

**KİREÇ, UÇUCU KÜL VE ÇİMENTO
GİBİ İLAVE MALZEMELERİN
ASFALT BETONU KARIŞIMLARIN
MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

Emine GÜRSEL
Yüksek Lisans Tezi

Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Haziran - 2002

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Emine GÜRSEL' in Kireç, Uçucu Kül ve Çimento Gibi İlave Malzemelerin Asfalt Betonu Karışımların Mekanik Özelliklerine Etkisi başlıklı İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalındaki, Yüksek Lisans Tezi 14.06.2002 tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Adı-Soyadı

İmza

Üye (Tez Danışmanı) : Prof. Dr. Ahmet TUNCAN

Üye : Prof. Dr. Mustafa TUNCAN

Üye : Yard. Doç. Dr. Hakan KOYUNCU

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu' nun .19.6.2002. tarih ve ..21/3.. sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü

Prof. Dr. Orhan ÖZER
Fen Bilimleri Enstitüsü
Müdürü

ÖZET
Yüksek Lisans Tezi

**KİREÇ, UÇUCU KÜL VE ÇİMENTO GİBİ İLAVE MALZEMELERİN
ASFALT BETONU KARIŞIMLARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

EMİNE GÜRSEL

**Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman : Prof. Dr. Ahmet TUNCAN
2002, 75 Sayfa**

Bu çalışmada, uçucu kül, çimento ve kirecin bitümlü sıcak karışımların mekanik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Yollar Fenni Şartnamesi' nde belirtilen standartlarda belirtilen tek tip agrega ve asfalt çimentosu kullanılmıştır. Endüstriyel atık potansiyeline sahip olan termik santral uçucu külün bitümlü karışımlardaki soyulma direncine etkileri incelenmiştir. Uçucu kül dışında kireç ve çimento gibi katkılarda kullanılmıştır. Bütün katkılar, agrega ağırlığının %1, %1.5, %2 oranlarında filler malzemesi ile yer değiştirmiştir. Karışımlar üzerinde nicholson soyulma deneyi, marshall stabilite ve akma deneyi, dolaylı çekme mukavemeti ve su hasarı deneyi yapılmıştır.

Nicholson soyulma deneyinde bütün katkı tiplerinde soyulma direnci iyileşirken, en iyi sonuç kireç ilavesinde elde edilmiştir. Katkılı karışımların marshall stabilite ve akma deneyi sonuçları şartname limitleri arasında kalmakta fakat karışıma etkinin belirlenmesinde bu deney yeterli olmamaktadır. Katkılı karışımların, dolaylı çekme mukavemeti katkısız karışımlara göre azalırken, en iyi sonuç kireç ilavesinde alınmıştır. Su hasarında, en iyi sonuç uçucu külün %1 ilavesinden elde edilmiştir. Beklenilen aksine kireç ilaveli karışımların su hasarı değerinde dikkate değer bir artış görülmemiştir. Kullanılan oranlarda çimento ilavesinde su hasarı değerinin artış eğiliminde olması katkı oranlarının artırılabilceğinin göstergesidir.

Bu çalışmada, en iyi sonuçların elde edildiği uçucu külün atık bir malzemenin değerlendirilmesi açısından da düşünüldüğünde asfalt beton karışımlarda kullanımı yerinde bir karar olacaktır.

Anahtar Kelimeler : Bitümlü Sıcak Karışımlar, Uçucu kül, Kireç, Çimento, Soyulma

ABSTRACT**Master of Science Thesis****THE EFFECT OF LIME, CEMENT AND FLY ASH
ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF
ASPHALT CONCRETE MIXTURES****EMİNE GÜRSEL****Anadolu University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Engineering Program****Advisor : Prof. Dr. Ahmet TUNCAN
2002, 75 pages**

In this study, the effect of lime, cement and fly ash on the mechanical properties of hot-mixed asphalt concrete mixtures are investigated. The properties of hot-mixed asphalt mixtures are chosen according to Turkish Highway regulations. The effect of fly ash obtained from electrical power plant on the stripping resistance of hot-mixed asphalt are investigated. In addition to fly ash, lime and cement are also used as an additive material. All additives are replaced by filler materials as a percentages of 1, 1.5 and 2. Nicholson stripping, Marshall stability, tension and moisture sensitivity tests were performed on fly ash, cement and lime added mixtures.

