T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KAYSERİ ÇİNKO-KURŞUN ÜRETİM TESİSİ ATIKLARININ BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIMLARDA KULLANIMI

Hazırlayan
Selim BOZDEMİR

Danışman
Yrd. Doç. Dr. Bekir AKTAŞ

Yüksek Lisans Tezi

Bu çalışma; Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından FYL–2013–4498 kodlu proje ile desteklenmiştir.

Ekim 2013
KAYSERİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Adı-Soyadı: Selim BOZDEMİR

İmza :



YÖNERGEYE UYGUNLUK

"Kayseri Çinko- Kurşun Üretim Tesisi Atıklarının Bitümlü Sıcak Karışımlarda Kullanımı" adlı Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi'ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Tezi Hazırlayan

Selim BOZDEMİR

Danışman

Yrd. Doç. Dr. Bekir AKTAŞ

İnşaat Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. Mehmet ARDIÇLIOĞLU

Yrd. Doç. Dr. Bekir AKTAŞ danışmanlığında **Selim BOZDEMİR** tarafından hazırlanan **"Kayseri Çinko-Kurşun Üretim Tesisi Atıklarının Bitümlü Sıcak Karışımlarda Kullanımı"** adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ:

Başkan : Yrd. Doç. Dr. Bekir AKTAŞ

Üye : Doç. Dr. Murat ÇOBANER

Üye : Doç. Dr. Okan KARAHAN

ONAY :

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulunun 28/10/2013.. tarih ve 2013/47-33..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

28 / 10 / 2013

Prof. Dr. Kazım KEŞLİOĞLU

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca farklı bakış açıları ve bilimsel katkılarıyla beni aydınlatan çok değerli danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Bekir AKTAŞ' a teşekkürü bir borç bilirim.

Deneysel çalışmalarım sürecinde teknik donanım, bilgi ve malzeme temini açısından emeği geçen başta Yakup MIZRAK ve Osman DOĞAN olmak üzere Karayolları 6. Bölge Müdürlüğü çalışanlarına teşekkür ederim.

Tez çalışma anında yararlandığım tüm kitap, makale ve tez yazımında emeği geçen herkese buradan teşekkürlerimi sunarım.

Tez ve laboratuar çalışmalarımı maddi olarak destekleyen Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne (Proje No: FYL–2013–4498) teşekkür ederim.

Son olarak, bana olan güvenini her zaman hissettiren, beni sevmekten ve desteklemekten asla vazgeçmeyen ve çalışmalarımın her anında yanımda olan eşim Melek ÇARKIT BOZDEMİR' e ve bugün ulaştığım noktanın mimarları olan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Bu çalışmanın sonraki çalışmalara faydalı olması dileğiyle…

Selim BOZDEMİR

Kayseri, Ekim 2013

KAYSERİ ÇİNKO-KURŞUN ÜRETİM TESİSİ ATIKLARININ BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIMLARDA KULLANIMI

Selim BOZDEMİR

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi, Ekim 2013

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Bekir AKTAŞ

ÖZET

Yüksek lisans tez çalışması olarak sunulan bu çalışmada Kayseri Çinko - Kurşun üretim tesisi atıkları bitümlü sıcak karışımlarda kullanılmıştır. Atık malzeme, sıcak karışım binder tabakasında belirli oranlarda karıştırılarak denenmiş olup Karayolları Teknik Şartnamesinde belirtilen şartname limitleri göz önünde bulundurularak değerlendirilmiştir.

Marshall yöntemi kullanılarak yapılan deneysel çalışmalarda kaba agrega olarak Sergenkaya Taş Ocağından temin edilen kalker kullanılmıştır. İnce agrega olarak ise ÇİNKOM A.Ş.' den getirilen atık cüruf ve yine Sergankaya Taş Ocağından getirilen kalker kullanılmıştır. Marshall yöntemine göre Marshall briketleri laboratuar şartlarında üretilmiş olup sonuçlar değerlendirilerek optimum bitüm miktarı ve maksimum stabiliteyi veren karışım oranları tespit edilmiştir.

Cüruf katkısız Marshall briketlerine uygulanan Marshall deneyi, ÇİNKOM A.Ş. cürufu katkılı briketlerle karşılaştırılarak, farklı bitüm ve cüruf ilavesinin bitümlü sıcak karışım binder tabakasında meydana getirdiği olumlu ve olumsuz etkiler araştırılmıştır.

Belirli oranlarda kullanılan cürufun asfalt betonunun bazı parametrelerini pozitif yönde etkilediği görülmüştür. Deneysel çalışmalar göz önüne alınarak hazırlanan iyi bir dizaynla atık halde bulunan cüruf ekonomiye kazandırılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Bitümlü Sıcak Karışımlar, Binder Tabakası, Marshall Deneyi, Çinko Atıkları.

THE USE OF KAYSERI ZINC – LEAD PRODUCTION INSTITUTION WASTE MATERIALS IN HOT MİX ASPHALT

Selim BOZDEMİR

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

Master of Science Thesis, October 2013

Thesis Supervisor: Assist Prof. Dr. Bekir AKTAŞ

ABSTRACT

In this Master of Science thesis Kayseri Zinc – Lead production institution waste materials are used in hot mix asphalt. Waste slag was experienced in hot mix binder course by mixing at certain amounts and it was evaluated considering the technical specification for Turkish highways.

In experimental studies which were carried out using Marshall method lime stone which was provided from Sergenkaya quarry as coarse aggregate. As fine aggregate lime stone which was brought from Sergenkaya quarry and slag which was brought from CINKOM was used. Marshall briquettes were fabricated in the laboratory according to Marshall method, results were evaluated and mixture ratios which gave maximum stability and optimum bitumen ratio were identified.

By comparing Marshall experiment which was applied to Marshall briquettes that don't include slag with CINKOM slag additive briquttes, positive and negative effects that different bitumen and slag addition create on hot mix asphalt binder course were searched.

It is seen that slag which is used in certain ratio affects some parameters of asphalt concrete positively. With a good design which is prepared considering the experimental studies above both construction costs can be reduced bringing waste materials in economy and this waste material' s visual deformity and distortion that it gives to the environment can be reduced.

Key words: Hot Mix Asphalt, Binder Course, Marshall Experiment, Zinc Wastes.

İÇİNDEKİLER

KAYSERİ ÇİNKO-KURŞUN ÜRETİM TESİSİ ATIKLARININ BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIMLARDA KULLANIMI

Sayfa

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK SAYFASI ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK SAYFASI iii
KABUL VE ONAY SAYFASI iv
TEŞEKKÜR v
ÖZET vi
ABSTRACT vii
İÇİNDEKİLER viii
KISALTMA VE SİMGELER xii
ŞEKİLLER LİSTESİ xv
TABLOLAR LİSTESİ xvi

GİRİŞ 1

1 . BÖLÜM

GENEL BİLGİLER

1.1. Yol Üstyapısı 4

1.1.1. Taban Zemini 5

1.1.2. Alt Temel Tabakası 6

1.1.3. Temel Tabakası 8

1.1.4. Granüler Temel 10

1.1.5. Plent - miks Temel 11

1.1.6. Çimento Bağlayıcılı Granüler Temel 11

1.1.7. Bitümlü Temel 12

1.2. Esnek Yol Üstyapısı Kaplama Tabakaları 14

1.2.1. Sathi Kaplamalar 14

1.2.2. Bitümlü Sıcak Karışım Tabakaları (Asfalt Betonu) 15

1.2.2.1. Bitümlü Sıcak Karışımların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri.... 17

1.2.2.2. Bitümlü Sıcak Karışımlardan Beklenen Fiziksel ve Mekanik Özellikler 17

1.3. Bitümlü Sıcak Karışımlarda Kullanılan Malzemeler 24

1.3.1. Agregalar 24

1.3.1.1. Mineralojik Sınıflandırma 25

1.3.2. Bitümlü Bağlayıcılar 29

1.3.2.1. Doğal Asfaltlar 30

1.3.2.2. Bitümler 30

1.3.2.3. Sıvı Petrol Asfaltları 30

1.3.2.4. Bitüm Emülsiyonları 32

1.3.2.5. Polimer Modifiye Bitümler (PMB) 33

1.3.3. Karayollarında Kullanılan Endüstriyel Atık Malzemeler 36

1.3.3.1. Termik Santral Atıkları 36

1.3.3.2. Uçucu Küller 38

1.3.3.3. Kömür Taban Külü ve Kazan Cürufu 39

1.3.3.4. Desülfojips Atıkları 40

1.3.3.5. Yüksek Fırın ve Çelikhane Cürufları 40

1.3.3.6. Hurda Lastikler 41

1.3.3.7. Cam Atıkları 42

1.3.3.8. Çinko 42

1.3.4. Çinkom Cürufu 45

1.3.4.1. Giriş 45

1.3.4.2. Genel Bilgiler 45

1.3.4.3. Cürufun Oluşumu 48

2 . BÖLÜM

GEREÇ ve YÖNTEM

2.1. Giriş 49

2.2. Agregalara Uygulanan Deneyler 49

2.2.1. Elek Analizi Deneyi (ASTM C136, ASTM C117) 50

2.2.2. Los Angeles Aşınma Deneyi (ASTM C131, AASHTO T96, TS EN 1097-2) 52

2.2.3. Hava Tesirlerine Karşı Dayanım Deneyi (Donma Deneyi) 53

2.2.4. Soyulma Mukavemeti Deneyi 53

2.2.5. Yassılık İndeksi Deneyi 54

2.2.6. Özgül Ağırlık ve Absorpsiyon Deneyi 55

2.3. ÇİNKOM A.Ş Cürufuna Uygulanan XRF ve SEM Analizi Sonuçları 59

2.4. Bitümlü Bağlayıcılara Uygulanan Deneyler 60

2.4.1. Bitümlere Uygulanan Deneyler 60

2.4.1.1. Penetrasyon Deneyi 62

2.4.1.2. Parlama Noktası Deneyi 62

2.4.1.3. Özgül Ağırlık Deneyi (TS 1087) 63

2.5. Marshall Metodu ile Bitümlü Sıcak Karışım Dizaynı 63

2.5.1. Marshall Karışım Dizaynının Aşamaları 64

2.5.2. Deney Numunelerinin Hazırlanması 65

3. BÖLÜM

ARAŞTIRMA BULGULARI

3.1. Giriş..... 67

3.2. Marshall Deney Sonuçları.....67

3.2.1. Pratik Yoğunluk (Dp).....67

3.2.2. Hava Boşluğu (Vh).....68

3.2.3. Agregalar Arası Boşluk (VMA).....70

3.2.4. Asfaltla Dolu Boşluk (Vf).....71

3.2.5. Akma..... 73

3.2.6. Stabilite.....74

3.2.7. Optimum Bitüm İçeriğinin Tayini.....76

4 . BÖLÜM

TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1. Tartışma..... 78

4.2. Sonuç ve Öneriler 78

KAYNAKLAR..... 81

ÖZGEÇMİŞ..... 85

KISALTMALAR VE SİMGELER

Simgeler ve Kısaltmalar	Açıklama
KGM	Karayolları Genel Müdürlüğü
KTŞ	Karayolu Teknik Şartnamesi (2006)
BSK	Bitümlü Sıcak Karışım
TS	Türk Standartları
AR-GE	Araştırma Geliştirme
ASTM	American Society for Testing and Materials
ISO	International Organization for Standardizasyon
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
BS	British Standarts
ÇİNKOM	Çinkom Kurşun Metal ve Madencilik San. Tic. A.Ş.
CBR	California Bearing Ratio
PMT	Plent – miks Temel
PMAT	Plent – miks Alt Temel
GT	Granüler Temel
TAUM	Erciyes Üniversitesi Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi
ÇBGT	Çimento Bağlayıcılı Granüler Temel
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
XRF	XRay Fluoresans
RC	Çabuk Kür Olan Sıvı Petrol Asfaltları
MC	Orta Hızda Kür Olan Sıvı Petrol Asfaltları
SC	Yavaş Kür Olan Sıvı Petrol Asfaltları
RS	Çabuk Kesilen Anyonik Bitüm Emülsiyonu
MS	Orta Hızda Kesilen Anyonik Bitüm Emülsiyonu
SS	Yavaş Kesilen Anyonik Bitüm Emülsiyonu

CRS	Çabuk Kesilen Katyonik Bitüm Emülsiyonu
CMS	Orta Hızda Kesilen Katyonik Bitüm Emülsiyonu
CSS	Yavaş Kesilen Katyonik Bitüm Emülsiyonu
PMB	Polimer Modifiye Btümler
SBS	Styrene – Butadiene – Styrene Copolymer
SIS	Styrene – Isoprene – Styrene Copolymer
SB	Styrene – Butadiene
SBR	Random Copolymer
EVA	Ethylene – Vinyl Acetate Copolymer
EMA	Ethylene – Methyl Acrylate Copolymer
EBA	Ethylene – Butyl Acrylate Copolymer
PİB	Polyisobutylene
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
ZnS	Sfalerit
Zn	Çinko
CaO	Kalsiyum Oksit
SiO_2	Silisyum Oksit
Al_2O_3	Alüminyum Oksit
Fe_2O_3	Demir Oksit (Hematit)
Na_2SO_4	Sodyum Sülfat
$MgSO_4$	Magnezyum Sülfat
CaO	Kalsiyum Oksit
MgO	Magnezyum Oksit
PbO	Piperonil butoksit
SO_2	Kükürt Dioksit
SO_3	Kükürt Trioksit
Ca	Kalsiyum
Mg	Magnezyum
NaCl	Sodyum Klorür
L.O.I.	Kızdırma Kaybı
T	Isı

t	Yükleme Süresi veya Hızı
G_{sa}	Zahiri Özgül Ağırlık
G_{sb}	Hacim Özgül Ağırlığı
G_b	Bitümün Özgül Ağırlığı
G_{se}	Efektif Özgül Ağırlık
%K, %İ, %F	Agregaların ağırlıkça yüzdeleri
G_{kb},G_{ib}	Agregaların hacim özgül ağırlıkları
G_{ka}, G_{ia}, G_{fa}	Agregaların Zahiri özgül ağırlıkları
D_t	Karışımın maksimum teorik özgül ağırlığı
D_p	Pratik Yoğunluk
V_h	Hava Boşluğu
VMA	Agregalar Arası Boşluk
V_f	Asfaltla Dolu Boşluk
W_a	Agreganın yüzdesi olarak bitüm miktarı
γ_s	Özgül Ağırlık
v.d.	Ve diğerleri

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1 : Yol Üstyapısı Tip Enkesiti [7] 5
Şekil 1.2 : Sıvı Petrol Asfaltların Sınıflandırılması [22] 31
Şekil 1.3 : Yol Üstyapılarında Kullanılan Endüstriyel Atıkların Sınıflandırılması [10] 37
Şekil 1.4 : Dünya Çinko Rezervleri [33] 47
Şekil 1.5 : Tesisin Genel Görünümü 48
Şekil 1.6 : Tesisin Uydu Görüntüsü 49
Şekil 2.1 : Elek Analizinde Kullanılan Elek Seti 50
Şekil 2.2 : ÇİNKOM Üretim Tesisinden Alınan Cürufun Elek Analizi Sonuçları 51
Şekil 2.3 : Deneyde Kullanılan Malzemelerin Dane Dağılımına Göre Sıralanması 52
Şekil 2.4 : Los Angeles Tamburu 52
Şekil 2.5 : Soyulma Mukavemeti Deneyi 54
Şekil 2.6 : Piknometre Kabı ve Vakum Cihazı 58
Şekil 2.7 : Çinkom Cürufu Doğal Hali SEM Analizi Sonuçları 61
Şekil 2.8 : Çinkom Cürufu No.200 elek altı (Mineral Filler) 61
Şekil 2.9 : Penetrasyon Deney Aleti 62
Şekil 2.10 : Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Malzeme Grupları 66
Şekil 3.1 : Pratik Yoğunluk - Bitüm %' si ilişkisi 68
Şekil 3.2 : Hava Boşluğu – Bitüm %' si ilişkisi 69
Şekil 3.3 : Agregalar Arası Boşluk – Bitüm %' si ilişkisi 71
Şekil 3.4 : Asfaltla Dolu Boşluk – Bitüm %' si ilişkisi 72
Şekil 3.5 : Akma – Bitüm %' si ilişkisi 74
Şekil 3.6 : Stabilite – Bitüm %' si ilişkisi 75

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1.1 : Alttemel Malzemesi Gradasyon Limitleri [9] 7
Tablo 1.2 : Alttemel Malzemesinin Fiziksel Özellikleri [9] 8
Tablo 1.3 : Kaba Agreganın Fiziksel Özellikleri [9] 9
Tablo 1.4 : İnce Agreganın Fiziksel Özellikleri [9] 9
Tablo 1.5 : Granüler Temel Tabakası Gradasyon Limitleri [9] 10
Tablo 1.6 : Plent-Miks Temel Tabakası Gradasyon Limitleri [9] 11
Tablo 1.7 : Çimento Bağlayıcılı Granüler Temel Tabakası Gradasyon Limitleri 12
Tablo 1.8 : Bitümlü Temel Tabakası İçin Gradasyon Limitleri [9] 13
Tablo 1.9 : Agregaların Özellikleri [9] 15
Tablo 1.10 : Binder Tabakası İçin Gradasyon Limitleri [9] 16
Tablo 1.11 : Aşınma Tabakası İçin Gradasyon Limitleri [9] 16
Tablo 1.12 : Asfalt Betonu Dizayn Kriterleri [9] 18
Tablo 1.13 : Düşük Stabilitenin Neden ve Sonuçları [16] 19
Tablo 1.14 : Düşük Durabilitenin Neden ve Sonuçları [16] 20
Tablo 1.15 : Karışımın Çok Geçirgen Olmasının Neden ve Sonuçları [16] 21
Tablo 1.16 : Düşük İşlenebilirliğin Neden ve Sonuçları [16] 22
Tablo 1.17 . Düşük Yorulma Direncinin Neden ve Sonuçları [16] 23
Tablo 1.18 : Sıvı Petrol Asfalt Tipleri [22] 32
Tablo 1.19 : Sıvı Petrol Asfaltlarının Kullanım Yerleri [22] 32
Tablo 1.20 : Bitüm Emülsiyon Çeşitleri [22] 33
Tablo 1.21 : Bitüm Emülsiyonlarının Kullanım Yerleri [22] 33
Tablo 1.22 : Modifiye Bitümlerde Kullanılan Ana Kimyasal Katkılar [22] 35
Tablo 1.23 : Değişik Endüstri Kollarında Elde Edilen Alçılar [29] 40
Tablo 1.24 : Cürufların Mekanik Özellikleri [31] 41
Tablo 1.25 : Türkiye Çinko – Kurşun Rezervlerinin Dünya' daki Yeri [33] 43
Tablo 1.26 . Çinko Rezerv ve Baz Rezervleri Bakımından Önemli Bazı Ülkeler [33] .. 45
Tablo 2.1 : Elek Analizinde Kullanılan Elek Açıklıkları 51
Tablo 2.2 : Los Angeles Aşınma Deneyi Sonuçları 53
Tablo 2.3 : Ocak Malzemesine Uygulana Donma Deney Sonuçları 53

Tablo 2.4 : Ocak Malzemesine Uygulanan Soyulma Deneyi Sonuçları 54
Tablo 2.5 : Ocak Malzemesi Yassılık İndeksi Deney Sonuçları 54
Tablo 2.6 : Ocak Malzemesine (Filler) Uygulanan Piknometre Deney Sonuçları 56
Tablo 2.7 : ÇİNKOM Cürufuna (Filler) Uygulanan Piknometre Deney Sonuçları 57
Tablo 2.8 : ÇİNKOM Cürufuna Uygulanan Piknometre Deney Sonuçları 58
Tablo 2.9 : Efektif Özgül Ağırlık Deney Sonuçları 59
Tablo 2.10 : ÇİNKOM A.Ş Cürufunun Kimyasal Analiz Sonucu 60
Tablo 2.11 : Bitüm Özgül Ağırlık Deneyi 63
Tablo 3.1 : Pratik Yoğunluk – Cüruf %' si ilişkisi 68
Tablo 3.2 : Hava Boşluğu – Cüruf %' si ilişkisi 69
Tablo 3.3 : Agregalar Arası Boşluk – Cüruf %' si ilişkisi 70
Tablo 3.4 : Asfaltla Dolu Boşluk – Cüruf %' si ilişkisi 72
Tablo 3.5 : Akma – Cüruf %' si ilişkisi 73
Tablo 3.6 : Stabilite – Cüruf %' si ilişkisi 75

GİRİŞ

Teknolojik gelişmeler ve sanayileşme ile birlikte yaşanan hızlı kentleşme ve nüfus artışı, tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de insan faaliyetlerinin çevre üzerindeki baskısını artırmaktadır. İnsanların sınırsız ihtiyaçlarının teknoloji ile birlikte giderek daha da artması ve gerek doğal kaynakların daha çok tahrip edilmesine gerekse üretilen her ürünün nihai olarak atığa dönüşmesine neden olmaktadır. Bu yüzden çevre ve insan sağlığının ciddi tehditlerle karşı karşıya kalması kaçınılmaz olmaktadır. Atık olarak elde edilen çeşitli ürünlerin depolanması veya doğaya terk edilmesi çok büyük güçlükler oluşturmakta, çevre kirliliği ile birlikte topluma çok büyük sorunlar getirmektedir.

Günümüzde, mevcut doğal kaynakların bilinçsiz kullanım nedeniyle azalmasından dolayı, çeşitli ürünlerin üretimi sırasında elde edilen yan ürün veya atıkların değerlendirilmesi üzerinde yoğun olarak çalışmalar yapılmaktadır. Yollarda kullanılan yüksek performanslı bitümlü sıcak karışım üretiminde uygulanan yöntemlerden birisi endüstriyel atık maddelerin bir katkı olarak kullanımıdır. Atık malzemelerinin değerlendirilmesi ile hem atıkların oluşturacağı çevre kirliliği önlenmekte, hem de bu atıklar kullanılarak yolların bazı özellikleri iyileştirilmektedir. Ayrıca, atıkların değerlendirilmesiyle ülke ekonomisine de ciddi katkı sağlanılacaktır.

Ülkemizde son yıllarda ulaştırma sektöründe çok ciddi yatırımlar yapılmaktadır. Petrolde dışa bağımlı bir ülke olmamızdan dolayı yol yapım maliyetlerini düşürmek için çeşitli alternatifler üzerinde çalışılmaktadır. Atık maddelerin üretimine katıldıkları asfalt betonlarının performans özelliklerine katkı sağlamaları, araştırmacıları bu atık maddelerin yeniden kazanımı konusundaki çalışmalara yönlendirmiştir.

Asfalt betonunda genellikle taş tozu filler malzemesi olarak kullanılmaktadır. Ancak özellikle çevre korumanın öneminin anlaşılması ile bazı taş ocakları kapatılmak zorunda kalmıştır. Bu nedenle belediyeler ve Karayolları filler malzemesi bulmakta zorluk çekmektedir. Bu bağlamda atıkların değerlendirilmesinde fayda görülmektedir.

Ülkemizde ve dünyada faaliyet gösteren çeşitli sektörlerde farklı türlerde atık malzemeler ortaya çıkmaktadır. Bunlardan inşaat sektöründe yeniden kullanılabilirlikleri düşünüldüğünde başlıcalar mermer, kömür külü, atık fosfojips, cam, çatı shingle' ları v.b. malzemeler başlıca atıklardır.

İnşaatlarda mermer kullanımı her geçen gün artmaktadır. Mermere artan talebi karşılamak amacıyla, ülkemizdeki mermer işleme tesislerinin sayısında bir artış gözlenmektedir. Bunun sonucu olarak da, mermer işleme tesislerinin yoğunlaştığı bölgelerde, çevre ve doğal güzelliği bozması sebebiyle olumsuz bir etki oluşturan mermer atık sahalarının yoğunlaştığı görülmektedir [1].

Kömürle çalışan termik santrallerde, kömürün yanması sonucu ortaya çıkan atık kül zemin stabilizasyonunda, tuğla ve çimento imali gibi bir çok alanda kullanılmaktadır. Amerika 'da termik santrallerden yılda 82 milyon ton, Kanada 'da yılda 4 milyon ton kül ortaya çıkmaktadır [2]. Bu atıklar yukarıda belirtildiği gibi ekonomiye kazandırılmaktadır.

Ülkemizde Samsun, Bandırma, Mersin ve İskenderun 'da fosforik asit fabrikaları bulunmaktadır. Her yıl yaklaşık 3 milyon ton civarında atık fosfojips elde edilmektedir. Bu atık malzeme genellikle açık arazide depolanmakta veya nehirlere ve denizlere dökülmektedir. Her defasında yeni depolama alanlarına ihtiyaç duyulmakta, ayrıca verimli tarım arazileri işgal edilmektedir. Depolama probleminin en uygun çözümü fosfojipsin yeniden ekonomiye kazandırılması ve etkin olarak kullanılmasıdır [3].

Taiwan 'da yaklaşık olarak 5 milyon ton atık madde üretilmekte olup, bunun % 10' luk kısmını cam atıkları oluşturmaktadır. Bureau Karayolu Teşkilatı cam atıklarının tekrar kullanımı konusunda araştırma programları düzenlemiş, bu atıkların karayollarında kullanımıyla ilgili çalışmalar yapmıştır [4].

Amerika 'da her yıl yaklaşık 11 milyon ton shingle atığı ortaya çıkmaktadır. Atık shingle birikimini önlemek için alternatif çareler düşünülmüş ve atık malzemelerin parçalanarak yol üstyapısı, temel ve alt temel; yol çukurları, yaya kaldırımı, köprüler ve park alanlarında kullanılabileceği düşüncesi ortaya çıkmıştır [5].

Çinko kullanımı hayatımızın birçok alanına girmiş ve günlük yaşamımızda vazgeçilmez bir hal almıştır. Ancak üretimde oluşan atıklar göz ardı edilmemeli, insana ve çevreye saygılı bir üretim yapılması amaçlanmalıdır [6].

