

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**EKONOMİK ÖMRÜNÜ TAMAMLAMIŞ ASFALT KAPLAMALARIN
KAZINARAK BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIMLARDA YENİDEN
KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Mehmet Salih MAZLUM

**MAYIS 2014
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**EKONOMİK ÖMRÜNÜ TAMAMLAMIŞ ASFALT KAPLAMALARIN
KAZINARAK BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIMLARDA YENİDEN
KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

İnş. Müh. Mehmet Salih MAZLUM

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“ İNŞAAT YÜKSEK MÜHENDİSİ ”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 21.03.2014
Tezin Savunma Tarihi : 07.05.2014**

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Şeref ORUÇ

Trabzon 2014

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında
Mehmet Salih MAZLUM tarafından hazırlanan

**EKONOMİK ÖMRÜNÜ TAMAMLAMIŞ ASFALT KAPLAMALARIN
KAZINARAK BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIMLARDA YENİDEN
KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 01 / 04 / 2014 gün ve 1547 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Gençğa PÜRÇEK
Üye : Doç. Dr. M. Vefa AKPINAR
Üye : Doç. Dr. Şeref ORUÇ

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmam esnasında bana ders aşamasından tezin teslimine kadar her aşamada destek ve yardımcı olan danışman hocam Sayın Doç.Dr. Şeref ORUÇ başta olmak üzere İSFALT A.Ş. Genel Müdür Yardımcısı Dr. İbrahim SÖNMEZ'e teşekkürlerimi bir borç bilir saygılar sunarım.

Tez çalışmam esnasında fikir ve görüş dayanışması içerisinde bulunduğum İsfalt Ar-Ge Şefi Aydın TOPÇU'ya, İsfalt Kalite Şefi Süleyman GİRİT'e, İsfalt Hapibler Asfalt Fabrikası Şefi Hakan AKBULUT'a, İsfalt Kalite Mühendisi Mehmet HOCAOĞLU'na, laboratuvar sorumlusu Yıldırım KIRCI'ya, mesai arkadaşım İnş. Y. Müh. Hakan ERGAN'a ve bu süre zarfında gerçekleşen yardım isteklerimi geri çevirmeyen çalışma arkadaşlarıma çok teşekkür ederim.

Bu günlere gelmemi sağlayan, maddi ve manevi hiçbir desteği esirgemeyen, anne ve babamın ellerinden öper saygılar sunarım. Tez çalışmam sırasında ihmal ettiğim çok değerli eşim Sevda MAZLUM'a, bana göstermiş olduğu anlayıştan dolayı teşekkür ederim. Bu tezimi oğlum Ali Sadi'ye armağan ediyorum.

Mehmet Salih MAZLUM

Trabzon 2014

TEZ BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Ekonomik Ömrünü Tamamlamış Asfalt Kaplamaların Kazınarak Bitümlü Sıcak Karışımlarda Yeniden Kullanılabilirliğinin Araştırılması” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Şeref ORUÇ’un sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri İsfalt Habipler Asfalt Fabrikası laboratuvarında yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.
02/06/2014

Mehmet Salih MAZLUM

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	iii
TEZ BEYANNAMESİ.....	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ÖZET	viii
SUMMARY	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
TABLolar DİZİNİ.....	xii
SEMBOLLER DİZİNİ	xiii
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Asfalt	3
1.3. Asfalt Kaplamada Kullanılan Agregalar	4
1.3.1. Bitümlü Kaplamalar Yönünden Agrega	5
1.3.2. Agregaların Fiziksel Özellikleri	6
1.4. Karayolu Yapısının Tanımı ve Üstyapı Tipleri	7
1.4.1. Karayolu Altyapısı.....	8
1.4.2. Karayolu Üstyapısı	8
1.4.2.1. Rijit Üstyapı.....	9
1.4.2.2. Esnek Üstyapı	9
1.4.3. Üstyapıya Gelen Etkiler.....	9
1.4.3.1. Trafik Etkileri	9
1.4.3.2. İklim ve Çevre Etkileri	10
1.4.4. Üstyapının Zorlanması	11
1.4.4.1. Statik Yük Etkileri	11
1.4.4.2. Yük Tekrarlarının Etkileri	12
1.4.5. Yol Üstyapısında Meydana Gelen Bozulmalar	12
1.4.5.1. Çatlaklar	12
1.4.5.2. Tekerlek İzi.....	16
1.4.5.3. Yerel Oturmalar	17

1.4.5.4.	Ondülasyonlar.....	18
1.4.5.5.	Çukurlar	18
1.4.5.6.	Sökülme ve Soyulma	19
1.5.	Bitümlü Sıcak Karışımlar	19
1.5.1.	Bitümlü Sıcak Karışımının Tanımı	19
1.5.2.	Bitümlü Sıcak Karışımların Sınıflandırılması	20
1.6.	Asfalt Kaplamaların Özellikleri.....	21
1.7.	Bitümlü Sıcak Karışımların Üretimi	23
1.7.1.	Asfalt Plent Tipleri	23
1.7.1.1.	Batch – Mix Tipi Asfalt Plenti	24
1.7.1.2.	Drum-Mix Tipi Asfalt Plenti	25
1.7.2.	Asfalt Plentlerinin Özellikleri.....	26
1.8.	Asfalt Kaplamanın Geri Dönüşümü	27
1.8.1.	Dünyada Geri Dönüşüm	28
1.8.2.	Türkiye’de Geri Dönüşüm.....	29
1.8.3.	İstanbul’da Geri Dönüşüm	30
1.9.	Geri Dönüşüm Yöntemleri ve Stratejileri.....	30
1.9.1.	Soğuk Düzeltme	31
1.9.2.	Sıcak Geri Dönüşüm.....	31
1.9.2.1.	Direkt Elevatörden Besleme Yapılması	32
1.9.2.2.	Malzemenin Kurutucudan (Özel Kurutucu Girişi Bulunan Plentlerde) Geçirilerek Elavatore Verilmesi	32
1.9.2.3.	Malzemenin Direkt Miksere Verilmesi	33
1.9.2.4.	Malzemenin İkinci Kurutucuda Kurutularak Miksere Verilmesi.....	33
1.9.3.	Yerinde Sıcak Geri Dönüşüm.....	35
1.9.4.	Yerinde Soğuk Geri Dönüşüm	36
1.9.5.	Tam Derinlikten Geri Kazanım	37
1.10.	Geri Dönüşümün Faydaları	38
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	39
2.1.	Geri Kazanım Aşamaları	39
2.1.1.	Kaplamanın Kazılması ve Sökülmesi.....	39
2.1.2.	Kazıma Makinesinin Özellikleri.....	40
2.1.3.	Kaplama Boyutunun Düşürülmesi	41

2.1.4.	Depolama.....	42
2.2.	Bitümün Kimyasal Analizi	43
2.3.	Asfaltın Yaşlanma Davranışı.....	44
2.4.	Geri Dönüşüm Asfalt Karışımlara Marshall Deneylerinin Uygulanması	45
2.4.1.	Kazınmış Asfalt Kaplama Karışımına Uygulanan Deneyler.....	46
2.4.2.	Kazınmış Asfalt Kaplamanın Gradasyon ve Bitüm Tayini.....	46
2.4.3.	Plent Altındaki Kamyon Üzerinden Asfalt Karışım Numunelerin Alınması.....	47
2.4.4.	Geri Dönüşüm Kaplama Karışımının Bitüm Miktarının Belirlenmesi	47
2.4.5.	Geri Dönüşüm Kaplama Karışımının Gradasyonunun Belirlenmesi	48
2.4.6.	Briketlerin Hazırlanması	50
2.4.7.	Marshall Stabilite ve Akma Tayini.....	51
3.	BULGULAR VE İRDELEME	53
3.1.	Deney Sonuçlarının Gösterilmesi.....	53
3.1.1.	Katkısız Binder Tabakası Deney Sonuçları.....	53
3.1.2.	%10 RAP Katkılı Deney Sonuçları	55
3.1.3.	%25 RAP Katkılı Deney Sonuçları	58
3.1.4.	%40 RAP Katkılı Deney Sonuçları	62
3.2.	Asfalt Karışımın Finişerle Serilmesi ve Sıkışma Yüzdesi Tespiti	70
3.3.	Maliyet Hesaplamaları.....	74
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	78
5.	KAYNAKLAR.....	81
ÖZGEÇMİŞ		

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

EKONOMİK ÖMRÜNÜ TAMAMLAMIŞ ASFALT KAPLAMALARIN KAZINARAK
BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIMLARDA YENİDEN KULLANILABİLİRLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI

Mehmet Salih MAZLUM

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç.Dr. Şeref ORUÇ
2014, 85 sayfa

Dünyanın birçok yerinde atık kanun ve yönetmeliklerinin devreye girmesiyle birlikte, atık yönetimi kanuni bir zorunluluk haline gelmiştir. Bu amaçla asfaltın yeniden kullanımından kaynaklanabilecek ekonomik avantajlar, mevcut agrega kaynaklarının gün geçtikçe tükenmesi ve yeni agrega kaynak arayışları, artan üretim maliyetleriyle birlikte atık asfalt malzemelerin asfalt kaplamalarda yeniden kullanılabilirdiğinin düşünülmesi, tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de geri kazanım uygulamalarının geliştirilmesini zorunlu hale getirmiştir. Bu kapsamda, ekonomik değeri yüksek olan ömrünü tamamlamış asfalt kaplamaların yollardan kazınarak, bitümlü sıcak karışımlarda yeniden kullanılabilirliğini araştırmak üzere bu çalışmaya girişilmiştir.

Çalışmada öncelikle Dünyada ve Türkiye’de uygulanan Asfalt Geri Dönüşüm Yöntemleri incelenmiş ve geri dönüşümün avantajları değerlendirilmiştir. Çalışma alanı olarak İstanbul bölgesinde bulunan ve ekonomik ömrünü tamamlamış asfalt kaplamalar kazınmak suretiyle çalışmaya esas malzeme elde edilmiştir. Bu malzemelerden değişik katkı oranlarında (%10, %25 ve %40) hazırlanan kaplama karışım numuneleri üretilmiştir. Bu karışım numunelerine Marshall deneyleri uygulanmış, yoğunluk ve boşluk analizleri yapılmış, elde edilen bulgular katkısız numunelerle ve sahadan alınan karot numunelerle karşılaştırılmıştır. Ayrıca, karışım oranlarına göre maliyet analizleri yapılarak her bir oran için maliyetler hesaplanmış ve ekonomik katkıları belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Geri dönüşüm, Asfalt karışım, Marshall, RAP, Yeniden Kullanım

Master Thesis

SUMMARY

RESEARCH OF ASPHALT PAVEMENT THAT COMPLETED ECONOMIC LIFE
AND REUSABILITY OF THAT MATERIAL IN BITUMINOUS HOT MIXTURES BY
SCRAPING

Mehmet Salih MAZLUM

Karadeniz Technical University
Fen Bilimleri Enstitüsü
Civil Engineering Graduate Program
Supervisor: Assoc. Prof. Şeref ORUÇ
2014, 85 pages

In many countries of the world, waste management becomes compulsive with activation of laws and agreements about waste control. By this purpose, it becomes necessary and imperative to use waste asphalt materials as raw material for the new asphalt pavement due to economic advantages of using old materials, decreasing of the raw material's potential, problems of researching new asphalt raw mines and increasing of the asphalt pavement cost. Within this scope, this work has started to research of reused old materials which are completed their economic life on the road in the hot bituminous mixes.

In this work, recycling methods that are used in World and Turkey are analyzed at the beginning and the advantages of recycling are utilized. Istanbul region is chosen as the working area and materials are gained by the roads that completed their economic life in İstanbul. By these materials, new coverable mix materials had produced in different ratios such as %10, %25 and %40. Marshall experiment had used to these mixtures, intensity and void analyses are made and the results that obtained from experiments are compared with the pure materials and the core samplers. Besides, cost analyzes had done according to mix ratios and for each ratio costs are analyzed and economic contributions has specified.

Key Words: Recycled, asphalt mixture, Marshall, RAP, Reuse of Asphalt

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Agrega dane şekilleri.....	6
Şekil 1.2. Agrega danelerinin yüzey yapısı	6
Şekil 1.3. Agrega danelerinin gözeneklik durumu	6
Şekil 1.4. Karayolu enkesiti.....	7
Şekil 1.5. Esnek üstyapıya etkiyen yük	11
Şekil 1.6. Esnek üstyapıda oluşan gerilmeler.....	11
Şekil 1.7. Timsah sırtı çatlak	13
Şekil 1.8. Enine çatlak	13
Şekil 1.9. Boyuna çatlak	14
Şekil 1.10. Kenar çatlağı	15
Şekil 1.11. Blok çatlaklar	15
Şekil 1.12. Tekerlek izi.....	16
Şekil 1.13. Yerel oturmalar	17
Şekil 1.14. Ondülasyon.....	18
Şekil 1.15. Çukur	19
Şekil 1.16. Batch miks tipi asfalt plenti.....	24
Şekil 1.17. Drum miks tipi asfalt plenti.....	26
Şekil 1.18.Sıcak geri dönüşüm aşamaları	32
Şekil 1.19. Batch tipi plentin şematik görünümü	33
Şekil 1.20. Drum tipi plentin silodan besleme şematik görünümü.....	34
Şekil 1.21. Drum tipi plentin dryerden besleme şematik görünümü	34
Şekil 1.22. Yerinde sıcak geri dönüşüm	35
Şekil 1.23. Bagela geri dönüşüm makinesi.....	36
Şekil 1.24. Yerinde soğuk geri dönüşüm katarı.	36
Şekil 2.1. Asfalt kazıma makinesi (freze) ile kaplamanın kazınması.....	40
Şekil 2.2. Konkasör ile dane boyutlarının düşürülmesi.....	41
Şekil 2.3. Konkasörde kırılıp elenen 0-10 mm ve 10-20 mm lik malzemeler.....	42
Şekil 2.4. Kazınmış asfalt depo sahası, İsfalt Habipler,2013	43
Şekil 2.5. Plent altından karışım numunelerinin alınması ve kaplara doldurulması	47
Şekil 2.6. Carbolite cihazıyla karışımın bitüm oranının belirlenmesi	48

Şekil 2.7. Agregaların yıkanması	48
Şekil 2.8. Yıkanan agregaların etüvde kurutulması.....	49
Şekil 2.9. Agregalara elek analizi yapılması	49
Şekil 2.10. Marshall tokmağında briketlerin hazırlanması.....	50
Şekil 2.11. Hazırlanan briketlerin soğumaya bırakılması.....	50
Şekil2.12. Briket numunelerinin kalıptan çıkartılarak laboratuvar ortamında bekletilmesi	51
Şekil 2.13. Briketlerin havada ve suda tartılması	51
Şekil 2.14. Briket numunelerinin su banyosunda koşullandırılması	52
Şekil 2.15. Marshall stabilite cihazı.....	52
Şekil 3.1. Katkısız binder tabakası gradasyon grafiği	54
Şekil 3.2. %10 Geri dönüşümlü binder tabakası deney1 gradasyon grafiği.....	56
Şekil 3.3. %10 geri dönüşümlü binder tabakası deney2 gradasyon grafiği.....	57
Şekil 3.4. %10 Geri dönüşümlü binder tabakası deney3 gradasyon grafiği.....	58
Şekil 3.5. %25 Geri dönüşümlü binder tabakası deney1 gradasyon grafiği.....	59
Şekil 3.6. %25 Geri dönüşümlü binder tabakası deney2 gradasyon grafiği.....	60
Şekil 3.7. %25 Geri dönüşümlü binder tabakası deney3 gradasyon grafiği.....	61
Şekil 3.8. %40 Geri dönüşümlü binder tabakası deney1 gradasyon grafiği.....	63
Şekil 3.9. %40 Geri dönüşümlü binder tabakası deney2 gradasyon grafiği.....	64
Şekil 3.10. % 40 Geri dönüşümlü binder tabakası deney3 gradasyon grafiği.....	65
Şekil 3.11. Stabilite değerlerinin karşılaştırılması.....	67
Şekil 3.12. Akma değerlerinin karşılaştırılması	67
Şekil 3.13. Marshall oranlarının karşılaştırılması.....	68
Şekil 3.14. Agregalar arası boşluk yüzdesinin karşılaştırılması	68
Şekil 3.15. Asfaltla dolu boşluk yüzdelerinin karşılaştırılması	69
Şekil 3.16. Boşluk yüzdelerinin karşılaştırılması	69
Şekil 3.17. Pratik yoğunlukların karşılaştırılması	70
Şekil 3.18. Fabrikada üretilen karışımın yola serilmesi	70
Şekil 3.19. Karot kesimi	71
Şekil 3.20. Karotların sıkışma yüzdelerinin karşılaştırılması.....	72
Şekil 3.21. Karotların ve briketlerin stabilitelerinin karşılaştırılması	73
Şekil 3.22. Karotların ve briketlerin akma değerlerinin karşılaştırılması.....	73
Şekil 3.23. Maliyet hesapları	77

TABLULAR DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1.1. Karayolları teknik şartnamesi.	21
Tablo 1.2. Geri dönüşüm yönteminin belirlenmesi.	38
Tablo 2.1. Bitüm numunelerinin kimyasal kompozisyonu.....	44
Tablo 2.2. Kazınmış asfalt kaplamanın elek analizi.....	46
Tablo 3.1. Katkısız binder tabakası dizayn sonuçları.....	53
Tablo 3.2. Katkısız binder tabakası deney sonuçları.....	54
Tablo 3.3. %10 Geri dönüşümlü binder tabakası dizayn sonuçları.....	55
Tablo 3.4. %10 Geri dönüşümlü binder tabakası deney1 sonuçları.....	55
Tablo 3.5. %10 Geri dönüşümlü binder tabakası deney2 sonuçları.....	56
Tablo 3.6. %10 Geri dönüşümlü binder tabakası deney3 sonuçları.....	57
Tablo 3.7. %25 Geri dönüşümlü binder tabakası karışım dizayn sonuçları.....	58
Tablo 3.8. %25 Geri dönüşümlü binder tabakası deney1 sonuçları.....	59
Tablo 3.9. %25 Geri dönüşümlü binder tabakası deney2 sonuçları.....	60
Tablo 3.10. %25 Geri dönüşümlü binder tabakası deney3 sonuçları.....	61
Tablo 3.11. %40 Geri dönüşümlü binder tabakası karışım dizayn sonuçları.....	62
Tablo 3.12. %40 Geri dönüşümlü binder tabakası deney1 sonuçları.....	62
Tablo 3.13. %40 Geri dönüşümlü binder tabakası deney2 sonuçları.....	63
Tablo 3.14. %40 Geri dönüşümlü binder tabakası deney3 sonuçları.....	64
Tablo 3.15. Yapılan deneysel çalışma sonuçları ve şartname değerlerinin karşılaştırılması	66
Tablo 3.16. Karotların sıkışma yüzdeleri.....	72
Tablo 3.17. Karotların ve briketlerin stabilite ve akma değerlerinin karşılaştırılması.....	72
Tablo 3.18. Normal (katkısız) asfalt kaplama maliyeti.....	74
Tablo 3.19. %10 RAP katkıli asfalt kaplama maliyeti.....	75
Tablo 3.20. %25 RAP katkıli asfalt kaplama maliyeti.....	75
Tablo 3.21. %40 RAP katkıli asfalt kaplama maliyeti.....	76
Tablo 3.22. Maliyetlerin karşılaştırılması.....	76

SEMBOLLER DİZİNİ

BSK	:Bitümlü Sıcak Karışım
Cm	: Santimetre
°C	: santigrat derece
Gr	: Gram
İsfalt	: İstanbul Asfalt Fabrikaları A.Ş.
Kg	: Kilogram
KTŞ	: Karayolları Teknik Şartnamesi
Mm	: Milimetre
TL	: Türk Lirası
TMA	: Taş Mastik Asfalt
VMA	:Agregalar Arası Boşluk Yüzdesi

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Bozulmuş veya eski asfalt kaplamaların yol yüzeyinden kazınarak yeni yapılacak bitümlü sıcak karışımlarda (BSK) yeniden kullanılmasına geri dönüşüm (recycling) adı verilmektedir. Kazınarak geri kazanılan malzemenin yeni yapılacak BSK üretiminde kullanılması, kaynaklarımızın hem teknik hem de ekonomik anlamda daha verimli kullanılması açısından son derece önemlidir. Her geçen gün daha da genişleyen ülkemiz karayolu ağı, gelecek dönemlerde üstyapı iyileştirme faaliyetlerinin yoğun bir şekilde gündeme geleceğine işaret etmektedir. Kazınmış eski BSK tabakalarının içerisinde bulunan ekonomik değeri yüksek bitüm ve agreganın yeniden yol yapımında kullanılması maliyetleri oldukça azaltacağı gibi çevrenin korunmasına da büyük oranda katkı sağlayacaktır.[1]

Karayolları geri dönüşüm için elverişli ve oldukça yüksek ekonomik getiriler sağlayan bir sektördür ve dünyada karayolları alanında geri dönüşüm yönündeki çalışmalar uzun yıllardan beri devam etmektedir.[2]

Dünyada her yıl yaklaşık 1,5 milyar ton asfalt karışım üretimi için 1,425 milyar ton agrega ve 75 milyon ton bitüm tüketilmektedir. Diğer taraftan asfalt kaplamalı yolların yenilenmesi sırasında sökülen asfalt yığınları da doğaya terk edilmektedir. Sökülmüş asfalt kaplamaların geri kazanılarak ekonomik değere dönüştürülmesi mümkündür.[3]

Gelişmiş ülkelerde hem ekonomik hem de çevresel nedenlerden yeni üretilen asfalt karışıma katılan kazılmış asfalt kaplama, ülkemizde ya atılmakta ya da ekonomik değerinin çok altında değerlendirilerek asfalt kaplamaya dönüştürülmeden köy yollarında stabilize malzeme olarak kullanılmaktadır. [4]

Modernleşmeyle birlikte ortaya çıkan fazla miktardaki atıkların çoğu biyoçözünür olmadığından çevre kirliliğine ve atık krizine neden olmaktadır. Geleneksel olarak toprak, agregalar, kum, bitüm ve çimento benzeri malzemeler yol yapımında kullanılmaktadır. Ancak dünyada doğal agregalar gün geçtikçe azalmakta ve bu malzemelerin topraktan çıkarılması giderek daha pahalı olmaktadır. [5]

Atık malzeme ve yan ürünlerin değerlendirilmesi kısıtlı miktarlardaki doğal hammaddelerin kullanımını azaltarak doğanın tahrip edilmesini önlerken, aynı zamanda

malzemelerin atılmak üzere depolanması durumunda çevrede meydana gelebilecek problemleri en aza indirmektedir. Fazla miktarlarda depolama alanlarında biriken atık malzeme, tarım alanları su kaynakları ve doğal çevreye önemli zararlar vermektedir.[5]

Endüstriyel gelişmeye paralel olarak artan üretim ve bunun sonucu ortaya çıkan çok farklı endüstriyel katı atıkların denetlenmesi, yönetimi ve bunlardan ekonomik değeri olan ürünlerin üretilmesi, tüm dünyada üzerinde önemle durulan ve yoğun çalışılan alanlardan birisidir. Artan çevre bilinci ve çevre yönetmeliklerindeki yeni gelişmeler, sanayi kuruluşlarını ve yerel yönetimleri yeni uygulamalara ve araştırmaya zorlamaktadır. Bunlardan en öne çıkanı, özellikle miktar olarak çok fazla üretilen belirli endüstriyel katı atıkların değerlendirilmesi ve ekonomiye kazandırılmasıdır.

Entegre kirliliğin önlenmesi ve kontrolü direktifi, AB uyum çerçevesinde, Türkiye çevre mevzuatını da bu direktife uygunluk sağlamaya, asfalt üretim tesislerini de çevresel etkilerini ve atıklarını azaltmaya, atık geri kazanım teknolojilerine sahip olmaya zorlamaktadır.[6]

Direktifin çevre yönetim sistemlerini kurmuş, eko-verimlilik ve kaynak verimliliği kavramlarını uygulamaya çalışan şirketler için fazla bir yük getirmeyeceğini söylemek mümkündür. Bununla birlikte çevre yönetimi konusunda yeterli düzeyde olmayan şirketlerin bu yönetmelik gereklerine uymakta zorlanmaları, hatta faaliyetlerine son vermeleri söz konusu olabilecektir.[7]

Avrupa ve Amerika'da asfalt kaplamanın geri dönüştürülmesi, üzerinde yaygın olarak çalışılan konulardan birisidir. Amerika'da bölgesel karayolu yetkililerinin raporlarına göre asfalt bazı bölgelerde %80 oranında geri dönüştürülmüştür. Geri dönüştürülmüş asfalt, sıcak karışım asfalt üretiminde kullanılacak en değerli malzemelerden biri olup, kullanım öncesi ülkelerin yasa ve yönetmeliklerine göre testlerden geçirilmelidir. Bu test sonuçları; sıcak asfalt karışımına konulabilecek geri dönüştürülmüş malzeme miktarını belirlemektedir. [8]

Bu çalışmada ekonomik değeri çok yüksek olan atık asfalt kaplamaların, yeni karışımlarda kullanılabilirliği araştırılıp ve bu karışımlara maliyet analizi yapılarak ülke ekonomisine olan katkılarını belirlemek amaçlanmıştır.

1.2. Asfalt

Asfalt, güçlü bir bağlayıcı, yapışkan, su geçirmez ve dayanıklı malzeme olmasından dolayı mühendislerin özel olarak ilgisini çekmektedir. Asfalt, genellikle bir araya getirildiği mineral agrega karışımlarına kontrol edilebilir bir esneklik sağlayan plastik bir maddedir. Bunun ötesinde, asfalt birçok asit, alkali ve tuzların etkimelerine karşı da yüksek derecede dirençli özelliktedir. Normal atmosferik sıcaklıklarda katı ya da yarı-katı olmasına rağmen, ısı etkisi, petrol çözücülerinin içinde çözülme yoluyla ya da emülsiyon haline getirilerek sıvılaştırılabilir. [9]

Modern asfalt petrolün doğal bir bileşenidir. Ham petrolerin büyük kısmı asfalt içermekle birlikte, bazı durumlarda ham petrol hemen hemen tamamıyla asfalttan oluşmaktadır. Bununla birlikte, asfalt içermeyen ham petroler de söz konusudur. Asfalt içeriklerine göre, ham petroler genel olarak aşağıdaki gibi sınıflandırılırlar:

- Asfalt esaslı ham petroler
- Parafin esaslı ham petroler (parafin içeren, asfalt içermeyen)
- Karışık esaslı ham petroler (hem parafin hem de asfalt içeren)

Asfaltın, ham petrolün kalıntısı veya ağır bileşeni olması nedeniyle, ham petrol damıtıldığında buharlaşmamakta veya kaynamamaktadır. Buna bağlı olarak, asfalt bir kalıntı veya geriye kalan bileşen olarak elde edilmekte olup, çok çeşitli mühendislik ve mimari kullanımlarda değerli ve temel bir malzeme özelliğini taşımaktadır.

Asfalt aynı zamanda, karbon disülfür (CS_2) içinde çözünen bir hidrokarbon malzeme olan bitümden oluşmasından dolayı, bir bitümlü malzeme özelliğindedir. Taş kömürünün distilasyonundan elde edilen katran da aynı zamanda bitüm içermektedir. Sonuç olarak, hem petrol asfaltı hem de kömür katranı “bitümlü malzemeler” olarak tanımlanmaktadır. Ancak, petrol asfaltı ile kömür katranı birbirlerinden çok farklı özelliklere sahip olmalarından dolayı karıştırılmamalıdır. Petrol asfaltı hemen hemen tamamıyla bitümden oluşmakta iken, kömür katranındaki bitüm oranı daha azdır. Bu farklılıklar ışığında, kömür katranı ile petrol asfaltının farklı malzemeler olarak ele alınması ve uygulama görmesi zorunludur. [5]

Yol kaplamalarında kullanılan petrol asfaltı, çatı yalıtım ve endüstriyel uygulamalar gibi kaplama dışı işlemlerden ayırt edilmesi amacıyla genellikle “kaplama asfaltı” veya “asfalt çimentosu” olarak adlandırılmaktadır.