Lime is used to reduce the sessebility against water. Lime forms bounding on the surface of aggregates and prohibits bituminous from leaving the surface. It can be seen that this bounding is not strong under the indirect tensile test. Therefore, it does not give the expected results. In contrast, cement give the expected results against water sensitivity. On the other hand, fly ash gave the best results for both stability and water.

Stripping is improved under the Nicholson stripping test and lime gave the best results. When the Marshall stability, Indirect tensile strength and water sensitivity values are considered, one percent fly ash added mixtures gave the best results. On the other hand, addition of lime does not effect the water sensitivity results, whereas, addition of cement improve the mechanical properties against water sensitivity.

This study shows that, fly ash can be used in the asphalt concrete mixtures.

Keywords: Asphalt Concrete Mixtures, Fly Ash, Lime, Cement, Stripping.

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında yardımlarını esirgemeyen değerli hocalarım Prof. Dr. Ahmet TUNCAN ve Prof. Dr. Mustafa TUNCAN' a , Araş. Gör. Altan ÇETİN' e, laboratuvar çalışmalarında yardımları için Jeoloji Müh. Nilgün DOĞAN¹ ile ekibine teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimi için beni destekleyerek, her türlü imkanı sağlayan İnş. Yük. Müh. Naci KOLOĞLU², na, çalışmalarım boyunca desteğini esirgemeyen İnş. Müh. Ersan SEVİM³, e teşekkürlerimi sunarım.

Manevi destekleri için aileme ve sınıf arkadaşlarım İnş. Müh. Bülent DÜLGER ile İnş. Müh. Ümit Arslan DEMİRYÜREK' e teşekkür ederim.

¹ Kalite Kontrol Şefi, Kolin İnşaat A.Ş., Birecik Şantiyesi, Ş. Urfa

² Yönetim Kurulu Başkanı, Kolin İnşaat A.Ş., Ankara

³ Proje Müdürü, Kolin İnşaat A.Ş., Mahmutbey Şantiyesi, İstanbul

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI	2
2.1. Bitümlü Karışımlarda Kül Kullanımı.....	3
2.2. Bitümlü Karışımlarda Kireç Kullanımı	5
2.3. Bitümlü Karışımlarda Çimento Kullanımı	6
3. ESNEK YOL ÜST YAPILARI	8
3.1. Bitümlü Sıcak Karışımlar	8
3.2. Bitümlü Karışımların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri	9
3.2.1. Stabilité	10
3.2.2. Durabilite.....	11
3.2.3. Geçirimsizlik	12
3.2.4. İşlenebilirlik	12
3.2.5. Esneklik	13
3.2.6. Yorulmaya karşı direnç	13
3.2.7. Kayma direnci	14
3.3. Asfalt Beton Kaplamalarda Oluşan Bozulmalar	14
3.3.1. Kalıcı deformasyonlar	15
3.3.2. Çatlamlar	17
3.3.3. Ayrışmalar	18

İÇİNDEKİLER (Devamı)

4. BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIMLARDA SU HASARI.....	20
4.1. Soyulma Olayının Mekanizması	21
4.2. Su Hasarını (Soyulma) Etkileyen Faktörler	22
4.3. Soyulma Olayı İçin Alınacak Önlemler	24
5. KULLANILAN MALZEMELER	26
5.1. Agrega	26
5.2. Bitümlü Bağlayıcı [Asfalt Çimentosu].....	28
5.3. Katkı Malzemeleri	28
5.3.1. Kireç	28
5.3.2. Portland çimentosu	29
5.3.3. Uçucu kül (Fly ash):	29
6. DENEY METODLARI.....	30
6.1. Nicholson Soyulma Deneyi	30
6.1.1. Deneyde kullanılan cihazlar	30
6.1.2. Deney numunesinin hazırlanması	30
6.1.3. Deneyin yapılışı	30
6.2. Bitümlü Sıcak Karışımların Marshall Metodu ile Tasarımı.....	32
6.3. Agrega Özgül Ağırlık Kavramları.....	33
6.4. Kaba Agrega Su Absorbsiyonu ve Özgül Ağırlık Tayini..	34
6.4.1. Gerekli cihazlar	34
6.4.2. Deney numunesinin hazırlanması	35
6.4.3. Deney yöntemi	35
6.4.4. Hesaplamalar	37
6.5. İnce Agrega Su Absorbsiyonu ve Özgül Ağırlık Tayini ..	38
6.5.1. Deneyde kullanılacak cihazlar.....	38
6.5.2. Deney yöntemi	38

İÇİNDEKİLER (Devamı)

