İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİTÜMLÜ KARIŞIMLARIN GERİ DÖNÜŞÜM YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. İnanç SALTA

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği

Programı : Ulaştırma Mühendisliği

Ocak 2010

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİTÜMLÜ KARIŞIMLARIN GERİ DÖNÜŞÜM YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnanç SALTA
(501981125)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 24 Aralık 2009
Tezin Savunulduğu Tarih : 28 Ocak 2010

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Murat ERGÜN (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Yrd. Doç. Dr. Şükriye İYİNAM (İTÜ)
Öğr.Gör.Dr. Mustafa GÜRSOY (YTÜ)

Ocak 2010

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında, bana verdiği sonsuz destek ve yardımlardan dolayı tez danışmanım, hocam Sayın Doç.Dr. Murat ERGÜN'e, kaynak sağlanması ve tezin yetiştirilmesindeki katkılarından dolayı Karayolları 17. Bölge Araştırma Başmühendisliği'nden Sayın Zekiye ÇAĞLIAYDIN'a, çalışmam süresince desteklerini her zaman hissettiğim annem Şevkiye SALTA, ablam Zehra Handan SALTA ve her zaman yanımda olduğunu bildiğim sevgili babam Eyüp SALTA'ya sonsuz teşekkürlerimi borç bilirim.

Ocak 2010

İnanç SALTA

İnşaat Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **iii**
İÇİNDEKİLER ..... **v**
KISALTMALAR ..... **vii**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **ix**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xi**
ÖZET ..... **xv**
SUMMARY ..... **xvii**
1. GİRİŞ **1**
1.1 Çalışmanın Amacı 2
2. BİTÜMLÜ KARIŞIMLAR **5**
2.1 Bitümlü karışımların tarihçesi 5
2.2 Asfalt Betonu 6
2.3 Sathi Kaplamalar 8
2.4 Harç Tipi Kaplama 10
2.5 Yol Kaplamalarında Oluşan Bozulmalar ve Bozulma Türleri 11
2.5.1 Oturma, Çökme, Ondülasyon ve Kabarmalar 15
2.5.2 Çatlaklar 16
2.5.3 Ayrılma/Ayrışma ve Parçalanmalar 19
2.5.4 Kayma Direnci Kaybı ve Kusmalar 20
3. BİTÜMLÜ KARIŞIMLARIN GERİ DÖNÜŞÜM YÖNTEMLERİNİN SINIFLANDIRILMASI **21**
3.1 Sınıflandırma ve Tanımlar 21
3.2 Geri Dönüşüm Türleri 23
3.2.1 Soğuk Düzeltme 23
3.2.2 Sıcak Geri Dönüşüm 26
3.2.2.1 Ağırlıklı Tip Asfalt Plentlerinde Geri Dönüşüm 30
3.2.2.2 Sürekli Tip Asfalt Plentlerinde Geri Dönüşüm 33
3.2.3 Sıcak Yerinde Geri Dönüşüm 33
3.2.4 Soğuk Geri Dönüşüm 43
3.2.4.1 Yerinde Soğuk Karışımlar ve Uygulamaları 45
3.2.4.2 Plentte Soğuk Karışımlar ve Uygulamaları 51
3.2.5 Tam Derinlikli Geri Dönüşüm 56
4. DÜNYADA VE TÜRKİYEDE GERİ DÖNÜŞÜM UYGULAMALARI VE AVANTAJLARI 65
4.1 Dünyada Geri Dönüşüm Uygulumaları 66
4.2 Türkiyede Geri Dönüşüm Uygulamaları 86
4.3 Geri Dönüşüm Uygulamaları sonucunda elde edilecek çevresel avantajlar 108
4.4 Geri Dönüşüm Uygulamaları sonucunda elde edilecek teknolojik avantajlar 113
4.5 Geri Dönüşüm Uygulamaları sonucunda elde edilecek ekonomik avantajlar 116
5. SONUÇ VE ÖNERİLER **123**
KAYNAKLAR **127**
ÖZGEÇMİŞ **131**

KISALTMALAR

CP	**:** Cold Planing/ Soğuk Düzeltme
CIR	**:** Cold In Place Recycling/ Soğuk Yerinde Geri Dönüşüm
CCPR	**:** Cold Central Plant Recycling/ Soğuk Plentte Geri Dönüşüm
HIR	**:** Hot In Place Recycling/ Sıcak Yerinde Geri Dönüşüm
CR	**:** Cold Recycling/ Soğuk Geri Dönüşüm
CIREAM	**:** Cold In Place Recycling Extended Asphalt Material/ Köpük Bitümlü Soğuk Yerinde Karışım
HIPAR	**:** Hot-In-Place Asphalt /Yerinde Sıcak Asfalt
PCI	**:** Pavement Condition Index / Kaplama Durum İndeksi
FDR	**:** Full Depth Recycling / Tam Derinlikli Geri Dönüşüm
RAP	**:** Reclaimed Asphalt Pavement / Geri Dönüştürülmüş Asfalt Kaplama
HMA	**:** Hot Mix Asphalt / Sıcak Karışım Asfalt
CMA	**:** Cold Mix Asphalt / Soğuk Karışım Asfalt
ARRA	**:** Asphalt Recycling and Reclaiming Association/ Asfalt Geri Dönüşüm ve İyileştirme Birliği
TCK	**:** Türkiye Cumhuriyeti Karayolları
KGM	**:** Karayolları Genel Müdürlüğü
İSFALT	**:** İstanbul Asfalt Fabrikaları San. ve Tic. A.Ş.

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 Amerika'da gerçekleştirilen geri dönüşüm uygulamalarının dağılımı.....2
Çizelge 4.1 Amerika Birleşik Devletlerinde uygulanmış bazı projeler ve Geri Dönüştürülmüş Asfalt Kaplama (RAP) kullanım oranları.....68
Çizelge 4.2 Bitümlü bağlayıcılarla geri kazanım işlemi – 3 ayrı sınıf için.....78
Çizelge 4.3 Geri kazanılmış malzeme ile oluşturulan deneme kesimlerinin temel özellikleri.....79
Çizelge 4.4 DURIEZ deney sonuçları.....81
Çizelge 4.5 Ekstraksiyon sonrası elek analizleri.....88
Çizelge 4.6 Ekstraksiyon sonrası bitüm oranı.... 88
Çizelge 4.7 Bitüm deney sonuçları.....88
Çizelge 4.8 Tasarım Değerleri.....89
Çizelge 4.9 Sathi Kaplama Karotlarının Deney Sonuçları.....95
Çizelge 4.10 Enerji kullanımlarının geri dönüşüm türüne göre değişimi.....108
Çizelge 4.11 1995 – 2006 yılları arasında, Kanada'nın bir eyaletinde yapılan yol iyileştirme işlemlerinin türlere göre miktarları.....109
Çizelge 4.12 Ülkelere göre belirtilmiş emisyon azalma yüzdeleri.....112
Çizelge 4.13 Kaplama Durum İndeksi.....114
Çizelge 4.14 Mevcut asfalt kaplamalarda bulunan agregaların geri dönüşüm uygulamalarında kullanılabilirliği.....115
Çizelge 4.15 Yeni karışım ile geri dönüştürülmüş kaplama kullanımının maliyet karşılaştırması.....116
Çizelge 4.16 Geri dönüştürülmüş kaplama (RAP) kullanılması durumunda elde edilecek kazanç.....116
Çizelge 4.17 Amerika Karayolları İdaresi FHWA 1984 ölçümlerine göre, sıcak geri dönüşüm yöntemiyle elde edilen maddi kazançların özeti.....117
Çizelge 4.18 Geri dönüşüm yoluyla elde edilen maddi kazançlar.....117
Çizelge 4.19 2020 yılı için ülkeler bazında öngörülen karayolları miktarları.....119
Çizelge 5.1 Geri Dönüşüm Yöntemlerinin Karşılaştırılması.....124

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 Yol üstyapısını oluşturan tabakalar ve tabakaların çeşitleri[9].....12
Şekil 2.2 Tipik esnek üstyapı enkesiti[10]…….13
Şekil 3.1 Geri dönüşüm yöntemlerinin sınıflandırılması……22
Şekil 3.2.a Soğuk düzeltme işleminden geçmiş yol yüzeyi örnekleri.....23
Şekil 3.2 Soğuk düzeltme işleminden geçmiş yol yüzeyi örnekleri.....24
Şekil 3.3 Soğuk Düzeltme (Cold Planing) Uygulamaları.....25
Şekil 3.4 Geri dönüşüm haznesi (SIM)…….. 30
Şekil 3.5.a Yerinde Sıcak Geri Dönüşüm Uygulamalarından Örnekler…….....…36
Şekil 3.5 Yerinde Sıcak Geri Dönüşüm Uygulamalarından Örnekler……38
Şekil 3.6 Yerinde Sıcak Geri Dönüşümde İlk Nesil Ekipmanlar …….....39
Şekil 3.7 Yerinde Sıcak Geri Dönüşümde İkinci Nesil Ekipmanlar Vancouver 1988…….....40
Şekil 3.8 Yerinde Sıcak Geri Dönüşümde Üçüncü Nesil Ekipmanlar North Carolina 2001.....……...40
Şekil 3.9 Yerinde Sıcak Geri Dönüşümde asfalt kaplamanın ısıtılma işleminin şematik gösterimi.....41
Şekil 3.10 Yerinde Sıcak Geri Dönüşümde asfalt kaplamanın ısıtılma işlemi.....42
Şekil 3.11 Yerinde Sıcak Geri Dönüşüm uygulaması.....42
Şekil 3.12 Yerinde Soğuk Geri Dönüşüm uygulaması.....44
Şekil 3.13 Plentte Soğuk Geri Dönüşüm uygulaması.....45
Şekil 3.14 Greyderle karıştırma.....48
Şekil 3.15 Döner karıştırma.....49
Şekil 3.16 Mobil plentle soğuk yerinde geri dönüşüm uygulaması.....50
Şekil 3.17 Soğuk yerinde geri dönüşüm uygulamasında silindiraj.....51
Şekil 3.18 Plentte soğuk karışım geri dönüşümü uygulaması.....53
Şekil 3.19 Mobil Soğuk Plentten Fotoğraflar [21].....55
Şekil 3.20 Tam Derinlikli Geri Dönüşümde ufalama ve rutubetlendirme…….56
Şekil 3.21 Tam Derinlikli Geri Dönüşümde kırma sıkıştırma ve şekillendirme ……..57
Şekil 3.22 Yerinde Soğuk Geri Dönüşüm Türleri [23]…….58
Şekil 3.23 Tam Derinlikli Geri Dönüşümde rutubetlendirme ve silindiraj …….....59
Şekil 3.24 Tam Derinlikli Geri Dönüşümde izolasyon ve son tabaka uygulaması…...60
Şekil 3.25 Kireç katkı kullanarak yapılan Tam Derinlikli Geri Dönüşüm (FDR) Uygulaması – Dominik Cumhuriyeti 61
Şekil 3.26 Çimento katkı kullanarak yapılan Tam Derinlikli Geri Dönüşüm (FDR) Uygulaması – Natchez Trace Park Yolu Mississippi – USA.....62
Şekil 3.27 Bitüm Emülsiyon ve granüler malzeme katkısı kullanarak yapılan Tam Derinlikli Geri Dönüşüm (FDR) Uygulaması – Ukrayna.....62
Şekil 3.28 Kireç ve köpük bitüm katkısı kullanarak yapılan Tam Derinlikli Geri Dönüşüm (FDR) Uygulaması – Kanada.....63
Şekil 3.29 Son kat asfalt kaplama tabakası yapılmayan köpük bitüm katkılı soğuk yerinde geri dönüşüm uygulamasının tamamlanmış hali.....63
Şekil 3.30 Bitümün köpük hale getirilmesi .....…….64

Şekil 4.1 Asfalt kazıma makinesi kullanımı….....68
Şekil 4.2 ROM firmasının Moskova'daki havaalanı uygulamalarından bir örnek.....69
Şekil 4.3 Kazıma hızının gradasyona etkisi 73
Şekil 4.4 Dinamik Rijitlik Modülü RAP ve bağlayıcı tipinin etkileri (15^oC – 10 Hz) Köpük karışımlar 74
Şekil 4.5 Dinamik Rijitlik Modülü (15^oC – 10 Hz) Köpük karışımlar RAP1-70/100 N Çimento içeriğinin etkisi 75
Şekil 4.6 70/100 Naphthenic Bitüm, 35^oC-%20 RH'deki Rijitlik Değişimi.....76
Şekil 4.7 Geri Dönüşümlü Asfalt kaplama malzemelerinin gradasyonu.....79
Şekil 4.8 Boşluk oranı rijitlik modülü ilişkisi- 7 günlük.....82
Şekil 4.9 Boşluk oranı rijitlik modülü ilişkisi.-21 günlük kür 83
Şekil 4.10 Araziden alınan karotların rijitliğinin laboratuvarda kür edilmiş Sınıf III malzemelerle karşılaştırması.....84
Şekil 4.11 Araziden alınan karotların rijitliğinin laboratuarda kür edilmiş Sınıf III malzemeleriyle karşılaştırılması.....85
Şekil 4.12 TCK 17. Bölge Müdürlüğünce Yapılan Uygulamada . AsfaltKaplamaların Kazınması.....90
Şekil 4.13 Karayolları 17. Bölge Müdürlüğünce Uygulama Yapılan Plentten Görüntüler 91
Şekil 4.14 TCK 17. Bölge Müdürlüğünce Yapılan Uygulamadan Görüntüler 92
Şekil 4.15 Yoldan sökülen asfalt blokların geri dönüştürülmesi.....97
Şekil 4.16 Geri dönüştürülen asfalt blokların yama ve tamir işlerinde kullanımı.....98
Şekil 4.17 Yoldan kazılan malzemenin Düzce'deki kırıcıda kırılması.....99
Şekil 4.18 Geri kazanılan asfalt kaplamanın Ümraniye Fabrikası'nda depolanması..100
Şekil 4.19 İsfalt Ümraniye bitümlü sıcak karışım üretim tesislerinden görüntüler.....101
Şekil 4.20 Geri kazanılan asfalt kaplamanın el işçiliğiyle serilmesi.....102
Şekil 4.21 Geri kazanılan asfalt kaplamanın seriminden bir gün sonra karot alımı....102
Şekil 4.22 İstanbul şehir içinde asfalt serici ile (finişerle) serim işlemi.....103
Şekil 4.23 Farklı yöntemlere göre kullanılan CO_2 miktarı (Kanada'da yapılan uygulamada yaklaşık 2 kilometrelik 2 şeritli yol için).....110
Şekil 4.24 Farklı yöntemlere göre kullanılan NO_X miktarı (Kanada'da yapılan uygulamada yaklaşık 2 kilometrelik 2 şeritli yol için).....110
Şekil 4.25 Farklı yöntemlere göre kullanılan sülfür miktarı (Kanada'da yapılan uygulamada yaklaşık 2 kilometrelik 2 şeritli yol için).....111
Şekil 4.26 Kaplama durumunun zamanla değişimi 113
Şekil 4.27 Tam Derinlikli Geri Dönüşüm (FDR) ile Soğuk Yerinde Geri Dönüşüm (CIR) yöntemlerinin kaplama dayanımlarının zamanla değişimi.....114

BİTÜMLÜ KARIŞIMLARIN GERİ DÖNÜŞÜM YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Dünya genelinde gün geçtikçe önem kazanan enerji kullanımının belirli seviyelerde tutulması, sürdürülebilirlik ve çevresel bozulmaları en alt seviyede tutma isteğinin yanında, motorlu taşıt sayısındaki hızlı artış, son yıllarda karayollarında yapım, bakım, onarım ve kullanım alanında yeni yaklaşımlara doğru gidilmesine neden olmuştur. Bu yeni yaklaşımlardan birisi, hizmet ömrünü tamamlamış yol kaplamalarının geri dönüştürülerek yeniden kullanımda değerlendirilmesidir.

Bu çalışmada, geleneksel bakım-onarım yöntemlerinin yerine bozulmuş yol kaplamalarının geri dönüşüm yöntemleriyle yenilenmesi konusu incelenmiştir. Dünya'da ve Türkiye'de uygulanan geri dönüşüm yöntemleri incelenmiş ve uygulamalardan örnekler verilmiştir. Geri dönüşüm yöntemlerinin teknolojık, çevresel ve ekonomik bakımdan avantajları ve dezavantajları incelenmiştir.

Genel olarak beş bölüme ayrılan bitümlü karışımların geri dönüşüm yöntemleri ; Soğuk Düzeltme, Sıcak Geri Dönüşüm, Sıcak Yerinde Geri Dönüşüm, Soğuk Geri Dönüşüm ve Tam Derinlikli Geri Dönüşüm olarak adlandırılmaktadır. İlk geri dönüşüm uygulaması 1977 yılında yapılmış ve 30 yılı aşkın süre içinde farklı tipte geri dönüşüm yöntemleri oluşmuş, her yöntem zaman içinde teknolojik ve bilimsel gelişmelere paralel olarak yenilenmiştir.

Bitümlü karışımların geri dönüşüm yöntemleri soğuk ve sıcak uygulamalar ya da yerinde ve plentte uygulamalar olmak üzere iki farklı tipte sınıflandırılabilir.

Soğuk geri dönüşüm yöntemlerinde ısıtma işlemi yapılmamakta, sıcak geri dönüşüm yöntemlerinde ise geri dönüştürülmek istenen mevcut bozulmuş kaplama tabakası ısıtılarak uygulamada kullanılmaktadır.

Yerinde geri dönüşüm yöntemlerinde tüm işlemler, kaldırılmak istenen asfalt kaplama tabakasının olduğu yerde yapılmakta iken plentte geri dönüşüm yöntemlerinde bozulmuş kaplama tabakası yerinden kaldırılarak plente taşınmakta ve plentte işlemden geçirilerek geri dönüştürülmektedir.

Doğal kaynakların tüketimini azaltması, daha az enerji üretilerek yapılabilmesi ve çevresel olumsuz etkilerinin belirgin biçimde azalması dolayısıyla bitümlü karışımların geri dönüşümü konusu dünya genelinde yoğun ilgiyle karşılanmaktadır. Kyoto protokolü ve Avrupa Komisyonu'nun atık malzemelerin yeniden kullanımı ile ilgili aldığı bağlayıcı kararlar bitümlü karışımların geri dönüşümü konusunu zaman ilerledikçe tercih edilen bir seçenek olmaktan çok zorunlu bir üretim şekline dönüştürmesi beklenmektedir.

Türkiye'de ilk bitümlü karışımların geri dönüşüm uygulaması 2007 yılında Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından yapılmıştır. Türkiye'de şimdiye kadar yapılan uygulamalar plentte yapılan sıcak geri dönüşüm uygulamalarıdır. Birçok konuda avantajları olan bitümlü karışımların geri dönüşümü konusunda yerel yönetimlerinde üzerine düşen sorumluluğu almasıyla birlikte ülkemizin bu konuda kısa zamanda hızlı ve olumlu ilerleme göstermesi beklenmektedir.

A RESEARCH ON RECYCLING METHODS IN BITUMINIOUS PAVEMENT

SUMMARY

Parallel to the attitude towards keeping the energy consumption at reasonable levels, sustainability issues and the effort to keep the environmental distortion at the minimum level, considering the increase in the number of motor vehicles, new approaches related to construction, maintenance and usage of highways have started to be accepted. One of those new approaches is reusing of bituminous pavements by employing various recycling methods.

In this study, methods of recycling the deteriorated pavements instead of conventional maintenance methods have been researched. Recycling methods both in Turkey and around the world have been analyzed and given reference applications. Technological, environmental and economic advantages and disadvantages of these recycling methods have been analyzed.

Recycling methods in bituminous pavements can be seperated into five categories ; Cold Planing, Hot Recycling, Hot in Place Recycling, Cold in Place Recycling and Full Depth Reclamation. The very first recycling application has been done on 1977 and since then various types of recycling methods have been developed, all methods have been updated parallel to the technological and scientific improvements.

Recycling methods in bituminous pavements could be classified in two ways; through the process method cold and hot applications, through the location in place and in plant applications.

In cold recycling methods, heating proceess is not applicable. On the other hand, in hot recycling methods detoriated pavements are heated and used in the process of new pavement material mix.

In place applications all process is done on site, whereas in plant applications, primarily deteriorated pavement is removed from the site to the plant and then used in new pavement material mix.

The subject of recycling bituminuous pavement attracts attention all over the world because it reduces the consumption of the natural resources, lessens the amount of energy used in the process and on the whole, decreases the negative environmental effects to a certain extent. Due to Kyoto Protocol and binding claims made by European Comission, making use of recycling bituminous pavement is expected to become a compulsory method instead of being only a preference.

The first of recycling bituminous pavement application in Turkey was in 2007 by the Turkish General Directorate of Highways. All applicaitons carried out in Turkey since then are hot recycling methos in plent. Recycling bituminuos pavement, that has advantages in many ways, is expected to develop fast and positively along with the local authorities' substantial decisions and fullfillling their responsibilities.

1. GİRİŞ

Günümüzde maddi kaynak, enerji ve güç tasarrufu için mevcut kaynakların yeniden kullanılarak üretim yapılması, küresel enerji sarfiyatının azaltılması için üzerinde çokça düşünülen konulardan biridir ve buna bağlı olarak geri dönüşüm, üzerine git gide daha çok eğilinen bir alan olmuştur.

Kullanım ömrünü herhangi bir alanda tamamlayıp kullanım dışı kalan, geri dönüştürülme işlemine elverişli atık malzemelerin, çeşitli yöntemlerle imalat süreçlerine hammadde olarak yeniden dâhil edilmesi işlemine geri dönüşüm ya da yeniden kazanım adı verilmektedir.

Doğal kaynakların sonsuz olmadığı ve zamanla tükeneceği düşüncesinden hareketle, kaynak israfını önlemek ve enerji krizine yol açmamak adına, ekonomik değeri olan malzemelerin geri dönüşümü için çeşitli yöntemler geliştirilerek, ekonomik kazanç ve enerji tasarrufu sağlamak hedeflenmektedir. Demir, çelik, bakır, kurşun, kâğıt, plastik, kauçuk, cam, elektronik atıklar ve tezin konusu olan bitümlü karışımlar gibi maddelerin geri kazanılması ve tekrar kullanılması bu kazançları sağladığından, bu malzemelerin geri dönüşümü için birçok yöntem geliştirilmiştir.

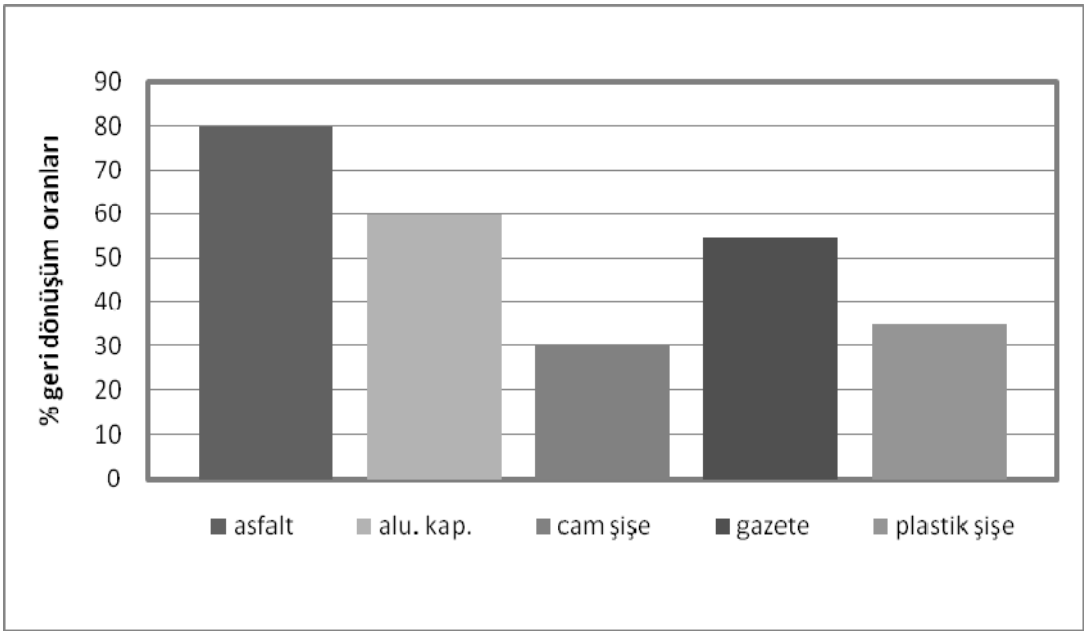
Son zamanlarda karayollarının bakım ve onarımında yaygın şekilde kullanılmaya başlanan geri dönüşüm yönteminin esası, genel olarak ilk amacına hizmet ederek kullanım ömrünü tamamlamış olan yol üstyapısında kullanılmış kaplama malzemesinin, bazı işlemlerden sonra yeniden değerlendirilmesidir.

Karayolu yapımında karşılaşılan; kaliteli agrega azlığı, taşıma maliyetlerindeki fazlalık, kalifiye insan gücü yetersizliği, yapım-bakım-onarım maliyetlerinin çokluğu gibi toplam bütçeyi direkt olarak etkileyen sorunlar; agrega, bağlayıcı, ekipman, insan gücü ve enerji kullanımının optimize edilmesiyle çözülebilir.

Geri kazanım yöntemlerine olan ilginin dünya çapında oluşu ve yeni yöntemlerin gündeme getirilip mevcut uygulamalara sürekli yeni bakış açıları getirilmesi; bu yöntemlerle agrega, bağlayıcı bitüm malzemesi ve enerji tasarrufu sağlanmasının yanında, işleyen karayolu geometrisi, dolayısıyla drenaj sistemlerinin de bu sayede korunabiliyor olmasından kaynaklanmaktadır.

Hammaddeye en çok ihtiyaç duyan sektörlerden biri olan inşaat sektöründe, imalat sürecindeki girdileri azaltıp hammadde ve enerji tüketimini minimuma indirerek emisyonları azaltmaya yönelik bir eğilim mevcuttur. Karayolları geri dönüşüm için elverişli ve oldukça yüksek ekonomik artılar sağlayan bir sektördür ve dünyada karayolları alanında geri dönüşüm yönündeki çalışmalar uzun yıllardan beri devam etmektedir. Örneğin Amerika'daki asfalt geri dönüşüm oranının, %80 ile diğer malzemelere göre de oldukça yüksek değerde olduğu görülmektedir (Çizelge 1.1).

Çizelge 1.1 Amerika'da gerçekleştirilen geri dönüşüm uygulamalarının dağılımı



Ülkemizde de son yıllarda yol kaplamalarında geri dönüşümün önemi anlaşılmaya ve bu konuda çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Bu anlamda geri dönüşümlü asfalt konusunda Türkiye'deki uygulamaların ilk örneği 2007 yılında Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından yapılmış ve olumlu sonuçlar alınmıştır. Kapasite olarak daha fazla asfalt yol yapımı gerçekleştiren yerel yönetimler de geri dönüşüm konusunun maddi ve çevresel boyutta önemini kavramaya başlamış ve başta İstanbul Büyükşehir

Belediyesi olmak üzere konuyla ilgili araştırma geliştirme ve uygulama çalışmalarına başlamışlardır. İstanbul Büyükşehir Belediyesi kuruluşlarından İsfalt'ın Ümraniye'de kurmuş olduğu bir merkezi plent ve yine İsfalt'ın yerinde geri dönüşüm uygulaması yapan mobil sistemi vardır.

Dünyada olduğu gibi ülkemizde de yol kaplamaları giderlerinin azaltılması ve enerji tasarrufunun sağlanabilmesi için detaylı çalışmalar yapılmakta laboratuvar araştırmaları saha çalışmalarıyla paralel yürütülerek maliyet hesapları yapılmakta ve bu konuda yeni adımlar atılmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, yol kaplamalarında kullanılan bitümlü karışımların incelenmesi, bozulmuş bitümlü yol kaplamaları için kullanılan geri dönüşüm yöntemlerinin araştırılması ve sınıflandırılmasıdır. Bu amaca yönelik olarak ilk bölümde genel bir giriş yapıldıktan sonra çalışmanın ikinci bölümünde bitümlü karışımların tarihçesine yer verilmiştir. Üçüncü bölümde ise, bitümlü karışımlarda geri dönüşüm yöntemleri ve özellikleri açıklanmıştır. Dördüncü bölümde dünyada ve Türkiye'de uygulanan geri dönüşüm yöntemleri incelenmiş, uygulamalardan örnekler verilmiş ve geri dönüşümün çevresel, ekonomik ve teknolojik avantajları anlatılmıştır. Çalışmanın sonucunda, geri dönüşüm uygulamalarının olumlu ve olumsuz tarafları değerlendirilerek, ülkemizin bu uygulamaların neresinde olduğu irdelenmiştir.

2. 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, yarı katı veya viskoz bağlayıcılara verilen genel isim olan bitümün en geniş kullanım alanı yollardır [1]. 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 dayanımlı 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 [2].

2.1 Bitümlü Karışımların Tarihçesi

Bitüm, ilk kez milattan önce 3000 yıllarında Sümerler tarafından değerli taş ve kabuklardan yapılan heykellerde bağlayıcı malzeme olarak kullanılmıştır. Bu dönemlerde bitüm genellikle bağlayıcı ve mumyalarda koruyucu malzeme olarak kullanılmıştır. Ancak milattan önce 625 tarihlerinde yol malzemesi olarak kullanıldığı görülmektedir. Babil'de Naboppolassar sarayından şehrin kuzey duvarına giden yol, Naboppolassar'ın kendi emriyle bitüm ve yanmış tuğla karışımıyla kaplanmıştır.

Bitüm Antik Yunan'da da bilinen bir malzemedir. Kelime kökeni olarak asfalt, "asphaltos" kelimesinden gelmektedir. Bu da Yunancada "güvenli" anlamına gelmektedir. Banyo, rezervuar ve su kanallarını kaplamakta asfaltı kullanan Romalılar bu kelimeyi zamanla "asphaltus" a çevirmiştir.

Asırlar sonra Avrupalılar, yeni dünyayı araştırırken doğada asfalt kaynakları bulmuşlardır. 1595 yılında, Venezüella açıklarındaki Trinidad adasında bir asfalt gölü bulan Walter Raleigh, bu malzemeyi gemilerinin tamiratında kullanmıştır. Peru'daki İnkalar'ın yol sistemlerinde de M.S. 1500 yıllarında, modern bitümlü makadam kaplama benzeri bir karışım kullandıkları görülmektedir.

