agrega, bitüm ihtiyacı baskı oluşturmuştur. Bu baskı sonucunda Florida Ulaşım Departmanı, yeni ekipman ve malzeme teknolojilerinin yardımıyla, geri dönüşümlü malzeme kullanımını tekrar gözden geçirmiş ve kullanım oranının artırılması yolunda karar almıştır[38]. 1980'lerde %50'den %20'ye düşürülmesine rağmen Florida'nın mevcut karayollarında bugün, karışımında %60 oranında geri dönüştürülmüş asfalt malzeme (RAP) bulunan sıcak karışımli yollar yapılmaktadır. Diğer bir önemli konu ise başlangıçta RAP malzemenin içindeki agrega kalitesinin belirlenememesi nedeniyle cıalanma etkisi konusunda şüphelerin oluşması idi. Yeni ekipmanlar, malzeme teknolojisi ve üretimindeki gelişimler, bitüme polimer ilave edilerek üretilen Polimer Modifiye Bitüm (PMB), güçlü adhezyon kabiliyetleri ile suyun bağlayıcı malzeme olan bitüm ile agrega arasına girmesini önlemiştir.

Kaplamanın sıcaklık değişimlerine karşı hassasiyetini azaltmış, karışımın kalıcı deformasyonlara ve yorulmaya karşı direncini artırmıştır. Bu gelişmeler sayesinde 1970 ve 80'lerdeki ilk denemelerde sıkça karşılaşılan çatlama ve tekerlek izi problemlerinden endişe etmeden, RAP malzeme yüksek kaliteli aşınma tabakasında dahi kullanmaya olanak sağlamaktadır.

Geri dönüşümlü asfalt kalama uygulamaları dünya genelinde artmaya başladıkça iyileştirilmek istenen mevcut asfaltın sokumu ve uygulamanın daha seri ve sağlıklı biçimde yapılabilmesi için kaplamayı istenen derinlikte ve profilde kazıyan asfalt kazıma makineleri kullanılmaya başlanmıştır. Asfalt kaplamanın kazıma işleminin bu özel ekipmanlarla (Şekil 6.3) yapılması kalite ve zaman açısından belirgin avantajlar sağladığı gibi geri dönüştürülecek malzemenin de daha efektif kullanılmasına izin vermektedir.

Bu konuda ilk uygulama yapılan yer olmasının yanında araştırma, geliştirme ve uygulama anlamında yeni gelişmeleri takip eden Florida Karayolları, Amerika dahilinde en kaliteli kaplamaya sahip olan yollarıyla bu çabalarının sonucunu almış bulunmaktadır.

Yapılan denemeler sonucunda, RAP içeren güncel karışımlar, geleneksel karışımlardan daha iyidir. Günümüzde ise, aşınma tabakasında %15'e kadar RAP kullanımına izin verilmektedir.



Şekil 6.3 Asfalt kazıma makinesi kullanımı [39]

Amerika Ulusal Karayolları FHWA araştırmacıları, 2008 yılından sonra bitüm maliyetlerindeki(petrol fiyatının artması nedeniyle) artışlar, RAP kullanımında tekrar artışa neden olabileceğini vurgulamaktadırlar. Amerika Birleşik Devletleri'nde uygulanan bazı geri dönüşüm uygulamalarında kullanılan RAP miktarlarını gösteren Çizelge 6.7' de gösterildiği gibi, 2007 ve 2008 yıllarında, karışımlarda %50'lere varan oranda RAP kullanılmaktadır[40].

Çizelge 6.7 Amerika Birleşik Devletlerinde uygulanmış bazı projeler ve Geri Dönüştürülmüş Asfalt Kaplama (RAP) kullanım oranları [40]

Bölge	%RAP	Yapım Tarihi
Kuzey Carolina	40%	Eylül 2007
Güney Carolina	30 - 50 %	Ekim 2007
Wisconsin	25%	Kasım 2007
Florida	45%	Aralık 2007
Kansas	30 - 40 %	Mayıs 2008
Delaware	35%	Yaz 2008
Minnesota (MnYolu)	30%	2008
Illinois	10-50%	2008

A.B.D'nin ve Avrupa ülkelerinin haricinde geri dönüşümle ilgili literatürde uygulamalarına rastlayabileceğimiz bir diğer ülke olan Rusya'nın St Petersburg kentine yakın Pulkovo Havaalanında, Recycle of Materials (ROM) firması, asfalt geri dönüşüm yöntemini kullanmıştır.

ROM, geri dönüşüm yönteminin sağladığı maddi ve çevresel kazançlardan yararlanan ilk Rus firmasıdır. Şirket kurucusu Andrey Protopopov, 1997 yılında Amerika Birleşik Devletlerine yapmış olduğu bir ziyaret sırasında, atık malzemeyi nasıl bir kaynağa dönüştürdüklerini görüp ülkesinde bir geri dönüşüm şirketi kurmuştur. Şirketin ilk yıllarda ayakta kalmakta zorlandığını ancak, ülkede geri dönüşüm mantığı yerleşip yayıldıktan ve ikincil malzemeler değer kazandıktan sonra firma bir anda büyümüş ve havaalanları sektörüne girmiştir. İlk asfalt kaplama geri dönüşüm malzemesi kullanımı 2000 yılında Moskova'daki Domodedovo havaalanında gerçekleşmiştir.

Avrupa'da geri dönüşüm uygulamaları

İlk geri dönüşüm uygulamasından bu yana geçen 30 yılı aşkın sürenin verdiği deneyim birikiminin yanında geri dönüşümlü asfalt kaplama (RAP) uygulamalarının kalite açısından yeni üretilen standart karışımlarla aynı performansı göstermiştir.

Avrupa Birliği'nin konuya geçmişe oranla daha ciddi yaklaşımlarına neden olmuştur. Asfalt kaplamaların geri kazanmanın;

- Kaynaklara korunması
- Oluşan atık miktarında azalma
- Nakliyenin azaltılması
- Enerji tasarrufu
- Emisyon gazlarının azaltılması
- Geri dönüşümün %100'e varan oranda kullanılabilmesi
- Sürdürülebilirliğe katkıda bulunması
- Geri dönüşümden elde edilen sonuçların ilk defa üretime girmiş malzemelerle yapılan karışım sonuçlarıyla dayanım, kalite açısından farklılık göstermemesi gibi tüm dünyayı yakından ilgilendiren konularda gözardı edilemeyecek artı değerler katması nedeniyle son yıllarda Avrupa Birliği kapsamında da bu konuda girişimler yapmış, Ar-Ge çalışmaları ve uygulama projeleri için gereken finans aktarımı sağlanmıştır. Avrupa Birliği bünyesinde hazırlanan ve tüm kıtada uygulanan Bitümlü Karışımlar İçin Avrupa Standarttan (The European standards for Bituminous ' Mixtures - EN 13108) geri dönüşüm uygulamalarını destekler niteliktedir.

Avrupanın bu konuya ne derecede önem verdiğini gösteren güzel bir örnek Hollanda'dan gösterilebilir. 1970'lerin sonundan günümüze geri dönüşüm uygulamalarını yakından izleyen ve aktif rol oynayan Hollanda'da bulunan asfalt plantlerinin % 95' inden fazlası sıcak geri dönüşüme uyumlu hale getirilmiş ve geri dönüşümlü asfalt kaplama (RAP) 'ın karışıma girme oranı yine yapılan modifikasyonlarla minimum %50' lere çıkarılmıştır[41].

2003 yılında Dünya Yol Birliği (Permanent International Association of Road Congress) C 7/8 Teknik Komitesi, yol kaplamaları ile ilgili "Emülsiyon veya köpük bitüm kullanılarak yerinde soğuk geri kazanım " konulu bir yayın yapmış ve bu yayında [42] soyulma ve özellikle en üst tabakada yaygın çatlaklar mevcutsa, aşağıdakilerden bir veya daha fazlası yapılmalıdır:

- Kaplamanın ilk kazıması çok sayıda diğ bulunduran kazıma tamburuyla gerçekleştirilmeli,
- Makinenin ilerleme hızının azaltılması ve/veya kazıma tamburunun dönüş hızının artırılması
- Kaplama, soyulmuş kısmın sağlam kesimlerini de içerecek şekilde yeterli derinliğe kadar kazınmalı.

6.3 Bitümlü Karışımların Geri Dönüşümünde Kullanılan Standartlar

Geri dönüşüm yapılırken deneyler sonucu elde edilmiş bazı değerler göz önünde bulundurulmaktadır. Bu değerler sonucu bir takım standartlar hazırlanmıştır. Geri dönüşüm konusunda oldukça tecrübeli olan A.B.D ve Avrupa Birliği ülkelerinde, bitümlü karışımların geri dönüşüm işlemi için ASTM 4552-92 ve EN13108-8 standartları uygulanmaktadır. Ülkemizde geri dönüşüm son yıllarda başladığından henüz bize özgü bir standart bulunmamaktadır. Fakat geri dönüşümü TSE tarafından en son 2006 yılında onaylanan EN13108-8 standartlarına göre yapmaktayız. Bu standarda göre;

EN 13108 standartları temel olarak bitümlü karışımlar ve malzeme özelliklerini konu alır. 8.Bölümü ise, ‘Kazılmış Asfaltın Geri Dönüşümü’ ile ilgilidir.

Bu standart, Avrupa Standardı EN 13108-8: 2006 sürümüdür ve Türk Standartları Enstitüsü tarafından onaylanmıştır.

Standartta genel olarak bakacak olursak,

EN 13108-1, Bitümlü Karışımlar-Malzeme Özellikler - Bölüm 1: Asfalt Beton.

EN 13108-2, Bitümlü Karışımlar-Malzeme Özellikler - Bölüm 2: Çok İnce Katmanlar İçin Asfalt Beton.

EN 13108-3, Bitümlü Karışımlar-Malzeme Özellikler - Bölüm 3: Yumuşak Asfalt.

EN 13108-4, Bitümlü Karışımlar-Malzeme Özellikler - Bölüm 4: Sıcak Asfalt.

EN 13108-5, Bitümlü Karışımlar-Malzeme Özellikler - Bölüm 5: Taş Mastik Asfalt.

EN 13108-6, Bitümlü Karışımlar-Malzeme Özellikler - Bölüm 6: Mastik Asfalt.

EN 13108-7, Bitümlü Karışımlar-Malzeme Özellikler - Bölüm 7: Gözenekli Asfalt.

EN 13108-8, Bitümlü Karışımlar-Malzeme Özellikler-Bölüm8: Asfalt Geri Dönüşümü.

EN 13108-20, Bitümlü Karışımlar - Malzeme Özellikler - Bölüm 20: Tip Test.

EN 13108-21, Bitümlü Karışımlar - Malzeme Özellikler - Bölüm 21: Fabrika Üretim Kontrolü.

Asfalt üretiminde geri dönüşüm yöntemleri ve artık madde kullanımı, gerekli bileşiklerin yanı sıra agrega ve bağlayıcı üretiminde bileşen olarak satışa sunulacak kazılmış asfalt gereksinimlerini belirlemek için çeşitli standartlar vardır.

Ülkemizde yapılan karışımlar için 13108-1 Ürün EN standartlarına göre EN 13108-7 göre kazılmış karışım kullanımında bazı koşulları yerine getirildiğinde belirli bir miktara kadar izin verilir.

Geri kazılmış asfalt, yüzeysel kesilmiş kırma asfalt tabakalarının öğütülmesi ile elde edilen bitümlü karışımları kapsar. Kazılmış asfalt (RAP) karışımlar, uygun asfalt karışımları üretimi için yapı malzemesi olarak kullanılabilir. Bu standardın geri kazanılmış asfalt, bağlayıcı, agrega ve katkı maddeleri kullanımı tüm durumlarda geçerlidir. Kazılmış bitümlü karışım, içeriğin şartlarını içerir. Eğer ek olarak bir açıklama gerekiyorsa, bu standardın tanımlanmış ve belgelenmiş olması gerekir ve kazılmış asfalt ve bileşenlerinin özelliklerini sağlaması gerekir. Asfalt üretiminde kullanılan yabancı maddeler, bağlayıcı özellikleri ve içeriği, partikül büyüklüğü, ürünün kalitesi, bu geri kazılmış malzemeyle yapılacak yeni karışımı etkiler. Karıştırma sürecinde kazılmış asfalt karışımı ekleyerek yalnızca büyük bloklar veya ince zemin malzemesi olarak kullanılabilir fakat çok büyük parçaların olması istenmez.

- Kapsam

Bu standart, sınıflandırma ve asfalt karışımlarının bir bileşeni olarak kazılmış asfalt tanımı ile ilgili gereklilikleri tanımlar.

Bu standart, sadece geri kazanılmış bağlayıcı için geçerlidir: asfalt, modifiye bitüm.

- Atıf yapılan

Bu belgenin kullanımı için aşağıdaki belgeleri gereklidir. Tarih belirtilen atıflar için sadece mevcut baskı geçerlidir. Tarihsiz başvurular için başvuru belgesi (değişiklikler dahil) en son sürümü geçerlidir.