6.6. Mineral Filler Zahiri Özgül Ağırlık Tayini	40
6.6.1. Deneyde kullanılacak cihazlar.....	40
6.6.2. Deney Yöntemi.....	40
6.7. Asfalt Çimentosunun Özgül Ağırlığının Tayini	42
6.8. Agregada Karışımın Özgül Ağırlığının Tayini	42
6.9. Bitümlü Kaplama Karışımların Maksimum Teorik Özgül Ağırlığının Tayini.....	43
6.10. Sıkıştırılmış Bitümlü Kaplama Karışımların Hacim Özgül Ağırlığının Tayini.....	44
6.11. Agregada Etkin Özgül Ağırlığın Tayini	45
6.12. Bitüm Absorpsiyon Yüzdesinin Hesaplanması.....	45
6.13. Kaplama Karışımının Etkin Bitüm Yüzdesinin Hesaplanması	46
6.14. Farklı Bitüm Miktarlarında Hazırlanan Karışımın Maksimum Özgül Ağırlığının Tayini	46
6.15. Sıkıştırılmış Kaplama Karışımlarındaki Agregalar Arası Boşluk (VMA) Yüzdesi Tayini	47
6.16. Sıkıştırılmış Kaplama Karışımındaki Hava Boşluğu ve Asfaltla Dolu Boşluk Yüzdesinin Hesaplanması	48
6.17. Marshall Stabilite ve Akma Deneyi	48
6.18. Dolaylı Çekme Mukavemet Deneyi.....	53
6.19. Su Hasarı Deneyi.....	54
7. DENEY SONUÇLARI	58
7.1. Nicholson Soyulma Deneyi	58
7.2. Marshall Metodu ile Karışım Tasarımı Sonuçları.....	59
7.2.1. Agregada ve bitüme ait deney sonuçları	59
7.2.2. Marshall Stabilite Deney Sonuçları.....	60
7.3. İlave malzemelerin Marshall Stabilitesine Etkisinin Araştırılması	64

İÇİNDEKİLER (Devamı)

7.4. Koşullu ve Koşulsuz Dolaylı Çekme Mukavemeti	
Deneyine Etkisinin Araştırılması	69
7.5. Su Hasarına Karşı Dayanıma Etkisinin Araştırılması	70
8. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	72
9. KAYNAKLAR	74

ŞEKİLLER DİZİNİ

3.1. Asfalt Betonun Stabilitesinin Çeşitli Faktörlerle İlişkisi	10
3.2. Zayıf Taşıma Kapasiteli Taban Zeminine Bağlı Tekerlek İzi Oluşumu	16
3.3. Zayıf Bitümlü Tabakaya Bağlı Tekerlek İzi Oluşumu	16
3.4. Blok Çatlaklar	17
3.5. Timsah Sırtı Çatlaklar	17
3.6. Termal (Enine) Çatlaklar	18
3.7. Kenar Çatlakları	18
3.8. Folluk Tipi Oyuk	19
3.9. Sökülme	19
3.10. Soyulma	19
3.11. Kusma	19
5.1. Kullanılan Agreganın Granülometri Eğrisi	27
6.1. Beher İçindeki Bitümün Kum Banyosunda Isıtılması	31
6.2. Agreganın Bitümle Kaplanması	32
6.3. Agregaların Elek Aralıklarına Göre Sınıflandırılmış Hali	36
6.4. Malzemelerin Etüvde Kurutulması	37
6.5. İnce Agreganın Yüzeyinin Kurutulması	39
6.6. Filler Malzemesi İçin Özgül Ağırlık Deneyi	41
6.7. Islak Agrega Karışıma Kireç İlavesi	50
6.8. Marshall Briketi İçin Gerekli Malzeme Tartımlarının Yapılması	50
6.9. Karıştırma İşlemi Tamamlanan Malzemenin Sıkıştırma Sıcaklığının Tespiti	51
6.10. Sıkıştırma İşleminde Kullanılan Marshall Kompaktörü	51
6.11. Sıkıştırılmış Numunenin Kalıptan Çıkarılması	52
6.12. Marshall Stabilite ve Akma Deney Aleti	52
6.13. Dolaylı Çekme Mukavemet Deneyi	53
6.14. Derin Dondurucuda Bekletilen Numuneler	56
6.15. Su Banyosunda Bekletilen Koşullu Numuneler	56
6.16. Koşullu Numunelerin Dolaylı Çekme Mukavemetinin Belirlenmesi	57

ŞEKİLLER DİZİNİ (Devamı)

