

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

EREĞLİ DEMİR ÇELİK FABRİKASI CÜRUFUNUN
ASFALT BETONUNDA KULLANILMASI

Ekrem Tolga SOMUNKIRAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ELAZIĞ , 2005

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**EREĞLİ DEMİR ÇELİK FABRİKASI CÜRUFUNUN
ASFALT BETONUNDA KULLANILMASI**

Ekrem Tolga SOMUNKIRAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

Bu tez, 15 / 07 / 2005 tarihinde, aşağıda belirtilen jüri tarafından oybirliği / oy 2005/224
çokluğu ile başarılı / başarısız olarak değerlendirilmiştir.

Danışman

Y.Doç.Dr.Taner ALATAŞ

Jüri Üyesi

Y.Doç.Dr.Perviz AHMEDZADE

Jüri Üyesi

Y.Doç.Dr. Servet YILDIZ

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**EREĞLİ DEMİR ÇELİK FABRİKASI CÜRUFUNUN
ASFALT BETONUNDA KULLANILMASI**

Ekrem Tolga SOMUNKIRAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

Bu tez ,/...../..... tarihinde, aşağıda belirtilen jüri tarafından oybirliği / oy
çokluğu ile başarılı / başarısız olarak değerlendirilmiştir .



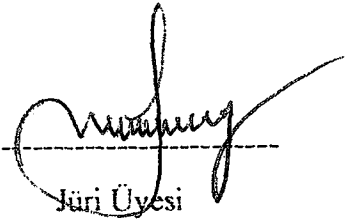
Danışman

Y.Doç.Dr.Taner ALATAŞ



Jüri Üyesi

Y.Doç.Dr.Perviz AHMEDZADE



Jüri Üyesi

Y.Doç.Dr. Servet YILDIZ

2005-21/15 Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 15..07.2005 tarih ve
...sayılı kararıyla onaylanmıştır.

TEŞEKKÜR

Bitümlü sıcak karışımlarda agregaya alternatif olarak Ereğli Demir Çelik Fabrikası Erdemir'in yan ürünü olan çelikhane cürufunun kullanılması konulu çalışmamda her türlü destek ve yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Y.Doç.Dr. Taner ALATAŞ'a, Sayın Arş.Gör.Baha Vural KÖK'e, Sayın Arş.Gör. Erkut Sayın' a ve Sayın Teknisyen Seyfettin ÇİÇEK'e çok teşekkür ederim.

Ekrem Tolga SOMUNKIRAN

Elazığ , 2005



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	I
TABLolar LİSTESİ	II
ŞEKİLLER LİSTESİ	III
SİMGELER LİSTESİ	IV
ÖZET	V
ABSTRACT	VI
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	3
3. KARAYOLU YAPISI ve ÖZELLİKLERİ	5
3.1. Ülkemizde Yolların Tarihçesi	5
3.2. Karayolu Yapısının Tanımı ve Özellikleri	6
3.2.1. Karayolu Altyapısı	8
3.2.2. Karayolu Üstyapısı	8
3.2.2.1. Alt Temel Tabakası	10
3.2.2.2. Temel Tabakası	12
3.2.2.3. Kaplama Tabakası	12
3.2.2.3.1. Binder Tabakası	13
3.2.2.3.2. Aşınma Tabakası	13
4. YOL ÜST YAPISINDA KULLANILAN MALZEMELER	15
4.1. Doğal Agregalar	15
4.1.1. Mineralojik Sınıflandırma	15
4.1.2. Gradasyon Sınıflandırması	15
4.1.3. Biçim Sınıflandırması	16
4.1.4. Yüzey Yapısı Sınıflandırması	16
4.1.5. Porozite Sınıflandırması	16
4.1.6. Yüzey Alanı ve Boşluk Sınıflandırması	16
4.1.7. Özgül Ağırlık Sınıflandırması	17
4.2. Cüruf Agregalar	17
4.2.1. Çelikhane Cüruflarının Dünyadaki Kullanım Alanları	17
4.2.2. Çelikhane Cüruflarının Karayollarındaki Kullanım Alanları	21
5. BETON ASFALT KAPLAMALAR	24
5.1. Asfalt Betonunda Kullanılacak Malzemeler	24
5.2. Asfalt Betonu Kaplama Yapımı	27
5.2.1. Yol Yüzeyinin Hazırlanması	27

	Sayfa
5.2.2. Asfalt Betonu Karışımının Hazırlanması ve Serilip Sıkıştırılması	27
6. BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIMLARIN DİZAYNI	29
6.1. Bitümlü Sıcak Karışım Analiz Yöntemleri	30
6.2. Agreganın Özgül Ağırlığı Bağlıları	30
6.3. Karışımın Maksimum Özgül Ağırlığı Tayini	31
6.4. Bitüm Absorbsiyonu	31
6.5. Kaplama Karışımının Efektif Bitüm Yüzdesi	32
6.6. Sıkıştırılmış Kaplama Karışımındaki V_{MA} Yüzdesi	32
6.7. Sıkıştırılmış Karışımındaki Hava Boşluğu ve Asfaltla Dolu Boşluk Yüzdesinin Hesaplanması	32
7. AGREGALARA UYGULANAN DENEYLER	33
7.1. İri Agreganın Özgül Ağırlık Deneyi	33
7.2. İnce Agreganın Özgül Ağırlık Deneyi	33
7.3. Mineral Fillerin Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi	34
8. BİTÜMLÜ BAĞLAYICIYA UYGULANAN DENEYLER	36
8.1. Penetrasyon Deneyi	36
8.2. Yumuşama Noktası Deneyi	36
8.3. Düktilite Deneyi	37
9. E.D.Ç.F. CÜRUFUNUN KİMYASAL ÖZELLİKLERİ	38
9.1. Kimyasal Analizler	38
9.2. Su Emme Analizi	39
9.3. Soyulma Dayanımı Deneyi	39
9.4. Yassılık İndeksi Deneyi	39
9.5. Donma Dayanımı Deneyi	40
9.6. Aşınma Dayanımı Deneyi	40
9.7. Hızlı Yaşlandırma Deneyi	40
9.8. Tekerlek İzi Oluşumunun Tayini	41
10. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	43
10.1. Marshall Metodu İle Karışım Dizaynı	43
10.2. Deneyde Kullanılan Aygıtlar	43
10.3. Deney Numunelerinin Hazırlanması	44
10.4. Agregalar Üzerinde Yapılan Deney Sonuçları	45
10.5. Bitümün Fiziksel Özellikleri	46
10.6. Deney Sonuçları Üzerinde Yapılan Hesaplamalar	47
10.7. Optimum Bitüm Yüzdesinin Bulunması	54
11. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	64

TABLOLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 3.1. Alt temel malzemelerinin cins ve kalınlıkları	8
Tablo 3.2. Alt temel malzemelerinin fiziksel özellikleri	11
Tablo 3.3. Alt temel tabakası gradasyon limitleri	12
Tablo 4.1 Çelikhane cüruflarının ülkelere göre 1 ton ham çelik üretimi başına oluşan miktarlarıyla kullanım oranları.	18
Tablo 4.2. Cürufların Gerçek Yol Testlerinde Kullanımı	23
Tablo 5.1. Aşınma tabakası için gradasyon limitleri	24
Tablo 5.2. Binder tabakası için gradasyon limitleri	25
Tablo 5.3. Kaba agreganın özellikleri	25
Tablo 5.4. İnce agreganın özellikleri	26
Tablo 9.1 E.D.Ç.F. Çelikhane Cürufunun Kimyasal Analizi	38
Tablo 9.2 Kaba Agreg, İnce Agreg ve Fillerin özgül ağırlık ve su emme analiz sonuçları	39
Tablo 9.3. E.D.Ç.F Çelikhane Cürufunun Soyulma, Donma, Aşınma Dayanımı ve Yassılık İndeksi Değerleri	40
Tablo 10.1. Asfalt betonu dizayn karakterleri	45
Tablo 10.2. Çalışmada kullanılan Erdemir çelikhane cürufunun fiziksel özellikleri	45
Tablo 10.3. Çalışmada kullanılan Taşkığı Ocağı agregasının fiziksel özellikleri	45
Tablo 10.4. Çalışmada kullanılan cüruf ve agreganın gradasyon değerleri	46
Tablo 10.5. Bitümün Fiziksel Özellikleri	46
Tablo 10.6. Marshall Stabilesi düzeltme faktörleri	49
Tablo 10.7. Tamamı Cüruf malzemedan oluşturulmuş numunelerin Marshall proje değerleri	50
Tablo 10.8. Tamamı Cüruf malzemedan oluşturulmuş numunelere ait optimum bitüm yüzdesi	54
Tablo 10.9. Tamamı Cüruf malzemedan optimum bitüm yüzdesinde oluşturulmuş numunelerin Marshall proje değerleri	55
Tablo 10.10. Optimum bitüm yüzdesindeki kalkerli numunelerin Marshall proje değerleri	57
Tablo 10.11. E.D.Ç.F. çelikhane cürufu ve kalker ile hazırlanmış optimum bitüm yüzdesindeki fiziksel özellikler	58
Tablo 10.12. Cürufu numuneler uygulana indirekt çekme deneyi sonuçları	61
Tablo 10.13 Kalkerli numunelere uygulanan indirekt çekme deneyi sonuçları	61

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 3.1. Tipik bir karayolu enkesiti	7
Şekil 3.2. Karayolu üst yapısını oluşturan tabakalar ve kalınlıkları	9
Şekil 3.3. Tipik bir esnek üstyapı karot numunesi	14
Şekil 4.1. 2000 Yılı Avustralya Cüruf Üretim ve Kullanımı Miktarları	20
Şekil 4.2. 2001 yılında ABD’de Çelikhane Cürufu Kullanım Alanları ve Oranları	21
Şekil 9.1. Doğal agrega ve çelikhane cüruflarının tekerlek izi deney sonuçları	42
Şekil 10.1. Cüruf numuneleri için Bitüm % - Boşluk Oranı % ilişkisi	51
Şekil 10.2. Cüruf numuneler için Bitüm % - Pratik Özgül Ağırlık ilişkisi	51
Şekil 10.3. Cüruf numuneler için Bitüm % - Bitümle Dolu Boşluk Oranı İlişkisi	52
Şekil 10.4. Cüruf numuneler için Bitüm % - Stabilitelilik ilişkisi	52
Şekil 10.5. Cüruf numuneler için Bitüm % - Akma ilişkisi	53
Şekil 10.6. Cüruf numuneler için Bitüm % - Agregalar Arası Boşluk % ilişkisi	53
Şekil 10.7. E.D.Ç.F. Cürufu ve Kalker numunelerinin optimum bitüm yüzdesindeki boşluk Oranları	58
Şekil 10.8. E.D.Ç.F. Cürufu ve Kalker numunelerinin optimum bitüm yüzdesindeki bitümle dolu boşluk oranları	59
Şekil 10.9. E.D.Ç.F. Cürufu ve Kalker numunelerinin optimum bitüm yüzdesindeki Stabiliteleri	59
Şekil 10.10. E.D.Ç.F. Cürufu ve Kalker numunelerinin optimum bitüm yüzdesindeki birim hacim ağırlıkları	60
Şekil 10.11. E.D.Ç.F. Cürufu ve Kalker numunelerinin optimum bitüm yüzdesindeki akma değerleri	60
Şekil 10.12. Cüruf ve Kalker numunelerinin farklı hava boşluğundaki rijitlik değerleri	62
Şekil 10.13. Cüruf ve Kalker numunelerinin farklı hava boşluğundaki indirekt çekme değerleri	62
Şekil 10.14. Cüruf ve Kalker numunelerinin farklı hava boşluğundaki sünme değerleri	63

SİMGELER LİSTESİ

G_{sh} =Agrega karışımının hacim özgül ağırlığı (gr/cm³)

G_{sz} =Agrega karışımının zahiri özgül ağırlığı (gr/cm³)

G_{sc} =Agrega karışımının efektif özgül ağırlığı (gr/cm³)

P_1 =Karışımdaki kaba agreganın ağırlıkça yüzdesi

P_2 =Karışımdaki ince agreganın ağırlıkça yüzdesi

P_3 =Karışımdaki fillerin ağırlıkça yüzdesi

G_1 =Kaba agreganın hacim özgül ağırlığı (gr/cm³)

G_2 =İnce agreganın hacim özgül ağırlığı (gr/cm³)

G_3 =Fillerin hacim özgül ağırlığı (gr/cm³)

G_4 =Kaba agreganın zahiri özgül ağırlığı (gr/cm³)

G_5 =İnce agreganın zahiri özgül ağırlığı (gr/cm³)

G_6 =Fillerin zahiri özgül ağırlığı (gr/cm³)

P_a =Agreganın yüzdesi olarak bitüm oranı

P_b =Karışımın yüzdesi olarak bitüm oranı

P_{ba} =Absorbe edilen bitüm agreganın ağırlıkça yüzdesi olarak

P_{be} =Efektif asfalt miktarı, karışımın ağırlıkça yüzdesi olarak

G_b =bitümün özgül ağırlığı (gr/cm³)

D_t =Bitümlü karışımın boşluksuz maksimum özgül ağırlığı (gr/cm³)

D_p =Pratik özgül ağırlık (gr/cm³)

V_{MA} =Agregalar arası boşluk yüzdesi

V_h =Toplam hacim yüzdesi olarak sıkıştırılmış karışımdaki hava boşluğu

V_f =Asfaltla dolu boşluk yüzdesi

K =Tamamı kalker kökenli malzemeden oluşturulmuş numune karışımı

B =Tamamı bazalt kökenli malzemeden oluşturulmuş numune karışımı

KB =İnce agregası kalker, kaba agregası bazalt kökenli malzemeden oluşturulmuş numune karışımı

BK = İnce agregası bazalt, kaba agregası kalker kökenli malzemeden oluşturulmuş numune karışımı

D =Dane boyutu

k =Katsayı (0,0134)

R_h =Menisküsün üst seviyesinde hidrometre okuması.

t =Okuma süresi

P =Alınan numuneye göre geçen dane yüzdesi

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

EREĞLİ DEMİR ÇELİK FABRİKASI CÜRUFUNUN ASFALT BETONUNDA KULLANILMASI

Ekrem Tolga SOMUNKIRAN

FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI
2005

Bu çalışmada, bitümlü sıcak karışımlarda kullanılan agreganın yerine demir çelik üretiminde yan ürün olarak açığa çıkan Ereğli Demir Çelik Fabrikası (E.D.Ç.F.) çelikhane cürufunun kullanılabilirliği araştırılmıştır. Atıl olarak stok sahalarında depolandığı için ekonomik açıdan faydalanılamadığı gibi çevre kirliliğine de sebep olan demir çelik cürufunun asfalt betonunda kullanılarak değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Erdemir’de yılda yaklaşık 300.000 ~ 350.000 ton olarak açığa çıkan çelikhane cürufunun karayollarında asfalt agregası olarak kullanımı için gerekli özellikleri taşıyıp taşımadığını belirlemek amacıyla karakterizasyon çalışmaları yapılmıştır. Karayolları Genel Müdürlüğü Fenni Şartnamesi tarafından Binder Tabakası için verilen Tip II gradasyonu ortalama limitlerine göre E.D.Ç.F. çelikhane cürufu ile hazırlanmış Marshall biriketleri üzerinde Marshall stabilite ve indirekt çekme deneyleri yapılmış; aynı deneyler Adapazarı Taşkısığı taş ocağından alınan kalker kökenli malzeme ile tekrarlanarak elde edilen veriler karşılaştırılmıştır. Sonuçta E.D.Ç.F. çelikhane cürufunun kaplamanın optimum bitüm oranına ve diğer fiziksel özelliklerine etkisi incelenmiş ve cürufun agregası olarak kullanıma elverişli olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Asfalt betonu, Çelikhane Cürufu, Agregası, Marshall, Gradasyon, Bitüm

ABSTRACT

Master's Thesis

USE OF EREGLI IRON AND STEEL FACTORY SLAG IN THE ASPHALT CONCRETE

Ekrem Tolga SOMUNKIRAN

FIRAT UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

2005

At this thesis, use of steel making slag emerged as a waste product at the iron and steel manufacturing had been sought instead of aggregate used at the hot bituminous mixture. Iron and steel slag which is not benefit from economically because of storing inactive at the stock areas, also making environmental pollution, had been aimed to evaluate using at the asphalt concrete. Steel making slag emerging approximately 300.000-350.000 tones per year at Erdemir, had been studied characterization to determine whether having enough characteristic using as a asphalt aggregate at the highways. Marshall stability and indirect tensile testing had been made at the Marshall briquettes which are preparing Type II gradation average limits giving for Binder layer from technical certification of General Directorate of Highways, the same tests were repeated with the limestone material from quarry Taskisigi, Adapazari, and data had been compared. In conclusion, the effect of steel making slag had been examined to the optimum bitumen rate and other physical characteristic of plating and had been concluded to using slag as a aggregate was suitable.

Key Words: Asphalt Concreteu, Steel Slag, Agregate, Marshall Stability, Gradation, Bitumen

1. GİRİŞ

Ulaşım; insanların ve eşyaların yararlı olduğu varsayılan belirli amaca yönelik yer değiştirmeleridir. Bu yer değiştirmelerin sağlanması da "Ulaştırma" olarak tanımlanır. [1]

Günümüzde hızlı nüfus artışı, ekonomik kalkınma ve yaşam standartlarının yükselmesi ülkelerdeki ulaşım talebini artırmış; bu artış bir yandan mevcut ulaşım yapılarının bakım ve onarım giderlerini düşürmeye yönelik çalışmaları, diğer yandan da yeni ve rantabl ulaşım sistemlerinin hayata geçirilmesi yönündeki çalışmaları zorunlu kılmıştır.

Ulaştırma sistemleri; karayolu, denizyolu, havayolu ve demiryolu olarak sınıflandırılabilir. Karayolu ulaştırması, tüm dünyada ulaşım talebinin karşılanmasında önemli rol oynar. Globalleşme yolunda atılan koşar adımlar, daha hızlı ulaşım imkanı sağlayan alternatif sistemlere yönelimleri tetiklese de ülkemiz için bu durumun geçerli olduğu pek fazla söylenemez. Bugün hâlâ karayolu ulaşımacılığı ülkemiz ulaşım sistemlerinin açık ara lideridir. Özellikle de kent içi ulaşımında ilk kurulum maliyetleri daha fazla, tesis ediliş süreleri daha uzun olan metro ve hafif raylı sistemlere karşı karayolu ulaştırması tercih görmektedir.

Yapımı ve kullanımı her ne kadar ekonomik olsa da standartlara uygun yapılmayan yollar ileride bakım masrafları açısından oldukça önemli maliyetlere sebep olmaktadır.

Doğal kaynakların tüketilmesinin önüne geçilmesi ve yeniden kullanımlarının artırılmasına olan ihtiyaç modern dünyamızın önemli bir sorunu olmaya başlamıştır. Özellikle demir çelik endüstrisinde yılda yaklaşık 870 milyon ton çelik üretilirken, 400 milyon ton yan ürün, katı atık ve çamurun ortaya çıktığı tahmin edilmektedir. Çelik üretiminde ortaya çıkan oldukça fazla miktardaki bu atıkların mümkün olduğunca yeniden kullanılması için yoğun çalışmalar yapılmakta ve bu çalışmalar yasalarla desteklenip teşvik edilmektedir. Burada son yıllarda artarak gelişen çevre bilinci ve duyarlılığının da önemli rolü olmuştur.

Erdemir'de yılda yaklaşık olarak 300.000 ~ 350.000 ton çelikhane cürufu açığa çıkmakta ve bunun büyük bir kısmı kullanılmamakta, atık sahalarında stoklanmaktadır. Bu atıkların yeniden kullanılmasının ülkemiz ekonomisine sağlayacağı faydalar ve çevre kirliliğinin önlenmesi açısından yapacağı katkılar ortadadır. [2]

Erdemir çelikhane cüruflarının karayollarında asfalt agregası, demiryollarında balast malzemesi, beton üretiminde agrega yerine kullanımına uygun özellikleri taşıyıp taşımadığının belirlenebilmesi için karakterizasyon çalışmaları yapılmış ve bu çalışmalar cürufların belirtilen uygulama alanlarında kullanımının olumlu sonuçlar verebileceği düşüncesini doğurmuştur.

Karayollarında farklı kaplamalar kullanılmakla birlikte konfor açısından en iyi kaplama olarak kabul edilen asfalt betonu, sıcak bitümlü yol kaplamasıdır. Asfalt betonu kaplamalar, iri ve ince agrega, filler ve bitümün plentlerde 140-160 °C sıcaklıkta karıştırılıp düzgün bir tabaka halinde serilip sıkıştırılarak elde edilen bir yol üstyapısıdır. Asfalt betonu kaplamalarda

ağırlıkça %93-96 arasında agregâ mevcut olmaktadır. Bu nedenle agregâ granûlometrisi asfalt betonu kaplamalarda önemli bir faktördür. Agregâ granûlometrisi, asfalt betonunun fiziksel özelliklerine (stabilite, akma, boşluk oranı vb.) ve bitüm oranına etki etmektedir.

