

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**BOZULMUŞ ASFALT KAPLAMALARIN GERİ DÖNÜŞÜM MALİYET
ANALİZİ VE OPTİMUM GERİ KAZANIM MESAFESİNİN
ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Müh. Adalet Selin ARAPOĞLU

**EYLÜL 2015
TRABZON**



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**BOZULMUŞ ASFALT KAPLAMALARIN GERİ DÖNÜŞÜM MALİYET ANALİZİ VE
OPTİMUM GERİ KAZANIM MESAFESİNİN ARAŞTIRILMASI**

Adalet Selin ARAPOĞLU

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"İNŞAAT YÜKSEK MÜHENDİSLİĞİ"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 31 / 08 / 2015

Tezin Savunma Tarihi : 30 / 09 / 2015

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Muhammet Vefa AKPINAR

Trabzon 2015

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında
Adalet Selin ARAPOĞLU Tarafından Hazırlanan**

**BOZULMUŞ ASFALT KAPLAMALARIN GERİ DÖNÜŞÜM MALİYET ANALİZİ VE
OPTİMUM GERİ KAZANIM MESAFESİNİN ARAŞTIRILMASI**

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 01/ 09/ 2015 gün ve 1617 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Doç. Dr. Muhammet Vefa AKPINAR

Üye : Yrd. Doç. Dr. Zekai ANGIN

Üye : Yrd. Doç. Dr. Orhan KARPUZ


.....

.....

.....

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Lisans öğrenimim sürecinde hep hayalimde olan Karadeniz Teknik Üniversitesinde, Yüksek lisans öğrenimim de gerçek oldu. Bu süreçte danışman hocam olan, bilgisini tecrübelerini ve zamanını hiç esirgemeyen Sayın Muhammet Vefa AKPINAR'a, bana olan sonsuz hoşgörü ve yardımlarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Fakültede derslerini alma şansı yakaladığım değerli hocalarım Prof. Dr. Bayram Ali UZUNER ve Doç. Dr. Şeref ORUÇ'a, bu süreçte hep yanında olan aileme ve arkadaşlarıma, çalışma süresince sürekli iletişim içinde bulunduğum bilgi ve tecrübelerini benden hiç esirgemeyen Nalbantoğlu şirketi araştırma teknisyeni Seyfi AYTAÇ'a teşekkürlerimi sunarım.

Bu tezimi annem Seher ARAPOĞLU'na armağan ediyorum.

Adalet Selin ARAPOĞLU
Trabzon, 2015

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Bozulmuş Asfalt Kaplamaların Geri Dönüşüm Maliyet Analizi ve Optimum Geri Kazanım Mesafesinin Araştırılması” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr Muhammet Vefa AKPINAR’ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvar da yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma süresince bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 30/09/2015

Adalet Selin ARAPOĞLU

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VIII
SUMMARY	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
TABLolar DİZİNİ.....	XII
SEMBOLLER DİZİNİ	XIV
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Türkiye Asfalt Endüstrisi ve Gelişimi	3
1.3. Asfalt Endüstrisinin Üretim Kapasitesi ve Asfalt Plentleri	4
1.4. Bitüm ve Bitümlü Bağlayıcı Üretimi.....	5
1.5. Agrega Üretimi	7
1.6. Asfalt Bakım Birim Maliyetleri.....	10
1.7. Bitümlü Sıcak Karışım Yollar Tabakaları ve Özellikleri.....	12
1.8. Sathi Kaplamalı Yollar	16
1.9. Yol Üstyapısında Bozulmalar.....	17
1.9.1. Çatlaklar.....	18
1.9.1.1. Yorulma Çatlakları	19
1.9.1.2. Blok Çatlakları.....	20
1.9.1.3. Kenar Çatlakları.....	21
1.9.1.4. Yansıma Çatlakları	22
1.9.1.5. Enine Çatlaklar	23
1.9.1.6. Boyuna Çatlaklar	24
1.9.1.7. Kayma Çatlakları.....	25
1.9.2. Oturma-Tekerlek İzi ve Dalgalanma	25
1.9.2.1. Oturma	26
1.9.2.2. Tekerlek İzi.....	26
1.9.2.3. Dalgalanma	27
1.9.3. Ayrılma ve Parçalanmalar	28

1.9.4.	Kayma Direnci Kaybı ve Kusmalar.....	29
2.	GERİ DÖNÜŞÜM.....	30
2.1.	Giriş	30
2.2.	Neden Geri Dönüşüm	30
2.3.	Geri Dönüşüm Tekniği Gelişim Süreci	31
2.3.2.	Dünyada Geri Dönüşüm	33
2.4.	Kazınmış Asfalt Kaplamadaki Bitüm Oranı.....	39
2.5.	Geri Dönüşüm Uygulanacak Kazınmış Asfalt Kaplama Malzemelerinin Hazırlık Süreci, Kullanım Ömrü ve Performansı	41
2.6.	Yol Tabakalarında Uygulanan Geri Dönüşüm Miktarları	42
2.7.	Geri Dönüşüm ile Malzemelerden Elde Edilen Tasarruf	43
2.8.	Geri Dönüşüm İçin Sağlanması Gereken Şartlar.....	43
2.9.	%100 Geri Dönüşümdeki Yanlış Algılama	48
2.10.	Asfalt Geri Dönüşümünde Atık Madde Kullanımı.....	48
2.11.	Geri Dönüşüm Yöntemleri	50
2.11.1.	Soğuk Düzeltme	51
2.11.2.	Sıcak Geri Dönüşüm.....	52
2.11.3.	Sıcak Yerinde Geri Dönüşüm.....	53
2.11.3.1.	Yüzeysel Geri Dönüşüm.....	55
2.11.3.2.	Yeniden Karıştırma Yöntemi.....	55
2.11.3.3.	Yeniden Kaplama Yöntemi	56
2.11.4.	Soğuk Geri Dönüşüm	56
2.11.4.1.	Soğuk Yerinde Geri Dönüşüm	58
2.11.4.2.	Soğuk Merkezi Plentte Geri Dönüşüm.....	58
2.11.5.	Tam Derinlikten Geri Kazanma	59
2.12.	Bozulma Türüne Göre Geri Dönüşüm Yöntemi Seçimi.....	60
2.13.	Geri Kazanım Süreci	61
2.13.1.	Asfalt Kaplamanın Kazılması.....	61
2.13.1.1.	Agrega Halindeki Asfalt Kaplama Atığı	62
2.13.1.2.	Kütleler Halindeki Asfalt Kaplama Atığı.....	63
2.13.2.	Kazılan Malzemenin Depolanması.....	63
2.13.3.	Kazınan Malzemenin Yeniden Kırılması	64
2.13.4.	Geri Dönüşüm Asfaltın (RAP) Üretilmesi	65
2.13.4.1.	Direk Elevatörden (Kaldırıcı, Asansör) Besleme Yapılması.....	66
2.13.4.2.	Direk Mikserden Besleme Yapılması.....	67

2.13.4.3.	Kurutucudaki Giriş ile Besleme Yapılması	68
2.14.	Malzemenin Değerlendirilmesi ve Tasarım Yöntemi	70
2.14.1.	Agrega Karışımı İçin Gereken Asfalt Miktarının (Pc) Bulunması.....	71
2.14.2.	Karışımındaki Yeni Asfalt Miktarının (Pr) Bulunması	71
3.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	73
3.1.	Geleneksel Sıcak Karışım Yol Maliyet Analizi.....	73
3.2.	Geri Dönüşüm Malzemesi Kullanılarak Hazırlanan Sıcak Bitümlü Karışım Yol Maliyet Analizi	82
3.2.1.	% 20 RAP Malzemesine Göre Hazırlanan Binder Tabakasındaki Bitüm ve Agregası Miktarı ve Maliyeti	82
3.2.2.	% 20 RAP Malzemesine Göre Hazırlanan Bitümlü Temel Tabakasındaki Agregası Miktarı ve Maliyeti.....	83
3.3.	Kazıma Maliyeti	86
3.4.	Konkasörle Kırma ve Eleme Maliyeti	87
3.5.	Geri Dönüşüm Malzemesinin Plentte Besleme Durumu ve Yaklaşık İşletme Giderinin Hesaplanması.....	87
3.5.1.	Ilık Besleme Yöntemi	88
3.5.2.	Soğuk Besleme Yöntemi	88
3.6.	Geri Dönüşüm Malzemesinin Plente Optimum Taşınma Mesafesinin Belirlenmesi.....	90
3.6.1.	Plentin Ilık Beslenmesi Durumunda.....	90
3.6.2.	Plentin Soğuk Beslenmesi Durumunda	94
3.6.3.	Asfalt Nakliyesi İçin Piyasa Araştırması	97
3.7.	Sathi Kaplama Yolların Maliyet Hesapları	98
4.	SONUÇLAR.....	102
5.	KAYNAKLAR	105
8.	EKLER	109

ÖZGEÇMİŞ

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

BOZULMUŞ ASFALT KAPLAMALARIN GERİ DÖNÜŞÜM MALİYET ANALİZİ VE
OPTİMUM GERİ KAZANIM MESAFESİNİN ARAŞTIRILMASI

Adalet Selin ARAPOĞLU

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Muhammet Vefa AKPINAR
2015, 108 Sayfa, 22 Sayfa Ek

Dünya’da ve ülkemizde çok önemli yeri olan atık geri dönüşümü günümüzde ihtiyaç değil zorunluluk haline gelmiştir. Özellikle %96 oranlarında agrega içeren asfalt geri dönüşümü için hem doğal kaynakların korunması hem de petrolde dışa bağımlı bir ülke olarak bitüm alım ve kullanımını azaltarak cari açığı bir miktar olsun düşürmek büyük önem kazanmıştır. Dış ülkelerde yapılan çalışmalar geri dönüşüm çalışmalarını kanun ve yönetmelik olarak zorunlu kılarken, birçok açıdan uygulayıcılara teşvik ve destek de vermektedir, ülkemiz bu konuda henüz çok yenidir bu yüzden yapılan uygulama ve araştırmaların artırılması şarttır.

Asfalt geri dönüşüm malzemesinin genel özellikleri, kullanım şekilleri ve malzemenin en iyi şekilde geri dönüştürülebilmesi açısından değerlendirilen geri kazanım malzemesi (RAP), aynı zamanda ekonomik açıdan incelenmiştir. Çalışmada tipik bir yol kesiti düzenlenmiş ve maliyeti hesaplanmıştır, aynı yol kesiti bu kez binder ve bitümlü temel tabakalarında her seferinde farklı geri dönüşüm oranları ilave edilerek düzenlenmiş, bu oranlara göre malzemenin elde edilen ton başına karlar hesaplanmıştır. Hesaplamalarda geri dönüşüm türüne göre işletme maliyetleri de göz önüne alınarak daha gerçekçi sonuçlar elde edilmiştir. Çalışmanın bir diğer konusu geri dönüşüm malzemesinin değerlendirilebilmesi için tesise taşınabileceği optimum mesafenin bulunmasıdır. Taşınma mesafesi bulunurken KGM’nin taşıma formüllerinden yararlanılmış, sonuçta bulunan mesafeler üzerinden asfalt plentlerinin kurulumda bazında etkin oldukları alan yaklaşık olarak belirlenmiştir. Asfalt işlerinde önemli meblağ tutan asfalt nakliye fiyatları için bölgeler çapında verilen fiyatlar karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Geri dönüşüm, Geri Kazanım, Asfalt Freze Makinası.

Master Thesis

SUMMARY

RECYCLING COST ANALYSIS OF DEFORMED ASPHALT PAVEMENT AND
INVESTIGATION OF THE OPTIMUM RECYCLING DISTANCE

Adalet Selin ARAPOĞLU

Karadeniz Technical University

Institute of Natural and Applied Sciences

Civil Engineering Department

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Muhammet Vefa AKPINAR

2015, 102 Pages, 22 Pages Appendix

Waste recycling, which has a very important place both in the world and in our country, has become not a necessity but an obligation nowadays. Especially for the asphalt recycling that contains 96% aggregate, it has become of great importance both to protect natural resources and to reduce current deficit somewhat by decreasing the purchase and use of bitumen as a country foreign-dependent on petroleum. While studies conducted in foreign countries oblige recycling as law and regulations, they also encourage and support practitioners in a lot of ways; our country is still new on this issue, thus applications and researches must be increased.

In terms of the general characteristics of asphalt recycling material, usage of these materials and recycling the material in the best way possible, reclaimed asphalt pavement (RAP) in terms of economy investigate at the same time. In the study, a typical road section was designed and the cost was calculated, the same road section was designed by adding different recycling rates each time on binder and bituminous base forms and the profits per ton obtained from this material based on these rates were calculated. Clearer results were obtained from calculations by taking operating costs into consideration based on the type of recycle. Another subject of the study, the optimum distance that the recycling material can be transported to the facility for recovery was also searched. KGM's transportation formulas were used and by way of the distances found, the areas that asphalt plants were effective in set up base were found approximately. Regional asphalt transport prices which make up an important amount in asphalt works were compared.

Key Words: Recycling, Recovery, Asphalt milling machine.

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Bitümlü agrega parçaları	5
Şekil 1.2. 2009-2013 haziran ayı Tüpraş bitüm fiyatları.....	7
Şekil 1.3. Trakya bölgesinde agrega sağlanabilecek kaynaklar	8
Şekil 1.4. Anadolu bölgesinde agrega sağlanabilecek kaynaklar.....	9
Şekil 1.5. 2005-2010 yılları arası bölgelerin asfalt yol bakım uzunlukları	10
Şekil 1.6. 2005-2010 yılları arası satıh cinslerine göre bakım yol ağı uzunlukları	11
Şekil 1.7. 2005-2010 yılları arası asfalt yol bakım birim maliyetleri (TL/km).....	12
Şekil 1.8. Esnek üstyapı kesiti.....	13
Şekil 1.9. Esnek üstyapı tabakaları.....	13
Şekil 1.10. Aşınma tabakası uygulaması.....	14
Şekil 1.11. Plent-miks temel uygulaması	15
Şekil 1.12. Sathi kaplama uygulaması.....	16
Şekil 1.13. Temizlenmeyen yüzey ve uygun olmayan emülsiyon uygulaması	17
Şekil 1.14. Yorulma çatlakları.....	19
Şekil 1.15. Blok çatlakları	20
Şekil 1.16. Kenar çatlakları	21
Şekil 1.17. Yansıma çatlakları.....	22
Şekil 1.18. Enine çatlaklar.....	23
Şekil 1.19. Boyuna çatlaklar.....	24
Şekil 1.20. Kayma çatlakları	25
Şekil 1.21. Tekerlek izi.....	26
Şekil 1.22. Dalgalanma.....	28
Şekil 1.23. Çukur-sökülme-soyulma	28
Şekil 1.24. Asfaltta kuma.....	29
Şekil 2.1. Amerika'da geri dönüşüm uygulama dağılım yüzdeleri	34
Şekil 2.2. RAP'ın geri dönüşüm özelliğine göre kullanımı.....	37
Şekil 2.3. Farklı sanayi sektörlerinde kullanılan RAP malzemesinin toplam miktarını göstermektedir	37
Şekil 2.4. Japonya'da geri dönüşüm malzeme türüne göre recycling	38
Şekil 2.5. 2010 yılında Fransa'da yol atık yönetimi ve geri dönüşüm.....	38
Şekil 2.6. Fransa'da asfalt geri dönüşümünü ve gelişimini göstermektedir.....	39

Şekil 2.7.	Kazılmış RAP malzemesi.....	40
Şekil 2.8.	Tipik işlenmiş RAP	40
Şekil 2.9.	Depolanan RAP miktarı	43
Şekil 2.10.	İnce RAP malzemesi	45
Şekil 2.11.	Kaba RAP malzemesi.....	46
Şekil 2.12.	RAP karışımı	46
Şekil 2.13.	RAP karışımından alınan örnekler	47
Şekil 2.14.	Deney için hazırlanan örnek numuneler.....	47
Şekil 2.15.	Mozaik görünümlü asfaltlar	49
Şekil 2.16.	Bitümlü membran atıkları	50
Şekil 2.17.	Geri dönüşüm yöntemlerinin sınıflandırılması	51
Şekil 2.18.	Soğuk düzeltme	52
Şekil 2.19.	Sıcak geri dönüştürme karışık dizayn akış şeması	54
Şekil 2.20.	Yerinde sıcak geri dönüşüm.....	55
Şekil 2.21.	Soğuk geri dönüştürme karışık dizayn akış şeması.....	57
Şekil 2.22.	Soğuk yerde geri dönüşüm uygulaması	58
Şekil 2.23.	Plentte soğuk karışım geri dönüşüm	58
Şekil 2.24.	Farklı rehabilitasyon yöntemlerinin enerji tüketimleri.....	59
Şekil 2.25.	Asfalt kazıma makinesi (Freze).....	63
Şekil 2.26.	Rap malzemesi depolama.....	64
Şekil 2.27.	Konkasör ile dane boyutlarının düşürülmesi.....	65
Şekil 2.28.	Rap üretim süreci	66
Şekil 2.29.	Direk asansörden besleme yapılması	67
Şekil 2.30.	Direk mikserden besleme yapılması	68
Şekil 2.31.	Kurutucudaki giriş ile besleme yapılması	69
Şekil 2.32.	Paralel kurutucu ile besleme yapılması	70
Şekil 2.33.	Asfalt kaplamanın geri kazanımı.....	71
Şekil 3.1.	Örneklendirilen yol kesiti.....	73
Şekil 3.2.	Km’de hesaplanan taşıma bedeli.....	91
Şekil 3.3.	Plentte sıcak besleme durumunda km’de elde edilen kazançlar	93
Şekil 3.4.	Plentten soğuk besleme durumunda km de elde edilen kazançlar	96
Şekil 3.5.	Asfalt nakliyesi için piyasa araştırması yapılan bölgeler	97

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Satih tiplerine göre karayolu ağı uzunlukları, km (2009-2013).....	3
Tablo 1.2. Asfalt işi yapan müteahhit sayısı - 2014	4
Tablo 1.3. Asfalt plantleri ve kurumlara göre dağılımı - 2014.....	4
Tablo 1.4. TÜPRAŞ rafinerilerinin kapasite kullanımı ve bitüm üretimi	5
Tablo 1.5. Türkiye'de son 5 yılda yapılan asfalt uygulamaları ve bitüm tüketimi	6
Tablo 1.6. Gelecek on yılda İstanbul ilinde tüketilecek agrega miktarı	8
Tablo 1.7. Yorulma çatlakları bozulma derecesi ve onarım şekli	20
Tablo 1.8. Blok çatlakları bozulma derecesi ve onarım şekli.....	21
Tablo 1.9. Kenar çatlakları bozulma derecesi ve onarım şekli.....	22
Tablo 1.10. Yansıma çatlakları bozulma derecesi ve onarım şekli	23
Tablo 1.11. Enine çatlakların bozulma derecesi ve onarım şekli	23
Tablo 1.12. Boyuna çatlakların bozulma derecesi ve onarım şekli	24
Tablo 1.13. Kayma çatlakların bozulma derecesi ve onarım şekli	25
Tablo 2.1. Farklı bölgelere göre RAP kullanım oranları	34
Tablo 2.2. 2009-2011 Yılları arasında üretilen sıcak asfalt karışım dağılımlarını (WMA) ve RAP verileri özetlenmektedir	35
Tablo 2.3. U.S. Eyaletlerde bulunan asfalt şirketleri ve şube (tesis) sayıları	36
Tablo 2.4. Klasik ve % 30 RAP ilaveli karışımların performans karşılaştırması.....	41
Tablo 2.5. Atık ilaveli sıcak asfalt karışımlarında tekerlek izi deney sonuçları.....	48
Tablo 2.6. Geri dönüşüm yöntemlerinin karşılaştırılması	60
Tablo 2.7. Bozulma türüne göre geri dönüşüm yöntemi seçimi.....	61
Tablo 3.1. Geleneksel yöntemle esnek kaplama kesitinde aşınma tabakası yapım analizi, 2014.	75
Tablo 3.2. Esnek kaplama kesitinde binder tabakası yapım analizi, 2014.	76
Tablo 3.3. Esnek kaplama kesitinde bitümlü sıcak temel yapım analizi, 2014.	77
Tablo 3.4. Esnek kaplama kesitinde plant-miks temel yapım analizi, 2014.	79
Tablo 3.5. Esnek kaplama kesitinde plant-miks alt temel yapım analizi, 2014.	80
Tablo 3.6. Esnek kaplama kesiti maliyeti (1 km uzunluğunda, 8m genişliğinde ve 50 km uzaklıkta ki bir yol için)	81
Tablo 3.7. Binder tabakasında geri dönüştürülmüş kaplama (RAP) kullanılması durumunda malzemedeki elde edilecek kazanç, 2014.	84

Tablo 3.8.	Bitümlü temel tabakasında geri dönüştürülmüş kaplama (RAP) kullanılması durumunda malzemedan elde edilecek kazanç, 2014.....	84
Tablo 3.9.	Yol kesitinde geri dönüştürülmüş kaplama (RAP) kullanılması durumunda malzemedan edilecek toplam kazanç ve çift yön uygulandığında (gidiş-geliş toplam).....	85
Tablo 3.10.	RAP ekleme durumuna örneklendirilen yol kesitinde elde edilen malzeme kazançları	85
Tablo 3.11.	Ilık besleme yönteminde malzemedan elde edilen net kazanç.....	89
Tablo 3.12.	Soğuk besleme yönteminde malzemedan elde edilen net kazanç	89
Tablo 3.13.	Km’de taşıma bedelini göstermektedir	91
Tablo 3.14.	Plentten ılık besleme durumunda km’de kazanılan kârı göstermektedir	92
Tablo 3.15.	Plentten soğuk besleme durumunda km de kazanılan kârı göstermektedir	95
Tablo 3.16.	Çift tabaka sathi kaplama yapılması.....	99
Tablo 3.17.	Tip 4 Sathi kaplama kesitinin ortalama fiyatlarla maliyeti (1 km uzunluğunda, 8m genişliğinde ve 50 km uzaklıkta ki bir yol için)	100

SEMBOLLER DİZİNİ

BSK	: Bitümlü Sıcak Karışım
AC	: Asfalt Çimentosu
HMA	: Hot Mixture Asphalt / Sıcak Karışım Asfalt
RAP	: Reclaimed Asphalt Pavement / Yeniden Kullanılan Asfalt Kaplama
GKAK	: Geri Kazanılmış Asfalt Kaplama
ARRA	: Asphalt Recycling and Reclaiming Association /Asfalt Geri Dönüşüm ve Rehabilitasyon Birliği
CP	: Cold Planing / Soğuk Düzeltme
CCPR	: Cold Central Plant Recycling / Soğuk Plentte Geri Dönüşüm
HIR	: Hot in Recycling / Sıcak Yerde Geri Dönüşüm
CIR	: Cold In Place Recycling/ Soğuk Yerde Geri Dönüşüm
FDR	: Full Depth Recycling / Tam Derinlikli Geri Dönüşüm
KGM	: Karayolları Genel Müdürlüğü
İSFALT	: İstanbul Asfalt Fabrikaları San. ve Tic. A.Ş.
KTŞ	: Karayolları Teknik Şartnamesi
FHWA	: Federal Highway Administration / Federal Karayolları İdaresi
NAPA	: National Asphalt Pavement Association / Ulusal Asfalt Üstyapı Birliği
EPA	: Enveronmental Protection Agency
QC/QA	: Kalite kontrol/ Kalite güvencesi
PMT	: Plent Mix Temel
GAT	: Granüler Alt Temel

1.GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Hızla büyüyen ülke nüfusu, ekonomi ve sanayinin gelişmesi sonucunda kullanılan malzemenin artması aynı zamanda oluşan atık madde miktarında artışa neden olmaktadır. Atıkların çevreye zarar vermeden kontrol edilmesi ve ekonomiye kazandırılması için geri dönüşüm günümüzde gerekli hale gelmiştir.

Doğal kaynakların çok hızlı bir şekilde tükendiği günümüzde bu kaynakların doğru şekilde kullanılmaması gelecekte azalmasına hatta yok olmasına sebep olacaktır. Bu durumu göz önüne alan birçok ülke atıkların geri kazanılması amacıyla geri dönüşüm çalışmaları yapmış ve geliştirmiştir. Birçok ülke kaynak israfını önlemek ve ortaya çıkabilecek enerji krizleri ile baş edebilmek için bu atıkların geri dönüştürülmesini zorunlu hale getirmiş bununla ilgili destekler hazırlamış ve atık yönetiminden maximum şekilde yararlanmıştır. Bunun için devletlerin yeterli yasal düzenlemeleri ve desteklemeleri geri dönüşüme yapılacak yatırımların önünü açmaktadır. [1]

Asfalt geri dönüşümü dünyada 1970'li yıllarda petrol krizinin yaşanmasıyla ilk kez gündeme gelmiştir. Asfalt geri dönüşümü, İngilizce tabiriyle (recycling), kullanım ömrünü tamamlamış asfaltın belli kriterler ve yöntemler dahilinde kazılması ve yine belli yöntemlerle yeniden kullanılabilir hale getirilmesi işlemi olarak açıklanabilir. Türkiye'de ise 1980'li yıllardan itibaren uygulanmaya çalışılmıştır ancak 2000'li yıllarda hız kazandığı görülmektedir. Bu çalışmalar sayesinde günümüzde milyonlarca lira tasarruf sağlanmaktadır. Gelişmekte olan ülkemiz de yolların üstyapı iyileştirme veya yeniden yapım faaliyetlerinin yoğun bir şekilde sürdüğünü düşünürsek kazılmış eski BSK tabakalarının içerisinde bulunan ekonomik değeri yüksek bitümlü bağlayıcı ve agreganın belirli işlemlerden sonra yeniden yol yapımında kullanılmasının, maliyetleri azaltacağı aynı zamanda doğal kaynakların maximum düzeyde korunmasıyla çevrenin en az tahribata uğrayacağını belirtmek ve ülkemizin kazandığı çift taraflı kârın farkında olmak gerekir.

Avrupa'da asfaltta geri kazanım işinin yaklaşık 30 yıllık bir geçmişi sahip olup Türkiye'de asfaltta geri kazanım işi geç başlamıştır. Türkiye'de agreganın ucuz ve kolay temin ediliyor oluşu ve çevre koruma bilincinin gelişmemiş olması, geri dönüşüm için

yapılacak ilk yapım yatırım maliyetinin fazla olması da geri dönüşüm faaliyetlerinin geç başlamasının en büyük nedenleridir. Ayrıca kazılmış BSK kaplamasının yeniden kullanımı için bazı işlemlerden geçmesi gerekmektedir. Bu işlemleri geri dönüşüm asfalt malzemesinin toplanma, nakletme, kırma ve eleme gibi işletme maliyetleri olarak sıralayabiliriz. Avrupa'da geri kazanım çalışmalarının erken başlama nedenlerine ise doğal taşın bulunmaması veya zor temin edilmesinin bir sonucudur, bu nedenle Avrupa da geri dönüşüm malzeme kullanımı için önemli vergisel ve işlevsel kolaylıklar tanınmaktadır. Türkiye'de de geri kazanıma ilişkin bir sistemin oturması için tıpkı Avrupa'daki gibi gerekli altyapı çalışmalarının ve yasal düzenlemelerin yapılması, girişimcilerin gerekli ölçülerde desteklenmesi gerekmektedir. [2]

Asfalt kaplamaların geri kazanımı ve ekonomik değerlendirilmesi için hazırlanan bu çalışmada günümüzde en çok geri dönüşümü sağlanabilen agregaları kullanarak henüz farkına varamadığımız doğal taş ve türevi malzemeleri geri kullanımını artırarak doğaya ve ülkemiz ekonomisine katkıda bulunmayı sağlamaktır. Geri dönüşüm yönteminde strateji genel olarak bozulmuş aşınma tabakası, gerekli ise aşınma tabakasının altındaki tabakaların bir kısmı veya tamamı kazılıp, elde edilen malzemeye tasarımla belirlenecek miktarda yeni, agrega, bitümlü bağlayıcı ve gerekli ise katkı ilave edilerek, elde edilen karışımdan istenilen kalınlıkta asfalt kaplama yaparak geri dönüşüm uygulamasını tamamlamaktır.

Bu tez çalışmasında, Türkiye'de asfalt endüstrisinin gelişimi ve bu gelişime paralel olarak artan bitüm ve agrega tüketimi belli yıl aralıklarında rakamlar ile gösterilmiş, asfalt geri dönüşüm teknikleri, bu tekniğin Türkiye ve Dünyada gelişim süreci, kullanım ömür ve performansı hakkında bilgiler verilerek tez konusu olan maliyet incelemesine ışık tutulmaya çalışılmıştır. Maliyet araştırmasına net sonuç kazandırabilmek adına örneklendirilen 1 km lik yol üzerinde öncelikle geleneksel yöntemlere göre bir maliyet analizi yapılarak bir sıcak karışım üretim maliyeti belirlenmiştir. Daha sonra aynı örnekleme bu kez yol tabakasının binder ve bitümlü temel tabakalarına % 20'şer RAP ilave edilerek malzemedan elde edilen kâr maliyeti hesaplanmıştır. Aynı işlem % 10, 30, 40 ve 50 şer RAP ilaveleri için tekrar edilmiş, bulunan malzeme karlıları tablolar ile gösterilmiştir. Hesaplamalarda sadece malzemedan kaynaklı kazanç düşünülmemiş aynı zamanda RAP malzemesinin yeni karışım için hazırlanması ve taşınma masrafları da hesaba dâhil edilmiştir. Bulunan sonuçlar ışığında RAP malzemesinin

değerlendirilebileceği optimum taşıma uzaklıkları ve bu uzaklıklardan elde edilen kâr da belirlenmiştir.

1.2. Türkiye Asfalt Endüstrisi ve Gelişimi

En eski yol yapım malzemelerinden olan asfalt ülkemizde en çok yol ağında kullanılmaktadır. Asfalt ham petrolün damıtılmasından sonra elde edilen atıklardan oluşur. İçeriğinde ana bileşeni bitüm olan bağlayıcılar, çeşitli katkılar ve bitümlü bağlayıcılardan çeşitli katkılara, soğuk karışımlardan, bitümlü sıcak karışıma ve satıh kaplamalarına kadar uzanan bir yelpazeyi oluşturur. Türkiye Asfalt Mütahhitleri Derneği (ASMÜD) yaptığı açıklamalara göre asfalt üretiminde Avrupa da Almanya'dan sonra ikinci sırada yer almaktadır. 2013 verilerine göre üretilen asfaltın 24,4 milyon tonunu Karayolları Genel Müdürlüğünün, 21,1 milyon ton asfaltı belediyelerin, 0,7 milyon tonunu da İl Özel İdarelerinin kullandığı belirtilmiştir. [4]

Hızla gelişen karayolu ağı ülkemiz için büyük bir yatırımdır. Bu ağın satıh tipine göre dağılımı Tablo 1.1'de verilmiştir. Bunun yanı sıra şehir içi yolların uzunluğu ise tam olarak bilinmemektedir.

Tablo 1.1. Satıh tiplerine göre karayolu ağı uzunlukları, km (2009-2013), [3].

Yol Tipi, (km)	Bitümlü Sıcak Karışım	Sathi Kaplama	Diğer	Toplam
Devlet Yolu	12.502	18.364	475	31.341
İl yolu	2.368	26.930	2.857	32.155
Otoyol	2.224	-	-	2.244
Toplam	17.114	45.294	3.332	65.740

Her geçen gün artan ulaşım ağı aynı zamanda büyük yatırımlar gerektirmektedir bu yatırımların korunabilmesi için sürdürülebilirlik sağlanmalı bugünkü neslin ihtiyaçları karşılanırken gelecek nesillerin ihtiyaçları karşılama yeterliklerine zarar vermeyen girişimlerde bulunulmalıdır. Bu yüzden geri dönüşüm teknikleri ile asfalttaki bitüm ve agreganın değerlendirilmesi gerekmektedir.

1.3. Asfalt Endüstrisinin Üretim Kapasitesi ve Asfalt Plantleri

Türkiye asfalt işleri toplamda 234 firma tarafından üstlenilmektedir. Bu firmaların % 71 i hem üretim hem de yapım aşamasına dahil olurken, % 25 i serme ve sıkıştırma işi, % 4 ü ise sadece üretim işinde yer almaktadır. Bitümlü sıcak karışım işlerini yürüten firma sayıları Tablo 1.2’de verilmiştir. [4]

Tablo 1.2. Asfalt işi yapan müteahhit sayısı - 2014 [4].

Sadece serme yapan firmalar	11
Üretim ve Serme/Sıkıştırma yapan firmalar	244
Serme/Sıkıştırma Yapan firmalar	100

Sektörde kurumlar bazında bitümlü sıcak karışım üretiminde kullanılan asfalt plantlerinin sayıları Tablo 1.3’de verilmiştir. [4]

Tablo 1.3. Asfalt plantleri ve kurumlara göre dağılımı - 2014 [4].

Kapasite Ton/h	Köy Hizmetleri	Belediyeler	Karayolları Genel Müdürlüğü	ASMÜD Üyeleri	Diğer	Toplam
x>240		5		54	112	171
240>x>160	1	8		91	147	247
160>x>100	13	30	13	13	58	127
x<100	46	58	105	6	14	229
Toplam	60	101	118	164	331	774

Tablo 1.3’den görüldüğü gibi düşük kapasiteli plantler de dahil plant sayısı 700 ü geçmiştir. Yıllık üretim kapasitesi ise yaklaşık 72 milyon tona ulaşmış ancak bu kapasitenin yalnızca % 30’nun kullanılmakta olduğunu belirtilmektedir. Asfalt endüstrisinde plantlerde dahil makine parkı yatırımlara ayrılan pay oldukça fazladır. Tüm bu yatırımların yeterince değerlendirilebilmesi için atık kapasitesinin de bu paya dahil edilmesi, sektörün dışa açılması ve yeni makine yatırımlarına girmeden kapasitenin daha çok kullanılmasını sağlayacak gelişmeler düzenlenmelidir [4].

1.4. Bitüm ve Bitümlü Bağlayıcı Üretimi

Bitüm, ham petrolden uçucu ve hafif yakıtlar rafine edildikten sonra kalan ağır petrol bileşenidir [5]. Asfalt endüstrisinde kullanılan bitüm, Türkiye Petrol Rafinerileri A.Ş. (TÜPRAŞ)'a ait 4 rafineride üretilmektedir. TÜPRAŞ rafinerilerinde 2008-2012 yılları arasında üretilen toplam bitüm miktarı Tablo 1.4'de verilmiştir.

Tablo 1.4. TÜPRAŞ rafinerilerinin kapasite kullanımı ve bitüm üretimi [6].

Rafineriler	Tasarım Kapasitesi (milyon ton)	Kapasite Kullanım oranı	Üretim + ithal edilip satılan ürünlerle birlikte toplam petrol ürünü satış (milyon ton)				
			2008	2009	2010	2011	2012
İzmit	11	%89.7	11.8	9.9	9.9	10.9	11.6
İzmir	11	%81.3	10.3	7.9	8.7	8.9	9.4
Kırıkkale	5	%63	3.0	2.8	2.9	3.1	3.4
Batman	1.1	%88	859	871	957	992	1.1

2008-2012 Tüpraş verilerinden bitüm üretiminde 2012 sonlarından kapasitenin ve bitüm üretim miktarının arttığını söylemek mümkündür. Son yıllarda ihtiyaçtan doğan yüksek performanslı üst yapılar yapılmaya başlanmış bu ihtiyaca cevap verecek iklim ve ağır trafik koşullarına dayanıklı yollar artmaya başlamıştır. Mevcut kaplamalı yolların iyileştirilmesi içinde çalışmalar yapılmakla birlikte bu bakım-onarım çalışma masraflarının yüksek meblağlarda olması, kaplamasız yolların kaplamalı hale getirilmesi yine ekonomik açıdan çok değerli olan bitümün geri kazanılmasını kaçınılmaz yapmaktadır.

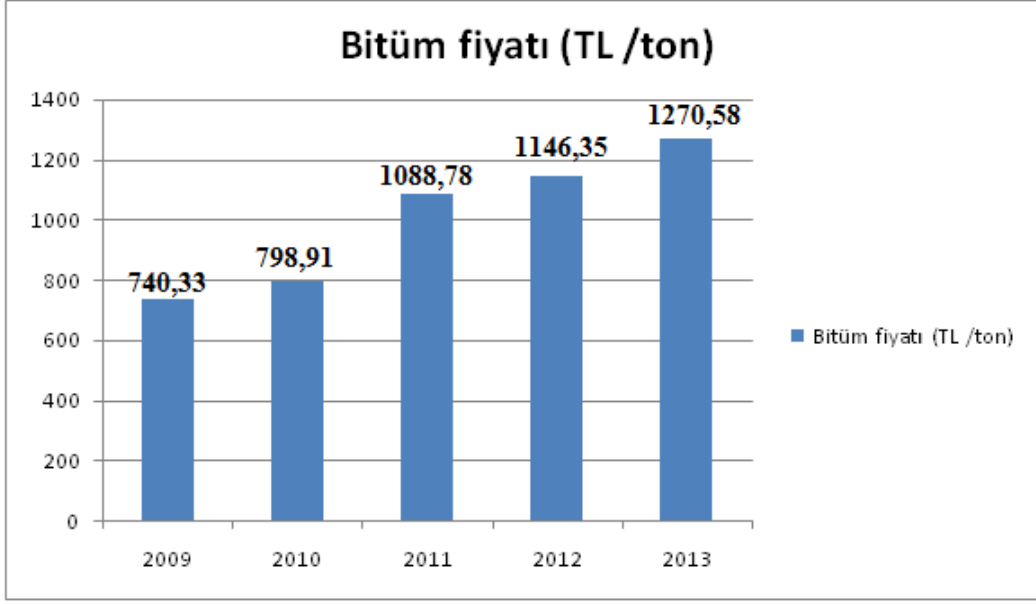


Şekil 1.1. Bitümlü agrega parçaları

Türkiye’de 2009-2013 yılları arasında gerçekleştirilen farklı tip asfalt uygulamaları Tablo 1.5’de verilmiştir. Tabloda ki verilere göre yılda ortalama 37 milyon ton bitümlü sıcak karışım üretilmektedir. Bu karışımın yine ortalama 23 milyon tonu karayollarında, 14 milyon tonu şehir içi yollarda, 0.4 milyon tonu ise köy yollarında kullanılmaktadır. Bitüm tüketimi ise 2009 yılı ile 2013 yılları içinde % 58 artış göstermiştir [4].

Tablo 1.5. Türkiye’de son 5 yılda yapılan asfalt uygulamaları ve bitüm tüketimi [4].

	Yıl	Bitümlü sıcak karışım Milyon ton	Sathi kaplama Km ²	Soğuk bitümlü karışım Milyon ton	Bitüm tüketimi Ton x 1000
Karayolları	2009	14.9	180	962	1.140
	2010	22.1	200	1.643	1.590
	2011	29.4	172.2	512	1.625
	2012	22.5	168.5	960	1.420
	2013	24.4	158.0	450	1.560
Şehir içi yollar	2009	7.9	9	26	534
	2010	13.0	11	210	0.553
	2011	13.6	5.6	22	673
	2012	15.6	10.6	163	611
	2013	21.1	7.2	40	930
Köy yolları	2009	0.3	40	415	117
	2010	0.2	86	515	0.227
	2011	0.46	99.4	486	292
	2012	0.27	79.6	696	140
	2013	0.71	51.1	560	330
Toplam	2009	23.1	229	1.403	1.791
	2010	35.3	297	2.369	2.370
	2011	43.5	277	1.020	2.590
	2012	38.3	294.9	1.819	2.809
	2013	46.2	216.3	1.050	2.820



Şekil 1.2. 2009-2013 haziran ayı Tüpraş bitüm fiyatları [58].

2009-2013 yılları arası haziran ayı Tüpraş Batman rafinerisi bitüm fiyatları gösterilmiştir. Şekil 1.2 üzerinden de görüldüğü gibi bitüm fiyatları her yıl giderek artmıştır. 2009 ile 2013 yılları arası bitüm fiyatında ki bu artış % 58 e ulaşmıştır. Türkiye Ekonomi Politikaları Araştırma Vakfı (TEPAV)'ın verilerine göre petrol ve petrol ürünlerin de % 92 dışa bağımlı bir ülkeyiz enerjide dışa bağımlılığın azalacağı adımların atılması ve alternatif kaynakların kullanılması günümüzde büyük önem kazanmaktadır.