Normal atmosferik sıcaklıklarda (ortam sıcaklığı) kaplama asfaltı; siyah, yapışkan, yarı katı, yüksek derecede viskoz bir malzeme olup, esas itibariyle karmaşık hidrokarbon moleküllerinden oluşmakla birlikte, aynı zamanda oksijen, nitrojen ve sülfür gibi diğer atomları da içermektedir. Kaplama asfaltının yapışkan olması nedeniyle, agrega daneleri sıkı şekilde bağlanmakta ve dolayısıyla bağlayıcı olarak kullanılabilen veya bu daneleri asfalt betonuna bağlayabilmektedir. Kaplama asfaltı su geçirmez özellikte olup, çoğu asit alkali ve tuzların aktivitelerinden etkilenmemektedir. Isıtıldığında yumuşaması, soğutulduğunda ise sertleşmesinden dolayı termoplastik malzeme olarak tanımlanmaktadır. Belirtilen çok çeşitli özelliklerin bu eşsiz kombinasyonu, asfaltın neden çok önemli bir yol kaplama malzemesi olduğunun cevabını vermektedir. [5]

1.3. Asfalt Kaplamada Kullanılan Agregalar

Agregalar esnek kaplamalarda kullanılan en önemli kaplama malzemesidir. Agreganın mekanik özellikleri ile maliyetleri, esnek kaplama yapımındaki önem ve payı en fazla olan malzemedir. Agregaların özellikleri, üretimi, uygulaması gibi hususlar göz önünde tutularak kaplama tasarımı ve uygulaması yapılmak zorundadır. Agregaların ve agrega bağlayıcı karışımlarının özellikleri kaplamanın ömrü, stabilite ve mukavemeti, performansı, vb. hususlar üzerindeki en önemli rolü üstlenmektedir. Agregadan beklenen görevleri yerine getirebilmesi için uygun özelliklere sahip agreganın seçimi en gerekli husus olacaktır. Agreganın üretimi sırasındaki gerekli kalite kontrol işlemleri titizlikle yapılarak hizmet ömrü boyunca stabil, ekonomik, emniyetli ve konforlu kaplamalar elde edilmelidir. Ayrıca yapım sırasında segregasyon olmaması, kolaylıkla yerleştirilmesi ve sıkıştırılması, bağlayıcı ile karıştırılması, vb. hususlar içinde uygun ve yeterli özelliklere sahip olması gereklidir. Kaplamanın yapısal ve fonksiyonel gereksinimlerini yerine getirebilmesi için agreganın; yeterli içsel sürtünme direnci ve stabilitesi ile yükleri zemine yayabilmesi ve aşırı defleksiyon göstermemesi, iklimsel ve kimyasal etkilerin aşındırmasına karşı dirençli olması, statik ve dinamik yükler altında kırılmalara karşı dirençli olması, iç gerilmelere (genleşme büzülme, ıslanma kuruma, donma çözülme vb.) karşı dirençli olması, bağlayıcı ile güçlü adezyon yapması gerekir. Yüzey tabakalarında kullanıldığında ise kayma direnci, pürüzlülük ve sürtünme direnci, ışık yansıtması, teker yansıtması, gürültü, görünüm ve elektrostatik özellik olan yüzey karakteristiklerini sağlaması gerekli ve şarttır.[10]

Yol üstyapısının ağırlıkça ve hacimce önemli bir kısmını oluşturan agrega, yola etkiyen yüklerin oluşturduğu gerilmelerin karşılanmasında önemli bir rol oynamaktadır.

1.3.1. Bitümlü Kaplamalar Yönünden Agrega

Bitümlü kaplamalarda kullanılacak agreganın, kökeni (magmatik, tortul, metamorfik) ne olursa olsun, her kaplama tipi için şartnamelerde verilen fiziksel özellikleri sağlaması gerekir. Şartnamede aranan bütün koşulları sağlayan bir agrega, karayolu üstyapısında kullanılabilir. Agregalar boyutlarına göre üç grupta incelenir:

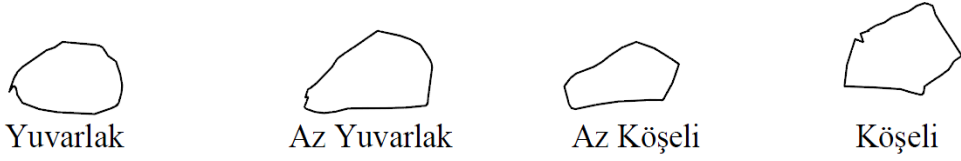
- a) Kaba agrega 4# (4,76 mm) elek üzerinde kalan
- b) İnce agrega 4# (4,76)- 200# (0,074 mm) arası
- c) Mineral filler 200# (0,074 mm) den geçen

Bu üç grup malzemenin her biri bitümlü karışımın ayrı ayrı özelliklerini kontrol eder. Bitümlü karışımdaki iri agrega yüzdesi %40- 50'ye çıkarılırsa, iki agrega karışımın mekanik direncini artıran bir iskelet oluşturur; böylece karışımın direncinde önemli bir artış hissedilir. İnce agregaysa, iri agreganın oluşturduğu iskeletin boşluklarını doldurarak, daha yoğun bir karışımın elde edilmesini sağlar. Bu arada ince agreganın yüzey dokusu da önemlidir. Örneğin; pürüzsüz bir çakıl kumu daha düşük bir deformasyon direnci sağlar, mineral filler toplam agreganın çok küçük yüzdesini oluşturmasına karşın, karışımın özelliklerinin düzenlenmesinde rol oynar. Mineral filler, 0,074 mm'lik elekten geçen agrega malzemesidir. Ancak 0,074 mm'den daha ince olan bütün malzemeler filler görevini görmezler. Mineral filler düzgün bir granülometrik bileşime sahip olmalıdır. Tanelerin şekli de önemlidir, yassı düz ve uzun tanelerin yüzdesinin artması fillerin özelliğini düşürür. Filler bitümlü malzemeyle reaksiyona girmemelidir. Mineral filler taş tozu, mermer tozu, portland çimentosu sönmüş kireç ya da benzeri maddelerden oluşmalı, buna karşılık kil, toprak, organik ve zararlı madde kapsamamalıdır.[11]

Bitümlü kaplamalarda kullanılacak agregaların seçiminde, malzemenin üretilebilirliği, maliyeti ve kalitesi dikkate alınır. Agreganın uygun olup, olmadığı fiziksel özellikleri dikkate alınarak belirlenir.

1.3.2. Agregaların Fiziksel Özellikleri

- **Maksimum Dane Boyutu ve Gradasyonu:** Maksimum dane boyutu ve gradasyonu kullanılacağı tabakaya göre belirlenir.
- **Temiz Olup Olmaması:** Agregalar bitki atıkları, yumuşak malzemeler, kil toprakları ve yabancı madde içermemelidir.
- **Dane Şekli:** Agreganın dane şekli, işlenebilirliği, sıkışabilirliği ve stabiliteyi etkiler Köşeli, kırılmış danelerin kullanımı tercih edilir.



Şekil 1.1. Agregada dane şekilleri

- **Danelerin Yüzey Yapısı:** Bitümlü karışımlarda yük taşıma kapasitesini etkilerler. Çok pürüzlü yüzeylere sahip agregalar kayma gerilmelerine karşı yüksek direnç gösterirler.



Şekil 1.2. Agregada danelerinin yüzey yapısı

- **Gözeneklilik:** Karışımda, absorpsiyonu ve bitüm yüzdesini etkiler. Karışım agregalarında, agrega-bitüm adezyonunu sağlamak için bir miktar gözeneklilik gerekir.



Şekil 1.3. Agregada danelerinin gözeneklilik durumu

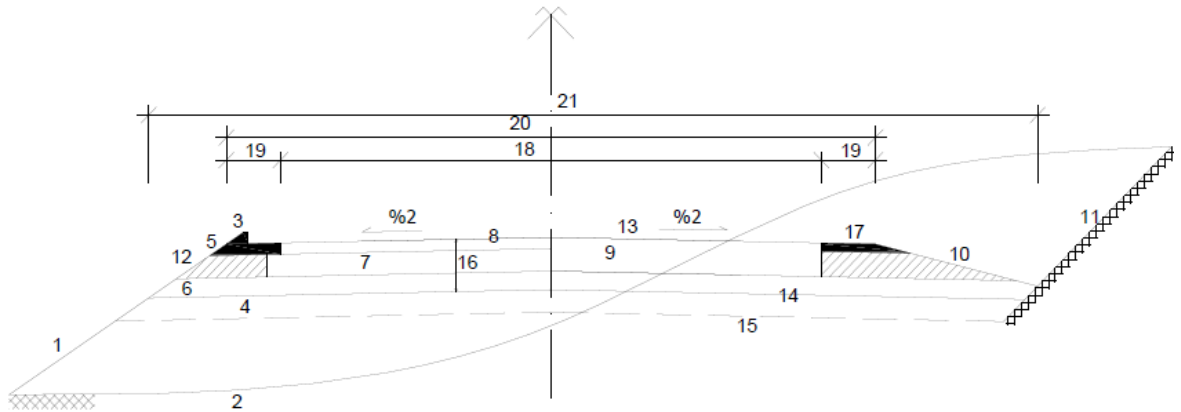
- **Sağlamlık:** Bitümlü kaplamada kullanılacak agregaları, kırılmaya, degradasyona (ince malzemeye dönüşme) su ve don etkisiyle ayrışmaya karşı dayanıklı olmalıdır.

- **Bitümle Kaplanabilme (Soyulmaya Karşı Dayanım):** Bitümlü kaplamalarda kullanılan agregalar bitüm ile kaplandıklarında, su etkisi ile soyulma (asfaltın agrega yüzeyinden ayrılması) göstermemelidir. Soyulma dayanımı düşük agregalar bitüme özel katkı maddeleri ilave edilerek kullanılabilir.[12]

1.4. Karayolu Yapısının Tanımı ve Üstyapı Tipleri

Karayolu yapısı; önceden belirlenen geometrik standartlara uygun olarak saptanmış olan bir güzergah boyunca, doğal zeminin istenilen yükseltilere getirilebilmesi ve üzerinde motorlu taşıtların istenilen hız, güvenlik ve konfor koşullarında hareketlerinin sağlanabilmesi amacıyla inşa edilen yapıların tümü olarak tanımlanabilir.[13]

Karayolu yapısı; görevi, yapım sırası ve özellikleri açısından alt ve üst yapı olarak iki ayrı bölümde incelenebilir.



1-Dolgu Şevi	8-Kaplama Tabakası	15-Taban Zemini
2-Taban Zemini	9-Beton Plak	16-Üst Yapı
3-Dolgu Seti	10-Hendek Plak	17-Banket Eğimi
4-Seçme Malzemedan Oluşan Tabaka	11-Yarma Şevi Eğimi	18-Trafik Eğimi
5-Banket Kaplaması	12-Banket Temel Tabakası	19-Banket Genişliği
6-Alt Temel Tabakası	13-Yol Enine Eğimi	20-Yol Genişliği
7-Temel Tabakası	14-Tesviye Yüzeyi	21-Üst Yapı Genişliği

Şekil 1.4. Karayolu enkesiti. [13]

1.4.1. Karayolu Altyapısı

Yapımı tamamlanmış bir karayolunda, tesviye sathıyla doğal zemin çizgisi arasındaki bölgeye altyapı adı verilir. Altyapı, yolun dolgu kesimlerinde, dışarıdan getirilen toprakla oluşturulmuş bir toprak gövde, yarma kesimlerindeyse doğal zemindir. Ancak yarma kesimlerinde, tesviye yüzeyini oluşturmak amacıyla yapılan dolgu çalışmaları, köprü, viyadük, tünel, menfez istinat duvarı gibi sanat yapıları da altyapı olarak kabul edilir.[8]

Altyapının görevleri; istenilen kotta düzgün bir yüzey sağlamak, üstyapı tarafından iletilen yükleri daha geniş bir alana yaymak ve az da olsa yolu dış etkilerden korumaktır. Bu görevleri yerine getirebilmesi için; trafik yükleri, don ve su etkilerine karşı dayanıklı olması gerekir. Altyapı oluşturulurken bitkisel toprak, çürük zemin ve sıkıştırmaya elverişli olmayan zeminlerin çok iyi incelenmesi gerekmektedir.[13]

1.4.2. Karayolu Üstyapısı

Trafik yüklerini altyapının taşıyabileceği değere indirmek, altyapıyı korumak ve düzgün bir yuvarlanma sağlamak amacıyla altyapı üzerine yerleştirilen alt temel, temel ve kaplamadan oluşan tabakalı yol yapısıdır. Kaplama; taşıtlara uygun bir yuvarlanma yüzeyi sağlamak, trafiğin aşındırma etkilerine karşı koymak ve yapıya sızan yüzeysel su miktarını ve temel tabakasına iletilen kayma gerilmelerini azaltmak amacıyla temel tabakası üzerine inşa edilen bir tabakadır. Kaplama altındaki temel tabakası, bağlayıcısız ya da bir bağlayıcı maddeyle işlem görmüş olan belirli granülometrideki malzemeden oluşur. Ana görevi, üstyapının yük taşıma kabiliyetini arttırmaktır. Ayrıca; trafik hareketlerinden doğan yüksek kayma gerilmelerine karşı koyabilecek, drenaja yardımcı olabilecek ve don olaylarına karşı da koruma sağlayabilecek özelliklere sahip olmalıdır. Alt temel ise, trafik yüklerinin taban üzerine yayılmasını sağlamak, ince taneli altyapıların temel tabakasına nüfuz etmelerini önlemek, ayrıca su ve don tesirlerine karşı direnç sağlayarak tampon bölge görevi yapmak için tesviye yüzeyi üzerine serilen tabakadır.[5]

Üstyapılar; kaplama tabakasında kullanılan malzemelerin türlerine, özelliklerine ve yapım yöntemlerine göre rijit ve esnek olarak iki ana sınıfa ayrılmaktadırlar. Taban zeminine, trafiğe, çevre koşullarına ve ekonomik hususlara bağlı olarak en uygun üstyapı tipi seçilir.[5]

1.4.2.1. Rijit Üstyapı

Çimento betonuyla yapılan kaplamalarla oluşturulan üstyapıya “Rijit üstyapı” ya da “Beton Yollar” denir. Yol kaplaması olarak betonun görevi, trafik yüklerini tabana iletmek ve bu sırada tabanın deforme olmamasını sağlamaktır. Bir beton kaplamanın davranışı, dökülen beton tabakaların özelliklerinin yanı sıra, kaplama altına serilen temel ve alt temel tabakalarıyla var olan taban zemininin özelliklerine bağlı olarak değişir.

Bu nedenle projelendirme sırasında; taban zemini, temel ve alt temel malzemeleri, betonu oluşturan kum, çakıl, kırmataş, çimento ve betonarme demiri gibi malzemelerin özelliklerinin çok iyi incelenmesi gerekmektedir. Beton yollar, enine ve boyuna derzlerle birbirinden ayrılmış 20- 25 m² alana sahip plaklar halindedir. Beton plağın rijitliğinin yüksek olması nedeniyle, taban zemininde oluşan gerilmeler geniş bir alana yayılır.[5]

1.4.2.2. Esnek Üstyapı

Bitümlü kaplama tabakalarıyla oluşturulan üstyapılara denir. Esnek üstyapı; tesviye sathıyla sıkı bir temas sağlayan ve trafik yüklerini, kaplama, temel ve alt temel tabakaları yoluyla taban zeminine dağıtan bir üstyapı şeklindedir. Stabilitesi, adezyon, tane sürtünmesi ve kohezyon gibi kullanılan agrega ve bitümlü bağlayıcının özelliklerine bağlıdır.[5]

Yukarıda tanımlanan rijit ve esnek üstyapıların birbirine göre çeşitli teknik üstünlükleri ve sakıncası vardır. Ekonomik yönden karşılaştırıldıkları zaman ortaya farklı sonuçlar çıkmaktadır. T.C. Karayollarında esnek üstyapı tipi uygulanmaktadır.

1.4.3. Üstyapıya Gelen Etkiler

1.4.3.1. Trafik Etkileri

Karayolu üzerinde seyreden taşıtların ağırlıkları, dingil sayılarına göre değişen büyüklüklerde, tekerlek bandajları aracılığıyla kaplama sathına iletmektedir. Taşıtların hızlanma ve frenleme evrelerinde, bandajla kaplama arasındaki sürtünmeye bağlı olarak oluşan yatay yükler de üstyapıya etkimektedir. Dingil yükleri, üstyapının kalınlığının saptanmasında göz önüne alınan en önemli hususlardan biridir. Dingil yükleri arttıkça,

üstyapının kalınlığını artırmak ve daha kaliteli malzeme kullanmak gerekmektedir. Yasal dingil yükleri Karayolları Trafik Yasa, Tüzük ve Yönetmelikleri ile belirlenmektedir. En son olarak 01 Ağustos 1997 tarihinde yürürlüğe giren Karayolları Trafik Yönetmeliği ile yasal dingil yükleri tek dingilde 11.5 tondur.[11]

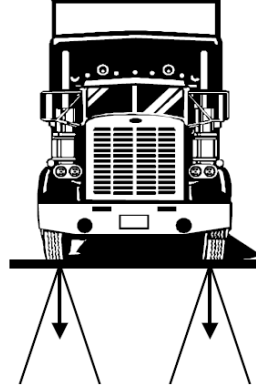
Tekerlek bandajından üstyapıya etki eden yatay ve düşey yükler, üstyapı tabakalarında basınç, çekme, eğilme ve kayma gerilmeleri doğurmaktadır. Gerilmelerin şiddeti dingil yükü, lastik iç basıncı (ya da temas basıncı) taşıtın hızı ve bandajın üzerindeki yiv ve setlerin biçimlerine bağlı olarak değişir. Bir lastik tekerlekli bandaj, kendisine gelen tekil yükün şiddetine bağlı olarak, asfalt kaplama üzerinde bir değme alanı oluşturur. Bandaja etkileyen tekil yükün değeri ne olursa olsun, bandaj değme alanının bir daire ve bu daire üzerindeki gerilme dağılışının da homojen olduğu kabul edilir. [11]

1.4.3.2. İklim ve Çevre Etkileri

Sıcaklığın düşmesi halinde bitümlü kaplama tabakası büzülmek ister. Temel tabakası, kaplamayla arasındaki sürtünmeye bağlı olarak bu hareketi önlemek ister ve bunun sonucunda kaplama tabakasında çekme gerilmeleri oluşur. Esnek üstyapıda; asfaltın hacimsel genleşme katsayısının, mineral agreganın katsayısından büyük olması da, sıcaklık düşmesiyle, agrega taneleri arasındaki asfalt filminde çekme gerilmelerinin doğmasına neden olur. Sıcaklık düşüşü, zemini ve zemin suyunu etkilediğinde, zemin boşluklarındaki suyun donuncaya kadar soğumasıyla önce buz kristalleri, daha sonra buz mercekle ve sonuçta ise don kabarması olayını oluşturabilir. Dona karşı duyarlı taban zemini ve temel tabakalarında oluşan buz mercekleyle, kaplamanın yukarı doğru yükselmesi sonucu oluşan don kabarması olayı da, bitümlü kaplama tabakasından çekme gerilemelerinin doğmasına yol açmaktadır. Kimi durumlarda; don kabarması nedeniyle bitümlü kaplama tabakasından oluşan çekme gerilmeleri, kaplamanın mukavemetini aşarak, çatlakların ortaya çıkmasına neden olabilirler. Bu nedenle; üstyapının oturduğu taban zemininin, dona karşı duyarlılığı, yolun inşa edileceği bölgenin; donma indeksi, don penetrasyon derinliği ve hidrolik koşullar gibi hususlar değerlendirilerek üstyapıda dona karşı önlemin gerekli olup olmadığı araştırılmalıdır. [11]

1.4.4. Üstyapının Zorlanması

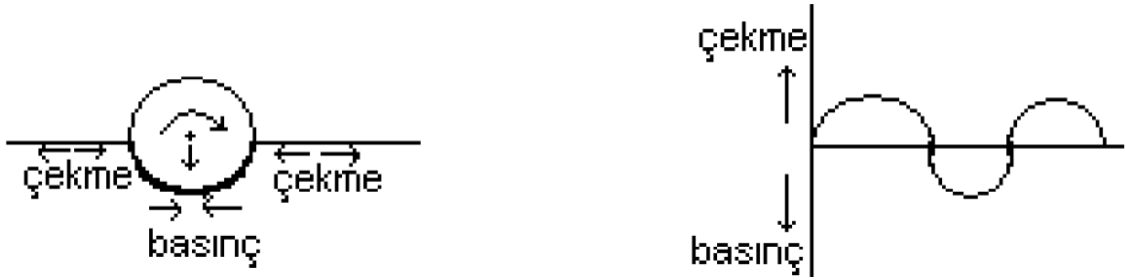
1.4.4.1. Statik Yük Etkileri



Şekil 1.5. Esnek üstyapıya etkiyen yük.[13]

Şekil 1.5'te görüleceği üzere taşıt yükü taban zeminine doğru yayılmakta ve derinliğe bağlı olarak etkisi azalmaktadır.

Esnek üstyapılarda trafik etkisinde yük ekseninde oluşan gerilmeler Şekil 1.6'da verilmiştir.



Şekil 1.6. Esnek üstyapıda oluşan gerilmeler.[13]

Bir üstyapının bozulması, ya kaplama tabakasıyla temel tabakasının arakesitindeki aşırı çekme (yorulma çatlakları) ya da temel tabakasındaki aşırı basınç (tekerlek izi) gerilmelerinin etkisiyle oluşur. Üstyapı tabakalarının boyutlandırılmasında, bu gerilme değerlerinin kritik gerilme değerlerinin altında olmasına dikkat edilmelidir. Çekme gerilmeleri aşırıysa, kaplamayla temel tabakaları ara kesitinde çatlaklar oluşur ve bu çatlaklar yol üst sathına doğru yayılır. Gerilmelerinin çok yüksek olması durumunda, çatlaklar yol üst sathına doğru yayılır. Gerilmelerinin çok yüksek olması durumunda,

temel tabakasındaki farklı oturmalar sonucu kaplama tabakasinda büyük çekme gerilmeleri oluşur.

Karayolu üstyapısında seyreden taşıtların hızlanma ve frenleme aşamalarında, bandajla kaplama arasındaki sürtünme nedeniyle oluşacak yatay gerilmeler ise; düşey gerilmelerin aksine, sıcak havalarda kaplama tarafından büyük ölçüde sönmelenirken, soğuk havalarda rijit davranan kaplama tarafından alt tabakalara iletilirler. Düşey ve yatay gerilme değerleri arasındaki ayrımsa kayma gerilmelerini etkilemektedir.[5]

1.4.4.2. Yük Tekrarlarının Etkileri

Üstyapıya etki eden yüklerin tekrarlanması sonucu oluşan deformasyonlar, sürekli olarak artmaktadır. Yük tekrarlarının asfalt kaplama tabakaları üzerindeki etkileri 1950 yılından sonra çeşitli ülkelerde incelenmeye başlanmıştır. 1960'dan sonra başlayan yoğun çalışmalarda ise konuya malzemenin yorulma mukavemeti ve hizmet ömrü açısından yaklaşılmaya başlanmış, laboratuvarda hazırlanan asfalt karışım numuneler, yol koşullarına benzer biçimde gerilme ve deformasyonlar uygulanarak incelenmiştir.[5]

1.4.5. Yol Üstyapısında Meydana Gelen Bozulmalar

Çok iyi yapılan bir yol dahi çevre koşulları nedeniyle belirli bir süre içerisinde bozulmaya başlar. Bir yolun servis ömrünü uzatmanın ya da ekonomik ömrü içerisinde ondan en iyi şekilde yararlanmanın yolu gerekli kontrolleri ve bakımları zamanında gerçekleştirmektir. Kaplama yaşını göz önünde bulundurmadan uygun ve doğru bir bakım, etkin çalışan bir drenaj sistemi yolun ömrünü uzatmada önemli bir rol oynar. [14]

Yol üstyapılarında meydana gelen bozulma türleri aşağıda verilmiştir.

1.4.5.1. Çatlaklar

1) Timsah Sırtı Çatlaklar

Timsah sırtı çatlakların oluşum nedenleri;

- Taban zemini, alt temel ve/veya temel tabakalarının yetersiz sıkışması ve/veya yetersiz drenajı nedeni ile taşıma gücünün azalması,
- Kaplamanın aşırı trafik yükleri altında yorulması,
- Uygun olmayan malzeme kullanımı ve kötü yapım teknikleri,
- Çevre ve iklim şartlarında donma etkisi ve nem değişiklikleridir.[14]



Şekil 1.7. Timsah sırtı çatlak

2) Enine Çatlaklar

Enine çatlakların oluşum nedenleri;

- Asfalt kaplamada çok düşük sıcaklıklarda meydana gelen büzülme,
- Tabanda don etkisi ve su içeriği değişikliği,
- Alt tabakalarda daha önce oluşan çatlakların yüzeye yansımalarıdır.[14]



Şekil 1.8. Enine çatlak

3) Boyuna Çatlaklar

Boyuna çatlakların oluşum nedenleri;

- Dolgularda yetersiz sıkışma ve yetersiz drenaj nedeniyle oturma,
- Dolgunun yanal hareketi,
- Çevre ve iklim şartları (don etkisi ve nem değişiklikleri),
- Boyuna ek yerlerinin uygun inşa edilmemesi,
- Üstyapının taşıma gücünün yetersiz oluşu ve bunun trafik yükü ile birleşmesi sonucu oluşan oturmalar.[14]



Şekil 1.9. Boyuna çatlak

4) Kenar Çatlakları

Kenar çatlaklarının oluşum nedenleri,

- Donma etkisi,
- Kaplama kenarında yetersiz taşıma gücü ve üstyapının kenarında aşırı trafik yüklenmesi
- Üstyapı kenarında ve bankette yetersiz drenaj,
- Üstyapı genişliğinin yetersiz olması nedeni ile trafiğin banket kenarına yakın seyretmesidir.[14]



Şekil 1.10. Kenar çatlağı

5) Blok (Harita) Çatlaklar

Blok (harita) çatlakların oluşum nedenleri;

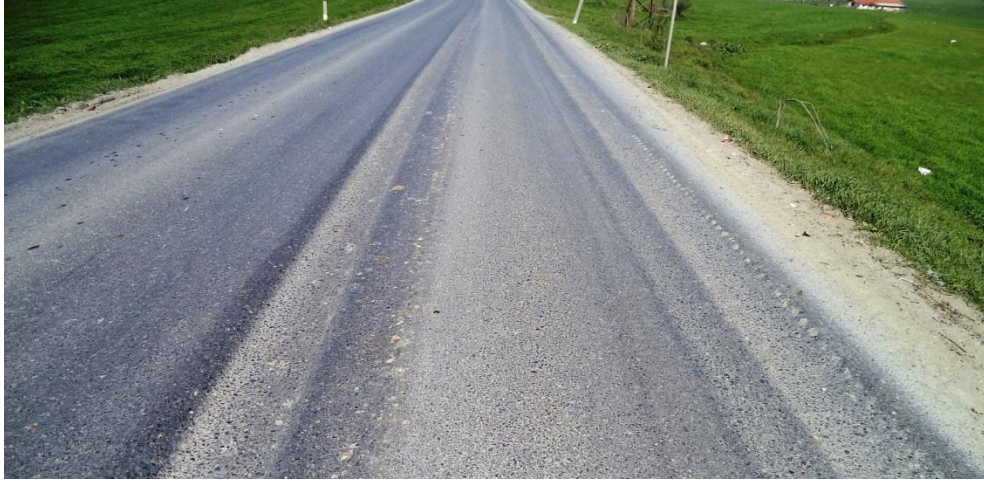
- Şişme ve büzülme etkisi,
- Donma etkisi,
- Asfalt kaplamanın yaşlanmasından dolayı sertleşmesi ve kırılması sonucu oluşan çatlaklardır.[14]



Şekil 1.11. Blok çatlaklar.[17]

1.4.5.2. Tekerlek İzi

Taşıt tekerleklerinin yola değme noktalarında, yol boyunca oluşan düşey kalıcı deformasyonlar olarak tanımlanır. Ticari taşıt sayılarındaki artış, bunların dingil sistemlerinin değişmesi ve dingil ağırlıklarının artması, çift tekerlek yerine geniş tabanlı tek tekerlek kullanılması ve lastik iç basınçlarının artması nedenleriyle, tekerlek izi çözülmesi gereken bir sorun haline gelmiştir. Tekerlek izi oluşumuna neden olan başlıca faktörler; aşırı yükler, uzun süreli veya durağan yükler, aşırı yük tekrarı, uygun olmayan malzeme kullanımı, tasarım ve yapım hataları olarak sıralanabilir. Yolun enine düzgünlüğünün bozulmasına neden olan tekerlek izi oluşumu, konfor ve güvenlik açısından büyük bir sorun oluşturmaktadır. Şerit değiştirme sırasında araç kontrolü zorlaşmakta, yağışlı havalarda tekerlek izi oluşmuş kısımlarda su birikmekte ve buzlanmaya veya tekerleğin su filmi üzerinde kaymasına yol açmakta, dolayısıyla fren mesafesi uzamaktadır.[15]



Şekil 1.12. Tekerlek izi

Tekerlek izinde oturmaların oluşum nedenleri;

- Yüksek ısı, düşük viskoziteli bağlayıcı ve yüksek bitüm içeriği nedenleri ile bitümlü sıcak karışım tabakalarının stabiliteğini kaybetmeleri,
- Bitümlü sıcak karışım tabakalarının yetersiz sıkıştırılması,
- Üstyapı tabakalarının aşırı gerilmeler altında kalıcı deformasyonlara maruz kalması,

- Trafik yükleri altında boşluk suyu basıncı nedeniyle doyumluğa ulaşan temel ve alt temel tabakalarının stabilitelerini kaybetmeleri,
- Drenaj yetersizliği ve/veya yetersiz sıkıştırma nedeniyle üstyapı tabanının stabilitesini kaybetmesi, taşıma gücünün zayıflaması,
- Banket malzemesinin stabil olmaması, yeterli yanıl desteği sağlayamamasıdır.[15]

1.4.5.3. Yerel Oturmalar

Yerel oturmaların oluşma nedenleri;

- Taban, alt temel ve / veya temel tabakalarında yetersiz sıkıştırma,
- Üstyapı tabanının taşıma gücünün zayıf olması,
- Sanat yapılarının yaklaşım yerlerinin yetersizliği ile oluşan oturmalar,
- Dolgu seviindeki eğim hataları,
- Uygun olmayan bakım teknikleri, yetersiz sıkıştırma ve yetersiz drenaj sistemidir. [14]



Şekil 1.13. Yerel oturmalar

1.4.5.4. Ondülasyonlar

Yol kaplama tabakasının lokal olarak yukarıya doğru hareket etmesi olarak tanımlanır. Genel olarak üst tabakaların ve doğal zeminin şişmesiyle ortaya çıkar.