Bu çalışmada Kayseri ÇİNKOM kurşun, metal ve madencilik San. Tic. A.Ş.' nin atıklarının asfalt betonu binder tabakasındaki fiziksel ve mekanik özellikleri araştırılmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan normal agregalar Kayseri Bölgesinde bulunan Sergenkaya Taş Ocağı'ndan temin edilmiştir. Taş ocağından temin edilen malzemenin ve ÇİNKOM cürufunun fiziksel, mekanik özellikleri yapılan deneylerle belirlenmiş ve tablolar halinde sunulmuştur. Yapılan deneysel çalışmada cüruf ve taş ocağı malzemesi farklı oranlarda karıştırılmış ve farklı bitüm muhtevalarında akma ve stabilite deneylerine tabi tutularak optimum bitüm muhtevası bulunmuş, maksimum stabiliteyi veren karışım oranları hesaplanmıştır. Karışımlarda ÇİNKOM cürufunun doğal hali olan No.4 elek altı malzeme % 0 – 25 – 50 – 75 – 100 oranlarında taş ocağı agregası çıkarılarak bu malzemenin yerine karışım içerisine katılmış ve bu şekilde üretilen asfalt briketlerinin performansları değerlendirilmiştir.

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER

1.1. Yol Üstyapısı

Yol üstyapısı trafik yüklerini taşımak ve gerilmeleri dağıtmak üzere, taban yüzeyi üzerine projesinde belirlenen kalınlıklara göre tabakalar halinde serilip sıkıştırılan yapıdır. Yol üstyapısı esnek ve rijit üstyapılar olmak üzere iki şekilde inşa edilir.

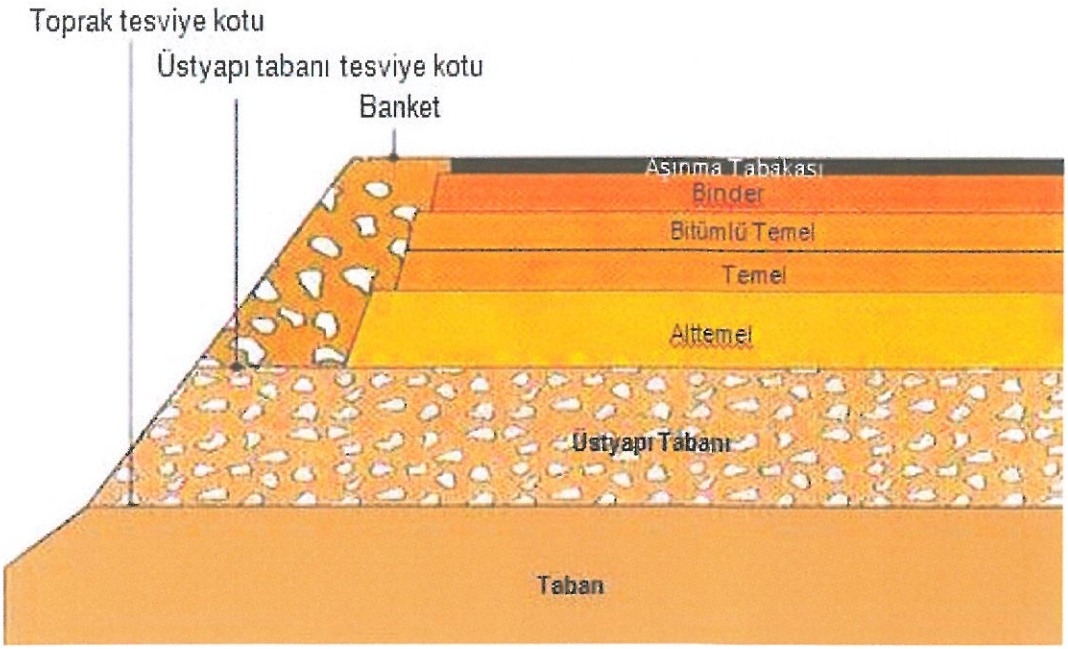
Ülkemizde çoğunlukla esnek üstyapılar kullanılmaktadır. Esnek üstyapılar, aşınma tabakası, binder tabakası, bitümlü temel tabakası, temel tabakası ve alt temel tabakalarından oluşmaktadır.

Aşınma, binder ve bitümlü temel tabakaları bitümlü karışımlardan oluşmaktadır. Ülkemizde granüler malzeme kaynağı oldukça fazla olduğu için, temel ve alt temel tabakalarında granüler malzeme yaygın olarak kullanılmaktadır. Dingil yüküne yakın olan üst tabakalar daha büyük gerilmelere maruz kaldığı için daha kaliteli malzemelerin kullanılması gerekmektedir. Bu nedenle, üst tabakalar elastiklik modülü yüksek bitümlü karışımlardan oluşturulmaktadır. Yol üstyapısında kullanılan bitümlü kaplamalar yapım ve çalışma prensipleri birbirinden farklı olan iki şekilde uygulanmaktadır. Yüzeysel (sathi) kaplamalar ve bitümlü karışımlarla oluşturulan sıcak karışım kaplamalarıdır. Bitümlü karışımlar agrega, bitüm ve hava boşluğundan oluşur.

Kaplama tabakasının altında temel tabakası bulunur. Temel tabakası bir veya birden fazla tabakadan oluşabilir. Temel tabakasının esas görevi taşıtların geçişlerinden dolayı oluşan gerilmeleri alt temele taşıma gücü sınırları içerisinde iletmektir. Temel tabakası duruma göre çimentolu veya bitüm bağlayıcılı karışım, stabilize edilmiş zemin veya şartname limitlerine göre dikkatle seçilmiş granüler malzeme olabilir. Trafik hacminin yüksek olduğu kesimlerde bitümlü karışımlar daha yaygın olarak kullanılmaktadır.

Temel tabakasının altında alt temel tabakası bulunur. Alt temelin esas görevi, bitümlü tabakaların inşası için çalışma zemini oluşturmaktır. Alt temel tabakasında kullanılan malzeme gradasyonu temele göre daha iridir. Mümkün mertebe yerel malzemeler ve yol inşaatında kullanılmaya elverişli atık malzemeler (molozlar, cüruflar, inşaat artıkları gibi) kullanılmaya çalışılır.

Taban zemini, sıkıştırılmış doğal zemin ya da dolgu malzemelerinden oluşur. Bu tabaka, üstyapıya temel görevi yapar. Yapısal olarak oldukça önemli bir tabakadır. Trafik yükleri son olarak bu tabakaya iletilir. Bu tabakanın görevini iyi yapabilmesi için iyi bir drenaja ve sıkışmaya ihtiyacı vardır.



Şekil 1.1 : Yol Üstyapısı Tip Enkesiti [7]

1.1.1. Taban Zemini

Bir esnek üstyapının davranışı, taban zemininin taşıma gücüyle doğrudan ilgilidir. Taban zeminlerinde yeraltı su seviyesi, tesviye yüzeyinin en az 100 cm. altında tutulmalıdır, bunu sağlayacak uygun yeraltı drenajı yapılmalıdır. Su, taban zeminlerinin taşıma gücünü azalmasında oldukça önemli bir faktördür. Bu nedenle, suyun etkili ve kalıcı bir drenaj sistemiyle inşaat esnasında ve yolun kullanım süresi boyunca tabandan ve üstyapı tabakalarından uzaklaştırılması sağlanmalıdır. Yol üstyapıları aşırı don kabarması ve tabanın donma çözülme mevsiminde taşıma gücünün azalmasıyla zarar

görebilir. Don olayının, yol üstyapısına olan etkisinin azaltılması için üstyapı taban zemininin dona karşı duyarlılığı, üstyapının toplam kalınlığı, donma indeksi, yer altı su seviyesinin üstyapı düzeyinden ölçülen derinliği gibi faktörlerin incelenmesi gereklidir [8].

Taban zeminlerinin sıkıştırıldıktan sonraki kuru birim ağırlıkları en az 1,45 kg/m^3 değerinde olmalıdır. KTŞ kısım 206' da dolgu malzemesinin özellikleri, yapım aşamaları açıklanmıştır [9].

Taşıma gücü düşük taban zeminlerinin dirençlerini artırmak, belirli koşullarda sahip olduğu direnci her türlü etki altında korumasını sağlamak amacıyla çeşitli katkı malzemeleriyle stabilizasyon yapılır. Kireçle, portland çimentosuyla ve bitümle yapılan stabilizasyonlar yaygındır. Orta ve ince daneli zeminler, kireçle stabilize edilerek plastisiteleri düşürülür. Karayolları Teknik Şartnamesinde Kısım 218' de kireç ile zemin stabilizasyonu hakkında detaylı bilgi verilmiştir. Zemin stabilizasyonu, trafik değerine göre üstyapı projelendirilmesinde temel veya alt temel olarak da değerlendirilebilir. Hafif trafikli yollarda geçici olarak kaplama vazifesi de görebilirler. Çimento ile stabilizasyon hafif trafikli yollarda kaplama olarak, orta ve yoğun trafikli yollarda temel tabakası olarak kullanılabilmektedir. Bitümlü malzemelerle zemin stabilizasyonunda ise zeminler bitümlü bağlayıcı, katran, katbek asfaltları ve asfalt emülsiyonları ile stabilize edilmektedir [10].

1.1.2. Alt Temel Tabakası

Alt temel tabakaları, Tablo 1.1' de belirtilen gradasyon limitleri içerisinde sürekli gradasyon verecek şekilde hazırlanan malzemenin su ile karıştırılarak, ince tesviyesi tamamlanmış dolgu ve yarmadan oluşan üstyapı tabanı üzerine bir veya birden fazla tabakalar halinde, projesinde belirtilen plan, profil ve enkesitlere uygun olarak serilip sıkıştırılmasıyla oluşturulur.[10]

Tablo 1.1 : Alttemel Malzemesi Gradasyon Limitleri [9]

ELEK AÇIKLIĞI		TİP-A	TİP-B
mm	inç	% GEÇEN	% GEÇEN
75	3	100	-
50	2	-	100
37,5	1 1/2	85 - 100	80 - 100
25	1	-	60 – 90
19	3/4	70 – 100	-
9,5	3/8	45 – 80	30 – 70
4,75	No.4	30 – 75	25 – 60
2,00	No.10	-	15 – 40
0,425	No.40	10 – 25	10 – 20
0,075	No.200	0 - 12	0 - 12

Modifiye Proktor Deneyi ile bulunan maksimum kuru birim ağırlığın %97' sine kadar sıkıştırılan numunelerin yaş CBR değerleri Tip A için minimum %30, Tip B için ise minimum %50 olacaktır. Alttemel yapımında kullanılacak malzemelerin diğer fiziksel özellikleri de Tablo 1.2' de gösterilmiştir.

Sıkıştırma, statik çizgisel yükü 30 kg/cm^2 den büyük olan kendi yürür düz bandajlı vibrasyonlu silindirler veya lastik başına düşen yükü 3500 kg' dan az olmayan lastik tekerlekli sıkıştırıcılarla yapılmaktadır [9,10].

Tablo 1.2 : Alttemel Malzemesinin Fiziksel Özellikleri [9]

DENEY ADI	ŞARTNAME LİMİTLERİ	DENEY STANDARDI
2 mm elek üzerinde kalan agreganın hava tesirlerine karşı dayanıklılık (donma) deneyinde NA_2SO_4 ile kayıp, Maksimum (%)	20	TS-3655 AASHTO T-104
Aşınma kaybı (Los Angeles) Maksimum (%)	50	TS-3694 AASHTO T-96
Likit Limit, Maksimum (%)	25	TS-1900 AASHTO T-89
Plastisite İndeksi, Maksimum (%)	6	TS-1900 AASHTO T-90
Kil Topağı ve Dağılabilen Tane Oranı, Maksimum (%)	(İri Malzeme) 2 (İnce Malzeme) 2	ASTM C-142
Organik Madde (%)	1	AASHTO T-194

1.1.3. Temel Tabakası

Temel tabakaları; granüler temel, plent- miks temel, çimento bağlayıcılı stabilize temel ve trafik yoğunluğu yüksek yollarda bitümlü temel olmak üzere dört farklı tipte inşa edilir ve uygulama esnasında projesinde verilen kalınlıklara bağlı olarak bir veya birden fazla tabakalar halinde serilir.

Soğuk karışım olarak da isimlendirilen granüler temel, plent- miks temel ve çimento bağlayıcılı stabilize temel tabakalarında kullanılacak agrega çakıl, kırılmış çakıl, kırma taş, kum, cüruf veya benzeri malzemelerden oluşur, kullanılan ince ve kaba agregaların fiziksel özellikleri Tablo 1.3 ve Tablo 1.4' te verilmiştir.

Tablo 1.3 : Kaba Agreganın Fiziksel Özellikleri [9]

DENEY ADI	ŞARTNAME LİMİTLERİ	DENEY STANDARDI
2 mm elek üzerinde kalan agreganın hava tesirlerine karşı dayanıklılık (donma) deneyinde Na_2SO_4 ile kayıp, Maksimum (%)	15	TS-3655 AASHTO T-104
Aşınma kaybı (Los Angeles) Maksimum (%)	40	TS-3694 AASHTO T-96
Kil Topağı ve Dağılabilen Tane Oranı, Maksimum (%)	1.0	ASTM C-142
Organik Madde (%)	Bulunmayacak	AASHTO T-194
Diğer Zararlı Maddeler, Maksimum (%)	1.0	-

Tablo 1.4 : İnce Agreganın Fiziksel Özellikleri [9]

DENEY ADI	ŞARTNAME LİMİTLERİ	DENEY STANDARDI
Likit Limit, Maksimum (%)	25	TS-1900 AASHTO T-89
Plastisite indeksi, Maksimum (%)	6	TS-1900 AASHTO T-90
Kil Topağı ve Dağılabilen Tane Oranı, Maksimum (%)	1.0	ASTM C-142
Organik Madde, Maksimum (%) Renk Skalası	0,5 0-1	AASHTO T-194 TS 3673
Diğer Zararlı Maddeler, Maksimum (%)	1.0	-

1.1.4. Granüler Temel

Granüler temel malzemesinin 4.75 (No.4) mm elek üzerinde kalan kısmının ağırlıkça en az %50' sinin iki veya daha fazla yüzü kırılmış olacaktır. Malzemenin 0.075 (No.200) mm eleği geçen kısmı, 0.425 (No.40) mm eleği geçen kısmının 2/3' ünden fazla olmayacaktır. Granüler temel, (GT) tabakasına ait gradasyon limitleri Tablo 1.5' de verilmiştir. Asfalt betonu ile kaplanacak yollarda kullanılacak granüler temel malzemesi gradasyonu, A ve B tiplerinden birine uygun olacaktır. Sathi kaplama yapılacak yollarda, projede belirtilen temel tabakası kalınlığı 20 cm den az ise tabakanın tümü C tipi granüler temel malzemesi ile yapılacaktır. Eğer projede belirtilen temel tabakası kalınlığı 20 cm veya daha fazla ise tabaka, A, B veya C tipi granüler temel malzemelerinden biri ile oluşturulacaktır [9,10].

Tablo 1.5 : Granüler Temel Tabakası Gradasyon Limitleri **[9]**

ELEK AÇIKLIĞI		% GEÇEN		
(mm)	(inç)	A	B	C
50	2	100	-	-
37,5	1 1/2	80 - 100	100	-
25	1	60 – 90	70 – 100	100
19	3/4	-	60 – 92	75 – 100
9,5	3/8	30 – 70	40 – 75	50 – 85
4,75	No.4	25 – 55	30 – 60	35 – 65
2,00	No.10	15 – 40	20 – 45	25 – 50
0,425	No.40	8 – 20	10 – 25	12 – 30
0,075	No.200	2 - 8	0 - 12	0 - 12

1.1.5. Plent - miks Temel

Plent- miks (PMT) temel tabakası kırılmış çakıl, kırılmış cüruf, kırma taş ve ince malzeme kullanılarak Tablo 1.6' da verilen gradasyon limitleri içerisinde sürekli gradasyon verecek şekilde kaba ve ince olmak üzere en az üç ayrı malzeme grubunun uygun oranda suyla bir plentte karıştırılmasıyla hazırlanan malzemenin bir veya birden fazla tabakalar halinde serilip sıkıştırılmasıyla oluşturulan tabakadır [9].

Tablo 1.6 : Plent-Miks Temel Tabakası Gradasyon Limitleri [9]

ELEK AÇIKLIĞI		% GEÇEN	
(mm)	(inç)	Tip - I	Tip - II
37,5	1 1/2	100	-
25	1	72 – 100	100
19	3/4	60 – 92	80 – 100
9,5	3/8	40 – 75	50 – 82
4,75	No.4	30 – 60	35 – 65
2,00	No.10	20 – 45	23 – 50
0,425	No.40	8 – 25	12 – 30
0,075	No.200	0 - 10	2 - 12

1.1.6. Çimento Bağlayıcılı Granüler Temel

Çimento bağlayıcılı granüler temel (ÇBGT) tabakası çakıl, kırılmış çakıl, kırılmış cüruf, kırma taş ve ince malzeme kullanılarak Tablo 1.7' de verilen gradasyon limitleri içerisinde sürekli gradasyon verecek şekilde hazırlanır. Malzemenin uygun oranlarda çimento ve su ile bir plentte karıştırılmasıyla hazırlanan karışımın bir veya birden fazla tabakalar halinde serilip sıkıştırılmasıyla oluşturulan tabakadır.

Kullanılacak çimentolar, TS EN 197-1' de belirtilen şartlara uygun olacaktır. Çimentonun teknik kontrolleri, TS EN 196- 1 standardında belirtilen esaslara göre yapılacaktır [9].

Tablo 1.7 : Çimento Bağlayıcılı Granüler Temel Gradasyon Limitleri **[9]**

ELEK AÇIKLIĞI		% GEÇEN
(mm)	(inç)	
37,5	1 1/2	100
25	1	72 – 100
19	3/4	60 – 92
9,5	3/8	40 – 75
4,75	No.4	30 – 60
2,00	No.10	20 – 45
0,425	No.40	8 – 25
0,075	No.200	0 – 10

1.1.7. Bitümlü Temel

Kırılmış, elenmiş ve yıkanmış kaba agrega, ince agrega ve mineral fillerin belirli gradasyon limitleri içerisinde, belirlenen dizayna uygun olarak bitümlü bağlayıcı ile bir plentte karıştırılarak, serici yardımıyla bir veya birden fazla tabakalar halinde şartnamede belirtilen sıcaklıkta serilip, sıkıştırılmasıyla oluşturulan temel tabakasıdır. Gradasyon limitleri Tablo 1.8' de verilmiştir.

Tablo 1.8 : Bitümlü Temel Tabakası İçin Gradasyon Limitleri [9]

ELEK AÇIKLIĞI (mm)	ELEK AÇIKLIĞI (inç)	TİP-A % GEÇEN	TİP-B % GEÇEN
37,5	1 1/2	100	100
25	1	72 – 100	80 – 100
19	3/4	60 – 90	70 – 90
12,5	1/2	50 - 78	61 – 81
9,5	3/8	43 – 70	55 – 75
4,75	No.4	30 – 55	42 – 62
2,00	No.10	18 – 42	30 – 47
0,425	No.40	6 – 21	15 – 26
0.180	No.80	2 – 13	7 – 17
0,075	No.200	0 - 7	1 - 8

Kaba agrega BS 812' ye göre test edildiğinde, yassılık indeksi % 35 den fazla olmayacak, taneler kübik ve köşeli olacaktır. Soyulmaya karşı mukavemeti en az % 50 olacaktır. Su emme yüzdesi de % 2.5' den fazla olmayacaktır [9].

Bitümlü temel tabakasında bitümlü bağlayıcı olarak TS 1081 EN 12591 (Bitümler ve Bitümlü Bağlayıcılar - Kaplama Sınıfı Bitümler – Özellikler) standardına uygun 40/60, 50/70 veya 70/100 penetrasyonlu bitüm kullanılacaktır. Uygulanacak iklim tipine göre bitüm cinsi idarece alınacak kararla belirlenir. Bitümlü temelin karışım tasarımı TS 3720 (Bitümlü Kaplama Karışımlarının Hesap Esasları) standardına göre Marshall metodu kullanılarak yapılır [9].

1.2. Esnek Yol Üstyapısı Kaplama Tabakaları

Teker yüküne direkt olarak maruz kalan esnek üst yapı tabakasına kaplama tabakası denilmektedir. Trafik yükleri nedeniyle oluşan basınç ve çekme gerilmelerinin en yüksek seviyede olması nedeniyle kaplama tabakası, üstyapının diğer tabakalarına göre daha yüksek elastisite modülüne sahip olmalıdır. Kaplama tabakaları yüzeysel (sathi) kaplamalar, bitümlü sıcak karışımlar ve taş mastik asfalt kaplamaları olarak sınıflandırılmaktadır.

1.2.1. Sathi Kaplamalar

Düşük trafik hacmine sahip yollarda ekonomik sebepler ve uygulama kolaylığından dolayı çok yaygın olarak kullanılan bir kaplama türüdür. Sathi kaplamalar projesine uygun olarak hazırlanmış temel tabakası üzerine sıvı asfalt serildikten hemen sonra uygun granülmetriye sahip agreganın serilip sıkıştırılmasıyla elde edilen esnek bir üstyapı tabakasıdır. Üzerine gelen trafik hacmine ve çevresel etkilere bağlı olarak tek tabakalı bitümlü sathi kaplama ve çift tabakalı bitümlü sathi kaplama olmak üzere iki şekilde uygulanır.

- **Tek Tabakalı Bitümlü Sathi Kaplama:** Granüler, plent- miks, çimento bağlayıcılı granüler temel veya benzer temeller ile asfalt kaplamalar üzerine ince film tabakası şeklinde bitüm serilip üzerine projesinde belirtilen gradasyonda agreganın serilip, silindirlenmesiyle oluşturulan kaplama şeklidir [9].
- **Çift Tabakalı Bitümlü Sathi Kaplama:** Temel tabakası üzerine iki kat yüzeysel kaplama yapılmasıyla elde edilen tabakadır. Tek ve çift tabakalı bitümlü yüzey kaplamalarının yapımında kullanılan malzemelerin özellikleri, gradasyonları, yapım teknikleri Karayolları Teknik Şartnamesi 403 ve 404. bölümlerinde açıklanmıştır [9].

Bu kaplama tipinin ekonomik oluşu, hızlı ve kolay uygulanabilirliği, kayma direnci yüksek bir yüzey oluşturması, temel tabakasını çevresel etkilerden koruması gibi avantajlarının yanında taşıma kapasitesinin düşük oluşu, bakım masraflarının fazlalığı, rutin bakım periyodunun çok kısa oluşu, sürtünme direncinin fazlalığından dolayı taşıt işletme giderlerini artırması, gevşek zemin oluşumundan dolayı trafiği tehlikeye sokması gibi dezavantajları vardır.

Tablo 1.9 : Agregaların Özellikleri [9]

DENEY ADI	ŞARTNAME LİMİTLERİ	DENEY STANDARDI
2 mm elek üzerinde kalan agreganın hava tesirlerine karşı dayanıklılık (donma) deneyinde NA_2SO_4 ile kayıp, Maksimum (%)	12	TS-3655 AASHTO T-104
Aşınma kaybı (Los Angeles) Maksimum (%)	30	TS-3694 AASHTO T-96
Yassılık İndeksi, Maksimum (%)	25	BS 812
Cilalanma Değeri, Minimum (%)	50	TS EN 1097 - 8
Soyulma Mukavemeti, Minimum (%)	50	-

1.2.2. Bitümlü Sıcak Karışım Tabakaları (Asfalt Betonu)

Asfalt betonu tanımı aşınma tabakasını, binder tabakasını veya bunların her ikisini birden kapsar. Karışımın agrega gradasyonu binder tabakası için Tablo 1.10' da, aşınma tabakası için de Tablo 1.11' de verilmiştir.

Kaba agrega; kırma taş, kırma çakıl veya bunların karışımından oluşacaktır. Kaba agrega taneleri kübik ve keskin köşeli olacaktır. Soyulmaya karşı mukavemeti en az %50 olacaktır. İnce agrega temiz, sağlam ve dayanıklı olacak, plastisite indeksi % 2'den fazla olmayacaktır [9].

Tablo 1.10 : Binder Tabakası İçin Gradasyon Limitleri [9]

ELEK AÇIKLIĞI		% GEÇEN
mm	inç	
25	1	100
19	3/4	80 – 100
12,5	1/2	58 – 80
9,5	3/8	48 – 70
4,75	No.4	30 – 52
2,00	No.10	20 – 40
0,425	No.40	8 – 22
0.180	No.80	5 – 14
0,075	No.200	2 - 7

Tablo 1.11 : Aşınma Tabakası İçin Gradasyon Limitleri [9]

ELEK AÇIKLIĞI		Tip - I	Tip - II
(mm)	(inç)		
19	3/4	100	-
12,5	1/2	83 – 100	100
9,5	3/8	70 – 90	80 – 100
4,75	No.4	40 – 55	55 – 72
2,00	No.10	25 – 38	36 – 53
0,425	No.40	10 – 20	16 – 28
0.180	No.80	6 – 15	8 – 16
0,075	No.200	4 - 10	4 - 10

Mineral filler, tamamı 0.425 mm (No.40) elekten geçip, ağırlıkça en az % 70' i 0.075 mm (No.200) elekten geçen malzeme olarak tanımlanmaktadır. Mineral fillerin elek analizi AASHTO T – 37' ye göre yapılacaktır.

Bu üç grup malzemenin özellikleri bitümlü karışımın özelliklerine etki eder. Bitümlü karışımdaki iri agrega yüzdesi % 40 - 50'ye çıkarılırsa, agrega karışımının mekanik direncini artıran bir iskelet oluşturulur; böylece karışımın direncide önemli ölçüde artar. İnce agrega ise 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 sağlamaktadır. Mineral filler, toplam agreganın çok düşük yüzdesini oluşturmasına karşın, karışımın özelliklerinin düzenlenmesinde rol oynar. Mineral filler düzgün bir granülometrik bileşime sahip olmalıdır. Tanelerin şeklide önemlidir, yassı, düz ve uzun tanelerin yüzdesinin artması fillerin kalitesini düşürür. Filler bitümlü malzemeyle reaksiyona girmemelidir. Mineral filler taş tozu, mermer tozu, portland çimentosu sönmüş kireç ya da benzeri maddelerde oluşacak kil, toprak, organik ve zararlı maddeleri içermeyecektir [11].

Asfalt betonu için dizayn kriterleri Tablo 1.12' de verilmiştir.