Amerika ve Avrupa'da ise 19. yüzyıla değin asfaltın kaplama malzemesi olarak kullanıldığına rastlanmamaktadır. İlk olarak Paris'in Champs-Élysées bulvarında, 1824 yılında yol malzemesi olarak asfalt bloklar kullanılmıştır. Columbia Üniversitesi'nde (New York) Belçikalı kimyager Edward Smedt tarafından geliştirilen modern yol asfaltı, 1872 yılında yine Smedt sayesinde modern iyi derecelendirilmiş, maksimum yoğunluklu bitüm halini almıştır. New York'un 5. Cadde'sinde yine aynı yıl ilk kez bitümlü karışım kullanılmıştır. Yol yapımında kullanılan tüm bitüm malzemeleri 20 .yüzyıla kadar doğal malzemelerden elde edilmekteydi. Doğal asfaltın içine sadece onu yumuşatmak için rafine edilmiş petrol asfaltı katılmaktaydı. Rafine edilmiş petrol asfaltı (bitüm), doğal asfaltın yerini 1907 yılından sonra almıştır. Otomobillerin bu dönemde daha popüler olmasıyla daha çok ve daha iyi yol ihtiyacı da armış ve bu sayede günümüzün modern yol yapım ve kaplama tekniklerine kadar gelinmiştir [3].

2.2 Asfalt Betonu

Sürekli gradasyona sahip asfalt betonu karışımları, yüksek oranda ve sert bir bitüm içeriğiyle iri ve ince agrega ve filler içerirler. İlk olarak Amerika Birleşik Devletleri'nde uçakların yüksek dingil yükleri gibi ağır yükleri taşıyacak güçlü ve sert kaplama ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla geliştirilen asfalt betonu, İngiltere'de havaalanı üstyapılarında kullanılmakta ve Marshall asfaltı olarak adlandırılmaktadır. Altında çok rijit ve dayanıklı bir tabaka gerektirdiğinden ve yeterli miktarda yüzey pürüzlülüğü sağlayamadığından dolayı, normal şartlar dâhilinde İngiltere'de yollar üzerinde kullanılmamaktadır. Asfalt betonu altındaki tabakalar yeterli rijitliği

sağlamadığında, ağır dingil yüklerinden kaynaklanan aşırı eğilmeler sonucunda yorulma çatlakları meydana gelebilmektedir.

Asfalt çimentosu ve agrega karışımından oluşan bitümlü sıcak karışımlar; bitüm ve agrega olmak üzere iki ana bileşenden oluşan ve agreganın katı fazı, bitümün sıvı fazı ve boşlukların gaz fazını oluşturduğu üç fazlı bir sistemdir [4].

Ülkemizde de kullanımı gün geçtikçe yaygınlaşan bitümlü sıcak karışımlar, trafik yüklerini taşımak ve üstyapıdaki diğer tabakaları, doğa koşullarının olumsuz etkilerinden korumak amacıyla, orta ve ağır trafikli yollarda kullanılırlar. Sıcak agrega karışımının ısıtılmış asfalt çimentosu ile homojen olarak karıştırılıp kaplanması ile, bitümlü sıcak karışım elde edilir [5].

Bitümlü bağlayıcı ve bu bağlayıcı ile üniform şekilde karıştırılmış ve sarılmış agrega bileşiminden oluşan bitümlü sıcak karışım üretiminde; uygun bir karışım ve işlenebilirlik elde etmek için agregaların kurutulması ve bitümlü bağlayıcının yeterli akışkanlığı sağlaması amacıyla, karıştırma işleminden önce hem agrega hem de bağlayıcı ısıtıldığından, bitümlü sıcak karışımlar, sıcak sıfatını almıştır [6].

21. yüzyılın getirileri ve artan araç sayısı ile günümüzde; etkili, hızlı ve güvenli ulaşım ihtiyacı doğmuştur. Bu ihtiyacın karşılanabilmesi için, yol kaplamalarının fiziksel olarak sürekli iyi durumda kalabilmeleri ve uzun süre dayanıklı olmaları gerekmektedir.

Kaplama performansı göz ününe alındığında, sathi, stabilize vb. kaplamalara oranla, bitümlü sıcak kaplamalar daha güçlüdür. Yapım aşamasında yüksek dikkat ve maliyetler gerektiren sıcak karışımlar, sağladıkları yüksek performans ve konfor nedeniyle son yıllarda genellikle tercih edilen kaplama şekli olmaktadır.

Artarak çoğalan yol ihtiyacı ve trafik sonucunda, karşılanması gereken fiziksel ve kimyasal yol özellikleri de artmıştır. Otomatik ve yüksek kapasiteli asfalt plentlerinin oluşturulmasının sebebi, bu ihtiyaçlar nedeniyle gerekli olan, pahalı bitümlü sıcak karışımları üretmektir.

Mukavemet ve stabilitesini yüksek oranda agregaların kenetlenmesinden, bir miktarını da ince agrega-filler-bitüm harcından sağlayan asfalt betonunun bileşimi, Amerika Birleşik Devletleri Marshall Karışım Tasarım Yöntemi tarafından belirlenmektedir. Bu yöntemle, maksimum stabilite ve yoğunluk için optimum bitüm

içeriğine ulaşmak hedeflenmektedir. Agrega ve bitümün ekonomik karışımını sağlayan bu yöntem, hizmet aşamasında dingil yükleri altında yüksek stabilite getirmekte, aynı zamanda da %3 ila %5'lik tipik boşluk oranı ile serme ve sıkıştırma işlemi için gerekli işlenebilirliği mümkün kılmaktadır [7].

2.3 Sathi Kaplamalar

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].

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 maksadıyla 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 [8].

Sathi kaplamalar, yol yüzeyine ince bir bağlayıcı tabakasının püskürtülmesi ve bunun üzerine bir tabaka mıcır serilmesinden ibarettir. Daha sonra silindirle sıkıştırılarak, mıcırın bağlayıcı ile teması sağlanır ve bu malzemelerin birbirlerine kenetlenmesi ile iskelet yapısı oluşturulur.

Sathi kaplamaların yapılma amacı Marshall Raporu'nda "üstyapıya su girmesini önlemek için sızdırmazlık sağlamak, mıcır kaybı vb. sebebiyle oluşan bozulmanın başlaması sırasında yüzeyi korumak, yüzey bozulmalarını geciktirmek veya cilalanma ve benzeri 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 sularının 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 kullanılırken 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 yapışma (adhezyon) sağlar.

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

Sathi kaplamalar, deforme olmuş yol yüzeylerinin düzgünlüğünü geri kazandırmadığı gibi yol üstyapısına önemli miktarda yapısal mukavemet de sağlamazlar [7].

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 sarfiyatı ile yapılabilir.
- Boşluk yüzdesinin çokluğu, fazla miktarda kullanılan bitümün yoğunluğunu aldığı gibi, sürtünme katsayısını da arttırır.
- 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, tam bir geçirimsizlik sağlanmaktadır [8].

2.4 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.

BS 434 ile DTp şartnamelerine, karayollarında kullanılmak üzere iki tür harç tipi kaplama dâhil edilmiştir. Bunlardan ilki 1.5 mm ortalama kalınlığında diğeri ise 3.0 mm ortalama kalınlıkta serilmektedir.

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. 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 kullandığı hava alanı pistleri, otoparklar, vb. hafif trafik koşulları altındaki yollarda uygulanmaktadır.

Agrega (parçalanmış magmatik kayaçlar, 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 olmdığı durumlarda, A4 sınıfı yavaş kesilen bir anyonik emülsiyon kullanılabilir. Agrega özelliklerine bağlı olarak, bir ton agrega başına 180 ila 250 litre arasında emülsiyon kullanımı gerekmektedir. Malzemenin kompozisyonu yaklaşık olarak %80 agrega, %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 agrega, 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.

2.5 Yol Kaplamalarında Oluşan Bozulmalar ve Bozulma Türleri

Dünya genelinde olduğu gibi ülkemiz için de karayolu taşımacılığının ekonomik kalkınmanın gelişmesinde önemi büyüktür. Ulaştırma sektöründeki payı gittikçe artmaktadır ve dolayısıyla karayolları altyapı yatırımları açısından önemli bir yere sahiptir. Türkiye'de 1970'lerin Devlet İstatistik Enstitüsü verilerine göre, yük taşımacılığı %61, yolcu taşımacılığı %91'lik bir orandayken, 2003 yılının verilerine göre ise yolcu taşımacılığı %95'e, yük taşımacılığı da %92'ye çıkmıştır.

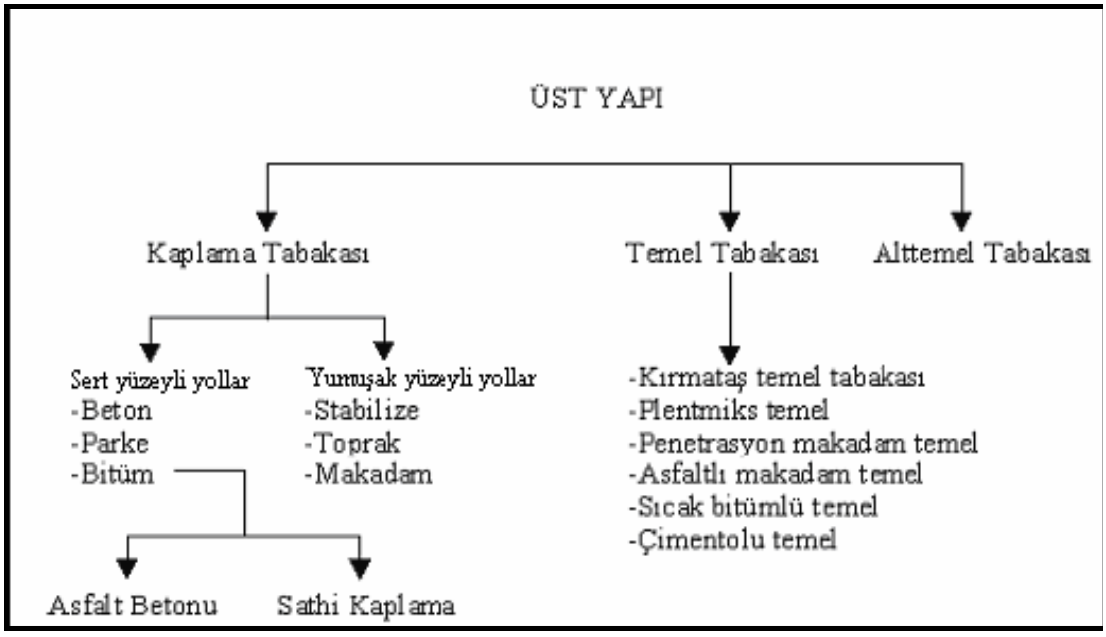
Esnek üstyapıların en üst tabakası olan ve yol inşaatında önemli yer tutan kaplama tabakalarında kullanılan bitümlü karışımlar, maliyeti büyük ölçüde etkilemektedir.

Şehirlerarası yollarda, havaalanlarında ve şehiriçi yollarda kullanılan asfalt betonu kaplaması, genel olarak aşınma tabakası ve binder tabakası olarak iki tabaka halinde uygulanmaktadır. Kaplamanın uzun ömürlü olabilmesi için bu tabakalara ek olarak, temel ve alttemel tabakalarının da öngörülen şartlarda uygulanması gerekmektedir.

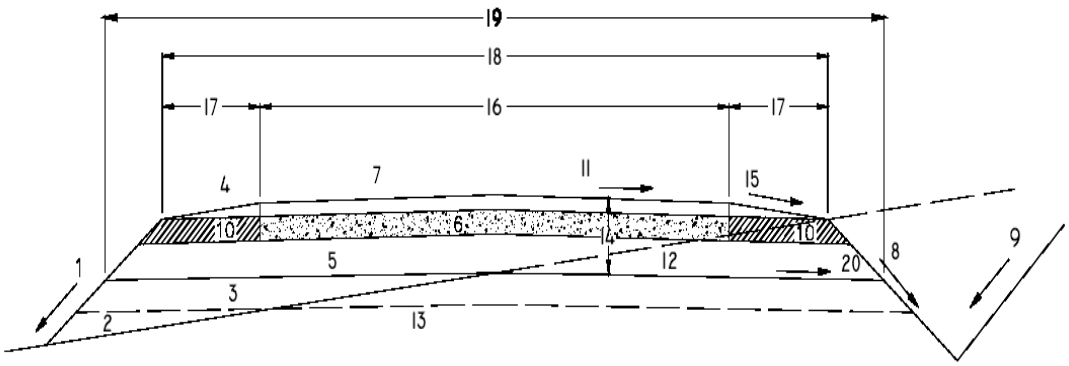
Kaplama tabakasına gelen yükleri ve oluşan ek gerilmeleri karşılayan temel tabakasının, yol üstyapısına gelen yüklerin dağılımında önemli yeri vardır. Asfalt betonu kaplamaları üzerine inşa edildiği temel tabakasının fiziksel koşullarından büyük ölçüde etkilendiğinden temel tabakası özelliklerinin iyi saptanması gerekmektedir. Bunun haricinde, temel tabakası uygulanması sırasında, agrega tane dağılımında hatalı seçim yapılması ve sıkışmanın yetersiz olması durumunda, diğer tabakalara düzensiz yük dağılımı olduğundan, kaplamada bölgesel çatlaklar ve sökülmeler oluşabilir.

Bilgi birikimi, deneyim ve özen gerektiren üstyapı tasarım ve uygulanmasında belirli kriterlerin sağlanmadığı durumlarda, yolların bakım masrafları arttığından ekonomik kayıplar oluşmakta ve yollardan beklenen hizmet ömrü kısalmaktadır.

Şekil 2.1 yol üstyapısını oluşturan tabakalar ve tabakaların çeşitlerini göstermektedir.



Şekil 2.1 Yol üstyapısını oluşturan tabakalar ve tabakaların çeşitleri [9].



1—Dolgu Şevi
2—Doğal Zemin
3—Seçme Malzeme Tabakası (Gerekli Olduğu Durumda)
4—Banket Kaplama
5—Alt Temel
6— Temel Tabakası
7— Kaplama Tabakası
8— Hendek Şevi
9— Yarma Şevi
10—Banket Temeli
11—Yolun Enine Eğimi
12—Taban Yüzeyi (Tesviye Yüzeyi)
13—Yol Gövdesi (Taban Zemini)
14—Üst Yapı Proje Kalınlığı
15—Banket Eğimi
16—Trafik Şeritleri Genişliği
17—Banket Genişliği
18—Yol Genişliği (Platform Genişliği)
19—Üst Yapı Taban Genişliği
20—Taban Yüzeyinin Enine Eğimi

Şekil 2.2 Tipik esnek üstyapı enkesiti [10]

Şekil 2.2'de ise tipik esnek üstyapı enkesiti görülmektedir. Trafik yüklerine doğrudan maruz kalan kaplama tabakasında, trafik yüklerinden oluşan basınç ve gerilmeler en üst seviyede etki yarattığından bu tabakanın elastisite modülünün, üstyapının diğer tabakalarına göre daha yüksek olması gerekmektedir[11].

Çevre koşulları, çok iyi yapılmış bir yolun bile zaman içerisinde bozulmasına neden olabilir. Bu nedenle bir yola gerekli düzeyde sürekli bakım yapmak ve yol üstyapısının mukavemetini gerekli onarımlarla yükseltmek, yolun servis ömrünü uzatmanın ve bu süre içerisinde yoldan en iyi şekilde yararlanmanın tek yoludur.

Türkiye koşullarında, kaplamalrda oluşan bozulmaların başlıca nedenleri; tasarım yöntemleri ve/veya malzemenin hatalı seçimi, trafiğin kontrolsüz ve hızlı biçimde artması, ağır iklim şartları, proje ve tekniğine uygun olmayan yol yapımları, bakım ünitesinin etkin çalışmaması ve diğer ünitelerle koordinasyondaki eksiklikler gibi nedenlerdir [11].

Bahsi geçen bu nedenler yollarda; tekerlek izi oluşumu, yorulma çatlakları, düşük sıcaklık çatlakları ve suya karşı duyarlılık gibi bozulmalar oluştururlar. Dolayısıyla bu bozulmalar da, yolun hizmet ömrünü kısaltmakta ve konfor düzeyini düşürmektedir. Yol üstyapılarında kullanılan bitümlü bağlayıcıların özelliklerinin yol üstyapı kalitesinde önemli etkisi vardır. Bu özellikler içerisinde en önemlilerden birisi olan yaşlanma, uzun ve kısa süreli yaşlanma olarak ikiye ayrılır. Sıcak karışımın depolanma, plente taşınma, plentte karıştırılma, inşa sahasına taşınma, serilme ve sıkıştırılma işlemleri sırasında oluşan yaşlanma kısa süreli; yolun servis ömrü boyunca oluşan ise uzun süreli yaşlanmadır [12].

Yolun en üstündeki tabakadan taban zeminine doğru inildikçe, tabakalarda kullanılan malzemelerin mekanik, mukavemet özellikleri değişiklik gösterirler. Karayolu esnek üstyapıları, tabakalı sistemler oldğundan ve tabakalar farklı davranış gösteren malzemelerden meydana geldiğinden çok karmaşık bir yapıya sahiptirler.

Alt temel ve temel tabakalarını oluşturan granüler malzemeler nonlineer elastik davranış gösterirken, kaplama tabakasında ise özellikleri sıcaklığa ve yükleme hızına göre visko-elastik davranış gösteren bitümlü karışımlar kullanılmaktadır.

Üstyapının maruz kaldığı araç yükleri çeşitlidir ve üstyapıda oluşacak bozulmalarda yükleme büyüklüğü ve süresi önemli ölçüde etkilidir. Projelendirme esnasında kabul edilen dingül yükünün aşılmasıyla, üstyapıda yapısal problemler oluşmaya başlar. Bu yapısal problemlerin yüzeye yansıması, takviye tabakası ya da yeniden yapım gibi çözümler gerektirmektedir ve ömrünü doldurmamış yollarda bu süreç ekonomik açıdan genellikle istenmemekte, bunun yerine yolun kullanım ömrü boyunca üzerine gelen yüklerin azaltılması ve yol yüzeyine zarar gelmemesi amacıyla yolun alt tabakalarına yükün iletilmesi istenmekte, bunun için de yol kaplaması önemli bir ölçü haline gelmektedir[13].

Yol üzerinde daha önce belirtilen çeşitli sebepler dolayısıyla oluşan bozulmalar, diğer mühendislik yapılarından farklı olarak, kullanıcı tarafından da gözlenebilmektedir [6].

Yol kaplamlarında oluşan bozulmalar; genel nedenler, kalite eksikliği, karışımın tasarımındaki hatalar ve yapım hataları gibi nedenlerle oluşabilir.

Genel Nedenler;

- yetersiz mukavemetteki alttemel ve temel malzemeleri (trafik yükünün altında tasarım, drenaj yokluğu v.s.),
- trafiğin mekanik etkisi (yük, yük tekrarı, sürtünme),
- iklim (Yağmur, kar, donma - büzülme, sıcaklık ayrımları),
- kaplama malzemesinin yetersizliği gibi bozulma nedenleridir.

Kalite Eksikliği;

- gradasyon hatası,
- yuvarlak agrega kullanımı,
- agreganın mukavemetinin düşüklüğü,
- agreganın kirliliği,
- agreganın sürtünme mukavemetinin olmayışı gibi nedenlerdir.

Karışımın Hazırlanmasındaki Hatalar;

- bitüm yüzdesinin hatalı olması,
- bitüm malzemesinin gradasyonu ve ısı kontrolün düzensizliği gibi nedenlerle oluşur.

Yapım Hataları;

- sıkıştırma eksikliği,
- fazla sıkıştırma,
- düşük ısıda yapım,
- yapım sırasında malzemenin ayrışımı,
- dikkatsizlikler gibi nedenlerdir.

2.5.1 Oturma, Çökme, Ondülasyon ve Kabarmalar

Kaplama altındaki tabakaların yerleşmesi, çökmesi, şişmesi, kabarması ve kaplama malzemesinin dengeli bir yapıya sahip olmaması gibi nedenlerle oluşan bu bozulmalar, çökme, ondülasyon, tekerlek izi, oluk ya da çöküntü, kabarma şeklinde tanımlanırlar.

Oturmalar; yolun orta çizgisi boyunca veya uzunlamasına olarak yolun kenar şeritlerinde oluşurlar. Nedeni ise kaplamanın altındaki malzemenin otumasıdır. Kaplamanın asfalt betonu olmadığı durumlarda oturma sonucunda çatlama, oturma eğrisi çok büyük olduğu için, meydana gelmez fakat asfalt betonu kaplamanın çok rijit olduğu durumlarda bu tabaka, altındaki tabakaların oturma eğilimine uyum gösteremediğinden çatlamalar oluşur.

Çökmeler; derinlikleri 2,5 cm ya da daha fazla olabilen ve yağmurdan sonra içlerinde su biriken ve asıl kaplama sathına göre alçakta kalmış küçük çukurluklardır. Zamanla genişlediklerinde yol kullanılmaz hale dahi gelebilir.

Tekerlek İzi ve Oluklar; asfalt betonu ya da plent miks karışım tipi kaplamalarda tekerlek etkisiyle oluşmaktadır.

Oluklar (tekerlek izleri), trafik yüklerinin etkisiyle kaplamada oluşan yer değiştirmeler, konsolidasyon ya da yanal hareketler sonucu oluşabildiği gibi trafik izleri boyunca kalıcı deformasyonların birikiminden de oluşabilirler.

Ondülasyon ve Yığılmalar, trafik akışına göre enine ve yaklaşık olarak eşit aralıklarla oluşan ve dalgaya benzeyen yüzey deformasyonlarıdır. Plastik bir hareket sonucu asfalt kaplama yüzeyinde oluşan yığılmalar, lokal tümsek ve şişkinliklerdir. Özellikle trafiğin durup kalktığı yerlerde, inişlerde, araçların fren yaptığı kısımlarda, keskin kurplarda ya da araçların bir engele çarpıp sıçrama yaptıkları yerlerde oluşurlar. Ondülasyonlar ve yığılmalar, kaplama stabilitesinin yetersiz olmasından dolayı oluşur. Stabilite eksikliği ise, karışımın çok fazla bitümlü malzeme içermesi, karışımdaki ince agrega miktarının çok fazla olması, agregadaki ince ve iri danelerin köşeli olmaması ve yüzeylerinin düzgün ve cilalı olması ya da karışımlarda çok yumuşak bir asfalt çimentosu kullanılmış olmasından kaynaklanır.

Kabarmalar; genellikle doğal zemin ve üst tabakaların şişmesinden oluşan kabarmalar, yüzey tabakasının lokal biçimde yukarıya doğru deplasmanı olarak tanımlanır.

2.5.2 Çatlaklar

Kaplama tabakasında, dingil yükünden dolayı oluşan gerilmeler, kaplama malzemesinin mukavemetini aştığı zaman oluşabildiği gibi, araçların ani hızlanma ya da yavaşlamalarıyla ortaya çıkan yatay kuvvetler nedeniyle de çatlaklar oluşabilir.

Ayrıca aşağıda tanımlanan bazı dış etkenler, kendiliğinden ya da trafik etkisiyle birlikte çatlak oluşturabilir.

- sıcaklık değişimleri,
- su emme kabiliyeti yüksek agrega kullanımı,
- asfalttaki uçucu maddelerin buharlaşması,
- rutubet değişimleri,
- kireçle stabilizasyonu yapılırken ya da çimento ile kür olurken doğan hacim değişiklikleri.

Çatlamada en önemli parametre, asfaltın çekme mukavemetidir. Çekme mukavemeti soğuk havalarda artış gösterirken, yavaş yüklemelerde düşmektedir.

Timsah Sırtı Çatlaklar, birbirine bağlı çatlaklardır ve timsah derisini andıran küçük poligon serileri şeklindedir. Başlıca nedenleri;

- ağır dingil yükleri,
- asfalt betonunda ya da alttaki tabakalardaki hacim değişiklikleri ve fazla miktarda yük tekrarı,
- kaplama tabakasının ya da kaplama altındaki tabakaların yetersiz kalınlığı,
- kaplama altındaki tabakalarda yüksek deformasyon nedeniyle malzemelerin dağılımı, ayrışımı,
- yetersiz drenaj,
- karışımın kırılgan gevrekliği ve soğuk havalardaki oluşan gevreklik gibi hususlardır.

Timsah sırtı çatlakların oluşmasının en genel nedeni aşırı deformasyondur. Yük altında büyük deformasyon gösterdiklerinden, esnek zeminler üzerine uygulanan elastik kaplamalarda, genellikle timsah sırtı çatlaklar oluşur. Yük kalktığında deformasyonun büyük bir kısmı da ortadan kalkar. Ancak bitümlü sıcak karışım tabakası, yüksek deformasyona uygun değilse, çatlamalar oluşur.

Çatlamanın bir başka nedeni de rijitliğin (katılık) artmasıdır. Fazla rijitliğe engel olmak için yüksek bitüm miktarı, su ve havaya karşı geçirgen olmayan karışım kullanılmalıdır.

Yüksek elastisiteli karışım, alt ve üstyapının uygun projelendirilmesi ve yapımı gibi çözümlerle, timsah sırtı çatlaklar önlenebilir.

Yorulma Çatlakları, çoğunlukla büyük bir bölüm ya da tüm kaplamada, dingil yüklerinin fazla tekrarından oluşan, küçük bloklar halinde birbirine bağlı çatlaklıklardır.

Genellikle ince asfalt betonunda, asfalt betonun yorulma karakteri üzerinde, asfaltın oksidasyonu etkilidir. Oksidasyon, kohezyon artışına neden olmakta, dolayısıyla karışımın rijitliği arttığından yorulma çatlakları oluşmaktadır.

Bu duruma başından engel olabilmek için;

- Kaplama çok iyi sıkıştırılmış (boşluk % min.) olmalı,
- Sert bitüm kullanılmalı,
- Bitüm yüzdesi, optimum bitüm yüzdesinden %1 civarında fazla olmalıdır.

Büzülme Çatlakları, bir tür timsah sırtı çatlaktır. Ancak büyük, keskin açılı ve genellikle dik açılı bloklardan oluşması onları timsah sırtı çatlaklardan ayırmaktadır.

Çoğunlukla trafiğin az olduğu yerlerde, ufak dane çapındaki agrega karışımlarının (düşük penetrasyonlu asfalt miktarının fazlalığıyla) hacim değişikliklerinden oluşur.

Kenar Çatlamaları, genellikle kaplama kenarından 30 cm kadar içte ve yol eksenine paralel oluştuğu gibi, ayrıca yanlamasına banketlere doğru dallanarak da oluşabilirler.

Kaplama, Banket Ek yeri Çatlakları, kaplama ve banket arasındaki bağlantının kopması ve birbirlerinden ayrılmaları durumudur.
Banket temel drenajının iyi olmadığı durumlarda su, kaplama kenarı boyunca birikmekte ve uzun süre burada kalarak ek yerlerinden sızmakta, dolayısıyla banketin rutubetini artırmaktadır. Trafiğin de etkisiyle meydana gelen çatlak, böylece büyümektedir.

Şerit Derzleri Boyunca Oluşan Çatlaklar, bu çatlaklar, özensiz ve yanlış uygulama sebebiyle, iki kaplama şeridi arasında oluşur. Birden fazla bitümlü kaplama tabakası olduğunda ve bunların derzleri aynı kesitte olduğunda, bu çatlaklar daha derin ve büyük olabilmektedir.

Bu çatlaklar, yol yüzeyinin su geçirimsizliğini azalttığı gibi zaman içerisinde yüzeyin parçalara ayrılmasına da neden olur. Benzeri çatlaklara, kötü drenaj sebebiyle banket altının sürekli olarak ıslanıp kurumasından dolayı, kaplama kenarı ve banket arasında da rastlanabilmektedir.

Yüzey genişletmesi esnasında eklenen yeni yüzey ile eski kaplama arasında da benzer çatlaklar oluşur. Özenli yapım ve yapıştırıcı bitüm kullanılması ile bu duruma engel olunabilir.

Yansıma Çatlakları, kaplama altı tabakalarda oluşan çatlak ve açılmaların, kaplamayı olumsuz yönde etkilemesidir. Enine, boyuna, diyagonal veya blok şeklinde oluşabilen bu çatlakların nedeni, genellikle asfalt betonu kaplamanın, rîjit ya da yarı-rijit (çimento, stabilizasyon temeller, beton temeller vs.) tabakalar üzerine yapılmasıdır.

Çatlak ve yarıkların doldurulması gibi uygun bakımlar yapıldığında, suyun alt tabakalara gitmesi engellendiğinden, bu tür çatlakların zararlı etkileri de giderilmiş olur. Bu çatlaklar, uygun bakımlar yapılmadığında, yüzeylerin parçalara ayrılmasına neden olabilmektedirler.

Kayma Çatlakları, tabakaların birbirine göre yanal hareketlerinden oluşur. Temel veya bitüm tabakası üzerinde, asfalt betonu ya da temel tabakasının kayması sonucu, hilal şeklinde oluşurlar.

Genellikle ağır araçların ani fren yaptığı çukur ve kavşak gibi yerlerde oluşan bu çatlaklar, tekerleklerin yüzeye yaptığı etkiye göre parabolik şekilde oluşurlar.

2.5.3 Ayrılma/ Ayrışma ve Parçalanmalar

Hava etkisi veya trafik aşındırması sonucu, mıcırın bitümden ayrılmasıdır. Bu tür ayrışma ve parçalanmalar, çeşitli şekillerde oluşmakta ve oluştukları şekillere göre; sökülme, çanak şekilli çukurlar, bağ eksikliği ve soyulma gibi bozulma adları almaktadırlar.

Sökülme, yüzeyden aşağıya veya kenardan içeriye doğru, mıcır tanelerinin yerlerinden ayrılması sonucu oluşan bozulma biçimidir.

Küçük mıcır parçalarının yüzeyden ayrılması ve küçük boşluklar bırakmasıyla başlayan sökülme, zamanla daha büyük parçaların ayrılmasına neden olan sökülmeye neden olmaktadır, asfalt beton yüzeyin erozyonu da denebilmektedir.

Çanak Şekilli Çukurlar, kaplama malzemesinin yerel olarak yok olmasıdır. Sökülmenin üst düzeydeki göstergesi olan çukurlar, genellikle yuvarlak şekilde oluşup, çapları da 25-75 cm civarında değişmektedir.

Bağ Eksikliği, bitüm tabakasının kısmi olarak yüzeyden kopması ve ayrılmasıdır.

Soyulma, su, kil ve trafik nedeniyle oluşan sürtünmenin etkisiyle, bitüm tabakasının agrega yüzeyinden atılması, dolayısıyla yüzeydeki agrega parçacıklarının bitümden ayrılması nedeniyle oluşan soyulma; kuru ve temiz mıcır ile, bağlayıcı karakteri ve viskozitesi yüksek asfalt kullanımıyla engellenebilmektedir.