Ondülasyonların oluşma nedenleri;

- Asfalt karışımının stabilitesinin yetersizliği,
- Karışımın serilmesi sırasındaki serim ve sıkıştırma hataları,
- Kavsak, trafik ışıkları ve duraklardaki trafik etkisi,
- Üstyapı tabakaları arasındaki yapıştırma tabakasının hatalı uygulanması,
- Temel tabakasındaki stabilite bozukluğunun yüzeye yansması,
- Ağır trafik altında suya doymun granüler tabakaların varlığıdır. [14]



Şekil 1.14. Ondülasyon

1.4.5.5. Çukurlar

Çukurların oluşma nedenleri;

- Yanlış yapım teknikleri ve düşük kalite kontrolü,
- Kaplamada düşük kaliteli agrega kullanımı,
- Üstyapı kalınlıklarının yetersiz oluşudur. [14]



Şekil 1.15. Çukur

1.4.5.6. Sökülme ve Soyulma

Soyulmaların oluşma nedenleri;

- Su ve trafik etkisi ile soyulma,
- Bitümlü sıcak karışım içinde kil toprakları veya kille kaplı agrega bulunması,
- Zayıf sıkışma ve yüksek boşluk yüzdesi,
- Yetersiz asfalt yüzdesi,
- Yaslanma nedeni ile oluşan asfalt sertleşmesi
- Uygun olmayan yapım teknikleri ve ekipman kullanımı
- Donma çözünme olaylarının tekrarlanması ile absorpsiyonu ve kırılabilirliği yüksek agregaların kullanıldığı karışımlarda, ayrışma meydana gelmesidir.[14]

1.5. Bitümlü Sıcak Karışımlar

1.5.1. Bitümlü Sıcak Karışımının Tanımı

Bitümlü sıcak karışım(BSK), asfalt çimentosu ve bu bağlayıcı ile üniform şekilde karıştırılmış ve sarılmış agrega birleşiminden oluşmaktadır. Uygun bir karışım ve işlenebilirlik elde etmek için agregaları kurutmak ve asfalt çimentosunun yeterli

akışkanlığını sağlamak amacıyla karıştırma işleminden önce hem agrega hem de asfalt ısıtılmaktadır ve bundan dolayı karışıma sıcak sıfatı eklenmektedir.

Agregalar ile asfalt, istenilen düzeyde bir kaplama karışımı elde etmek amacıyla bünyesinde ilgili tüm bileşen malzemelerin ısıtıldığı, oranlandığı ve karıştırıldığı bir karışım tesisinde (plent) bir araya getirilmektedir. Plentte karışım süresi tamamlandıktan sonra, sıcak karışım kaplama alanına taşınmakta ve üniform, düzgün bir yüzeye, hafifçe sıkıştırılmış halde bir kaplama makinası (finişer) yardımıyla serilmektedir. Karışım hala sıcak durumda iken, malzeme, pürüzsüz ve iyi konsolide olmuş bir kaplama tabakası elde etmek amacıyla ağır motorlu silindirler ile sıkıştırılmaktadır.[5]

1.5.2. Bitümlü Sıcak Karışımların Sınıflandırılması

Bitümlü sıcak karışımlar, her biri özel dizayn ve yapım amaçlarına uygun kendine özgü karakteristiklere sahip çok çeşitli agrega kombinasyonlarından üretilmektedir. Kullanılan asfalt sınıfı ve miktarına ek olarak karışımın esas karakteristikleri, agrega karışımını oluşturan kaba agrega, ince agrega ve mineral filler kullanım oranlarına bağlı olarak belirlenmektedir.

- **Aşınma Tabakası:** En üst asfalt tabakası olan aşınma tabakası, şartnameye göre 5 cm kalınlığında asfalt betonu olarak uygulanmaktadır. Aşınma tabakası kullanım amacına göre iki ayrı tipte tatbik edilmektedir.

- **Aşınma (Tip 1) :** En büyük tane boyutu 19 mm olan aşınma tipidir. Ağır ve veya sürekli trafiğin olduğu sahalarda uygulanmaktadır.

- **Aşınma (Tip 2) :** En büyük tane boyutu 12,5 mm olan, Tip 1 aşınmaya kıyasla daha yüksek oranda bağlayıcıya (bitüme) haiz aşınma tipidir. Genellikle hafif araç otoparkları, spor sahaları, yürüme yolları gibi ağır ve sürekli trafiğin bulunmadığı sahalarda uygulanmaktadır.

- **Binder Tabakası:** Genellikle bitümlü temel veya plentmiks temel tabakaları üzerine uygulanan binder tabakası, trafiğe bağlı olarak ve şartnameye göre 6-8 cm kalınlıklarda uygulanmaktadır.

- **Bitümlü Temel Tabakası:** Genellikle plentmiks temel tabakası üzerine uygulanan bitümlü temel tabakası, trafiğe bağlı olarak ve şartnameye göre 8-18 cm kalınlıklarda tatbik edilmektedir.[16]

Bitümlü sıcak karışımlar; mineral agrega, kaba, ince, mineral filler olmak üzere en az üç, TMA (taş mastik asfalt) için dört ayrı dane boyutu grubunun belli oranlarda karıştırılmasından oluşturulacaktır.

Tablo 1.1. Karayolları teknik şartnamesi.[12]

ELEK AÇIKLIĞI		KARIŞIM TİPİ (% geçen)					
İnch	mm	B.TEML-A	B.TEML-B	BİNDER	AŞINMA	SMA 12,5/0	SMA 9,5/0
1 1/2"	37,5	100	100				
1"	25,4	72-100	80-100	100			
3/4"	19,1	60-90	70-90±5	80-100±4	100	100	
1/2"	12,7	50-78	61-81±5	58-80±4	83-100	90-100±4	100
3/8"	9,52	43-70	55-75±5	48-70±4	70-90	50-75±4	90-100
No.4	4,76	30-55	42-62±5	30-52±4	40-55	25-40±3	25-45
No.10	2,00	18-42	30-47±3	20-40±3	25-38	20-30±3	20-30
No.40	0,42	6-21	15-26±3	8-22±3	10-20	12-22±3	12-22
No.80	0,18	2-13	7-17±3	5-14±3	6-15	9-17±3	9-17
No.200	0,074	0-7	1-8±2	2-8±2	4-10	8-14±2	8-14

1.6. Asfalt Kaplamaların Özellikleri

Asfalt kaplamaların özellikleri aşağıdaki gibi maddeler halinde ifade edilebilir.

a) Asfalt kaplamalar, kür gerektirmediğinden tabaka inşaatı hızla tamamlanarak, birkaç saat içinde trafiğe açılabilir. Hızlı yapım tekniğinden dolayı alt tabakaların hemen kaplanabilmesi mümkün olmakta ve bu tabakaların açık hava şartlarına maruz kalarak taşıma gücünü kaybetmesi ihtimalini ortadan kaldırmaktadır. Ayrıca alternatifi olmayan yollarda ve şehir içi uygulamalarında trafik sıkışıklığına neden olmadan güvenli, hızlı bir şekilde ve hatta gerekirse gece çalışılarak, yolun trafiğe açılmasına olanak sağlamaktadır.[11]

b) Asfalt kaplamalı üstyapıların esneklik özelliğinden dolayı trafik yüklerini tabana yayması ve asfalt karışımların yüksek dayanıma sahip olması nedeniyle asfalt kaplamalar, beton gibi rijit kaplamalara göre özellikle düşük trafik şartlarında daha ince uygulanabilir. Bugün asfaltın geliştirilen performans özellikleri ile yüksek trafikli yollarda bile 13 cm kalınlığında süper ince asfalt kaplamaların yüzey tabakası olarak yapımı söz konusudur.

c) Asfaltın tabakalarda suyun üstyapıya girişi engellendiğinden üstyapı tabanının dondan etkilenmesi önlenerek, daha yüksek bir üstyapı dayanımı sağlanır. Asfalt kaplamalı üstyapılar, elastik ve kalıcı deformasyonlara karşı daha dayanıklı olduğundan uzun vadeli performansları daha yüksektir. Son yıllarda farklı trafik ve iklim şartlarına uygun asfalt tabakaların uygulanmasına yönelik performans esaslı asfalt şartnameleri geliştirilmiştir. Yüksek performanslı, gürültü seviyesi düşük ve kayma direnci yüksek SMA (Stone Mastic Asphalt) ve serbest drenajlı Poröz Asfalt gibi asfalt karışımlar kullanılmaya başlanarak, asfalt üstyapılarda görülen tekerlek izinde oturma, yorulma ve termal çatlak gibi tipik bozulmaların oluşumu engellenmiştir. [11]

d) İyi dizayn edilmiş ve kaliteli yapılmış asfalt yollar minimum bakım gerektirir. Sadece düzenli rutin bakımla asfalt üstyapıların ilk performansı uzun yıllar bakımsız korunabilmektedir. Asfalt kaplamanın bakım maliyeti düşüktür. Bozuk kesim hızla ve kolayca lokal olarak onarılabilir. Zamanla güçlendirilmesi gerektiğinden asfalt kaplamalara 4-5cm'lik tabaka ilavesi yeterli olabilmektedir.[11]

e) Asfalt kaplamalar, düzgün ve derzsiz sürekli bir yüzey oluşturur. Derz gerektirmeden istenilen yüzey düzgünlüğü ve eğim verilebilir. Asfalt kaplamalarda yüzey kayma direnci, karışım dizaynı ayarlanarak optimum seviyede sağlanabilir. Asfalt kaplama üzerinde yol işaretleri çok iyi görülür. Yol çizgi boyasının ve diğer tip işaret malzemelerinin uygulanabilmesi ve kalıcı olmasını sağlamasının yanı sıra, kritik hat ve bölgelerin işaretlenmesinde oluşturduğu zıt renk ile hattı veya bölgeyi belirgin hale getirir. Son yıllarda geliştirilen renkli asfalt uygulaması ise şehir içinde estetik görünüşlü alanların inşasına imkân sağlamaktadır. Asfalt koyu rengi nedeniyle ısıyı çektiği ve kolay buharlaşma sağladığı için, asfalt kaplamalarda buz çabuk erimekte ve yüzey suyu hızla kurumaktadır. Asfalt, beton gibi reaktif bir malzeme değildir. Asit ve sülfatlara dirençli olduğundan korozyona neden olmaz, diğer malzemelerle reaksiyona girmez ve buz çözücü kimyasallar asfalta zarar vermez. Sathi kaplama uygulamaları hariç asfalt kaplamalı yollardaki gürültü seviyesi beton kaplamalı yollara göre oldukça düşüktür.[11]

f) Bitüm, bağlayıcı özelliğini kaybetmediğinden, asfalt karışımlardaki bitüm ve agreganın tamamı yeniden kullanılabilir. Asfalt kaplamalar yüzde 100 geri dönüştürülebilir doğal malzeme karışımlarıdır. Asfalt kaplamalarda bağlayıcı olarak kullanılan bitüm, esas amacı petro-kimya ürünleri eldesi olan ham petrol rafinasyonunda artık olarak kalan bir malzeme olup, bu malzemenin asfalt kaplamalarda değerlendirilmesi rafinasyonu daha ekonomik kılmakta hem de çevreye katkı sağlamaktadır.[11]

g) Asfalt kaplamalar aşamalı olarak yapılabilirdiğinden ihtiyaca göre kalınlaştırılabilir ve genişletilebilir. İlave edilen her tabaka üstyapının yük taşıma kapasitesini artırır. Asfalt kaplamalı üstyapılar başlangıçta kaynak yetersizliği nedeniyle daha kısa ömürle dizayn edilebilmekte ve daha sonra gereksinimlere bağlı olarak asfalt tabakalarıyla takviye edilerek, ömrü uzatılabilmektedir.[11]

1.7. Bitümlü Sıcak Karışımların Üretimi

Bu bölümde, önceki bölümlerde söz edilen bitümlü sıcak karışımların üretimi konusu üzerinde durulmuştur.

1.7.1. Asfalt Plant Tipleri

Bitümlü sıcak karışımların üretimi için önce uygun vasıfta agregaların üretilmesi gerekir. Bu amaçla taş ocaklarından çıkarılan uygun büyüklükteki kayalar konkasör tesislerinde kırılarak agrega üretilir. Kırılarak elde edilen her bir agrega grubuna ait elek analizleri yapılarak istenilen gradasyona göre oranları saptanır. Kullanılacak asfalt, agrega ve karışıma ait gerekli deneyler yapılır. İşyeri karışım formülü hazırlandıktan sonra bitümlü sıcak karışımların plantte üretilmesine geçilir. Asfalt plantleri çok kompleks ve çok pahalı tesisler olup karışımın kaliteli üretilmesi için her türlü hassas donanıma sahiptir. Günümüzde üç tip asfalt planti mevcuttur. Bunlar:

- Harman tipi karışım (Batch-mix)
- Kazan tipi karışım (Drum-mix)
- Sürekli karışım (Continious-mix)

olmak üzere üç farklı tipte olup en hassas ve en iyi sonuç harman tipi plantlerden sağlanır. Bu nedenle, yüksek standartlı yollarda ve otoyollarda harman tipi karışım yapan plantler kullanılmaktadır. Sürekli tip karışım plantleri açık gradasyonlu karışımlar veya düşük standartlı yollarda kullanılır. Kazan tipi plantler ise çoğunlukla geri kazanım (recycling) işlerinde kullanılmaktadır. Asfalt plantleri başlıca 6 kısımdan oluşur. Bunlar:

- a) Soğuk agrega besleme
- b) Kurutucu (dryer)
- c) Sıcak elek ve sıcak agrega besleme

- d) Asfalt besleme
- e) Filler besleme
- f) Mikser

kısımlarıdır. Asfalt plantlerin otomatik kontrolleri vasıtasıyla istenilen kalitede bitümlü karışımlar elde edilebilmektedir.[17]

1.7.1.1. Batch – Mix Tipi Asfalt Plenti

Batch – Mix tipi asfalt plantin özellikleri aşağıdaki gibidir.

- a) Karışım kalitesi her miks için kontrol edilebilmektedir.
- b) Karışım içerisindeki agrega miktarı soğuk silolarda devir kontrollü sistemlerle tartılmasına rağmen kurutmadan sonra her miks için tekrar tartılmaktadır.
- c) Bitüm miktarı, devir kontrollü değil tartım yoluyla kontrol edilmekte ve bu işlem her mikste yapılmaktadır.
- d) Filler miktarı tam kontrol edilebilmektedir.
- e) Katkı koyma sistemleri mevcuttur.
- f) Her türlü sıcak asfalt üretimi gerçekleştirebilmektedir.[17]



Şekil 1.16. Batch miks tipi asfalt plenti (İsfalt Habipler Fabrikası, 2014)

Plent elemanları,

- a) Soğuk Agrega Siloları
- b) Kurutucu
- c) Dik Elevatör
- d) Elek Ünitesi
- e) Sıcak Agrega Silosu
- f) Karıştırıcı
- g) Filler Sistemi
- h) Filtre Sistemi
- i) Otomasyon Sistemi
- j) Hazır Asfalt Bunkerı
- k) Bitüm Sistemi
- l) Soğuk Geri Dönüşüm Sistemi
- m) Sıcak Geri Dönüşüm Sistemi

şeklinde ifade edilebilir.

1.7.1.2. Drum-Mix Tipi Asfalt Plenti

Drum – Mix tipi asfalt plentin özellikleri aşağıdaki gibidir :

- a) Drum-Mix basitce, İçinde sıcak agrega eleği, sıcak agrega siloları ve mikserin bulunmadığı sıcak asfalt karışımların üretildiği tesislerdir.
- b) Plentlerde plentin kalbi drum'dır. Çünkü aynı drum içinde hem agrega ısıtmakta hem de asfalt karışımı yapılmaktadır.
- c) Batch üretimde kullanılan alev ile agreganın zıt yönde akmasına karşılık, bu plentlerde agrega ve ısıtılmış hava aynı yönde, yani paralel akış vardır.



Şekil 1.17. Drum miks tipi asfalt plenti (İsfalt Mahmutbey Fabrikası, 2014)

Plent elemanları,

- a) Soğuk Besleme Siloları
- b) Soğuk Silo Altı Konveyörü
- c) Tartım Bantı
- d) Kurutucu Yükleme Bantı
- e) Kurutucu (Dryer)
- f) Bitüm Besleme Pompası
- g) Taşıma Vagonu
- h) Sıcak Asfalt Silosu
- i) Filtre Sistemi
- j) Bitüm -Yakıt Tankı
- k) Kızgın Yağ Sistemi
- l) Kumanda Kabini

şeklinde ifade edilebilir.[17]

1.7.2. Asfalt Plentlerinin Özellikleri

Asfalt plentinden kaliteli karışın elde etmek için bir takım kontrollerin yapılması gerekir. Bunlar;

- a) Plentteki tüm ölçüm cihazları (agrega ve asfalt kantarı, filler kantarı, ısı göstergeleri vb.) kalibre edilmiş olmalıdır.
- b) Karıştırıcı, kazan ve paletleri uygun çalışıyor olmalıdır. (Kazan ısıtıcıları, paletlerin konumu ve sayısı, boşaltma kapağı vs.)
- c) Asfalt püskürtme sistemi üniform püskürtme yapmalıdır. (Memelerin çapı, püskürtme süresi, açısı, basıncı vb.)
- d) Karıştırma süresi yeterli olmalıdır.
- e) Agregada doğru olarak oranlandırılmalı, kurutulmalı ve tüm daneler asfaltla kaplı olmalıdır.
- f) Asfalt miktarı hassas olarak tartılmalı ve uygun viskozite için gerekli ısı sağlanmalıdır.

Asfalt plentlerinde kaliteli karışımlar elde edebilmek için bahsedilen hususlara daima azami gayret gösterilmelidir. Ancak yine de istenmeyen nitelikte karışımlar üretiliyorsa nedenler araştırılarak kusurlar ve muhtemel nedenleri giderilmelidir.[11]

1.8. Asfalt Kaplamasının Geri Dönüşümü

Geri dönüşümün hızlandırılması, halk, özel ve kamu kuruluşlarının birlikte çalışmasıyla atık yönetiminin sürekli hale getirilmesi ve atık sayılan malzemelerin yeniden kullanılacağı alanların bulunması tüm dünyada teşvik edilmektedir.

Asfalt kaplamaların geri kazanım işlemi yaygın olarak kullanılan ve sıcak karışım asfalt üretiminde önemli bir seçenek haline gelmiş olan bir işlemdir. Dünyada olduğu gibi ülkemizde de enerjinin verimli şekilde kullanımı, asfaltın yeniden kullanımından kaynaklanan ekonomik avantaj, mevcut kullanılabilen agregada kaynaklarının tükenmesi ve artan üretim maliyetlerinden dolayı geri kazanım işlemlerine gittikçe artan bir ilgi söz konusudur.

Üstyapı inşaat endüstrisini ve her yerdeki finansman kuruluşlarını ilgilendiren ve endişelendiren hususların en önemlileri, malzemelerin saklanması, çevrenin ve inşaat yöntemlerinin ekonomik olmasıdır. Asfalt kullanımı ile kaplama geri kazanımı, bu hususları açık ve gerçekçi şekilde karşılayan bir yöntem olup, özellikle enerji ve malzeme kullanımı açısından ekonomiktir.

Asfalt üstyapısı geri kazanımında, eski üstyapıdan geri kazanılan malzemeler yeni malzemelerle karıştırılarak işlenmek sureti ile normal şartnamelerin gereklerini karşılayan

karışımlar elde etmek mümkündür. Geri kazanılan karışımlar, geri kazanılan malzemelerin çıkarılmış oldukları yol tabakalarına serilebilmekte ya da asfalt karışımına ihtiyaç duyulan herhangi bir başka yerde kullanılabilir.

Yeniden kullanım (geri kazanım), genellikle belli bir işlemde sonra, öngörülen ilk işlevini yerine getirmiş olan malzemenin yeniden kullanılmasıdır. Geri kazanım sürecine ilişkin bazı tanımlamalar aşağıdaki gibidir.

- Geri Kazanılan Asfalt Üstyapısı (Reclaimed Asphalt Pavement- Rap): Asfalt ve agrega içeren üstyapı malzemelerinin çıkarılması ve yeniden işlenmesi

- Geri Kazanılan Agrega Malzemesi (Reclaimed Aggregate Material- Ram): Tekrar kullanılabilir bağlayıcı içermeyen üstyapı malzemelerinin çıkarılması ve yeniden işlenmesi.[16]

- Sıcak Yeniden Kullanım: Geri kazanılan asfalt üstyapı (RAP) malzemelerinin, geri kazanılan agrega malzemelerinin (RAM) veya her ikisinin yeni asfalt ve/veya agrega ya da geri kazanım maddeleri ile sıcak karışım üstyapısı karışımları üretmek amacıyla merkezi bir karışım tesisinde birleştirilerek karıştırılması işlemidir. Nihai ürün, üretilmekte olan karışım tipine ilişkin tüm standart malzeme şartnameleri ve inşaat koşullarını sağlamaktadır.

- Geri Kazanım Katkı Maddesi: Yaşlanmış asfaltın istenilen şartnameye göre düzeltilmesi amacıyla seçilen ve özel kimyasal ve fiziksel nitelikleri bulunan bir organik malzemedir.

Geri kazanılmış sıcak karışım içeren bir kaplama yapısına ilişkin kalınlık dizayn yöntemleri, yeni malzeme kullanılarak oluşturulan yeni üstyapılarda kullanılan yöntemlerden farklı değildir. Bu durum geri kazanılan karışımın yeni bir karışım için uygulanan dizayn koşullarını sağlaması halinde geçerlidir. Bu durumda tahmini trafik etkileri, çevresel koşullar, tabii zemin mukavemeti ile geri kazanılan karışımın özellikleri hakkında tahminler yapılması gerekmektedir.

Birçok durumda, artan trafik yoğunluğu ve hacmi orijinal olarak inşa edilenden daha dayanımlı bir kaplama kesitini gerekli kılmaktadır.[5]

1.8.1. Dünyada Geri Dönüşüm

Dünyada asfaltta geri dönüşüm çalışmaları 1970'li yıllarda petrol krizinin patlak verdiği dönemlerde ilk kez gündeme taşındı. Kullanım ömrünü tamamlamış asfaltın belli

kriterler ve yöntemler dahilinde kazılması ve yine belli yöntemlerle yeniden kullanılabilir hale getirilmesi, hem çevre hem de ekonomik açıdan oldukça önem arz etmektedir. Bugün kazılan asfaltın yeniden kullanılmasına yönelik çalışmalar sayesinde milyonlarca lira tasarruf sağlandığı tespit edilmiştir. Amerika Birleşik Devletleri ve Avrupa ülkelerinde özellikle Almanya ve Fransa'da yaygın olarak geri kazanılmış asfalt kaplama karışım teknikleri uygulanmaktadır. Günümüzde asfalt kaplamaların kazılması sonucu elde edilen geri kazanım malzemelerinin yeni yapılacak kaplama tabakasındaki kullanım oranları, geliştirilen teknik ve uygulama yöntemleri sayesinde yüzde 80'e varan oranlara çıkabilmektedir.[18]

Avrupa'da sadece 2001 yılında yaklaşık olarak 80,3 milyon ton asfalt kaplama geri dönüştürülmüştür.[19]

Amerika Birleşik Devletleri'nde imal edilen BSK tabakalarında her yıl ortalama %15 oranında geri dönüşüm asfalt kaplamalar kullanılmaktadır. BSK geri dönüşümü ile ABD bütçesinden her yıl 300 milyon dolar tasarruf sağlamaktadır.[26]

1.8.2. Türkiye'de Geri Dönüşüm

Türkiye'de 1980'li yıllardan bu yana uygulanmaya çalışılan asfaltta geri dönüşüme yönelik çalışmalar 2000'li yıllara gelindiğinde hız kazandı. Ülkemiz otoyollarının ve önemli devlet yollarının trafiğe açılış tarihleri göz önünde bulundurulduğunda, halen ve önümüzdeki yıllarda üstyapı iyileştirme faaliyetlerinin yoğun bir şekilde gündeme geleceği tahmin edilmektedir. Bu durumda kazılmış eski BSK tabakalarının içerisinde bulunan ekonomik değeri yüksek bitümlü bağlayıcı ve agreganın belirli işlemlerden sonra yeniden yol yapımında kullanılması, maliyetleri azaltacağı gibi çevrenin korunması açısından da büyük önem taşımaktadır. [20]

Türkiye'de agreganın ucuz temin ediliyor oluşu ve çevre koruma bilincinin henüz tam oluşmaması bunun nedenlerinden biri olarak gösterilebilir. Birkaç yıl öncesine kadar her yerde rahatlıkla taş ocağı açılabilirdi. Ocaktan alınan taşın maliyeti, işlenmiş asfalt geri dönüşüm malzemesinin maliyetine yakın olması, asfalt geri dönüşümü için yapılacak yatırımın maliyetinin yüksek olması gibi faktörler bu uygulamanın geç başlamasına neden oldu. [20]

Avrupa'da geri kazanım çalışmalarının erken başlama nedenlerine örnek olarak birçok ülkede doğal taşın olmaması ve taşıdığı açmanın Türkiye'deki kadar kolay olmaması örnek verebilir. [20]

1.8.3. İstanbul'da Geri Dönüşüm

İstanbul'da son yıllarda ana arterlere yaklaşık 5 milyon ton asfalt karışım serilmekte ve bu iş için yine her yıl yaklaşık 750 milyon TL harcama yapılmaktadır. Yapılan araştırmalarda İstanbul'da serilen asfalt kaplamaların ömürlerinin 2-5 yıl gibi kısa süreli olduğu ve serilen her yeni asfaltın yol geometrisini olumsuz yönde etkilediği ortaya çıkmaktadır. Özellikle yeni serilen tabakalar ile bordür yüksekliği azalmakta buna bağlı olarak yüzeysel drenaj ve trafik güvenliği olumsuz yönde etkilenmekte ve ayrıca baca kapakları kaplama kotundan daha düşük seviyelere düşmektedir. Bu durumu düzeltmek için bordürler ile beraber kaldırımlar ve diğer yol donatılarının sökülerek yerine yenilerinin yapılması gibi yüksek maliyetli düzenlemeler yapılmaktadır. Sadece bu nedenlerden dolayı bozulan mevcut asfalt kaplamaların kazınması bir zorunluluk olarak ortaya çıkmaktadır. Çünkü tek başına kaplamanın kazıma maliyetinin yukarıdaki yapım maliyetinden daha az olduğu bir gerçektir. Ayrıca kazınan kaplama bünyesinde bulunan agrega ve bitümün tekrar kullanımı ile maliyet ve enerji tasarrufu sağlanmış olacaktır. Ancak şu ana kadar İstanbul'da gerek TCK gerekse belediyeler tarafından kazınan asfalt kaplamalar, ya dolgu malzemesi ya da alt temel olarak değerlendirilmiştir.[19]

İstanbul'da agrega havzalarının da giderek tükenmek üzere olduğu belirtilmektedir. Özellikle Avrupa Yakasındaki tek havza olan Cebeci Havzası her yıl İstanbul'a yaklaşık olarak 32 milyon ton agrega üretmektedir. Ancak yapılan çalışmalarda bu havzanın en fazla 5 yıl ömrü kaldığı ortaya konmuştur. Anadolu Yakasında Gebze ve Ömerli havzaları için bu denli sorun olmasa da önümüzdeki 10 yıl içinde sorunların başlayabileceği belirtilmektedir.