6.17. Koşullu Numunelerin Deney Sonrası Durumu	57
7.1. Nicholson Soyulma Deney Sonuçları	59
7.2. Hacim Özgül Ağırlığın Bitüm Yüzdesi ile Değişimi	61
7.3. Asfaltla Dolu Boşluğun Bitüm Yüzdesi ile Değişimi	61
7.4. Boşluğun Bitüm Yüzdesi ile Değişimi	62
7.5. Agregalar Arası Boşluğun (VMA) Bitüm Yüzdesi ile Değişimi	62
7.6. Marshall Stabilitesinin Bitüm Yüzdesi ile Değişimi	63
7.7. Akmanın Bitüm Yüzdesi ile Değişimi	63
7.8. İlave Malzemelerin Hacim Özgül Ağırlığına Etkisi	66
7.9. İlave Malzemelerin Asfalt Dolu Boşluk Oranına Etkisi	66
7.10. İlave Malzemelerin Boşluk Yüzdesine Etkisi	67
7.11. İlave Malzemelerin VMA' ya Etkisi	67
7.12. İlave Malzemelerin Marshall Stabilitesine Etkisi	68
7.13. İlave Malzemelerin Akmaya Etkisi	68
7.14. Dolaylı Çekme Dayanımının Katkı Malzemesi Oranlarıyla Değişimi	71
7.15. Su Hasarına Karşı Dayanımın Katkı Malzemesi Oranları İle Değişimi	71

ÇİZELGELER DİZİNİ

5.1. Agrega Gradasyon Değerleri.....	26
5.2. Agreganın Yoğunluğu ve Su Emme Değerleri	27
5.3. Kaba Agreganın Bazı Fiziksel Özellikleri	27
5.4. Asfalt Çimentosunun Özellikleri.....	28
5.5. Uçucu Külün Özellikleri	29
6.1. Malzemelerin tane boyutuna göre minimum numune miktarları	35
7.1. %1 İlave Oranında Nicholson Soyulma Deney Sonuçları	58
7.2. Agrega ve Bitüme Ait Özellikler	59
7.3. Marshall Stabilite ve Akma Değerleri.....	60
7.4. Katkı İlave Oranları ile Marshall Stabilite ve Akma Değerleri ..	64
7.6. Katkılı Karışımlara Ait Dolaylı Çekme Mukavemet Değerleri..	69
7.7. Katkılı Karışımlara Ait Dolaylı Çekme, Koşullu Dol. Çekme ve Su Hasarı Değerleri	71

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

a	: Piknometre ağırlığı (g)
A_i	: Piknometre ağırlığı (g)
A_k	: Kuru numune ağırlığı (g)
A_t	: Piknometrenin boş ağırlığı (g)
b	: Piknometre+su ağırlığı (g)
B	: Doygun-yüzey kuru numune ağırlığı (g)
B_f	: Piknometre+su ağırlığı (g)
B_o	: 25 °C'deki su dolu piknometre ağırlığı (g)
B_k	: Doygun-yüzey kuru numune ağırlığı (g)
B_t	: 25 °C'deki su dolu piknometre ağırlığı (g)
c	: Piknometre+bitüm ağırlığı (g)
C	: Numunenin sudaki ağırlığı (g)
C_f	: Piknometre+kuru numune ağırlığı (g)
C_i	: Piknometre ve doygun-yüzey kuru numune ağırlığı (g)
C_k	: Doygun-yüzey kuru numunenin sudaki ağırlığı (g)
C_t	: Piknometre+numune ağırlığı (g)
d	: Piknometre+bitüm+su ağırlığı (g)
D	: Numune çapı (cm)
D_T	: Kaplama karışımının maksimum özgül ağırlığı
D_f	: Piknometre+kuru numune+su ağırlığı (g)
D_i	: 25 °C'deki numune ve su dolu piknometre ağırlığı (g)
D_P	: Sıkıştırılmış karışımın (briketin) hacim özgül ağırlığı
D_t	: 25 °C'deki numune ve su dolu piknometre ağırlığı (g)
E_i	: Kuru numune ağırlığı (g)
%F	: Fillerin ağırlıkça yüzdesi
G_b	: Bitüm özgül ağırlığı
G_{ef}	: Agregat efektif özgül ağırlığı
G_{fa}	: Fillerin zahiri özgül ağırlığı
G_{ia}	: İnce agreganın zahiri özgül ağırlığı
G_{ib}	: İnce agreganın hacim özgül ağırlığı
G_{ka}	: Kaba agreganın zahiri özgül ağırlığı
G_{kb}	: Kaba agreganın hacim özgül ağırlığı
G_{sa}	: Agregat karışımının zahiri özgül ağırlığı
G_{sb}	: Agregat karışımının hacim özgül ağırlığı
G_{se}	: Efektif özgül ağırlık
%İ	: İnce agreganın ağırlıkça yüzdesi
%K	: Kaba agreganın ağırlıkça yüzdesi
P	: Maksimum yük (kg)
P_{ba}	: Absorbe edilen bitüm

