

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FERROKROM CÜRUFUNUN ASFALT BETONUNDA
KULLANIMI ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

Sebahattin POLAT

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu Tez, Tarihinde, Aşağıda Belirtilen Jüri Tarafından Oybirliği/Oyçokluğu ile
Başarılı/Başarısız Olarak Değerlendirilmiştir.

Firat Üniversitesi
Merkez Kütüphanesi
0069275
255.07.02.03.00.00/08/0069275

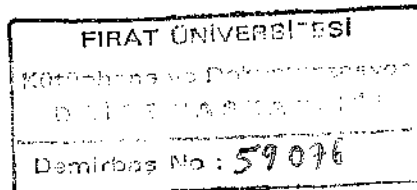
İM YU/4

Danışman

Prof.Bekir YILDIRIM

Jüri Üyesi

Jüri Üyesi



4/3

Y.L.

4/13/08

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FERROKROM CÜRUFUNUN ASFALT BETONUNDA
KULLANIMI ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

Sebahattin POLAT

Fırat Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

1991, Sayfa: 64

Bu araştırmada amaç; Elazığ Ferrokrom Fabrikasının, ferrokrom üretiminde arta kalan cürufun asfalt betonunda kullanılabileceğinin araştırılması olmuştur. Ferrokrom cürufu ilk önce laboratuvarde; aşınma, donma-çözülme, cilalanma, özgül ağırlık, su emme ve soğulma deneyine tabi tutulmuştur. Daha sonra Marshall Stabilité Metoduyla karışım dizaynı yapılmış ve çıkan sonuçlar şartname kriterleriyle karşılaştırılarak sunulmuştur.

ANAHTAR KELİMELEER: Ferrokrom cürufu, Agrega, Asfalt betonu, Marshall stabilite dizaynı.

SUMMARY

Master's Thesis

ASHES OF FERRO-CHROMIUM USE TO
ASPHALT CONCRETE ON RESEARCH

Sebahattin POLAT

Firat University
Graduate School of Science and Technology
Department of Civil Engineering

1991, Page: 64

The aim in this work is to research, the usefulness of remainder ashes in the ferro-chromium production as asphalt concrete was investigated. This study was performed in Ferro-Chromium Factory, Elazığ. First, ferro chromium ashes were employed to abrasion, freezet-thaw, density, water-absorbition and stripping tests made to laboratory. Then, the mixture design was made using Marshall Stability method and the results obtained were presented compored with specification criteria.

KEY WORDS: Ashes of ferro-chromium, aggregate, asphalt concrete, Marshall stability design.

TEŞEKKÜR

Ferrokrom cürufunun asfalt betonunda kullanılabilirliğinin araştırılması amacıyla yapılan bu çalışmada her türlü destek ve yardımlarını esirgemeyen tez danışmanım Prof. Bekir YILDIRIM'a çok teşekkür ederim.

Çalışmanın gerçekleştirilebilmesi için olanak sağlayan, Karayolları 8. Bölge Müdürü Selahattin TAFTALI'ya, laborant Ergün EROĞLU'na, F.Ü.Müh.Fak.İnşaat Mühendisliği Bölümü Malzeme laboratuvarı teknisyeni Seyfettin ÇİÇEK'e teşekkürü borç bilirim.

Ayrıca, tezin yazılmasında ve hazırlanmasında emeği geçen İhsan GENÇ'e teşekkür ederim.

Sebahattin POLAT

Elazığ, Haziran 1991

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	ii
SUMMARY	iii
TEŞEKKÜR	iv
İÇİNDEKİLER	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ	ix
ÇİZELGELER LİSTESİ	x
RESİMLER LİSTESİ	xi
GRAFİKLER LİSTESİ	xii
SİMGELER LİSTESİ	xiii
1. GİRİŞ	1
2. KARAYOLU YAPISI	3
2.1. Karayolu Yapısının Tanımı	3
2.2. Karayolu Altyapısı	3
2.2.1. Altyapının görevleri	4
2.3. Karayolu Üstyapısı	5
2.3.1. Alttemel tabakası	6
2.3.2. Temel tabakası	7
2.3.3. Kaplama tabakası	9
2.3.3.1. Yüzeysel kaplamalar	10
2.3.3.2. Asfalt betonu kaplamalar	11

3. BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIM KAPLAMALARIN ÖNEMLİ TEKNİK ÖZELLİKLERİ	14
3.1. Bitümlü Karışımlardan Beklenen Fiziksel ve Mekanik Özellikler	15
3.1.1. Stabilité	15
3.1.2. Sağlamlık (Durabilite)	16
3.1.3. Esneklik (Fleksibilite)	17
3.1.4. Geçirgenlik (Permiabilite)	18
3.1.5. Kırılgenlik	19
3.1.6. Sürtünme direnci	19
3.1.7. Yorulma	20
3.1.8. Suya karşı duyarlı olmamak	21
3.1.9. Homojenlik	21
3.1.10. Tabakalar arasındaki bağlantı	21
4. FERROKROM CÜRUFUNA UYGULANAN DENEYLER	22
4.1. Aşınma Kaybı Deneyi	22
4.2. Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık Deneyi	23
4.3. Cilalanma Deneyi	26
4.4. Özgül Ağırlık ve Su Emme Deneyi	27
4.4.1. Kaba agreganın özgül ağırlığı ve su absorpsiyonu	28
4.4.2. İnce agreganın özgül ağırlığı	29
4.4.3. Fillerin özgül ağırlığı	31
5. ASFALT BETONU KARIŞIM DİZAYNI	33
5.1. Asfalt Kaplama Karışım Dizaynının Amaçları	33
5.2. Dizayn Metodu ve Koşulları	34
5.3. Marshall Metodu ile Karışım Dizaynı	34
5.3.1. Aygıtlar	35

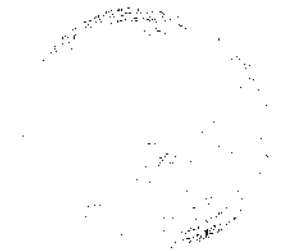
5.3.1.1. Numune sıkıştırma kalıpları	35
5.3.1.2. Numune çıkartıcısı	35
5.3.1.3. Sıkıştırma tokmağı	36
5.3.1.4. Marshall yükleme ağırtı	37
5.3.1.5. Etüv	38
5.3.1.6. Su banyosu	39
5.3.1.7. Diğer aletler	39
5.4. Deney Biriketlerinin Hazırlanması	39
5.5. Numunelerin Kırılması	43
5.6. Hesaplama ve Sonuçların Gösterilmesi	44
6. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRMESİ VE ÖNERİLER	60
6.1. Deney Sonuçlarının Değerlendirmesi	60
6.2. Öneriler	61
KAYNAKLAR	63

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Tipik karayolu enkesiti	4

TABLOLAR LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 2.1. Alttemel Tabakası Gradasyon Limiti	7
Tablo 2.2. Alttemel Malzemesinin Fiziksel Özellikleri	7
Tablo 2.3. Bitümlü Temel Tabakası İçin Gradasyon Limitleri	9
Tablo 2.4. Bitümlü Temel Tabakasında Kullanılan Agreganın Özellikleri	9
Tablo 2.5. Binder Tabakası İçin Gradasyon Limitleri	12
Tablo 2.6. Aşınma Tabakası İçin Gradasyon Limitleri	12
Tablo 5.1. Binder ve Aşınma Tabakalarında Kullanılan Cüruf Miktarları	41
Tablo 5.2.a. Binder Tabakası Marshall Metodu Dizayn Değerleri	50
Tablo 5.2.b. Binder Tabakası Marshall Metodu Dizayn Değerleri	51
Tablo 5.3.a. Aşınma Tabakası Marshall Metodu Dizayn Değerleri	55
Tablo 5.3.b. Aşınma Tabakası Marshall Metodu Dizayn Değerleri	56
Tablo 6.1. Deney Sonuçları ve Şartname Sınırları	60
Tablo 6.2. Marshall Dizayn Sonuçları ve Şartname Sınırları	61



ÇİZELGELER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1. Donma Kaybını Bulmak İçin Gerekli Numune Miktarları	24
Çizelge 4.2. Ferrokrom Cürufunun Donma Kaybı	25
Çizelge 5.1. Marshall Stabilitate Faktörleri	45

RESİMLER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Resim 2.1. Ferrokrom cürufunun elek analizi	13
Resim 5.1. Numunelerin çıkartılması	36
Resim 5.2. Numunelerin sıkıştırılması	37
Resim 5.3. Marshall yükleme ağırtı	38
Resim 5.4. Cüruf elek analizi	40
Resim 5.5. Malzemenin karıştırılması	41
Resim 5.6. Marshall biriket numuneleri	42
Resim 5.7. Marshall biriketlerinin kırılması	43



GRAFİKLER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Grafik 5.1.a. Bitüm-Pratik birim ağırlık ilişkisi	52
Grafik 5.1.b. Bitüm-Stabilite ilişkisi	52
Grafik 5.1.c. Bitüm-Bitümle dolu boşluk yüzdesi ilişkisi	53
Grafik 5.1.d. Bitüm-Akma ilişkisi	53
Grafik 5.1.e. Bitüm-Boşluk yüzdesi ilişkisi	54
Grafik 5.2.a. Bitüm-Pratik birim ağırlık ilişkisi	57
Grafik 5.2.b. Bitüm-Stabilite ilişkisi	57
Grafik 5.2.c. Bitüm-Bitümle dolu boşluk yüzdesi	58
Grafik 5.2.d. Bitüm-Akma ilişkisi	58
Grafik 5.2.e. Bitüm-Boşluk yüzdesi ilişkisi	59



SİMGELER LİSTESİ

D_p	Pratik birim ağırlık (gr/cm^3)
D_t	Teorik birim ağırlık (gr/cm^3)
G_{ag}	Cürufun özgül ağırlığı (gr/cm^3)
G_b	Bitümün özgül ağırlığı (gr/cm^3)
g_f	Cürufun filler kısmının özgül ağırlığı (gr/cm^3)
g_i	İnce cürufun özgül ağırlığı (gr/cm^3)
g_k	Kaba cürufun özgül ağırlığı (gr/cm^3)
p_f	Cürufun filler kısmının yüzdesi
p_i	İnce cürufun yüzdesi
p_k	Kaba cürufun yüzdesi
W	Marshall biriketinin hacmi (cm^3)
W_a	Kuru cürufa göre bitüm yüzdesi
W_1	Marshall biriketinin havada kuru ağırlığı (gr)
W_2	Marshall biriketinin sudaki ağırlığı (gr)
V_a	Biriketteki cürufun hacim olarak yüzdesi
V_b	Biriketteki bitümün hacim olarak yüzdesi
V_f	Bitümle dolu boşluk oranı
V_h	Boşluk yüzdesi

1. GİRİŞ

Günümüzde, ülkemizdeki ulaşım talebinin hızla artması, bir yandan mevcut ulaştırma yapılarının bakım ve onarım giderlerini, diğer yandan da yeni ulaştırma yapılarına olan gereksinimi hızla artırmaktadır. Dolayısıyla kara ulaştırma yapılarında büyük miktarlarda kullanılan doğal agrega ihtiyacı ve tüketimi de hızla artmaktadır. İstenilen özelliklerdeki doğal kaynakların da kısıtlı olması ve doğal agrega maliyetlerinin yükselmesi, bu agregaların en iyi şekilde değerlendirilmesini gerektirmektedir.

Ülkemizde özellikle son yıllarda trafik dingil yüklerinin artması ve taşıt trafiğinin çoğalması sonucu mevcut Devlet yollarımızın birçoğu ihtiyaca cevap vermemektedir. Mevcut yüzeysel kaplamalı yollarımızın çoğu trafik yüklerini taşıyamamaktadır. Bu sebeple son yıllarda ülkemizdeki trafik ağının ana artellerinde sıcak karışım kaplama yapımına hız verilmiştir. Ancak asfalt betonu kaplamaların maliyetleri çok yüksek olduğundan ülke ekonomisine büyük yük getirmektedir. Asfalt betonu kaplamalar ağırlıkça % 93-97 agregadan oluştuğundan maliyetin büyük kısmı agrega üretimine harcanmaktadır.

Bu tez çalışmasındaki amaç; Elazığ Ferrokrom Fabrikası cürufunun asfalt betonunda kullanılabilirliğinin araştırılmasıdır. Elazığ Ferrokrom Fabrikası yılda ortalama olarak 100 bin ton cüruf çıkarmaktadır. Bu cüruf fabrika sahasında atıl vaziyette beklemektedir.

Tezin ana örneği dört bölümden oluşmaktadır.

İkinci bölümde; karayolu yapısı tanımlanmış ve karayolu yapısının çeşitli tabakalarında aranan özellikler ve şartname sınırları verilmiştir.

Üçüncü bölümde; bitümlü sıcak karışım kaplamaların önemli teknik özellikleri hakkında bilgi verilmiştir.

Dördüncü bölümde; Ferrokrom cürufunu asfalt betonunda kullanmak için gerekli deneyler yapılmış ve şartname sınırlarıyla karşılaştırılmıştır.

Beşinci bölümde; Marshall metoduyla asfalt betonu karışım dizaynı yapılmış ve dizayn sonuçları tablo ve grafiklerle gösterilmiştir.

Altıncı bölüm ise, deneysel çalışmaların sonuçlarının değerlendirilmesi ve önerileri kapsamaktadır.

2. KARAYOLU YAPISI

2.1. Karayolu Yapısının Tanımı

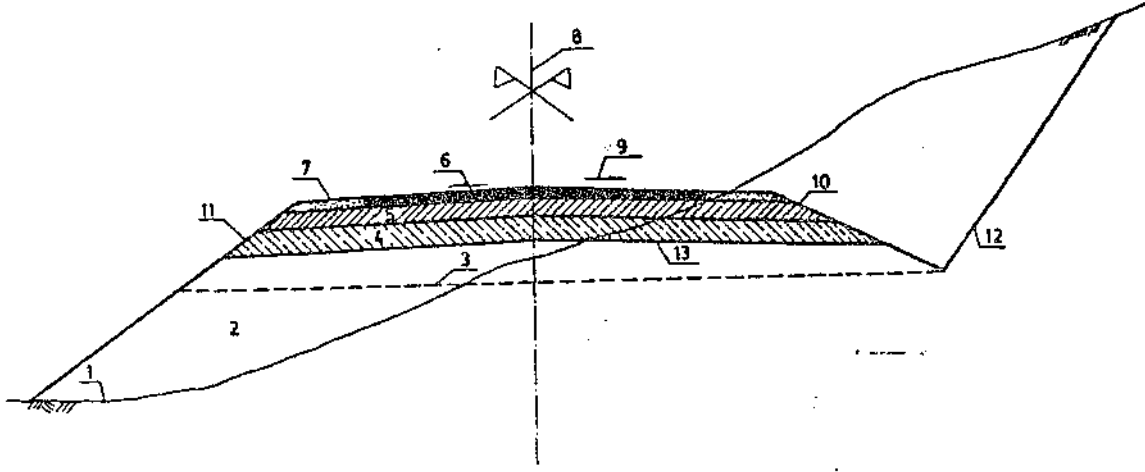
Karayolu yapısı, önceden belirlenen geometrik standartlara uygun olarak tespit edilen güzergah boyunca, doğal zeminin istenilen kotlara getirilebilmesi ve üzerinde motorlu taşıtların istenilen hız, güvenlik ve konfor düzeyinde hareketlerinin sağlanabilmesi amacıyla inşa edilen yapıların tümü olarak tanımlanabilir (Yıldırım, 1984).

Bu bölümde; görevi, yapım sırası ve özellikleri açısından karayolu yapısını oluşturan alt ve üst yapı bölümleri genel olarak tanımlanmakta ve bu çalışmada esas teşkil eden karayolu üst yapısı tabakalarından binder ve aşınma tabakaları ele alınarak bitümlü karışımlarla oluşturulan tabakalarda aranılan özellikler ve şartname sınırlamaları verilmektedir.

Karayolu yapısına ait tipik bir enkesit Şekil 2.1'de verilmiştir.

2.2. Karayolu Altyapısı

Yapımı tamamlanmış bir karayolunda, tesviye yüzeyi ile doğal zemin arasında kalan bölgeye altyapı adı verilir. Altyapı, yolun dolgu kesimlerinde, dışarıdan getirilen toprak ile oluşturulmuş bir toprak gövde, yarma kesimlerinde ise doğal zemindir. Ancak, kazı işleminden sonra istenilen düzlüğü ve eşit yük dağılımını sağlamak amacıyla döşenen ve sıkıştırılan toprak da, yarma kesimindeki altyapıya dahildir. Ayrıca, köprü, viyadük, tünel, menfez ve istinat duvarı gibi sanat yapıları da altyapı olarak kabul edilmektedir (Yıldırım, 1984).



Şekil 2.1. Tipik karayolu enkesiti (Yıldırım, 1984).

- | | |
|--|-----------------------------------|
| 1. Tabii zemin | 7. Banket kaplaması |
| 2. Dolgu malzeme | 8. Yol ekseni |
| 3. Seçme malzeme tabakası
(Gerekli olduğu durumlarda) | 9. Yolun enine eğimi |
| 4. Alttemel tabakası | 10. Hendek eğimi |
| 5. Temel tabakası | 11. Dolgu şevi |
| 6. Kaplama tabakası
(Binder ve aşınma) | 12. Yarma şevi |
| | 13. Taban yüzeyi (tesviye yüzeyi) |

2.2.1. Altyapının Görevleri

İstenilen kotta düzgün bir yüzey sağlamak, üstyapıdan gelen yükleri daha geniş bir alana yaymak ve az da olsa, yolu dış etkilere korumaktır. Bu görevleri yerine getirebilmesi için, trafik yükleri, don ve su etkilerine karşı dayanıklı olması gerekir. Altyapının inşaatında, bitkisel toprak, çürük zemin ve sıkıştırılmaya elverişli olmayan zeminlerin kullanılmamasına özen gösterilmelidir (Yıldırım, 1984).

2.3. Karayolu Üstyapısı

Trafik yüklerini altyapının taşıyabileceği değere indirmek, altyapıyı korumak ve düzgün bir yuvarlanma yüzeyi sağlamak amacı ile altyapı üzerine yerleştirilen alttemel, temel ve kaplamadan oluşan tabakalı yol yapısıdır. Kaplama, taşıtlara uygun bir yuvarlanma yüzeyi sağlamak, trafiğin aşındırma etkilerine karşı koymak ve yapıya sızan yüzeyel su miktarını ve temel tabakasına iletilen kayma gerilmelerini azaltmak amacıyla temel tabakası üzerine inşa edilen bir tabakadır. Kaplama altındaki temel tabakası, bağlayıcısız ya da bağlayıcı bir madde ile işlem görmüş olan, belirli granülometrideki malzemeden oluşur. Ana görevi, üstyapının yük taşıma kabiliyetini artırmak ve kaplamadan gelen yükleri alttemel tabakasına iletmektir. Temel malzemesi, trafik hareketlerinden doğan yüksek kayma gerilmelerine karşı koyabilecek, drenaja yardımcı olabilecek ve don olaylarına karşı da koruma sağlayabilecek nitelikte olmalıdır.