1.9. Geri Dönüşüm Yöntemleri ve Stratejileri

Çeşitli kaplama bozulma türleri ve yapısal gereksinimler için günümüzde çeşitli geri dönüşüm metotları mevcuttur. Asfalt Geri Dönüşüm ve Rehabilitasyon Birliği(Asphalt

Recycling and Reclaiming Association-ARRA) beş farklı geri dönüşüm tekniği tarif etmektedir.[24]

- Soğuk Düzeltme (cold planing)
- Sıcak Geri Dönüşüm (hot recycling)
- Sıcak Yerde Geri Dönüşüm (hot in-place recycling)
- Soğuk Yerde Geri Dönüşüm (cold in-place recycling)
- Tam Derinlikten Geri Kazanma (full depth reclamation).[24]

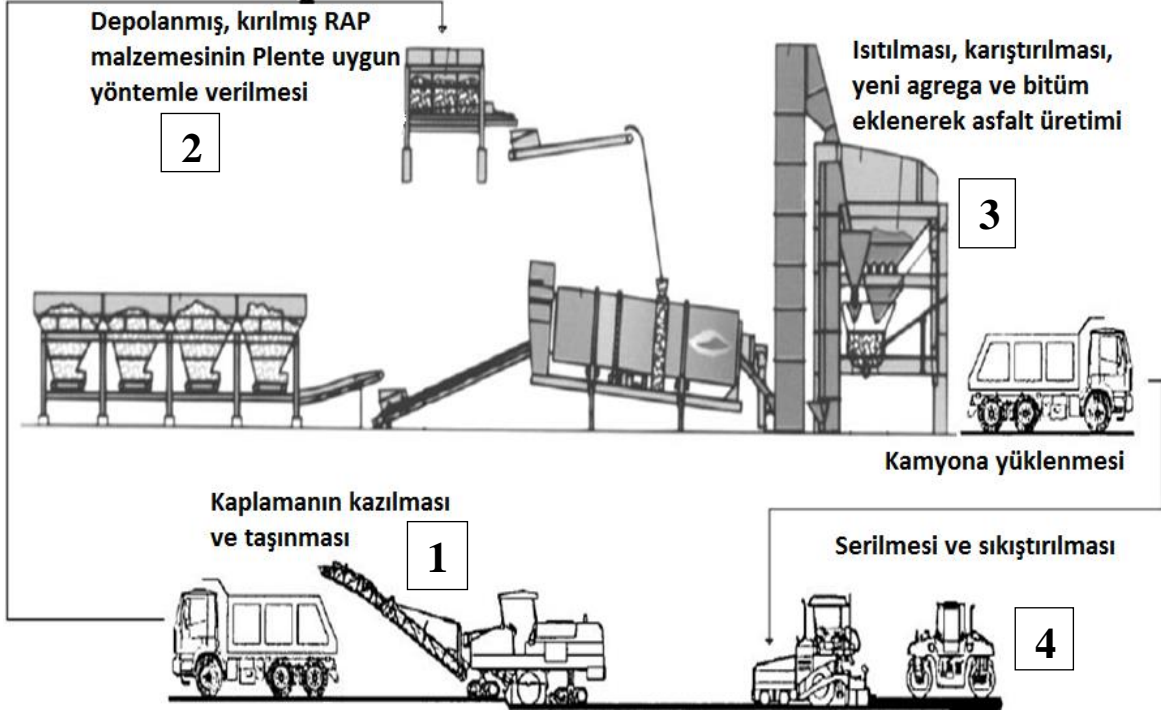
1.9.1. Soğuk Düzeltme

Asfalt kaplamayı arzu edilen bir derinlikte kaldırarak çukur, tekerlek izi ve diğer bozulma türlerinden arındırılmış, istenilen eğimde yeni kaplama elde edilmesi şeklindeki yüzey iyileştirme yöntemi olarak ifade edilir. Bu metot sürtünme direncini artırmak için kaplamaların pürüzlendirilmesinde kullanılabilir. Soğuk düzeltme, çalışma sahasından kaldırılarak kamyonlara yüklenen geri kazanılmış asfalt kaplama ile pervaneli döner silindir soğuk düzeltme makinesi ile yapılır.[1]

1.9.2. Sıcak Geri Dönüşüm

Geri kazanılan asfalt kaplama (RAP) malzemesi yeni malzeme ve gerekirse katkı ilavesiyle birleştirilerek elde edilir. Hem harman (batch) tipi hem de tambur (drum) tipi sıcak karışım plantleri geri kazanılmış karışımları üretmek için kullanılır. Klasik yöntemlerde olduğu gibi geri kazanılmış asfalt malzemeleri (RAP) öğütme veya sökme ve kırma operasyonları ile elde edilebilir. Kazılıp sökülen asfalt tabakası asfalt plantine taşınır. Karıştırma, serme ve sıkıştırma ekipmanı ve prosedürleri sıcak asfalt karışımı üretiminde olduğu gibidir. RAP malzemesinin yeni karışımda kullanılma oranı eğer RAP malzemesi soğuk olarak karıştırıcıya alınıyorsa yüzde 10-30 arasındadır. RAP malzemesi önceden ısıtılarak karıştırıcıya alınıyor ise yüzde 80'leri bulabilmektedir. Sıcak geri dönüşümün avantajı;

- önemli bir yapısal sağlamlığının olması
- geleneksel sıcak asfalt karışımı ile karşılaştırıldığında ona eşit veya daha iyi performans göstermesi
- çoğu yüzey kusurlarına, deformasyonlara ve çatlamalara karşı dirençli olmasıdır.[1]



Şekil 1.18.Sıcak geri dönüşüm aşamaları

1.9.2.1. Direkt Elevatörden Besleme Yapılması

Sıcak agrega ile karışan geri dönüşüm malzemesinin ısı etkisi ile eleklerle yapışmasını önlemek amacıyla bu uygulamada eleme yapılmamaktadır. Ancak kullanılan geri dönüşüm malzemesi oranı %10 seviyelerinde kalmaktadır.

1.9.2.2. Malzemenin Kurutucudan(Özel Kurutucu Girişi Bulunan Plentlerde) Geçirilerek Elavatöre Verilmesi

Buradaki uygulamada da eleme yapılmamaktadır. Ancak kullanılan malzeme oranı %35 mertebesinde kalmaktadır. Bu yöntem özellikle drum tipi plentler için uygundur;

ancak plentin dryerinde (kurutucu) RAP malzemesi katmak için uygun giriş bulunmalıdır.[5]

1.9.2.3. Malzemenin Direkt Miksere Verilmesi

Buradaki uygulamada kullanılan malzeme oranı % 20 mertebesinde kalmaktadır. Plentin kapasitesini düşürmektedir ve oluşan buharlaşma patlamalarına karşı mikserde su tahliye sistemi bulunması gerekmektedir. [5]

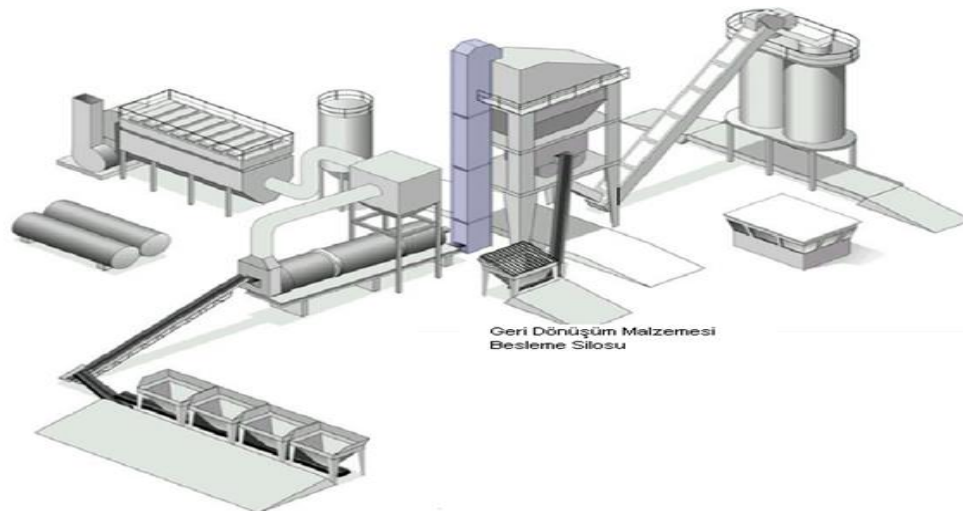
1.9.2.4. Malzemenin İkinci Kurutucuda Kurutulurken Miksere Verilmesi

Bu durumda malzeme orijinal agreganın kurutulduğu kurutucu dışında ikinci bir kurutucuda kurutulmaktadır. Bu nedenle bu tip uygulamada yüzde 50 ve daha fazla oranda RAP malzemesi kullanılabilir.[5]

Sıcak geri dönüşümün plent tiplerine göre uygulanması aşağıda açıklanmıştır.

- Batch Tipi Plentler

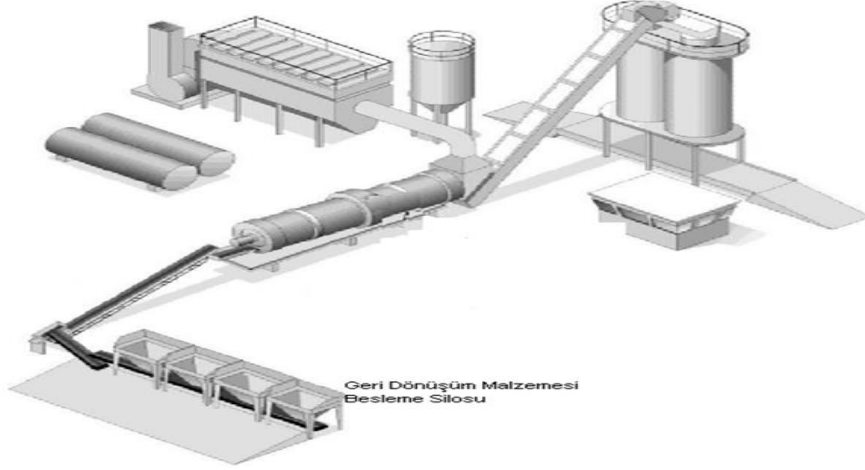
Kırılıp elenen geri dönüşüm malzemesini, Batch Tipi plentte kullanılabilmek için, ayrı bir yükleme silosundan elevatörle miksere, ısıtılmış agreganın içine katılacaktır. Agreganın ısısının yüksek olması soğuk olan geri dönüşüm malzemesinin de ısınmasını sağlayacak ve agreganın bitümlerle karışmaya hazır hale gelecektir.



Şekil 1.19. Batch tipi plentin şematik görünümü.[25]

- Drum Tipi Plent (Silodan Besleme)

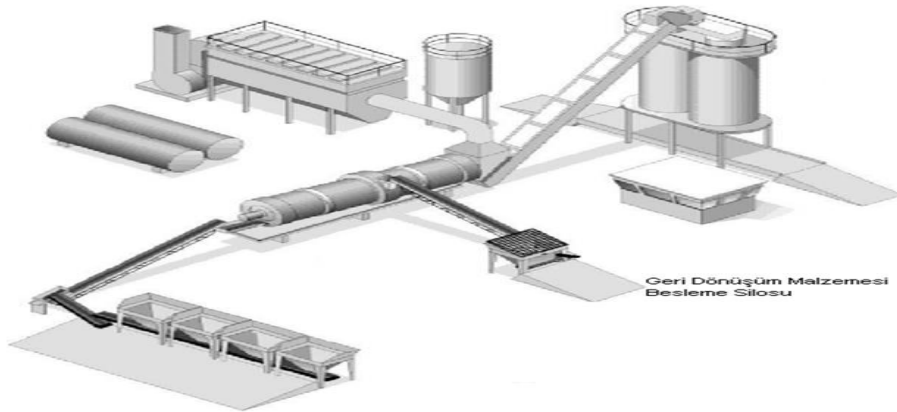
Kırılıp elenen geri dönüşüm malzemesi, agrega silolarından normal agrega ile birlikte direk olarak kurutucuya (dryer) verilecek, burada hem ısıtılacak hem de bitümlle karışacaktır.



Şekil 1.20. Drum tipi plentin silodan besleme şematik görünümü.[25]

- Drum Tipi Plent (Dryerden Besleme)

Kırılıp elenen geri dönüşüm malzemesi yükleme silosundan direk olarak kurutucunun ortasındaki kapaktan bitümün karıştığı noktaya verilecektir. Burada kurutucunun (dryer) brülör kısmından gelen ısıtılmış agrega ile geri dönüşüm malzemesi hem birbiriyle, hem de bitümlle karışacaktır.[5]



Şekil 1.21. Drum tipi plentin dryerden besleme şematik görünümü.[25]

1.9.3. Yerinde Sıcak Geri Dönüşüm

Kazıma makinesi yoldaki bozulmuş kaplamayı kazıyarak söker ve kendisini takip eden mobil asfalt plentine aktarır. Geri kazanım aşaması boyunca RAP malzemeye yeni agrega, bitümlü bağlayıcı ve geri dönüşüm katkısı eklenerek ısıtılır, mobil plenti takip eden finişere aktarılır ve serilip sıkıştırılarak geri kazanım BSK tabakası elde edilir. Onarma derinliği 19mm ile 38mm arasında değişir. Yerinde sıcak geri dönüşümün avantajları;

- yüzey çatlakları önlenir,
- tekerlek izleri, ötelenmeler, ondülasyonlar ve çukurlaşmalar düzeltilir,
- yaşlanmış bitümlü bağlayıcı gençleştirilir,
- trafik kesinti süresi ve nakliye maliyeti minimumdur.[1]



Şekil 1.22. Yerinde sıcak geri dönüşüm.[5]

Yollardan blok halinde sökülen, kırılan asfalt tabakalar ısıtıcı makinelere bloklar halinde atılmaktadır. Mevcut makine içinde hem ısıtılan hem de parçalanan asfalt karışımları makine çıkışında doğrudan kullanılabilir. Yerinde yapılan uygulamalarda son derece pratik olan bu makineler, sabit noktalarda depo alanları oluşturularak da kullanılabilirler. Yollarda bulunan bozulma alanlarında herhangi bir ek asfalt ilavesi gerektirmeden yapılan bu tip çalışma ile mevcut asfaltın tekrar kullanımı söz konusu olmaktadır. Özellikle yama uygulamalarında oldukça iyi sonuçlar vermektedir.



Şekil 1.23. Bagela geri dönüşüm makinesi (İsfalt 2006)

1.9.4. Yerinde Soğuk Geri Dönüşüm

Var olan kaplama malzemesi sıcaklık uygulamadan yeniden kullanılır. Herhangi bir geri dönüşüm katkısı kullanımının dışında genellikle hiçbir malzeme taşınması gerekmez ve bu yüzden nakliye maliyeti oldukça düşüktür. Normalde, geri dönüşüm katkısı olarak bitüm emülsiyonu eklenir. Yöntem var olan kaplamayı ufalama, RAP'ı boyutlandırma, geri dönüşüm katkısını uygulama, karıştırma, serme ve sıkıştırma aşamalarını içermektedir. Onarım derinliği 75mm'den 100mm'ye kadar değişmektedir. Soğuk yerinde geri dönüşümün avantajları; önemli bir yapısal iyileştirmeyi içermesi, çoğu kaplama bozulmalarını onarması, seyahat konforunu artırması ve minimum nakliye maliyeti olarak sıralanabilir.[27]



Şekil 1.24. Yerinde soğuk geri dönüşüm katarı.[32]

1.9.5. Tam Derinlikten Geri Kazanım

Tam derinlikten geri kazanma yönteminde asfalt kaplama tabakasının tamamı önceden belirlenmiş kalınlıkta temel, alt temel veya doğal zemin birlikte sökülmekte, stabilizasyon malzemesi eklenmekte, karıştırılmakta ve sıkıştırılmaktadır. Böylece ıslah edilmiş homojen temel tabakası elde edilmiş olmaktadır. Bu yöntemde soğuk yerinde geri dönüşüm yönteminde olduğu gibi ısı kullanılmamaktadır. Soğuk geri dönüşümden en önemli farkı; kaplama yüzeyindeki bozulmaların yolun en üst tabakasında kalmayıp temel seviyelerine kadar inmesi durumunda uygulanmasıdır. Tam derinlikten geri kazanma yönteminde derinlik mevcut kaplamanın kalınlığına bağlı olmasına rağmen genellikle 10 ile 30 cm arasında değişmektedir. Stabilize edici malzeme olarak katı veya likit halde olan kalsiyum klorür, magnezyum klorür, kireç, uçucu kül, çimento fırını tozu, kireç fırını tozu, portlant çimentosu, asfalt emülsiyonları, köpük asfalt veya bu katkı malzemelerinin bir veya birkaçı birlikte kullanılmaktadır. Eğer mevcut gradasyon hedeflenen gradasyonu sağlamıyorsa ilave granüler agrega karışıma eklenebilmektedir. Tam derinlikten geri kazanma yöntemi ile temel tabakası elde edilmektedir.[22] Tüm eski malzemenin nakliye yapılmadan yeniden kullanılması, trafiğe kısa sürede açılması, çevre kirliliği olmaması gibi önemli avantajları bulunmaktadır.[1]

Bütün farklı geri dönüşüm teknikleri geleneksel rehabilitasyon tekniklerine karşı bazı avantajlar sunmaktadır. Bununla birlikte, geri dönüşüm yönteminin belirlenmesinde mevcut yol yüzeyindeki bozulmaların tipi, şiddeti ve yoğunluğu etkili olmaktadır. Çünkü bütün geri dönüşüm metotları farklı bozulma tiplerini onarmak için aynı etkinlikte değildir. Bu nedenle, mevcut yolun performans gözlemleri yapılarak uygulanabilir metotların değerlendirilmesi geri kazanım yöntemine karar vermeden önce gereklidir.

ARRA (Asfalt Geri Dönüşüm ve Rehabilitasyon Birliği) tarafından bozulma türleri önceliklerine göre yüzey kusurları, deformasyonlar, çatlama, bakım yamaları, temel/alt temel problemleri seyahat konforu/pürüzlülük olarak sıralanmaktadır. Bu bozulma türlerine göre ARRA alternatif geri kazanım yöntemini seçmek için Tablo 1.2 yi önermektedir. Bu tablo, sıcak karışım geri dönüşümünün temel ve alt temel problemleri hariç bütün bozulmaların onarılmasında kullanılabilirliğini göstermektedir.[1]

Tablo 1.2. Geri dönüşüm yönteminin belirlenmesi.[1]

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		X	X
Çatlaklar/trafikten kaynaklanan					
Timsah sırtı		X		X	X
Boyuna çatlaklar		X	X	X	X
Kaplama kenarı çatlakları		X		X	X
Yansıma çatlakları		X	X		
Çatlaklar/trafikten kaynaklanmayan					
Blok tipi çatlaklar		X		X	X
Boyuna çatlaklar		X	X		
Enine çatlaklar		X		X	X
Yamalar					
Yüzeysel yamalar		X			X
Derin yamalar		X			X
Problemlili temel/alttemel					X
Seyahat konforu/pürüzlülük					
Genel olarak pürüzlü	X	X	X		
Çukur	X	X	X		X

1.10. Geri Dönüşümün Faydaları

- Kazınan BSK tabakası tekrar kullanılarak milli kaynakların korunması ve değerlendirilmesi ile ekonomik kazanımlar elde edilir.
- Geri dönüşüm, yeni malzeme ihtiyacını azaltarak doğal kaynakların korunması ve atık sahalarının oluşmaması açısından çevrenin korunmasına katkı sağlar.
- Mevcut kaplamanın üzerine yeni kaplama yapılması halinde yansıma çatlaklarının önlenememesi, kot yükselmesi vb. sorunlar giderilebilir.
- Mevcut kaplama yapısı üzerine kalın bir tabaka eklenmeksizin geri dönüştürülerek daha mukavim bir tabaka elde edilir.
- Geri dönüşüm, geleneksel yapım teknikleriyle karşılaştırıldığında büyük miktarda enerji tasarrufu sağlayabilir.[28]

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada yollardan kazınan eski asfalt kaplamalar (eski bitüm ve eski agrega), %10, %25 ve %40 oranlarında Binder tabakası olarak tasarlanan karışıma katılmak suretiyle üç farklı katkı oranında karışım üretilmiştir. Bu karışımlara Marshall deneyleri uygulanmıştır. Yoğunluk ve boşluk analizleri yapılarak elde edilen sonuçların şartname aralıklarında olup olmadıkları kontrol edilmiş, katkısız olarak üretilen ve bu katkı oranlarında yapılan uygulama sahasından alınan karot örneklerinden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Ayrıca her bir katkı oranı için maliyet analizi yapılarak ekonomik katkı değerleri ortaya konmuştur.

2.1. Geri Kazanım Aşamaları

2.1.1. Kaplamanın Kazılması ve Sökülmesi

Kaplamanın sökülmesi amacıyla en yaygın olarak kullanılan metotlar, eski kaplamayı sökme ve parçalama ile soğuk frezeleme ya da rendeledir. Kullanılan metot ne olursa olsun, geri kazanılacak asfalt kaplamanın geri kazanılan işlenmemiş agrega malzemesinden ayrı tutulması esastır. Geri kazanım işleminden elde edilmeyen tüm malzemeler geri kazanılmış asfalt kaplaması ile birlikte yığılmadı ve karıştırılmadı.

Kazınmış malzemenin gradasyonu ve bitümlü bağlayıcı miktarı değiştiğinde karışım dizaynının tekrar hazırlanması gerektiğinden, kazınmış asfalt kaplama malzemesinin gradasyonu ve bitümlü bağlayıcı miktarı homojen olmasına dikkat edildi.

Bu nedenle kazımda kullanılan makineler; aynı tip ve özellikle kazınmış malzeme üretecek şekilde kazıma yapmalı; sıcak karışım hazırlamakta kullanılan kazınmış asfalt malzemesinden günde en az bir kere numune alınarak bitüm miktarı ve gradasyon kontrolü yapılmalıdır.[22]

Bu çalışmada freze makinesiyle asfaltın kazınması yöntemi uygulanmış ve Şekil 2.1. de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Asfalt kazıma makinesi (freze) ile kaplamanın kazınması

2.1.2. Kazıma Makinesinin Özellikleri

Özel olarak geliştirilmiş soğuk öğütme ya da rendeleme makinaları asfalt kaplamasını kontrol edilebilen derinliklere kadar geri kazanabilmektedir. Bu işlemde, kaplama istenilen maksimum parçacık boyutuna kadar indirilmektedir. Parçacık boyutu kesme derinliğine ve soğuk frezeleme ekipmanının ilerleme hızı ile aynı zamanda kesici dişlerin özelliklerine bağlıdır. [23]

Kazıma makinesinin; Kendinden hareketli, kendi yürür, yeterli çekiş gücüne sahip, kazıma derinliği doğru, kapasite sürekliliğini sağlayacak, boyuna ve enine eğim ve kot kontrolü hassas, kazıma sırasında toz ve parçacıkların dışarı gitmesini önleyecek yetkinlikte olması gibi özelliklerine kazı öncesi makine seçiminde dikkat edildi.

Bitümlü tabakalar çıkartıldıktan sonra, geriye kalan ve geri kazanılmış sıcak karışıma eklenebilecek tüm agregalar loderler, tırmıklar ya da diğer konvansiyonel ekipmanlarla kazınıp çıkartıldı. Bu malzeme, geri kazanılmış asfalt üstyapı malzemesinden uzakta ayrı bir yerde stoklandı. [5]

Yol güzergahında kaplama malzemesinin çıkartılması tamamlandığında, her türlü drenaj kusurları düzeltildi. Bunun sonucunda ise, alt temel ya da tabii zemin kesildi, tesviye edildi, uygun kesit, profil ve eğime göre sıkıştırıldı.

Kazıma makinesiyle kazınan asfalt kaplamalar daha sonra kamyonlara yüklenerek İsfalt'ın Habipler Asfalt Fabrikasına taşınıp depolanmış ve konkasörde kırılıp elenmiştir.

2.1.3. Kaplama Boyutunun Düşürülmesi

Çıkarma işlemi sonrasında, geri kazanılan malzemenin işlenmesi gereken boyut; büyük oranda çıkarmada kullanılan yöntem, karıştırma ekipmanının özelliklerine ve karışım dizaynının koşullarına bağlıdır. Geri kazanılan asfalt kaplaması (RAP) ile agrega malzemeleri (RAM) ayrı ayrı işleme tabi tutuldu. Sökme-kazıma (ripping) işlemi ile çıkartılan asfalt kaplama parçalanmamasına, kırılmamasına ve elenmemesine dikkat edildi. Geri kazanılan kaplama malzemelerinin bir kısmı, dane boyutlarının kabul edilebilir limitlerdeki boyutlara indirilmesi için konkasörden geçirildi.

İsfaltın Habipler Şantiyesinde 0-10 mm lik ve 10-20 mm lik eleklerden geçirilip elenen geri dönüşüm malzemeleri yeni karışıma katıldı. Geri kazanılacak olan yaşlanmış asfaltın büyük kısmını içerdiklerinden ötürü, geri kazanılmış asfalt üstyapısından hiçbir ince malzeme bileşeni çıkartılmamasına dikkat edilmiştir. Ayrıca, kullanılan konkasör, ince malzeme üretimini ve agregalarda yeni yüzey oluşumunu minimuma indirmelidir. Bu değişiklikler, karışım maliyetinin artmasına, potansiyel sorunlara ve hatta daha uygun agregalar arası boşluk (VMA) elde etmek için başka bir agrega seçimine neden olabilir. Geri dönüşüm malzemelerinin kırılıp elenmesi ve dane boyutlarının düşürülmesi Şekil 2.2 de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Konkasör ile dane boyutlarının düşürülmesi



Şekil 2.3. Konkasörde kırılıp elenen 0-10 mm ve 10-20 mm lik malzemeler

2.1.4. Depolama

Geri kazanılmış asfalt kaplama yığınlarının yüksekliği maksimum 3 metre ile sınırlandırıldı. Parçalanmış malzemelerin zati yükten ve yüksek hava sıcaklıklarından dolayı birbirlerine yapışmalarını engellemek amacıyla böyle bir kısıtlamaya gidilmiştir. Aynı sebeple, yığın üzerinde yükleyici, dozer ya da kamyon çıkmasına da kesinlikle izin verilmemiştir. Geri kazanılmış asfalt kaplama hava etkisinden korundu ve olabildiğince kuru koşulda tutulmasına özen gösterildi. Depolama ve aşırı nem durumunu minimuma indirmenin en iyi yolu, büyük bir stoklamaya gerek duyulmayacak şekilde parçalama ve sıcak karışım işlemlerini koordine etmektir. Bununla birlikte, geri kazanılmış asfalt kaplaması, belli bir depolama süresi sonrasında, birbiriyle yapışma ya da yeniden konsilide olma eğilimi gösteriyor ise, bir yükleyici kepçesinin ön tarafına çelik çubuklar kaynatılması, RAP kovaya yüklenirken parçalara ayırmada yardımcı olacaktır.

Bunun yanında, işlenen RAP malzemesinin daha ince karakteri, nem tutma eğilimi göstermekte ve dolayısıyla yağmur ve kara karşı koruma daha büyük önem taşımaktadır. Bölgedeki yıllık neme bağlı olarak, malzeme soğuk frezeleme ya da parçalanarak kazılmış olsun, RAP malzemesinin korunmasında, bir koruyucu örtünün kullanılması ekonomik olabilir.

Yapılan çalışma sırasında hava koşulları iyi olduğundan koruyucu örtü kullanımına gerek kalmamıştır.



Şekil 2.4. Kazınmış asfalt depo sahası, İsfalt Habipler,2013

2.2. Bitümün Kimyasal Analizi

Organik temelli olan asfalt ve katranlar, yüksek moleküllü hidrokarbonlar olarak tanımlanabilir. Ayrıca genel olarak saf bitümlerin daha çok alifatik, katranların ise aromatik bünyeli oldukları da kabul edilmiştir.

Asfaltların kimyasal yapıları katranlara göre daha karmaşıktır ve daha az bilinmektedir. Ayrıca katranın aksine, rafine asfaltlarının kimyasal özellikleri özgün kaynağı olan ham petrolün özelliklerine çok sıkı bağlıdır. Asfaltik bitümler, temel olarak hidro-karbon bileşiklerinden oluşmuş olsalar da, bu hidro-karbonların molekül ağırlıkları ve kimyasal karakteristikleri bakımından birbirinden farklı gruplara ayrılabilir.