EN 932-1, Agrega genel özellikleri testleri - Bölüm 1: Örneklem yöntemleri

EN 1426, Bitüm ve bitümlü bağlayıcılar - Penetrasyon belirlenmesi

EN 1427, Bitüm ve bitümlü bağlayıcılar - Nokta yumuşatıcı belirlenmesi - Halka ve Top yöntemi

EN 12596, Bitüm ve bitümlü bağlayıcılar - Elektrikli süpürge ile dinamik viskozite tayini

EN 12697-1, Bitümlü Karışımlar-Sıcak karışım asfalt için deney metotları-Bölüm 1: Çözünür bağlayıcı

EN 12697-4, Bitümlü Karışımlar-Sıcak karışım asfalt için deney metotları-Bölüm 4:
Bitüm kurtarma: damıtma bölümü

EN 12697-42, Bitümlü Karışımlar-Sıcak karışım asfalt için deney metotları-Bölüm
42: kazılmış asfaltın katkı maddeleri miktarı

EN 13043, Bitümlü yüzey işlemleri ve Yol için karışımlar, havaalanı ve diğer ticareti
alanlar için agregalar

- Terimler ve tarifler, semboller ve kısaltmalar

-Terimler ve tanımlar

Bu standart, aşağıdaki terim ve tanımlar.

-Mineral-asfalt karışımı: Agregası ve asfalt binder karışımı.

-Kazılmış asfalt: Kesilmiş asfalt levhalar, plakalar ve serilmeden veya fazla üretim
elde edilen kırma yol, asfalt tabakalarının öğütülmesi ile üretilen mineral-asfalt
karışımı.

-Toz asfalt: Asfalt üretiminde kurucu malzemesi olarak kullanılmak üzere malzeme
belirtilen miktarda sıcak teknoloji karıştırır.

-Agrega boyutu: Alt (d) ve üst (D) boyutu elek kullanarak agrega dane boyutunun
belirlenmesi olarak ifade edilen d / D Geri asfalt dane boyutu

-Kazılmış asfalt parça büyüklüğü: Elek boyutu olarak ifade asfalt örselenmiş asfalt
parçaları, maksimum boyutu (U)

- Semboller ve Kısaltmalar

-D: Toplam boyutu belirlemek için üst elek boyutu, milimetre olarak
D büyük değeri: elek boyut M küçük elek boyutu (M / 1,4) hangi aracılığıyla
malzemenin % 100'ünün geçtiği ve küçük elekten malzemenin% 85'inin geçtiği
değer.

-Kazılmış asfalt parçaları boyutu w: Küçük milimetrik elekten geçen filler
malzemeler ile sonradan kazanılmış asfalt parçalarının % 100'ü.

-Kazılmış asfalt olarak (RA) d / D tanımı: Kazılmış parçalarının boyutu - kısaltma ve
toplam büyüklüğü d / D belirlenmesi, kazılmış asfalt oranı

Örnek: 40 RA 0/8mm - maksimum agrega tane boyutu 8 mm ve maksimum boyutu
geri asfalt, 40 mm adettir.

Toz asfalt için şartlar

- Katkı Maddesi Varlığı, içeriği ve aşağıda belirtilen tanımlara karşılık gelen yabancı maddeler, doğası, belgelenmiş ve uygun kategoriye göre bildirilmelidir. Katkı maddelerinin içeriği EN 12697-42 standardına göre belirlenmelidir. Yabancı malzemeler doğal agrega ve asfalt bileşenleri malzemeleridir. Bunlar iki gruba ayrılır:

Malzeme Grubu 1:

- Çimento, beton ürünleri dahil çimento betonu,
- Altyapılar (doğal malzemeler);
- Çimento;
- Metaller;

Malzeme Grubu 2:

- Sentetik malzemeler;
- Ahşap;
- Plastik.

Kazılmış asfalt aşağıdaki esaslara göre içerik açısından, yabancı maddeler ile sınıflandırılabilir olmalıdır:

Kategori F1 - Grup 1 malzemelerinin içeriği, grup 2 malzemelerin içeriğinden % 0,1 az değil,% 1'den fazla olmamalıdır;

Kategori F5 - Grup 2 malzeme içeriği en fazla 5%, grup 2 malzemelerin içeriği fazla% 0.1'den az olmamalıdır;

Kategori F dec - Herhangi bir yabancı maddenin içeriği ve niteliğini tanımlar.

Binder-Bitüm

-Tipi: Bağlayıcı tipi belgelenmiş ve ilan edilmiş olmalıdır. Beyan edilen ana bağlayıcı asfalt, modifiye asfalt veya granül asfalt değiştirici katkı içerdiğini belirtmek gerekir. Bildirgede şimdiki veya önceki araştırma ve verilerine dayalı olmalıdır.

-Bağlayıcı Özellikleri: Gerekirse (nota bakınız) ya bir ortalama veya ortalama penetrasyon bağlayıcı yumuşama sıcaklığı veya alınan örnekler üzerinde belirlenen ve her iki kategoriye göre ya da nominal değer olarak ilan edilen bağlayıcı ve viskozitesi belgelendirilmelidir.

NOT: Bağlayıcı kurtarma tehlikeli olduğundan mümkün olduğu kadar seyrek yapılmalıdır. Karışım çoğunlukla kazılmış asfalt içeriyorsa asfalt bağlayıcı aşağıdaki yöntemlerden birine göre belirlenir.

(*)'göre her numunenin penetrasyon en azından 10mm ve tüm örneklerin bağlayıcı ortalaması penetrasyon en azından 15mm ise, kazılmış asfalt P15 kategorisi ile atanır. (*)'göre her örnekten bağlayıcı yumuşama sıcaklığı 77⁰C, maksimum ortalama sıcaklık ve tüm örneklerin bağlayıcı bir yumuşama sıcaklığı en az 70⁰C olmalıdır ve kazılmış asfalt kategori S70 olarak tayin edilir;

- Diğer durumlarda kazılmış asfalt ya da kategori Pdec veya Sdec olarak tanımlanan bağlayıcı yumuşama noktası ortalamaları ve ortalama penetrasyon değerini bildirmek gerekir;

- Kazılmış asfalt, asfalt beton kullanılmak üzere tasarlanmış ise, bir kategori VDec bağlayıcı ortalama viskozitesi 60⁰C olarak bildirilmelidir.

Geri kazanılan bağlayıcı EN 12697-3 ve 12697-4 standartlarına göre hazırlanmalıdır. Penetrasyonu EN 1426 standartlarına göre belirlenir. Yumuşama noktası EN 1427 göre belirlenmelidir. Bağlayıcının viskozitesi EN 12596 göre belirlenmelidir.

Asfalt granüler malzemeler içeriyorsa asfalt bağlayıcı dışında bağlayıcı ve türü veya uygunluğunu değerlendirmek için mevcut veya daha önceki çalışmaların özelliklerine bakılmalıdır.

Tane boyutu agregası

(*)'göre alınan örnekler üzerinde yapılan tespite göre agregaların ortalama dane boyutu belirlenir. Derecelendirme aşağıdaki eleklerden geçen toplam yüzde olarak verilmelidir: 1.4 D, D veya daha fazla, 2 mm ve D gibi 2 mm ve '0063 mm arasında veya daha fazla' arasında kalın elekler. Kaba elek EN 13043 göre 2 temel seti ya da bir temel set artı diğer bir set dizi olarak seçilmelidir. (1 mm, 0.5 mm, 0,25 mm ve 0125)

Bağlayıcı içerikleri

(*)'göre alınan örnekler üzerinde belirtilen granüler asfalt bağlayıcı, ortalama içeriği belirlenir. Kazılmış asfalt durumunda modifiye asfalt bağlayıcı içeriği EN 12697-1 standardına göre belirlenir.

Kazılmış asfalt parçalarının büyüklüğü

Belgelenmiş ve (*) uyarınca alınan örnekler üzerinde belirtildiği gibi, kazılmış parçaların boyutu belirtilmelidir.

Kazılmış granüler asfalt

- Kökeni: Gerekirse, toz asfalt içeren karışımların tipi (karışımları) beyan edilmelidir.

- Doğa ve agregaların özellikleri: Gerekirse, agrega tipi beyan edilmelidir. Gerekirse, uygun agrega özellikleri EN 13043 standardına göre belirlenmeli ve bu özelliklere göre bir kategori seçerek belgelenmiş ve beyan edilmiş olmalıdır. Bildirge, şimdiki veya önceki araştırma ve verilere dayalı olmalıdır.

- Homojenlik: Gerekirse, granüler asfalt homojenlik değeri beyan edilmelidir. Homojenlik granüler asfalt, kaba agrega ve kazılmış ince agrega ve toz yüzdesi gibi bağlayıcı içerik ve penetrasyon değeri veya kazılmış asfalttaki bağlayıcının yumuşama noktası veya viskozite varyasyonlarına göre değerlendirilir. Ölçülen değer için homojenlik, o zaman aralığı ya da (*) için gerekli numune sayısı sonuçlarının standart sapması olarak verilmelidir.

(*) Örnekleme ve test: Toz asfalt Granüler asfalt miktarı belirtilmelidir.İndirme ve sayı örnek, n Örnekler EN 932-1'e göre toplanmalıdır. Numune sayısı, n , 500 tona bölünmesiyle ton başlangıç materyalinin miktarı (t) hesaplanır ve tam sayıya yuvarlanır, n'in en az 5 olması gerekir.

-Eğitim: Gerekirse n örnekleri (*) uyarınca granüler asfaltı tanımlamak için daha önce belirtilen şartlara uygunluğu tespit edilmelidir. En düşük veya en yüksek ve / veya orta yayılma gerekli değerleri belirtilmelidir.

- Karışım için küçük miktarlarda ilave: Kazılmış asfalt, en az% 20 asfalt için katkı ve bağlayıcı tabaka olarak bir miktar % 10'dan daha az kullanılmak üzere ise daneli karışımlara eklenir. Her 2.000 tonu için numune alınır ve test edilir.

Depolama ve Kontrol

Yığın malzeme depolama sırasında asfalt granüler özelliklerini kaybetmemesi sağlanmalıdır, bunu belirlemek için gerekli testler yapılmalıdır.

Tanımlama

Teslim için granüler asfalt belirlenmesi konusunda en azından aşağıdaki bilgileri içermelidir:

- Tedarikçinin adı,
- Giriş
- Tarih ve teslim süresi.

Böylece sevk edenin belgeleri ve verilen asfalt özelliklerini tespit etmek mümkün olacaktır.

7. GERİ DÖNÜŞÜM UYGULAMALARININ ÇEVRESEL ETKİLERİ

Entegre kirliliğin önlenmesi ve kontrolü direktifi, AB uyum çerçevesinde, Türkiye çevre mevzuatını da bu direktife uygunluk sağlamaya, asfalt üretim tesislerini de çevresel etkilerini ve atıklarını azaltmaya, atık geri kazanım teknolojilerine sahip olmaya zorlayacaktır. Dünyada her yıl yaklaşık 1,5 milyar ton asfalt üretimi için 1,425 milyar ton agrega ve 75 milyon ton bitüm tüketilmektedir. Diğer taraftan asfalt yolların yenilenmesi sırasında sökülen asfalt yığınları da doğaya terk edilmektedir. Sökülmüş asfaltın geri kazanılarak ekonomik değere dönüştürülmesi mümkündür. A.B.D. de her yıl yaklaşık 500 milyon ton asfalt üretiminin %15' ini geri kazanılarak 300 milyon \$/yıl tasarruf sağlamaktadır. Ülkemizde yılda üretilen 16,4 milyon ton asfaltın %74 ünün şehir içi yol yapımında kullanılması, geri kazanımın da bu alanda daha verimli ve etkin sağlanabileceğini göstermektedir. Yerel yönetimlerin geri kazanım konusunda örnek ve öncü olmaları ile atıkların sadece % l'inin geri kazanılması sonucu, her yıl;120bin ton daha az sökülmüş asfalt yığını oluşacak, 114 bin ton daha az taş ve yaklaşık 6 bin ton daha az bitüm tüketilecek, doğal kaynak tüketimi ve entegre kirlilik azalacak, aynı miktarda hammadde ve diğer kaynak tüketilmesine rağmen daha fazla asfalt yol yapılabilir [43].

Avrupa Birliği'nde ise, Avrupa'da oluşan toplam çevresel kirliliğin büyük bölümü, endüstriyel üretim faaliyetlerinden kaynaklanmaktadır. Buradan hareketle, Avrupa Komisyonu 1996 yılında, endüstriyel tesislerin izin ve kontrol işlemlerinin düzenlenmesine yönelik kuralları ortaya koyan, Entegre Kirliliğin Önlenmesi ve Kontrolü Direktifini (EKOK-Council Directive on Integrated Pollution Prevention Control-IPPC) yayınlamıştır. Direktifin amacı; çevrenin bir bütün olarak ele alınarak, yüksek dereceli bir korunmanın sağlanması için, kirliliğin de bir bütün olarak önlenmesi ve kontrolü şeklinde belirtilmiştir. Direktife göre, işletmeler çevresel etki yaratan tüm faaliyetlerini (hava, su ve toprak emisyonları, atık oluşumu ve bertarafı, hammadde kullanımı, enerji verimliliği, gürültü, kazaların önlenmesi ve endüstriyel faaliyete son verilen alanların restorasyonu) raporlamak ve bu kapsamda gerekli izin belgelerini almak zorundadırlar. Direktif, özellikle kirliliğin kaynakta kontrolü, kirliliği azaltma ve atıkların geri kazanımı gibi önlemlere yoğunlaşmaktadır.