Alttemel ise, trafik yüklerinin taban (altyapı) üzerine yayılmasını sağlamak, ince daneli yapıların temel tabakasına nüfuz etmelerini önlemek, ayrıca su ve don tesirlerine karşı tampon bölge görevi yapmak üzere tesviye yüzeyi üzerine serilen tabakadır.

Üstyapılar, kaplama tabakasında kullanılan malzemelerin türlerine, niteliklerine ve yapım yöntemlerine göre rijit ve esnek olmak üzere iki ana sınıfa ayrılmaktadır. Taban zeminine, trafiğe, çevre şartlarına ve ekonomik faktörlere bağlı olarak en uygun üstyapı tipi seçilir.

Çimento betonu ile yapılan kaplamalarla oluşturulan üstyapıya "Rijit Üstyapı" ya da "Beton Yollar" denir. Yol kaplaması olarak betonun görevi, trafik yüklerini tabana iletmek ve bu sırada tabanın deforme olmamasını sağlamaktır. Bir beton kaplamanın davranışı, dökülen beton plaklarının özelliklerinin yanı sıra, kaplama altına serilen temel ve alttemel tabakaları ile mevcut taban zemininin özelliklerine bağlı olarak değişir. Beton yollar, enine ve boyuna derzlerle birbirinden ayrılmış 20-25 m² alana sahip plaklar halindedir. Beton plağın

rijitliğinin yüksek olması nedeniyle taban zemininde oluşan gerilmeler geniş bir alana yayılır.

Bitümlü kaplama tabakaları ile oluşturulan üstyapılara ise "Esnek Üstyapı" adı verilir. Esnek üstyapı, tesviye yüzeyi ile sıkı bir temas sağlayan ve trafik yüklerini, kaplama, temel ve alttemel tabakaları vasıtasıyla taban zeminine dağıtan bir üstyapı şekli olup, stabilitesi adezyon dane sürtünmesi ve kohezyon gibi kullanılan agregâ ve bitümlü bağlayıcının özelliklerine bağlıdır (Umar ve Ağar, 1985).

Yukarıda tanımlanan rijit ve esnek üstyapıların birbirlerine göre çeşitli teknik üstünlükleri ve dezavantajları vardır. Ekonomik yönden de karşılaştırıldıklarında yöre, iklim şartları ve kullanılan malzemelerin temini bakımından farklı sonuçlar çıkmaktadır.

Bu çalışmada Elazığ Şarıkromları Ferrokrom İşletme Müessesesi'nden elde edilen parça cürufunun üstyapı kaplama tabakasında kullanımı üzerinde çalışıldığından daha çok esnek üstyapı tabakaları incelenecektir.

T.C. Karayolları Genel Müdürlüğü Yollar Fenni Şartnamesinin kabul ettiği esaslar dahilinde, karayolu üstyapısını oluşturan; alttemel, temel ve kaplama tabakalarından bitümlü karışımlarla oluşturulan tabakalarda aranan özellikler aşağıda verilmiştir. Bitümlü bağlayıcı olmadan oluşturulan üstyapı tabakaları ise kısaca tanımlanmıştır.

2.3.1. Alttemel tabakası

Alttemel, trafik yüklerinin taban zemini üzerine yayılmasını sağlamak, ince daneli alttyapıların temel tabakasına nüfuz etmelerini önlemek ve ayrıca su ve don tesirlerine karşı tampon bölge görevi yapmak üzere; belirli bir granülometride hazırlanan agreganın su ile karıştırılarak tesviye yüzeyine serilmesi ile oluşturulan tabakadır.

Alttemel yapımında kullanılan malzeme kum, çakıl, teras çakılı, bozuşmuş kaya, cüruf veya benzeri malzemelerden oluşmaktadır. Alttemelde kullanılan agreganın granülometri limit-

leri Tablo 2.1 de verilmiştir.

Tablo 2.1. Alttemel Tabakası Gradasyon Limiti
(K.G.M. Yollar Fenni Şartnamesi, 1989)

Elek Boyutu mm	İnç	% Geçen
75	3	100
37,5	1 1/2	85-100
9,5	3/8	45-100
4,75	No.4	25-85
0,425	No.40	7-40
0,075	No.200	0-12

Alttemel yapımında kullanılan malzemenin fiziksel özellikleri Tablo 2.2 de verilen limitlere uygun olmalıdır.

Tablo 2.2. Alttemel Malzemesinin Fiziksel Özellikleri
(K.G.M. Yollar Fenni Şartnamesi, 1989)

Deney Adı	Deney Metodu		Sınırlamalar
	AASHTO	TS	
Na ₂ SO ₄ Sağlamlık (%)	T-104	365	25
Los Angeles aşınma (%)	T-96	369	50
Likit limit (maksimum)	T-89	1900	25
Plastisite indeksi (max)	T-90	1900	6

2.3.2. Temel tabakası

Kaplama tabakasının altına yerleştirilen, daneli veya uygun bir bağlayıcı ile işlem görmüş malzemeden oluşan bir tabakadır. Temel tabakasının başlıca görevi kaplama tabakasına

destek olarak üstyapımın yük taşıma kabiliyetini artırmak, kaplama tabakasından gelen trafik yüklerinden doğan yüksek kayma gerilmelerine karşı koyabilmeli ve yüksek nem oranında dengede kalabilmeli, ayrıca drenaja yardımcı olmalı ve don etkisine karşı da ek bir koruma sağlamalıdır (Wright ve Paquette, 1987).

Tek başına agregaya ya da bağlayıcı ile işlem görmüş agrega ile oluşturulabilen temel tabakası uygulamada aşağıdaki tiplere uygun olarak inşa edilir:

Granüler temel tabakası; çakıl, kırılmış çakıl, kırılmış cüruf, kırmataş ve ince malzeme kullanılarak granülometri limitlerine uygun olarak su ile karıştırılıp alttemel üzerine bir veya daha fazla tabaka halinde serilip sıkıştırılmak suretiyle oluşturulur.

Plent Miks temel tabakası; kırılmış çakıl, kırılmış cüruf, kırmataş ve ince malzeme kullanılarak granülometri limitleri içinde, kaba ve ince olmak üzere en az iki ayrı dane boyutu grubunun uygun oranda su ile plentte karıştırılmasıyla hazırlanan alttemel tabakası üzerine bir veya birden fazla tabakalar halinde serilip sıkıştırılmasıyla oluşturulan tabakadır.

Çimento bağlayıcılı granüler temel tabakası; çakıl, kırılmış çakıl, kırılmış cüruf, kırmataş ve ince malzeme kullanılarak granülometri limiti içinde en az iki ayrı dane boyutu grubunun uygun oranlarda çimento ve su ile karıştırılmasıyla hazırlanan malzemenin, alttemel tabakası üzerine bir veya daha fazla tabaka halinde serilip sıkıştırılmasıyla oluşan tabakadır.

Bitümlü temel tabakası; kırılmış ve elenmiş kaba agregaya, ince agregaya ve mineral fillerin belli granülometri limitleri dahilinde uygun bir bitümlü bağlayıcı ile bir plentte karıştırılmasıyla elde edilir. Tek veya daha fazla tabaka halinde sıcak olarak uygulanır. Bitümlü temel hazırlanmasında kullanılan granülometri tipleri Tablo 2.3 de verilmiştir.

Bitümlü temel tabakasında kullanılan agregada aranan fiziksel özellikler ve şartname sınırları ise Tablo 2.4 de verilmiştir.



Tablo 2.3. Bitümlü Temel Tabakası İçin Gradasyon Limitleri
(K.G.M. Yollar Fenni Şartnamesi, 1989)

Elek Boyutu		Tip 1	Tip 2
mm	İnç		
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

Tablo 2.4. Bitümlü Temel Tabakasında Kullanılan Agreganın Özellikleri
(K.G.M. Yollar Fenni Şartnamesi, 1989).

Deney Adı	Deney Metodu		Sınırlamalar
	ASTM	TS	
Los Angeles aşınma (%)	C-131	3694	35
Na ₂ SO ₄ Sağlamlık (%)	C-88	3655	12
Kırılmalılık (% ağırlıkça)	-	-	60
Yassılık indeksi (max %)	BS 812	-	35
Su absorpsiyonu (max %)	C-27	3526	2,5
Soyulma mukavemeti (%)	Nicholson metodu	-	50

2.3.3. Kaplama tabakası

Kaplama tabakası, üstyapının trafik yüklerine doğrudan doğruya maruz kalan en üst tabakasıdır. Trafiğin yükleri nedeniyle oluşan basınç ve çekme gerilmelerinin en yüksek

seviyede olması nedeniyle, diğer tabakalara nazaran daha yüksek bir elastisite modülüne sahip olmalıdır. Kaplama tabakası, suya karşı geçirimsizlik sağlayarak yolu bozulmalardan koruduğu gibi, yazın toz, kışın çamur gibi konfor bozucu etkilerini de önlemektedir. Düzgün yuvarlanma yüzeyi sağlayarak konforun artmasına sebep olur.

Kaplama tabakası, bağlayıcı ve agreganın kullanılma şekillerine göre iki farklı tipe ayrılır.

- a) Yüzeysel kaplamalar
- b) Bitümlü karışımlarla oluşturulan kaplamalar (Umar ve Açar, 1985).

2.3.3.1. Yüzeysel kaplamalar

Yüzeysel kaplama, yolun kabul edilen hizmet süresi boyunca geçecek olan, ortalama günlük ağır ticari taşıt sayısı çift yönde 500'den küçük veya proje süresince tek yönde toplam standart dingil (8,2 ton) sayı 2.10^6 'dan az olan yollarda uygulanmalıdır. Bitümlü yüzeysel kaplamalı yollarda proje süresi 10 yıldır. Toplam standart dingil sayısı $2.10^6 - 3.10^6$ arasında olan yollarda ise sıcak karışım kaplama gerekmekte ise de, ekonomik durumlar gözönüne alınarak ve proje ömrü kısa tutularak çift kat yüzeysel kaplama yapılabilir. Toplam standart dingil sayısı 3.10^6 'dan daha büyük yollarda ise asfalt betonu kaplamalar ekonomik olmaktadır (Umar ve Açar, 1985).

Bitümlü yüzeysel kaplamalar, yol yüzeyine bitüm ve agrega tatbikatının birçok tiplerini içine alan bir kaplama çeşididir. Bu çeşit kaplamalar, genellikle 13-25 mm kalınlıkta yapılmaktadır. Bitümlü yüzeysel kaplamalar, tekniğine uygun olarak inşa edildiklerinde ekonomiktirler. Bu kaplamalar yol temelini yüzey sularına karşı korur, yazın tozun, kışın da çamurun bozucu etkilerini önler, ayrıca esnek bir yuvarlanma yüzeyi temin ederler. Yol üstyapısının mukavemetini artırmaktan çok, trafik yüklerini temel tabakasına iletme vazifesi görür. Bitümlü yüzeysel kaplamalar, hazırlanmış olan temel tabakası yüzeyine uygun miktarda

likit bitümün bir tabaka halinde tatbikinden ve hemen arkasından agreganın tatbiki ile bir veya birkaç tabakadan teşkil olmak üzere yapılır (Yıldırım, 1984).

2.3.3.2. Asfalt betonu kaplamalar

Bu tip kaplamalar, yerinde karıştırılan (Road-miks) hafif bitümlü kaplamalar, makine ile karıştırılmış (plant-miks) sıcak karışımli hafif bitümlü kaplamalar ve asfalt betonu şeklinde incelenirler. Bitümlü karışımlarla oluşturulan kaplama olarak yalnız asfalt betonu incelenecektir.

Günlük ticari trafik sayısı 500'den büyük yollarda kullanılan asfalt betonu, çok dikkatli şekilde oranları saptanmış bulunan, iri agreg, ince agreg ve filler ile asfalt çimentosunun sabit karıştırma tesislerinde sıcaklık nem ve bileşim bakımından çok sıkı bir kontrol altında karıştırılmasıyla elde edilir.

En gelişmiş kaplama tipi olan asfalt betonu kaplamalar, trafiği ağır yollarda, otoyollarda, hava alanı pistlerinde ve her türlü iklim koşullarında geniş bir uygulama alanı bulmaktadır. Yüksek dirençlerine karşı maliyetleri de yüksektir. Asfalt betonu genel anlamı ile aşınma tabakasını, binder tabakasını ya da bunların her ikisini birden kapsar. Trafikğin aşındırma ve iklimin ayrıştırma etkilerine karşı koyan en üst tabakaya "Aşınma" veya "Yuvarlanma" tabakası adı verilir. Aşınma tabakası ile temel tabakası arasında geçiş olmak üzere bir veya birkaç tabaka yapılır ki, buna da "Binder" tabakası denilmektedir. Binder tabakasında kullanılan agreg dane ebadı, aşınma tabakasından daha iridir (Wright ve Paquette, 1987).

Asfalt betonu oluşumunda kullanılacak agregada aranan granülometri limitleri Tablo 2.5 ve Tablo 2.6 da gösterilmiştir.

Tablo 2.5. Binder Tabakası İçin Gradasyon Limitleri
(K.G.M. Yollar Fenni Şartnamesi, 1989).

Elek Boyu	Tip 1	Tip 2	Tip 3
25 mm (1")	100	100	100
19 mm (3/4")	82-100	80-100	77-100
12,5 mm (1/2")	68-87	63-81	59-77
9,5 mm (3/8")	60-79	54-72	49-66
4,75 mm (No.4)	46-65	40-58	34-52
2,00 mm (No.10)	34-51	28-45	23-39
0,425 mm (No.40)	17-29	14-25	12-22
0,180 mm (No.80)	9-18	8-16	7-14
0,075 mm (No.200)	2-7	2-7	2-7

Tablo 2.6. Aşınma Tabakası İçin Gradasyon Limitleri
(K.G.M. Yollar Fenni Şartnamesi, 1989)

Elek Boyu	Tip 1	Tip 2	Tip 3	Tip 4
19 mm (3/4")	100	100	-	-
12,5 mm (1/2")	84-100	77-100	100	100
9,5 mm (3/8")	75-91	66-84	87-100	80-100
4,75 mm (No.4)	57-75	46-66	66-82	55-72
2,00 mm (No.10)	42-59	30-50	47-64	36-53
0,425 mm (No.40)	22-35	12-28	24-36	16-28
0,180 mm (No.80)	12-22	7-18	13-22	8-16
0,075 mm (No.200)	4-10	4-10	4-10	4-10

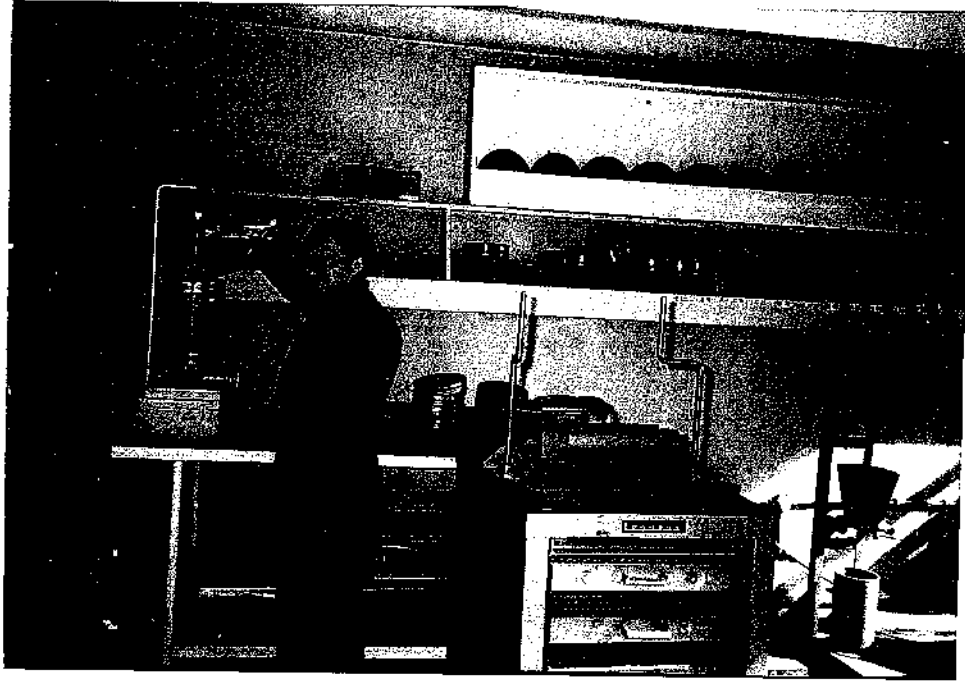
Bu çalışmada yapılan Binder tabakası karışımı için Tablo 2.5 de belirtilen Tip 3, Aşınma tabakası karışımı için ise Tablo 2.6 da belirtilen Tip 2'ye uygun gradasyonda Elazığ Ferrokrom cürufu ile elek analizi yapılmıştır (Resim 2.1).



Resim 2.1. Ferrokrom cürufunun elek analizi.

Fabrikadan çıkan parça cürufun en büyük ebatları 10-15 cm olduğundan cüruf ilk önce Karayolları 8. Bölge Müdürlüğü laboratuvar konkasöründe kırılıp daha sonra elek analizi yapılmıştır.

Elazığ Şarkkromları Ferrokrom İşletme Müessesesinde parça ve granüler olmak üzere iki ayrı tip cüruf elde edilmektedir. Granüler cüruf gözenekli ve aşınmaya karşı çok az dirençli olduğundan beton asfalt imalatında kullanılamaz. Bu çalışmada tüm deneysel çalışmalar parça cürufu üzerine yapılacaktır.



Resim 2.1. Ferrokrom cürufunun elek analizi.

Fabrikadan çıkan parça cürufun en büyük ebatları 10-15 cm olduğundan cüruf ilk önce Karagöller 8. Bölge Müdürlüğü laboratuvar konkasöründe kırılıp daha sonra elek analizi yapılmıştır.

Elazığ Şarkkromları Ferrokrom İşletme Müessesesinde parça ve granüler olmak üzere iki ayrı tip cüruf elde edilmektedir. Granüler cüruf gözenekli ve aşınmaya karşı çok az dirençli olduğundan beton asfalt imalatında kullanılamaz. Bu çalışmada tüm deneysel çalışmalar parça cürufu üzerine yapılacaktır.