AC 50/70 bitüm ve geri dönüşümden elde edilen (recycle) asfaltın element analizleri TÜBİTAK Ankara Test ve Analiz Laboratuvarı (ATAL) tarafından Elementar Analysensysteme GmbH varioMICRO CHNS cihazı ile yapılmış ve Tablo 2.1'den de görüleceği gibi recycle bitüm numunesinin, kullanılmış numune olmasına rağmen AC 50/70 bitüm numunesiyle benzer kompozisyonda olduğu tespit edilmiştir.[19]

Tablo 2.1. Bitüm numunelerinin kimyasal kompozisyonu.[19]

Element	Kütle Yoğunluk (%)	
	AC 50/70 Bitüm Numunesi	Recycle Asphalt Bitüm Numunesi
Karbon	84,71	81,27
Hidrojen	9,663	9,417
Sülfür	3,390	3,497
Oksijen	-	-
Nitrojen	0,54	0,54

2.3. Asfaltın Yaşlanma Davranışı

Asfaltın geri dönüşümünde karşılaşılan en büyük problemlerden biri asfaltın yaşlanmasıdır. Organik moleküllerden oluşması nedeniyle asfalt çimentosu oksijenle reaksiyona girer. Bu reaksiyon oksidasyon olarak adlandırılır. Oksidasyon, asfalt moleküllerinin yapısını ve kompozisyonunu değiştirir, asfalt çimentosunun daha kırılkan olmasını sağlar ve yaşlanmadan kaynaklanan sertleşme sürecini başlatır. Sıcak iklim koşullarında hızlansa da, oksidasyon sertleşmesi asfalt üstyapılarda yavaş gelişen bir olaydır. Hatalı sıkıştırma işlemi uygulanmış üstyapılarda erken oksidasyon sertleşmeleri görülebilir. Böyle bir durumda yetersiz sıkıştırma, karışım içerisinde birbirleriyle bağlantılı olan yüksek oranda hava boşlukları kalmasına neden olur. Havanın karışım içine daha fazla nüfuz etmesiyle de daha yüksek oranda oksidasyon sertleşmesi meydana gelir.[29]

Uygulamada, asfalt kaplama yapıldıktan sonra önemli miktarda oksidasyon sertleşmesi meydana gelir. Sıcak karışım tesisinde asfalt, sıcak agregayla karıştırılır ve karışım bir süre yüksek sıcaklıkta kalır. Bu aşamada agrega etrafında bir film tabakası oluşturan asfaltta hızlı bir oksidasyon reaksiyonu ortaya çıkar. Bu durum “kısa süreli yaşlanma” olarak ifade edilir. Oksidasyon sertleşmesi su ve hava nedeniyle üstyapının ömrü boyunca devam eder. Bu durum da “uzun süreli yaşlanma” olarak ifade edilir. Daha sıcak iklimlerde ya da iklimin sıcak olduğu dönemlerde bu yaşlanma hızlanır.[29]

Sertleşmenin diğer şekilleri buharlaşma ve fiziksel katılaşmadır. Buharlaşma, karışımın hazırlanması ve serilmesi sırasında oluşur ve uçucu asfalt bileşenlerinin asfalttan ayrılması şeklinde olur. Fiziksel katılaşma ise, asfalt çimentosunun uzun süre düşük

sıcaklıklara maruz kalması ile ortaya çıkar. Fiziksel katılaşma daha çok 0°C'nin altındaki sıcaklıklarda meydana gelir.[30]

Eski asfalt kaplamalar yaşlanarak zamanla özelliklerini kaybetmekte ve karışım içindeki bitüm, servis ömrü sırasında kimyasal değişime uğramaktadır. Yaşlanan bitüm sertleşerek kırılgan hale gelmekte, ayrıca yumuşama noktası yükselmektedir. Yaşlanan bitümleri iyileştirmek ve yumuşama noktalarını düşürmek için asfalt karışımlarda gençleştiriciler kullanılmaktadır.[19]

Bu çalışmada asfalt gençleştiriciler kullanılmadan, geri dönüşüm asfaltın normal karışım içinde belirli oranlarda kullanılabilirliği incelenmiştir.

2.4. Geri Dönüşüm Asfalt Karışımlara Marshall Deneylerinin Uygulanması

Bu çalışmada %10, %25, %40 oranlarında geri dönüşüm malzemesi (RAP) kullanılarak ve geri dönüşüm malzemesi kullanılmadan binder asfalt kaplama karışımları üretilmiştir. Deneyler, her bir oran için üçer briket hazırlanarak yapılmıştır.

Öncelikle kazınmış olan asfalt kaplamanın bitüm oranı belirlenmiş ve gradasyonu tahlil edilmiştir. Çıkan bitüm oranına göre yeniden dizayn yapılmış ve dört farklı oranda karışım numuneleri üretilmiştir. Daha sonrasında üretilen bu numunelere Marshall deneyleri uygulandı ve elde edilen sonuçlar şartname değerleri ile karşılaştırıldı.

Geri kazanılmış asfalt kaplamanın bitümlü sıcak karışım üretiminde tekrar kullanımında kirlilik kontrolüne ve derecelemeye önem verildi, ayrıca agrega kalitesi, aşırı dolgu malzemesi ve asfalt bağlayıcı dikkatle incelendi.

Geri kazanılmış asfalt ile geri dönüştürülmüş asfalt karışım üretirken karışım dizaynlarında agrega ve bağlayıcı yüzdesi önemli kriterlerdendir ve kazınmış asfalt kaplama içindeki bu oranlar dikkate alınarak yeni karışıma ilave edilecek agrega ve bitüm miktarı tayin edildi.

Geri dönüştürülmüş karışımları değerlendirmek için yapılan testler geleneksel sıcak karışım testleri (Marshall stabilitesi, akma, laboratuvar yoğunluğu, boşluk, asfaltla dolu boşluk, gradasyon, bitüm yüzdesi gibi) ile aynıdır.

2.4.1. Kazınmış Asfalt Kaplama Karışımına Uygulanan Deneyler

Geri dönüşümlü asfalt malzemesi içeren asfalt kaplama karışımlarının dizaynı, genel olarak kullanılan Marshall metodunun yanında laboratuvar deneyleri de gerektirmektedir. Çalışmada Cebeci Bölgesi agregası ve Tüpraş 50/70 Bitümü kullanılmıştır.

Çalışmada ilk olarak, geri kazanılan asfalt kaplama malzemesinin kompozisyonu belirlenmiştir. Bu işlem aşağıdaki deneyleri kapsamaktadır.

- Kazınmış asfalt kaplamanın gradasyonu
- Bitüm içeriği

Geri kazanılmış asfalt kaplama kırma işlemine tabi tutulduktan sonra, temsili olarak numune alındı ve gradasyonu tayin edildi. (Tablo 2.2). Daha sonra Carbolite cihazıyla kazınmış asfalt kaplamanın kümülatif ağırlığa göre bitüm yüzdesi tespit edildi.

2.4.2. Kazınmış Asfalt Kaplamanın Gradasyon ve Bitüm Tayini

Tablo 2.2. Kazınmış asfalt kaplamanın elek analizi

Elek	No	3/4"	1/2"	3/8"	No:4	No:10	No:40	No:80	No:200
Boyutu	mm	19,1	12,7	9,52	4,76	2,00	0,42	0,18	0,075
Geçen	%	100	90,0	84,2	64,4	40,2	18,3	12,4	9,0

İlk Tartım:1100 gr

Son Tartım:1057,65 gr

$$\text{Bitüm Oranı} = (\text{Son Tartım}-\text{İlk Tartım}) / \text{İlk Tartım} * 100 \quad (2.1)$$

$$W_b = (1100-1057,5) / 1100 * 100$$

$W_b = 3,85$ olarak bulunmuştur.

Bu bilgiler, ilave agregaların miktarı ve gradasyonu ile gerek duyulan yeni asfalt çimentosu (bitüm) oranının saptanması için kullanılmıştır.

2.4.3. Plent Altındaki Kamyon Üzerinden Asfalt Karışım Numunelerin Alınması

İsfaltın Habipler Fabrikasında Batch Tipi Plentte üretimi yapılan sıcak asfalt, geri dönüşüm asfalt (RAP) karışım oranlarına göre (%10,%25,%40) kamyonlar üzerinden üçer numune alınarak kaplara dolduruldu.



Şekil 2.5. Plent altından karışım numunelerinin alınması ve kaplara doldurulması

2.4.4. Geri Dönüşüm Kaplama Karışımının Bitüm Miktarının Belirlenmesi

Deney, bitümlü karışımların bağlayıcı içeriğinin belirlenmesi için uygulanır. Karışım Carbolite adı verilen bir etüvün içinde yakılarak bitümü ayrılır. Numune, 110 °C sıcaklıkta harici bir terazide tartıldı ve numune ağırlığı gram cinsinden kaydedildi. Numune sepetleri sırasıyla ve herhangi bir hissedilir sıcaklık kaybı olmadan mandallı tavaya yerleştirildi. Numunenin, numune sepetlerinin ve mandallı tavanın kütlesi harici terazi üzerinde tartıldı. Fırında yakma işlemi 530 °C' de yapıldı. Terazi göstergesi, numune ağırlığının sabitlendiğini gösterene kadar testin devam etmesine izin verildi. Bu da yaklaşık olarak 90 dakika civarında bir süreye denk geldi. Ağırlık kaybı gram olarak iç teraziden kaydedildi. Daha sonra numunenin, numune sepetlerinin ve mandallı tavanın kütlesi harici terazi üzerinde tartıldı. Bitümlü karışımın içindeki bağlayıcı miktarı ilk ve son ağırlığın farkıyla bulundu.



Şekil 2.6. Carbolite cihazıyla karışımın bitüm oranının belirlenmesi

2.4.5. Geri Dönüşüm Kaplama Karışımının Gradasyonunun Belirlenmesi

Bitüm miktarı yakılarak belirlenen sıcak asfalt karışımı su ile yıkandı. Agregayı yıkama sırasında, ince danelerin yüzmemesi için, bir miktar, çok köpürme oluşturmayacak, sıvı bulaşık deterjanı kullanıldı. Su berraklaşana kadar yıkama işlemine devam edildi. Suyun sızdırılması esnasında malzemelerinin su ile birlikte kabın dışına taşma ihtimaline karşı su 0,074 mm lik elek üzerine döküldü. Böylelikle filler malzemesi su ile birlikte akıp giderek ilk tartım ve yıkandıktan sonraki tartım arasındaki fark ile filler miktarı hesaplanıp not edildi.



Şekil 2.7. Agregaların yıkanması

Yıkayıp temizlenen agrega karışımının suyu sızdırıldıktan sonra kuruması için etüve koyulup yarım saat ısıtıldı. Etüvden çıkarılan suyu kurutulmuş agregalar gradasyon için hazır hale getirildi.



Şekil 2.8. Yıkanan agregaların etüvde kurutulması

Agrega karışımı en büyük elek boyutu 1 inç (2,53 cm) olacak şekilde eleklerde teker teker elenerek, elek üstünde kalan miktarlar not edilip ağırlık oranları ve yüzdeleri bulunarak gradasyon işlemi tamamlandı.



Şekil 2.9. Agregalara elek analizi yapılması

2.4.6. Briketlerin Hazırlanması

Kalıp ve sıkıştırma tokmağı etüvde 135°C'ye kadar ısıtıldı. Hazırlanmış karışım numune kalıbına aktarıldı; 15 defa kenarı ve 10 defa ortası spatula yardımıyla şişlendi. Kalıp tutucusu yerine yerleştirildi. Üstüne ve altına filtre kağıdı veya uygun bir kağıtta hazırlanmış kağıt yerleştirildi. Sıkıştırma tokmağı 457 mm den serbest olarak düşürülerek 75 darbelik sıkıştırma yapıldı. [31]



Şekil 2.10. Marshall tokmağında briketlerin hazırlanması

Daha sonra numune ters çevrildi ve öbür yüzüne de aynı sıkıştırma yapılarak, asfalt karışımı briket haline getirildi. Böylelikle her bir oran için üçer briket hazırlanmış oldu. Yeterli stabiliteye erişmesi ve silindirik şeklin bozulmaması için, numuneler sıkıştırmadan hemen sonra kalıptan çıkarılmadı.



Şekil 2.11. Hazırlanan briketlerin soğumaya bırakılması

Briketler, numune çıkartma cihazıyla kalıplardan çıkartıldı ve bir gece laboratuvar sıcaklığında bekletildi.



Şekil 2.12. Briket numunelerinin kalıptan çıkartılarak laboratuvar ortamında bekletilmesi

Yükseklikleri, havadaki ve 25°C'deki suda tartımları alınarak, birim ağırlıkları bulundu.



Şekil 2.13. Briketlerin havada ve suda tartılması

2.4.7. Marshall Stabilite ve Akma Tayini

Stabilite ve akma değerlerinin bulunması için havada ve suda birim ağırlıkları ölçülen briketler, 60°C sıcaklıktaki suda 30 dakika bekletildi.



Şekil 2.14. Briket numunelerinin su banyosunda koşullandırılması

Daha sonra briket, Marshall Stabilite cihazına yerleştirilerek, stabilite ve akma değerleri ölçüldü. Yükleme 51 mm/dak'lık sabit bir deformasyon hızıyla, en büyük yük değerine erişinceye kadar devam edildi. En büyük yük değeri okunup not edildi. En büyük yüke erişildiği anda flowmetre yerinden çıkartıldı ve ölçüm saatinde okunan değer kaydedildi. Aynı cihazın ölçme saati vasıtasıyla numunelerin akma değerleri de tespit edildi. Numuneyi su banyosundan çıkarma, kırma kafasına yerleştirme, kırma kafasını yükleme aygıtına koyma, flowmetreyi sıfıra ayarlama, numunenin kırılması için en büyük yüke erişme işleminin tümü 30 saniye içinde bitirildi.



Şekil 2.15. Marshall stabilite cihazı

3. BULGULAR VE İRDELEME

3.1. Deney Sonuçlarının Gösterilmesi

Karayolları Binder Tabakası Şartnamesine göre karışıma % 10,%25,%40 oranlarında eski asfalt kaplama (kazınmış asfalt kaplama) ilave edilip dizayn yapılarak bu karışımların şartname değerlerine uygun olup olmadığı kontrol edildi.

Binder tabakası için hazırlanmış, geri dönüşüm asfalt karışıma yapılan bitüm tayini, elek analizi, yoğunluk analizi, Marshall Stabilite ve Akma deneylerinin sonuçları, karışım oranları, işyeri karışım formülü ve şartname limitleri, her bir karışım oranı için hazırlanan üçer brikete göre ayrı ayrı numaralandırılarak deney1, deney2, deney3 başlığı altında grafik ve tablolar halinde sunulmuştur.

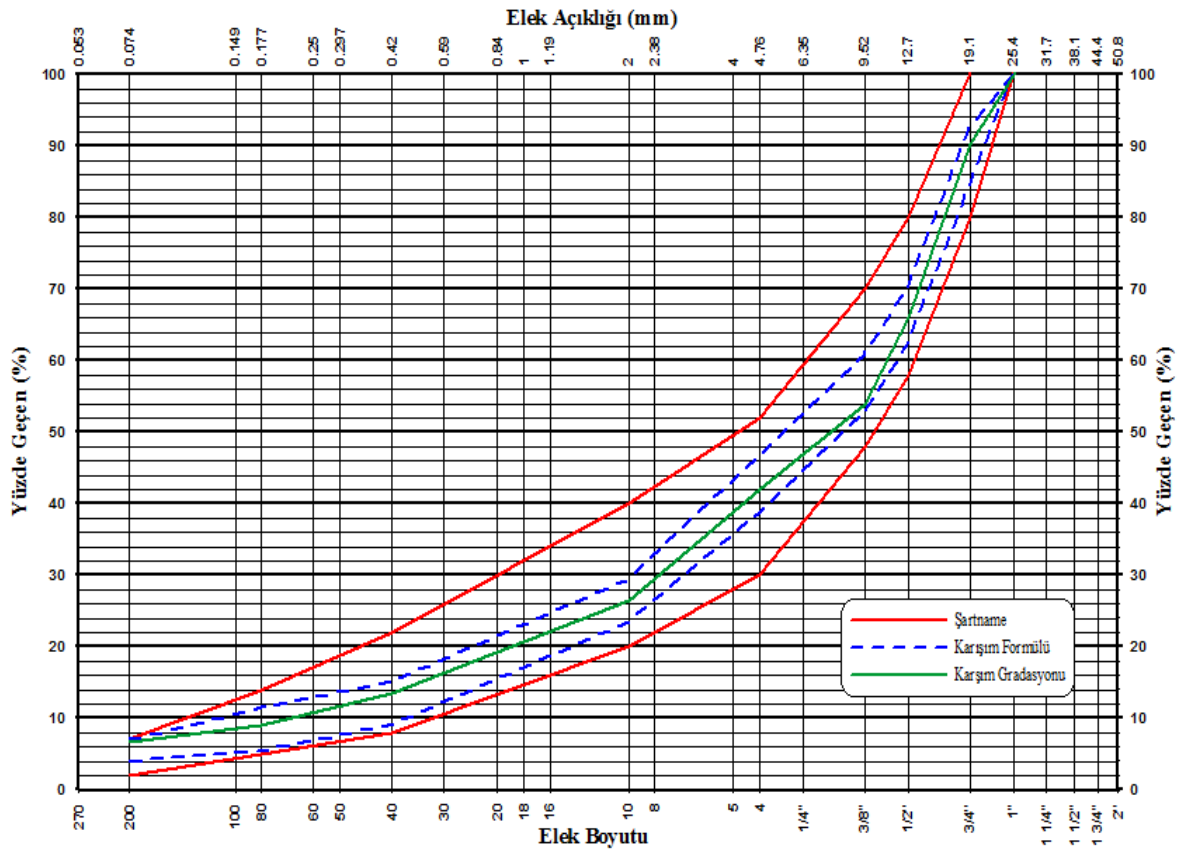
3.1.1. Katkısız Binder Tabakası Deney Sonuçları

Tablo 3.1. Katkısız binder tabakası dizayn sonuçları

Metot	Marshall
Numune Adı	Karışım Oranı (%)
Taş Tozu	40
1 No'lu Agreg	20
2 No'lu Agreg	20
3 No'lu Agreg	20
Kazınmış Asfalt	-

Tablo 3.2. Katkısız binder tabakası deney sonuçları

ELEK NO.	KÜMÜLATİF	% KALAN	%GEÇEN	DİZAYN	KARİŞİM FORMÜLÜ	ŞARTNAME	RAPOR NO	
1 1/2"							İP+FİL	
1"		0,0	100,0	100,0	100	100	İP+FİL+NUMUNE	1216,5
3/4"	112,3	9,6	90,4	88,8	85 - 93	80 - 100	SON TARTIM	1166,7
1/2"	396,3	34,0	66,0	66,5	63 - 71	58 - 80	HAVADAKİ AĞIRLIK	1198
3/8"	536,9	46,0	54,0	57,0	53 - 61	48 - 70	SUDAKİ AĞIRLIK	703,2
No4	675,6	57,9	42,1	42,9	39 - 47	30 - 52	KABANIN ÖZ.AĞ.	2,684
No10	856,9	73,4	26,6	26,5	24 - 30	20 - 40	İNCENİN ÖZ.AĞ.	2,629
No40	1010,0	86,6	13,4	12,2	9 - 15	8 - 22	FİLLERİN ÖZ.AĞ.	2,776
No80	1061,4	91,0	9,0	8,5	6 - 12	5 - 14	BİTÜMÜN ÖZ.AĞ.	1,023
No200	1089,7	93,4	6,6	6,0	4 - 7	2 - 7	EFEKTİF ÖZ.AĞ.	2,699
SICAKLIK		150-165	AGREGA	1166,7	SOĞUK SİLO BESLEME		ORTİM. BİT. % Sİ	4,25
AKMA	3,44	2 - 4	KABA%	57,9	Taş Tozu	% 40	PENETRASYON	50 - 70
STABİLİTE	1150	Min. 750	İNCE %	35,5	1 No Mıcr	% 20	BİT.% Sİ	4,27
BİR.YÜK.	63		FİLLER %	6,6	2 No Mıcr	% 20	PRATİK ÖZ.AĞ.	2,421
DÜZ.FAK.	1,01		WB	4,09	3 No Mıcr	% 20	MAX.TEOR.ÖZ.AĞ.	2,529
DÜZ.STAB.	1165		GSB	2,670			BOŞLUK % Sİ	4,28
			WMA	13,35			AS.DOLU BOŞ %Sİ	67,18



Şekil 3.1. Katkısız binder tabakası gradasyon grafiği

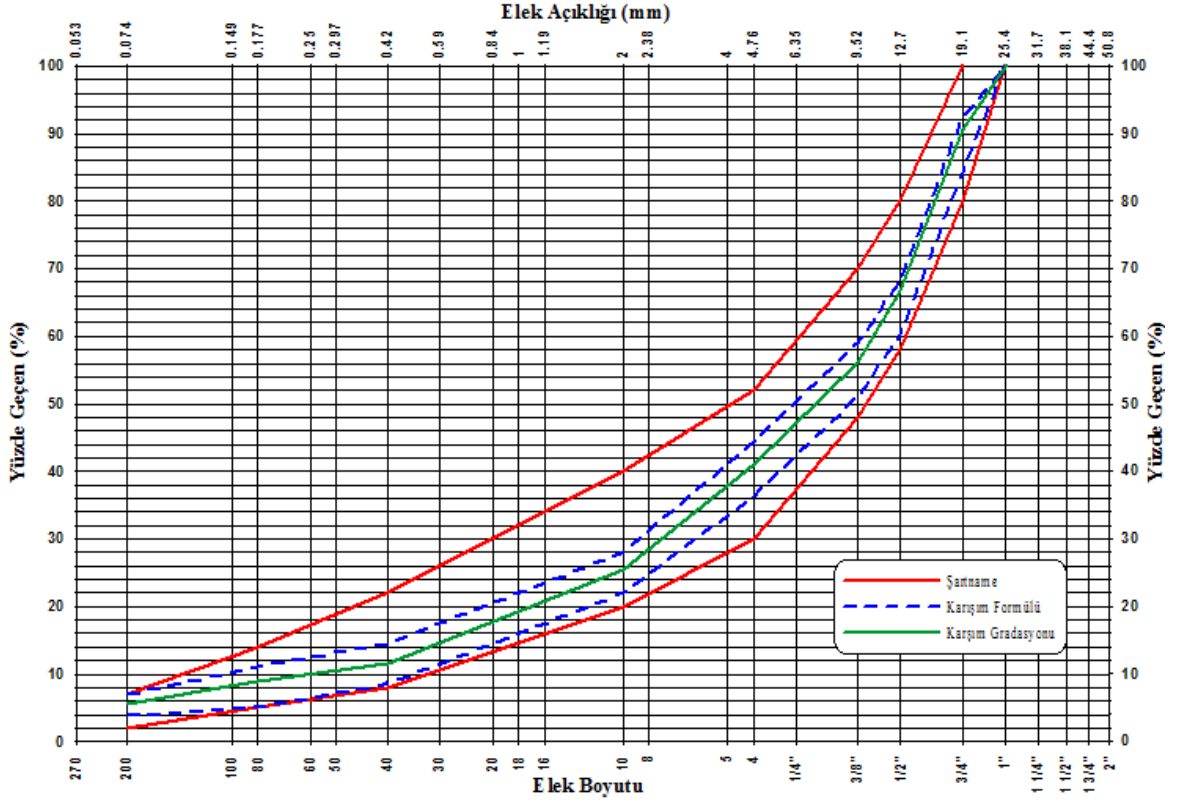
3.1.2. %10 RAP Katkılı Deney Sonuçları

Tablo 3.3. %10 Geri dönüşümlü binder tabakası dizayn sonuçları

Metot	Marshall
Numune Adı	Karışım Oranı (%)
Taş Tozu	20
1 No'lu Agrega	40
2 No'lu Agrega	20
3 No'lu Agrega	10
Kazınmış Asfalt	10

Tablo 3.4. %10 Geri dönüşümlü binder tabakası deney1 sonuçları

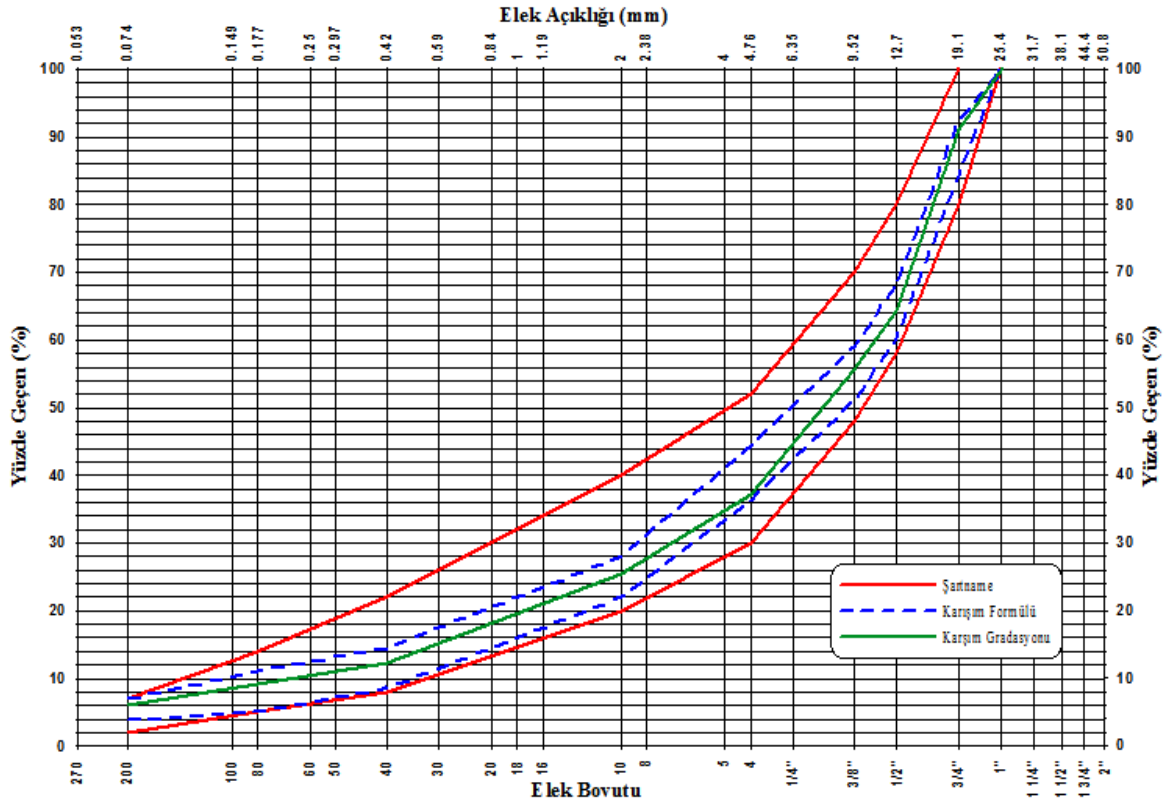
ELEK NO.	KÜMÜLATİF	% KALAN	%GEÇEN	DİZAYN	KARIŞIM FORMÜLÜ	ŞARTNAME	RAPOR NO	
1 1/2"							İP+FİL	0
1"	0,0	0,0	100,0	100,0	100	100	İP+FİL+NUMUNE	2050,4
3/4"	186,3	9,5	90,5	88,2	84 - 92	80 - 100	SON TARTIM	1963,6
1/2"	656,4	33,4	66,6	64,3	60 - 68	58 - 80	HAVADAKİ AĞIRLIK	1198,6
3/8"	863,2	44,0	56,0	55,1	51 - 59	48 - 70	SUDAKİ AĞIRLIK	698,3
No4	1156,5	58,9	41,1	40,3	36 - 44	30 - 52	KABANIN ÖZ.AĞ.	2,684
No10	1465,4	74,6	25,4	25,0	22 - 28	20 - 40	İNCENİN ÖZ.AĞ.	2,629
No40	1736,2	88,4	11,6	11,6	9 - 15	8 - 22	FİLLERİN ÖZ.AĞ.	2,776
No80	1789,3	91,1	8,9	8,1	5 - 11	5 - 14	BİTÜMÜN ÖZ.AĞ.	1,023
No200	1854,1	94,4	5,6	5,8	4 - 7	2 - 7	EFEKTİF ÖZ.AĞ.	2,701
SICAKLIK	165	150-165	AGREGA	1963,6	SOĞUK SİLO BESLEME		ORTİM. BİT. % Sİ	4,35
AKMA	3,10	2 - 4	KABA%	58,9	Taş Tozu	% 20	PENETRASYON	50 - 70
STABİLİTE	1095	MİN. 750	İNCE %	35,5	1 No Mıcr	% 40	BİT. % Sİ	4,42
BİR.YÜK.	63,3		FİLLER %	5,6	2 No Mıcr	% 20	PRATİK ÖZ.AĞ.	2,396
DÜZ.FAK.	1,01		WB	4,23	3 No Mıcr	% 10	MAX.TEOR.ÖZ.AĞ.	2,526
DÜZ.STAB.	1102		GSB	2,669	Kazınmış Asfalt	% 10	BOŞLUK % Sİ	5,14
			WMA	14,04			AS.DOLU BOŞ %Sİ	63,38