1.5. Agrega Üretimi

Agrega, konut hastane gibi her türlü bina inşaatında, yol sanat yapıları ve su yapılarında kullanım alanı çok geniş olan hem beton hem de asfalt üretiminin ham maddesidir. Beton içinde hacimsel ağırlığın % 60-75 ni, asfaltta ise % 95 ini agrega oluşturur. Avrupa ülkelerinde ortalama kişi başı agrega tüketimi 7 ton/yıl ülkemizde ise kişi başı 4 ton/yıl dır. Tüm bu rakamlar içinde agreganın ülkemizde ki toplam madenciliğin hacimsel olarak üçte ikisini temsil ettiğini belirtmek gerekmektedir. Türkiye'de genel olarak yıllık 300 milyon ton agrega kullanılmaktadır ve bunun 100 milyon tonunun yol sektöründe kullanıldığı söylemek mümkündür. Ciddi kullanım miktarı olan agreganın hala yapılaşma süresinde olan bir ülke olarak her yıl bu tüketimin giderek artacağını göstermektedir. Agrega kaynak kaybının yaşanması ve agrega tüketiminin sürekli artması

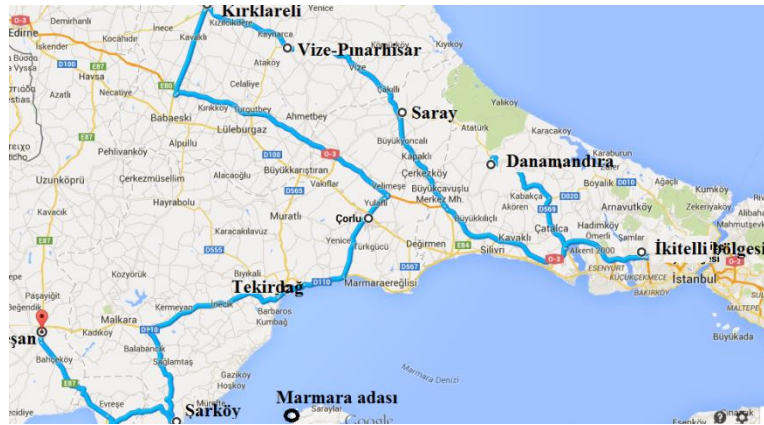
söz konusu olduğundan agrega kaynakların korunması günümüzde büyük önem arz etmektedir. [7]

Agrega tüketimin en fazla olduğu İstanbul ile için; 2012 yılında ASMÜD tarafından yapılan bir değerlendirmeye göre ilde asfalt için kullanılan agrega miktarı yaklaşık 5 milyon ton, dolgu amaçlı kullanılan agreganın ise 11 milyon ton yol alt yapı temelleri, inşaat temelleri vb. işlerde kullanıldığı tahmin edilmektedir. Hazır beton yapımında ise 40 milyon ton a ulaşmıştır. 2012 yılından elde edilen bu rakamlar sonucunda İstanbul'da agrega tüketimi 56 milyon tona ulaşmıştır. Sektörde ki büyüme ve gelişmeye bağlı olarak önümüzde ki on yıl içinde İstanbul'da tüketilmesi beklenen agrega miktarı ise Tablo 1.6'da verilmiştir [8].

Tablo 1.6. Gelecek on yılda İstanbul ilinde tüketilecek agrega miktarı [8].

Agrega Tüketimi, milyon ton	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
	71885	79000	86980	95678	105246	110509	116034	121836	127928	134324

İstanbul Avrupa yakasına agrega ihtiyacını karşılayan üç kaynak (Çatalca, Cebeci, Cendere bölgesi) Anadolu yakasında ise iki kaynak (Ömerli, Gebze bölgesi) bulunmaktadır. Bölgede ki agrega rezervlerinin gerek çevresel problemlerden gerekse kaynak kaybından önümüzde ki on yıllık süreçte büyük zarar göreceği düşünülürse alternatif agrega üretim alanları için İstanbul ilini Avrupa ve Anadolu yakası olarak incelersek koşulların uygun hale getirilmesi durumunda agrega sağlanabilecek kaynaklar Şekil 1.3'de gösterilmiştir.

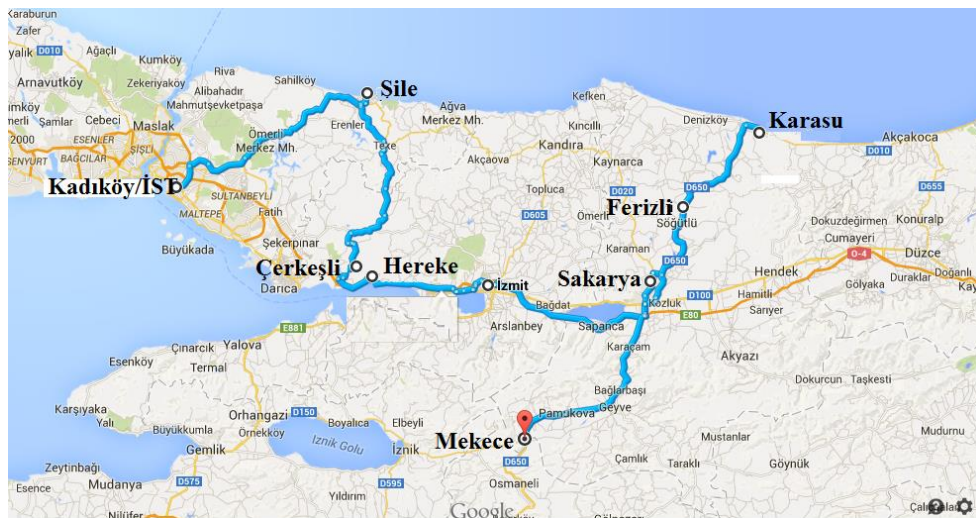


Şekil 1.3. Trakya bölgesinde agrega sağlanabilecek kaynaklar

Bu kaynaklarda henüz rezerv belirleme çalışmaları yapılmamakla birlikte kurulu olan tesislerden bölge yapılan üretim 10 milyon ton olup her biri kendi bölgesinin ihtiyacını karşılamaktadır. Belirlenen bu alternatif agrega bölgelerinin İstanbul Avrupa yakasına olan (ikitelli bölgesi merkez kabul edilirse) ortalama ulaşım mesafeleri. Damandıra için 85 km, Çorlu için 120 km, Saray için 130 km, Tekirdağ için 150 km, Vize- Pınarhisar için 165 km, Kırklareli için 220 km, Şarköy için 230, Keşan için 270 km dir. [8]

Avrupa yakasının günlük tüketim miktarı yaklaşık 110 ton dur. Bu miktarın bir kamyonun ortalama taşıma sevkiyat yarıçapının 150 km olduğu ve tek serfini 8 saat yaptığı düşünülürse yalnızca Avrupa yakasında trafiğe çıkacak araç sayısı 2037 araç/gün olmaktadır ayrıca bu mesafelerdeki taşıma fazla maliyetli olacaktır. KGM 2014 taşıma formüllerine göre en kısa mesafedeki Damandıra için yaklaşık m³ başına 33.22 TL, en uzak mesafedeki Keşan için ise m³ başına 96.68 TL olmaktadır. 110 tonu taşımak için taşımaya harcayacağımız maliyet Damandıra için yaklaşık 2292 TL, Keşan için yaklaşık 6670 TL yi bulmaktadır. Bu meblağlar da taşıma ile agrega sağlanması ekonomik açıdan uygun olmayacaktır bu yüzden elde olan agrega rezervleri korunmalı ve daha az agrega tüketimi için geri dönüşüm ile elde edilecek agrega malzemelerinden yararlanılmalıdır. Deniz yolu ile agrega taşınması ise ancak yeterli büyüklüklerde stok alanlarının temin edilmesi durumunda limanlardan yararlanabilecektir söz konusu donanım eldeki limanlar mevcut değildir. [8]

İstanbul Anadolu yakasında alternatif agrega sağlanabilecek kaynaklar Şekil 1.4'de gösterilmiştir.



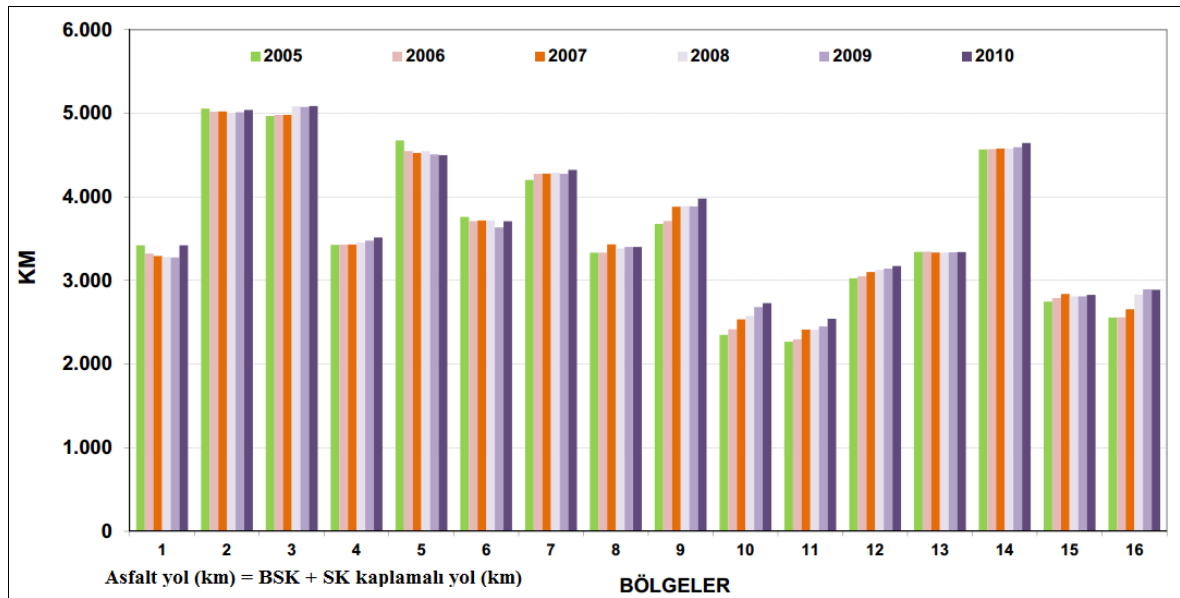
Şekil 1.4. Anadolu bölgesinde agrega sağlanabilecek kaynaklar

Belirlenen yerlerdeki tesislerden bölgedeki yaptıkları üretim miktarı 16 milyon tondur. Bu alternatif agrega bölgelerinin İstanbul Anadolu yakasına olan uzaklıkları (Kadıköy merkez alınır ise) Çerkeşli için 40 km, Hereke ve Şile için 60 km, İzmit için 80 km, Sakarya için 140 km, Ferizli için 160 km, Mekece için 170 km, Karasu için 200 km dir. [8]

1.6. Asfalt Bakım Birim Maliyetleri

Ülkemizde asfaltın ana kullanım alanı yollardır. Şehir içi yollar ile yüksek trafikli karayollarında bitümlü sıcak karışımlar düşük trafikli yollarda ise sathi kaplamalar kullanılmaktadır. Ülkemizde yolların % 93'ü nün asfaltla kaplı olup bunun % 15'i BSK tabakalarıyla geri kalan % 78'lik kısmı hiçbir taşıma gücü olmayan sathi kaplama ile kaplıdır. Yollarda istenilen performansın sağlanması için üst tabakaların belirli taşıma gücüne göre tasarlanıp kaplanması gerekir [4].

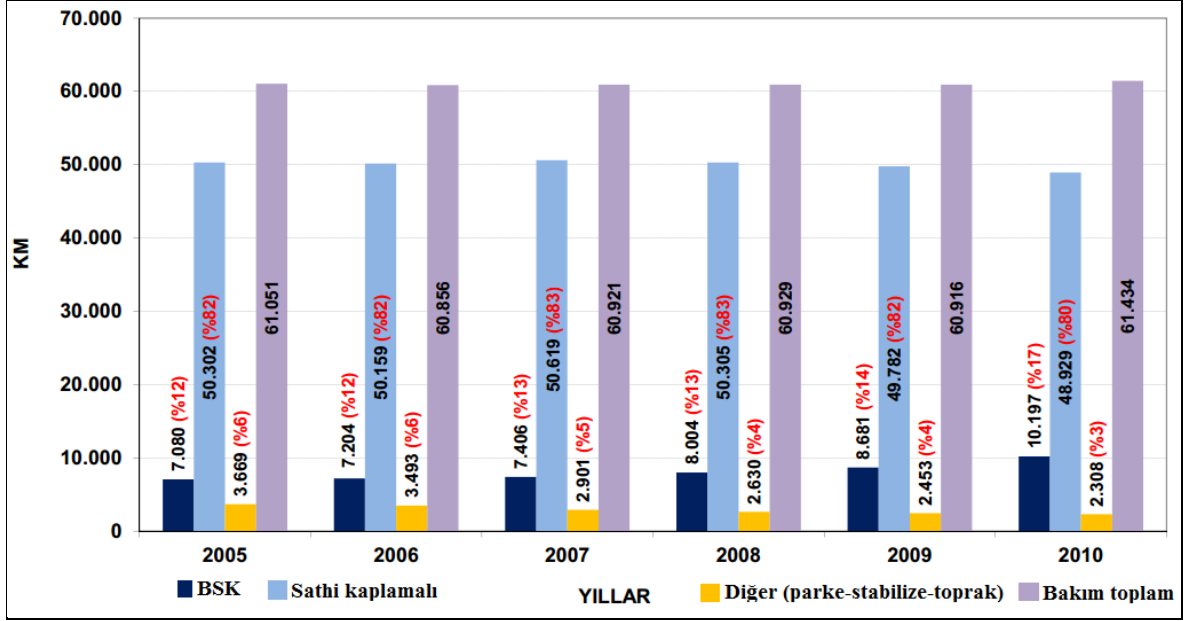
2005 - 2010 Yılları arası devlet ve il yolları bakım harcamaları analizine göre bölgelerin asfalt yol bakım uzunlukları Şekil 1.5'de verilmiştir.



Şekil 1.5. 2005-2010 yılları arası bölgelerin asfalt yol bakım uzunlukları [9].

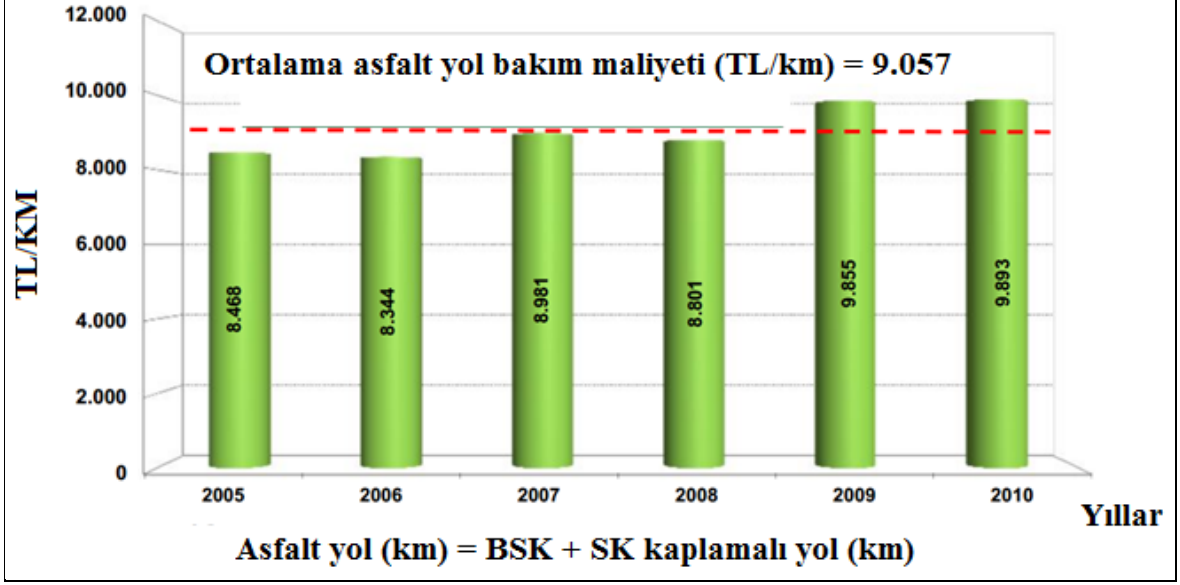
Asfalt yol bakım uzunluğu, sathi kaplamalı ve BSK kaplamalı yol uzunluklarının toplamıdır. Yıllara göre bölgelerde meydana gelen değişiklikler daha çok kaplaması

olmayan yollara kaplama yapılması durumuna bağlı olarak farklılıklar göstermiştir. Genel olarak bu değişimi bölgeden bölgeye farklılık göstermekle birlikte arttığını söyleyebiliriz. Yine 2005-2010 Yılları arası devlet ve il yolları bakım harcamaları analizine göre BSK kaplamalı yol ağı en fazla 1.bölge (İstanbul), en az 8. Bölge (Elazığ) dir. Sathi kaplamalı yol ağı en fazla 2. ve 3. Bölgede (İzmir ev Konya), en az 1. Bölgededir. [9]



Şekil 1.6. 2005-2010 yılları arası sathi cinslerine göre bakım yol ağı uzunlukları [9].

2005-2010 yılları arasında geçen sürede BSK kaplamalı yol ağı 7.080 km'den 10.197 km'ye çıkarak % 44 oranında artmış, sathi kaplamalı yol ağı 50.302 km'den 48.929 km'ye düşerek % 3 oranında azalmıştır ve diğer (parke, stabilize, toprak) yol ağı ise 3.669 km'den 2.308 km'ye düşerek % 37 oranında azalmıştır. Bu azalışın sebebi KGM'nin kaplamasız yolları kaplamalı hale getirmesi ve mevcut yolların iyileştirme yapılarak kalitesinin artırılması ile ilgilidir. Yine bu yıllar arasında asfalt yol bakım birim maliyetleri ise Şekil 1.7'de gösterilmiştir [9].



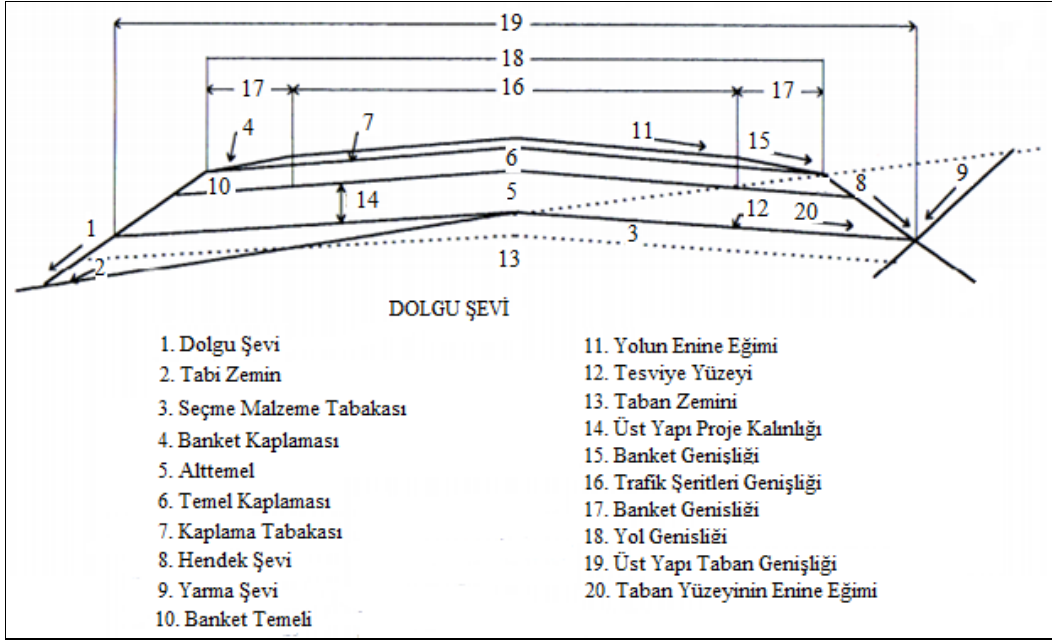
Şekil 1.7. 2005-2010 yılları arası asfalt yol bakım birim maliyetleri (TL/km) [9].

2005-2010 yılları arası ortalama asfalt yol bakım birim maliyet 9,057 TL/km 'dir. 2010 yılı sonunda 2005 yılına göre asfalt yol bakım birim maliyeti bölünmüş yol ağının artışına paralel olarak % 17 oranında artmıştır. Yol yapımı ve standartlarının yükseltilmesi yanında en önemli hizmet mevcut yolların korunması ve elde edilen ekonomik değeri yüksek kazılmış asfalt tabakasının geri dönüşümünü sağlayarak giderek artan yol bakım maliyetleri azaltılmalı, atık malzeme değerlendirilerek ülke ekonomisine katkı sağlanmalıdır.

1.7. Bitümlü Sıcak Karışım Yollar Tabakaları ve Özellikleri

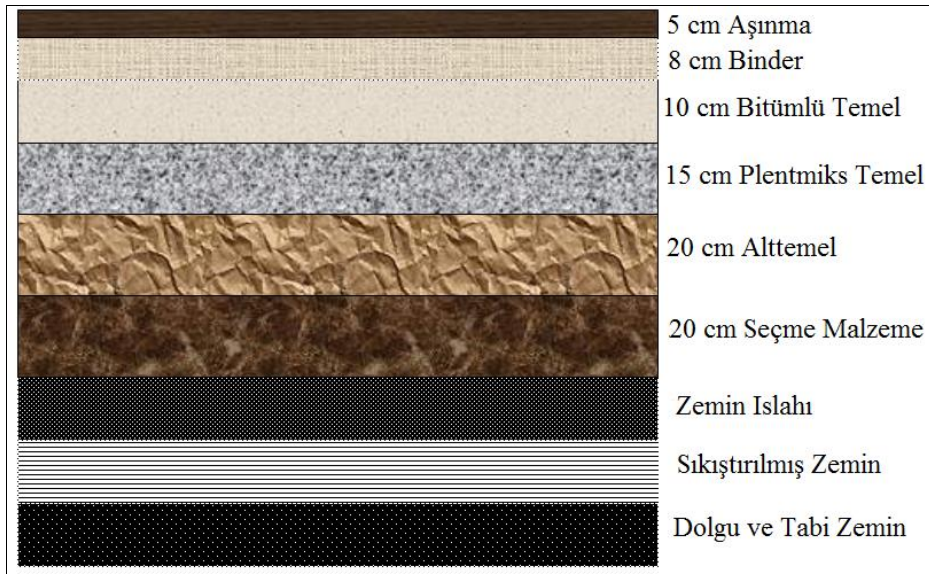
Yol gövdesi, altyapı ve üstyapı olmak üzere iki kısımdan oluşur. Altyapı yarma ve dolguları içerir. Üstyapı ise trafik yüklerini taşıyan ve azaltarak altyapıya aktaran tabakalı bir yapıdır.

Esnek yol üstyapısı taşıtlar için gerekli sürüş konforu ve emniyeti sağlayan, taşıtların yarattığı gerilmelere karşı yeterli dayanıma sahip olacak şekilde projelendirilen çok katmanlı yapılardır. [36] Bu üstyapılar taban zemini üzerine serilmiş granüler alttemel ve temel tabakaları üzerine bitümlü kaplamaların serilmesi şeklinde inşa edilirler. Bitümlü kaplamalar genel olarak; karışım tipi kaplamalar (Bitümlü karışımlar) ve sathi kaplamalar olmak üzere iki genel sınıfa ayrılır.



Şekil 1.8. Esnek üstyapı kesiti

Üst yapının üst kısmından taban zemine doğru inildikçe, tabakalarda kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri ve dane boyutları da değişmektedir genel olarak üst tabakalarda en büyük yapısal etkinin geldiğini düşünürsek burada kullanılan malzemenin daha kaliteli olduğunu söylemek mümkündür [38]. Bahsedilen tabalar üstten aşağı doğru;



Şekil 1.9. Esnek üstyapı tabakaları

Aşınma tabakası; esnek üstyapı kaplamalarında binder tabakası üzerine gelen ve üst yapının en üst tabakasını oluşturan bitümlü sıcak karışım tabakasıdır. Trafik yüklerine direk maruz kalmakta ve diğer tabakalara iletimini sağlayan ilk tabakadır özelliğini taşımaktadır. Aşınma tabakası ülkemizde kalınlığı genellikle 5 cm uygulanmaktadır. Aşınma tabakası yapımında kullanılan malzemenin, ince malzeme ve bitüm oranı diğer tabakalara oranla daha yoğun olarak bulunmaktadır. Taşıt yüklerinden kaynaklanan kuvvet etkilerini alt tabakalara ileterek kuvvetin yayılmasını sağlar. Gelişmiş ülkelerde aşınma tabakası için hazırlanan sıcak karışımda modifiye bitüm kullanılmaktadır. Karışımda bulunan yüksek bitüm yüzdesi sayesinde yük altında deformasyon oluşumu son derece azalmaktadır. Bu sayede kaplamada tekerlek izi oluşumları azalmakta kaplamanın ömrü uzamaktadır [10].



Şekil 1.10. Aşınma tabakası uygulaması [9].

Binder tabakası; karayolu üstyapısında aşınma tabakası altına, bitümlü temel veya plent-miks temel tabakaları üzerine uygulanır. Binder tabakası ülkemiz karayollarında trafiğe bağlı olarak 6-8 cm kalınlıklarda yapılmaktadır. Binder tabakasını oluşturan malzemeler boyutu aşınma tabakasına oranla kalın malzemeler yoğunluk bakımından biraz daha fazladır. Binder tabakası aşınma tabakasından gelen yükleri daha geniş zeminlere yayar ve yükün etkisini azaltarak alt tabakalara iletir. Tabakadaki bitüm oranı ise aşınma tabakasından kullanılan bitüm oranına göre daha azdır [10-17].

Bitümlü temel tabakası; PMT temel tabakası ile binder tabakası arasında uygulanan esnek üstyapı tabakasıdır trafik durumuna göre 8-18cm kalınlıklarda yapılmaktadır. Agrega boyutları en az üç ayrı dane grubunun düzgün derecelendirme ve karışım dizaynını uygun bitümlü bağlayıcı eklenmesi ile bir plentte karıştırılması ile oluşmaktadır. Bitümlü

temel tabakasında kullanılan agrega boyutları, diğer esnek üstyapı tabakalarına oranla biraz daha büyüktür. Bitümlü temel tabakasında bitüm oranı ise aşınma ve binder tabakasına göre daha azdır.[10].

Temel tabakası; taban veya alttemel tabakası üzerine tatbik edilen tabakadır. Temel olarak birden fazla tabaka yapılabilmektedir. Temel tabakasının en önemli görevi kaplama tabakalarından gelecek yükleri taban zeminine güvenli ve düzgün bir şekilde aktararak kaplamaya destek sağlamaktır. Temel tabakası dreneja ve don etkisine ek bir koruma sağlayabilmelidir. [38] Genel olarak iki kısımda incelemek mümkündür.

Plent-miks temel tabakası; yol tabakalarında granüler alt temel (GAT) tabakasından önce uygulanan Dmax 37,5mm olan malzemedan üretilen BSK altında bulunan tabakadır. PMT temel yapımında en az üç ayrı tane boyutu grubunun uygun oranda su ile bir plentte karıştırılması hazırlanır. PMT hazırlanması sırasında kaba agregaların kullanılması, trafik yüklerinden oluşacak deformasyonların önlenmesinde büyük önem taşımaktadır. Malzemenin özelliğine ve sıkıştırma makinelerinin özelliklerine göre sıkıştırılan tabaka kalınlığı 20 den az olarak kontrol mühendisinin onayı ile yapılabilir. [17] Mevcut yol düzenin bozulması kullanılacak asfalt miktarının artmasına neden olmaktadır bunun önlenmesi için asfalt öncesi zeminin plentmiks temel malzemesi ile düzgün hale getirilmelidir [45].



Şekil 1.11. Plent-miks temel uygulaması

Granüler temel tabakası; çakıl, kırılmış çakıl, kırılmış cüruf veya kırma taş ile ince malzeme kullanılarak şartnamesinde istenen gradasyon limitleri içinde hazırlanan malzemenin su ile karıştırılması ve şartnamesine göre hazırlanmış yeterli taban ve alttemel

tabakası üzerine bir veya birkaç tabaka halinde ve projesine uygun olarak serilip sıkıştırılan tabakadır [16].

Alt temel tabakası; temel tabakası ve doğal zemin arasında kalan tabaka alt temel tabakasıdır. Alt temel tabakası gerekli durumlarda temel tabakasını taşımak için yapılan, taban yüzeyine serilen diğer tabakalara göre daha az kaliteli malzemeden oluşmuş sıkıştırılmış granüler malzemedir. Gradasyon limitleri daha geniş aralıktadır. Maksimum dane boyutunun daha büyük olmasından dolayı ekonomiktir[16]. KTŞ ne göre alt temel malzemesinin kalınlığı 20 cm geçmeyecek şekilde serilip sıkıştırılacaktır ancak tabaka kalınlığı özel koşullar söz konusu olursa en fazla kontrol mühendisinin onayı ile 30 cm e yükseltilebilir [17].

1.8. Sathi Kaplamalı Yollar

Sathi kaplamalar yapım tekniği olarak bağlayıcının ve agreganın peş peşe serildiği tiplerdir. Asfalt emülsiyonları yola asfalt distribütörü ile püskürtülür. Üzerine hemen ardından mıcır serilir ve silindirler. Sathi kaplama tek ya da birkaç (2 veya 3) tabaka olarak gerçekleştirilir. Bu tip kaplamalar granüler temel üzerine veya mevcut kaplama üzerine uygulanabilir.

Sathi kaplamaların, çeşitli uygulama tipleri ve yapım teknikleri vardır.

- Tek Katlı Sathi Kaplama
- Çok Katlı Sathi Kaplama



Şekil 1.12. Sathi kaplama uygulaması

Tek kat sathi kaplama; bir aşınma ve geçirimsizlik tabakası olarak kullanılmaktadır. Yüzeje asfalt püskürtme hemen ardından agrega serilip sıkıştırılmasından oluşmaktadır. Tabakanın kalınlığı yaklaşık kullanılan agreganın maksimum boyutu kadardır.

Çok katlı sathi kaplamalar; tek kat sathi kaplamalara göre daha yüksek dayanım ve geçirimsizlik tabakası sağlamaktadır. Bu uygulamada ise bitüm ve agrega serildikten sonra sıkıştırma ardından tekrar bitüm ve agrega serilir. Çok katlı yapım tekniği kullanılarak yapılan yollarlarda ardı ardına serilen asfalt emülsiyonu, mıcır ile iyi bir bağlantı kuracağından kaplama kalitesinde yükselme olacaktır.

1.9. Yol Üstyapısında Bozulmalar

Nüfusun artması, ulaşım ağının günlük hayatın vazgeçilmez öğeleri arasında olması ve buna bağılı olarak yolların hızla gelişip kullanımını yaygınlaştırmıştır. En iyi yol yüzeyleri bile zaman, hava şartları ve trafiğin neden olduğu aşınmaya ve yıpranmayla bozulmaktadır. Yol yapımı ekonomik açıdan pahalı bir iş olması ile birlikte bu yapılan yolun sürdürülebilirliğinin sağlanmasının en önemli yolu yol yapım ve onarımının uygun yöntem ve tekniklerle geliştirilmesidir. KGM yolları 20 yıl kullanım ömrüne göre projelendirmektedir fakat bu yolların genellikle 10 yıl içinde onarımdan geçtiğini belirtmektedir. Bozulmanın nedenlerini şöyle sıralaya biliriz; Genel nedenler, kalite eksikliği, karışım hazırlanmasındaki hatalar ve yapım hataları [11].



Şekil 1.13. Temizlenmeyen yüzey ve uygun olmayan emülsiyon uygulaması [37].

Genel nedenleri, en başta yetersiz mukavemetteki alt temel, temel malzemeleri (trafik yükünün altında tasarım, drenaj yokluğu vs.), trafikten doğan mekanik etki (yük, yük tekrarı, sürtünme), iklim (yağmur, kar, donma-büzülme, sıcaklık değişimleri) ve kaplama kalınlığının yetersizliği olarak açıklayabiliriz. Kalite eksikliği ise daha çok malzeme de gradasyon hatası yapılması, köşeli yerine yuvarlak agrega tercih edilerek sürtünme mukavemetinin düşmesi, agrega mukavemetinin düşüklüğü ve agreganın yeterince temizlenememesinden kaynaklanır. Karışımın hazırlanması sırasında gerçekleşen hataları; bitüm yüzdesinin hatalı olması, yanlış bitüm seçilmesi ve ısı kontrolünün düzensizliği olarak sıralanabilir. Son olarak yapım hatalarını; sıkıştırma eksikliği veya fazla sıkıştırma, düşük ısıda imalat (serim) ve malzemenin ayrışımı olarak sıralayabiliriz.

Yol üstyapılarında meydana gelen bozulma tipleri aşağıda verilmiştir.

1. Çatlaklar
2. Oturma-Tekerlek İzi ve Dalgalanmalar
3. Ayrılma ve Parçalanmalar
4. Kayma Direnci Kaybı ve Kusmalar [11].

1.9.1. Çatlaklar

BSK'lı kaplamalarda mekanik ve kimyasal tesirlerle sürekli bozulmalar meydana gelmektedir çatlaklar ise bunların en yaygın olarak görülen türüdür. Çatlakların kapatılmaması durumunda suyun çatlak boyunca temel ve alt temel tabakalara sızarak bozulmalara yol açarak yolun ömrünü hızlı bir şekilde azaltmaktadır. Çatlağa neden olan bazı durumlar ise şöyle sıralaya biliriz; [11]

a)- Çevresel etki

- Günlük ve mevsimlik ısı değişiminin fazlalığı

b)- Aşırı fleksibilite azalması. (Karışımın sertleşmesi)

- Bitüm miktarının azlığı
- Bitümün aşırı yaşlanması
- Boşluk oranının azlığı

c)- Tabakalar arası aşırı kayma

- Tabakalar arasındaki yetersiz bağ

• Tabakalar arasındaki astar ve yapıştırma tabakalarında film kalınlığının aşırı fazlalığı

- Kaplama kalınlığının azlığı
- Kaplamanın yetersiz çekme ve kayma mukavemeti

Çatlak tipleri ise şöyle sıralayabiliriz;

- Yorulma Çatlakları • Kenar Çatlakları • Enine Çatlakları • Yansıma Çatlakları
- Boyuna Çatlakları • Kayma Çatlakları • Blok Çatlakları [11]

İlerlemiş blok çatlaklar, yorulma (timsah derisi görünümlü) çatlakları, kenar çatlakları, kayma çatlakları çatlak onarım yöntemi ve malzemelerle onarılamamaktadır. Bu çatlakların olduğu kısımlara yüzeysel kaplamalar uygulanmalı ya da kesilip çıkartılarak yama tamiri yapılmalı veya yeniden inşa edilmesi önerilmektedir.

1.9.1.1. Yorulma Çatlakları

Çatlak başlangıcı genellikle yüksek gerilmelerin yığıldığı ya da hatalı üretim sonucu kristalleşmiş bölgelerde oluşur BSK'lı yollar zamanla oksitlenerek dikey sapmaları tolere etmesi azalır. Bu durum kaplamada tekrarlı trafik yükü altında gerilme ve çekilmelere yol açar ve sonucunda yorulma çatlakları oluşur. Bu çatlakların görüldüğü yerler kesilerek yama yapılmalıdır.



Şekil 1.14. Yorulma çatlakları [11].

Tablo 1.7. Yorulma çatlakları bozulma derecesi ve onarım şekli [11].

Bozulma Derecesi	Onarım Şekli	Amaç
Düşük	Çatlak Tamiri	Suyun zemine geçişini engellemek
Orta	Bozulmuş kısımların kazınması- Alttemel tabakasının değiştirilmesi	Alt temel tabakasını değiştirerek yapısal destek sağlamak
Yüksek	Bozulmuş kısımların kazınması-ilave ara takviye yapılması	Ara tabaka sayısını artırarak yol yapısını güçlendirmek

1.9.1.2. Blok Çatlakları

Genel nedenleri olarak eski ve aşırı kurumuş karışımlar nedeniyle oluştuğunu söylenebilir. Erken aşamalarında çatlak dolgu yöntemleri, bitümlü harç kaplama, gibi kaplamayı koruyucu uygulamalar yapılabilir. İlerlemiş safhalardaki blok çatlakları ise asfaltın yama yapılması veya yolun kazılarak tamamen yenilenmesi önerilmektedir. Sıcaklık değişimleri, donma etkisi, ağır trafik yükü, sıcak kaplamanın çok yüksek sıcaklıkta serilmesi bu çatlakların oluşmasının başlıca nedenleridir.



Şekil 1.15. Blok çatlakları [11].

Tablo 1.8. Blok çatlakları bozulma derecesi ve onarım şekli [11].

Bozulma Derecesi	Onarım Şekli	Amaç
Düşük	Çatlak Tamiri	Suyun zemine geçişini engellemek
Orta	Bozulmuş kısımların kazınması- Yeni takviye tabakası	Yeni asfalt ile termal etkiye karşı direnci artırmak
Yüksek	Bozulmuş kısımların kazınması-ilave ara takviye yapılması	Yapısal güçlendirme ve termal etkiye karşı direnci artırma

1.9.1.3. Kenar Çatlakları

Bu tür çatlaklar, yolun kaplama kenarı ile banket arasındaki bir süreksizlik boyunca görülen çatlaklardır. Kenar çatlaklarına; kaplama kenarında yetersiz taşıma gücü ve üstyapının kenarında aşırı trafik yüklenmesi, üstyapı kenarında ve bankette yetersiz drenaj, zeminde kuruma nedeni ile büzülme gibi nedenlerden oluşur. Bu tür çatlaklar, çatlak dolgu malzemeleri ile onarılması her zaman mümkün olmamaktadır. Banket aralığını genişletmek kenarlara açık kanal yapmak birçok kenar çatlaklarını önleyecektir.



Şekil 1.16. Kenar çatlakları [11].

Tablo 1.9. Kenar çatlakları bozulma derecesi ve onarım şekli [11].

Bozulma Derecesi	Onarım Şekli	Amaç
Düşük	Çatlak Tamiri	Suyun zemine geçişini engellemek
Orta	Bozulmuş kısımların kazınması-Yeni takviye tabakası	Yapısal güçlendirme
Yüksek	Bozulmuş kısımların kazınması-ilave ara takviye tabakası yapılması-Drenaj yapılması	Yapısal güçlendirme ve su tahliyesini sağlamak

1.9.1.4. Yansıma Çatlakları

Yansıma çatlakları başlıca iki faktöre bağlı olarak oluşan çatlaklardır bunlar trafik yükleri ve sıcaklık değişimleridir. Çatlak üzerinden geçen yük her seferinde çatlak uzunluğunu artırmaktadır üzerinden geçen yük sayısı çatlak büyüklüğü ve hızı artarak yüzeye çıkmaktadır. Çatlak tamiri yapılarak suyun alt tabakalara gitmesi engel olunursa, bu çatlaklar kendi başlarına herhangi bir zarar vermezler.



Şekil 1.17. Yansıma çatlakları [11].

Tablo 1.10. Yansıma çatlakları bozulma derecesi ve onarım şekli [11].

Bozulma Derecesi	Onarım Şekli	Amaç
Düşük	Çatlak Tamiri	Suyun zemine geçişini engellemek
Orta	Çatlak tamiri	Suyun zemine geçişini engellemek
Yüksek	Çatlak hattının kazınması- Yama yapılması	Çatlak yapısının yola daha fazla zararını engellemek

1.9.1.5. Enine Çatlaklar

Enine çatlaklar, boyuna çatlaklara ve seyahat yönüne dik çatlaklardır. Alt tabakalardaki yapının çok düşük sıcaklıklarda büzülmesinin, bir sonucudur. Bunların düzenli olarak iyileştirilmesi sağlanırsa yol yüzeyinde büyük bir sorun teşkil etmezler seyahat yönünün çaprazında meydana geldiklerinden, sürüş kalitesini etkileyebilirler.



Şekil 1.18. Enine çatlaklar [11].

Tablo 1.11. Enine çatlakların bozulma derecesi ve onarım şekli [11].

Bozulma Derecesi	Onarım Şekli	Amaç
Düşük	Çatlak Tamiri	Suyun zemine geçişini engellemek
Orta	Çatlak tamiri	Suyun zemine geçişini engellemek
Yüksek	Çatlak hattının kazınması- Yama yapılması	Çatlak yapısının yola daha fazla zararını engellemek

1.9.1.6. Boyuna Çatlaklar

Boyuna çatlaklar, sürüş yönündedir. Oluşma sebebi; dolgularda yetersiz sıkışma ve yetersiz drenaj nedeniyle oturma, iklim değişikliği etkisi, taşıma gücünün trafik yüklerine yetersiz gelmesi sonucu oluşan oturmalar. Yolun daha çok tekerlek kısımlarının sık geçtiği yerlerde meydana gelirler. Ayrıca şerit ek yerlerinde de meydana gelebilirler. Boyuna çatlaklar çatlak tamiri metodu ile düzenlenebilir ve bu şekilde temele suyun girmesi önlenerek büyük hasarlar önlenmektedir.



Şekil 1.19. Boyuna çatlaklar [11].

Tablo 1.12. Boyuna çatlakların bozulma derecesi ve onarım şekli [11].

Bozulma Derecesi	Onarım Şekli	Amaç
Düşük	Çatlak Tamiri	Suyun zemine geçişini engellemek
Orta	Çatlak tamiri	Suyun zemine geçişini engellemek
Yüksek	Çatlak hattının kazınması- Yama yapılması	Çatlak yapısının yola daha fazla zararını engellemek

1.9.1.7. Kayma Çatlakları

Yollarda en çok görülen çatlak tiplerindedir. Tabakaların birbirlerine göre yanıl hareketlerinden oluşur. Genellikle asfalt betonunun temel veya yapıştırıcı bitüm tabakası üzerinde hareketinden meydana gelirler. Kaplama tabakası yapılmadan önce zemin temizliğinin sağlanması ve ince bir yapıştırıcı tabaka uygulanması bu çatlakların oluşmasını önleyebilmektedir.



Şekil 1.20. Kayma çatlakları [11].

Tablo 1.13. Kayma çatlakların bozulma derecesi ve onarım şekli[11].

Bozulma Derecesi	Onarım Şekli	Amaç
Yüksek	Çatlak hattının kazınması- Yama yapılması	Çatlak yapısının yola daha fazla zararını engellemek Sürüş konforunu artırmak

1.9.2. Oturma-Tekerlek İzi ve Dalgalanma

Asfalt kaplamalı yollarda sık görülen teknik ve ekonomik açıdan çok önemli kabul edilen bozulma tipileridir. Yol sathında plan ve boy kesintindeki değişiklikler olarak ortaya çıkarak çökme, dalgalanma, tekerlek izi, oluk, çöküntü ya da kabarma şeklinde tanımlanır. Bu bozulmalar, kaplama altındaki tabakaların yerleşmesi, çökmesi, şişmesi, kabarması ve kaplamanın kendisinde oluşan yer değiştirmeler sonucu meydana gelebilir.

1.9.2.1. Oturma

Kaplama altındaki malzemenin oturmasının nedenleri;

- Alt tabakanın yetersiz kalınlığı ve sıkıştırılması
- Altyapıda oturmalar
- Yan desteklerin olmayışı (banketlerin yetersizliği)
- Yer altı su seviyesinin yüksekliğindeki değişmeler
- Drenajın yetersiz olması
- Temel ve temel altı malzemelerin zeminden gelen kille karışması

Oturmaların önlenmesi için yer altı su seviyesi yeterli bir şekilde kontrol edilmeli doğal zemin iyi sıkıştırılmalıdır.