3. BITÜMLÜ SICAK KARIŞIM KAPLAMALARIN ÖNEMLİ TEKNİK ÖZELLİKLERİ

Bitümlü karışımlar agregaya ile bitümlü bağlayıcı malzemeden oluşur. Sıcak karışımlar bütün dünyada yol üstyapısında çok geniş bir şekilde uygulanmaktadır. Bu karışımlar serbest agregaya malzemesine göre çok pahalı olduklarından yol yapımında çoğunlukla, yalnızca kaplama tabakalarının yapımında kullanılırlar. Bitümlü karışımlar pahalı olmakla beraber birçok yararlı özelliklere sahiptir.

Yol düzgün yüzeyli olur, taşıtların tekerlek sürtünmesi nedeniyle yaptığı gürültü önemli ölçüde azalır, konfor artar, tekerlekler daha az aşınır.

Bağlayıcı malzeme agregaya danelerini çok iyi şekilde birbirine bağladığı için taşıtların taş fırlatması tehlikesi ortadan kalkar. Oldukça geçirimsiz bir yol yüzeyi elde edildiğinden alt tabakaların erken bozulması önlenmiş olur.

Bitümlü karışımlardan 4 cm. kalınlıkta ince kaplama tabakaları yapılabildiği gibi 10-13 cm. kalınlıkta kaplamalar da yapılmaktadır. Ancak 5-6 cm'den daha kalın bir kaplama yapılması söz konusu olunca, yapıları farklı iki ayrı tabaka halinde yapmak gerekir. Altındaki tabaka genellikle daha az sıkıştırılır ve daha az bağlayıcıdır, bu tabaka Binder tabakası adını alır. Üstteki tabaka ise iyi sıkıştırılmış ve bağlayıcısı binder tabakasına göre daha fazladır, bu tabakaya da "Aşınma Tabakası" adı verilir.

Bölüm 2.3.3.2'de belirtildiği gibi asfalt betonu kaplama, aşınma ve binder tabakalarını kapsamakta, bitümlü sıcak karışımlar ise; her türlü temel ve kaplama inşaatında kullanılan sıcak karışımları kapsamaktadır.

Genel anlamı ile her iki türde de işlemler birbirine benzerdir. Ancak agregaya hazırlanması, karışımın yapılması, serme, sıkıştırma yönleriyle asfalt betonu daha çok özen ister.

Bitümlü kaplamalarda ekonomikliğin esasını teşkil eden uzun ömür, bazı fiziksel ve mekanik özelliklerin sağlanmasıyla mümkündür (Umar ve Ağar, 1985).

3.1. Bitümlü Karışımlardan Beklenen Fiziksel ve Mekanik Özellikler

3.1.1. Stabilité

Serilmiş ve sıkıştırılmış bitümlü sıcak karışımların yük altında, şekil değiştirmelerine karşı direnci olarak tarif edilir. Şekil değiştirme geçici ve kalıcı olmak üzere ikiye ayrılır. Kalıcı şekil değiştirme yol üst yapısında kendini iki halde gösterir.

- 1- Belli bir sıcaklığın üstünde yükün yavaş yavaş tatbikiyle şekil değiştirme,
- 2- Aynı noktadan geçen yükün tekrirrüü ile şekil değiştirme.

Pratik tecrübeler göstermiştir ki, her iki halde de bitümlü tabakalarda az miktarda kalıcı şekil değiştirmelerin meydana geldiği saptanmıştır. Stabilité geçici şekil değiştirme süresince söz konusudur. Kalıcı şekil değiştirmenin başladığı anda stabilité anlamsızdır. Stabilitéyi temin eden faktörler aşağıdaki gibidir.

- a) Serilmiş ve sıkıştırılmış karışım içerisindeki agrega danelerinin birbirlerine tatbik ettikleri sürtünme dirençlerinin bir neticesi olan mekanik kenetlenme kuvveti,
- b) Bitümlü malzeme ile agrega daneleri arasındaki kohezyon ve adezyon kuvveti,
- c) Danelerin konumunu değiştirmeye karşı direnci olan atalet kuvveti.

Serilmiş ve sıkıştırılmış tabakalarda yukarıdaki kuvvetlerin her birisi yalnız ve beraberce yük altında şekil değiştirmeye karşı koyarlar, kalıcı şekil değiştirmeyi geciktirirler. Yukarıda da ifade edildiği gibi sıcaklık şekil değiştirmeyi çabuklaştırır. Sıcaklık çevre sıcaklığından ve teker ve yol sürtünmesi sonucu oluşur. Çevre sıcaklığı sıcak iklimlerde, teker ve yol sürtünmesi ise çok ağır trafikli yollarda meydana gelir. Bu nedenle ağır ve çok trafikli yollarda, sıcak ülkelerde düşük penetrasyonlu asfalt çimentoları kullanılır.

Bitümlü malzeme, yapılan deneyler sonucu stabilitéye en çok % 20 oranında katkıda bulunmaktadır. Esasen stabilitéyi temin eden mekanik kenetlenmedir. Mekanik kenetlenme,

agreganın gradasyonunun uyumlu, sürtünme yüzeylerinin fazla ve pürüzlü olmasıyla doğru orantılıdır. Agreganın gradasyonunun uyumlu, yüzeylerinin fazla ve pürüzlü olması kırılma ve elenme şartını gerektirir. Bu sebeple bitümlü sıcak karışımlarda agreganın kırılması ve elenmesi zorunludur.

Karışımlardaki birbirini çekme (kohezyon) kuvveti bitümlü malzeme ile daneler arasında söz konusudur. Bitümlü malzemenin fazlalığı kohezyon kuvvetini artırmasına karşın, belli bir miktardan öteye yağlama tesiri göstererek danelerin birbiri üzerinde kaymasına yol açar. Böylece mekanik kenetlenmeyi dolayısıyla stabiliteyi azaltır.

Serilmiş ve sıkıştırılmış tabakalardaki danelerin konumlarını değiştirmeye karşı dirençlerinin stabilite üzerindeki tesiri belli bir duruma kadar olmayabilir. Ancak aşırı derecede sıkıştırılmış tabakadaki danelerin, dış kuvvetlere karşı direnç kuvveti yok olduğundan, çok küçük kuvvetler tesiriyle daneler hemen yer ve yön değiştirir. Böylece iç dengesi bozulan kaplamada stabilite düşer.

Her yolun üstyapısının gerektirdiği trafik yüklerine eşdeğer bir stabiliteyi temin etmek için; mekanik kenetlenmeyi maksimum yapacak mineral agrega, düşük penetrasyonlu optimum bitümlü malzeme ve çok uygun bir serme sıkıştırma tekniğini uygulamak yeterli olmaktadır. Stabilite, asfalt betonu kaplamalarda minimum 600 kg, bitümlü sıcak karışımlarda ise 400 kg olarak kabul edilmektedir. (Koca, 1987).

3.1.2. Sağlamlık (Durabilite)

Dış tesirlere karşı iç mukavemet olarak tanımlanabilir. Dış tesirler olarak çevrenin tesiri, trafiğin aşındırma tesiri ve sıcaklığın tesiri etki etmektedir. Bu dış tesirler kaplamanın iç bünyesinde oksidasyon, polimerizasyon ve gazlaşmanın oluşmasına sebebiyet verir. Ayrıca, kaplamanın içindeki agrega yük altında ufalanır ve ayrışır. Kaplamanın bünyesindeki su ve su

buharı, agrega ile bitüm ilişkilerini etkileyerek soyulmayı kolaylaştırır. Bütün bunlar durabiliteyi azaltır. Bu nedenlerden dolayı sıcak karışımlarda kullanılan agreganın kırılmış, elenmiş şartı yanında, aşınmaya, soyulmaya ve ufalanmaya karşı da dirençli olması istenir (Koca, 1987).

3.1.3. Esneklik (Fleksibilite)

Sıcak karışım tabakaların, yük altında, tabandan ve üstten gelecek kuvvetlerin etkisiyle bozulma, dağılma ve kırılma göstermeden direnimi, esneklik özelliğini ifade eder. Bir başka deyişle, fleksibilite kaplamanın yolculmaya karşı direncini yitirmemesidir.

Belli bir esnekliğe sahip sıcak karışım tabakaların kendisini örten alt ve üst tabakaların esnekliğine de uyması önemlidir. Farklı esneklikler, dengesiz kuvvet dağılımlarına, enine ve boyuna kırılmalarına sebebiyet verir. Esnek kaplamalarda teker yüklerinin meydana getirdiği her noktadaki değişik basınçlara bozulmadan dayanabilmesi, öngörüldüğü gibi, yük altında kendiliğinden sıkışabilen yol alt yapısındaki hareketlere ve homojenlik arz etmeyen elastik deformasyonlara da uyması gerekir. Özellikle taban toprağının ve alttemel malzemesinin farklı kalınlıkta serilmesi ve sıkıştırılması uzun bir süre sonra yük altında bazı elastik şekil değiştirmelerine sebep olur. Böyle bir altyapı üzerine oturtulacak sıcak karışım tabakaların belirli bir dereceye kadar şekil değiştirmelere uygunluk göstermesi ve bünye değişikliğine uğramaması istenir.

Sıcak karışımlarda esneklik özelliği yeterli boşluk ve bitümlü malzeme miktarının fazlasıyla elde edilir. Asfalt çimentosunun viskozitesi de fleksibiliteye etki etmektedir. Sıcak iklimli bölgelerde düşük viskoziteli asfalt çimentosu tercih edilmelidir. Buna karşın düşük viskoziteli asfalt çimentolarıyla yapılan kaplamalarda kışın sert ve soğuk geçen bölgelerde kırılmalar oluşmaktadır. Bu sebeple kaplamanın yapıldığı bölgeye göre uygun asfalt çimentosu

serilmesi çok önemlidir.

Bu çalışmada Doğu Anadolu Bölgesi iklimi gözönünde bulundurularak AC 75-100 asfalt çimentosu kullanılarak karışım dizaynı yapılmıştır.

Kalın tabakalarda esneklik, ekonomiklikte gözetilerek boşluk artırılarak, ince tabakalarda ise bitüm artırılarak temin edilir. Özellikle aşınma tabakalarında bitüm yüzdesinin üst limite yakın istenmesinin bir sebebi de budur.

3.1.4. Geçirgenlik (Permiabilite)

Bitümlü karışım kaplamalarda geçirgenlik, serilmiş ve sıkıştırılmış tabanın suyu, su buharını ve gazları alt tabakalara iletmesini ifade eder. Geçirimsiz olması istenilen aşınma tabakası dahi, belli bir oranda geçirimlidir. Bu sebeple asfalt betonu kaplamaların dışarıdan gelen ve kendi iç bünyesinde saklı duran sıvı ve gazlara karşı bir direnimsizlik istenir. Ancak bu kaplamaların dış tesirlerle temas halinde olan üst tabakaların az geçirimli, alt tabakaların ise geçirgen olmaları arzulanır. Nedeni ise bünyede sıvı veya gazların hapsedilmemesidir. Özellikle dren dışı kalan yüzey sularının, bir ölçüde kaplamanın içine giren kısmı, alt tabakalara gitmeden kendi bünyesi içinde süzülerek banketlere drene edilmesi gereklidir.

Bütün bu özellikleri bitümlü kaplamaların yerine getirmesi uyumlu gradasyonlu agreganın kullanılması, asfaltla dolu boşluğun iyi ayarlanması ve serme sıkıştırmanın gereği gibi yapılmasıyla mümkündür. Asfalt betonu aşınma tabakalarında, pratik boşluğun % 6'dan az istenmesinin gerçek nedenlerinden biri de tabakanın geçirimsiz olma isteğidir (Koca, 1987).

3.1.5. Kırılgenlık

Asfalt betonu kaplama tabakalarının yük altında ani sıcaklık artma ve eksilmesi sonucu, iç bünyede meydana gelen gerilmelerin neticesi olarak meydana gelen kırılma ve çatlamalar olarak tarif edilebilir. Kaplamalarda kırılgenlık, daha çok trafik yüklerinin arttığı, sıcaklığın ani olarak azalıp yükseldiği ilkbahar ve özellikle sonbahar aylarında görülür.

Kırılgenlık aşağıda sıralanan olaylar sonucu meydana gelmektedir:

- a) Ani yük artmaları ve yükün darbeli olması,
- b) Sıcaklığın ani düşmesi veya yükselmesi,
- c) Altyapının fazla elastik olması,
- d) Agreganın bitüm absorpsiyon kabiliyetinin zamanla devam etmesi,
- e) Bitümlü malzemenin kırılgen yapıda olması,
- f) Karışımda tek boy ince agreganın fazla oluşu,
- g) Karışımda suya hassas ve hacim değişmesine uğrayan maddelerin bulunması,
- h) Karışımın, serme sıkıştırma sonunda gereğinden az boşluklu inşa edilmesi,
- ı) Bitüm yüzdesinin az uygulanması.

Karayollarında tatbik edilen sıcak karışımlarda en çok görülen hadiselerden birisi kırılgenlıktır. Özellikle kum kullanma zorunluluğu ve asfalt çimentolarının düktilitesinin düşüklüğü kırılgenlık olayının meydana gelmesine çokca sebep olmaktadır (Koca, 1987).

3.1.6. Sürtünme direnci

Değişik ortam ve iklim şartları altında, tespit edilen belli bir mesafede, vasıtanın frenleme ile durması için, kaplamanın gösterdiği yeter derecede sürtünmedir. Kaplamanın sürtünme direnci, karışımda kullanılan agreganın aşınma mukavemetine, cilalanma

kabiliyetine, yol yüzeyinde asfalt ve su filminin teşekkül etmesine bağlı olarak artar veya eksilir. Yapılan deneyler sonucu asfalt yüzdesi düşük, değişik boyutlu ve yüzeyleri pürüzlü agregalarla yapılan sıcak karışımlarda sürtünme direncinin arttığı görülmüştür. Eğer bitüm yüzdesi fazla ve yüzey pürüzlülüğü yeterli değilse, yağışlı havalarda yol yüzeyinde kayganlık çok artar, sürtünme direnci düşer. Bu sebeple aşınma tabakalarında, bitümün optimum miktarının aşılmaması, yüzey drenajını temin edecek düzgünlüğün sağlanması ve satının hafif pürüzlü olması çok önemlidir (Koca, 1987).

3.1.7. Yorulma

Ağır trafiğe göre üstyapısı hesaplanmış sıcak karışım kaplamalar, teker yüklerinden dolayı çok değişik yönlü ve şiddetli zorlamalara maruzdurlar. Genellikle zorlamalar üstten gelirse de, çeşitli faktörlerin etkisiyle yol altyapı malzemesinde meydana gelen plastik deformasyonlardan da gelebilmektedir. Alttan ve üstten gelen zorlamalar zamanla kaplamanın bünyesini bozmaya başlar. Çoğunlukla bozulmanın başlangıç safhası kısa sürelidir ve tümüyle kendini göstermez. Bu tip bozulmalar teker yükünün belli bir sayıdan fazla tekrerrüründen sonra oluşur. Yorulmadan doğan bozulmaların durumu ve oluşması, asfaltın kimyasal yapısına, kaplamanın kalınlığına, agreganın fiziksel özelliklerine, iklim şartlarıyla bütün bunların birbirine olan bağlılığına bağlıdır.

Teker yükleri ve alttan gelen zorlamalar genellikle kaplamayı basınç ve çekmeye zorlar, basınç ve çekme kuvvetleri kaplamada, zararlı birtakım iç gerilmeleri oluşturur. Bünyede meydana gelen iç gerilmeler, çoğu hallerde kendini kimyasal etkilerle belli eder.

Bitümlü sıcak karışımlarda, kimyasal etki, oksidasyon etkisini çabuklaştırır. Oksidasyon, asfaltın bağlayıcı özelliklerini kaybettirir. Asfaltın oksidasyonunun, özel bazı laboratuvar deneyleriyle saptamak mümkünse de genel kam, bitümün penetresyonunun 30'dan az olması

halinde oksidasyonun tesirli olmaya başladığı, 20'den sonra çabuklaştığı, 10'dan sonra ise tamamen okside olduğu gözlenmiştir.

Stabiliteyi artırmak için düşük penetrasyonlu asfalt çimentosunun kullanılması önerilmekte, ömrü uzatmak için de yüksek penetrasyonlu asfalt çimentosu kullanılması istenmektedir. Genellikle kaplamanın ömrü ekonomikliğe tesir ettiğinden karışım serilip sıkıştırıldıktan sonra asfalt çimentosunun penetrasyonunun 40'ın altında olmaması gerekir (Koca, 1987).

3.1.8. Suya karşı duyarlı olmamak

Karışımın nem etkisi altında bozulmaması istenir. Bağlayıcı agregaya iyi yapışmalı ve su altında ayrılmalıdır.

3.1.9. Homojenlik

Karışım homojen olmalı, üretim ve kullanımında segregasyona uğramamalıdır. Karışımında bitümlü bağlayıcı azlığı ve fazlalığı olmamalıdır. Bağlayıcı fazla olursa terleme yaparak yol yüzeyini kaygan hale getirir, az olursa agrega daneleri arasında yeterli kenetlenme oluşmaz (Koca, 1987).

3.1.10. Tabakalar arasındaki bağlantı

Binder ve aşınma tabakaları arasında iyi bir bağlantı olmalı ve bu bağlantı dış kuvvetlerle bozulmamalıdır (Koca, 1987).

4. FERROKROM CÜRUFUNA UYGULANAN DENEYLER

4.1. Aşınma Kaybı Deneyi

Bu deneyin amacı cürufun aşınmaya karşı dayanıklılığını belirlemektir. Ferrokrom cürufunun aşınma kaybı Los Angeles Aşınma Makinesi ile tayin edilmiştir.

Los Angeles Makinesi, iki ucu kapalı, iç çapı 71 cm ve iç uzunluğu 51 cm olan içi boş çelik bir silindirden ibarettir. Silindir içinden geçmeyen aksla yatay durumda dönmeyi sağlayacak şekilde yapılmıştır.

Numuneyi silindir içerisine koyabilmek için özel bir kapak vardır. Bu kapak silindirin iç yüzeyine tamamen uyacak şekilde sıkıca kapatılabilmektedir. İç yüzde silindir eksenine paralel olmak üzere 9 cm genişliğinde ve silindir boyunca uzanan yeter kalınlıkta ve deformasyon yapmayacak şekilde yerleştirilmiş çelik raf bulunur.

Aşındırma yükleri yaklaşık olarak 4,68 cm çapında dökme demir veya çelik kürelerdir. Her bir kürenin ağırlığı 390-445 gram kadardır.