İşletmelerden, planlama, kurulum ve işletilmesi aşamaları dahil olmak üzere çevresel etki yaratan tüm faaliyetlerinde, çevrenin korunması için en uygun teknolojileri (Best Available Technologies, BAT) kullanmaları beklenmektedir. AB'ye üye ülkeler, direktifin koşullarını 30 Ekim 1999 tarihi itibari ile kendi ülke kanunlarına aktarmışlardır. Sekiz yıllık süre zarfında yönergenin tüm koşullarına uyum şart koşmuş, eski işletmelere 2007 yılına kadar geçiş süresi tanınmıştır [43].

Buna göre genel olarak,

Geri dönüşümün çevresel avantajları

- Malzeme kullanımını azaltır (bitüm ve agrega);
- Bozulma yüzünden kazılarak yoldan çıkarılan malzemenin doğaya gelişi güzel biçimde depolanması ve toprağın bu atık malzemeyle doldurulma oluşumunu azaltır;
- Özellikle agrega gibi malzeme nakliyatlarını azaltır (daha az yeni malzeme kullanıldığından);
- Enerji tasarrufu sağlar;
- Karışım özelliklerini iyileştirir [44].

Ülkemizdeki genel durum

Ülkemizde de EKOK direktifi kapsamında Çevre Denetimi Yönetmeliği yayınlanmıştır. 21 Kasım 2008 tarih ve 27062 sayılı Resmi Gazete ile yapılan değişiklikle yürürlüktedir. Ancak bu yönetmelik henüz EKÖK' ü tam olarak kapsamamakla birlikte yakın zamanda, Türkiye çevre mevzuatının entegre kirliliğin önlenmesi yaklaşımını içermesi gerekecektir. Direktifin çevre yönetim sistemlerini kurmuş, eko-verimlilik ve kaynak verimliliği kavramlarını uygulamaya çalışan şirketler için fazla bir yük getirmeyeceğini söylemek mümkündür. Bununla birlikte çevre yönetimi konusunda yeterli düzeyde olmayan şirketlerin bu yönetmelik gereklerine uymakta zorlanmaları, hatta faaliyetlerine son vermeleri söz konusu olabilecektir [45].

Bu durum, dünya ülkelerinde faaliyet gösteren tüm endüstri kuruluşlarını olduğu gibi, asfalt üretimi sektörü kuruluşlarını da, süreçlerinde ortaya çıkan çevresel etkileri ve atıkları azaltma ve geri kazanma yönünde değişime zorlamaktadır. Ülkemizde de, henüz yok denecek kadar az geri kazanım oranına sahip sökülen asfaltın geri kazanılması yakın zamanda zorunlu hale geleceği, eski ve yeni her asfalt üretim tesisini, en uygun geri kazanım teknolojilerine sahip olmaya zorlanacağı açıktır.

Dünyada her yıl yaklaşık 1,5 milyar ton asfalt üretildiği göz önüne alındığında, asfalt üretimi sırasında ortaya çıkan atıklar ve çevresel etkiler ile kullanım ömrünü tamamlaması sonrasında ortaya çıkan asfalt atıklarının kontrolünün ne kadar önemli olduğunu anlamak zor değildir. Tüketilen miktarların büyüklüğü, eko-verimliliğin ve kaynak verimliliğinin arttırılmasının önemini de ortaya koymaktadır.

Ülkemizde çevresel etkileri kontrol altına almak amacıyla bitümlü karışımları geri dönüştüren tesislerin ISO 14001 çevre yönetim standartlarına sahip olması şart koşulmuştur. Bu standartlara göre geri dönüşüm yapan kuruluş;

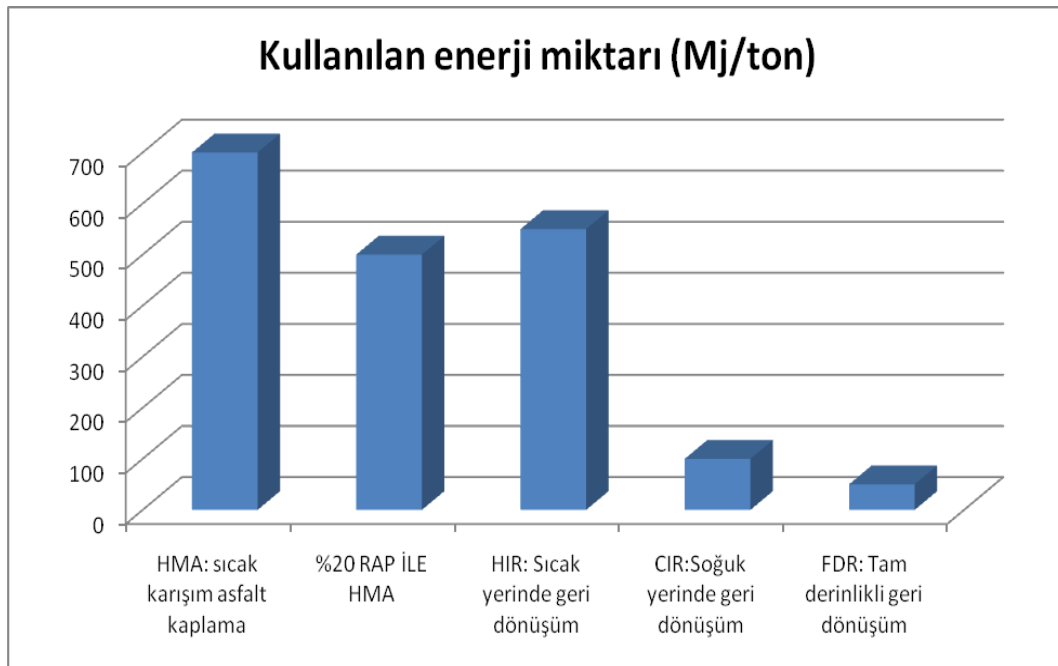
- Faaliyetlerini içinde yürüttüğü hava, su, toprak, doğal kaynaklar, belirli bir ortamdaki bitki ve hayvan topluluğu, insan ve bunlar arasındaki faaliyetlere zarar vermeyecek şekilde üretim yapmalıdır.
- Kaynakları israf etmeden, doğal ekolojik dengeyi bozmadan, insan sağlığına olumsuz etki yapabilecek durumlardan kaçınarak üretim yapmalıdırlar.
- Sera Etkisi, küresel ısınma, ozon tabakasında delinme, hayvan ve bitki türlerinde azalma, ekolojik dengede bozulma, asit yağmurları, su kirliliği, toprak kirliliği, doğal kaynakların tükenmesine neden olacak olumsuzluklardan kaçınılmalıdır.
- Zararlı emisyon (yanma gazları, zehirli gazlar, partikül) , sıcak işleme ile, fırın veya içten yanmalı motorlarda yanma, kimyasal reaksiyonlarını en aza indirmeli ve bunları önlemek için yanma verimliliğini artırmalı ve yakıt sarfiyatını azaltmalıdır.
- Hava kirliliğini takip etmeli ve faaliyetleri kontrol ederek zararlı emisyonlar önlemelidir.
- Yapısal ve beklenilmeyen nedenlere bağlı gürültüleri en aza indirip, önlem olarak gürültü kaynaklarının belirlenmesi ve sürekli izleme ile gürültü ve titreşim absorpsiyonu- izolasyonu sağlanmalı, gürültü haritası çıkarılmalı ve uygun koruyucu donanım kullanılmalıdır.
- Yağ, kimyasal maddeler, ağır metaller, radyoaktivite ile kirlenme, yer altı depoları veya yer üstü faaliyetlerden kirlenme en aza indirilip, önlem olarak kimyasal madde kullanımı, toprak kirlenmesi izlenmelidir ve faaliyetleri kontrol ederek toprak kirlenmesi engellenmelidir.
- Su kullanımı açısından soğutma, yıkama, temizleme ve diğer endüstriyel kullanımlar dikkatle yapılmalı ve bu olumsuzlukları önlemek amacıyla, su tasarrufu uygulamaları geliştirilmeli, su kullanımı izlenmeli, atık su değerlendirilmelidir.

Su kullanılmayan alternatif üretim teknikleri geliştirilmeli ve kimyasal/biyolojik arıtma yollarına başvurulmalıdır.

- Enerji kullanımı bakımından ısıtma, soğutma, pişirme, üretim, havalandırma, buhar üretimi, taşıma işlemleri dikkatle yapılmalı; olumsuzlukları önlemek amacıyla enerji kullanımı izlenmeli, enerji tasarrufu uygulanmalı, personel bilinçlendirilmeli, alternatif enerji kaynakları kullanılmalıdır.
- Ürünlerin klasifikasyonu, alternatif ürün kullanma, üretim işleyişlerinde atık azaltmaya yönelik hassasiyet gösterilmeli, geri dönüşümü sağlanmalı, kullanımlar izlenmeli, üretim vb. faaliyetleri kontrol edilmeli, atık kontrol faaliyetleri yapılmalı, yakma, kontrollü yok etme, geri dönüşüm ve değerlendirmeler yapılmalıdır[46].

Yeni ve doğal kaynak kullanımı, doğayı tahrip eder. İlgili kum ve taş ocaklarından yol taban ve alt taban malzemesi üretilmesi, çevreye doğrudan ölçülebilen etkiler yaratmaktadır. Bu malzeme üretimlerinde artış, çevreye de doğrudan zarar vermek anlamına gelir. Geri dönüşüm bu doğal kaynakları korumaktadır [47].

Aşağıdaki grafikte(Şekil 7.1), tez içerisinde uygulanışı açıklanmış olan geri dönüşüm yöntemlerine göre enerji kullanımları gösterilmekte ve enerji tasarrufu açısından en uygun yöntemlerin, yerinde uygulanan tam derinlikli geri dönüşüm ile soğuk yerinde geri dönüşüm yöntemleri olduğu görülmektedir [29].



Şekil 7.1: Enerji kullanımlarının geri dönüşüm türüne göre değişimi (Mjoule/t) [29]

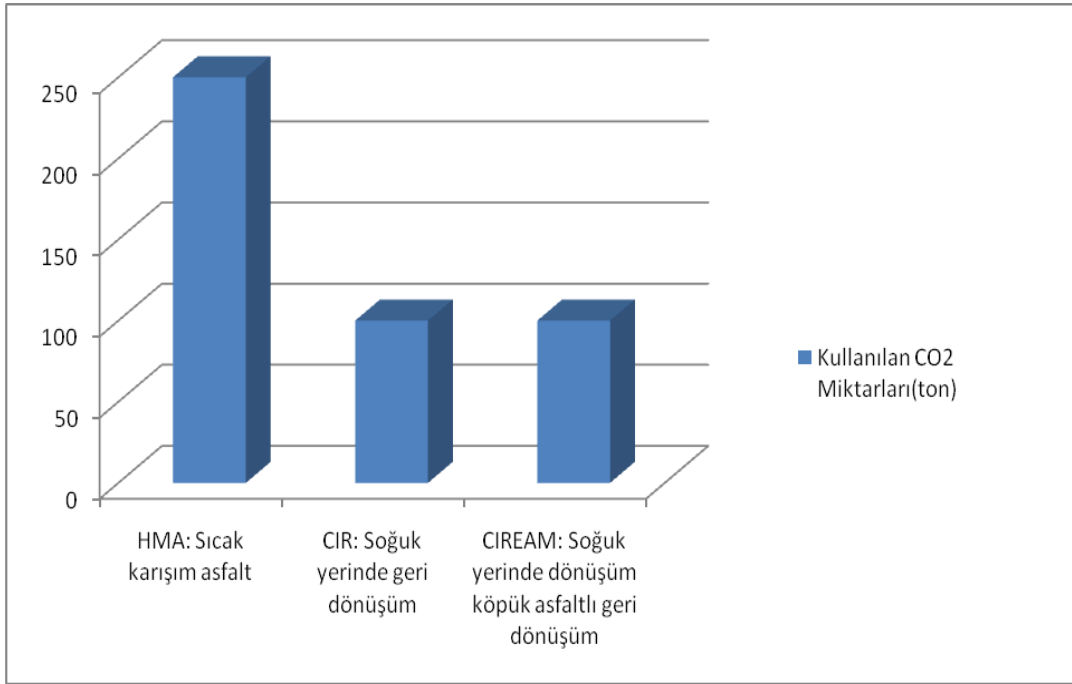
Çevresel etkilerinin diğer yöntemlere göre daha az oluşu ve enerjiyi minimumda tutması nedeniyle Soğuk Yerinde Geri Dönüşüm (CIR) ve Tam Derinlikli Geri Dönüşüm (FDR) yöntemleri, bazı ülkelerde gözle görülür biçimde tercih edilme sebebi olmuştur. Örnek olarak Kanada'da 70'lerin sonunda ilk uygulamalarla başlayan ve zamanla gelişen geri dönüşüm politikalarında bu tercih çok açık görülmektedir. Çizelge 7.1' de Kanada'nın Ontario eyaletinde 1995-2006 yılları arasında yapılan yol iyileştirme çalışmalarında kullanılan geri dönüşüm yöntemleri ve üretim miktarları gösterilmiştir[48].