1.9.2.2. Tekerlek İzi

Tekerlek izleri de sık görülen bozulmalardandır, kaplamanın altındaki bir ya da birden fazla tabakada, trafik yükünden dolayı oluşan gerilmelerin malzeme dayanımını aşması sonucu meydana gelir, konsolidasyon nedeniyle oluşan tekerlek izi ise; kaplamanın yapımı sırasında yetersiz sıkıştırmadan dolayı oluşur. Ağır trafikli yollarda çok görülen bir durumdur.



Şekil 1.21. Tekerlek izi [11].

Nedenleri ise şu şekilde sıralaya biliriz;

a. Asfalt Tabakasıyla İlgili Nedenler

- Yüksek bitüm oranları
- Filler malzemesinin fazlalığı
- Yuvarlak (köşesiz) malzemelerin karışımda kullanımı
- Sıkıştırma yetersizliği

b. Alt Tabakalarla İlgili Nedenler

- Alt tabakalarda kalınlık yetersizliği
- Doğal zeminin konsolide oluşu
- Tabakalarda oluşan yanıl hareketler

c. Çevresel Nedenler

- Tekerrür eden yük
- Sıcaklık değişimleri [11].

1.9.2.3. Dalgalanma

Yol üzerinde trafiğin akışına göre enine doğrultuda oluşan genellikle eşit aralıklı ve belirli biçimde dalgaya benzeyen satıl deformasyonlarıdır. Trafiğin durup kalktığı yerlerde, inişlerde, araçların fren yaptığı kısımlarda, keskin kurplarda oluşurlar.

Dalgalanmalar, çoğunlukla yeterli stabilite yetersizliğinden kaynaklanır. Oluşum nedenlerini şöyle sıralayabiliriz.

- Çok fazla bitüm içeriği ve sıkıştırma yetersizliği
- Kavşak, trafik ışıkları ve duraklarda duruş ve kalkış şeklindeki trafik etkisi
- Agregadaki ince ve iri danelerin köşeli olmaması
- Bitüm karışım stabilitesinin yetersizliği

Dalgalı kısımlar asfalt kazıyıcılar ile kazılarak yol yüzeyi düzeltilir. Asfalt kazıyıcılarla düzeltilmiş kaplama üzerine BSK ile koruyucu bir tabaka uygulanabilir.



Şekil 1.22. Dalgalanma [11].

1.9.3. Ayrılma ve Parçalanmalar

Asfalt tabakasında, agregaların bitümden ayrışması, yaşlanma nedeniyle bitümün sertleşmesinden, bitümlü sıcak karışım içinde kil topraklarının ve kille kaplı agrega tanelerinin bulunması, donma-çözülme olaylarının sık tekrarı gibi nedenlerden oluşmaktadır. Diğer oluşum nedenlerini ise şöyle sıralayabiliriz;

- Mıçır tanelerinin, trafiğin mekanik etkisiyle bitüm soyulması
- Bitüm yüzdesinin yetersizliği
- BSK'larda filler yüzdesinin çok düşük ya da çok yüksek oluşu
- Drenaj yetersizliği
- Sıcak karışımın soğuk havada serilmesi (hızlı sıcaklık değişimleri)



Şekil 1.23. Çukur-sökülme-soyulma [11].

1.9.4. Kayma Direnci Kaybı ve Kusmalar

Kayma direnci kaybı, agrega tanelerinin zamanla trafiğin etkisiyle cilalanması şeklinde ortaya çıkar. Özellikle bazı kalkerli agrega türleri bu duruma daha çabuk gelir. Bu agregalar ıslandıklarında tamamen kaygan hale gelerek trafik hakimiyetini olumsuz yönde etkilerler.

Asfalt karışımında kuma, trafik yükünün etkisiyle bitümün karışım yüzeyi üzerine çıkmasıyla oluşur. Soğuk bölgelerde, durabilite ve düşük sıcaklık çatlaklarına karşı dayanıklı bir tabaka oluşturmak için bitümü daha zengin fakat kuma meydana getirmeyecek karışımlar oluşturulmasına dikkat edilmelidir. Kusmanın olduğu yerlerde sıcak kum, sıcak curuf ya da elek altı malzemesi uygulamasıyla giderilebilir. Ayrıca yüzey tabakası olan asfalt betonu aşınma tabakasında pürüzlülüğü artırmak ve kaplamayı kaymaya karşı dirençli hale getirmek için sert ve pürüzlü agrega kullanımı artırılmalıdır.



Şekil 1.24. Asfaltta kuma

2. GERİ DÖNÜŞÜM

2.1. Giriş

Bozulmuş veya eski asfalt kaplamalarının kazılarak yeni yapılacak bitümlü sıcak karışımlarla oluşturulan yollarda yeniden kullanılmasına geri kazanım (Recycling) adı verilmektedir [12].

Trafik yükü ve çevre koşulları gibi nedenlerle ömürlerinin tamamlamış, bozulmuş asfalt kaplamaların bir kısmı, belirli işlemlerden geçerek yeniden kullanılabilir. Bozulmuş asfalt kaplamalar sıcak karışım olarak yeniden kullanılabilirdiği gibi soğuk karışım olarak da yeniden kullanılabilir [14].

2.2. Neden Geri Dönüşüm

Kazınan bozulmuş BSK tabakası tekrar kullanılarak milli kaynakların korunması sağlanırken birçok hammadde ve işletmeden doğan ekonomik kazanımlar elde edilir. Geri dönüşüm, yeni malzeme ihtiyacını azaltması doğal kaynakların korunması ve atık sahalarının oluşmaması açısından çevrenin korunmasını da sağlar.

Yollardan kazınan asfaltın ve taşların doğaya bırakıldıklarında asfalt içeriğindeki petrolün yer altı sularına karışarak oradan doğada yaşayan bitki ve hayvanlara geçerek tüm canlılara zarar vermektedir ve çevreye olan zararın maliyeti her şeyden büyük olmaktadır bu yüzden geri dönüşüm bilinci ve sistemi mutlaka şart olmalıdır.

Yollardaki uygulamalarda mevcut kaplamanın üzerine yeni kaplama yapılması halinde yansıma çatlaklarının önlenememesi, kot yükselmesi vb. sorunlar giderilebilir. Bilhassa, üstyapıda çatlak ve tekerlek izinde oturma şeklinde oluşmuş bozulmaları gidermekte kullanılabilecek bu metotta, kazıma derinliğinin, önceden, dikkatli bir çatlak etüdüyle belirlenmesi gerekir. Çatlaklı üstyapıda çatlakların hangi tabakaya kadar devam ettiğini belirlemek için asfalt betonu kaplamanın yukarıdan aşağıya doğru her tabakası teker teker açılarak çatlağın hangi tabakaya kadar ilerlediği incelenir ve buna bağlı olarak kazıma derinliği saptanır.

Geri dönüşüm aynı zamanda mevcut kaplama yapısı üzerine kalın bir tabaka eklenmeksizin geri dönüştürülerek daha mukavim ve neredeyse kot farkı yaratmayan bir tabaka elde edilir. Geri dönüşüm, geleneksel yapım teknikleri karşılaştırıldığında büyük miktarda enerji tasarrufu sağlayabilir [12].

2.3. Geri Dönüşüm Tekniği Gelişim Süreci

Ülkemizde yeni yeni yaygınlaşan fakat dünya'da en çok geri dönüşümü yapılan malzemelerin başında yer alan asfalt malzemesi ülkemizde geri dönüşümü son yıllarda başlayan bir uygulama olmaktadır. Tekniğin geçmişi 25-30 yıl geriye dayanır ve en çok Avrupa ülkelerinde başta Almanya ve Fransa olmak üzere Amerika Birleşik Devletlerin de geri kazılmış asfalt kaplama karışım teknikleri uygulanmaktadır [15]. Karayolları Genel Müdürlüğü, Türkiye'de ilk bitümlü sıcak karışım tabakalarının geri dönüşümü uygulamasını 2007 yılında yapmıştır [18].

Araştırmalar, geri kazanım çalışmalarına başlamadan önce kazılan asfaltın köy yolları veya başka tali yollarda kullanıldığını, ancak bir kısmını da döküm sahalarına döküldüğünü göstermiştir. GKAK ayrıca taban dolgu malzemesi, çukur kaplama veya çakıl yol ve park alanları kaplaması olarak da kullanılabilir.

2.3.1. Ülkemizde Asfalt Geri Dönüşümü

Gelişmekte olan ülkeler arasında yer alan Türkiye'de agrega ocaklarının fazlalığı ucuz ve kolay elde edilmesi asfalt geri dönüşüm çalışmalarına ilginin yetersiz olmasının başlıca nedenidir. Çevre ile ilgili koruma bilinci ise henüz yeni yeni gündeme gelerek insanlar bu konularda çalışmalar yapmaya başlamıştır. Yollardan kazılarak çıkarılan asfalt kaplamanın işlenmemiş hali ile yeni karışımlarda kullanılamaması yani çıkan eski kaplamanın işletme maliyetlerinin olması da yüklenicileri bu konuda geriye götürmüştür. Tüm bu faktörler geri dönüşüm uygulamasının ülkemizde geç başlamasına neden olmuştur. Kazılan eski malzemenin toplanması, nakletme, kırma ve eleme gibi işletme maliyetleri mevcuttur.

Araştırmalara göre 2000 li yıllara kadar ülkemizde bu konuyla ilgili bir çalışma yapılmamıştır. 2006 yılında İsfalt A.Ş. bu konuda çalışmalar yapmış Avrupa'dan makineler getirtilerek asfaltı agrega şeklinde değil sıcak asfalt karışımı şeklinde geri dönüşümünü gerçekleştirmişlerdir. Son yıllara kadar yapılan çoğu çalışma kazılan asfalt

kaplamaların dolgu malzemesi veya alt temel tabakalarında değerlendirildiğini göstermektedir [15].

Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM)'nin kazılmış asfalt malzemenin yeniden kullanılmasına ilişkin ilk uygulama "Sakarya Köprülü Kavşağı-Gümüşova Otoyolu ve Bağlantı Yolları Üstyapı İyileştirilmesi ve Büyük Onarım İşin'de yapılmıştır. Trafiğe açıldığından beri büyük bir onarım geçirmemiş yolda özellikle aşınma tabakasında yoğun ve şiddetli bozulmalar meydana gelmiştir. Uygulamada geri dönüşüm yöntemi için sıcak plentte geri dönüşüm belirlenmiştir. Sonuçta 82500 ton kazılmış malzeme kullanılarak 525 bin ton bitümlü temel ve binder imalatı yapılmıştır. 2000'li yıllarda uygulanan bu projede ile araştırmada geri kazanılan asfalt kaplamanın (RAP) içeren BSK'nın performans gözlemlerinin yapılması ve geri kazanılan asfaltı (bitümü) içeren BSK'nın özelliklerinin çalışılması öngörülmüştür [39].

Karayolları AR-GE dairesi başkanlığında yürütülen projelerden biride Akyazı-Adapazarı otoyolunda kazılan malzeme yeni karışımda kullanılmıştır. Oluşturulan karışım binder ve bitümlü temel tabakalarında ılık besleme yöntemiyle % 15 kadar katılarak yeniden değerlendirilmiştir. Proje de, yol üstyapıların trafik, çevre ve iklim koşullarında zamanla bozulan özellikle en üst tabaka kaplamasının iyileştirme için kazınması ve bu kazınan asfalt kaplamanın ekonomiye geri kazandırılması amaçlanmıştır. 2006-2008 yılları arasında gerçekleştirilen bu projede 2010 yılı sonu itibari ile 320.000 ton kazılan malzeme 7 farklı işte yeniden kullanılmış olup, ekonomik geri kazanım 16 milyon TL olmuştur. Atık malzeme yeniden kullanıldığından depolama maliyetleri ve çevreye zarar engellenmiş, yeniden kullanılan agrega kadar, taş ocağından daha az malzeme elde edilmiş böylece doğanın tahrip edilmesi engellenmiştir. Yapılan bu çalışma diğer kurum ve kuruluşlara uygulama için önyak olmuş, bilgi ve tecrübe aktarılmış, uygulamanın yaygınlaşması sağlanmıştır [40].

Karayolları AR-GE dairesi başkanlığında yürütülen KGM'nin ilk yerinde soğuk geri dönüşüm uygulaması ise; Kızılcahamam'ın İstanbul çıkışında 3,5 kilometre uzunluğunda ve 8 metre genişliğindeki yol kesiminde, 14 bin ton yerinde soğuk geri dönüşüm yapılarak gerçekleştirilmiştir. Taşıma gücünü yitirmiş BSK tabakasının 25 cm lik kısmı kazınmış, % 1 çimento ve % 3 köpük bitüm ilave edilerek yeniden serilerek, sıkıştırılmıştır. 2011 ekim ayında başlatılan proje de yol üstyapıların trafik, çevre ve iklim koşullarında zamanla bozulan ve yapım onarım isteyen kaplamaların özellikle en üst tabakalarını düzeltmek, iyileştirmek, kazılan kaplamanın yerinde geri dönüşümü ile ekonomiye ve çevreye katkı

sağlanması amaçlanmıştır. Ayrıca Sathi kaplamalı yollarımızın hızlı bir şekilde BSK ya dönüştürülmesi araştırılmıştır. Uygulanan proje ile birlikte 2 milyon euro değerindeki asfalt geri dönüşüm makinesi Türkiye'ye getirilmiş bu makine ülkemizde ilk defa kullanılmıştır [41]. Yöntem ülkemizde uygulanmamaktadır.

Büyükşehirlerde faaliyetlerini sürdüren bölgesel özel şirketler olmakla birlikte sektörde en büyük yatırımı İsfalt yapmaktadır. İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin iştirak şirketi İstanbul Asfalt Fabrikaları Sanayi ve Ticaret A.Ş. (İSFALT) yaptığı başarılı çalışmaları Türkiye çapında gerçekleştirdiği eğitimlerle sektörde büyümeye devam etmektedir.

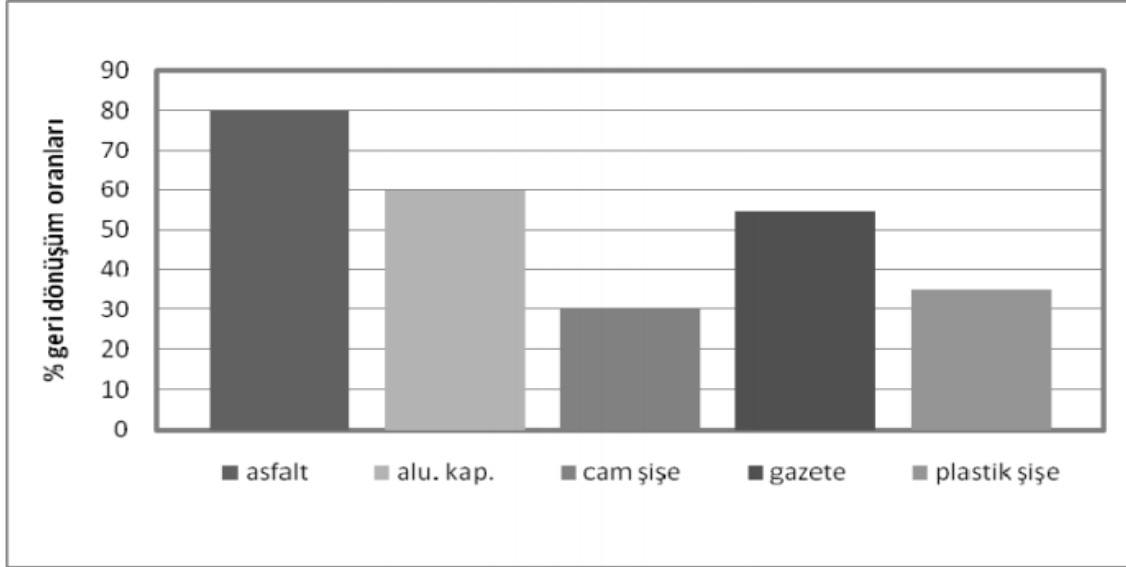
2.3.2. Dünyada Geri Dönüşüm

Birçok ülkede doğal taşın olmaması ve taşıdığı açmanın Türkiye'deki kadar kolay olmaması diğer ülkelerde geri dönüşüm çalışmalarının önceden başlamasına neden olmuştur. Bu nedenle geri dönüşüm malzeme kullanımının önemli bir avantaj sağladığı ve bu konuda vergisel ve işlevsel anlamda da kolaylıklar tanınmıştır.

Amerika'da 2001 yılında yapılan araştırmalara göre yaklaşık 232 milyon ton atık bulunmakta olup bunun kişi başına düşen maliyeti 4.5 pound (16.6 TL)'u bulmaktadır. Geri dönüşüm miktarı ise EPA (US Environmental Protection Agency)'nın raporuna göre ülkede sadece bu atıkların %30'u geri dönüştürülüyor yani 232 milyonun sadece 70 milyon tonu geri kullanıma kazandırılıyor [24].

Amerika'da ki geri dönüşüm oranları ise malzemelerin türüne göre şöyle sıralaya biliriz;

- %70 Hurda Çelik
- %59 Alüminyum kutular
- %56 Kağıt ürünler
- %24 Plastik şişeler
- %29 Cam içecek kutuları



Şekil 2.1. Amerika’da geri dönüşüm uygulama dağılım yüzdeleri [18].

Araştırmalar Amerika’da 2.6 milyon km yolun % 94 nün asfalt ile kaplı olduğunu ve bunların her yıl yaklaşık 100 milyon tonunun çıkarılıp bu miktarın % 80 ni yeni kaplama yapımında kullanılarak değerlendirilmektedir.

Kullanılan RAP oranları ise Los Angeles şehrinde Mart 1995 yılında yapılan çalışmalarda şehir departmanı, RAP malzemesin kullanım oranını % 15 olarak açıklamıştır bugünler de ise bu oran % 20-25 arasından olduğu görülmektedir.

Tablo 2.1. Farklı bölgelere göre RAP kullanım oranları [24].

Bölge	%RAP	İnşaat Tarihleri
Kuzey Carolina	40 %	Eylül 2007
Güney Carolina	30 ve 50 %	Ekim 2007
Wisconsin	25 %	Kasım 2007
Florida	45 %	Aralık 2007
Kansas	30 ve 40 %	Mayıs 2008
Delaware	35 %	Temmuz 2008
Minnesota	30 %	2008
İllinois	10 ve 50 %	2008

Birçok ülkede RAP kullanımını teşvik için yasal düzenlemeler getirilmiştir. İngiltere’de agrega kullanımına ve atık depolamaya vergi alınmaktadır. İsveç’de şartnameye göre önerilen orandan daha yüksek RAP kullanımlarına bonus verilirken aksi

durumlarda kesinti yapılmaktadır. Hollanda'da ise geri dönüşümü sağlanabilen malzemelerin atılması yasaktır [51].

FHWA (Federal Karayolları İdaresi) ve NAPA (Ulusal Asfalt Üstyapı birliği) US de kaplamanın geri dönüşümünü teşvik etmektedir. Bu atıkların yeni malzeme üretmek için gereken kaplama kullanımını azaltarak malzeme maliyetini düşürüp aynı zamanda çevre bilincini önemini vurgulamaktadır. FHWA bu konuyla ilgili bir araştırma oluşturmuştur araştırmanın amacı sıcak bitümlü karışımda RAP kullanımını ölçmektir. Anket sonuçları Tablo 2.2'de 2009 ile 2011 arasında RAP teknolojisinde büyük bir büyüme olduğu kaydedilmiştir [26].

Tablo 2.2. 2009-2011 Yılları arasında üretilen sıcak asfalt karışım dağılımlarını (WMA) ve RAP verileri özetlenmektedir [26].

	Bildirilen Değerler			Toplam Tahmini Değeri		
	2009	2010	2011	2009	2010	2011
Üretilmiş HMA/WMA ton	Ton (milyon)			Ton (milyon)		
Toplam	123.9	119.8	131.7	358.4	359.8	366
DOT	56.9	55.6	63.1	169.2	172.5	175.3
Diğer Ajanslar	28.1	27.8	36.4	83.5	86.2	101.1
Ticari ve Konut	35.6	32.6	32.2	105.8	101.2	89.5
RAP	Ton (milyon)			Ton (milyon)		
Kabul Edilen	23.2	24.0	29.8	67.2	73.5	79.1
Kullanılan HMA/WMA	20.1	21.6	25.1	56.1	62.1	66.7
Kullanılan Agregaya	1.5	1.6	1.2	6.2	7.3	4.9
Soğuk karışımda kullanılan	0.4	0.4	0.1	1.5	1.6	0.2
Kullanılan diğer	0.1	0.07	0.2	0.7	0.8	0.7
Depolanacak	0.06	0.001	0.1	0.1	0.004	0.3

2009 yılında sıcak asfalt karışımlarda RAP kullanımını 20.1 milyon ton olarak kaydederken, 2011 yılında bu rakam 25.1 milyon tona ulaşmıştır. RAP karışımının içinde % 5 bitüm olduğunu varsayarsak, bağlayıcıdan 3.3 milyon ton nun üzerinde (19 milyon varil) koruma sağlanmış olur. Asfalt bağlayıcının ton başına 600 \$ olduğunu düşürsek 1980 \$ tasarruf sağlanmaktadır. Tablo 2.3'de Anket sonuçları 2009-2011 arasında asfalt karışım üretici firmaları ve şube (plant) sayılarının artışı gösterilmiştir.

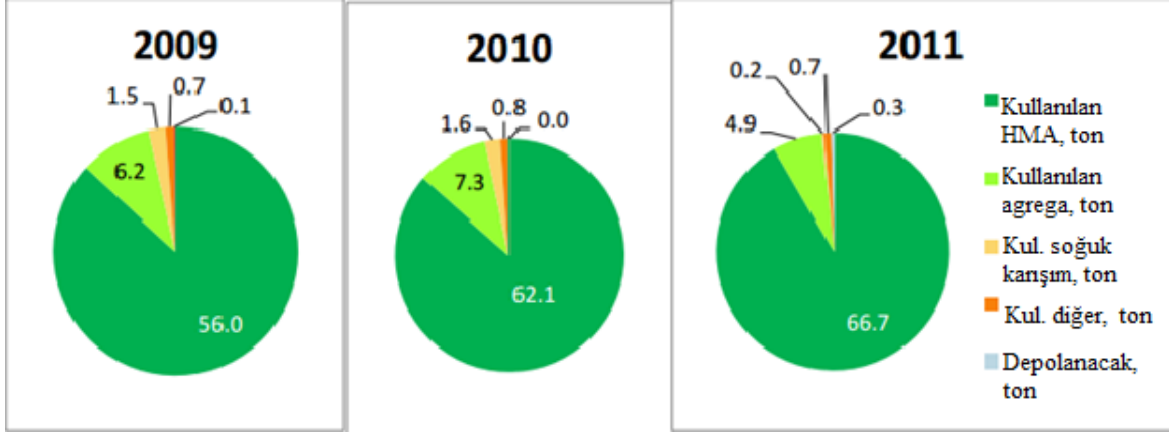
Tablo 2.3. U.S. Eyaletlerde bulunan asfalt şirketleri ve şube (tesis) sayıları [26].

Eyalet	2009-2010		2011		Eyalet	2009-2010		2011	
	Şirket	Tesis	Şirket	Tesis		Şirket	Tesis	Şirket	Tesis
Alabama	3	17	5	38	Montana	2	4	4	8
Alaska	3	20	2	2	Nebraska	-	-	1	3
Arizona	2	4	4	6	Nevada	2	3	2	3
Arkansas	3	9	2	9	New Hamps.	1	11	1	11
California	6	49	4	48	New Jersey	2	21	3	21
Colorado	8	26	7	24	New Mexico	-	-	1	3
Connecticut	2	18	3	23	New York	13	68	11	64
Delaware	1	3	-	-	N. Carolina	6	52	5	29
Florida	6	61	4	22	Ohio	5	50	5	87
Georgia	2	16	6	66	Oklahoma	4	20	3	18
Idaho	5	17	3	8	Pennsylvania	17	63	7	34
İllinois	16	44	7	24	PuertoRico	1	16	1	14
İowa	7	16	6	14	S. Carolina	4	16	3	6
Kansas	6	25	4	21	S.Dakota	1	3	3	9
Louisiana	2	5	2	5	Texas	7	38	9	41
Maine	2	19	2	17	Utah	5	30	6	17
Massachusetts	2	8	2	6	Virginia	5	38	7	26
Michigan	4	40	6	39	Washington	6	39	4	30
Missouri	6	35	7	38	Wyoming	2	2	3	7

49 Eyalette tamamlanan anket sonucunda toplam 203 şirket 1091 şube (plant) sayısı tespit edilmiştir.

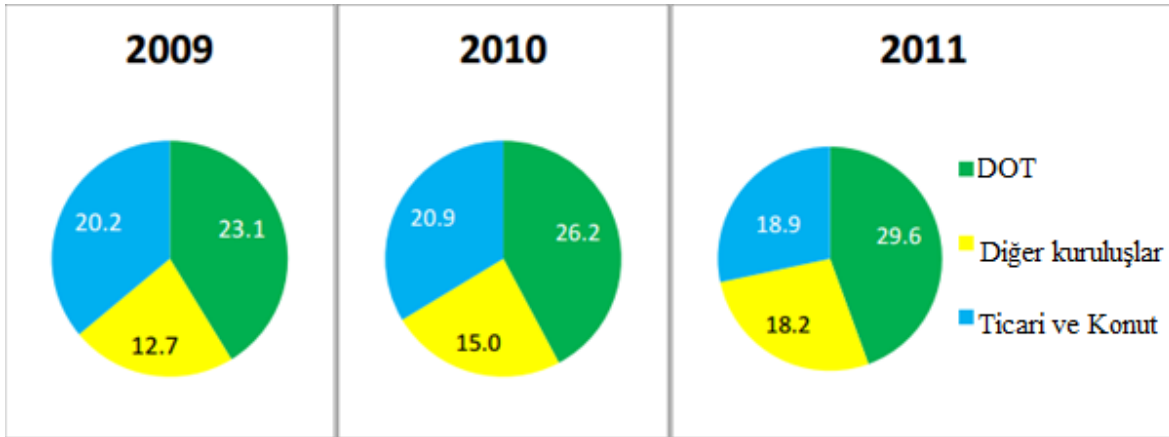
İzin verilen RAP eklenme oranları tabakadan tabakaya ve eyaletten eyalete farklılık göstermekle birlikte kullanılan RAP içeriği aşınma tabakasında genel olarak % 15, binder tabakasında % 15, temel tabakalarında % 20-25 i bulmaktadır.

HMA üreten DOT (Devlet Departmanı) ve diğer şirketlerin ürettikleri HMA ve RAP karışım miktarlarını göstermektedir. Genel olarak RAP kullanımında bir artış olduğunu söylemek mümkündür.



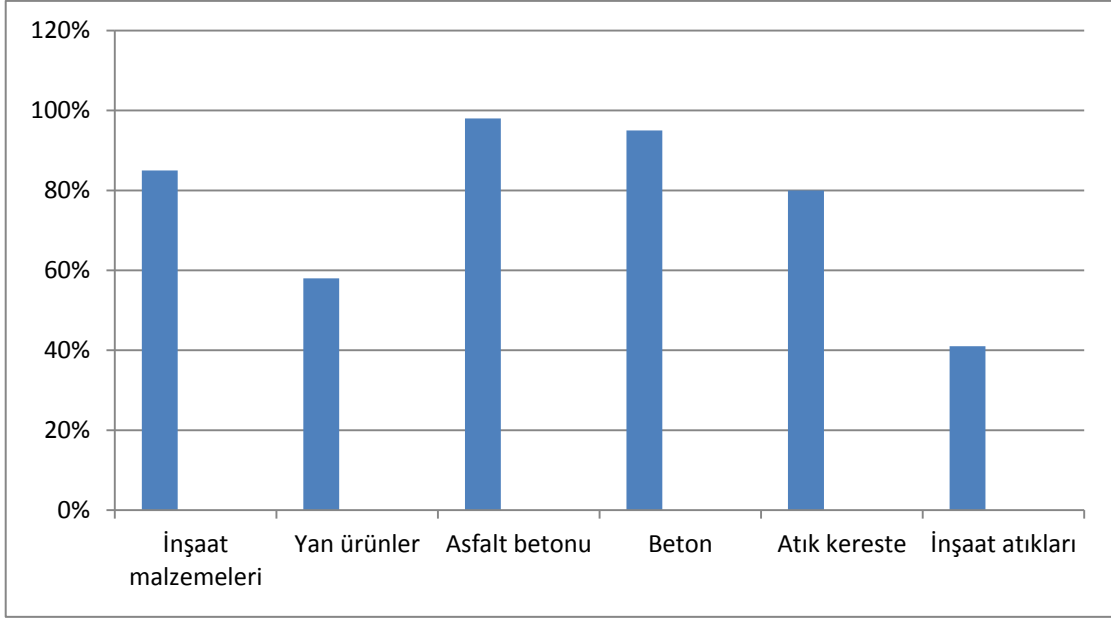
Şekil 2.2. RAP'ın geri dönüşüm özelliğine göre kullanımını [26].

Şekil 2.2'deki verilere göre en çok sıcak karışım asfalt kaplamalarda RAP kullanımında artış olduğu görülmektedir.



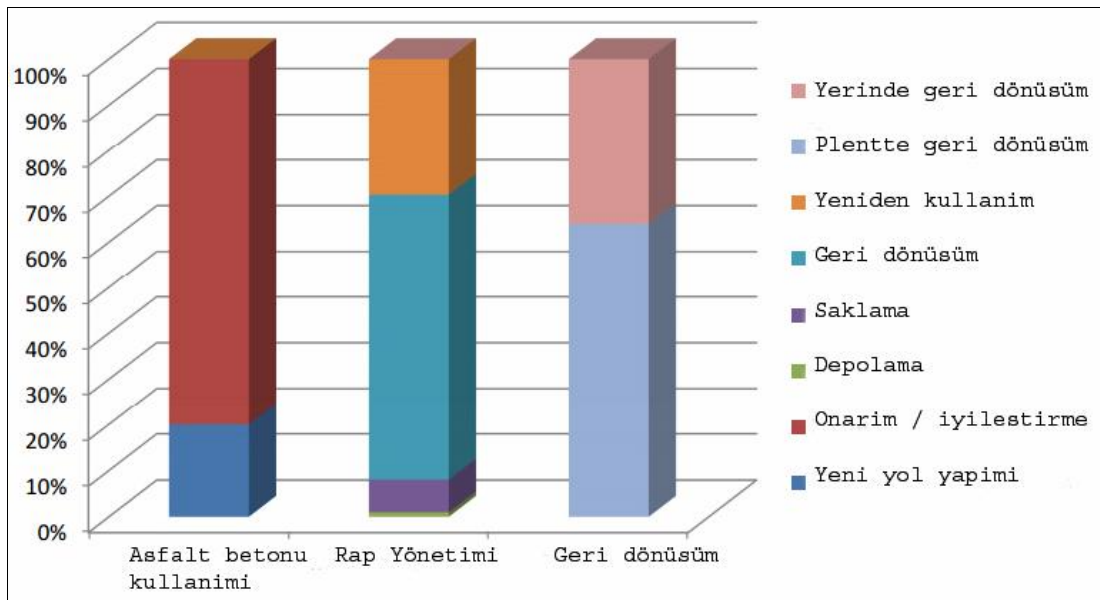
Şekil 2.3. Farklı sanayi sektörlerinde kullanılan RAP malzemesinin toplam miktarını göstermektedir [26].

Anket sonuçları göstermiştir ki asfalt karışımları içinde kullanılan RAP tahmini miktarı 2009 dan itibaren sürekli olarak artmıştır. RAP'ın kullanımı ton olarak 2009, 2010 ve 2011 de sırasıyla 56.1 milyon 62.1 milyon ve 66.7 milyon ton olmuştur. Bu yaklaşık % 19 yakın bir artışı göstermektedir [26].



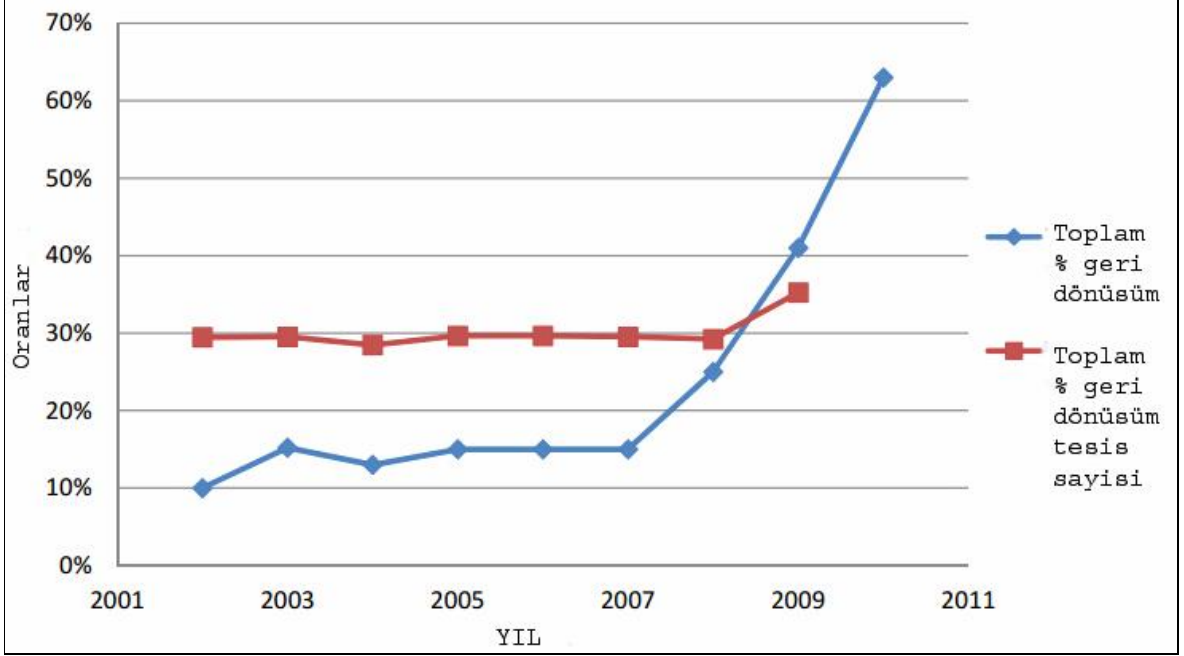
Şekil 2.4. Japonya’da geri dönüşüm malzeme türüne göre recycling [51].

Asya ülkelerinde asfaltın geri kazanımı ise 1980 li yıllarda çok az Kore, Hindistan’da görülmüş dünyada ki gelişim hızına göre son on yılda kullanımı hızla artmıştır. Çin’de 2000 yılında 20 recycling planti varken, 2004 yılında bu rakam 1000 recycling plantine çıkmıştır.



Şekil 2.5. 2010 yılında Fransa’da yol atık yönetimi ve geri dönüşüm [42].

Fransa’da yapılan anket sonuçlarına göre RAP kullanımı 2003 yılları itibariyle % 10 ile sınırlıyken 2010 da bu rakam % 63’lere kadar yükselmiştir.



Şekil 2.6. Fransa’da asfalt geri dönüşümünü ve gelişimini göstermektedir [42].

Şekil 2.6’da görüldüğü üzere geri dönüşüm son birkaç yıl içinde hızlı bir yükseliş göstermiştir, geri dönüşümdeki bu artış uygun asfalt plantlerinin 2009 yılında ufak bir artış yaşanması sonucu olarak geri dönüşüm potansiyelini de artırmıştır.

2.4. Kazınmış Asfalt Kaplamadaki Bitüm Oranı

Eski asfalt kaplama içindeki bitüm oranı için belli bir standart belirtilmemiştir. Eski malzemenin özelliklerine, kullanılan tabakanın durumuna göre değişiklikler gösterdiği, görülmüştür. Bitüm kullanım oranını belirlemede, geri dönüşümde kullanılacak asfaltın kaç yıl önce serildiğinin ve asfaltın hangi hava ve trafik koşullarına maruz kaldığının büyük önemi vardır. Üç dört yıllık bir asfalt kaplama malzemesi ile on, on beş yıllık kaplamanın belirgin farklılıkları olacaktır. Bu nedenle de işin laboratuvar kısmı çok önemlidir. Hiçbir zaman geri dönüşüm malzeme kullandığımızda şu kadar bitüm kullanırız ve ya bitüm kullanımımız şu kadar azalır diyemeyiz. Net rakamlar için mutlaka laboratuvar

çalışmalarına önem verilmelidir. [15] Genel olarak RAP malzemesindeki bağlayıcı (bitüm) içeriği tipik olarak % 3-% 7 arasında değişmektedir [24].



Şekil 2.7. Kazılmış RAP malzemesi



Şekil 2.8. Tipik işlenmiş RAP [24].

2.5. Geri Dönüşüm Uygulanacak Kazılmış Asfalt Kaplama Malzemelerinin Hazırlık Süreci, Kullanım Ömrü ve Performansı

Öncelikle kazınan malzemenin kazınmış ham hali ile kullanılmadığını belirtmek gerekir. Kazınan ekonomik değeri yüksek malzemenin yeni karışımda kullanılması için belirli hazırlık süreci vardır. Kazınan malzeme öncelikle temizlenir ve sonrasında kırma ve eleme işlemlerinden geçirilir. Geri dönüşüme getirilen asfalt kazılmış olarak ya da blok olarak da sahaya gelebilmektedir. Blok olarak gelen asfaltın altında yapışmış vaziyette çamur veya başka malzemeler bulunabilir. Bunların temizlenmesi gerekmektedir [15].

Kırılıp elenerek hazırlanmış geri dönüşüm malzemelerinin stoklanması, hazırlık süreci kadar önemli bir süreçtir. Hazırlanan malzemenin konik şeklinde stoklanması tercih edilmelidir böylece yağmur sularındanda daha az zarar görmesi sağlanacaktır [24].

Kazılmış asfalt kaplamasının kullanılması ülkemiz için çok yeni bir uygulama olduğundan elimizde RAP kaplamasının kullanım ömrüne ilişkin net bir sonuç olmamakla birlikte kullanım ömrünü belirlerken ilk yapım faaliyet ömrü ve gelecekte ki rehabilitasyon faaliyetlerini dikkatte alarak, RAP malzemesinin kullanıldığı yolun araç kullanım sıklığı ve araç trafik hızı verileri de kaplama ömür tayinini belirlemede etkili olacaktır. İyi dizayn edilmiş ve inşa edilmiş yollar, planlanan bakımla 20 yıldan daha uzun bir süre dayanır, RAP kaplamada ise durum bu süreden sadece birkaç yıl eksik veya eşittir. [40] Bozulmuş kaplamaların bakım uygulaması mı yoksa kaplamanın değiştirilmesi gerekip gerekmediğine karot numuneler alınarak sıkışma deneyi ile veya gözlemsel olarak yol yüzeyine konulan bir master yardımıyla da belirlenebilir.

RAP'lı asfalt karışım performansı ve kullanım ömrü Ulusal Asfalt Teknoloji Merkezi (NCAT)'ın araştırmasına göre Kuzey Amerika'da 18 projede klasik ve RAP'lı karışımların performansları karşılaştırılmış. Sonuçta % 30 RAP kullanım oranı için Tablo2.4 oluşturulmuştur. Kullanım ömürleri ise 6-17 yıl arasında belirlenmiştir [51].

Tablo 2.4. Klasik ve % 30 RAP ilaveli karışımların performans karşılaştırması [51].

	Klasik karışım RAP'li Karışımdan çok iyi %	RAP'li karışım klasik karışıma eşit ve daha yüksek performans %
Yüzey düzgünlüğü	42	58
Tekerlek izi	33	67
Yorulma çatlağı	29	71

Tablo 2.4'ün devamı

Boyuna çatlak	15	85
Enine çatlak	32	68
Blok çatlak	3	97
Sökülme	7	93

2.6. Yol Tabakalarında Uygulanan Geri Dönüşüm Miktarları

Bu konu, kullanılan malzemeye, karışım türüne ve de üretim plent tipine göre değişkenlik gösteren bir durumdur. Ülkeden ülkeye de farklılıklar göstermiştir. Bu konuyla ilgili İsfalt uyguladığı oranlar; aşınma tabakasında yüzde 10, binder tabakasında yüzde 15–20, bitümlü temel tabakasında da yüzde 35 oranındadır [12]. Bu oranlar, kullanılan malzeme türüne, üretim plent tipine ve asfalt tasarımına göre değişebilir. Bazı araştırmalar RAP malzemesinin aşınma katmanında mümkün olduğunca kullanılmamasını belirtiyor çünkü sökülmiş asfalt içerisindeki bitüm oksidasyona (sertleşme) uğramaktadır ve ilk yükü karşılayan aşınma tabakasında bu durum daha ciddi şekilde yansıdığından durumu biraz olsun sönmek için bir alt tabakadan başlanması önerilmiştir. [29] Bu uygulamayı gerçekleştiren bir başka şirket olan Nalbantoğlu İnşaat bu konuyla ilgili RAP malzemesinin yalnızca binder ve bitümlü temel tabakalarında kullandıklarını, ekleme yüzdesi olarak % 15-20 olduğunu belirtti.

Geri dönüştürülmüş karışımın içine konulan RAP'ın miktarı ve geri dönüştürülen karışımın kullanılacağı yerlere dair ana esaslar kuruluşa göre de değişiklik göstermektedir. Bazı kuruluşlar rutin olarak % 15 veya daha az RAP kullanırken, bazıları daha fazla RAP kullanımına müsaade etmektedirler. Yüksek RAP yüzdeleri karışım dizaynında ve bağlayıcı seçiminde ayarlama yapılmasını gerektirmektedir. Geri dönüştürülmüş bir karışımın içindeki RAP içeriğine dair önerilen yönergeler (talimatlar) aşağıdaki gibidir [29];

- % 15 veya daha az RAP: PG bağlayıcı, hiç kullanılmamış karışımında kullanılanla aynıdır.
- % 15- % 25 RAP: PG bağlayıcı hem yüksek hem de düşük sıcaklıkta bir derece düşük olmalıdır, örneğin PG 70-10'dan ziyade PG 64-16.