Bu tez çalışmasında bitümlü sıcak karışımlarda kullanılan agregâ yerine çelikhane cürufu kullanılmasının, kaplamanın fiziksel özelliklerine ve indirekt çekme değerine etkisi araştırılmıştır. Doğal agregalı karışım ile kıyaslama yapabilmek için deneyler kalker kökenli malzemeyle tekrarlanmıştır. Çalışmada, Ereğli Demir Çelik Fabrikası'ndan (E.D.Ç.F.) temin edilen çelikhane cürufu ve Adapazarı Taşkırsığı taş ocağından temin edilen agregâ ile Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından Yollar Fenni Şartnamesi'nde verilen Binder tabakası Tip II gradasyonuna uygun, optimum bitüm muhtevasında hazırlanmış numuneler kullanılmıştır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Asfalt kaplamalarda kullanılan agreganın tip ve gradasyonunun kaplamanın fiziksel özellikleri üzerine etkisi pek çok araştırmaya konu edilmiştir. Bu konuda yapılan literatür taramasında aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

Al-Hourani M. A. ve Khedaywi S. T 1989 yılında asfalt kaplama karışımlarının dayanıklılıklarını artırmak için polimer ve kalker tozu katkılı karışımların performansını incelemişlerdir. Bu çalışmada, Ürdün'ün kuzeyindeki Al-Hüsn taş ocağında bulunan kalker kökenli agreganın karışımı, tek tip asfalt çimentosu ve iki tip katkı (polimer ve kalker tozu) kullanılmıştır. Her katkı için binder hacminin % 0, 5, 10, 15 ve 20'si olmak üzere 5 konsantrasyon hazırlanmıştır. Bu katkıların kaplama karışımlarının dayanımına etkisini tespit etmek için Marshall deneyi, indirekt çekme deneyi ve kohezyon deneyi uygulanmıştır. Bu deneyler sonucunda numunelerin Marshall özellikleri, indirekt çekme gerilmesi ile katkılı ve katkısız kohezyon değerleri belirlenmiştir. Deney sonucunda binder hacminin % 15'ine erişinceye kadar, polimer yüzdesi arttıkça Marshall stabilite değeri, çekme gerilmesi ve kohezyon değerinin arttığı daha sonra bu değerlerin azaldığı görülmüştür. Bu sonuç karışıma katılacak optimum polimer miktarının % 15 olduğunu göstermiştir. Çalışmanın bir diğer sonucunda da karışıma eklenen % 10 oranındaki kalker tozunun yukarıda adı geçen özelliklere ait değerleri düzelttiği gözlenmiştir. Bu iki sonucun karşılaştırılmasıyla da polimer katkılı karışımların kalker tozu katkılı karışımlara göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.[3]

Morisson R. 1974 yılında Batı Virjinya'da yaptığı çalışmada, katı yakıtlı kazanlardan çıkan cürufu dere malzemesinin karıştırılarak ince tabakalı asfalt kaplamalarda kullanımının uygun olduğu sonucunu ortaya koymuştur. Boyutları 12,7 mm ilâ 50,8 mm arasında olan (1/2 ~ 2 inch) %50 oranında katı yakıtlı kazan cürufu, %39 dere kumu, %3 uçucu kül ve %8 oranında asfalt çimentosu kullanılarak hazırlanan karışımın, ağır kamyon trafiğinin olmadığı yerlerde 10 seneden daha uzun süre yapısal değişikliğe uğramadan hizmet edebildiği gözlenmiştir.[4]

Yıldırım B, Kuloğlu N ve Akyiğit M.'nin Ocak 1993'te İMO Teknik Dergisi'nde yayınlanan çalışmalarında Ergani Bakır İşletmeleri cürufunun bitümlü sıcak karışımlarda agreganın kullanılması incelenmiştir. Bu çalışmada bakır cürufu laboratuvarında konkasörle kırılarak istenen boyutlara getirildikten sonra cüruf üzerinde, aşınma, donma-çözülme, özgül ağırlık, su emme ve soyulma deneyleri yapılmıştır. Daha sonra Marshall stabilite metodu ile karışım dizaynı yapılmış ve çıkan sonuçlar şartname kriterleri ile karşılaştırılarak sunulmuştur. Deney sonuçlarına göre bakır cürufunun sıcak bitümlü karışımlarda agreganın kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. [5]

Güngör M. Eylül 1996'da yaptığı çalışmasında, Afşin-Elbistan uçucu külünün asfalt betonu kaplamalarda kullanılmasını incelemiştir. Bitümlü karışımlarda filler malzeme olarak kullanılan taş tozu ve portland çimentosunun yanı sıra, Afşin-Elbistan termik santralinin bir yan ürünü olan uçucu külün de yer alabileceği düşünülmüş; bu amaçla fenni şartnamelere uygun olarak hazırlanan numunelere Marshall deneyi uygulanmıştır. Sonuç olarak Afşin-Elbistan termik santralinin bir yan ürünü olan uçucu külün diğer filler malzemesi gibi esnek yol kaplamalarında kullanılabileceği kanısına varılmıştır. [6]



3. KARAYOLU YAPISI VE ÖZELLİKLERİ

3.1. Ülkemizde Yolların Tarihçesi

Osmanlı İmparatorluğu'nun yükseliş döneminde ihtiyaca cevap verebilecek bir yol ağı geliştirilmiş ve bu yol ağı uzun süre korunmuştur. Ancak, İmparatorluğun son dönemlerinde, o zamana kadar başarılı olan yarı askeri özellikteki Karayolları organizasyonu, yolları ihmal etmeye başlamış ve yollar bakımsız kalmıştır. 1923 yılında kurulan Türkiye Cumhuriyeti 4 000 Km' si iyi durumda olan 18 350 km. yol ağı devralmıştır.

Cumhuriyetin ilk yıllarında ulaşımda, dönemin en çağdaş teknolojisi olarak kabul edilen demiryolu yapımı ağırlık kazanmış, ancak bir süre sonra demiryolunun tek başına yeterli olmadığı, sistemin ucundaki ulaşım için karayoluna da ihtiyaç olduğu görülerek, 1929 yılında Nafia Vekaleti (Bayındırlık Bakanlığı) içinde Şose ve Köprüler Reisliği kurulmuş ve çıkarılan yol kanunu ile karayolu yapım çalışmalarına hız verilmiştir.

İkinci Dünya Savaşından sonra karayolu çalışmalarında yeni bir atılıma ihtiyaç duyulmuştur. Karayolu atılımını işaret eden yıl 1948'dir. Öyle ki 1948, kazma kürek ve insan gücüne dayanan çalışma döneminden makineli çalışma dönemine geçiş yılıdır.

Karayolu yapımında makineli döneme geçişle birlikte devlet ve il yollarında ucuz, süratli ve kademeli yapılacak bir sistemin uygulanmasına başlanılmış ve mevcut yolların envanteri çıkarılarak Türkiye'nin ulaşım ihtiyacını karşılayacak bir yol ağı belirlenmiştir. Ayrıca, üzerinde önemle durulan bir nokta da, bu çalışmaların belli bir plan ve program çerçevesinde yürütülmesi olmuştur.

Tüm bu etkinliklerin dinamik bir kuruluş tarafından çağdaş yöntemlerle yönlendirilmesi gereğinden hareketle, 1 Mart 1950'de Karayolları Genel Müdürlüğü kurulmuş; böylece yeni karayolu politikasıyla birlikte, Karayolları Genel Müdürlüğü'ne bağlı yurt çapına dağılmış bölge teşkilatları oluşturulmuştur. Makineli çalışmayı yürütmek için gerekli olan makine parkı sağlanmış, personel eğitimine ağırlık verilerek planlama, etüt proje, yapım ve bakım çalışmaları hız kazanmıştır.

Cumhuriyetimizin kurulduğu ilk yıllardan 1960'lı yıllara kadar geçen süreçte ilke edinilen "tekerlek dönsün" anlayışından, daha sonra kaliteli yol yapımı anlayışına geçilmiş ve dünyada üst yapıda görülen bütün yenilikler, ülkemizde de uygulanmaya başlanmıştır. (Birinci Dünya Savaşından ve otomobil endüstrisinin doğuşundan sonra dünyada, özellikle 1920 yıllarına doğru, yol yüzeyinin düzgünlüğünün öneminin arttığı görülür. Yol yüzeylerinde tozun önüne geçme çareleri aranmış, çözümlerin bulunması bitümlü kaplama tekniğinin gelişmesine ışık tutmuştur. Tozla mücadele ve aşırı yol ondülasyonlarından kaçınma düşüncesi ile birlikte,

günün ve geleceğin trafik şartları göz önüne alınarak yol temellerinin dingil yüklerine göre hesaplanmasına ve böylece daha nitelikli yolların yapımı yönünde araştırmalara başlanmıştır.)

Ülkemizde yapılan asfalt kaplama çeşitleri, bitümlü sathi kaplama, soğuk karışım asfaltlı kaplama ve bitümlü sıcak karışım (asfalt betonu) kaplama olarak üçe ayrılmaktadır.

Asfalt kaplamanın başladığı ilk yıllardaki (1960'lı yıllar) bitümlü sathi kaplama, günümüz karayolu anlayışında artık yeterli görülmemektedir. Bunun yerine gelişmenin ve modernleşmenin de bir sembolü olarak değerlendirilen bitümlü sıcak karışımla kaplı asfalt yollar tercih edilmektedir. Bitümlü sıcak karışımın ilk andaki maliyetinin fazla olmasıyla birlikte sürücüye sağladığı konfor ve trafiğe verdiği uzun süreli hizmet (Proje hesaplarına göre 20 yıl) göz önüne alındığında, bu farkın fazla olmadığı ve hatta zaman zaman daha ekonomik olduğu görülmektedir. İyi bir karayolu ağının sağladığı ulaşım kolaylığının, o ülkenin kalkınmasındaki payı da oldukça önemlidir.

Türkiye’ de Karayolları Genel Müdürlüğü sorumluluğunda otoyol, devlet yolları, ve il yolları olmak üzere 5659 km uzunluğunda asfalt betonu kaplamalı yol bulunmaktadır. 2006 yılı sonunda 12738 km uzunluğa ulaşılması hedeflenmektedir. [7]

3.2. Karayolu Yapısının Tanımı ve Özellikleri

Karayolu; yapısı önceden belirlenen geometrik standartlara uygun olarak saptanmış olan bir güzergah boyunca, doğal zeminin istenilen yükseltilere getirilebilmesi ve üzerinde motorlu taşıtların istenilen hız, güvenlik ve konfor koşullarında hareketlerinin sağlanabilmesi amacıyla inşa edilen yapıların tümü olarak tanımlanabilir. [8]

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

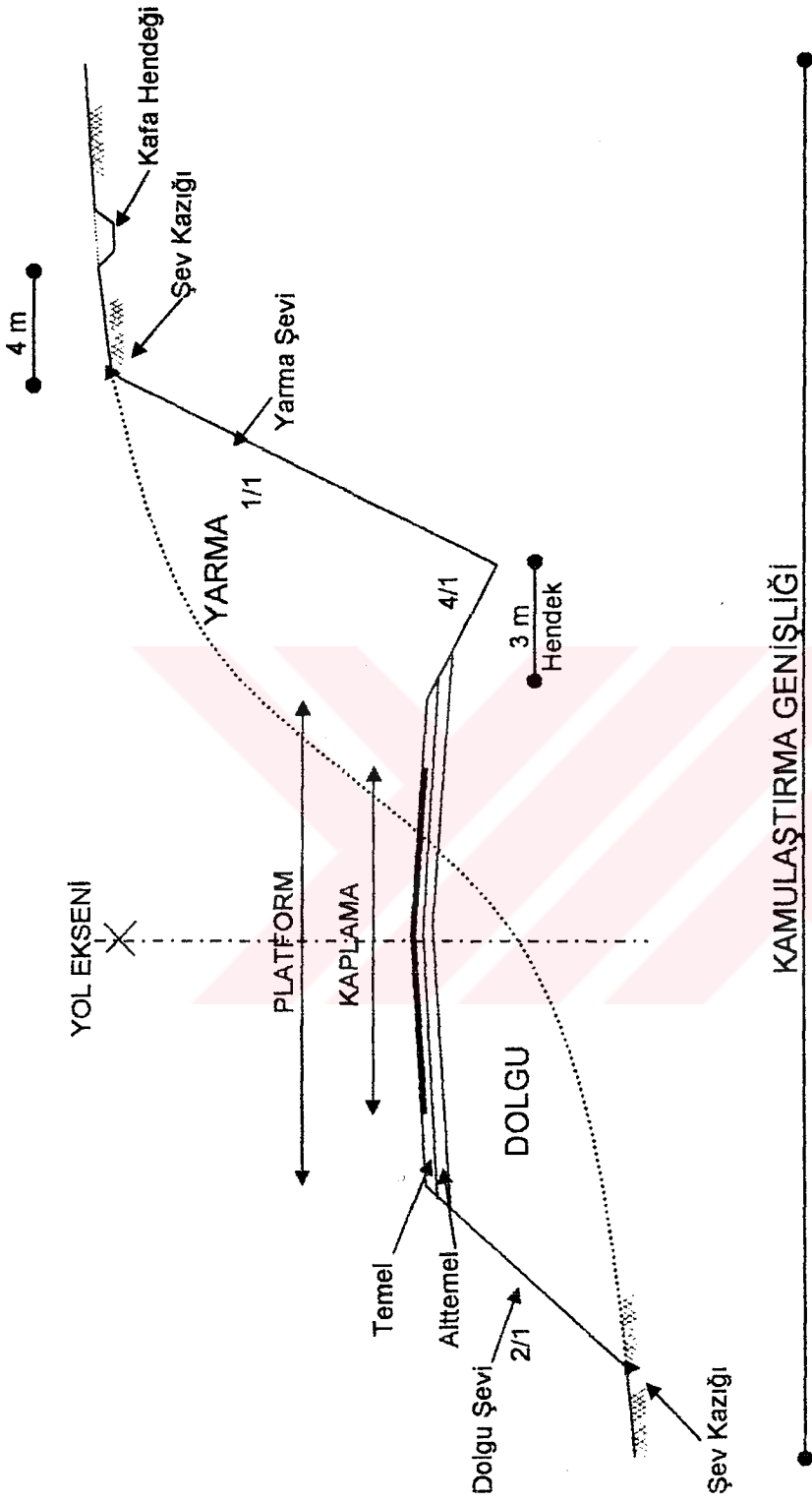
a) Alt yapı çalışmaları :

Alt yapı, yolun toprak işleri, büz, menfez, istinat duvarı vb. sanat yapısı çalışmalarını içerir. Köprü (alt ve üst geçitler de dahil) yapımı da alt yapı çalışmaları kapsamındadır.

b) Üst yapı çalışmaları :

Toprak işi seviyesinin bitiminden sonra yapılan alttemel, temel ve asfalt tabakaları ile özel durumlarda yapılan beton kaplama veya parke kaplama işleri, üst yapı çalışmalarına girmektedir. Günümüzün karayolu anlayışında her türlü oto korkuluk yapımı, düşey ve yatay işaretleme de üst yapı çalışmalarına dahil edilmektedir.

Karayolu yapısına ait tipik bir enkesit Şekil 3.1’ de verilmiştir. [8]



Şekil 3.1. Tipik karayolu enkesiti [8]

3.2.1. Karayolu Altyapısı

Yolun, toprak işi sonunda, daha önceden saptanan kot ve enkesit şekline getirilmiş durumuna altyapı denir. [9]

Yapımı tamamlanmış bir karayolunda, tesviye yüzeyi ile doğal zemin çizgisi arasındaki 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. [10]

Menfez, drenaj sistemleri ve istinat duvarı gibi sanat yapıları da altyapı içine girer. Altyapı, yolun esas taşıyıcı kısmıdır. Ancak yolun taşıyıcılık görevini iyi şekilde yapabilmesi için üzerine başka tabakaların da inşa olunması zorunluluğu vardır.

Altyapının görevleri; istenilen kotta düzgün bir yüzey sağlamak, üst yapı tarafından iletilen yükleri daha geniş bir alana yaymak ve az da olsa yolu dış etkilere korumaktır. Bu görevleri yerine getirebilmesi için; trafik yüklerine, don ve su etkilerine karşı dayanıklı olması gerekir. Altyapının oluşturulmasında; bitkisel toprak ve çürük zemin kullanılmamasına özen gösterilmelidir. Bu nedenle alt yapıyı oluşturan zemin özelliklerinin çok iyi etüt edilmeleri gerekmektedir. [1]

3.2.2. Karayolu Üstyapısı

Yolun, trafik yüklerini taşımak ve bu yükü taban zemininin taşıma gücünü aşmayacak şekilde taban yüzeyine dağıtmak üzere alt yapı üzerine inşa olunan ve temel altı (alt temel), temel, kaplama tabakalarından oluşan kısma üst yapı denir. [1]

Doğal zeminden meydana getirilen altyapı üzerine serilen ve genelde kırmataş, kum, çakıl, kil gibi malzemelerden oluşturulan tabakaya alt temel tabakası adı verilir. Kaplama ile temel altı tabakası arasına yerleştirilen ve trafiğin doğrudan temas etmediği doğal kum, çakıl, kil ve bitüm karışımları gibi malzemelerden oluşan tabaka ise temel tabakası olarak adlandırılır.

Üst yapılar, kaplama tabakasında kullanılan malzemelerin türlerine, niteliklerine ve yapım yöntemlerine göre rijit ve esnek üst yapılar olarak iki ana sınıfa ayrılır. Trafiğe, taban zeminine, çevre şartlarına ve ekonomik faktörlere bağlı olarak en uygun üst yapı tipi seçilir.

Temel altı (alt temel) tabakası tesviye yüzeyi üzerine serilen ve genellikle kum, çakıl, taş kırığı, yüksek fırın cürufu gibi taneli malzemelerden (granüler malzeme) inşa olunan tabakadır. Su ve don tesirlerine karşı tampon vazifesi görür. Temel tabakasının kalınlığının azaltılmasını sağlar. Böylelikle maliyeti düşürür.

Kaplama tabakası altındaki temel tabakası; sıkıştırılmış, bağlayıcısız yada bir bağlayıcı madde ile işlem görmüş olan belirli granülometrideki malzemeden oluşur. Ana görevi üst

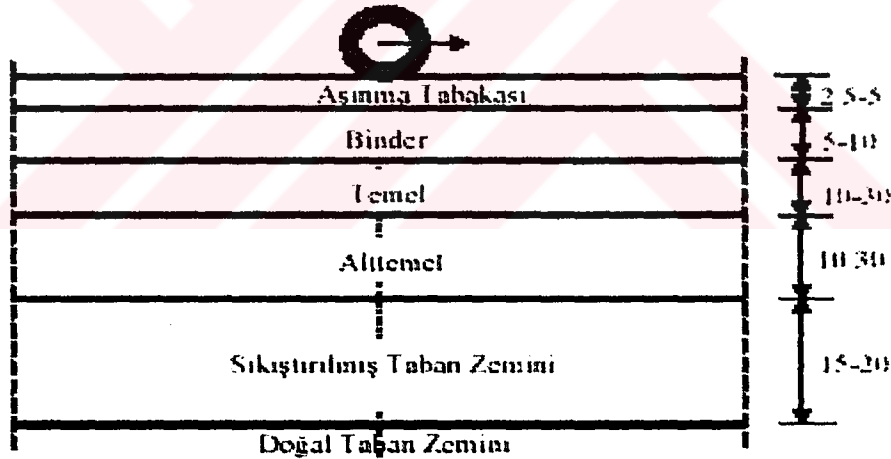
yapının yük taşıma kabiliyetini arttırmaktır. Ayrıca trafik hareketlerinden doğan kayma gerilmelerine karşı koyabilecek, drenaja yardımcı olabilecek ve don olaylarına karşı da koruma sağlayabilecek nitelikte olmalıdır.

Kaplama: taşıtlara uygun bir yuvarlanma yüzeyi sağlamak, trafiğin aşındırma etkilerine karşı koymak ve yol alt yapısına sızan suya karşı geçirimsizlik sağlamak amacıyla temel tabakası üzerine inşa edilen bir tabakadır. Trafiğin ve iklim koşullarının aşındırıcı etkilerine maruz kalan kısım aşınma tabakasıdır. Trafik yoğunluğunun ve ağır taşıt trafiğinin fazla olduğu yollarda aşınma tabakasının altına binder tabakası yapılır.

Yol gövdesinin üst yapısını oluşturan temel altı, temel ve kaplama tabakalarının kalınlıkları, yoldan geçecek olan trafiğin miktarı ve cinsine, taban zeminin karakterine, iklim koşullarına ve diğer bazı faktörlere göre değişiklik gösterir.

Üstyapılar: kaplama tabakasında kullanılan malzemelerin türlerine, niteliklerine ve yapım yöntemlerine göre rijit ve esnek kaplamalar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Taban zeminine, trafiğe, çevre şartlarına ve ekonomik faktörlere bağlı olarak en uygun üstyapı tipi seçilir.[11,12]

Şekil 3.2'de karayolu üstyapısını oluşturan tabakalar ve kalınlıkları gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Karayolu üst yapısını oluşturan tabakalar ve kalınlıkları [13]

Rijit üst yapı, çimento betonu ile yapılan kaplamalarla oluşturulur. Yol kaplaması olarak betonun görevi, trafik yüklerini tabana iletmek ve bu sırada tabanın deforme olmasını önlemektir. Beton, çekme mukavemeti düşük, basınç mukavemeti yüksek bir malzemedir. Bir beton kaplamanın davranışı, dökülen beton tabakalarının yanı sıra, kaplama altına serilen temel

ve alt temel tabakaları ile mevcut taban zemininin özelliklerine bağlı olarak değişir. Bu nedenle projelendirme sırasında; taban zemini, temel ve alt temel malzemeleri; betonu oluşturan kum, çakıl, çimento ve betonarme demiri gibi malzemelerin özelliklerinin çok iyi incelenmesi gerekmektedir.

Ülkemizde beton yollar inşa süresinin uzun olmasından kaynaklanan yapım zorluğu, iklim şartlarının çok ağır olması ve yapım maliyetlerinin yüksekliğinden dolayı tercih edilmemektedir.

Bitümlü kaplama tabakaları ile oluşturulan üstyapılara ise esnek üstyapı denir. Esnek üstyapı; tesviye yüzeyi ile sıkı bir temas sağlayan ve trafik yüklerini, kaplama, temel ve alt temel tabakaları vasıtasıyla taban zeminine dağıtan bir üstyapı şekli olup; stabilitesi, adezyon, dane sürtünmesi ve kohezyon gibi kullanılan agrega ve bitümlü bağlayıcının özelliklerine bağlıdır.