Ferrokrom cürufunu bu çalışmada binder ve aşınma tabakalarında kullanmaya çalıştırmızdan 2500 gr 19 mm'lik elekten geçip 12,5 mm'lik elek üzerinde kalan ve 2500 gr 12,5 mm'lik elekten geçip 9,5 mm'lik elek üzerinde kalan toplam 5000 gr'lık numune üzerinde aşınma kaybı yapılmıştır. Toplam ağırlığı 4592 gram olan 11 adet çelik küre ile deney yapılmıştır.

Her elek üzerinde kalan numune kil ve tozlardan iyice temizleninceye kadar, kaldığı elek üzerinde yıkanır, 110 °C'lik etüvde değişmez ağırlığa kadar kurutulur.

Yukarıda anlatılan şekilde hazırlanan deney numunesi ve aşındırıcı küreler Los Angeles aşındırma makinesine konur ve ağız sıkıca kapatılır. Makine dakikada 30-33 devir yapacak şekilde dizaya edilmiştir. Toplam olarak 500 devir yaptırılır. Sonra numune makineden

çıkarılır 1,70 mm'lik elekten elenir. 1,70 mm'lik elek üzerinde kalan kısım yıkanır, 110°C'lik etüvde değişmez ağırlığı kadar kurutulur ve tartılır. Numunenin ilk ağırlığı ile 500 devirden sonra 1,70 mm'lik elek üzerinde kalan malzeme arasındaki fark, ilk ağırlığın yüzdesi olarak hesap edilir ve değer aşınma kaybı yüzdesi şeklinde ifade edilir (Keçeciler vd. 1989).

Ferrokrom cürufunun aşınma kaybı değeri:

İlk ağırlık = 5000 gr

Son ağırlık = 4110 gr

$$\text{Aşınma kaybı (\%)} = \frac{5000 - 4110}{5000} \times 100 = 17,8$$

Asfalt betonu kaplama agregaları için maksimum aşınma kaybı yüzdesi % 35 olduğundan malzeme aşınma yönünden kullanılabilir.

4.2. Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık Deneyi

Bu deney metodu agregaların doygun sodyum sülfat veya magnezyum sülfat çözeltileri ile ufalanmaya karşı dayanıklılığının tayin edilmesini kapsar. Agregaların hava etkileri ile donarak ufalanmaya karşı olan dirençleri hakkında laboratuvar da kısa süre içerisinde bir karar verebilmek amacı ile uygulanan hızlandırılmış bir deneydir.

Ferrokrom cürufunun donmaya karşı dayanıklılığı sodyum sülfat çözeltisi kullanarak belirlenmiştir. Bu çözeltinin hazırlanması için saf ve susuz sodyum sülfat tuzu (Na_2SO_4) kullanılır. Tuz 25-30 °C sıcaklıktaki su içerisinde iyice karıştırılarak yavaş yavaş çözülür. Her litre su için en az 250 gram Na_2SO_4 tuzu katılır. Tuzun ilave edilmesi sırasında çözelti devamlı olarak karıştırılır. Buharlaşmayı önlemek amacı için çözeltinin ağzı kapatılarak 48

saat sabit sıcaklık ve rutubet odasında bekletilir. Kullanılmadan önce topaklaşmayı gidermek için iyice karıştırılıp özgül ağırlığı tayin edilir.

Agrega Çizelge 4.1 de belirtildiği şekilde elenerek her dane grubu için gerekli miktarda malzeme tartılır (Keçeciler vd., 1989).

Çizelge 4.1. Donma Kaybını Bulmak İçin Gerekli Numune Miktarları

Dane Boyu (mm)	Ağırlık (gram)
25 - 19	500 ± 30
19 - 12,5	670 ± 10
12,5-9,5	330 ± 5
9,5-4,75	300 ± 5
4,75-2,00	100 ± 0,1
2,00-0,425	100 ± 0,1
0,425-0,180	100 ± 0,1
0,180-0,075	100 ± 0,1

Yukarıdaki çizelgede (Çizelge 4.1) belirtilen sınırlar içinde kalacak şekilde elenmiş ve 110 °C'lik etüvde kurutulmuş olan numuneden belirtilen miktarlarda alınarak tel sepetler veya elekler üzerine konur. Üstü en az 2 cm kaplanacak şekilde doymuş sodyum sülfat çözeltisi içine daldırılır. Kabın üzeri kapatılır. Sıcaklığı 21°C olan bir ortamda 16-18 saat arasında bekletilir. Daldırma süresi sonunda agrega numunesi çözeltiden çıkarılarak 15 dakika süzülmeğe bırakılır ve 100 °C'lik etüvde değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutulur. Etüvden çıkarılınca oda sıcaklığına kadar soğutulur.

İkinci kez çözeltiye daldırılarak yukarıda anlatılan işlemler tekrar edilir. Normal beton ve bitümlü kaplama agregaları için bu daldırma-kurutma işlemleri 5 kez tekrarlanır. Her kurumadan sonra danelerin durumu yani dağılma, çözülme, ayrılma, ufalanma ve çatılma olup olmadığı gözlenir.

Beşinci devre sonunda etüvden çıkan numune soğutulup çözelti temizleninceye kadar su ile yıkanır. Daha sonra numuneler 110 °C'lik etüvde değişmez ağırlığa kadar kurutulur. Deneyden sonra her bir elek üzerinde kalan malzeme ağırlığı ile deneyden önceki ağırlık arasındaki fark donma kaybını verir ve bu kaybın ilk ağırlığa göre yüzdesi donma kaybı yüzdesi olarak ifade edilir. Deneyi yapılan her boy agrega için yukarıdaki hesaplama yapıldıktan sonra malzemenin orjinal gradasyonuna göre donma kaybı yüzdesi düzeltilir (Keçeciler vd., 1989).

Çizelge 4.2. Ferrokrom Cürufunun Donma Kaybı

Elek Boyu (mm)	İlk Ağırlık (gr)	Son Ağırlık (gr)	Donma Kaybı (%)	Gradasyon Yüzdesi	Düzeltilmiş Donma Kaybı (%)
25-19	500	498	0,4	11,5	0,046
19-12,5	670	670	-	20,5	-
12,5-9,5	330	325	1,5	10,5	0,158
9,5-4,75	300	297	1,00	14,5	0,145
4,75-2,00	100	88	12,00	12,0	1,44
2,00-0,425	100	86	14,00	14,0	1,96
0,425-0,180	100	85	15,00	6,5	0,975
0,180-0,075	100	84	16,00	6,0	0,96
0,075 den geçen	-	-	-	4,5	-
TOPLAM				100	5,68

Asfalt betonu binder tabakası için donma kaybı maksimum % 12 kabul edildiğinden Ferrokrom cürufu donma kaybı bakımından iyi bir netice vermektedir.

4.3. Cilalanma Deneyi

Bu deneyin amacı, çeşitli yol taşlarının trafik altında sürtünme ile aşınarak ne dereceye kadar cilalanacaklarını laboratuvarda kısa bir zamanda saptamaktır. Yol yüzeyinin cilalanan bir taştan yapılmış olması, yolun kaymaya karşı direncini etkileyen başlıca faktörlerden biridir.

Taşın cilalanma değeri ile kaymaya karşı direnç arasındaki ilişki trafik koşulları, kaplamanın tipi ve diğer faktörlere bağlı olarak değişir. Yoldaki koşullara benzer, fakat hızlandırılmış bir cilalanma elde etmek için bir makine geliştirilmiştir.

Deneme iki kısımdan oluşur:

1- Taş numunelerin hızlandırılmış cilalanma makinesinde cilalanma işlemine tabi tutulması,

2- Cilalanan taş numunelerinin sürtünme aleti ile cilalanma değerlerinin bulunması.

Hızlandırılmış cilalanma makinesinin, düz ve çevresine 14 adet numune yerleştirilebildiği 40,6 cm çapında bir tekerlek vardır. Bu tekerlek üzerine numuneler kum-çimento harcı ile tespit edilir ve 6 saat süre ile 20,3 cm çapta, 5 cm genişlikte, 3,16 kg/cm² iç basıncı olan lastik tekerleğin aşındırıcı etkisi altında tutulurlar. Bu arada tekerlekle numuneler arasına ince aşındırıcı malzeme konur. Lastik tekerlek ile numuneler arasındaki normal basınç 5 kg/cm² dir. Tekerleğin dönme hızı dakikada 315-325 devirdir.

Çok değişik agrega numuneleri ile gerek yolda gerekse laboratuvarda yapılan birçok deneyler sonunda, numunelerin, 6 saat süreli deneyle uğradıkları cilalanma durumunun, aynı taşın yolda, çok yoğun trafik altında birkaç ayda, hafif trafik altında ise birkaç yılda erişebilecekleri cilalanmaya eşit olduğu anlaşılmıştır.

Deney numunelerinin hazırlanmasında kullanılan agregaların tamamı 9,5 mm'lik elekten geçip 8 mm'lik elek üzerinde kalmalıdır. Numune temiz ve tozsuz olmalıdır. Numunenin tümü içinde çok az miktarda çok düzgün yüzeyin veya çok pürüzlü yüzeyli daneler bulunabilir. Bir biriketteki mıcır sayısı 35-50 arasında olmalıdır. Bitmiş bir biriketin yüzeyinde, lastik

tekerleğe zarar vermemek için çıkıntı teşkil eden kenarlar görülmemelidir.

K.G.M. laboratuvarında kum-çimento harcının kürünü uzun süre beklememek için, mıcırların üzeri kükürt-grafit karışımı ile doldurulmaktadır. Böyle hazırlanan biriketlerin kum-çimento ile yapılanlardan daha sağlam olduğu, deney sırasında kolayca kırılıp dağılmadığı deneyle saptanmıştır. Cilalanma katsayısını saptamak için 14 adet numune yapılır.

Her numunenin deney sonunda eriştiği cilalanma durumu, bu numunenin yüzeyi ile sarkaç tipindeki portatif bir kayma direnci ölçme aletinin lastik takozu arasındaki sürtünme katsayısı olarak ölçülür. Sonuç "cilalanma katsayısı" olarak belirtilir. Bu katsayının değeri, trafik altında fazla cilalanan agregalar için 0,30 dan, her türlü trafik altında hemen hemen ilk pürüzlülüğünü koruyan agregalar için 0,80'a kadar çıkabilmektedir (Umar ve Ağar, 1985).

K.G.M. Yollar Fenni Şartnamesi'ne göre asfalt betonu kaplamalarda aşınma tabakası için cilalanma değeri minimum 0,50 olmalıdır.

Ferrokrom cürufunun cilalanma değeri ise 0,75 olarak tespit edilmiştir. Cilalanma Deneyi Ankara'da K.G.M. Araştırma Laboratuvarında yapılmıştır.

4.4. Özgül Ağırlık ve Su Emme Deneyi

Bu deneyin amacı, bitümlü karışımın teorik özgül ağırlığını, karışımındaki boşluk yüzdesini ve yine karışımın asfaltla dolu boşluk yüzdesini agreganın hacim-ağırlık ilişkilerini tayin etmektir.

Özgül ağırlık belirli hacimdeki numune ağırlığının aynı hacimdeki +4 °C deki suyun ağırlığına oranı olup, boyutsuz bir değerdir. Esas olarak iki özgül ağırlık vardır; Hacim Özgül Ağırlığı ve Zahiri Özgül Ağırlık. Zahiri (Görünen) özgül ağırlık belirli sıcaklıktaki bir malzemenin ağırlığının aynı sıcaklık ve aynı hacimdeki arı suyun ağırlığına oranıdır.

4.4.1. Kaba agreganın özgül ağırlığı ve absorpsiyonu

Malzemenin 4,75 mm'lik (No.4) elek üzerinde kalan kısmında en az 2 kg alınır ve iyice yıkanır, 24 saat su içinde bırakılır. Sonra yüzeyleri bezle kurutulur ve tartılır. Bir tel sepete konarak suya batırılır ve suda tartılır. Sonra numune 110⁰C'lik etüvde değişmez ağırlığa kadar kurutulur, etüvden çıkartılarak oda sıcaklığında 1-3 saat soğutulur ve havadaki ağırlığı da bulunur (Umar ve Açar, 1985).

Burada;

A = Kurutulmuş malzeme ağırlığı (gr),

B = Doymun yüzey kuru malzeme ağırlığı (gr),

C = Doymun malzemenin sudaki ağırlığı (gr).

$$\text{Hacim özgül ağırlık} = \frac{A}{B-C}$$

$$\text{Hacim özgül ağırlık} = \frac{B}{(B-C)}$$

(Doymun yüzey kuru)

$$\text{Zahiri özgül ağırlık} = \frac{A}{A-C}$$

$$\text{Absorpsiyon yüzdesi} = \frac{B-A}{A} \times 100$$

Elazığ Ferrokrom Cürufunun kaba kısmının özgül ağırlık ve absorpsiyon yüzdesi aşağıda belirtilmiştir.

Kurutulmuş malzeme ağırlığı (A) = 3050 gr

Doymun yüzey kuru malzeme ağırlığı (B) = 3095 gr

Doymun malzemeninsuda ağırlığı (C) = 2050 gr.

$$\text{Hacim özgül ağırlığı} = \frac{3050}{3095-2050} = 2,92 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Hacim özgül ağırlığı} = \frac{3095}{3095-2050} = 2,96 \quad "$$

(Doygun yüzey kuru)

$$\text{Zahiri özgül ağırlık} = \frac{3050}{3050-2050} = 3,05 \quad "$$

$$\text{Su emme yüzdesi} = \frac{3095-3050}{3050} \times 100 = 1,48$$

K.G.M. Yollar Fenni Şartnamesi'ne göre kaba agreganın su absorpsiyonu maksimum % 2,5 müsaade edildiğinden Ferrokrom Cürufu su absorpsiyonu bakımından iyi özelliktedir.

4.4.2. İnce agreganın özgül ağırlığı

İnce agreg 4,75 mm'lik (No.4) elekten geçip 0,075 mm'lik (No.200) elek üzerinde kalan malzeme olarak tanımlanır.

İnce agreg 24 saat suda bırakılır. Ertesi gün kohezyonunu kaybedinceye kadar kurumaya terk edilir. Sonra, bu haldeki malzemeden 500 gr. alınır ve (V) hacmindeki piknometreye konur. Sonra üzerine su ilave edilir. (Piknometre doluncaya kadar.) Kullanılan su damıtılmış olup, belli bir sıcaklıktadır. İlave edilen su ağırlığı (W) gr. olsun, piknometre içindeki malzeme alınır ve etüvde kurutulur, sonra tartılır. Buna göre özgül ağırlıklar aşağıdaki şekilde hesaplanır (Umar ve Açar, 1985).

A = Kurutulmuş malzeme ağırlığı (gr)

B = Dođgun yüzey kuru malzeme ağırlığı (gr)

C = Volumetrik kab + Su + İnce sgrega ağırlığı (gr)

D = Volumetrik kab + 500 ml. işaretine kadar su dolu ağırlık (gr)

$$\text{Hacim özgül ağırlığı} = \frac{A}{B+D-C}$$

$$\text{Hacim özgül ağırlığı} = \frac{B}{B+D-C}$$

(Dođgun yüzey kuru)

$$\text{Zahiri özgül ağırlık} = \frac{A}{A+D-C}$$

Elazığ Ferrokrom Cürufunun ince kısmının özgül ağırlık değerleri:

Kurutulmuş malzeme ağırlığı (A) = 485 gr.

Dođgun yüzey kuru malzeme ağırlığı (B) = 500 gr.

Volumetrik kab + Su + İnce malzeme ağırlığı (C) = 1020,2 gr.

Volumetrik kab + 500 ml. işaretine kadar su dolu ağırlığı (D) = 693 gr.

$$\text{Hacim özgül ağırlığı} = \frac{485}{500+693-1020,2} = 2,81 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Hacim özgül ağırlığı} = \frac{500}{500+693-1020,2} = 2,89$$

(Dođgun yüzey kuru)

$$\text{Zahiri özgül ağırlığı} = \frac{485}{485+693-1020,2} = 3,07$$

4.4.3. Fillerin özgül ağırlığı

Filler, genel anlamı ile tamamı 0,600 mm (No.30) elekten geçip, ağırlıkça en az % 70'i 0,075 mm (No.200) elekten geçen malzeme olarak tanımlanır.

Bu çalışmada Ferrokrom cürufunun 200 nolu elekten geçen kısmı filler olarak kullanılmıştır. Fillerin özgül ağırlığı da aynı inçe agreganın özgül ağırlığının bulunduğu yöntemle tayin edilir. Burada küçük piknometre kullanılır (Keçeciler vd., 1989).

Elazığ Ferrokrom cürufunun filler kısmının özgül ağırlığı:

Piknometrenin boş ağırlığı (A) = 248,7 gr.

Piknometrenin su ile dolu ağırlığı (B) = 480 gr.

Piknometre + Kuru filler ağırlığı (C) = 358,7 gr.

Piknometre + Filler + Su (D) = 547,8 gr.

$$\text{Hacim özgül ağırlık} = \frac{C-A}{(B-A)-(D-C)}$$

$$\text{Hacim özgül ağırlık} = \frac{358,7-248,7}{(480-248,7)-(547,8-358,7)} = 2,61 \text{ gr/cm}^3$$

4.5. Soğulma Deneyi

Kırılmış agrega numunesinin 9,5-4,75 mm'lik elekler arasında kalan kısmından aşağı yukarı 200 gram alınarak iyice yıkanır, saf su ile birkaç kere çalkalandıktan sonra 110°C'lik etüvde kurutulur. Yıkanmış kurumuş malzemeden 50 ± 0,5 gram numune beher içine tartılır ve ısıtılmak üzere 1 saat 140-150 °C'lik etüvde bekletilir. Diğer taraftan macır numunesi

hangı tip bitümlü kaplamada kullanılacaksa, o kaplamada kullanılacak bitümlü malzemeden $2,5 \pm 0,1$ gram 250 cm^3 lük bir beher içine tartılır. Bitümlü malzeme ihtiva eden beher, bir kum banyosuna yerleştirilir ve ısıtılır.

Bitümlü malzeme eriyince etüvde ısıtılmış macır derhal behere dökülür ve bir cam bagetle, bütün macır tanelerinin üzeri homogen bir bitüm filmi ile kaplanıncaya kadar, kum banyosu üzerinde iyice karıştırılır.

Bundan sonra beher ve içindekiler kür işlemine tabi tutulmak üzere 24 saat 60°C lik etüvde tutulur. Bu sürenin sonunda beher etüvden çıkarılıp, kum banyosunda hafifçe ısıtıldıktan sonra içindekiler 10 cm çapında petri kabına aktarılır ve kaplanmış macırların üzeri bagetle çok hafif darbelerle düzeltilir, 10 dakika laboratuvar sıcaklığında bekletilir. Sonra petri kabı saf su ile doldurulur ve üzeri bir cam kapakla kapatıldıktan sonra tekrar 24 saat bekletilmek üzere 60°C lik etüve konur. Bu sürenin sonunda petri kabı dışarı alınır, suyu değiştirilir, yandan gelen bir ışık altında bilhassa karışımın üst yüzü gözle incelenir. Deney sonunda soyulmamış sathın bütün satha oranı, soyulmaya karşı dayanıklılık olarak verilir (K.G.M. Yollar Fenni Şartnamesi, 1989).