- % 25'ten fazla RAP: Kullanılacak RAP miktarını belirleyecek tasarım işleminin bir parçası olarak, geri kazanılmış asfaltı kullanılmamış asfaltla RAP'tan test edilmeli ve karıştırılmalı.

2.7. Geri Dönüşüm ile Malzemelerden Elde Edilen Tasarruf

Kullanılan asfalt geri dönüşüm malzemesinden dolayı agrega tasarrufu yanında bitümden elde edilen bir miktar tasarruf da bulunmaktadır. Bitümden elde edilen tasarruf da, önceki asfalt karışımına, kullanılan malzemeye, kullanılan agrega türüne göre değişebilir. İsfalt tecrübelerine göre bir ton asfalt içinde kullanılan bitüm miktarında 1 ila 5 kg arasında tasarruf edildiği görülmüştür [27].



Şekil 2.9. Depolanan RAP miktarı [27].

2.8. Geri Dönüşüm İçin Sağlanması Gereken Şartlar

Asfalt sektöründe geri dönüşüm uygulayabilmek için iyi bir laboratuvara ve donanımına sahip olmak gereklidir. Yolun tasarım ve uygulama aşamasında tüm kontrolleri yapılmalı eksiklikler giderilmelidir. Özellikle yoldan kazınan asfaltın ne zaman serildiği ve dizayn hususları bilinmiyorsa geri dönüşümle alınan malzemenin tasarımında ve

uygulamasında iyi bir laboratuvar ve kontrol sisteminin olması gerekir. Bu konuyla ilgili KTŞ 2006 da [17] bazı yapım şartları dikkat çekilmiştir.

Kazılmış asfalt kaplama malzemesinin gradasyonu ve bitümlü bağlayıcı miktarı homojen olacaktır. Bu nedenle kazımda kullanılan makineler aynı tip ve özellikte kazınmış malzeme üretecek şekilde kazıma yapacaktır [17].

Gradasyonu ve 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 [17].

Isıtılmış agregalar, kazılmış malzemeye de ısı transferi yapacağından, karışımın üniform bir sıcaklıkta olması için, agregalar gerekli sıcaklığa kadar ısıtılacaktır. Karışım hazırlamakta kullanılan plent; kazılmış asfalt kaplama malzemesini dizaynda belirtilen miktarda beslemek için gerekli donanımına sahip olacaktır. Bahsedilmeyen diğer hususlar için kazılmış asfalt kaplaması ile hazırlanan karışım hangi tabakada kullanılacak ise, o tabakanın şartnamesine ait kısımlarda belirtilen esaslar geçerlidir [17].

RAP ile üretilen asfaltın kalite özellikleri geleneksel sıcak karışımlar ile benzer olmalıdır. RAP birkaç kaynaktan alındıysa stokların homojen olmasına dikkat edilmeli işlenmiş RAP kullanımını arttıkça örnek numunedan alınan test işlemleri de artırılmalıdır. Çoğu kaynak genel olarak RAP kullanım oranını %25 i aşmayacak şekilde kullanılmasını tavsiye etmektedir [25].

Geri kazanılmış karışımı işlemek için herhangi bir özel tekniğe ihtiyaç yoktur. Ancak, kaplama (asfaltlama) personeli geri kazanılmış karışımın, tesisteki fazla ısınmadan koruması için kullanılmamış malzemeye (karışıma) göre daha düşük sıcaklıklarda dağıtılması gerektiğinden haberdar olmalıdır [29].

Başarılı bir geri dönüştürme projesinin anahtar unsuru, kullanılacak malzemenin uygun değerlendirilmesi ve karakterizasyonudur. Örnekleme miktarı ve testin türü büyük ölçüde seçilen geri dönüştürme yöntemine bağlıdır.

Temsil eden örnekler aşağıdakiler için test edilmelidir;

- Nem içeriği
- RAP 'ın gradasyonu (derecesi)
- Asfalt bağlayıcı içeriği
- Düzeltile asfalt bağlayıcı özellikleri
- Çakıl içeriği (yani derecelendirme, köşelilik)

- Mevcut karışımının hava boşluğu ve yoğunluk özellikleri

Tam derinlik yenilemenin düşünüldüğü durumlarda, taban ve taban altı malzemeler aşağıdaki başlıklar için örneklenmeli ve test edilmelidir;

- Nem içeriği
- Derecelendirme ve köşelilik
- Yoğrulabilirlik (plastisite) indeksi
- Kum eşdeğerliliği

Materyal değerlendirmesinden elde edilen bilgiler mevcut kaplama yapısındaki eksikliklere işaret edecek ilave çakıl ihtiyacının belirlenmesine de yardımcı olmaktadır [29].



Şekil 2.10. İnce RAP malzemesi [27].



Şekil 2.11. Kaba RAP malzemesi [27].



Şekil 2.12. RAP karışımı [27].



Şekil 2.13. RAP karışımından alınan örnekler [27].



Şekil 2.14. Deney için hazırlanan örnek numuneler [27].

2.9. %100 Geri Dönüşümdeki Yanlış Algılama

Son zamanlarda “yüzde 100 geri kazanım malzemenin tamamının aynı karışımda kullanılabilceği yönündeki söylemler artmıştır fakat bilgilerin tamamen yanlış algılamadan kaynaklanmaktadır.

Recycle malzemede oluşan oksidasyon (sertleşme) sebebiyle böyle bir kullanım oranı otoyol ve karayolu yapımında mümkün olmamaktadır. Bu tür söylemler yollardan kazınan tüm malzemenin kullanıldığı ifade etmek manasındadır. Yani yoldan toplanan tüm geri kazanım malzemesi kullanılmaktadır, ancak yeni karışım dizaynına oransal olarak katılarak kullanılmaktadır. Yüzde 100 geri kazanım malzemesinden bir karışım oluşturulduğunda bu karışımın kullanımı hiçbir tasarım ve ömür testine cevap vermeyecektir. Böyle bir karışım yapılmak istenirse, ancak bu karışımla trafik akışı olmayan bisiklet yolu, park sahası veya yaya yolu gibi uygulamalar yapılabilir [56].

2.10. Asfalt Geri Dönüşümünde Atık Madde Kullanımı

Ömrünü tamamlamış otomobil lastikleri; İSFALT A.Ş. ve TÜBİTAK MAM’ın yürüttüğü proje de öğütölmüş atık lastikler sıcak asfalt karışımlarında kullanılmıştır. Uygulamada kuru proses (Öğütölmüş lastiğın karışıma ilavesi) yapılmış ve 0,5 mm altı öğütölmüş lastik karışımın % 1 ‘i ve % 1,5’u oranında karışıma ilave edilmiştir. Tekerlek izi deney sonuçlarına göre sonuçlar karşılaştırılmıştır [52].

Tablo 2.5. Atık ilaveli sıcak asfalt karışımlarında tekerlek izi deney sonuçları

Asfalt Tipi	Lab. Numunesi	Üretim numunesi	Yol numunesi (karot)
Geleneksel Asfalt	3.51	3.35	3.88
Lastik Katkılı Asfalt	2.58	2.11	2.06

Beton atıklar; Betona ait parçalar yıkım alanlarından toplanarak konkasör ile kırma işleminde geçirilebilir ve asfalt karışımlar için uygun boyutlar haline getirilebilirler ancak inşaat atıklarında bol miktarda tuğla, tahta, plastik ve ytonğ parçaları bulunabildiğinden bu ürünün asfalt için dayanımsız ve yabancı madde çokluğu nedeniyle kullanıma elverişli görülmemiştir.

Cam atıklar; cam kırığının bitümlü sıcak karışımlarda kullanımıyla ilgili performans araştırmalarında bu atık ile oluşturulan karışımlar geleneksel karışımlara göre daha rijit olduğu fakat düşük sıcaklıklarda çatlamalara karşı daha dayanıksız olduğu tespit edilmiştir. Sonuçlar sıcak karışıma en fazla katılabilecek oranı %10 olarak belirtilmiştir. Mozaik görünümlü asfaltlarda kullanılan atık camın yolun görünebilirlik özelliklerini artırdığı görülmektedir [52].



Şekil 2.15. Mozaik görünümlü asfaltlar [52].

Shingle atıkları; içeriğinde bitüm, agrega, cam yünü bulunan çatı kaplama malzemesi shingle'ı, karışımın % 1,5 oranında ilave edilerek oluşturulan asfaltlar geleneksel karışımlara göre yaklaşık % 50 daha az tekerlek izi oluşturduğu kaydedilmiştir [52].

Mermer; üretim ve kesim tesislerinde toz asfalt karışımlarda belirli oranlarda dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır fakat yapılan araştırmalar bu çalışmaların atık içerisindeki yüksek kil nedeni ile olumlu sonuçlanmadığını göstermiştir.

Bitümlü membran atıkları; Bu atıklarda % 45 oranında bitüm içeriği bulunmaktadır bu atıkların geri dönüşümü gerçekleştirilirse bu bitüm oranından yararlanılabileceği tespit edilmiştir [52].



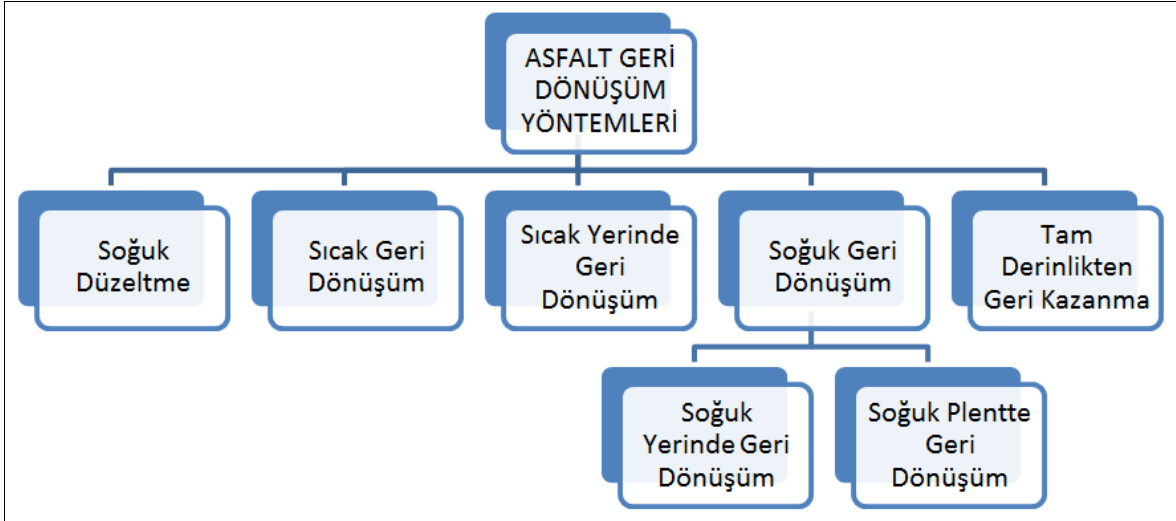
Şekil 2.16. Bitümlü membran atıkları [52].

Demir-Çelik Fab. Cürüfları; Bu konuyla ilgili Erdemir Ereğli Demir Çelik fabrikasının çelikhane cürüfları Tübitak-İsfaltprojesi olarak çalışılmıştır. Ancak cürüflarda ki yüksek pozozite, absorbsiyon bitüm ihtiyacını artırmış buda ekonomik olmayan sonuçlar ortaya çıkarmıştır.

2.11. Geri Dönüşüm Yöntemleri

Kaplamanın iyileştirilmesi esnasında ısı kullanılıp kullanılmamasına göre, sıcak geri dönüşüm ve soğuk geri dönüşüm olarak da iki ana başlıktan söz edilebilir. Asphalt geri dönüşüm ve rehabilitasyon birliği (Asphalt Recycling and Reclaiming Association - ARRA) beş farklı geri dönüşüm tekniği tarif etmektedir [13].

1. Soğuk düzeltme
2. Sıcak geri dönüşüm
3. 3-Sıcak yerinde geri dönüşüm
4. Soğuk geri dönüşüm
5. Tam derinlikten geri kazanma



Şekil 2.17. Geri dönüşüm yöntemlerinin sınıflandırılması [18].

Yoldaki trafik yoğunluğu kullanılacak işlemi seçmede etkili bir faktördür. Örneğin sıcak uygulama, yüksek trafik hacimli olan yollarda tercih edilir [56].

2.11.1. Soğuk Düzeltme

Soğuk düzeltme yönteminde bitümlü sıcak karışım kaplama tabakasında bozulmanın meydana geldiği kalınlık 5.5 cm (bozulma meydana geldiği tabaka kalınlığından yarım cm fazla alınarak kesilir) özel makinelerle kesilir elde edilen tabaka sürtünme katsayısı yüksek ve düzgündür. Uygulama bitiminde yol hemen trafiğe açılabilir, duruma göre kaldırılan malzeme yerine hemen veya ilerleyen zamanlarda geri dönüşümle kazanılmış veya yeni malzeme kullanılarak yeniden kaplama yapılabilir [19].



Şekil 2.18. Soğuk düzeltme [20].

2.11.2. Sıcak Geri Dönüşüm

Sıcak geri dönüşüm, hizmet ömrünü tamamlamış asfalt kaplamanın kazılarak malzemenin bir plentte taşınıp ardından yeni agrega, bitüm ve gerekli olursa katkı malzemeleri ile karıştırılmasıyla yapılan geri dönüşüm işlemidir. Özel tasarlanmış veya modifiye edilmiş harman (batch) tipi veya tambur (drum) tipi sıcak karışım plentleri geri kazanılmış karışımlar üretmek için kullanılabilir. Sıcak geri dönüşümde, elde edilen malzeme soğuk besleme yöntemi denilen yani hiçbir ısıl işlem uygulanmadan da plentin mikserine ilave edilebilir işleme ekonomik açıdan daha uygun gibi görülsede bu durum kazılan malzemedenden yararlanma oranını düşürmektedir. Özel plentlerin ilk yatırım maliyetleri yüksek olduğundan bu teknoloji ülkemizde soğuk besleme olarak tercih edilmektedir [19].

KGM teknik şartnamesi kısım 414'de en fazla % 25 oranında atık malzemenin sıcak geri dönüşümde kullanılabileceğini ayrıca kazınmış asfalt kaplamanın yeniden kullanımı ile hazırlanan sıcak karışımın yüzey tabakasında kullanılmasına izin verilmeyeceği belirtmiştir.

Şartnamede aynı zamanda asfalt kaplamanın kazılması sırasında kullanılan ekipman ve makinelerin özellikleri ve kaplamanın yapım şartları belirtilmiştir [17].

Klasik yöntemlerde olduğu gibi geri kazanmış asfalt malzemeleri (RAP) öğütme ve kırma işlemleri ile elde edilebilir. Kazılan asfalt kırma ve eleme işlemlerinden geçirilir sonra asfalt plentinde karıştırılır, serme ve sıkıştırma prosedürleri sıcak asfalt karışımlarında olduğu gibidir. Sıcak karışım geri dönüşümün avantajı; önemli bir yapısal sağlamlık sağlayıp deformasyon ve çatlamalara karşı direnç göstermesidir. Çoğu araştırma RAP malzemesinin geleneksel sıcak asfalt karışımı ile karşılaştırıldığında ona eşit veya daha iyi performans gösterdiğini belirtmiştir [2].

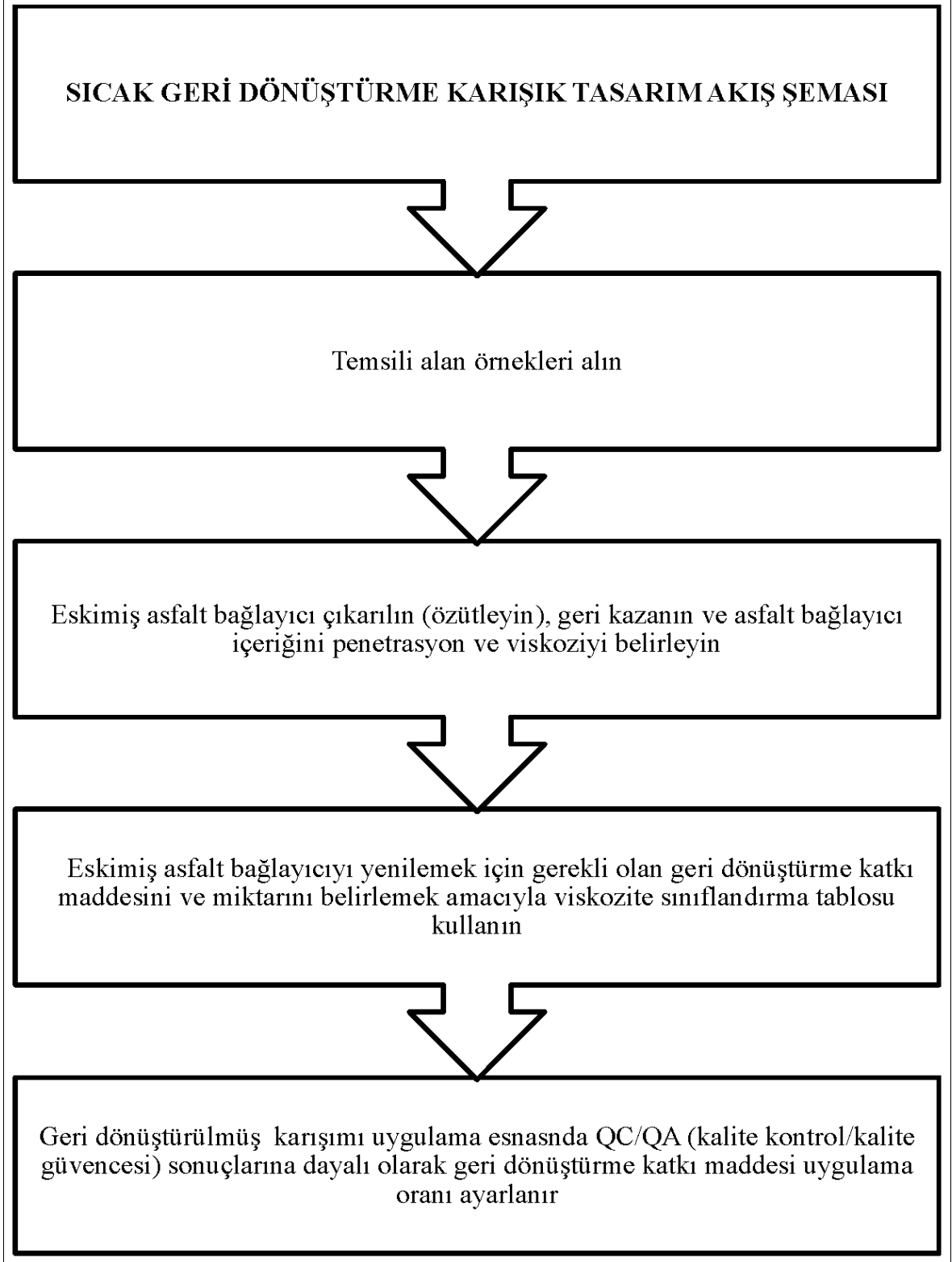
Sıcak geri dönüşüm yönteminde yüksek kapasite önemlidir; geri dönüştürülecek malzeme (RAP) ile karışıma girecek olan yeni agrega arasında ısı transferi yaşanacağından geri dönüştürülecek malzemenin (RAP) karışıma girmeden önceki rutubet değerinin minimumda tutulması için önlem alınmalıdır. Fazla olan rutubet karışıma girecek olan yeni agreganın rutubetini de arttıracığından yumuşatma işlemi için kullanılan ısı enerjisi agrega karışımının kurutmak için harcanacağından plent kapasitesini olumsuz etkileyecektir [20].

2.11.3. Sıcak Yerinde Geri Dönüşüm

Yerinde sıcak geri dönüşüm (HIR) uygulamasında yerden kazılan kaplamanın % 100'ü işleme girmektedir. Uygulamanın ilk yıllarında iyileştirme derinliği 20-50 mm arasında olduğu belirtilirken, günümüzde bu derinlik özel ekipmanlar sayesinde 75 mm'ye kadar çıkmıştır [20].

Uygulamada ısıyla işlenebilir ve kolay müdahale edilebilir hale getirilen asfalt kaplama tabakası; kazıma ve agrega tanelerinin kaplama tabakasından ayrışması işlemlerinden geçirilir. Gevşek hale gelen kaplama karıştırılarak yeni karışımla birlikte homojen olması sağlanır. Bu işlemlerden sonra karışım yola serilir ve sıkıştırılır [20].

Sıcak yerinde geri dönüşüm genellikle % 70 ile % 100 GKAK kullanımını içermektedir. Basitleştirilmiş bir akış şeması Şekil 2.19'da verilmiştir. Sıcak yerinde geri dönüşüm karışık dizayn işlemi için anahtar adımları göstermektedir. Bu tabloda belirtilen GKAK'tan elde edilen asfaltın bağlayıcı özellikleri penetrasyon ve viskozitedir [29].



Şekil 2.19. Sıcak geri dönüştürme karışık dizayn akış şeması [47].

Sıcak yerinde geri dönüşümde katar olarak isimlendirilen birbiri ardına dizilen iş makineleriyle arazide geri dönüşüm işlemi gerçekleştirilmektedir. Sıcak yerinde geri dönüşüm;

- Yüzeysel geri dönüşüm,
- Yeniden karıştırma ve
- Yeniden kaplama olmak üzere üç farklı şekilde yapılabilmektedir [19].



Şekil 2.20. Yerinde sıcak geri dönüşüm [20].

2.11.3.1. Yüzeysel Geri Dönüşüm

Yüzeysel geri dönüşümde yeni karışım veya agrega işleme girmez bu yüzden uygulamanın trafik yoğunluğu az olan yerlerde uygulanması önerilmektedir. Uygulamada yüzey ısıtıcı taşıyan makineler yüzeyi ısıtmakta sonrasında yerinden sökmektedir, eğer gerekli ise karışıma katkı maddesi ilavesinden sonra serilip sıkıştırılmaktadır. Yüzeysel geri dönüşümün en büyük avantajı karışıma yeni malzeme eklenmediğinden kaplama kalınlığının değişmemesidir [19].

2.11.3.2. Yeniden Karıştırma Yöntemi

Yöntemde kaplama ısıtılarak gevşek hale getirilmekte kazıldıktan sonra yeni agrega bitüm ve gerekliyse katkı ilavesinin ardından karıştırılmaktadır. Yeni ve eski karışımın birlikte karıştırılarak kullanıldığı bu yöntemde yüzeysel geri dönüşüme göre müdahale edilen derinliğin biraz daha fazla olduğu belirtilmektedir [19].

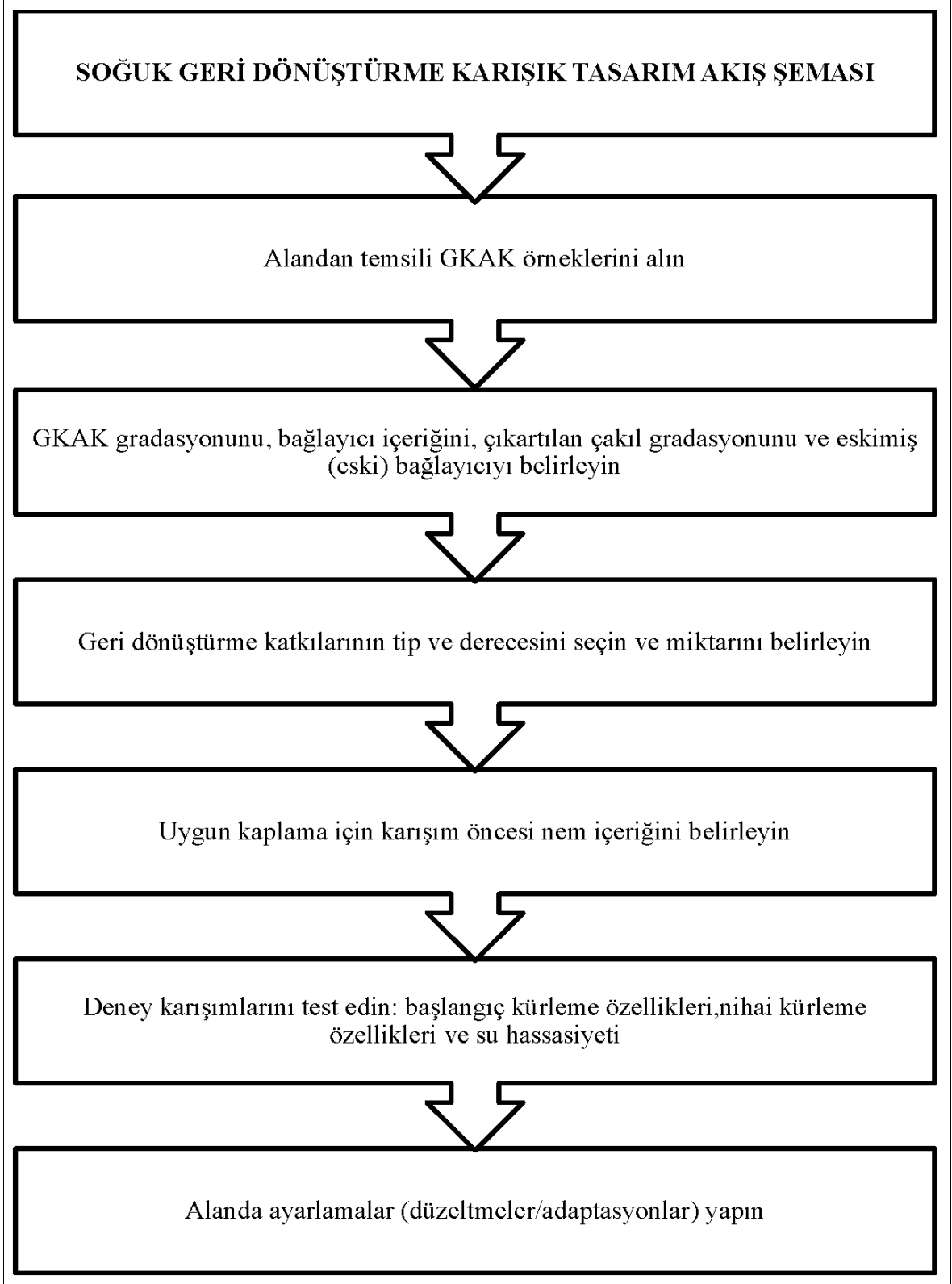
2.11.3.3. Yeniden Kaplama Yöntemi

Yeniden kaplama yönteminde yeni bitümlü sıcak karışım malzemesi ve geri dönüşümü sağlanmış malzeme birlikte kullanılmaktadır. Öncelikle yeni bitümlü malzeme karışımı uygulanmakta ardından geri dönüşümden elde edilen karışım birlikte sıkıştırılmaktadır böylece her iki tabaka arasında bir bağ oluşması sağlanmaktadır [19].

2.11.4. Soğuk Geri Dönüşüm

Soğuk geri dönüşüm yönteminde kaplamaya herhangi bir ısı işlem uygulanmadan kaplamanın kazılıp katkı ilavesi ile karışım homojen bir şekilde karıştırılarak serilip sıkıştırılması işlemlerinde oluşur. Soğuk geri dönüşüm soğuk yerinde geri dönüşüm ve soğuk merkezi plantte geri dönüşüm olmak üzere iki alt sınıfa ayrılmaktadır [19].

Soğuk geri dönüştürme (merkezi tesiste ve yerinde), emülsifiye edilmiş asfalt, emülsifiye edilmiş geri dönüştürme ajanı (maddesi), köpüklü asfalt ve kimyasal katkıların kullanımını içermektedir. Eskimiş asfalt bağlayıcısının bu geri dönüştürme maddeleri ile ne kadar yumuşatıldığını belirlemek güçtür. Soğuk geri dönüşüm için olan karışık dizayn işleminde (sürecinde) genellikle stabilite, esneklik modülü (katılık) ve nem hassasiyeti gibi karışık testler yer almaktadır. Bu testler hem kısa dönem hem de uzun dönem kütleme değerlendirmelerini içermektedir. Soğuk geri dönüşüm için olan basitleştirilmiş bir karışık dizayn akış şeması Şekil 2.21’de gösterilmektedir [29].



Şekil 2.21. Soğuk geri dönüştürme karışık dizayn akış şeması [47].

2.11.4.1. Soğuk Yerde Geri Dönüşüm

Soğuk yerde geri dönüşüm yönteminde adımda anlaşılabilceği gibi birbirlerini takip eden kazıma makinesi, parçalama ve eleme birimleri, karıştırıcı, serici ve sıkıştırıcıdan oluşan katar kullanılmaktadır. Uygulama derinliği genellikle ilk 100-150 mm derinlikte olan kaplamanın iyileştirilmesinde kullanılmaktadır [19].



Şekil 2.22. Soğuk yerde geri dönüşüm uygulaması [18].

2.11.4.2. Soğuk Merkezi Plentte Geri Dönüşüm

Soğuk merkezi plentte geri dönüşüm yönteminde kazınan malzeme merkezi bir plente taşınmakta ve uygulamasında herhangi bir ısı işlem uygulanmadan gerekli katkı ilavelerinden sonra karıştırılarak elde edilmektedir. Plentte soğuk geri dönüşüm de elde edilen malzeme daha çok bakım onarım uygulamalarında kullanılmaktadır [19].

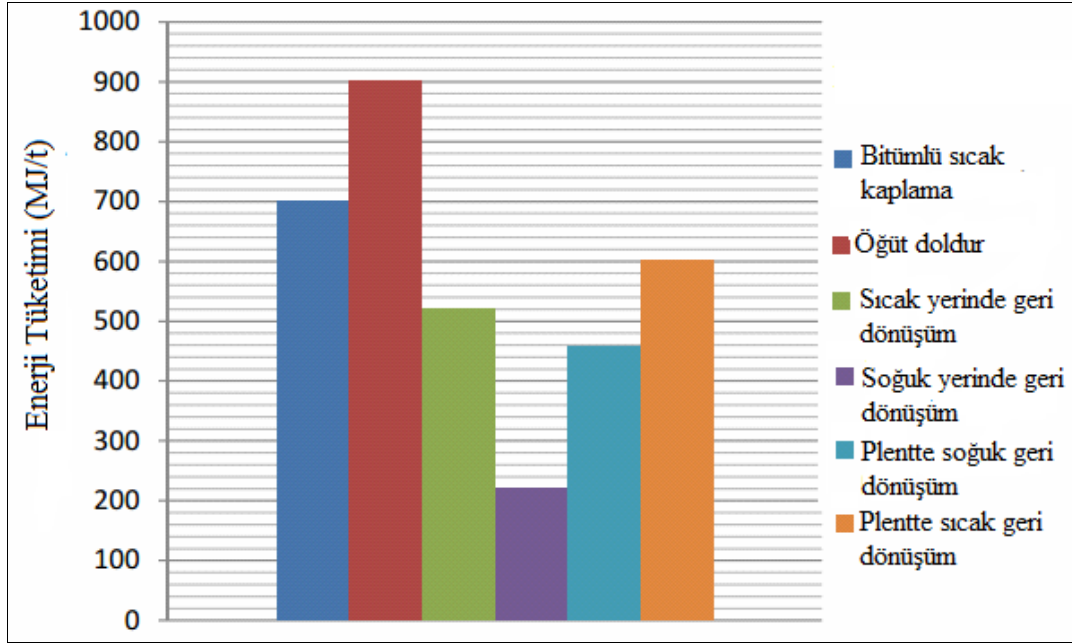


Şekil 2.23. Plentte soğuk karışım geri dönüşüm [20].

2.11.5. Tam Derinlikten Geri Kazanma

Tam derinlikli geri dönüşüm yönteminin tercih edilmesi de en büyük neden yol tabakalarındaki bozulmaların üst tabakalarda kalmayıp temel seviyelerine kadar ulaşmasıdır. Tam derinlikten geri kazanma yönteminde asfalt kaplama tabakasının tamamı sökülülmektedir. Kazınan asfalt gerekli katkı maddeleri ilavesinin ardından karıştırıldıktan sonra sıkıştırılarak tekrar serilmektedir. Katkı maddesi olarak portland çimentosu, asfalt emülsiyonları veya köpük asfalt kullanılabilir. Uygulamada ısı kullanılmamakta, kazınan derinlik ise genellikle 10-30 cm arasında değişmektedir [19].

Rehabilitasyon yöntemleri enerji tüketim karşılaştırılması;



Şekil 2.24. Farklı rehabilitasyon yöntemlerinin enerji tüketimleri [42].

Şekil 2.24'deki grafikte en az enerji tüketimi 200 megajoule ile yerinde soğuk geri dönüşüm olurken, diğer geri dönüşüm türlerinde en fazla enerji tüketiminin 900 megajoule'e kadar ulaştığı görülmektedir. Yerinde soğuk geri dönüşüm yöntemi aynı zamanda uygulamasında ısı olmadığı için gaz emülsiyonları yaymayarak büyük bir çevre koruyucudur.

Tablo 2.6. Geri dönüşüm yöntemlerinin karşılaştırılması [18].

Gerİ Dönüşüm Yöntemi	Uygulama Özellikleri	Avantajları	Dezavantajları
Soğuk Düzeltme	-Uygulama derinliği yolun bozulma derecesine göre tüm tabakalar için uygulanabilir -Isı kullanılmaz	-Trafik akışını çok etkilemez işlem biter bitmez yol kullanılabilir -Kaplamanın sürüş konforunu artırır. -Kaplamanın kayma direncini artırır.	-İşlem sırasında ortaya çıkacak toz -Yabancı maddelerden zarar görme ihtimali
Sıcak Geri Dönüşüm	-Isı kullanılır -Eski kaplamanın plentte, yeni agrega ve bitümlü malzeme ile karıştırılması ile oluşur	-Eski malzeme kullanıldığından daha az malzemeye ihtiyaç duyulur -En az yeni kaplama kadar kaliteli olur	-Malzemeyi plente taşıma maliyeti olur -Trafik akışını bir süre olumsuz etkiler
Sıcak Yerinde Geri Dönüşüm	-Uygulama derinliği 3-7cm -Isı kullanılır	-Daha az malzemeye ihtiyaç duyulur -Malzeme taşıma maliyeti azdır	-Yeni kaplamanın kalite kont. zorluğu -Yapımda kullanılan ekipmanlar büyük olduğundan trafik akışını olumsuz etkiler
Soğuk Geri Dönüşüm	-Isı kullanılmaz -Eski kaplama malzemesi kullanılır	-İşlem sırasında zararlı emisyonların az oluşması nedeniyle çevreye daha az zarar vermektedir -Yansıma çatlaklarını azaltır	-Malzeme taşıma maliyeti mevcuttur -Düşük trafik hacimli yollarda kullanılır
Soğuk Yerinde Geri Dönüşüm	-Uygulama derinliği 10-15cm -Isı kullanılmaz	-Malzeme taşıma maliyeti çok az -Yüzey çatlaklarının düzeltilir -Maliyeti önemli ölçüde düşürür	-Yapımda kullanılan ekipmanlar büyük olduğundan trafik akışını olumsuz etkiler -Düşük trafik hacimli yollarda kullanılır

2.12. Bozulma Türüne Göre Geri Dönüşüm Yöntemi Seçimi

Üstyapıda meydana gelen bozulmaya göre uygulanması gereken geri dönüşüm yöntemini gösteren Tablo 2.7 aşağıda verilmiştir [19].

Tablo 2.7. Bozulma türüne göre geri dönüşüm yöntemi seçimi [19].

Kaplama bozulma Tipi	Soğuk Düzeltme	Sıcak Geri Dönüşüm	Sıcak Yerinde Geri Dönüşüm	Soğuk Yerinde Geri Dönüşüm	Tam Derinlikten Geri Kazanım
Yüzey Kusurları					
Sökülme	X	X	X		
Cıllanma	X	X	X		
Kalıcı Deformasyon					
Tekerlek izi-sığ	X	X	X		
Tekerlek izi-derin		X			
Çatlaklar/Trafikten kaynaklanan					
Timsah sırtı çatlaklar		X		X	X
Boyuna çatlaklar		X	X	X	X
Kaplama kenarı çatlakları		X	X	X	X
Yansıma çatlakları		X	X	X	X
Çatlaklar trafikten kaynaklanmayan					
Blok tipi çatlaklar		X		X	X
Boyuna çatlaklar		X	X	X	X
Enine çatlaklar		X		X	X
Yamalar					
Yüzeysel yamalar					X
Derin yamalar		X			X
Problemliler		X			X
temel/alttemel					
Seyahat konforu /pürüzlülük					
Genel olarak pürüzlü	X	X	X		
Çukur	X	X	X		X

2.13. Geri Kazanım Süreci

2.13.1. Asfalt Kaplamanın Kazılması

Bozuk yol kotlarının düzeltilmesi ve yolun sürüş emniyetinin artırılması için özel makinelerle asfalt kazıma çalışması yapılmaktadır. Kaplamanın sökülmesi için en çok kırıcı kepçelerle yoldan asfalt kırma ve asfalt kazıyıcı makineler ile yoldaki asfaltın kazılması yöntemi uygulanmaktadır. Kazıma aşamasında, farklı asfalt tabakaları ayrı ayrı kazılmalı ve depolanmalıdır. Kazıyıcı makinesinin hızı, kazıma derinliği doğru ve sürekli

olmalıdır. KGM 2014 birim fiyatlarına göre KGM/18.190 poz no ile tanımlanan kırma taş, şose ve asfalt sökülmesi ve idarece gösterilecek yerlerde kullanılması veya istif edilmesi için m³ başına 10.03 TL olarak belirtilmiştir [49]. Son zamanlarda yaygınlaşan asfalt kazıma makinesi freze ise ülkemize merkezi Almanya'da bulunan Wirtgen grubu sağlamakta olup bu makinelerin fiyatı yaklaşık 320 bin euro (yaklaşık 924 bin TL) değerindedir. Bu makineler asfalttı elmas tırnakları ile istenilen derinlikte parçalayarak eski malzemenin geri dönüşümünde asfaltı kazımanın yanında büyük miktar öğütülmesini de sağlayarak geri kazanımda büyük rol oynamaktadır [48].

Kazıma makinesinin kırma ve kazma işlemini yaparken kaplama altında yer alan drenaj, su yapıları vb yapılara zarar vermemesine dikkat edilmelidir. Bu kazıların sonucunda, agrega şeklinde ve büyük kütleler halinde olmak üzere 2 çeşit asfalt parçaları atık olarak çıkmaktadır.

2.13.1.1. Agrega Halindeki Asfalt Kaplama Atığı

Agrega şeklinde kazılan asfalt kaplamaların geneli, ülkemizde; köy yolları, bozuk yollarda zemin malzemesi, dolgu malzemesi olarak geri kullanılmaktadır. Avrupa ve Amerika ülkelerinde bu atıklar stoklanarak yeni yapılan asfalt karışımlarında % 15-20 oranında ek makineler ile karıştırılarak geri kazanılmaktadır. Kazınan malzemeler özelliklerine göre ayrı ayrı depolanmalı, üst üste yığılmamalıdır [2].

Kazınmış malzemenin gradasyonu veya bitümlü bağlayıcı miktarı değiştiğinde karışım tasarımı tekrar hazırlanmalıdır bu yüzden agrega gradasyonunun ve karışımdaki bitümlü bağlayıcı miktarının homejen olması gerekmektedir. Burada dikkat edilecek nokta kazıda kullanılan makinelerin aynı tip ve özelliklere sahip olmasıdır. Karışım hazırlandıktan sonrada bu karışımdan günde en az birkaç kere numune alınarak gradasyon ve bitüm miktarı kontrolleri yapılmalıdır. RAP malzemesinin gradasyonunu ise şunlar belirler; Makine hızı, kazıma derinliği, kazıma tamburunun dönme hızı, diş sayısı vb. [12]

Günümüzde bu amaç için kullanılan makine elmas uçlu asfalt frezeleridir. 1999-2000 yıllarında asfalt frezeleri ülkemizde yaygınlaşmaya başlamıştır. Ve bugün ise Asfalt frezeleriyle kazılan agrega şeklindeki asfaltların asfalt üretimi % 40'ın üzerindedir [48].

2.13.1.2. Kütleler Halindeki Asfalt Kaplama Atığı

Ülkemizde Asfalt yama çalışmalarında, atık su ve içme suyu, doğal gaz, kanal kazıları, yolların alt geçit ve köprü yapımlarında ve birçok yol bakım ve onarımlarında olmak üzere % 60 oranında kütle halinde asfalt atığı kazılarak çıkarılmaktadır. Ve ne yazık ki bu şekilde kazılan asfaltın tamamı çöp olarak döküm sahalarına dökülmektedir [2].



Şekil 2.25. Asfalt kazıma makinesi (Freze) [12].

2.13.2. Kazılan Malzemenin Depolanması

Geri kazanılmış asfalt yığınlarının yüksekliği maksimum 3 metre ile sınırlandırılmalıdır. Sınırlama malzemenin ilave yükten ve yüksek hava sıcaklıklarında korunması içindir. Yine yığın üzerine yükleyici, dozer, kamyon gibi araçlar da çıkmamalıdır. Geri kazanılmış asfalt kaplama hava etkisinden korunmalı ve olabildiğince de kuru koşullarda tutulmalıdır, özellikle kış aylarında malzemenin bir örtü yardımı ile saklanması, yaz aylarında yapışmasının engellenmesine önem gösterilmelidir. Depolama sırasında nem durumuna dikkat edilmeli nemi minimuma indirebilmek için büyük stoklamalardan kaçınılmalıdır. Agregaya açık olarak depolandığında, oluşabilen yüksek ve değişken bir rutubet içeriği, homojen sıcaklıkta bir asfalt üretiminde, serimin de ve sıkıştırılmasında zorluklara neden olmaktadır [50].