Çizelge 7.1: 1995-2006 yılları arasında, Kanada'nın Ontario eyaletinde yapılan yol iyileştirme işlemlerinin, türlere göre miktarları [48]

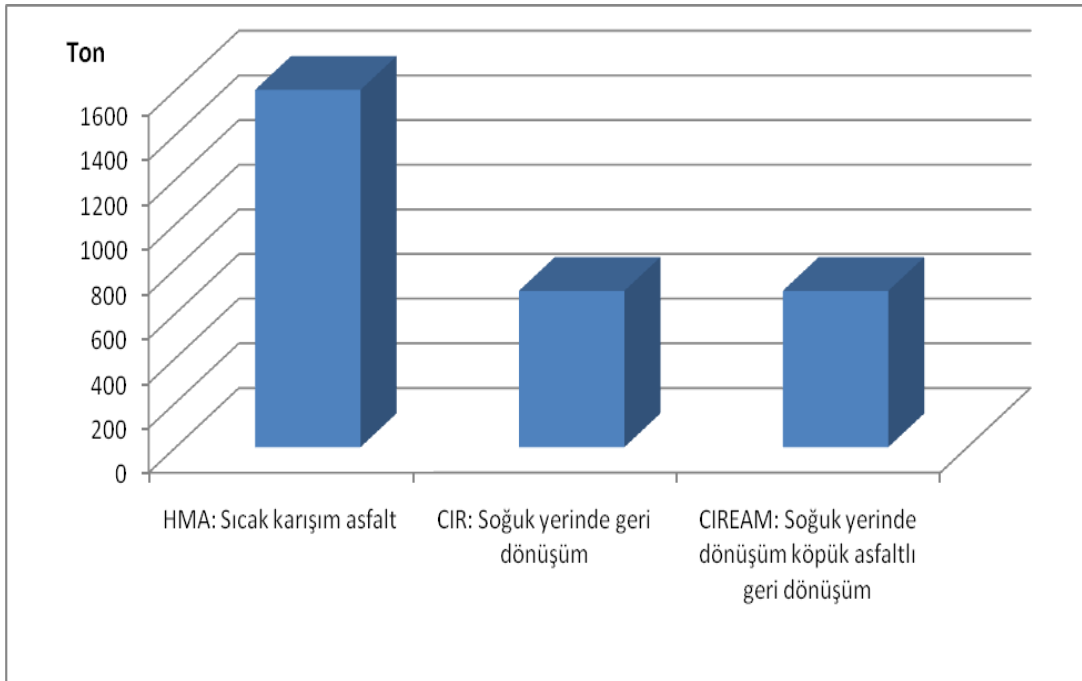
Tam Derinlikli Geri Dönüşüm (FDR)	30.925. 196 m ²
Yerinde Sıcak Geri Dönüşüm (HIR)	1.009.607 m ²
Yerinde Soğuk Geri Dönüşüm (CIR)	3.086.715 m ²
Köpük Bitümlü FDR	1.712.655 m ²
Köpük Bitümlü CIR	339. 179 m ²
1995 - 2006 arası Toplam	37.072.352 m ²

Florida'da yapılan 101,156 m²'lik bir yeniden kaplama işinde, geri dönüşüm işleminde geleneksel yöntem yerine soğuk karışım kullanılması ile beklenenden 2,6 trilyon joule daha az enerji sarf edildiği ortaya çıkmıştır. Bu da %32'lik bir enerji tasarrufuna eşdeğerdir.

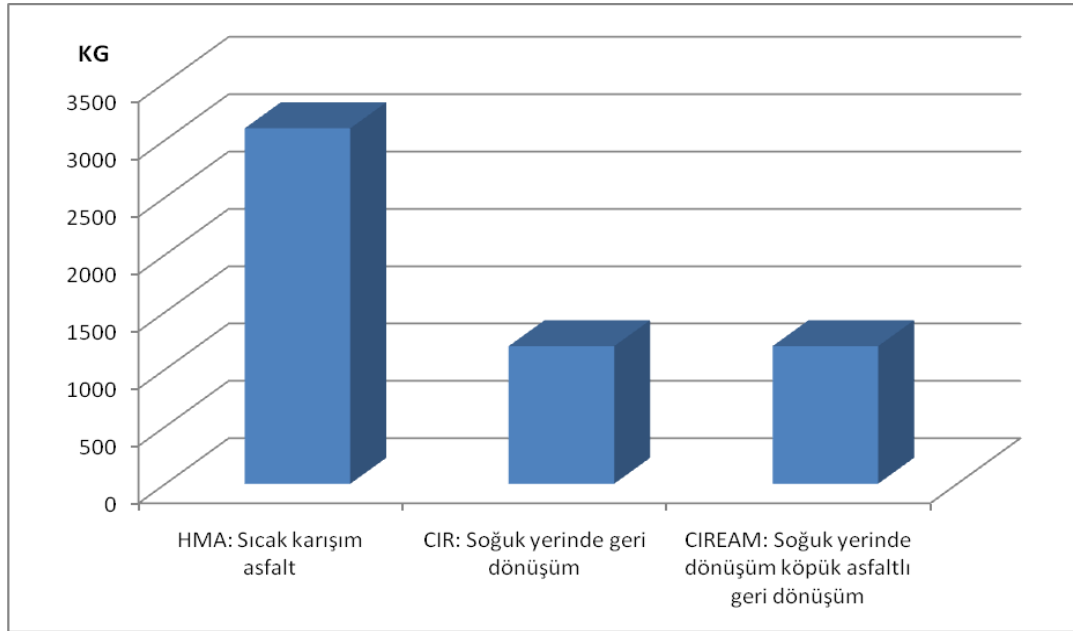
Kalifornia Berkeley Üniversitesi'nden Dr. Horvath, PaLATE (Pavement Life Cycle Assessment for Environmental and Economic Effects) adını verdiği bir yöntemle, karayolu yapımında kullanılan malzemelerin değerlendirilmesi için karar vericilere destek sağlamaktadır. Bununla, her bir yöntemdeki malzeme tasarruflarını ortaya koymaya, dolayısıyla enerji korunumuna katkı sağlamaya çalışmaktadır. Bu yöntem kullanılarak aşağıdaki emisyonlar CO_a, NO_x, SO₂ hesaplanmış ve kullanılan geri dönüşüm seçeneğine göre karşılaştırılmıştır. Şekil 7.2, 7.3 ve 7.4'de geri dönüşüm yöntemleri ve bunlara karşılık kullanılan emisyon miktarlarını grafikleri verilmiştir.



Şekil 7.2: Geri dönüşüm yönteminin çeşidine göre kullanılan CO₂ miktarları
(Kanada' da yapılan yaklaşık 2 kilometrelik 2 şeritli yol için) [29]



Şekil 7.3: Geri dönüşüm yönteminin çeşidine göre kullanılan NO_x miktarı
(Kanada'da yapılan yaklaşık 2 kilometrelik 2 şeritli yol için) [29]



Şekil 7.4: Geri dönüşüm yönteminin çeşidine göre kullanılan sülfür miktarı
(Kanada'da yapılan yaklaşık 2 kilometrelik 2 şeritli yol için) [29]

Bunlara göre, 2 şeritli 1 km'lik yol için, Soğuk Yerinde Geri Dönüşüm (CIR) ve Soğuk Yerinde Köpük Asfaltlı Geri Dönüşüm (CIREAM) yöntemlerinin geleneksel sıcak kaplama yöntemlerine göre yaklaşık %50 daha az seragazı (GHG) çıkardığını, %62 daha az agrega tükettiğini ve %40 ila %50 arasında daha az maliyete yol açtığını söylemek mümkündür.

Yine bu değerlendirmeye göre varılan nicel sonuçlara göre, CIR veya CIREAM yöntemleri ile;

- 54.000 ton CO₂
- 440tonNO_x
- 9.400 ton SO₂ azaltılmıştır ve,
- 740.000 ton agrega tasarrufu yapılmıştır.

Bu CIR ve CIREAM yöntemlerinin sıcak karışım yöntemlerine göre emisyonlarda azalma meydana getirmesinin temel sebebi de, belli sıcaklıklara ulaşmayan karışımlarda asfalt emisyonu oluşmamasıdır [48].

Daha önce de belirtildiği gibi, geri dönüşümün çevresel koruma sağlaması sürdürülebilirliğe katkı sağlar. Yöntemlerin doğal kaynak kullanımını azaltması ve CO₂ oluşumunu azaltması, temel sürdürülebilirlik geliştirme elementlerindendir. CO₂ emisyonunu azaltmak, Avrupa Birliği'nin onayladığı Kyoto Protokolü'nde resmi olarak sunulmuş emirlerdendir.

Kyoto protokolü bu söylemle, direkt olarak soğuk karışımı zorunlu tutmaktadır denemez ancak, sıcak karışım asfalt uygulamasında, CO₂ emisyon miktarı fazla olduğundan ve çoğu zaman protokol emirlerini yerine getirmediğinden, yol onarım ve yeniden yapım uygulamalarında soğuk karışım asfalta yönelinmektedir. Bunun, bu yöntemle uzun dönem performans sağlanmasının yanında ek bir yarar olduğu düşünülmektedir. Amerika Birleşik Devletleri'nde olduğu gibi Avrupa'nın birçok bölgesinde de sıcak karışım uygulaması belli mevsimlerle sınırlıdır. Bu dönemlerin uzatılabilmesi, ekonomik olarak da bir katkı sağlamaktadır. Zararlı emisyonların azaltılması ve uygulama sıcaklarının düşürülmesi, çalışan sağlığı açısından da önerilen ve istenen bir yarardır. (Çizelge 7.2) Bitüm forumu tarafından yapılan bir açıklamaya göre: 80 °C 'nin altındaki sıcaklıklarda asfalt emisyonu oluşmamaktadır[49].

Çizelge 7.2: Ülkelere göre belirtilmiş emisyon azalma yüzdeleri [45]

Emisyon	Norveç	italya	Hollanda	Fransa
CO ₂	%31.5	%30-40	. %15-30	%23,0
S0 ₂	-	%35.0	-	%18.0
VOC	-	%50.0	-	%19.0
CO ₂	%28.5	%10-30	-	-
NO _x	%61,5	%60,-70	-	%18.0
Toz	%54.0	%25-55	-	-

Buradan anlaşıldığı üzere, geri dönüşüm yöntemlerinin doğal kaynak kullanımını azaltmakla sağladığı çevresel yararların yanında, işlem sırasında soğuk karışım yöntemlerinin seçilip kullanılmasıyla ayrıca ortaya çıkacak zararlı gaz oluşumları da engellenmiş, dolayısıyla çevresel katkılar katlanmış olmaktadır.

8. GERİ DÖNÜŞÜM MALİYET ANALİZİ

Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı'nın (EPA:US Environment Protection Agency) 2005 yılı verilerine göre; Dünya genelinde her yıl üretilen ortalama 1,5 milyar ton asfaltın 500 milyon tonu Amerika Birleşik Devletlerin gerçekleştirilmektedir. Amerika Birleşik Devletlerinde her yıl yaklaşık 90 milyon ton kullanılmış asfalt sökülmekte, bunun 73 milyon tonu yeni asfalt yapımında kullanılarak geri kazanılmaktadır. Dolayısıyla toplam yeni asfalt üretiminin, yaklaşık %15'i sökülmüş asfaltın geri kazanılması ile yapılmakta ve yılda 300 milyon \$ tasarruf sağlanmaktadır [50].

Ülkemizdeki üretim miktarı ve oluşan atık miktarları üzerinden bazı değerlendirmeler yapabilmek üzere yapılan araştırmalar sonucunda asfalt atık miktarına dair veri bulunmamış ancak çeşitli kaynaklardan üretilen asfalt miktarlarına dair veriler elde edilebilmiştir [34].

Geri dönüşüm maliyetleri, yapım maliyetleri kadar malzeme maliyetlerine de dayanmaktadır. Yapım maliyetleri daha geçerli bir araştırma yöntemi olsa da malzeme maliyetleri de yeterince belirleyici olduğundan, kıyaslamalarına burada yer verilmiştir. Örneğin Çizelge 8.1' de, işlenmemiş yeni malzeme kullanımındansa, geri dönüştürülmüş asfalt kaplama (RAP) kullanımıyla elde edilecek maddi kazanç miktarları gösterilmeye çalışılmaktadır. Ortalama agrega ve bitüm maliyetlerinin ton başına 5\$ ile 120\$ olduğu düşünülürse, %6 bitümle oluşturulmuş tamamen yeni bir karışımın maliyeti 11.90\$ a gelmektedir (Çizelge 8.2). Eğer uygulayıcı, yarım şerit öğütme makinesi kullanır ve RAP'ı sıcak karışım asfalt plentine geri çekerse, toplam geri dönüşüm maliyeti, öğütme işlemi için harcadığı 1.70\$/ton ve nakliye için harcadığı 2.00\$/ton dahil, ton başına 3.70\$ olacaktır [51].

Çizelge 8.1: Yeni karışım ile geri dönüştürülmüş kaplama kullanımının maliyet karşılaştırması [51]

Malzeme	Maliyet/ton (\$)	Kullanım Oranı(%)	Toplam Maliyet/Ton (\$)
Agrega	5	94	4.7
Bitüm	120	6	7.2
Yeni Karışım			11.9
Nakliye	2		2
Öğütme	1.7		1.7
RAP			3.7
1 ton yeni karışım yerine RAP kullanımı			8.2

Çizelge 8.2: Geri dönüştürülmüş kaplama kullanılması durumunda kazanç [51]

RAP yüzdesi	maliyet/ton	kazanç \$/ton	kazanç %
%0	11.9		
%20	10.26	1.64	14
%30	9.44	2.46	21
%40	8.62	3.28	28
%50	7.8	4.1	34

Buna göre, Amerika Birleşik Devletleri'nde uygulanmış bazı projeler ve RAP içeriklerinin görülebildiği Çizelge 8.1'de görüldüğü gibi %50 dolaylarında RAP katkısı yapılan uygulamalar olduğu düşünülürse, 1 ton asfalt geri dönüştürme işleminin geri dönüştürülmüş asfalt kaplama ile yapılmasından 4.10\$'luk bir maddi kazanç sağlanabilmektedir.