Türkiye karayollarında esnek üstyapı tipi uygulanmaktadır. Yüzeysel kaplama yolun kabul edilen hizmet süresi boyunca geçecek olan, ortalama günlük ağır ticari taşıt sayısı saatte çift yönde 500'den küçük veya proje süresince tek yönde toplam standart dingil yükü (8,2 ton) sayısı $2 \cdot 10^6$ 'dan az olan yollarda uygulanmalıdır. Yüzeysel kaplamalı yollarda proje süresi 10 yıldır. Toplam standart dingil sayısı $2 \cdot 10^6$ - $3 \cdot 10^6$ arasında olan yollarda ise sıcak karışım kaplama gerekmektedir. Ekonomik koşulların elvermediği durumlarda ise proje ömrü kısa tutularak çift kat yüzeysel kaplama uygulanabilir. Ancak standart dingil yükü sayısı $3 \cdot 10^6$ dan daha büyük olan yollarda ise asfalt betonu kaplamalar ekonomik olmaktadır. [1]

3.2.2.1. Alt Temel Tabakası

Alt temel; taban yüzeyi ile temel tabakası arasına yerleştirilen, sıkıştırılmış daneli malzeme veya uygun bir bağlayıcı malzeme ile stabilize edilmiş malzeme tabakasıdır.[11]

Zeminlerin don kabarması veya şişme ve büzülme gibi hacim değişimlerine karşı koymak, kaplama altında gerekli drenajı sağlamak, kaplamanın taşıma gücünü artırmak vb. nedenlerden ötürü kaplamaların en altında alt temel tabakası yapılır. Alt temel tabakası üstteki tabakalara nazaran daha az gerilmelere maruz kalacağından daha düşük kaliteli fakat dren kabiliyeti yüksek ve yeterince stabil olan granüler malzemelerden yapılmaktadır.[14]

Alt temel tabakası yol üstyapısında üniform ve stabil dayanıklılık sağladığından hem serbestçe suyu süzer, hem de erozyona karşı direnir. Bundan dolayı ek yerlerinden, çatlaklardan suyu çekmeye direnmelidir. Aksi takdirde pompaj olayı meydana gelir. Erozyon ve pompaj olayından sonra çatlak veya derz yerleri altında malzeme kaybı oluşabilir ve yol üstyapısını oluşturan tabakalarda boşluk meydana gelebilir. Bu olay daha fazla çatlak oluşmasına, derz yerlerinin bozulmasına sebep olup yol üstyapısının dayanıklılığını kaybetmesine yol açar.[15]

Minimum alt temel kalınlığı 20 cm olmalıdır.[11] Alt temelde kullanılacak malzemelerin kalınlıkları Tablo 3.1' de; malzemelerin fiziksel özellikleri Tablo 3.2' de; ayrıca granülometri limitleri Tablo 3.3' de verilmiştir

Tablo 3.1. Alt temel malzemelerinin cins ve kalınlıkları.[16]

Malzeme Cinsi	Minimum Kalınlıklar (cm)
Çakıl ve kırma taş	20
Mekanik stabilizasyon	20
Çimento ile stabilizasyon (I. ve II. sınıf yollarda)	15-18
Bitümle stabilizasyon (I. ve II. sınıf yollarda)	15-18
Kireç ile stabilizasyon (I. ve II. sınıf yollarda)	15-18

Tablo 3.2. Alt temel malzemelerinin fiziksel özellikleri.[16]

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 (max %)	T-89	1900	25
Plastisite İndeksi (max %)	T-90	1900	6

Tablo 3.3. Alt temel tabakası gradasyon limitleri. [16]

Elek Boyutu		
mm	İnç veya Elek No	% Geçen
75	3"	100
37,5	1,5"	85-100
9,5	3/8"	45-100
4,75	No.4	25-85
0,475	No.40	7-40
0,075	No.200	0-12

3.2.2.2. Temel Tabakası

Kaplama ile temel altı tabakası arasına yerleştirilen ve doğal kum, çakıl, kırmataş ile içerisinde az miktarda bağlayıcı ince malzeme bulunan tabakadır.

Temel tabakası üstyapının ana yapısal elemanlarından biridir. Alt temel ve tabana gelen basınç gerilmelerini kabul edilebilir seviyeye düşürmesi ve belirli bir esneklik sağlayarak kaplamanın kırılmasını önlemek gibi işlevleri vardır.

Temel tabakası, karayolu hareketi ile kaplama tabakasından gelen yükleri ve meydana gelen ilave ek yükleri karşılamaktadır. Bu özelliğinden dolayı yol üstyapısına gelen yüklerin dağılımında önemli rol oynar ve yol üstyapı tabakası kalınlığının önemli bir kısmını oluşturur.[17]

Bu bakımdan temel tabakası belirli özellikleri olan iyi kaliteli malzemeden teşkil edilmelidir. Temel tabakası olarak granüler kırmataş, plentmiks kırmataş, penetrasyon makadam, asfaltlı makadam, sıcak karışım bitümlü temel veya çimentolu bitümlü temel tiplerinden biri kullanılabilir.[11]

Gradasyon, kaplamanın stabilitesi, drenajı ve don duyarlılığı gibi özellikleri üzerinde en etkin olan faktördür. Yoğun gradasyonlu bir temel tabakası maksimum stabilizeyi ama açık gradasyonlu bir temel tabakası ise maksimum drenajı ve don direncini temin eder. Dolayısıyla hem yoğun hem de dren kabiliyeti yüksek olan optimum bir gradasyon sayesinde yüksek stabilize ve yüksek dren kabiliyeti özelliklerinin her ikisi de aynı anda sağlanacaktır. [14]

3.2.2.3. Kaplama Tabakası

Kaplama tabakası, üstyapının trafik yüklerine doğrudan maruz kalan en üst tabakasıdır. 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 tabakası suya karşı geçirimsizlik sağlayarak yolu bozulmalardan koruduğu gibi; yazın toz, kışın çamur gibi konfor bozucu etkileri de önler ve yol yüzeyini düzelterek konforun artmasını sağlar. Ayrıca kaplama tabakasının kalınlığı arttıkça yolun direnci artar. Temel tabakalarına iletilen basınç ve kayma gerilmeleri azalır. [11]

Kaplama tabakası; bitümlü karışımlar, beton veya parke taş gibi kaplamalardan yapılabilir. Amaç düzgün ve pürüzsüz bir yuvarlanma yüzeyi oluşturmaktır. Bitümlü kaplamalar bir veya birkaç tabaka halinde inşa olunur. En üstteki bulunan tabakaya aşınma tabakası, bunun altındaki tabakalara da binder tabakası denir. [18]

3.2.2.3.1. Binder Tabakası

Kaplama tabakası içerisinde, aşınma tabakası altında bulunan katmandır. Aşınma tabakasına göre iri agregaları daha çoğunluktadır.

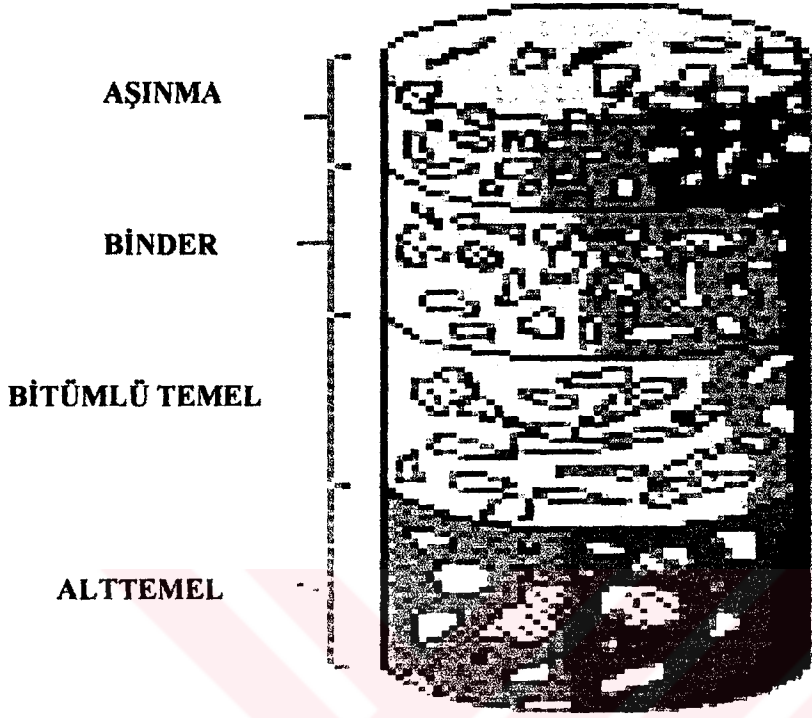
Yol yüzeyine yapılacak kaplama 5-6 cm' den kalın yapılacak ise bu kaplamanın iki tabaka halinde dökülmesi daha uygun olacaktır. Bu tabakalardan altta bulunan binder tabakası daha az bağlayıcı bitüme sahiptir ve aşınma tabakasına bir temel oluşturma niteliğindedir.

Kaplamanın iki tabaka halinde inşa edilmesi, hem bitüm sarfiyatını azaltacak, hem de iki kat halinde sıkıştırılan kaplamanın daha dayanıklı olmasını sağlayacaktır. Ancak işçilik ve zaman açısından iki kat kaplama yapılması zor olduğundan sıcak bitümlü kaplamalar, trafiği az olan yollarda özellikle de şehir içi yollarda tek tabaka halinde yapılmaktadır. [19]

3.2.2.3.2. Aşınma Tabakası

Aşınma tabakası, yolun araç tekerlekleriyle temas eden üst kısmıdır. Asfalt betonu kaplamalarda, ince ve filler malzeme oranları binder tabakasına göre fazladır.

Eğer kaplama yapılacak tabakanın fazla kalın yapılmaması gerekiyorsa (2-6 cm) yapılan kaplama genelde aşınma tabakası olacak şekilde dizayn edilir ve tek tabaka halinde serilip sıkıştırılır. Binder tabakasına göre bağlayıcısı daha fazla olan aşınma tabakası, seyir konforu açısından pürüzsüz bir şekilde inşa edilir. Tipik bir esnek üstyapı karot numunesi Şekil 3.3' de gösterilmiştir. [20]



Şekil 3.3. Tipik bir esnek üstyapı karot numunesi [20]

4. YOL ÜSTYAPISINDA KULLANILAN MALZEMELER

Yol üst yapısı; kaplama, temel ve alt temelden oluşur. Kaplamalar rijit ve esnek olmak üzere iki çeşittir. Bu tabakalarda temel malzeme olarak agrega ve bitüm kullanılmaktadır.

Bağlayıcısız temel ve alt temel tabakalarının tamamı, bitümlü sıcak karışımların ise ağırlıkça %90-95' i ve hacimce %80-85' i agrega tarafından sağlanır. Hem kaplamanın stabilitesine olan büyük katkısı, hem de çok büyük miktarda gereksinim duyulmasından dolayı agrega önemli bir yol malzemesidir. [19]

4.1. Doğal Agregalar

Agregalar; mineralojik, gradasyon, biçim, yüzey yapısı, porozite, yüzey alanı ve boşluk oranı, özgül ağırlık özelliklerine göre sınıflandırılabilirler. [19]

4.1.1. Mineralojik Sınıflandırma

Dere malzemesi (kum-çakıl), sahip olduğu olumsuz özelliklerinden dolayı alt temel hariç yollarda kullanılmazlar. Ancak dere malzemesinin konkasörlerde kırılması suretiyle elde edilen kırma çakıl ve kırma kum, kaplama yapımında kullanılabilir.

Püskürük kayalar, mağmanın soğuması ile oluşurlar ve kristal bünyelidirler. Çok sert bir yapıya sahip ve porozlukları genel olarak düşüktür.

Tortul kayalar, ya daha önceden mevcut kayaların aşınması sonucu oluşan ve suda erimeyen granüler malzemenin çok defa suda çökmesi sonucu; ya da deniz hayvanlarının organik olmayan atıklarının büyük ölçüde deniz tabanlarında birikmesinden oluşur. Pek ender olarak da criyik içinde erimiş minerallerin kristalize olmasından meydana gelirler.

Mctamorfik (başkalaşım) kayalar, püskürük ve tortul kayaların zaman içinde yüksek basınç ve ısı etkisiyle mineralojik ve dokusal değişime uğraması ile oluşmuşlardır. [19]

4.1.2. Gradasyon Sınıflandırması

Gradasyon, agrega yığını oluştururan tanelerin boyutlarına göre dağılımını ifade eder. Agregalar aşağıda belirtilen boyutlara göre sınıflandırılırlar:

- a) Kaba agrega: No.4 (4,76 mm) eleğin üzerinde kalan kısım.
- b) İnce agrega : No.4 elekten geçen ve No.200 (0,075 mm) üzerinde kalan kısım
- c) Filler : No.200 elekten geçen kısım. (en az % 65 ' i No.200 elekten geçen mineral taş tozu veya taş unu)

Karışımındaki agrega gradasyonu, karışımın stabilite ve işlenebilirlik özelliğini belirler. Genel olarak; karışımındaki maksimum boyut 1'' (25,4 mm)' den fazla ise işlenebilirlik

zorlaşırken yoğunluk ve stabilite artmaktadır. Belirli bir karışım için maksimum dane boyutu ve belirli boyuttaki danelerin ağırlıkça miktarlarının belirli limitler dahilinde olması şartnameler ile ngrlr. Ancak maksimum dane boyutu arttıkça işlenebilirlik ve sıkışma zorlaşır, segregasyon artar, boşluk miktarı azalır, agrega danelerinin toplam yüzeyi azalır, yoğunluk ve stabilite artar ve bağlayıcı ihtiyaı azalır. [19]

4.1.3. Biçim Sınıflandırması

Agrega danelerinin biçimleri; yol kaplamalarında kullanılan karışımların sıkışma direnci, işlenebilirlik, yoğunluk, stabilite, içsel kilitlenme ve sürtünme açısı ile kayma mukavemeti ve CBR zelliklerine etki eder. [19]

4.1.4. Yüzey Yapısı Sınıflandırması

Agregaların yüzey yapısı, danelerin pürüzlülük veya cilalılık durumunu ifade eder. Eğer agrega danelerinin yüzey pürüzlülüğü fazla ise işlenebilirlik azalmakta fakat içsel sürtünme açısı, stabilite, kayma mukavemeti ve asfalt ile adezyon kuvveti artmaktadır. Ancak buna karşın agreganın boşluk hacmi, sıkışmaya karşı direnci ve diğradasyon (orijinal gradasyonun bozulması) gibi olumsuz özellikleri de artmaktadır. Bu nedenle, agrega yüzey yapısı agregadan beklenen özelliklere önemli ölçüde etki eder. [19]

4.1.5. Porozite Sınıflandırması

Agrega danelerinin porozitesinin (veya su emme yeteneğine sahip boşlukların miktarı) belli miktarda olması gerekir. Yeterli poroziteye sahip agrega daneleri bitümün emilmesine olanak sağlayacağından; agrega ile bağlayıcı film tabakası arasında kuvvetli bir adezyon oluşturarak stabilitenin artmasına ve suyun etkisi ile film tabakasından soyulmaların azalmasına imkan sağlamaktadır. Ancak aşırı poroz agregaların zgl ağırlıklarının az olması yoğunluğun ve stabilitenin düşük olmasına neden olmaktadır. [19]

4.1.6. Yüzey Alanı ve Boşluk Sınıflandırması

Agrega danelerinin sahip oldukları yüzey alanlarının toplamı ile agrega daneleri arasındaki boşlukların toplamı, bağlayıcısız veya bağlayıcılı karışımların tüm özelliklerine doğrudan etki eden önemli faktörlerdir. Toplam yüzey alanı ile toplam boşluk hacmi gradasyon, maksimum dane çapı, dane biçimi gibi özelliklere bağlıdır. Agregada dane çapı küçüldükçe toplam yüzey alanı ve boşluk hacmi önemli ölçüde artar. [19]

4.1.7. Özgöl Ağırlık Sınıflandırması

Karışım hesapları için agregaların özgöl ağırlıklarının bilinmesi gerekir. Agreganın zahiri (görünür) özgöl ağırlık, hacim özgöl ağırlığı veya kuru özgöl ağırlık ve doymuş kuru yüzey özgöl ağırlık olmak üzere üç farklı özgöl ağırlığa sahiptir. [14]

4.2. Cüruf Agregalar

Çelikhane cürufu, çelik üretimi esnasında çelik içerisindeki empüritelerin oksidasyonu sonucu oluşan oksit ve silikatların oluşturduğu kompleks bir kimyasal yapıya sahip, metalik olmayan yan ürünler olarak tanımlanmaktadır. Cüruflar farklı metalürjik proseslerin ürünleri olabilmektedir. Bazı oksijen fırınlarında (BOF, Konvektör) yapılan çelik üretiminde açığa çıkan cüruflar BOF cürufları, elektrikli ark ocağında (EAF) yapılan üretimde açığa çıkan cüruflar ise EAF cürufları olarak adlandırılmaktadır. Erdemir’de çelik üretimi bazı oksijen fırınlarında yapılmaktadır. Bu nedenle çelikhane cüruflarından BOF cürufları kastedilmektedir.

Bazı oksijen proseslerinde sıcak maden, hurda ve cüruf yapıcılar (kireç, dolomitik kireç) konvertöre şarj edilir. Daha sonra konvertör içerisine daldırılan bir lans aracılığı ile yüksek basınçta oksijen üflenir. Üflenmiş oksijen, şarjdaki empüritelerle birleşir. Bu empüriteler karbon (CO gazı olarak) Si, Mn, P ve bir miktar Fe’dir. (Sıvı oksitler halinde) Kimyasal reaksiyonlar sonucu oluşan bu oksitlerden sıvı halde olanlar kireç ve dolomitik kireç ile birleşerek cürufu oluştururlar. İşlem bitiminde sıvı çelik bir potaya dökülürken, oluşan cüruf sıvı halde, yaklaşık olarak 1100 – 1500 °C’ de özel cüruf potalarına boşaltılarak taşınmakta ve stok sahalarında soğumaya bırakılmaktadır. Bir ton çelik üretiminde yaklaşık olarak 100 – 150 kg (%10 - %15) cüruf oluşmaktadır.

Çelikhane cüruflarının yaklaşık yarısı kireç (CaO) olup geri kalanı sıcak maden ve hurdadaki elementlerin oksitlerinden meydana gelmektedir. Yaklaşık olarak %15 - %20 FeO içermektedirler.

Fiziksel olarak çelik cürufları, koyu gri renkte tane şekli köşeli ve yüzeyi pürüzlü bir görünüme sahiptirler. Yüksek fırın cürufuna kıyasla çok sert ve dayanıklıdır. Özgöl ağırlıkları ise %20 - %25 daha büyüktür. [2]

4.2.1. Çelikhane Cüruflarının Dünyadaki Kullanım Alanları

Dünyada çelikhane cüruflarının değerlendirilmesi amacıyla yapılan birçok bilimsel araştırma mevcuttur. Bu araştırmalar sonucunda çelikhane cüruflarının özellikle karayollarında ve demiryollarında, çimento sanayinde, tarımda ve cüruf yünü imalatında, konvansiyonel

malzemelerin yerine kullanılabileceğinin teknik ve ekonomik açıdan mümkün olduğu vurgulanmıştır.

Günümüzde çelikhane cüruflarının farklı uygulama alanlarında maksimum miktarlarda kullanılması için yoğun çabalar sarf edilmektedir. Bunlara ABD'deki Chaparrel Çelik şirketinin "Cemstar" prosesi ile cüruf kullanılarak çimento üretimi uygulaması, Sumitama Kawasaki Yaşlandırma Prosesi (SKAP) ile cürufların stabilizasyonu için hızlı yaşlandırılması örnek olarak verilebilir. [21] Tablo 4. 1' de bazı ülkelerdeki çelikhane cüruflarının birim ham çelik üretimi başına oluşan miktarları ile kullanım oranları verilmiştir.

Tablo 4.1 Çelikhane cüruflarının ülkelere göre 1 ton ham çelik üretimi başına oluşan miktarlarıyla kullanım oranları. [21]

ÜLKELER	Cüruf (kg)	Kullanımı (%)
AVUSTRALYA	135 - 187	80 - 100
KANADA	103 - 250	40 - 100
ALMANYA	103	96
JAPONYA	96 -155	90 - 100
ABD	70 - 170	60 - 100
HİNDİSTAN	200	25

Kullanım alanları her bir ülke ve tesisin özel koşullarına göre değişebilmektedir. Örneğin Çin'de çimento sektöründe, Japonya ve Avustralya'da karayollarında, Güney Kore'de sisteme geri döndürülerek yüksek fırın ve sinter proseslerinde kullanılması şeklindedir.

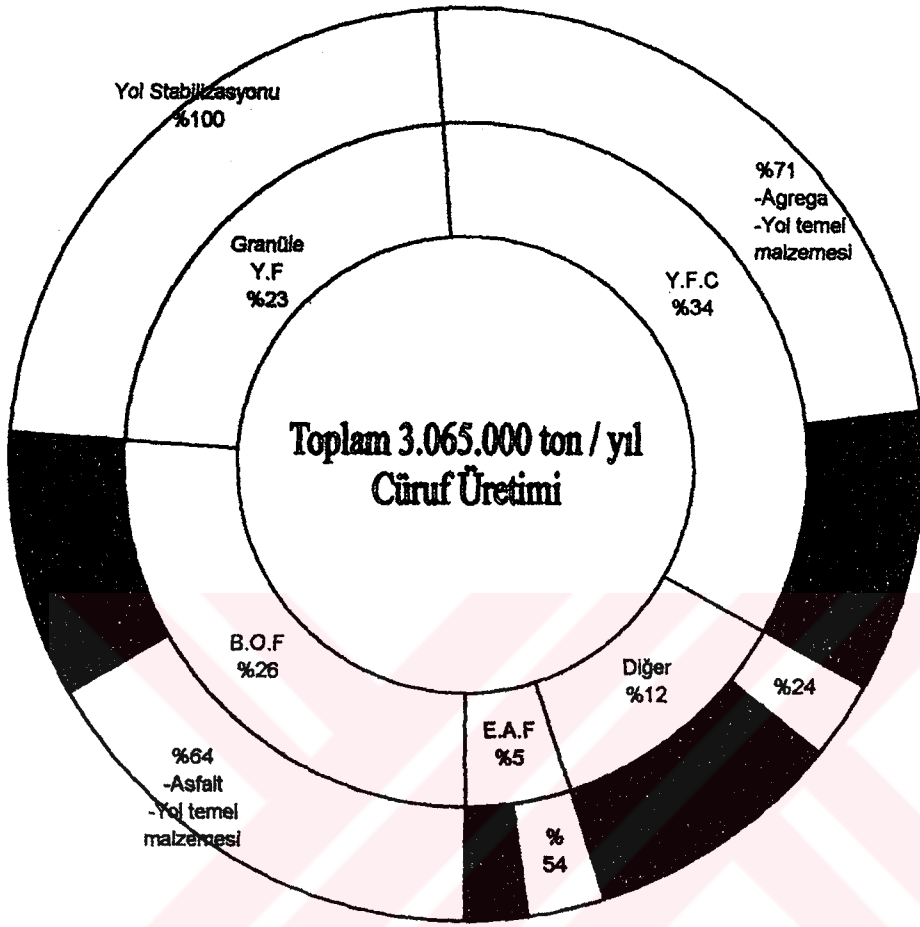
Avrupa'da ise gübre olarak tarımda, toprak iyileştirilmesinde ve yüksek fırın prosesinde kullanım alanı bulmaktadır. Hindistan'da kullanım miktarlarının en üst seviyelere çıkarılması için çalışmalar devam etmektedir. Mevcut durumda yüksek fırın ve sinter tesislerinde kullanılmakta, tren yollarında, karayollarında, arazilerin ıslah edilmesinde kullanımına ilişkin olumlu sonuçlar alınmış; çimento sektöründe de kullanımlarının ekonomik olduğu belirlenmiştir. [21]

Temel ve temel altı malzemesi, toprak set, dolgu, anayol banketleri ve sıcak asfalt karışımları uygulamalarında agrega olarak çelik cürufunun kullanımı artık standart bir uygulama haline gelmiştir. Bu alanlarda kullanılmadan önce, uygulama alanına ilişkin özellikleri sağlaması amacıyla çelik cürufları kırılarak elenmelidir. Hidratasyonun sebep olduğu genleşmeyi önlemek amacıyla yaşlandırma prosesi uygulanmalıdır. Çelikhane cürufları, serbest

kireç ve bazı nadir elementler içerdüğinden toprağın koşullandırılmasında da kullanılabilir. [2]

Avustralya ve Yeni Zelanda'da 2000 yılında 3,065,000,000 ton cüruf üretilmiştir. 1990 yılında Avustralya cüruf birliğinin kurulmasıyla bu ülkede cürufların farklı uygulama alanlarında kullanım miktarları artmıştır. Avustralya'da üretilen çelik cürufunun %64 'ü yol temel malzemesinde ve asfaltta kullanılmaktadır. Şekil 4.1 de 2000 yılı Avustralya cüruf üretim ve kullanımı miktarları; Şekil 4.2 de 2001 yılında ABD'de çelikhane cürufu kullanım alanları ve oranları gösterilmiştir. [2]

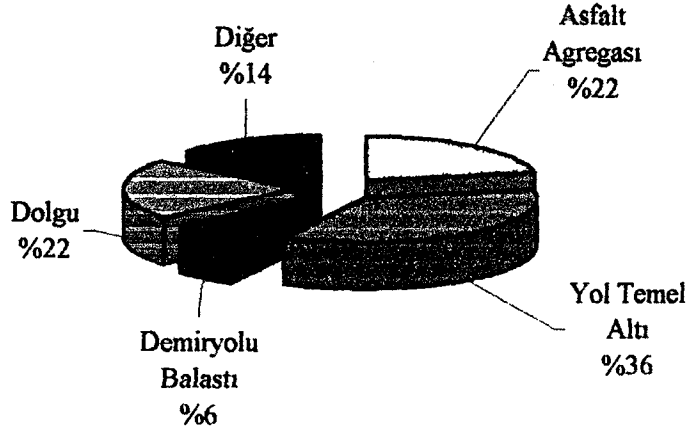




BOF: Bazik Oksijen Fırını Cürufu
YF: Yüksek Fırın Cürufu
EAF: Elektrikli Ark Ocağı Cürufu

* Kırmızı Bölgeler Kullanılmayan Cüruflardır.