Kazılan malzemenin depolanması durumunda kullanılacak alanı 1 km uzunluğunda 8 m genişliğinde bir yol için m^2 cinsinden hesaplırsak (5 cm lik aşınma tabakasının 1 km yol boyunca kazıldığı düşünölmüştür) $400 m^3$ lük kazılmış hacmi depolamak (maximum yüksekliğin 3 m olduğunu hesaba katılmıştır) için kullanılacak alan yaklaşık $133 m^2$ olarak bulunur. Sadece bu yol için yaklaşık $133 m^2$ bir alan atık sahası yapılmış olacaktır.

Depolama maliyeti ise KGM'nin 2014 birim fiyat kitabında KGM/4365 poz no ile tanımlanan taşınan bitümlü malzemenin depolanması ton başına 2.06 TL olarak verilmiştir. Kamyona yükleme boşaltma işlemleri için KGM/15.146/K poz no ile tanımlanan makine ile yüklem boşaltma fiğure işlemleri için m^3 başına maliyeti 2.69 TL olarak verilmiştir. [49]



Şekil 2.26. Rap malzemesi depolama [12].

2.13.3. Kazınan Malzemenin Yeniden Kırılması

Araziden kazılan kullanılmış malzeme temizlenip depolandıktan sonra kullanılacak yeni asfalt karışımındaki miktarına göre kırıcı ekipmandan geçirilip elenir. İşlemlerden sonra hazır hale gelen Rap malzemesinin belirli laboratuvar testlerinden geçirilmelidir. Üstyapı karışımlarında tasarım işlemleri genel olarak Marshall metoduyla yapılır fakat bunun yanında bazı ek deneylerde yapılması önerilmektedir. Çalışmalarda ilk olarak geri dönüştürölen asfalt kaplamasının gradasyon ve bitüm içeriği belirlenir ve asıl karışımına hangi % ile katılacağı tespit edilir. Bu tasarım işlemleri gerçekteştikten sonra asfalt üretimi yapılır [12].

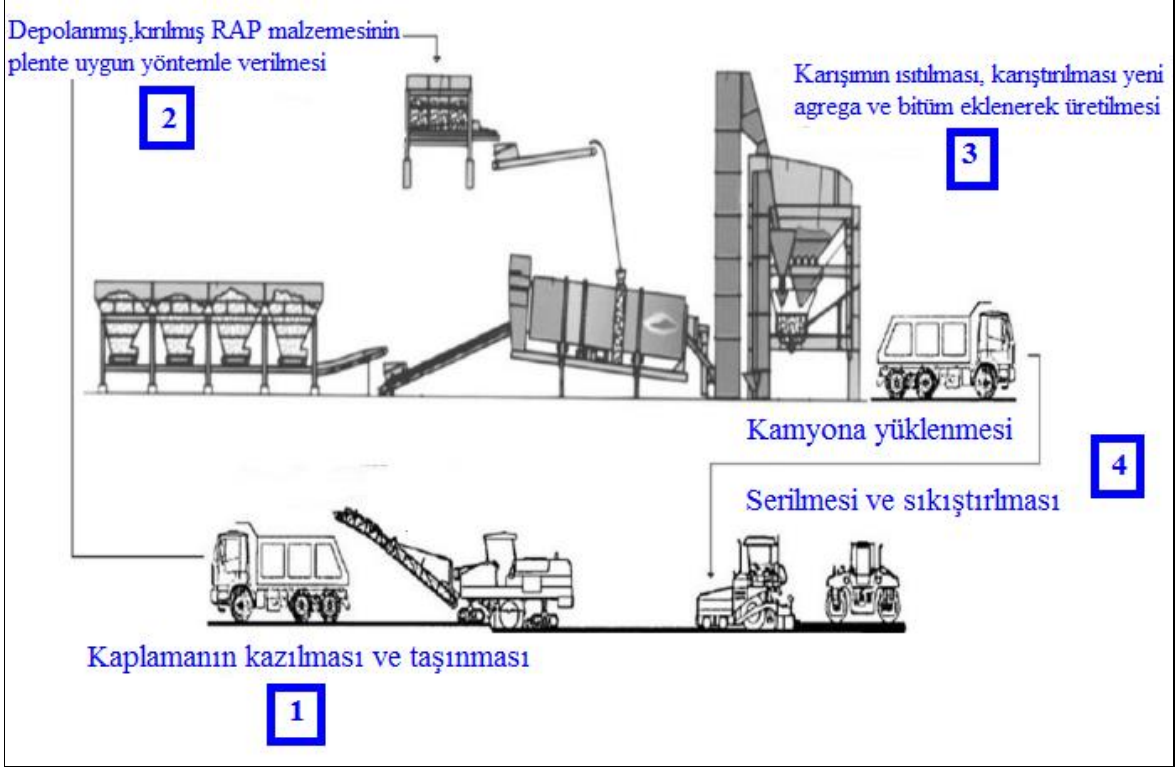
Geri dönüşümü yapılan malzemenin konkasör ile kırılma ve eleme maliyeti ise KGM'nin 2014 birim fiyat listesinde 4239 poz no ile tanımlanan elenmemiş malzemenin konkasörle kırılmış ve elenmiş agrega hazırlanması için belirtilen maliyet ton başına 6.54 TL olarak verilmiştir [49].



Şekil 2.27. Konkasör ile dane boyutlarının düşürülmesi [12].

2.13.4. Geri Dönüşüm Asfaltın (RAP) Üretilmesi

Asfalt plenti kullanılarak yapılan uygulama, geri kazanılmış malzemenin yeni karışıma katılması şekline göre sıcak ve soğuk besleme olarak iki kısma ayrılır. Plentin özelliğine göre değişen besleme yöntemlerinde eğer plentte bulunan ek kurutucu ile geri kazanılmış malzeme ısıtılarak yeni karışıma ilave ediliyorsa buna sıcak besleme yöntemi denilir. Soğuk beslemede ise ilave kurutucuyoktur ve kazanılmış asfalt malzeme ısıtılmış yeni agregaya mikserde eklenerek belirli bir süre karıştırıldıktan sonra bitüm ilavesi ile sıcak karışım hazırlanmaktadır. Soğuk besleme yöntemiyle yapılan uygulamalarda geri kazanım malzemesinin kullanım oranı %30'lar civarında kalmaktadır. Ülkemizde ise soğuk besleme yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır [12].



Şekil 2.28. Rap üretim süreci [12].

Üretim esnasında 4 ayrı üretim tipi bulunmaktadır [12]:

Direk elevatörden besleme yapılması Rap miktarı %10

Direk mikserden besleme yapılması Rap miktarı %20

Kurutucudaki ring ile besleme yapılması Rap miktarı %35

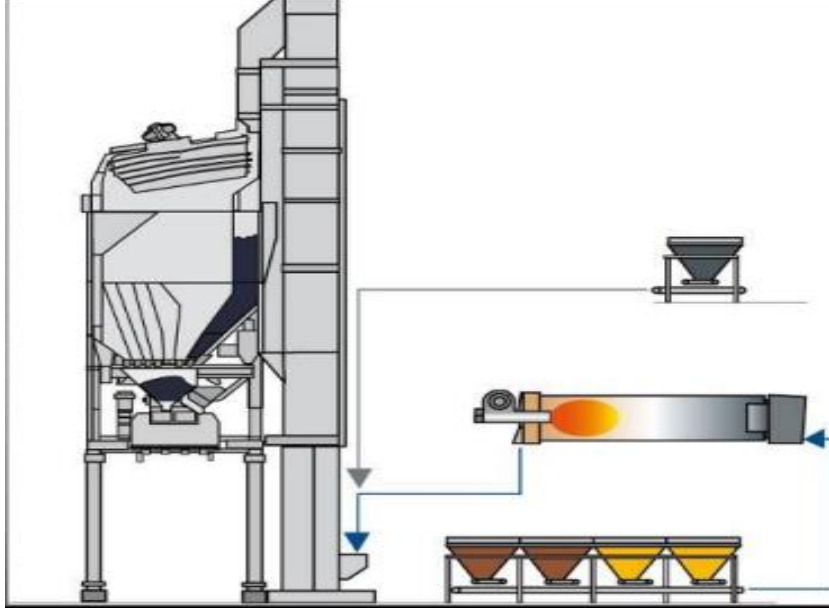
Paralel kurutucu ile besleme yapılması Rap miktarı %50

2.13.4.1. Direk Elevatörden (Kaldırıcı, Asansör) Besleme Yapılması

Uygulamada eleme sistemi olmamaktadır. Geri dönüşüm malzeme ekleme miktarı ise % 10 mertebesinde kalmaktadır.

Avantajı olarak düşük yatırım maliyetini gösterebiliriz.

Dezavantajları olarak, düşük miktar RAP malzemesi kullanılır dolayısıyla RAP malzemesinden istenilen ölçüde yararlanılmış olmaz, karışımın homojenliği için önemli olan eleme sistemi devre dışı kalmış ve agrega aşırı ısıtılmış olur.



Şekil 2.29. Direk asansörden besleme yapılması [12].

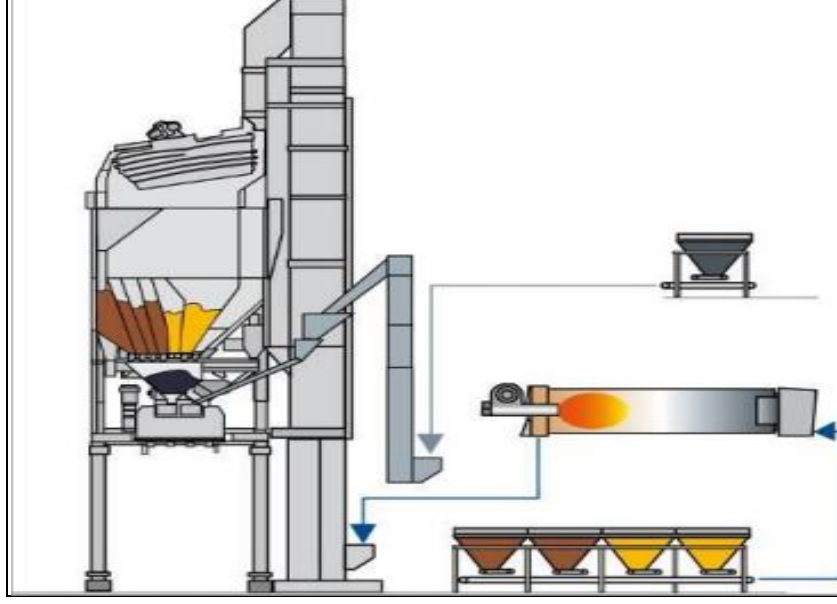
2.13.4.2. Direk Mikserden Besleme Yapılması

Direk mikserde malzemenin verilmesi durumunda kullanılan geri dönüşüm malzeme oranı % 20 civarında kalmaktadır. Mikserde oluşan buharlaşma dikkate alınmalıdır.

Avantaj olarak daha fazla RAP ekleme olanağı olduğunu söyleyebiliriz.

Dezavantajları olarak mikserin karıştırma süresi artmaktadır. Mikserde buhar patlamaları oluşması durumuna dikkat edilmelidir.

RAP malzemesinin soğuk olarak beslenmesi (elevatör ve mikserden ekleme) nedeniyle yeni agrega ve bitüm bir miktar daha fazla ısıtılmalı ve karıştırma süresinin arttırılmalıdır, sıkıştırma sırasında ise karışım daha çabuk ısı kaybettiğinden silindir sayısının arttırılması bu iki uygulamada da dikkat edilecek noktalardır.



Şekil 2.30. Direk mikserden besleme yapılması [12].

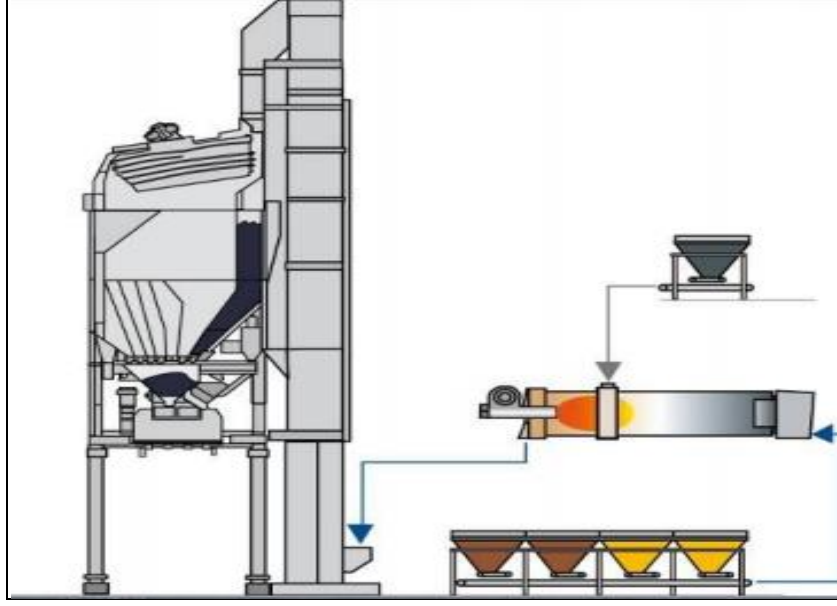
2.13.4.3. Kurutucudaki Giriş ile Besleme Yapılması

Malzemenin kurutucudan (Özel kurutucu girişi bulunan plentlerde) geçirilerek elavatore verilmesidir. Geri dönüşüm malzeme miktarı bu uygulamada % 35 civarında kalmaktadır.

Yöntem drum tipi plenler için uygundur fakat belirtilen ek kurutucuda (drayer) RAP malzemesinin eklenmesi için uygun giriş bulunmalıdır.

Avantajları olarak daha fazla RAP ekleme olanağı ve RAP malzemesini drayer içinde kurutulması gösterilebilir.

Dezavantajı ise elek sistemi yine devre dışı kalmaktadır ayrıca kurutucudaki agregaların yüksek sıcaklıktan etkilenme ihtimali gösterilebilir.



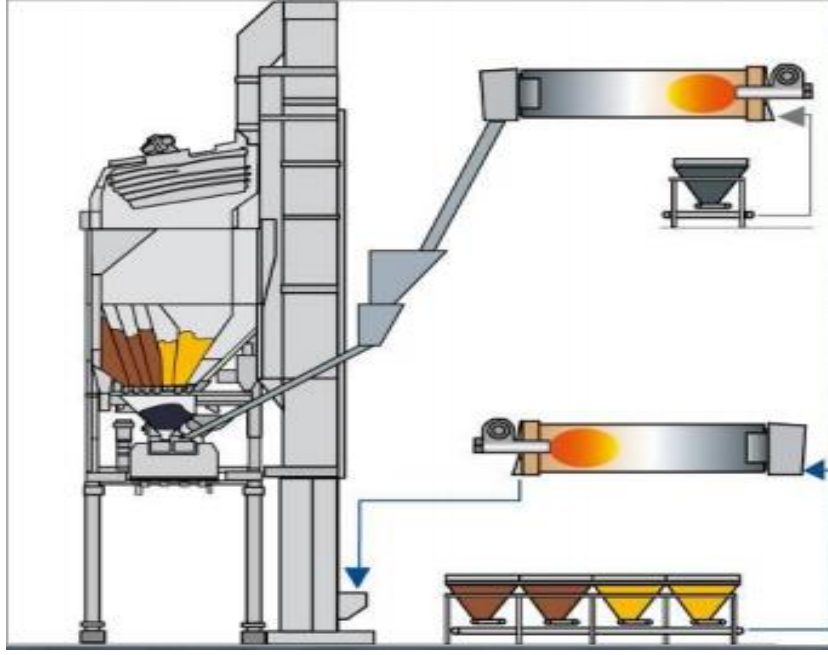
Şekil 2.31.Kurutucudaki giriş ile besleme yapılması [12].

2.13.4.4. Paralel Kurutucu ile Besleme Yapılması

İkinci kurutucuda malzeme kurutularak miksera verilir böylece eleme sistemi de devreye sokulmuş olur. Uygulamada kullanılacak yeni agregada ek ikincil bir ısıtıcı tarafından ısıtılarak miksera verildiği için geri dönüşüm malzemesi kullanım miktarı % 50 civarına kadar ulaşır.

Avantajı yüksek miktarda RAP ekleme olanağını ve agreganın elekten geçmesini söyleyebiliriz.

Dezavantajı çok yüksek yatırım maliyeti olmasıdır.



Şekil 2.32. Paralel kurutucu ile besleme yapılıması [12].

2.14. Malzemenin Değerlendirilmesi ve Tasarım Yöntemi

Asfalt kaplama malzemesinin oluşturulması sırasında, kazılmış asfalt kaplama malzemesi yeni agrega ve asfalt ile belirli bir karışım formülüne uygun olarak istenilen fiziksel özelliklere sahip olacak şekilde karıştırılır.

Dizayn sırasında kazılmış asfalt kaplama malzemesinin pratik olarak batch tipi plantlerde % 20-% 35, tamburda karıştırılmalı plantlerde % 20-% 50 oranında kullanılacağı dikkate alınmalıdır. Dizayn sırasında yapılacak işlemler aşağıda belirtilmiştir [21].

Kazılmış asfalt kaplamanın içindeki agreganın gradasyonu ve asfaltın % si belirlenir. Karışıma girecek yeni agreganın gradasyonu ve eğer temel zeminde kazımaya dahil edilmişse granüler temelin gradasyonu belirlenir.

İstenilen özelliklere sahip sıcak karışım kaplama tipine bağlı olarak şartnameye uygun bir gradasyonu verecek karışım oranları bulunur. Elde edilen agrega karışımı için gereken asfalt miktarı (P_c) hesaplanır daha sonra karışımdaki toplam asfalt miktarı (P_r) hesaplanır. Yeni asfalt tipi (viskozitesi veya penetrasyonu) belirlenir. Bulunan malzeme miktarlarına göre Marshall metodu ile deneme karışımları hazırlanır.

2.14.1. Agrega Karışımı İçin Gereken Asfalt Miktarının (Pc) Bulunması

Kazılmış malzemedeki agrega miktarı ve sonradan eklenecek yeni agrega miktarı için gereken asfalt miktarı aşağıda belirtilen ampirik formül ile bulunabilir [21].

$$P_c = 0.035a + 0.045b + X + F \quad (2.1)$$

$$X = 0.15c \text{ (No. 200'ü geçen \%11-\%15 ise)}$$

$$X = 0.18c \text{ (No. 200'ü geçen \%6-\%10 ise)}$$

$$X = 0.20c \text{ (No. 200'ü geçen \%5 ve daha küçük ise)}$$

$$a = \text{No. 8 üzerinde kalan agrega \% si (tam sayı olarak)}$$

$$b = \text{No. 8- No 200 arasında kalan agrega \% si (tam sayı olarak)}$$

$$c = \text{No. 200'ü geçen agrega \% si (tam sayı olarak)}$$

$$F = \%0-\%2 \text{ (malzemenin absorpsiyonuna bağlı olarak seçilir) [21].}$$

2.14.2. Karışımdaki Yeni Asfalt Miktarının (Pr) Bulunması

Karışıma ilave edilecek yeni asfalt miktarı aşağıda belirtilen formül ile bulunabilir.

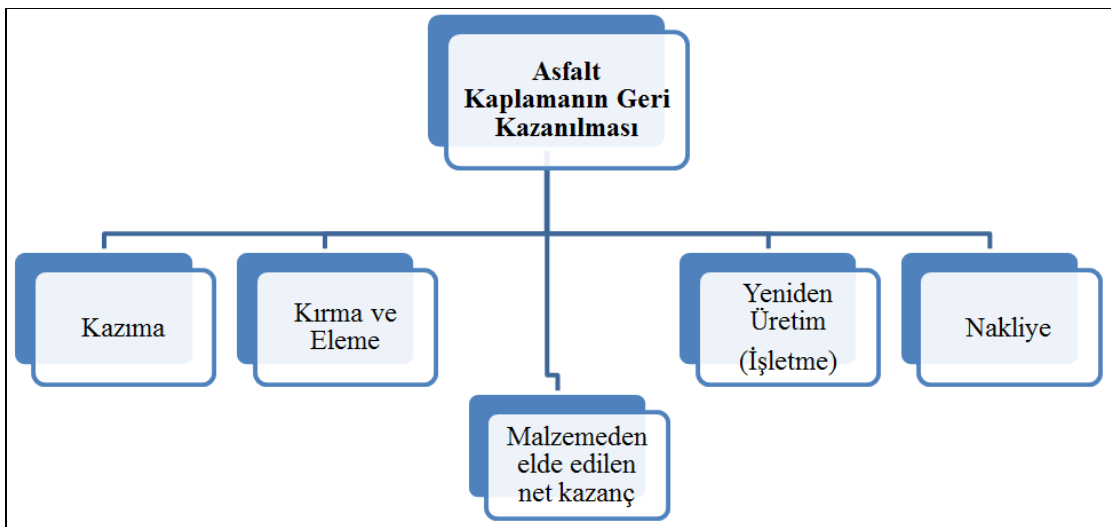
$$P_r = P_c - (P_a * P_p) \quad (2.2)$$

$$P_r = \text{Karışımdaki yeni asfalt \% si}$$

$$P_c = \text{Karışımdaki toplam asfalt \% si}$$

$$P_a = \text{Kazılmış malzemedeki asfalt \% si}$$

$$P_p = \text{Kazılmış malzemenin toplam karışımdaki \% si [21].}$$

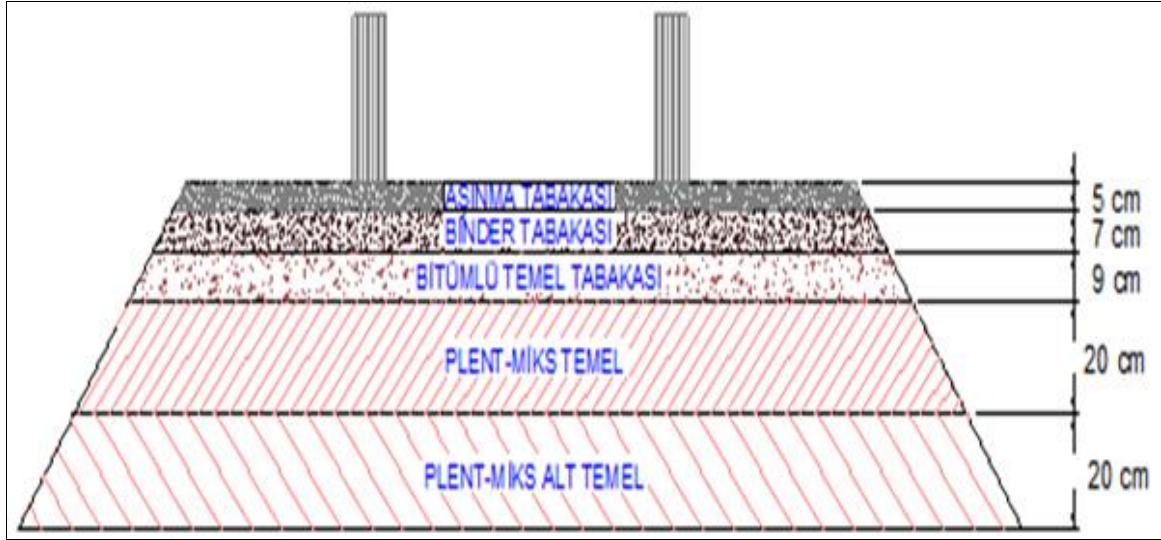


Şekil 2.33. Asfalt kaplamanın geri kazanımı

Bozulmuş asfalt kaplamanın geri dönüşümünün ülkemizde ve dünyada gelişim sürecini, yol tabakalarında uygulanacak geri dönüşüm miktarını belirterek geri dönüşüm yöntemlerinin açıklandığı bu bölümde geri kazanım sürecini birim maliyetleri ile anlatarak yapılacak olan maliyet hesaplamasına giriş yapılmaya çalışılmıştır.

3. YAPILAN ÇALIŞMALAR

3.1. Geleneksel Sıcak Karışım Yol Maliyet Analizi



Şekil 3.1. Örneklendirilen yol kesiti

Çalışmada 1 km uzunluğunda 8 m genişliğinde bir yol örneklendirilmiş ve bu yol üzerinde KGM 2014 birim fiyat listesine göre geleneksel yapım metotlarına uygun maliyeti tüm yol tabakaları için analizler ile hesaplanmıştır. Aynı karışım belirli % RAP ilaveleri ile tekrar hesaplanarak geleneksel karışıma göre km de ne kadar kâr sağlandığı belirlenmiştir. Bozulmuş asfalt kaplamanasının yeniden kullanılabilirliği bir takım hazırlık süreçlerini de kapsadığından bu süreçteki maliyetlerde hesaplanarak net bir sonuca gidilmeye çalışılmıştır.

Tezin bir diğer konusu olan, yol inşaatlarında önemli bir meblağ tutan taşıma masraflarını belirlemede kullanılan KGM 2014 birim fiyat listesinde ki formüller ise aşağıda belirtilmiştir. Formüller taşınacak mesafeye ve taşınan malzeme türüne göre birkaç farklılık göstermektedir, örneklemede kullanılan taşıma formülleri aşağıda belirtilmiştir;

Agrega nakliyesi için (10 000 metreye kadar)

07.005/K-1 poz nolu ariyet ocağından getirilecek veya depoya gidecek kazının taşınması (10 000 metreye kadar)

$$F=1.25 \times 0.00034 \times K \times \sqrt{M} - 0.00425 \times K \quad (3.1)$$

$K=196$ olup rayiç cetvelinde yazılı olan (poz no:02.017) her cins ve tonajda motorlu araca ait taşıma katsayısıdır.

\sqrt{M} = Taşıma yolu üzerinden ölçülen mesafeler esas alınarak hesaplanan metre cinsinden ortalama taşıma mesafelerinin kareköklerinin ağırlıklı ortalamasıdır.

Karışımın nakliyesi için (10 000 metreye kadar)

07.005/K poz nolu kazıdan başka inşaat malzemelerinin taşınması (10 000 metreye kadar)

$$F=1.25 \times 0.00017 \times K \times \sqrt{M} \times A \quad (3.2)$$

$K=07.005/K-1$ daki gibidir

$\sqrt{M}=07.005/K-1$ daki gibidir

A =Güçlük katsayısı

Güçlük katsayısı, güç şartlar altında yapılacak taşımalarda taşıma yollarının özelliklerini, iklimi ve taşımanın o bölgenin ticari nakliyesinin yoğun olduğu zamana rastlaması gibi faktörlerden birinin veya birkaçının aynı anda olması halinde ayrıca işin özelliğine bağlı olarak ilk keşif sırasında veya ihaleden önce olmak üzere idarece yetkili makamlarca tespit edilen A katsayısı 1(dahil) - 3(dahil) arasında bir değerdir.

Kolay şartlar altında yapılan çalışmalardan 1'den küçük de tespit edilebilir. Eğer ilk keşif veya ihaleden önce A için bir değer tespit edilmemişse $A=1$ alınarak uygulama yapılmaktadır.

Kaşımın nakliyesi için (10 000 metre den fazla)

07.006/K poz nolu kazıdan başka inşaat malzemelerin taşınması (10 000 metreden fazla)

$$F=1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A \quad (3.3)$$

$K=07.005/K-1$ daki gibidir

M =Taşıma yolu üzerinden ölçülen mesafeler esas alınarak hesaplanan km. cinsinden ortalama taşıma mesafelerinin kareköklerinin ağırlıklı ortalamasıdır.

$A=07.005/K$ deki gibidir.

Çorum ili sınırları içinde 2014 yılı itibariyle geleneksel yöntemle yapıldığı varsayılan bu yol için agreganın yaklaşık 10 km mesafeden, bitümün 160 km uzaklıkta ki Kırıkkale ilinden ve yapılan yolun şantiyeye 50 km mesafe olduğu varsayılmıştır. Yapılan analizler Tablo 3.1'de aşınma tabakası, 3.2'de binder tabakası, 3.3'de bitümlü temel tabakası, 3.4'de plent-miks temel tabakası ve 3.5'de plent-miks alt temel tabakası için ton başına birim maliyetleri hesaplanmıştır.

Tablo 3.1. Geleneksel yöntemle esnek kaplama kesitinde aşınma tabakası yapım analizi, 2014.

ÇORUM SINIRLARINDA YOL MALİYET ANALİZİ					
Tanım	AŞINMA TABAKASI YAPIMI				
Birim	TON				
BİRİM FİYAT NO	İŞİN ADI	BİRİMİ	MİKTARI	BİRİM FİYAT	TUTAR (TL)
KGM/4104	Ocak taşından konkasörle kırılmış ve elenmiş 19 mm. (3/4) ve 12.5mm. (1/2) lik agrega hazırlanması	TON	0.209	15.56	3.25
KGM/4106	Ocak Taşından konkasörle kırılmış ve elenmiş 9.5 mm. (3/8) lik Agrega hazırlama	TON	0.295	16.52	4.87
KGM/4107	Ocak taşından konkasörle kırılmış ve elenmiş 4.75 mm, lik ve daha küçük agrega hazırlanması	TON	0.448	17.13	7.67
Özel01	Bitüm bedeli (70/100)	TON	0.048	795.88	38.20
KGM/4358	Katı bitümlü malzemenin sarnıç veya tanklarla emiş derecesine kadar ısıtılması	TON	0.048	31.79	1.53
KGM/4365	Sarnıçlı vagon tanker kamyon gibi kaplarla taşınan bitümlü malzemenin depolanması	TON	0.048	2.06	0.099
KGM/4366	Bitümlü malzemenin asfalt pompası ile bir kaptan diğer bir kaba aktarılması	TON	0.096	1.03	0.099
KGM/4378	Beton ve her nevi asfalt yolların makine ile süpürülmesi	DA	0.001	12.65	0.013
Özel02	Bitümlü yapıştırıcı bedeli (MC800)	TON	0.002	1490.34	2.98
KGM/4398	Distribütör makinesi ile yapıştırma bitümlü malzemenin püskürtülmesi (Boru ile)	DA	0.002	33.05	0.066
KGM/4440	Büyük plent ünitesi ile karışım hazır. serilmesi ve silindirle sıkıştırılması (finişerle)	TON	1.00	31.75	31.75
KGM/4269	Malzemenin kantar ile tartılması	TON	1.00	0.04	0.04
Agrega Nakliyesi		M=10 Km			
07.005/K-1	$F=1.25 \times 0.00034 \times K \times \sqrt{M} - 0.00425 \times K$				7.49
K	K:196 olup, Motorlu Araç Ait Taşıma Kat				
\sqrt{M}	M:m Cinsinden Ort Taşıma Mesafesi				

Tablo 3.1'in devamı

Bitüm Nakliyesi		M=160 Km	
07.006/K	$F=1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$		29.89
K	K:196 olup, Motorlu Araç Ait Taşıma Kat.		
M	M:Km Cinsinden Ort Taşıma Mesafesi		
A	A:1 olup Zorluk Katsayısı		
Karışımın Nakliyesi		M=50 Km	
07.006/K	$F=1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$		11.03
K	K:196 olup, Motorlu Araç Ait Taşıma Kat.		
M	M:Km Cinsinden Ort Taşıma Mesafesi		
A	A:1 olup Zorluk Katsayısı		
Genel Toplam			138.98

Tablo 3.2. Esnek kaplama kesitinde binder tabakası yapım analizi, 2014.

ÇORUM SINIRLARINDA YOL MALİYET ANALİZİ					
Tanım	BİNDER TABAKASI YAPIMI				
Birim	TON				
BİRİM FİYAT NO	İŞİN ADI	BİRİMİ	MİKTARI	BİRİM FİYAT	TUTAR (TL)
KGM/4102	Ocak taşından konkasörle kırılmış ve elenmiş 25 mm ve 19 mm. (3/4) likagrega hazırlanması	TON	0.306	14.24	4.36
KGM/4105	Ocak taşından konkasörle kırılmış ve elenmiş 12.5 mm ve 9.5 mm likagrega hazırlanması	TON	0.259	16.18	4.19
KGM/4107	Ocak taşından konkasörle kırılmış ve elenmiş 4.75 mm ve daha küçük agregaya hazırlanması	TON	0.392	17.13	6.71
Özel01	Bitüm bedeli (70/100)	TON	0.043	795.88	34.22
KGM/4358	Katı bitümlü malzemenin sarnıç veya tanklarla emiş derecesine kadar ısıtılması	TON	0.043	31.79	1.37
KGM/4365	Sarnıçlı vagontanker kamyon gibi kaplarla taşınan bitümlü malzemenin depolanması	TON	0.043	2.06	0.089
KGM/4366	Bitümlü malzemenin asfalt pompası ile bir kaptan diğer bir kaba aktarılması	TON	0.086	1.03	0.089
Özel02	Bitümlü yapıştırıcı bedeli (MC800)	TON	0.001	1490.34	1.49

Tablo 3.2'nin devamı

KGM/4398	Distribütör makinesi ile yapıştırma bitümlü malzemenin püskürtülmesi (Boru ile)	DA	0.001	33.05	0.033
KGM/4440	Büyük plent ünitesi ile karışım hazır. Serilmesi ve silindirle sıkıştırılması (finişerle)	TON	1.00	31.75	31.75
KGM/4269	Malzemenin kantar ile tartılması	TON	1.00	0.04	0.04
Agrega Nakliyesi		M=10 Km			
07.005/K-1	$F=1.25 \times 0.00034 \times K \times \sqrt{M} - 0.00425 \times K$				7.49
K	K:196 olup, Motorlu Araç Ait Taşıma Kat				
\sqrt{M}	M:m Cinsinden Ort. Taşıma Mesafesi				
Bitüm Nakliyesi		M=160 Km			
07.006/K	$F=1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$				29.89
K	K:196 olup, Motorlu Araç Ait Taşıma Kat.				
M	M:Km Cinsinden Ort Taşıma Mesafesi				
A	A:1 olup Zorluk Katsayısı				
Karışımın Nakliyesi		M=50 Km			
07.006/K	$F=1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$				11.03
K	K:196 olup, Motorlu Araç Ait Taşıma Kat.				
M	M:Km Cinsinden Ort Taşıma Mesafesi				
A	A:1 olup Zorluk Katsayısı				
Genel Toplam					132.75

Tablo 3.3. Esnek kaplama kesitinde bitümlü sıcak temel yapım analizi, 2014.

ÇORUM SINIRLARINDA YOL MALİYET ANALİZİ					
Tanım	BİTÜMLÜ SICAK TEMEL YAPIMI				
Birim	TON				
BİRİM FİYAT NO	İŞİN ADI	BİRİMİ	MİKTARI	BİRİM FİYAT	TUTAR (TL)
KGM/4101	Ocak Taşın konkasörle kırılmış-elenmiş 37.5 mm.lik agrega hazırlama	TON	0.096	12.65	1.21
KGM/4102	Ocak taşından konkasörle kırılmış ve elenmiş 25 mm ve 19mm. (3/4) lik agrega hazırlanması	TON	0.250	14.24	3.56

Tablo 3.3'ün devamı

KGM/4105	Ocak taşından konkasörle kırılmış ve elenmiş 12.5 mm ve 9.5 mm likagrega hazırlanması	TON	0.231	16.18	3.74
KGM/4107	Ocak taşındankonk. kırılmış ve elenmiş 4.75 mm ve daha küçük agr. hazırlanması	TON	0.385	17.13	6.60
Özel01	Bitüm bedeli (70/100)	TON	0.038	795.88	30.24
KGM/4358	Katı bitümlü malzemenin sarnıç veya tanklarla emiş derecesine kadar ısıtılması	TON	0.038	31.79	1.21
KGM/4365	Sarnıçlı vagon tanker kamyon gibi kaplarla taşınan bitümlü malzemenin depolanması	TON	0.038	2.06	0.078
KGM/4366	Bitümlü malzemenin asfalt pompası ile bir kaptan diğer bir kaba aktarılması	TON	0.076	1.03	0.078
Özel02	Bitümlü yapıştırıcı bedeli (MC800)	TON	0.001	1490.34	1.49
KGM/4398	Distribütör makinesi ile yapıştırma bitümlü malzemenin püskürtülmesi (Boru ile)	DA	0.001	33.05	0.033
KGM/4440	Büyük plent ünitesi ile karışım hazır. Serilmesi ve silindirle sıkıştırılması (fişişerle)	TON	1.00	31.75	31.75
KGM/4269	Malzemenin kantar ile tartılması	TON	1.00	0.04	0.04
Agrega Nakliyesi		M=10 Km			
07.005/K-1	$F=1.25 \times 0.00034 \times K \times \sqrt{M} - 0.00425 \times K$				7.49
K	K:196 olup, Motorlu Araç Ait Taşıma Kat				
\sqrt{M}	M:m Cinsinden Ort Taşıma Mesafesi				
Bitüm Nakliyesi		M=160 Km			
07.006/K	$F=1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$				29.89
K	K:196 olup, Motorlu Araç Ait Taşıma Kat.				
M	M:Km Cinsinden Ort Taşıma Mesafesi				
A	A:1 olup Zorluk Katsayısı				
Karışımın Nakliyesi		M=50 Km			
07.006/K	$F=1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$				11.03
K	K:196 olup, Motorlu Araç Ait Taşıma Kat.				
M	M:Km Cinsinden Ort Taşıma Mesafesi				
A	A:1 olup Zorluk Katsayısı				
Genel Toplam					128.44

Tablo 3.4. Esnek kaplama kesitinde plent-miks temel yapım analizi, 2014.

ÇORUM SINIRLARINDA YOL MALİYET ANALİZİ					
Tanım	PLENT-MİKS TEMEL YAPIMI				
Birim	TON				
BİRİM FİYAT NO	İŞİN ADI	BİRİMİ	MİKTARI	BİRİM FİYAT	TUTAR (TL)
KGM/4101	Ocak Taşın konkasörle kırılmış-elenmiş 37.5 mm.lik agrega hazırlama	TON	0.239	12.65	3.02
KGM/4102	Ocak Taşın konkasörle kırılmış-elenmiş 25 mm ve 19 mm.lik agrega hazırlama	TON	0.239	14.24	3.40
KGM/4105	Ocak taşından konkasörle kırılmış ve elenmiş 12.5 mm ve 9.5 mm likagrega hazırlanması	TON	0.239	16.18	3.87
KGM/4107	Ocak taşından konkasörle kırılmış ve elenmiş 4.75 mm, lik ve daha küçük agrega hazırlanması	TON	0.240	17.13	4.11
KGM/4465/3	Plent-miksalttemel ve temel karışımının hazırlanması	TON	1.00	3.63	3.63
KGM/4466/5	Plent-miksalttemel ve temel karışımlarının erle elektronik finişerle serilmesi ve silindirle sıkıştırılması	TON	1.00	7.78	7.78
KGM/4269	Malzemenin kantar ile tartılması	TON	1.00	0.04	0.04
KGM/15.047	Arazöz ile sulama	TON	0.01	7.54	0.08
Agrega Nakliyesi		M=10 Km			
07.005/K-1	$F=1.25 \times 0.00034 \times K \times \sqrt{M} - 0.00425 \times K$				7.49
K	K:196 olup, Motorlu Araç Ait Taşıma Kat				
\sqrt{M}	M:m cinsinden Ort Taşıma Mesafesi				
Karışımın Nakliyesi		M=50 Km			
07.006/K	$F=1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$				11.03
K	K:196 olup, Motorlu Araç Ait Taşıma Kat.				
M	M:Km Cinsinden Ort Taşıma Mesafesi				
A	A:1 olup Zorluk Katsayısı				
Genel Toplam					44.45

Tablo 3.5. Esnek kaplama kesitinde plent-miks alt temel yapım analizi, 2014.

ÇORUM SINIRLARINDA YOL MALİYET ANALİZİ					
Tanım	PLENT-MİKS ALT TEMEL YAPIMI				
Birim	M³				
BİRİM FİYAT NO	İŞİN ADI	BİRİMİ	MİKTARI	BİRİM FİYAT	TUTAR (TL)
KGM/15.102/K-1	Ocak taşından konkasörle kırılmış ve elenmiş 50 mm lik temel malzemesi temini	TON	1.00	11.66	11.66
KGM/4269	Malzemenin kantar ile tartılması	TON	1.00	0.04	0.04
KGM/4466/5	Plent-miks alttemel ve temel karışımlarının erle elektronik finişerle serilmesi ve silindirle sıkıştırılması	TON	1.00	7.78	7.78
KGM/15.047	Arazöz ile sulama	TON	0.01	7.54	0.075
KGM/4465/3	Plent-miks alttemel ve temel karışımı hazırlanması	TON	1.00	3.63	3.63
Agrega Nakliyesi		M=50 Km			
07.005/K-2	$F=1.25xKx(0.0014xM+0.02)-0.00425xK$				21.22
K	K:196 olup, Motorlu Araç Aıt Taşıma Kat				
M	M:Km cinsinden Ort Taşıma Mesafesi				
Genel Toplam					44.41

Örneklendirilen kaplama kesitinde, üstyapı tabakasını aşınma, binder, bitümlü temel tabakaları oluşturmaktadır. Temel ve alt temel tabakalarında PMT ve PMT alt temel tabakaları kullanılmaktadır. Tabaka kalınlıkları Çorum'da yapılan örnek bir projenin deney sonuçlarından alınmış ve karışımın 50 km uzaklık da bir yere götürüldüğü birim maliyet analizinde hesaba katılmıştır. Bu tabloda yol kesitinin 2014 yılı KGM birim fiyatları kullanılarak maliyet hesaplaması 1 km yol yapımı için yapılmış olup Tablo 3.6 oluşturulmuştur.