Ferrokrom cürufunun soyulma deneyini Elazığ Karayolları 8. Bölge Müdürlüğü Araştırma Laboratuvarında yapıldı ve % 60 soyulma gözlemlendi.

5. ASFALT BETONU KARIŞIM DİZAYNI

Sıcak karışım asfalt kaplama, asfalt çimentosu ile homojen olarak karışmış ve kaplanmış agregaların birleşmesinden oluşur. Agregaların kurutulması ve mükemmel bir karıştırma ve işlenebilirlik sağlamak için asfalt çimentosunu uygun akıcılığa getirilmesi amacı ile karıştırmadan önce her iki malzemenin de (agrega ve bitüm) ısıtılmaları gerektiğinden bu tür karışımlara sıcak karışım denilmektedir.

Agrega ve asfalt; ısıtma, tartma, eleme ve karıştırma sistemi olan plantlerde karıştırılır. Plantte karıştırma işlemi tamamlandıktan sonra yola taşınır, düzgün ve homojen bir yüzey verecek şekilde serici ile serilir. Seriden sonra karışım henüz sıcak iken kendinden yürür silindirlerle düzgün ve iyi sıkışmış bir yüzey elde edilecek şekilde sıkıştırılır.

Asfalt kaplama karışımların dizaynında deney yöntemlerinin detaylarına çok dikkat etmek gerekir. Bunun için de şartnameye mümkün olduğunca uymak gerekmektedir. Karışım dizayn deneyleri ile şartname talepleri arasındaki ilişki de iyi bilinmelidir.

5.1. Asfalt Kaplama Karışım Dizaynının Amaçları

Diğer mühendislik malzemelerinin dizaynında olduğu gibi, asfalt betonu kaplama karışım dizaynında amaç, inşaat bitiminden sonra istenilen özellikleri sağlayacak malzemelerin seçimi ve karışım oranlarının belirlenmesidir. Asfalt betonu karışım dizaynının amacı aşağıda maddeler halinde belirtilmiştir.

- 1- Sağlam (Durabil) bir üstyapı elde etmek için gerekli asfalt miktarının,
- 2- Trafik yükleri altında deformasyon göstermeyecek yeterlilikte karışım stabilitesinin,
- 3- Sıkıştırılmış son karışımında trafik tarafından oluşturulacak çok az miktardaki sıkışmaya kuma, akma ve stabilite düşüklüğü olmaksızın imkân verecek, ancak karışım içinde rutubet ve fazla hava barındırmayacak ölçüdeki boşluğunun,
- 4- Segregasyona uğramaksızın uygun serimi sağlayacak bir işlenebilirliği verecek ekonomik bir karışımın ve agrega gradasyonunun belirlenmesi olarak tanımlanabilir (Önal ve Karaca, 1990).

5.2. Dizayn Metodu ve Koşulları

Karışım dizayn metodu ve dizayn kriterleri, asfalt yapımı ile ilgili şartnamelerin en önemli kısmıdır. Genel olarak karışım dizayn kriterleri belirlendikten sonra diğer şartname koşulları çerçevesinde kalınarak karışım dizayn metodunu inşaatdan sorumlu kuruluş belirler. Karışım dizayn metodu olarak Marshall ve Hveem metodları çok geniş ölçüde uygulanmış ve tatmin edici sonuçlar alınmıştır.

Bu çalışmada dizayn metodu olarak Marshall Metodu ile karışım dizaynı yapılmış ve K.G.M. Yollar Fenni Şartnamesi koşulları çerçevesinde kalınarak dizayn geliştirilmiştir.

5.3. Marshall Metodu ile Karışım Dizaynı

Kaplama karışımlarının dizaynında Marshall Metodu kavramı "Mississippi State Highway Department" in eski bitüm mühendisi Bruce Marshall tarafından formüle edilmiştir. U.S. Corps of Engineers kuruluşu geniş araştırma ve korelasyon çalışmalarıyla test yöntemine belirli biçimler ekleyip karışım dizayn kriterlerini geliştirmiştir. Marshall Test Metodu "American Society for Testing and Materials" tarafından standartlaştırılmıştır.

Marshall yöntemi, yalnızca maksimum boyu 25 mm (1 inç) veya daha küçük agrega ihtiva eden ve penetrasyon veya viskozite ile sınıflandırılmış asfalt çimentosu kullanılan sıcak karışım asfalt kaplama karışımlarına uygulanır. Metod sıcak karışım asfalt kaplamaların laboratuvar dizaynı için tasarlanmıştır.

Marshall metodunda işlem, deney numunelerinin hazırlanması ile başlar. Bundan önce şu işlemlerin yapılmış olması gerekmektedir.

a) Karışımında kullanılacak malzemenin şartnamede istenilen özelliklere uygunluğunun kontrolü,

- b) Agregâ karışım gradasyonunun şartname gradasyonuna uygunluğunun kontrolü,
- c) Yoğunluk ve boşluk analizlerinde kullanmak için, karışımında kullanılan agregâın hacim özgül ağırlığı ve asfalt çimentosunun özgül ağırlığının tayini.

Bunlar rutin testlerin, şartnamelerin ve laboratuvar tekniğinin gereklilikleridir (Önal ve Karaca, 1990).

5.3.1. Aygıtlar

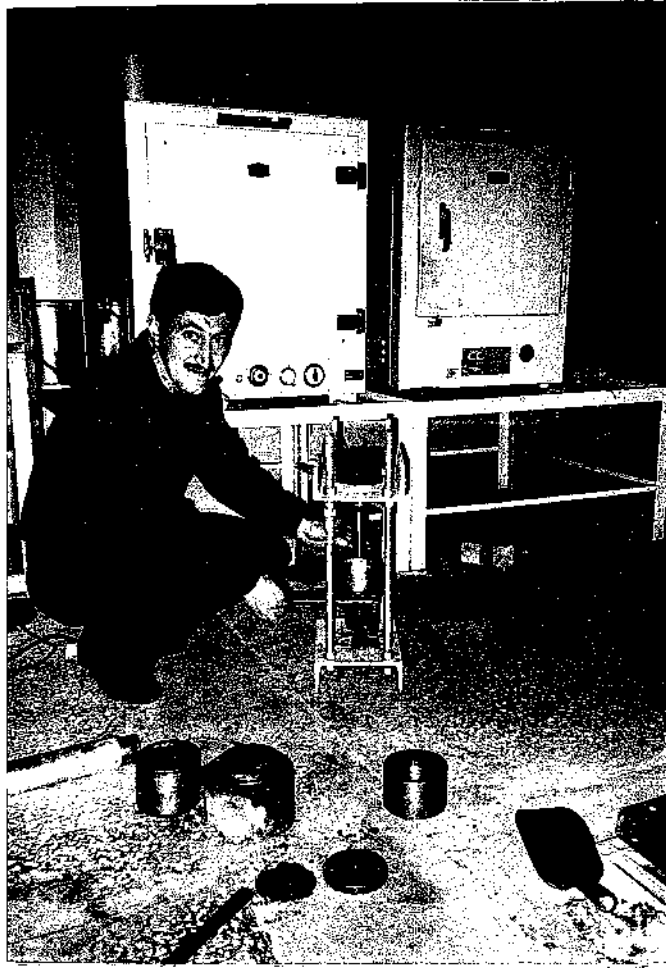
Bu bölüm TS 3720'den alınmıştır.

5.3.1.1. Numune sıkıştırma kalıpları

Numune sıkıştırma kalıbı 101 mm çapında ve 76 mm yüksekliğinde silindirik bir kalıp, taban plakası ile ilave bir silindirik kalıptan oluşur.

5.3.1.2. Numune çıkartıcısı

Numune çıkartıcısı, sıkışmış numuneleri, numune kalıbından çıkarmaya yarayan, çapı 98 ± 2 mm, kalınlığı en az 13mm olan bir çelik disk ve kriko tertibatı (Resim 5.1).



Resim 5.1. Numunelerin çıkartılması

5.3.1.3. Sıkıştırma tokmağı

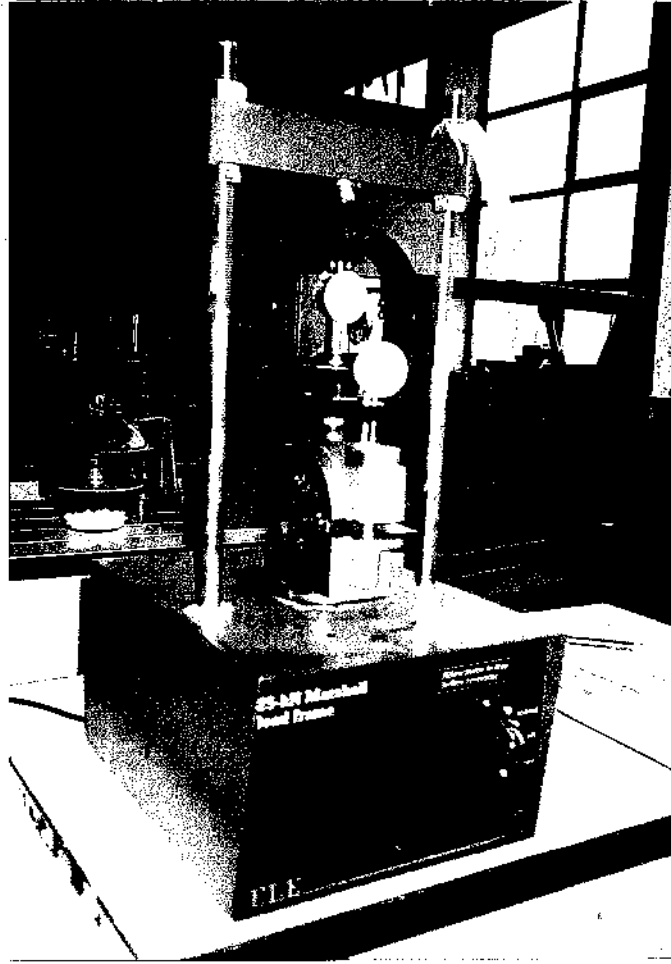
Sıkıştırma tokmağı, sıkıştırma yüzeyi düz, silindirik bir başlığı olan 4536 gr'lık bir kütlenin, 457 mm yükseklikten serbestçe düşmesine imkân veren bir düzendir (Resim 5.2).



Resim 5.2. Numunelerin sıkıştırılması

5.3.1.4. Marshall yükleme aygıtı

Elektrik gücüyle çalışan bir deney aletidir. Deney numunesine yarı silindirik kırma kafasından dakikada 51 mm (2 inç)'lik sabit hareketle yükleme yapacak şekilde dizayn edilmiş olup, uygulanan deney yükünü tayin etmek için kalibre edilmiş çelik yük halkası, maksimum yükteki deformasyon miktarını tayin etmek için Marshall akma ölçme cihazı ve Marshall kırma kafası ile donatılmıştır (Resim 5.3).



Resim 5.3. Marshall yükleme ağırtı

5.3.1.5. Etüv

Agrega bitüm, kalıplar, tokmak ve diğer araçları istenilen karışım ve kullanma sıcaklığına kadar ısıtabilecek güçte, sıcaklığı 150°C - 200°C aralığında $\pm 3^{\circ}\text{C}$ duyarlılıkta değişmez olarak tutabilen bir etüv kullanılmıştır.

5.3.1.6. Su banyosu

İçinde bulunan suyu $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ sabit sıcaklıkta tutabilen, en az 150 mm derinliğinde ve banyo tabanından 50 mm yüksekliğinde bir rafı bulunan, termostatik kontrollüdür.

5.3.1.7. Diğer aletler

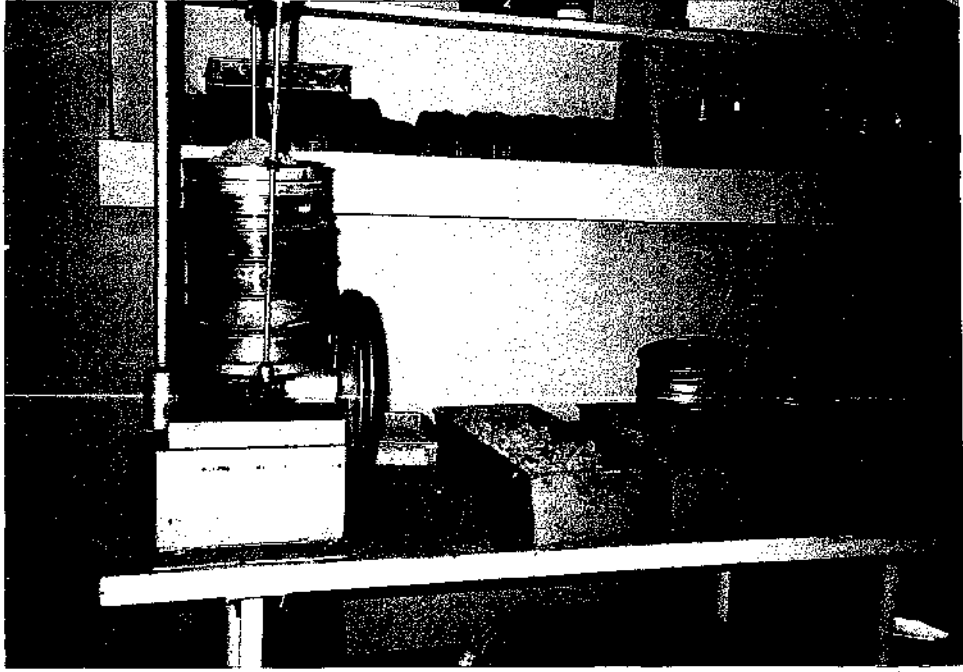
Deney numunelerini hazırlamak için; bitüm kovası, karıştırıcı çelik bir mala, termometre, terazi, eldiven, boya kalemi ve filtre kâğıdı veya pelür kâğıt kullanılır.

5.4. Deney Biriketlerinin Hazırlanması

Bu çalışmada Elazığ Ferrookrom cürufuyla asfalt betonu binder ve aşınma tabakaları dizaynı yapıldığından her tabaka için 18 adet olmak üzere 36 adet biriket yapılmıştır. Biriketlerin hazırlanmasında TS 3720'ye göre hareket edilmiştir ve numune sonuçları "K.G.M. Yollar Fenni Şartnamesi" ndeki koşullarla karşılaştırılmıştır. Her asfalt yüzdesi için üç adet numune biriketi hazırlanmıştır.

Elazığ Ferrookrom fabrikasından elde edilen cüruf ilk önce Karayolları 8. Bölge Müdürlüğü laboratuvar konkasöründe kırılarak, şartnamede granülometri limitlerinde verilen dokuz elekten (25 mm, 19 mm, 12,5 mm, 9,5 mm, 4,75 mm, 2,00 mm, 0,425 mm, 0,180 mm, 0,075 mm) elenerek dokuz ayrı ebata ayrılmıştır (Resim 5.4).

Elazığ Ferrookrom Fabrikası
Karayolları 8. Bölge Müdürlüğü
Laboratuvar



Resim 5.4. Cüruf elek analizi

Daha sonra, binder tabakası için Tablo 2.5'de verilen Tip 3, aşınma tabakası içinde Tablo 2.6'da verilen Tip 2'deki gradasyon sınırlarının ortalama değerlerindeki yüzdelere göre, en ideal granülometriyi sağlayacak şekilde, iki farklı tabaka için ayrı ayrı hesaplanan cüruf miktarı her bir bitüm yüzdesi için 4000 gr olacak şekilde karışıma hazır hale getirilmiştir (Tablo 5.1).

Karıştırma sıcaklığı 165°C , sıkıştırma sıcaklığı ise 145°C olarak alınmıştır. Karıştırma işlemi, önce ısıtılan cürufun kuru olarak karıştırılması, daha sonra ortasına açılan çukura belirtilen sıcaklıkta bitüm konularak, cüruf bitümlü malzeme (AC 75-100) ile iyice sarılincaya kadar elle karıştırılmıştır (Resim 5.5). Karışımdan sonra, etüv 160°C 'ye ayarlanarak yarım saat beklenerek karışımın kürünü tamamlaması sağlanmıştır. Kür tamamlandıktan sonra sıkıştırma işlemine geçilmiştir.

Tablo 5.1. Binder ve Aşınma Tabakalarında Kullanılan Cüruf Miktarları

Cürufun Geçtiği Elek Boyu		Binder (gr)	Aşınma (gr)
mm	inç		
25	1	460	-
19	3/4	820	460
12,5	1/2	420	540
9,5	3/8	580	760
4,75	No.4	480	640
2,00	No.10	560	800
0,425	No.40	260	300
0,180	No.80	240	220
0,075	No.200	180	280
TOPLAM		4000	4000

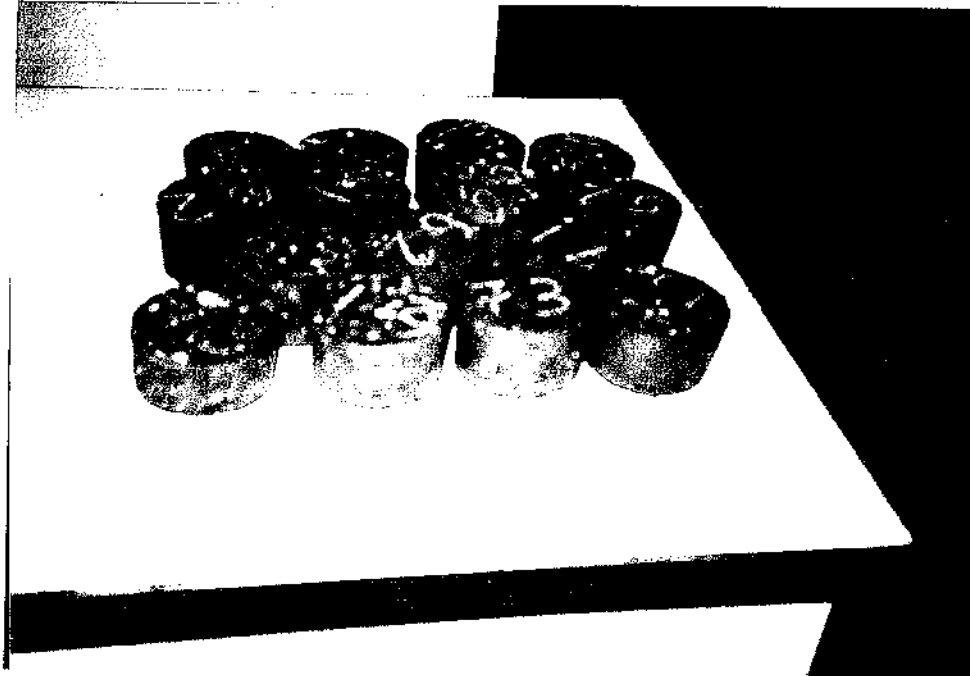


Resim 5.5. Malzemenin karıştırılması

Numune kalıpları her seferinde iyice temizlenmiş ve tokmağın sıkıştırma kafasında artık malzemenin kalmamasına dikkat edilmiştir. Kalıp ve sıkıştırma tokmağı etüve konarak 90-150 °C arasında ısıtılmıştır. Kalıp çapına göre daire şeklinde kesilmiş pelür kâğıt, malzeme konmadan önce numune kalıbının dibine yerleştirilmiştir.