2.5.4 Kayma Direnci Kaybı ve Kusmalar

Kayma Direnci Kaybı Cilalanma, yüzeyde oluşan asfalt filminin trafik etkisiyle, mıcır tanelerini cilalamasından dolayı ortaya çıkmaktadır.

Özellikle bazı kalker türlerinden oluşan agregalar, trafik altında hızla cilalı hale gelmektedir. Kaplama yapımında cilalı ve düzgün yüzeyli çakıllar, kırılmadan kullanıldığında kayma tehlikesi oluştururlar. Yüzeyleri cilalı hale gelen bu agregalar, ıslandıklarında tamamen kayganlaşırlar.

Kusma, bitümün sıcak havalarda, yüzeye doğru çıkmasıyla oluşan asfalt filmidir ve çoğu durumda gözle görülebilmektedir. Kaplama yüzeyinin güneş ışığı altında parlaması, bitümün dışarıya çıkarak kusmaya yüz tutacağının göstergesidir [6].

3. BİTÜMLÜ KARIŞIMLARIN GERİ DÖNÜŞÜM YÖNTEMLERİNİN SINIFLANDIRILMASI

3.1 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. Geçmişi yıllar öncesine dayanan bir teknik olan asfalt geri dönüşümü, artan ekonomik ve çevresel gereksinimlerle, birçok teknolojik gelişim kazanmıştır [6].

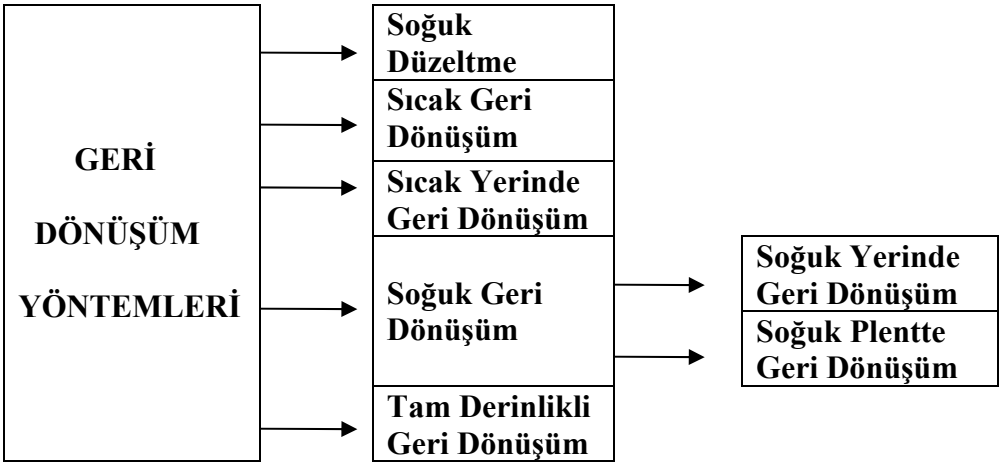
Geri dönüşüm yöntemleri esas olarak yolda geri dönüşüm ve plentte geri dönüşüm başlığında iki farklı şekilde uygulanmakla beraber, Asfalt geri dönüşüm ve rehabilitasyon birliği (ARRA) beş farklı geri dönüşüm tekniği tanımlamaktadır: Soğuk Düzeltme (Cold Planing), Sıcak Geri Dönüşüm(Hot Recycling), Sıcak 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 3.1'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 [15].



Şekil 3.1 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 [16].

3.2 Geri Dönüşüm Türleri

3.2.1. 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 müdahele 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 amacıylada uygulanabilir. Şekil 3.2.a ve Şekil 3.2.b ‘de görülen yol yüzeyleri bu amaçla yapılan uygulamalara örnek olarak gösterilmiştir.



(a)

Şekil 3.2. Soğuk düzeltme işleminden geçmiş yol yüzeyi örnekleri



(b)

Şekil 3.2 Soğuk düzeltme işleminden geçmiş yol yüzeyi örnekleri

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 seviyesinede ulaşılabilmektedir.(Şekil 3.3.a)

Soğuk düzeltme (Cold Planing) işlemi sırasında kazıyıcı (milling machine) tarafından yoldan sökülen asfalt kaplama malzemesi konveyörler aracılığıyla direkt olarak kamyonlara yüklenerek sahadan uzaklaştırılır.(Şekil 3.3.b,c)



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.3 Soğuk Düzeltme (Cold Planing) Uygulamaları

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 arttırılması.
- 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].

3.2.2 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.

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 yöntemlerince kullanılmakta ve %20'den az bir bölümüde atıl kalmaktadır [14].

Birçok ülkede sıcak geri dönüşüm uygulamasında kullanılan geri dönüştürülecek asfalt kaplama (RAP) yüzdesi farklı değerlerde karışıma katılmaktadır.Birçok farklı kurumun yaptığı incelemeler ve teknolojideki 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 kullanılabılmesi konusunda ilerlemeler sağlanmıştır.

İşlem sırasında kullanılan geri dönüştürülecek asfalt kaplama malzemesi (RAP) değişik yöntemlerle üretilmektedir. Mevcut asfalt kaplama loader, riperli 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 (cold planing) 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 rutubetinide arttıracağından yumuşatma işlemi için kullanılması gereken ısı enerjisi agrega karışımının kurutulmasına harcanacak ve dolayısıyla plent 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].

Bitümlü sıcak karışım üretiminin tarihsel gelişimine baktığımızda açık kömür fırınları üzerindeki sığ demir tepsilerden oluşan ilk sıcak karışım tesislerinde, agrega bu tepsiler üzerinde kurutulup sıcak bağlayıcı kuru agrega üzerine boşaltılmakta ve karışım el ile yapılmakta olduğundan operatörün deneyim ve becerisi karışımın kalitesini etkilemekteydi. Yine el ile karışım yapıldığı için, meydana gelen bitüm ve agreganın düzenli karıştırılamaması o dönemin en sık karşılaşılan sorunu idi. 1854 yılında bu nedenle, tesisleri makineleştirme adımları atılarak, düşük standartta olduğundan uzun zamanda üretim yapabilen ilk mekanik karıştırıcılar (mikser) kullanılmıştır. Amerika'da 1870 yılında, beklenen standartları karşılayan ilk tesis Cummer Şirketi tarafından kurulmuştur. 19. yüzyılın sonlarına doğru Atlantik'teki üreticiler, farklı türlerde kurutucu ve mikserler geliştirmişlerdir. Günümüz standartlarına en yakın tesis ise, 1901'de Warren Brothers Şirketi tarafından, Doğu Cambridge'de üretilmiştir. Tesislerin makineleşmesindeki ilk adım, 1910 yılındaki çimento mikserlerini değiştirerek tamburlu mikser ve kurutucu yapmak, ikinci adım ise 1920 yılında gerçekleşen, soğuk siloların gelişmesi olmuştur. Vibratörlü elek ve basınç enjeksiyon sistemlerinin plentlerde yerini alışı 1930'lu yıllara, yakıt olarak kullanılan kömürün yerini petrol ürünlerine bırakması ise 1940'lı yıllara karşılık gelmektedir. Böylece ilk kez, kurutuculara brülör gazı dışarıdan aktarılmış, zamanla brülör kurutucu içine yerleştirilmiştir. Stok silolarının inşa edilmesi ile plentler 1960'lı yıllarda ilk modern hallerine ulaşmışlardır.

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 [6].

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 laboratuar deneyleri, bu yöntemle elde edilen karışımın, yeni malzeme kullanılarak hazırlanan bitümlü karışımlarla aynı performans düzeyinde olabildiğini göstermektedir [17].

Sıcak karışım işlemini uygulandığı iki tip plentten biri olan ağırlıklı tip plentlerde yapılan geri dönüştürme işleminde, işlenmemiş yeni agreganın yüksek sıcaklıklarda ısıtılmasının ardından geri dönüştürülecek eski kaplama malzemesi kurutucudan hemen sonra ya da doğrudan miksere eklenir. Yöntem, duman ve emisyon sorununu çözmede başarı sağlamış olsa da, agreganın bu sıcaklıklara ulaştırılması çok uzun zaman gerektirdiğinden plentten 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 üretilebilmektedir. Ağırlıklı tip plentlerin 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 [17].

İkinci tip plent olan sürekli tip plentte ise bu işlem, geri dönüştürülen eski kaplama malzemesinin mikser/kurutucuya eklenmesinden ibarettir. Sürekli tip plentler kullanılarak yapılan ilk çalışmalarda, yüksek sıcaklıkta bitümün buharlaşması sonucu duman oluşmuş ve mevcut emisyon kontrol ekipmanları ile tutulamayacak kadar küçük çaptaki partiküllerden oluşan yoğuşmuş 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 plentler mevcuttur. Burada geri dönüşümlü malzemenin giriş noktası, silindirin yaklaşık olarak yarısına 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[17].

Henüz gelişmekte olan geri dönüştürme yöntemlerinin avantaj ve dezavantajlarını belirlemek adına laboratuvar ve tam ölçekli arazi deneyleri yapılmakta ve alınan olumlu sonuçlara rağmen, bu yöntemlerle elde edilen kaplamaların uzun süreli performansları ülkemiz için tam olarak bilinememekte olup, dünyada uygulanan yöntemlerden elde edilen veriler daha sonraki bölümlerde incelenecektir.

Çalışmanın bundan sonraki kısmında, farklı tip plentler için geri dönüştürme işlemleri, plent tanımlarında detaylı olarak ele alınacaktır.

3.2.2.1 Ağırlıklı Tip Asfalt Plentlerinde Geri Dönüşüm

Ağırlıklı tip plentlerde tüm geri dönüşüm yöntemleri, soğuk malzemenin aşırı sıcak malzemeyle karışması ile elde edilen kondüktif ısı transferine dayanır. Soğuk agreganın sıcak gazlarla karıştırılması ile ise, konvektif ısı transferi sağlanır.

Geri dönüşüm tekniklerine bağlı olmaksızın, ağırlıklı tip plentlerde, aşırı sıcak agrega, geri dönüştürülecek soğuk, nemli karışımı ısıtmak için kullanılır. Bu plentlerde en çok kullanılan geri dönüşüm tekniklerinin açıklamaları aşağıdadır [18].

Tartım Kovası Geri Dönüşüm Tekniği

Bu teknikte kullanılmış soğuk, nemli karışım, üretim kulesinde ek malzeme olarak tartılır ve üretim kulesindeki tartım kovasına ilave edilir. Kullanılmış karışım, geri dönüşüm haznesinden bu tartım kovasına, konveyör ve elevatör yardımıyla ilave edilir. Konveyör ve elevatörün ani çalıştırma ve durdurmaya müsait motorlara sahip olması gerekmektedir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 Geri dönüşüm haznesi (SIM)

Kondüktif ısı transferi, kullanılmış malzemenin, tartım kovasında ısıtılmış agrega ile karıştırılması ile başlar ve mikserde devam eder. Bu transfer sırasında, kullanılmış malzemeden yüksek miktarda buhar çıkışı olur. Tartım kovası ve mikserin iyi bir şekilde izole edilmiş olması, buharın ve buharla birlikte çıkan ince malzemenin, sızıntı olmadan emisyon kontrol sistemine yönlendirilmesini sağlar.

Bu teknikle, teorik olarak %50'lere kadar çıkabilen geri dönüşmüş malzeme oranının, pratikte %25'ler seviyesinde kalmasının sebebi, kullanılmış malzeme nem oranının %3–5 civarında oynaması ile yeni agreganın 315^{o}C'den fazla ısıtılamamasıdır. Kurutucu limitlerinin üzerinde olabilen veya emisyon kontrol sistemindeki filtrelerin dayanmakta zorlanabildiği bu sıcaklığa, kurutucu ulaşsa bile, maksimum sıcaklığı belirleyen, temel ekipman filtreleridir [18].

Kullanılmış Malzeme Geri Dönüşüm Tekniği

Son yıllarda popülerliği artmış olan ve birçok avantajı bulunan bu teknikte, kullanılmış malzeme ayrı bir tartım kovası ile miksere boşaltılır. Bu teknikle sağlanan başlıca avantajlar şöyle sıralanabilir:

- Harman hazırlama süresi, agrega ve bitümün karışım için hazırlandığı sırada, kullanılmış malzeme de ayrı bir kovada tartıldığı için kısalmaktadır.
- Buharlaşma ve ısı transferi, tartım kovası tekniğinde olduğu gibi gerçekleşmektedir.
- Harman hazırlama süresi, kullanılmış malzemeyle yapılan uzun süreli üretimlerde kısaldığı için, kapasite artmaktadır.
- Ayrı bir kovada, buhar çıkışından etkilenmeden yapılan tartım işlemi, daha doğru olmaktadır.

Sepetli Elevatör Tekniği

Sepetli elevatör geri dönüşüm tekniğinin son zamanlarda kabul görmesinin sebebi, basitliği ve buhar çıkışının üretim kulesi içinde olmasını engellemesidir.

Bu teknikte, soğuk, nemli malzemenin, aşırı sıcak agrega ile karşılaştığı yer, agreganın kurutucudan çıkıp, sepetli elevatöre yüklendiği yerdir. Agrega ve kullanılmış karışım, üretim kulesine giderken, kondüktif ısı transferi sonucu oluşan

buharlaşma, elevatör sepetlerinde gerçekleşmektedir. Oluşan bu buharlaşma, bir boru sistemi ile emisyon kontrol sistemine çekilir.

Bu teknikte, hem agrega hem de kullanılmış malzeme besleme konveyörlerinde, tartılı bant sistemi bulunmalıdır çünkü yeniden kullanılacak olan karışım, sürekli olarak yeni agrega ile karıştırılmaktadır. Agrega ile kullanılmış karışım, yapılan tartımlar ile oranlı olarak beslenmektedir.

Kullanılmış malzeme ile yapılan karışımın granülometri kontrolü, yeni üretilen karışımlara nazaran oldukça farklı olan iki değişik yöntem ile yapılmaktadır.

Kullanılmış malzeme ve aşırı sıcak agreganın kulede beraber elendiği ilk yöntemde, karışım farklı bunkerlere ayrılır ve tüm bunkerlerden, içindeki malzemenin granülometrisinin ve bağlayıcı oranının belirlenmesi için numune alınır. Malzemenin bağlayıcı miktarının belirlenebilmesi için yapılan ayrıştırma sonucu, granülometri ve bağlayıcı oranları saptanır. Böylece, eklenecek bitüm miktarı belirlenmiş olur.

Bu yöntem, diğerlerine oranla zor ve karışık olduğundan, eleme işleminin yapılmadığı ikinci yöntem uygulanmaktadır. Granülometrinin, sürekli tip plentlerde olduğu gibi soğuk besleme ünitesinde kontrol edildiği bu yöntemde, agrega ve kullanılmış karışım, elenmeden, kuledeki tek bir bunkerde stoklanır ve buradan tartım kovasına alınarak bağlayıcı ile karıştırılmak üzere miksere yönlendirilir.

Zorlukları ve zaman kaybı nedeniyle tercih edilmeyen ilk yönteme göre daha kullanışlı olan ikinci yöntemin dezavantajı da soğuk bunkerlerin her birinde oranlama kontrolleri, malzemeleri sepetli elevatöre besleyen konveyörlerde hız kontrolleri ve tartım bantları bulundurma zorunluluğudur. Bu ekipmanlar, standart sürekli tip plentin ekipmanları ile aynıdır.

Elevatörle kuleye malzeme çıkarma süresinin kısa oluşu ve kullanılmış karışımın, üretime katılmadan önce nemden arınmış olma zorunluluğu, bu yöntemde kullanılan geri dönüştürülecek karışım miktarını % 20 civarlarında tutmaktadır [18].

Kullanılmış Karışımın Kurutucuya Eklenmesi Tekniği

Sepetli elevatör tekniği ile aynı sayılabilecek bu yöntemde ek olarak, kullanılmış malzeme, kurutucunun yanma bölgesine boşaltıldığı bölgede ısı transferi başlar. Buharın, kurutucu içinde açığa çıkmasıyla, aşırı sıcak agrega ile kullanılmış karışım kurutucu içinde karışarak elevatöre yüklenir. Karışımın, ısı transferi için kurutucu

içinde daha uzun süre kalmasından dolayı, %25-35 civarı kullanılmış malzeme kullanılabilir. İşlemin devamı, sepetli elevatör tekniği ile aynı ilerler.

3.2.2.2 Sürekli Tip Asfalt Plentlerinde Geri Dönüşüm

Ağırlıklı tip plentte uygulanandan çok farklı şekilde işlem yapılan sürekli tip plentte kullanılmış bitümlü sıcak karışım üretme tekniğinde, kullanılmış malzeme, herhangi bir ek işleme tabi tutulmadan, sıcak agrega ve bitümle karıştırılmak için kurutucu/miksere boşaltılır. Bu yöntemde, kullanılmış malzemenin giriş ağzını, alevden olabildiğince uzak tutmak gerekmektedir. Kullanılmış karışım, sıcak agrega ile karşılaştığında, karışım içindeki rutubet miktarına bağlı olarak oluşan buhar, dışarıya çıkar. Meydana gelen karışımın kalitesi, kullanılan malzemelerin kalitesine ve uygulanan yönteme bağlıdır.

Kullanılmış karışım; paralel akımlı kurutucu/mikserlerde tamburun orta kısmına, üstteki bir ağızdan, karşıt akımlı kurutucu/mikserlerde ise, brülörün hemen önünde, üstteki bir ağızdan boşaltılır.

Kullanılmış malzemeyi, kaplama ünitesi olan bir paralel akımlı kurutucu, paralel akımlı kurutucu/mikserle aynı şekilde alır. Kaplama ünitesi olan, karşıt akımlı bir kurutucu ise malzemeyi, kaplama ünitesinin girişine boşaltır.

Çift kademeli tamburlarda, malzeme, dış tamburun brülöre en yakın kısmından alınır ve kullanılmış karışım, dış tambura bağlayıcıdan önce verildiğinden, malzemenin ısıtılmış agregadan ve iç tamburdan yeterince ısı alması sağlanmış olur.

Üstteki bir ağızdan birinci ve ikinci bölge arasına boşaltılan malzeme, üç kademeli tamburda, ilk olarak ısıtılmış agrega ile karıştırılır, ikinci bölgeden geçer ve üçüncü bölgede bunlara bağlayıcı eklenir. Çift tamburlu plentlerde, kullanılmış malzeme, tamburlu miksere boşaltılır. Tamburlu mikserde agreganın girdiği, bitümün ilave edildiği giriş kısmına boşaltılır [18].

3.2.3 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 müdahele edilebilir hale getirilen asfalt kaplama tabakası; kazıma ve agrega tanelerinin kaplama tabakasından ayrışması işlemlerinden (scarification, milling) geçirilir. Kazınan 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 [15].

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 ekipmanlarıyla 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 (fine aggregate) 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].

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 halında kazılarak istenen derinliğe inilir.Genellikle 2 ile 4 tabakaya kadar kazıma işlemi

gerçekleştikten sonra daha aşağıdaki tabakaların ısıtma-yumuşatma –kazıma aşamalarından geçerken rahat çalışılabilmesi için ilk tabakalardan ortaya çıkan kazınmış malzeme ortada kümelenir (Şekil 3.5.a). Çok aşamalı yöntemde genelde hedeflenen kalınlık 40-75 mm arasında değişmektedir.



(a)

Şekil 3.5. Yerinde Sıcak Geri Dönüşüm Uygulamalarından Örnekler

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 eşzamanlı olarak yapılmasıyla meydana gelir.Yüzeysel geri dönüşüm veya yeniden karıştırma aşamasından geçen mevcut kaplama ve yeni serilecek olan (BSK) bitümlü sıcak karışım kaplama tabakası birlikte sıkıştırılır.Bu iki tabakanın birbiri ardına

vakit kaybetmeden serilmesi ve eşzamanlı olarak sıkştırılması 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 (levelling course) 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 malzemeyle harmanlarken, diğer parça yeni bitümlü sıcak karışımı bünyesine alır ve işlemden 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 3.5.b ve Şekil 3.5.c de sıcak yerinde geri dönüşüm uygulamalarının şehir merkezinde ve şehir dışında farklı ekipmanlarla uygulaması gösterilmiştir.



(b)



(c)

Şekil 3.5. Yerinde Sıcak Geri Dönüşüm Uygulamalarından Örnekler

Sıcak Yerinde Geri Dönüşüm Uygulamalarının Kronolojisi

Sıcak geri dönüşüm uygulamalarında kullanılan ekipmanlar 30 yıl içinde çok gelişim göstermiştir.Birinci nesil ekipmanlarda ; 20-25 mm. ye kadar ısıtma, kazıma işlemlerinden sonra isteğe bağlı olarak gençleştirici katkı ilavesinin ardından karıştırma , serme ve sıkıştırma aşamaları bulunmaktaydı ve yapılan işlem Yeniden Biçimlendirme (Reform) olarak adlandırılmaktaydı (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Yerinde Sıcak Geri Dönüşümde İlk Nesil Ekipmanlar

İkinci nesil ekipmanlarla ısıtılan ve kazılan kaplama derinliği 25-50 mm. ye kadar çıkmakta, kaplama kazıldıktan sonra yine isteğe bağlı olarak gençleştirici katkı ilave edilerek karıştırma, serme ve sıkıştırma aşamaları birbirini izlemekteydi. Bu tip uygulamalarda sıkıştırma işlemi bittikten sonra ince bir tabaka halinde yeni bitümlü sıcak karışım son kat olarak serilmekteydi [19]. Yapılan işleme Yeniden Kaplama (Repave) adı verilmekteydi (Şekil 3.7).



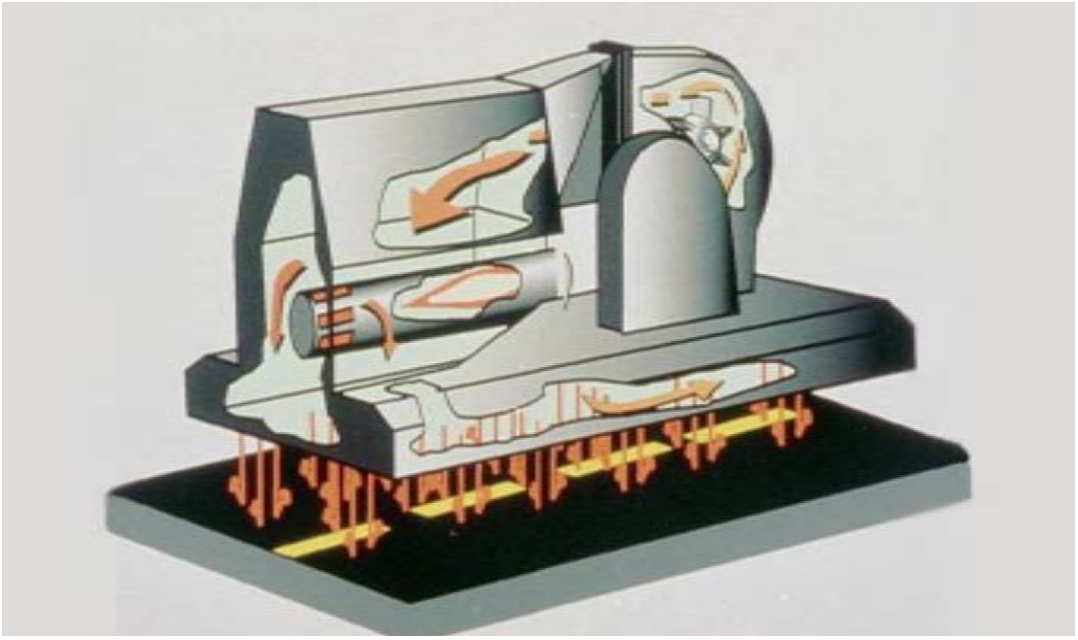
Şekil 3.7. Yerinde Sıcak Geri Dönüşümde İkinci Nesil Ekipmanlar - Vancouver 1988



Şekil 3.8. Yerinde Sıcak Geri Dönüşümde Üçüncü Nesil Ekipmanlar – North Carolina 2001

Üçüncü nesil ekipmanlarla ısıtılan ve kazılan kaplama derinliği 75 mm. ye kadar çıkmaktadır. Bu sistemde gençleştirici katkı ve yeni agrega ilave kullanılması isteğe bağlı değil zorunludur. Karıştırma işleminin ardından serme ve sıkıştırma işlemleri standart bitümlü sıcak karışımlarda olduğu gibi uygulanmaktadır. Yapılan işleme yeniden karıştırma veya tam geri dönüşüm (Remix) denmektedir(Şekil 3.8) [19].

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 kabininde bulunan hava; 700ºC ye kadar ısıtılır, özel olarak dizayn edilmiş boru sistemiyle mevcut asfalt kaplamaya püskürtülerek geri dönüştürülecek kaplamanın yumuşamasını sağlar (Şekil 3.9).



Şekil 3.9 Yerinde Sıcak Geri Dönüşümde asfalt kaplamanın ısıtılma işleminin şematik gösterimi

Sıcak yerinde geri dönüşüm yönteminin ilk aşaması olan mevcut kaplamanın ısıtılması işleminin saha uygulaması Şekil 3.10'da görülmektedir.



Şekil 3.10 Yerinde Sıcak Geri Dönüşümde asfalt kaplamanın ısıtılma 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 3.11).



Şekil 3.11 Yerinde Sıcak Geri Dönüşüm uygulaması

3.2.4 Soğuk Geri Dönüşüm

Soğuk Geri Dönüşüm (Cold Recycling) uygulamaları adından da anlaşılacağı üzere ısıl uygulama 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 gerektiğinden 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[18].

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 kullanılabilirler. Her ne kadar soğuk karışım geri dönüşümü için herkesçe 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 karşımın yapısal dayanım kapasitesi, geleneksel soğuk karışım kaplama malzemesi ile eşit olarak düşünülebilir [19].

Şekil 3.12 ‘ de düşük trafik yoğunluğu olan bir yolda uygulanan yerinde soğuk geri dönüşüm uygulaması görülmektedir. Fotoğraftada 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.



Şekil 3.12 Yerinde Soğuk Geri Dönüşüm uygulaması

Şekil 3.13 ‘ de ilerleyen bölümde daha aytıntılı inceleyeceğimiz plentte soğuk geri dönüşüm uygulaması görülmektedir.



Şekil 3.13 Plentte Soğuk Geri Dönüşüm uygulaması

3.2.4.1 Yerinde Soğuk Karışımlar ve Uygulamaları

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 [18].

Yerinde soğuk geri dönüştürme işleminde yol, ilk olarak kazıyıcı kullanılarak kazınır. Kazınan malzeme gerekli dereceye kadar ezilerek ufalanır. Ardından gerekli miktarda soğuk formdaki (emülsiyon veya katbek) yeni 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 [15].

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 1-3” 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 [6].

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 [19].

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

- Greyderle karıştırma
- Döner karıştırma
- Mobil plent karıştırması

Greyderle karıştırma

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

Sonraki işlemde bitüm; distribütörle iki ya da üç kerede püskürtülerek uygulanır. Uygulamalar sonucunda, satıhta mümkün olduğunca az miktarda bitüm bırakmak ve serbest bitüm birikimi oluşmasını önlemek için asfalt ve agrega kısmen karıştırılmalıdır. Agrega 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 sıkıştıracak şekilde yerleştirmek gerekmektedir. Bunun yanı sıra, karıştırma işlemi sırasında figürenin içine fazla malzeme konulmaması ve figüreden dışarıya malzeme çıkmamasına dikkat edilmesi de gerekmektedir. Şekil 3.14' de kazınan malzeme greyderle karıştırmaya hazır hale gelmiş durumdadır, iyileştirilecek ya da geri dönüştürülecek tüm kesim kazıldıktan sonra greyderle yolda karışım yapılarak serime geçilecek daha sonra sıkıştırma işlemi başlayacaktır[18].



Şekil 3.14 Greyderle karıştırma

Döner karıştırma

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

Şekil 3.15' de örnek bir uygulama görülmektedir.



Şekil 3.15 Döner karıştırma

Mobil plent karıştırması

Mevcut asfaltı kazımak için asfalt kazıyıcı ünitesi, gereken durumlarda yeni agrega ilave edebilmek amaçlı agrega silosu, bitüm deposu, karıştırıcı ünitesi ve titreşimli tablaya sahip serim ünitesinden oluşan mobil plentler; 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 müdahele etme şansı vardır[6].

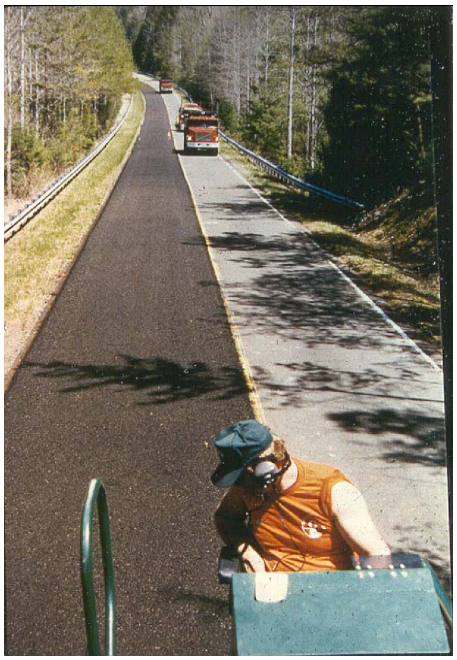
Mobil plentte yoldan kazınan geri dönüştürülecek asfalt kaplamanın konveyör aracığıyla eleğe gönderilip elenmesi (Şekil 3.16.a), elenen malzemenin katkı malzemeleri eklenip karıştırılarak serilmesi (Şekil 3.16.b) ve Yerinde Soğuk Geri Dönüşüm (CIR) yöntemiyle serilip sıkıştırılmış yol kesimi (Şekil 3.16.c) görülmektedir. Fotoğrafta da görüleceği üzere uygulama sırasında trafik akışı devam etmektedir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.16 Mobil plentle soğuk yerinde geri dönüşüm uygulaması

Yerinde soğuk karışım serildikten sonra kullanılan sıkıştırıcılar, ağır lastik tekerlekli ve demir bandajlı silindirlerden oluşurlar [20]. (Şekil 3.17 a,b)



(a) (b)

Şekil 3.17 Soğuk yerinde geri dönüşüm uygulamasında silindiraj

3.2.4.2. Plentte soğuk karışımlar ve uygulamaları

Plentte soğuk geri dönüşüm, yerinde geri dönüşümün olanaklı olmadığı ve geri dönüştürülmek üzere kazılmış asfalt kaplama stoğunun yeterli olduğu durumlarda uygulanabilir bir yöntemdir [20].