Şekil 4.1. 2000 Yılı Avustralya Cüruf Üretim ve Kullanımı Miktarları [2]



Şekil 4.2. 2001 yılında ABD’de Çelikhane Cürufu Kullanım Alanları ve Oranları [2]

4.2.2. Çelikhane Cüruflarının Karayollarındaki Kullanım Alanları

Çelikhane cürufu çok yoğun ve sert bir malzemedir. Uygun tane boyutuna kolaylıkla kırılabilmektedir. 200 kN dolayında yaş mukavemet değeriyle mükemmel bir agregadır. Düşük Los Angeles aşınma değerine ve yüksek kayma kararlılığına sahiptir. Bu cüruftan üretilen agregalar bitüm ile kuvvetli bir şekilde bağlanabilmektedirler. İçermiş oldukları az miktardaki kireç nedeniyle mükemmel soyulma dayanımlarına sahiptirler. Doğal agregalarınkine oranla yüksek kayma (patinaj) dirençleri ve dayanıklı yapısı, çok uygun özellikte asfalt agregası olarak kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Tekerlek izi direncinin yüksek olması, çelik cürufunun yoğun trafiğin olduğu kavşaklarda ve durma zonlarında kullanımının artmasına neden olmuştur.

Çelikhane cürufu kullanılarak asfalt üretilmesinin avantajları şu şekilde sıralanabilir:

- Stabilitelerinin yüksek olmasından dolayı bazı durumlarda daha ince asfalt döşenmesine imkan sağlamaktadır
- Kararlılıkları, sertlikleri ve iyi bağlanma özellikleri kaliteli asfalt üretilmesini mümkün kılmaktadır.
- Cüruf agregalarının köşeli bir yapıda olması ve böylece tanelerin birbirlerine daha sıkı kenetlenebilmeleri cürufu asfaltların tekerlek izi oluşum dirençlerini artırmaktadır.

- Yüksek kayma (patinaj) direncine sahip olmaları nedeniyle yolların güvenliği artmaktadır
- Cüruf agregalarının bitüm ile kuvvetli bağ oluşturabilme özelliğinden dolayı soyulma direnci yüksek asfalt üretilebilmektedir.
- Cüruf tanelerinin dayanımlarının yüksek olması ve tanelerin birbiriyle çok iyi kenetlenebilmeleri yüksek sıcaklık koşullarında bile asfaltın kalıcı deformasyon direncini artırmaktadır.
- Bünyelerinde daha uzun süreyle ısıyı tutabilmektedirler. Bu özellikleri asfalt döşeme ve sıkıştırma işlemleri için avantaj oluşturmaktadır. Çünkü sıcak asfaltın döşenmesi ve sıkıştırılması soğuk asfalta nazaran çok daha kolaydır.

Çelikhane cüruflarının asfalt agregası olarak kullanılmasının bu avantajlarının yanı sıra, kullanımlarını sınırlayan bazı dezavantajlarının olduğu da ileri sürülmüştür. Bunlar, özgül ağırlıklarının yüksek olmasından dolayı nakliye maliyetlerinin klasik agregalarınkinden yaklaşık %20 daha pahalı olması ve serbest kireç içerdiklerinden potansiyel hacimsel genleşme problemlerinin olmasıdır. Ancak çok uygun fiziksel özelliklerinden dolayı daha kaliteli ve uzun ömürlü asfalt üretimine imkan sağlamaları taşıma maliyetlerinde artışı kompanse edebilmektedir. Potansiyel hacimsel genleşme problemleri ise, cürufta bulunan kirecin hidratasyonu amacıyla uygun yaşlandırma prosesinden geçirilmesiyle çözülebilmektedir. Yaşlandırma prosesi stok sahalarında cürufların atmosferik koşullarda bir süre bekletilmesi şeklinde yapılmaktadır. Bu süre genellikle 6 aydır. Ancak buharlı yaşlandırma prosesinin daha kısa sürelerde oldukça etkili bir yöntem olduğu belirlenmiştir. Ayrıca kirecin hidratasyonu sonucu oluşan hacimsel genleşmenin asfalt kaplamalarında önemli bir problem teşkil etmediği ileri sürülmektedir. Bunun nedeni cüruf agregalarının bitüme olan yüksek kimyasal ilgilerinden dolayı bitümün cüruf yüzeyini kaplayarak suyun taneler arasına girmesini engellemesidir. Suyun etkisi azaldığından hidratasyonun gerçekleşmesi zorlaşmaktadır. Ayrıca asfalt, düşük oranlarda oluşan genleşmeyi tolere edebilecek viskoelastik bir malzemedir. [22]

Yapılan araştırmalar çelikhane cüruflarının, granüle yüksek fırın cüruflarını aktive etmek amacıyla kireç kaynağı olarak kullanılabileceğini göstermektedir. Kaldırım temellerinde ve alt dolgu malzemesi olarak granüle yüksek fırın cürufu, çelikhane cürufu ve uçucu kül karışımının gelecek vaat ettiği belirtilmektedir. Çelikhane cüruflarının yaşlandırılması prosesi sonucu oluşan Ca(OH)_2 granüle yüksek fırın cürufunu ve uçucu külü aktive etmektedir.

Japonya'da yoğun, sert ve çakıla benzer şekliyle çelikhane cüruflarının uzun yıllardır agrega olarak kullanımına yönelik çalışmalar yapılmıştır. Çelikhane cürufunun genleşme özelliği tekrar kullanılmalarını sınırlarken, mineralojik özelliklerini saptamak ve genleşmeyi en

aza indirebilmek amacıyla Japonya'da geniş araştırma geliştirme çalışmaları yapılmıştır. Yapılan araştırmalarda çelikhane cürufların fiziksel özellikleri, bu özelliklerin zamanla değişimi, agrega olarak stabilizasyonu ele alınmıştır. Cüruflar kullanılarak yapılan ve 5.5 , 3 ve 1 yıldır kullanımda olan yollar incelenmiş sonuçlar Tablo 4.2'de gösterilmiştir. [2]

Tablo 4.2. Cürufların Gerçek Yol Testlerinde Kullanımı [2]

Cüruf Karışımı	Tane Boyutu (mm)	Alt Taban Kalınlığı (cm)	Son Durum
%70 Yüksek Fırın Cürufu %30 Bazik Oksijen Fırını Cürufu	0 -40	50	Yüzeyde Küçük Çatlak
Stabilize Bazik Oksijen Fırını Cürufu	0 - 40	25	Çatlak Yok
Yaşlandırılmış Bazik Oksijen Fırını Cürufu	0 - 13	25	Çatlak Yok
Yaşlandırılmış Bazik Oksijen Fırını Cürufu	0 - 25	25	Çatlak Yok
Yaşlandırılmış Bazik Oksijen Fırını Cürufu	0 - 13	25	Çatlak Yok
Taban : BOF	0 - 25	25	Çatlak Yok
Üst Tabaka : YFC	0 - 10	25	Çatlak Yok
%70 Yüksek Fırın Cürufu	0 - 10	25	Yüzeyde
%30 Bazik Oksijen Fırını Cürufu		50	Küçük Çatlak
Stabilize Bazik Oksijen Fırını Cürufu	0 - 10	30	Çatlak Yok

5. BETON ASFALT KAPLAMALAR

Elenmiş ve kırılmış kaba agregâ, ince agregâ ve mineral filler belli gradasyon limitleri arasında iş yeri karışım esaslarına uygun olarak, bitümlü bağlayıcı ile bir plentte karıştırılarak temel, bitümlü temel ile beton kaplamalar üzerine bir veya birden fazla kaplamalar halinde sıcak olarak oluşturulan kaplama şeklidir. [16]

En gelişmiş kaplama tipi olan beton asfalt; I. sınıf devlet yollarında, otoyollarda, havaalanı pistlerinde ve her çeşit iklim koşullarında kullanılmaktadır. [18]

5.1. Asfalt Betonunda Kullanılacak Malzemeler

Kullanılacak agregâ karışımı için gradasyon limitleri aşınma tabakası için Tablo 5.1 ve Tablo 5.2’ de verilmiştir.

İri agregâ danelerinin biçimlerinin, bu cins malzemenin karakteristikleri üzerine gayet önemli etkileri vardır. En uygun biçimli agregâ, daneleri küre veya küp şekline mümkün olduğu kadar yakın olmalıdır. İri agregâ danelerinin özellikleri Tablo 5.3’ de; ince agregâ özellikleri ise Tablo 5.4’ de verilmiştir.

Tablo 5.1. Aşınma tabakası için gradasyon limitleri. [16]

Elek Boyu	Tip1 (% Geçen)	Tip2 (% Geçen)	Tip3 (% Geçen)	Tip4 (% Geçen)
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	90-100
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

Tablo 5.2. Binder tabakası için gradasyon limitleri.[16]

Elek Boyu	Tip1 (% Geçen)	Tip2 (% Geçen)	Tip3 (% Geçen)
25 mm	100	100	100
19 mm	82-100	80-100	77-100
12,5 mm	68-87	63-81	59-77
9,5 mm	60-79	54-72	49-66
4,75 mm	46-65	40-58	34-52
2,00 mm	34-51	28-45	23-39
0,425 mm	17-29	14-25	12-22
0,180 mm	9-18	8-16	7-14
0,075 mm	2-7	2-7	2-7

Tablo 5.3. Kaba agreganın özellikleri.[16]

Özellikler	Deney Metodu	Hafif ve Orta Trafikli Yollar		Ağır Trafikli Yollar,Otoyollar, Tırmanma Şeritleri	
		Binder	Aşınma	Binder	Aşınma
Aşınma kaybı (Los Angeles) max %	TS 3694 ASTM C-131	35	35	35	30
Hava Tesirlerine Dayanıklılık (Na_2SO_4) max %	TS 3655 ASTM C-88	12	10	12	10
Kırılmışlık (En az iki yüzü) Ağırlıkça min %	-	60	60	100	100
Yassılık İndeksi max %	BS812	35	35	35	30
Cıalanma Değeri min %	BS812	-	0,50	-	0,50
Su Absorbsiyonu max %	TS 3526 ASTM C-127	2,5	2,5	2,5	2,0
Soyulma Mukavemeti min %	EK-A	50	50	50	50

Tablo 5.4. İnce agreganın özellikleri.[16]

Özellikler	Deney Metodu	Binder	Aşınma
Plastisite İndeksi max %	TS 1900	2	2
Organik Madde max %	TS 3673 (AASHTO T-194)	0-1 (Renk Skalası) (0,5)	Müsaade edilmeyecek

Yapıştırıcı bitüm tabakası için RC-1 ve RC-2 katbek asfaltları veya sulandırılmış RS-1 asfalt emülsiyonları kullanılabilir. Beton asfalt karışımında ise içinde su olmayan; temiz, homojen, bölge koşullarına bağlı olmak üzere AC 60-70 ve AC 75-100 penetrasyonlu asfalt çimentosu kullanılır.

Bağlayıcı malzemenin karakteri istenen stabilitenin sağlanması için uygun olmalıdır. Bağlayıcı çok çabuk sertleşmemelidir. Böylece kaplama iyi şekilde sıkıştırılır, karışım yoğun hale gelir. Yoğun bir karışım içerisinde hava kalmayacağından bağlayıcının oksitlenmesinden ileri gelen sertleşme bu tip karışımlarda geciktirilmiş olur.

Asfalt betonu kaplamaların sağlam temeller üzerine oturması gerekir. Bu nedenle genellikle penetrasyon makadam, beton yol veya aşınmış bir beton asfalt temel olarak seçilebilir.

Asfalt betonu işyeri karışım formülüne göre; agrega ile bağlayıcı, sabit karıştırma tesislerinde karıştırılarak elde edilir. (İşyeri karışım formülünde agrega ile bitümlü bağlayıcı toplam karışım %' leri, agreganın standart eleklerden toplam geçen %' leri, bitümlü bağlayıcının uygulama sıcaklığı sabit ve tek bir rakam olarak verilir.)

Karıştırma sıcaklığı ile ilgili daha önce yapılmış deneysel çalışmalarda 150-160 °C' de üretilen asfalt betonunun fiziksel değerlerinin AASHTO Yol Rehberi sınırları içerisinde kaldığı görülmüştür. Karışım, kaplama yerine vardığında sıcaklığında fazla bir düşme olmamalı, gerekirse taşıma sırasında üzeri örtülmelidir.

Karışım; projede gösterilen plana, boy kesit ve enkesite uygun olarak finişerlerle serilip tesviye edilir. Karışım henüz sıcak iken her bir tabaka homojen olarak silindirlerlenir. Silindirleme 8-10 ton ağırlığında çelik bandajlı veya bunlarla beraber yürüyen lastik tekerlekli silindirlerle yapılır. Silindirleme; alinyimanda kenardan ortaya doğru, deverli yerlerde kurba içinden başlayarak dışa doğru yapılır. Silindirleme, tekerlek izleri ortadan kalkıncaya ve maksimum teorik birim ağırlığın % 92' si oranında birim ağırlık sağlanıncaya kadar sürer. Silindir bandajların karışıma yapışmasını önlemek için bandajlar az su ile ıslatılır. Yeni yapılmış asfalt betonu kaplama tamamen soğuyup sertleşinceye kadar trafiğe kapalı tutulur.

Asfalt betonlarının bakımı ve onarımı; çukurlukların doldurulması, çatlakların kapatılması, yüzey dalgalanmalarının giderilmesi ve fazla bağlayıcı madde bulunan yağlı kısımların onarılmasıdır.

Yüzeyde görülen bir bozukluk, temel tabakası ve taban zeminine ait olan bir kusurdan ileri gelmiş ise yüzey tamirinden önce bu kusurun sebebinin giderilmesi gerekir. Bunun için önce tamir edilecek kısım işaretlenir ve eski kaplama sökülüp kaldırılır. Temelde gerekli düzeltme yapılır. Bundan sonra bitümlü kaplamada açılan deliğin yanları temizlenir, bu kısımlara sıcak asfalt sürülür. Tamir edilen yüzeyin küçük olması halinde silindir yerine el tokmağı kullanılır. Yalnızca kaplamada oldukça geniş bir alana yayılmış dağılma ve çukurlar varsa, bu durumda sadece kaplama sökülür ve yerine yeni kaplama yapılır.

Daha önemsiz ve küçük yüzey bozukluklarında yüzeyi ısıtmak yoluyla tamir yöntemi daha ekonomiktir. Isıtılan kaplamada yüzey yumuşayacağı için 1 – 4 cm' ye kadar kazılabilir. Kaplama istenilen derinliğe kadar yumuşatıldıktan sonra, ısıtılmış malzeme gelberi ve küreklerle çıkarılır ve kaplama henüz sıcak iken yeni malzeme konur. Yüzeyleri çok pürüzsüz hale geldiği için kayma tehlikesi gösteren kaplamaları düzeltme işinde de yüzeysel ısıtma yöntemi iyi sonuç verir. [11]

5.2. Asfalt Betonu Kaplama Yapımı

5.2.1. Yol Yüzeyinin Hazırlanması

Kaplama yapılacak yüzey önceden toz, toprak vb. yabancı maddelerden süpürülme suretiyle temizlenir. Eğer mevcut kaplama üzerine yeni bir kaplama yapılacaksa eski yüzeydeki onarımlar yapıp, süpürme işlemi bunun ardından gerçekleştirilir.

Temiz yol yüzeyine, bitümlü astar malzemesi homojen püskürtme yapan distribütörlerle metrekareye 0,5-2,5 litre arasında atılır. Asfalt malzemesinin türüne göre püskürtme sıcaklıkları da değişir. MC-30 için 25-50 °C; RT-1, RT-2 için 20-50 °C ve emülsiyon asfaltları için 20-70 °C olmalıdır.

Astar malzemesi atıldıktan sonra, kaplama yapımı için en az 24 saat beklenmeli ve yol bu esnada trafiğe kapalı tutulmalıdır. [16]

5.2.2. Asfalt Betonu Karışımının Hazırlanması ve Serilip Sıkıştırılması

Agrega ve bitüm şartnamedeki oranlar nispetinde karıştırıcıya nakledilir. Nakledilen agrega sıcaklığı 125-175 °C arasında, bitüm ise 125-165 °C arasında olmalıdır. Agregası ve

bitüm; karıştırma kazanında, bitümün agregaya üniform bir şekilde sarılmasını sağlayacak sürede karıştırılır ve nakledilmek üzere yükleme bölmesine gönderilir. Bu bölmeden araçlara doldurulan karışımın yola nakli sırasında karışımın ısı kaybetmemesi için branda örtü kullanılmalıdır. Karışımın iş yerine taşınması sırasında maksimum ısı kaybının 10 °C olması gerekir.

Sıcak karışımı taşıyan araç finişere yanaşıp karışımı boşaltır ve finişer vasıtasıyla karışım serilir. Bu esnada az miktarda da olsa sıkıştırılır. Finişerin seremediği yada eksik serdiği kısımlar işçiler tarafından düzeltilir. Gerçek sıkıştırma işlemine başlamakta gecikmemeli, karışım sıcaklığının en az 130 °C olmasına dikkat edilmelidir. Serilen malzemenin ısı 80 °C' ye düşene kadar sıkıştırma sonuçlandırılmalıdır. [16]

6. BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIMLARIN DİZAYNI

Asfalt kaplama dizaynında deney yöntemlerinin detaylarına çok dikkat etmek gerekir. Bunun bir anlamı da yazılı talimatları aynen uygulamaktır. Karışım dizayn deneyleri ile şartname talepleri arasındaki ilişki de iyi bilinmelidir.

Asfalt kaplama karışım dizaynında amaç; inşaat bitiminden sonra istenilen özellikleri sağlayacak malzemelerin seçimi ve karışım oranlarının belirlenmesidir. Asfalt kaplama karışım dizaynının amacı:

- Sağlam bir üst yapı elde etmek için gerekli asfalt miktarını,
- Trafik yükleri altında deformasyon göstermeyecek yeterlilikte karışım stabilitesini,
- Sıkıştırılmış nihai karışımında trafik tarafından oluşturulacak çok az miktardaki sıkışmaya; kuma , akma ve stabilite düşüklüğü olmaksızın imkan verecek; ancak karışım içinde rutubet ve fazla hava barındırmayacak ölçüdeki boşluğu,
- Segregasyona uğramaksızın uygun serimi sağlayacak bir işlenebilirliği,

verecek ekonomik bir karışım ve agrega gradasyonunun belirlenmesi olarak tanımlanabilir. [11]

Karışım dizaynları yapılırken genellikle birden fazla deneme karışımı hazırlanır ve dizayn metodunda belirtilen koşullara uyan karışım bulunur. Bu nedenle her bir deneme karışım bir sonra yapılacak deneye rehberlik teşkil eder. Agreganın sıcak karışıma uygunluğunun tahkiki amacıyla yapılan ön karışım dizaynlarında, agrega gradasyonu olarak şartnamenin ideal gradasyonu (şartname limitlerinin orta noktalarından geçen) tavsiye edilir. Ancak agrega üretiminden sonra işyeri karışım formülünün belirlenmesi amacıyla yapılacak dizayn çalışmalarında üretim elverdiği ve şartname limitleri içinde kalan bir agrega gradasyonu ile çalışılabilir. Eğer yapılan karışım değerleri istenilen dizayn kriterlerine uymuyorsa dizayn yenilenmelidir. Bu amaçla agrega gradasyonunun da yenilenmesi gerekir.

Birçok yapı malzemesi için mukavemet, kaliteyi belirleyen en önemli kriterdir. Ancak sıcak karışım asfalt kaplamalar için bu her zaman geçerli değildir. Aşırı derecede yüksek stabilite, bazen düşük durabiliteye sahip olabilecektir. Bu nedenle karışım dizaynları hazırlanırken sonuçta verilen agrega gradasyonu ile asfalt yüzdesinin stabilite ile durabilite arasında bir denge sağlandığının bilinmesi gerekir. Bunun ötesinde karışım üretimi pratik ve ekonomik olmalıdır.