Çizelge 8.3 ve 8.4' de Amerika'daki bazı geri dönüşüm uygulamalarının ekonomik değerlendirmesi yapılmıştır.

Çizelge 8.3 Amerika Karayolları İdaresi FHWA 1984 ölçümlerine göre, sıcak geri dönüşüm yöntemiyle elde edilen maddi kazançların özeti [51]

Bölge	Toplam tonaj (1000) 1984	Ton başına ort. kazanç (\$)	%100 yeni malzeme kullanımına göre ortalama kazanç (%)	Toplam kazanç (1000\$)
Kuzeydoğu	500	2.8	10	1,400
Güneydoğu	4,000	5.67	20	22,300
Kuzey	12,000	5.26	18	62,600
Güney	2,000	5.32	20	10,000
Orta-batı	1,600	5.12	21	8,200
Toplam	20,000	-	-	104,500
Ortalama		4.83	18	-

Çizelge 8.4 Geri dönüşüm yoluyla elde edilen maddi kazançlar [51]

Kuruluş	Yıllar	Ortalama kazanç (%)
FloridaDOT	1981-1983	24-26
Saskatchewan	1985	20-30
U.S. Corps of Engineers	1986	16
Wisconsin DOT	1980-1985	39-49

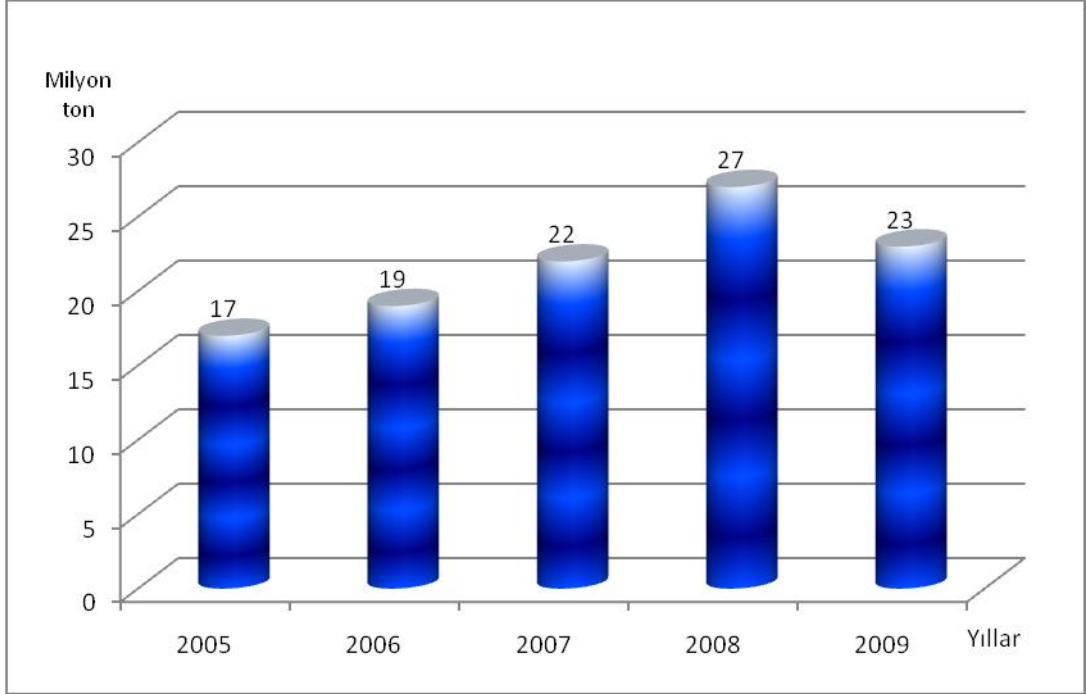
ARRA (Asphalt Recycling and Reclaiming Association) tarafından, yerinde sıcak geri dönüşüm için tanımlanan 3 temel çeşit vardır. Bunlar: yüzeysel geri dönüşüm (surface recycling), yeniden kaplama (repaving) ve yeniden karıştırma (remixing). 25mm derinlikteki yüzeysel geri dönüşüm ve geri dönüştürücü malzeme ilavesi, yaklaşık olarak 1.25\$/m²'e mal olmaktadır. Yaklaşık 2.05\$/m² maliyet de ilave 25mm'lik örtü için gereklidir. İki aşamalı bu yöntem toplamda yaklaşık 3.3\$/m² ye mal olmaktadır. Yeniden kaplama yönteminde, mevcut kaplamanın üst 25 mm'lik bölümünden geri dönüştürülen malzemenin yeni örtü olarak serilmesi yaklaşık 3.62\$/m² ye mal olmaktadır. Soğuk öğütme işleminden elde edilecek maksimum %25 lik kazanç ve geleneksel kaplama prosedürleri açıklanmıştır. 25 mm'lik kazıma ve % 10-20 arasında saf agrega ile yeniden karıştırma işlemi yaklaşık 2.24 \$/m²'dir.

Kanada için tipik yeniden karıştırma maliyeti, 50mm derinlikli iyileştirme için 2.78\$ ile 3.70\$ arasında bildirilmiştir [50].

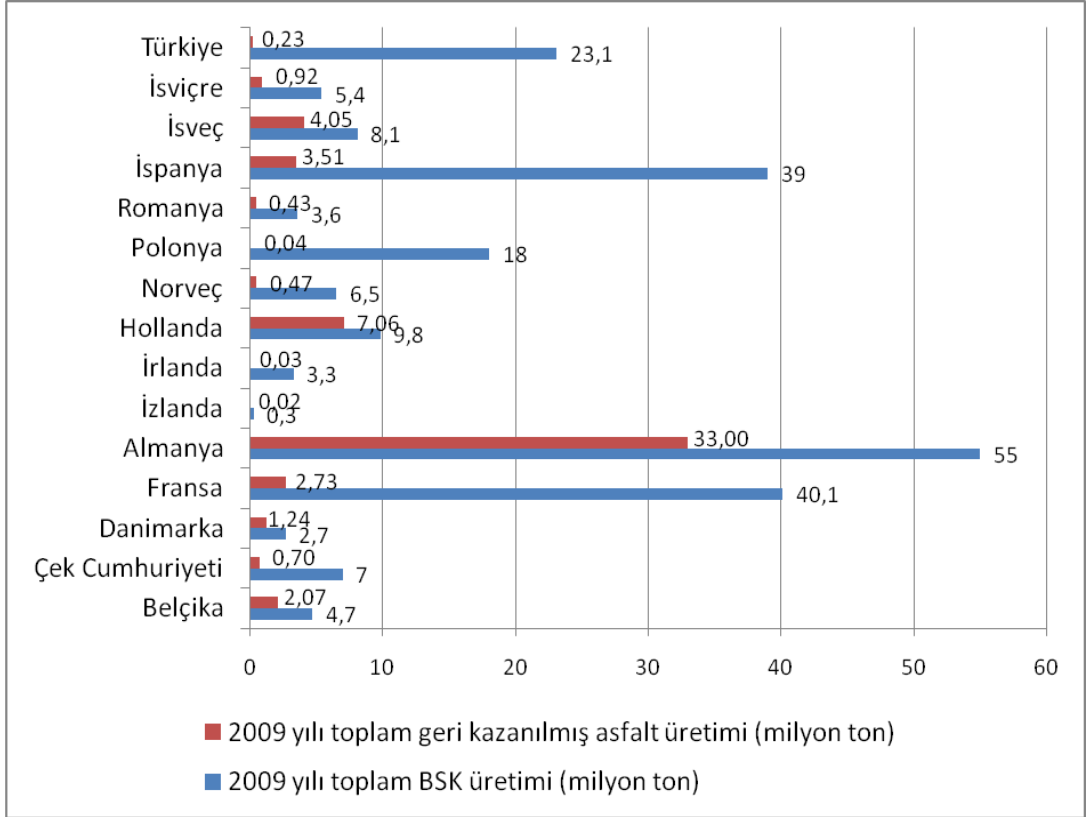
Amerika Birleşik Devletleri Ulaştırma Bakanlığı tarafından sunulan bazı ekonomik verilere göre; asfalt kaplamanın geri dönüştürülmesi maliyet tasarrufu açısından büyük potansiyeller sunmaktadır. 1981 yılında Michigan eyaleti, asfalt kaplama geri dönüştürme işlemi ile 1 ton karışım başına 7\$, 1982 yılında Wisconsin eyaleti ise 7,5\$ tasarruf sağladıklarını belgelemişlerdir.

Amerika Ulusal Karayolu Bakanlığı (FHWA) ve 41 katılımcı eyalet tarafından, geri dönüşüm araştırma ve geliştirmesi için 5 milyon\$a yakın harcama yapılmıştır. FHWA bilgi bankası tarafından 1981 yılı itibariyle, ton başına 2,5\$ kazanç sağlanan 5 milyon ton asfalt kaplama bulunduğu bildirilmiştir. Bu dönemlerde yapılan uygulamaların ancak yarıya yakınının bilgi bankasına kaydedildiği düşünülürse, 25 milyon\$luk tasarruf elde edildiği ya da geri dönüşüm araştırmalarına harcanan miktar için fayda-maliyet oranının 5:1 olduğu öngörülebilir. Bozulmuş asfalt kaplamaların çoğunda geri dönüşmüş karışım kullanılacağı ve uygun gelişmiş ekipman ve teknolojilerin olduğu göz önünde bulundurulursa, mevcut tasarrufun en azından, 100 milyon\$'ın üzerine çıktığı söylenebilir [49].

8.1 Türkiye Geneli İçin Geri Dönüşüm Maliyet Analizi



Şekil 8.1 2005-2009 Türkiye’deki bitümlü karışım üretim miktarı [52]



Şekil 8.2 2009 yılına ait BSK üretimi ve geri dönüşüm miktarları [52]

Karayolları 2009 verilerine göre ülkemizde yıllık bitümlü sıcak karışım üretim miktarı yaklaşık 23 milyon ton olarak verilmiştir (Şekil 8.1).

- Maliyet analizinde kullanılan fiyatlar, Karayolları Genel Müdürlüğü 2009 yılı birim fiyatlarıdır.
- Yapılan analizde üretilen bitümlü karışım miktarının %50'sinin geri dönüştürülmüş malzemeler ile yapıldığı varsayılmıştır.

Buna göre analiz, $23 \times \%50 = 11,5$ milyon ton asfalt üretimi geri dönüştürmüş malzeme ile yapılacaktır.

Agrega

Bu malzeme içinde agrega ve bitüm bulunmakta olup, yapılan analizlerde agreganın tamamının kullanılabilir olduğu belirlenmiştir.

$$11.500.000\text{ton} \times 13,8 = 158.700.000 \text{ TL}$$

Bitüm

Kazılmış malzemede %4 bitüm olduğu ve bu bitümün geri dönüştürme sırasında yarısının karışıma girdiği varsayılmaktadır. Buna göre;

$$11.500.000\text{ton} \times 4,4 \times \%50 \times 835\text{TL/ton} = 211.255.000 \text{ TL}$$

Agrega Maliyeti

Taş ocaklarında 1 ton agrega üretebilmek için yaklaşık olarak 3 \$/ton (4.8 TL/ton) harcanmaktadır. Oysa 1 ton geri dönüşüm malzemesini öğüterek üretebilmek için 0.7 \$/ton (1.12 TL/ton) harcanmaktadır.

$$11.500.000\text{ton} \times 4.8\text{TL/ton} = 55.200.000\text{TL}$$

$$11.500.000\text{ton} \times 1.12\text{TL/ton} = 12.880.000\text{TL}$$

$$\text{Arada kalan fark : } 42.320.000\text{TL}$$

Kazıma Maliyeti

$$11.500.000\text{ton} \times 15.45\text{TL/ton} = 177.722.916\text{TL}$$

Not: Bakım onarım çalışmalarında, gerekli durumlarda, geri dönüştürme yapılmayacaksa bile kazıma çalışmaları yapıldığı dikkate alınmalıdır. Bu nedenle çoğu zaman plentte geri dönüşüm uygulamalarının kar hesaplarına kazıma maliyetleri katılmayabilir.

Agrega Nakliye

1 km için yaklaşık 30 ton yüklü kamyonun harcadığı mazot bedeli 1,13 TL/ton ' dur. Yaklaşık olarak 40 km'den agrega nakledildiği düşünülecek olursa bu durumda agrega nakliyesinden elde edilecek nakliye karı aşağıdaki gibi olacaktır:

$$11.500.000\text{ton} * 1,13\text{TL/ton} = 12.995.000 \text{ TL}$$

Döküm sahasına yapılan nakliye

Döküm sahalarının uygulama alanlarına en yakın mesafesi yaklaşık olarak 45 km civarındadır. Mevcut kazılan asfaltlar döküm sahasına yönlendirildiğinde 45 km'lik yolu giderek dökmekte ve geri dönmektedirler. Ancak fabrika sahalarına geri dönüşüm için gönderildiğinde ise ortalama olarak 20 km civarında nakliye yapmaktadırlar.