Şekil 3.2. %10 Geri dönüşümlü binder tabakası deney1 gradasyon grafiği

Tablo 3.5. %10 Geri dönüşümlü binder tabakası deney2 sonuçları

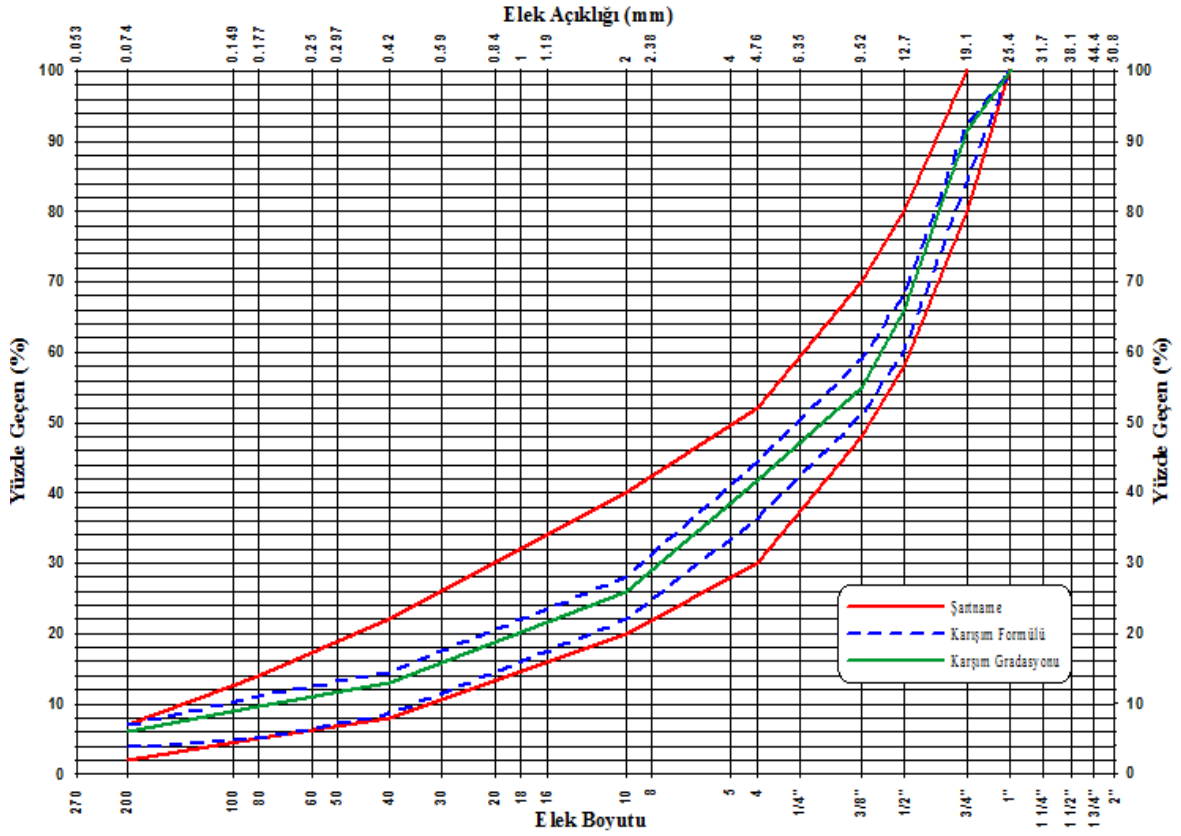
ELEK NO.	KÜMÜLATİF	% KALAN	%GEÇENDİZAYN	KARIŞIM FORMÜLÜ	ŞARTNAME	RAPOR NO	
1 1/2"						İP+FİL	0
1"	0,0	0,0	100,0	100,0	100	100	İP+FİL+NUMUNE 1660,8
3/4"	142,3	8,9	91,1	88,2	84 - 92	80 - 100	SON TARTIM 1597,3
1/2"	569,8	35,7	64,3	64,3	60 - 68	58 - 80	HAVADAKİ AĞIRLI 1161,1
3/8"	710,4	44,5	55,5	55,1	51 - 59	48 - 70	SUDAKİ AĞIRLI 684,2
No4	1002,1	62,7	37,3	40,3	36 - 44	30 - 52	KABANIN ÖZ.AĞ. 2,684
No10	1198,6	75,0	25,0	25,0	22 - 28	20 - 40	İNCENİN ÖZ.AĞ. 2,629
No40	1401,1	87,7	12,3	11,6	9 - 15	8 - 22	FİLLERİN ÖZ.AĞ. 2,776
No80	1450,1	90,8	9,2	8,1	5 - 11	5 - 14	BİTÜMÜN ÖZ.AĞ. 1,023
No200	1498,6	93,8	6,2	5,8	4 - 7	2 - 7	EFEKTİF ÖZ.AĞ. 2,701
SICAKLIK	168	150-165	AGREGA	1597,3	SOĞUK SİLO BESLEME	ORTİM. BİT. % Sİ	4,35
AKMA	3,00	2 - 4	KABA%	62,7	Taş Tozu	% 20	PENETRASYON 50 - 70
STABİLİTE	1120,2	MİN. 750	İNCE %	31,1	1 No Micr	% 40	BİT.% Sİ 3,98
BİR.YÜK.	61,1		FİLLER %	6,2	2 No Micr	% 20	PRATİK ÖZ.AĞ. 2,435
DÜZ.FAK.	1,06		WB	3,82	3 No Micr	% 10	MAX.TEOR.ÖZ.AĞ. 2,542
DÜZ.STAB.	1192		GSB	2,672	Kazınmış Asfalt	% 10	BOŞLUK % Sİ 4,21
			WMA	12,37			AS.DOLU BOŞ %Sİ 65,99



Şekil 3.3. %10 geri dönüşümlü binder tabakası deney2 gradasyon grafiği

Tablo 3.6. %10 Geri dönüşümlü binder tabakası deney3 sonuçları

ELEK NO.	KÜMÜLATİF % KALAN	%GEÇEN	DİZAYN	KARIŞIM FORMÜLÜ	ŞARTNAME	RAPOR NO	
1 1/2"						İP+FİL	0
1"	0,0	0,0	100,0	100,0	100	100	İP+FİL+NUMUNE 1943,6
3/4"	156,2	8,4	91,6	88,2	84 - 92	80 - 100	SON TARTIM 1870,4
1/2"	635,2	34,0	66,0	64,3	60 - 68	58 - 80	HAVADAKİ AĞIRLI 1168,6
3/8"	845,1	45,2	54,8	55,1	51 - 59	48 - 70	SUDAKİ AĞIRLI 686,2
No4	1089,6	58,3	41,7	40,3	36 - 44	30 - 52	KABANIN ÖZ.AĞ. 2,684
No10	1385,6	74,1	25,9	25,0	22 - 28	20 - 40	İNCENİN ÖZ.AĞ. 2,629
No40	1625,1	86,9	13,1	11,6	9 - 15	8 - 22	FİLLERİN ÖZ.AĞ. 2,776
No80	1689,7	90,3	9,7	8,1	5 - 11	5 - 14	BİTÜMÜN ÖZ.AĞ. 1,023
No200	1756,3	93,9	6,1	5,8	4 - 7	2 - 7	EFEKTİF ÖZ.AĞ. 2,701
SICAKLIK	167	150-165	AGREGA	1870,4	SOĞUK SİLO BESLEME		ORTİM BİT. % Sİ 4,35
AKMA	2,95	2 - 4	KABA%	58,3	Taş Tozu	% 20	PENETRASYON 50 - 70
STABİLİTE	1135	Min. 750	İNCE %	35,6	1 No Micr	% 40	BİT.% Sİ 3,91
BİR.YÜK.	62		FİLLER %	6,1	2 No Micr	% 20	PRATİK ÖZ.AĞ. 2,422
DÜZ.FAK.	1,04		WB	3,77	3 No Micr	% 10	MAX.TEOR.ÖZ.AĞ. 2,544
DÜZ.STAB.	1178		GSB	2,669	Kazınmış Asfalt	% 10	BOŞLUK % Sİ 4,77
			WMA	12,67			AS.DOLU BOŞ %Sİ 62,34



Şekil 3.4. %10 Geri dönüşümlü binder tabakası deney3 gradasyon grafiği

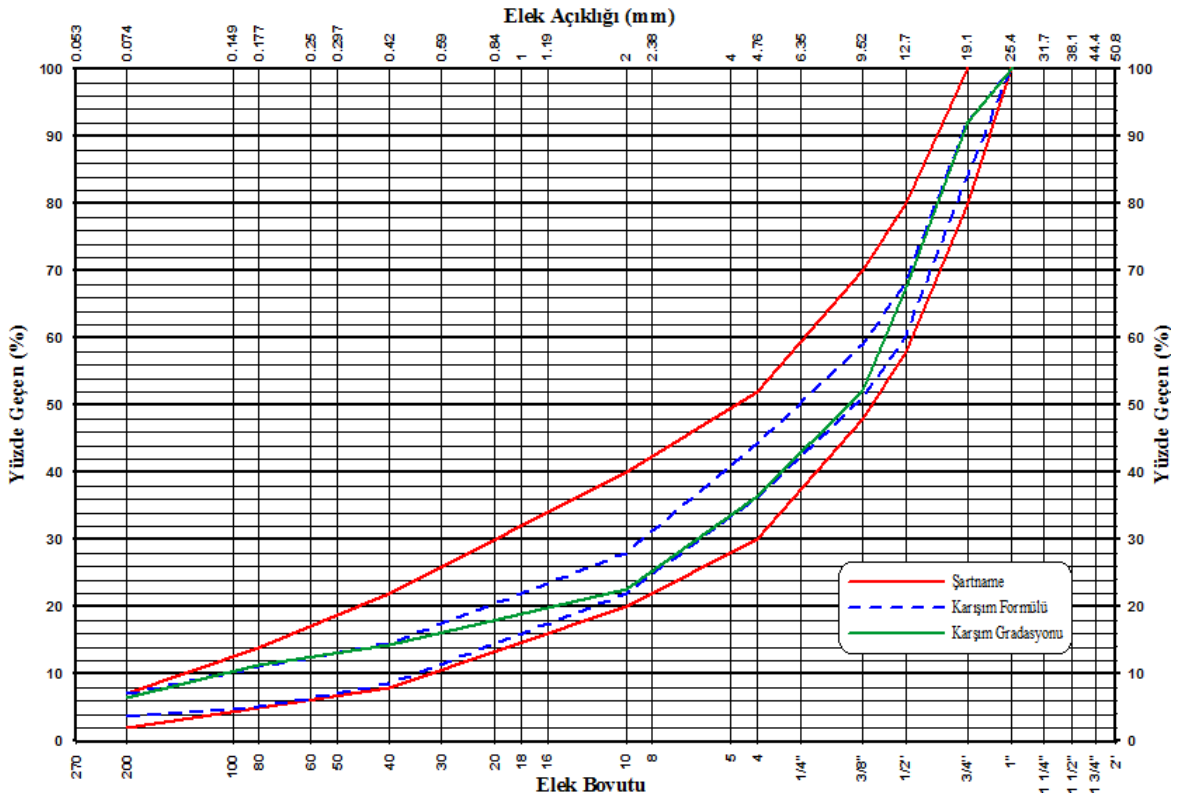
3.1.3. %25 RAP Katkılı Deney Sonuçları

Tablo 3.7. %25 Geri dönüşümlü binder tabakası karışım dizayn sonuçları

Metot	Marshall
Numune Adı	Karışım Oranı (%)
Taş Tozu	15
1 No'lu Agrega	30
2 No'lu Agrega	20
3 No'lu Agrega	10
Kazınmış Asfalt	25

Tablo 3.8. %25 Geri dönüşümlü binder tabakası deney1 sonuçları

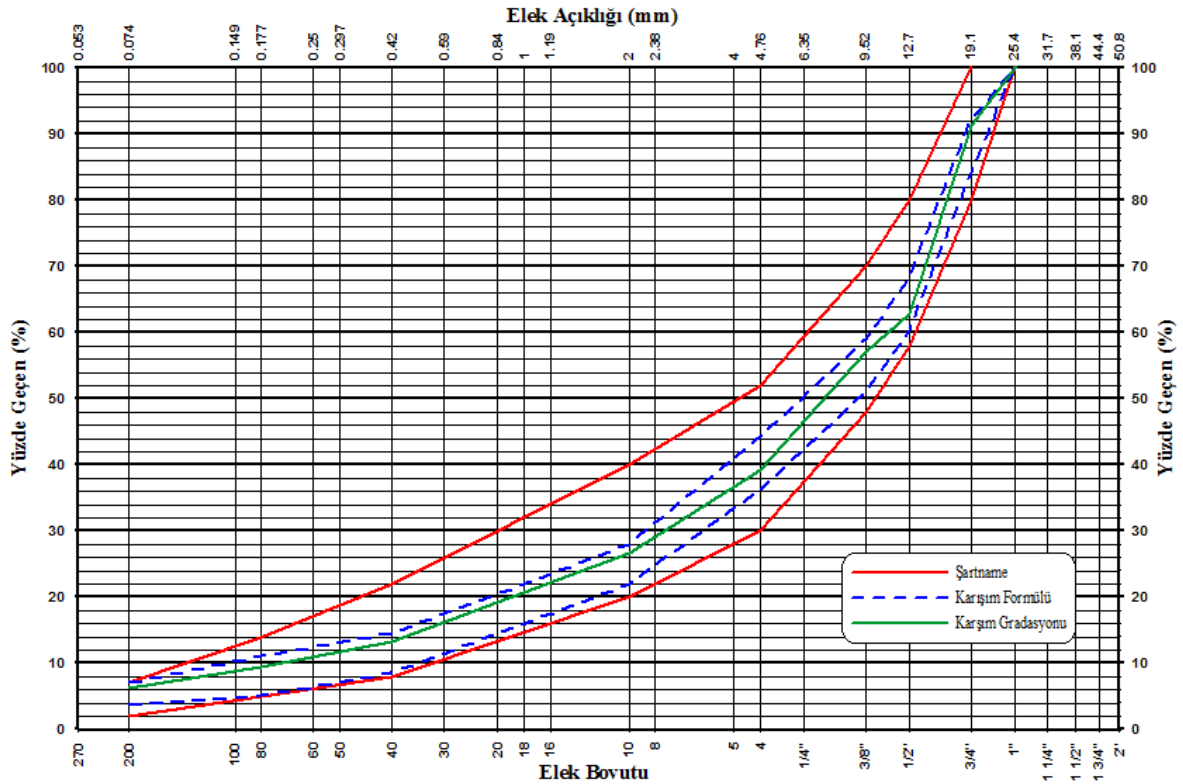
ELEK NO.	KÜMÜLATİF % KALAN	%GEÇEN	DİZAYN	KARIŞIM FORMÜLÜ	ŞARTNAME	RAPOR NO		
1 1/2"						İP+FİL	0	
1"	0,0	0,0	100,0	100,0	100	100	İP+FİL+NUMUNE	1460,6
3/4"	108,8	7,8	92,2	88,2	84 - 92	80 - 100	SON TARTIM	1402,3
1/2"	455,5	32,5	67,5	64,3	60 - 68	58 - 80	HAVADAKİ AĞIRLIK	1202,1
3/8"	669,8	47,8	52,2	55,1	51 - 59	48 - 70	SUDAKİ AĞIRLIK	705,1
No4	889,6	63,4	36,6	40,3	36 - 44	30 - 52	KABANIN ÖZ.AĞ.	2,684
No10	1085,5	77,4	22,6	25,0	22 - 28	20 - 40	İNCENİN ÖZ.AĞ.	2,629
No40	1202,7	85,8	14,2	11,6	9 - 15	8 - 22	FİLLERİN ÖZ.AĞ.	2,776
No80	1244,2	88,7	11,3	8,1	5 - 11	5 - 14	BİTÜMÜN ÖZ.AĞ.	1,023
No200	1310,4	93,4	6,6	5,8	4 - 7	2 - 7	EFEKTİF ÖZ.AĞ.	2,701
SICAKLIK	164	150-165	AGREGA	1402,3	SOĞUK SİLO BESLEME		ORTİM. BİT. % Sİ	4,35
AKMA	2,95	2 - 4	KABA%	63,4	Taş Tozu	% 15	PENETRASYON	50 - 70
STABİLİTE	1095	Min. 750	İNCE %	30,0	1 No Mıcr	% 30	BİT.% Sİ	4,16
BİR.YÜK.	62,2		FİLLER %	6,6	2 No Mıcr	% 20	PRATİK ÖZ.AĞ.	2,419
DÜZ.FAK.	1,03		WB	3,99	3 No Mıcr	% 10	MAX.TEOR.ÖZ.AĞ.	2,535
DÜZ.STAB.	1131		GSB	2,673	Kazımsız Asfalt	% 25	BOŞLUK % Sİ	4,59
			WMA	13,13			AS.DOLU BOŞ %Sİ	65,04



Şekil 3.5. %25 Geri dönüşümlü binder tabakası deney1 gradasyon grafiği

Tablo 3.9. %25 Geri dönüşümlü binder tabakası deney2 sonuçları

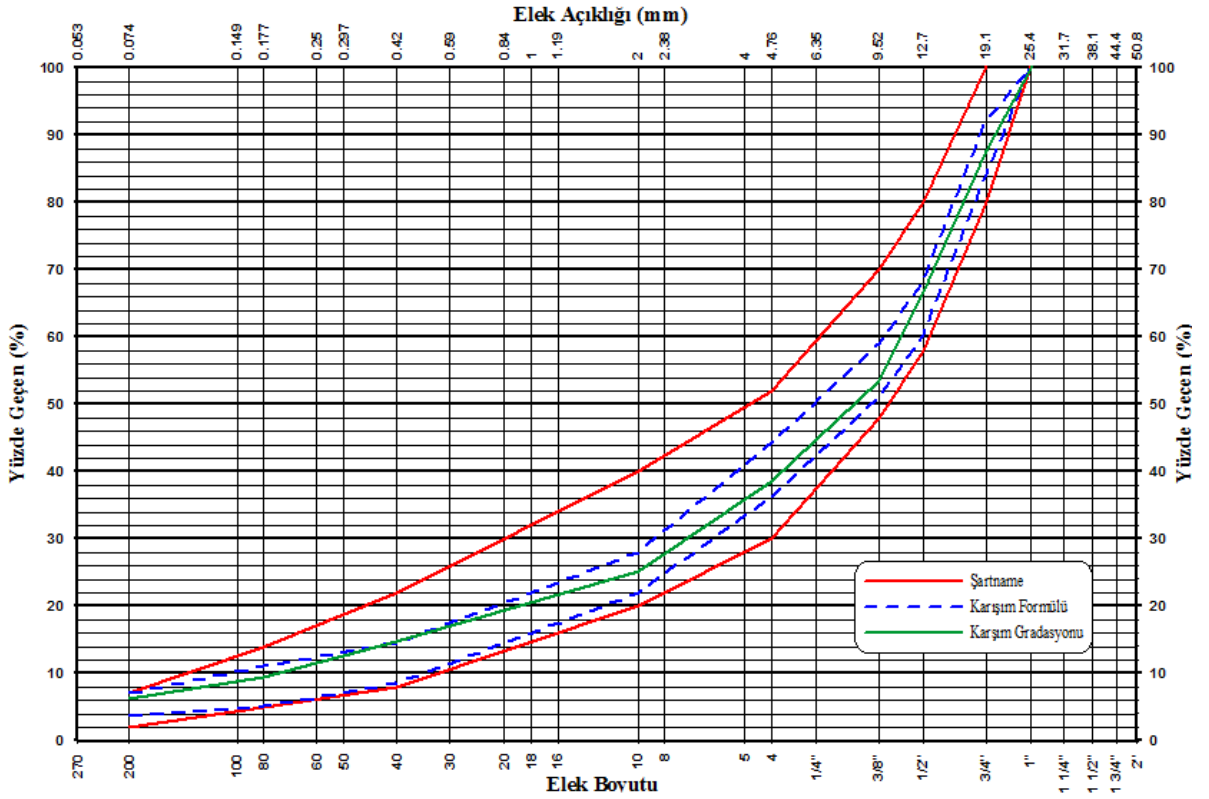
ELEK NO.	KÜMÜLATİF % KALAN	%GEÇEN	DİZAYN	KARIŞIM FORMÜLÜ	ŞARTNAME	RAPOR NO		
1 1/2"						İP+FİL	0	
1"	0,0	0,0	100,0	100,0	100	100	İP+FİL+NUMUNE	1464,3
3/4"	120,1	8,6	91,4	88,2	84 - 92	80 - 100	SON TARTIM	1400,5
1/2"	520,2	37,1	62,9	64,3	60 - 68	58 - 80	HAVADAKİ AĞIRLIK	1203,4
3/8"	601,3	42,9	57,1	55,1	51 - 59	48 - 70	SUDAKİ AĞIRLIK	701,6
No4	852,0	60,8	39,2	40,3	36 - 44	30 - 52	KABANIN ÖZ.AĞ.	2,684
No10	1025,4	73,2	26,8	25,0	22 - 28	20 - 40	İNCENİN ÖZ.AĞ.	2,629
No40	1215,8	86,8	13,2	11,6	9 - 15	8 - 22	FİLLERİN ÖZ.AĞ.	2,776
No80	1268,4	90,6	9,4	8,1	5 - 11	5 - 14	BİTÜMÜN ÖZ.AĞ.	1,023
No200	1314,2	93,8	6,2	5,8	4 - 7	2 - 7	EFEKTİF ÖZ.AĞ.	2,701
SICAKLIK	169	150-165	AGREGA	1400,5	SOĞUK SİLO BESLEME	ORTİM BİT. % Sİ	4,35	
AKMA	3,10	2 - 4	KABA%	60,8	Taş Tozu	% 15	PENETRASYON	50 - 70
STABİLİTE	1100	Min. 750	İNCE %	33,0	1 No Mıcr	% 30	BİT.% Sİ	4,56
BİR.YÜK.	62,1		FİLLER %	6,2	2 No Mıcr	% 20	PRATİK ÖZ.AĞ.	2,398
DÜZ.FAK.	1,04		WB	4,36	3 No Mıcr	% 10	MAX.TEOR.ÖZ.AĞ.	2,521
DÜZ.STAB.	1140		GSB	2,671	Kazınmış Asfalt	% 25	BOŞLUK % Sİ	4,87
			WMA	14,13			AS.DOLU BOŞ %Sİ	65,55



Şekil 3.6. %25 Geri dönüşümlü binder tabakası deney2 gradasyon grafiği

Tablo 3.10. %25 Geri dönüşümlü binder tabakası deney3 sonuçları

ELEK NO.	KÜMÜLATİF % KALAN	%GEÇEN	DİZAYN	KARIŞIM FORMÜLÜ	ŞARTNAME	RAPOR NO	
1 1/2"							İP+FİL
1"	0,0	0,0	100,0	100,0	100	100	İP+FİL+NUMUNE
3/4"	132,1	12,4	87,6	88,2	84 - 92	80 - 100	SON TARTIM
1/2"	356,2	33,3	66,7	64,3	60 - 68	58 - 80	HAVADAKİ AĞIRLIK
3/8"	496,3	46,4	53,6	55,1	51 - 59	48 - 70	SUDAKİ AĞIRLIK
No4	656,2	61,4	38,6	40,3	36 - 44	30 - 52	KABANIN ÖZ.AĞ.
No10	800,0	74,9	25,1	25,0	22 - 28	20 - 40	İNCENİN ÖZ.AĞ.
No40	910,6	85,2	14,8	11,6	9 - 15	8 - 22	FİLLERİN ÖZ.AĞ.
No80	968,1	90,6	9,4	8,1	5 - 11	5 - 14	BİTÜMÜN ÖZ.AĞ.
No200	1002,6	93,8	6,2	5,8	4 - 7	2 - 7	EFEKTİF ÖZ.AĞ.
SICAKLIK	170	150-165	AGREGA	1068,5	SOĞUK SİLO BESLEME		ORTİM. BİT. % Sİ
AKMA	3,06	2 - 4	KABA%	61,4	Taş Tozu	% 15	PENETRASYON
STABİLİTE	1098	Min. 750	İNCE %	32,4	1 No Micr	% 30	BİT. % Sİ
BİR.YÜK.	61,1		FİLLER %	6,2	2 No Micr	% 20	PRATİK ÖZ.AĞ.
DÜZ.FAK.	1,06		WB	4,56	3 No Micr	% 10	MAX.TEOR.ÖZ.AĞ.
DÜZ.STAB.	1168		GSB	2,671	Kazınmış Asfalt	% 25	BOŞLUK % Sİ
			WMA	13,23			AS.DOLU BOŞ %Sİ



Şekil 3.7. %25 Geri dönüşümlü binder tabakası deney3 gradasyon grafiği

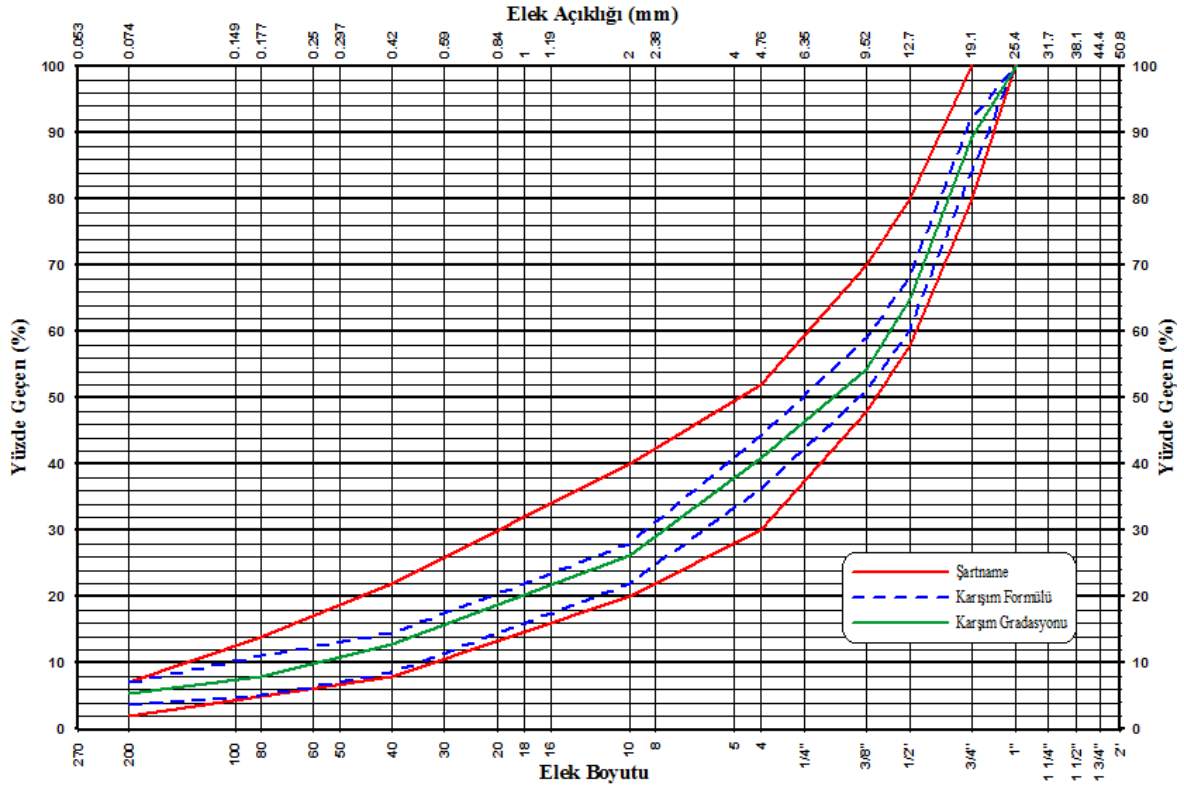
3.1.4. % 40 RAP Katkılı Deney Sonuçları

Tablo 3.11. %40 Geri dönüşümlü binder tabakası karışım dizayn sonuçları

Metot	Marshall
Numune Adı	Karışım Oranı (%)
Taş Tozu	10
1 No'lu Agregası	20
2 No'lu Agregası	20
3 No'lu Agregası	10
Kazınmış Asfalt	40