Karışım dizayn metodu ve kriterleri, asfalt yapımı ile ilgili şartnamelerin en önemli kısmıdır. Genel karışım dizayn kriteri belirlendikten sonra diğer şartname koşulları çerçevesinde kalınarak, karışım dizayn metodu belirlenir. Marshall ve Hwemm metotları çok geniş ölçüde kullanılmış ve tatmin edici sonuçlar alınmıştır. [19]

6.1. Bitümlü Sıcak Karışım Analiz Yöntemleri [16]

1. Kaba agreganın (AASHTO T-85 veya ASTM C-127) ve ince agreganın (AASHTO T-84 veya ASTM C-128) hacim özgül ağırlıkları bulunur.
2. Asfalt çimentosunun (AASHTO T-228 veya ASTM D-70) ve mineral fillerin (AASHTO T-100 veya ASTM 854) özgül ağırlığı tayin edilir.
3. Agreg a karışımının özgül ağırlığı hesaplanır.
4. Gevşek kaplama karışımının maksimum özgül ağırlığı bulunur (ASTM D-2041) .
5. Sıkıştırılmış kaplama karışımının hacim özgül ağırlığı tayin edilir (ASTM D-1188 veya ASTM D-2726)
6. Agreganın efektif özgül ağırlığı tayin edilir.
7. Agreganın bitüm absorpsiyonu bulunur.
8. Kaplama karışımının efektif bitüm miktarı hesaplanır.
9. Sıkıştırılmış agreg a karışımı içindeki agregalar arasındaki boşluk yüzdesi bulunur.
10. Sıkıştırılmış kaplama karışımı içindeki hava boşluğu yüzdesi bulunur.
11. Sıkıştırılmış kaplama karışımının asfaltla dolu boşluk yüzdesi bulunur.

6.2. Agreg a Karışımının Özgül Ağırlık Bağıntıları

Agreg a karışımı her biri değişik özgül ağırlıklara sahip kaba agreg a, ince agreg a ve mineral fillerden oluştuğundan karışım agreg asının hacim, zahiri ve efektif özgül ağırlıkları hesaplanır.

$$G_{sh} = \frac{100}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \frac{P_3}{G_3}} \quad (6.1)$$

$$G_{sz} = \frac{100}{\frac{P_1}{G_4} + \frac{P_2}{G_5} + \frac{P_3}{G_6}} \quad (6.2)$$

$$G_{sh} = \frac{100}{\frac{100 + P_a}{D_t} + \frac{P_a}{G_b}} \quad (6.3)$$

G_{sh} = Agreg a karışımının hacim özgül ağırlığı

G_{sz} = Agreg a karışımının zahiri özgül ağırlığı

G_{se} = Agreg a karışımının efektif özgül ağırlığı

P_1 = Karışımdaki kaba agreganın ağırlıkça yüzdesi

P_2 = Karışımdaki ince agreganın ağırlıkça yüzdesi

P_3 = Karışımdaki fillerin ağırlıkça yüzdesi

G_1 = Kaba agreganın hacim özgül ağırlığı

G_2 = İnce agreganın hacim özgül ağırlığı

G_3 = Fillerin hacim özgül ağırlığı

G_4 = Kaba agreganın zahiri özgül ağırlığı

G_5 = İnce agreganın zahiri özgül ağırlığı

G_6 = Fillerin zahiri özgül ağırlığı

P_a = Agreganın yüzdesi olarak bitüm oranı

G_b = Bitümün özgül ağırlığı (gr/cm³)

D_t = Bitümlü karışımın boşluksuz maksimum özgül ağırlığı (gr/cm³) [19]

6.3. Karışımın Maksimum Özgül Ağırlığı Tayini

Her bir bitüm yüzdesindeki hava boşluğu hesaplanırken farklı bitüm yüzdelerindeki maksimum özgül ağırlığa ihtiyaç duyulur. [19]

$$D_t = \frac{100 + \frac{P_a}{G_{sh} + G_b}}{100} \quad (6.4)$$

6.4. Bitüm Absorbsiyonu

$$P_{ba} = 100 \times \frac{G_{se} - G_{sh}}{G_{sh} - G_{se}} \times G_b \quad (6.5)$$

P_{ba} = Absorbe edilen bitüm (agreganın ağırlıkça yüzdesi olarak) [19]

6.5. Kaplama Karışımının Efektif Bitüm Yüzdesi

Bu, toplam bitüm miktarının agregaların dışını kaplayan kısmıdır ve kaplama karışımının performansına etki edecek bitüm miktarıdır.

$$P_{be} = P_u - P_{ba} \quad (6.6)$$

P_{be} = Efektif asfalt miktarı (karışımın ağırlıkça yüzdesi olarak) [19]

6.6. Sıkıştırılmış Kaplama Karışımındaki V_{MA} Yüzdesi

V_{MA} agreganın hacim özgül ağırlığı esas alınarak hesaplanır ve sıkıştırılmış kaplama karışım hacminin yüzdesi olarak ifade edilir. Böylece V_{MA} , agreganın hacim özgül ağırlığı ile hesaplanan hacminden, sıkıştırılmış kaplama karışımının hacminin çıkarılması ile elde edilir.

$$V_{MA} = 100 - \frac{D_p}{G_{sh}} \times \frac{100}{100 + P_u} \times 100 \quad (6.7)$$

D_p = Sıkıştırılmış karışımın hacim özgül ağırlığı

V_{MA} = Agregalar arası boşluk yüzdesi [19]

6.7. Sıkıştırılmış Karışımındaki Hava Boşluğu ve Asfaltla Dolu Boşluk Yüzdesinin

Hesaplanması

Sıkıştırılmış kaplama karışımı içindeki hava boşluğu (V_h), kaplanmış agrega daneleri arasındaki küçük hava boşluklarından ibarettir.

$$V_h = \frac{D_t - D_p}{D_t} \times 100 \quad (6.8)$$

$$V_f = \frac{V_{MA} - V_h}{V_{MA}} \times 100 \quad (6.9)$$

V_h = Toplam hacim yüzdesi olarak sıkıştırılmış karışımındaki hava boşluğu

V_f = Asfaltla dolu boşluk yüzdesi [19]

7. AGREGALARA UYGULANAN DENEYLER

7.1. İri Agrega İçin Özgül Ağırlık Deneyi

Özgül ağırlık değeri; portland çimentosu betonu, asfalt betonu ve diğer karışımlarda kullanılan iri agreganın özelliklerini belirlemede genellikle kullanılır.[23]

Kullanılan agreganın örneğinden yaklaşık 1 kg alınır, 24 saat suda bekletilir. Sonra yüzeyleri bezle kurutulur ve tartılır (B). Bir tel sepete konularak suya batırılır ve suda tartılır (C). Daha sonra malzeme etüvde 105 °C' de 24 saat kurutulur ve havada tartılır(A).[11]

$$\text{Hacim özgül ağırlık (gr/cm}^3\text{)} = \frac{A}{B - C} \quad (7.1)$$

$$\text{Doygun esasa göre hacim özgül ağırlık (gr/cm}^3\text{)} = \frac{B}{B - C} \quad (7.2)$$

$$\text{Zahiri özgül ağırlık (gr/cm}^3\text{)} = \frac{A}{A - C} \quad (7.3)$$

$$\text{Su emme yüzdesi (\%)} = \frac{B - A}{A} \times 100 \quad (7.4)$$

A=Kuru ağırlık (gr)

B=Doygun kuru yüzey ağırlık (gr)

C=Sudaki ağırlık (gr)

7.2. İnce Agrega İçin Özgül Ağırlık Deneyi

İnce agreganın 24 saat suda bekletilir. Ertesi gün kohezyonunu kaybedinceye kadar kurumaya terk edilir. Sonra, bu haldeki malzemeden 500 gr alınıp piknometreye konur ve üzerine piknometre doluncaya kadar su ilave edilir. Piknometre içindeki malzeme alınır ve etüvde kurutulur, sonra da tartılır. İnce agreganın özgül ağırlığı aşağıdaki gibi hesaplanır. [11]

$$\text{Hacim özgül ağırlık (gr/cm}^3\text{)} = \frac{A}{V - W} \quad (7.5)$$

$$\text{Doygun esasa göre hacim özgül ağırlık (gr/cm}^3\text{)} = \frac{500}{V - W} \quad (7.6)$$

$$\text{Zahiri özgül ağırlık (gr/cm}^3\text{)} = \frac{A}{V - W - (500 - A)} \quad (7.7)$$

$$\text{Su emme yüzdesi (\%)} = \frac{500 - A}{A} \times 100 \quad (7.8)$$

A=Kuru ağırlık (gr)

V=Piknometre hacmi (cm³)

W=Su ağırlığı (gr)

7.3. Mineral Fillerin Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi

Arazi dane büyüklüğü analizinde çökme hızı; hazırlanan sıvının üst kısmının daha büyük çaplı danelerin çökmesi sebebiyle yoğunluğunun azalması ile tayin olunur. Yoğunluk hidrometre ile ölçülür.[24]

Bu metotta esas, süspansiyonun özgül ağırlığının çökme başladıktan sonra, değişik zamanlarda, bir hidrometre vasıtasıyla ölçülmesidir. Burada, hidrometre gövdesinin hacim merkezinin, sıvının hakiki yüzeyi altındaki derinliği, özgül ağırlığın ölçüldüğü seviye olarak kabul edilir.[25]

Deneyde, 200 nolu elekten geçen 50 gr etüvde kurutulmuş numuneye ihtiyaç vardır. Ayırıştırıcı sıvıda numune birkaç gün bekletilir. Daha sonra karışım bir mezüre alınır ve 1000 cm³ işaretine kadar su ile tamamlanır. Ağzına lastik tapa geçirilmiş olan mezür şiddetle çalkalanır ve bu iş bittikten sonra düz bir yere oturtularak kronometre çalıştırılır. Hidrometre karışıma dikkatle daldırılır ve 15 sn sonra ilk okuma alınır. Okumalar 30 sn, 1. ve 2. dakikada tekrarlanır ve hidrometre dışarı alınır. Hidrometre okumaları 4, 8, 15, 30 dakikalar ile 1, 2, 4, 8 ve 24 saatlerde tekrarlanmalıdır. Deney boyunca sıcaklık mümkün olduğu kadar hassas bir şekilde kontrol edilmeli; mezür, süspansiyonda konveksiyon hareketlerine meydan vermemek için güneş ışığından ve herhangi bir ısı kaynağından uzak tutulmalıdır. Buharlaşmayı önlemek için mezürün üzerine bir kapak kapatmak fayda sağlayabilir. Süspansiyonun sıcaklığı her okuma için kontrol edilmeli ve deney boyunca ortalama süspansiyon sıcaklığı 2 °C'den fazla bir fark göstermemelidir. Bu, dane büyüklüklerinde %2' den fazla hatanın olmamasını sağlar. Bu şart, oda sıcaklığında 8 °C'den fazla bir fark olmadığı zaman yerine gelmiş olur.[24]

Hidrometre deneyi sonrası alınan okumalara göre dane büyüklüğü aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$D = k \frac{\sqrt{R_h}}{t} \quad (7.9)$$

D=Dane boyutu (mm)

k=0,0134

R_h =Menisküsün üst seviyesinde hidrometre okuması. Okuma alınırken tam sayı okumaları ihmal edilir ve ondalık noktası, üçüncü ve dördüncü ondalıklar arasına koyulur. Örneğin 1,0325 okuması 32,5 olarak kaydedilmelidir.

t=Okuma süresi (dakika)

$$P = \frac{R_h}{50} \quad (7.10)$$

P=Alınan numuneye göre geçen dane yüzdesi (%)



8. BİTÜMLÜ BAĞLAYICIYA UYGULANAN DENEYLER

8.1. Penetrasyon Deneyi

Asfalt çimentosu oda sıcaklığında yarı katı bir maddedir. Asfalt çimentosunun kıvamlılığı arttıkça karışım içerisindeki taşları birbirine daha kuvvetle bağlayacağı doğaldır. Penetrasyon deneyi ile asfalt çimentolarının sertlik veya kıvamlılıkları tayin edilir. Penetrasyonun kelime anlamı batma veya içe girme demektir. Standart bir iğnenin belirli bir yük altında ve belirli bir süre içinde asfalt numunesi içerisine dikey olarak batma mesafesidir. Deney sırasında numunenin sıcaklığı sabit tutulur deney şartlarının belirtilmediği durumlarda ağırlık 100 gr, sıcaklık 25 °C ve zaman 5 sn olarak alınır. Penetrasyonun birimi santimetrenin yüzde biridir. Aletin göstergesindeki her bir bölüm 0,1 mm' yi gösterir. Penetrasyon değeri kıvamlılıkla ters orantılıdır. Penetrasyon yükseldikçe asfalt yumuşar. [26]

8.2. Yumuşama Noktası Deneyi

Asfalt çimentolarının kıvamlılıkları ısı değişimlerinden etkilenmektedir. Asfaltın bu özelliğine ısıya karşı duyarlılık denir. Asfaltların sıcaklık değişimlerine karşı olan duyarlılıklarını ölçmek için en kısa ve basit yöntem yüzük ve bilye yöntemi ile yumuşama noktasının bulunmasıdır.

Yumuşama noktası 80 °C veya daha aşağı olan bitümlü maddelerde deneyin yapılışı şöyledir:

Beher 5 °C' ye kadar soğutulmuş saf su ile tabandan yaklaşık 9 cm yüksekliğe kadar doldurulur. Numuncyi taşıyan halkanın alt yüzü banyonun tabanından 2,5 cm yukarıda olacak şekilde yerleştirilir. Bu arada bilye suya konur 2 ila 80 °C arasında derecelenmiş termometre, civa haznesinin ucu, halkanın alt yüzü ile aynı düzeyde ve halkadan 0,5 cm uzaklıkta bulunacak şekilde banyoya sarkıtılır. Su banyosunun sıcaklığı 15 dakika süre ile 5 °C' de sabit tutulur. Sonra bilye uygun bir maşa ile halka içindeki numunenin tam ortasına yerleştirilir. Banyonun suyu ilk 3 dakikadan sonra dakikada 5 °C yükselcek şekilde ısıtılır. Sıcaklığın artması ile yumuşayan malzemenin banyonun tabanına değdiği anda termometrede okunan sıcaklık yumuşama noktası olarak kaydedilir.

Yumuşama noktası 80 °C' den yüksek olan bitümlü maddelerle deneyin yapılışı:

Kullanılacak termometre 30-200 °C arasında bölmelenmiş olmalıdır. Deneyde saf su yerine saf gliserin kullanılmalıdır ve başlangıç sıcaklığı 32 °C olmalıdır.[26]

8.3. Düktilite Deneyi

D ktilitenin kelime anlamı uzama veya çekilebilme demektir. Asfalt çimentolarının önemli özelliklerinden biridir. Uzama yeteneği fazla olan asfalt çimentoları, düktilite değeri daha düşük olan asfalt çimentolarına göre, daha üstün bir bağlama yeteneğine sahiptirler. Diğer yandan çok yüksek düktilite değerine sahip asfaltlar ise ısı değişimlerine karşı fazla duyarlılık gösterirler. Bu nedenle çeşitli asfaltların düktilite değerleri sınıflandırılmıştır.

Asfalt  imentosunun d ktilitesini ölçmek için, standart bir kalıba bir miktar numune dökülür. Sonra numune düktilite cihazındaki yerine konur. Su banyosu 25  C ‘ ye ayarlanmış olmalıdır. Asfalt briketi bu sıcaklıkta 5+0,25 cm/dakika hızla çekilir. Numune belli bir uzamadan sonra kopar. Kopma anındaki uzama miktarının cm cinsinden değeri düktilite değeridir. [26]



9. E.D.Ç.F. CÜRUFUNUN KİMYASAL ÖZELLİKLERİ

Erdemir'de çelik üretimi 120 ton kapasiteli 3 adet Bazik Oksijen Fırınında (Konvertör) yapılmaktadır. Bu konvertörlerden yılda yaklaşık olarak 3 – 3,2 milyon ton çelik üretilmekte ve bunun 300 – 350 bin tonu cüruf olarak açığa çıkmaktadır. Bu cüruflar stok sahalarına dökülerek üzerlerine su vermek suretiyle soğutulmakta, kırma ve eleme işleminden geçirildikten sonra manyetik kısımları ayrılıp metal hurdası olarak çelikhaneye geri gönderilmektedir. Metal olmayan kısımlar ise stok sahalarında stoklanmaktadır. Erdemir cüruf stok sahalarında yaklaşık olarak 6 – 6,5 milyon ton çelikhane cürufu olduğu tahmin edilmektedir.

Bu çalışmada kullanılan malzemeler iki ayrı dönemde döküm süreci izlenen cüruflardan alınan numunelerdir. Bu dökümlerden elde edilen cüruflar ayrı bir cüruf potasına alınarak, stok sahasında diğer cüruflardan farklı bir yere dökülmüştür. Soğutulan bu cüruflardan deneylerde kullanılmak üzere alınan yaklaşık 150 kg'lık numune laboratuvarında kırılmış ve 40 – 25, 25 – 19, 19 - 5 ve 5 - 0 mm tane boyutlarına sınıflandırılmıştır. [2]

9.1. Kimyasal Analizler

Erdemir cüruf sahalarından alınan numunelerin kimyasal analiz sonuçları Tablo 9.1'de gösterilmiştir. Cürufların mineralojik bileşimleri çelik üretim prosesi ve önemli ölçüde cüruf soğutma hızına bağlı olarak değişebilmektedir. [2]

Tablo 9.1 E.D.Ç.F. Çelikhane Cürufunun Kimyasal Analizi [2]

ELEMENT (%)	Erdemir BOF Cürufu
CaO	47 - 55
CaO Serbest	6,5
SiO ₂	7,5 - 15
Al ₂ O ₃	1,2 - 1,7
MgO	1,3 - 1,5
Toplam Fe	20 – 26
Toplam Mn	3,5 - 5,3
Na ₂ O	-
K ₂ O	-
S	-
CaO / SiO ₂	3,7 - 6,25

9.2. Su Emme Analizi

Çelikhane cürufu agregalarının su emme özellikleri doğal agregaların su emme özellikleri ile benzerlik göstermektedir. Su emme değerleri iri taneler için (7 mm ve daha iri) %1 – 2 , ince taneler için ise %2 – 4 aralığındadır. [2]

Çelik cürufu agregaların tane şekillerinin köşeli ve tane yüzeyi yapılarının boşluklu olmasından dolayı, yüzey alanları doğal agregalarınkinden biraz daha büyüktür. Tablo 4.2 'de kaba agrega, ince agrega ve fillerin su emme analiz sonuçları verilmiştir.

Tablo 9.2 Kaba Agreg, İnce Agreg ve Fillerin özgül ağırlık ve su emme analiz sonuçları (Fabrika verileri) [2]

Agrega cinsi	Su Emme (%)
Kaba Agreg (cüruf)	0.95
İnce Agreg (cüruf)	0.83
Filler (cüruf)	-

9.3. Soyulma Dayanımı Deneyi

Soyulma, su ve trafik etkilerinden asfalttaki bağlayıcı maddenin agrega üzerinden ayrılmasıdır. Bir asfalt kaplamanın ömrü büyük ölçüde agreganın su ve trafik etkilerine karşı yapışma özelliğine bağlıdır. Çelik cüruf agregalarının bitüme karşı kuvvetli bir kimyasal ilgisi vardır. Yapılan bir çok test sonucu çelik cürufu içeren asfaltların soyulma dayanımları da istenilenden oldukça yüksek olduğu bulunmuştur. Tablo 9.3 'de E.D.Ç.F çelikhane cürufunun soyulma değerleri verilmiştir. [2]

9.4. Yassılık İndeksi Deneyi

Yassılık, kalınlıkları anma tane boyunun 0,6'sından daha küçük olan agregalar için kullanılan terimdir. Yassılık indeksi ise yassı agregaların toplam numune ağırlığı içerisindeki oranını göstermektedir.

Yassı agregaların dayanımları, köşeli tane şekline sahip agregaların dayanımlarından daha küçüktür. [2]

BS 812 (Testing Aggregates) standardında belirtilen şartlara uygun olarak yapılan testler sonucunda Tablo 9.3. 'de belirtilen yassılık indeksi değerleri bulunmuştur.

9.5. Donma Dayanımı Deneyi

Donma dayanımı, agregaların hava etkileriyle donması sonucu oluşan ufalanmaya karşı dayanıklılığının bir ölçüsüdür. Deney TS – 3655 standartlarında belirtilen esaslara göre yapılmıştır.[27]

Laboratuar şartlarında yapılan deneylerde kısa sürede sonunda sonuç alınabilmesi için, doymun sodyum veya magnezyum sülfat çözeltisi kullanılmaktadır. Deneylet standartta belirlenen tane boylarında yapılmakta ve deney sonunda her elek üzerinde kalan malzeme ağırlığı ile başlangıç numune ağırlığı arasındaki fark bulunarak donma kaybı değeri belirlenmektedir. Donma kaybının başlangıç ağırlığına göre yüzdesi ise donma kaybı yüzdesini vermektedir. 5 mm tane boyundan iri çelikhane numunelerinin donma dayanımı test sonuçları Tablo 9.3. 'de verilmiştir.

9.6. Aşınma Dayanımı Deneyi

Aşınma dayanımı agregaların aşınmaya karşı göstermiş oldukları direnci ifade etmekte ve TS 3694 standartlarına göre Los Angeles ekipmanı kullanılarak belirlenmektedir.[28]

Aşınma dayanımının özellikle yoğun trafiğin olduğu alanlarda yüksek gerilimlere maruz kalan asfaltlar için önemli bir avantajdır. Tablo 9.3 'de E.D.Ç.F çelikhane cürufunun aşınma dayanımı değerleri verilmiştir. [29]

Tablo 9.3. E.D.Ç.F Çelikhane Cürufunun Soyulma, Donma, Aşınma Dayanımı ve Yassılık İndeksi Değerleri [29]

Fiziksel Özellik	Değeri	Standart
Soyulma Dayanımı (%)	75 - 85	Min 50
Donma Dayanımı (%)	20	Max 35
Aşınma Dayanımı (%)	8,56	Max 10
Yassılık İndeksi (%)	15,5	Max 35

9.7. Hızlı Yaşlandırma Deneyi

Hızlı yaşlandırma deneylerinde 40 – 19 mm, 25 – 16 mm, 16 – 5 mm ve 5 – 0 mm (5 mm altı) tane boyu aralıklarında hazırlanan cüruf numuneleri kullanılmıştır. Her bir grup

numunenin hızlı yaşlandırma deneyleri TÜBİTAK / MAM – Enerji ve Çevre Sistemleri Enstitüsünde, Vötsch VCL 4057/S markalı iklimlendirme kabiniinde yapılmıştır. Numuneler %10 nem ortamında ve 71 °C’de 7 gün boyunca test kabiniinde tutulup, gün aşırı 1 saat süreyle yağmurlama işlemine maruz bırakılarak yapılmıştır.