Döküm sahasına nakil yapılması durumunda:

$$11.500.000 \text{ ton} * 12,5 \text{ TL /ton} = 143.750.000 \text{ TL}$$

Fabrika sahasına nakil yapılması durumunda:

$$11500.000\text{ton} * 7,25\text{TL/ton} = 83.375.000 \text{ TL}$$

$$\text{Fark: } 60.375.000 \text{ TL}$$

Döküm sahasına ödenmeyecek tutar

Döküm sahalarına her kamyon seferinde ödenen para ortalama 70 TL/adet ile 100 TL/adet arasında değişmektedir. Ortalama olarak 85 TL/adet alınırsa;

$$11.500.000 \text{ ton} / 16 \text{ ton} : 718750 \text{ adet kamyon}$$

$$718.750\text{adet} * 85 \text{ TL/adet: } 61.093.750 \text{ TL}$$

Asfalt nakliye

Geri dönüşüm asfalt olmadığı takdirde, yoldan kazılan asfaltın yerine yeniden asfalt serimi yapılacaktır. Bu nedenle, aynı bölgeye tekrar asfalt nakli gerçekleştirilecektir.

Bu nakliye bedeli:

$$11.500.000 \text{ ton} * 8.24 \text{ TL/ton: } 94.760.000 \text{ TL}$$

Tesis maliyetleri

Ülkemizde geri dönüşüm yaygın olmadığı için tesislerin ülkemiz koşullarında ne kadar paraya mal olacağını tespit etmek güçtür.

Fakat gerek tesis için gerekli ekipmanların fiyatlarını göz önüne alır ve yurtdışında geri dönüşüm için \$/ton miktarlarına bakacak olursak, tesis maliyetleri;

Yaygın olarak kullanılan Bagela marka geri dönüşüm makinaları üzerinde yapılan incelemede aracın saatte ortalama 10 ton geri dönüşüm yapabildiği ve ton başına 3.8 litre mazot kullandığı görülmüştür [54].

Araç 24 saat hizmet verebilmesine karşın, ülkemizdeki çalışma gün ve saatleri göz önüne alındığında:

Haftanın 5 günü, günde ortalama 8 saat çalıştığında, yılda toplam:

$8\text{saat} \times 5\text{gün} \times 52\text{ hafta} = 2080\text{ saat çalışır.}$

Saat başına agreganın nem oranına göre ortalama 9.7 ton karışım geri dönüştürmektedirler. Buna göre 1 aracın toplam yıllık üretimi;

$2080\text{ saat} \times 9,7\text{ ton} = 20.176\text{ ton olur.}$

2009 yılına ait çalışmamızda 11,5 milyon geri dönüşüm planlamıştık. Bu miktarda geri dönüşüm için yılda 20.176 ton üretim yapan makinalardan,

$11.500.000 / 20.176 = 570\text{ adet gerekmektedir.}$

Her bir aracın piyasa araştırmaları sonucu ortalama maliyeti 120.000 TL olarak tespit edilmiştir. Buna göre toplam araç maliyeti;

$120.000\text{TL} \times 570\text{ araç} = 68.400.000\text{TL ilk yatırım maliyeti olur.}$

Araçların ekonomik çalışma ömürleri 12 yıl olarak öngörülmektedir. Böylece araçların yıllık toplam yatırım maliyeti;

$68.400.000\text{TL} / 12 = 5.700.000\text{TL}$

Yıllık %10 bakım masrafı olacağı düşünülürse;

$5.700.000 \times \%10 = 570.000\text{TL}$

Yani tesis alt yapı maliyeti yaklaşık olarak yıllık,

$5.700.000 + 570.000 = 6.270.000\text{TL olur.}$

*İşletme giderleri geri dönüştürme yapmadan yeni karışım üretme giderlerine yakın olacağından bu fark alınmamıştır.

Yukarıdaki veriler ışığında yılda 11.500.000 ton asfaltın geri dönüşümü neticesinde kamunun elde edeceği kar:

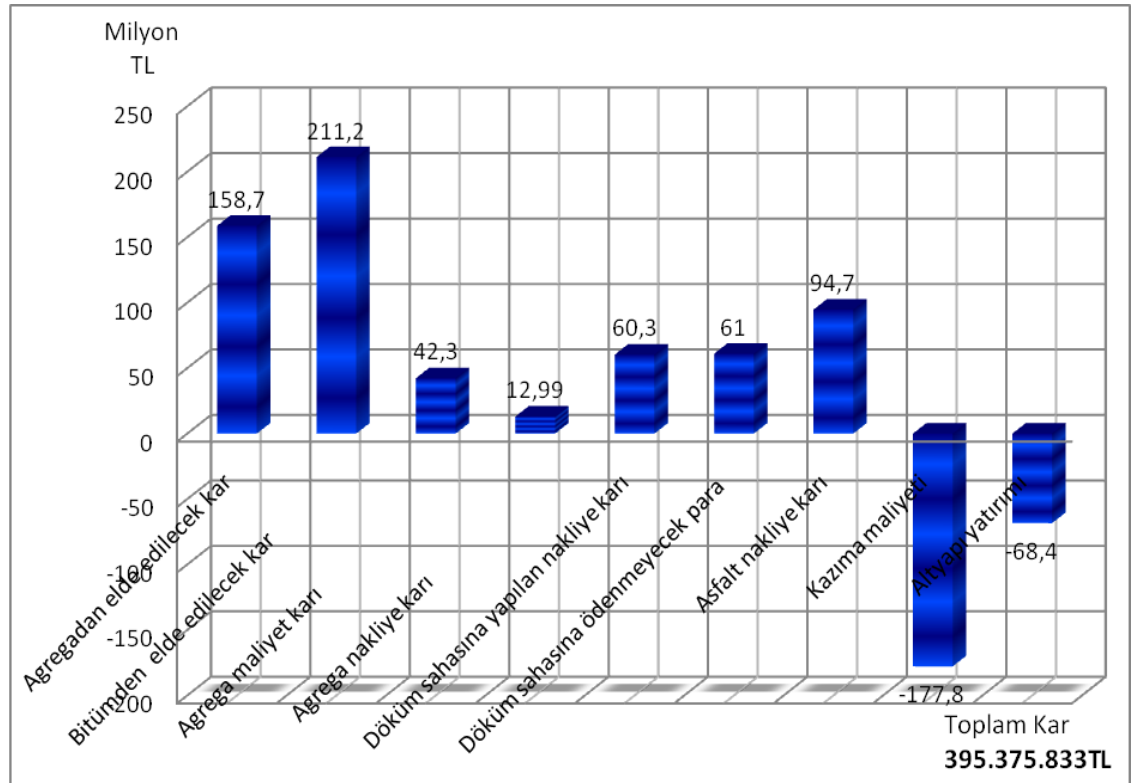
Agregadan elde edilecek kar	: 158.700.000 TL
Bitülden elde edilecek kar	: 211.255.000 TL
Agrega maliyet karı	: 42.320.000TL
Agrega nakliye karı	: 12.995.000 TL
Döküm sahasına yapılan nakliye karı	: 60.375.000 TL
Döküm sahasına ödenmeyecek para	: 61.093.750 TL
Asfalt nakliye karı	: 94.760.000 TL
Kazıma Maliyeti	: -177.722.916 TL
Toplam	: 463.775.833 TL

Tesis alt yapısının ilk kez kurulduğu durumda;

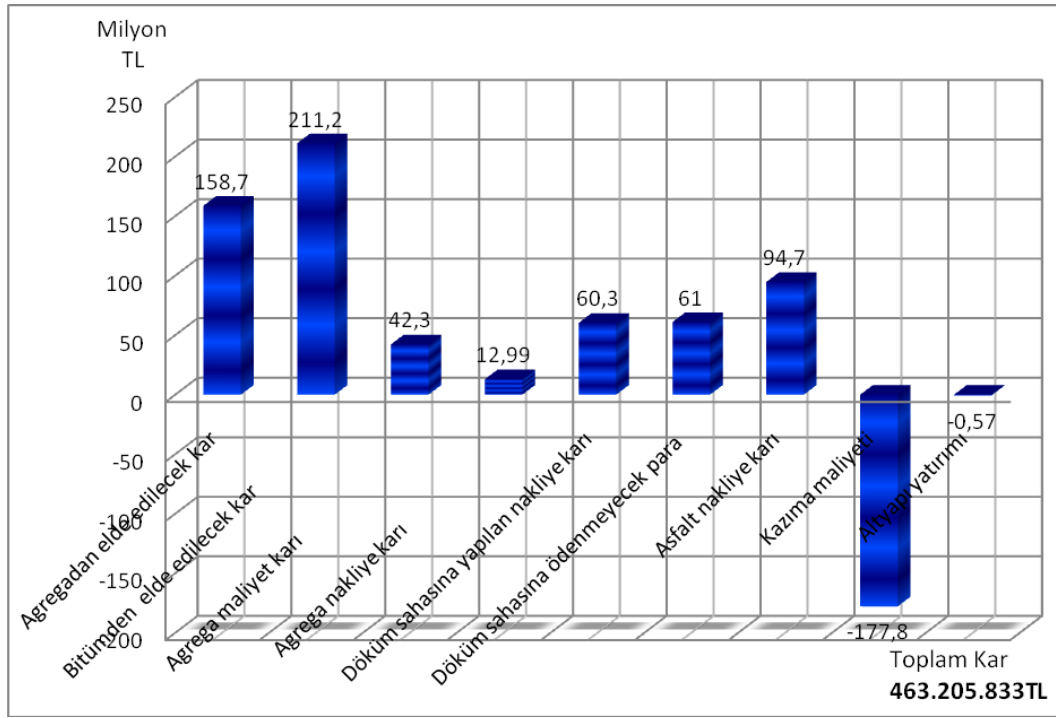
463.775.833TL- 68.400.000TL= **395.375.833TL** yıllık kar elde edilir.

Tesis alt yapısının önceden kurulu, kullanımına devam ediliyor olması durumunda;

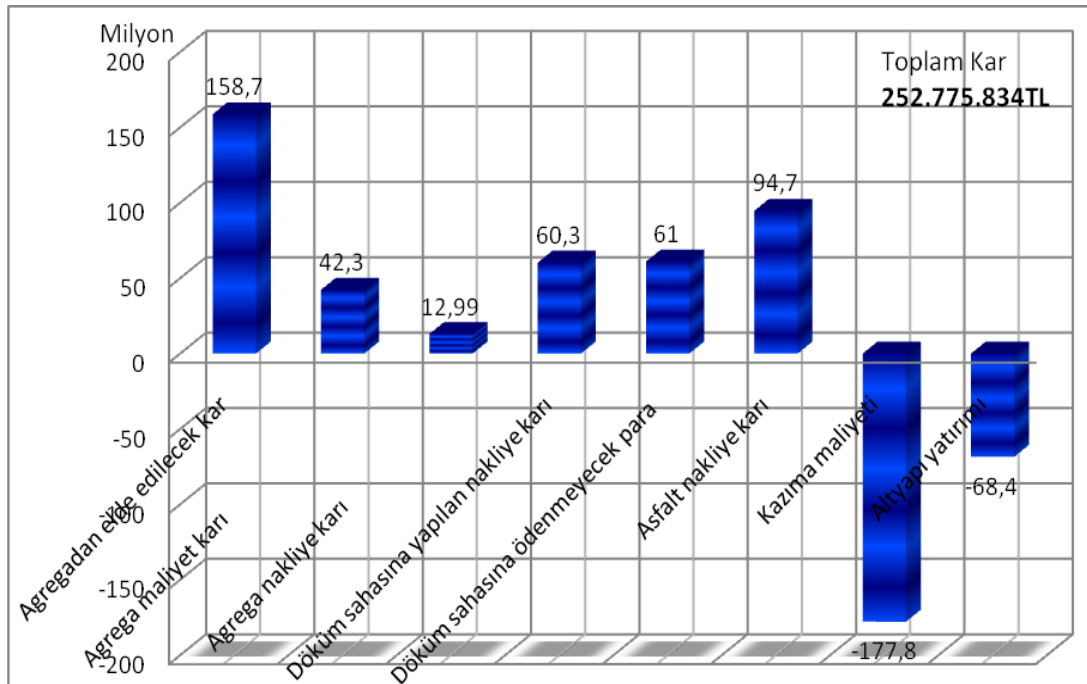
463.775.833TL-570.000TL= **463.205.833TL** yıllık kar elde edilir.



Şekil 8.3 Tesis alt yapısının ilk kez kurulacağı durumda sıcak geri dönüşüm için oluşan kar miktarları



Şekil 8.4 Tesis alt yapısının önceden kurulu olduğu durumda sıcak geri dönüşüm için oluşan kar miktarları



Şekil 8.5 Soğuk geri dönüşüm yöntemi için oluşacak kar miktarı

8.2 İstanbul İli İçin Maliyet Analizi

Geri dönüşümlü asfalt kaplamaların ekonomik avantajları için ülkemizden bir inceleme yaparsak İsfalt'ın verilerine göre;

İstanbul'da yollardan kazılan malzemeler ve yapım sırasında arta kalan, bakım-onarım işlerinde ortaya çıkan diğer malzemelerin toplamı yaklaşık olarak 550.000 tondur. Yoldaki asfalt karışımlarından alınan numunelerde mevcut asfalt kaplamaların yaklaşık olarak % 4.4 civarında bitüm içerdiği tespit edilmiştir. Bu bitümün de yapılacak asfalt karışımında yoldaki yaşlanmadan dolayı ancak % 50' si kullanılabilir durumdadır[53].

Agrega

İstanbul'da yollardan kazılan malzemeler ve yapım sırasında arta kalan, bakım-onarım işlerinde ortaya çıkan diğer malzemelerin toplamı yaklaşık olarak 550.000 tondur. Bu malzeme içinde agrega ve bitüm bulunmakta olup, yapılan analizlerde agreganın tamamının kullanılabilir olduğu belirlenmiştir.