Tablo 3.12. %40 Geri dönüşümlü binder tabakası deney1 sonuçları

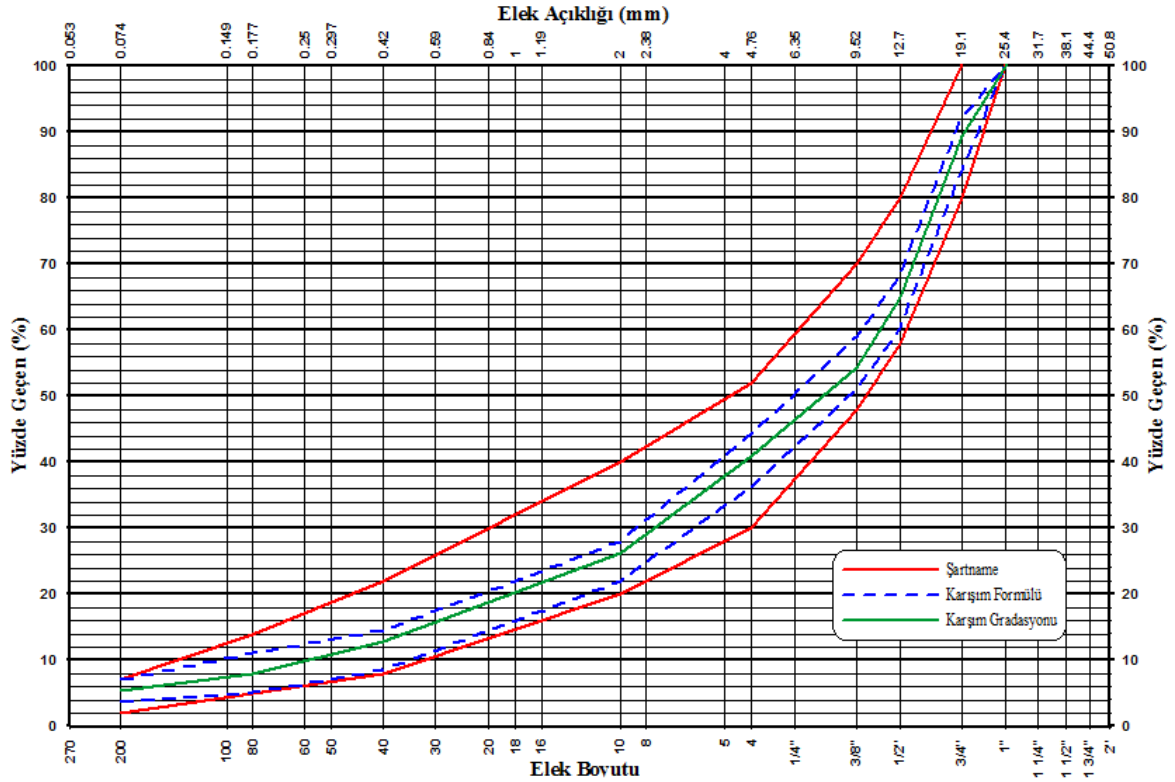
ELEK NO.	KÜMÜLATİF % KALAN	%GEÇEN	DİZAYN	KARIŞIM FORMÜLÜ	ŞARTNAME	RAPOR NO	
1 1/2"						İP+FİL	0
1"	0,0	0,0	100,0	100,0	100	100	İP+FİL+NUMUNE 1450
3/4"	146,3	10,5	89,5	88,2	84 - 92	80 - 100	SON TARTIM 1390
1/2"	486,4	35,0	65,0	64,3	60 - 68	58 - 80	HAVADAKİ AĞIRLIK 1196,6
3/8"	636,2	45,8	54,2	55,1	51 - 59	48 - 70	SUDAKİ AĞIRLIK 698,3
No4	821,3	59,1	40,9	40,3	36 - 44	30 - 52	KABANIN ÖZ.AĞ. 2,684
No10	1025,2	73,8	26,2	25,0	22 - 28	20 - 40	İNCENİN ÖZ.AĞ. 2,629
No40	1212,3	87,2	12,8	11,6	9 - 15	8 - 22	FİLLERİN ÖZ.AĞ. 2,776
No80	1278,6	92,0	8,0	8,1	5 - 11	5 - 14	BİTÜMÜN ÖZ.AĞ. 1,023
No200	1313,6	94,5	5,5	5,8	4 - 7	2 - 7	EFEKTİF ÖZ.AĞ. 2,701
SICAKLIK	164	150-165	AGREGA	1390	SOĞUK SİLO BESLEME	ORTİM. BİT. % Sİ	4,35
AKMA	3,12	2 - 4	KABA%	59,1	Taş Tozu	% 10	PENETRASYON 50 - 70
STABİLİTE	1065	Min. 750	İNCE %	35,4	1 No Micr	% 20	BİT.% Sİ 4,32
BİR.YÜK.	63,3		FİLLER %	5,5	2 No Micr	% 20	PRATİK ÖZ.AĞ. 2,401
DÜZ.FAK.	1,01		WB	4,14	3 No Micr	% 10	MAX.TEOR.ÖZ.AĞ. 2,529
DÜZ.STAB.	1071		GSB	2,669	Kazınmış Asfalt	% 40	BOŞLUK % Sİ 5,06
			WMA	13,75			AS.DOLU BOŞ %Sİ 63,22



Şekil 3.8. %40 Geri dönüşümlü binder tabakası deney1 gradasyon grafiği

Tablo 3.13. %40 Geri dönüşümlü binder tabakası deney2 sonuçları

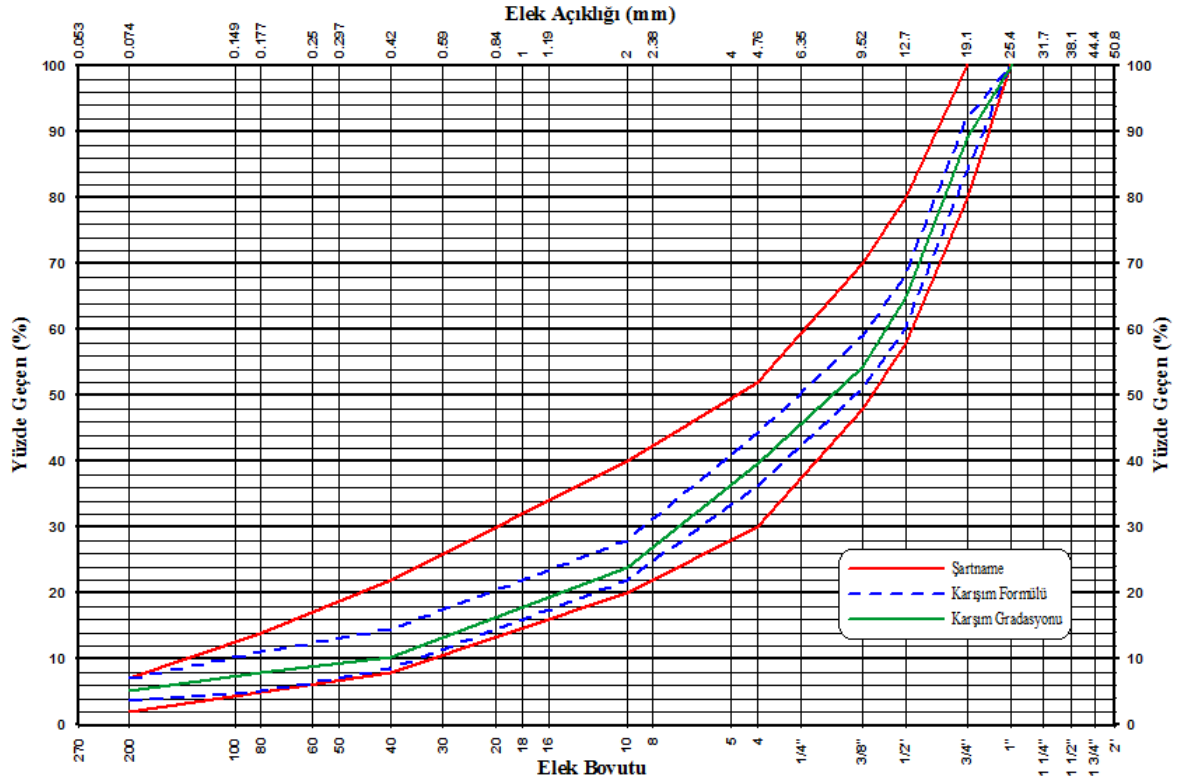
ELEK NO.	KÜMÜLATİF % KALAN	% GEÇEN	DİZAYN	KARIŞIM FORMÜLÜ	ŞARTNAME	RAPOR NO	
1 1/2"						İP+FİL	0
1"	0,0	0,0	100,0	100,0	100	100	İP+FİL+NUMUNE 1456,2
3/4"	156,9	11,2	88,8	88,2	84 - 92	80 - 100	SON TARTIM 1398,5
1/2"	496,2	35,5	64,5	64,3	60 - 68	58 - 80	HAVADAKİ AĞIRLIK 1198,3
3/8"	626,3	44,8	55,2	55,1	51 - 59	48 - 70	SUDAKİ AĞIRLIK 700,6
No4	832,4	59,5	40,5	40,3	36 - 44	30 - 52	KABANIN ÖZ.AĞ. 2,684
No10	1046,2	74,8	25,2	25,0	22 - 28	20 - 40	İNCENİN ÖZ.AĞ. 2,629
No40	1240,6	88,7	11,3	11,6	9 - 15	8 - 22	FİLLERİN ÖZ.AĞ. 2,776
No80	1278,4	91,4	8,6	8,1	5 - 11	5 - 14	BİTÜMÜN ÖZ.AĞ. 1,023
No200	1323,1	94,6	5,4	5,8	4 - 7	2 - 7	EFEKTİF ÖZ.AĞ. 2,701
SICAKLIK	158	150-165	AGREGA	1398,5	SOĞUK SİLO BESLEME	ORTİM. BİT. % Sİ	4,35
AKMA	3,14	2 - 4	KABA%	59,5	Taş Tozu	% 10	PENETRASYON 50 - 70
STABİLİTE	1069	Min. 750	İNCE %	35,1	1 No Mıdır	% 20	BİT.% Sİ 4,13
BİR.YÜK.	62,2		FİLLER %	5,4	2 No Mıdır	% 20	PRATİK ÖZ.AĞ. 2,408
DÜZ.FAK.	1,03		WB	3,96	3 No Mıdır	% 10	MAX.TEOR.ÖZ.AĞ. 2,536
DÜZ.STAB.	1104		GSB	2,669	Kazınmış Asfalt	% 40	BOŞLUK % Sİ 5,07
			WMA	13,37			AS.DOLU BOŞ %Sİ 62,11



Şekil 3.9. %40 Geri dönüşümlü binder tabakası deney2 gradasyon grafiği

Tablo 3.14. %40 Geri dönüşümlü binder tabakası deney3 sonuçları

ELEK NO.	KÜMÜLATİF % KALAN	%GEÇEN	DİZAYN	KARIŞIM FORMÜLÜ	ŞARTNAME	RAPOR NO	
1 1/2"						İP+FİL	0
1"	0,0	0,0	100,0	100,0	100	100	İP+FİL+NUMUNE 1605,1
3/4"	166,1	10,8	89,2	88,2	84 - 92	80 - 100	SON TARTIM 1534,8
1/2"	536,2	34,9	65,1	64,3	60 - 68	58 - 80	HAVADAKİ AĞIRLIK 1196,4
3/8"	700,3	45,6	54,4	55,1	51 - 59	48 - 70	SUDAKİ AĞIRLIK 698,3
No4	926,2	60,3	39,7	40,3	36 - 44	30 - 52	KABANIN ÖZ.AĞ. 2,684
No10	1166,3	76,0	24,0	25,0	22 - 28	20 - 40	İNCENİN ÖZ.AĞ. 2,629
No40	1376,4	89,7	10,3	11,6	9 - 15	8 - 22	FİLLERİN ÖZ.AĞ. 2,776
No80	1412,3	92,0	8,0	8,1	5 - 11	5 - 14	BİTÜMÜN ÖZ.AĞ. 1,023
No200	1456,6	94,9	5,1	5,8	4 - 7	2 - 7	EFEKTİF ÖZ.AĞ. 2,701
SICAKLIK	156	150-165	AGREGA	1534,8	SOĞUK SİLO BESLEME		ORTİM BİT. % Sİ 4,35
AKMA	3,10	2 - 4	KABA%	60,3	Taş Tozu	% 10	PENETRASYON 50 - 70
STABİLİTE	1045	Min. 750	İNCE %	34,6	1 No Micr	% 20	BİT.% Sİ 4,58
BİR.YÜK.	63,3		FİLLER %	5,1	2 No Micr	% 20	PRATİK ÖZ.AĞ. 2,402
DÜZ.FAK.	1,01		WB	4,38	3 No Micr	% 10	MAX.TEOR.ÖZ.AĞ. 2,520
DÜZ.STAB.	1051		GSB	2,669	Kazınmış Asfalt	% 40	BOŞLUK % Sİ 4,68
			WMA	13,95			AS.DOLU BOŞ %Sİ 66,43

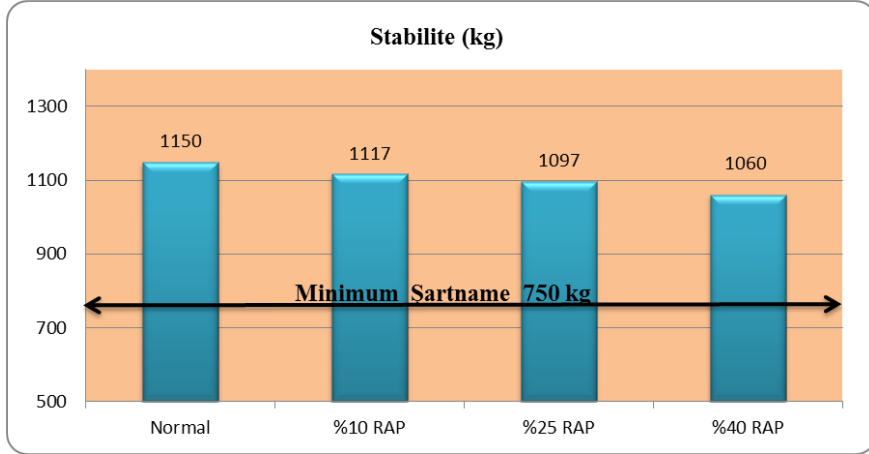


Şekil 3.10. % 40 Geri dönüşümlü binder tabakası deney3 gradasyon grafiği

Deneysel çalışma sonuçları ile şartname değerleri karşılaştırmalı olarak Tablo 3.15'te verilmiştir.

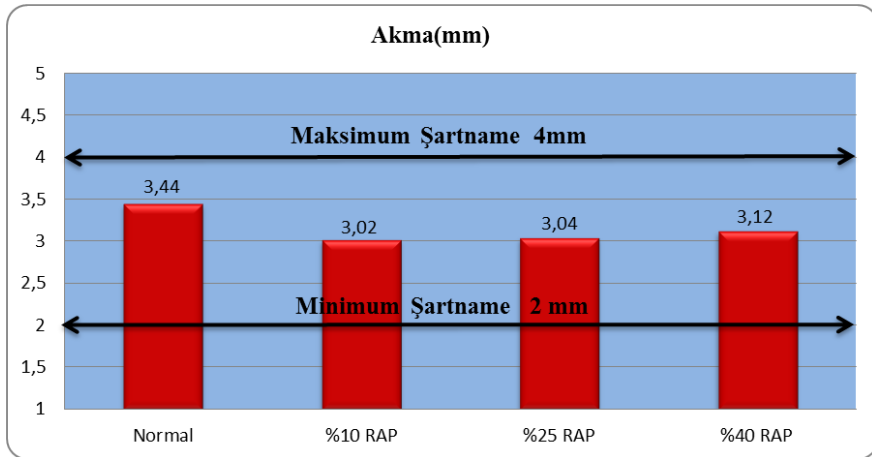
Tablo 3.15.Yapılan deneysel çalışma sonuçları ve şartname değerlerinin karşılaştırılması

Özellikler	Binder Tabakası				
	Deney Sonuçları				Şartname Değerleri
	Katkısız (Normal)	%10 RAP	%25 RAP	%40 RAP	
Bitüm %'si	4,27	4,1	4,49	4,34	3,5 – 6,5
Birim Ağırlık (gr/cm ³)	2,421	2,418	2,415	2,404	-
Boşluk %'si	4,28	4,71	4,28	4,94	4 – 6
Asfaltla Dolu Boşluk %'si	67,18	63,9	68,38	63,92	60 – 75
Stabilite (kg)	1150	1117	1097	1060	Min. 750
Akma (mm)	3,44	3,02	3,04	3,12	2 – 4
Agregalar Arası Boşluk %'si (VMA)	13,35	13,03	13,5	13,69	Min. 13
Kaba Mıcırın Özgül Ağ. (gr/cm ³)	2,684	2,684	2,684	2,684	-
İnce Mıcırın Özgül Ağ. (gr/cm ³)	2,629	2,629	2,629	2,629	-
Fillerin Özgül Ağ. (gr/cm ³)	2,776	2,776	2,776	2,776	-
Agrega Efektif Özgül Ağ. (gr/cm ³)	2,699	2,699	2,699	2,699	-
Bitümün Özgül Ağırlığı (gr/cm ³)	1,023	1,023	1,023	1,023	-
Maksimum Teorik Özgül Ağırlık	2,529	2,537	2,523	2,528	-
Tokmak Sayısı	75	75	75	75	75
Tokmaktama Isısı (°C)	135	135	135	135	-



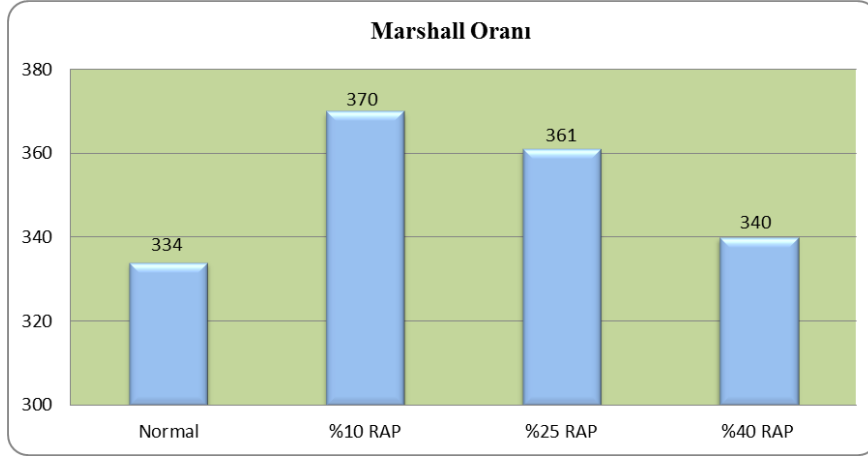
Şekil 3.11. Stabilite değerlerinin karşılaştırılması

Stabilite değerinin KTŞ'ne göre binder tabakası için minimum 750 kg olması gerekmektedir. Şekil 3.11 den de görüleceği üzere tüm numuneler için stabilite kriteri sağlanmakla beraber katkı miktarının artmasıyla stabilite değerinin azaldığı tespit edilmiş olup stabilitelere bu azalmanın karışımlardaki yaşlanmış bitüm oranının artmasından kaynaklandığı sonucuna varılmıştır.

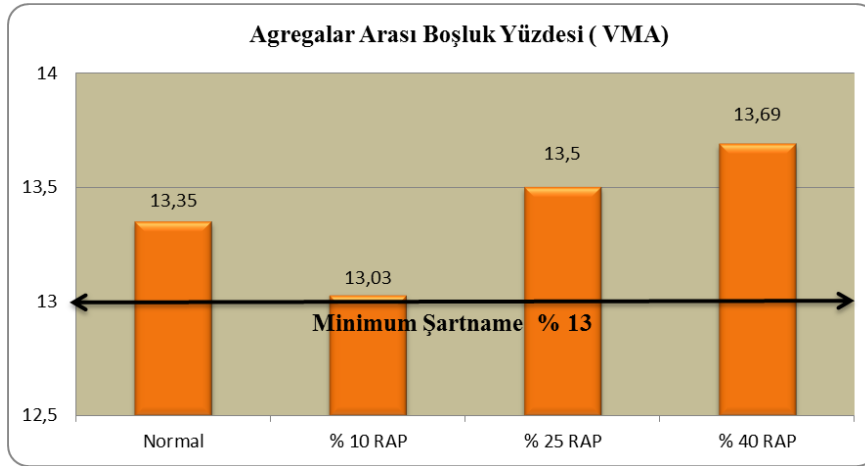


Şekil 3.12. Akma değerlerinin karşılaştırılması

Akma değerlerinde katkısız karışıma göre azalma olmakla birlikte geri dönüşüm katkı oranlarına bağlı olarak hafif bir artış olduğu Şekil 3.12 de görülmektedir. Bu farklılıkların şartname sınırları içinde kaldığı, uygulamada çevre ve iklim koşullarına maruz kalarak yaşlanmış asfalt kaplamadan elde edilen karışımlarda bu şekilde bir sonucun beklendiği gibi olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

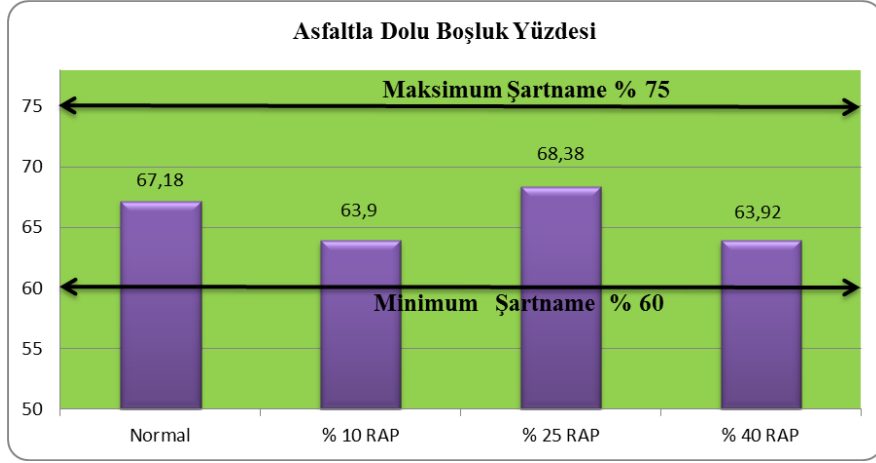


Şekil 3.13. Marshall oranlarının karşılaştırılması



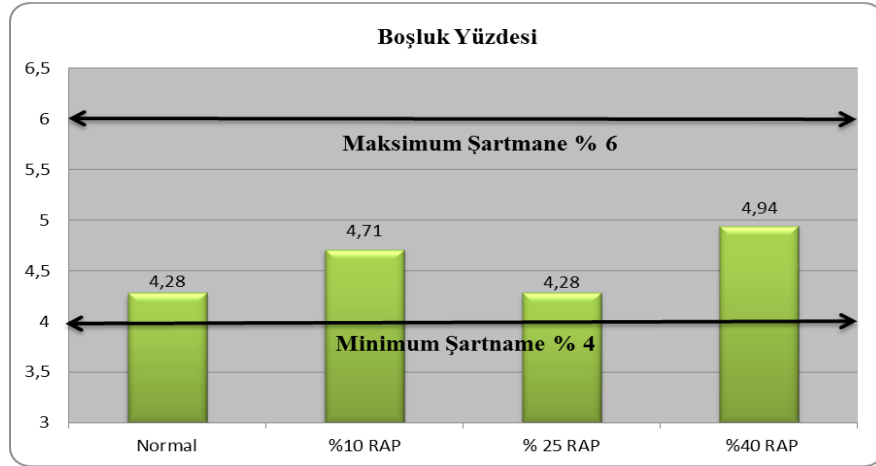
Şekil 3.14. Agregalar arası boşluk yüzdesinin karşılaştırılması (VMA)

Agregalar arası boşluk yüzdesinin KTS'ne göre binder tabakası için minimum %13 olması gerekmektedir. Sadece %10 geri dönüşümlü karışım için bu değer in sınır değere yakın çıktığı Şekil 3.14. te görülmektedir.



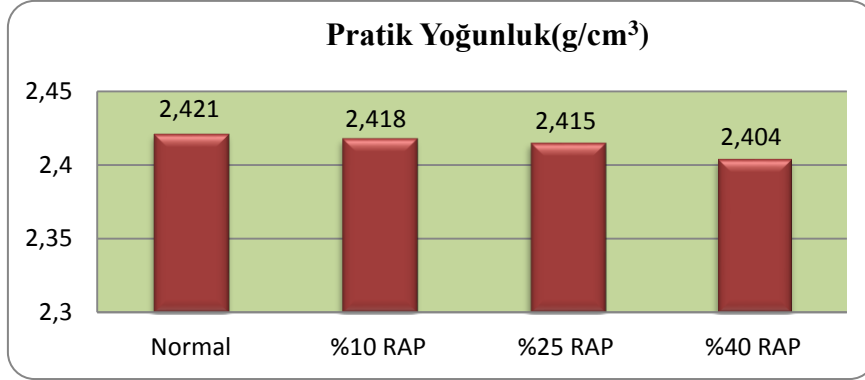
Şekil 3.15. Asfaltla dolu boşluk yüzdelерinin karşılaştırılması

Asfaltla dolu boşluk yüzdesinin KTS'ne göre binder tabakası için minimum % 60-75 aralığında olması gerekmektedir. Tüm karışımlar için şartname kriterlerinin sağlandığı Şekil 3.15. te görülmektedir.



Şekil 3.16. Boşluk yüzdelерinin karşılaştırılması

Boşluk miktarının karışıma katılan geri dönüşüm katkı oranındaki artışla birlikte artmasının beklenen bir sonuç olduğu; bunun da şartname kriterleri ve karışımın fiziksel özellikleri bakımından bir sorun teşkil etmediği görülmüştür.



Şekil 3.17. Pratik yoğunlukların karşılaştırılması

3.2. Asfalt Karışımın Finişerle Serilmesi ve Sıkışma Yüzdesi Tespiti

İsfalt'ın Habipler Fabrikasında üretimi yapılan karışımlar önceden belirlenen ve freze ile kazısı yapılan yola finişerle serilip silindirlerle sıkıştırıldı.



Şekil 3.18. Fabrikada üretilen karışımın yola serilmesi

Yola serilip sıkıştırılmış asfalt tabakasının sıkışma yüzdesini tespit etmek için karot numuneler alınarak deneyler yapıldı. Ayrıca bu numunelerin stabilite ve akma değerleri belirlenip laboratuvarında hazırlanan briketlerle karşılaştırması yapıldı.



Şekil 3.19. Karot kesimi.[5]

- Öncelikle yoldan karot numuneleri kesildi,
- Kesilen karot numuneleri, her yol için ayrı ayrı poşetlere konulup etiketlendirildikten sonra laboratuvara getirildi,
- Karot numuneleri kuruduktan sonra, numaralandırılıp keski, çekiç ve tel fırça kullanılarak temizlendi,
- Aşağıdaki hesaplama yöntemi ile havada ve sudaki ağırlıkları alınıp, dizayn yoğunluğu baz alınarak sıkışma yüzdeleri hesaplandı.

Hesaplama:

A: Havadaki ağırlık (gr)

B: Sudaki ağırlık (gr)

C: Doygun yüzey ağırlığı (gr)

$D_{p_{yol}}$: Pratik yoğunluk yol (gr/cm^3)

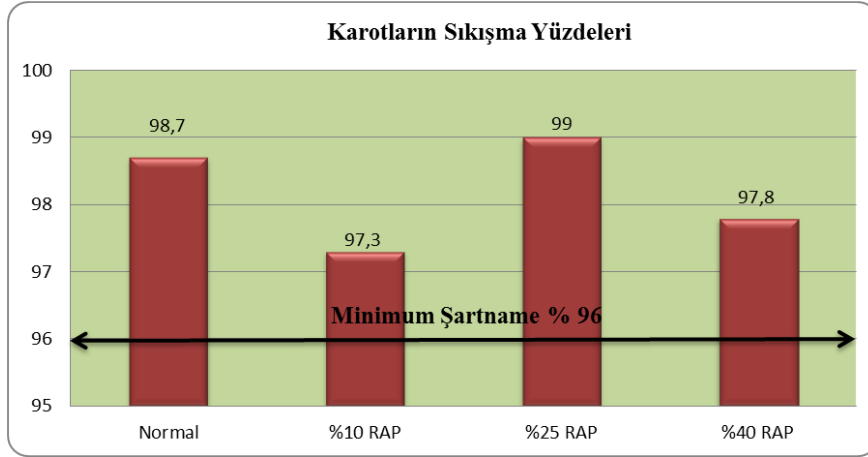
$D_{p_{lab}}$: Pratik yoğunluk laboratuvar (gr/cm^3)

$$D_{p_{yol}} = A / (C-B) \quad \text{Sıkışma Yüzdesi} = D_{p_{yol}} / D_{p_{lab}} \quad (3.1)$$

Alınan karot numunelerinin yoğunlukları ve sıkışma yüzdeleri hesaplanıp Tablo 3.16 da gösterilmiştir.

Tablo 3.16. Karotların sıkışma yüzdeleri

Asfalt	Briket Yük. (mm)	Havadaki Ağırlık (gr)	Hav.Ağ Doygun Yüzey(gr)	Sudaki Ağırlık (gr)	Hacim (cm ³)	Pratik Yoğunluk (gr/cm ³)	Dizayn Yoğunluğu (g/cm ³)	Sıkışma Yüzdesi
Normal	70,3	1261,8	1262,3	733,6	528,7	2,387	2,420	98,6
%10 RAP	62,8	1140,8	1142,1	657,5	484,6	2,354	2,420	97,3
%25 RAP	73,7	1376,4	1377,1	802,8	574,3	2,397	2,420	99,0
%40 RAP	62,4	1130,3	1133,6	655,9	477,7	2,366	2,420	97,8

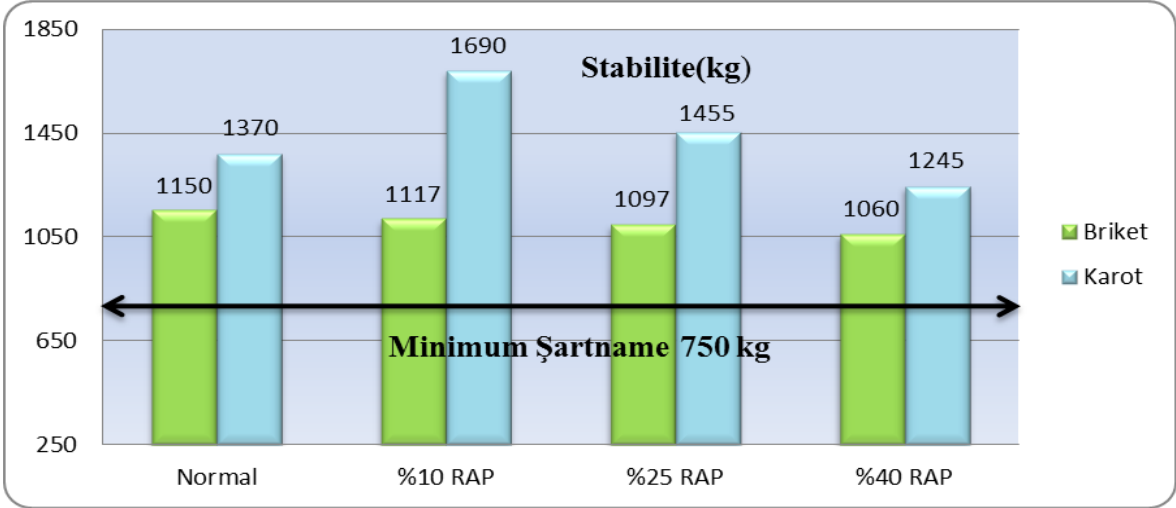


Şekil 3.20. Karotların sıkışma yüzdelerinin karşılaştırılması

Karayolları Teknik Şartnamesine göre minimum % 96 olması gereken sıkışma yüzdelerinin, şartnameye göre yeterli düzeyde olduğu Tablo 3.20 de görülmektedir.