Karışım, ayrışma olmamasına dikkat gösterilerek sıcak bir mala yardımıyla kalıba aktarılıp, 15 defa kenarı ve 10 defa da ortası spatula yardımıyla şişlenmiştir. Numune üzerine pelür kâğıt konarak sıkıştırma tokmağı 457 mm den düşürülerek 75 darbelik sıkıştırma enerjisi uygulanmıştır. Aynı işlem, numune ters çevrilerek de tekrarlanmıştır.

Biriketler, numune çıkartma cihazıyla kalıptan çıkarılarak laboratuvar sıcaklığında en az bir gün bekletilerek yükseklikleri dört yerden kumpasla ölçülmüş sonra havada ve suda tartımları yapılmıştır (Resim 5.6).



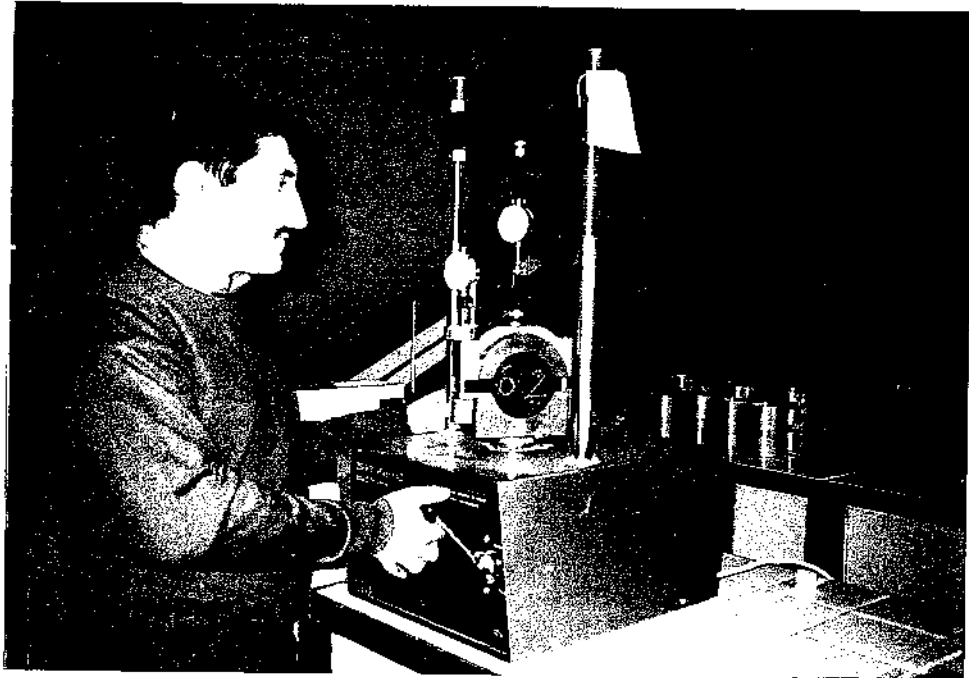
Resim 5.6. Marshall biriket numuneleri

5.5. Numunelerin Kırılması

Hazırlanmış olan biriket numuneler sıcaklığı $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ olan su banyosuna yerleştirilerek 30-40 dakika su içerisinde bekletilip sonra kırılmışlardır.

Marshall yüklemeye aygıtının kırma kafası numuneler kırılmadan önce etüve konarak $20^{\circ}\text{C} - 40^{\circ}\text{C}$ arasında olması sağlanmıştır. Numuneler su banyosundan çıkarıldıktan sonra kırma kafasının alt parçası üzerine yerleştirilir. Akma ölçme aleti, kırma kafasında bulunan yerine düzgünce yerleştirilerek sıfıra ayarlanır. Yükleme sırasında, akma ölçme aleti serbest hareket edecek şekilde tutulmuştur.

Numunelere Marshall yüklemeye aygıtı yardımıyla yükleme yapılmıştır. Yüklemeye 51 mm/dak.'lık sabit bir deformasyon hızıyla, en büyük yük değerine erişinceye kadar devam edilmiştir. En büyük yüke erişildiği anda flowmetre yerinden çıkarılarak ölçüm saatinde okunan değer kaydedilmiştir (Resim 5.7).



Resim 5.7. Marshall biriketlerinin kırılması

63,5 mm kalınlıktaki numuneler için bulunan değerler, gerçek değerlerdir. Bu kalınlıktan farklı numuneler için Çizelge 5.1'deki "Marshall Stabilite Faktörleri" kullanılarak düzeltilmiş stabilite değerleri bulunmuştur. Ölçüm saatinde okunan stabilite değeri Marshall yükleme aygıtının kataloğunda verilen çevrim tablosuyla kgf cinsine çevrilip daha sonra düzeltilmiş stabilite değerleri bulunmuştur.

5.6. Hesaplama ve Sonuçların Gösterilmesi

Aynı bitüm yüzdesindeki üç numunenin havadaki ve sudaki ağırlığı tespit edilerek hacmi bulundu. Pratik özgül ağırlıkları hesaplanarak forma işlendi. Pratik özgül ağırlıklarının birbirine göre 0,02 toleransı içinde olanların en az ikisinin ortalaması alınarak ortalama kısmına kaydedilir. Üçüde tolerans içerisinde değilse o bitüm yüzdesi için deney yenilenir. Bu çalışmada dört ayrı bitüm yüzdesi için ilk numunelerde pratik birim ağırlıklar tolerans içerisinde kalmadığından deney numuneleri yeniden döküldü.

Aynı bitüm yüzdesindeki üç numunenin kırılma yüklerinin en büyük ve en küçük değerleri arasındaki fark 120 kgf geçmez ise üçünün ortalaması Marshall stabilitesi olarak alınır. Eğer fark bu değerden büyük ise, aralarındaki fark 60 kgf den fazla olmayan iki değer in ortalaması Marshall stabilitesi olarak kabul edilir. Bu da sağlanmadığı takdirde o bitüm yüzdesi için deney yenilenir.

Aynı bitüm yüzdesindeki üç numunenin akma değerlerinin ortalaması alınarak forma işlenir.

Çizelge 5.1— MARSHALL STABİLİTE FAKTÖRLERİ

Numune (mm)		Numune (mm)		Numune (mm)		Numune (mm)		Numune (mm)	
Boy	Faktör	Boy	Faktör	Boy	Faktör	Boy	Faktör	Boy	Faktör
50.0	1.470	55.3	1.256	60.6	1.079	65.9	0.943	71.2	0.834
50.1	1.467	55.4	1.253	60.7	1.076	66.0	0.940	71.3	0.832
50.2	1.463	55.5	1.250	60.8	1.073	66.1	0.938	71.4	0.830
50.3	1.460	55.6	1.247	60.9	1.070	66.2	0.936	71.5	0.829
50.4	1.456	55.7	1.243	61.0	1.067	66.3	0.934	71.6	0.828
50.5	1.453	55.8	1.239	61.1	1.064	66.4	0.932	71.7	0.826
50.6	1.449	55.9	1.235	61.2	1.062	66.5	0.930	71.8	0.825
50.7	1.446	56.0	1.231	61.3	1.059	66.6	0.927	71.9	0.824
50.8	1.442	56.1	1.228	61.4	1.056	66.7	0.925	72.0	0.822
50.9	1.439	56.2	1.224	61.5	1.053	66.8	0.922	72.1	0.821
51.0	1.435	56.3	1.220	61.6	1.050	66.9	0.920	72.2	0.820
51.1	1.432	56.4	1.216	61.7	1.047	67.0	0.918	72.3	0.818
51.2	1.428	56.5	1.214	61.8	1.044	67.1	0.915	72.4	0.817
51.3	1.425	56.6	1.210	61.9	1.040	67.2	0.913	72.5	0.815
51.4	1.421	56.7	1.206	62.0	1.038	67.3	0.911	72.6	0.814
51.5	1.418	56.8	1.202	62.1	1.036	67.4	0.908	72.7	0.812
51.6	1.414	56.9	1.198	62.2	1.033	67.5	0.906	72.8	0.811
51.7	1.411	57.0	1.194	62.3	1.031	67.6	0.904	72.9	0.810
51.8	1.407	57.1	1.190	62.4	1.028	67.7	0.901	73.0	0.809
51.9	1.404	57.2	1.187	62.5	1.026	67.8	0.899	73.1	0.808
52.0	1.400	57.3	1.184	62.6	1.023	67.9	0.897	73.2	0.806
52.1	1.397	57.4	1.181	62.7	1.021	68.0	0.894	73.3	0.804
52.2	1.393	57.5	1.178	62.8	1.018	68.1	0.892	73.4	0.802
52.3	1.390	57.6	1.175	62.9	1.016	68.2	0.890	73.5	0.800
52.4	1.382	57.7	1.172	63.0	1.013	68.3	0.888	73.6	0.799
52.5	1.378	57.8	1.169	63.1	1.011	68.4	0.886	73.7	0.797
52.6	1.368	57.9	1.164	63.2	1.008	68.5	0.885	73.8	0.795
52.7	1.359	58.0	1.161	63.3	1.006	68.6	0.883	73.9	0.794
52.8	1.351	58.1	1.158	63.4	1.003	68.7	0.881	74.0	0.792
52.9	1.344	58.2	1.155	63.5	1.000	68.8	0.879	74.1	0.790
53.0	1.337	58.3	1.152	63.6	0.998	68.9	0.877	74.2	0.788
53.1	1.328	58.4	1.149	63.7	0.995	69.0	0.875	74.3	0.786
53.2	1.320	58.5	1.146	63.8	0.992	69.1	0.874	74.4	0.784
53.3	1.317	58.6	1.143	63.9	0.990	69.2	0.872	74.5	0.782
53.4	1.314	58.7	1.140	64.0	0.988	69.3	0.870	74.6	0.780
53.5	1.311	58.8	1.137	64.1	0.985	69.4	0.868	74.7	0.779
53.6	1.308	58.9	1.133	64.2	0.982	69.5	0.866	74.8	0.777
53.7	1.305	59.0	1.130	64.3	0.980	69.6	0.864	74.9	0.776
53.8	1.302	59.1	1.127	64.4	0.978	69.7	0.862	75.0	0.775
53.9	1.299	59.2	1.124	64.5	0.975	69.8	0.860	75.1	0.773
54.0	1.296	59.3	1.120	64.6	0.972	69.9	0.858	75.2	0.772
54.1	1.293	59.4	1.117	64.7	0.970	70.0	0.856	75.3	0.771
54.2	1.290	59.5	1.114	64.8	0.967	70.1	0.854	75.4	0.770
54.3	1.286	59.6	1.110	64.9	0.965	70.2	0.852	75.5	0.769
54.4	1.283	59.7	1.107	65.0	0.962	70.3	0.850	75.6	0.767
54.5	1.280	59.8	1.104	65.1	0.960	70.4	0.849	75.7	0.766
54.6	1.277	59.9	1.100	65.2	0.957	70.5	0.847	75.8	0.765
54.7	1.274	60.0	1.097	65.3	0.955	70.6	0.845	75.9	0.764
54.8	1.271	60.1	1.094	65.4	0.953	70.7	0.843	76.0	0.762
54.9	1.268	60.2	1.090	65.5	0.951	70.8	0.841	76.1	0.761
55.0	1.265	60.3	1.088	65.6	0.949	70.9	0.839	76.2	0.760
55.1	1.262	60.4	1.085	65.7	0.947	71.0	0.837	76.3	0.759
55.2	1.259	60.5	1.082	65.8	0.945	71.1	0.836	76.4	0.758

Pratik özgül ağırlık, stabilite, akma, boşluk yüzdesi, bitüm ile dolu boşluk yüzdesi grafikleri çizilerek; yoğunluk ve stabilite eğrilerinin en büyük değerlerine karşı gelen bitüm yüzdeleri, boşluk, bitümle dolu boşluk ve akma eğrileri için uygulamada kullanılması öngörülen değerlerin ortalamasına karşı gelen bitüm yüzdeleri tespit edilir. Bulunan değerlerin aritmetik ortalaması, optimum bitüm yüzdesi olarak alınır. Bulunan optimum bitüm yüzdesi uygulamada kullanılması öngörülen değerleri kapsıyorsa işyeri karışımı için esas değer olarak kabul edilir (TS 3720, 1983).

Marshall biriket numuneleri Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Malzeme Laboratuvarında hazırlanmış ve kırılmıştır.

Tablo 5.2.a, 5.2.b, 5.3.a ve 5.3.b'de kullanılan semboller şunlardır:

G_{ag} = Cürufun özgül ağırlığı (gr/cm^3)

G_b = Bitümün özgül ağırlığı ($1,02 gr/cm^3$)

g_k = Kaba cürufun özgül ağırlığı ($2,92 gr/cm^3$)

g_i = İnce cürufun özgül ağırlığı ($2,81 gr/cm^3$)

g_f = Cürufun filler kısmının özgül ağırlığı ($2,61 gr/cm^3$)

D_p = Pratik birim ağırlık (gr/cm^3)

D_t = Teorik birim ağırlık (gr/cm^3)

V_h = Boşluk yüzdesi

V_a = Biriketteki cürufun hacim olarak yüzdesi

V_b = Biriketteki bitümün hacim olarak yüzdesi

V_f = Bitümle dolu boşluk oranı

W_a = Kuru cürufa göre bitüm yüzdesi

p_k = Kaba cürufun yüzdesi

p_i = İnce cürufun yüzdesi

p_f = Cürufun filler kısmının yüzdesi

W_1 = Marshall biriketin havadaki kuru ağırlığı (gr)

W = Marshall biriketin hacmi (cm^3)

Aynı tablolarda kullanılan formüller de aşağıdadır:

$$G_{ag} = \frac{100}{\frac{p_k}{g_k} + \frac{p_i}{g_i} + \frac{p_f}{g_f}}$$

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

$$D_p = \frac{W_1}{W}$$

$$Y_h = \frac{D_t - D_p}{D_t} \times 100$$

$$Y_b = \frac{W_a + D_p}{G_b}$$

$$Y_a = Y_h + Y_b$$

$$Y_f = 100 \times \frac{Y_b}{Y_a} \quad (\text{Önal ve Karaca, 1990})$$

Bu çalışmada binder ve aşınma tabakaları için Marshall biriketleri hazırlandığından her iki tabaka için cürufun özgül ağırlığı aşağıdaki gibidir.

Aşınma tabakası için;

Kaba cüruf = % 44 ($g_k = 2,92 \text{ gr/cm}^3$)

İnce cüruf = % 49 ($g_i = 2,81 \text{ gr/cm}^3$)

$$\text{Filler} = \% 7 (g_f = 2,61 \text{ gr/cm}^3)$$

$$G_{ag} = \frac{100}{\frac{44}{2,92} + \frac{49}{2,81} + \frac{7}{2,61}} = 2,842 \text{ gr/cm}^3$$

Binder tabakası için;

$$\text{Kaba cüruf} = \% 57$$

$$\text{İnce cüruf} = \% 38,5$$

$$\text{Filler} = \% 4,5$$

$$G_{ag} = \frac{100}{\frac{57}{2,92} + \frac{38,5}{2,81} + \frac{4,5}{2,61}} = 2,861 \text{ gr/cm}^3$$

Binder tabakası % 3,50 bitüm güzdesi için tablodaki değerlerin hesaplanması aşağıda gösterildiği şekilde yapılmıştır.

W_a 'nın hesabı;

$$\begin{array}{r} 4140 \\ 4170 \quad 170 \\ 100 \quad W_a \\ \hline W_a = 3,38 \end{array}$$

Pratik birim ağırlık her bitüm güzdesi için hazırlanan üç adet biriketin pratik birim ağırlıklarının ortalamasıdır.

$$D_p = (2,400 + 2,402 + 2,406) / 3 = 2,403 \text{ gr/cm}^3$$

$$D_t = \frac{100}{\frac{100-3,38}{2,861} + \frac{3,38}{1,02}} = 2,696 \text{ gr/cm}^3$$

$$V_h = \frac{2,696-2,403}{2,696} \times 100 = 10,87$$

$$V_b = \frac{3,38+2,403}{1,02} = 5,67$$

$$V_a = 10,87 + 5,67 = 16,54$$

$$V_f = 100 \times \frac{5,67}{16,54} = 34,28$$

Aynı şekilde diğer bitüm yüzdeleri için bu değerler hesaplandı ve tablolara işlendi.

Ayrıca bulduğumuz bu değerler grafik üzerinde de ayrı ayrı gösterilmiştir.

Binder tabakası için Marshall stabilite dizayn değerleri Tablo 5.2.a ve Tablo 5.2.b'de aşağıda gösterilmiştir.