Plentte soğuk geri dönüşüm uygulaması, asfalt kaplamanın geri dönüşüm işleminin yapıldığı sabit soğuk karışım plentlerinde yapılır. Plent , özel olarak bu iş için tasarım edilmiş olabileceği gibi Soğuk Yerinde 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[15]. 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 seriminin 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 Plennte 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 [6].

Şekil 3.18.a, Şekil 3.18.b ve Şekil 3.18.c ‘ de 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.



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.18 Plentte soğuk karışım geri dönüşümü uygulaması

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.Şekil 3.19 a, b, c ‘ de Wirtgen KMA 220 model mobil plent ve uygulamaya ait fotoğraflar görülmektedir [21].



(a)



(b)



(c)

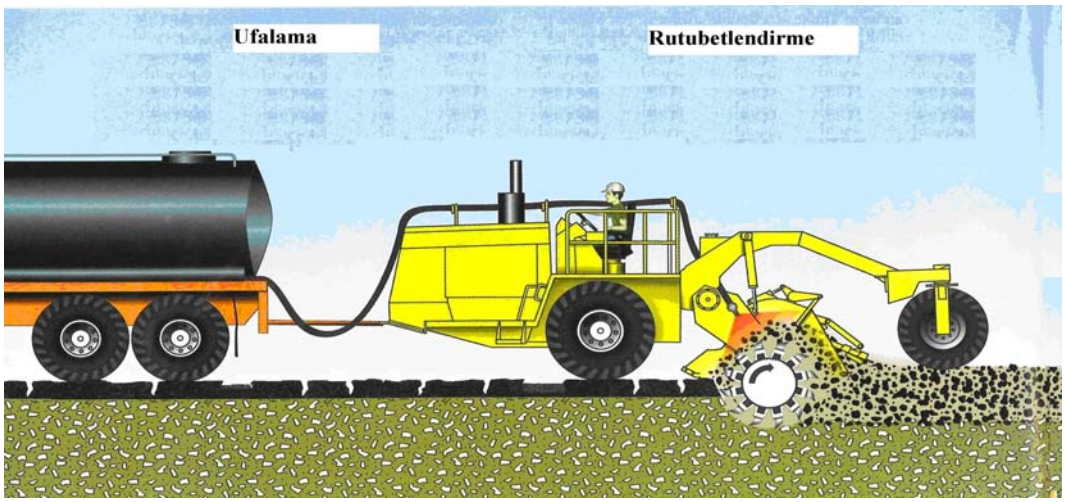
Şekil 3.19 Mobil soğuk karışım plentte yapılan uygulamadan fotoğraflar [21]

3.2.5 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 rutıbetlendirme 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 1,5 " eleklerden geçecek ve maksimum 2 " boyutunda parçalar bırakacak şekilde ayarlanabilir. Ufalama işlemi boyunca malzeme, istenen yoğunluğa ulaşabilmesi için genellikle suyla sürekli rutubetlendirilir.(Şekil 3.20) 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[22].

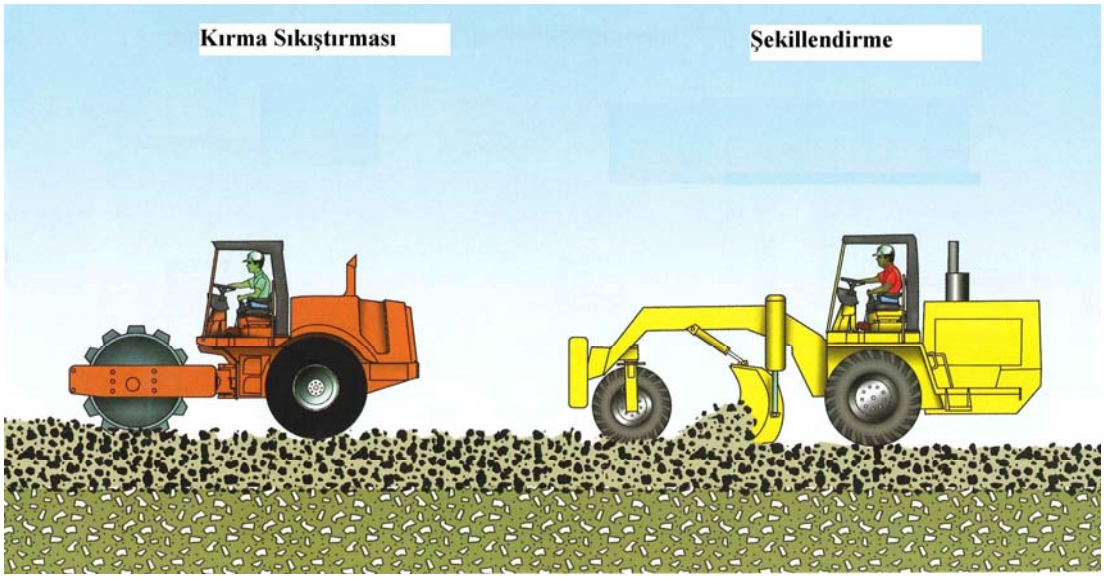


Şekil 3.20 Tam Derinlikli Geri Dönüşümde ufalama ve rutubetlendirme

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.

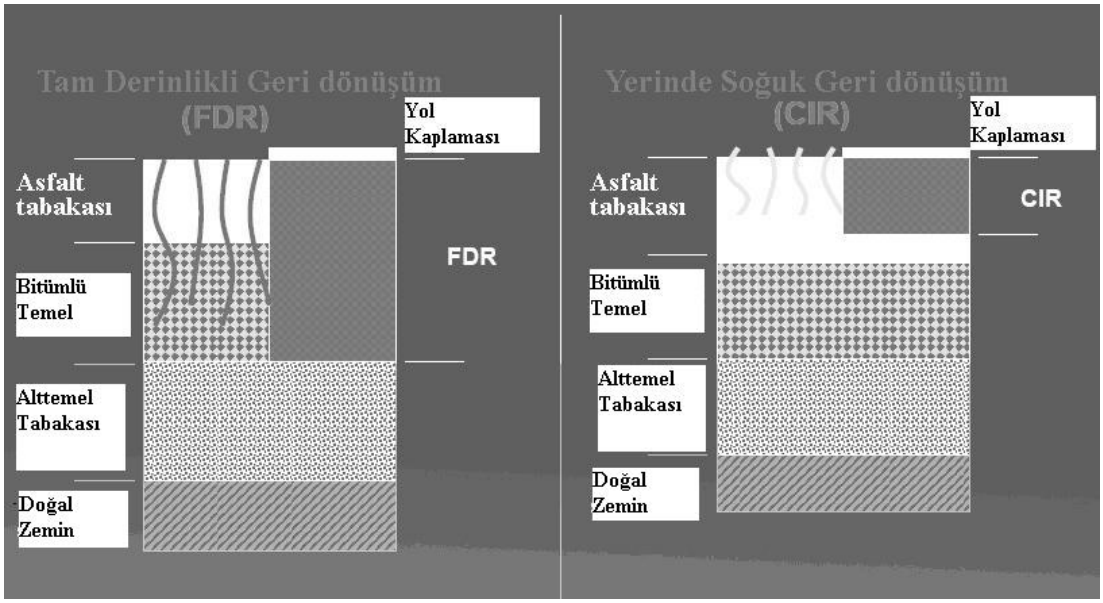
Islah edilmiş malzemenin, greyderle şekillendirilmeden önce kalıcı bir malzeme yoğunluğuna ulaşabilmesi için son geri dönüştürücü geçişinden sonra zemin boşluklarını en aza indirecek şekilde tek tamburlu keçi ayak silindir veya 25 tonluk lastik tekerlekli silindir yardımıyla sıkıştırması yapılır. (Şekil 3.21)



Şekil 3.21 Tam Derinlikli Geri Dönüşümde kırma sıkıştırma ve şekillendirme

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

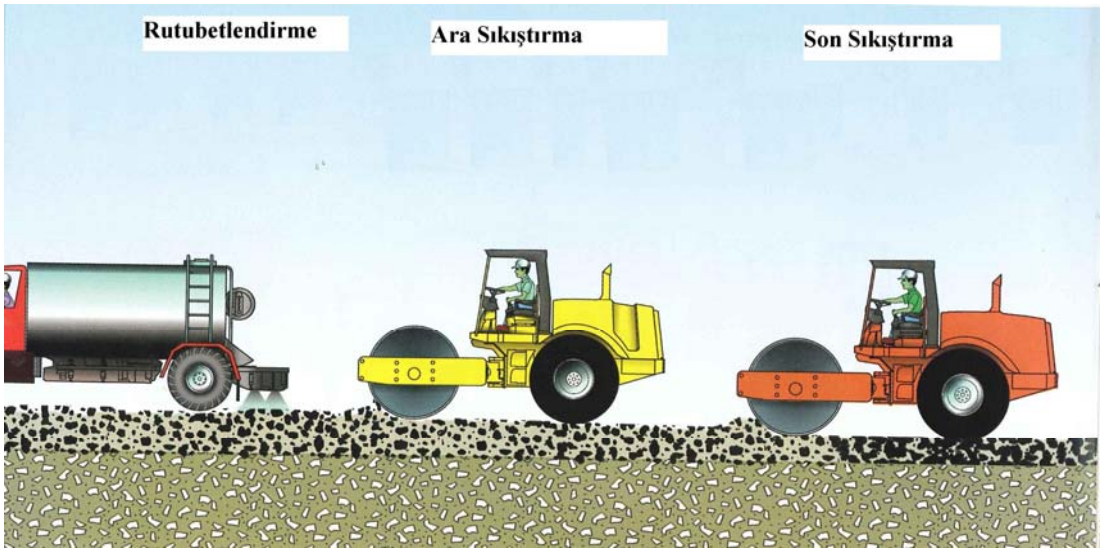
Tam derinlikli geri dönüşüm yönteminin daha önce açıklanan soğuk yerinde geri dönüşümden en önemli farkı yoldaki çatlakların, bozulmaların yolun en üst tabakalarında kalmayıp temel seviyesine kadar inmesi durumunda uygulanmasıdır. Bozulmaları ve problemli bölgedeki sorunu tamamen giderebilmek için tüm asfalt kaplama tabakaları kaldırılarak uygulamaya başlanır. Şekil 3.22' de Soğuk Yerinde Geri Dönüşüm (CIR) ile Tam Derinlikli Geri Dönüşüm (FDR) yöntemlerinin grafik olarak karşılaştırması ve hangi tabakalara uygulandığı görülmektedir [23].



Şekil 3.22 Yerinde Soğuk Geri Dönüşüm Türleri [23]

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

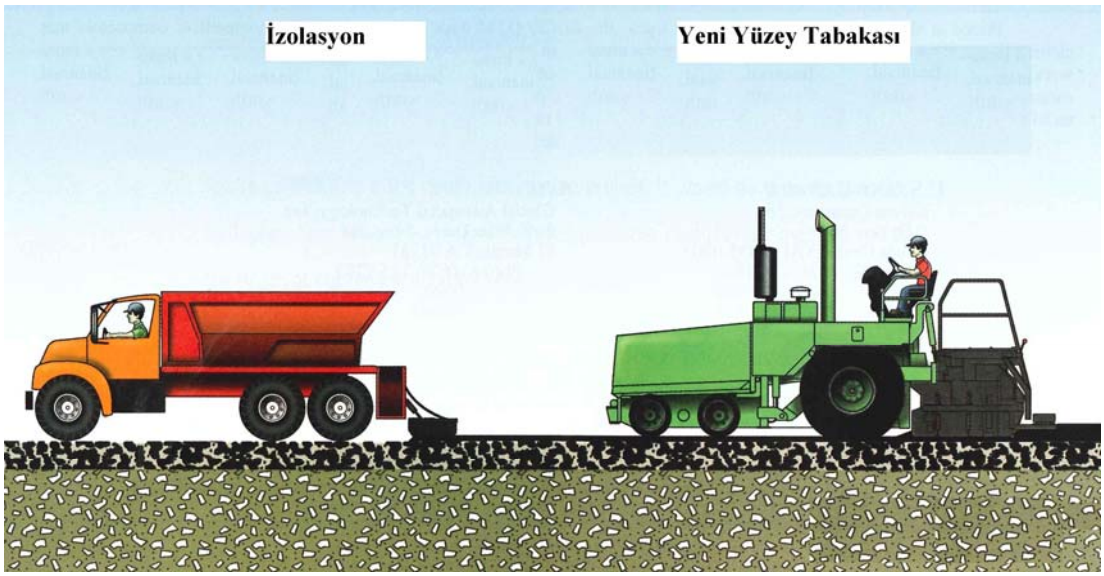
İlk sıkıştırmadan sonra rutubet ayarlaması yapıp ara sıkıştırma aşamasına geçilir (Şekil 3.16). Yine kalınlık ve yüzey durumuna bağlı oarak, bu adımda malzemeyi sıkıştırmak için bir lastik tekerlekli silindir (PTR) veya greyder tarafından geride bırakılan kayıp agregaları sermek için ağır titreşimli silindir sıkıştırıcı kullanılabilir. Son pas silindirleme yapıldıktan sonra, sıkıştırılarak düzeltilmiş yol yüzeyi , asfalt emülsiyonu veya başka bir özel sızdırmazlık elemanıyla 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 3.23)



Şekil 3.23 Tam Derinlikli Geri Dönüşümde rutubetlendirme ve silindiraj

Geri dönüşüm işlemi eski yol tabakalarını dönüştürdüğü ve tabanın bir bölümü yeni ve yapısal olarak daha güçlü bir yol tabanı 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.

Geri dönüştürülen yeni yol gövdesi asfalt kaplama tabakası takviye edilerek daha dayanıklı duruma getirilir , bu sayede gelecek yıllarda çoğunlukla daha büyük maliyetlerle yapilacak bakım-onarım giderleri azaltılmış olur (Şekil 3.24). Bazı durumlarda yeniden asfalt kaplama yerine çatlak dolgu ve sızdırmazlık malzemelerinden birinin kullanilmasina olanak sağladığı gibi daha ince asfalt tabakaları serilmesi şeklinde de ekonomik faydaları olmaktadır. [22].



Şekil 3.24 Tam Derinlikli Geri Dönüşümde izolasyon ve son tabaka uygulaması

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 halıne gelmiştir. Şekil 3.25, 3.26, 3.27, 3.28 'de çeşitli ülkelerde uygulanmış olan kireç, çimento, köpük bitüm, bitüm emülsiyon ve agrega katkılı soğuk yerinde tam derinlikli geri dönüşüm çalışmaları görülmektedir[19].



Şekil 3.25 Kireç katkı kullanarak yapılan Tam Derinlikli Geri Dönüşüm (FDR) Uygulaması – Dominik Cumhuriyeti



Şekil 3.26 Çimento katkı kullanarak yapılan Tam Derinlikli Geri Dönüşüm (FDR) Uygulaması – Natchez Trace Park Yolu Mississippi - USA



Şekil 3.27 Bitüm Emülsiyon ve granüler malzeme katkısı kullanarak yapılan Tam Derinlikli Geri Dönüşüm (FDR) Uygulaması – Ukrayna



Şekil 3.28 Kireç ve köpük bitüm katkısı kullanarak yapılan Tam Derinlikli Geri Dönüşüm (FDR) Uygulaması – Kanada

Viskoziteyi düşürmek ve/veya penetrasyonu arttırmak için genellikle bitümü modifiye etmek veya miktarını 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. Şekil 3.29 'da köpük bitüm katkısıyla yapılan tam derinlikli geri dönüşüm uygulamasının tamamlanmış hali görülmektedir.

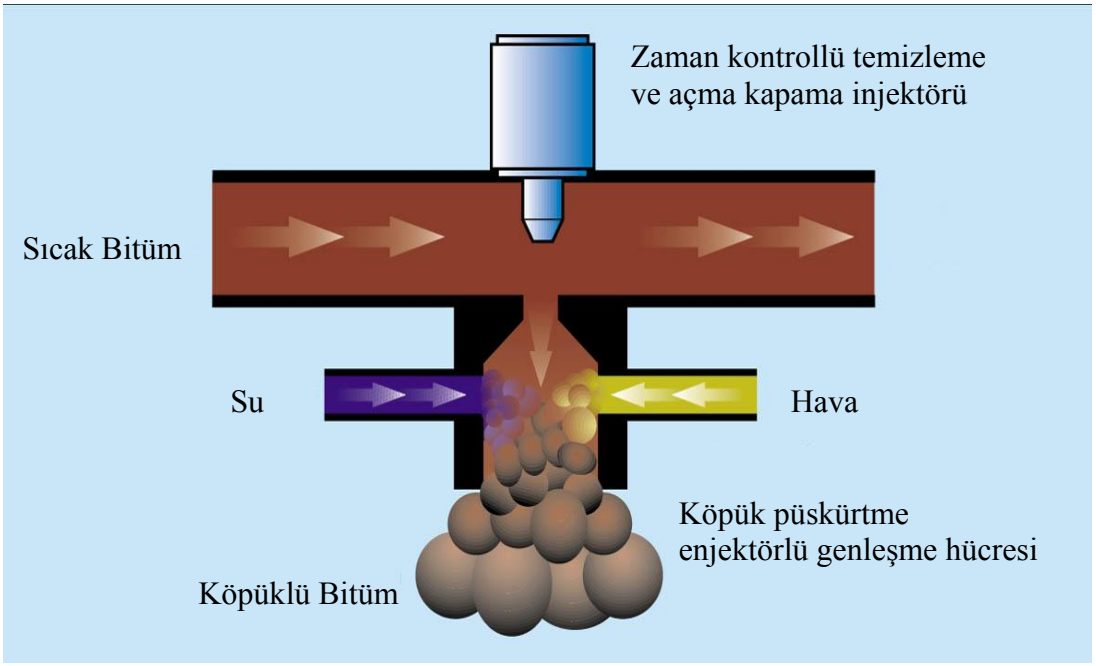


Şekil 3.29 Son kat asfalt kaplama tabakası yapılmayan köpük bitüm katkılı soğuk yerinde geri dönüşüm uygulamasının tamamlanmış hali

Köpük bitüm nasıl oluşturulur ?

Bitümü köpük haline getirmek için , bitüm ısıtılarak 160°C - 170°C arası sıcaklığa getirildikten sonra ağırlıkça yaklaşık % 2,5 'una karşılık gelen miktarda su ile karıştırılırarak köpürtülür[24].

Sıcak bitümle karşılaşan su patlayarak buharlaşır ve sonuç olarak bitümü köpüklü hale getirir. Bu işlem sonucunda bitüm orjinal hacmine göre % 15'e varan oranlarda genişler. Köpük haline gelen bitüm, eskisine göre çok geniş yüzey alanına sahip olacağından agregayla bütünleşme ve sarmalama anlamında ideal bir viskoziteye ve hareket kabiliyetine ulaşır (Şekil 3.30)



Şekil 3.30 Bitümün köpük hale getirilmesi

4. DÜNYADA VE TÜRKİYEDE GERİ DÖNÜŞÜM UYGULAMALARI VE YÖNTEMİN AVANTAJLARI

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]. 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[25].

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 agrega 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.

4.1 Dünyada geri dönüşüm uygulamaları

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 sağlamasının 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[26].

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, mazeme 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 arttırılması yolunda karar almıştır[26].

1980'lerde %50'den %20'ye düşürülmesine rağmen Florida'nın mevcut karayollarında bugün, karışımında %60 oranında geri dönüştürülmüş asfalt malzeme (RAP) bulunan sıcak karışımlı yollar yapılmaktadır.

Diğer bir önemli konu ise başlangıçta RAP malzemenin içindeki agrega kalitesinin belirlenememesi nedeniyle cilalanma 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 önlemiş, 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 sökümü 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 4.1) 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 4.1 Asfalt kazıma makinesi kullanımı

Amerika Ulusal Karayolları FHWA araştırmacıları, 2008 yılından sonra bitüm maliyetlerindeki(Petrol fiyatının artması nedeniyle) aşırı artışlar, RAP kullanımında tekrar artışa neden olabileceğini, vurgulamaktadırlar. Amerika Birleşik Devletleri'nde uygulanan bazı geri dönüşüm uygulamalarında kullanılan RAP miktarlarını gösteren Çizelge 4.1 de gösterildiği gibi, 2007 ve 2008 yıllarında, karışımlarda %50'lere varan oranda RAP kullanılmaktadır[26].

Çizelge 4.1 Amerika Birleşik Devletlerinde uygulanmış bazı projeler ve Geri Dönüştürülmüş Asfalt Kaplama (RAP) kullanım oranları [27]

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. (Şekil 4.2)



Şekil 4.2: ROM firmasının Moskova'daki havaalanı uygulamalarından bir örnek [26]

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 göstermesi Avrupa Birliği' nin konuya geçmişe oranla daha ciddi yaklaşımına neden olmuştur.

Asfalt kaplamaların geri kazanımının ;

- Kaynakların 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 yapılmış, Ar-Ge çalışmaları ve uygulama projeleri için gereken finans aktarımı sağlanmıştır. Avrupa Birliği bünyesinde hazırlanan ve tüm kıtada uygulanan Bitümlü Karışımlar İçin Avrupa Standartları (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 plentlerinin % 95' inden fazlası sıcak geri dönüşüme uyumlu hale getirilmiş ve geri dönüşümlü asfalt kaplama (RAP) 'nın karışıma girme oranı yine yapılan modifikasyonlarla minimum %50' lere çıkarılmıştır[28].

2003 yılında Jean-François Corte'nin başkanlığını yaptığı Dünya Yol Birliği (Permenant 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 [29] sekiz üyenin oluşturduğu komitenin ve değişik ülkelerden (Estonya, Kanada, Norveç, ABD ve Japonya)

katılanların yaptığı çalışmalar esas alınmıştır. Bu yayında, dünya çapında önemi olan bu tekniğin neden geniş kapsamlı kullanım alanı bulamadığı hususu ile uygulamaya yönelik engellerin bir listesini içermektedir. Bu engeller 7 başlık altında özetlenebilir:

1- Yeniden kullanılacak malzemenin kalitesi;
2- Geri kazanım işlemi uygulanacak kaplamanın kalitesi;
3- Kazımaya uygun olmayan malzemelerin varlığı;
4- Kazıma işlemini engelleyen zorluklar;
5- Kötü hava koşulları;
6- Mekanik sınırlamalar;
7- Koruyucu tabaka yapılması gerekliliği (geri kazanım işlemiyle üretilen karışımın kullanıldığı tabaka üzerine koruyucu tabaka serilmesi)

Engelleri daha iyi ortaya koymak ve tekniğin kullanımını yaygınlaştırmak amacıyla PROBISA adlı İspanyol şirketin koordinatörlüğünde SCORE projesi 2002 yılında başlatıldı. SCORE-Superio COld REcycling- projesi, Avrupa Komisyonu tarafından, 5'inci Çerçeve Programında, araştırma ve teknolojik gelişme kapsamında finanse edilmiştir(FP5). Proje, Haziran 2002-Haziran 2005 arasında 8 ortak kuruluşun katılımı ile gerçekleştirilmiştir: Proje koordinatörü PROBISA (İspanya), NYNAS (İngiltere), EUROVIA (Fransa), SSZ (Çek Cumhuriyeti), Produktion (İsveç), Laboratoire Central des et Chaussees (LCPC-Fransa), CEDEX (İspanya) ve Joseph Fourier Üniversitesi (Fransa).Kazınan malzemenin tanımlanmasından geri kazanılmış karışımların formülasyonuna kadar geri kazanımın tüm konuları sorgulanmış, bu araştırmadan elde edilen bazı temel sonuçlar aşağıda verilmiştir[29]:

Kazıma koşulları

İlk iş, temel parametrelerin (makine hızı, kazıma derinliği, kazıma tamburunun dönme hızı, diş sayısı, vb.) kazınan malzemenin gradasyonu üzerindeki etkisini belirlemekti [29]. Kazıma işleminin bir amacı, 25mm'den büyük dane boyutunu azaltmaktır. Daha sonra, ilk yapılan kaplama durum analizi ile adezyonun belirlenmesi ve bu sayede kazıma işleminin tahminidir.

LCPC laboratuarı (Laboratoire Central des et Chaussees) yürüttüğü çalışmalarda ilginç bir sonuca ulaşmıştır. Eğer kazılacak asfalt kaplama tabakalarında kısmi

soyulma ve özellikle en üst tabakada yaygın çatlaklar mevcutsa, aşağıdakilerden bir veya daha fazlası yapılmalıdır:

- Kaplamanın ilk kazıması çok sayıda diş bulunduran kazıma tamburuyla gerçekleştirilmeli,
- Makinenin ilerleme hızının azaltılması ve/veya kazıma tamburunun dönüş hızının arttırılması (Şekil 4.3),
- Kaplama, soyulmuş kısmın sağlam kesimlerini de içerecek şekilde yeterli derinliğe kadar kazınmalı.

Yaşlanmış bitümün gençleştirilmesi

SCORE projesinin diğer bir parçası ise eski bağlayıcı ile eklenen yeni bitümün arasında oluşabilecek etkileşimin bilimsel analizini gerçekleştirmekti. Gençleştiren katkı malzemeleri kullanılarak yaşlanmış bağlayıcının hangi oranda gençleştirilebileceği ve bu işlemin ne kadar süre alacağı sorularına yanıt bulunmaya çalışıldı.

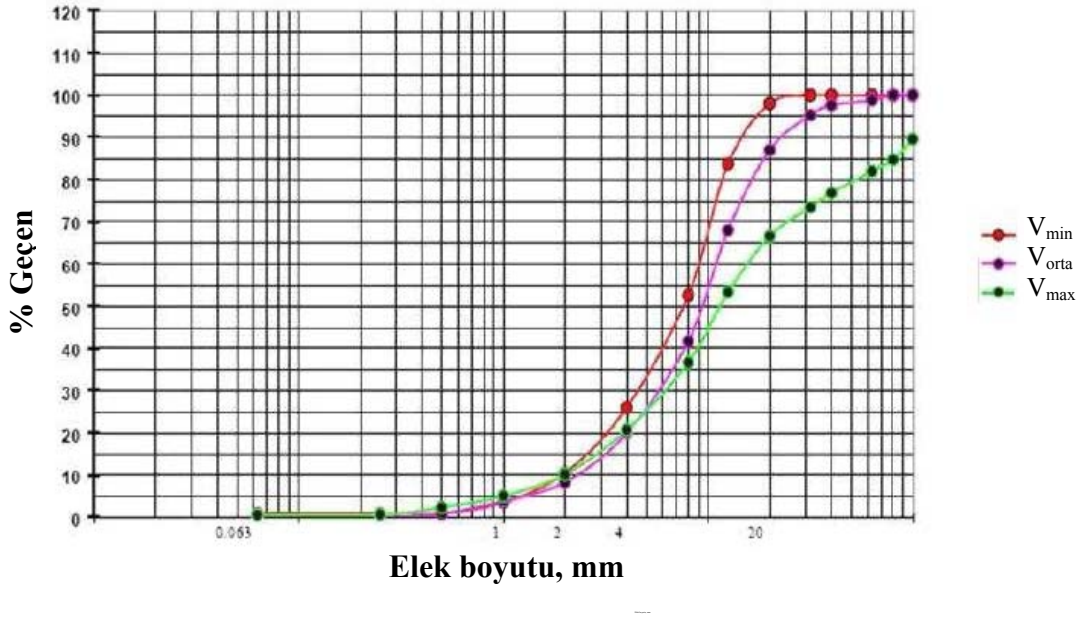
Çalışma, eski ve yeni bağlayıcı arasındaki difüzyon kinetiği analizi için reolojik ölçümler yapılarak yürütüldü . Bir tabaka eski bağlayıcı ve bir tabaka yeni bağlayıcı plaka tipi reometrenin plakalarına yerleştirildi. Oluşan sistemin modülü ölçüldü ve sonuçlar difüzyon parametrelerinin belirlenmesi için kullanıldı. Aynı zamanda difüzyon kinetik değerlerinin, teorik sonuçlar ile gerçek ölçülen değerlerin ne kadar uyum sağladığını belirlemek amacıyla, karışımlarda doğrudan ölçümler yapıldı.

400 penetrasyonlu bitümden 0,1 mm'lik tabaka, yapay olarak yaşlandırılan 15 penetrasyonlu 0,2 mm'lik bitüm tabakası içerisine "sandviç" şeklinde hazırlanarak, görünür modüldeki artmanın ölçülmesi için deneyler yürütüldü.

Gözlenen difüzyon, 80^{o}C'de 30 saat boyunca devam etti. Bu ve diğer deneyler, ortam sıcaklığında, yumuşak bitümün yaşlanmış bitüm içerisindeki difüzyonunun gerçekleştiğini; fakat çok yavaş olduğunu göstermektedir. Geri kazanılmış asfalt karışımının serilmeden sonraki rijitliğinin yeterli düzeyde olduğundan emin olmak için, eklenen bitümün çok yumuşak olmamasına özen gösterilmelidir[29].

Çalışmalar, kazınmış malzemeden gelen bitümün gençleştirme yağı (kuru kazınmış malzemenin yaklaşık ağırlıkça karışımda % 0,1' i kullanılarak ve 7 günlük kür süresi ile gençleştirilebileceğini göstermiştir. Bu gereklilikler, yerinde geri kazanım tekniğini belirler ve geri kazanılacak malzemenin kullanımdan önce stoklama şartlarını sınırlar.Bu yolla, gençleştirilen malzemeler ile üretilen geri kazanılmış

asfalt karışımlarının daha iyi sıkıştırılması sağlanmış olur ve yeni bitüm ihtiyacı azalır. Kayganlaştırıcı etkisinin ilave bir sonucu da tambur dişlerinin aşınmasının azalmasıdır. Bu teknik sayesinde, emülsiyon üretirken sert bitümlerin kullanılması yanı sıra kireç veya çimento (ağırlıkça %1'den az) ilavesiyle, karışımların mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi sağlanabilir.