P_{be}	: Agreganın ağırlıkça yüzdesi olarak efektif bitüm miktarı
S_t	: Dolaylı çekme dayanımı (kg/cm ²)
S_i	: Koşulsuz grubun ortalama çekme dayanımı (kg/cm ²)
S₂	: Koşullu grubun ortalama çekme dayanımı (kg/cm ²)
t	: Numune kalınlığı (cm)
V_{ap}	: Asfaltı absorbe eden boşluklar hacmi
V_f	: Asfaltla dolu boşluk
V_h	: Toplam hacim yüzdesi olarak sıkıştırılmış karışımdaki hava boşluğu
V_{ip}	: Geçirimsiz boşluklar hacmi
VMA	: Agregalar arası boşluk yüzdesi
V_s	: Katı hacmi
V_{pp}	: Su geçirimli boşluklar hacmi
W_a	: Agreganın yüzdesi olarak bitüm
W_s	: Agreganın kuru ağırlığı
AC	: Asphalt Cement
AASHTO	: American Association of State Highway and Transportation Official
ASTM	: American Society of Testing and Materials

1. GİRİŞ

Ulaşım, modern kent hayatının temel sorunlarından biridir ve geniş kitleleri etkileyen bir konudur. En fazla yolculuğun yapıldığı karayollarının yüksek sürüş konforuna ve yeterli trafik güvenliğine sahip olabilmesi, tekniğe uygun projelendirilmiş ve uygulanmış asfalt kaplamalara sahip olmasına bağlıdır.

Yollarımızda yapılan asfalt kaplama uygulamalarının, maliyet açısından çok büyük rakamlara ulaştığı bir gerçek olup, yapılan harcamaların yerini bulması, asfaltların doğru ve istenilen kalitede yapılması ile doğrudan ilgilidir. Gerek yapım ve gerekse yenileme aşamalarında maliyeti önemli ölçüde etkileyen yol yapım malzemelerinden biri asfalt kaplamadır.

Karayolları kaplamalarının bozulmasına sebep olan etkenler sürekli değişim göstermekte olup, bunlar arasında taban zeminin yapısı, nem oranı, iklim, trafik gibi etkenleri sıralayabiliriz.

Asfalt kaplamaların yüzeyinde yapımından kısa süre sonra çatlak ve deformasyonlar meydana gelmekte ve bunların giderilmesi oldukça masraflı olmaktadır. Yollarda meydana gelen çatlak ve deformasyonlar yeterli kalitede malzeme kullanılmaması, yol alt yapısının ve üst yapının standartlara uygun inşaa edilememesi veya yol ulaşımına açıldıktan sonra taşıtların belirlenen yük sınırını aşmaları ve yol bakımlarının yeterince yapılamaması gibi ana nedenlere bağlanabilir.

Karayolu üst yapısında genel olarak yapısal tasarım ve karışım tasarımı olmak üzere iki adet kavram bulunmaktadır. Yapısal tasarımın amacı, asfalt bağlayıcılı tabakanın tabanında oluşan ve asfalt betonu içerisinde çatlamlara neden olan çekme gerilmelerine ve taban zemini üzerinde oluşan basınç deformasyonlarına dayanıklı bir üst yapı tasarlamaktır. Karışım tasarımında genel düşünce ise karışımı optimize etmek ve yapısal tasarım için verileri mantıklı ve doğru tahmin etmektir.

Asfalt kaplama karışımlarının gerek tasarımı ve gerekse yapımından kaynaklanan bir problem olmasa da hizmete açıldıktan sonra trafiğin ve çevresel koşulların bozucu etkilerine maruz kalabilmektedir. Bu çevresel etkilerin başında

da yağışlı bölgelerde suyun doğurduğu etki gelmektedir. Asfalt kaplamalarda suyun meydana getirdiği etki soyulma olayı olarak karşımıza çıkmaktadır.