Tablo 3.6. Esnek kaplama kesiti maliyeti (1 km uzunluğunda, 8m genişliğinde ve 50 km uzaklıkta ki bir yol için)

ESNEK ÜSTYAPI MALİYETİ KGM 2014 BİRİM FİYATLARI İLE HAZIRLANMIŞTIR HESAPLAMA 1KMLİK YOL UZUNLUĞU DÜŞÜNÜLEREK YAPILMIŞTIR.									
YOL TABAKASI	BİRİM	GENİŞLİK (m)	UZUNLUK (m)	KALINLIK (m)	ÖZGÜL AĞIRLIK Ton/m ³	MIKTAR (Ton)	MALİYET TL	TUTAR TL	
AŞINMA TABAKASI	TON	8.00	1000	0.05	2.4	960	138.98	133420.8	
BİNDER TABKASI	TON	8.00	1000	0.07	2.4	1344	132.75	178416.0	
BITÜMLÜ SICAK TEM.	TON	8.00	1000	0.09	2.4	1728	128.44	221944.3	
PLENT-MİKS TEMEL	TON	8.00	1000	0.20	2.3	3680	44.45	163576.0	
PLENT-MİKS ALT TEMEL	TON	8.00	1000	0.20	2.3	3680	44.41	163428.8	
TOPLAM								860,785.9	

Karayolları 2014 birim fiyatlarına göre hazırlanan bu 1 km lik geleneksel sıcak asfalt karışım üretim maliyeti 860,785.9 TL olarak bulunmuştur. Bu yol binder tabakasında % 20 geri dönüşüm malzemesi katkı ve bitümlü temel tabakasında % 20 geri dönüşüm malzemesi katkı oluşturulursa, örneklendirilen 1 km yoldan ne kadar malzeme karı elde ederdik öncelikle bu araştırılmıştır. % 20 geri kazanım malzemesinden örnek verilmesinin nedeni uygulamalarda daha yaygın ve sağlıklı sonuçlar vermesidir. Yol üst yapısı tabakaları için yüklenicilerin verdiği teklif fiyatlar yaklaşık olarak % 10-% 15 arasında daha azdır.

3.2. Geri Dönüşüm Malzemesi Kullanılarak Hazırlanan Sıcak Bitümlü Karışım Yol Maliyet Analizi

Geleneksel yöntemle karışım uygulayarak elde ettiğimiz yolun aynısını bu seferde geri dönüşüm malzemesi (RAP) ilavesi ile değerlendirerek 1 km de RAP kullanımından ne kadar kar sağlandığı bulunacaktır. Uygulamada sadece % 20 binder, % 20 bitümlü temel tabakasına RAP ilavesi yapılmıştır ve karışımın beslenme durumuna göre ılık ve soğuk besleme yöntemleri kullanılarak ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Diğer tabakalar örneğimizde olduğu gibi geleneksel yolla karışım hazırlanmıştır. Unutulmamalıdır ki ilave edilen her % 20 RAP malzemesi içinde hem agrega hem de bitüm bulunmaktadır. Yapılan analizlerde eski binder kaplama tabakasındaki bitüm yüzdesinin % 4 olduğu ve % 20 oranında katıldığı için toplam karışıma katılma oranı % 0.8 olduğu varsayılmıştır. Bitümlü temel tabakasında ki bitüm içeriği katılma oranıyla birlikte çok küçük olduğundan ihmal edilmiştir. Geri kazanılmıştan elde edilen agreganın tamamının kullanılabilir olduğu varsayılmıştır. Bu tabakalardaki bitüm ve agrega kazancını ayrı ayrı inceleyelim;

3.2.1. % 20 RAP Malzemesine Göre Hazırlanan Binder Tabakasındaki Bitüm ve Agrega Miktarı ve Maliyeti

Bitüm Maliyeti

Binder tabakası yapımında 0.043 ton bitüm kullanılmıştır ve bitümün birim fiyatı 2014 birim fiyatlarına göre hesaplanmıştır.

0.043 ton x 795.88 TL/ton = 34.22TL ye mal olmuştur. Eğer binder tabakasının içine % 20 oranında RAP malzemesi kullanılsaydı karışımında kullandığımız bitüm miktarı azalacaktı. RAP içindeki bitümün katılma oranı %0.8dir.

0.043 x % 0.8 = 0.00034 ton bitüm daha az kullanılmış olacaktır.

0.00034 ton x 795.88TL/ton = 0.271 TL ton başına kar elde etmiş olacaktık. Örnek de hesaplanan binder tabakasının 1 km için hesaplanan malzemenin toplam tonu 1344 ton du.

0.271 TL x 1344 ton = 364.22 TL kar elde edilecektir 1 km lik yolda

Agrega Maliyeti

Binder tabakası yapımında toplam 0.96 ton agregası kullanılmıştır.

0.96 ton agreganın maliyeti analizde de görülebileceği üzere 15.26 TL olarak hesaplanmıştır. Yapılan analizlerde agreganın tamamının kullanılabilir olduğu belirlenmiştir.

0.96 ton x % 20 = 0.19 ton daha az agregası kullanılmış olacaktır.

Sonuçta 0.77 ton nun maliyeti 12.24 TL hesaplanmıştır aradaki fark

15.26 TL – 12.24 TL = 3.02 TL kar elde edilmiş olur.1 ton da elde ettiğimiz bu kar 1344 tonluk binder tabakası karışımımız için;

3.02 TL x 1344 ton = 4058.88 TL dir.

Binder tabakasında ki bitüm ve agregadan elde edilen toplam kar;

364.22 TL + 4058.88 TL = 4423.10 TL dir. Aynı işlemler bitümlü temel tabakası içinde yapılmıştır.

3.2.2. % 20 RAP Malzemesine Göre Hazırlanan Bitümlü Temel Tabakasındaki Agregası Miktarı ve Maliyeti

Bitüm Maliyeti

Karışıma katılma oranı çok az olduğu için ihmal edilmiştir.

Agrega Maliyeti

Bitümlü Temel Tabakası yapımında toplam 0.96 ton agregası kullanılmıştır.

0.96 ton agreganın maliyeti analizde de görülebileceği üzere 15.11 TL olarak hesaplanmıştır. Yapılan analizlerde agreganın tamamının kullanılabilir olduğu belirlenmiştir.

0.96 ton x % 20 = 0.19 ton daha az agregası kullanılmış olacaktır.

Sonuçta 0.77 ton nun maliyeti 12.11 TL olarak hesaplanmıştır aradaki fark

15.11 TL – 12.11 TL = 3.00 TL kar elde edilmiş olur. 1 ton da elde ettiğimiz bu kar 1728 tonluk bitümlü temel karışımı için 5184 TL dir.

Yapılan yol tabakasındaki binder ve bitümlü temel tabakalarından elde edilen toplam kar ise;

$$4423.1 \text{ TL} + 5184 \text{ TL} = 9607.1 \text{ TL}$$

Hesaptan görüldüğü üzere % 20 binder + % 20 bitümlü temel RAP katkı malzeme kullanarak hazırlanan karışım km de geleneksel karışıma göre malzemedan 9607.1 TL kadar kar sağlarız. Geri kazanım malzemesinin eklenme oranına göre tabakalardan elde edilen ton başına, toplam ve örneklendirilen yol kesitinden hesaplanan malzeme kazançları Tablo 3.7 Tablo 3.8 ve Tablo 3.9’da verilmiştir.

Tablo 3.7. Binder tabakasinda geri dönüştürülmüş kaplama (RAP) kullanılması durumunda malzemedan elde edilecek kazanç, 2014.

Rap Malzemesinin Kullanım oranı ve Tabaka Tipi	Maliyeti (TL)	Ton başına kazanç (TL/ton)
Geleneksel yol yapımındaki katkısız Binder Tabaka	132.75	
%10 RAP katkıli Binder Tabaka	131.02	1.73
%20 RAP katkıli Binder Tabaka	129.46	3.29
%30 RAP katkıli Binder Tabaka	127.73	5.02
%40 RAP katkıli Binder Tabaka	126.16	6.59
%50 RAP katkıli Binder Tabaka	124.44	8.31

Tablo 3.8. Bitümlü temel tabakasinda geri dönüştürülmüş kaplama (RAP) kullanılması durumunda malzemedan elde edilecek kazanç, 2014.

Rap Malzemesinin Kullanım oranı ve Tabaka Tipi	Maliyeti (TL)	Ton başına kazanç (TL/ton)
Geleneksel yol yapımındaki katkısız Bitümlü Temel Tabaka	128.44	
%10 RAP katkıli Bit.T. Tabaka	126.87	1.57
%20 RAP katkıli Bit.T. Tabaka	125.44	3.00
%30 RAP katkıli Bit.T. Tabaka	123.88	4.56
%40 RAP katkıli Bit.T. Tabaka	122.46	5.98
%50 RAP katkıli Bit.T. Tabaka	120.89	7.55

8m genişliğinde (2 şeritli) modellenip hesaplaması yapılan 1 km'lik gidiş yolunun aynı özelliklere sahip 8m genişliğinde geliş içinde yapıldığını düşünürsek 1 km de elde edilen kazanç Tablo 3.9'da gösterilmiştir.

Tablo 3.9. Yol kesitinde geri dönüştürülmüş kaplama (RAP) kullanılması durumunda malzemeden edilecek toplam kazanç ve çift yön uygulandığında (gidiş-geliş toplam)

Rap Malzemesinin Kullanım oranı ve Tabaka Tipi	Binder + Bitümlü temel toplam ton başına kazanç (TL/ton)	Gidiş + Geliş Toplam ton başına kazanç (TL)
Geleneksel yol yapımı katkısız	-	
%10 RAP katkılı	3.30	6.60
%20 RAP katkılı	6.29	12.58
%30 RAP katkılı	9.58	19.16
%40 RAP katkılı	12.57	25.14
%50 RAP katkılı	15.86	31.72

Örneklendirilen 1 km yol kesimi için % 10,% 20,% 30,% 40 ve % 50 geri dönüşüm malzemesi ekleme durumuna göre malzemeden elde edilen kazançlar Tablo 3.10'da gösterilmiştir.

Tablo 3.10. RAP ekleme durumuna örneklendirilen yol kesitinde elde edilen malzeme kazançları

1 km uzunluğunda 8 m genişliğinde yol kesitinde malzemeden elde edilen kazançlar	
% 10 Geri kazanım malzemesi eklenmesi durumunda	5,031.36 TL
% 20 Geri kazanım malzemesi eklenmesi durumunda	9,607.10 TL
% 30 Geri kazanım malzemesi eklenmesi durumunda	14,631.94 TL
% 40 Geri kazanım malzemesi eklenmesi durumunda	19,190.40 TL
% 50 Geri kazanım malzemesi eklenmesi durumunda	24,215.04 TL

Tabloda gösterilen malzeme kazançları tesiste hazır geri kazanılmış malzeme bulunması durumunda gerçekleşmektedir. Bozulmuş asfalt kaplamasını kazılıp yeniden kullanımı için çoğu zaman bir takım hazırlıklardan geçmesi gerekmektedir, maliyet konusunda daha net bir sonuç için bunların hesaba katılması daha sağlıklı bir sonuç verecektir. Bu maliyetleri şöyle sıralaya biliriz.

3.3. Kazıma Maliyeti

1 km uzunluğunda 8 metre genişliğinde bir yolun bitümlü temel tabakasına kadar (bitümlü temelde dahil) bozulduğu ve bozulan tabakanın yenilenmek için kazındığı varsayılmıştır. 0.21 metre kalınlığındaki hasar gören tabaka asfalt freze makineleri ile kesilip öğütülerek her tabakadan çıkan eski kaplama malzemesi ayrı ayrı depolanmıştır. Günümüzde en çok hasar gören tabaka aşınma tabakasıdır her yıl ülkemizde birçok yol yüzeyinde asfalt betonu kazınarak değerlendirilmeksizin atık sahalarına götürülmektedir. Kazınan aşınma tabakası geri kazanılıp binder ve bitümlü temel tabakalarında kullanılarak değerlendirilebilir fakat geri kazanımında en ideali her tabakada kendi geri dönüşüm malzemesinin kullanılmasıdır buda her zaman mümkün olmamaktadır. Örneklendirilen yol tabakasında bozulan kısım kazınıp onarıldığından yeni karışım hazırlanırken her tabakada kendi geri dönüşüm malzemesinin kullanıldığı varsayılmıştır. Aşınma tabakası geleneksel yöntemlere göre yapılmıştır. Aşınma tabakası üzerinde şimdiye kadar yapılan çalışmalar bu tabakada geri kazanım malzemesinin kullanılmamasını önermiştir.

2014 KGM birim fiyatlarına göre KGM/18.190 poz nolu kırma taş, şose ve asfalt sökülmesi ve idarece gösterilecek yerlerde kullanılması veya istif edilmesi için m³ başına 10.03 TL harcanmaktadır. Birim fiyata dahil olan masraflar ise; [49]

- Gerekli makine ve teçhizat temini
- Kırma taş, şose ve asfaltın kazılması
- Kazılan malzemenin vasıtalara yüklenmesi nihai ortalama 100m mesafeye kadar taşınması, boşaltılması
- Dolgu yerinde malzemenin tabaka tabaka serilmesi ve düzeltilmesi veya depo yerinde istif edilmesi
- Her türlü işçilik masrafları ile müteahhit karı ve genel masraflar

Örneklendirmede sözü edilen 1680 m³ lük bir yol kısmının kazınmasının maliyeti;

$1680 \text{ m}^3 \times 10.03 \text{ TL/m}^3 = 16,850.4 \text{ TL}$ mal olmaktadır. Fakat bozulmuş yol tabakalarının bakım ve onarımı için kazılıp değiştirileceği düşünürsek bu kazıma işlemi geleneksel yol yapımı uygulamalarında da gerçekleşeceğinden bu maliyeti hesaba katmayabiliriz.

3.4. Konkasörle Kırma ve Eleme Maliyeti

Karışımındaki gradasyona uygun hazırlanması gereken RAP malzemesi kazıma sırasında yeterince parçalanamaması durumunda yeni karışımda kullanılmak üzere konkasörle kırılıp elenerek hazırlanır. Bu işlem için KGM birim fiyat listesinde özel bir kalem bulunmaması ile birlikte bu maliyetin ortalama bir konkasörün çalışma birim fiyatı ile aynı olduğu söylenebilir. Elde edilen bozulmuş malzeme bloklar halinde çıkarılması durumunda bu parçaların konkasöre verilmesi söz konusu olmamalıdır aksi takdirde makine performansı ve dolayısıyla ömrü azalacaktır.

Yeni karışım hazırlanırken ocaktan çıkarılan malzemenin işlenmesi sırasında zaten konkasör ile kırılıp eleme işlemi gerçekleşeceğinden buradan çıkan maliyeti de hesaba dahil etmeyiz ancak yaklaşık bir hesap yapılır ise KGM'nin konkasörle kırma ve eleme işlemi için KGM/15.102/K poz nolu kaleminden (Ocak taşından konkasörle kırılmış ve elenmiş 50 mm lik temel malzemesi temini) m³ başına 20.28 TL ye mal olmaktadır. Bu işlemin gerçekleştirilmesi durumunda;

Binder tabakası için 1 km lik yol da toplam = 560 m³ olduğu önceden hesaplanmıştı, bunun % 20 si geri kazanılacağı düşünürsek $560 \text{ m}^3 \times \% 20 = 112 \text{ m}^3$ geri kazanılan malzeme kırılıp elenerek hazır hale getirilecek

Bitümlü temel tabakasının 1 km lik yol için toplam = 720 m³, bunun % 20 si geri kazanılacağı düşünülürse $720 \text{ m}^3 \times \% 20 = 144 \text{ m}^3$ malzeme kırılıp elenerek hazır hale getirilecek, toplamda 256 m³ lük malzeme bu işleme tabi tutulacaktır.

$256 \text{ m}^3 \times 20.28 \text{ TL/m}^3 = 5,191.68 \text{ TL}$ bu işlem için harcanacaktır.

3.5. Geri Dönüşüm Malzemesinin Plentte Besleme Durumu ve Yaklaşık İşletme Giderinin Hesaplanması

Bu kısımda ülkemizde en çok uygulanan ve araştırmalara göre uygulamasının daha doğru ve daha ekonomik olan iki yöntemden bahsedilmiştir. Ülkemizde en çok plentte soğuk besleme yöntemi uygulanmaktadır. Uygulaması daha doğru olan ve daha fazla geri kazanılmış malzeme eklemeye olanağı sağlayan yöntem ise plentte ılık besleme yöntemidir. İşletme maliyetleri genel bir sınıflama olması için ılık ve soğuk besleme yöntemi adı altında belirtilmiştir.

3.5.1. Ilık Besleme Yöntemi

Bu yöntem bölüm 2.13.4.3’de anlatılan geri dönüşüm malzemesinin özel bir giriş ile kurutucuya verilmesidir, burada kurutucunun yarısına kadar ısınarak gelen yeni agrega ile karışır ve buradan yaklaşık 50 cm sonra yeni bitüm ilavesi yapılarak karışım yapımı anlatılmış ve bu işlem için yaklaşık işletme gideri hesaplanmıştır. Piyasa araştırması ve tecrübesi sonucu elde edilen işletme maliyeti geri dönüşüm malzemesinin eklenmesi durumu, elektrik, ek ısıtma, işçi giderleri vs için yaklaşık 3 TL /ton olarak belirlenmiştir. [Trabzon Büyük Şehir Belediyesi]

% 20 binder + % 20 bitümlü temel geri dönüşüm malzeme katkılı karışımda toplamda 615 tonluk malzeme geri dönüşümle kazanacaktır, buradan işletme giderleri hesaplanır ise;

$$615 \text{ ton} \times 3 \text{ TL/ton} = 1,845 \text{ TL harcanacaktır.}$$

Net Kazanç ise 1 km lik yolda;

$$9607.1 \text{ TL} - 1845 \text{ TL} = 7,762.1 \text{ TL dir.}$$

8metre genişliğindeki oluşturulan yolun gidiş olarak kullanıldığını, yine buna benzer 8metre genişliğinde aynı yolun geliş içinde yapılacağını düşünürsek km de net kazancımız;

7762.1 TL x 2 = 15,524.2 TL olur. Bu koşullar altında 30 km uzunluğunda çift şeritli böyle bir yol yapıldığını varsayarsak karımız;

15524.2 TL x 30 km = 465,729.00 TL olacaktır. Yaklaşık 465 bin olan bu kazancın 1 yıl içinde Türkiye’de on tane daha yeni yola uygulandığını düşünürsek 4,657,260.00 TL, 4,6 milyona yakın olan bu kazancın beş yılda getirisi ise 23 milyona ulaşacaktır.

3.5.2. Soğuk Besleme Yöntemi

Bu yöntem bölüm 2.13.4.2’de anlatılan geri dönüşüm malzemesinin ısıtma işlemine maruz kalmaksızın direk mikserle verilerek yeni malzeme ile karıştırılması durumudur. Malzemenin soğuk verilmesi nedeniyle karışım biraz daha fazla ısıtılmalıdır. % 20 binder + % 20 bitümlü temel geri dönüşüm malzeme katkılı karışımda işleme maliyeti yaklaşık 1 TL/ton olarak belirlenmiştir. 615 tonluk malzemenin işletme gideri;

$$615 \text{ ton} \times 1 \text{ TL/ton} = 615 \text{ TL}$$

Net Kazanç ise 1 km lik yolda;

$$9607.1 \text{ TL} - 615 \text{ TL} = 8,992.1 \text{ TLdir.}$$

8 metre genişliğindeki oluşturulan yolun gidiş olarak kullanıldığını, yine buna benzer 8 metre genişliğinde aynı yolun geliş içinde yapılacağını düşünürsek km de net kazancımız;

$8992.1 \text{ TL} \times 2 = 17,984.2 \text{ TL}$ olur. Bu koşullar altında 30 km uzunluğunda çift şeritli böyle bir yol yapıldığını varsayarsak karımız;

$17984.2 \text{ TL} \times 30 \text{ km} = 539,526.00 \text{ TL}$ olacaktır. Yaklaşık 540 bin olan bu kazancın 1 yıl içinde Türkiye’de on tane daha yeni yola uygulandığını düşünürsek 5,395,260.00 TL 5,4 milyona yakın olan bu kazancın beş yılda getirisi ise 27 milyona ulaşacaktır.

Malzemenin plentte beslenme durumuna göre genel olarak sınıflandırılan işletme giderleri hesaba katılırsa malzemedan elde edilen net kazançlar örneklendirilen yol kesiti içinlik besleme yöntemine göre Tablo 3.11’de, soğuk besleme durumuna göre Tablo 3.12’de gösterilmiştir.

Tablo 3.11. İlık besleme yönteminde malzemedan elde edilen net kazanç

1 km uzunluğunda 8 metre genişliğinde yol kesitinde malzemedan elde edilen net kazançlar	
% 10 Geri kazanım malzemesi eklenmesi durumunda	4,110.36 TL
% 20 Geri kazanım malzemesi eklenmesi durumunda	7,762.10 TL
% 30 Geri kazanım malzemesi eklenmesi durumunda	11,868.94 TL
% 40 Geri kazanım malzemesi eklenmesi durumunda	15,503.40 TL
% 50 Geri kazanım malzemesi eklenmesi durumunda	19,607.04 TL

Tablo 3.12. Soğuk besleme yönteminde malzemedan elde edilen net kazanç

1 km uzunluğunda 8 metre genişliğinde yol kesitinde malzemedan elde edilen net kazançlar	
% 10 Geri kazanım malzemesi eklenmesi durumunda	4,724.36 TL
% 20 Geri kazanım malzemesi eklenmesi durumunda	8,992.10 TL
% 30 Geri kazanım malzemesi eklenmesi durumunda	13,710.94 TL
% 40 Geri kazanım malzemesi eklenmesi durumunda	17,961.40 TL
% 50 Geri kazanım malzemesi eklenmesi durumunda	22,679.04 TL

Ancak unutulmamalıdır ki soğuk besleme yönteminde Rap ekleme oranı %25-30’u geçmemelidir, aksi takdirde yol istenilen kullanım ömür performansını sağlamayacaktır.

3.6. Geri Dönüşüm Malzemesinin Plente Optimum Taşınma Mesafesinin Belirlenmesi

Geri dönüşüm uygulaması yapılacak kazı malzemesinin geri dönüşümü gerçekleştirilerek değerlendirilmek üzere plente taşınması için ekonomik koşullar altında olabilecek maksimum mesafenin bulunabilmesi için KGM'nin 2014 taşıma birim fiyatları kullanılarak, teze konusu olan nakliyat maliyetleri örneklendirilen yol kesiti için belirlenmeye çalışılmıştır. Bu sayede plent tesislerinin kurulum bazında birbirlerine olan uzaklıkları ve geri dönüşüm malzemesinden yararlanabilme sınırında etkidikleri alanda belirlenmiş bulunmaktadır.

3.6.1. Plentin İlk Beslenmesi Durumunda

Örneklendirilen yol kesitinde, plenten ılık besleme yöntemi için daha önce hesaplanan net kardan her seferinde nakliye masrafları çıkarılarak % 10, % 20, % 30, % 40 ve % 50 RAP katkılı karışımlar için bu hesaplamalar gösterilmiştir.

% 10 binder, % 10 bitümlü temel geri dönüşüm malzemesi katkılı karışım için; Rap malzemesinin ekonomik koşullar altında kazı yerinden plente taşınabileceği maksimum uzaklığın ve bu uzaklıktan elde edilen kazancının belirlenmesi

Malzemedan elde edilen net kazanç 4,110.36 TL olarak hesaplanmıştır.

10 km uzaklık için;

$$F = 1.25 \times 0.00017 \times K \times \sqrt{M} \times A$$

$$F = 1.25 \times 0.00017 \times 196 \times \sqrt{10000} \times 1 = 4.165 \text{ TL/ton}$$

% 10 binder + % 10 bitüm temel için kullanılacak Rap miktarı 307 ton

$$307 \text{ ton} \times 4.165 \text{ TL/ton} = 1278.66 \text{ TL}$$

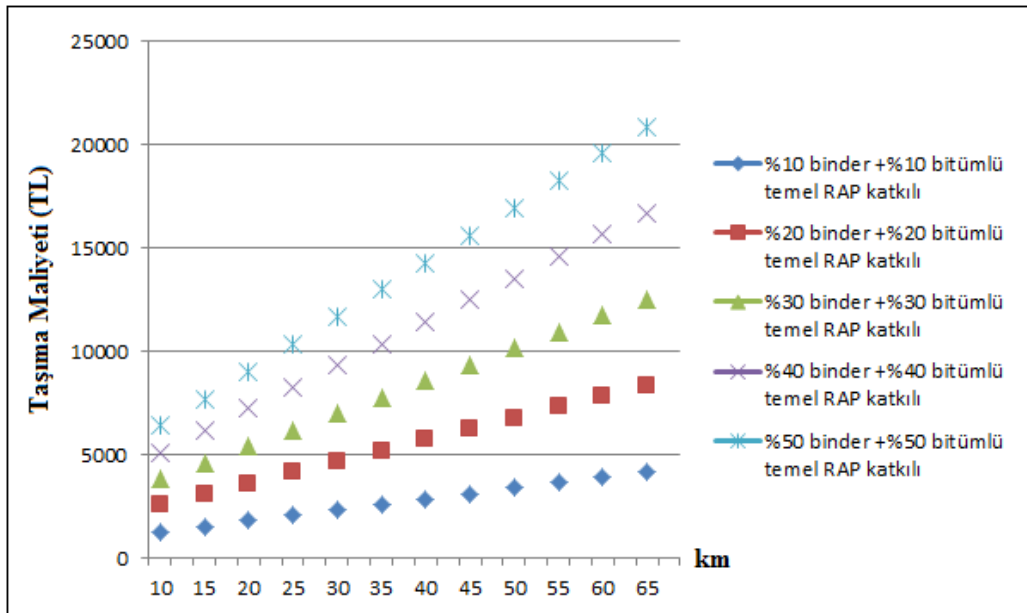
bedel

4110.36 TL – 1278.66 TL = 2831.70 TL, km de yol yapımı için elde edilen kardan, RAP malzemesi 10 km den plente taşınabilir.

15 km ve üzeri mesafeler için geri kazanım malzemesinin eklenme oranına göre hesaplanan nakliye masrafları ve sonucunda elde edilen net kazançlar işlem adımları olarak benzer şekilde Ek.1 de verilmiştir. Tablo 3.13 ve Şekil 3.1'de hesaplanan nakliye masrafları gösterilmiştir. Taşınan yük ve yola göre değişen nakliye masrafları her 5 km de ortalama % 10 artmıştır.

Tablo 3.13. Km’de taşıma bedelini göstermektedir

	% 10 binder +% 10 bitümlü temel RAP katkılı	% 20 binder +% 20 bitümlü temel RAP katkılı	% 30 binder +% 30 bitümlü temel RAP katkılı	% 40 binder +% 40 bitümlü temel RAP katkılı	% 50 binder +% 50 bitümlü temel RAP katkılı
10 km taşıma bedeli	1278	2561	3835	5118	6397
15 km taşıma bedeli	1542	3089	4636	6173	7715
20 km taşıma bedeli	1805	3616	5415	7226	9031
25 km taşıma bedeli	2069	4145	6207	8283	10352
30 km taşıma bedeli	2333	4674	6999	9340	11673
35 km taşıma bedeli	2594	5196	7782	10385	12979
40 km taşıma bedeli	2858	5725	8574	11441	14300
45 km taşıma bedeli	3122	6254	9366	12498	15621
50 km taşıma bedeli	3386	6783	10158	13555	16942
55 km taşıma bedeli	3647	7306	10941	14600	18247
60 km taşıma bedeli	3911	7835	11734	15657	19567
65 km taşıma bedeli	4175	8364	12525	16714	20889

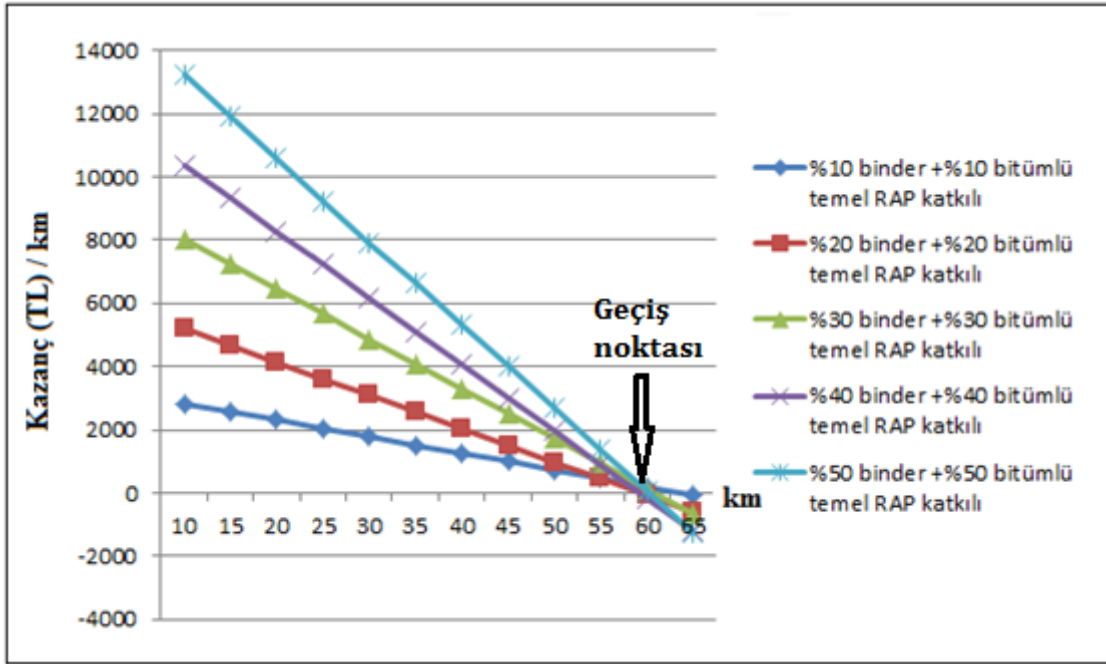


Şekil 3.2. Km’de hesaplanan taşıma bedeli

% 50 Rap katkılı karışım hazırlanırken taşınan 1536 ton malzeme de 65 km için nakliye bedeli 20 bini geçerken, % 10 Rap katkılı karışım için 307 ton malzeme 65 km için yaklaşık 4 bin TL olmuştur. Taşınan yükler arasında ki beş kat artış aynı şekilde nakliye masrafını da doğrusal olarak beş kat artırmıştır. Tablo 3.14’de, Ek 1 de işlem adımları gösterilen sonuçların tablo olarak gösterilmiştir.

Tablo 3.14. Plentten ılık besleme durumunda km’de kazanılan kârı göstermektedir

	% 10 binder +% 10 bitümlü temel RAP katkılı	% 20 binder +% 20 bitümlü temel RAP katkılı	% 30 binder +% 30 bitümlü temel RAP katkılı	% 40 binder +% 40 bitümlü temel RAP katkılı	% 50 binder +% 50 bitümlü temel RAP katkılı
10 km taşıma kazanılan kar	2832	5201	8033	10385	13210
15 km taşıma kazanılan kar	2568	4673	7243	9330	11892
20 km taşıma kazanılan kar	2305	4146	6453	8277	10575
25 km taşıma kazanılan kar	2041	3617	5661	7220	9254
30 km taşıma kazanılan kar	1777	3088	4869	6163	7933
35 km taşıma kazanılan kar	1516	2565	4086	5118	6628
40 km taşıma kazanılan kar	1252	2036	3294	4062	5307
45 km taşıma kazanılan kar	988	1508	2502	3004	3986
50 km taşıma kazanılan kar	724	979	1710	1948	2665
55 km taşıma kazanılan kar	463	456	927	903	1359
60 km taşıma kazanılan kar	199	-73	135	-154	38
65 km taşıma kazanılan kar	-65	-602	-657	-1211	-1283



Şekil 3.3. Plente sıcak besleme durumunda km’de elde edilen kazançlar

Plenten ılık besleme yöntemi için daha önce hesaplanan net kardan her seferinde nakliye masrafları çıkarılarak Tablo 3.14 ve Şekil 3.2 oluşturulmuştur. Malzemenin plente ılık verilmesi nedeniyle % 50 Rap katkı kullanımı kabul edilebilir olarak alınmıştır. Şekil 3.3 den görüleceği üzere 55-65 km arası mesafelerden sonra yapılan nakliye masrafları Rap malzemesini kullanarak kazandığımız malzeme kârını aşmıştır bu mesafelerden sonra yapılan taşımalarda bir ekonomik kazanım elde edilmeyecektir.

Her bir karışımdaki kazançtaki düşüş miktarı taşıma mesafesiyle doğru orantılı olarak azalmaktadır. En fazla düşüş miktarı % 10 binder + % 10 bitümlü temel Rap Katkılı karışımda görülmüştür. En az düşüş ise % 50 binder + % 50 bitümlü temel RAP katkı karışımda gözlemlenmiştir.

Regresyon bağıntıları sırasıyla aşağıda verilmiştir;

% 10 binder + % 10 bitümlü temel Rap katkı karışımda;

$$y = -52,656x + 3357,93 \quad R^2 = 1$$

% 20 binder + % 20 bitümlü temel Rap katkı karışımda;

$$y = -105,48x + 6254,99 \quad R^2 = 1$$

% 30 binder + % 30 bitümlü temel Rap katkı karışımda;

$$y = -157,97x + 9611,74 \quad R^2 = 1$$

% 40 binder + % 40 bitümlü temel Rap katkı karışımda;

$$y = -210,79x + 12491,53 \quad R^2 = 1$$

% 50 binder + % 50 bitümlü temel RAP katkıli karışımında;

$$y = -263,45x + 15842,90 \quad R^2 = 1$$

Bu fonksiyonlara göre 60 km ve üstündeki taşımalarda toplamda kazanç yerine kayıp oluşacaktır. Örneğin % 10 binder + % 10 bitümlü temel Rap katkıli malzemeler için 70, 80 ve 90 km deki kayıplar sırasıyla -328.02, -854.58, ve -1372.95 TL dir. Benzer yöntemle % 50 binder + % 50 bitümlü temel RAP katkıli karışım malzemeleri için 70, 80 ve 90 km deki kayıplar çok daha düşük olup, sırasıyla -2598.5, -5233 ve -7867.5 TL'dir.

3.6.2. Plentin Soğuk Beslenmesi Durumunda

Örneklendirilen yol kesitinde, plentten soğuk besleme yöntemi için daha önce hesaplanan net kardan her seferinde nakliye masrafları çıkarılarak % 10, % 20, % 30, % 40 ve % 50 RAP katkıli karışımlar için bu hesaplamalar gösterilmiştir.

% 10 binder, % 10 bitümlü temel geri dönüşüm malzemesi katkıli karışım için; Rap malzemesinin ekonomik koşullar altında kazı yerinden plentte taşınabileceği maksimum uzaklığın ve bu uzaklıktan elde edilen kazancının belirlenmesi

Malzemedan elde edilen net kazanç 4,724.36 TL olarak hesaplanmıştır.

10 km uzaklık için;

$$F = 1.25 \times 0.00017 \times K \times \sqrt{M} \times A$$

$$F = 1.25 \times 0.00017 \times 196 \times \sqrt{10000} \times 1 = 4.165 \text{ TL/ton}$$

% 10 binder + % 10 bitümlü temel için kullanılacak Rap miktarı 307 ton

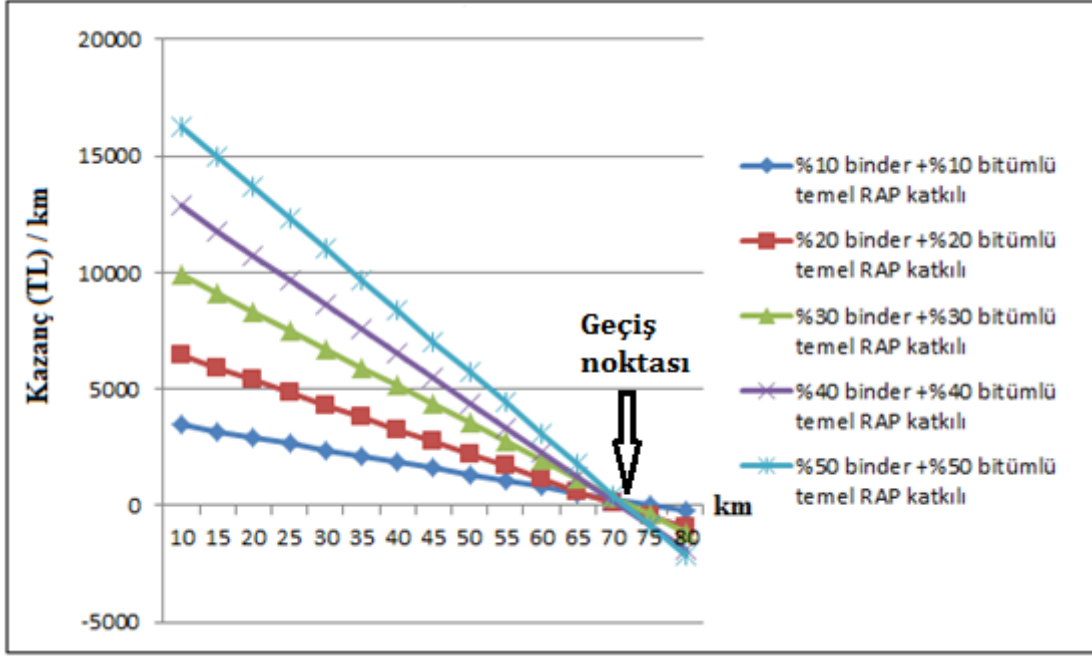
307 ton x 4.165 TL/ton = 1278.66 TL malzemenin 10 km den taşınması için harcanacak bedel

4724.36 TL – 1278.66 TL = 3445.70 TL, km de yol yapımı için elde edilen kardır, RAP malzemesi 10 km den taşınabilir.

15 km ve üzeri mesafeler için geri kazanım malzemesinin eklenme oranına göre hesaplanan nakliye masrafları ve sonucunda elde edilen net kazançlar işlem adımları olarak benzer şekilde Ek.2'de verilmiştir. Tablo 3.15'de, Ek 2'de işlem adımları gösterilen sonuçların tablo olarak gösterimi verilmiştir.

Tablo 3.15. Plentten soğuk besleme durumunda km de kazanılan kârı göstermektedir

	% 10 binder +% 10 bitümlü t. RAP katkılı	% 20 binder +% 20 bitümlü t. RAP katkılı	% 30 binder +% 30 bitümlü t. RAP katkılı	% 40 binder +% 40 bitümlü t. RAP katkılı	% 50 binder +% 50 bitümlü t. RAP katkılı
10 km taşıma kazanılan kar	3446	6431	9875	12843	16281
15km taşıma kazanılan kar	3182	5903	9085	11788	14964
20 km taşıma kazanılan kar	2919	5376	8295	10735	13647
25 km taşıma kazanılan kar	2655	4847	7503	9678	12326
30 km taşıma kazanılan kar	2391	4318	6711	8621	11005
35 km taşıma kazanılan kar	2130	3795	5928	7576	9700
40 km taşıma kazanılan kar	1866	3266	5136	6519	8379
45 km taşıma kazanılan kar	1602	2738	4344	5462	7058
50 km taşıma kazanılan kar	1338	2209	3552	4405	5737
55 km taşıma kazanılan kar	1077	1686	2769	3361	4431
60 km taşıma kazanılan kar	813	1157	1977	2304	3110
65 km taşıma kazanılan kar	549	628	1185	1247	1789
70 km taşıma kazanılan kar	285	99	393	190	468
75 km taşıma kazanılan kar	24	-427	-390	-855	-837
80 km taşıma kazanılan kar	-240	-952	-1182	-1912	-2158



Şekil 3.4. Plentten soğuk besleme durumunda km de elde edilen kazançlar

Plentten soğuk besleme yöntemi için daha önce hesaplanan net kardan her seferinde nakliye masrafları çıkarılarak Tablo 3.15 ve Şekil 3.4 oluşturulmuştur. Malzemenin plente soğuk verilmesi nedeniyle % 30 Rap katkı kullanımı kabul edilebilir olarak alınmıştır. Şekil 3.4 den görüleceği üzere 65-70 km arası mesafelerden sonra yapılan nakliye masrafları Rap malzemesini kullanarak kazandığımız malzeme kârını aşmıştır, bu mesafelerden sonra yapılan taşımalarda ekonomik kazanım elde edilmeyecektir.

Her bir karışımdaki kazançtaki düşüş miktarı taşıma mesafesiyle doğru orantılı olarak azalmaktadır. En fazla düşüş miktarı % 10 binder + % 10 bitümlü temel Rap Katkılı karışımda görülmüştür. En az düşüş ise % 50 binder + % 50 bitümlü temel RAP katkı karışımda gözlemlenmiştir.

Regresyon bağıntıları sırasıyla aşağıda verilmiştir;

% 10 binder + % 10 bitümlü temel Rap katkı karışımda;

$$y = -52,651x + 3971,78 \quad R^2 = 1$$

% 20 binder + % 20 bitümlü temel Rap katkı karışımda;

$$y = -105,486x + 7485,12 \quad R^2 = 1$$

% 30 binder + % 30 bitümlü temel Rap katkı karışımda;

$$y = -157,954x + 11453,31 \quad R^2 = 1$$

% 40 binder + % 40 bitümlü temel Rap katkı karışımda;

$$y = -210,776x + 14949,07 \quad R^2 = 1$$

% 50 binder + % 50 bitümlü temel RAP katkıli karışımında;

$$y = -263,419x + 18913,87 \quad R^2 = 1$$

Bu fonksiyonlara göre 70 km ve üstündeki taşımalarda toplamda kazanç yerine kayıp oluşacaktır. Örneğin % 10 binder + % 10 bitümlü temel Rap katkıli malzemeler için 80, 90 ve 100 km deki kayıplar sırasıyla -87771, -100942, ve -114113 TL dir. Benzer yöntemle % 50 binder + % 50 bitümlü temel RAP katkıli karışım malzemeleri için 80, 90 ve 100 km deki kayıplar çok daha düşük olup, sırasıyla -17352, -19985, ve -22618 TL'dir.