1.2.2.1. Bitümlü Sıcak Karışımların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

İklim koşullarının ve trafiğin ortak etkileri beton asfalt kaplamaların ömürlerini inşaat mühendisliğinin diğer yapılarında (barajlar, köprüler) elde edilen düzeyin çok altına düşürmektedir. Bu nedenle, beton asfalt kaplamaların, söz konusu dış tesirler altında bozulmadan hizmet görebilmesi için hangi özelliklere sahip olması gerektiğinin ve bu özelliklere etkiyen faktörlerin incelenmesi gereklidir [12].

1.2.2.2. Bitümlü Sıcak Karışımlardan Beklenen Fiziksel ve Mekanik Özellikler

Hazırlanan ve yol üzerine serilen karışımın bazı özellikleri sağlaması istenmektedir. Bunlar, karışımın hazırlanmasında temel amaçlardır [13].

Bunlar;

Tablo 1.12 : Asfalt Betonu Dizayn Kriterleri [9]

ÖZELLİKLER	BİNDER		AŞINMA	
	min.	maks.	min.	maks.
Briket yapımında uygulanacak darbe sayısı	75		75	
Marshall stabilitesi (kg)	750	-	900	-
Boşluk (%)	4	6	3	5
Asfaltla dolu boşluk (%)	60	75	65	75
Agregalar arası boşluk, (VMA) (%)	13	-	14	-
Akma (mm)	2	4	2	4
Filler / bitüm oranı	-	1,4	-	1,5
Bitüm (Ağırlıkça %' de)	3,5	6,5	4,0	7,0

- Stabilite,
- Durabilite (Dayanıklılık),
- Geçirimsizlik,
- İşlenebilirlik,
- Esneklik,
- Yorulmaya Karşı Direnç,
- Kaymaya Karşı Direnç,
- Rijitlik,

olarak belirtilebilir.

Sıralanan özellikler hakkında, temel unsurlar için şunlar söylenebilir.

a) Stabilite

Stabilite, taşıtlardan gelen sürekli dinamik yükler, uzun süreli statik yükler ile hızlanan veya yavaşlayan tekerlek etkileri altında oluşan basınç, çekme, kesme kuvveti (makaslama) ve sökülmeye karşı asfalt betonunun gösterdiği dirençtir. Stabilite üstyapı

projelendirilmesi açısından beton asfaltın en önemli parametrelerinden biridir [13]. Stabilite trafik yüklerini karşılayacak kadar yüksek olmalıdır. Ancak çok yüksek stabilite, çok rijit bir karışım anlamına gelir ki bu tür kaplamalar trafik yükleri altında oluşan defleksiyonlara dayanamayıp çatlarlar [14].

Bitümlü sıcak karışımın stabilitesi, kaplamanın ağır trafik yüklerinden kaynaklanan tekerlek izi oluşumu ve toplanmaya karşı koyabilme yeteneğidir. Stabil bir kaplama, tekrarlı trafik yükleri altında düzgünlüğünü sürdürebilmekte, stabil olmayan bir kaplamada ise; tekerlek izleri, ondülasyonlar ve sökülmeler oluşmaktadır [15].

Stabilite, yıllık araç sayıları ölçülerek tespit edilmektedir. Bunun için karışımdan beklenen stabilite değeri, karışımın serileceği yerin önceden trafik analizleri yapılmak suretiyle belirlenir. Karışımın stabilitesi, agregalar arasındaki içsel sürtünmeye ve bağlayıcının kohezyonuna bağlıdır. Agregalar arasındaki içsel sürtünme; agregaların şekilleri ve yüzey dokuları ile ilgilidir. Kohezyon ise, yükleme hızı arttıkça (trafik hızı), asfalt bağlayıcının vizkozitesi arttıkça ya da kaplamanın sıcaklığı düştükçe artar. Stabilite, karışımdaki bağlayıcı miktarı belli bir seviyeye kadar arttırıldıkça artar ve bu seviyenin üstüne çıkıldığında bağlayıcı agregalar üzerinde çok kalın bir film oluşturduğu için, malzemeler arasındaki içsel etkileşimin düşmesine neden olur [15].

Tablo 1.13' de stabiliteyi düşüren nedenler ve sonuçları görülmektedir

Tablo 1.13 : Düşük Stabilitenin Neden ve Sonuçları **[16]**

DÜŞÜK STABİLİTE	
NEDEN	**SONUÇ**
Yüksek asfalt %' si	**Oluklaşma, tekerlek izinde oturma ve kusma**
Karışımda fazla kum %' si	**Sıkıştırma sırasında ve sonrasında yumuşaklık, sıkıştırma zorluğu**
Yuvarlak agrega, kırılmamış yada az kırılmış agrega yüzeyi	**Tekerlek izi oluşumu**

Karışımın aşınmaya karşı direnci doğal olarak agreganın aşınma özelliğine bağlıdır. Aşınma tabakalarında daha sert agrega kullanılarak daha yüksek bir dayanıklılık

sağlanabilir. Şişmeye karşı direnç de yine agreganın şişme karakteristiklerine bağlıdır. Dayanıklılığa etkiyen diğer önemli faktör nemdir. Mevcut nem halinde karışımın soyulmaya karşı direnci agreganın absorpsiyonu ile ilgilidir.

Asfaltın oksitlenmeye karşı direncinde, asfaltın yaşlanma karakteristikleri ve beton asfalt karışımındaki boşluk oranı önemli rol oynar. Oksitlenme aynı zamanda kaplamanın kırılmaya karşı direncini de etkiler. Çünkü oksitlenme sırasında penetrasyonun düşmesi ile kaplama daha kırılgan hal alır [13].

Durabiliteyi düşüren nedenler ve sonuçları Tablo 1.14' te verilmiştir.

Tablo 1.14 : Düşük Durabilitenin Neden ve Sonuçları **[16]**

DÜŞÜK DURABİLİTE	
NEDEN	**SONUÇ**
Düşük asfalt %' si	**Kuru bir görünüş, agregaların sökülmesi**
Yetersiz sıkışma ve dizayn hatası nedeniyle yüksek hava boşluğu % 'si	**Kırılma ve ayrışmaya neden olan asfaltın erken yaşlanması**
Soyulmaya karşı hassas agrega kullanımı	**Bağlayıcının, agrega yüzeyinden soyulması ve agregaların sökülmesi**

b) Geçirimsizlik

Asfalt betonunun, hava ve su girişine karşı koyma direncidir ve karışımın içindeki hava boşluklarının oranı ile ilişkilidir. Hava boşluğu, kaplamaya su ve havanın girişine neden olsa da, bu boşlukların sayısından çok, boşlukların karakterleri, geçirimsizlik için daha önemlidir. Bu karakterleri, boşlukların boyutu, boşlukların birbiri ile bağlantı seviyeleri ve bunların kaplama yüzeyine ulaşıp ulaşmadıkları olarak ifade edebiliriz [15].

Beton asfalt karışımından oluşmuş kaplama tabakasının alt tabakalara su geçirmeyecek derecede geçirimsiz olması gerekir [13]. Geçirimsizliği düşüren nedenler ve sonuçları, Tablo 1.15' de verilmiştir.

Tablo 1.15 : Karışımın Çok Geçirgen Olmasının Neden ve Sonuçları **[16]**

GEÇİRİMLİLİK	
NEDEN	**SONUÇ**
Düşük asfalt % 'si	**İnce asfalt filmi, kaplamanın erken yaşlanmasına, sökülmesine neden olur.**
Karışımda yüksek hava boşluğu % 'si	**Su ve hava kaplamaya kolayca girerek, oksidasyona ve agregaların parçalanmasına neden olur.**

c) İşlenebilirlik

İşlenebilirlik, malzemeyi istenilen kıvamda ve homojenlikte, sıkıştırma ile kolayca yerleştirebilmektir. Bu özellik, agrega granülometrisi, asfalt çimentosu oranı, en büyük dane boyutu, danelerin şekli ve agreganın yüzey dokusu ile yakından ilgilidir. 2 mm (No.10) elek altındaki agreganın şekli beton asfaltın özellikleri üzerinde gözle görülür şekilde etkilidir. Köşeli danelere sahip veya kırmataş parçaları içeren kumlar stabiliteyi yükseltirken, yuvarlak daneli kumlar işlenebilirliği arttırırlar. Bazı hallerde iyi derecelenmiş karışım ve yeterli silindirleme olduğu halde bağlayıcı azlığı sebebiyle istenilen yoğunluk elde edilememektedir. Bu durum asfalt çimentosu oranının beton asfaltın işlenebilirliğindeki rolünü açık olarak ortaya koyar [13]. Yapılan araştırmalar sonucunda bitümlü karışım ne kadar çok işlenebilir ise o kadar kolay sıkışmakta, kolay sıkışan karışımlar da trafik altında o kadar çabuk ve kolay deforme olmaktadır. Tersine karışım ne kadar az işlenebilir yani rijit ise o kadar zor sıkışmakta ve trafik altında da o kadar az deformasyona uğramaktadır [14].

İşlenebilirliği düşüren neden ve sonuçlar Tablo 1.16' da görülmektedir. İşlenebilirlik ayrıca, elle serim yapılan yerlerde; örneğin, rögar çevrelerinde, keskin kurplarda ve makine ile sıkıştırmanın mümkün olmadığı yerlerde ekstra önem kazanmaktadır. Çünkü bu noktalarda makine ile sıkıştırma yapılamadığından dolayı, basit sıkıştırma teknikleri kullanılır [15].

Tablo 1.16 : Düşük İşlenebilirliğin Neden ve Sonuçları **[16]**

DÜŞÜK İŞLENEBİLİRLİK	
NEDEN	**SONUÇ**
Çok fazla kaba agrega	Sıkıştırmada zorluk
Çok düşük karışım sıcaklığı	Kaplanmamış agrega, durabilite eksikliği, pürüzlü bir yüzey, sıkıştırma zorluğu
Karışımda, çok miktarda kum	Sıkıştırma esnasında karışımın hareketi
Karışımda, düşük filler	Karışım çok geçirgen
Karışımda, yüksek miktarda ince agrega	Karışım çok kuru, yetersiz durabilite

d) Esneklik (Fleksibilite)

Yolun alt tabakalarındaki çökmelerden, asfalt betonu tabakalarına geçecek genel deformasyona asfalt betonu tabakalarının çatlamadan karşı koyabilme yeteneğidir. Fleksibilite yetersizliği yol yüzeyinde çatlamalara yol açar. Mineral fillerin ve bitümün oranı, bitümün kıvamı, düktilitesi ve sıcaklığa karşı duyarlılığı fleksibiliteye tesir etmektedir. Kararlı ve esnek bir beton asfalt karışımı elde edebilmek için sıcak havalarda kıvamını koruyabilen, soğuk havalarda ise kırılgan hale gelmeyen ve yorulmaya karşı dayanıklı bir bağlayıcı gereklidir [13].

e) Yorulma Mukavemeti

Bitümlü sıcak karışımların yorulma mukavemeti, kaplamada çatlamalar oluşmadan tekerrür eden yükler etkisinde eğilmeye (yani kalıcı olmayan deformasyonların oluşmasına) müsaade etme yeteneğidir. Bir başka deyişle, kaplamanın sahip olduğu çekme mukavemetinin altında etkiyen trafik yüklerinin maksimum tekerrür sayısına tekabül eden mukavemet değeridir [17].

.

Araştırmalar, karışımdaki hava boşlukları ve bitümün yorulmaya karşı mukavemette çok etkin olduğunu göstermektedir. Gerek yetersiz sıkıştırma, gerekse dizayn hatalarından dolayı yüksek hava boşluğuna sahip kaplamaların yorulma mukavemetleri bu nedenle düşmektedir. Kaplamanın, yaşlanması sonucu sertleşmesi de, yorulmaya karşı direncini azaltmaktadır [15].

Kaplamanın kalınlığı ve dayanım karakterleri ile alt temelden sağlanan dayanım, kaplamanın ömrünü ve yükten dolayı oluşan çatlakları önlemede çok önemlidir. Kalın ve iyi destek alan kaplamalar, yük altında ince ve desteksiz kaplamalar kadar eğilmezler. Bu yüzden yorulma ömürleri daha uzundur [15]. Yorulmaya karşı direnci düşüren etkenler ise Tablo 1.17' de verilmiştir.

Tablo 1.17 . Düşük Yorulma Direncinin Neden ve Sonuçları **[16]**

DÜŞÜK YORULMA DİRENCİ	
NEDEN	**SONUÇ**
Düşük asfalt % 'si	**Yorulma çatlakları**
Karışımda yüksek hava boşluğu % 'si	**Erken yaşlanma ve buna bağlı yorulma çatlakları**
Yetersiz sıkıştırma	**Erken yaşlanma ve buna bağlı yorulma çatlakları**
Yetersiz üstyapı kalınlığı	**Büyük eğilmeler ve buna bağlı yorulma Çatlakları**

f) Kaymaya Karşı Direnç

Asfalt betonu yüzeyinin, sürtünme ile araçların güvenli bir şekilde durmasını ve hareket etmesini sağlaması kaplamanın kaymaya karşı olan direncine bağlıdır. Bu özellik kaplamanın yüzey dokusu kadar beton asfalt karışımındaki bitüm oranı ve karışımın boşluk oranı ile ilgilidir. Karışımda çok fazla bitüm varsa veya yeterli boşluk yoksa, trafiğin oluşturduğu sıkıştırma etkisi ile veya sıcak havalarda agregaların genleşmeleri sonunda, bitüm dışarı çıkar ve kaygan bir yol yüzeyi meydana gelir ki buna

"kaplamanın terlemesi" denir. Bu sakıncanın ortaya çıkmaması için asfalt betonu homojen olmalı, üretim ve kullanma sırasında segregasyona uğramamalıdır [13].

g) Rijitlik

Bitümlü sıcak karışımlar viskoelastik malzemeler olup mekanik özelliklerini belirlemek için "Rijitlik Modülü" kullanılmaktadır. Rijitlik modülü, elastik malzemelerin elastikiyet modülüne benzemekle beraber ısı ve yükleme hızına bağlıdır.

Dolayısıyla rijitliğe etki eden faktörler; ısı (T) ve yükleme süresi (t) veya hızı olup karışıma giren malzemelerin temel özellikleri ikinci derecede rol oynamaktadır. Rijitlik, bitümlü sıcak karışımların yükleme süresi (veya hızı) ve ısı etkisi altında gerilme ve deformasyon arasındaki ilişkinin ifadesidir. Yani rijitliği genel olarak; yükleme süresi azaldıkça (veya yükleme hızı arttıkça), ısı azaldıkça, karışımın yoğunluğu arttıkça ve asfaltın penetrasyonu azaldıkça artacaktır [17].

1.3. Bitümlü Sıcak Karışımlarda Kullanılan Malzemeler

1.3.1. Agregalar

Bitümlü sıcak karışımların iki esas malzemesinden birisi agregadır. Bitümlü kaplamalarda kullanılacak agreganın, kökeni (magmatik, tortul, metamorfik) ne olursa olsun, her kaplama tipi için şartnamede verilen fiziksel özellikleri ve granülometrik bileşimi sağlaması gerekir. Kaplamanın ağırlıkça ve hacimce önemli bir kısmını oluşturan agrega, yola etkiyen yüklerin oluşturduğu gerilmelerin karşılanmasında önemli rol oynamaktadır. Bu bakımdan agregaların özellikleri yol mühendisleri için çok önemli olup, değişik agrega tiplerinin karakteristik özelliklerinin bilinmesi yolların projelendirilmesi için gereklidir. En geniş tarifiyle agrega; kum, çakıl, kırmataş, cüruf ve diğer mineral bileşiklerden ibaret olup bağlayıcı bir ortamda, bitümlü bir karışım, portland çimentosu betonu, harç, makadam, mastik ve benzeri uygulamalar için bir araya getirilmiş veya bağlayıcısız bir ortamda kullanılmak üzere (demir yollarında balast malzemesi gibi) bir araya getirilmiş malzeme olarak tanımlanır [18]. Bitümlü sıcak karışımlardaki mineral agrega miktarı genellikle ağırlıkça % 90 ila 95, hacimce % 75 ile 85 arasındadır. Mineral agrega esas olarak kaplamanın yük taşıma kapasitesinden sorumlu olup, buna bağlı olarak asfalt kaplamasının performansı büyük oranda agregaya

bağlıdır [42]. Agrega seçiminde mineraloji, boyut, gradasyon, biçim, yüzey yapısı, porozite, yüzey alanı ve boşluk oranı, özgül ağırlık aranılan özelliklerdir.

1.3.1.1. Mineralojik Sınıflandırma

Agregalar genel olarak dere malzemesi, kırmataş, yapay (suni) taşlar olarak elde edilir. Dere malzemeleri karayollarında alttemel malzemesi haricinde çok fazla kullanılmamaktadır. Yapay (suni) taşlar ise genellikle yüksek fırın cürufundan elde edilmektedirler. Gerek üretim zorluğu gerekse de kullanım zorluklarından dolayı karayolu inşaatlarında çok fazla kullanılmamaktadır. Fakat gelişen endüstri ve buna bağlı olarak endüstriyel atık miktarının artması araştırmacıların ve üreticilerin dikkatini çekmiş ve bu atıkları azalan doğal kaynaklara alternatif hale getirme çalışmalarına hız vermiştir. Yol inşaatlarında en çok tercih edilen ve en uygun agrega, kayaların kırılması sonucu elde edilen kırmataş agregalardır. Kayalar; magmatik, tortul, metamorfik (başkalaşım) olarak sınıflandırılan doğal malzemeler olarak tanımlanır [17].

a) Magmatik Kayalar

Yer kabuğunun derinliklerinde bulunan magmanın soğuyarak katılaşması sonucu oluşan kristal yapıdaki kayaçlardır. Kimyasal yapılarına göre asit ve baz bünyeli olarak ayrılırlar. Asit bünyeli kayalar, birleşimlerinde serbest kuvartz bulunan, oldukça açık renkli ve özgül ağırlıkları 2,75 t/m^3' ten az olan malzemelerdir. Baz bünyeliler ise, birleşimlerinde kuvartz bulunmayan, koyu renkli ve özgül ağırlıkları genelde 2,75 t/m^3'ten fazla olan malzemelerdir. (Diabaz, Grafit, Trakit ve Bazalt gibi) [8]. Yol agregaların kaba dokulu olması istenmez. Çünkü bu cins dokuya sahip kayalar gevrek olduklarından, silindir altında kolayca kırılabilmektedirler. Çok ince dokulu kaya da aynı biçimde arzu edilmez. Çünkü bunlar agraga yapımı için kırıldığında, kaba ve keskin köşeli parçalar oluşur. Orta büyüklükte dokuya sahip birçok magmatik kaya, kristallerin iç içe karışması nedeniyle en iyi yol agregası olabilmesi özelliklerine sahiptir. Ocaktan alındığı zaman sağlam halde bulunan bir kayanın, yapımında kullanıldığı yolun ömrü boyunca bozulma ihtimali hemen hemen yoktur. Fakat yarı ayrışmış halde iken agrega olarak kullanılan kaya zamanla özelliklerini kaybedebilir. Böyle bir kaya yol inşaatında kullanılmamalıdır [19].

b) Tortul Kayalar

Her türlü kayanın ayrışması sonucu oluşan ve yağmur, sel gibi doğal yollarla taşınarak deniz veya göllerin çukur alanlarında biriken kaya tipidir. Bu kayalar farklı zaman dilimlerinde yavaş yavaş oluştukları için katmanlı bir yapıya sahiptir. Bu yavaş oluşuma bağlı olarak katmanlar arasında canlı fosillerine rastlamak mümkündür. Yapısal olarak fazla sert olmamakla birlikte aşınmaya müsait bir yapıları vardır. Tortul kayalar oluşumlarına göre farklılıklar göstermektedir. Su ve rüzgar gibi mekanik etkilerle kayaların parçalanması ve parçalar halinde başka havzalarda birikmesiyle oluşan parçalı tortul kayalar, suyun üzerinden geçerken çözdüğü mineralleri başka havzalara taşıması ve suyun buharlaşması sonucu bu havzalarda biriken minerallerin oluşturduğu buharlaşmayla oluşan tortul kayalar, su içerisinde yaşayan kabuklu canlıların ölmesi ve kabukların birikmesiyle oluşan organik tortul kayalar ve yine buharlaşma kaya tipine benzer olan fakat tatlı suda değil de denizlerde oluşan ve tatlı suda çözünemeyen fakat tuzlu suda çözünme özelliğine sahip minerallerin deniz ve okyanus tabanlarında birikmesiyle oluşan kimyasal tortul kayalar olmak üzere dört farklı oluşum tipi vardır.

c) Metamorfik (Başkalaşım) Kayalar

Mevcut yapının çeşitli etkenlerle değişime uğramasına (Yunanca kökenli değişme anlamına gelen ''meta'' ve biçim anlamına gelen ''morpho'' sözcüklerinin birleştirilmesiyle oluşan) metamorfizma denilmektedir. Magmatik kayalar veya tortul kayaların ısı, basınç ve akışkan etkisiyle yapılarının değişmesiyle oluşan yeni kaya tipine metamorfik kayalar denilmektedir. Isıl değişim kayacın ergime sıcaklığının altında olmalıdır aksi takdirde magmatik kaya oluşur. Yeryüzünün büyük bir kısmı magmatik be metamorfik kayalardan oluşmaktadır. Metamorfik kayalar farklı şekillerde oluşabilir. Sığ derinliklerde ki magma kütlesinin yakınındaki kayaları ısı etkisiyle değiştirmesi sonucu oluşan dokanak (kontakt) metamorfik kayalar, magma soğumaya başladığı anlarda kristal bir yapı oluşur bu yapı içerisinde ki sıcak ve sulu eriyikler magma tabakasından ayrılır ve çevrede bulunan yan kayalar ile tepkimeye girer bu tepkime sonrasında oluşan kaya tipine ise hidrotermal metamorfik kayalar denir. Kayaların yüksek basınç altında bir fay düzlemi boyunca metamorfizmaya uğraması sonucunda ise dinamik metamorfizma oluşmaktadır. Diğer bir metamorfik kayaç tipi ise yer kabuğunun derinliklerinde ki yüksek sıcaklık ve basınç etkisiyle oluşan ve bölgesel farklılıklar gösteren bölgesel metamorfik kayalardır.

d) Yapay (suni) agregalar

Endüstriyel işlemler sunucu elde edilen bu gruba cüruf, klinker ve çimento girmektedir.

- **Cüruf:** Endüstriyel atık madde olarak yüksek fırınlardan elde edilir. Yüksek fırın cürufu ve çelik cürufu olarak yol üst yapısının çeşitli tabakalarında kullanılabilir.
- **Klinker:** Fırın atığı olup, küllerin eriyerek topaklar haline gelmesiyle oluşur. Klinker çok değişken bir malzemedir.
- **Çimento:** Üstyapı gradasyonunda filler malzemesi olarak kullanılır. Çimentonun filler olarak kullanılmasında, bağlayıcı malzeme oluşunun bir önemi yoktur. Granülometrik bileşimi ve saf olması ayrıcada bağlayıcıyla herhangi bir reaksiyona girmemesi gibi özellikleri nedeniyle filler olarak kullanılmaya elverişlidir.

e) Filler

Mineral filler, toplam agreganın çok küçük yüzdesini oluşturmasına karşın, karışımın özelliklerinin düzenlenmesinde önemli rol oynar. Mineral filler, 0,075 mm' lik elekten geçen agrega malzemesidir. Ancak 0,075 mm'den daha ince olan tüm malzemeler filler görevi görmezler. Filler, bitümlü karışımlarda ince agrega oranını artırmak, boşluk miktarını azaltmak ve yüksek sıcaklıklarda asfalt betonunun deformasyona karşı dayanımını artırmak için kullanılmaktadır. Boşluk doldurucu bir özelliğe sahip olduğundan stabiliteyi etkilemektedirler. Mineral filler köşeli olmalı, asfalt betonu içerisindeki boşlukları doldurabilmesi için uygun gradasyona sahip olmalı ve aynı zamanda 0,001 mm' den ince boyutlu daneler de içermelidir. Dane şekli mineral fillerin etkisi üzerinde önemli rol oynar. Köşeli şekiller, ince, düz ve uzun parçacıklardan daha çok arzu edilir. Mineral filler içindeki istenmeyen şekilli parçacıkların oranı artarsa mineral fillerin kalitesi düşer. Toprak, kil, organik ve zararlı maddeler ihtiva etmemeli ve kolayca akacak kadar da kuru olmalıdır. Taş tozu, mermer tozu, kalker tozu, portland çimentosu ve sönmüş kireç çok sık kullanılan mineral filler malzemeleridir [8].

Fillerin, karışım içerisindeki oranı iyi ayarlanmalıdır. Genellikle bitümlü karışım içinde % 3 ile % 9 oranları arasında kullanılır. Belli bir orana kadar filler, boşlukları doldurduğu için, ince agrega gradasyonunu değiştirir ve böylece agrega danecikleri arasında daha fazla temas noktası sağlayarak daha yoğun karışımların elde edilmesinde rol oynamaktadır. Bunun yanı sıra, bitüm ile birlikte ince agregaya karşı kayganlaştırma

ve bağlayıcı etkisi göstererek harç elde etmeyi sağlar. Filler kimyasal bakımdan atıl olmalı, yani bitümlü malzeme ile reaksiyona girmemelidir. Ayrıca, bitümlü karışımın yapıldığı sıcaklıkta bir değişikliğe uğramamalı, bağlayıcıya karşı iyi bir yüzey adezyonu göstermelidir [8].

Mineral fillerin asfalt yol karışımlar üzerine etkisi aşıdaki gibi özetlenebilir:

- Farklı mineral filler, asfalt çimentosuna eklendiğinde farklı rijitlik etkileri gösterir.
- Zaman–sıcaklık değişim fonksiyonu, filler-asfalt oranı 1' den az olan asfalt veya mineral filler tarafından etkilenmez.
- Karışımlara eklenen mineral filler, Marshall stabilite ve hava boşluğunu etkilemez.
- Esneklik modülü değeri (kısa-süreli elastik tepki) mineral fillerin katılaşma etkisini yansıtmaz [20].

Dukatz ve Anderson (1970), sekiz farklı mineral fillerin etkilerini incelemişlerdir. Asfalt-mineral filler karışımları, iki farklı filler-asfalt oranında hazırlanmıştır. Bu karışımlar üzerinde dört sıcaklıkta plaka viskozimetresi deneyleri yapılmıştır. Farklı mineral filler malzemeleri, asfalt çimentosuna karıştırıldığında farklı rijitlik etkileri gösterdiğini, karışımlara eklenen mineral fillerin Marshall stabilite ve hava boşluğunu etkilemediğini bulmuşlardır.