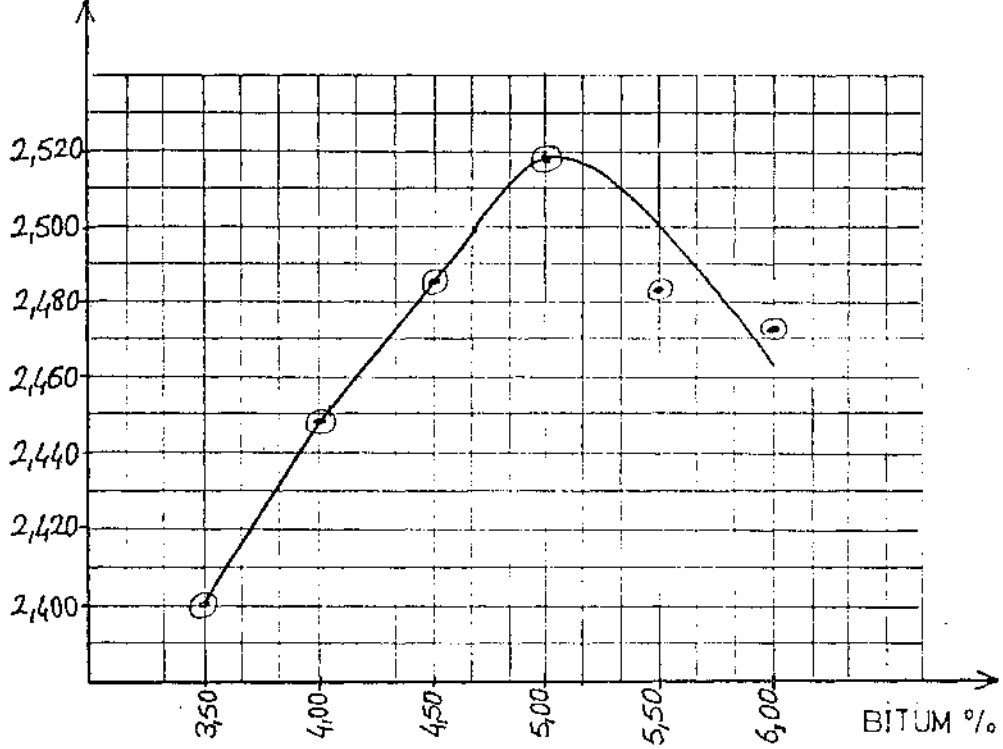
Tablo 5.2.a. Binder Tabakası Marshall Metodu Dizayn Değerleri

Bitüm (%) (W _a)	Biriket No	Yükseklik (mm)	Havada W ₁ (gr)	Suda W ₂ (gr)	Hacim W ₁ -W ₂ (cm ³)	STABİLİTE (Kgf)			Akma (mm)	Pratik Birim Ağırlık (gr/cm ³)	Teorik Birim Ağırlık (gr/cm ³)	Hacimsel Oranlar			
						Okuma	Kuvvet	Düzeltilmiş Kuvvet				V _h	V _b	V _a	V _f
3,50 (3,38)	1	67,1	1273,0	742,6	530,4	538	1431	1309	2,87	2,400					
	2	69,2	1286,3	750,8	535,5	587	1561	1361	2,01	2,402					
	3	50,3	856,7	500,7	356	360	963	1406	2,18	2,406					
	ORTALAMALAR							1359	2,35	2,403	2,696	10,87	5,67	16,54	34,28
4,00 (3,85)	1	70,4	1320,8	779,5	541,3	712	1892	1606	2,72	2,440					
	2	69,1	1284,0	761,6	522,4	737	1960	1713	2,32	2,458					
	3	74,7	1418,9	838,8	580,1	758	2115	1648	2,37	2,446					
	ORTALAMALAR							1656	2,47	2,448	2,675	8,49	6,17	14,66	42,09
4,50 (4,31)	1	73,5	1408,9	842,6	566,3	848	2248	1798	2,69	2,488					
	2	65,3	1272,2	758,4	513,8	692	1839	1756	2,68	2,476					
	3	70,3	1382	827,2	554,8	827	2193	1864	2,25	2,491					
	ORTALAMALAR							1806	2,54	2,485	2,655	6,40	6,66	13,06	60,00

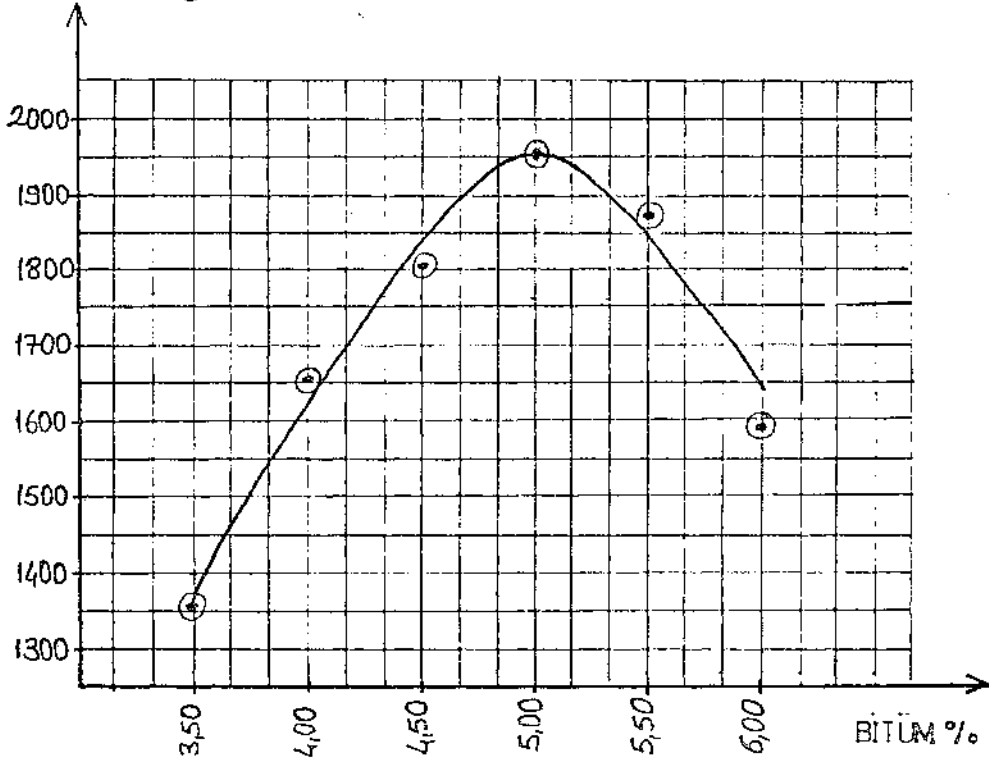
Tablo 5.2.b. Binder Tabakası Marshall Metodu Dizayn Değerleri

Bitüm (%) (W _a)	Biret No	Yükseklik (mm)	Havada W ₁ (gr)	Suda W ₂ (gr)	Hacim W ₁ -W ₂ (cm ³)	STABİLİTE (Kgf)			Akma (mm)	Pratik Birim Ağırlık (gr/cm ³)	Teorik Birim Ağırlık (gr/cm ³)	Hacimsel Oranlar			
						Okuma	Kuvvet	Düzeltilmiş Kuvvet				V _h	V _b	V _a	V _f
5,00 (4,76)	1	73,5	1420	856,8	563,2	910	2411	1929	2,99	2,521					
	2	60,3	1154,3	695,3	459	682	1813	1972	2,75	2,514					
	3	72,0	1437,6	881,4	556,2	1023	2709	2226	2,30	2,585					
	ORTALAMALAR							1950	2,68	2,518	2,635	4,44	7,14	11,58	61,66
5,50 (5,21)	1	63,8	1212,7	724,3	488,4	701	1863	1848	3,02	2,476					
	2	66,6	1266,5	755,8	510,7	752	1998	1852	2,82	2,480					
	3	67,6	1302,8	780,4	522,4	802	2129	1925	2,41	2,494					
	ORTALAMALAR							1875	2,75	2,483	2,615	5,05	7,54	12,59	59,88
6,00 (5,66)	1	72,6	1372,9	846,7	553,6	747	1986	1617	2,67	2,480					
	2	63,4	1136,8	714,0	482,8	581	1545	1550	2,84	2,478					
	3	70,4	1367,9	812,5	555,4	705	1873	1590	2,92	2,461					
	ORTALAMALAR							1586	2,81	2,473	2,596	4,73	7,97	12,70	62,76

Pratik Birim
Ağırlık (gr/cm^3)

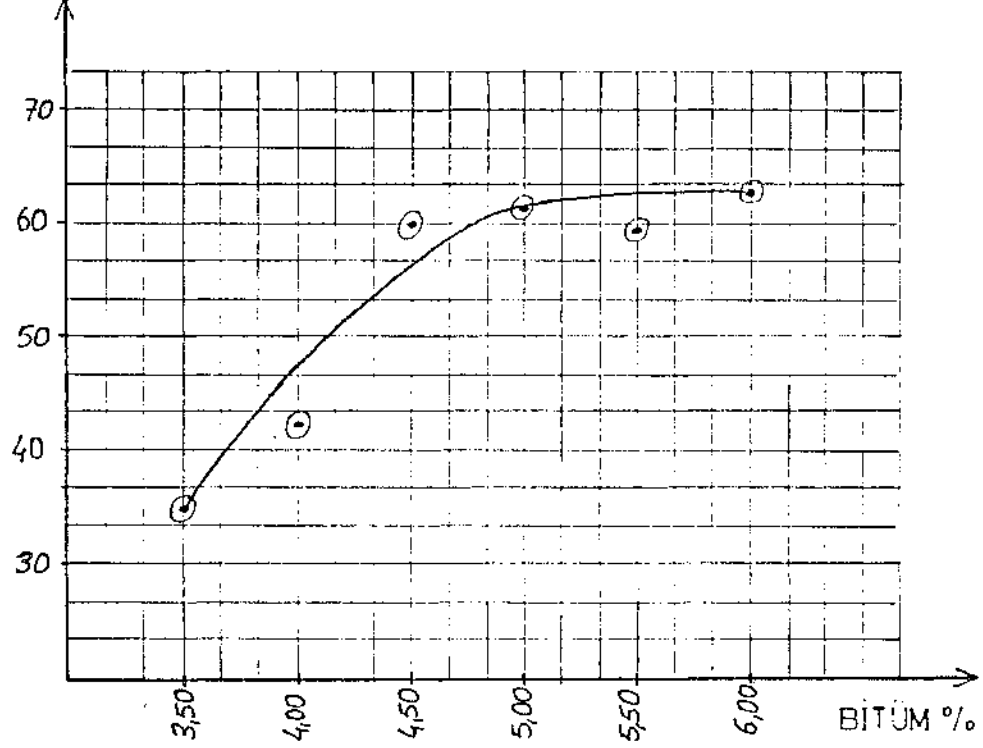


Grafik 5.1.a. Bitüm-Pratik birim ağırlık ilişkisi.



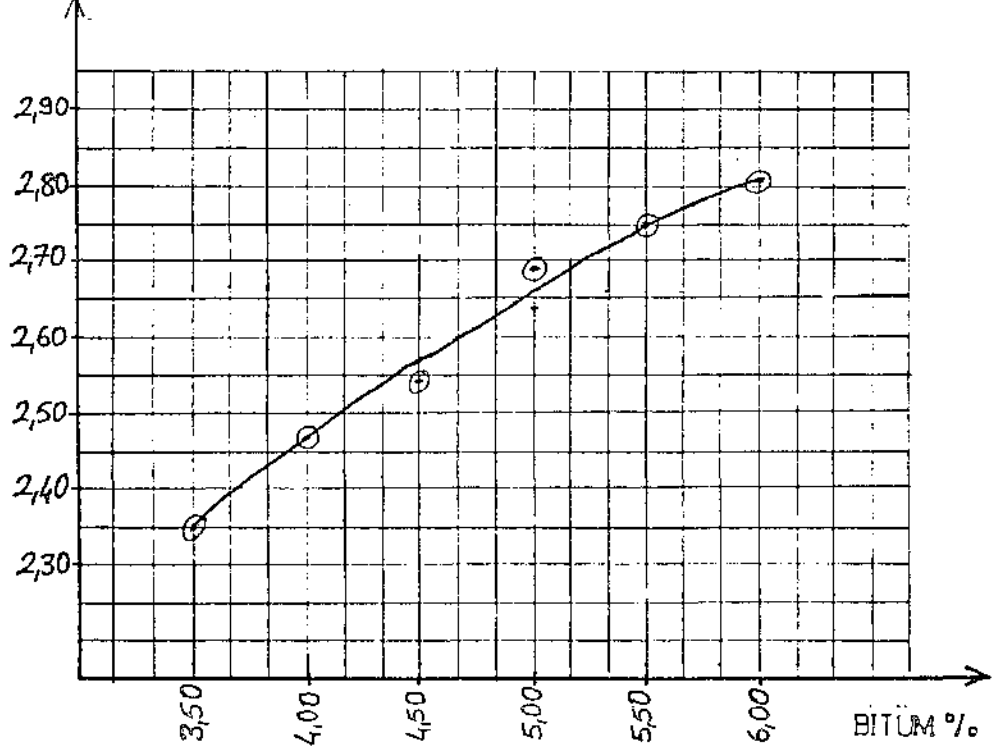
Grafik 5.1.b. Bitüm-Stabilite ilişkisi

Bitümle Dolu
Boşluk (%)

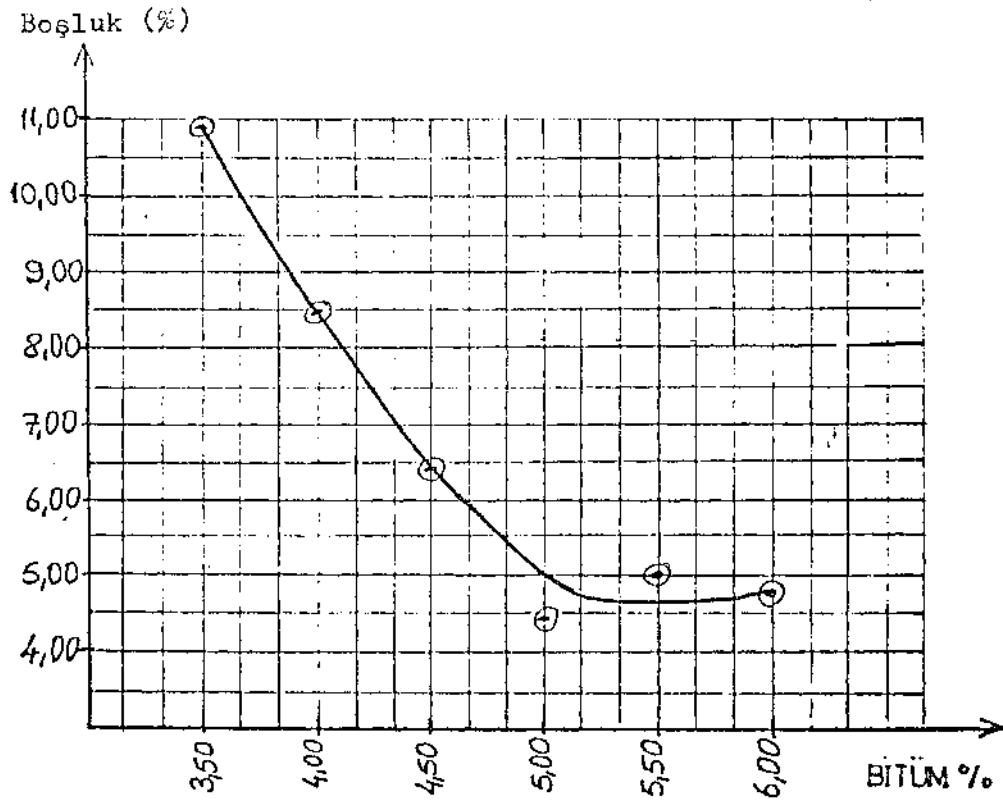


Grafik 5.1.c. Bitüm-Bitümle dolu boşluk
yüzdesi ilişkisi

Akma (mm)



Grafik 5.1.d. Bitüm-Akma ilişkisi



Grafik 5.1.e. Bitüm-Boşluk yüzdesi ilişkisi

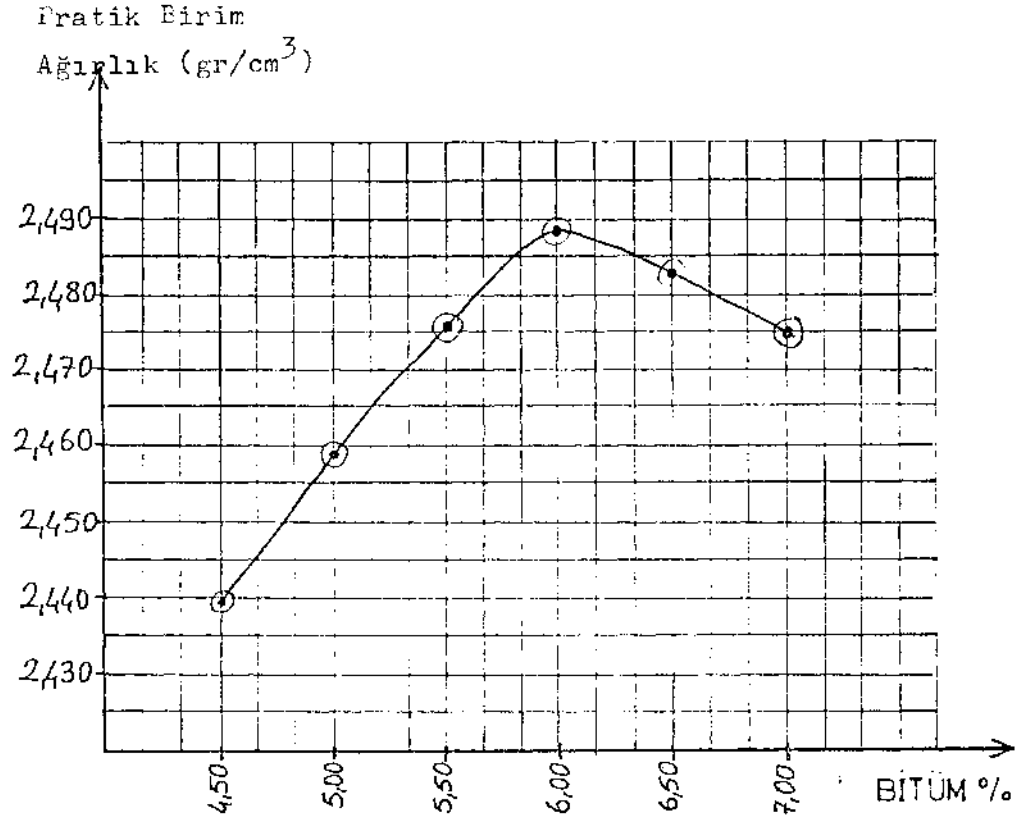
Aşınma tabakası için Marshall stabilite dizayn değerleri
 Tablo 5.3.a. ve Tablo 5.3.b. hesaplanmış ve bulunan değerler gra-
 fiklerle aşağıda gösterilmiştir.