3.6.3. Asfalt Nakliyesi İçin Piyasa Araştırması

Asfalt işlerinde önemli bir meblağ tutan asfalt nakliyesi için bazı bölgelerde özel şirketler incelenerek piyasa araştırılması yapılmıştır. Fiyatlar 30 km bazında karşılaştırılmıştır. Yolun durumuna göre de değişebilen bu fiyatlarda araştırma, standart engebese fazla olmayan yollar için yapılmıştır. Bölgelerden alınan sonuçlar çevre ilerde kapsamaktadır ve yaklaşık fiyatlardır. Araştırmanın 30 km bazında yapılması genel olarak alınan bilgilerin bu km ler üzerinde yoğunlaşmasındandır. Şekil 3.5'de asfalt nakliyesi için piyasa araştırması yapılan bölgeler gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Asfalt nakliyesi için piyasa araştırması yapılan bölgeler

1. Bölgedeki firmalar 30 km için yaklaşık 15 TL/ton fiyat belirtmişler, her 5 km için fiyatta yolun durumuna göre 1 veya 2 TL lik bir artış önermektedir.
2. Bölgedeki firmalar 30 km için yaklaşık 10 TL/ton fiyat belirtmişler.
3. Bölgedeki firmalar 30 km için asfaltın tonunu yaklaşık 5-8.5 TL/ton olarak yolun durumuna göre bu fiyat aralığı değiştiğini belirtmiştir.
4. Bölgedeki firmalar 30 km için yaklaşık 9-10 TL/ton arasında fiyat belirtmiş, 100 km ve fazlası için fiyatın 6-8 TL/ton aralığına düşerek değişeceğini önermiştir.
5. Bölgedeki firmalar 30 km için yaklaşık 8 TL/ton fiyat vermişlerdir.
6. Bölgedeki firmalar 30 km için yaklaşık 6-8 TL/ton arasında fiyat belirtmiştir.
7. Bölgedeki firmalar 30 km için yaklaşık 3.6TL/ton 10 km den kısa yerler için 3 TL /ton olarak belirtmiştir.

Bölgelere göre özel sektör asfalt nakliyat fiyatları çok değişmemekle birlikte, fiyatları diğer bölgelere göre yüksek olan yerlerde ticaretin ve nüfusun daha yoğun olduğu söylemek mümkündür. Nakliye fiyatlarının KGM'nin vermiş olduğu taşıma formüllerinden çıkan sonuçlar ile karşılaştırıldığında özel şirketler için taşıma masraflarının daha fazla olduğu söylemek mümkündür. KGM'nin hesaplamalarından çıkan sonuç ise 30 km için 7.6 TL/ton dur, özel firmaların ortalama taşıma bedelini 10 TL/ton olarak alırsak KGM'nin fiyatlarına göre % 31 daha fazladır.

3.7. Sathi Kaplama Yolların Maliyet Hesapları

Sathi kaplamalar yapım tekniği olarak bağlayıcının ve agreganın peş peşe serildiği tiplerdir. Asfalt emülsiyonları yola püskürtülür üzerine hemen mıcır serilir ve silindirler. Sathi kaplama tabakası PMT tabakası üzerine yapılmaktadır. Sathi kaplama yapımında kullanılan bitüm sınıflarını B70/100, B100/150 ve B160/220 olarak sıralayabiliriz.

Sathi kaplama tek ya da birkaç tabaka olarak gerçekleştirilebilir. Tablo 3.16'da 50 km uzaklığında yapıldığı varsayılan yol için çift tabakalı sathi kaplama yapımının analizleri gösterilmiş ve bu analize göre Tablo 3.17'de sathi kaplama kesitinin 1 km için ortalama maliyeti çıkarılmıştır.

Tablo 3.16. Çift tabaka sathi kaplama yapılması

ÇORUM SINIRLARINDA YOL MALİYET ANALİZİ					
Tanım	İKİ TABAKA ASTARLI BİTÜMLÜ SATHİ KAPLAMA YAPMASI				
Birim	DA				
BİRİM FİYAT NO	İŞİN ADI	BİRİMİ	MİKTARI	BİRİM FİYAT TL/TON	TUTAR TL
KGM/4102	Ocak Taşın konkasörle kırılmış-elenmiş 25 ve 19 mm. Agrega hazırlama	TON	27.00	14.24	384.48
KGM/4105	Ocak taşın konkasörle kırılmış-elenmiş 12.5 mm ve 9.5 mm lik Agrega hazırlama	TON	24.00	16.18	388.32
KGM/4358	Katı bitümlü malzemenin sarnıç veya tanklarla emiş derecesine kadar ısıtılması	TON	2.60	31.79	82.65
KGM/4365	Sarnıçlı vagon tanker kamyon gibi kaplarla taşınan bitümlü malzemenin depolanması	TON	4.20	2.06	8.65
KGM/4366	Bitümlü malzemenin asfalt pompası ile bir kaptan diğer bir kaba aktarılması	TON	8.40	1.03	8.65
KGM/4402	Distribütörmak.-25mm.Agr.İle Bir Tabaka Bitümlü Sathi Kaplama Yapma	DA	1.00	212.98	212.98
KGM/4407	Distribütörmak.-19mm.Agr.İle Bir Tabaka Bitümlü Sathi Kaplama Yapma	DA	1.00	176.70	176.70
KGM/4377	Beton Ve Asfalt Yollar Dışındaki Yolları Mak.İle Süpürme	DA	1.00	24.99	24.99
KGM/4393	Distribütör Makinası İle Astar Bitüm.Malz.Püskürtme (Boru İle)	DA	1.00	46.73	46.73
KGM/4269	Malzemenin kantar ile tartılması	TON	51.0	0.04	2.04
Özel	Bitümlü bağlayıcı (MC 30)	TON	1.30	1890,36	2457.47
Agrega Nakliyesi		M=10 Km			
07.005/K-1	$F=1.25 \times 0.00034 \times K \times \sqrt{M} - 0.00425 \times K$				7.49
K	K:196 olup, Motorlu Araç Ait Taşıma Kat				
\sqrt{M}	M:m Cinsinden Ort Taşıma Mesafesi				

Tablo 3.16'nın devamı

Bitüm Nakliyesi		M=160 Km	
07.006/K	$F=1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$		29.89
K	K:196 olup, Motorlu Araç Ait Taşıma Kat.		
M	M:Km Cinsinden Ort Taşıma Mesafesi		
A	A:1 olup Zorluk Katsayısı		
Karışımın Nakliyesi		M=50 Km	
07.006/K	$F=1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$		11.03
K	K:196 olup, Motorlu Araç Ait Taşıma Kat.		
M	M:Km Cinsinden Ort Taşıma Mesafesi		
A	A:1 olup Zorluk Katsayısı		
Genel Toplam			122.80

Sathi kaplama yapılmasının birimi dekar alan olarak hesaplanmaktadır. Yolu oluşturan tabakalar PMT, PMT alt temel ve çift tabaka sathi kaplama olmak üzere belirlenmiş ve hesaplar oluşturulmuştur. Sathi kaplama yol yapılmasının 1.00 km uzunluğundaki maliyeti Tablo 3.17'de hesaplanmıştır. Bu sathi kaplamalı yolun plente 50 km uzaklığında bir yere yapıldığı varsayılmıştır.

Tablo 3.17. Tip 4 Sathi kaplama kesitinin ortalama fiyatlarla maliyeti (1 km uzunluğunda, 8m genişliğinde ve 50 km uzaklıkta ki bir yol için)

ESNEK ÜSTYAPI MALİYETİ KGM 2014 BİRİM FİYATLARI İLE HAZIRLANMIŞTIR HESAPLAMA İKMLİK YOL UZUNLUĞU DÜŞÜNÜLEREK YAPILMIŞTIR.								
YOL TABAKASI	BİRİM	GENİŞLİK (m)	UZUNLUK (m)	KALINLIK (m)	ÖZGÜL AĞIRLIK Ton/m ³	MİKTAR (Ton)	MALİYET TL	TUTAR TL
ÇİFT TAB. SATHİ KAPLAMA	TON	8.00	1000	0.03	1	240	122.80	29,472.0
PLENT-MİKS TEMEL	TON	8.00	1000	0.20	2.3	3680	44.45	163,576.0
PLENT-MİKS ALT TEMEL	TON	8.00	1000	0.20	2.3	3680	44.41	163,428.8
TOPLAM								356,476.80

Üretilen asfalt çeşitleri arasında bulunan sathi kaplamanın bitümlü sıcak karışıma göre taşıma gücü düşüktür bu yüzden yüksek trafik hacimli yollarda tercih edilmemektedir. Ülkemizde ise yolların çoğu sathi kaplamalıdır son yıllarda bitümlü sıcak karışimli yol yapımı artmıştır. Sathi kaplamanın kazılmasından çıkan malzeme yollarda dolgu malzemesi olarak kullanılabilir fakat sathi kaplama yapımında geri kazanılmış RAP malzemesi kullanılmamaktadır, bu yüzden geri kazanımda değerlendirme dışında tutulmuştur. [59]

Farklı RAP yüzdeleri kullanılarak malzemedan elde edilen kazancın gösterilmeye çalışıldığı bu bölümde RAP kullanım potansiyelinin bir kısmının ülkemizde değerlendirildiğini düşünürsek kısa bir hesaplama yapılabilir. Ülkemizde her yıl yaklaşık 46 milyon ton asfalt üretilmektedir. Buna karşılık her yıl 2 milyon ton asfalt kazınarak atık halinde çıkarılmaktadır. Bu atık payının sadece 100000 tonu geri kazanılırsa (% 5 bitüm - % 95 agrega).

$$5000 \text{ ton} \times 795.88 \text{ TL/ton} = 3,979,400 \text{ TL bitümden}$$

$$95000 \text{ ton} \times 15 \text{ TL/ton} = 1,425,000 \text{ TL agregadan}$$

$$\text{Kırma işletme ve nakliye (\% 30 eklenme 55 km için)} = 23.54 \text{ TL/ton}$$

$$100000 \text{ ton} \times 23.54 \text{ TL/ton} = 2,354,000 \text{ TL}$$

100000 ton RAP için kazanç = 3,050,400 TL bulmaktadır. Yılda 3 milyona yakın olan bu kazancın değerlendirilmesi aynı zamanda kaynaklarımız korumak anlamına da gelmektedir bu yüzden geri dönüşüm teknolojileri geliştirilmeli ve değerlendirilmelidir.

4. SONUÇLAR

Geri dönüşüm malzemesinin tüm ekonomik avantajlarının yanında doğal kaynakların korunmasını, atık sahalarının oluşması önleyerek büyük çevre koruması oluşturmaktadır. Yeni asfalt üretim maliyetlerinin azalması, aynı miktarda kaynak kullanılarak daha fazla asfalt yol yapımı sağlanacak buda ulaşım ihtiyacı olan yerleşim birimlerinin daha hızlı gelişmesini sağlayacaktır. Bundan sonrası için üzerinde düşünülmesi gereken konu RAP malzemesinin sürdürülebilirliği konusudur. Asfaltın geri kazanımında ekonomik değerini ve optimum taşınma mesafesini göstermek üzere hazırlanan maliyet analizli çalışmada sonuçlar şöyle özetlenebilir.

Çalışmada örneklendirilen yol platformunda binder ve bitümlü temel tabakaları üzerinde değişik RAP % leri kullanarak hazırlanan karışımlar da malzemedan elde edilen kazançlar2014 birimfiyatlarına göre ton başına (binder ve bitümlü temelden toplam);

% 10 RAP kullanıldığında 3.30 TL, % 20 RAP kullanıldığında 6.29 TL, % 30 RAP kullanıldığında 9.58 TL, % 40 RAP kullanıldığında 12.57 TL, % 50 RAP kullanıldığında 15.86 TL olarak bulunmuştur. Sonuçlara göre katkı ilavesinin artması malzemedan elde ettiğimiz kazancı artırmıştır.

Ton başına elde edilen bu karlar

1 km uzunluğunda 8 m genişliğinde tasarlanan, binder ve bitümlü temel RAP ilaveli yolda km de RAP kullanımından dolayı malzemedan elde edilen kazançlar;

% 10 RAP katkılı binder ve bitümlü temel tabakasından 1 km yolda toplam 5,031.36 TL

% 20 RAP katkılı binder ve bitümlü temel tabakasından 1 km yolda toplam 9,607.10 TL

% 30 RAP katkılı binder ve bitümlü temel tabakasından 1 km yolda toplam 14,631.94TL

% 40 RAP katkılı binder ve bitümlü temel tabakasından 1 km yolda toplam 19,190.40TL

% 50 RAP katkılı binder ve bitümlü temel tabakasından 1 km yolda toplam 24,215.04TL

Malzemedan elde edilen bu kazançlar geri dönüşüm (RAP) malzemesin hazırlanması için gereken kırma, eleme, plentten besleme şekli ve işletme maliyetleri de hesaba katılırsa

net olarak 1 km lik yolda; (İşletme giderleri genel olarak ılık ve soğuk besleme yöntemi adı altında sınıflandırılmıştır)

Ilık besleme yönteminde;

% 10 RAP katkılı binder ve bitümlü temel tabakasından toplam 4,110.36 TL

% 20 RAP katkılı binder ve bitümlü temel tabakasından toplam 7,762.10 TL

% 30 RAP katkılı binder ve bitümlü temel tabakasından toplam 11,868.94 TL

% 40 RAP katkılı binder ve bitümlü temel tabakasından toplam 15,503.40 TL

% 50 RAP katkılı binder ve bitümlü temel tabakasından toplam 19,607.04 TL

Malzemenin plente ılık verilmesi nedeniyle geri dönüşüm malzemesinin eklenme oranı %50 kadar kabul edilebilir. Bu durumda km de en çok 19,607.04 TL/km kar sağlayabiliriz. Sonuçlara göre sadece 10 km lik böyle bir yol yapılırsa % 10 RAP katkılı karışımda 41,103 TL, % 20 RAP katkılı karışımda 77,621 TL, % 30 RAP katkılı karışımda 118,689 TL, % 40 RAP katkılı karışımda 155,034 TL, % 50 RAP katkılı karışımda 196,070 TL kazanç sağlanmaktadır. Katkı malzemesi oranı ise % 10 dan (% 40 lık bir artışla) % 50 ye çıktığında TL bazında % 377 lik bir tasarruf sağlanmaktadır.

Soğuk besleme yönteminde;

% 10 RAP katkılı binder ve bitümlü temel tabakasından toplam 4,724.36 TL

% 20 RAP katkılı binder ve bitümlü temel tabakasından toplam 8,992.10 TL

% 30 RAP katkılı binder ve bitümlü temel tabakasından toplam 13,710.94 TL

% 40 RAP katkılı binder ve bitümlü temel tabakasından toplam 17,961.40 TL

% 50 RAP katkılı binder ve bitümlü temel tabakasından toplam 22,679.04 TL

Malzemenin plente soğuk verilmesi nedeniyle geri dönüşüm malzemesinin eklenme oranı %30 kadar kabul edilebilir. Bu şekilde hazırlanan karışımdan km de en çok 13,710.94 TL kar sağlanabilir. Soğuk besleme yöntemi sıcak geri kazanıma göre daha karlı olarak düşünülse de önerilen oranlar fazlası yol performansında istenilen beklentiye cevap vermeyecek, yol bozulmaları kısa sürede artacak yolun performans ömür döngüsü azalacaktır. Sonuçlara göre sadece 10 km lik böyle bir yol yapılırsa % 10 RAP katkılı karışımda 47,243 TL, % 20 RAP katkılı karışımda 89,921 TL, % 30 RAP katkılı karışımda 137,109 TL kazanç sağlanmaktadır. Katkı malzemesi oranı ise % 10 dan (% 20 lik bir artışla) % 30 a çıktığında TL bazında % 190 lık bir tasarruf sağlanmaktadır.

Kazılmış asfalt kaplamaların geri dönüştürülerek yeni karışımlarda kullanılmak üzere plente taşınabildiği optimum mesafenin belirlenmesi ise tezin ikinci konusudur. Hesaplamalarda RAP malzemesinin geri dönüşümde kullanılmak üzere plente

taşınabileceği optimum uzaklık bulunurken, elde edilen net kardan her seferinde km de ton başına taşıma bedelleri çıkarılarak optimum taşınma mesafesine ulaşılmıştır. Taşıma bedelleri KGM 2014 birim fiyat listesindeki formüller kullanılarak bulunmuştur. Malzemenin ılık beslenmesi durumunda optimum uzaklık 55-60 km olarak belirlenirken, malzemenin plenten soğuk beslenmesi durumunda optimum uzaklık 65-70 km olarak bulunmuştur. Ilık beslenme durumunda geri dönüşüm malzemesinin eklenme oranı % 50 kadar kabul edilebilir olarak alınmış, bu durumda en fazla 55 km mesafeden taşınması km de 1359 TL kar sağlatmıştır. Malzemenin plenten soğuk beslenmesi durumunda geri dönüşüm malzemesinin eklenme oranı % 30 kadar kabul edilebilir olarak alınmış, bu durumda en fazla 65 km mesafeden taşınması km de 1185 TL kar sağlatmış diyebiliriz.

Geri dönüşüm taşıma maliyet analiz sonuçlara göre; geri dönüşüm plentlerin kurulum bazında 55-65 km arası mesafeler içinde etkin olduklarını da söylemek mümkündür. Bundan fazla mesafeler için her hangi bir ekonomik kazanım, nakliye masraflarının çok yükselmesinden dolayı sağlanamayacaktır. Asfalt işlerinde önemli yer ve meblağ tutan asfalt nakliyesi için bazı bölgelere göre 30 km için piyasa araştırması yapılmış ve elde edilen bulgularda genel olarak bölgeler arasında nakliye fiyatların çok değişmediğini fakat ticaret ve sanayinin gelişmiş olduğu bölgelerde taşıma masraflarının daha fazla olduğu görülmüştür. Taşıma için belirlenen piyasa fiyatları, KGM'nin verdiği taşıma fiyatları ile karşılaştırıldığında KGM'nin vermiş olduğu fiyatların %31 oranında daha uygun olduğunu söylemek mümkündür.

Geri dönüşüm malzemesinin kullanımını sağlayarak hem çevre koruması hem de ekonomik kazanım sağlanmaktadır. Türkiye'de asfalt geri kazanımını yaygınlaştırarak kullanımını artırabilmek için devlet tarafından geri kazanım teşvik edilmeli, önemli vergisel ve işlevsel kolaylıklar tanınmalı ve geri kazanım için kanunlar düzenlenmelidir. Geri dönüşüm ile kazanılan yolların uzun süreli performansları incelenmeli ve buna göre karışım tasarımı geliştirilerek geri kazanım yolun yapımına ilişkin yeni uygulamalar ve yapım teknikleri getirilmelidir. Ülkemizde geri dönüşüm malzeme kullanımı bir atık değil bir inşaat malzemesi olarak görülmelidir.

5.KAYNAKLAR

1. Elektrik Port Teknik Kütüphane, <http://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/geri-donusum-ve-turkiyedeki-durumu/10152#ad-image-0>, 12 Kasım 2014.
2. Sönmez, İ., Yol Teknolojileri Asfalt Geri Dönüşüm (Recycling), <http://yolteknolojileri.com.tr/icerik/6796/asfaltta-geri-donusum-recycling>, 10 Şubat 2015.
3. Türkiye İstatistik Kurumu, <http://www.tuik.gov.tr/UstMenu.do?metod=temelist>, 17 Şubat 2015.
4. ASMÜD., Türkiye de Rakamlarla Asfalt, <http://www.asmud.org.tr/asfalt.php?sayfa=25>, 07 Mart 2015.
5. BİTÜDER., Bitümün Tarihçesi, http://www.bituder.org/m_bitum_tarih.htm, 13 Ocak 2015.
6. TÜPRAŞ., Faaliyet Raporu, 2012.
7. Öztürk Ö., Çelikkol M. ve Erkan M., Türkiye Agrega Sektör Raporu, 2007.
8. AGÜB., İstanbul İli ve Çevresindeki Agrega Madenciliği Durum Tespit Raporu, 2014.
9. KGM Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı Ulaşım Maliyetleri ve Verimlilik Şubesi Müdürlüğü, 2005 - 2010 Yılları Arası Devlet ve İl Yolları Bakım-İşletme Harcamaları Analizi, Mart 2012.
10. ASMÜD., Bitümlü Sıcak Karışım Asfalt Üretimi ve Uygulaması, <http://www.asmud.org.tr/asfalt.php?sayfa=29>, 28 Mart 2015.
11. Çabuk A., Asfalt Onarım Teknikleri Bildirisi, İsfalt Yayınları, 2011.
12. Geri Dönüşüm Tasarım ve Üretimi, İsfalt Yayınları, 2011.
13. ARRA., Basic Asphalt Recycling Manual, U.S. Department of Transportation, 2011.
14. Sağlık, A. ve Güngör, A., G., Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi, 147s., Karayolları Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara, 2008.
15. Yol Teknolojileri Dergisi, Ocak-Şubat, 2012.
16. Akgün, A., Kocaeli Büyükşehir Belediyesi Sınırları İçinde Karayolu Üstyapılarının Maliyet Yönünden İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2011.

17. Karayolları Teknik Şartnamesi, Karayolları Genel Müdürlüğü, Kısım 413 ve Kısım 414, 2006.
18. Salta, İ., Bitümlü Karışımların Geri Dönüşüm Yöntemlerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2010.
19. Yılmaz, M., Kök, B., V. ve Kuloğlu, N., Karayolu Esnek Üstyapı Malzemelerinin Geri Dönüşümünde Köpük Asfalt Yönteminin Kullanılması, 6. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Elazığ, 2011.
20. Kaya, B., Bitümlü Karışımların Geri Dönüşümü, Çevresel Etkileri Ve Maliyet Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2011.
21. Önal, M., A. ve Kahramangil, M., Bitümlü Karışımlar Laboratuvar El Kitabı, Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü Araştırma Geliştirme Dairesi Başkanlığı Üstyapı Geliştirme Şube Müdürlüğü, 2012.
22. Wu, M., Evaluation Of High Percentage Recycled Asphalt Pavement As Base Course Materials, Master Of Science In Civil Engineering, Washington State University Department of Civil and Environmental Engineering, 2011.
23. Locander, R., Analysis Of Using Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) As a Base Course Material, Colorado, 2009.
24. Carter, T., Rappin' on RAP, Twining Laboratories, Sacramento.
25. Hot Mix Asphalt Reclaimed Asphalt Pavement, http://www.dot.ca.gov/hq/construc/CP Directives/cpd13-5_A4.pdf, 18 Nisan 2015.
26. NAPA., Reclaimed Asphalt Pavement, Reclaimed Asphalt Shingles, and Warm-Mix Asphalt Usage, 2nd Annual Asphalt Pavement Industry Survey on, 2009–2011.
27. Huber, G., Paving Green Conference Recycled Asphalt Pavement, California, 2010.
28. Cosentino, P., Developing Specifications For Using Recycled Asphalt Pavement As Base, Subbase Or General Fill Materials, Florida Department of Transportation Report, 2001.
29. Santucci, L., Recycling Asphalt Pavements a Strategy Revisited, Technology Transfer Program Institute Of Transportation Studies University Of California Berkeley, California, 2007.
30. Lech, M., Road Design And Construction Terms, Nebraska Department of Roads, 1998.
31. Sönmez, İ., Asfalt Üretimi, İstanbul Büyükşehir Belediyesi, 2011.

32. Deniz, M., T., Bitümlü Bağlayıcılar ve Asfalt Emülsiyonları, İsfalt Yayınları.
33. Deniz, M., T., Siyah Ürünler, İsfalt Ürün Yelpazesi, İsfalt Yayınları.
34. Eren, B., K., Agregalar ve Kalite Kontrol Çalışmaları, 2011.
35. Yıldırım S., A., Karışım Tasarımları ile İlgili Standartlar, 2011.
36. İSFALT., Asfalt Uygulamaları El Kitabı, İstanbul, 2001.
37. İSFALT., Asfalt Yama Teknikleri, İstanbul.
38. Umar, F. ve Ağar, E., Yol Üstyapısı, İTÜ Yayınları, 1985.
39. Selçuk, S., Asfalt Geri Dönüşümünün Yol Üstyapılarında Maksimum Düzeyde Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Karayolları Genel Müdürlüğü AR-GE, 2012.
40. Karayolları Genel Müdürlüğü AR-GE Dairesi Başkanlığı, Asfalt Kaplamaların Plentte Geri Kazanımı, 2006-2008.
41. Karayolları Genel Müdürlüğü AR-GE Dairesi Başkanlığı, Asfalt Kaplamaların Yerinde Geri Kazanımı, 2011.
42. Schvallerger, M., Analyzing trends of asphalt recycling in France, Degree Project, KTH, Royal Institute of Technology Department of Urban Planning and Environment Division of Environmental Strategies Research, Stockholm, 2011.
43. Sönmez, İ., İnşaat Atıklarının Asfaltta Geri Dönüşüm Malzemesi Olarak Kullanılması, 2011.
44. KGM., Dün Bugün Yarın, 2014.
45. Asfaltsan İnşaat Turizm San.Ve Tic.A.Ş, <http://www.asfaltsan.com.tr>, 10 Mayıs 2015.
46. Gürkan, G., Orhan, F., Kaşak, S., Çalışkol, A. ve Yönter, G., Kazınmış Asfalt Kaplamaların Yeniden Kullanımı KGM Uygulamaları, 5. Ulusal Asfalt Sempozyumu, Ankara, 2009.
47. Çubuk, K., Use Of Reclamimed asphalt Pavement (RAP) As A Bitüminous Base Course, Master Thesis, İn Civil Engineering Middle East Technical University, 1990.
48. Wirtgen, <http://www.wirtgenankara.com.tr/tr/products/index.html>, 14 Mayıs 2015.
49. KGM Birim Fiyat El Kitabı, 2014.
50. Mazlum, M., S., Ekonomik Ömrünü Tamamlamış Asfalt Kaplamaların Kazınarak Bitümlü Sıcak Karışımlarda Yeniden Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2014.

51. Temren, Z., Dünyada Asfaltın Geri Kazanımı, Türkiye Asfalt Mütcaahhitleri Derneği.
52. Yıldırım S., A., Asfaltta Kullanılan Geri Kazanım Malzemeleri ve Katkıları, 2012.
53. Asfalt Geri Dönüşüm Plentleri, <http://www.teknoasfalt.com/urun-gruplarimiz/asfalt-geri-donusum/geri-donusum-plenti>, 27 Mayıs 2015.
54. Orhan, F., Bitümlü Karışımlar Laboratuvar Çalışmaları, Ankara 2012.
55. ASTEK Asfalt Yapım Teknolojileri, <http://www.asfaltkaplama.com>, 15 Temmuz 2015.
56. Çesan Asfalt Plentleri, <http://www.cesanas.com/>, 16 Temmuz 2015.
57. ASYOL Asfalt Taahhüt Ticaret Sanayi A.Ş. <http://www.asyol.com.tr/>, 18 Temmuz 2015.
58. Tüpraş Bitüm Fiyatları, <http://www.tupras.com.tr/detailpage.tr.php?redirect=asphaltprices.tr.php&lRedirectPageID=6351>, 20 Temmuz 2015.
59. İsfalt Araştırma-Geliştirme (AR-GE) Birimi, <http://www.isfalt.com/TR/3/01/7/genelbilgi>, 14 Ağustos 2015.

8. EKLER

Ek 1. Plentin İlk Beslenmesi Durumunda

% 10 Rap katkılı karışım devamı

15 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 15 + 0.01) \times 1 = 5.023 \text{ TL/ton}$$

$$307 \text{ ton} \times 5.023 \text{ TL/ton} = 1542.10 \text{ TL}$$

4110.36 TL – 1542.10 TL = 2568.26 TL, km de yol yapımı için elde edilen kardır,

RAP malzemesi 15 km den taşınabilir.

20 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 20 + 0.01) \times 1 = 5.88 \text{ TL/ton}$$

$$307 \text{ ton} \times 5.88 \text{ TL/ton} = 1805.16 \text{ TL}$$

4110.36 TL – 1805.16 TL = 2305.20 TL, km de yol yapımı için elde edilen kardır,

RAP malzemesi 20 km den taşınabilir.

25 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 25 + 0.01) \times 1 = 6.74 \text{ TL/ton}$$

$$307 \text{ ton} \times 6.74 \text{ TL/ton} = 2069.18 \text{ TL}$$

4110.36 TL – 2069.18 TL = 2041.18 TL, km de yol yapımı için elde edilen kardır,

RAP malzemesi 25 km den taşınabilir.

30 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 30 + 0.01) \times 1 = 7.6 \text{ TL/ton}$$

$$307 \text{ ton} \times 7.6 \text{ TL/ton} = 2333.2 \text{ TL}$$

4110.36 TL – 2333.2 TL = 1777.16 TL, km de yol yapımı için elde edilen kardır,

RAP malzemesi 30 km den taşınabilir.

35 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 35 + 0.01) \times 1 = 8.45 \text{ TL/ton}$$

$$307 \text{ ton} \times 8.45 \text{ TL/ton} = 2594.15 \text{ TL}$$

4110.36 TL – 2594.15 TL = 1516.21 TL, km de yol yapımı için elde edilen kardır,

RAP malzemesi 35 km den taşınabilir.

40 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 40 + 0.01) \times 1 = 9.31 \text{ TL/ton}$$

$$307 \text{ ton} \times 9.31 \text{ TL/ton} = 2858.17 \text{ TL}$$

4110.36 TL – 2858.17 TL = 1252.19 TL, km de yol yapımı için elde edilen kardır,

RAP malzemesi 40 km den taşınabilir.

Ek 1'in devamı

45 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 45 + 0.01) \times 1 = 10.17 \text{ TL/ton}$$

$$307 \text{ ton} \times 10.17 \text{ TL/ton} = 3122.19 \text{ TL}$$

$$4110.36 \text{ TL} - 3122.19 \text{ TL} = 988.17 \text{ TL, km de yol yapımı için elde edilen kardan}$$

RAP malzemesi 45 km den taşınabilir.

50 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 50 + 0.01) \times 1 = 11.03 \text{ TL/ton}$$

$$307 \text{ ton} \times 11.03 \text{ TL/ton} = 3386.21 \text{ TL}$$

$$4110.36 \text{ TL} - 3386.21 \text{ TL} = 724.15 \text{ TL, km de yol yapımı için elde edilen kardan}$$

RAP malzemesi 50 km den taşınabilir.

55 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 55 + 0.01) \times 1 = 11.88 \text{ TL/ton}$$

$$307 \text{ ton} \times 11.88 \text{ TL/ton} = 3647.16 \text{ TL}$$

$$4110.36 \text{ TL} - 3647.16 \text{ TL} = 463.20 \text{ TL, km de yol yapımı için elde edilen kardan}$$

RAP malzemesi 55 km den taşınabilir.

60 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 60 + 0.01) \times 1 = 12.74 \text{ TL/ton}$$

$$307 \text{ ton} \times 12.74 \text{ TL/ton} = 3911.18 \text{ TL}$$

$$4110.36 \text{ TL} - 3911.18 \text{ TL} = 199.18 \text{ TL, km de yol yapımı için elde edilen kardan}$$

RAP malzemesi 60 km den taşınabilir. Sonuçlara göre %10 binder ve bitümlü temel katkılı RAP için en fazla 60 km de taşımada geri dönüşüm seçilebilir diyebiliriz.

65 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 65 + 0.01) \times 1 = 13.60 \text{ TL/ton}$$

$$307 \text{ ton} \times 13.60 \text{ TL/ton} = 4175.20 \text{ TL}$$

$$4110.36 \text{ TL} - 4175.20 \text{ TL} = -64.84 \text{ TL, malzemenin 65 km ve daha fazlası bir}$$

mesafeden plente taşınmasından herhangi bir ekonomik kazanım elde edilemez.

% 20 binder, % 20 bitümlü temel geri dönüşüm malzemesi katkılı karışım için; Rap malzemesinin ekonomik koşullar altında kazı yerinden plente taşınabileceği maksimum uzaklığın ve bu uzaklıktan elde edilen kazancının belirlenmesi

- Malzemedan elde edilen net kazanç 7,762.10 TL olarak hesaplanmıştır.

10 km uzaklık için;

$$F = 1.25 \times 0.00017 \times K \times \sqrt{M} \times A$$

$$F = 1.25 \times 0.00017 \times 196 \times \sqrt{10000} \times 1 = 4.165 \text{ TL/ton}$$

%20 binder + %20 bitüm temel için kullanılacak Rap miktarı 615 ton

$$615 \text{ ton} \times 4.165 \text{ TL/ton} = 2561.5 \text{ TL malzemenin 10 km den taşıma için harcanacak}$$

bedel

Ek 1'in devamı

7762.10 TL – 2561.5 TL = 5200.60 TL, km de yol yapımı için elde edilen kardan, RAP malzemesi 10 km den taşınabilir.

15 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 15 + 0.01) \times 1 = 5.023 \text{ TL/ton}$$

$$615 \text{ ton} \times 5.023 \text{ TL/ton} = 3089.15 \text{ TL}$$

7762.10 TL – 3089.15 TL = 4672.95 TL 1 km yol yapımından elde edilen kardan, RAP malzemesi 15 km den taşınabilir.

20 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 20 + 0.01) \times 1 = 5.88 \text{ TL/ton}$$

$$615 \text{ ton} \times 5.88 \text{ TL/ton} = 3616.2 \text{ TL}$$

7762.10 TL – 3616.2 TL = 4145.90 TL, km de yol yapımı için elde edilen kardan, RAP malzemesi 20 den taşınabilir.

25 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 25 + 0.01) \times 1 = 6.74 \text{ TL/ton}$$

$$615 \text{ ton} \times 6.74 \text{ TL/ton} = 4145.1 \text{ TL}$$

7762.10 TL – 4145.1 TL = 3617.00 TL, km de yol yapımı için elde edilen kardan, RAP malzemesi 25 km den taşınabilir.

30 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 30 + 0.01) \times 1 = 7.6 \text{ TL/ton}$$

$$615 \text{ ton} \times 7.6 \text{ TL/ton} = 4674 \text{ TL}$$

7762.10 TL – 4674 TL = 3088.10 TL, km de yol yapımı için elde edilen kardan, RAP malzemesi 30 km den taşınabilir.

35 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 35 + 0.01) \times 1 = 8.45 \text{ TL/ton}$$

$$615 \text{ ton} \times 8.45 \text{ TL/ton} = 5196.75 \text{ TL}$$

7762.10 TL – 5196.75 TL = 2565.35 TL, km de yol yapımı için elde edilen kardan, RAP malzemesi 35 km den taşınabilir.

40 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 40 + 0.01) \times 1 = 9.31 \text{ TL/ton}$$

$$615 \text{ ton} \times 9.31 \text{ TL/ton} = 5725.65 \text{ TL}$$

7762.10 TL – 5725.65 TL = 2036.45 TL, km de yol yapımı için elde edilen kardan, RAP malzemesi 40 km den taşınabilir.

45 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

Ek 1'in devamı

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 45 + 0.01) \times 1 = 10.17 \text{ TL/ton}$$

$$615 \text{ ton} \times 10.17 \text{ TL/ton} = 6254.55 \text{ TL}$$

7762.10 TL – 6254.55 TL = 1507.55 TL, km de yol yapımı için elde edilen kardan, RAP malzemesi 45 km den taşınabilir.

50 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 50 + 0.01) \times 1 = 11.03 \text{ TL/ton}$$

$$615 \text{ ton} \times 11.03 \text{ TL/ton} = 6783.45 \text{ TL}$$

7762.10 TL – 6783.45 TL = 978.65 TL, km de yol yapımı için elde edilen kardan, RAP malzemesi 50 km den taşınabilir.

55 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 55 + 0.01) \times 1 = 11.88 \text{ TL/ton}$$

$$615 \text{ ton} \times 11.88 \text{ TL/ton} = 7306.20 \text{ TL}$$

7762.10 TL – 7306.20 TL = 455.90 TL, km de yol yapımı için elde edilen kardan, RAP malzemesi 55 km den taşınabilir. Sonuçlara göre %20 binder ve bitümlü temel katkılı RAP için en fazla 55 km de taşımada geri dönüşüm seçilebilir diyebiliriz.

60 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 60 + 0.01) \times 1 = 12.74 \text{ TL/ton}$$

$$615 \text{ ton} \times 12.74 \text{ TL/ton} = 7835.10 \text{ TL}$$

7762.10 TL – 7835.10 TL = -73 TL, malzemenin 60 km ve daha fazlası bir mesafeden taşınmasından herhangi bir ekonomik kazanım elde edilemez.

% 30 binder, % 30 bitümlü temel geri dönüşüm malzemesi katkılı karışım için; Rap malzemesinin ekonomik koşullar altında kazı yerinden plentte taşınabileceği maksimum uzaklığın ve bu uzaklıktan elde edilen kazancının belirlenmesi

- Malzemedan elde edilen net kazanç 11,868.94 TL olarak hesaplanmıştır.

10 km uzaklık için;

$$F = 1.25 \times 0.00017 \times K \times \sqrt{M} \times A$$

$$F = 1.25 \times 0.00017 \times 196 \times \sqrt{10000} \times 1 = 4.165 \text{ TL/ton}$$

%30 binder + %30 bitüm temel için kullanılacak Rap miktarı 921 ton

$$921 \text{ ton} \times 4.165 \text{ TL/ton} = 3835.97 \text{ TL malzemenin 10 km den taşıma için harcanacak}$$

bedel

11868.94 TL – 3835.97 TL = 8032.97 TL, km de yol yapımı için elde edilen kardan, RAP malzemesi 10 km den taşınabilir.

15 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 15 + 0.01) \times 1 = 5.023 \text{ TL/ton}$$

$$921 \text{ ton} \times 5.023 \text{ TL/ton} = 4626.18 \text{ TL}$$

11868.94 TL – 4626.18 TL = 7242.76 TL, km de yol yapımından elde edilen kardan, RAP malzemesi 15 km den taşınabilir.

Ek 1'in devamı

20 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 20 + 0.01) \times 1 = 5.88 \text{ TL/ton}$$

$$921 \text{ ton} \times 5.88 \text{ TL/ton} = 5415.5 \text{ TL}$$

$$11868.94 \text{ TL} - 5415.5 \text{ TL} = 6453.44 \text{ TL, km de yol yapımı için elde edilen kardanır,}$$

RAP malzemesi 20 km den taşınabilir.

25 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 25 + 0.01) \times 1 = 6.74 \text{ TL/ton}$$

$$921 \text{ ton} \times 6.74 \text{ TL/ton} = 6207.54 \text{ TL}$$

$$11868.94 \text{ TL} - 6207.54 \text{ TL} = 5661.40 \text{ TL, km de yol yapımı için elde edilen kardanır,}$$

RAP malzemesi 25 km den taşınabilir.

30 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 30 + 0.01) \times 1 = 7.6 \text{ TL/ton}$$

$$921 \text{ ton} \times 7.6 \text{ TL/ton} = 6999.6 \text{ TL}$$

$$11868.94 \text{ TL} - 6999.6 \text{ TL} = 4869.34 \text{ TL, km de yol yapımı için elde edilen kardanır,}$$

RAP malzemesi 30 km den taşınabilir.

35 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 35 + 0.01) \times 1 = 8.45 \text{ TL/ton}$$

$$921 \text{ ton} \times 8.45 \text{ TL/ton} = 7782.45 \text{ TL}$$

$$11868.94 \text{ TL} - 7782.45 \text{ TL} = 4086.49 \text{ TL, km de yol yapımı için elde edilen kardanır,}$$

RAP malzemesi 35 km den taşınabilir.

40 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 40 + 0.01) \times 1 = 9.31 \text{ TL/ton}$$

$$921 \text{ ton} \times 9.31 \text{ TL/ton} = 8574.51 \text{ TL}$$

$$11868.94 \text{ TL} - 8574.51 \text{ TL} = 3294.43 \text{ TL, km de yol yapımı için elde edilen kardanır,}$$

RAP malzemesi 40 km den taşınabilir.

45 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 45 + 0.01) \times 1 = 10.17 \text{ TL/ton}$$

$$921 \text{ ton} \times 10.17 \text{ TL/ton} = 9366.57 \text{ TL}$$

$$11868.94 \text{ TL} - 9366.57 \text{ TL} = 2502.37 \text{ TL, km de yol yapımı için elde edilen kardanır,}$$

RAP malzemesi 45 km den taşınabilir.

50 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 50 + 0.01) \times 1 = 11.03 \text{ TL/ton}$$

$$921 \text{ ton} \times 11.03 \text{ TL/ton} = 10158.63 \text{ TL}$$

Ek 1'in devamı

11868.94 TL – 10158.63 TL = 1710.31 TL, km de yol yapımı için elde edilen kardan, RAP malzemesi 50 km den taşınabilir.

55 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 55 + 0.01) \times 1 = 11.88 \text{ TL/ton}$$

$$921 \text{ ton} \times 11.88 \text{ TL/ton} = 10941.48 \text{ TL}$$

11868.94 TL – 10941.48 TL = 927.46 TL, km de yol yapımı için elde edilen kardan, RAP malzemesi 55 km den taşınabilir.

60 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 60 + 0.01) \times 1 = 12.74 \text{ TL/ton}$$

$$921 \text{ ton} \times 12.74 \text{ TL/ton} = 11733.54 \text{ TL}$$

11868.94 TL – 11733.54 TL = 135.40 TL, km de yol yapımı için elde edilen kardan, RAP malzemesi 60 den kadar taşınabilir. Sonuçlara göre %30 binder ve bitümlü temel katkı RAP için en fazla 60 km de taşımada geri dönüşüm seçilebilir diyebiliriz.

% 40 binder, % 40 bitümlü temel geri dönüşüm malzemesi katkı karışım için; Rap malzemesinin ekonomik koşullar altında kazı yerinden plentte taşınabileceği maksimum uzaklığın ve bu uzaklıktan elde edilen kazancının belirlenmesi

- Malzemedan elde edilen net kazanç 15,503.40 TL olarak hesaplanmıştır.