Ishai v.d. (1980), optimum mekanik davranış ve optimum bitüm içeriği gibi bitümlü karışımların optimal davranışlarını belirlemede mastik ve fillerin temel özelliklerini incelemişlerdir. Sonuçta, karışımların davranışında diğer etkiler ile ilgili olarak fillerin sınıflandırılması için temel nicel kriter önerilmiştir. Altı çeşit filler araştırmada kullanılmıştır. Bunlar cam parçacıkları, dolomit, kumtaşı, bazalt, kireçtaşı ve hidrate kireçtir.

Puzinauskas (1983), filler-asfalt karışımının özellikleri, yol karışımlarının davranışı ve özellikleri üzerine mineral fillerin etkilerini araştırmıştır. Bu amaçla dört farklı mineral filler (kireçtaşı tozu, kaolin kili, fuller toprağı ve kısa-lif asbest) kullanmıştır. Bitüm malzemesini sabit tutmuş, üç ayrı agrega (kum, volkanik kaya ve kireçtaşı), kullanmıştır. Dört farklı mineral fillerin etkilerinin değerinin ölçülmesi için yaygın olarak kullanılan Marshall karışım tasarımı, asfalt yol karışımının fiziksel özelliklerinin

belirlenmesinde kullanılmıştır. Bu testler için her bir numunenin hazırlanmasında Marshall tokmağı ile 50 düşüş kullanılarak numuneler sıkıştırılmıştır. Araştırmacı bu çalışmasında, aşağıdaki sonuçlara ulaşmıştır.

1) Çoğu kez, yolun yoğunluk ve dayanıklılık gibi özelliklerini iyileştirmek için mineral fillere ihtiyaç duyulur.
2) Mineral filler asfalt karışımlarında iki rol oynar. Birincisi, mineral agregaların bir parçasıdır. İkincisi ise, büyük agrega parçaları arasında temas sağlar ve boşlukları doldurur.
3) Bitüm içerisine normalden daha az mineral filler karıştırıldığı zaman, asfaltın düktilite, penetrasyon ve viskozite özellikleri önemli düzeyde değişiklik gösterir.
4) Gerçek asfalt karışımlarda genellikle kullanılan filler miktarı, çevre sıcaklıklarında filler asfalt karışımlarının düktilitesi sıfır değerine yaklaşır.
5) Viskozite ölçümleri, yol kaplama malzemesi inşası ve kullanımında fillerin güvenilebilirliğinin belirlenmesini sağlar. Filler tipi ve miktarına bağlı olarak, yüksek sıcaklıklarda filler asfalt karışımlarının viskozite değerleri, çok geniş bir alanda değişebilir.
6) Deneyler, yoğun bir asfalt karışımları elde etmek için ihtiyaç duyulan sıkıştırma enerjisi ve binder viskozitesi arasında önemli ve iyi bir korelasyonun varlığını göstermiştir. Bu testler, yüksek viskoziteli filler asfalt karışımları içeren binder tabakasının sıkıştırılabilmesi için aynı zamanda yüksek sıcaklığa ihtiyaç duyulduğunu göstermiştir.

1.3.2. Bitümlü Bağlayıcılar

Bitüm, "doğal kökenli hidrokarbonların bir karışımı veya pirojenik kökenli hidrokarbonların bir karışımı veya bunların her ikisinin bir kombinasyonu olup çok defa bunların gazı sıvı, yarı katı ve katı olabilen, metal-dışı türevleri ile bir arada bulunan, yapıştırıcı özellikleri olan ve karbon disülfürde tamamen çözünen madde" olarak tanımlanır [22]. Bitüm, su geçirmez, yapışkan ve koyu renkli bir malzemedir. Bu özellikleri, çok çeşitli alanlarda kullanılmasına yol açar. Başlıca kullanım alanları, yol yapımı, çatı kaplamaları ve barajların geçirimsiz tabakalarının oluşturulmasıdır. Günümüzde, bu ürünün büyük bir bölümü, petrol rafinerilerinden sağlanmaktadır. Ham

petrolden benzin, gazyağı ve mazot ayrıştırıldıktan sonra kalıntılar, vakum altında yeniden damıtılarak bitüm elde edilebilir.

Bitümlü bağlayıcılar esas olarak iki kısma ayrılırlar

- **Asfalt :** Doğal asfaltlar ve yapay asfaltlar diye iki gruba ayrılabilir. Doğal asfaltlar, mineral maddelerle karışmış halde bulunan kaya ve göl asfaltlarıdır. Yapay asfaltlar ise, ham petrolün arıtılmasından elde edilir.
- **Katran :** Başlıca kömürün veya odunun kapalı bir sistem içerisinde kuru kuruya damıtılmasından elde edilir. Arıtıldıktan sonra kullanılır.

1.3.2.1. Doğal Asfaltlar

Doğal asfaltlar doğada genellikle mineral maddelerle karışmış halde bulunurlar. Konumların göre göl ve kaya asfaltı diye adlandırılır. Bitümlü karışımlarda göl ve kaya asfaltları, asfalt çimentosuna katılarak ya da plentte agregaya ilave edilerek, modifiye bitüm ya da modifiye karışım hazırlamakta kullanılmaktadır. Doğal asfaltlar, mastik asfalt, poroz asfalt ve asfalt betonu yapımında kullanılabilmektedir. Doğal asfaltlı karışımlarda, plastik deformasyonlara karşı dayanım ve bitüm agrega adezyonu artmaktadır [22].

1.3.2.2. Bitümler

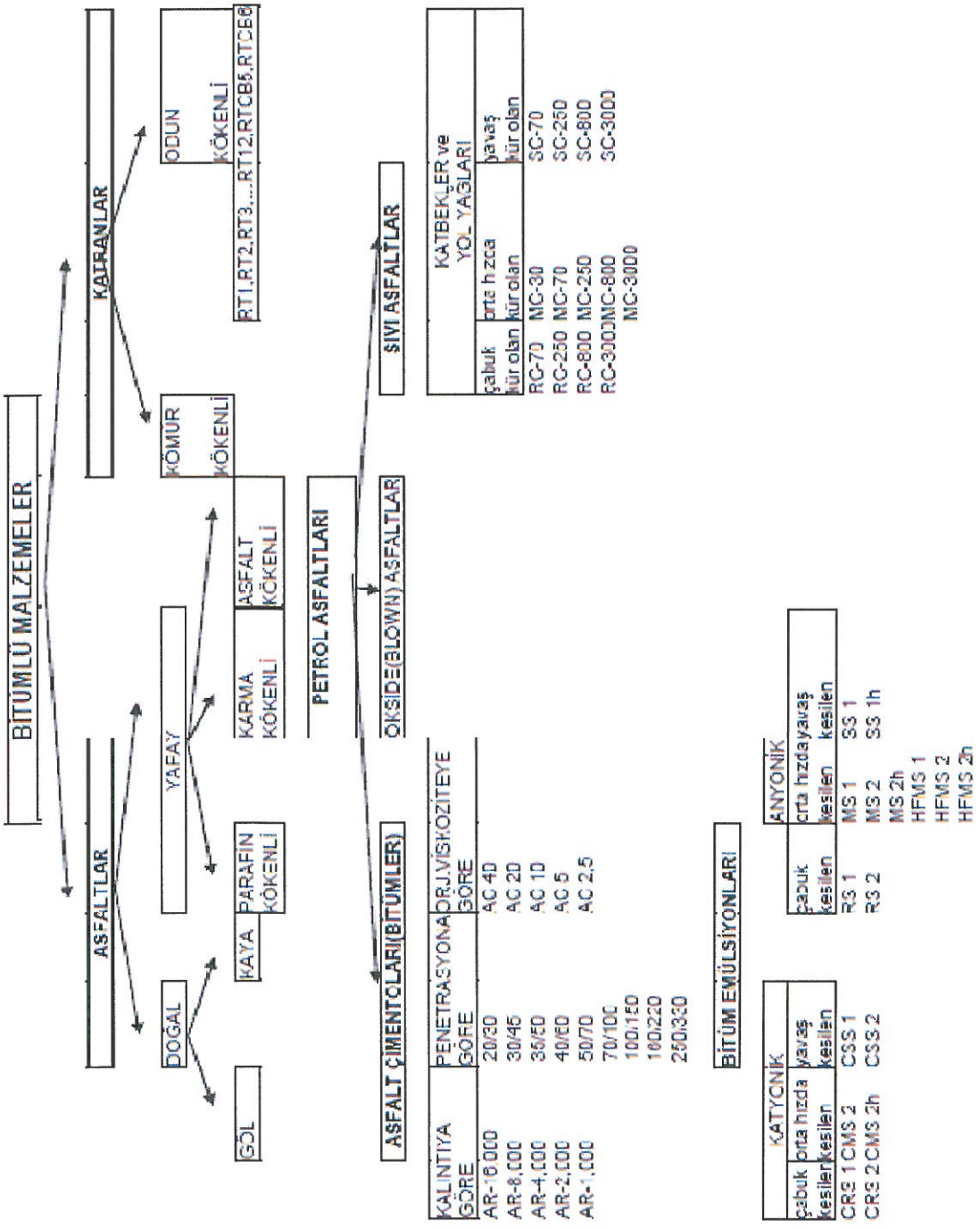
Bitümlü sıcak karışımda ve sathi kaplamalarda kullanılmak üzere hazırlanmış petrol kökenli bitümlerdir. Bitümler genellikle penetrasyonlarına göre sınıflandırılır. Değişik penetrasyon dereceleri, petrolün arıtılması sırasındaki işlemlerle sağlanır. Ayrıca, bitümler, sıvı petrol asfaltlarının (katbek asfalt) ve bitüm emülsiyonlarının hazırlanmasında da kullanılır [9].

1.3.2.3. Sıvı Petrol Asfaltları

Sıvı petrol asfaltları, ısıtılmış bitümlere (B 70/100, B 100/150 gibi) benzin, gazyağı ya da bakiye yağ karıştırılması ile üretilir. Asfalt çimentosuna;

- Benzin ilavesi ile çabuk kür olan (RC) sıvı petrol asfaltları
- Gazyağı ilavesi ile orta hızda kür olan (MC) sıvı petrol asfaltları
- Bakiye yağ ilavesi ile yavaş kür olan (SC) sıvı petrol asfaltları, üretilir.

Kullanılan bitümün sınıfı ve oranı ile çözücü miktarına göre, değişik sınıflarda sıvı petrol asfaltı tipleri hazırlanır. Şekil 1.2' de sıvı petrol asfaltları tipleri ve kullanım yerleri verilmektedir [2].



Şekil 1.2 : Sıvı Petrol Asfaltların Sınıflandırılması [22]

Tablo 1.18 : Sıvı Petrol Asfalt Tipleri [22]

Çabuk Kür Olan (RC)	Orta Hızda Kür Olan (MC)	Yavaş Kür Olan (SC)
-	MC – 30	-
RC - 70	MC – 70	SC – 70
RC - 250	MC – 250	SC – 250
RC - 800	MC - 800	SC – 800
RC - 3000	MC - 3000	SC - 3000

Tablo 1.19 : Sıvı Petrol Asfaltlarının Kullanım Yerleri [22]

Astar Tabakasında	MC - 30, MC - 70
Yapıştırma Tabakasında	RC – 70, RC – 250
Sathi Kaplamada	RC – 800, RC – 3000
Soğuk Karışımda	MC – 300, MC – 800, RC – 300, RC - 800

1.3.2.4. Bitüm Emülsiyonları

Geniş anlamda, emülsiyon, normal koşullarda birbiri içinde çözünmeyen ve karışmayan, iki ayrı faz halinde kalan sıvıların, bazı kimyevi maddeler aracılığı (emülgatör) ile tek faz halinde, dağıtılan fazın, (asfalt) dağıtan faz (su) içinde mikron mertebesinde, homojen bir şekilde dağıtılmasıdır.

Bitüm emülsiyonları da bitüm küreciklerinin su içinde dağıtılmasından oluşur. Ancak, bitümün su içerisinde dağıtılması ile oluşturulan emülsiyon uzun ömürlü olmaz, kısa süre sonra asfalt kürecikleri birbirine yapışarak sudan ayrılır. Bu durumu önlemek amacıyla, emülgatör (emülsiyon verici madde) kullanılarak, asfalt kürecikleri çevresinde emülgatör filmi oluşturulur ve kendi aralarında birleşmeleri önlenir.

Yol üstyapılarında kullanılan asfalt emülsiyonları emülgatör cinsine bağlı olarak iki sınıfa ayrılır.

1) Anyonik Bitüm Emülsiyonları

2) Katyonik Bitüm Emülsiyonları

Bitüm emülsiyonu, agrega ile karıştırıldığında ya da yolun yüzeyine püskürtüldüğünde kesilir, yani asfalt kürecikleri sıvı ortamdan ayrılarak agregaların üzerine yapışırlar. Bu arada serbest kalan su da buharlaşır. Yol üstyapılarında kullanılan bitüm emülsiyonlarının, viskozitelerine göre çeşitleri Tablo 1.20' de verilmektedir [22].

Tablo 1.20 : Bitüm Emülsiyon Çeşitleri **[22]**

Bitüm Emülsiyonu	Çabuk Kesilen	Orta Hızda Kesilen	Yavaş Kesilen
Anyonik	RS – 1	MS – 1	SS – 1
	RS - 2	MS – 2	SS – 1h
	-	MS – 2h	-
Katyonik	CRS – 1	CMS – 2	CSS – 1
	CRS - 2	CMS – 2h	CSS – 1h

Yol yapımında kullanılan bitüm emülsiyonlarının kullanım yerleri ve kullanılan tabakaya göre değişen viskoziteleri Tablo 1.21' de verilmiştir.

Tablo 1.21 : Bitüm Emülsiyonlarının Kullanım Yerleri **[22]**

Astar Tabakasında	SS – 1, SS – 1h, CSS – 1, CSS - 2
Yapıştırma Tabakasında	RS – 1, RS – 2, CRS – 1, CRS - 2
Sathi Kaplamada	RS – 1, CRS – 1, CRS – 2
Soğuk Karışımda	MS – 2, SS - 1

1.3.2.5. Polimer Modifiye Bitümler (PMB)

Modifiye bitümler, normal bitüme (asfalt çimentosuna) kimyasal katkılar eklenerek, bitümün kimyasal yapısının ve/ veya fiziksel, mekanik özelliklerinin değiştirilmesi ile hazırlanırlar.

Modifiye bitümlerin ve karışımların kullanım amaçları aşağıda özetlenmiştir.

- Düşük sıcaklıklar için daha yumuşak karışımlar elde etmek ve çatlakları azaltmak.
- Yüksek sıcaklıklar için daha sert karışımlar elde etmek ve tekerlek izinde oturmayı azaltmak.
- Yapım sıcaklıklarında viskoziteyi düşürmek.
- İşlenebilirliği ve sıkışmayı iyileştirmek
- Karışım dayanımını ve stabilitesini artırmak.
- Karışımın aşınma dayanımını iyileştirmek ve agrega kopmasını azaltmak.
- Kaplamanın düşük sıcaklık çatlaklarını azaltmak.
- Karışımın yorulma dayanımını iyileştirmek.
- Marjinal asfalt çimentolarının kalitesini yükseltmek.
- Yaşlanmış asfalt bağlayıcıyı tekrar gençleştirmek
- Marjinal agregaların kullanımı sağlamak.
- Asfalt bağlayıcının ömrünü uzatmak
- Agrega üzerinde daha kalın asfalt filmi oluşturmak.
- Yapışmayı iyileştirmek ve asfalt çimentosunun agrega yüzeyinden soyulmasını azaltmak
- Kusmayı azaltmak.
- Geliştirilmiş çatlak dolgusu sağlamak
- Yakıt dökütülerine karşı dayanım artışı sağlamak
- Yaşlanmaya ya da oksidasyona karşı dayanım artırmak
- Kaplama tabakalarının kalınlığı azaltmak
- Kaplamanı ömür-döngü maliyeti azaltmak
- Kaplamaların tüm performansını geliştirmek

Karışımın yapılacağı bölgenin iklim koşulları ve yolun trafiği dikkate alınarak, kaplamanın iyileştirilmek istenilen özelliklerine uygun modifiye bitüm tipi seçilir. Farklı modifiye edici katkılar kullanılarak, istenilen özellikleri sağlayan modifiye bitüm üretimi mümkündür. Modifiye bitümlerde kullanılan kimyasal katkılar Tablo 1.22' de verilmektedir [22].

Tablo 1.22 : Modifiye Bitümlerde Kullanılan Ana Kimyasal Katkılar [22]

Elastomerik Termoplastik Polimerler	
Styrene – Butadiene – Styrene Copolymer	SBS
Styrene – Isoprene – Styrene Copolymer	SIS
Styrene – Butadiene	SB
Random Copolymer	SBR
Plastomerik Termoplastik Polimerler	
Ethylene – Vinyl Acetate Copolymer	EVA
Ethylene – Methyl Acrylate Copolymer	EMA
Ethylene – Butyl Acrylate Copolymer	EBA
Polyisobutylene	PİB
Latex	
Plychloroprene	
SBR	
Naturel Rubber	
Crumb Rubber	

Modifiye bitüm, kullanılan polimerin erime noktasının üzerinde bir sıcaklıkta bitüm ve polimerin, fazların (bitüm- polimer) tamamen karışımını sağlayacak uygun karıştırıcı ile homojen olarak karıştırılması sonucu üretilir.

Belirlenen sıcaklığı kadar ısıtılmış bitüm içerisine katkı malzemesi belirlenen oranda eklenerek karıştırılır ve genellikle bu karışım bir değirmenden geçirilerek fazların karışması ve homojenlik sağlanır. Aşağıdaki tabloda modifiye bitüm şartnamesinde yer alan modifiye bitüm tipleri verilmektedir.

PMB sınıfı, yolun yapılacağı bölgenin en yüksek ve en düşük hava sıcaklıkları esas alınarak, yolun ağır taşıt trafiği ile geometrik profiline göre seçilmektedir.

1.3.3. Karayollarında Kullanılan Endüstriyel Atık Malzemeler

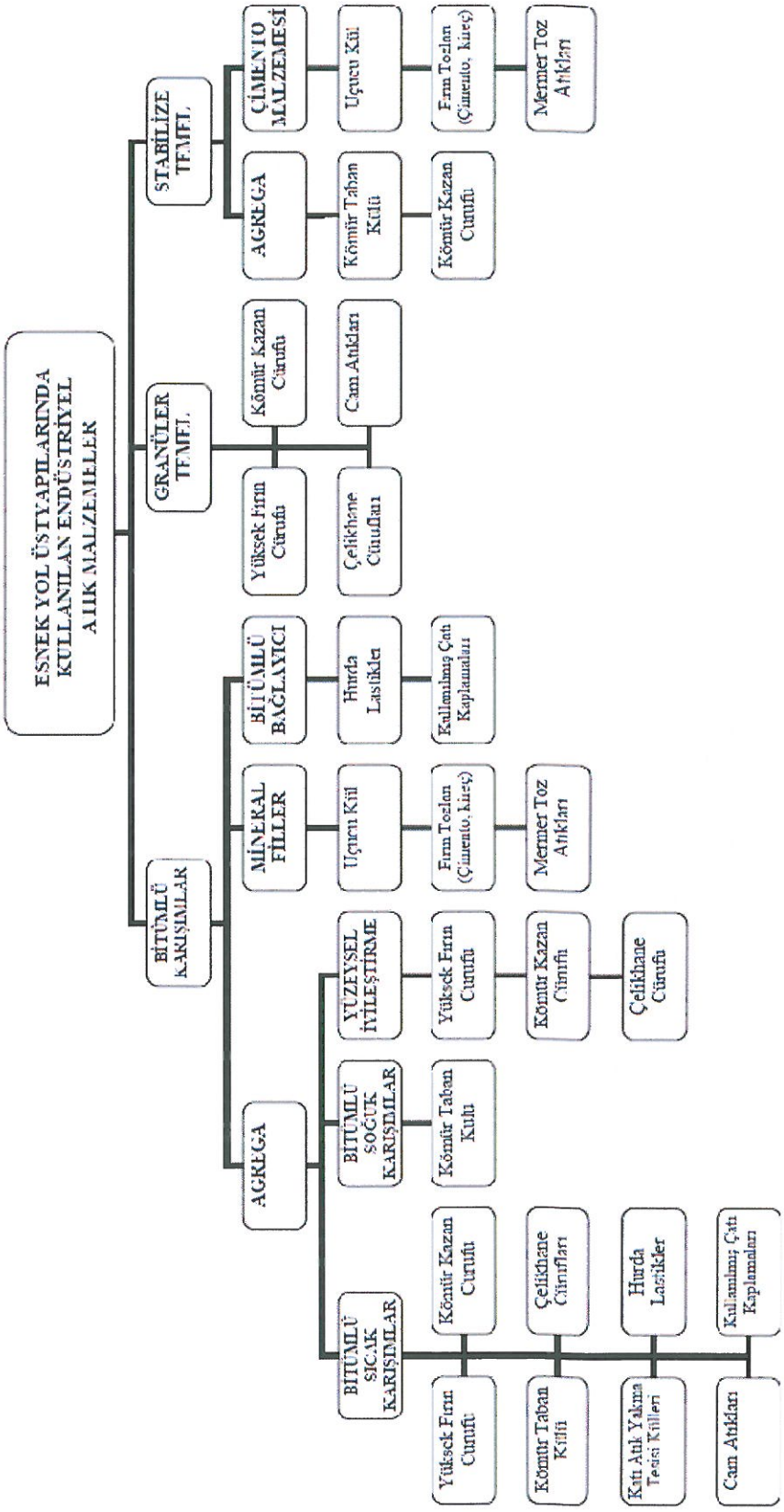
Endüstriyel atıklar, endüstriyel işlemler sonucu ortaya çıkan malzemelerdir. Termik santrallerde oluşan küller, demir çelik endüstrisinde oluşan yüksek fırın ve çelikhane cürufları, çimento endüstrisinin yan ürünü olan fırın tozları, mermer endüstrisinde oluşan mermer toz atıkları, hurda otomobil lastikleri, cam endüstrisinden elde edilen cam kırıkları endüstriyel katı atık sınıfına girmektedir. Dünyada, bu endüstriyel atıkların çoğu karayollarında taban zemininden kaplama tabakasına kadar her tabakada kullanılma olanağına sahiptir. Karayollarında kullanılan geleneksel malzemeler yerine atık malzemeler kullanılarak daha düşük maliyetlerle, daha yüksek performansta, çevre dostu yollar yapılabilir [10].

Yol üst yapılarında kullanılan endüstriyel atık malzemelerin sınıflandırılması Şekil 1.3' de, taban zemininde dolgu malzemesi olarak kullanılan endüstriyel atıklar görülmektedir.

1.3.3.1. Termik Santral Atıkları

Elektrik enerjisi termik, hidroelektrik ve nükleer santrallerden sağlanmaktadır. Yeterli kömür ve linyit potansiyeline sahip olan ülkemizde de elektrik üretiminin büyük bir kısmı için katı fosil yakıtların yakıldığı termik santraller kullanılmaktadır. Termik santrallerde elektrik üretimi sırasında toz haldeki kömürün yanması sonucu baca gazları ile sürüklenen ve genellikle elektro filtreler yardımıyla tutularak atmosfere çıkışı önlenen mikron boyutundaki kül taneciklerine uçucu kül denilmektedir. Oluşan yan ürünün (uçucu kül, taban külü veya kazan cürufu) çeşidi, kömürü yakmak için kullanılan kazanın cinsine göre değişmektedir [10].

En sık kullanılan, kuru taban kazanlarıdır. Toz haline getirilmiş kömür, kuru taban kazanında yandığı zaman, yanmayan malzemenin (külün) % 80' i uçucu gaz haline gelir ve uçucu kül olarak tutulur. Külün geriye kalan % 20' lik kısmı; koyu gri renkte, granül (taneli), gözenekli, baskın olarak kum boyutunda olan kuru taban külüdür. Bu malzeme, fırının tabanında yer alan su dolu silolarda toplanır. Siloya yeterli miktarda taban külü girdiğinde, yüksek basınçlı su jetleri kullanılarak uzaklaştırılır ve savak yatakları yardımıyla atık göletine veya kullanılmak üzere depo edileceği havuzlara taşınır [23].



Şekil 1.3 : Yol Üstyapılarında Kullanılan Endüstriyel Atıkların Sınıflandırılması **[10]**

1.3.3.2. Uçucu Küller

TS 639' a göre uçucu kül, toz halinde veya öğütülmüş taşkömürü veya linyit kömürünün yüksek sıcaklıklarda yanması sonucu oluşan ve baca gazları ile sürüklenen, silis ve alümino- silisli, toz halinde bir yanma kalıntısı olarak tanımlanmaktadır [24].

Uçucu küller seramik ve cam üretiminde, kimya, metalürji sanayisinde, çevre ve biyoteknoloji sektöründe, petrol kuyuları sondajlarında, maden ocaklarında mineral filler olarak, buzlanmanın önlenmesinde, tarım sektöründe ve en çokta inşaat sektöründe kullanılmaktadır. İnşaat sektöründe çimento sanayisinde hammadde olarak, beton ve harç içerisinde agrega olarak, beton üretiminde, tuğla, gaz beton üretiminde, kerpiç üretiminde bağlayıcı malzeme olarak, yalıtım malzemesi olarak, duvar, harç, cam, beton borular gibi yapı malzemelerinin üretiminde, dolgu yapımında, zemin stabilizasyonunda, atık depo sahalarında sızdırmazlık sağlamak amacıyla, istinat duvarlarında duvar arka dolgusu olarak, yol yapımında kullanılmaktadır [25]. Karayolunda dolgu yapımında, stabilize alt temel ve temel tabakalarında kireç veya çimentoyla veya her ikisiyle beraber, asfalt kaplamalarda mineral filler olarak, rijit kaplamalarda beton kalitesini arttırmak amacıyla kullanılmaktadır [10].