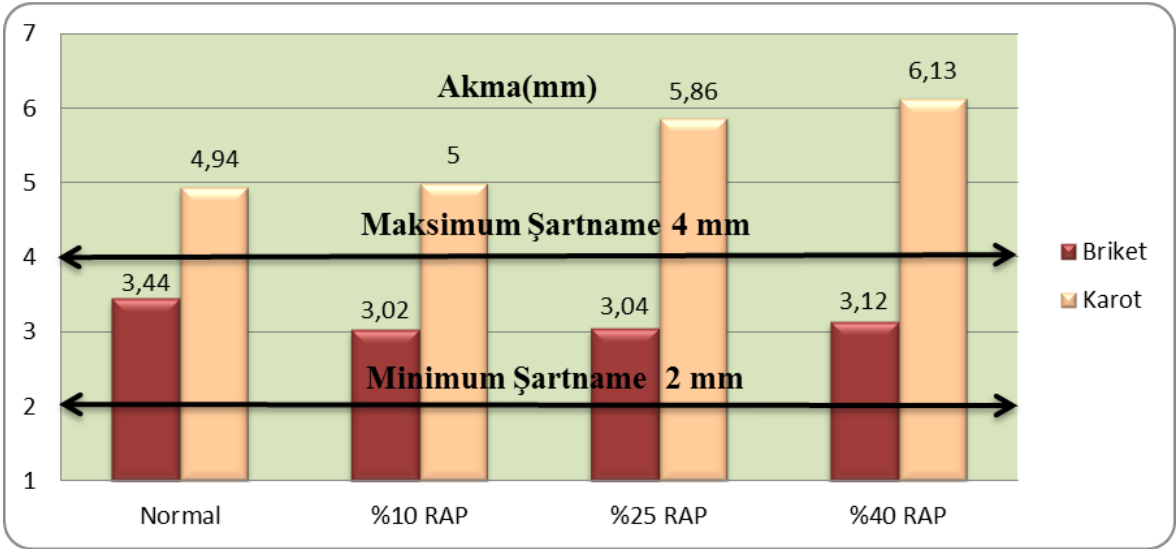
Tablo 3.17. Karotların ve briketlerin stabilite ve akma değerlerinin karşılaştırılması

Asfalt	Briket Stabilite (kg)	Karot Stabilite (kg)	Briket Akma (mm)	Karot Akma (mm)
Normal	1150	1370	3,44	4,94
%10 RAP	1117	1690	3,02	5,00
%25 RAP	1097	1455	3,04	5,86
%40 RAP	1060	1245	3,12	6,13



Şekil 3.21. Karotların ve briketlerin stabilitelerinin karşılaştırılması

Şekil 3.21 den de görüleceği üzere karotların stabilite değerleri briketlere oranla daha yüksek çıkmıştır. Bu durumun trafik yükü altındaki kaplamanın ilave bir sıkıştırmaya maruz kalmasından kaynaklandığı sonucuna varılmıştır.



Şekil 3.22. Karotların ve briketlerin akma değerlerinin karşılaştırılması

Karot numunelerinin stabilite değerlerindeki artışla doğru orantılı olarak akma değerlerinde de artış meydana geldiği Şekil 3.22 de görülmektedir. Bu artışın tekrarlı trafik yükleri altında kaplama yüzeyinde tekerlek izi oluşma ihtimalinin olabileceğini düşündürmektedir.

3.3. Maliyet Hesaplamaları

Farklı oranlarda geri dönüşüm malzemesi (%10,%25,%40) kullanılarak hazırlanan binder tabakası maliyet analizi yapılmış ve bu karışımlar geleneksel karışım ile karşılaştırılarak geri dönüşüm ekonomik açıdan değerlendirilmiştir.

Genel giderler;

- Doğal gaz
- Elektrik
- Motorin
- İşçilik
- Finansman gideri
- Amortisman giderlerini kapsamaktadır.

Normal (katkısız) , %10 RAP katkılı , %25 RAP katkılı ve %40 RAP katkılı binder tabakalarının maliyetleri hesaplanarak tablolar halinde sunulmuştur. Maliyet aşamasında 2014 yılı Nisan ayı Tüpraş bitüm fiyatları dikkate alınarak hesaplamalara gidilmiştir.

Tablo 3.18. Normal (katkısız) asfalt kaplama maliyeti

Malzeme	Sarf Oranı (%) üstü	Sarf Oranı (%) içi	Miktar (Kg/Ton Asfalt)	Birim Fiyat (TL/Ton)	Tutar (TL)
Agrega	100	95,84	958,4	16	15,33
50 / 70 Bitüm	4,35	4,16	41,6	1.304	54,25
Nakliye			-		2
Genel Giderler			-		15,00
				Toplam Maliyet (TL/Ton)	86,58

Tablo 3.19. %10 RAP katkıli asfalt kaplama maliyeti

Malzeme	Sarf Oranı (%) üstü	Sarf Oranı (%) içi	Miktar (Kg/Ton Asfalt)	Birim Fiyat (TL/Ton)	Tutar (TL)
Agrega	89,94	86,19	861,9	16	13,79
50 / 70 Bitüm	3,97	3,81	38,1	1.304	49,68
Geri Dönüşüm Malzemesi	10,44	10	100	-	-
RAP Malz.Kırılma ve Elenmesi			-		4
Nakliye			-		2
Genel Giderler			-		15,00
				Toplam Maliyet (TL/Ton)	84,47

Tablo 3.20. %25 RAP katkıli asfalt kaplama maliyeti

Malzeme	Sarf Oranı (%) üstü	Sarf Oranı (%) içi	Miktar (Kg/Ton Asfalt)	Birim Fiyat (TL/Ton)	Tutar (TL)
Agrega	74,87	71,75	717,5	16	11,48
50 / 70 Bitüm	3,39	3,25	32,5	1.304	42,38
Geri Dönüşüm Malzemesi	26,09	25	250	-	-
RAP Malz.Kırılma ve Elenmesi			-		4
Nakliye			-		2
Genel Giderler			-		15,00
				Toplam Maliyet (TL/Ton)	74,86

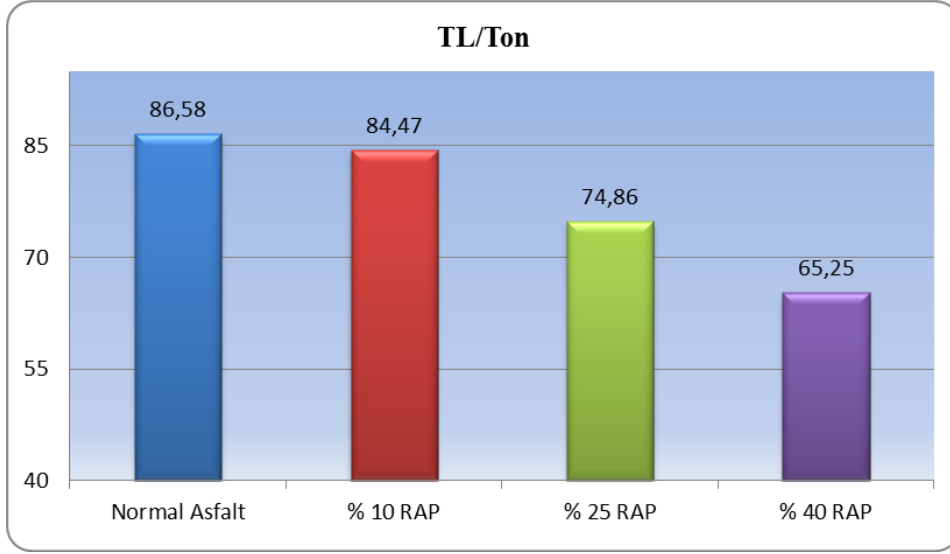
Tablo 3.21. %40 RAP katkıli asfalt kaplama maliyeti

Malzeme	Sarf Oranı (%) üstü	Sarf Oranı (%) içi	Miktar (Kg/Ton Asfalt)	Birim Fiyat (TL/Ton)	Tutar (TL)
Agrega	59,8	57,31	573,1	16	9,17
50 / 70 Bitüm	2,81	2,69	26,9	1.304	35,08
Geri Dönüşüm Malzemesi	41,74	40	400	-	-
RAP Malz.Kırılma ve Elenmesi			-		4
Nakliye			-		2
Genel Giderler			-		15,00
				Toplam Maliyet (TL/Ton)	65,25

Geri dönüştürülmüş (RAP) asfalt karışım kaplamalarının maliyeti ile geleneksel (normal) kaplama maliyetleri karşılaştırmalı olarak Tablo 3.21’de gösterilmektedir.

Tablo 3.22. Maliyetlerin karşılaştırılması

KAPLAMA TİPİ		KAPLAMA MALİYETİ (TL/Ton)
Normal Asfalt Kaplama	Binder (katkısız)	86,58
Geri Dönüştürülmüş Asfalt Kaplama	%10 RAP Katkılı Binder	84,47
	%25 RAP Katkılı Binder	74,86
	%40 RAP Katkılı Binder	65,25



Şekil 3.23. Maliyet hesapları

Şekil 3.25 den de görüldüğü gibi geri dönüştürülmüş kaplama katkı oranının artmasıyla maliyetin orantılı olarak azaldığı tespit edilmiştir. İstanbul'da her yıl üretilen 5 milyon ton kaplama dikkate alındığında geri dönüşümün sadece İstanbul'da ekonomiye olan katkısı en az 10 milyon TL'yi geçmektedir. Türkiye ortalaması için düşünüldüğünde ise birkaç yıl içinde milyar lirayı bulan tasarruf sağlanabilir.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Doğal kaynakların giderek tükenmekte olduğu ülkemizde, yeni agrega kaynak arayışları ve petrol türevi olan bitüm için dışa bağımlılık, ekonomik değeri yüksek olan yollardan kazınan kaplamaların bitümlü sıcak karışımlarda yeniden kullanılabilirliğinin araştırılmasını zorunlu hale getirmiştir.

Bu kapsamda farklı katkı oranlarının getirdiği ekonomik katkı değerinin hesaplanmasını ve saha sonuçlarıyla birlikte ortaya konulmasını esas alan bu çalışma neticesinde elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir.

Binder tabakası tasarımı esas alınarak yapılan çalışmada;

- Katkısız karışımın stabilite değeri 1150 kg, akma değeri 3,44 mm, asfaltla dolu boşluk yüzdesi 67,18, agregalar arası boşluk yüzdesi 13,35 ve boşluk yüzdesi 4,28;
- %10 geri dönüşüm katkı oranında stabilite değeri 1117 kg, akma değeri 3,02 mm, asfaltla dolu boşluk yüzdesi 63,90, agregalar arası boşluk yüzdesi 13,03 ve boşluk yüzdesi 4,71;
- %25 geri dönüşüm katkı oranında stabilite değeri 1097 kg, akma değeri 3,04 mm, asfaltla dolu boşluk yüzdesi 68,38, agregalar arası boşluk yüzdesi 13,5 ve boşluk yüzdesi 4,28;
- %40 geri dönüşüm katkı oranında stabilite değeri 1060 kg, akma değeri 3,12 mm, asfaltla dolu boşluk yüzdesi 63,92, agregalar arası boşluk yüzdesi 13,69 ve boşluk yüzdesi 4,94 olarak bulunmuştur.

Bu deney sonuçlarına göre geri dönüşüm katılarak üretilen karışımların;

Stabilite değerlerinin, katkı oranları arttıkça azaldığı, ancak bu azalmanın çok önemli düzeyde olmadığı; elde edilen kazanım dikkate alındığında ise bu küçük farklılıkların çok rahatlıkla makul düzeyde kaldığı ifade edilebilir.

Akma değerlerinde de katkısız karışıma göre azalma olmakla birlikte geri dönüşüm katkı oranlarına bağlı olarak hafif bir artış olduğu görülmüştür. Bu farklılıkların şartname sınırları içinde kalmakla birlikte zaten çok az olduğu; uygulamada çevre ve iklim koşullarına maruz kalarak yaşlanmış asfalt kaplamadan elde edilen karışımlarda bu şekilde bir durumun beklendiği gibi olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Boşluk miktarının karışıma katılan geri dönüşüm katkı oranındaki artışla birlikte artmasının beklenen bir sonuç olduğu; bunun da şartname kriterleri ve karışımın fiziksel özellikleri bakımından bir sorun teşkil etmediği görülmüştür.

Karot numunelerinin stabilite ve akma değerleri incelendiğinde;

- Katkısız karışımın stabilite değeri 1370 kg, akma değeri 4,94 mm,
- %10 geri dönüşüm katkı oranında stabilite değeri 1690 kg, akma değeri 5,00 mm,
- %25 geri dönüşüm katkı oranında stabilite değeri 1455 kg, akma değeri 5,86 mm,
- %40 geri dönüşüm katkı oranında stabilite değeri 1245 kg, akma değeri 6,13 mm, olarak bulunmuştur.

Karot numunelerinin biriketlere oranla akma değerleri katkısız karışım da dahil olmak üzere sınır değerlerini aştığı görülmüştür. Katkılı numunelerde de yine katkı oranına bağlı olarak sınır değer üzerinde akma elde edilmiştir. Şunu ifade etmek gerekir ki; kaplama trafik yükü altında ilave bir sıkışmaya maruz kalmıştır. Bu sıkışma kaplamanın stabilite değerinde artış meydana getirmekle birlikte akma değerinde de doğru orantılı olarak artışa neden olmaktadır. Akma değerinin artması, plastik deformasyona uğrayan kaplamada tekrarlı trafik yüklerinin etkisi altında tekerlek izi oluşma potansiyelinin ortaya çıkabileceğini düşündürmektedir.

Yapılan maliyet analizi sonuçlarına göre katkısız karışımın ton fiyatı 86,58 TL, %10 RAP katkılı karışımın fiyatı 84,47 TL, %25 RAP katkılı karışımın fiyatı 74,86 TL ve %40 RAP katkılı karışım için bu fiyat 65,25 TL olarak bulunmuş olup katkı oranının artmasıyla maliyetlerin azaldığı tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre katkısız karışım baz alındığında %10 katkı oranında %2,44, %25 katkı oranında %13,54 ve %40 katkı oranında ise %24,64 lük bir tasarruf sağlanmaktadır.

Bu sonuçlara göre 10 km'lik bir yol yapımı sırasında %10 luk katkı oranında 30.068 TL, %25 lik katkı oranında 167.000 TL ve %40 lık katkı oranında ise 309.712 TL'lik bir tasarruf sağlanabilecektir.

Geri dönüşüm ile, yeni asfalt kaplama üretim maliyetlerinin azalması ve aynı miktarda kaynak kullanılarak daha fazla asfalt kaplama yol yapımı ile ekonomik kazanç sağlanacaktır. Çevreye daha az zarar verilerek atık sahaların oluşması engellenecektir. Mevcut kaplamanın üzerine yeni kaplama yapılması halinde meydana gelen yansıma çatlaklarının önlenememesi ve kot yükselmesi gibi sorunlar giderilecektir.

Bu çalışmanın devamı yönünde ileride yapılabilecek çalışmalar için şu öneriler sıralanabilir.

1) Geri dönüşüm asfalt karışım numunelerine tekerlek izi, su hasarı, dolaylı çekme ve yorulma deneylerinin de uygulanması daha sağlıklı sonuçların ortaya çıkmasını sağlayacaktır.

2) Yeni agregası ve bitüm ilavesi yapılmadan tamamen kazınmış asfalt kaplama kullanılarak denemeler yapılabilir ve çıkan sonuçlara göre çok az maliyetle karışımlar üretilip ekonomik anlamda çok ciddi kazanımlar elde edilebilir.

5. KAYNAKLAR

1. Güngör, A.G., Orhan, F., Kaşak, S. ve Dost, Y., Kazılmış Asfalt Kaplamaların Yeniden Kullanımı, Karayolu 1. Ulusal Kongresi, Ankara, 1-3 Nisan 2008.
2. Salta, İ., Bitümlü Sıcak Karışımların Geri Dönüşüm Yöntemlerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2010.
3. Kaya, B., Bitümlü Karışımların Geri Dönüşümü Çevresel Etkileri ve Maliyet Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2011.
4. Asfaltta Geri Dönüşüm, İsfalt, İstanbul Büyükşehir Belediyesi, 2009.
5. Eski Asfalt Kaplamaların ve Lastik Atıkların Geri Dönüştürülerek Bitümlü Sıcak Karışımlarda Yeniden Kullanılması Projesi Tübitak Sonuç Raporu, Kocaeli, 2010.
6. Gencer, M., Kunduracıoğlu, G., Asfaltın Geri Kazanılması, 5. Asfalt Sempozyumu, Kasım, 2009.
7. Dr. Imbert,. Burgeap Ekk Direktifi Genel Sunumu, REC Türkiye web sitesi - Orta ve Dođu Avrupa İçin Bölgesel Çevre Merkezi (REC), 2009.
8. Hassan, K.E., Sanders, P.J. ve Nicholls, J.C., Development of Asphalt And Concrete Products İncorporating Alternative Aggregates”, PR CPS/08/04, PII Reference: F-02-TAR1, Project Report, 2004.
9. Ilıcalı. M., Tayfur, S., zen, H., Sönmez, İ ve Eren, K.,. Asfalt ve Uygulamaları, Seçil Ofset, 280s. İstanbul, 2001.
10. Tunç, A., Esnek Kaplama Malzemeleri Elkitabı, 352s. Asil Yayın Dağıtım, Ankara, 2004.
11. Tunç, A., Yol Malzemeleri ve Uygulamaları, 840 s, Atlas Yayın Dağıtım Ltd. Şti, 2001.
12. Orhan, F., Karayolları Genel Müdürlüğü Bitümlü Karışımlar Laboratuvar Çalışmaları, Ankara, 2012.
13. http://www.yarbis.yildiz.edu.tr/web/userCourseMaterials/yardim_8b1f5b954b9c2e2aa2bb5a57cf66df52.pdf, 21 Ekim 2013.
14. Sağlık, A. ve Güngör, A.G., Karayolları Esnek styapılar Projelendirme Rehberi, 147 s., KGM, Ankara, 2008.

15. İsfalt A.Ş., Asfalt ve Uygulamaları El Kitabı, İstanbul, 2001.
16. <http://www.asyol.com.tr/tabakalar.html>, 15 Temmuz 2013.
17. Divli, M., D-100 (E-5) Karayolunun Zincirlikuyu Kavşağı- Çobançeşme (Havaalanı) Kavşağı Arası Üstyapı Yenileme Çalışması ve Sma (Stone Mastic Asphalt) Tabakasının Performans Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2013.
18. Gürer, C., Akbulut, H., Kürklü, G., İnşaat Endüstrisinde Geri Dönüşüm ve Bir Hammadde Kaynağı Olarak Farlı Yapı Malzemelerin Yeniden Değerlendirilmesi, Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, Mayıs 2004, İzmir, Bildiriler Kitabı, 28-36.
19. Sönmez, İ., Günay, E., Kara, M., Topçu, A., Yıldırım, S.A. ve Kavaklı, B., Eski Asfalt Kaplamaların Geri Dönüştürülmesi ve Bitümlü Sıcak Karışımlarda Yeniden Kullanımı İstanbul, 2009.
20. Yol Teknolojileri Dergisi, Ocak-Şubat, 2012.
21. Kandhal, P. S., Waste Materials in Hot Mix Asphalt-An Overview, NCAT Report No. 92-6, December, 1992.
22. Karayolları Teknik Şartnamesi, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü, Kısım 413 ve Kısım 414, 2006.
23. Güngör, A.G., Kazınmış Asfalt Kaplamaların Yeniden Kullanımı KGM Uygulamaları, 5. Ulusal Asfalt Sempozyumu, Ankara, 2009.
24. Huffman, J. (Ed.). Basic Asphalt Recycling Manual (1st ed.). Annapolis, Maryland, Asphalt Recycling & Reclamation Association (ARRA), 2001.
25. <http://erolcalisyolveinsaatmak.wordpress.com/teknik-dokumanlar/>, 20.08.2013.
26. Gencer, N., Gencer, E., Kunduracıoğlu, G., Karasahin, M. ve Malkoç, G. "Energy Saving and Cost Reduction by Integrating the New Closed Aggregate Preparation System to Asphalt Plants", 4th Euroasphalt & Eurobitume Congress, Kopenhagen, Denmark, 2008.
27. Yılmaz, M., Kök, B.V. ve Kuloğlu, N., Karayolu Esnek Üstyapı Malzemelerinin Geri Dönüşümünde Köpük Asfalt Yönteminin Kullanılması, 81-86, 6th International Advanced Technologies Symposium, Mayıs 2011, Elazığ (IATS'11), Bildiriler Kitabı, 16-18.
28. Atkins., Harold, N., Upper Saddle River, Highway Materials, Soils and Concretes, Third Edition, Prentice Hall, Columbus, Ohio, New Jersey, 1997.
29. Dinç, E., Superpave, TCK 16. Bölge Müdürlüğü, Sivas, 1999.

30. SUPERPAVE for the Generalist Engineer and Project Staff, US. Department of Transportation Federal Highway Administration, National Highway Institute, Publication No: FHWA HI 97-031, USA, July, 1997.
31. Oruç, Ş., Torul Kalker Taşocağı Agregalarının Asfalt Betonu İçerisindeki Performanslarının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1997.
32. Orhan, F., Asfaltın Yerinde Soğuk Yeniden Kullanım, Asfaltta Geri Dönüşüm Teknikleri ve Uygulamaları Semineri, Ankara, 2012.
33. İSFALT A.Ş. Talimatları ve İlgili Deney Standartları, İstanbul, 2008- 2009.
34. Umar, F. ve Açar, E., Yol Üstyapısı, İTÜ. Rektörlüğü, İstanbul, 1991.
35. Mukesh, P., Limbachiya, C. ve Roberts, J.J., Sustainable Waste Management and Recycling:Used/Post Consumer Tyres, Proceedings of the Int. Conf. Organised by the Concrete ve Masonry Research Group, The Use Of Post Consumer Tyres in Civil Engineering”, September 2004, London, Bildiriler Kitabı, 195-202
36. Asphalt Institute , The Asphalt Handbook, Manuel Series No.4(MS-4),1989.
37. Özen, H., Bitümlü Karışım Değişkenlerinin Performans Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması ve Hizmet Ömrü Tahmini İçin Bir Model Kurulması , Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1999.
38. Kandhall, P. S., Recycling of Asphalt Pavements-An Overview. AAPT,V.66, 1998.
39. Aravind, K. ve Das, A., Industrial waste in Highway Construction, 2007.
40. Hylands, K.N. ve Shulman,V., Civil Engineering Applications of Tyres, Viridis Report VR5., TRL Limited, Crowthorne, 2003.
41. Roberts, L.F., Kandhal ,P.S., Brown, E.R.ve Dunning, R.L., Investigation and Evaluation Of Ground Tire Rubber İn Hot Mix Asphalt, Florida Department of Transportation (FDOT, National Center for Asphalt Technology). August,1989.
42. Bester, J., Kruger, D., Hinks, A., Recycling and Reuse of Waste Tyres in South Africa ”Sustainable Waste Managemnt and Recycling:Used/Post Consumer Tyres,Ed. P Mukesh C.Limbachiya and John J.Roberts, Proceedings of the Int. Conf. Organised by the Concrete and Masonry Research Group, 2004, London, Bildiriler Kitabı, 60-65.
43. T.C. Resmi Gazete, Sayı: 26357,25.11.2006.

44. ASTM D 4123-82, "Indirect Tension Test for Resilient Modulus of Bituminous Mixtures". Industries, P. R., "Pr Plast b.", France.
45. TCK, Yollar Fenni Şartnamesi, Ankara, 1994.
46. Marl, A.K., Vestoplast-ein Thermoplastischer Kunststoff zur Polymermodofozierung, Asphalt, 1996.
47. Uluçaylı, M., Modifiye Bitüm ve Modifikasyon Katkılarının Kullanımı, 2. Ulusal Asfalt Sempozyumu, Ankara,1998.
48. Valkering, C.P.,Vonk, W.C., Cariflex TR in Bitumen for Asphalt Mixes: Improved Elastive Recov. and Higher Performance, Thermoplastic Rubbers, Technical Manual, TR 823,1992.
49. Öztürk, E.A. ve Çubuk, K., Karayolu Esnek Üstyapı Tasarımında Yeni Bir Yöntem: Yüksek Performanslı Asfalt Kaplama, 175-184, 2004.
50. Önal, M. ve Kahramangil, M., Bitümlü Karışımlar Laboratuvar El Kitabı, TC. Karayolları Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara, 1993.
51. Oylumluoglu, J. ve Sengoz, B., Utilization Of Recycled Asphalt Concrete With Different Warm Mix Asphalt Additives Prepared With Different Penetration Grades Bitumen, Construction And Building Materials No:45, 2013.
52. Çubuk,K., Use Of Reclaimed Asphalt Pavement As A Bituminous Base Course, Master Thesis ,Ankara, 1990.
53. Şengöz, B., Ağar , E., Asfalt Film Kalınlığının Bitümlü Karışımların Yaşlanmasına Etkisi, itüdergisi/d mühendislik, 71-82, 2005.
54. Pamuk, İ., Bozulmuş Bitümlü Yol Kaplamalarının Yeniden Kullanılması Yönteminin Türkiye'de Uygulanabilirliği, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1986.
55. Ed Kearney P. E., A Carrier In Recycling, Nysdot, Asfalt Enstitüsü, Gorman Bros. Inc., Wirtgen America Inc. ve Consultant Sunum: ARRA 32. Yıllık toplantısı, Şubat 2008.
56. Pareira, P. ve Santos, L., Technical-Economical Evaluation of Pavement Recycling Alternatives, Portekiz, Mart 2006.
57. Cosentino, P.J. ve Edward H., Kalajian,. Developing specifications for using recycled asphalt pavement as base, subbase or general fill materials, Final Report, Florida Department of Transportation, 2001.

58. Jacobson, T., Cold Recycling Of Asphalt Pavement - Mix in Plant, Swedish National Road and Transport Research Institute, SE-581 95 Linköping, İsveç, 2002.
59. Rebuilding by Reclaiming- the FDR process, better roads magazine, 2001
60. European Asphalt Pavement Association, Arguments To Stimulate The Government To Promote Asphalt Reuse And Recycling, May 2008
61. Federal Highway Administration, Internatioanl Technology Scanning Program, Warm Mix Asphalt: European Practice, US Department of Transportation, Şubat 2008.
62. The Asphalt Education Partnership, National Asphalt Pavement Association (NAPA) ve The State Asphalt Pavement Association (SAPA) Bildirisi, 2009.
63. Sönmez, İ., İsfalt Asfalt Geri Dönüşüm Bildirisi, 2007
64. Akbulut, H., Gürer C. ve İçağa Y., ‘Atık Agregaların Yol Kaplamalarında Kullanımı Bildirisi’, Afyon, 2003.
65. Gonzales, Ö., Munoz, M E. ve Şamamana, A., Rheology And Stability Of Bitumen/EVA blends, 2365-2372, 2004.

ÖZGEÇMİŞ

1984 yılında Trabzon'da doğdu. İlköğrenimini Kurtuluş İlkokulu'nda, orta ve lise öğrenimini ise Yunus Emre Anadolu Lisesi'nde tamamladı.

2003 yılında lisans öğrenimine başladığı Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden 2008 yılında mezun oldu. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı. 2009 yılında İstanbul Büyükşehir Belediyesi'ne Mühendis olarak atandı. 2010-2012 yılları arasında Gümüşhane Bayındırlık ve İskan Müdürlüğü'nde çalıştı. 2012 yılından itibaren İstanbul Büyükşehir Belediyesi Yol Bakım ve Onarım Müdürlüğü'nde ki görevine devam etmektedir. Evli ve bir erkek çocuk babasıdır. İngilizce bilmektedir.