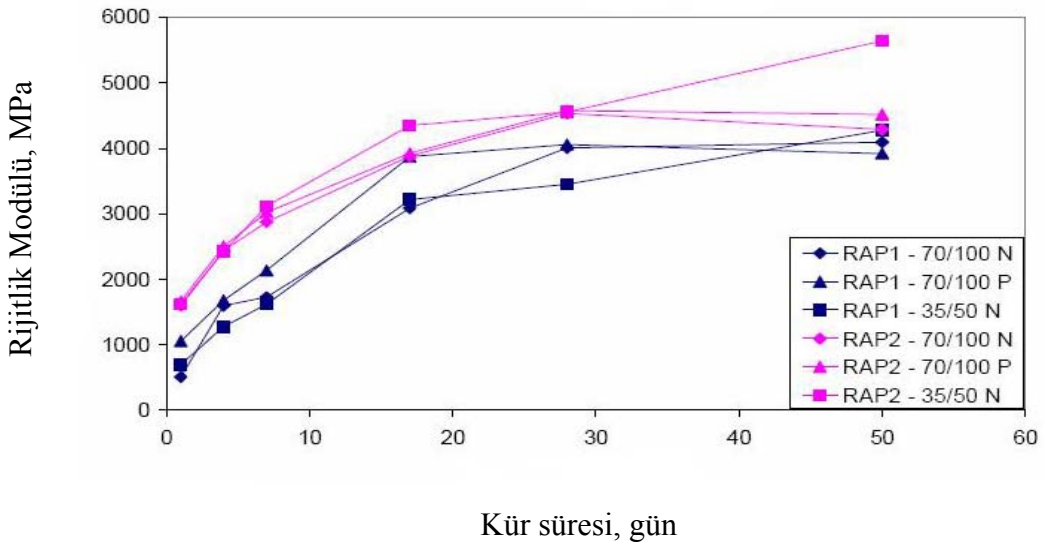
Şekil 4.3 : Kazıma hızının gradasyona etkisi

Geri kazanılmış karışımın mekanik performansı

Geri kazanılmış malzemenin performansı ile ilgili diğer bir önemli konu, tam olarak kür edildiğinde malzemenin mekanik dayanımını kazanmasının yanı sıra, en üst seviyeye ulaşması için zamanın gerekliliğidir. SCORE bu konuyu hemen hemen aynı gradasyona sahip; fakat bağlayıcı miktarları ve kıvamı farklı iki geri dönüşümlü asfalt kaplama (RAP) malzemesi kullanarak araştırmıştır [29]. RAP1 (İspanyolların çalışmaları) malzemesi içerisindeki bağlayıcı oldukça sert (ortalama penetrasyon 6mm/10, 25^{o}C'de) ve miktarı az (ağırlıkça %4 - 4,2), RAP2 (Fransa çalışma alanı) malzemesi içindeki bitüm daha az yaşlanmış (ortalama penetrasyon 21mm/10, 25^{o}C'de) ve karışım içindeki miktarı daha fazladır (ağırlıkça %5,5). Laboratuvarda bu malzemeler; köpük bitüm, bitüm emülsiyonu veya micro-emülsiyon (ortalama parçacık boyutu 1µm) ile iyileştirilmiştir. Artan kohezyon (yapıştırıcı) dayanım, dinamik rijitlik ölçümleriyle zamana bağlı olarak gözlenmiştir.

Temel araştırmalar, yoğurmalı sıkıştırıcı kullanılarak üretilmiş numuneler (Φ=150 mm veya 160 mm, yükseklik=115 mm veya 160 mm, laboratuar koşullarına bağlı olarak) üzerinde yapılmıştır. Numuneler boşluk oranı %15 hedef alınarak sıkıştırılmış ve mekanik testler için kullanılmıştır (kesme işlemi yapılmamıştır). Zamana bağlı rijitlik değeri 15°C'de dinamik eksenel basınç deneyleri yapılarak belirlenmiştir (3 tekrar). Kür işlemi birbirini takip eden iki şartlandırma evresinden oluşmaktadır. Uygulamadan hemen sonraki ilk evreyi örnekleyen 7 günlük ilk periyot boyunca, numuneler 18°C ve %55 rölatif nem (RH) ortamında koşullandırılmıştır. İkinci kür periyodunda, numuneler 35°C ve %20 rölatif nem ortamında tutulmuştur. Hızlandırılmış kür yöntemiyle malzemenin en yüksek dayanımına ulaşması sağlanmıştır. İyileşme durumuna ulaşılana kadar bu işleme devam edilir. Köpük bitüm kullanılarak yapılan uygulamadan elde edilen sonuçlar Şekil 4.4'de gösterilmiştir.

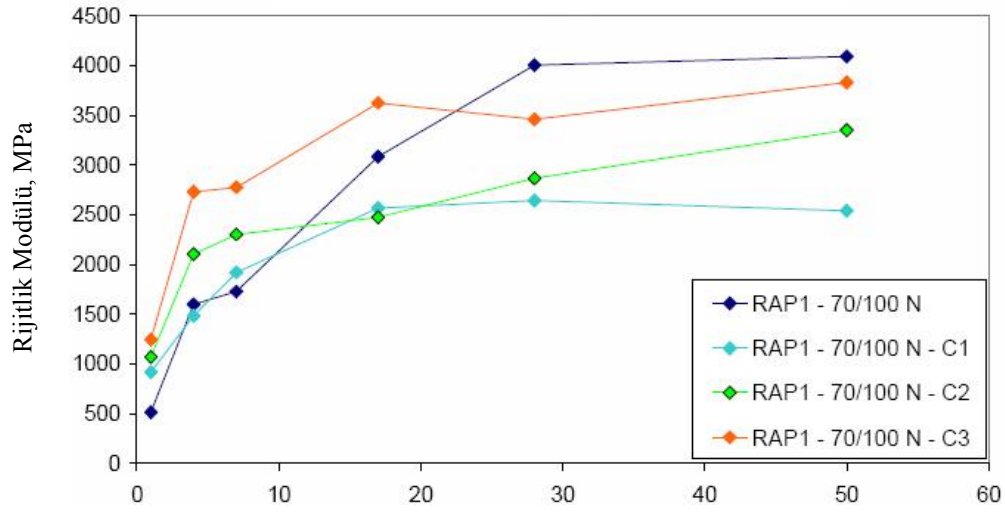
Bu koşullar altında, test edilen malzemeler için iyileştirilmiş rijitlik modül değeri 3000±1000 MPa civarındadır. RAP malzemenin cinsine bağlı olarak bu değer %15 ila %30 aralığında arttırılabilir. Boşluk oranındaki %5'lik (mutlak değer) azalma için ise %10 ila %20 oranında arttırılabilir. Eklenilen bağlayıcının (köpük, emülsiyon, μ-emülsiyon) yapısı bu ortalama değerlere çok küçük oranlarda etki eder.



Şekil 4.4 Dinamik Rijitlik Modülü RAP ve bağlayıcı tipinin etkileri (15°C – 10 Hz) Köpük karışımlar

RAP1 malzemesine artan oranlarda çimento eklendiğinde şaşırtıcı sonuçlar elde edilmiştir. Çimento eklenmesi ilk günlerde (ilk şartlandırma evresi) dayanımın dikkate değer miktarda artmasını sağlamış fakat daha sonra eğriler yatay duruma geçmiş ve bazı durumlarda referans karışımdan daha kötü sonuçlar vermiştir (Şekil 4.5). SCORE bu konuyu daha fazla araştırmamıştır, fakat uygulamada çelişkili durumlar vardır. Örneğin Çek Cumhuriyeti'nde gerçekleştirilen deneylerde dikkate değer miktarda çimento ilavesi, yüksek başlangıç kohezyon değerlerine ulaşılmasını sağlamıştır. RAP malzemesi ile muhtemel karmaşık etkileşimler, elde edilen laboratuvar sonuçlarının kür yönteminden kaynaklandığını düşündürmektedir. Gerçekten de, ikinci kür evresi 35°C ve %20 rölatif nem de numunenin çok hızlı şekilde kurumasına sebep olup daha fazla hidrolik zincirin oluşmasına engel olmaktadır.

Rijitliğe ek olarak, geri kazanılmış malzeme ile oluşturulan karışımın suya karşı yeterli dayanımı sağlaması oldukça önemlidir. Bu konu çapsal rijitliği ve indirekt çekme dayanımı ile ilişkilidir (ITS-prEN12697-23) (NAT cihazı). Deney numuneleri yoğurmalı sıkıştırıcı ile hazırlanmıştır (her biri 1,2 kg ağırlığında, Φ=100mm). İki seri, her defasında 2×4 numune üretilmiştir.

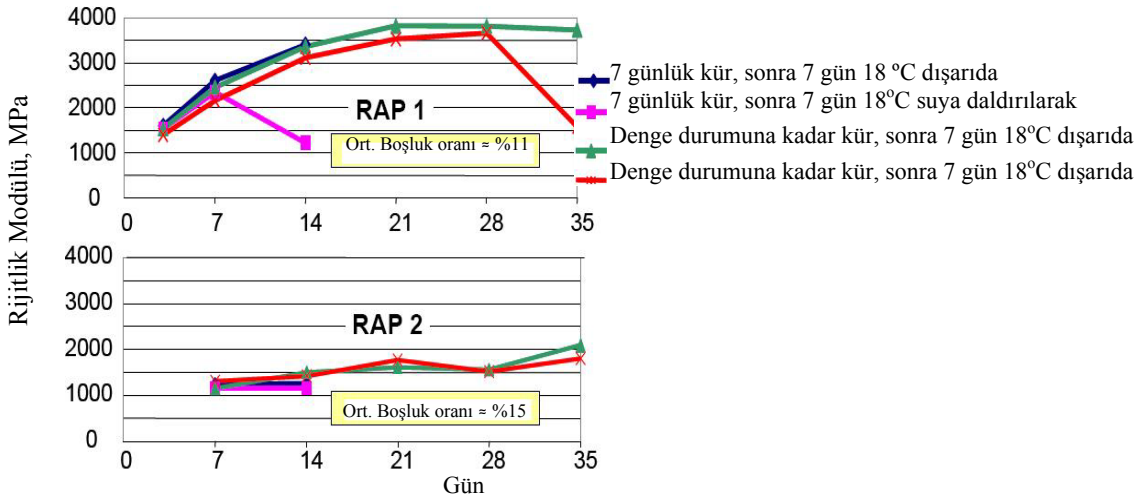


Şekil 4.5 Dinamik Rijitlik Modülü (15°C – 10 Hz) Köpük karışımlar RAP1-70/100 N Çimento içeriğinin etkisi

İlk yöntemden farklı olarak kür işlemi doğrudan 35°C - %20 rölatif nem dan başlamıştır. İlk grup numuneler 7 gün boyunca kür edilmiş ve ikinci grup ise denge durumuna ulaşana kadar kür edilmiştir (28 gün). İki grup için bu sürelerin sonunda numunelerin yarısı 18°C'de dışarıda tutulmuş, diğer yarısı 18°C suya daldırılarak 7 gün bekletilmiştir.

Daha sonra tüm numuneler 15°C'de dinamik rijitlik ve indirekt çekme dayanımı deneylerine tabi tutulmuştur. Bu çalışma, sadece emülsiyon kullanılarak üretilmiş malzemeler için gerçekleştirilmiştir. Kuru RAP malzemesine eklenen bitüm miktarı ağırlıkça %2 - 2,5 arasındadır. Deney numuneleri 85 devirde (gyration) üretilmiştir.

Çalışma, RAP1 ve RAP2 malzemeler arasındaki iki temel davranış farkını ortaya koymuştur (Şekil 4.6). İlk olarak, RAP2 malzemelerinin genel rijitlik düzeyi RAP1 malzemelerine göre, düşük boşluk oranına rağmen dikkate değer oranda (yaklaşım %60) azdır. Sonuçlar büyük numuneler üzerinde gerçekleştirilen eksenel basınç deneylerinden elde edilen sonuçlardan oldukça farklıdır. Bu durum, daha yumuşak kalıntılı bağlayıcının ve yüksek bitüm oranının etkisi olarak ve daha küçük numunelerde basıncın çapsal yükleme olarak uygulanması, büyük numunelerde ise eksenel ve direkt basınç yüklemesi yapılması ile açıklanabilir.



Şekil 4.6 70/100 Naphthenic Bitüm, 35°C - %20 rölatif nemdeki Rijitlik Değişimi

Ayrıca, suda beklettikten sonra belirlenen kalıcı rijitlik ve indirekt çekme dayanımı sonuçları, RAP2 malzemelerinde RAP1 malzemelerine göre daha dikkate değer

derecede iyidir. Bu durum 7 günlük kür sonunda da aynıdır. Bu durum, yüksek orandaki kalıntı bağlayıcının ve düşük boşluk oranının bir sonucudur.
SCORE projesi rijitlik ve zamana bağlı değişimi ile ilgili çok sayıda veri ortaya koymuştur. RAP malzemesinin özellikleri ve karışım yoğunluğunun, sonuçta rijitlik üzerine çok büyük etkilerinin olduğu doğrulanmıştır, fakat bitümün kökeninin veya bağlayıcı tipinin (emülsiyon, köpük, μ-emülsiyon) etkisinin çok düşük oranda olduğu görülmüştür. Yüksek oranda çimento eklenildiğinde elde edilen sonuçlarla göstermiştir ki; hızlandırılmış kür koşulları her malzemeye aynı şekilde uygulanamaz.

Recyclovia Yönteminin Fransa'daki Gelişimi

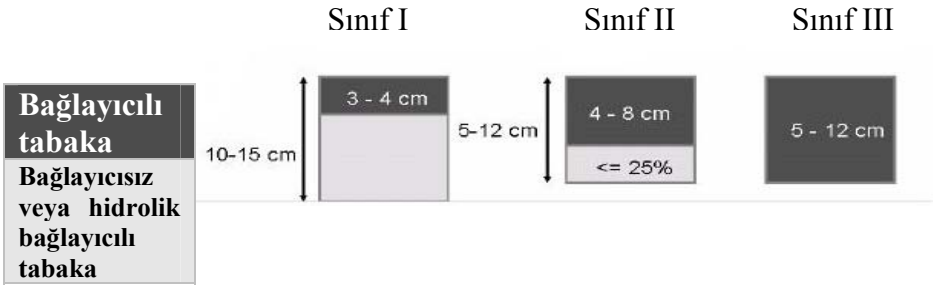
SCORE projesi asfalt betonu aşınma tabakasının yerinde geri kazanımı üzerine odaklanmıştır. Birçok düşük ve orta trafikli yollarda, yüzeydeki asfalt tabakası oldukça incedir ve yolun rehabilitasyonu alt tabakaların da yeni malzemelerle takviyesini gerektirir. Bu malzemeler, bağlayıcısız granüler malzemeler ve hidrolik bağlayıcılı malzemeler olabilir. Bu EUROVIA'nın Fransa'da karşılaştığı durumdur ve SCORE ile başlatılan projede RECYCLOVIA'nın geliştirilmesini sağlamıştır[29].

Fransa'da yerinde geri kazanım

Fransa'da yerinde soğuk yöntemle geri kazanım işlemleri için Fransa Yol İnşaatı Komitesi(CFTR) tarafından bir klavuz oluşturulmuştur[29]. Bitümlü bağlayıcılarla asfaltın geri kazanımı konusunda hazırlanan bu kılavuzda üç değişik tipte iyileştirme öngörülmüştür (Çizelge 4.2). Bitüm, bitüm emülsiyonu olarak eklenmektedir. Mekanik performans formülasyonu hazırlama aşamasında yoğurmalı sıkıştırıcı (NF P 98-252) ve DURIEZ (NF P 98 251-4) deney kriterleri temel alınarak kılavuz oluşturulmuştur. Örneğin, basınç dayanımı ve su dayanımı gibi iyileştirmenin sınıfına ve DURIEZ basınç dayanımından elde edilen verilere bağlı olarak, üstyapı tasarımında ortalama rijitlik modülü değerleri önerilmiştir.

Her ne kadar bu kılavuzlar iyi bir başlangıç noktası olsa da, gelişme ve tekniğin optimizasyonu geri kazanılmış malzemenin dayanımını zamanla nasıl arttırdığının daha iyi anlaşılmasına ihtiyaç duyulmuştur.

Çizelge 4.2 : Bitümlü bağlayıcılarla geri kazanım işlemi – 3 ayrı sınıf için



	Sınıf I	**Sınıf II**	**Sınıf III**
Amaç	Yapısal takviye	Aşınma tabakasının iyileştirilmesi	
Bitüm tipi	Kaplama sınıfı 70/100 veya 160/220	Kaplama sınıfı /veya gençleştirilmiş bitüm	Gençleştirilmiş bitüm
Eklenen bitüm	%3-5	%1-3	%2'ye kadar

Bu durum özellikle I.Sınıf iyileştirmeler (yapısal iyileştirme); bağlayıcısız veya stabilize granüler temel tabakaların değişken ve tahmininin zor olduğu durumlar için geçerlidir. Bu tip malzemelerde, köpük bitüm ile yerinde geri kazanım durumu için referans veri üretilmesine ihtiyaç vardır. Bu gerçekten ilgi çekici bir teknolojidir. Emülsiyon teknolojisiyle karşılaştırıldığında, malzemelerin kimyasal tepkimelere hassasiyeti daha azdır. Bu düşünceler; EUROVIA'yı SCORE ile başlatılan çalışmaları iki ana yönde devam ettirmek için cesaretlendirmiştir. Köpükle iyileştirilmiş RAP karışımlarının (I.Sınıf geri kazanım işlemi) mekanik özelliklerinin belirlenmesi ve yerinde sağlanan rijitlik artışının değerlendirilmesidir.

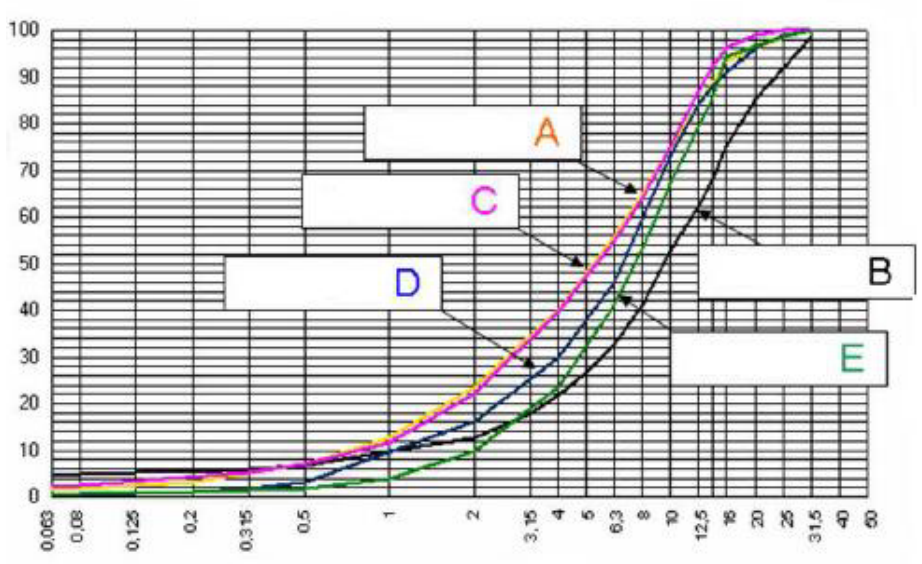
Deneme kesimleri

2006 yılında yapılan yerinde geri kazanım çalışmalarında, RAP malzemesinden numune alarak örnekleme çalışmaları Fransa'daki 5 değişik yolda gerçekleştirilmiştir. Tüm geri kazanım işlemleri Wirtgen 2200 CR makinesiyle gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen geri kazanım işlemlerinden elde edilen sonuçlar ve geri kazanılacak malzemenin temel özellikleri Çizelge 4.3'de özetlenmiştir.

Çizelge 4.3: Geri kazanılmış malzeme ile oluşturulan deneme kesimlerinin temel özellikleri (pph=ağırlıkça karışımda %)

İş sahası Geri kazanım işleminin tipi Çalışma/ numune alma günü (2006)	A Sınıf III 27/06	B Sınıf I 02/07	C Sınıf I 21/08	D Sınıf III 04/09	E Sınıf II 24/10
Geri kazanılmış malzeme kalınlığı ve malzeme özellikleri	9cm Asfalt betonu	~4cm Sathi kap./11 cm granüler tabaka	8cm asfalt betonu/8cm stabilize garanüler tabaka	7cm asfalt betonu	7cm asfalt betonu
RAP'daki Bitüm içeriği (pph)	5	-	-	5,3	5
Penetrasyon, 25°C (mm/10)	23	-	-	11	23
Yumuşama noktası (°C)	71	-	-	70	61
Eklenen bitüm (sınıf)	160/220	70/100	70/100	160/220	70/100
Eklenen bitüm (pph kalan bitüm)	1,8			2	
Emülsiyon (%60 bitüm)		4	4,2		2,3
Köpük					
Eklenen mineral katkı (pph)	0,5			0,5	
Çimento		0,5	0,5		0,5
Sönmüş kireç					

Şekil 4.7, geri dönüşümlü asfalt kaplama malzemelerin gradasyon eğrilerini göstermektedir. Laboratuvarda geri kazanılmış malzemelerle hazırlanan karışımın mekanik performansları iki deney yöntemi ile belirlenmiştir. Bu deneylerde, geri kazanılmış malzemenin rijitlik değerlendirmesinde karotların ekstraksiyon sonuçları da kullanılmıştır.



Şekil 4.7 : Geri Dönüşümlü Asfalt kaplama malzemelerinin gradasyonu

Laboratuarda geri kazanılmış malzemelerin özellikleri - DURIEZ deney yöntemi (NF P 98-251-4)

Duriez yöntemi, statik olarak sıkıştırılmış silindirik sıcak karışım numunelerinin havada veya suda kür işlemine tabi tutulduktan sonra basınç dayanımının belirlenmesi ilkesine dayanır. İki değerin oranı, malzemenin suya karşı dayanımını verir. Karışımın maksimum dane boyutuna bağlı olarak numune boyutları da değişir. Fransız standartlarında, soğuk malzemeler için (emülsiyon ile iyileştirilmiş), geleneksel sıkıştırma yüküne (120 kN, büyük numuneler için) ek olarak bu yükün üçte birinin (40 kN) alındığı ikinci bir sıkıştırma yöntemi mevcuttur. Soğuk karışımlarda, yüksek yük pratikte sağlanamayan boşluk oranlarına sebep olur. Deney işlemi sistematik olarak bu iki DURIEZ yöntemine göre gerçekleştirilmiştir. DURIEZ yöntemiyle elde edilen sonuçlar ve Fransa kılavuzunda verilen ağır sıkıştırma modu değerleri Çizelge 4.4' de verilmiştir. Numune yoğunlukları, RAP malzemenin özelliklerine ve iyileştirme yöntemine bağlıdır.

Emülsiyon ile iyileştirilmiş Sınıf III geri kazanılmış malzemeler (%100 bitümlü RAP) köpük ile iyileştirilmiş Sınıf I malzemelerden daha iyi sıkışmıştır. Bu durum içsel sürtünmenin düşük olmasına bağlıdır. En düşük boşluk oranı malzeme D ve E'de elde edilmiştir. Bu durumun olası sebepleri, gradasyon eğrisinin şekli (Şekil 4.7) ve göreceli olarak yüksek bitüm oranıdır (Çizelge 4.4). Sınıf I malzemelere benzer şekilde davranan Malzeme A'daki düşük sıkıştırılabilirlik kendine özgü gradasyon eğrisi ile açıklanabilir (2 mm ve 10 mm'den geçen yüksek oranda malzeme).

120 kN kullanılarak sıkıştırılmış malzemenin basınç dayanımı sonuçları şartname değerlerini oldukça aşmıştır. Boşluk oranı ile orantılı hale getirilebilir bir değer değildir (Sınıf III malzemeler). Bazı durumlarda şartname limit değere çok yaklaşsa da; suya karşı dayanım değerleri (r/R oranı) sağlanmıştır. Azaltılmış sıkıştırma yükü ile boşluk oranları artmış ve basınç dayanımı değerleri dikkate değer derecede düşmüştür. Bu durum, aynı şekilde r/R oranı için de geçerlidir. Oran Sınıf III malzemelerde, Sınıf I malzemelere göre daha fazla düşüş göstermiştir(beklentiye uygun şekilde).Buradan çıkarılacak temel sonuç şüphesiz ki sıkıştırma yükünün sonuçlar üzerinde çok büyük bir etkisinin olduğudur. Arazide elde edilen boşluk oranları bilinirse (%10 - %15 aralığından ziyade %10'un altı), bu tip malzemeler için düşük sıkıştırma yükü tercih edilebilir.

Çizelge 4.4: DURIEZ deney sonuçları

	Sınıf III				Sınıf I		
Malzeme	A	D	E	Şart.	B	C	Şart.
	120 kN'da sıkıştırma				120 kN'da sıkıştırrma		
Boşluk Oranı (%)	7,4	5,4	2,6	≤14	11,1	8,5	
Basınç Dayanımı							
R(MPa)	7,02	6,15	6,72	≥5	4,22	6,15	≥1,5
R(MPa)	5,59	4,56	5,56		2,54	3,34	
r/R	0,8	0,74	0,83	≥0,70	0,6	0,54	≥0,55
	40 kN'da sıkıştırma				40 kN'da sıkıştırma		
Boşluk Oranı (%)	14,2	11,8	6,7		14,2	13	
Basınç Dayanımı							
R(MPa)	3,83	3,34	4,37		2,71	3,86	
r(MPa)	2,72	2,27	3,37		1,06	1,8	
r/R	0,71	0,68	0,77		0,39	0,47	

Geri kazanılmış malzemelerin laboratuvar özellikleri – Hızlandırılmış kür ve rijitlik

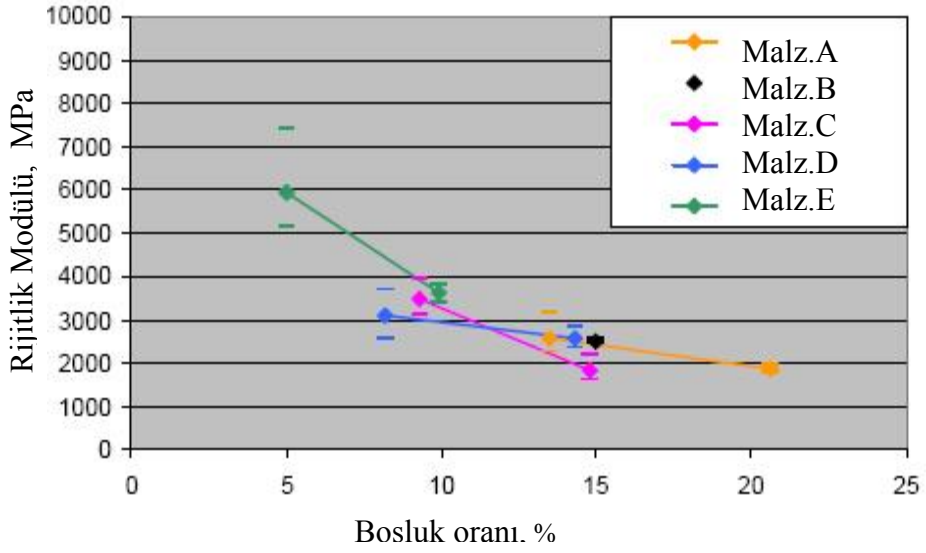
Duriez sıkıştırma yöntemiyle elde edilen iki farklı seviyedeki yoğunluk değerleri rijitlik deneyi için bir başlangıç noktası olarak kullanılmıştır. Her karışım için, zamana bağlı rijitlikteki değişim ikişer numune seti ile gözlenmiş, iki farklı DURIEZ sıkıştırma yönteminde elde edilen paralel numunelerin boşluk oranının yaklaşık olarak aynı olması hedeflenmiştir. Bu durum sadece rijitlik ile basınç dayanımının ilişkisini ortaya koymaz. Aynı zamanda sıkıştırma derecesinin rijitliği nasıl değişeceği konusunda bilgi verir.

Rijitlik deneyi için numuneler, üretimden bir saat sonra yoğurmalı sıkıştırıcı(PCG typeII – NF P 98 252) kullanılarak sıkıştırılmıştır. Sıkıştırma işlemine, malzemenin gerçek kütlesinden hesaplanan teorik yüksekliğe ve hedef boşluk oranına ulaşınca son verilmiştir. Sıkıştırılan numuneler, SCORE projesinde ve diğer araştırmalarda belirlenen kür prosedürüne tabi tutulmuşlardır[29]. Kür işlemi birbirini takip eden iki şartlandırma aşamasından oluşur. Uygulamadan hemen sonraki erken durumu örnekleyen 7 günlük ilk periyot boyunca numuneler 18^{o}C ve %55 bağıl nem oranında tutulur. İkinci periyot boyunca ise kür işlemini hızlandırmak (aşırı sıcaklıkların sebep olabileceği hatalar dikkate alınmamıştır) ve malzemenin nihai dayanımına ulaşabilmesi için numuneler 14 gün boyunca 35^{o}C'de ve %20 bağıl nem ortamında tutulur. Kür işlemi boyunca (3,7,10,14 ve 21'inci günler) numunelere, 15^{o}C -10Hz'de MTS elektro-hidrolik deney düzeneği kullanılarak eksenel basınç dinamik rijitlik modülü deneyi (CA) yapılmıştır. Büyük numuneler (Φ=150 mm, h~115 mm) üzerinde bu şekilde bir yükleme durumunun seçilmesinin nedeni,

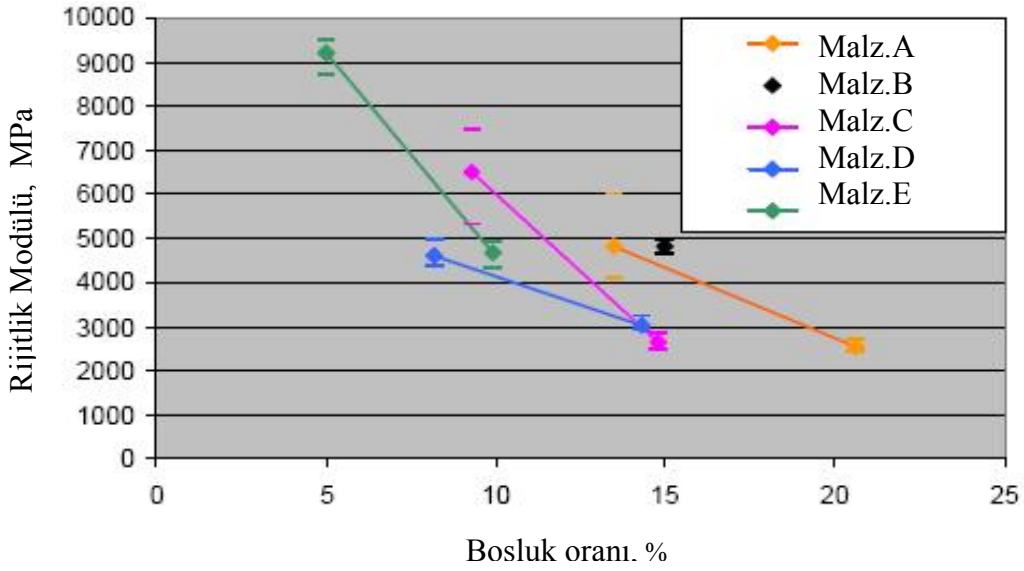
malzemeye minimum hasar vermektir (özellikle ilk günlerde). Numuneler ancak kür olduktan sonra kesmek mümkün olmakta ve numunelerin boyu 50 mm'ye düşürülerek tekrar rijitlik değeri, bu kez dolaylı çekme yöntemiyle belirlenir.