Uçucu küller, yaklaşık silt boyutunda ve içleri boş küresel tane yapısına sahip olduğu için killerin aksine plastik olmayan bir malzemedir. Silte ve siltli kile göre içlerinde daha çok su tutmaktadırlar. Yapılan çalışmalarda CBR değeri su emdirilmiş numunelerde % 6,8 – 13,5 ve su emdirilmemiş numunelerde ise % 10,8 – 15,4 değerleri arasında değişmektedir [10].

Uçucu külün geçirimliliği cinsine göre değişmektedir. Bitümlü kömürlerde 10^{-4} - 10^{-7}, az bitümlü kömürde 10^{-5} – $3x10^{-6}$, linyit kömüründe ise $9x10^{-6}$ - 10^{-7} değerlerini almaktadır. Kilin geçirgenliği, uçucu kül ile karıştırılması sonucu azalmaktadır (26). Araştırmalara göre en iyi permeabilite değerini % 15 kireç veya % 10 bentonit ilavesinin verdiği görülmektedir. Çimento ilavesi de geçirgenliği azaltmaktadır. Soğuk bölgelerde dondan etkilenmemesi için yol inşaatlarında kullanılacak uçucu külün çimento ile stabilize edilmesi gerekmektedir. Çünkü uçucu kül silt boyutunda olup, kapiler su yükselmesi 2 metre veya daha yüksek olabilmektedir [26].

Uçucu küller; karayolunda dolgu yapımında, stabilize alt temel ve temel tabakalarında kireç veya çimentoyla veya her ikisiyle beraber, asfalt kaplamalarda mineral filler olarak, rijit kaplamalarda ise beton kalitesini arttırmak amacıyla kullanılmaktadır [10].

Uçucu kül, bitümlü karışımlarda uzun yıllardır mineral filler malzemesi olarak kullanılmaktadır. Bilindiği gibi, bitümlü kaplama karışımlarındaki mineral filler 0,075 mm boyutundaki elekten geçen malzemedir, kaplama karışımındaki boşlukları doldurur, karışımın stabilitesini ve karışımdaki bağlayıcının kohezyonunu arttırır. Kaba ve ince agreganın karışım gradasyonu 0,425 mm (No.40) elekten geçen malzeme miktarı yönünden yetersiz ise, agrega karışımına mineral filler ilave edilmelidir. Agrega karışımına ilave edilen mineral fillerin 0,075 mm (No.200) elek üzerinde kalan kısmı ince agrega olarak kabul edilecektir [9].

Yapılan çalışmalar incelendiğinde uçucu külle stabilize edilen zemin numunelerine ait CBR değerleri yumuşak taban zemini numunesinin CBR değerine göre en az 10 kat daha büyük sonuçlar vermektedir [27].

1.3.3.3. Kömür Taban Külü ve Kazan Cürufu

Elektrik enerjisi üretmek için gerekli buharı, kömürün yanmasıyla meydana getiren fırınların tabanında toplanan kaba taneli ve yanmayan yan ürünlere kömür taban külü ve kazan cürufu denilmektedir. Kömürün yakılmasıyla oluşan bu yan ürünlerin büyük kısmı termik santrallerden elde edilmektedir. Bir kısmıda kömürle çalışan daha küçük endüstriyel veya geleneksel kazanlarda oluşmaktadır [10].

Her ikisi de sıcak bitümlü karışımlarda ve soğuk asfalt karışımlarında kaplama ve temel tabakalarında ince agrega yerine kullanılmaktadırlar. Bazı taban külleri parçacıkları klinker gibi düşük dayanım gösterirler, bu sebeple taban külleri genelde temel tabakalarında kullanılırlar, kaplama tabakalarında pek tercih edilmezler. Kazan cürufu yüzey iyileştirilmesinde ve bitümlü koruyucu sathi tabaka (seal- coat) yapımında da kullanılır [28].

Taban külü karayollarında genel olarak istinat duvarları ve dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır.

1.3.3.4. Desülfojips Atıkları

Termik santrallerde linyit kömürünün yanması sonucu yılda yaklaşık 600.000 ton SO_2 ve Sülfür bileşimli gazlar, atmosfere dağılarak çevre kirliliğine ve asit yağmurlarına sebep olmaktadır. Bu gazların tutulması için, kireçtaşı püskürtme yöntemi kullanılan desülfürizasyon (kükürt arıtma) tesisleri kurulmuştur. Bu tesislerde, kükürtlü bileşiklerin, baca gazlarından uzaklaştırılması amacıyla genelde yaş schrubber, kuru schrubber ve akışkan yatakta yakma yöntemleri kullanılmaktadır. Bu işlemlerin sonucunda kimyasal jips (alçı) olarak da adlandırılan desülfojips atıkları oluşmaktadır. Bu atıklar suyla karıştırılarak, konveyörlerle depolanacakları yerlere taşınmaktadır. Depolama sorunları yaşanmaktadır [10]. Değişik endüstri kollarında elde edilen kimyasal alçılar Tablo 1.23' de verilmiştir.

Tablo 1.23 : Değişik Endüstri Kollarında Elde Edilen Alçılar **[29]**

Endüstri Alanı	Kimyasal Alçı
Fosforik Asit Üretimi	Fosfojips
NaCl Üretimi	Saltjips
Hidroflorik Asit Üretimi	Florojips
Titandioksit Üretimi	Titanojips
SO_2 ve SO_3 Gazlarının Desülfirizasyonu	Desülfojips

1.3.3.5. Yüksek Fırın ve Çelikhane Cürufları

Cüruf, metal filizlerinin fırınlarda arıtılması işleminden elde edilen bir endüstriyel atık malzemesidir. Yüksek fırın içerisine yakıt olarak kok konulup, demir cevherine kireç taşı veya dolomit ilavesiyle ham demir üretilmektedir. Bu üretim sırasında oluşan maden dışı yan ürün yüksek fırın cürufudur. Bazik oksijen fırınlarına ham demirle beraber kireç taşının, oksijenin ve çelik kırıntısının ilavesiyle de çelik üretilmektedir. Bu üretim sırasında oluşan ergimiş cürufun soğutulmasıyla oluşan atık malzeme de çelik cürufudur [10].

Çelikhane cüruflarının birim hacim ağırlıkları yüksektir ve hacimsel olarak genleşme eğilimine sahiptir. Yüksek fırın cüruflarının yoğunluğu ise ortalama 1,280 gr/cm3 değerine sahip olup, genleşme eğilimi göstermemektedir. Yüksek fırın cürufunda Ca ve Mg oksitler silikat ve alümina silikat minerallerini oluştururken, aynı oksitler çelikhane cürufunda tam olarak bileşik yapmazlar. Sönmemiş kirecin hızlı bir şekilde hidrate olmasıyla hacimsel genleşme oluşur. Magnezyum oksit ise daha yavaş hidrate olduğundan hacimsel genleşmenin oluşması uzun yıllar sürebilir. Ca ve Mg oksitler hidrate olduklarında % 10' dan fazla hacimce genleşmeye sebep olurlar. Bu yüzden çelikhane cürufu kullanılmadan önce uzun süreli kontroller yapılıp hacim değişimleri belirlenmelidir. Çelik cürufları asfalt betonu karışımlarında, temel ve alt temel tabakalarında, karayolu tabanında, demiryolu balastında agrega olarak kullanılabilmektedir. Genleşme özelliği, bu alanlardaki kullanımında göz ardı edilebilir veya uygun yaşlandırma ile kontrol edilebilmektedir. Çelikhane cüruflarının yol yapımında kullanımında yaşlandırma metodu olarak Avrupa standardı olan buhar testi uygulanmaktadır. Cüruflar silindirik kaplara doldurularak 24- 168 saat boyunca buharda tutulmaktadır [30]. Cürufların dona karşı gösterdiği direnç oldukça fazladır.

Tablo 1.24 : Cürufların Mekanik Özellikleri **[31]**

Özellikler	Yüksek Fırın Cürufu	Çelikhane Cürufu
Los Angeles Aşınma kaybı (%)	35 – 45	20 - 25
Na_2SO_4 (donma) kaybı (%)	12	<12
Sertlik	5 - 6	6 – 7
Sürtünme Açısı	40^0 - 45^0	40^0 - 50^0
CBR (%)	>250	>200

1.3.3.6. Hurda Lastikler

Lastik, karbon siyahı, kord bezi, elastomerler, kimyasal maddeler, yağlar ve çeşitli kimyasal maddelerin birleşiminden oluşmaktadır. Yer ile temas ettiği için aracın en önemli parçasıdır. Modern bir lastiğin daha az titreşim ve gürültü üretmesi, düşük

yuvarlanma direncine sahip olması ve daha az yakıt tüketmesi istenmektedir. Dayanıklı, yüksek molekül yapılı polimerlerden ibaret doğal ve sentetik kauçuklardan üretilen lastiklerin kullanılıp faydalı ömürlerini tamamlamaları ile çevrede zor ortadan kalkacak hurda lastikler oluşmaktadır. Bu atık malzeme, yüksek karbon içeriğinden dolayı değişken organik bileşimleri emme özelliğine sahiptir. Birçok açıdan değerli bir kaynağı yakmak utanç vericidir. Dünyada, hurda lastiklerin geri kazanılması yöntemleri giderek yaygınlaşmaktadır. Hurda lastikler bütün olarak, kesilmiş, parçalanmış halde lastik kırpıntısı veya lastik yongası olarak; öğütülmüş, granül hale getirilmiş, toz kauçuk ürünü olarak kullanılabilmektedirler [32].

Bütün halde hurda lastikler birbirlerine bağlanarak alçak istinat duvarının yapımında ve erozyona karşı koruyucu olarak kullanılmaktadır.

Hurda lastikler parçalanarak ve yonga haline getirerek yol taban zemininde hafif dolgu malzemesi olarak, boyutları azaltılarak ve öğütülerek asfalt beton kaplamalarında ince agrega veya bitüm modifiyesi olarak kullanılmaktadır. Lastik parçaları ve kırpıntıları endüstriyel işlem filtresi ve kazanlar için yakıt materyali olarak da kullanılabilmektedir [10].

1.3.3.7. Cam Atıkları

Cam, kum ve nötr sodyum karbonattan oluşan erimiş sıvı karışımın donma derecesinin altında kristalleşmeden, malzemenin iç yapısı bozulmadan hızlı bir şekilde soğutulup katı hale getirilmesiyle elde edilen bir malzemedir. Atık camın ezilerek kum boyutuna getirilmesiyle, atık cam doğal agrega malzemesinin özelliklerini göstermektedir [10].

1.3.3.8. Çinko

Çinko kullanım açısından demir dışı metaller içerisinde alüminyum ve bakırdan sonra gelen en önemli üç metalden birisidir. Bu üç metal başlıca, demir ve çeliğin korozyona karsı direncinin arttırılmasında, döküm sanayinde kullanılan özel alaşımlar ile pirinç alaşımların yapımında kullanılmaktadır. Çinko ayrıca, çinko plakaların yapımında, çatı kaplama malzemelerinde ve lastik sanayinde de kullanım alanı bulmaktadır [33].

Çinko, yerkabuğunda en çok bulunan elementler arasında 23. sıradadır. En çok kullanılan cevheri sfalerit (ZnS) olup % 40-50 çinko ve yaklaşık % 10 demir içerir. Çinkonun ayrıştırıldığı diğer mineraller smitsonit (çinko karbonat), hemimorfit (çinko silikat) ve franklinit ((Fe, Mn, Zn) (Fe, Mn) $2O_4$) dir [34].

Ülkemizde bakır-çinko-kursun üretimi özel ve kamu sektöründe yapılmakta özellikle kamu bakır madenciliği değişik kurumlarca yürütülmektedir. Bu sektörde de gerekli rezerv geliştirme çalışmaları ile teknolojik yatırımların yapılmaması nedeniyle işletilebilir rezervler tükenmek üzeredir. Ayrıca birçok işletme ekonomik tenörün altında çalışmaktadır [35].

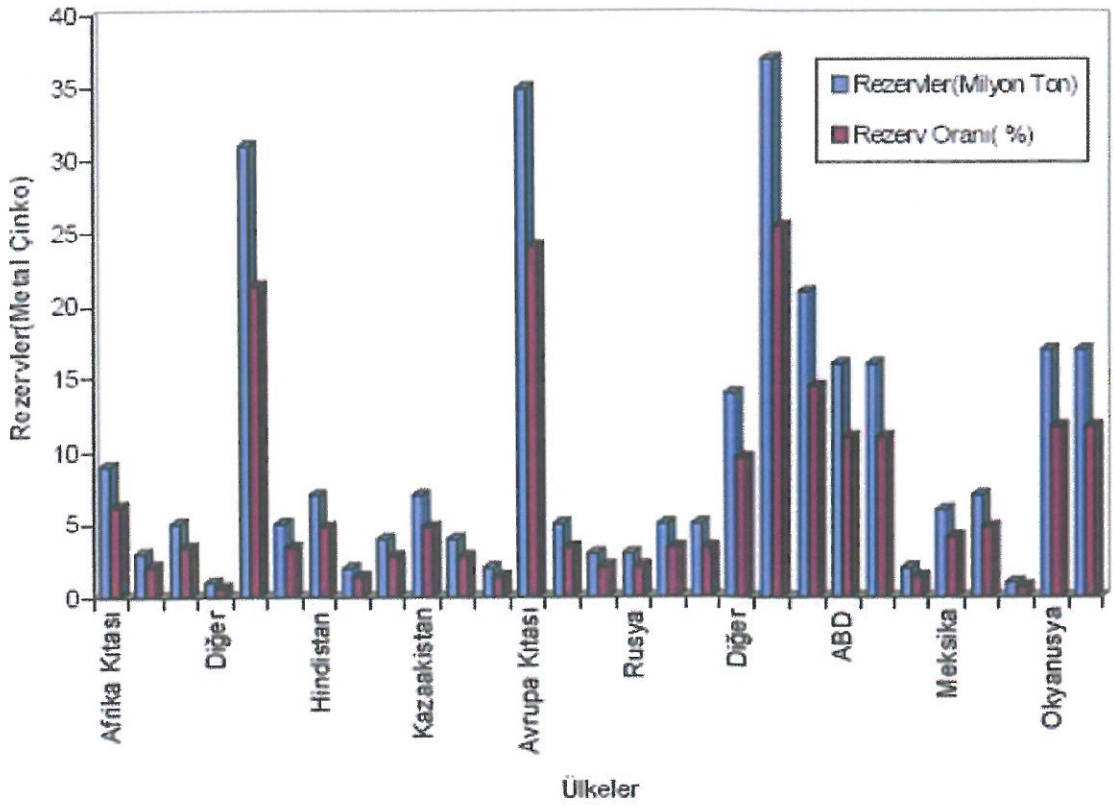
Türkiye kursun-çinko oluşumlarının su anda gerek kamu gerekse özel kuruluşlara ait bölümünün toplam rezervi metal çinko olarak 5.149.600 ton olup bunun 1.258.228 tonluk bölümü görünür, 1.232.390 tonluk bölümü muhtemel ve 2.658.982 tonluk bölümü ise mümkün rezervdir. Şu anda herhangi bir kurum tarafından işletilmeyen oluşumların toplam rezervi ise 321.738 ton metal çinko olup bunun 47.460 tonu görünür rezervdir [36].

Maden Tetkik Arama Enstitüsü tarafından saptanan Türkiye işletilen ve işletilmeyen Zn oluşumları incelendiğinde bu türdeki yatakların toplam miktarı 70 milyon ton (% 2,9 Zn içerikli) civarında bulunmaktadır. Çinko rezervlerindeki en önemli yeri % 35' lik pay ile Rize Çayeli- Madenköy almaktadır. Türkiye çinko- kursun rezervlerinin dünyadaki yeri Tablo 1.25' de gösterilmiştir [36].

Tablo 1.25 : Türkiye Çinko – Kurşun Rezervlerinin Dünya' daki Yeri **[33]**

Metal	Dünya Rezervi		Türkiye Rezervi		Türkiye Payı (%)	
	Görünür	Toplam	Görünür	Toplam	Görünür	Toplam
Zn	169.000	300.000	1.274	4.956	0,8	1,7
Pb	95.000	135.000	491	958	0,5	0,7
Cd	555	975	4,5	10,7	0,8	1,1

1984 yılı dünya çinko baz rezervleri 290 milyon ton metal çinko civarındadır. 1984-1993 yılları arasında 108.7 milyon ton civarında yeni rezervler bulunmuştur. Aynı yıllar arasında 68.7 milyon ton üretim yapılmış olup, 1994 yılı çinko baz rezervleri 330 milyon ton metal çinko civarındadır. Su anda Dünya'da bilinen çinko kaynakları 1.8 milyar ton civarında olup, ekonomik olmayan kaynaklarda dikkate alındığında bu miktar 4.4 milyar tona kadar çıkmaktadır. Şekil 1.5' de dünya çinko rezervleri verilmiştir. Tablo 1.26' da ise çinko rezerv ve baz rezervleri bakımından önemli bazı ülkeler görülmektedir [36].



Şekil 1.4 : Dünya Çinko Rezervleri **[33]**

Tablo 1.26 . Çinko Rezerv ve Baz Rezervleri Bakımından Önemli Bazı Ülkeler [33]

Ülkeler	Rezervler (x 1000 ton)	Baz Rezervler (x 1000 ton)
A.B.D.	16.000	50.000
Avustralya	17.000	65.000
Kanada	21.000	56.000
Çin	5.000	9.000
Meksika	6.000	8.000
Peru	7.000	12.000
Diğer Ülkeler	77.000	130.000
Dünya Toplamı	140.000	330.000

1.3.4. Çinkom Cürufu

1.3.4.1. Giriş

Bitümlü sıcak karışım binder tabakasında kullanılması düşünülen ÇİNKOM A.Ş cürufunun fiziksel ve kimyasal özelliklerinin daha iyi anlaşılabilmesi için, tesis ile ilgili bilgiler bu bölümde verilmektedir. İşletmenin genel bir fotoğrafı Şekil 3.1' de verilmektedir.

1.3.4.2. Genel Bilgiler

Tesis Ülkemizin Çinko- Kurşun ihtiyacını karşılamak ve böylece ülke ekonomisine katkıda bulunmak üzere 1968 yılında Çinkur adı altında halka açık anonim bir şirket olarak kurulmuş olup 1976 yılında üretime açılmıştır.



Şekil 1.5 : Tesisin Genel Görünümü

Tesis Adana- Kayseri yolu üzerinde Kayseri' ye 20 km. uzaklıkta 1800 dekarlık bir arazi üzerinde tesis edilmiştir. Kayseri ili, Yahyalı ilçesi Zamantı bölgesi bölgesinde bulunan çinko yataklarından çok eski zamanlardan beri ham ve yoğunlaştırılmış cevher, yurt dışına ihraç edilmekteydi fakat bu tesisin açılmasıyla ülkemizde çinko üretimi başlamıştır. [37]

Atık depo sahasında yaklaşık 2.000.000 m^3 fırın cürufu bulunmaktadır.

Tesisin kurulu kapasitesi:

- 60.000 ton/yıl Çinko Oksit üretimi (Zn %65- Zn %71 arası Klinker)
- 3.500 ton/yıl yüksek Tenörlü Kurşun Konsantresi Tozlu üretimi
- 350.000 – 400.000 ton/yıl hammadde işleme kapasitesi (artırılabilir kapasite)
- Tesiste külçe çinko ve külçe kurşun üretimi yapılamamaktadır.



Şekil 1.6 : Tesisin Uydu Görüntüsü

Tesisin Ana Bölümleri:

- Kırma Eleme Bölümü
- Waelz ve Teksif Fırınları Bölümü
- Liç Bölümü
- Isı Santrali Bölümü
- AR- GE ve Laboratuar Bölümü

ÇİNKOM işletmeleri 4 ana tesisi ve bu tesislere bağlı çeşitli ünitelerden oluşmaktadır. Tesisler ve bağlı üniteler aşağıdaki tablolarda gösterilmiştir.

Ana Tesislere Bağlı Üniteler:

Waelz Tesisleri- Kırma- Eleme Ünitesi

- Waelz Fırınları Ünitesi
- Teksif Fırınları Ünitesi
- Bilyalı Değirmen Ünitesi

Liç Tesisileri- Liç Ünitesi

- Arıtma Ünitesi
- Kadmiyum Ünitesi

1.3.4.3. Cürufun Oluşumu

Kırma- Eleme ünitesinde, maden ocaklarından gelen oksitli ve karbonatlı tip çinko hammaddesi ile kok ve kalker, waelz fırınlarına beslenebilecek tane ebadına ve kimyasal kompozisyona getirmek üzere kırılıp harmanlandıktan sonra waelz fırınları ünitesine gönderilerek yüksek sıcaklıklarda ki döner fırınlarda reaksiyona sokulur. Çinko, düşük ısıda buharlaşan kurşun, kadmiyum gibi elementlerle beraber fırını terk ederken geriye cüruf olarak isimlendirilen demir kalsiyum silikat şeklindeki atıklar kalır ve bunlar fırın çıkışından alınarak stoklanır. Dolayısıyla, cüruf, kırma- eleme ünitesinden geçen hammaddenin waelz fırınları ünitesinde işlenmesinin sonucunda oluşur. İşletmeye gelen hammadde içeriği, cürufun oluşumunu başlıca etkileyen faktör olmasının yanında waelz tesislerinde bulunan Kırma- Eleme ünitesi ve waelz fırınları ünitesi içinde yapılan işlemlerde cürufun karakteristik özelliklerini belirlemektedir [37]. Bu tez çalışmasında stoklanan cürufun, bitümlü sıcak karışım (BSK) binder tabakasında kullanılabilme imkanı araştırılıp, atık halde bekleyen bu malzemenin ekonomiye kazandırılması sağlanacaktır. Mevcut atık malzemenin depolandığı stok sahasında bulunan malzemeler, rüzgar ve diğer doğal yollarla çevreye zarar vermektedir.

2. BÖLÜM

GEREÇ ve YÖNTEM

2.1. Giriş

Yapılan çalışmada ÇİNKOM cürufunun asfalt betonu içerisinde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Asfalt betonu deney numuneleri Marshall yöntemi ile üretilmiş ve test edilmiştir. Deneysel çalışmalar için öncelikle Kayseri ÇİNKOM tesisinden numuneler alınmış olup bu numunelere aşağıda ayrıntılı bir şekilde bahsedilen deneyler yapılmıştır. Fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenen ocak malzemesi ve ÇİNKOM cürufu belirli oranlarda asfalt betonu karışımı içerisine katılmış olup farklı bitüm yüzdelerinde (% 3,5 – % 4,0 – % 4,5 – % 5,0 – % 5,5 – % 6,0) deneye tabi tutulmuştur. İlk deney grubu % 100 ocak malzemesinden üretilmiş olup optimum bitüm muhtevası ve diğer sonuçlar bulunmuştur. Daha sonraki deneylerde ise kaba malzeme grubu (No.4 elek üstü malzeme) Sergenkaya taş ocağından temin edilmiş, No.4 elek altı malzeme grubu ise % 25 ocak malzemesi + % 75 ÇİNKOM cürufu karıştırılarak üretilmiş ve sonuçlar bulunmuştur. Daha sonra karışım % 50 ocak malzemesi + %50 ÇİNKOM cürufu, % 25 ocak malzemesi + % 75 ÇİNKOM cürufu ve son olarak % 100 ÇİNKOM cürufu kullanılarak üretilmiş ve sonuçlar tablolar halinde sunulmuştur.

2.2. Agregalara Uygulanan Deneyler

Bitümlü sıcak karışımlar içerisinde agregaların görevi üzerlerine gelen yükleri taşımak olup, agrega performansı direk olarak karışım performansını etkiler. Agregaların karışımlarda kullanılmadan önce bazı özelliklerinin bilinmesi gereklidir. Agregaların yol yapımında kullanılabilmesi için aşınmaya ve donmaya karşı dirençlerinin, özgül ağırlık, su absorbsiyonu, soyulma değerlerinin, elek analizleri ve dane şekillerinin, sürtünme etkileri ile meydana gelecek cilalanmaya karşı olan dirençlerinin bilinmesi

gereklidir. Bu değerlerin önceliği agreganın kullanılış biçimi, bitüm cinsi ve kullanılacağı kaplama tabakasına göre değişkenlik gösterir.

Agregalara uygulanacak deneylerin, agregaların değerlendirilmesinde güvenilir olabilmesi için numunelerin özenle alınmış temsili numuneler olması gerekir. Aksi halde o numune için yanlış değerler bulunacaktır. Bu tez çalışmasında agregalara aşağıdaki deneyler uygulanmıştır

1) Elek Analizi
2) Aşınma (Los Angeles) Deneyi
3) Hava Etkilerine Karşı Dayanıklılık Deneyi
4) Su Etkilerine Karşı Dayanıklılık (Soyulma) Deneyi
5) Yassılık İndeksi Deneyi
6) Özgül Ağırlık ve Su Emme (Absorbsiyonu) Deneyi

2.2.1. Elek Analizi Deneyi (ASTM C136, ASTM C117)

Bu deney yöntemi, elek açıklıkları standartlarda belirtilmiş elekler kullanılarak agreganın gradasyonunu belirlemek için yapılır. Elek analizi boyutları Tablo 2.1' de belirtildiği üzere farklı boyutlarda ve farklı fiziksel, kimyasal özellikteki malzemelere uygulandığından tek bir elek analizi deneyinden bahsetmek mümkün değildir.