10 km uzaklık için;

$$F = 1.25 \times 0.00017 \times K \times \sqrt{M} \times A$$

$$F = 1.25 \times 0.00017 \times 196 \times \sqrt{10000} \times 1 = 4.165 \text{ TL/ton}$$

%40 binder + %40 bitüm temel için kullanılacak Rap miktarı 1229 ton

$$1229 \text{ ton} \times 4.165 \text{ TL/ton} = 5118.79 \text{ TL malzemenin 10 km den taşıma için harcanacak bedel}$$

15503.40 TL – 5118.79 TL = 10384.61 TL, km de yol yapımı için elde edilen kardan, RAP malzemesi 10 km den taşınabilir.

15 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 15 + 0.01) \times 1 = 5.023 \text{ TL/ton}$$

$$1229 \text{ ton} \times 5.023 \text{ TL/ton} = 6173.27 \text{ TL}$$

15503.40 TL – 6173.27 TL = 9330.13 TL, km de yol yapımı için elde edilen kardan, RAP malzemesi 15 km den taşınabilir.

20 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 20 + 0.01) \times 1 = 5.88 \text{ TL/ton}$$

$$1229 \text{ ton} \times 5.88 \text{ TL/ton} = 7226.52 \text{ TL}$$

15503.40 TL – 7226.52 TL = 8276.88 TL, km de yol yapımı için elde edilen kardan, RAP malzemesi 20 km den taşınabilir.

25 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 25 + 0.01) \times 1 = 6.74 \text{ TL/ton}$$

Ek 1'in devamı

$$1229 \text{ ton} \times 6.74 \text{ TL/ton} = 8283.46 \text{ TL}$$

$15503.40 \text{ TL} - 8283.46 \text{ TL} = 7219.94 \text{ TL}$, km de yol yapımı için elde edilen kardan, RAP malzemesi 25 km den taşınabilir.

30 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 30 + 0.01) \times 1 = 7.6 \text{ TL/ton}$$

$$1229 \text{ ton} \times 7.6 \text{ TL/ton} = 9340.4 \text{ TL}$$

$15503.40 \text{ TL} - 9340.4 \text{ TL} = 6163.00 \text{ TL}$, km de yol yapımı için elde edilen kardan, RAP malzemesi 30 km den taşınabilir.

35 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 35 + 0.01) \times 1 = 8.45 \text{ TL/ton}$$

$$1229 \text{ ton} \times 8.45 \text{ TL/ton} = 10385.05 \text{ TL}$$

$15503.40 \text{ TL} - 10385.05 \text{ TL} = 5118.35 \text{ TL}$, km de yol yapımı için elde edilen kardan, RAP malzemesi 35 km den taşınabilir.

40 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 40 + 0.01) \times 1 = 9.31 \text{ TL/ton}$$

$$1229 \text{ ton} \times 9.31 \text{ TL/ton} = 11441.99 \text{ TL}$$

$15503.40 \text{ TL} - 11441.99 \text{ TL} = 4062.21 \text{ TL}$, km de yol yapımı için elde edilen kardan, RAP malzemesi 40 km den taşınabilir.

45 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 45 + 0.01) \times 1 = 10.17 \text{ TL/ton}$$

$$1229 \text{ ton} \times 10.17 \text{ TL/ton} = 12498.93 \text{ TL}$$

$15503.40 \text{ TL} - 12498.93 \text{ TL} = 3004.47 \text{ TL}$, km de yol yapımı için elde edilen kardan, RAP malzemesi 45 km den taşınabilir.

50 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 50 + 0.01) \times 1 = 11.03 \text{ TL/ton}$$

$$1229 \text{ ton} \times 11.03 \text{ TL/ton} = 13555.87 \text{ TL}$$

$15503.40 \text{ TL} - 13555.87 \text{ TL} = 1947.53 \text{ TL}$, km de yol yapımı için elde edilen kardan, RAP malzemesi 50 km den taşınabilir.

55 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 55 + 0.01) \times 1 = 11.88 \text{ TL/ton}$$

$$1229 \text{ ton} \times 11.88 \text{ TL/ton} = 14600.52 \text{ TL}$$

$15503.40 \text{ TL} - 14600.52 \text{ TL} = 902.88 \text{ TL}$, km de yol yapımı için elde edilen kardan, RAP malzemesi 55 km den taşınabilir. Bu sonuçlara göre %40 binder ve bitümlü temel katkı RAP için en fazla 55 km de taşımada geri dönüşüm seçilebilir diyebiliriz.

Ek 1'in devamı

60 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 60 + 0.01) \times 1 = 12.74 \text{ TL/ton}$$

$$1229 \text{ ton} \times 12.74 \text{ TL/ton} = 15657.46 \text{ TL}$$

15503.40 TL – 15657.46 TL = -154.06 TL, , malzemenin 60 km ve daha fazlası bir mesafeye taşınmasından herhangi bir ekonomik kazanım elde edilemez.

% 50 binder, % 50 bitümlü temel geri dönüşüm malzemesi katkılı karışım için; Rap malzemesinin ekonomik koşullar altında kazı yerinden plentte taşınabileceği maximum uzaklığın ve bu uzaklıktan elde edilen kazancının belirlenmesi

- Malzemedan elde edilen net kazanç 19,607.04 TL olarak hesaplanmıştır.

10 km uzaklık için;

$$F = 1.25 \times 0.00017 \times K \times \sqrt{M} \times A$$

$$F = 1.25 \times 0.00017 \times 196 \times \sqrt{10000} \times 1 = 4.165 \text{ TL/ton}$$

%50 binder + %50 bitüm temel için kullanılacak Rap miktarı 1536 ton

$$1536 \text{ ton} \times 4.165 \text{ TL/ton} = 6397.44 \text{ TL}$$

malzemenin 10 km den taşıma için harcanacak bedel

19607.04 TL – 6397.44 TL = 13209.60 TL, km de yol yapımı için elde edilen kardır, RAP malzemesi 10 km den taşınabilir.

15 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 15 + 0.01) \times 1 = 5.023 \text{ TL/ton}$$

$$1536 \text{ ton} \times 5.023 \text{ TL/ton} = 7715.33 \text{ TL}$$

19607.04 TL – 7715.33 TL = 11891.71 TL, km de yol yapımı için elde edilen kardır, RAP malzemesi 15 km den taşınabilir.

20 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 20 + 0.01) \times 1 = 5.88 \text{ TL/ton}$$

$$1536 \text{ ton} \times 5.88 \text{ TL/ton} = 9031.68 \text{ TL}$$

19607.04 TL – 9031.68 TL = 10575.36 TL, km de yol yapımı için elde edilen kardır, RAP malzemesi 20 km den taşınabilir.

25 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 25 + 0.01) \times 1 = 6.74 \text{ TL/ton}$$

$$1536 \text{ ton} \times 6.74 \text{ TL/ton} = 10352.64 \text{ TL}$$

19607.04 TL – 10352.64 TL = 9254.40 TL, km de yol yapımı için elde edilen kardır, RAP malzemesi 25 km den taşınabilir.

30 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 30 + 0.01) \times 1 = 7.6 \text{ TL/ton}$$

$$1536 \text{ ton} \times 7.6 \text{ TL/ton} = 11673.6 \text{ TL}$$

Ek 1'in devamı

19607.04 TL – 11673.6 TL = 7933.44 TL, km de yol yapımı için elde edilen kardan, RAP malzemesi 30 km den taşınabilir.

35 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 35 + 0.01) \times 1 = 8.45 \text{ TL/ton}$$

$$1536 \text{ ton} \times 8.45 \text{ TL/ton} = 12979.2 \text{ TL}$$

19607.04 TL – 12979.2 TL = 6627.84 TL, km de yol yapımı için elde edilen kardan, RAP malzemesi 35 km den taşınabilir.

40 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 40 + 0.01) \times 1 = 9.31 \text{ TL/ton}$$

$$1536 \text{ ton} \times 9.31 \text{ TL/ton} = 14300.16 \text{ TL}$$

19607.04 TL – 14300.16 TL = 5306.88 TL, km de yol yapımı için elde edilen kardan, RAP malzemesi 40 km den taşınabilir.

45 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 45 + 0.01) \times 1 = 10.17 \text{ TL/ton}$$

$$1536 \text{ ton} \times 10.17 \text{ TL/ton} = 15621.12 \text{ TL}$$

19607.04 TL – 15621.12 TL = 3985.92 TL, km de yol yapımı için elde edilen kardan, RAP malzemesi 45 km den taşınabilir.

50 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 50 + 0.01) \times 1 = 11.03 \text{ TL/ton}$$

$$1536 \text{ ton} \times 11.03 \text{ TL/ton} = 16942.08 \text{ TL}$$

19607.04 TL – 16942.08 TL = 2664.96 TL, km de yol yapımı için elde edilen kardan, RAP malzemesi 50 km den taşınabilir.

55 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 55 + 0.01) \times 1 = 11.88 \text{ TL/ton}$$

$$1536 \text{ ton} \times 11.88 \text{ TL/ton} = 18247.68 \text{ TL}$$

19607.04 TL – 18247.68 TL = 1359.36 TL, km de yol yapımı için elde edilen kardan, RAP malzemesi 55 km den taşınabilir.

60 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 60 + 0.01) \times 1 = 12.74 \text{ TL/ton}$$

$$1536 \text{ ton} \times 12.74 \text{ TL/ton} = 19568.64 \text{ TL}$$

19607.04 TL – 19568.64 TL = 38.40 TL, Sonuçlara göre %50 binder ve bitümlü temel katkılı RAP için en fazla 60 km de taşımada geri dönüşüm seçilebilir diyebiliriz.

65 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

Ek 1'in devamı

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 65 + 0.01) \times 1 = 13.60 \text{ TL/ton}$$

$$1536 \text{ ton} \times 13.60 \text{ TL/ton} = 20889.60 \text{ TL}$$

$19607.04 \text{ TL} - 20889.60 \text{ TL} = -1282.56 \text{ TL}$, malzemenin 65 km ve daha fazlası bir mesafeye taşınmasından herhangi bir ekonomik kazanım elde edilemez.

Ek 2. Plentin Soğuk Beslenmesi Durumunda

% 10 Rap katkılı devamı

15 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 15 + 0.01) \times 1 = 5.023 \text{ TL/ton}$$

$$307 \text{ ton} \times 5.023 \text{ TL/ton} = 1542.1 \text{ TL}$$

$$4724.36 \text{ TL} - 1542.1 \text{ TL} = 3182.26 \text{ TL, km de yol yapımı için elde edilen kardanır,}$$

RAP malzemesi 15 km den kadar taşınabilir.

20 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 20 + 0.01) \times 1 = 5.88 \text{ TL/ton}$$

$$307 \text{ ton} \times 5.88 \text{ TL/ton} = 1805.16 \text{ TL}$$

$$4724.36 \text{ TL} - 1805.16 \text{ TL} = 2919.20 \text{ TL, km de yol yapımı için elde edilen kardanır,}$$

RAP malzemesi 20 km den taşınabilir.

25 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 25 + 0.01) \times 1 = 6.74 \text{ TL/ton}$$

$$307 \text{ ton} \times 6.74 \text{ TL/ton} = 2069.18 \text{ TL}$$

$$4724.36 \text{ TL} - 2069.18 \text{ TL} = 2655.18 \text{ TL, km de yol yapımı için elde edilen kardanır,}$$

RAP malzemesi 25 km den taşınabilir.

30 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 30 + 0.01) \times 1 = 7.6 \text{ TL/ton}$$

$$307 \text{ ton} \times 7.6 \text{ TL/ton} = 2333.2 \text{ TL}$$

$$4724.36 \text{ TL} - 2333.2 \text{ TL} = 2391.16 \text{ TL, km de yol yapımı için elde edilen kardanır,}$$

RAP malzemesi 30 km den taşınabilir.

35 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 35 + 0.01) \times 1 = 8.45 \text{ TL/ton}$$

$$307 \text{ ton} \times 8.45 \text{ TL/ton} = 2594.15 \text{ TL}$$

$$4724.36 \text{ TL} - 2594.15 \text{ TL} = 2130.21 \text{ TL, km de yol yapımı için elde edilen kardanır,}$$

RAP malzemesi 35 km den taşınabilir.

40 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 40 + 0.01) \times 1 = 9.31 \text{ TL/ton}$$

$$307 \text{ ton} \times 9.31 \text{ TL/ton} = 2858.17 \text{ TL}$$

$$4724.36 \text{ TL} - 2858.17 \text{ TL} = 1866.19 \text{ TL, km de yol yapımı için elde edilen kardanır,}$$

RAP malzemesi 40 km den taşınabilir.

45 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 45 + 0.01) \times 1 = 10.17 \text{ TL/ton}$$

$$307 \text{ ton} \times 10.17 \text{ TL/ton} = 3122.19 \text{ TL}$$

Ek 2'nin devamı

4724.36 TL – 3122.19 TL = 1602.17 TL, km de yol yapımı için elde edilen kardan, RAP malzemesi 45 km den taşınabilir.

50 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 50 + 0.01) \times 1 = 11.03 \text{ TL/ton}$$

$$307 \text{ ton} \times 11.03 \text{ TL/ton} = 3386.21 \text{ TL}$$

4724.36 TL – 3386.21 TL = 1338.15 TL, km de yol yapımı için elde edilen kardan, RAP malzemesi 50 km den taşınabilir.

55 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 55 + 0.01) \times 1 = 11.88 \text{ TL/ton}$$

$$307 \text{ ton} \times 11.88 \text{ TL/ton} = 3647.16 \text{ TL}$$

4724.36 TL – 3647.16 TL = 1077.20 TL, km de yol yapımı için elde edilen kardan, RAP malzemesi 55 km den taşınabilir.

60 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 60 + 0.01) \times 1 = 12.74 \text{ TL/ton}$$

$$307 \text{ ton} \times 12.74 \text{ TL/ton} = 3911.18 \text{ TL}$$

4724.36 TL – 3911.18 TL = 813.18 TL, km de yol yapımı için elde edilen kardan, RAP malzemesi 60 km den taşınabilir.

65 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 65 + 0.01) \times 1 = 13.60 \text{ TL/ton}$$

$$307 \text{ ton} \times 13.60 \text{ TL/ton} = 4175.20 \text{ TL}$$

4724.36 TL – 4175.20 TL = 549.16 TL, km de yol yapımı için elde edilen kardan, RAP malzemesi 65 km den taşınabilir.

70 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 70 + 0.01) \times 1 = 14.46 \text{ TL/ton}$$

$$307 \text{ ton} \times 14.46 \text{ TL/ton} = 4439.22 \text{ TL}$$

4724.36 TL – 4439.22 TL = 285.14 TL, km de yol yapımı için elde edilen kardan, RAP malzemesi 70 km den taşınabilir.

75 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 75 + 0.01) \times 1 = 15.31 \text{ TL/ton}$$

$$307 \text{ ton} \times 15.31 \text{ TL/ton} = 4700.17 \text{ TL}$$

4724.36 TL – 4700.17 TL = 24.19 TL, sonuçlara göre % 10 binder ve bitümlü temel katkı RAP için en fazla 75 km de taşımada geri dönüşüm seçilebilir diyebiliriz.

80 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

Ek 2'nin devamı

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 80 + 0.01) \times 1 = 16.17 \text{ TL/ton}$$

$$307 \text{ ton} \times 16.17 \text{ TL/ton} = 4964.19 \text{ TL}$$

4724.36 TL – 4964.19 TL = -239.83 TL, malzemenin 80 km ve daha fazlası bir mesafeye taşınmasından herhangi bir ekonomik kazanım elde edilemez.

% 20 binder, % 20 bitümlü temel geri dönüşüm malzemesi katkılı karışım için; Rap malzemesinin ekonomik koşullar altında kazı yerinden plentte taşınabileceği maksimum uzaklığın ve bu uzaklıktan elde edilen kazancının belirlenmesi

- Malzemedan elde edilen net kazanç 8,992.10 TL olarak hesaplanmıştır.

10 km uzaklık için;

$$F = 1.25 \times 0.00017 \times K \times \sqrt{M} \times A$$

$$F = 1.25 \times 0.00017 \times 196 \times \sqrt{10000} \times 1 = 4.165 \text{ TL/ton}$$

% 20 binder + % 20 bitümlü temel için kullanılacak Rap miktarı 615 ton

$$615 \text{ ton} \times 4.165 \text{ TL/ton} = 2561.5 \text{ TL}$$

malzemenin 10 km den taşınması için harcanacak bedel

$$8992.10 \text{ TL} - 2561.5 \text{ TL} = 6430.60 \text{ TL, km de yol yapımı için elde edilen kardanır,}$$

RAP malzemesi 10 km den taşınabilir.

15 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 15 + 0.01) \times 1 = 5.023 \text{ TL/ton}$$

$$615 \text{ ton} \times 5.023 \text{ TL/ton} = 3089.15 \text{ TL}$$

$$8992.10 \text{ TL} - 3089.15 \text{ TL} = 5902.95 \text{ TL}$$

1 km yol yapımından elde edilen kardanır, RAP malzemesi 15 km den taşınabilir.

20 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 20 + 0.01) \times 1 = 5.88 \text{ TL/ton}$$

$$615 \text{ ton} \times 5.88 \text{ TL/ton} = 3616.2 \text{ TL}$$

$$8992.10 \text{ TL} - 3616.2 \text{ TL} = 5375.90 \text{ TL, km de yol yapımı için elde edilen kardanır,}$$

RAP malzemesi 20 km den taşınabilir.

25 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 25 + 0.01) \times 1 = 6.74 \text{ TL/ton}$$

$$615 \text{ ton} \times 6.74 \text{ TL/ton} = 4145.1 \text{ TL}$$

$$8992.10 \text{ TL} - 4145.1 \text{ TL} = 4847.00 \text{ TL, km de yol yapımı için elde edilen kardanır,}$$

RAP malzemesi 25 km den taşınabilir.

30 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 30 + 0.01) \times 1 = 7.6 \text{ TL/ton}$$

$$615 \text{ ton} \times 7.6 \text{ TL/ton} = 4674 \text{ TL}$$

$$8992.10 \text{ TL} - 4674 \text{ TL} = 4318.10 \text{ TL, km de yol yapımı için elde edilen kardanır, RAP}$$

malzemesi 30 km den taşınabilir.

Ek 2'nin devamı

35 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 35 + 0.01) \times 1 = 8.45 \text{ TL/ton}$$

$$615 \text{ ton} \times 8.45 \text{ TL/ton} = 5196.75 \text{ TL}$$

$$8992.10 \text{ TL} - 5196.75 \text{ TL} = 3795.35 \text{ TL, km de yol yapımı için elde edilen kardan}$$

RAP malzemesi 35 km den taşınabilir.

40 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 40 + 0.01) \times 1 = 9.31 \text{ TL/ton}$$

$$615 \text{ ton} \times 9.31 \text{ TL/ton} = 5725.65 \text{ TL}$$

$$8992.10 \text{ TL} - 5725.65 \text{ TL} = 3266.45 \text{ TL, km de yol yapımı için elde edilen kardan}$$

RAP malzemesi 40 km den taşınabilir.

45 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 45 + 0.01) \times 1 = 10.17 \text{ TL/ton}$$

$$615 \text{ ton} \times 10.17 \text{ TL/ton} = 6254.55 \text{ TL}$$

$$8992.10 \text{ TL} - 6254.55 \text{ TL} = 2737.55 \text{ TL, km de yol yapımı için elde edilen kardan}$$

RAP malzemesi 45 km den taşınabilir.

50 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 50 + 0.01) \times 1 = 11.03 \text{ TL/ton}$$

$$615 \text{ ton} \times 11.03 \text{ TL/ton} = 6783.45 \text{ TL}$$

$$8992.10 \text{ TL} - 6783.45 \text{ TL} = 2208.65 \text{ TL, km de yol yapımı için elde edilen kardan}$$

RAP malzemesi 50 km den taşınabilir.

55 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 55 + 0.01) \times 1 = 11.88 \text{ TL/ton}$$

$$615 \text{ ton} \times 11.88 \text{ TL/ton} = 7306.2 \text{ TL}$$

$$8992.10 \text{ TL} - 7306.2 \text{ TL} = 1685.90 \text{ TL, km de yol yapımı için elde edilen kardan}$$

RAP malzemesi 55 km den taşınabilir.

60 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 60 + 0.01) \times 1 = 12.74 \text{ TL/ton}$$

$$615 \text{ ton} \times 12.74 \text{ TL/ton} = 7835.11 \text{ TL}$$

$$8992.10 \text{ TL} - 7835.11 \text{ TL} = 1156.99 \text{ TL, km de yol yapımı için elde edilen kardan}$$

RAP malzemesi 60 km den taşınabilir.

65 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 65 + 0.01) \times 1 = 13.60 \text{ TL/ton}$$

$$615 \text{ ton} \times 13.60 \text{ TL/ton} = 8364.00 \text{ TL}$$

Ek 2'nin devamı

8992.10 TL – 8364.00 TL = 628.10 TL, km de yol yapımı için elde edilen kardan, RAP malzemesi 65 km den taşınabilir.

70 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 70 + 0.01) \times 1 = 14.46 \text{ TL/ton}$$

$$615 \text{ ton} \times 14.46 \text{ TL/ton} = 8892.90 \text{ TL}$$

8992.10 TL – 8892.90 TL = 99.20 TL, km de yol yapımı için elde edilen kardan, RAP malzemesi 70 km den taşınabilir. Sonuçlara göre %20 binder ve bitümlü temel katkılı RAP için en fazla 70 km de taşımada geri dönüşüm seçilebilir diyebiliriz.

75 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 75 + 0.01) \times 1 = 15.31 \text{ TL/ton}$$

$$615 \text{ ton} \times 15.31 \text{ TL/ton} = 9415.65 \text{ TL}$$

8992.10 TL – 9415.65 TL = -426.55 TL, malzemenin 75 km ve daha fazlası bir mesafeye taşınmasından herhangi bir ekonomik kazanım elde edilemez.

80 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 80 + 0.01) \times 1 = 16.17 \text{ TL/ton}$$

$$615 \text{ ton} \times 16.17 \text{ TL/ton} = 9944.55 \text{ TL}$$

8992.10 TL – 9944.55 TL = -952.45 TL, malzemenin 80 km ve daha fazlası bir mesafeye taşınmasından herhangi bir ekonomik kazanım elde edilemez.

% 30 binder, % 30 bitümlü temel geri dönüşüm malzemesi katkılı karışım için; Rap malzemesinin ekonomik koşullar altında kazı yerinden plentte taşınabileceği maksimum uzaklığın ve bu uzaklıktan elde edilen kazancının belirlenmesi

- Malzemedan elde edilen net kazanç 13,710.94 TL olarak hesaplanmıştır.

10 km uzaklık için;

$$F = 1.25 \times 0.00017 \times K \times \sqrt{M} \times A$$

$$F = 1.25 \times 0.00017 \times 196 \times \sqrt{10000} \times 1 = 4.165 \text{ TL/ton}$$

% 30 binder + % 30 bitümlü temel için kullanılacak Rap miktarı 921 ton

$$921 \text{ ton} \times 4.165 \text{ TL/ton} = 3835.97 \text{ TL}$$

malzemenin 10 km den taşınması için harcanacak bedel

13710.94 TL – 3835.97 TL = 9874.97 TL, km de yol yapımı için elde edilen kardan, RAP malzemesi 10 km den taşınabilir.

15 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 15 + 0.01) \times 1 = 5.023 \text{ TL/ton}$$

$$921 \text{ ton} \times 5.023 \text{ TL/ton} = 4626.18 \text{ TL}$$

13710.94 TL – 4626.18 TL = 9084.76 TL 1 km yol yapımından elde edilen kardan, RAP malzemesi 15 km den taşınabilir.

Ek 2'nin devamı

20 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 20 + 0.01) \times 1 = 5.88 \text{ TL/ton}$$

$$921 \text{ ton} \times 5.88 \text{ TL/ton} = 5415.5 \text{ TL}$$

13710.94 – 5415.5 TL = 8295.44 TL, km de yol yapımı için elde edilen kardır, RAP malzemesi 20 km den taşınabilir.

25 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 25 + 0.01) \times 1 = 6.74 \text{ TL/ton}$$

$$921 \text{ ton} \times 6.74 \text{ TL/ton} = 6207.54 \text{ TL}$$

13710.94 TL – 6207.54 TL = 7503.40 TL, km de yol yapımı için elde edilen kardır, RAP malzemesi 25 km den taşınabilir.

30 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 30 + 0.01) \times 1 = 7.6 \text{ TL/ton}$$

$$921 \text{ ton} \times 7.6 \text{ TL/ton} = 6999.6 \text{ TL}$$

13710.94 TL – 6999.6 TL = 6711.34 TL, km de yol yapımı için elde edilen kardır, RAP malzemesi 30 km den taşınabilir.

35 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 35 + 0.01) \times 1 = 8.45 \text{ TL/ton}$$

$$921 \text{ ton} \times 8.45 \text{ TL/ton} = 7782.45 \text{ TL}$$

13710.94 TL – 7782.45 TL = 5928.49 TL, km de yol yapımı için elde edilen kardır, RAP malzemesi 35 km den taşınabilir.

40 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 40 + 0.01) \times 1 = 9.31 \text{ TL/ton}$$

$$921 \text{ ton} \times 9.31 \text{ TL/ton} = 8574.51 \text{ TL}$$

13710.94 TL – 8574.51 TL = 5136.43 TL, km de yol yapımı için elde edilen kardır, RAP malzemesi 40 km den taşınabilir.

45 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 45 + 0.01) \times 1 = 10.17 \text{ TL/ton}$$

$$921 \text{ ton} \times 10.17 \text{ TL/ton} = 9366.57 \text{ TL}$$

13710.94 TL – 9366.57 TL = 4344.37 TL, km de yol yapımı için elde edilen kardır, RAP malzemesi 45 km den taşınabilir.

50 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 50 + 0.01) \times 1 = 11.03 \text{ TL/ton}$$

$$921 \text{ ton} \times 11.03 \text{ TL/ton} = 10158.63 \text{ TL}$$

Ek 2'nin devamı

13710.94 TL – 10158.63 TL = 3552.31 TL, km de yol yapımı için elde edilen kârdır, RAP malzemesi 50 km den taşınabilir.

55 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 55 + 0.01) \times 1 = 11.88 \text{ TL/ton}$$

$$921 \text{ ton} \times 11.88 \text{ TL/ton} = 10941.48 \text{ TL}$$

13710.94 TL – 10941.48 TL = 2769.46 TL, km de yol yapımı için elde edilen kârdır, RAP malzemesi 55 km den taşınabilir.

60 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 60 + 0.01) \times 1 = 12.74 \text{ TL/ton}$$

$$921 \text{ ton} \times 12.74 \text{ TL/ton} = 11733.54 \text{ TL}$$

13710.94 TL – 11733.54 TL = 1977.40 TL, km de yol yapımı için elde edilen kârdır, RAP malzemesi 60 km den taşınabilir.

65 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 65 + 0.01) \times 1 = 13.60 \text{ TL/ton}$$

$$921 \text{ ton} \times 13.60 \text{ TL/ton} = 12525.60 \text{ TL}$$

13710.94 TL – 12525.60 TL = 1185.34 TL, km de yol yapımı için elde edilen kârdır, RAP malzemesi 65 km den taşınabilir.

70 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 70 + 0.01) \times 1 = 14.46 \text{ TL/ton}$$

$$921 \text{ ton} \times 14.46 \text{ TL/ton} = 13317.66 \text{ TL}$$

13710.94 TL – 13317.66 TL = 393.28 TL, km de yol yapımı için elde edilen kârdır, RAP malzemesi 70 km den taşınabilir. Sonuçlara göre % 30 binder ve bitümlü temel katkı RAP için en fazla 70 km de taşımada geri dönüşüm seçilebilir diyebiliriz.

75 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 75 + 0.01) \times 1 = 15.31 \text{ TL/ton}$$

$$921 \text{ ton} \times 15.31 \text{ TL/ton} = 14100.51 \text{ TL}$$

13710.94 TL – 14100.51 TL = -389.57 TL, malzemenin 75 km ve daha fazlası bir mesafeye taşınmasından herhangi bir ekonomik kazanım elde edilemez.

80 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 80 + 0.01) \times 1 = 16.17 \text{ TL/ton}$$

$$921 \text{ ton} \times 16.17 \text{ TL/ton} = 14892.57 \text{ TL}$$

13710.94 TL – 14892.57 TL = -1181.63 TL, malzemenin 80 km ve daha fazlası bir mesafeye taşınmasından herhangi bir ekonomik kazanım elde edilemez.

Ek 2'nin devamı

% 40 binder, % 40 bitümlü temel geri dönüşüm malzemesi katkılı karışım için; Rap malzemesinin ekonomik koşullar altında kazı yerinden plentte taşınabileceği maximum uzaklığın ve bu uzaklıktan elde edilen kazancının belirlenmesi

- Malzemeden elde edilen net kazanç 17,961.40 TL olarak hesaplanmıştır.

10 km uzaklık için;

$$F = 1.25 \times 0.00017 \times K \times \sqrt{M} \times A$$

$$F = 1.25 \times 0.00017 \times 196 \times \sqrt{10000} \times 1 = 4.165 \text{ TL/ton}$$

%40 binder + %40 bitümlü temel için kullanılacak Rap miktarı 1229 ton

$$1229 \text{ ton} \times 4.165 \text{ TL/ton} = 5118.79 \text{ TL}$$

17961.40 TL – 5118.79 TL = 12842.61 TL, km de yol yapımı için elde edilen kardır, RAP malzemesi 10 km den taşınabilir.

15 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 15 + 0.01) \times 1 = 5.023 \text{ TL/ton}$$

$$1229 \text{ ton} \times 5.023 \text{ TL/ton} = 6173.27 \text{ TL}$$

17961.40 TL – 6173.27 TL = 11788.13 TL, km de yol yapımı için elde edilen kardır, RAP malzemesi 15 km den taşınabilir.

20 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 20 + 0.01) \times 1 = 5.88 \text{ TL/ton}$$

$$1229 \text{ ton} \times 5.88 \text{ TL/ton} = 7226.52 \text{ TL}$$

17961.40 TL – 7226.52 TL = 10734.88 TL, km de yol yapımı için elde edilen kardır, RAP malzemesi 20 km den taşınabilir.

25 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 25 + 0.01) \times 1 = 6.74 \text{ TL/ton}$$

$$1229 \text{ ton} \times 6.74 \text{ TL/ton} = 8283.46 \text{ TL}$$

17961.40 TL – 8283.46 TL = 9677.94 TL, km de yol yapımı için elde edilen kardır, RAP malzemesi 25 km den taşınabilir.

30 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 30 + 0.01) \times 1 = 7.6 \text{ TL/ton}$$

$$1229 \text{ ton} \times 7.6 \text{ TL/ton} = 9340.4 \text{ TL}$$

17961.40 TL – 9340.4 TL = 8621.00 TL, km de yol yapımı için elde edilen kardır, RAP malzemesi 30 km den taşınabilir.

35 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 35 + 0.01) \times 1 = 8.45 \text{ TL/ton}$$

$$1229 \text{ ton} \times 8.45 \text{ TL/ton} = 10385.05 \text{ TL}$$

17961.40 TL – 10385.05 TL = 7576.35 TL, km de yol yapımı için elde edilen kardır, RAP malzemesi 35 km den taşınabilir.

Ek 2'nin devamı

40 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 40 + 0.01) \times 1 = 9.31 \text{ TL/ton}$$

$$1229 \text{ ton} \times 9.31 \text{ TL/ton} = 11441.99 \text{ TL}$$

$$17961.40 \text{ TL} - 11441.99 \text{ TL} = 6519.41 \text{ TL, km de yol yapımı için elde edilen kardır,}$$

RAP malzemesi 40 km den taşınabilir.

45 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 45 + 0.01) \times 1 = 10.17 \text{ TL/ton}$$

$$1229 \text{ ton} \times 10.17 \text{ TL/ton} = 12498.93 \text{ TL}$$

$$17961.40 - 12498.93 \text{ TL} = 5462.47 \text{ TL, km de yol yapımı için elde edilen kardır,}$$

RAP malzemesi 45 km den taşınabilir.

50 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 50 + 0.01) \times 1 = 11.03 \text{ TL/ton}$$

$$1229 \text{ ton} \times 11.03 \text{ TL/ton} = 13555.87 \text{ TL}$$

$$17961.40 \text{ TL} - 13555.87 \text{ TL} = 4405.53 \text{ TL, km de yol yapımı için elde edilen}$$

kardır, RAP malzemesi 50 km den taşınabilir.

55 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 55 + 0.01) \times 1 = 11.88 \text{ TL/ton}$$

$$1229 \text{ ton} \times 11.88 \text{ TL/ton} = 14600.52 \text{ TL}$$

$$17961.40 \text{ TL} - 14600.52 \text{ TL} = 3360.88 \text{ TL, km de yol yapımı için elde edilen}$$

kardır, RAP malzemesi 55 km den taşınabilir.

60 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 60 + 0.01) \times 1 = 12.74 \text{ TL/ton}$$

$$1229 \text{ ton} \times 12.74 \text{ TL/ton} = 15657.46 \text{ TL}$$

$$17961.40 \text{ TL} - 15657.46 \text{ TL} = 2303.94 \text{ TL, km de yol yapımı için elde edilen kardır,}$$

RAP malzemesi 60 km den taşınabilir.

65 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 65 + 0.01) \times 1 = 13.60 \text{ TL/ton}$$

$$1229 \text{ ton} \times 13.60 \text{ TL/ton} = 16714.40 \text{ TL}$$

$$17961.40 \text{ TL} - 16714.40 \text{ TL} = 1247.00 \text{ TL, km de yol yapımı için elde edilen kardır,}$$

RAP malzemesi 65 km den taşınabilir.

70 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 70 + 0.01) \times 1 = 14.46 \text{ TL/ton}$$

$$1229 \text{ ton} \times 14.46 \text{ TL/ton} = 17771.34 \text{ TL}$$

Ek 2'nin devamı

17961.40 TL – 17771.34 TL = 190.06 TL, km de yol yapımı için elde edilen kardan, RAP malzemesi 70 km den taşınabilir. Sonuçlara göre % 40 binder ve bitümlü temel katkılı RAP için en fazla 70 km de taşımada geri dönüşüm seçilebilir diyebiliriz.

75 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 75 + 0.01) \times 1 = 15.31 \text{ TL/ton}$$

$$1229 \text{ ton} \times 15.31 \text{ TL/ton} = 18815.99 \text{ TL}$$

17961.40 TL – 18815.99 TL = -854.59 TL, malzemenin 75 km ve daha fazlası bir mesafeye taşınmasından herhangi bir ekonomik kazanım elde edilemez.

80 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 80 + 0.01) \times 1 = 16.17 \text{ TL/ton}$$

$$1229 \text{ ton} \times 16.17 \text{ TL/ton} = 19872.93 \text{ TL}$$

17961.40 TL – 19872.93 TL = -1911.53 TL, malzemenin 80 km ve daha fazlası bir mesafeye taşınmasından herhangi bir ekonomik kazanım elde edilemez.

% 50 binder, % 50 bitümlü temel geri dönüşüm malzemesi katkılı karışım için; Rap malzemesinin ekonomik koşullar altında kazı yerinden plentte taşınabileceği maximum uzaklığın ve bu uzaklıktan elde edilen kazancının belirlenmesi

- Malzemeden elde edilen net kazanç 22,679.04 TL olarak hesaplanmıştır.

10 km uzaklık için;

$$F = 1.25 \times 0.00017 \times K \times \sqrt{M} \times A$$

$$F = 1.25 \times 0.00017 \times 196 \times \sqrt{10000} \times 1 = 4.165 \text{ TL/ton}$$

% 50 binder + % 50 bitümlü temel için kullanılacak Rap miktarı 1536 ton

$$1536 \text{ ton} \times 4.165 \text{ TL/ton} = 6397.44 \text{ TL}$$

malzemenin 10 km den taşın. için harcanacak bedel

22679.04 TL – 6397.44 TL = 16281.16 TL, km de yol yapımı için elde edilen kardan, RAP malzemesi 10 km den taşınabilir.

15 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 15 + 0.01) \times 1 = 5.023 \text{ TL/ton}$$

$$1536 \text{ ton} \times 5.023 \text{ TL/ton} = 7715.33 \text{ TL}$$

22679.04 TL – 7715.33 TL = 14963.71 TL, km de yol yapımı için elde edilen kardan, RAP malzemesi 15 km den taşınabilir.

20 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 20 + 0.01) \times 1 = 5.88 \text{ TL/ton}$$

$$1536 \text{ ton} \times 5.88 \text{ TL/ton} = 9031.68 \text{ TL}$$

22679.04 TL – 9031.68 TL = 13647.36 TL, km de yol yapımı için elde edilen kardan, RAP malzemesi 20 km den taşınabilir.

Ek 2'nin devamı

25 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 25 + 0.01) \times 1 = 6.74 \text{ TL/ton}$$

$$1536 \text{ ton} \times 6.74 \text{ TL/ton} = 10352.64 \text{ TL}$$

22679.04 TL – 10352.64 TL = 12326.40 TL, km de yol yapımı için elde edilen kardır, RAP malzemesi 25 km den taşınabilir.

30 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 30 + 0.01) \times 1 = 7.6 \text{ TL/ton}$$

$$1536 \text{ ton} \times 7.6 \text{ TL/ton} = 11673.6 \text{ TL}$$

22679.04 TL – 11673.6 TL = 11005.44 TL, km de yol yapımı için elde edilen kardır, RAP malzemesi 30 km den taşınabilir.

35 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 35 + 0.01) \times 1 = 8.45 \text{ TL/ton}$$

$$1536 \text{ ton} \times 8.45 \text{ TL/ton} = 12979.2 \text{ TL}$$

22679.04 TL – 12979.2 TL = 9699.84 TL, km de yol yapımı için elde edilen kardır, RAP malzemesi 35 km den taşınabilir.

40 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 40 + 0.01) \times 1 = 9.31 \text{ TL/ton}$$

$$1536 \text{ ton} \times 9.31 \text{ TL/ton} = 14300.16 \text{ TL}$$

22679.04 TL – 14300.16 TL = 8378.88 TL, km de yol yapımı için elde edilen kardır, RAP malzemesi 40 km den taşınabilir.

45 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 45 + 0.01) \times 1 = 10.17 \text{ TL/ton}$$

$$1536 \text{ ton} \times 10.17 \text{ TL/ton} = 15621.12 \text{ TL}$$

22679.04 TL – 15621.12 TL = 7057.92 TL km de yol yapımı için elde edilen kardır, RAP malzemesi 45 km den taşınabilir.

50 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 50 + 0.01) \times 1 = 11.03 \text{ TL/ton}$$

$$1536 \text{ ton} \times 11.03 \text{ TL/ton} = 16942.08 \text{ TL}$$

22679.04 TL – 16942.08 TL = 5736.96 TL, km de yol yapımı için elde edilen kardır, RAP malzemesi 50 km den taşınabilir.

55 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 55 + 0.01) \times 1 = 11.88 \text{ TL/ton}$$

$$1536 \text{ ton} \times 11.88 \text{ TL/ton} = 18247.68 \text{ TL}$$

Ek 2'nin devamı

22679.04 TL – 18247.68 TL = 4431.36 TL, km de yol yapımı için elde edilen kardan, RAP malzemesi 55 km den taşınabilir.

60 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 60 + 0.01) \times 1 = 12.74 \text{ TL/ton}$$

$$1536 \text{ ton} \times 12.74 \text{ TL/ton} = 19568.64 \text{ TL}$$

22679.04 TL – 19568.64 TL = 3110.40 TL, km de yol yapımı için elde edilen kardan, RAP malzemesi 60 km den taşınabilir.

65 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 65 + 0.01) \times 1 = 13.60 \text{ TL/ton}$$

$$1536 \text{ ton} \times 13.60 \text{ TL/ton} = 20889.60 \text{ TL}$$

22679.04 TL – 20889.60 TL = 1789.44 TL, km de yol yapımı için elde edilen kardan, RAP malzemesi 65 km den taşınabilir.

70 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 70 + 0.01) \times 1 = 14.46 \text{ TL/ton}$$

$$1536 \text{ ton} \times 14.46 \text{ TL/ton} = 22210.56 \text{ TL}$$

22679.04 TL – 22210.56 TL = 468.48 TL, km de yol yapımı için elde edilen kardan, RAP malzemesi 70 km den taşınabilir. Bu sonuçlara göre % 50 binder ve bitümlü temel katkılı RAP için en fazla 70 km de taşımada geri dönüşüm seçilebilir diyebiliriz.

75 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 75 + 0.01) \times 1 = 15.31 \text{ TL/ton}$$

$$1536 \text{ ton} \times 15.31 \text{ TL/ton} = 23516.16 \text{ TL}$$

22679.04 TL – 23516.16 TL = -837.12 TL, malzemenin 75 km ve daha fazlası bir mesafeye taşınmasından herhangi bir ekonomik kazanım elde edilemez.

80 km için;

$$F = 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) \times A$$

$$F = 1.25 \times 196 \times (0.0007 \times 80 + 0.01) \times 1 = 16.17 \text{ TL/ton}$$

$$1536 \text{ ton} \times 16.17 \text{ TL/ton} = 24837.12 \text{ TL}$$

22679.04 TL – 24837.12 TL = -2158.08 TL, malzemenin 80 km ve daha fazlası bir mesafeye taşınmasından herhangi bir ekonomik kazanım elde edilemez.

ÖZGEÇMİŞ

Adalet Selin ARAPOĞLU, 1989 yılında ÇORUM da doğmuştur. İlk ve orta öğrenimini Bahçelievler İlköğretim Okulunda, lise öğrenimini ise Eti Lisesinde tamamlamıştır. 2009 yılında lisans öğrenimine başladığı Ondokuz Mayıs Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden 2013 yılında mezun olmuş aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başlamıştır. 2013-2014 yılında özel sektörde projecilik yapmıştır. 2015 yılından itibaren yapı denetim kuruluşunda çalışmaya başlamıştır.