550.000 ton * 12 TL/ton: 6.600.000 TL

Bitüm

550.000 ton atık malzeme % 15 oranında karışıma girerse yaklaşık olarak 3.600.000 ton asfalt üretiminde kullanılabilir. Bu miktar da İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin bir yıllık üretimine karşılık gelmektedir. Geri kazanılacak bitümden elde edilecek gelir:

550.000 ton * % 4.4 * % 50 * 465 TL/ton : 5.626.500 TL

Agrega maliyeti

Taş ocaklarında 1 ton agrega üretebilmek için yaklaşık olarak 3 \$/ton (4.2 TL/ton) harcanmaktadır. Oysa 1 ton geri dönüşüm malzemesini kırarak üretebilmek için 0.7 \$/ton (0.98 tl/ton) harcanmaktadır.

550.000 ton * 3 \$/ton: 1.650.000 \$: 2.310.000 TL

550.000 ton * 0.7 \$/ton: 385.000 \$: 539.000 TL

Arada kalan fark : 1.771.000 TL

Agrega Nakliye

1 km için yaklaşık 30 ton yüklü kamyonun harcadığı mazot bedeli 0,9 TL/ton ' dur.

Yaklaşık olarak 40 km'den agrega nakledildiği düşünülecek olursa bu durumda agrega nakliyesinden elde edilecek nakliye kan aşağıdaki gibi olacaktır: 550.000 ton * 0.9 TL/ton : 495.000 TL

Döküm sahasına yapılan nakliye

İstanbul genelinde döküm sahaları şehir dışında uzak noktalardadır. Bu sahaların şehire en yakın mesafesi yaklaşık olarak 45 km civarındadır. Mevcut kazılan asfaltlar döküm sahasına yönlendirildiğinde 45 km'lik yolu giderek dökmekte ve geri dönmektedirler. Ancak fabrika sahalarına geri dönüşüm için gönderildiğinde ise ortalama olarak 20 km civarında nakliye yapmaktadırlar.

Döküm sahasına nakil yapılması durumunda: 550.000 ton * 9.99 TL /ton : 5.494.500 TL
Fabrika sahasına nakil yapılması durumunda: 550.000 ton * 5.78 TL/ton : 3.179.000 TL
Fark: 2.315.500 TL

Döküm sahasına ödenmeyecek tutar

Döküm sahalarına her kamyon seferinde ödenen para istanbul'da 55 TL/adet ile 100 TL/adet arasında değişmektedir. Ortalama olarak 80 TL/adet alınırsa;
550.000 ton / 16 ton : 34.375 adet
34.375 adet * 80 TL/adet: 2.750.000 TL

Asfalt nakliye

Geri dönüşüm asfalt olmadığı takdirde, yoldan kazılan asfaltın yerine yeniden asfalt serimi yapılacaktır. Bu nedenle, aynı bölgeye tekrar asfalt nakli gerçekleştirilecektir. Bu nakliye bedeli ise şu şekilde olacaktır: 550.000 ton * 6.62 TL/ton: 3.641.000 TL

Yukarıdaki veriler ışığında yılda 550.000 ton asfaltın geri dönüşümü neticesinde kamunun elde edeceği kar aşağıdaki gibi olur:

Agregadan elde edilecek kar	: 6.600.000 TL
Bitlimden elde edilecek kar	: 5.626.500 TL
Agrega maliyet karı	: 1.771.000 TL
Agrega nakliye karı	: 495.000 TL
Döküm sahasına yapılan nakliye karı	: 2.315.500 TL
Döküm sahasına ödenmeyecek para	: 2.750.000 TL
Asfalt nakliye kan	: 3.641.000 TL
Toplam	: 23.199.000 TL

İstanbul Büyükşehir Belediyesi verilerine göre bu işlemleri gerçekleştirmek için gereken geri dönüşüm tesisi kurma maliyeti için öngörülen rakam 380.000 TL dir. Yatırımın 12 yıllık planlandığı düşünülürse yıllık %10 faiz oranına göre yatırımın yıllık karşılığı 57.000 TL 'dir [53].

Sistemin mevcut fabrikalardan birine kurulacağı ve 2 operatörün varlığıyla işletileceği varsayımıyla

Yıllık personel gideri : 72.000 TL

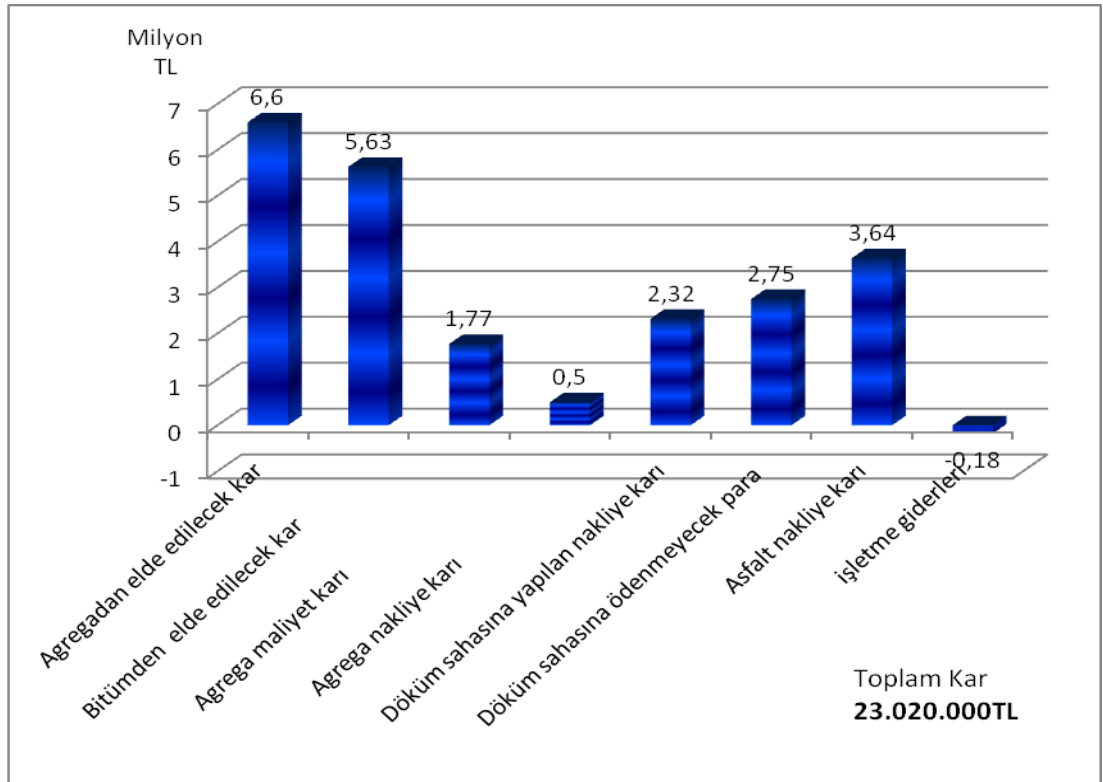
İşletme gideri : 50.000 TL

Sonuç olarak;

Böyle bir tesisin kurulması ile birlikte agrega ve bitüm alımından yıllık olarak 23.199.000 TL tasarruf edilirken bu tesisin personel, işletme masrafları ve yatırım masrafı yıllık olarak 179.000 TL'dir.

Bu durumda da toplam yıllık tasarruf:

23.199.000 TL - 179.000 TL : 23.020.000 TL olacaktır. [53]



Şekil 8.6 İsfalt 2007 yılı geri dönüşüm kar maliyet analizi

9. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sonuç olarak bitümlü karışımların geri kazanımı; yol üstyapısının hizmet ömrünü doldurmuş olan kaplama tabakasının, yöntemin ya da bozulma miktarının gerektirdiği derinliklerde kaldırılarak yeniden kullanılacak hale getirilip gerekli miktarda yeni agrega ve bağlayıcı malzeme katkısı ile soğuk veya sıcak işlemlerle, yerinde ya da bir asfalt plentinde yeniden kaplama malzemesi haline dönüştürülmesidir.

Bitümlü karışımları geri dönüştürebilmek için asfalt geri dönüşüm ve rehabilitasyon birliği (ARRA) beş farklı geri dönüşüm tekniği tanımlamaktadır: Soğuk Düzeltme (Cold Planing), Sıcak Geri Dönüşüm(Hot Recycling), Sıcak Yerinde Geri Dönüşüm (Hot In-Place Recycling), Soğuk Geri Dönüşüm(Cold Recycling), Tam Derinlikli Geri Dönüşüm (Full Depth Reclamation).

Bu yöntemlerle geri dönüşümün yapılması ile sayısız faydalar sağlanmaktadır. Bu yararları ana başlıklar halinde aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

- Daha az agrega ve bitüm kullanımı ile doğal kaynak tüketimi azalacak
- Asfalt atığının kontrolü (toplanması taşınması ve depolanması) sırasında oluşan çevresel etkiler, hava, su ve toprak kirliliği, enerji tüketimi, gürültü, kazaların önlenmesi v.b. kirliliğin kaynaktan kontrolü sağlanacak
- Yeni asfalt üretim maliyetlerinin azalması, aynı miktarda kaynak kullanılarak daha fazla asfalt yol yapımı ile ekonomik kazanç sağlanacaktır.

Çalışmada yapılan maliyet analizlerinde, geri dönüşüm işlemleri ile elde edilecek kar yüzdelerinin dağılımının, 'bitüm: %32.9, agrega üretimi: %31.3, nakliye: %26.2, depolama: %9,5' olduğu sonucuna varılmıştır. Bu sonuca göre, sıcak geri dönüşüm ile bitümlü karışımlarda en önemli maliyet kalemlerinden bitümün geri kazanımı, diğer geri dönüşüm yöntemlerine göre büyük ekonomik kazançlar sağlamaktadır. Ancak ülkemizde sıcak geri dönüşüm tesislerinin eksikliği, soğuk geri dönüşüm yapmaya zorlamaktadır. Soğuk geri dönüşüm yönteminde ise bitümün geri dönüşümü yapılmıyor olup, kazılan malzeme sadece agrega olarak kullanılmaktadır.

Ayrıca önemli bir maliyet kalemi olan nakliye giderlerini azaltmak için yerinde geri dönüşüm araçlarına yönelmek, üretim maliyetleri açısından önemlidir.

Bu yöntemleri en etkin biçimde kullanmak azami fayda sağlayacaktır. En iyi şekilde faydalanabilmek için kaplama bozulma türlerini ve uygulanacak uygun geri dönüşüm yöntemlerini iyi bilmek gerekir. Yapılan teknik ve ekonomik çalışmalar sonucu, tezde detaylı olarak anlatılan kaplama bozulma tiplerine göre geri dönüşüm için;

- Cilalanma ve sökölme kusurları için soğuk düzeltme ve sıcak geri dönüşüm,
- Türkiye’de sıkça rastlanan tekerlek izi gibi kalıcı deformasyonlar için soğuk düzeltme ve sıcak geri dönüşüm; tekerlek izi oluşumu tabakalar boyunca yayılmış derinlikte ise soğuk yerinde geri dönüşüm ve tam derinlikli geri dönüşüm,
- Trafikten kaynaklanan timsah sırtı ve kaplama kenarı çatlakları için sıcak geri dönüşüm, soğuk yerinde geri dönüşüm ve tam derinlikli geri dönüşüm yöntemleri; yansıma çatlakları için sıcak geri dönüşüm,
- Trafikten kaynaklanmayan blok tipi ve enine çatlaklar için sıcak geri dönüşüm, soğuk yerinde geri dönüşüm ve tam derinlikli geri dönüşüm yöntemleri; boyuna çatlaklar için ise sıcak geri dönüşüm,
- Türkiye’de kullanımı fazla olan yama türlerinden yüzeysel ve derin yamalar için sıcak geri dönüşüm ve tam derinlikli geri dönüşüm; problemlili temel/alt temel sorunlarında tam derinlikli geri dönüşüm,
- Sürüş konforu ve pürüzlölük kusurlarında soğuk düzeltme ve sıcak geri dönüşüm yöntemlerinin uygulanmasının uygun olacağı sonuçlarına varılmıştır.

Asfaltın geri kazanılmasının sayılan avantajlarının yanında verimli ve etkin geri kazanım için aşılması gereken zorluklardan da söz edilebilir. Bunların en önemlileri;

- Ekonomi ve çevre açılarından asfaltın geri kazanımının önemi ile ilgili kurum ve kuruluşlarda bilinç eksikliği
- Sökölün asfaltın niteliğinin geri kazanıma uygun olmaması ya da sökme işlemi sırasında niteliğinin korunamaması, diğeri atıklarla karışması
- Sökölün asfaltın toplanması ve korunması şartlarının oluşmamış olması
- Geri kazanım için gerekli teknoloji alt yapısının yeterli olmaması
- Mevcut teknolojinin pahalı olması

-En yaygın geri kazanım şekli olan asfalt plantindeki yeni karışıma soğuk katılmasının verimli bir geri kazanım sağlayamaması, olarak sıralanabilir.