5 mm’den ince cüruf numunesinde tane boyutunun küçük olmasından dolayı serbest kalsiyum hidratastonu daha kısa sürede başlamış, 5 mm’nin üzerindeki numunelerde hidratasyon gerçekleşmemiştir. Bu boyuttaki numunelerde yaşlandırma prosesinin gerçekleşmesi için yağmurlama süresi ve miktarının daha fazla tutulması gerekir.[29]

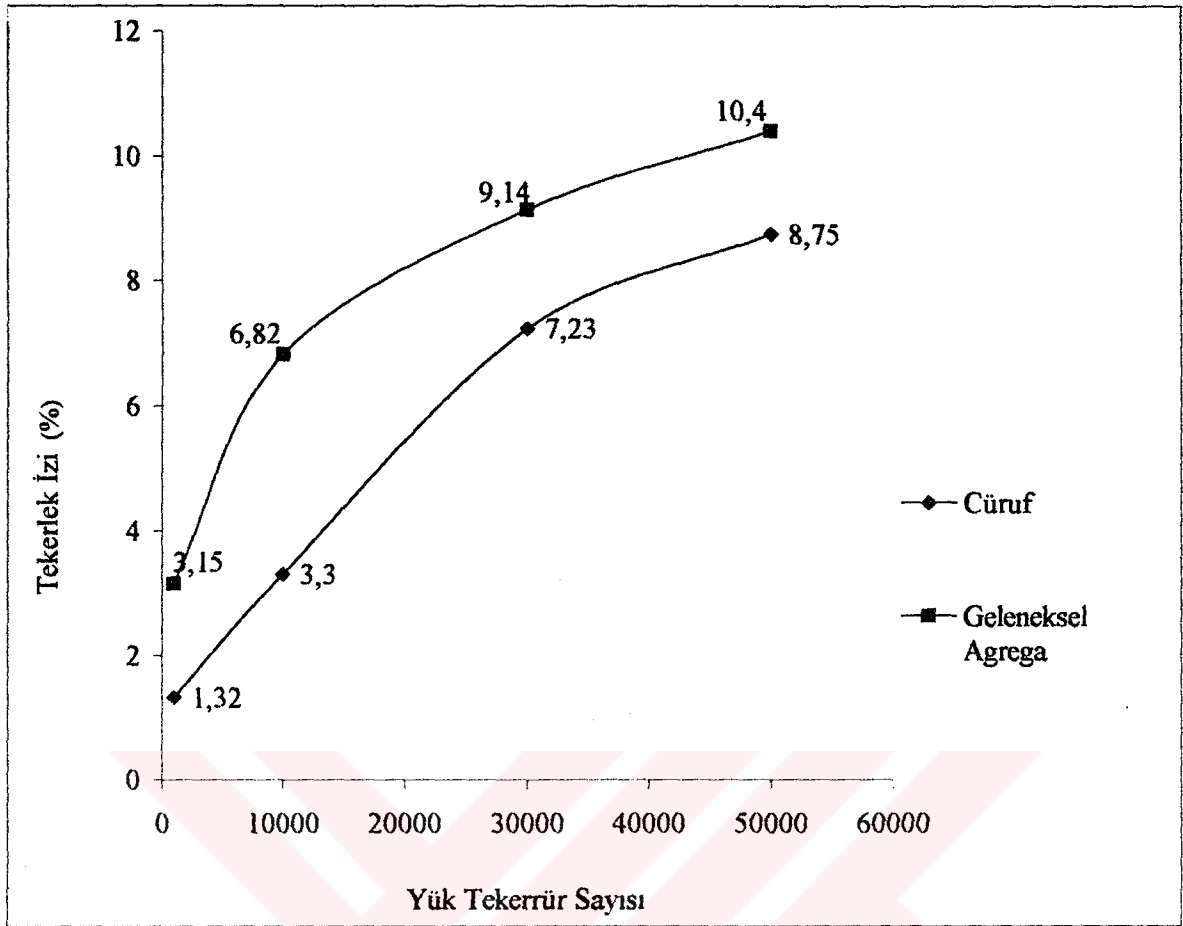
Temel, bitümlü temel ve binder tabakaları atmosfer ile doğrudan temas halinde bulunmadığından hidratasyon olayının uzun süreler alacağı bu bakımdan bahse konu tabakalarda yaşlandırılmamış cüruf kullanılabileceği düşünülmektedir.

9.8. Tekerlek İzi Oluşumunun Tayini

Asfalt betonu kaplamalarda meydana gelebilen yapısal bozukların en önemlilerinden birisi de tekerlek izi oluşumudur. Yıllık ortalama günlük trafik hacmi değerinin yüksek olduğu ve ağır taşıt trafiğine hizmet eden yollarda meydana gelen tekerlek izleri, malzemenin biçim değiştirmesi ve kayma mukavemetlerinin düşmesiyle oluşan akma ile ilişkilidir.

Çelikhane cürufu ve doğal agrega arasında tekerlek izi oluşumu bakımından kıyaslama yapabilmek için, tekerlek izinde oturma tayini deneyi Karayolları Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı Üstyapı Şube Müdürlüğü tarafından Fransız LCPC P98-253-1 standardına göre yapılmıştır.[29]

Cürufli karışımda oluşan tekerlek izi oranı geleneksel karışıma nazaran daha uygun sonuç vermiştir. Yapılan deneyin sonucu, cürufun üstyapıda kullanımının tekerlek izi oluşumu bakımından elverişli olduğunu göstermektedir. Şekil 9.1’de doğal agrega ve çelikhane cüruflarının tekerlek izi deney sonuçları verilmiştir.[29]



Şekil 9.1. Doğal agregas ve çelikhane cüruflarının tekerlek izi deney sonuçları. [29]

10. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

10.1 Marshall Metodu İle Karışım Dizaynı

Kaplama karışımlarının dizaynında Marshall metodu kavramı ‘ Mississippi State Highway Department ‘ ın eski bitüm mühendisi Bruce Marshall tarafından formüle edilmiştir. U.S.Corps of Engincers kuruluşu geniş araştırma ve korelasyon çalışmalarıyla test yöntemlerine belirli biçimler ekleyip karışım dizayn kriterlerini geliştirmiştir. Marshall test metodu ‘ American Society for Testing and Materials ‘ tarafından standartlaştırılmıştır. Metot, ASTM D-1559 ‘ da verilmektedir.

Marshall yöntemi yalnızca maksimum boyu 25 mm veya daha küçük agrega ihtiva eden ve penetrasyon veya viskozite ile sınıflandırılmış asfalt çimentosu kullanılan sıcak karışım asfalt kaplama karışımlarına uygulanır. Metot sıcak karışım asfalt kaplamalarının laboratuvar dizaynı için tasarlanmıştır.

Marshall metodunda işlem, deney numunelerinin hazırlanması ile başlar. Bundan önce aşağıdaki işlemler yapılmalıdır:

- Karışımda kullanılacak malzemenin şartnamede istenilen özelliklere uygunluğunun kontrolü,
- Agrega karışım gradasyonunun şartname gradasyonuna uygunluğunun kontrolü,
- Yoğunluk ve boşluk analizlerinde kullanmak için, karışımda kullanılan agreganın hacim özgül ağırlığı ve asfalt çimentosunun özgül ağırlığının tayini.

Marshall metodunda 101,6 mm çapında ve 63,5 mm yüksekliğinde standart deney numuneleri kullanılır. Bu deney numuneleri asfalt-agrega karışımının ısıtılması, karıştırılması ve sıkıştırılması için belirlenmiş bir yöntem uygulanarak hazırlanır. Karışım dizaynında Marshall metodunun iki temel niteliği; sıkıştırılmış deney numunelerinin stabilite-akma testi ve yoğunluk-boşluk analizleridir. Deney numunesinin stabilitesi, teste tabi tutulduğunda 60 °C‘ ye getirilmiş standart deney numunesinin kilogram olarak maksimum yük direncidir. Akma değeri, stabilite deneyi sırasında yüksüz ve maksimum yük arasında meydana gelen 0,25 mm cinsinden deformasyondur.[30]

10.2. Deneyde Kullanılan Aygıtlar

Tepsiler: Metal düz tabanlı agregaları ısıtmak için, metal yuvarlak yaklaşık 4 lt kapasiteli, asfalt ve agregayı karıştırmak için,

Etüv ve ısıtma plakası: Elektriklidir, agregayı, asfaltı ve gerekli araçları ısıtmak için,

Kürek: Agregayı harmanlamak için,

Kaplar: Galvanizli sac kutu, beher boşaltma kabı, bitümün ısıtılması için,

Termometreler: Agreganın, asfaltın ve bitümlü karışımın sıcaklığını ölçmek için,

Terazi: 0,1 gr hassasiyetinde 2 kg kapasiteli,

Su banyosu: İçinde bulunan suyu 60 °C' de sabit tutabilen en az 15 cm derinliğinde,

Numune sıkıştırma kalıpları: Taban plakası, numune sıkıştırma kalıbı ve uzatma kalıbını içerir. Numune sıkıştırma kalıbı 101,6 mm iç çapında ve yaklaşık 75 mm yüksekliğinde olacaktır. Taban plakası ve uzatma kalıbı numune sıkıştırma kalıbının her iki yüzüyle iç içe geçerek yerleştirilecek şekilde dizayn edilmelidir,

Numune sıkıştırma cihazı: Sıkıştırma yüzeyi 98,4 mm çapında düz silindirik ve 4536 gr ağırlıklı bir kütlenin 457 mm yükseklikten düşüşünü sağlayacak şekilde düzenlenmiştir,

Numune çıkartıcısı: Sıkışmış numuneyi kalıptan çıkarmak için,

Marshall yükleme aygıtı: Elektriklidir. Deney numunesine yarı silindirik kırılma kafasından dakikada 51 mm' lik sabit bir hareketle yükleme yapacak şekilde dizayn edilmiş olup, uygulanan yükü ve akmayı gösteren dijital göstergeleri mevcuttur. [31]

10.3. Deney Numunelerinin Hazırlanması

Her asfalt numunesi için en az 3 numune hazırlandı. Bu çalışmada binder tabakası agrega gradasyonu için tablo 5.2 de verilen Tip II gradasyonun ortalamaları kullanıldı.

Cüruf karışımları 160 °C' ye kadar ısıtıldı. Agregasının tamamı cüruftan oluşan binder tabakası numuneleri için bitüm yüzdeleri 4,5- 5,0- 5,5 olarak alındı.

Bitüm 150 °C' ye kadar ısıtıldı. Cüruf karışımı ve bitüm mekanik karıştırıcıda karıştırıldıktan sonra yine aynı sıcaklıktaki kalıbın içerisine şişlenerek homojen bir biçimde yerleştirildi. Sıkıştırma işleminde numunenin her iki yüzüne de 75 darbe uygulandı.

Numuneler bir gün sonra krika ile çıkarıldıktan sonra havadaki ağırlıkları ve üç noktadan yükseklikleri tespit edildi. Doygun ağırlığını tespit etmek için 24 saat suda bekletildi, sonrasında havadaki doymuş ağırlıkları ve sudaki ağırlıkları tayin edildi. Daha önceden 60 °C' ye getirilmiş su banyosunda 30 dakika bekletildikten sonra Marshall yükleme cihazı kullanılarak stabilite ve akma değerleri hesaplandı. Yükseklikleri 63,5 mm' den farklı olan numunelerin stabilize değerleri Tablo 10.6' de verilen düzeltme faktörleriyle çarpılarak düzeltildi.

Asfalt betonu karışımlarının dizaynında Tablo 10.1' de verilen dizayn kriterleri esas alınmalıdır

Tablo 10.1. Asfalt betonu dizayn karakterleri[16]

Özellikler	Hafif ve orta trafikli yollar				Ağır trafikli yollar otoyollar ve tırmanma şeritleri			
	Binder		Aşınma		Binder		Aşınma	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Briket yapımında uygulanacak darbe sayısı	50	-	50	-	75	-	75	-
Marshall stabilitesi (kg)	600	-	750	-	750	-	900	-
Boşluk %	4	6	3	5	4	6	3	5
Asfaltla dolu boşluk %	65	75	75	85	65	75	75	85
Akma (mm)	2,5	4,6	2,5	4,6	2	4	2	4
Filler/bitüm oranı	-	-	-	-	-	1,4	-	1,5
Asfalt çimentosu (ağırlıkça %)	3,5	6,5	4	7	3,5	6,5	4	7

10.4. Agregalar Üzerinde Yapılan Deney Sonuçları

Bu bölümde, Ereğli Demir Çelik Fabrikası Erdemir'in çelik üretimi esnasında bazik oksijen fırınlarında yan ürün olarak açığa çıkan cürufun ve Adapazarı Taşkırsığı taşocağından temin edilen kalker karakteristikli agreganın birim ağırlık değerleri tespit edilmiştir..

Tablo 10.2. Çalışmada kullanılan Erdemir çelikhane cürufunun fiziksel özellikleri

Fiziksel Özellik	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)
Kaba agrega özgül ağırlığı (gr/cm ³)	3,017
İnce agrega özgül ağırlığı (gr/cm ³)	2,879
Filler özgül ağırlığı (gr/cm ³)	2,783

Tablo 10.3. Çalışmada kullanılan Taşkırsığı Ocağı agregasının fiziksel özellikleri

Fiziksel Özellik	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)
Kaba agrega özgül ağırlığı (gr/cm ³)	2,801
İnce agrega özgül ağırlığı (gr/cm ³)	2,780
Filler özgül ağırlığı (gr/cm ³)	2,760

Tablo 10.4. Çalışmada kullanılan cüruf ve agreganın gradasyon değerleri

Elek Boyu	Binder Tip II (% geçen)
25 mm (1'')	100
19 mm (3/4'')	90
12,5 mm (1/2'')	72
9,5 mm (3/8'')	63
4,75 mm (No.4)	49
2,00 mm (No.10)	36,5
0,425 mm (No.40)	19,5
0,180 mm (No.80)	12
0,075 mm (No.200)	4,5

10.5 Bitümün Fiziksel Özellikleri

Çalışmalarda kullanılan bitüm üzerinde; 8.1.'de belirtilen Penetrasyon Deneyi, 8.2.'de belirtilen Yumuşama Noktası Deneyi, 8.3.'de belirtilen Düktilite Deneyi uygulanmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 9.5'de verilmiştir.

Tablo 10.5. Bitümün Fiziksel Özellikleri

Özellikler	Bulunan Değer	Standart Değer	Birimi
Penetrasyon	80	75 -100	cm/100
Yumuşama Noktası	50	max 80	°C
Düktilite	122	-	cm
Özgül Ağırlık	1,02	-	gr/cm ³

10.6 Deney Sonuçları Üzerinde Yapılan Hesaplamalar

Aşağıdaki örnek hesaplamalarda agregası cüruftan oluşmuş binder tabakası Tip II gradasyonu için % 5,0 bitüm oranında hazırlanmış briketlerin sonuçları verilmiştir:

Bitüm özgül ağırlığı (G_b) = 1,02 gr/cm³

Kaba agregası % (P_1) = 51

İnce agregası % (P_2) = 44,5

Filler % (P_3) = 4,5

Kaba agregası hacim özgül ağırlığı (G_1) = 3,017 gr/cm³

İnce agregası hacim özgül ağırlığı (G_2) = 2,879 gr/cm³

Filler hacim özgül ağırlığı (G_3) = 2,783 gr/cm³

Agregası karışımının hacim özgül ağırlığı (G_{sh});

$$G_{sh} = \frac{100}{\frac{51}{3,017} + \frac{44,5}{2,879} + \frac{4,5}{2,783}} = 2,943 \text{ gr/cm}^3$$

P_b = Toplam karışımın bitüm yüzdesi ;

$$P_b = \% 5,0$$

$$P_b = \frac{P_a}{100 + P_a} \times 100 \Rightarrow \frac{5}{100 + 5} \times 100 = \% 4,76$$

Havadaki kuru ağırlık (W) = 1213,47 gr

Havadaki doymuş ağırlık (W_1) = 1236,56 gr

Sudaki ağırlık (W_2) = 759,24 gr

Hacim (V) = $W_1 - W_2 \Rightarrow 1236,56 - 759,24 = 477,32 \text{ cm}^3$

Toplam karışımın hacim özgül ağırlığı (D_p);

$$D_p = \frac{1213,47}{477,32} = 2,542 \text{ gr/cm}^3$$

Diğer iki briketin hacim özgül ağırlıkları sırasıyla 2,556 ve 2,539 gr/cm³ ' tür

Ortalama $D_p = (2,542 + 2,556 + 2,539) / 3 = 2,546 \text{ gr/cm}^3$

Karışımın maksimum teorik özgül ağırlığı (D_t);

$$D_t = \frac{100}{\frac{95}{2,943} + \frac{5}{1,02}} = 2,689 \text{ gr/cm}^3$$

Hava boşluğu yüzdesi (V_h);

$$V_h = \frac{2,689 - 2,542}{2,689} \times 100 = \% 5,47$$

Agregalar arasındaki boşluk yüzdesi (V_{MA});

$$V_{MA} = 100 - \frac{P_{ag}}{G_{sh}} D_p = \frac{95}{2,943} 2,542 = 17,94$$

Asfaltla dolu boşluk yüzdesi (V_b);

$$V_b = \frac{P_b}{G_b} D_p = \frac{5}{1,022} 2,542 = 12,437$$

Asfaltla dolu boşluk yüzdesi (V_f);

$$V_f = \frac{12,437}{17,94} \times 100 = \% 69,33$$

Agregasının tamamı cüruftan oluşan karışımların optimum bitüm oranı tayini için %4,5 , % 5,0 ve %5,5 oranlarında toplam 9 numune hazırlanmıştır. Marshall Stabilitesi değerlerini hesaplarken kullanılacak olan düzeltme faktörleri Tablo 10.6'de; hazırlanan numuncelere ait Marshall proje değerleri Tablo 10.7'da verilmiştir.

Tablo 10.6. Marshall Stabilitesi düzeltme faktörleri

Numune Boyu (mm)	Faktör	Numune Boy (mm)	Faktör	Numune Boy (mm)	Faktör	Numune Boy (mm)	Faktör	Numune Boy (mm)	Faktör
50	1,47	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	0,94	71,3	0,832
50,2	1,453	55,5	1,25	60,8	1,073	66,1	0,938	71,4	0,83
50,3	1,46	55,6	1,247	60,9	1,07	66,2	0,936	71,5	0,829
50,4	1,456	55,7	1,243	61	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	0,93	71,8	0,825
50,7	1,446	56	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	0,822
50,9	1,439	56,2	1,224	61,5	1,053	66,8	0,922	72,1	0,821
51	1,435	56,3	1,22	61,6	1,05	66,9	0,92	72,2	0,82
51,1	1,432	56,4	1,216	61,7	1,047	67	0,917	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	1,21	61,9	1,04	67,2	0,913	72,5	0,815
51,4	1,421	56,7	1,206	62	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	1,194	62,3	1,031	67,6	0,904	72,9	0,81
51,8	1,407	57,1	1,19	62,4	1,028	67,7	0,901	73	0,809
51,9	1,404	57,2	1,187	62,5	1,025	67,8	0,899	73,1	0,808
52	1,4	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	0,894	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	1,39	57,6	1,175	62,9	1,016	68,2	0,89	73,5	0,8
52,4	1,382	57,7	1,172	63	1,013	68,3	0,888	73,6	0,799
52,5	1,375	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	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	0,792
52,9	1,344	58,2	1,155	63,5	1	68,8	0,879	74,1	0,79
53	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	0,875	74,3	0,786
53,2	1,32	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	0,99	69,2	0,872	74,5	0,782
53,4	1,314	58,7	1,14	64	0,988	69,3	0,87	74,6	0,78
53,5	1,312	58,8	1,137	64,1	0,985	69,4	0,868	74,7	0,778
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	1,13	64,3	0,98	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	0,775
53,9	1,299	59,2	1,124	64,5	0,975	69,8	0,86	75,1	0,773
54	1,296	59,3	1,12	64,6	0,972	69,9	0,858	75,2	0,772
54,1	1,293	59,4	1,117	64,7	0,97	70	0,856	75,3	0,771
54,2	1,29	59,5	1,114	64,8	0,967	70,1	0,854	75,4	0,77
54,3	1,286	59,6	1,11	64,9	0,965	70,2	0,852	75,5	0,769
54,4	1,283	59,7	1,107	65	0,962	70,3	0,85	75,6	0,767
54,5	1,28	59,8	1,104	65,1	0,96	70,4	0,849	75,7	0,766
54,6	1,277	59,9	1,1	65,2	0,957	70,5	0,847	75,8	0,765
54,7	1,274	60	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	0,762
54,9	1,268	60,2	1,09	65,5	0,951	70,8	0,841	76,1	0,761
55	1,265	60,3	1,088	65,6	0,949	70,9	0,839	76,2	0,76
55,1	1,262	60,4	1,085	65,7	0,947	71	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

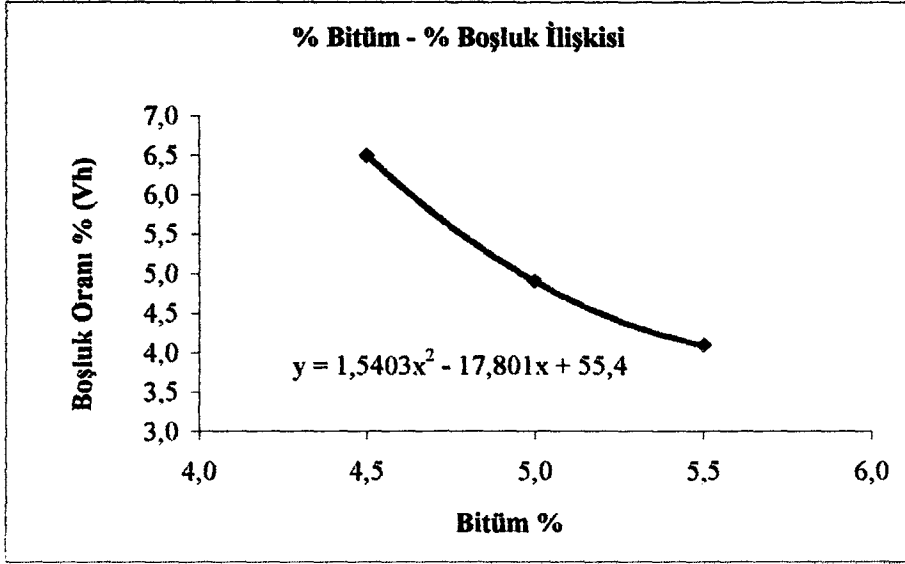
Tablo 10.7. Tanımlı Cüruf malzemeden oluşturulmuş numunelerin Marshall proje değerleri