Bu aşamada sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir söylenebilir: 15°C-10Hz'de sinüzodial dolaylı çekme koşullarında ölçülen rijitlik modülü değerleri, aynı sıcaklık ve frekansta eksenel basınç modunda ölçülen değerlerle karşılaştırılabilir ölçüdedir. Ayrıca, ölçülen bu rijitlik değerleri 10°C'de, 124 ms vuruş-zaman kullanılarak ölçülen dolaylı çekme rijitliği değerleriyle karşılaştırılabilir.

Şekil 4.8 ve 4.9'da, 7 ve 21 günlük kür süreleri için rijitlik değerleri-boşluk oranı grafiği çizilmiştir. 7 günlük ilk periyot sonunda (ortam koşullarında) farklı malzemelerde değişkenlik görülmemektedir. C ve E malzemelerinde farklı davranış dışında boşluğun önemli bir etkisi görülmemiştir. İkinci kür periyodunun sonunda değişkenlik daha belirgindir. Malzeme C ve E'de yoğunluk değişimine bağlı olarak rijitlik değişimi çok hızlıdır. Fakat en yüksek rijitlik seviyelerine (aynı boşluk oranlarında) A ve B malzemelerinde ulaşılmıştır. D malzemesi en zayıf malzemedir. RAP malzemelerinin gradasyon farklılıkları, iyileştirme tipi, kalıntı ve eklenen bitüm özellikleri değerlendirilerek karışım kompozisyonu bulguları ile bir korelasyon oluşturmak oldukça karmaşıktır.



Şekil 4.8: Boşluk oranı Rijitlik Modülü ilişkisi -7 günlük kür



Şekil 4.9 Boşluk oranı rijitlik ilişkisi - 21 günlük kür

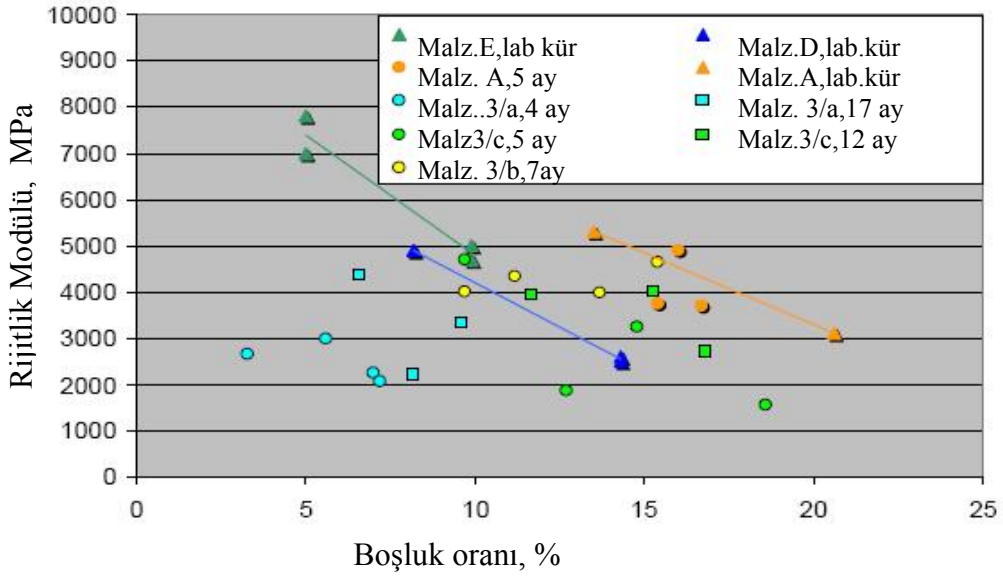
Sınıf III uygulama sahalarından alınan karotların analizi

Uygulama sahası E dışında tüm Sınıf III geri kazanım işlerinde 160/220 sınıf bitüm kullanılarak üretilen emülsiyon ve 0,5 pph çimento ile iyileştirme yapılmıştır. Kalıntı bitümün miktarı ve özellikleri ile eklenen bitümün miktarı uygulama sahası 3/a dışında genellikle birbirine yakındır. Bu uygulama sahasında RAP malzemenin gerçek bağlayıcı miktarının, ilk yapılan analizlerde tahmin edilen değerden oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu ise sonuç karışımın bağlayıcı miktarının projede belirlenen değerin üstüne çıkmasına sebep olmuştur. Şekil 4.10'da araziden alınan karotlardan elde edilen rijitlik değerleri laboratuarda hazırlanarak kür edilmiş A,D ve E malzemelerinden elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır.

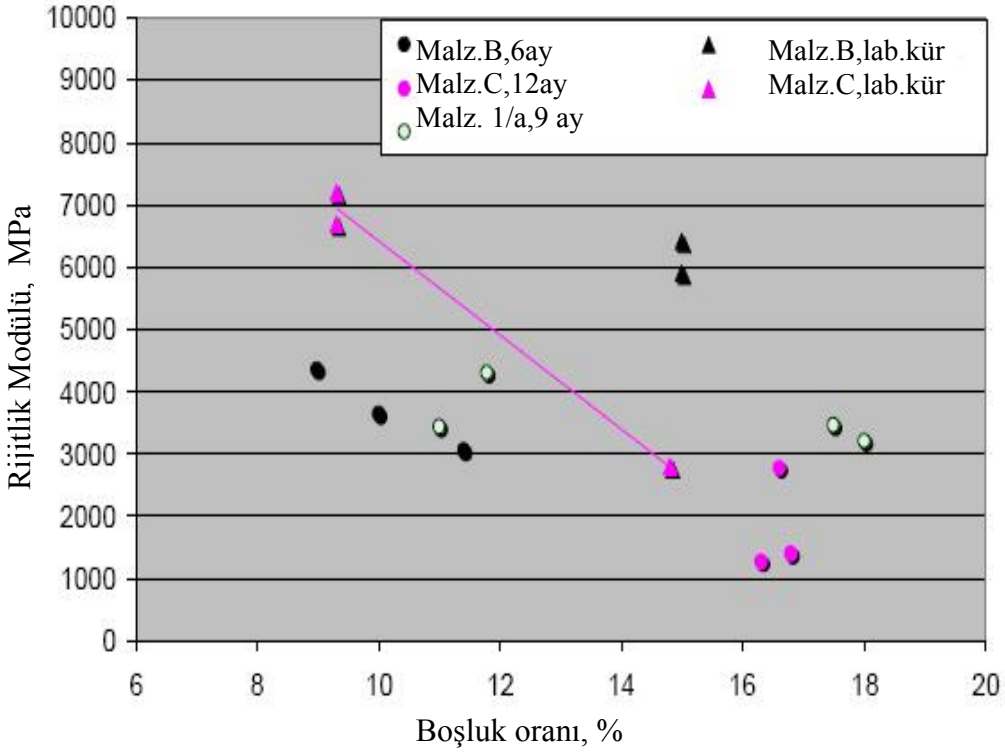
Laboratuarda kür edilen numuneler üzerinde direkt basınç deneyinin mümkün olabildiği tek malzeme A'dır. 5 ay sonra araziden alınan karotlardan elde edilen sonuçlar laboratuar numunelerinden elde edilenlere çok yakındır. 4 veya 7 ay sonra malzeme 3/b ve 3/c'nin rijitlikleri, malzeme A ve D'nin laboratuarda kür edilerek ölçülmüş rijitlik değerlerine ulaşmıştır.

Malzeme 3/c'nin 5 ve 12 ay aralığındaki rijitlik değişimi sınırlı olmuştur. Malzeme 3/a'dan elde edilen sonuçlar hayal kırıklığı yaratmıştır. Göreceli olarak düşük boşluk oranına sahip olmasına rağmen 4 ay sonundaki rijitlik değeri oldukça düşüktür. Yinede zamana bağlı bir iyileşme gözlenmektedir. 17 ay sonra rijitlik değerleri genel eğilime yaklaşmaktadır. Bu davranış karışımın dikkate değer orandaki yüksek bağlayıcı oranıyla açıklanabilir.

Malzeme B için 6 ay sonundaki, malzeme 1/a için 9 ay sonundaki ve malzeme C için 12 ay sonundaki sonuçlar mevcuttur. Şekil 4.11'de bu rijitlik değerleri, malzeme B ve C'nin laboratuarda kür edilerek hazırlanmış numunelerinin sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Araziden alınan ve ekstraksiyon deneyi yapılan karotların yoğunluklarının düşük olmasından dolayı 12 ay sonunda malzeme C'nin ölçülen rijitlik değeri oldukça düşük bulunmuştur; fakat laboratuarda kür edilmiş numunelerin trendini izlemektedir. Bu durum 9 ay sonunda 1/a malzemesi(genellikle C'ile kıyaslanan) için de benzerdir. Malzeme B'nin 6 ay sonundaki rijitlik değeri, laboratuar deney sonuçları kullanılarak yapılan tahminlerinin yarısı mertebesindedir. Bu durumun muhtemel sebebi, malzemenin yüksek oranda heterojen yapısıdır. Dolayısıyla laboratuar ve arazi sonuçları arasında büyük farklar mevcuttur.



Şekil 4.10 : Araziden alınan karotların rijitliğinin laboratuvarda kür edilmiş Sınıf III malzemeleriyle karşılaştırılması



Şekil 4.11 : Araziden alınan karotların rijitliğinin laboratuarda kür edilmiş Sınıf III malzemeleriyle karşılaştırılması

Araştırma Sonuçları

Bu araştırmanın elde edilen en önemli sonucu şüphesiz birim hacim ağırlığın, geri kazanılmış malzemelerin mekanik özellikleri (basınç dayanımı ve rijitlik) üzerindeki etkisidir[29]. Şunun da altı çizilmelidir ki; araziden alınan karotların rijitlik değeri yerine laboratuar numunelerinden elde edilen rijitlik değeri ile boşluk oranı arasında korelasyon kurmak daha uygundur. Bu durum arazideki heterojenliğin fazla olmasına bağlıdır. Heterojenlik de şüphesiz ölçülen rijitlik değerini ve hesaplanan boşluk oranını (bütün numuneler için aynı teorik yapının olduğu kabul edilir) etkilemektedir. Gelecekteki çalışmalarda bu konuya daha dikkat edilmelidir. Hem laboratuarda kür edilmiş numunelerden hem de arazi karotlarından elde edilen sınırlı verilerle bu çalışmada uygulanan hızlandırılmış laboratuar kür yönteminin geçerliliği ile ilgili kesin ve net sonuçlara ulaşmak mümkün değildir. Burada çalışılan değişik tipteki geri kazanım malzemeleri için; hızlandırılmış yöntemle en azından Sınıf III malzemelerde oldukça stabil rijitlik değerleri elde edilmiştir. Sınıf I malzemeler için kür işlemi yavaş gerçekleştiğinden kür işlemi uzatılabilir. Her iki tip malzeme için de kür zamanına bağlı olarak rijitlik artışı, aşırı sıkıştırılmış numunelerde daha fazladır.

Şu anda, laboratuarda elde edilen son rijitlik değerlerine arazide ulaşılabileceği veya bu değerlerin geçilebileceğini söylemek mümkün değildir. İlk bakışta, mantıklı tahminlerle ulaşılabileceği söylenebilir. Tahminin güvenilirliği malzemenin heterojenliğiyle bağlantılıdır.

Başka bir deyişle, Sınıf III malzemeler Sınıf I malzemelere göre daha güvenilirdir. Uygulamada, en yüksek rijitlik değerine ulaşılma süresi önemli derecede malzemenin tipine bağlıdır. Bu süre Sınıf III malzemelerde en kısadır. Bu uygulama alanlarının gözlenmesine devam edilmesi, bu konularda daha fazla sonuca ulaşılmasını sağlayacaktır. Recyclovia için gelecekte yapılacak olan çalışmalar; ömür-döngü maliyeti analizi, yerinde geri kazanım yönteminin yaygınlaştırılması, malzeme özelliklerinin belirlenmesi ve serme ve sıkıştırma yöntemlerinin geliştirilmesidir.

4.2 Türkiye'de geri dönüşüm uygulamaları

Avrupa'da yol yapımında alternatif malzemelerin kullanımı konusunda 1996 yılında Avrupa Komisyonu European Commission in the Community Strategy for Waste Management (COM(96) 399) tarafından uygulanan baskı hissedilir derecede artmıştır. Avrupa Birligi'ne girme yolunda hızla ilerleyen ülkemizde de atık malzemelerin yeniden degerlendirilmesi ve alternatif kullanım alanlarının bulunması önem kazanmıştır[36]. Endüstriyel atıkların inşaat sektöründe kullanılması özellikle büyük hacimlerde kullanıma imkân sağladıgından dolayı, sınırlı doğal kaynakların hızlı tüketimini önleyebilecek ve atıkların sebep olduğu çevre problemlerine bir ölçüde çözüm getirebilecektir.

Gelişmiş ülkelerde hem ekonomik hem de çevresel nedenlerden yeni üretilen asfalta katılan kazılmış asfalt, ülkemizde ya atılmakta ya da ekonomik değerinin çok altında değerlendirilerek asfalta dönüştürülmeden köy yollarında stabilize malzeme olarak kullanılmaktadır. Karayolları Genel Müdürlüğü, Türkiye'de ilk bitümlü sıcak karışım tabakalarının geri dönüşümü uygulamasını 2007 yılında yapmıştır. Kapasite olarak daha fazla sıcak karışım yol yapımı gerçekleştiren yerel yönetimler de geri dönüşüm konusunun maddi ve çevresel boyutta önemini kavramaya başlamış ve başta Istanbul Büyükşehir Belediyesi olmak üzere konuyla ilgili araştırma geliştirme ve uygulama çalışmalarına başlamıştır.

Karayolları Genel Müdürlüğü Çalışmaları

Karayolları Genel Müdürlüğünün sorumluluğunda İstanbul' u Ankara' ya bağlayan O-4 otoyolunun "Sakarya Köprülü Kavşağı - Gümüşova arasında yol üstyapısında oluşan bozulmaların iyileştirilmesi sırasında sökülecek asfalt tabakaların , 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 tespit edilmiştir[30].

Geri dönüşüm işlemi için seçilen yöntem sıcak plentte 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 kaplama malzemesi ısıtılmış yeni agregaya mikserde eklenerek belirli bir süre karıştırıldıktan sonra bitüm ilavesi ile sıcak karışım hazırlanmaktadır. Bu yöntemle yapılan uygulamalarda geri kazanım malzemesinin kullanım oranı % 30'lar civarında kalmaktadır. Ülkemizdeki bu uygulamada geri kazanılmış malzeme plentte soğuk olarak beslenmiştir.

Laboratuar Çalışmaları

Tasarımlarda ve uygulamada kazılan binder malzemesinin kullanılması kararlaştırılmıştır. Kazılmış binder malzemesi üzerinde yapılan ekstraksiyon deneyi sonuçları Çizelge 4.6' da, deney sonucu elde edilen agregaya ait elek analizleri ise Çizelge 4.5' 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 4.7' de verilmiştir. Ayrıca EN 13108-1:2006 standardına göre hesaplamalar yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.5 : Ekstraksiyon sonrası elek analizleri

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 4.6 : Ekstraksiyon sonrası bitüm oranı

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 4.7 : Bitüm deney sonuçları

SIRA NO	DENEY ADI	STANDARDI	Geri Kazanılmış Bitüm	Normal Bitüm B 50/70	(%82) Normal Bitüm + (%18) Geri Kazanılmış Bitüm	TS EN 12591 B 50/70
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 karışım tasarımları için kazılarak elde edilen ve 19mm elekten elenen geri dönüşüm malzemesi ile birlikte Genç Osman taşocağından elde edilen agregalar kullanılmıştır. Çizelge 4.8' de binder ve bitümlü temelde kazılmış malzemenin kullanım oranları ve tasarım değerleri verilmektedir.

Çizelge 4.8 : Tasarım Değerleri

Tasarım Değerleri	Bitümlü Temel	Binder	KTŞ Kriterleri	
			Bitümlü Temel	Binder
Geri Kazanılan malzemenin Kullanım oranı	% 20	% 10	-	-
Optimum Bitüm % Karışımdaki Toplam Bitüm	4,10	4,40	3,80-4,40	4,10-4,70
Karışıma 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

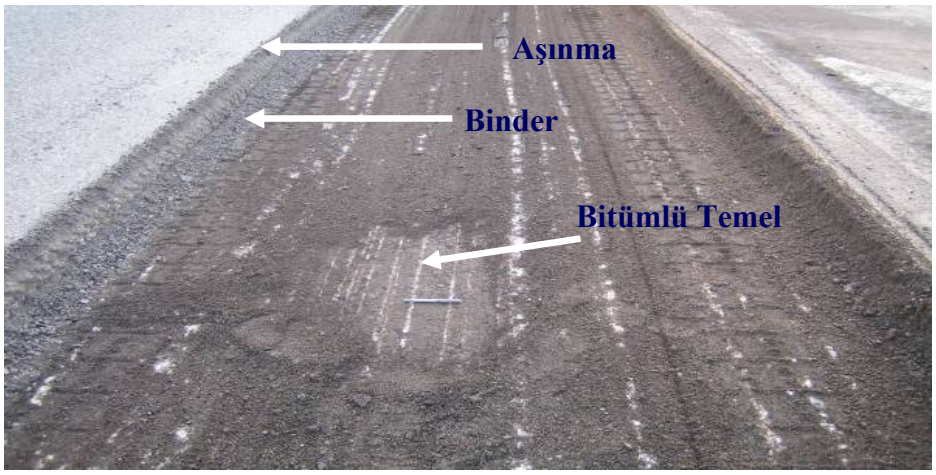
Bozulmuş asfalt kaplamaları asfalt kazıma makineleri ile kazındıktan sonra şantiyeye nakledilip depolanmıştır. Çalışmalar Ankara-İstanbul otoyolu gibi Türkiye'nin en işlek ve hareketli otoyol kesiminde yapıldığı için çalışılan kesimde risk alınmadan gidiş trafiği geliş istikametinin bir şeridine verilerek trafik akışı sağlanmıştır. Şekil 4.12.a, 4.12.b ve 4.12.c de sırasıyla bir istikametteki tüm yol platformunun kazılmış haldeki görüntüsü, kazılan asfalt tabakalarının enkesit şeklindeki görüntüleri ve kazıma işlemi tamamlanmadan önceki yolun genel görüntüsü bulunmaktadır[30].



(a)



(b)



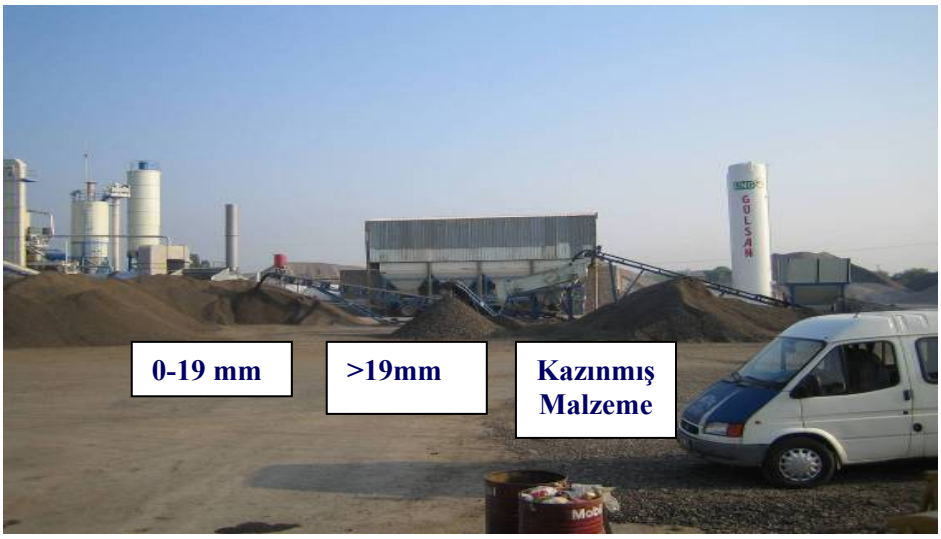
(c)

Şekil 4.12 : TCK 17. Bölge Müdürlüğünce yapılan uygulamada asfalt kaplamaların kazınması

Üretim Çalışmaları

Kazıma malzemesi eleme işleminden geçirilerek 0-19mm ve 19 mm üzeri olarak iki gruba ayrılmıştır. Tasarımda ve imalatta 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 tasarımla belirlenen oranda yeni agrega ve bitümlü bağlayıcı ile karıştırılmış, serilip, sıkıştırılarak imalat tamamlanmıştır.

Uygulamada agrega sıcaklıkları 190-200 ^{0}C, sıcak silo sıcaklıkları 170-180 ^{0}C, karışımın sıcaklığı 155-160 ^{0}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. Şekil 4.13.a plent sahasına yoldan kazılıp getirildikten sonra elenen 0-19 mm ve 19 mm üzeri malzeme ve henüz elenme işleminden geçmemiş malzeme stoklarını gösterirken , Şekil 4.13.b Karayolları 17. Bölge Müdürlüğü'nce yürütülen sıcak plentte geri dönüşüm uygulamasının yapıldığı plent sahasının genel görünümünü yansıtmaktadır.



(a)

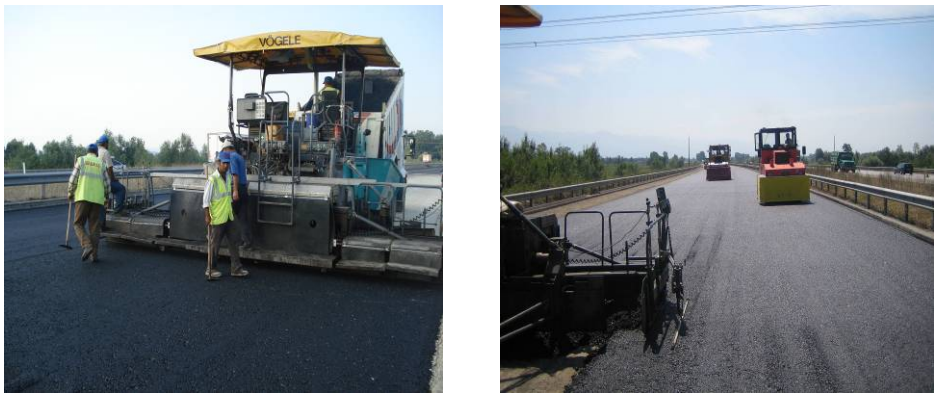


(b)

Şekil 4.13 Karayolları 17. Bölge Müdürlüğünce Uygulama Yapılan Plentten Görüntüler

Uygulamada agrega sıcaklıkları 190-200 ^{0}C, sıcak silo sıcaklıkları 170-180 ^{0}C, karışımın sıcaklığı 155-160 ^{0}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[30].

Şekil 4.14 a ve 4.14.b plentte geri dönüşüm işleminden geçen malzemenin asfalt serici (finişer) ile serilmesi ve sıkıştırılması aşamalarını göstermektedir.



(a) (b)

Şekil 4.14 TCK 17. Bölge Müdürlüğünce Yapılan Uygulamadan Görüntüler

Uygulama detayları

Kazınmış malzemenin gradasyonu ve/veya bitümlü bağlayıcı miktarı değiştiğinde karışım tasarımının tekrar hazırlanması gerekeceğinden, kazınmış asfalt kaplama malzemesinin gradasyonu ve bitümlü bağlayıcı miktarı homojen olmalıdır. Bu nedenle kazımada 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.

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. [31]

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

Uygulama sırasında kullanılan plent ağırlık 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 elavatör yardımıyla eleklere taşınmış, elenerek karıştırıcıda yeni bitümle birleştirilmiştir. Geri kazanım malzemenin kullanım miktarını, tasarıma 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 4.9'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.

Uygulama ve Laboratuvar Sonuçları

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 bir çok 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 4.9 da iki ayrı sathi kaplamalı yol kesiminden alınan karot numunelerine yapılan deneylerin sonucunda elde edilen değerler gösterilmiştir.

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.

Çizelge 4.9 : Sathi Kaplama Karotlarının Deney Sonuçları

DENEY ADI		DENEY SONUÇLARIN ORTALAMASI	
		Ayaş Yolu 36+100-39+600	Akyurt Yolu 0+000-4+400
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			
Elek açıklığı	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, MPa		2536	-

İsfaltın çalışmaları

İsfalt, İstanbul Büyükşehir Belediyesi'ne bağlı olarak çalışan İstanbul Asfalt Fabrikaları San. Ve Tic. A.Ş. nin kısaltmasıdır. İstanbul'da her yıl ortalama olarak 5.000.000 ton asfalt serilmektedir. Bu miktarın ortalama 3.500.000 tona karşılık gelen kısmı İSFALT tarafından üretilmektedir.İstanbul yollarından yılda yaklaşık 500.000 ton asfalt kazılmaktadır. Bunun dışında, İSFALT'ın üretim tesislerinden 50.000 ton ıskarta (üretim makinalarının başlangıç ve duruşlarında ortaya çıkan yarı bitümlü veya bitümsüz agrega) malzeme çıkmaktadır. Genel olarak bakıldığında İSFALT'ın kullanım alanlarından ve yollardan kazılan asfaltlardan yılda yaklaşık olarak 550.000 ton malzeme geri dönüşebilir durumdadır[25].

Geri dönüştürülmeyen malzemenin bir kısmı köy yollarında kullanılmak üzere depolanmakta, diğer kısmı ise döküm sahalarına gönderilmektedir. Her iki durumda da çevre ve görüntü kirliliği oluşmaktadır. Bu asfalt atıkları geri dönüşüm olarak

kullanılmasa bile İstanbul'da ciddi anlamda döküm sahası problemi yaşanmakta, dolayısıyla bu malzemelerin dökülebileceği bir alan bulunmamaktadır.

Bitüm, petrolün damıtılmasından elde edilen bir malzemedir. Bir petrol türevi olduğu için sürekli olarak yurt dışından satın alınmakta ve yıl boyu asfalt üretimi için gerekli olan bitümden dolayı dışa bağımlılık söz konusu olmaktadır.

Özellikle Avrupa yakasında agrega havzaları tükenmek üzeredir. Avrupa Yakasındaki tek havza olan Cebeci agrega havzası her yıl istanbul'a yaklaşık olarak 20.000.000 ton agrega üretmektedir. Ancak yapılan çalışmalarda bu havzanın en fazla 5 yıl ömrü kaldığı ortaya konulmuştur. Bu nedenle Avrupa Yakasındaki agrega sıkıntısına da geri dönüşüm sistemlerinin çözüm olması beklenmektedir.

Bu çalışmalar ile köy yollarına; daha ucuz olan, taş ocaklarında atık vaziyette duran malzemeler serilebilecektir. Ayrıca fabrikalarda biriken ve değerinden oldukça ucuz bir fiyatla satışa sunulan, satılamadığı sürece fabrika sahasında bekleyip kirlilik oluşturan malzeme de değerlendirilmiş olacaktır.

Asfalt üstyapısı geri kazanımında, eski üstyapıdan geri kazanılan malzemeler yeni malzemelerle karıştırılarak işlenmek suretiyle normal şartnamelerin gereklerini karşılayan karışımlar elde etmek mümkündür. Bu konuda her türlü laboratuar ön testleri, karışım tasarımları, uygulama sonucu ortaya çıkan sonuçlar ve ölçüt çalışmaları tamamlanmıştır. Gerek yollardan kazılan asfaltlar, gerekse hendek kaplamalardan bloklar halinde çıkan asfaltların yeniden kırılmadan kullanılma olasılığı bulunmamaktadır. Aynı şekilde fabrikalarda bulunan ıskarta malzemelerin de bir kırıcı tesisten geçmeden kullanılma şansı yoktur. Bu nedenle, bu tür malzemeleri kırarak eleyebilecek özellikte ve kapasitede bir kırıcı temin edilerek malzemeler istenen ebatlarda kırılmıştır.

Bu çalışmada yoldan asfalt kazıma makineleri ile kazılarak elde edilen eski asfaltlar ve asfalt fabrikalarındaki ıskarta asfalt atıkları kırıcılarda kırılıp elenerek karışımda kullanılabilecek standart boyuta getirilmiş ve asfalt üretiminde hammadde olarak kullanılmıştır.

Bu tür projelerde esas olarak asfalt yapımında geri dönüşümlü malzemelerin sıcak asfalt karışımlarında kullanım şartları belirlenmiş ve bu malzemelerin bitümlü sıcak karışımların performansına etkisi saptanmıştır. Alternatif malzemelerin kullanılması, değerli doğal agregaların kullanımını azaltırken, depolama alanlarında biriktirilerek çevre problemleri yaratabilecek atık malzemelerin de ikincil kazanımları

sağlanacaktır. Projede geri dönüştürülmüş malzemelerin kullanımı hem ekonomik hem de çevresel yarar sağlayacaktır.

Bu atıklarla hazırlanacak sıcak asfalt karışımlarında; bitüm miktarı tespit edilmiş, bitümün fiziksel ve kimyasal analizleri yapılmış ve agrega gradasyonu tespit edilmiştir. Orijinal bitümün fiziksel ve kimyasal analizleri sonrası Marshall karışım tasarımı yapılmıştır. Optimum bitüme (orijinal bitüm + geri dönüştürülmüş bitüm) yapılan analiz sonuçlarına göre laboratuvar ortamında briketler üretilmiş ve bu briketlere asfalt performans deneyleri uygulanmıştır. Geleneksel asfalt karışımına performans deneyleri uygulanmış ve bu sonuçlar geri dönüştürülmüş malzemeler ile hazırlanmış asfalt ile karşılaştırılmıştır. Fabrikada uygun reçetede geri dönüşümlü asfalt üretilmiş ve yolda uygulaması yapılmıştır. Proje sonuçları İSFALT fabrikalarında uygulamaya geçirilmiş, buna göre üretim tesislerinde modifikasyonlar yapılmıştır[25].