Tablo 5.3.a. Aşınma Tabakası Marshall Metodu Dizayn Değerleri

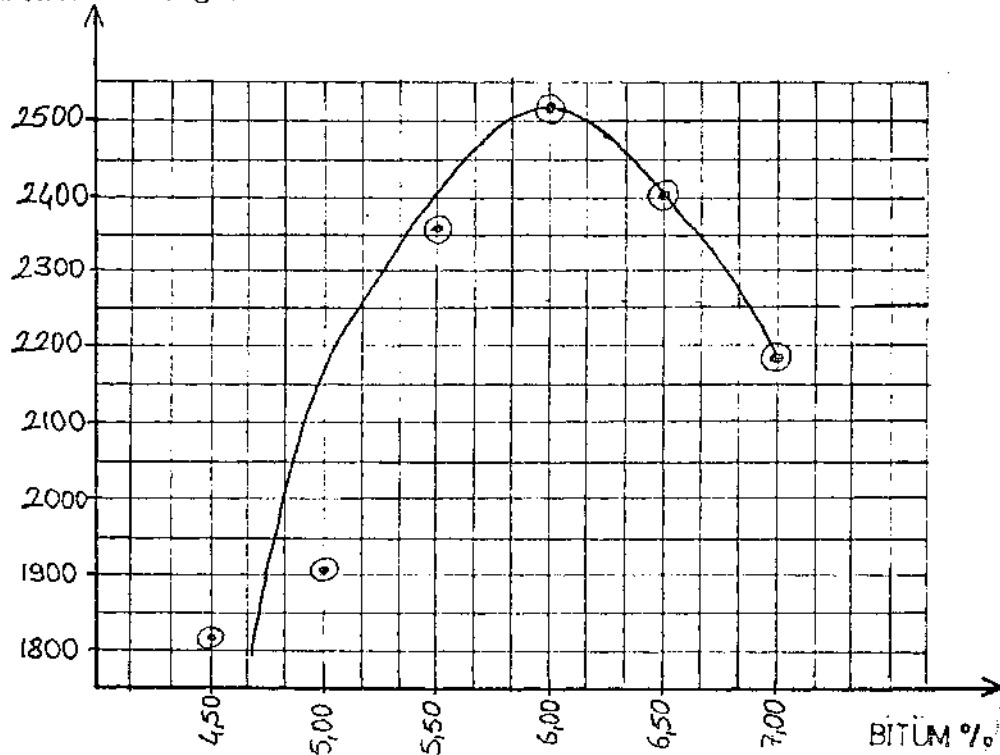
Bitüm (%) (W _a)	Birikt No	Yükseklik (mm)	Havada W ₁ (gr)	Suda W ₂ (gr)	Hacim W ₁ -W ₂ (cm ³)	STABİLİTE (Kgf)			Akma (mm)	Pratik Birim Ağırlık ₃ (gr/cm ³)	Teorik Birim Ağırlık ₃ (gr/cm ³)	Hacimsel Oranlar			
						Okuma	Kuvvet	Düzeltilmiş Kuvvet				Vh	Vb	Va	Vf
4,50 (4,31)	1	64,8	1212,7	715,9	496,8	726	1929	1865	2,40	2,441					
	2	65,1	1225,3	723	502,3	707	1878	1803	2,18	2,439					
	3	73,1	1420	837,7	582,3	834	2213	1788	2,41	2,438					
	ORTALAMALAR							1819	2,33	2,439	2,639	7,58	6,62	14,2	46,62
5,00 (4,76)	1	71,9	1407,1	834,4	572,7	852	2258	1861	2,70	2,457					
	2	74,8	1468,4	870,5	597,9	925	2449	1903	2,50	2,456					
	3	63,1	1241,8	737	504,8	727	1931	1952	2,08	2,460					
	ORTALAMALAR							1905	2,43	2,458	2,619	6,15	7,08	13,23	53,51
5,50 (5,21)	1	52,2	1011,5	603,8	407,7	640	1702	2371	2,50	2,481					
	2	54,3	1052,8	627,1	425,7	697	1853	2383	2,31	2,473					
	3	67,0	1309	779,9	529,1	959	2540	2332	2,90	2,474					
	ORTALAMALAR							2362	2,57	2,476	2,600	4,77	7,54	12,31	61,25

Tablo 5.3.b. Aşınma Tabakası Marshall Metodu Dizayn Değerleri

Bitüm (%) (W ₂)	Biret No	Yükseklik (mm)	Havada W ₁ (gr)	Suda W ₂ (gr)	Hacim W ₁ -W ₂ (cm ³)	STABİLİTE (Kgf)			Akma (mm)	Pratik Birim Ağırlık (gr/cm ³)	Teorik Birim Ağırlık (gr/cm ³)	Hacimsel Oranlar			
						Okuma	Kuvvet	Düzeltilmiş Kuvvet				Vh	Vb	Va	Vf
6,00 (5,66)	1	57,0	1127,1	673,9	453,2	787	2089	2494	2,52	2,487					
	2	60,8	1198,7	716,5	482,2	893	2366	2539	2,83	2,486					
	3	58,5	1158,6	693,3	465,3	718	1908	2187	2,66	2,490					
	ORTALAMALAR							2517	2,67	2,488	2,581	3,60	7,99	11,59	68,94
6,50 (6,10)	1	64,8	1258,6	750,9	507,7	928	2458	2376	2,93	2,479					
	2	59,8	1180,2	704,5	475,7	813	2158	2382	2,86	2,481					
	3	50,2	1008,0	603,0	405,0	628	1670	2455	2,73	2,489					
	ORTALAMALAR							2404	2,84	2,483	2,563	3,12	8,41	11,53	72,94
7,00 (6,54)	1	56,2	1108,4	662	446,4	682	1812	2218	2,75	2,483					
	2	57,9	1138,6	677,8	460,8	687	1826	2125	2,80	2,471					
	3	60,4	1186,8	706,5	480,3	762	2024	2196	3,30	2,471					
	ORTALAMALAR							2180	2,95	2,475	2,545	2,75	8,84	11,59	76,27

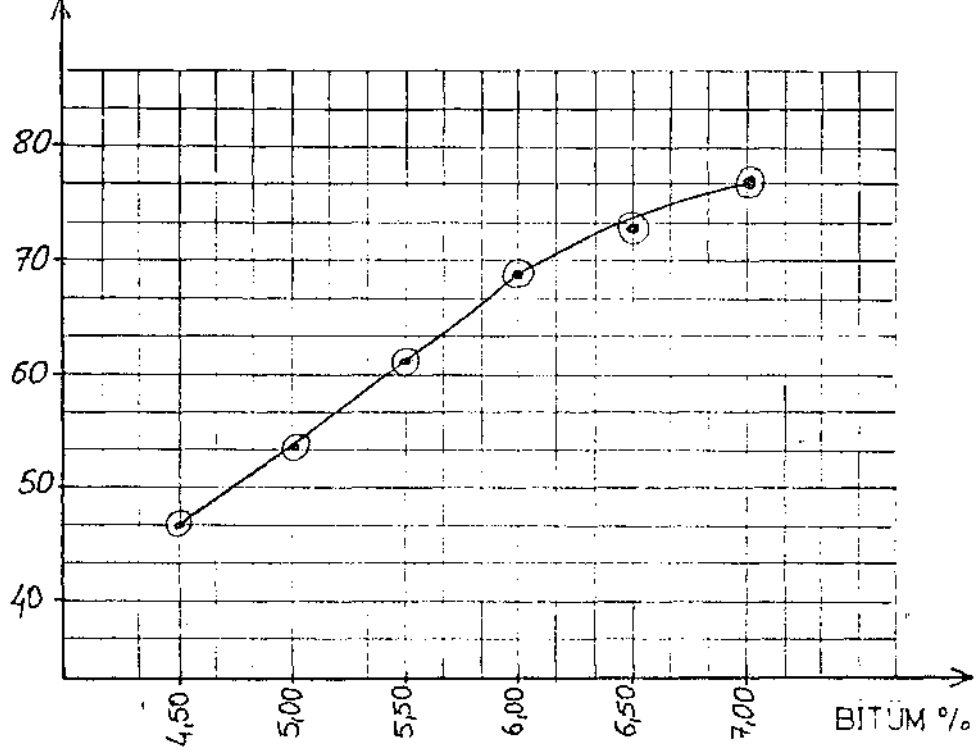


Grafik 5.2.a. Bitüm-Pratik birim ağırlık ilişkisi



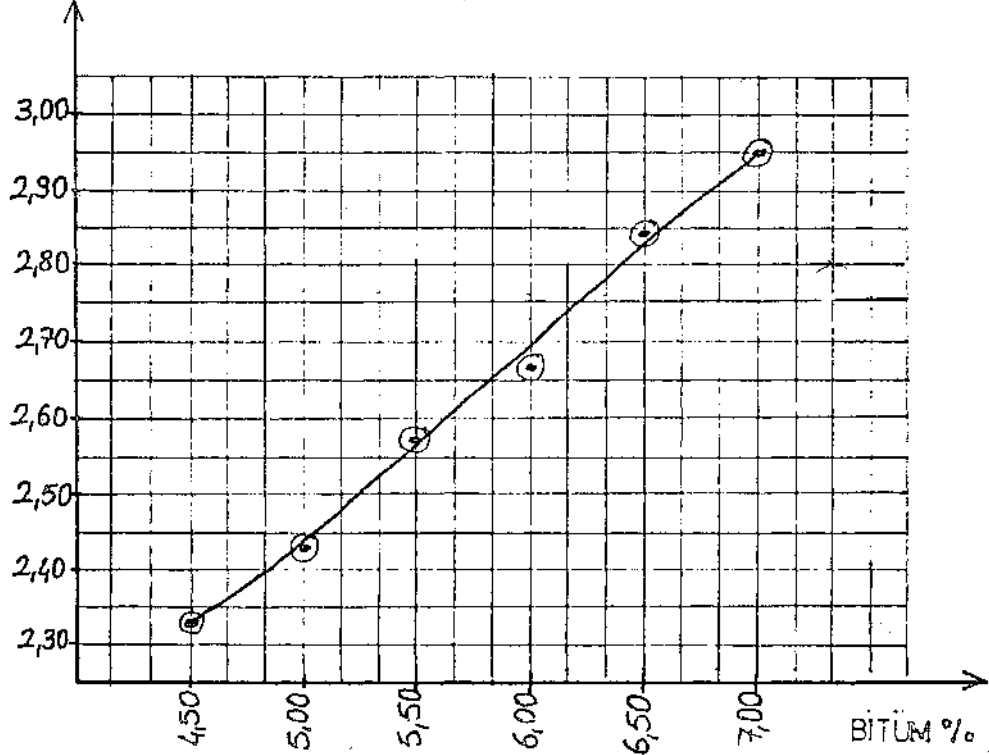
Grafik 5.2.b. Bitüm-Stabilite ilişkisi

Bitümle Dolu
Boşluk (%)

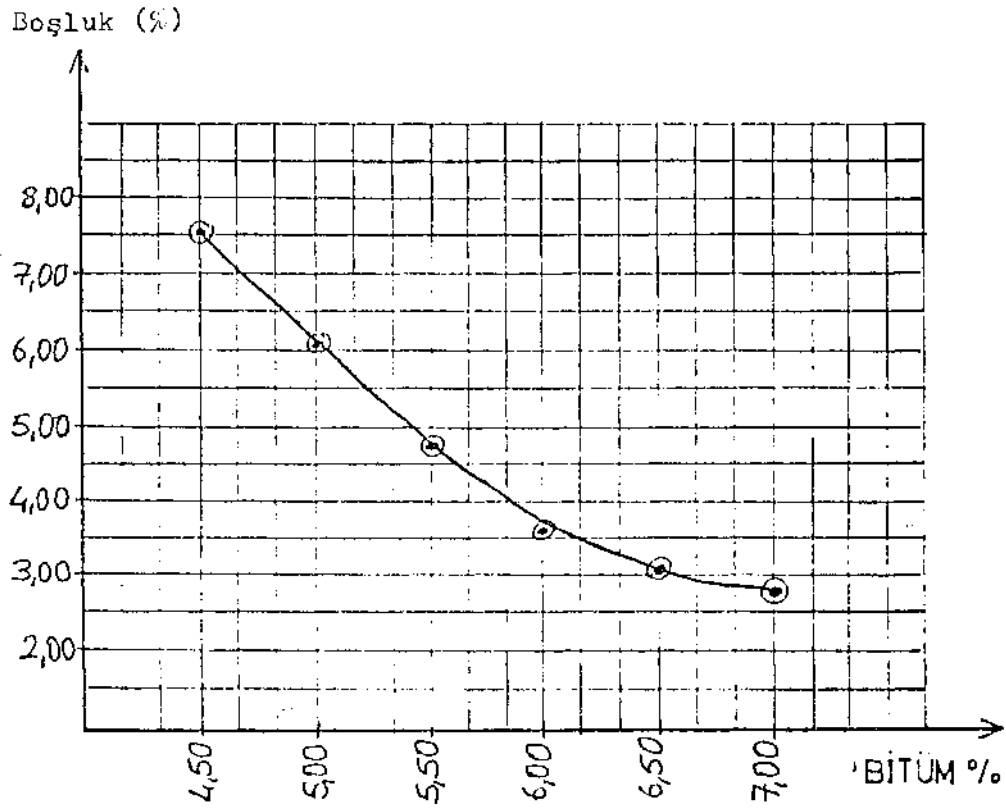


Grafik 5.2.c. Bitüm-Bitümle dolu boşluk yüzdesi ilişkisi

Akma (mm)



Grafik 5.2.d. Bitüm-Akma ilişkisi



Grafik 5.2.e. Bitüm-Boşluk yüzdesi ilişkisi

6. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRMESİ VE ÖNERİLER

6.1. Deney Sonuçlarının Değerlendirmesi

Ferrokrom cürufuna uygulanan deney sonuçları ve "K.G.M. Yollar Fenni Şartnamesi" nin belirlediği sınırlar aşağıdaki gibidir.

Tablo 6.1. Deney Sonuçları ve Şartname Sınırları

Deneyin Adı	Şartname sınırı	Ferrokrom cürufunun deney sonucu
Aşınma kaybı (maks. %)	30	17,8
Donma kaybı (maks. %)	10	5,68
Cilalanma değeri (min.)	0,50	0,75
Su absorpsiyonu (maks. %)	2,00	1,48
Soyulma mukavemeti (min.)	50	60

Ferrokrom cürufunun Marshall metoduna göre karışım dizayn neticeleri ve şartname kriterleri Tablo 6.2'deki gibidir. Tablo 6.1 ve Tablo 6.2'deki sonuçlara bakıldığında ferrokrom cürufunun asfalt betonunda rahatlıkla kullanılabileceği sonucuna varılmaktadır. Marshall metodu dizaynında sadece bitümle dolu boşluk yüzdesi değerlerinin şartnamenin minimum sınırının çok az altında kaldığı gözlenmiştir. Ancak optimum bitümde stabilite değeri çok yüksek olduğundan ve cürufun hava tesirlerine karşı dayanıklılığı çok iyi olduğundan bu değer bir sakınca doğurmamaktadır.

Tablo 6.2. Marshall Dizayn Sonuçları ve Şartname Sınırları

ÖZELLİKLER	Şartname Kriterleri				Cüruf Birikimleri			
	Binder		Aşınma		Binder		Aşınma	
	Min.	Maks.	Min.	Maks.	Min.	Maks.	Min.	Maks.
Biriket yapımında uygulanacak darbe sayısı.	75	-	75	-	75	-	75	-
Marshall stabili-tesi (kg)	750	-	900	-	-	1950	-	2510
Boşluk yüzdesi (V_h)	4	6	3	5	4,60	-	3,60	-
Asfalt dolu boşluk yüzdesi (V_f)	65	75	75	85	62	-	69	-
Akma (mm)	2	4	2	4	2,68	-	2,67	-

6.2. Öneriler

Giriş bölümünde de anlatıldığı gibi Elazığ Ferrokrom fabrikasında yüz binlerce ton cüruf atıl vaziyette beklemektedir. Bu kadar büyük miktardaki cüruf ağır metal ihtiva ettiğinden hem çevre kirlenmesine sebep olmakta hem de fabrika sahasında çok geniş bir alan işgal etmektedir.

Bitümlü sıcak karışım kaplamaların % 93-97'si agregadan meydana geldiğinden, asfalt betonu maliyetinin çok büyük bir kısmını agreganın üretimi oluşturmaktadır. 1991 Yılı Bayındırlık ve İskân Bakanlığı Birim Fiyatlarına göre 1 metreküp 1" lik binder malzemesinin fiyatı 27720 TL. olduğuna göre, bu kadar büyük miktardaki hazır kırılmış cürufun asfalt betonunda agreganın kullanılması ile yapım maliyeti azaltılacak ve ekonomi sağlanacaktır.

Mevcut Ferrokrom cürufunun asfalt betonunda kullanılması ile yöreye en yakın yol olan Elazığ-Bingöl-Tunceli Devlet Karayollarının üstyapı standartları iyileştirilmiş olacaktır. Ayrıca mevcut cüruf yol inşaatında kullanıldığında Keban Baraj gölünde çevre kirlenmesi önlenecek ve fabrika sahası başka amaçlar için kullanılacaktır.

KAYNAKLAR

Asphalt As a Material, (October 1965). Ser. 93. Asphalt Inst. Inform. New York.

GOETZ, W.H., WOOD L.E. (1960). **Bituminous Materials and Mixtures**. Sec.18. Mc Graw-Hill Book Company, New York.

Karayolları Genel Müdürlüğü, **Yollar Fenni Şartnamesi**, (1989).

Çevirenler, KEÇECİLER, A.F., AKKOL, G., GÜMRÜKÇÜOĞLU, A., GÖKÇE, A.F., (1989). **Bitümlü Malzemeler Laboratuvar El Kitabı**. 113-144. K.G.M. Matbaası, Ankara.

KOCA,İ., (1987). **Bitümlü Kaplamalar Yapım Tekniği**. 82-86, T.C.K. 14. Böl. Müdürlüğü, Bursa.

KREBS, D.R., WALKER, D.R., (1971). **Highway Materials**. 365-375. Mc Graw-Hill Book Company, New York.

O'FLAHERTY, C.A., (1979). **Highways Vol 2 Highway Engineering**. 269-276. Tanner Ltd., Frome and London.

OGLESBY, H.C., (1966). **Highway Engineering**. 548-552. John Wiley and Sons Inc., London.

Çevirenler, ÖNAL, M.A., KARACA, S., (1990). **Asfalt Betonu Karışım Dizayn Metotları**. 20-34. K.G.M. Matbaası, Ankara.

RHOADES, E.O., (1962). **Coal-Modified Tar Binders for Bituminous Concrete Pavements**. 350-356. Highway Res. Bd. Bull., Philadelphia.

TS 3720, (1983). **Bitümlü Kaplama Karışımlarının Hesap Esasları**. 1-8. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.

UMAR, A.F., (1973). **Yol İnşaatı Dersleri**. 249-255. İ.T.Ü. Matbaası, İstanbul.

UMAR, A.F., AÇAR, E., (1985). **Yol Üstyapısı**. 214-220. İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul.

WRIGHT, P.H., PAQUETTEN, R.J., (1987). **Highway Engineering**. 604-614. Georgia
Institute of Technology, New York.

WOODS, K.B., BERRY, D.S., GOETZ, W.H., (1960). **Highway Engineering Handbook**.
28-52. Mc Graw-Hill Book Company, New York.

YILDIRIM, B., (1984). **Yol İnşaatı**. 4-190. Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Elazığ.