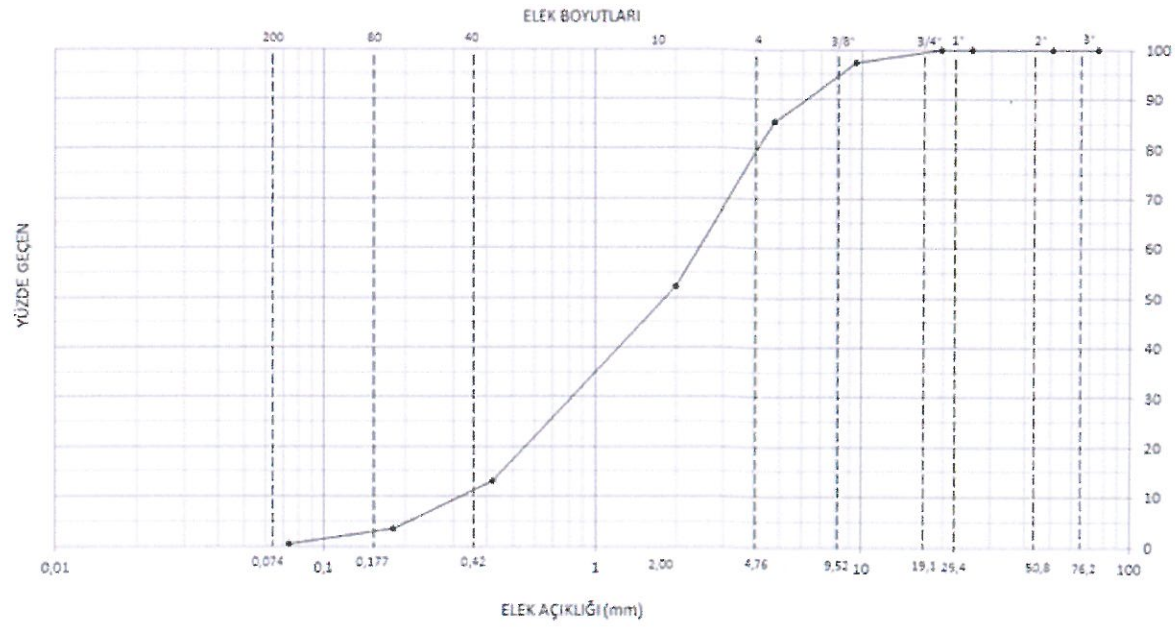


Şekil 2.1 : Elek Analizinde Kullanılan Elek Seti

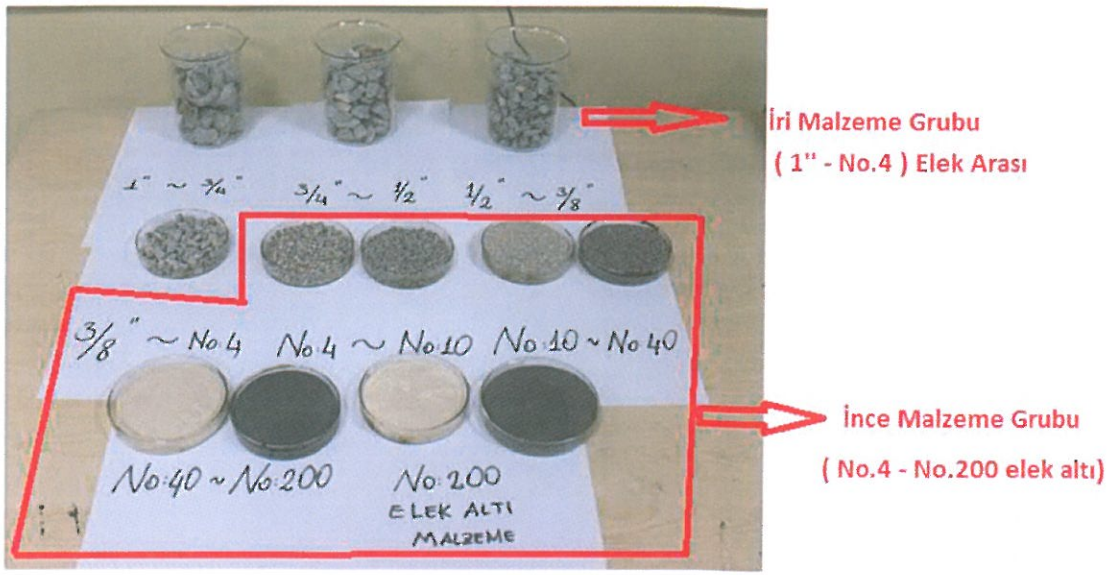
Tablo 2.1 : Elek Analizinde Kullanılan Elek Açıklıkları

ELEK AÇIKLIĞI	
mm	**inç**
37,5	1 1/2
25	1
19	3/4
12,5	1/2
9,5	3/8
4,75	No.4
2,00	No.10
0,425	No.40
0.180	No.80
0,075	No.200

ÇİNKOM üretim tesisinden alınan numunelere uygulanan elek analizi sonuçları Şekil 2.2' de verilmiştir.



Şekil 2.2 : ÇİNKOM Üretim Tesisinden Alınan Cürufun Elek Analizi Sonuçları



Şekil 2.3 : Deneyde Kullanılan Malzemelerin Dane Dağılımına Göre Sıralanması

2.2.2. Los Angeles Aşınma Deneyi (ASTM C131, AASHTO T96, TS EN 1097-2)

Agregaların aşınmaya karşı dayanıklılığını belirlemek için Los Angeles Aşınma Deneyi kullanılır [40]. Kaba agreganın aşınması Los Angeles tamburu kullanılarak bulunur. Los Angeles aşınma deneyi, aynı mineral kompozisyona sahip çeşitli agregaların birbirine göre kalitesinin veya uygunluğunun bir göstergesi olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu yöntem, farklı yapı, kompozisyon veya kökene sahip agrega kaynakları arasında geçerli karşılaştırmalar yapılmasına izin vermez. Şekil 2.4' de Los Angeles aşınma deneyinde kullanılan tambur gösterilmektedir.



Şekil 2.4 : Los Angeles Tamburu

Sergenkaya taş ocağından alınan malzemeye yapılan Los Angeles aşınma deneyi sonuçları Tablo 2.2' de gösterilmektedir. Yapılan deney sonucunda ocak malzemesinin şartname değerlerini sağladığı görülmektedir.

Tablo 2.2 : Los Angeles Aşınma Deneyi Sonuçları

Devir	Malzeme	Sonuç		Kayıp	Şartname Limiti	Deney Standardı
	(gr)	Elek Üstü (gr)	Kayıp (gr)	%	max. 25	AASHTO T96 ASTM C131- C 535
500	5000	3984	1016	20,3		

2.2.3. Hava Tesirlerine Karşı Dayanım Deneyi (Donma Deneyi)

Donma deney metodu ile agregaların doygun sodyum sülfat (Na_2SO_4) veya magnezyum sülfat ($MgSO_4$) çözeltilerinin ufalanmaya karşı dayanıklılığı ölçülür [41]. Agregaların hava etkileri ile donarak ufalanmaya karşı olan dirençleri hakkında laboratuar ortamında kısa süre içinde fikir sahibi olmak amacı ile uygulanan hızlandırılmış bir deneydir. Ocak malzemesine uygulanan donma deney sonuçları Tablo 2.3' te verilmiştir.

Tablo 2.3 : Ocak Malzemesine Uygulana Donma Deney Sonuçları

Deney Adı	% Kayıp Kaba Agrega	Şartname Limiti	Deney Standardı
Donma Deneyi	0,02	12	TS 3655 ASTM C – 131

2.2.4. Soyulma Mukavemeti Deneyi

Soyulma deneyinde agrega ve bitüm adezyonundaki, su ve sıcaklık etkisiyle meydana gelen azalma miktarı belirlenir. Bitümlü karışımlarda, su ve sıcaklık etkisiyle etkisiyle agrega ile bitüm arasındaki bağ zayıflar ve böylece üstyapı kaplamasında bozulmalar meydana gelir. Soyulma direnci düşük agregalarda, bitümde kullanılacak katkı malzemesi miktarı yapılan deneylerle belirlenir [9].



Şekil 2.5 : Soyulma Mukavemeti Deneyi

Yapılan soyulma deney sonuçları Tablo 2.4' te verilmiştir.

Tablo 2.4 : Ocak Malzemesine Uygulanan Soyulma Deneyi Sonuçları

Şartname Limiti	Deney Sonuçları	Parlama Noktası	Bitüm Penetrasyonu
min % 50	% 75 - 85	220^0 C	57

2.2.5. Yassılık İndeksi Deneyi

Bu deney metodu, kalınlığı, nominal boyutunun 0,6' sından daha küçük olan agrega danelerinin yassı olarak sınıflandırılmasını esas alan bir metottur. İki elek arasında kalan danenin nominal boyutu, bu iki elek açıklığının aritmetik ortalamasıdır. Yassılık indeksi, yassı danelerin ayrılması ile bulunan ağırlığın deneye alınan toplam numune ağırlığının yüzdesi olarak ifade edilir. Deney, 6,3 mm den büyük ve 63 mm den küçük malzemeye uygulanır [39].

Ocak malzemesine uygulanan yassılık indeksi sonuçları Tablo 2.5' de verilmiştir.

Tablo 2.5 : Ocak Malzemesi Yassılık İndeksi Deney Sonuçları

Deney Adı	Yassılık İndeksi %	Şartname Limiti max. (%)	Deney Standardı
Yassılık indeksi	8,4	35	BS 812

2.2.6. Özgül Ağırlık ve Absorbsiyon Deneyi

Agreganın özgül ağırlığı, o agreganın birim hacimdeki ağırlığının, aynı hacimde ve 25 ^{0}C' deki suyun ağırlığına oranıdır. Danenin, birim hacim tanımlamasına bağlı olarak, üç tane özgül ağırlık türü vardır:

➢ **Zahiri Özgül Ağırlık (Gsa):** Belirli bir sıcaklıkta agreganın geçirimsiz boşluklarını içeren birim hacminin havadaki ağırlığının, aynı sıcaklıkta ve aynı hacimdeki havası alınmış distile suyun ağırlığına oranıdır.

➢ **Hacim Özgül Ağırlığı (Gsb):** Belirli bir sıcaklıkta agreganın geçirgen olan ve olmayan boşluklarını içeren birim hacminin havadaki ağırlığının, aynı sıcaklık ve hacminin havadaki ağırlığının, aynı sıcaklıkta ve aynı hacimdeki havası alınmış distile suyun ağırlığına oranıdır.

➢ **Efektif Özgül Ağırlık (Gse):** Belirli bir sıcaklıkta agreganın asfalt geçirimli boşlukları hariç geçirimli ve geçirimsiz boşluklarını içeren birim hacminin havadaki ağırlığının, aynı sıcaklık ve hacimdeki havası alınmış distile suyun ağırlığına oranıdır.

Sıkıştırılmış kaplamanın, hava boşluğu hesabında efektif özgül ağırlık, agrega tarafından absorbe edilen asfalt miktarını dikkate alınarak kullanılır. Belirlenen karışım gradasyonuna uygun olarak hazırlanan numuneler üzerinde kaba agrega hacim ve zahiri özgül ağırlık, ince agrega hacim ve zahiri özgül ağırlık ile absorbsiyonu ve filler zahiri özgül ağırlığı deneylerle bulunur. Kaba, ince ve filler malzemenin özgül ağırlıkları kullanılarak, agrega karışımının özgül ağırlıkları aşağıdaki formüllerden hesaplanır [22].

$$G_{sb} = \frac{\%K + \%I + \%F}{\frac{\%K}{G_{kb}} + \frac{\%I}{G_{ib}} + \frac{\%F}{G_{fa}}}$$

$$G_{sa} = \frac{\%K + \%I + \%F}{\frac{\%K}{G_{ka}} + \frac{\%I}{G_{ia}} + \frac{\%F}{G_{fa}}}$$

G_{sb} = Agrega karışımının hacim özgül ağırlığı

G_{sa} = Karışımının Zahiri özgül ağırlığı

%K, %İ, %F= Agregaların ağırlıkça yüzdeleri

G_{kb}, G_{ib} = Agregaların hacim özgül ağırlıkları

G_{ka}, G_{ia}, G_{fa} = Agregaların Zahiri özgül ağırlıkları

Agrega efektif özgül ağırlık ise iki şekilde belirlenir;

a) Agrega özgül ağırlıklarından aşağıdaki şekilde hesapla bulunur.

$$G_{ef} = \frac{G_{sb}+G_{sa}}{2}$$ G_{ef} = Agrega efektif özgül ağırlığı

b) Bitümlü karışımın maksimum teorik özgül ağırlık deneyi ile bulunur.

Beklenilen optimum bitüm yüzdesinden hazırlanan karışımın maksimum teorik özgül ağırlığı (boşluksuz) deneyle belirlenir ve efektif özgül ağırlık aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$G_{ef} = \frac{100}{\frac{100 + W_a}{D_t} - \frac{W_a}{G_b}}$$

D_t = Karışımın maksimum teorik özgül ağırlığı

W_a = Agreganın yüzdesi olarak bitüm miktarı

G_b = Bitüm özgül ağırlığı

Tablo 2.6' da Sergenkaya taş ocağından alınan ve elenerek elde edilen No.200 elek altı (mineral filler) malzemeye uygulanan piknometre deneyinin sonuçları verilmiştir.

Tablo 2.6 : Ocak Malzemesine (Filler) Uygulanan Piknometre Deney Sonuçları

Piknometre Deneyi			
DENEY NO :		I	II
a	Piknometre ağırlığı (gr)	287,00	286,60
b	Su + Piknometre ağırlığı	1291,50	1286,10
c	Piknometre + Kuru Numune ağırlığı (gr)	555,10	553,60
(c-a)	Numune Ağırlığı	268,10	267,00
d	Su + Piknometre + Numune Ağırlığı (gr)	1461,70	1455,65
Gf	Filler Zahiri Özgül Ağırlığı (gr / cm^3)	2,739	2,740
Ortalama Zahiri Özgül Ağırlık		2,739	

Tablo 2.7' de ise ÇİNKOM üretim tesisinden alınarak elenen No.200 elek altı (mineral filler) malzemeye uygulanan piknometre deney sonuçları verilmiştir.

Tablo 2.7 : ÇİNKOM Cürufuna (Filler) Uygulanan Piknometre Deney Sonuçları

Piknometre Deneyi (ASTM C127, TS EN 1097-6)		
DENEY NO:	**I**	**II**
Piknometre ağırlığı (gr)	**128,7**	**128,7**
Kuru zemin ağırlığı (gr) (W_1)	**50**	**50**
Su + Piknometre ağırlığı (gr) (W_2)	**417,5**	**417,5**
$W_1 + W_2$ (gr)	**467,5**	**467,5**
Su + Piknometre – Zemin ağırlığı (gr) (W_3)	**449,9**	**449,4**
$W_1 + W_2 - W_3$ (gr)	**17,6**	**18,1**
$\gamma_s = W_1 / (W_1 + W_2 - W_3)$ (gr / cm^3)	**2,84**	**2,76**
Ortalama γ_s (gr / cm^3)	**2,80**	

Tablo 2.7' de verilen ÇİNKOM cürufuna yapılan piknometre deneyi sonucunda filler (No.200 elek altı) malzemesinin ortalama özgül ağırlığı 2,80 gr/cm^3 olarak bulunmuştur.

Tablo 2.8' de ise ÇİNKOM üretim tesisinden alınan No.4 – No.200 elekleri arasında kalan numuneye uygulanan piknometre deney sonuçları verilmiştir. Yapılan deney sonucunda ÇİNKOM cürufunun özgül ağırlığı 3,00 gr / cm^3 olarak bulunmuştur.

Tablo 2.8 : ÇİNKOM Cürufuna Uygulanan Piknometre Deney Sonuçları

Piknometre Deneyi (ASTM C127, TS EN 1097-6)		
DENEY NO:	**I**	**II**
Piknometre ağırlığı (gr)	128,7	128.7
Kuru zemin ağırlığı (gr) (W_1)	50	50
Su + Piknometre ağırlığı (gr) (W_2)	417,5	417,5
$W_1 + W_2$ (gr)	467,5	467,5
Su + Piknometre – Zemin ağırlığı (gr) (W_3)	451,1	450,6
$W_1 + W_2 - W_3$ (gr)	16,4	16,9
$\gamma_s = W_1 / (W_1 + W_2 - W_3)$ (gr / cm^3)	3,04	2,96
Ortalama γ_s (gr / cm^3)	3,00	

Tablo 2.9' da Sergenkaya taş ocağından malzemeye uygulanan efektif özgül ağırlık deneyi sonuçları verilmektedir.



Şekil 2.6 : Piknometre Kabı ve Vakum Cihazı

Tablo 2.9 : Efektif Özgül Ağırlık Deney Sonuçları

Piknometre Deneyi (ASTM C127, TS EN 1097-6)			
DENEY NO :		I	II
A	Piknometre ağırlığı (gr)	570,5	570,5
B	Su + Piknometre ağırlığı	2849,7	2850,3
C	Piknometre + Bitümlü Karışım (gr)	1488,3	1516
D	Su + Piknometre + Bitümlü Karışım (gr)	3405,7	3422,9
Dt	Teorik Özgül Ağırlık (C-A) / (C-A) – (D-B)	2,537	2,536
Wa	% Bitüm	4,00	4,00
Gb	Bitümün Özgül Ağırlığı	1,027	1,027
Gef	Efektif özgül Ağırlık 100 / (100 + Wa) / Dt – (Wa/Gb)	2,695	2,694
Ortalama GEF		2,695	

2.3. ÇİNKOM A.Ş Cürufuna Uygulanan Kimyasal ve SEM Analizi Sonuçları

Yapılan çalışmada, ÇİNKOM A.Ş cürufunun SEM Analizi Erciyes Üniversitesi Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi (TAUM) tarafından, kimyasal analizi ise ÇİNKOM A.Ş laboratuarlarında ıslak yöntemle incelenmiş ve değerler Tablo 2.10 ve Şekil 2.7- 2.8' de verilmiştir. Tablo 2.10' daki değerlere göre, cüruf içeriğinin büyük çoğunluğunu kalsiyum oksit (CaO), silisyum oksit (SiO2), Hematit (Fe_2O_3), kükürt trioksit (SO_3) ve alüminyum oksit (AL_2O_3) oluşturmaktadır.

Tablo 2.10 : ÇİNKOM A.Ş Cürufunun Kimyasal Analiz Sonucu

ADI	(%)
Fe_2O_3	28,73
CaO	22,75
SiO_2	10,30
AL_2O_3	6,44
MgO	2,16
SO_3	1,89
Mn_2O	1,48
Na_2O	0,90
K_2O	0,65
Cl	0,36

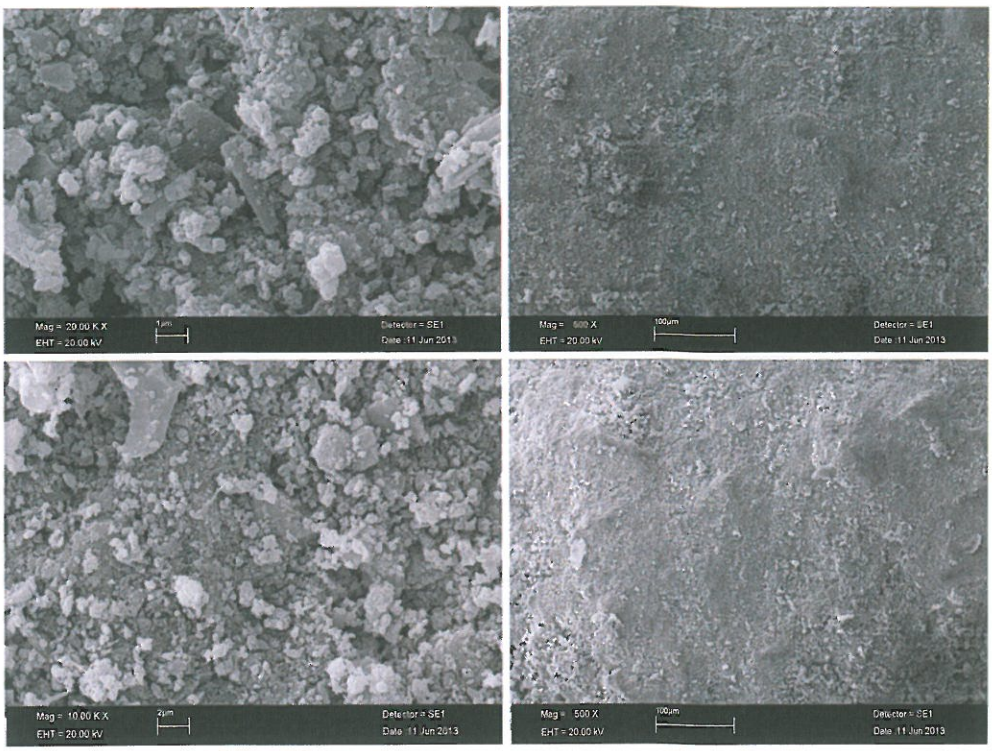
ÇİNKOM A.Ş cürufunun doğal hali için Şekil 2.7'de, No.200 elek altı (Mineral Filler) için yapılan SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) analizi sonuçları ise Şekil 2.8' de verilmiştir.

2.4. Bitümlü Bağlayıcılara Uygulanan Deneyler

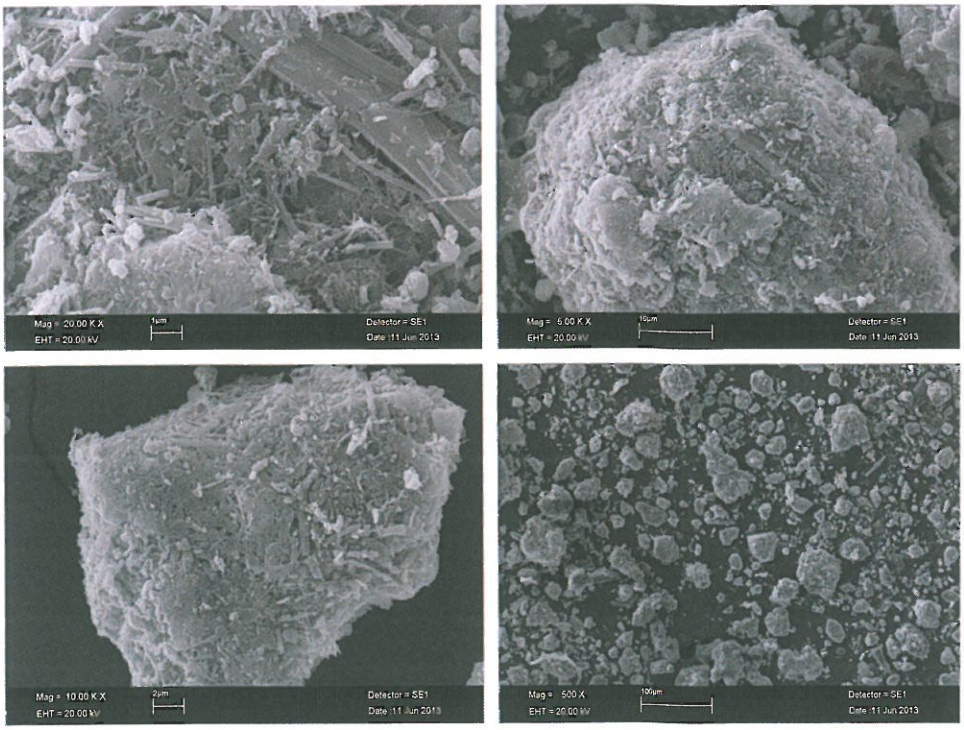
Bu çalışma kapsamında üretilen Marshall numuneleri için 50/70 penetrasyon sınıfında bitüm kullanılmıştır. Kullanılan bitümler Kırıkkale rafinerisinden gelmiş olup bitümler üzerinde penetrasyon parlama noktası (Cleveland açık kap) ve özgül ağırlık deneyleri yapılmıştır.

2.4.1. Bitümlere Uygulanan Deneyler

- Penetrasyon
- Parlama noktası (Cleveland açık kap)
- Özgül Ağırlık



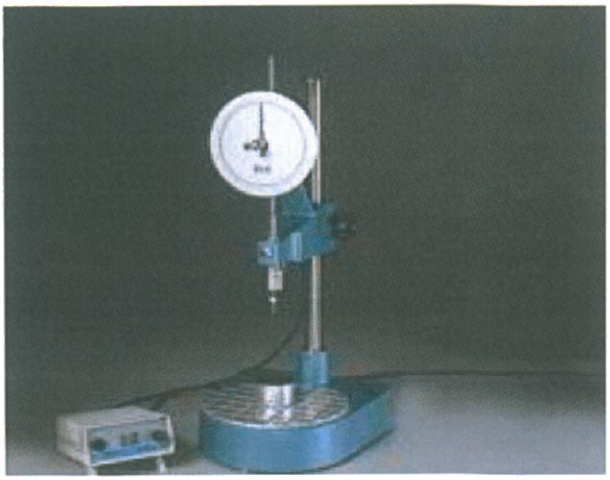
Şekil 2.7 : Çinkom Cürufu Doğal Hali SEM Analizi Sonuçları



Şekil 2.8 : Çinkom Cürufu No.200 elek altı (Mineral Filler)
SEM Analizi Sonuçları

2.4.1.1. Penetrasyon Deneyi

Bitümlü bağlayıcının sertliğini veya kıvamını belirlemek için yapılan bir deneydir. Standard bir iğnenin belirli bir yük (100 g.) altında belirli bir süre (5 sn.) asfalt çimentosu içine dikey olarak battığı mesafe 0,1 mm cinsinden bulunur ve numunenin penetrasyon değeri olarak kaydedilir. Penetrasyon değeri kıvamlılıkla ters orantılıdır. Penetrasyon yükseldikçe bitüm yumuşar. Kıvamlılık artıkça bitüm sertleşir. Deneylerde kullanılan bitüme uygulanan Penetrasyon deneyi sonucunda Penetrasyon değeri 57 olarak bulunmuştur.



Şekil 2.9 : Penetrasyon Deney Aleti

2.4.1.2. Parlama Noktası Deneyi

Parlama noktası, bir maddenin buharının alev temasında geçici olarak parladığı fakat yanmaya devam etmediği en düşük sıcaklık olarak tanımlanır. Parlama noktası, bitümlü bağlayıcının uygulama sırasında ısıtılırken meydana gelebilecek herhangi bir tutuşma ve alev alma riskini önlemek bakımından önemlidir [22].

Parlama noktası, asfalt çimentoları ve SC sıvı petrol asfaltlarında Cleveland Açık Kabı ile, MC ve RC sıvı petrol asfaltlarında Tagliabue Kapalı Kabı (15 – 74 ^{o}C aralığı için) ile belirlenmektedir. Deneylerde kullanılan bitüme uygulanan deney sonucunda parlama noktası 220 ^{0}C olarak bulunmuştur.

2.4.1.3. Özgül Ağırlık Deneyi (TS 1087)

Bitümlü malzemenin özgül ağırlığı 25 °C sıcaklıktaki, hacminin havadaki ağırlığının aynı sıcaklık ve aynı hacimdeki havası alınmış distile suyun ağırlığına oranıdır. Genellikle piknometre yöntemi ile özgül ağırlık belirlenir [22]. Deneylerde kullanılan bitüme uygulanan özgül ağırlık deneyi sonuçları Tablo 2.11' de verilmiştir.