No	Pa (%)	Pb (%)	Numune Yüklülüğü (mm)			Havadaki ağı (gr)	Sudaki ağı (gr)	Doğru ağı (gr)	Hacim cm ³	Dp (gr/cm ³)	Dt (gr/cm ³)	Vh (%)	Vma (%)	Vf (%)	Akma (mm)	Stb (kN)	Dz.Fak.	Dz.Stb (kg)
			1	2	3	Ort												
1	4.5	4.31	62.0	63.5	63.0	62.8	1216.67	767.25	1244.01	2.55195	2.71292	5.9332	17.1918	65.360	1.8	11.10	1.018	1129.98
2	4.5	4.31	63.0	63.0	63.0	63.0	1218.69	768.97	1250.41	2.53134	2.71292	6.69295	17.8606	62.404	2.2	10.50	1.013	1063.65
3	4.5	4.31	61.5	62.0	63.0	62.2	1188.85	749.65	1220.04	2.52737	2.71292	6.83938	17.9895	61.860	1.85	9.78	1.033	1010.27
4	5.0	4.76	62.0	62.0	62.0	62.0	1213.47	759.24	1236.56	2.54226	2.68955	5.47638	17.9384	69.335	3.15	13.70	1.038	1422.06
5	5.0	4.76	62.0	62.0	62.0	62.0	1205.46	752.76	1224.35	2.55616	2.68955	4.9594	17.4896	71.504	2.98	14.01	1.038	1454.24
6	5.0	4.76	61.0	61.0	62.0	61.3	1209.78	752.68	1229.05	2.53958	2.68955	5.57588	18.0248	68.930	2.89	14.30	1.059	1514.37
7	5.5	5.21	62.0	62.0	61.0	61.7	1216.25	760.25	1240.64	2.5318	2.66657	5.05433	18.7062	72.838	3.35	13.10	1.047	1371.57
8	5.5	5.21	61.5	62.0	62.0	61.8	1220.8	761.58	1242.69	2.53747	2.66657	4.84176	18.5242	73.718	3.1	13.20	1.044	1378.08
9	5.5	5.21	62.0	62.0	62.0	62.0	1217.3	759.43	1239.76	2.5343	2.66657	4.96049	18.6258	73.224	3.95	12.40	1.038	1287.12
									480.61	2.53452	2.66657	4.95219	18.6187	73.260	3.47	12.90		1345.59

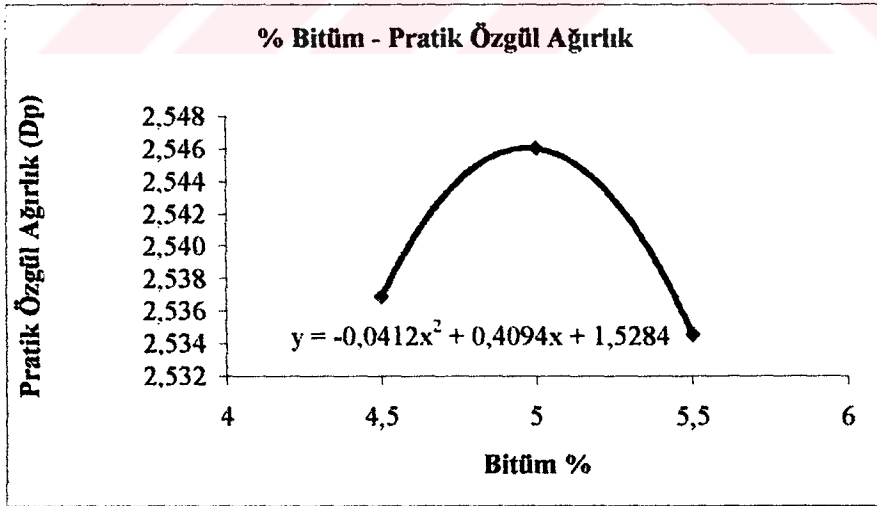
5

Dp: Hacim Özgürlüğü Ağırlığı Dt: Maksimum Teorik Özgürlüğü Ağırlık Vh: Boşluk Oranı

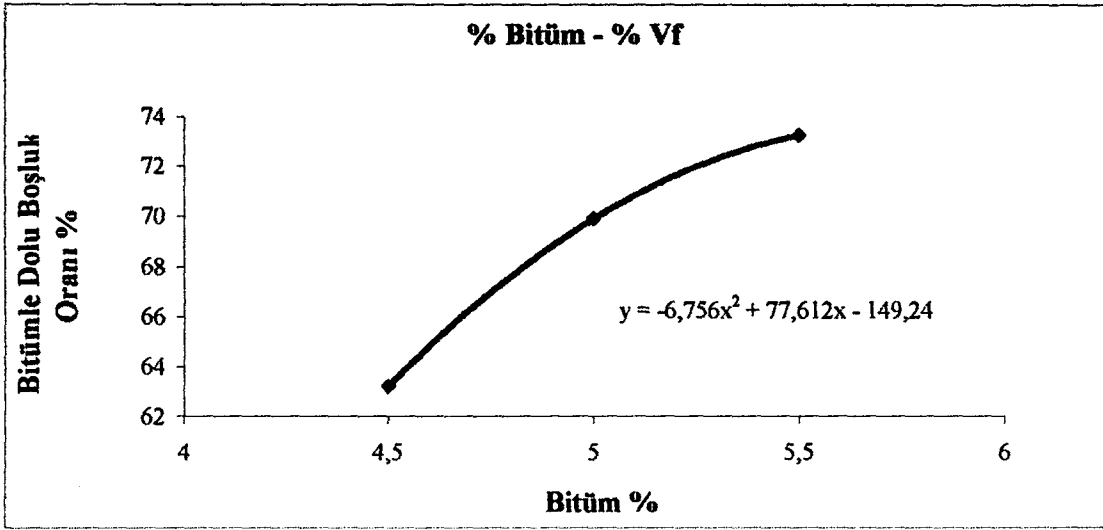
Vma: Agregalar arası boşluk oranı Vf: Asfaltla Dolu Boşluk Oranı



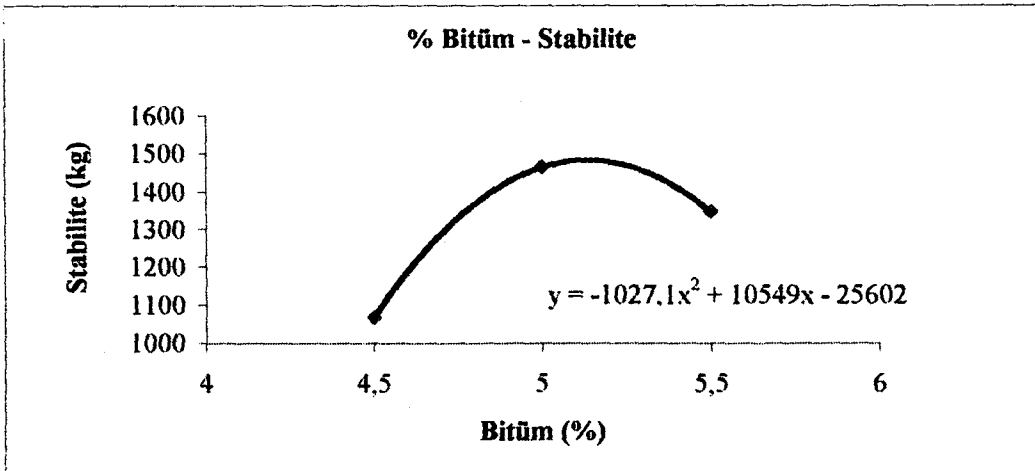
Şekil 10.1. Cüruf numuneleri için Bitüm % - Boşluk Oranı % ilişkisi



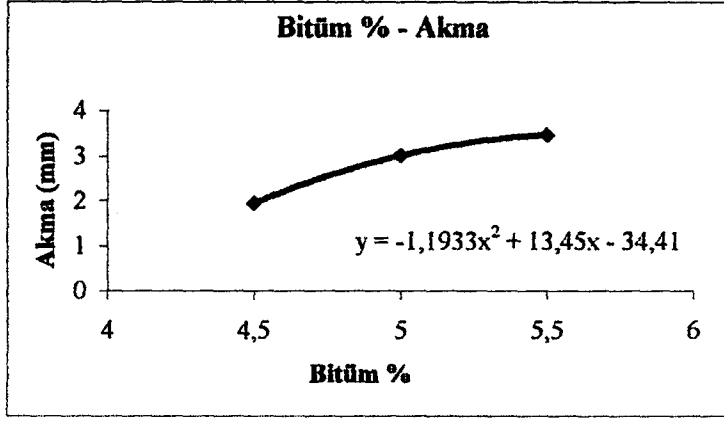
Şekil 10.2. Cüruf numuneleri için Bitüm % - Pratik Özgül Ağırlık ilişkisi



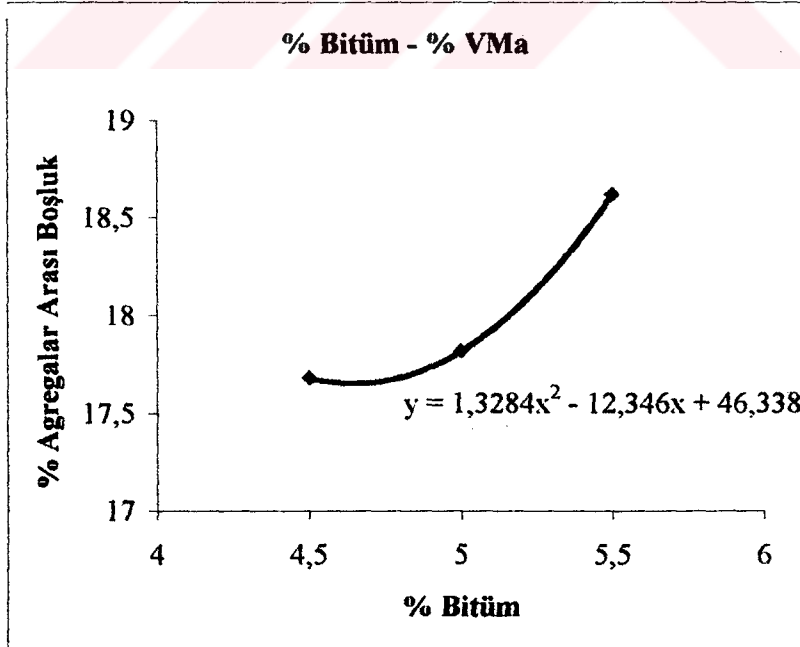
Şekil 10.3. Cüruf numuneler için Bitüm % - Bitümle Dolu Boşluk Oranı İlişkisi



Şekil 10.4. Cüruf numuneler için Bitüm % - Stabilité ilişkisi



Şekil 10.5. Cüruf numuneler için Bitüm % - Akma ilişkisi



Şekil 10.6. Cüruf numuneler için Bitüm % - Agregalar Arası Boşluk % ilişkisi

10.7. Optimum Bitüm Yüzdelерinin Bulunması

Asfalt kaplama karışımlarının optimum bitüm miktarı Marshall proje değeri ile çizilen grafikler kullanılarak tayin edilir. Optimum bitüm miktarı tayininde çizilmiş olan 6 grafikten 4' ü göz önünde bulundurulur. Bunlar;

- Bitüm %' si - Hava Boşluğu %
- Bitüm %' si - Asfaltla dolu boşluk %
- Bitüm %' si – Stabilitе
- Bitüm %' si – Maksimum pratik Özgöl Ağırlık,

Karışımın optimum bitüm miktarı, yukarıda belirtildiği şekilde tespit edilen 4 değerin ortalaması alınarak bulunur.

Tablo 10.8' da tamamı cüruf kökenli malzemeden oluşturulmuş numunelere ait optimum bitüm yüzdesi hesaplanmıştır.

Tablo.10.8. Tamamı cüruf kökenli malzemeden oluşturulmuş numunelere (C) ait optimum bitüm yüzdesi (Binder Tabakası için)

	Şekil No	Bitüm yüzdesi (%)
% 5 hava boşluğundaki	9.1	5,00
Maksimum birim hacim ağırlığındaki	9.2	5,00
% 70 asfaltla dolu boşluk oranındaki	9.3	5,10
Maksimum stabilitedeki	9.4	5,20
Optimum bitüm	-	5,075

Tamamı E.D.Ç.F çelikhane cürufu ile optimum bitüm yüzdesinde oluşturulmuş numuneler üzerinde Marshall deneyi tekrarlanarak değerler Tablo 10.9' da verilmiştir.

Tablo 10.9. Tamamı Cüruf malzemedan optimum bitüm yüzdesinde oluşturulmuş numunelerin Marshall proje değerleri

No	Pa (%)	Pb (%)	Yüksekliği (mm)				Havadaki ağı (gr)	Sudaki ağı (gr)	Doğru ağı (gr)	Hacim cm ³	Dp (gr/cm ³)	Dt (gr/cm ³)	Vh (%)	Vma (%)	Vf (%)	Akma (mm)	Stb (kN)	Dz.Fak	Dz.Stb (kG)
			1	2	3	Ort													
1	5,075	4,83	62,0	62,3	62,0	62,1	1213,9	762,31	1239,25	476,94	2,5432	2,68	5,18	17,909	70,573	3,07	13,60	1,036	1409
2	5,075	4,83	62,0	62,0	62,2	62,1	1209,06	754,45	1225,21	470,76	2,5683	2,68	4,32	17,163	74,310	3,01	14,10	1,036	1460,8
3	5,075	4,83	61,0	61,5	62,0	61,5	1205,28	752,68	1230,01	477,33	2,525	2,68	5,93	18,558	67,564	2,89	14,60	1,053	1537,4
										475,01	2,5462	2,68	5,14	17,877	70,816	2,99	14,10		1469

Dp: Hacim Özgöl Ağırlığı Dt: Maksimum Teorik Özgöl Ağırlık Vh: Boşluk Oranı

Vma: Agregalar arası boşluk oranı Vf:Asfaltla Dolu Boşluk Oranı

Kalker kökenli ocak malzemesinin optimum bitüm yüzdesi Karayolları 4. Bölge Müdürlüğü'nün raporundan alınmıştır. Adapazarı Taşkısı ı taşoca ı malzemeleriyle, Adapazarı kent merkezindeki yolların asfaltlanması işi AD 5 – 6 – 7 – 8 paketleri için Karayolları 4. Bölge Müdürlüğü tarafından hazırlanan raporda, Tip 2 gradasyonlu Binder Tabakası için optimum bitüm yüzdesi 4,90 olarak belirtilmiştir.[32]

Optimum bitüm yüzdeleri kullanılarak hazırlanan kalkerli numunelerin Marshall proje değerleri Tablo 10.10 da verilmiştir.



Tablo 10.10 Optimumu bitüm yüzdesindeki Kalkerli numunelerin Marshall proje değerleri

No	Pa (%)	Pb (%)	Numune Yüksekliği (mm)			Havadaki ağırlık (gr)	Sudaki ağırlık (gr)	Doğru ağırlık (gr)	Hacim cm ³	Dp (gr/cm ³)	Dn (gr/cm ³)	Vh (%)	Vma (%)	Vf (%)	Akma (mm)	Stb (kN)	Dz.Fak.	Dz.Stb (kG)
			1	2	3	Ort												
1	4,900	4,67	61,1	61,2	61,0	61,1	1246,02	742,05	1256,47	2,42218	2,571	5,779	17,4152	66,684	4,01	12,50	1,036	1295
2	4,900	4,67	60,8	61,0	61,1	61,0	1248,32	743,02	1256,64	2,43043	2,571	5,458	17,1339	68,010	4,12	10,80	1,036	1118,88
3	4,900	4,67	61,5	61,7	61,3	61,5	1250,01	741,22	1260,37	2,4078	2,571	6,339	17,9056	64,473	3,76	10,50	1,053	1105,65
									515,73	2,42014	2,571	5,859	17,4849	66,389	3,96	11,27		1173,177

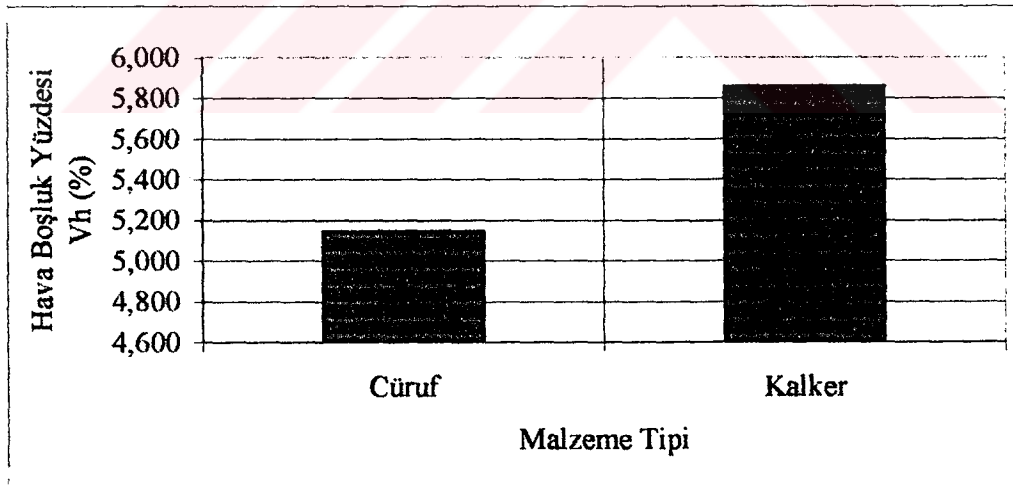
Dp: Hacim Özgürlük Ağırlığı Dn: Maksimum Teorik Özgürlük Ağırlık Vh: Boşluk Oranı

Vma: Agregalar arası boşluk oranı Vf: Asfaltla Dolu Boşluk Oranı

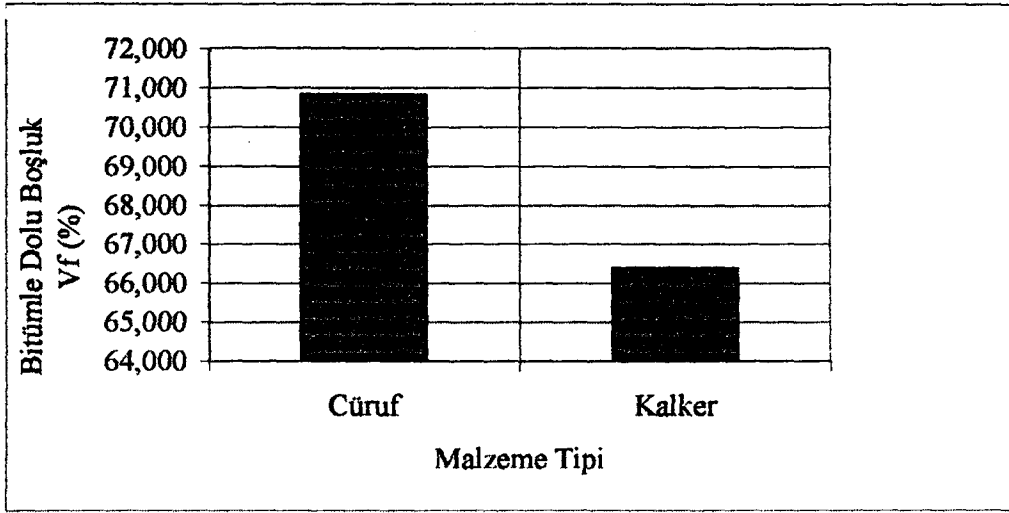
Tablo 10.11 E.D.Ç.F. çelikhane cürufu ve kalker ile hazırlanmış optimum bitüm yüzdesindeki fiziksel özellikler

Optimum Bitüm Yüzdesindeki Fiziksel Özellikler	E.D.Ç.F cürufu	Kalker	Şartname Limitleri
Boşluk Yüzdesi Vh (%)	5,143	5,859	4-6
Bitümle Dolu Boşluk Oranı Vf (%)	70,816	66,389	65-75
Stabilite (kg)	1469,033	1173,177	Min 750
Pratik Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	2,546	2,420	-
Akma (mm)	2,990	3,960	2-4

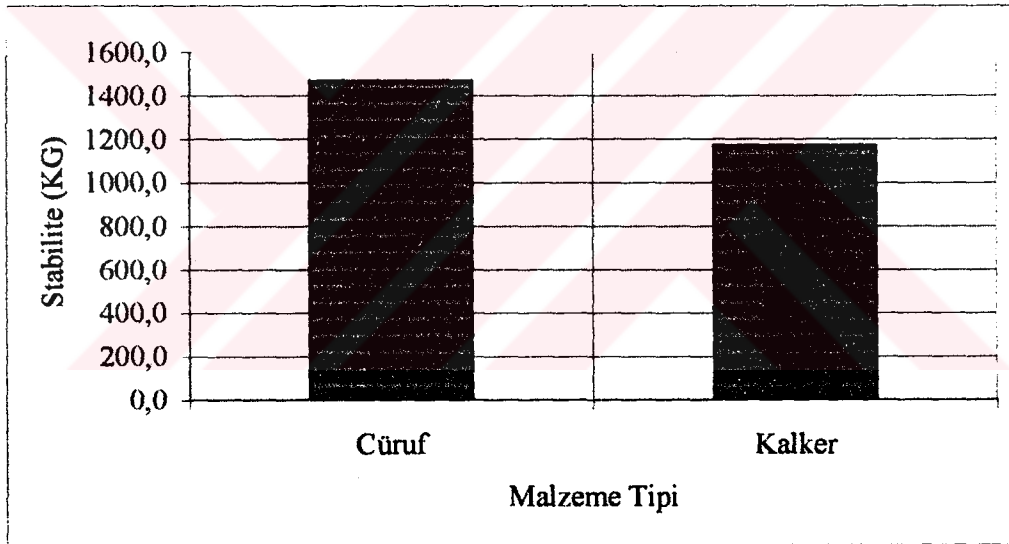
Optimum bitüm yüzdesinde hazırlanan numunelerin fiziksel özelliklerine ait grafikler Şekil 10.7- 10.8 – 10.9 – 10.10 ve 10.11 de verilmiştir.