Blok halinde çıkan asfaltların geri dönüşümü

Yollardaki yama, hendek , tamir çalışmalarından çıkan büyük çaplı blok halindeki asfalt parçaları Anadolu yakasında Ümraniye fabrikasında biriktirilmekte ve burada çalışan dönüşüm makineleri tarafından laboratuar gözetiminde yeniden kullanılabilir asfalta dönüştürülerek uygulama alanlarına gönderilmektedir. (Şekil 4.15 a,b,c)



(a) (b) (c)

Şekil 4.15 Yoldan sökülen asfalt blokların geri dönüştürülmesi

Yollardan blok halinde çıkan asfaltlar, depo alanlarında biriktirilmekte ve Bagela marka ısıtıcı makinelere bloklar halinde atılmaktadır. Mevcut makine içinde hem ısıtılan hem de parçalanan asfalt karışımları makine çıkışında doğrudan kullanılabilmektedir. Yerinde yapılan uygulamalarda son derece pratik olan bu makineler sabit noktalarda depo alanları oluşturularak da kullanılabilmektedirler. Yollarda bulunan bozulma alanlarında herhangi bir ek asfalt ilavesi gerektirmeden yapılan bu tip çalışma ile mevcut asfaltın tekrar kullanımı söz konusu olmaktadır. (Şekil 4.16)



Şekil 4.16 Geri dönüştürülen asfalt blokların yama ve tamir işlerinde kullanımı

Kaplamanın kazılması ve boyutunun düşürülmesi (kırma işlemi)

Kaplamanın sökülmesi amacıyla en yaygın olarak kullanılan yöntem, soğuk düzeltme işlemidir. Bu çalışmada; İstanbul'un değişik yollarından trimmer ile kazılan asfalt kaplamalar kullanılmıştır. Malzemenin yoldan kazıldığı gibi kullanılması durumunda, karışımdaki büyük parçalar, tasarım ve plentte yeniden kullanım (üretim) aşamasında problem olacağından, malzemelerin önceden kırma tesisinde kırılarak hazırlanması zorunluluğu ortaya çıkmıştır. Bu nedenle, geri kazanılacak malzeme; Düzce'de Yiğitler Beton Firmasında NACE marka Rotary Darbeli tip 1 kırıcıda kırılarak (Şekil 4.17. a,b,c,d) Ümraniye Fabrikasına sevk edilmiştir.



(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 4.17 Yoldan kazılan malzemenin Düzce'deki kırıcıda kırılması

Depolama

Geri kazanılmış asfalt kaplama, kırma işleminden sonra yığın yüksekliği 2–3 metreyi geçmeyecek şekilde Ümraniye Fabrikası'nda stok alanında depolanmıştır. Yollardan kazılan malzeme depo alanlarında yükseklikleri, 3 m'yi geçmeyecek şekilde depolanmaktadır (Şekil 4.18.a,b,c,d). Depo sahasına gelen malzemeler boyutlarına göre mümkün olduğu kadar belli kalınlıkları aşmayacak şekilde depolanmakta, malzemenin beklediği zaman içinde sertleşmesine fırsat verilmemektedir.



(a) (b)

(c) (d)

Şekil 4.18 Geri kazanılan asfalt kaplamanın Ümraniye Fabrikası'nda depolanması

Tesiste üretim

Kazınmış asfalt kullanılarak yapılan asfalt üretimi Ümraniye Fabrikası'nda gerçekleşmiştir. Üretim, 150 ton / saat kapasiteli sürekli tip Marini asfalt plentinde yapılmış, geleneksel asfalt üretimi ile aynı yöntem izlenmiştir. Soğuk siloya ayrı bir agrega grubu gibi beslenen kazılmış ve kırıcıda boyutu küçültülmüş asfalt, uzun bantla kurutucuya (dryer) gönderilmiş, kurutucu tambur içine püskürtülen bitüm ile karıştırılarak 155-160°C'de asfalt üretimi gerçekleştirilmiştir. Deneme olarak yapılan toplam üretim miktarı 35 tondur. Bu miktarın % 15 i olan 6 tonu geri dönüşüm malzemesidir. Şekil 4.19. a,b,c,d İsfalt Ümraniye bitümlü sıcak karışım üretim tesislerinden görüntüleri yansıtmaktadır.



(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 4.19 İsfalt Ümraniye bitümlü sıcak karışım üretim tesislerinden görüntüler

Karışımda kullanılan agrega , kazınmış asfalt ve bitüm miktarı aşağıdaki gibidir;

2 No agrega : % 15 1 No agrega : % 35 Taş tozu : % 35

Kazılmış asfalt : % 15 Bitüm : % 4.60 ± 0.3

Tesisteki üretimlerde farklı yöntemler de bulunmaktadır. İSFALT'ın elinde bulunan tesisler içinde 2006 model tam otomatik ve modern tesisler de bulunmaktadır. Bu tesislerde recycle malzemesi direkt olarak miksere girmekte, mikserde ısınmış bulunan agrega ile temas ederek ısısı yükselmekte ve bitümle karışarak daha kaliteli bir ürün ortaya çıkmaktadır[25].

El işçiliği yapılarak serme – sıkıştırma

Sıcak karışımlı geri kazanılmış karışımların serilmesi ve sıkıştırılmasında geleneksel ekipman ve yöntemler kullanılmıştır(Şekil 4.20.a,b).



(a) (b)

Şekil 4.20 : Geri kazanılan asfalt kaplamanın el işçiliğiyle serilmesi

Kuleli Yalnızselvi Caddesinde yama çalışmasında kullanılan geri kazanılmış asfaltta, serme sıcaklığı 135 °C ile 145 °C arasında değişmiştir. El ile yapılan uygulamada 2.5 tonluk silindir kullanılmıştır. Yüzey sıcaklığı 90° C'ye düştüğünde sıkıştırma işlemi tamamlanmıştır. Uygulama tarihinden 1 gün sonra yoldan karot kesilmiş, (Şekil 4.21.a,b) numunenin sıkışma değeri % 98 olarak bulunmuştur. Bulunan değer teknik şartname sınırları dahilindedir.



(a) (b)

Şekil 4.21 Geri kazanılan asfalt kaplamanın seriminden bir gün sonra karot alımı

Asfalt sericilerle (finişerli) serme sıkıştırma



Şekil 4.22 İstanbul şehir içinde asfalt serici ile (finişerle) serim işlemi

Yama yapım çalışmalarında başarılı sonuçlar ortaya çıktığından dolayı, üretim miktarları arttırılarak, finişerli serim çalışmalarına başlanmıştır. Bu amaçla Ümraniye ilçesinde İkbal Caddesi tamamen recycle karışımlı asfalt ile yapılmıştır. Yaklaşık olarak 1.800 ton civarında üretim ve uygulama yapılmıştır(Şekil 4.22).

Bu karışımın içinde % 15 oranında geri dönüşümlü malzeme konulduğundan dolayı 270 ton bozuşmuş asfalt kaplama malzemenin geri dönüşümü sağlanmıştır. Uygulama tarihinden 1 gün sonra yoldan 2 adet karot kesilmiş, numunenin sıkışma değeri % 98.5 ve % 99 olarak bulunmuştur. Sonuçlar, teknik şartnamelerin limit değerleri içinde kalmaktadır. Alınan test sonuçları açısından herhangi bir sakıncalı durum bulunmamaktadır[25].

Yenilenen Karayolları Teknik Şartnamesiyle Geri Dönüşüm Konusunda Getirilen Yenilikler

2006 yılında yenilenmiş şekliyle yürürlüğe giren ve uluslararası alanda yol mühendisliği konusunda araştırma, yapım, bakım ve kontrollük hizmetleri ile ilgili tüm yeni ve kabul görmüş uygulamaların Türkiye' de pratiğe geçiren Karayolları Teknik Şartnamesi taş mastik asfalt, modifiye bitüm, geosentetikler gibi Türkiye' de uygulaması yapılan, fakat şartnamelerde yeralmayan konuların yanında geri dönüşüm konusunda da iki yeni kısım belirlemiştir. Bunlar, Asfalt Kaplamanın Kazınması ve Kazınmış Asfalt Kaplamanın Yeniden Kullanımı ile Yapılan Bitümlü Sıcak Karışım Tabakası adlı kısımlar olup, bu kısımlar aşağıda açıklanmıştır.

Kısım 413. Asfalt Kaplamanın Kazınması

413.02.01 Kazı Makinesi.

Bitümlü Sıcak Karışım kaplamanın kazınması için kullanılacak makine aşağıda belirtilen özelliklere sahip olacaktır.

a. Kazıma makinesi kendinden hareketli/kendi yürür olacaktır.

b. Makine yeterli güce ve çekiş gücüne sahip olacak, kesme derinliğini doğru, tam, düzgün bir şekilde ve süreklilik sağlayacak şekilde sürdürebilecektir.

c. Yolun boyuna ve enine eğimini sağlamak için gereken asfalt kaplama kalınlığını kazıyacak kapasiteye sahip olacaktır.

d. Boyuna ve enine eğim ve kot kontrolünü doğru ve hassas bir şekilde yapacak otomatik sisteme sahip olacaktır.

e. Kazıma sırasında oluşabilecek toz ve parçaların dışarıya gitmesini etkili olarak önleyecek bir sisteme sahip olacaktır.

f. Kazıma hızına uygun olarak kazınan malzemenin tamamını yoldan alıp yükleyecek bir sistemi olacaktır.

g. Kazıma genişliği eşit olacak ve bir seferde, bir şeritin en az 1/3 genişliğini kazıyabilecektir.

413.02.02 Süpürge.

Müteahhit iş yerinde döner özelliğe sahip ve dönme hızı ayarlanılabilen mekanik bir süpürge bulunduracaktır. Kazıma sırasında; kazı makinesi tarafından alınamayan,

yüzeyde veya kenarlarda kalan kazı malzemesi bu süpürge ile toplanacak ve vakumla veya mekanik olarak alınacaktır.

413.02.03 Hava Kompresörü.

Hava Kompresörü, kazınmış yüzeyde kalabilecek tozları ve parçaları temizlemek, kazınmış yüzeyde var ise çatlakları tespit etmek için yeterli kapasiteye sahip olacaktır.

413.03 Yapım Şartları

413.03.01 Kaplama Yüzeyinin Hazırlanması.

Kazıma işlemi başlamadan önce mevcut Bitümlü Sıcak Karışım kaplama yol mutlaka kontrol edilecektir.

Kazıma yapılacak kaplama yüzeyi; toz, toprak ve diğer yabancı maddeler tamamen temizleninceye kadar döner süpürgeler ile süpürülecektir.

413.03.02 Kazıma.

Kazıma işlemi sadece bir şerit boyunca ve düzgün bir yüzey elde edilecek şekilde yapılacaktır.

Kazı makinesinin çalışması sırasında kaplama altında yer alan diğer tabakalara, drenaj, su alma yapılarına, bordur vb yapılara zarar verilmeyecektir. Trafik altındaki yolların kazınması sırasında, tüm kazıma derinliğinin 5 cm' yi geçtiği durumlarda yanda yer alan şerit veya bankette aynı gün içerisinde kazınacaktır.

Tüm kazıma derinliğinin 5 cm ve daha az olduğu durumlarda Müteahhit yan şerit veya banketin kazınmasını bir sonraki gün yapabilir.

Farklı kazıma derinliklerine geçiş; ancak her 7.5 m uzunluğundaki kesimde üniform Olarak 1 cm derinlik artışı yapılarak sağlanacaktır.

Kazıma işlemine başlanılan ve kazımanın sona erdiği noktada mevcut kaplama yüzeyine düzgün bir geçiş yapılması sağlanacaktır. Trafik yönüne dik olacak şekilde keskin bir kazı kenarı bırakılmayacaktır.

Kaplama kenarları, drenaj yapıları, rogar, bordur kenarları, kurp'ta yer alan kesimlerin kazıması sırasında özel dikkat gösterilecektir. Kazı makinesinin yaklaşamadığı kesimlerin kazıları İdare tarafından kabul edilecek yöntemle yapılacaktır.

413.03.03 Yüzey Tolerans Değerleri.

Kazınmış kaplamanın enine kontrolünde, yol eksenine dik olarak konulacak mastar ile bulunacak açıklık ± 6 mm den fazla olmayacaktır.

413.03.04 Kazınmış Yüzeyin Temizlenmesi.

Kazıma işleminin tamamlanmasından hemen sonra yüzey süpürülerek temizlenecektir. Temizleme işleminde gerekirse basınçlı hava kullanılacaktır. Kazınmış yüzeyde, kazınan kaplamadan kalan ince, lokal artık kısımlar bulunmayacaktır[31].

Kısım 414. Kazınmış Asfalt Kaplamanın Yeniden Kullanımı İle Yapılan Bitümlü Sıcak Karışım Tabakası

414.01 Tanım.

Bu kısım, bozulmuş Bitümlü Sıcak Karışım tabakalarının kazılıp ilave yeni agrega ve bitüm ve gerekiyorsa yeniden kullanım katkıları ile uygun oranlarda karıştırılarak yeniden sıcak karışım tabakalarında kullanımını kapsar.

Kazınmış asfalt kaplamanın yeniden kullanımı ile hazırlanan sıcak karışımlar; yüzey tabakası yapımında kullanılmayacaktır.

Karışımda; ağırlık olarak % 25'den fazla kazılmış asfalt kaplama kullanılmayacaktır.

414.02 Malzemeler

İlave edilecek mineral agregaların özellikleri ve bitümlü bağlayıcıların özellikleri hazırlanacak sıcak karışım hangi tabakada kullanılacak ise, o tabakanın şartnamesine uygun olacaktır.

Yeniden kullanım katkısı; ASTM D 4552'de belirtilen esaslara uygun veya yaşlanmış bitümü gerekli standartlara göre iyileştirilecek uygun petrol ürünü katkı olacaktır. Kazınmış asfalt kaplamanın temin edildiği yer belirtilecektir.

414.03 Sıcak Karışım Dizaynı

Karışımda kullanılacak kazılmış asfalt kaplamanın aşağıda belirtilen özellikleri saptanacaktır.

- Ortalama gradasyonu,
- Bitümlü bağlayıcı miktarı,
- Gerek görüldüğünde bitümün özellikleri.

Karışım dizaynında; kazılmış asfalt kaplama malzemesi, yeni agregalar, bitüm, gerekli ise yeniden kullanım katkısı ve soyulma mukavemetini artırıcı katkı kullanılacaktır. Kazılmış asfalt kaplama malzemesi ile hazırlanacak karışım hangi tabakada kullanılacak ise, o tabakaya ait gradasyon ve dizayn kriterleri esas alınarak karışım dizaynı hazırlanacaktır.

414.04 Yapım Şartları.

Kazılmış asfalt kaplama malzemesinin gradasyonu ve bitümlü bağlayıcı miktarı homojen olacaktır. Bu nedenle kazımada kullanılan makineler; aynı tip ve özellikte kazınmış malzeme üretecek şekilde kazıma yapacaktır.
Gradasyonu ve/veya bitümlü bağlayıcı miktarı değiştiğinde karışım dizaynı tekrar hazırlanacaktır. Sıcak karışım hazırlamakta kullanılan, kazılmış asfalt kaplama malzemesinden günde en az bir kez numune alınarak bitüm miktarı ve gradasyonu belirlenecektir.

Isıtılmış agregalar, kazılmış malzemeye de ısı transferi yapacağından, karışımın uniform bir sıcaklıkta olması için, agregalar gerekli sıcaklığa kadar ısıtılacaktır. Karışım hazırlamakta kullanılan plent; kazılmış asfalt kaplama malzemesini dizaynda belirtilen miktarda beslemek için gerekli donanıma sahip olacaktır. Bu kısımda bahsedilmeyen diğer hususlar için kazılmış asfalt kaplaması ile hazırlanan karışım hangi tabakada kullanılacak ise, o tabakanın şartnamesine ait kısımlarda belirtilen esaslar geçerlidir[31].

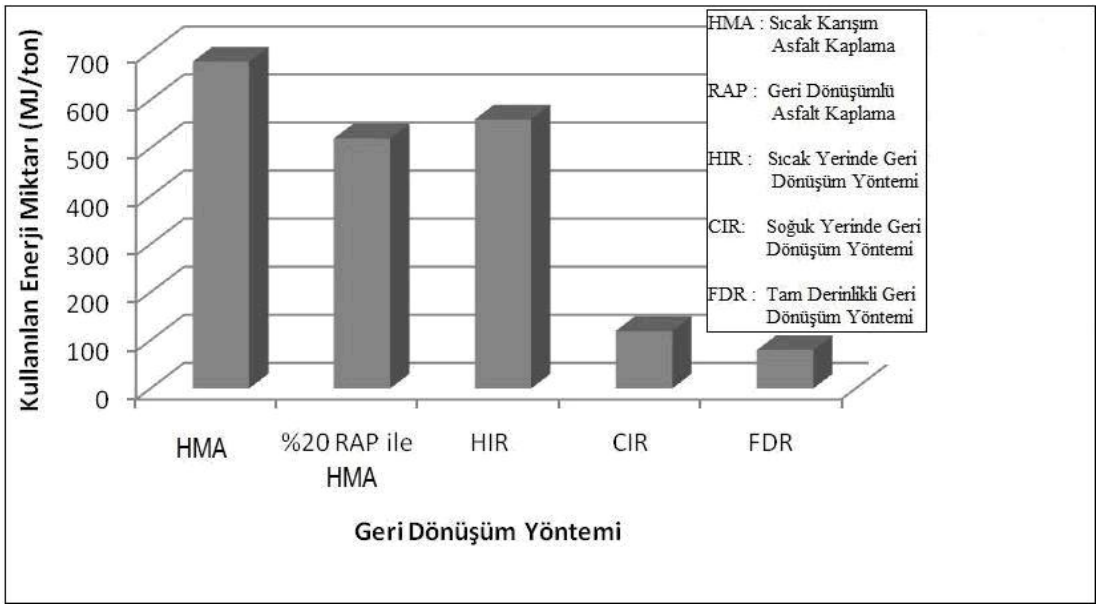
4.3 Geri Dönüşüm Uygulamaları sonucunda elde edilecek çevresel avantajlar

- 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) [32];
- Enerji tasarrufu sağlar;
- Karışım özelliklerini iyileştirir [20].

Yeni ve doğal kaynak kullanımı, doğayı tahrif 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 [33].

Aşağıdaki grafikte(Çizelge 4.10), 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 [22].

Çizelge 4.10 : Enerji kullanımlarının geri dönüşüm türüne göre değişimi [22]



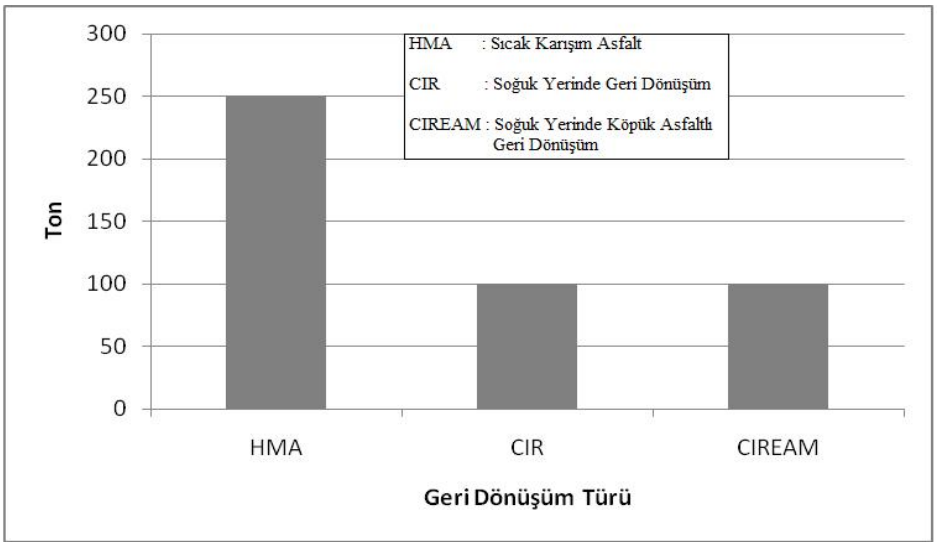
Çevresel etkilerinin diğer yöntemlere göre daha az oluşu ve enerjiyi minimumda tutması nedeniyle Soğuk Yerinde Geri Dönüşüm (CIR) ve Tam Derinlikli Geri Dönüşüm (FDR) yöntemleri, bazı ülkelerde gözle görülür biçimde tercih edilme sebebi olmuştur. Örnek olarak Kanada'da 70'lerin sonunda ilk uygulamalarla başlayan ve zamanla gelişen geri dönüşüm politikalarında bu tercih çok açık görülmektedir. Çizelge 4.11' de Kanada'nın Ontario eyaletinde 1995-2006 yılları arasında yapılan yol iyileştirme çalışmalarında kullanılan geri dönüşüm yöntemleri ve üretim miktarları gösterilmiştir[23].

Çizelge 4.11: 1995-2006 yılları arasında, Kanada'nın Ontario eyaletinde yapılan yol iyileştirme işlemlerinin, türlere göre miktarları [23].

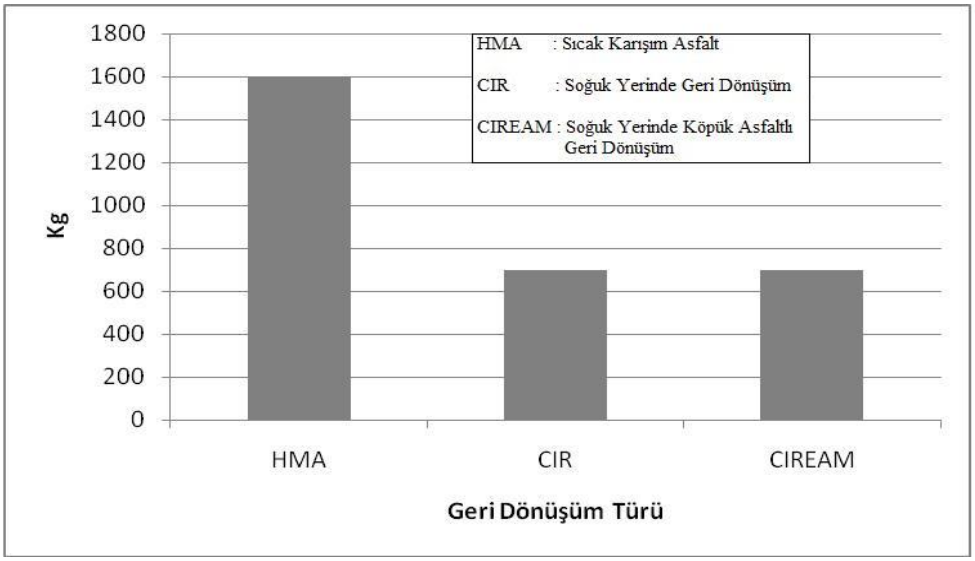
Tam Derinlikli Geri Dönüşüm (FDR)	30.925.196 m^2
Yerinde Sıcak Geri Dönüşüm (HIR)	1.009.607 m^2
Yerinde Soğuk Geri Dönüşüm (CIR)	3.086.715 m^2
Köpük Bitümlü FDR	1.712.655 m^2
Köpük Bitümlü CIR	339.179 m^2
1995 – 2006 arası Toplam	**37.072.352 m^2**

Florida'da yapılan 101,156 $m^{2'}$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.

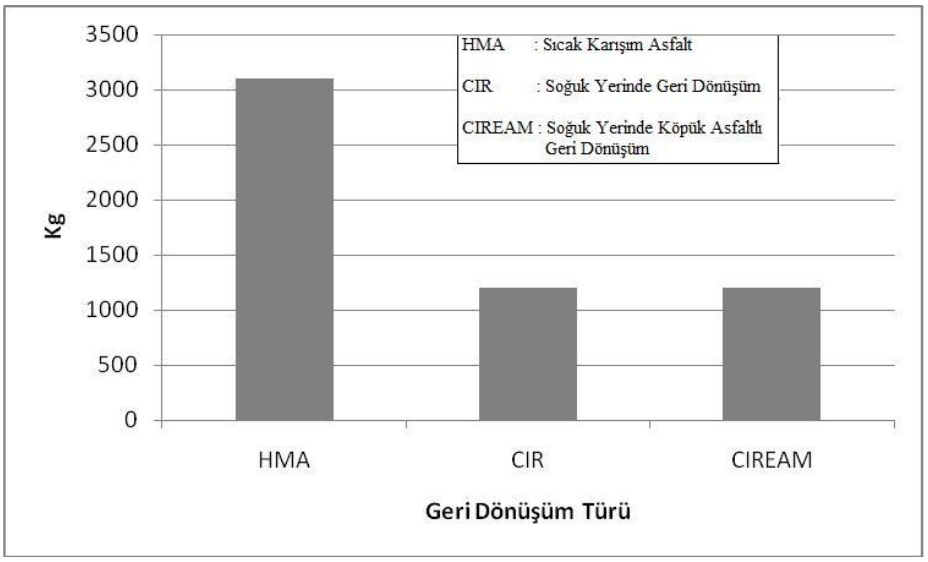
Kalifornia Berkeley Üniversitesi'nden Dr. Horvath, PaLATE (**Pa**vement **L**ife Cycle **A**ssessment for **E**nvironmental and **E**conomic **E**ffects) adını verdiği bir yöntemle, karayolu yapımında kullanılan malzemelerin değerlendirilmesi için karar vericilere destek sağlamaktadır. Bununla, her bir yöntemdeki malzeme tasarruflarını ortaya koymaya, dolayısıyla enerji korunumuna katkı sağlamaya çalışmaktadır. Bu yöntem kullanılarak aşağıdaki emisyonlar CO_2, NO_x, SO_2 hesaplanmış ve kullanılan geri dönüşüm seçeneğine göre karşılaştırılmıştır. Şekil 4.23, 4.24 ve 4.25 geri dönüşüm yöntemleri ve bunlara karşılık kullanılan emisyon miktarlarını grafik



Şekil 4.23 : Geri dönüşüm yönteminin çeşidine göre kullanılan CO_2 miktarı (Kanada'da yapilan uygulamada yaklaşık 2 kilometrelik 2 şeritli yol için)



Şekil 4.24 : Geri dönüşüm yönteminin çeşidine göre kullanılan NO_X miktarı (Kanada'da yapilan uygulamada yaklaşık 2 kilometrelik 2 şeritli yol için)



Şekil 4.25 : Geri dönüşüm yönteminin çeşidine göre kullanılan sülfür miktarı (Kanada'da yapilan uygulamada yaklaşık 2 kilometrelik 2 şeritli yol için)

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 CO_2

440 ton NO_X

9.400 ton SO_2 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 [23].

Daha önce de belirtildiği gibi, geri dönüşümün çevresel koruma sağlaması sürdürülebilirliğe katkı sağlar. Yöntemlerin doğal kaynak kullanımını azaltması ve CO_2 oluşumunu azaltması, temel sürdürülebilirlik geliştirme elementlerindendir. CO_2 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,

CO_2 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.

Norveç, Belçika ve Fransa'daki bazı tedarikçilerin sunumlarından elde edilen kaynaklarda plent emisyonundaki azalmalar görülebilmektedir. Almanya tarafından da emisyondaki düşüş belirtilmiş fakat herhangi bir kaynak sunulmamıştır. Bitüm forumu tarafından yapılan bir açıklamaya göre: 80 ˚C 'nin (176 ˚F) altındaki sıcaklıklarda asfalt emisyonu oluşmamakta, 150 ˚C 'nin (356 ˚F) altındakilerde de sadece 1mg/h oluşmaktadır [9].

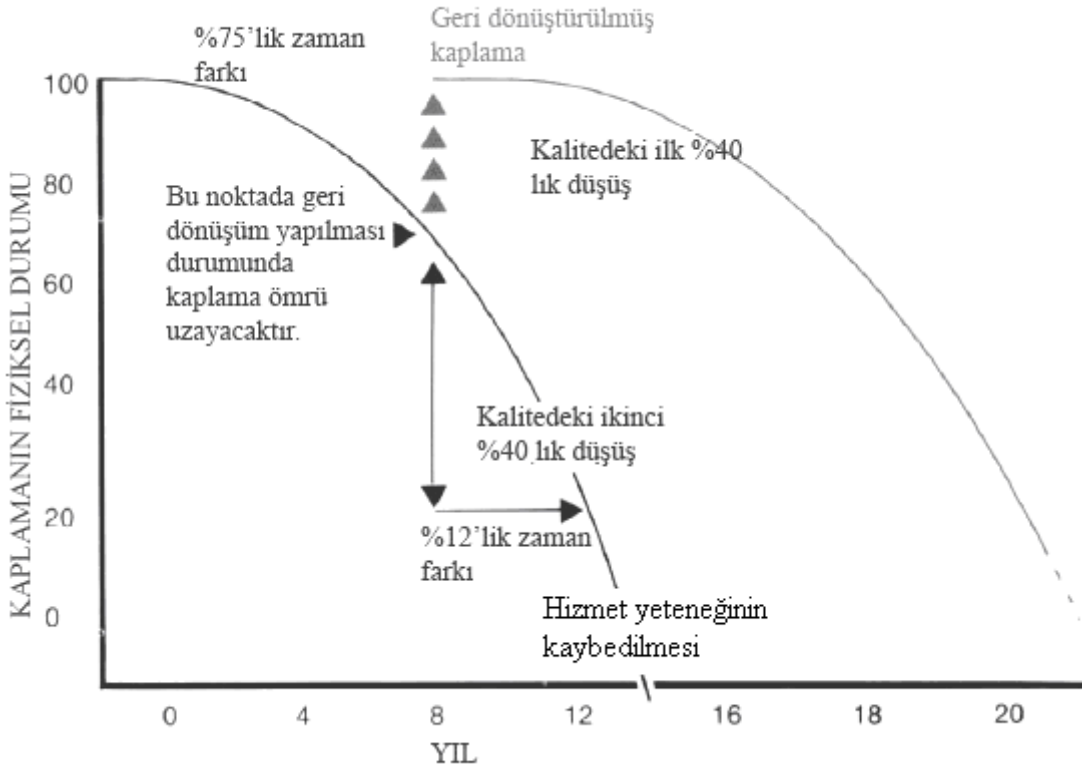
Çizelge 4.12: Ülkelere göre belirtilmiş emisyon azalma yüzdeleri

Emisyon	Norveç	İtalya	Hollanda	Fransa
CO2	31.5%	%30-40	%15-30	23.0%
SO2	-	35.0%	-	18.0%
VOC	-	50.0%	-	19.0%
CO2	28.5%	%10-30	-	-
NOX	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.