Tablo 2.11 : Bitüm Özgül Ağırlık Deneyi

Bitüm Özgül Ağırlık Deneyi TS 1087			
Deney No :		I	II
a	Piknometre ağırlığı (gr)	38,5	38,4
b	Su + Piknometre ağırlığı	138,4	138,5
c	Piknometre + Numune Ağırlığı (gr)	96,7	103,1
(c-a)	Numune Ağırlığı (gr)	58,2	64,7
d	Piknometre+ Su + Numune Ağırlığı	139,9	140,2
Gb	Bitüm Özgül Ağırlığı Gb = (c-a) / ((b-a) – (d-c))	1,026	1,027
Ortalama Özgül Ağırlık (gr / cm^3)		1,027	

2.5. Marshall Metodu ile Bitümlü Sıcak Karışım Dizaynı

Agregaların kurutulması ve iyi bir karıştırma ve işlenebilirlik için ısıtılması, asfalt çimentosunun ise uygun bir akıcılığa gelmesi amacıyla ısıtılmasından sonra, agrega ve bitümün özel plentlerde karıştırılması ile hazırlanan karışımlara bitümlü sıcak karışımlar (BSK) denilmektedir.

Asfalt kaplamaların karışım dizaynının amaçları aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- Sağlam (durabil) bir üstyapı elde etmek için gerekli bitüm miktarını belirlemek
- Trafik yükleri altında deformasyon göstermeyecek yeterli dayanımı oluşturmak
- Sıkıştırılmış tabakada, trafik altında oluşabilecek çok az miktarda sıkışmaya; kusma, akma ve stabilite düşüklüğü olmadan sağlayacak, ancak tabakanın içinde rutubet ve fazla hava barındırmayacak ölçüde boşluğu sağlamak.

- Segregasyon olmadan uygun serimi sağlayacak bir işlenebilirliğe sahip ekonomik bir karışım ve agrega gradasyonunun belirlenmesi. [22]

2.5.1. Marshall Karışım Dizaynının Aşamaları

1) Agrega gruplarının.yaş metoda göre elek analizinin yapılması ve şantiye sonuçları ile karşılaştırılarak dizayna esas gradasyonlarının belirlenmesi. Bu çalışmada 2 farklı malzeme grubu kullanıldığından her grup için ayrı elek analizi yapılmıştır.
2) Agrega karışım oranlarının ve karışım gradasyonunun ilgili, şartname gradasyon limitleri içerisinde kalacak şekilde, hesaplanması. Yapılan briketlerde 2 farklı malzeme grubu değişik yüzdelerde (%) kullanılmış olup sonuçları bu yüzdelere göre değişiklik göstermiştir.
3) Agrega özgül ağırlıkları ve briket agregası tartımı için gerekli hesapların yapılması
4) Karışım gradasyonunda hazırlanan agregalar üzerinde kaba ve ince özgül ağırlık deneyleri ile filler zahiri özgül ağırlık deneyinin yapılması
5) Beklenen optimum bitüm ile optimum bitümün ± 0.5 ve ± 1.0 bitüm değerlerinde, her bitüm yüzdesi için en az 3 briket olmak üzere, şartnameye göre, 2 x 75 ya da 2 x 50 darbe uygulanarak briketlerin sıkıştırılması. Bu çalışmada binder tabakası için dizayn yapıldığından 2 x 75 darbe uygulanmıştır.
6) Karışımın maksimum teorik özgül ağırlık deneyi için, beklenen optimum bitüm yüzdesinde, iki numune hazırlanması ve deneyin yapılması.
7) Briketlerin yüksekliklerinin ölçülmesi. Bu ölçüm briketlerin 3 ayrı noktasından yapılmıştır ve bulunan 3 değerin ortalaması alınmıştır.
8) Briketlerin hacim özgül ağırlıklarının belirlenmesi
9) Briketler üzerinde Marshall stabilite ve akma deneyinin yapılması
10) Marshall formuna işlenen tüm deney ve ölçüm sonuçlarına göre, her bitüm yüzdesi için briketlerin ortalama yükseklikleri, **Dp' ler (pratik yoğunluk)** hesaplandıktan sonra, **Dt (teorik özgül ağırlık), Vh (hava boşluğu), VMA (agregalar arası boşluk), Vf (asfaltla dolu boşluk),** briket yüksekliğine göre düzeltilmiş stabilite ve ortalama **stabilite ve akma** değerleri hesaplanır. Aşağıdaki grafikler çizilir.

- **Bitüm %'si - Dp**
- **Bitüm %'si - Stabilite**
- **Bitüm %'si - Akma**

- **Bitüm %'si - Boşluk**
- **Bitüm %'si - VMA**
- **Bitüm %'si - Vf**

Optimum bitüm yüzdesi belirlenirken, genellikle boşluk değeri göz önünde bulundurulur.

- Aşınma tabakası için % 4 boşluk
- Binder tabakası için % 4 - % 5 boşluk
- Bitümlü temel tabakası için % 5 - % 6 boşluk

Boşluk esas alınarak diğer değerlerin şartname kriterlerine uygun olup olmadığına bakılır. Karışımın kullanılacağı bölgenin iklim koşullarında göz önünde bulundurularak bitüm miktarı belirlenir. Soğuk bölgelerde, durabilite ve düşük sıcaklık çatlaklarına karşı dayanıklı bir tabaka oluşturmak için bitümü daha zengin fakat kusma meydana getirmeyecek karışımlar, sıcak bölgeler için plastik deformasyonu azaltacak ancak yeterli durabiliteyi sağlayacak karışımlar oluşturulmalıdır.

Ayrıca yüzey tabakası olan asfalt betonu aşınma tabakasında pürüzlülüğü artırmak ve kaplamayı kaymaya karşı dirençli hale getirmek için;

- Sert ve pürüzlü agrega kullanımı,
- Karışım gradasyonunda orta malzemeyi artırarak bir miktar kesiklilik,

ekonomik koşullarda göz önünde bulundurularak, tercih edilmelidir. [22]

2.5.2. Deney Numunelerinin Hazırlanması

Yapılan çalışmada Kayseri – Sivas devlet yolu BSK yapımında kullanılan Sergenkaya taş ocağı malzemesi ve Kayseri ÇİNKOM A.Ş. cürufu kullanılmıştır. Taş ocağı malzemesi deneylerde kullanılmadan önce istenilen gradasyona uygun olması için gerekli eleklerden elenmiştir. Deneysel çalışmalar binder tabakası için yapıldığından briketlerde 25 mm (1'') – 0,0075 mm (No. 200) elek altı malzeme olmak üzere toplamda 8 farklı gradasyonda malzeme kullanılmıştır.



Şekil 2.10 : Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Malzeme Grupları

Malzemeler Şekil 2.10' da gösterildiği üzere No.4 elek üstü (iri malzeme) malzemeye kadar tek tip yani taş ocağı malzemesinden No.4 elek altı (ince malzeme) malzemede ise cüruf ve taş ocağı malzemesi karıştırılarak kullanılmıştır. Optimum cüruf ve bitüm muhtevasını belirlemek için farklı yüzdelerdeki taş ocağı malzemesi ve cüruf karışımlarına Marshall stabilite deneyi uygulanmıştır. Deneye girecek malzemeler öncelikle eleklerden elenmiştir. Daha sonra içerisindeki kil ve organik malzemelerden arınmaları için yıkanmıştır. Yıkamadan sonra malzemeler kuru hale gelene kadar etüvde ısıtılmıştır (110 °C' de 24 saat). Yıkanıp kurutulan malzemeler belirlenen dizaynda hesaplanan ağırlıklarda karıştırılmıştır. Karışım, deneyde kullanılacak her türlü alet ve karışımda kullanılacak bitüm etüvde 145 °C' ye kadar ısıtılmıştır. Gerekli ısıya ulaşan numuneler mikserde bitümün agregayı iyice sardığı gözlemleninceye kadar karıştırılmıştır. Karıştırma işleminden sonra numuneler Marshall briketlerine üste ve alta karışımın incesi, orta kısma ise irisi gelecek şekilde boşaltılmıştır. Deneysel çalışmalar binder tabakası için yapıldığından briketler ön yüzlerine 75 darbe, arka yüzlerine 75 darbe olmak üzere toplamda 150 defa Marshall tokmağında dövülmüştür. Hazır hale gelen numuneler herhangi bir karışıklık olmaması açısından numaralanmış ve numaraların hangi karışım yüzdesini temsil ettiği ayrıca not edilmiştir. Numuneler Marshall stabilite cihazına konulmadan önce 45 dakika boyunca 60 °C' de bekletilmiş ve çıkarıldıktan hemen sonra deney cihazına konulmuş ve cihazda okunan yük ve akma değerleri not edilmiştir.

3. BÖLÜM

ARAŞTIRMA BULGULARI

3.1. Giriş

ÇİNKOM A.Ş cürufu ilave edilen binder tabakasında, meydana gelen değişimlerin incelendiği bu deneysel çalışmada, farklı oranlarda cüruf ve bitüm ilavesinin binder tabakası **Dp** (pratik yoğunluk), **Dt** (teorik özgül ağırlık), **Vh** (hava boşluğu), **VMA** (agregalar arası boşluk), **Vf** (asfaltla dolu boşluk), **stabilite** ve **akma** değerleri üzerine etkileri incelenmiştir.

3.2. Marshall Deney Sonuçları

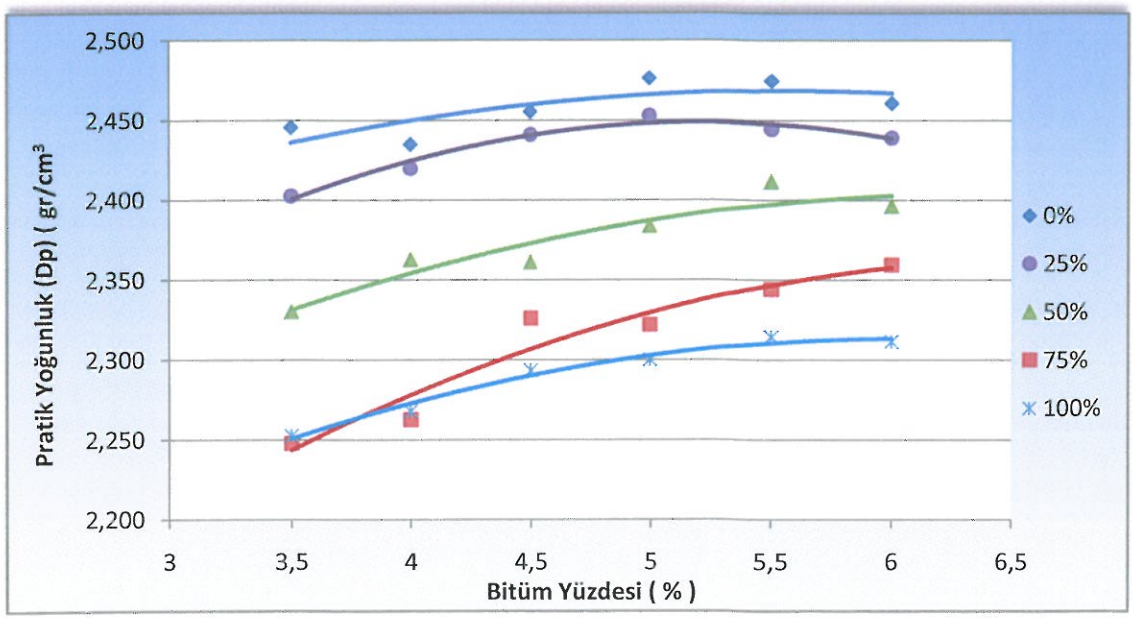
Bu bölümde ise % 0- % 25- % 50- % 75- % 100 cüruf ve % 3, 5 - % 4,0 - % 4,5 - % 5,0 - % 5, 5 - % 6,0 bitüm ilaveli numunelere Marshall deneyi yapılmış ve sonuçlar ayrı başlıklar altında grafiksel olarak gösterilmiştir.

3.2.1. Pratik Yoğunluk (Dp)

Artan bitüm miktarı ile yapılan asfalt çimentosuna ait briketlerin yoğunluğundaki artış Tablo 3.1' de gösterilmektedir. Bitümlü karışımların yoğunluğu arttıkça stabilite-durabilite gibi fiziksel özelliklerinde de artış gözlenmektedir. Tez çalışması için yapılan deneyler sonucunda maksimum yoğunluğun 2.476 gr/cm^3 olduğu görülmüştür. Yoğunluk arttıkça yine boşluksuz bir kitle haline yaklaşabilme derecesi arttığından, asfalt dolu boşluk oranın da artma gözlenmiştir. Şekil 3.1' de pratik yoğunluk- bitüm yüzdesi ilişkisini belirten grafik verilmiştir.

Tablo 3.1 : Pratik Yoğunluk – Cüruf %' si ilişkisi

Bitüm %' si	Pratik Yoğunluk (D_p) (gr/cm^3)				
	Karışıma Eklenen ÇİNKOM Cürufu %' si				
	0%	25%	50%	75%	100%
% 3,5	2,445	2,403	2,330	2,248	2,253
% 4	2,435	2,420	2,363	2,263	2,268
% 4,5	2,455	2,441	2,361	2,326	2,293
% 5	2,476	2,453	2,384	2,322	2,300
% 5,5	2,475	2,444	2,412	2,344	2,314
% 6	2,461	2,439	2,396	2,359	2,311



Şekil 3.1 : Pratik Yoğunluk - Bitüm %' si ilişkisi

3.2.2. Hava Boşluğu (Vh)

Sıkıştırılmış kaplama karışımı içerisindeki hava boşluğu (Vh), bitümle kaplanmış agrega daneleri arasındaki küçük hava boşluklarından ibarettir. Aşağıdaki hesaplamadan yararlanılarak hesaplanır [38].

$$\%\, V_h = \left(\frac{D_t - D_p}{D_t}\right) \times 100$$

Burada;

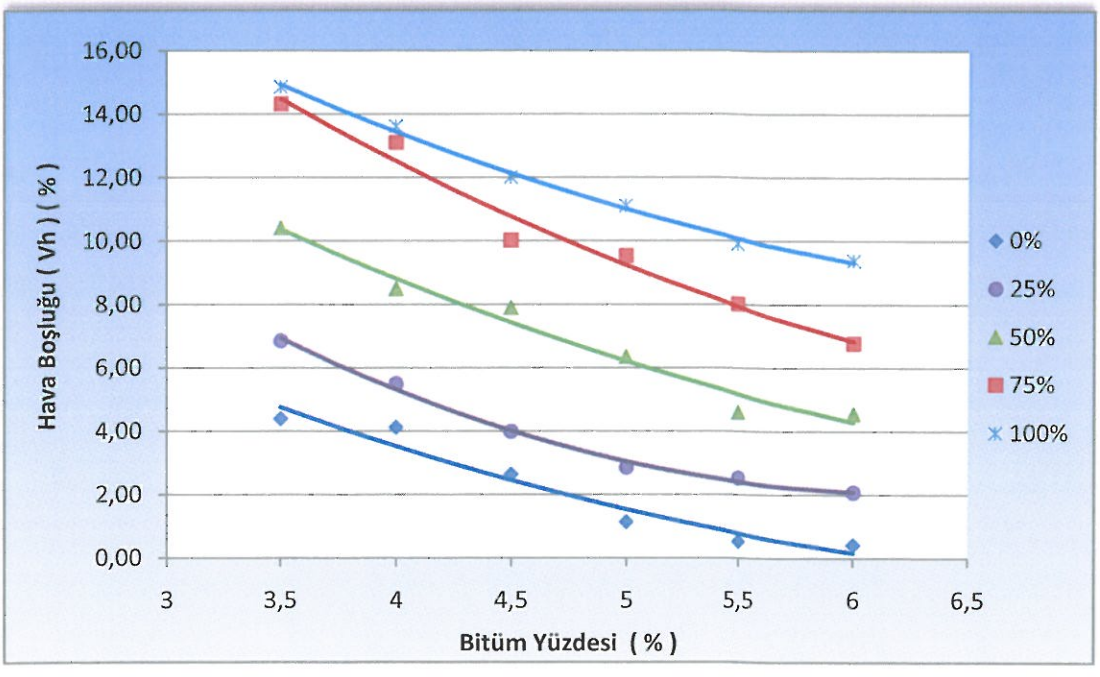
V_h: Toplam hacmin yüzdesi olarak sıkıştırılmış karışımdaki hava boşluğu.

D_t: Kaplama karışımın maksimum özgül ağırlığı.

D_p: Sıkıştırılmış karışımın (briketin) hacim özgül ağırlığı.

Tablo 3.2 : Hava Boşluğu – Cüruf %' si ilişkisi

Bitüm %' si	Hava Boşluğu (Vh)				
	Karışıma Eklenen ÇİNKOM Cürufu %' si				
	0%	25%	50%	75%	100%
% 3,5	4,39	6,84	10,41	14,32	14,86
% 4	4,12	5,49	8,49	13,11	13,63
% 4,5	2,63	3,99	7,89	10,02	12,01
% 5	1,13	2,85	6,34	9,52	11,12
% 5,5	0,52	2,52	4,59	8,00	9,92
% 6	0,42	2,07	4,54	6,76	9,39



Şekil 3.2 : Hava Boşluğu – Bitüm %' si ilişkisi

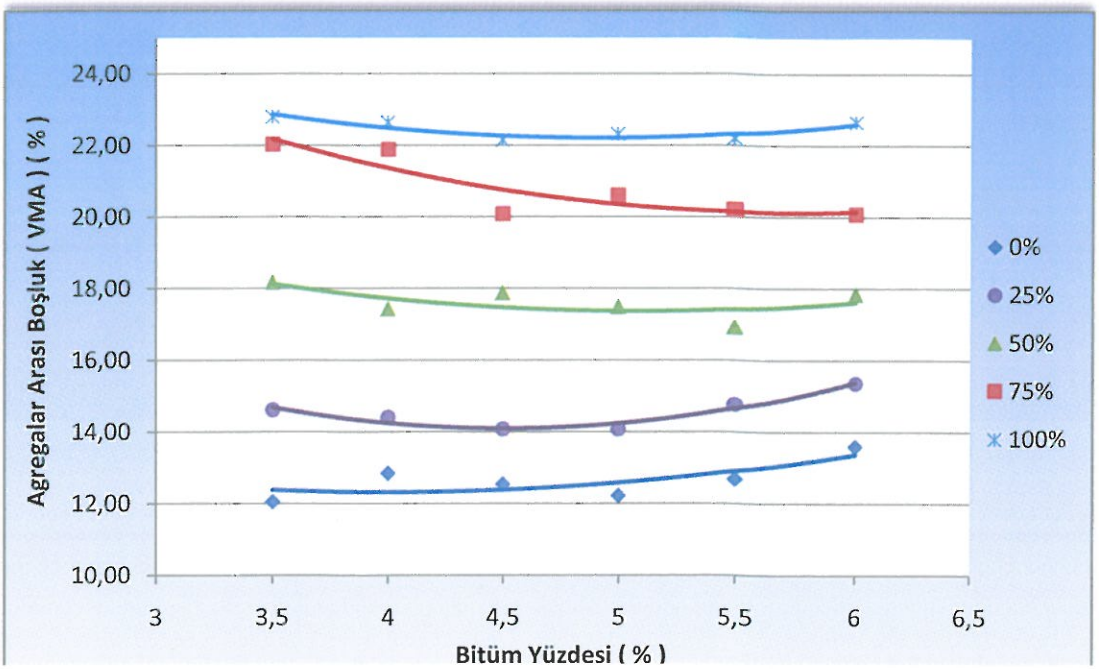
3.2.3. Agregalar Arası Boşluk (VMA)

Agregalar arası boşluk yüzdesi (VMA), efektif bitüm miktarını ve hava boşluğunu içeren, sıkıştırılmış kaplama karışımının agrega daneleri arasındaki boşluk olarak tanımlanır ve toplam hacmin yüzdesi olarak hesaplanır.

VMA, agreganın hacim özgül ağırlığı esas alınarak hesaplanır ve sıkıştırılmış kaplama karışım hacminin yüzdesi olarak ifade edilir. Böylece VMA, sıkıştırılmış kaplama karışımının hacminden agreganın hacim özgül ağırlığı ile hesaplanan hacminin çıkarılmasıyla hesaplanabilir [38].

Tablo 3.3 : Agregalar Arası Boşluk – Cüruf %' si ilişkisi

Bitüm %' si	Agregalar Arası Boşluk (VMA)					
	Karışıma Eklenen ÇİNKOM Cürufu %' si					
	0%	25%	50%	75%	100%
% 3,5	12,04	14,60	18,17	22,02	22,80
% 4	12,84	14,40	17,42	21,88	22,65
% 4,5	12,53	14,07	17,87	20,08	22,16
% 5	12,21	14,07	17,48	20,59	22,31
% 5,5	12,68	14,77	16,92	20,21	22,19
% 6	13,59	15,36	17,83	20,07	22,66



Şekil 3.3 : Agregalar Arası Boşluk – Bitüm %' si ilişkisi

3.2.4. Asfaltla Dolu Boşluk (Vf)

Şekil 3.4' de Asfalt dolu boşluk oranı ile bitüm miktarı grafiği verilmiştir. Asfalt dolu boşluk oranı bitümlü agrega karışımının basınç altında boşluksuz bir kitle haline yaklaşabilme derecesini ifade eder. Bu özellik doğal olarak birinci derecede agrega boşluklarının ne dereceye kadar asfalt ile doldurulduğu ile alakalıdır.

Beton asfalt karışımındaki bu boşlukların doldurulması aşırı su ve hava nüfusunu engelleyecektir. Bu da agregalar arasındaki boşlukların maksimum derecede asfalt ile doldurulması ile mümkün olabilir. Bu şekilde yolun geçirimi azalacak, dolayısıyla yolda patlama şişme gibi olaylar gözükmeyecektir. Grafik incelendiğinde artan bitüm miktarı ile asfalt dolu boşluk oranında artış olduğu gözlenmektedir. Yani agregalar arasındaki boşluklar asfalt ile dolmaktadır. Bu artış bir süre sonra yavaşlamıştır. Bu durum agrega karışımındaki boşluk oranının azaldığını göstermektedir. Karayolları teknik şartnamesine göre binder tabakası için belirlenen V_f şartname limitleri % 60- 75 dir.

$$\% V_f = \left(\frac{VMA - V_h}{VMA}\right) \times 100$$

Burada;

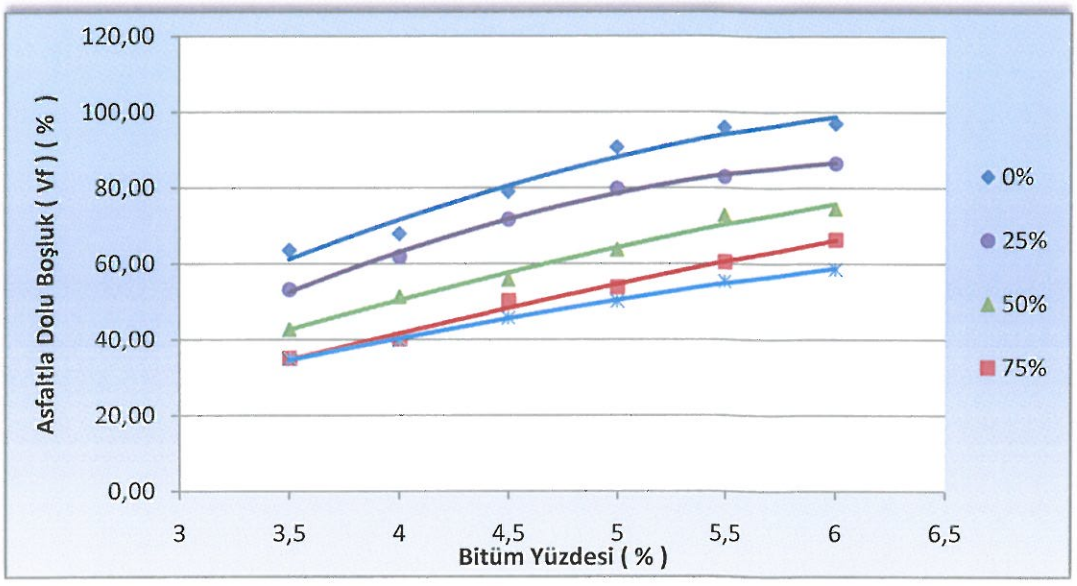
V_f: Asfaltla dolu boşluk.

VMA: Agregalar arası boşluk yüzdesi.

V_h: Sıkıştırılmış karışımdaki hava boşluğu

Tablo 3.4 : Asfaltla Dolu Boşluk – Cüruf %' si ilişkisi

Bitüm %' si	Asfaltla Dolu Boşluk (Vf)				
	Karışıma Eklenen ÇİNKOM Cürufu %' si				
	0%	25%	50%	75%	100%
% 3,5	63,54	53,13	42,68	34,98	34,83
% 4	67,92	61,87	51,26	40,10	39,81
% 4,5	78,98	71,64	55,85	50,11	45,77
% 5	90,75	79,74	63,71	53,76	50,16
% 5,5	95,92	82,96	72,85	60,39	55,31
% 6	96,91	86,53	74,53	66,31	58,54



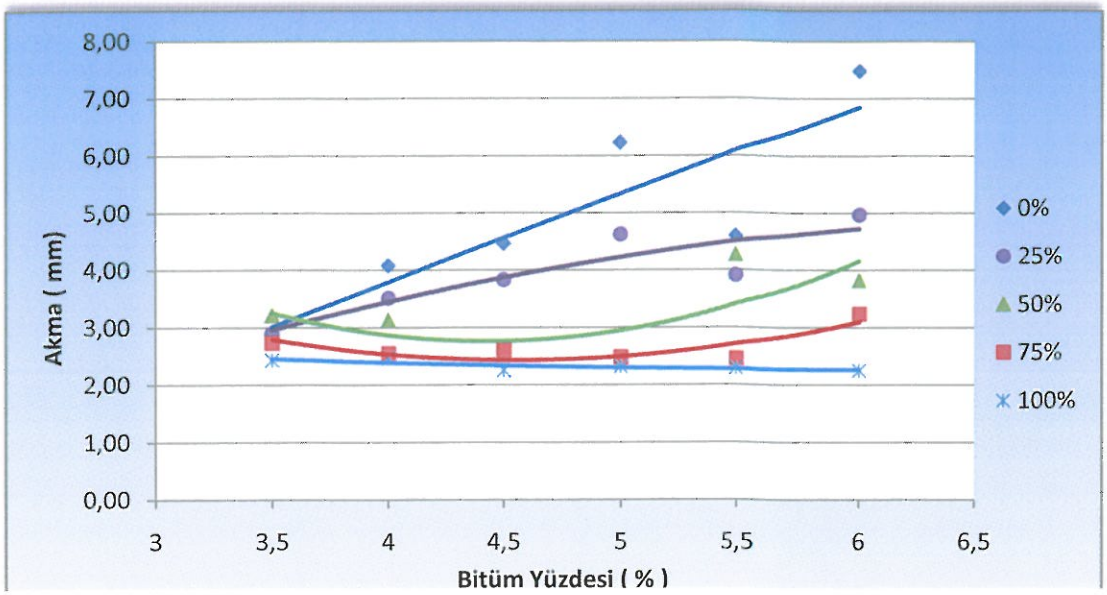
Şekil 3.4 : Asfaltla Dolu Boşluk – Bitüm %' si ilişkisi

3.2.5. Akma

Akma değeri; numunede kırılmayı meydana getirmek için gereken çap boyunca olan ezilmeyi ifade eder. Bu değer, plastikleşmeye veya kaplamanın trafik altında deforme olmasına karşı mukavemetin bir göstergesidir. Akma değerine birinci derecede etki eden faktör, agrega boşluklarının ne dereceye kadar asfalt ile doldurulmuş olduğudur. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda karışımın bitüm oranının artışına bağlı olarak akma değerininde arttığı gözlemlenmiştir. Artan bitüm miktarı ile akma değeri maksimum noktaya ulaştıktan sonra agregalar arsında oluşan film tabakası kaygan bir ortam oluşturarak mukavemeti düşürmektedir. Bundan dolayı akma değeri bir süre sonra düşüşe geçmiştir [38].