Dünyada her yıl yaklaşık 1,5 milyar ton asfalt üretimi için 1,425 milyar ton agrega ve 75 milyon ton bitüm tüketilmektedir. Agreganın üretimi için taş ocakları kurularak çevre tahrip edilmekte ve bitüm üretimi için çevreye zararlı gazlar salınmaktadır. Bu zararların en az indirilebilmesi için geri dönüşüme gereken önemin verilip, geri dönüşüm yöntemlerinin de en etkin biçimde uygulanması gerekir. Örneğin, ABD’de yapılan çalışmalarda 2 şeritli 1 km’lik yol için, soğuk yerinde geri dönüşüm (CIR) ve soğuk yerinde köpük asfaltlı geri dönüşüm (CIREAM) yöntemlerinin geleneksel sıcak kaplama yöntemlerine göre yaklaşık %50 daha az seragazı (GHG) çıkardığını, %62 daha az agrega tükettiğini ve %40 ila %50 arasında daha az maliyete yol açtığı sonucuna varılmıştır.

Diğer taraftan asfalt yolların yenilenmesi sırasında sökülen asfalt yığınlarının da doğaya terk edildiği düşünüldüğünde, bitümlü karışımların geri dönüştürülmeden atık olarak doğaya bırakılmasının hem çevresel hem ekonomik yönden büyük zararlara neden olacağı açıktır. Türkiye’de de bitümlü karışımların sadece %1’inin geri kazanılması sonucu, her yıl yaklaşık 120 bin ton daha az sökülmüş asfalt yığını oluşacak, 114 bin ton daha az taş ve yaklaşık 6 bin ton daha az bitüm tüketilecek, doğal kaynak tüketimi ve entegre kirlilik azalacak, aynı miktarda hammadde ve diğer kaynak tüketilmesine rağmen daha fazla asfalt yol yapılabilecektir.

Bütün bu faydaları elde edebilmek için öncelikle ve özellikle geri kazanım bilinci oluşturulması ve yaygınlaştırılması konusunda yaklaşımlar geliştirmelidir. Bunun için toplumun ilgili tüm kesimlerinin, asfaltın üretilmesi ve kullanılmış asfaltın sökülmesi süreçlerindeki tüm paydaşların sorumluluk alması gereklidir. Diğer taraftan, sökülen asfalt, diğer hafriyat toprağı, inşaat ve yıkıntı atıkları ile aynı sınıfta değerlendirilmemeli, geri kazanılmaya uygun şekilde ayrı toplanıp depolanmalıdır. Bu yönetmeliğin uygulanması ve denetimi ile gerekli alt yapıların tesisi ile bunların denetimlerinde, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığına bağlı kurumlar ve yerel yönetimlere önemli görev ve sorumluluklar düşmektedir. Yerel yönetimler aynı zamanda, kendileri üreterek ya da satın alarak, şehir içi yol yapımında kullandıkları yeni asfaltın veya sökülmüş asfaltın üreticisi durumundadırlar.

Özellikle büyükşehir belediyelerinin bu konudaki paylarının daha büyük olması ve daha geniş kaynaklara sahip olmaları nedeniyle, asfaltın geri kazanılması konusunda hızla harekete geçmelidirler. Asfaltın geri kazanılabilir hale gelmesi için tüm paydaşları kapsayacak yeni yasal düzenlemeler yapılmalıdır. Bu düzenlemeler geri kazanım teknolojilerine erişimi, bu alanda yapılacak yatırımlara kaynak ayrılmasını ve gerekli destekleri verilmesini de içermelidir. Bunun için toplumun ilgili tüm kesimleri sorumluluk almalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] Akbulut, H., Gürer, C., ve Kürklü, G. İnşaat Endüstrisinde Geri Dönüşüm ve Hammadde Kaynağı Olarak Farklı Yapı Malzemelerinin Yeniden Değerlendirilmesi
- [2] Whiteoak, D. Shell Bitumen Handbook David, İsfalt, İstanbul
- [3] Url-1 <http://www.teknomak.com.tr/usr_img/urunler/tanklar/yatay_bitum.jpg>, alındığı tarih 10.04.2011
- [4] Ilcalı, M., Eren, K., Özen, H., Sönmez, İ., Tayfur, S., 2001. Asfalt ve Uygulamaları, İSFALT yayınları, İstanbul.
- [5] Asphalt Institute, 2002. The History of the Asphalt ,Annual Magazine
- [6] WAPA Asphalt Pavement Guide, 2002.
- [7] Lav A., H., Bitüm El Kitabı, İsfalt Yayınları, İstanbul
- [8] Arıkan E, Sathi Kaplamalı Yollarda Asfalt Emülsiyonu Kullanımının Avantajları
- [9] Url-2 <<http://www.ekocozum.com/blog/wp-content/uploads/2008/05/asfalt.jpg>>, alındığı tarih 25.03.2011
- [10] Uluçaylı, M., Asphalt El Kitabı Handbook, İsfalt, İstanbul
- [11] Url-3 <<http://www.directindustry.com/prod/ammann/asphalt-recycling-plants-41134-469942.html>>, alındığı tarih 26.03.2011
- [12] Url-4 <<http://www.e-mak.com/tr/urunler/ratech.asp?SectionID=2>>, alındığı tarih 15.02.2011
- [13] Asfaltta Geri Dönüşüm, İsfalt 2009, İstanbul Büyükşehir Belediyesi
- [14] ARRA, 2001. Asphalt Recycling and Reclaiming Association Basic Manual
- [15] Url-5 <<http://www.makinaturkiye.com/Makineler/121341/Asfalt-Makinalari>>, alındığı tarih 15.03.2011
- [16] Url-6 <http://www.ikincielim.com/iel_Resim/106915.jpg>, alındığı tarih 15.03.2011
- [17] Url-7 <www.esirket.com/images/yaz/ilanlar>, alındığı tarih 15.03.2011
- [18] Aravind, K. & Das, A, 2007. Bituminous pavement recycling, K Aravind, A Das - Journal of Materials in Civil Engineering, 2007
- [19] Jacobson, T., 2002. Cold Recycling Of Asphalt Pavement - Mix in Plant, Swedish National Road and Transport Research Institute, SE-581 95 Linköping, İsveç
- [20] Url-8 <<http://www.pyropaver.com/images/equipment.jpg>>, alındığı tarih 20.03.2011

- [21] **Url-9** <www.pyropaver.com/images/roadtech.jpg> alındığı tarih 20.03.2001
- [22] **Pamuk, İ.**, 1986. Bozulmuş bitümlü yol kaplamalarının yeniden kullanılması Yönteminin Türkiye'de Uygulanabilirliği, İstanbul Teknik Üniversitesi, Doktora Tezi, 1986.
- [23] **Url-10** <www.swiftconference.org> Emery John, alındığı tarih 24.03.2011
- [24] **Raodtech Company**, CIRBrochure
- [25] **Url-11** <http://www.arra.org/presentations/cold_recycling.pdf>, alındığı tarih 25.03.2011
- [26] **Url-12** <www.ejbreneman.com/img/news/Compacting-CIR-in-St-John-s-County.jpg> alındığı tarih 25.03.2011
- [27] **Url-13** <www.thebarnhardtgroup.com>, alındığı tarih 28.03.2011
- [28] **KMA 200 Brochure** Cold recycling plant
- [29] **Rebuilding by Reclaiming-** the FDR process, better roads magazine, 2001
- [30] **Url-14** <www.eddhickingbottom.com>, alındığı tarih 15.03.2011
- [31] **Url-15** <www.eddhickingbottom.com> alındığı tarih 15.03.2011
- [32] **Ed Kearney P. E.**, 2008, A carier in recycling, NYSDOT, Asfalt Enstitüsü, Gorman Bros. Inc., Wirtgen America Inc. Consultant
- [33] **ASMÜD Asfalt Müteahhitleri Derneği**, 2009. "Rakamlarla Asfalt" Bildirisi
- [34] **ASMÜD Asfalt Müteahhitleri Derneği**, 2006. "Türkiye Asfalt Endüstrisi Raporu"
- [35] **Karayolları Teknik Şartnamesi**, .2006. Kısım 413 ve Kısım 414
- [36] **Asphalt Institute**, The History of the Asphalt, Annual Magazine 2002
- [37] **Asfaltta Geri Dönüşüm Bildirisi**, İsfalt 2009, İstanbul Büyükşehir Belediyesi
- [38] **Url-16** <www.worldhighways.com>, alındığı tarih 22.03.2011
- [39] **Roatech Asphalt Industries Company/Cold-in Recyling guide**
- [40] **Url-17** <<http://www.fhwa.dot.gov/PAVEMENT/recycling/rap/index.cfm>> alındığı tarih 20.03.2011
- [41] **European Asphalt Pavement Association**, Arguments to stimulate the government to promote asphalt reuse and recycling, May 2008
- [42] **B. Eckmann S.**, Yerinde Soğuk Yöntemle Geri Kazanılan Asfaltın Performansının Değerlendirilmesi, Ulusal Asfalt Sempozyumu Bildiriler, Kasım 2009
- [43] **Gencer, M., Kunduracioğlu, G.**, Asfaltın Geri Kazanılması, 5.Asfalt Sempozyumu, Kasım 2009
- [44] **Pareira, P., Santos, L., P.**, 2006. Technical Economical Evaluation of Pavement Recycling Alternatives, Portekiz, Mart 2006
- [45] **Dr. Imbert**, 2009. Burgeap Ekök Direktifi Genel Sunumu, REC Türkiye web sitesi - Orta ve Doğu Avrupa için Bölgesel Çevre Merkezi (REC)
- [46] **Botsalı, F.**, ISO 14001 Çevre Yönetim Sistemi Sunusu,

- [47] **Paul J., Cosentin., Edward H., K.,** 2001. Developing specifications for using recycled asphalt pavement as base, subbase or general fill materials Final Report, Florida Department of Transportation
- [48] **Ed Kearney P. E.,** A carrier in recycling, NYSDOT, Asphalt Enstitüsü, Gorman Bros. Inc., Wirtgen America Inc. ve Consultant Sunum: ARRA 32. Yıllık Toplantısı, 22.02.2008.
- [49] **Federal Highway Administration,** Internatioanl technology scanning program, Warm mix asphalt: european practice, US Department of Transportation, Şubat 2008
- [50] **The Asphalt Education Partnership,** 2009. National Asphalt Pavement Association (NAPA) ve The State Asphalt Pavement Association (SAPA) bildirisi
- [51] **Url-18** <http://www.ftwa.dot.gov/pavement/recycling/98042/chpt_04.pdf> alındığı tarih 23.03.2011
- [52] **KGM,** Üstyapı Şube Müdürlüğü
- [53] **Sönmez, İ.,** 2007. İsfalt Asfalt Geri Dönüşüm Bildirisi,
- [54] **Bagela Asphalt Recycler Brochure,** Nisan 2011
- [55] **Kök B.V., Kuloğlu N., Yılmaz M.,** ‘Karayolu Esnek Üstyapı Malzemelerinin Geri Dönüşümünde Köpük Asfalt Yönteminin Kullanılması’ Elazığ Üniversitesi, Mayıs 2011
- [56] **Woodside, A.,** "Aggregate and Fillers". Asphalt Surfacing edited by Cliff Nicholls
- [57] **Akbulut, H., Gürer C., İçağa Y.,** 2003. ‘Atık Agregaların Yol Kaplamalarında Kullanımı Bildirisi’, Afyon Kocatepe Üniv.
- [58] **Şayakçı Mermer A.Ş.,** 2005. Katalog
- [59] **Aruntaş. H., Y.,** 2006. ‘Uçucu küllerin inşaat sektöründe kullanım potansiyeli’, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Ankara, Cilt 21. No 1, 193-203.
- [60] **SEAS Genel Müdürlüğü,** 2005. Soma B Termik Santrali Verileri
- [61] **İşıldak. Ö.,** 1993. ‘Fosfojips içeren portland çimentosunun hidrasyonu üzerine bazı priz hızlandırıcı kimyasal katkıların etkileri’, Ondokuz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Samsun,
- [62] **Türkiye Şişe ve Cam Fabrikaları A. Ş.,** 2005. Araştırma Merkezi Cam Teknoloji Grubu Raporu,
- [63] **Ertekin, S. B.,** 2003. Polyefin katkıların asfaltın kıvamı ve yumuşama noktasına etkileri. *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 19-52
- [64] **Ilıcak, M., Tayfur, S., Özen, H., Sönmez, İ.,** 2001. "Asfalt ve Uygulamaları", *İstanbul Asfalt Fabrikaları Sanayi ve Ticaret A.Ş.*, İstanbul, 37-46, 91-97
- [65] **Tunç, A.,** 2004. "Esnek Kaplama Malzemeleri Elkitabı", *Asil Yayın Dağıtım Ltd. Şti.*, Ankara, 54, 98, 104-105, 125-127, 163-168, 206-215

- [66] Gonzales, Ö., Munoz, M E., Şamamana, A., 2004. Rheology and stability of bitumen/EVA blends, 2365-2372
- [67] Tekeli, M., Çubuk, S., Çubuk, M. K., 2005. "Recycling of serap vehicle tyre as elastic surface material, *The First Jordanian luterational Conference of Materials Science Engineering*, Jordan, 39-44
- [68] Url-19 <<http://www.wirtgenankara.com.tr/tr/products/wirtgen/cold-milling-machines/index.php>>, alındığı tarih 11.05.2011
- [69] Url-20 <<http://www.bagelausa.com/>>, alındığı tarih 11.05.2011

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Barış KAYA

Doğum Yeri ve Tarihi: Tarsus / 1986

Adres: T.C Ulaştırma Bakanlığı, Çankaya/ANKARA

Lisans Üniversite: Karadeniz Teknik Üniversitesi