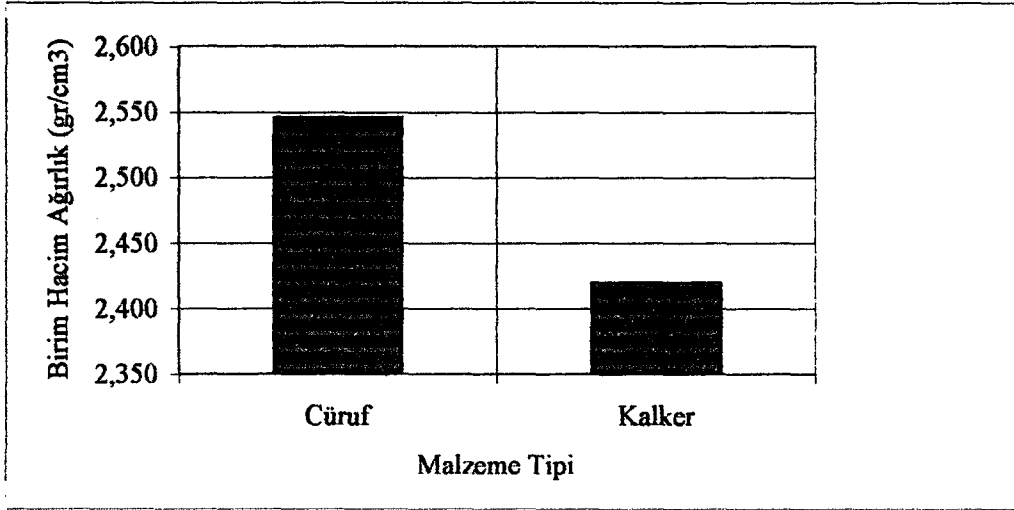
Şekil 10.7. E.D.Ç.F. Cürufu ve Kalker numunelerinin optimum bitüm yüzdesindeki boşluk oranları



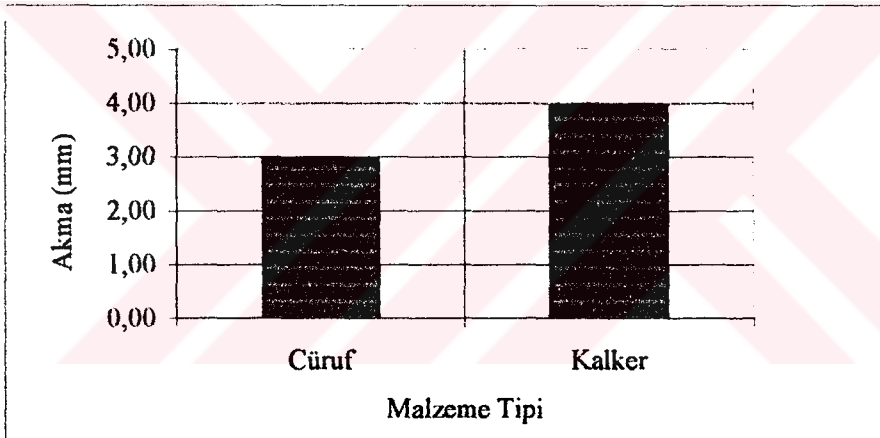
Şekil 10.8. E.D.Ç.F. Cürufu ve Kalker numunelerinin optimum bitüm yüzdesindeki bitümle dolu boşluk oranları



Şekil 10.9. E.D.Ç.F. Cürufu ve Kalker numunelerinin optimum bitüm yüzdesindeki stabiliteleeri



Şekil 10.10. E.D.Ç.F. Cürufu ve Kalker numunelerinin optimum bitüm yüzdesindeki birim hacim ağırlıkları



Şekil 10.11. E.D.Ç.F. Cürufu ve Kalker numunelerinin optimum bitüm yüzdesindeki akma değerleri

Agregasının tamamı cüruftan oluşan 15 adet numune ve agregasının tamamı kalkerden oluşan 15 adet numune hazırlanarak indirekt çekme, rijitlik modülü ve sünme deneyleri yapılmıştır. Deneyler sırasında cürufli numunelerden 3'ü kalkerli numunelerden 6'sı hasar görmüştür. Sağlam numuneler üzerinden elde edilen deney sonuçları Tablo 10.12 ve Tablo 10.13'de verilmiştir.

İndirekt çekme ve rijitlik modülü deneylerinde deformasyon 7 mikron olarak sabit tutulmuştur.

Sünme deneyi statik olarak yapılmış ve 100 kPa sabit yük uygulanmıştır.

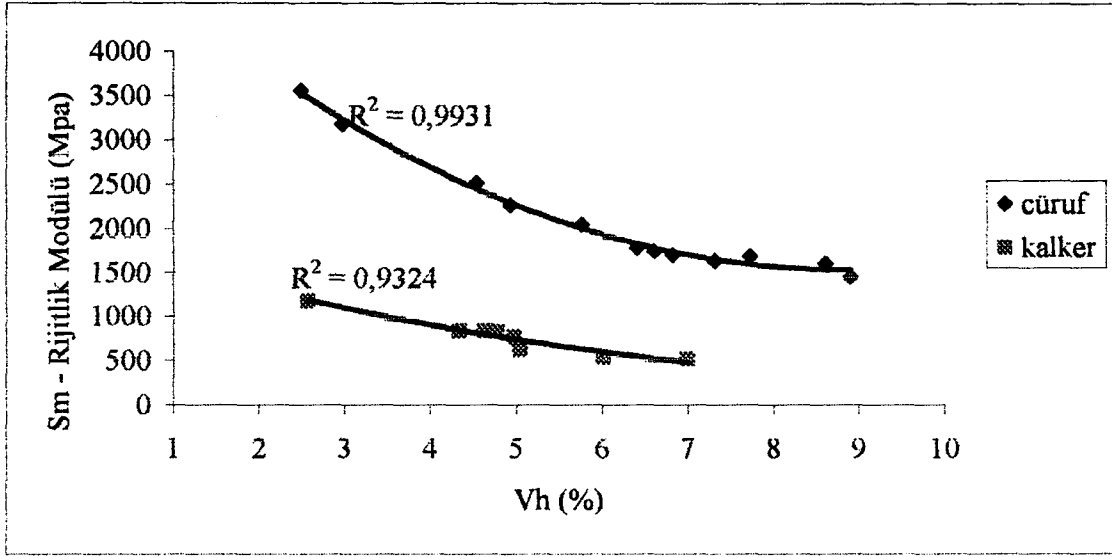
Tablo 10.12. Cürüflü numunelere uygulanan indirekt çekme deneyi sonuçları

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
V _b (%)	4,538	4,932	6,602	2,487	8,898	7,715	2,974	5,759	8,605	6,398	7,305	6,819
V _f (%)	72,32	70,54	63,73	82,96	55,98	61,64	80,20	67,02	58,80	64,50	61,18	62,92
V _{MA} (%)	16,39	16,74	18,20	14,59	20,21	18,70	15,02	17,46	19,432	18,02	18,81	18,39
ITS (kPa)	144	139	122	236,3	105,7	120,3	221,9	132,4	116,6	122,2	119,3	121,4
S _m (Mpa)	2899	1943	1746	3558	1456	1689	3184	1874	1612	1786	1635	1702
S (Mpa)	43,05	41,65	27,49	49,10	15,06	21,87	46,02	34,00	15,56	33,28	20,42	23,16

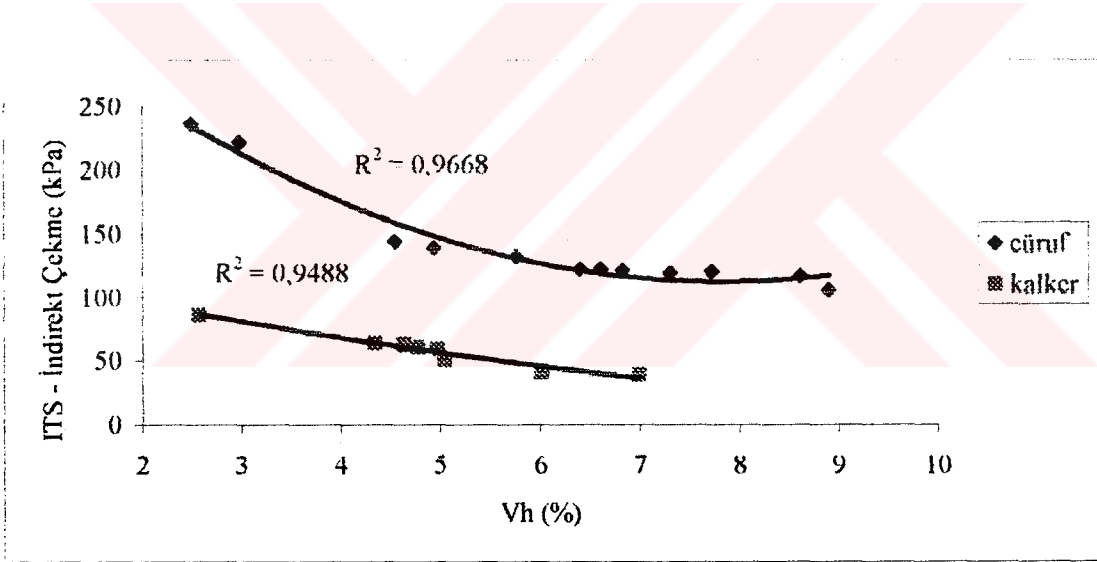
Tablo 10.13 Kalkerli numunelere uygulanan indirekt çekme deneyi sonuçları

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
V _b (%)	4,631	6,987	2,568	5,042	4,337	4,769	6,015	4,639	4,974
V _f (%)	71,55	62,07	82,45	69,71	72,93	70,92	65,36	71,52	70,00
V _{MA} (%)	16,28	18,31	14,44	16,64	16,02	16,40	17,55	16,29	16,58
ITS (kPa)	63,75	39,14	86,04	50,75	64,27	60,52	40,92	62,46	59,54
S _m (Mpa)	842	522	1180	545	843	835	534	839	774
S (Mpa)	34,30	18,24	40,12	26,15	37,98	31,25	23,83	32,45	29,46

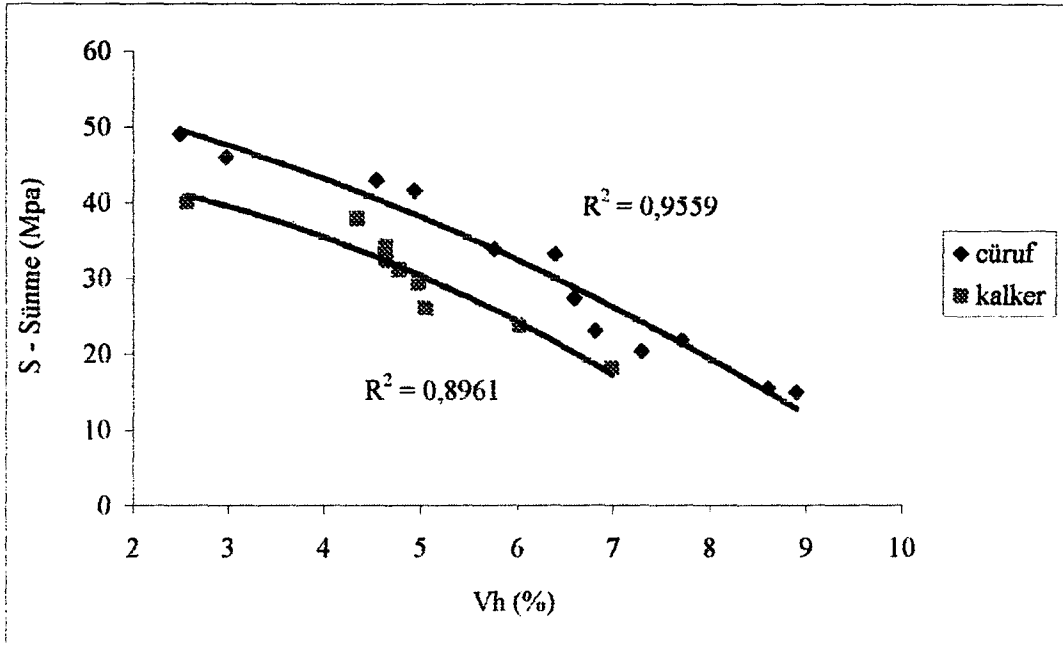
Numunelerin boşluk oranları çok değişken olduğundan, fazla sayıda numune dökülerek boşluk oranlarına göre karşılaştırma yapılmıştır. Şekil 10.12 , Şekil 10.13 , Şekil 10.14’de rijitlik modülü, indirekt çekme değeri ve sünme değerlerinin boşluk oranına göre değişimi gösterilmiştir.



Şekil 10.12. Cüruf ve Kalker numunelerinin farklı hava boşluğundaki rijitlik değerleri



Şekil 10.13. Cüruf ve Kalker numunelerinin farklı hava boşluğundaki indirekt çekme değerleri



Şekil 10.14. Cüruf ve Kalker numunelerinin farklı hava boşluğundaki sünme değerleri

11. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Kalkerli ve cürufllu numuneler üzerinde yapılan Marshall stabilite deneylerinden elde edilen değerler şartname limitleri içinde kalmıştır.

Yapılan deneyler sonucunda cürufllu numunelerden elde edilen stabilite değerleri, kalker numunelerine göre daha yüksek; akma değerleri ise daha düşük olarak tespit edilmiştir.

Yapılan indirekt çekme deneyleri sonucunda ise cürufllu numunelerde, kalkerli numunelere göre rijitlik modülü ve indirekt çekme değerleri daha yüksek bulunmuştur.

Ülkemizde demir çelik endüstrisinden gelen yan ürünlerin geri kazanımı ve atıkların çevreyle uyumlu bir şekilde yok edilebilmesi konusunda çalışmalar yapılmalıdır. Diğer ülkelerde olduğu gibi bu tür konularda üretim yapan şirketler ve araştırmacılar birlikte çalışmalı, geliştirilecek uygulama alanları devletimiz tarafından yasalarla desteklenmelidir.

Karayolu üst yapısında ve yol yapımında kullanılan agregalar yola etki eden yüklerin oluşturduğu gerilmelere karşı önemli rol oynamaktadır. Yapılan fiziksel ve kimyasal deneyler sonucunda E.D.Ç.F. çelikhane cürufllunun fiziksel ve kimyasal olarak karayolu üstyapısında yapay agregası olarak kullanılabilmesi için gerekli tüm özellikleri sağladığı saptanmıştır.

Cüruf karışımı asfalt tabakası uygulamasının olumlu sonuçlar vereceği, yalnız taşıma maliyetleri açısından doğal agregası ile arasındaki farkın proje bazlı incelenerek ortaya konulması ve cürufllun özellikle Erdemir yakınlarındaki bölgelerde, Karadeniz Ereğli’de kullanımının daha avantajlı olacağı kanaatine varılmıştır.

Atık ve atıl malzemenin yeniden üretimde değerlendirilmesi hem ekonomik hem de çevreci bir yaklaşımdır.

KAYNAKLAR

- 1- UMAR, F., YAYLA, N. 1994, Yol İnşaatı , İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul
- 2- SÖNMEZ, B., BAŞ, E., GÜNAY, E., KARA, M., 2003, Erdemir Çelikhane Cürufalarının Asfalt Betonu Agregası Ve Demiryolu Balast Malzemesi Olarak Kullanılması İmkanları, Erdemir – Ereğli
- 3- AL-HOURANİ, M. A, KHEDAWİ, T. S., 1998, Effect of Polymer and Limestone Dust On The Durability of Asphalt Paving Mixtures, www.environment.gov.jo
- 4- Morrison, Ronald. “Applications of Boiler Slag,” Presented at the Regional Seminar on Ash Utilization, St. Louis, Missouri, by the American Coal Ash Association, November 1974.
- 5- YILDIRIM, B., KULOĞLU, N., AKYİĞİT, M., 1993, Ergani Bakır İşletmeleri Cürufunun Bitümlü Sıcak Karışımında Agregası Olarak Kullanılması, İMO Teknik Dergi, İstanbul
- 6- GÜNGÖR, M., 1996, Afşin – Elbistan Uçucu Külünün Asfalt Betonu Kaplamalarda Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ
- 7- BAYINDIRLIK VE İSKAN BAKANLIĞI, 1999, Bayındırlık ve İskan Bakanı Koray AYDIN’ ın 2000 Mali Yılı Bütçe Kanunu Tasarısını TBMM Genel Kurulu’ na Sunuş Konuşması, Ankara
- 8- AĞAR, E., SÜTAŞ, İ., ÖZTAŞ, G., 1998, Beton Yollar, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul
- 9- YILDIRIM, B., ŞİŞ, A., 2001, Şartname Sınırlarındaki Agregası Granülometrisinin Asfalt Betonunun Fiziksel Özelliklerine ve Optimum Bitüm Oranına Etkisi, Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 13, 2, 95-100, Elazığ
- 10- EREL, A., 1978, Düşey Dinamik Dingil Yükleri Altındaki Demiryolu Yapısında Taban Zeminlerinin Taşıma Güçlerine Bağlı Olarak Minimum Balast Kalınlığının Hesaplanması, Doktora Tezi, İstanbul
- 11- UMAR, F., AĞAR, E., 1991, Yol Üstyapısı, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul
- 12- KGM, 1984, Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi, Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara
- 13- TERZİ, S., 2000, Mermer Toz Atıklarının Asfalt Betonunda Filler Malzemesi Olarak Kullanılmasının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta
- 14- TUNÇ, A., 2001, Yol Malzemeleri ve Uygulamaları, Ankara
- 15- DALLAS, L. N., 1995, Handbook for Stabilization of Pavement Subgrades and Base Courses With Lime, Texas

- 16- YOLLAR FENNİ ŞARTNAMESİ,2000, Karayolları Genel Müdürlüğü, Yayın No: 170/2, Ankara
- 17- SALTER, J. R., 1998, Highway Design and Construction, London
- 18- YILDIRIM, B., 1984, Yol Bilgisi (Ulaşım), Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayını, Elazığ
- 19- DOĞAN,Y., 2004, Bitümlü Sıcak Karışımlarda Kullanılan Agregada Cinsinin Kaplamanın Fiziksel Özelliklerine Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ
- 20- SALTAN,M., 1999, Esnek Üstyapıların Analitik Değerlendirilmesi, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta
- 21- ELLİCOT, G. ,2003 Mining the Slag Heap, Industrial Minerals
- 22- HEASTON, B.S. , 1993 Steel Plant Slag in Road Pavements, Australian Civil Engineering Transactions
- 23- ASTM C 128-88, 1992, Test Method for Specific Gravity and Adsorption of Fine Aggregate, Annual Book of ASTM Standards, USA
- 24- KUMBASAR, V., KUMBASAR, F., ÖNALP, A., 1969, Yol Mühendisleri İçin Zemin Mekaniği, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul
- 25- CAPPER, P. L., CASSİE, W. F., (Çeviren KUMBASAR, V., KİP, F.), 1973, İnşaat Mühendisliğinde Zemin Mekaniği, Çağlayan Kitapevi, İstanbul
- 26- KEÇECİLER, A. F., GÜMRÜKÇÜOĞLU, A., 1988, Bitümlü Malzemeler Laboratuvar El Kitabı, Karayolları Genel Müdürlüğü Araştırma Dairesi Başkanlığı, Yayın No: 239, Ankara
- 27 – TS 3655, 1981 , “Beton Agregalarında Dona Dayanıklılık Tayini”
- 28- TS 3694, 1981 , “Beton Agregalarında Aşınmaya Dayanıklılık Aşınma Oranı Tayini Metodu”
- 29- TÜBİTAK – Marmara Araştırma Merkezi Malzeme ve Kimya Teknolojileri Araştırma Enstitüsü, “Çelikhaneciliğin Farklı Uygulama Alanlarında Değerlendirilmesi” , 2002 , Gebze – Kocaeli
- 30- KGM, 1990, Asfalt Beton Karışım Dizayn Metotları, Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara
- 31 – TS 3720, 1983 , “Bitümlü Kaplama Karışımlarının Hesap Esasları”
- 32- KGM, 2002, Adapazarı Taşkırsığı Taş Ocağı Malzemeleriyle Kent Merkezindeki Yolların Asfaltlanması İçin Aşınma Ve Binder tabakaları Dizaynı, Karayolları Genel Müdürlüğü 4. Bölge Müdürlüğü Araştırma Başmühendisliği Raporu, Ankara

Ekrem Tolga SOMUNKIRAN

Fırat Üniversitesi Müh.

Fak. Loj. M-11 No:6

ELAZIĞ

Tlf: 0 532 352 68 50

E-mail: tsomunkiran@yahoo.com

tsomunkiran@hotmail.com

Doğum Tarihi: 01-04-1977 / Elazığ

Eğitim: Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü
Ulaşım A.B.D Yüksek Lisans Öğrencisi (2001-)

Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü (1996-2001)

Elazığ Anadolu Lisesi (1988-1995)

Yabancı Diller: İngilizce (İyi derecede)
Almanca (Başlangıç düzeyinde)

Bilgisayar Programları: Sap 2000, Sap 90, Microsoft Word,Excel,
Powerpoint

Askerlik Hizmeti: Tamamlandı (12/2004 – 05/2005)

İş Tecrübesi:

EMEK İnşaat: Şantiye Şefi
Düzce Kalıcı Konutlar Yol Bağlantısı (2005 -)
Çerkeş Şehir Geçişi (2004-2005)
Adapazarı Kent Merkezi Asfaltlanması İşi (2003-2004)

Parsons-Brickerhoff : Kontrol Mühendisi (11/2002- 3/2003)
Elazığ Sağlık Merkezi İnşaatı

KUZU İnşaat: Şantiye Şef Yardımcısı (09/2001 -11/2002)
Şişli Çıraklık Eğitim Merkezi İnşaatı
Küçükçekmece Otelcilik Meslek Lisesi İnşaatı

Öğrencilik yıllarında lisanslı sporcu olarak basketbol oynamıştır.
Bekârdır.