4.4 Geri Dönüşüm Uygulamaları sonucunda elde edilecek teknolojik avantajlar

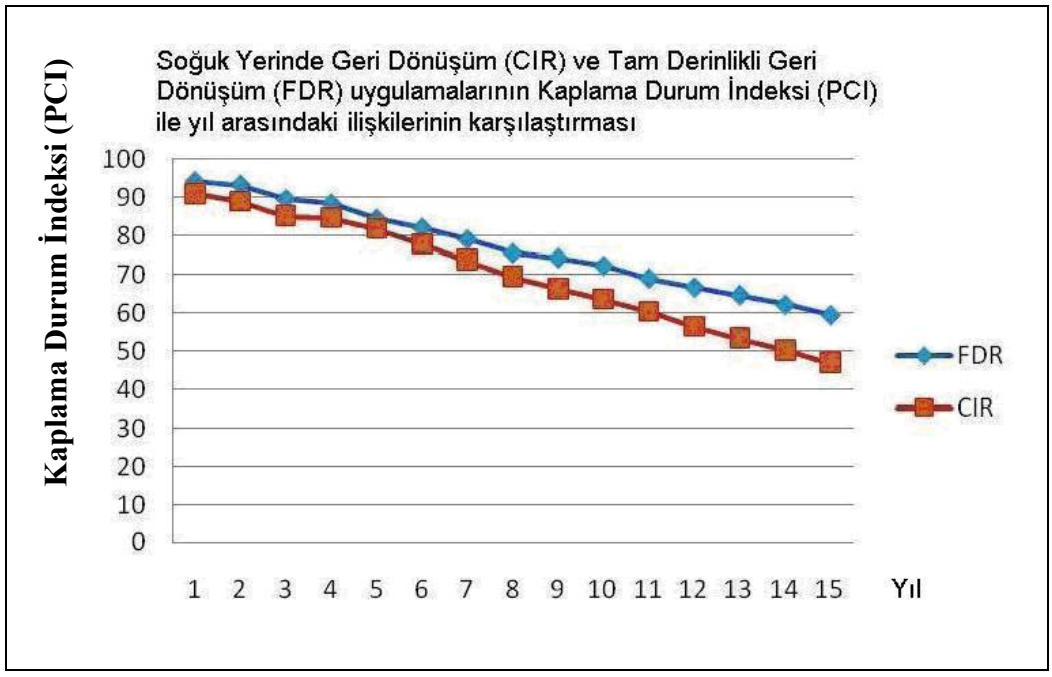
- Kaplamanın son tabakasının kontrolünü sağlar;
- Enine ve boyuna görünüşü (yol geometrisi) düzeltir;
- Çatlakları ıslah eder veya bu sorunları azaltır;
- Elverişli maliyetler yaratır;
- Zaman kazandırır;
- Kimi durumlarda, trafik etkin haldeyken uygulanabilir [20];
- Sürüş kalitesini artırır;



Şekil 4.26 : Kaplama Durumunun Zamanla Değişimi

Karayolu veya yolun yeniden yapımı çok yavaş ve usandırıcı bir işlemdir. Yeni malzemelerin yapı alanına getirilmesi ek trafik ve güvenlik kaygıları doğurur. Doğal agrega her zaman proje alanına yakın yerlerde bulunmayabilir. Ayrıca hassas alttemel tabakası proje için belirlenmiş zamanlarda açık havaya maruz kalır. Oysa RAP, proje alanı içinde temin edilir, işlenir ve kısa zamanda aynı yerde uygulaması yapılabilir.

Daha az enerji tüketilerek yapılabilmesi, uygulama sırasında çevreye daha az zararlı emisyon salınması gibi önemli avantajları olan soğuk yerinde geri dönüşüm yöntemleri uygulama sonrası performansları açısındanda avantajlıdırlar. Şekil 4.27' de Soğuk Yerinde Geri Dönüşüm ve Tam Derinlikli Geri Dönüşüm yöntemlerinin zamana bağlı kaplama durum indeksi performansları görülmektedir. Kaplama Durum İndeksi değerleri ve karşılık gelen kaplama durumu Çizelge 4.13 'de gösterilmiştir.



Şekil 4.27 Tam Derinlikli Geri Dönüşüm (FDR) ile Soğuk Yerinde Geri Dönüşüm (CIR) yöntemlerinin kaplama dayanımlarının zamanla değişimi

Çizelge 4.13 Kaplama Durum İndeksi [34]

PCI (Kaplama Durum İndeksi)	Kaplama Durumu
0-10	Başarısız
10-25	Çok zayıf
25-40	Zayıf
40-55	Orta
55-70	İyi
70-85	Çok iyi
85-100	Mükemmel

Bunun dışında, mevcut kaplamaların yerinden öğütülerek kaldırılması ve kullanılması, yol kotunda değişiklik oluşturmadığından, mevcut yapıların altında, yolla arasında belli bir amaçla bırakılan boşlukların korunmasına yardımcı olur. Ayrıca kaplama kalınlığındaki artış, yol topografisinde değişikliklere neden olur ve kaplamanın su drenajında sorunlar meydana getirir. Geri dönüştürme işlemi ile yenilenen yollarda bu sorun da engellenmiş olur [33].

Burada sunulan bilgiler ışığında, geri dönüşüm işleminin sağladığı yararlar, işlem sırasında uygulanan dönüştürme yönteminin sıcaklığına göre değil uygulama alanına göre (yerinde, plentte), en önemlisi ise geleneksel yeniden yapım uygulamasına göre farklılaşmaktadır.

Geri dönüştürülecek asfalt kaplama malzemelerinin, aynı yolda ya da farklı bir kesimde kullanılsa da yeni karışımın kalitesini olumsuz yönde etkilememesi gerekmektedir. Geri dönüşüm uygulamalarındaki teknolojik gelişmeler aracılığıyla gerek geri dönüştürülecek malzemelerin yeni karışıma girme yüzdesi gerekse aşınma gibi kaplama tabakalarında kullanılma oranı artmaktadır. Geri dönüştürülecek asfalt kaplamaların içerdiği agregaların geri dönüşüm uygulamalarında kullanılabilirliği ile ilgili Dünya Yol Komitesi'nin (The World Road Association -PIARC) 2001 yılında yayınladığı araştırma sonuçları Çizelge 4.14'te gösterilmiştir[35].

Çizelge 4.14: Mevcut asfalt kaplamalarda bulunan agregaların geri dönüşüm uygulamalarında kullanılabilirliği[32]

Mevcut Yol Tabakası	Yeniden Kullanılacağı Yer Agrega Kaynağı	SMA	DA	OA	CSA	GA	CBA
Aşınma	SMA	-	+	+	+	+	+
Aşınma	DA	-	+	+	+	+	+
Binder	OA	-	o	+	+	+	+
Temel	CSA	-	o	o	+	+	+
Temel	GA	-	-	-	o	+	+

Lejand

+ Geri Dönüştürülen malzeme yeni karışımda kullanılabilir
- Geri Dönüştürülen malzeme yeni karışımda kullanılamaz
o Geri Dönüştürülen malzeme yeni karışımda muhtelemen kullanılabilir
SMA Taş Mastik Asfalt (aşınma tabakası)
DA Dense Asphalt (Yoğun gradasyonlu aşınma tabakası)
OA Open Asphalt (Açık gradasyonlu binder tabakası)
CSA Crushed Stone Asphalt (kırmataş bitümlü temel tabakası)
GA Gravel Asphalt (Doğal agregalı bitümlü temel)
CBA Cement Bound Asphalt aggregate (çimento bağlayıcılı granüler temel)

4.5 Geri Dönüşüm Uygulamaları sonucunda elde edilecek ekonomik avantajlar

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 4.15'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 4.16). 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 [36].

Çizelge 4.15 : Yeni karışım ile geri dönüştürülmüş kaplama kullanımının maliyet karşılaştırması

Malzeme	Ton Maliyeti ($)	Kullanım oranı (%)	Ton başına toplam maliyet ($)
Agrega	5	94	4.7
Bağlayıcı bitüm	120	6	7.2
Yeni karışım			**11.**9
Nakliye	2		2
Öğütme	1.7		1.7
Geri dönüşümlü asfalt malzeme (RAP) karışım			**3.7**
1 ton yeni karışım yerine RAP kullanım kazancı			8.2

Çizelge 4.16 : Geri dönüştürülmüş kaplama (RAP) kullanılması durumunda elde edilecek kazanç

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 4.15'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 4.17 ve 4.18'de Amerika'daki bazı geri dönüşüm uygulamalarının ekonomik değerlendirmesi yapılmıştır.

Çizelge 4.17 Amerika Karayolları İdaresi FHWA 1984 ölçümlerine göre, sıcak geri dönüşüm yöntemiyle elde edilen maddi kazançların özeti

Bölge	Toplam tonaj (1000) 1984	Ton başına ortalama 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-merkez	12,000	5.26	18	62,600
Güney-merkez	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 4.18 Geri dönüşüm yoluyla elde edilen maddi kazançlar

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

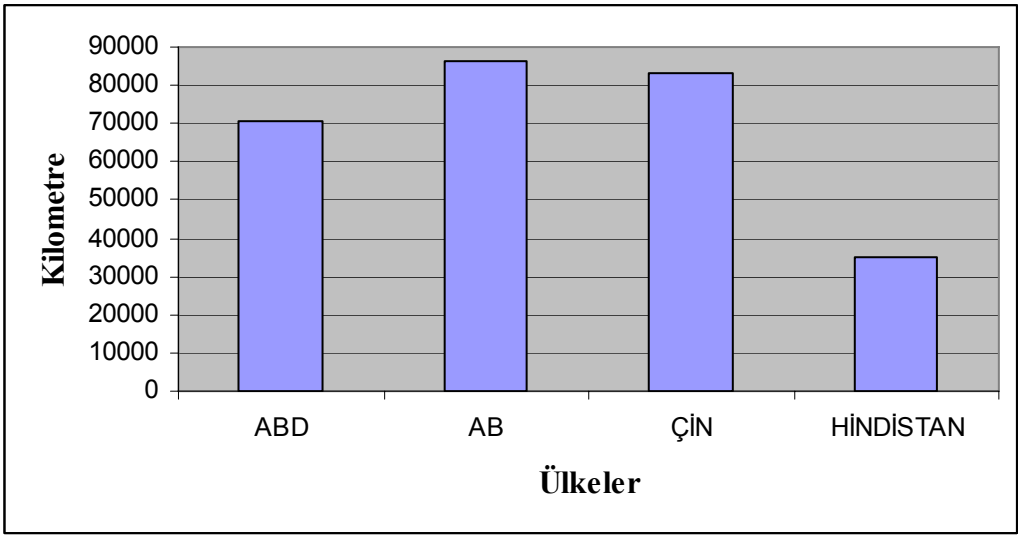
ARRA (Asphalt Recycling and Reclaiming Association) tarafından, yerinde sıcak geri dönüşüm için tanımlanan 3 temel çeşit vardır. Bunlar: yüzeysel geri dönüşüm (surface recycling), yeniden kaplama (repaving) ve yeniden karıştırmadır (remixing).

25mm derinlikteki yüzeysel geri dönüşüm ve geri dönüştürücü malzeme ilavesi, yaklaşık olarak 1.25$/$m^2$'a mal olmaktadır. Yaklaşık 2.05$/$m^2$ maliyet de ilave 25mmlik örtü için gereklidir. İki aşamalı bu yöntem toplamda yaklaşık 3.3$/$m^2$'' ye mal olmaktadır. Yeniden kaplama yönteminde, mevcut kaplamanın üst 25 mm'lik bölümünden geri dönüştürülen malzemenin yeni örtü olarak serilmesi yaklaşık 3.62$/$m^2$'' 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 $/$m^2$''dir. Kanada için tipik yeniden karıştırma maliyeti, 50mm derinlikli iyileştirme için 2.78$ ile 3.70$ arasında bildirilmiştir [36].

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$'lık tasarruf elde edildiği ya da geri dönüşüm araştırmalarına harcanan miktar için fayda-maliyet oranının 5:1 olduğu öngörülebilir. Bozulmuş asfalt kaplamaların çoğunda geri dönüşmüş karışım kullanılacağı ve uygun gelişmiş ekipman ve teknolojilerin olduğu göz önünde bulundurulursa, mevcut tasarrufun en muhafazakar düşünceyle, 100 milyon$'ın üzerine çıktığı söylenebilir [37].

Çizelge 4.19 : 2020 yılı için ülkeler bazında öngörülen karayolları miktarları [10]



Bu çalışmada geri dönüşüm yöntemlerinin birbirlerine göre avantajları, sıralanmış ve işlenmemiş yeni malzeme kullanılmasına göre sağladığı çevresel ve ekonomik avantaj gözler önüne serilmiştir. Buna göre, önümüzdeki 10 yıl içerisinde, Çizelge 4.19' da görülebilecek boyutlara ulaşması öngörülen karayolları miktarları, geri dönüştürülmüş malzeme kullanılarak uygulanan yöntemler yerine geleneksel yöntem ve malzemelerle uygulandığında, çevresel ve maddi olarak uğranabilecek kayıp miktarlarını da gözler önüne sermektedir.

Türkiye'den Ekonomik Karşılaştırma Örneği

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[25] .

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 Belediyesinin 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 karı 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 yönlendirildiginde 45 km'lik yolu giderek dökmekte ve geri dönmektedirler. Ancak fabrika sahalarına geri dönüsüm için gönderildiginde ise ortalama olarak 20 km civarında nakliye yapmaktadirlar.

Döküm sahasina 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 sahalarina her kamyon seferinde ödenen para Istanbul'da 55 TL/adet ile 100 TL/adet arasinda degismektedir. Ortalama olarak 80 TL/adet alinirsa;

550.000 ton / 16 ton : 34.375 adet

34.375 adet * 80 TL/adet : 2.750.000 TL

Asfalt nakliye

Geri dönüsüm asfalt olmadigi takdirde, yoldan kazilan asfaltin yerine yeniden asfalt serimi yapilacakti. Bu nedenle, ayni bölgeye tekrar asfalt nakli gerçeklestirilecekti.

Bu nakliye bedeli ise su sekilde olacakti:

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

Bitümden 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 karı : 3.641.000 TL

Toplam : 23.199.000 TL

Yine 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 [25].

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[25].

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez içerisinde ayrıntılarına genişçe yer verilen değişik yöntemler kullanılarak uygulanabilen karayollarında geri dönüşümün esası, 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. Geri dönüşüm yöntemlerinin uygulanması ile ;

- Doğal kaynakların tüketimini azaltma olanağı (Sustainability)
- Maliyetlerin düşmesi (Economy)
- Üretim sırasında çevreye zararlı olumsuz etkilerin azalmasına olanak vermesi (Environment)
- Gelişen teknolojinin geri dönüşüm uygulamalarının önünü açması (Technology)
- Enerji tasarrufu sağlaması (Energy)
- Üretim ve yapım aşamalarında zaman kazandırması (Time, Economy)
- Yol geometrisini kontrollü düzeltme olanağı (Engineering)
- Trafik etkin haldeyken uygulama imkanı (Practical)

gibi çok önemli ve göz ardı edilemez faydalar sağlanabilmektedir. Yöntemlerin sağladığı avantajların kendi içlerinde kıyaslanmasının da yapılması sonucu, belli sıcaklıkların altında uygulanabiliyor olmasından dolayı enerji tasarrufu ve emisyonları azaltması açısından soğuk uygulamaların sıcaklara göre; taşıma, iş gücü, yolu trafiğe kapatmadan uygulanabilme ve temel tabakasını daha az süre açıkta bırakması açısından yerinde yapılan uygulamaların asfalt plentinde olanlara göre

daha avantajlı olduğu görülmüştür. Geri dönüşüm yöntemlerinin kendi aralarında karşılaştırması Çizelge 5.1'de gösterilmiştir ;

Çizelge 5.1 Geri Dönüşüm Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Geri Dönüşüm Yöntemi	Avantajlar	Dezavantajlar
Soğuk Düzeltme	- Trafik akışını standart yöntemlere göre daha az olumsuz etkiler. -Kaplamanın sürüş konforunu arttırır. -Hem asfalt kaplama hem beton kaplama için kullanılabilir. -Kaplamanın kayma direncini arttırır.	- Yabancı maddelerle zarar görme ihtimali.
Sıcak Yerinde Geri Dönüşüm (Yüzeysel)	- Trafik akışını olumsuz etkilemesi minimumdadır. - Daha az yeni malzemeye ihtiyaç duyar. - Yansıma çatlaklarının oluşumunu geciktirir. - Pürüzlülüğü azaltır.	- Kirliliği olumsuz etkileyen emisyon artışı - Yeni kaplamanın kalite kontrolünün zorluğu - Yüksek ısı nedeniyle bitümün yanma ihtimali
Soğuk Geri Dönüşüm Yöntemleri	-Daha az enerji harcar -İşlem sırasında üretilen zararlı emisyonların azlığı nedeniye çevreye daha az zararlıdır. -Eski kaplama kullanılır. -Yansıma çatlaklarını azaltır. -Dona hassasiyeti azaltır. -Eğer gerekiyorsa taban malzemesinin iyileştirmesine de imkan verir.	-Trafik akışını yerında geri dönüşüm ve soğuk düzeltmeye göre daha olumsuz etkiler. -Kaplama tabakasına ihtiyaç duyar
Sıcak Geri Dönüşüm Yöntemleri	-En az yeni kaplama kadar kaliteli olur. -Eski kaplama kullanılır. - Daha az yeni malzemeye ihtiyaç duyar. -Mevcut drenaj sistemini korur. -Yansıma çatlaklarını azaltır. -Eğer gerekiyorsa taban malzemesinin iyileştirmesine de imkan verir.	-Trafik akışını yerında geri dönüşüm ve soğuk düzeltmeye göre daha olumsuz etkiler.

Bozulmuş kaplamanın sökülerek yeniden değerlendirilmesi işleminde sağlanan bu maddi ve çevresel kazançların dışında en önemli sonuç, bozulmalar görülen yola tekrar tekrar yeni bir tabaka eklenerek oluşturulacak kalınlıkların engellenmesi, dolayısıyla sonunda gerekebilecek topografik düzenlemelerin ortadan kaldırılmasıdır.

Araştırmalar, karayollarında geri dönüşüm yöntemlerinin ilk kez Amerika Birleşik Devletlerinde 1977 yılında denendiğini ve o günden bu yana yapılan uygulamalar sonucunda optimum geri dönüştürülmüş malzeme kullanım oranlarına ulaşıldığını ve bu değerlere göre uygulamalara şartnameler ile bazı kısıtlama ve kurallar getirildiğini, bu sayede büyük ekonomik ve çevresel kazançlar sağlandığını göstermektedir.

Ülkemizden elde edilen uygulama raporlarının ilki 2007 yılına aittir bu da uygulamayı 30 yıl gerisinden takip ediyor olduğumuzun açık bir göstergesidir. Türkiye'de Karayolları Genel Müdürlüğü'nün öncülük yaparak başlattığı geri dönüşümlü asfalt uygulamalarını, ülke genelinde yıllık asfalt üretiminin yaklaşık % 75 'inin kullanıldığı şehir içi yol yapımlarından sorumlu yerel yönetimlerin çok daha aktif biçimde sürdürmesi gerekmektedir. Türkiye'de şehir içi yol yapımında kullanılan yaklaşık 16 milyon ton/yıl asfalt karışımın sadece %1 'inin geri kazanılmış malzeme ile yapılması durumunda BSK üretiminin maliyetinin 45 $/ton olduğu kabul edilirse, ülke ekonomisi yılda yaklaşık 7,2 milyon USD'lik k bir tasarruf sağlayabilecektir [38]. İSFALT 'ın yaptığı çalışmalarda İstanbul'da yıllık yaklaşık 550.000 ton olan yoldan kazılan geri dönüştürülebilir asfalt kaplama tabakası malzemelerinin, sıcak plentte geri dönüşüm yöntemi kullanılarak geri dönüştürülmesiyle yılda yaklaşık 23.199.000 TL' lik bir kazanç sağlanacağı anlaşılmaktadır.

Avrupa Komisyonu, 1996 yılında endüstriyel tesislerin izin ve kontrol işlemlerinin düzenlenmesine yönelik kuralları ortaya koyan, Entegre Kirliliğin Önlenmesi ve Kontrolü Yönetmeliğini (Council Directive on Integrated Pollution Prevention Control – IPPC) yayınlamıştır. Yönetmelik özellikle kirliliğin kaynakta kontrolü üzerinde durmakta, kirliliği azaltma ve atıkların geri kazanımı gibi önlemlere yoğunlaşmaktadır. İşletmelerden çevrenin korunması için en uygun teknolojileri (Best Available Technologies BAT) kullanmaları beklenmektedir. AB'ye üye

ülkeler, yönetmelik koşullarını 30 Ekim 1999 tarihi itibarıyla kendi ülke kanunlarına aktarmışlardır. Çevreyle uyumlu ve çevre dostu aktivitelerde bulunmak günümüzde tüm dünyada tercihli olmak yerine zorunlu hale gelmektedir. Bu süreç , asfalt üretimi sektörü kuruluşlarında, üretim sırasında ortaya çıkan çevresel olumsuz etkileri ve atıkları azaltma ve geri kazanma yönünde değişime zorlamaktadır. Ülkemizde de, henüz yok denecek kadar az uygulaması olan sökülen asfalt tabakalarının geri dönüştürülerek yeniden kullanılması işleminin yakın zamanda zorunlu hale geleceği, eski ve yeni her asfalt üretim tesisinin, en uygun geri dönüşüm teknolojilerine sahip olmaya zorlanacağı açıktır.

Dünya genelinde 30 yılı aşkın geçmişi olan mevcut asfalt kaplamaların geri dönüşümü uygulamalarının; Amerika, Kanada, Fransa, Almanya, Hollanda, Japonya, İngiltere, İspanya gibi ekonomik olarak güçlü, teknolojik altyapısı gelişmiş ve çevre bilinci daha üst düzeyde olan ülkelerde kabul görmesi ve pratikte uygulamaya geçişi çok daha hızlı olmuş, devlet kurumları ve yerel idarelerce adaptasyonu için yasal ve finansal destek sağlanmıştır. Avrupa'nın diğer ülkelerinde de giderek artan oranda geri dönüşümlü asfalt kaplama uygulamasına geçiş başlamıştır. Çevreye olan etkisinin azlığı, daha az enerji tüketilerek yapılabilmesi ve daha az zamanda tamamlanabilmesi nedeniyle soğuk yerinde geri dönüşüm yöntemlerinden ; Soğuk Yerinde Geri Dönüşüm (CIR) ve Tam Derinlikli Geri Dönüşüm (FDR) yöntemleri gelişmiş ülkelerde daha çok tercih edilir durumdayken, ülkemizde bugüne kadar yerinde geri dönüşüm yöntemi kullanılarak bir uygulama yapılmamıştır. Türkiye'de şimdiye kadar yapılan uygulamalar plentte sıcak geri dönüşüm uygulamaları olup, Karayolları Genel Müdürlüğü ve İstanbul Büyükşehir Belediyesi kuruluşlarından (İSFALT) 'ın konuyla ilgili Ar-Ge ve uygulama çalışmaları, gerek böylesine önemli bir yapım tekniğinin ülkemizde yerleşmesi gerekse diğer kurumlara öncülük yaparak cesaretlendirmesi açısından önemlidir.

Dünyada her yıl yaklaşık 1,5 milyar ton asfalt üretimi için yaklaşık 1,425 milyon ton agrega ve 75 milyon ton bitüm(bağlayıcı) tüketilmektedir. Sökülen asfalt kaplamaların oluşturduğu yığınlar doğaya kontrolsüz olarak terk edilmektedir. Asfalt karışımın geri kazanılmasındaki zorlukların aşılması için öncelikle ve özellikle geri kazanım bilinci oluşturulması ve yaygınlaştırılması konusunda yaklaşımlar geliştirilmeli, bunun için toplumun ilgili tüm kesimleri sorumluluk almalıdır.

KAYNAKLAR

[1] **Asphalt Institute**,The History of the Asphalt ,Annual Magazine 2002

[2] **WAPA Asphalt Pavement Guide**, 2002

[3] **National Asphalt Pavement Association**, 2004

[4] **Kuloğlu N,** 2001. Bitüm ve Bitümlü Sıcak Karısımların Rijitliğine Etki Eden Parametreler, Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Inşaat Mühendisliği Bölümü, Elazığ.

[5] **Sayın H, Tanyıldızı H,** 2006. Bitümlü Sıcak Karışımların Rijitliğinin Bulanık Mantık ile Bulunması, Gazi Üni. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 21, NO 4, 645-649.

[6] **Ilıcalı M, Tayfur S, Özen H, Sönmez İ, Eren K,** 2001. Asfalt ve Uygulamaları, İSFALT yayınları, İstanbul.

[7] **Lav A, H,** Bitüm El Kitabı, İsfalt Yayınları, İstanbul.

[8] **Arıkan E**, Sathi Kaplamalı Yollarda Asfalt Emülsiyonu Kullanımının Avantajları.

[9] **Federal Highway Administration,** 2008. Internatioanl technology scanning program, Warm mix asphalt: europian practice, US Department of Transportation, february 2008

[10] **Salomon D,** 2008. Extending Pavement Service Life with Asphalt Emulsions, AEMA 35. Yıllık Toplantısı, 21 Şubat 2008, Meksika.

[11] **Kuloğlu N, Kök B, V, Durmaz B,** 2006. Beton Asfaltın Farklı Türden Temeller Üzerindeki Serbest Basınç Mukavemet Değerinin Değişimi, Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Der., 18 (1), 91-97, 2006.

[12] **Şengöz B, Ağar E,** 2005. Asfalt film kalınlığının bitümlü karışımların yaşlanmasına etkisi, itüdergisi/*d* mühendislik Cilt:4, Sayı:1, 71-82 Şubat 2005.

[13] **Saltan M, Fındık S,** Geniş Tabanlı Ve Çift Tekerlekli Ağır Taşıtların Karayolu Esnek Üst Yapıları Üzerindeki Etkilerininincelenmesi, S.Demirel Üniversitesi, Inşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta.

[14] **ARRA** Asphalt Recycling and Reclaiming Association Basic Manual 2001

[15] **Aravind, K. & Das, A,** 2007. Bituminous pavement recycling, K Aravind, A Das – Journal of Materials in Civil Engineering, 2007

[16] **Jacobson , T,** 2002. Cold Recycling Of Asphalt Pavement - Mix In Plant, Swedish National Road and Transport Research Institute, SE-581 95 Linköping, İsveç.

[17] **Whiteoak, D,** 1990 Shell Bitüm El Kitabı

[18] **Pamuk, İ,** 1986. Bozulmuş bitümlü yol kaplamalarının yeniden kullanılması Yönteminin Türkiye'de Uygulanabilirliği, İstanbul Teknik Üniversitesi, Doktora Tezi, 1986.

[19] <**www.swiftconference.org/captg/09presentations/Wednesday PM JohnEmery.pdf> Emery John ,** Cold in – place asphalt recycling, full depth recycling and hot in place recycling , alindığı tarih 08 Kasım 2009

[20] <**http://www.arra.org/presentations/cold_recycling.pdf** >, alındığı tarih 23.06.2009.

[21] **Cold recycling mixing plant KMA 200** <http://www.wirtgen.de/en/produkte/kaltrecycler/kma_200/KMA200_k_Produktseite.html> alındığı tarih 07 Aralık 2009

[22] **Rebuilding by Reclaiming-** the FDR process, better roads magazine, 2001.

[23] **Ed Kearney P. E,** 2008, A carier In recycling, NYSDOT, Asfalt Enstitüsü, Gorman Bros. Inc., Wirtgen America Inc. ve Consultant Sunum: ARRA 32. Yıllık Toplantısı, Şubat 22, 2008.

[24] **Ilık Karışım Asfalt Uygulamaları ve Performansı**, Zeliha Temren 5.Ulusal Asfalt Sempozyumu Bildiriler Kasım 2009

[25] **Asfaltta Geri Dönüşüm**, İsfalt 2009 , İstanbul Büyükşehir Belediyesi

[26] < **www.worldhighways.com** > re-using asphalt (RAP), road recycling, alındığı tarih 21.10.2009.

[27] <**http://www.fhwa.dot.gov/PAVEMENT/recycling/rap/index.cfm**> alındığı tarih 20.09.2009.

[28] **Arguments to stimulate the government to promote asphalt reuse and recycling European Asphalt Pavement Association Position Paper** , 21 Mayis 2008

[29] **Yerinde Soğuk Yöntemle Geri Kazanılan Asfaltın Performansının Değerlendirilmesi**, S. Soliman, B. Eckmann 5.Ulusal Asfalt Sempozyumu Bildiriler Kasım 2009

[30] **Kazınmış Asfalt Kaplamaların Yeniden Kullanımı KGM Uygulamaları** A.Gürkan GÜNGÖR, Fatma ORHAN, Serdar KAŞAK, Aysun ÇALIŞKOL, Gönül YÖNTER, 5.Ulusal Asfalt Sempozyumu Bildiriler Kasım 2009

[31] **Karayolları Teknik Şartnamesi**, (2006) Kısım 413 ve Kısım 414

[32] **Pareira, P., Santos, L., P.,** 2006. Technical-Economical Evaluation of Pavement Recycling Alternatives, Portekiz, Mart 2006.

[33] **Paul J., Cosentino ve Edward H., Kalajian,** 2001. Developing specifications for using recycled asphalt pavement as base, subbase or general fill materials Final Report, Florida Department of Transportation.

[34] **Halsted, P.E,** 2008. Long-Term Durability of Full-Depth Reclamation Using Portland Cement, AEMA-ARRA-ISSA 2008 Yıllık Toplantısı

[35] **The World Road Association (PIARC) (2001)**. *Recycling of Existing Flexible Pavements,* PIARC Technical Committee on Road Pavements (C7/8), p. 76, Paris, France

[36] <**http://www.fhwa.dot.gov/pavement/recycling/98042/chpt_04.pdf**> chapter4 , economics of recycling, alındığı tarih 13.09.2009

[37] **US Department of Transportation**, Asphalt Pavement Recycling.

[38] **Asfaltın Geri Kazanılması** Mehmet Nezir GENCER, Gülseren KUNDURACIOĞLU 5.Ulusal Asfalt Sempozyumu Bildiriler Kasım 2009

ÖZGEÇMİŞ

1974 yılında Zonguldak'ta doğmuştur. 1984 yılında Zonguldak Bahçelievler İlkokulun'dan mezun olduktan sonra Ankara Anıttepe Lisesi'ne devam etmiştir.1998 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünden mezun olmuştur.

Üniversite öğrenimini tamamladıktan sonra Karayolları Genel Müdürlüğü'nde meslek hayatına başladı.1998 – 2004 yılları arasında Karayolları Genel Müdürlüğü'ne bağlı çeşitli bölgelerde Üstyapı Mühendisi, Zemin Mekaniği Mühendisi, Kontrol Mühendisi görevlerini sürdürdükten sonra kurumdan ayrılarak özel sektöre geçmiştir. Halen özel sektörde yurtdışında meslek hayatını sürdürmektedir.