Tablo 3.5 : Akma – Cüruf %' si ilişkisi

Bitüm %' si	Akma					
	Karışıma Eklenen ÇİNKOM Cürufu %' si					
		0%	25%	50%	75%	100%
	% 3,5	2,77	2,89	3,21	2,72	2,43
	% 4	4,08	3,51	3,13	2,54	2,46
	% 4,5	4,46	3,83	2,54	2,60	2,25
	% 5	6,23	4,62	2,42	2,48	2,32
	% 5,5	4,59	3,91	4,27	2,46	2,29
	% 6	7,48	4,96	3,82	3,23	2,25



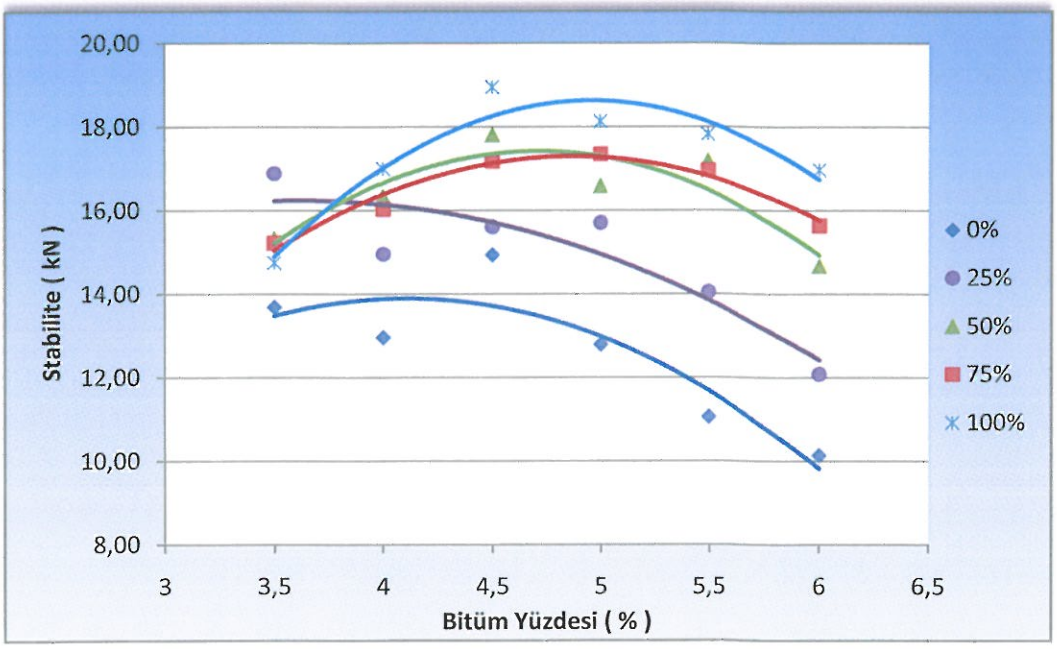
Şekil 3.5 : Akma – Bitüm %' si ilişkisi

3.2.6. Stabilite

Stabilite değeri, sıkıştırılmış bir kaplama karışımının yapısal mukavemetini ifade eder. Bu mukavemete birince derecede asfalt miktarı ile karışımdaki agregaların gradasyon ve karakteristiği etki eder. Grafikler incelendiğinde genel olarak artan bitüm miktarı ile birlikte stabilitenin de arttığı ve maksimum noktaya ulaştıktan sonra düşüş gösterdiği anlaşılmaktadır. Bu düşüş artan bitüm miktarının maksimum noktaya ulaştıktan sonra agregalar arasındaki kayganlığı arttırarak dayanımı azalttığını göstermektedir. En yüksek stabilitelerin %4- 5 bitüm yüzdelerinde yakalandığı belirlenmiştir. Şekil 3.6' da binder tabakasında stabilite- bitüm yüzdesi ilişkisi grafiksel olarak verilmiştir.

Tablo 3.6 : Stabilite – Cüruf %' si ilişkisi

Bitüm %' si	Stabilite (kN)					
	Karışıma Eklenen ÇİNKOM Cürufu %' si					
	0%	25%	50%	75%	100%
% 3,5	13,68	16,89	15,33	15,22	14,75
% 4	12,96	14,96	16,34	16,02	16,99
% 4,5	14,93	15,61	17,81	17,17	18,95
% 5	12,79	15,70	16,58	17,34	18,13
% 5,5	11,06	14,05	17,19	16,96	17,83
% 6	10,13	12,08	14,67	15,63	16,98



Şekil 3.6 : Stabilite – Bitüm %' si ilişkisi

3.2.7. Optimum Bitüm İçeriğinin Tayini

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda bulunan **Dp** (Pratik Özgül Ağırlık), **stabilite**, **asfaltla dolu boşluk oran** (Vf), **hava boşluğu** (Vh) (hava boşluğu) oranlarını temsil eden optimum bitüm miktarı tayin edilir.

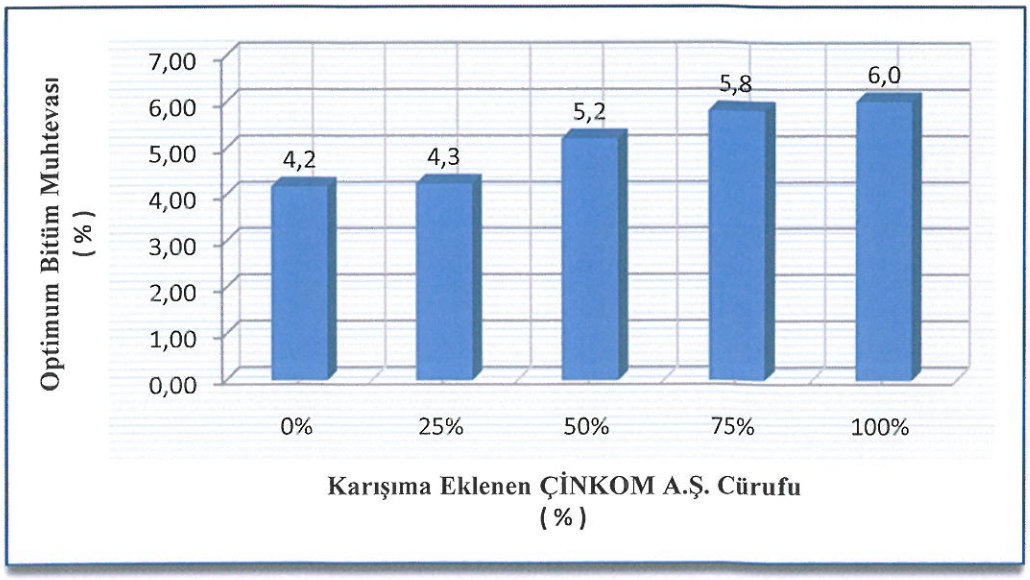
Optimum bitüm miktarının tayin edilmesi için aşağıdaki işlemler yapılır

- Öncelikle bulunan maksimum **Dp** (Pratik özgül ağırlık) değerine karşılık gelen bitüm miktarı tespit edilir.
- Binder tabakası için dizayn yapıldığından ve bu tabaka için şartnamede belirtilen **hava boşluğu** limitleri % 4- 6 olduğundan optimum değer % 5 seçilmiş ve % 5 hava boşluğunu veren bitüm yüzdesi belirlenmiştir.
- **Asfaltla dolu boşluk oranı** (Vf) değeri için şartnamede belirlenen oran % 60-75 olup bu değerlerin orta noktası yani % 67,5 değerini veren bitüm miktarı tespit edilmiştir.
- Son olarak yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçlara göre maksimum **stabiliteyi** veren bitüm miktarı bulunmuştur.

Yukarıda belirlenen bitüm miktarları Tablo 3.7' de gösterildiği gibi tablo üzerine işlenmiş ve daha sonra bulunan bitüm miktarlarının aritmetik ortalaması alınmış ve böylece optimum bitüm miktarı hesaplanmıştır.

Tablo 3.7 : Optimum Bitüm İçeriğinin Tayini

Optimum Bitüm Miktarı					
Karışıma Eklenen ÇİNKOM Cürufu %' si					
	0%	25%	50%	75%	100%
Dp (maks.)	5,0	5,0	5,5	6,0	5,5
Stabilite (maks.)	4,5	3,5	4,5	5,0	4,5
Asfaltla Dolu Boşluk Oranı (% 67,5)	3,8	4,3	5,3	6,0	6,3
Boşluk (% 5)	3,5	4,2	5,6	6,3	7,8
Ortalama Optimum Bitüm %' si	4,19	4,25	5,23	5,83	6,03



Şekil 3.7 : Optimum Bitüm- Cüruf %' si ilişkisi

4. BÖLÜM

TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1. Tartışma

Dünyada ve ülkemizde artan teknoloji ve sanayileşmeye bağlı olarak mühendislik açısından büyük önem taşıyan konulardan biriside ulaştırma konusu olmuştur. Ülkemizde ki yolcu ve yük taşımacılığının çok büyük bir oranının karayolları vasıtasıyla yapılması, artan dingil yükü ve araç sayıları, doğal kaynakların bilinçsiz kullanımı ve artan üretim maliyetleri bilim insanlarını bu konuda yeni araştırmalara yönlendirmiştir.

Bu tez çalışması kapsamında, Kayseri ili Zamantı bölgesi sınırları içerisinde bulunan ve çinko- kurşun üretimi yapan ÇİNKOM A.Ş.' nin depo sahasında bulunan cürufun bitümlü sıcak karışım binder tabakasında etkileri incelenmiştir.

4.2. Sonuç ve Öneriler

Laboratuarda yapılan deneysel çalışmalar sonucunda Kayseri Sergenkaya taş ocağından alınan farklı gradasyonlarda ki kalkerin, %25- %50- %75- %100 oranlarında Çinko-kurşun üretim tesislerinden çıkan endüstriyel cüruf ile karıştırılması ve karışıma %3,5- %4,0- %4,5- %5,0- %5,5- %6,0 bitüm ilave edilmesiyle oluşturulan Marshall briketlerinin, cüruf ilavesiz briketlerle karşılaştırılması sonucu aşağıdaki sonuçlara ulaşılmış ve bazı öneriler sunulmuştur:

- Deneysel çalışmalar için hazırlanan Marshall briketlerinin pratik özgül ağırlık (Dp) hesaplamaları sonucunda; ilave edilen cüruf oranı arttıkça briketlerin özgül ağırlıklarının azaldığı gözlemlenmiştir. Deneyler sonucunda ilavesiz briketlerin özgül ağırlıklarının, cüruf ilaveli briket özgül ağırlıklarından yüksek olduğu ve

bitüm yüzdesindeki artışın cüruf ilaveli briketlerde yoğunluğu artırdığı gözlemlenmiştir.

- Karasal iklimin hakim olduğu ve donma - çözülmelere bağlı bozulmaların fazla olduğu ülkemizde sıcak karışımların içerisindeki hava boşluğu oldukça büyük önem taşımaktadır. Karayolları teknik şartnamesinde binder tabakası için şartname limitleri % 4 - 6 arasındadır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda cürufun karışım içerindeki hava boşluğu oranını artırdığı gözlemlenmiştir. Bu hava boşluğundaki artışın cürufun gözenekli yapısı ile ilgili olduğu düşünülmektedir. Cüruf oranı azaldıkça düşük bitüm yüzdelerinde şartname limitleri yakalanmaktadır. Fakat yüksek cüruf yüzdelerinde şartname limitlerinin yakalanması için bitüm yüzdesinin artırılması gerekmektedir. % 75 – 100 cüruf ilaveli briketlerde şartname limitlerinin yakalanamadığı gözlemlenmiştir. Petrolde dışa bağımlı bir ülke oluşumuz ve yüksek petrol fiyatlarından dolayı cüruf yüzdesinin artışına paralel artan bitüm miktarı yol yapım maliyetlerini artıracaktır.
- Agregalar arası boşluk oranı şartnamede minimum % 13 olarak belirlenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda artan cüruf yüzdesinin agregalar arası boşluğu artırdığı gözlemlenmiştir. Cüruf ilavesiz briketlerde şartname limitlerini yakalamak için bitüm oranının artırılması gerekmektedir.
- Asfaltla dolu boşluk oranı yapısal bozulmaların en aza indirgenmesi açısından oldukça önemlidir. Geçirimsiz bir karışım olması için Karayolları teknik şartnamesi bu boşluk oranını % 60 - 75 olarak belirlemiştir. Cürufun gözenekli yapısı yüzünden bitüm öncelikle cüruf yüzeyini saracak ve daha sonra agregalar arasındaki boşlukları dolduracaktır. Bu yüzden şartname limitleri, düşük cüruf yüzdelerinde düşük bitümle rahatlıkla sağlanmaktadır. Fakat cüruf yüzdesinin artması karışım içerindeki gözenekliliği artırmakta buna paralel olarak bitüm miktarı da artmaktadır. Bitüm miktarındaki bu artış yol yapım maliyetlerini arttırmakta ve ekonomiklikten uzaklaşmaktadır.
- Esnek yol üstyapısı kaplamalarının önemli özelliklerinde birisi olan akma kriteri; kaplamanın trafik altında deforme olmasına karşı mukavemetin bir göstergesidir. Karayolları teknik şartnamesi, binder tabakası için akma limitlerini 2 - 4 mm. olarak belirlemiştir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda ilave edilen cürufun karışımı daha rijit hale getirdiği gözlemlenmiştir. Cüruf

ilavesiz briketlerin yüksek bitüm yüzdelerinde çok fazla akma yaptığı görülmüştür. Fakat cüruf oranındaki artış akma değerini kontrol altına almıştır. Bitüm yüzdesindeki artış genel olarak akma değerlerini artırmış fakat yapılan deneylerin büyük çoğunluğunda şartname limitleri içerisinde kalınmıştır.

- Marshall deneyinin en önemli kriterlerinden birisi hiç şüphesiz stabilite değeridir. Stabilite değeri kullanım süresince dingil yüklerine maruz kalacak kaplamanın dayanımını ifade eder. Karayolları teknik şartnamesi binder tabakası için stabilite değerini minimum 750 kg. (7,5 KN) olarak belirlemiştir. Yapılan çalışmalarda stabilite değerinin bitüm yüzdesine bağlı olarak arttığı fakat bitüm yüzdesinin % 5' lere ulaştığında stabilitenin maksimum değerini aldığı ve bundan sonra dayanımın düştüğü gözlemlenmiştir. Maksimum stabilite % 50 cüruf katkılı karışım için % 5 bitüm yüzdesinde 19,33 kN (1933 kg) olarak ölçülmüştür. Yakalanan bu değer aşınma tabakası şartnamesinin (900 kg) bile çok üzerindedir. Yapılan deneylerde stabilite sorunu yaşanmamıştır.
- Genel kanı; cürufla hazırlanan briketlerde bitüm yüzdesindeki artışın yapım maliyetlerini artıracağı yönündedir. Özellikle karasal iklimin hüküm sürdüğü ülkemizde, boşluklu yapıya sahip cürufun kullanım süresi boyunca maruz kalacağı donma – çözülmelerin ancak yüksek bitüm yüzdesiyle aşılacağı düşünülmektedir. Cürufun tek başına kullanılması şartname değerlerinin bazı parametrelerinin yakalanamaması anlamına gelmektedir. Zaten yapısal olarak da iri agrega bulundurmaması cürufun ilave malzeme olarak kullanılması anlamına gelmektedir. Belirli oranlarda kullanılan cürufun asfalt betonunun bazı parametrelerini pozitif yönde etkilediği görülmektedir. Yukarıda ki deneysel çalışmalar göz önüne alınarak hazırlanan iyi bir dizaynla hem atık halde bulunan bu malzeme ekonomiye kazandırılarak yapım maliyetleri azaltılabilir hem de bu atığın gerek görsel çirkinliği gerekse de çevreye vermiş olduğu tahribat azaltılabilir.

5. KAYNAKÇA

1. Terzi, S., 2000. Mermer Toz Atıkların Asfalt Betonunda Filler Malzemesi Olarak Kullanılmasının Araştırılması, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü M.Sc. Tezi,. Isparta, 69 s.
2. Tuncan, A., Okucu, A. ve Değirmenci, N., 1998. Lastik atıkların asfalt betonu kaplamaların mekanik özelliklerine etkileri, s. 139. *2. Ulusal Asfalt Sempozyumu Bildiriler Kitabı* , ANKARA.
3. Turabi, A., Okucu, A. ve Değirmenci, N.,2002. Fosforik asit üretim atığı fosfojipsin stabilizasyon malzemesi olarak kullanım olanaklarının araştırılması, s. 93. *4. Mühendislik Mimarlık Sempozyumu.* Balıkesir.
4. Su, Nan ve Chen, 2002. J.S. Engineering Properties Of Asphalt Concrete Made With Recycled Glass. Department of Construction Engineering, National Yunlin Universty of Sciencee and Technology, Taiwan, s. 259.
5. Şengöz, B. ve Topal, A., 2002. Bitümlü çatı örtüsü (shingle) atıklarının yol üstyapısında kullanılabilirliğinin araştırılması, s.201. *4. Mühendislik Mimarlık Sempozyumu*, Balıkesir, s. 201.
6. Özdemir, N. ve Çalışkan, M., 2003. Çinko Kaplama Tesisindeki Atıklar ve Çevre Mevzuatı.
7. Karyapsan. KARTAL Yapı İnşaat Sanayi Ticaret Ltd. Şti. Web sitesi. [Çevrimiçi] 2011. **http://www.karyapsan.com.tr/.** (Erişim Tarihi : Ağustos 2013)
8. Umar, F. ve Ağar, E., 1991. Yol Üstyapısı. İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul 339 s.
9. KTŞ. Karayolları Teknik Şartnamesi. 2006. Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara, 753 s.
10. Çağlar, G. A., 2007. Endüstriyel Atık Malzemelerin Karayollarında Kullanımı. İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 127 s.
11. Tayfur, S., et al., 2001. Asfalt ve Uygulamaları. İstanbul Asfalt Fabrikaları San. Tic. A.Ş. Yayınları, İstanbul
12. Ağar, E., 1997. Esnek Yol Üstyapılarının Projelendirilmesi. İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Yüksek Lisans Ders Notları, İstanbul, s.l.
13. Umar, F. ve Ağar, E., 1985. Yol Üstyapısı. İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi İstanbul.

14. Cüre, S., 2005. Otoyol Esnek Üstyapı İnşaatında Kalite Kontrolleri Ve Kalite Yönetim Sisteminin Uygulanabilirliği, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, M.Sc. Tezi, Balıkesir, 168 s.
15. Balta, İ., 2004. Bitümlü Sıcak Karışımların Sudan Kaynaklanan Bozulmalara Karşı Duyarlılığı, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, M.Sc. Tezi, İzmir, 222 s.
16. Önal, A. ve Kahramangil, M., 1993. Bitümlü Karışımlar Laboratuar El Kitabı. K.G.M Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara, 180 s.
17. Tunç, A., 2007. Yol Malzemeleri ve Uygulamaları. Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, 840 s.
18. Yağız, F., et al., 1967. Bitümlü Malzemeler. İş Matbaacılık ve Tic., Ankara, 416 s.
19. Kumbasar, V., F., Kumbasar ve Önalp, A., 1970. Yol Mühendisleri için Zemin Mekaniği. İ.T.Ü İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul, 456 s.
20. Dukatz, E.L. ve Anderson, D.A., 1980. The effect of various fillers on the mechanical behaviour of asphalt and asphaltic concrete. **Association of Asphalt Paving Technologists Proceedings,** s. 46-58.
21. Puzinauskas, V.P. Filler in Asphalt Mixtures. **USA : The Asphalt Institute, Research Report No: 69/2, Maryland, 1983.**
22. Orhan, F., 2009. Bitümlü Karışımlar Laboratuarı Çalışmaları. KGM Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı Üstyapı Şubesi Müdürlüğü, Ankara
23. Hecht, N.L. ve Duvall, D.S., 1975. Characterization and Utilization of Municipal and Utility Sludges and Ashes, s.1. Volume 3, *Utility Coal Ash, National Environmental Research Center. s.l., USA*, U.S. Environmental Protection Agency.
24. TS, 639., 1998. Uçucu Küller. s.l., Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
25. Aruntaş, H.Y., 2006. Uçucu Küllerin İnşaat Sektöründe Kullanım Potansiyeli. s.l., **Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fakültesi Dergisi, Cilt 21,** s. 193-203.
26. Aksoy, İ.H., 1992. Uçucu külün geoteknik alanında kullanımı, s. 248-259. *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 4. Ulusal Kongresi,İTÜ*, 21-23 Ekim, İstanbul
27. Şenol, A., Edil, T.B. ve Benson., 2003. Use of Class C Fly Ash for the Stabilization of Soft Soil As Subbase. ARI the Bulletin of the Istanbul Technical Universty, Istanbul, s. 89-95.

28. ASTM, E1861-97., 1987. Standart Guide for Use of Coal Combustion By-Products in Structural Fills. American Society for Testing and Materials, Weat Conshohocken, Pennsylvania.

29. Özbayoğlu, F., Güral, A. ve Aydın, E., 1997. Termik santral desülfojipslerinin değerlendirilmesi, s. 145-147. *Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması 3 Bildiriler Kitabı* Eskişehir.

30. Kara, M., et al., 2001. Çelikhane Cüruflarının Farklı Uygulama Alanlarında Değerlendirilmesi Projesi. Tübitak - Marmara Araştırma Merkezi Kocaeli, Proje, Gebze, Temmuz 2001.

31. Noureldin, A.S. ve McDaniel, R.S., 1990. Evaluation of Surfaces Mixtures of Steel Slag and Asphalt. Transportation Research Record, s. 1296.

32. Gönüllü, M.T., Mayıs 2004. Atık lastiklerin yönetimi, *Katı Atık Geri Dönüşüm Teknolojileri Semineri*, İstanbul Sanayi Odası, s. 11

33. Dünya Çinko Rezerv İstatistikleri, 1994. Madencilik Özel İhtisas Komisyon Raporu, 2001. **http://ekutup.dpt.gov.tr.** Ankara. (Erişim Tarihi : Ağustos 2013)

34. Dünya Çinko cevheri istatistikleri, **http://tr.wikipedia.org/wiki/%C3%87inko.** Madencilik Özel İhtisas Komisyon Raporu. (Erişim Tarihi: Ağustos 2013)

35. Ülkemizde Madencilik ve Kamu Sektörü Bağlantısı. **www.gemad.org.tr.** (Erişim Tarihi : Ağustos: 2013)

36. Suat, Ç., 2007. Çinkolu Atıkların Hidrometalurjik Yöntemlerle Kazanılması. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 69 s.

37. Acar, M.C., 1998. Kayseri Çinko- Kurşun Üretim Tesisi (Çinkur A.Ş.) Atıklarının Zemin Stabilizasyonunda Kullanımı. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 64 s.

38. Gezer, B.B., 2009. Mersin İli Çelebili Köyü İçmeler Mevkiinde Yüzeyleyen Kireçtaşlarının Beton Ve Asfalt Agregası Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana, 129 s.

39. Ilıcalı, M., Tayfur, S., Özen, H., Sönmez, İ. ve Eren, K., 2001. Asfalt ve Uygulamaları, İstanbul Asfalt Fabrikaları Sanayi ve Ticaret A.Ş., İstanbul.

40. TS EN 1097-2., 2000. Beton Agregalarında Aşınmaya Dayanıklılık (Aşınma Oranı) Tayini Metodu, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

41. TS EN 1367-1., 2001. Beton Agregalarında Dona Dayanıklılık Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

42. Ilıcalı, M., 2002. Asfalt El Kitabı, İstanbul Asfalt Fabrikaları San. Tic. A.Ş. Yayınları, İstanbul, 280 s.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı, Soyadı:	Selim BOZDEMİR
Uyruğu:	Türkiye (TC)
Doğum Tarihi ve Yeri:	06 Temmuz 1985, Ezincan
Medeni Durumu:	Evli
Tel:	05336790271
email:	selimm_024@hotmail.com
Yazışma Adresi:	Karayolları 6.Bölge Müdürlüğü Osman Kavuncu Cad. Melikgazi 38060 KAYSERİ

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü	2013
Lisans	EÜ Mühendislik Fakültesi İnşaat Müh. Böl.	2009
Lise	Erzincan Anadolu Lisesi	2003

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2011- Halen	Karayolları 6. Böl. Müd.	Kontrol Mühendisi
2009–2011	Erzincan Üniversitesi	Öğretim Görevlisi

YABANCI DİL

İngilizce