Soyulma, asfalt çimentosunda nemin olduğu durumlarda, bitümlü sıcak karışımlarda agrega yüzeyi ile asfalt çimentosu arasındaki adhezif bağın zayıflaması şeklinde tanımlanabilir. Soyulma olayı asfalt kaplamalarının stabilitesine etki eden en önemli faktörlerden biridir.

Suyun bulunduğu ortamlarda agrega ile bitüm arasındaki adhezyonun azaldığı, bunun da karışımın stabilitesini düşürdüğü, soyulma olayı ile birlikte kismaya olanak vererek kaplama da oluşan kalıcı deformasyonları artırdığı görülmüştür. Asfalt kaplamaların hizmet ömrünün artırılması için, soyulmadan kaynaklanan bu bozulmaların önlenmesi gerekmektedir. Buna yönelik uygulamalara rastlanmak mümkündür. Bunlardan birisi de kirecin soyulmayı önlemek için toz katkı olarak kullanımınıdır. Bununla beraber kirecin mineral filler olarak kullanımıyla bitümün oksidasyonunun ve ince taneli agreganın plastiklik özelliklerinin azaldığı gözlenmektedir. Ülkemizde kaplama tabakalarında oluşan bozulmaların hızlı bir şekilde meydana geldiği düşünülürse bitümlü karışımlarda kireç kullanımının deformasyonların azaltılması bakımından faydalı olacağı düşünülmektedir.

Gerek maliyet ve gerekse uygulama kolaylığı açısından filler malzemesi olarak bilinen toz katkıların kullanımı akla gelmektedir. Bu çalışmayla, kirecin dışında uçucu kül ve çimento gibi toz katkıların soyulma direncine etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Diğer bir açıdan endüstriyel atık olan uçucu külün değerlendirilmesi de amaçlanmaktadır.

2. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI

2.1. Bitümlü Karışımlarda Kül Kullanımı

Kül ilave edilerek hazırlanan asfalt karışımların mekanik özellikleri Ali et. al. [1] tarafından yapılan bir çalışmada incelenmiştir. Çalışmada %5 lik bağlayıcı oranında 4 farklı kül içeriğiyle oluşan karışımlar değerlendirilmiştir. Karışımlar üzerinde elastisite modülü, sünme, kalıcı deformasyon ve yorulma gibi mekanik özellikler 0°C, 20°C ve 40°C de olmak üzere üç sıcaklıkta belirlenmiştir. Yorulma etkileri test edilerek soyulma potansiyeli belirlenmiştir. Bu çalışmada filler olarak kullanılan külün, karışımın mukavemet ve soyulma direncini iyileştirdiği görülmüştür. Mekanik özellikler ve su hasarı deneyleri, düşük ve yüksek sıcaklıktaki elastisite modülünün agrega miktarının %2' si oranında kül kullanımıyla iyileştiğini göstermiştir. Külün asfalt karışımlarında kullanılmasının herhangi bir tehlikesi olmamakla beraber kaplamalarda tekerlek izi derinliği azalmış, dolayısı ile beklenen hizmet süresi gibi yolun bazı özellikleri iyileştirilmiştir.

Cross ve Fager [2], Kansas eyaletinde kül ilaveli soğuk asfalt karışımların termal çatlamlara karşı başarılı olduğunu belirtmektedir. Kül ilavesi ile su hasarına karşı daha hassas ve rijit karışımlar elde edildiği, maliyet açısından da uygun olduğunu belirtilmiştir. C sınıfı kül ilavesiyle karışımlarda geçirgenlik, rijitlik ve basınç mukavemetleri artmıştır. Kül ilaveli numunelerde çok az tekerlek izi ve çatlak meydana gelmiştir.

Henning [3], C sınıfı külün asfalt karışım numunelerine etkisini araştırmıştır. Bu çalışma sonunda %4 kül ilavesiyle en yüksek stabilite ile en düşük hava boşluğuna sahip numuneler elde edilmiştir. Suda bekletilen numunelerin stabilitesinin iyileştiği belirtilmiştir.

Mazlumdar ve Rao [4], Kum-Asfalt-Sülfür karışımların mühendislik özelliklerine külün etkisini incelemiştir. Kum-Asfalt-Sülfür karışımları asfalt betonu karışımlarına alternatif olarak düşünülmüş fakat yüksek hava boşluğu içermesi dezavantaj olarak nitelendirilmiştir. Yapılan çalışmada, %80, %82 ve %85 olmak üzere üç tip agrega yüzdesi ile %5, %7, %10 oranında kül ilave

edilmiştir. Tüm karışım numuneleri Marshall stabilite testine tabi tutulmuş, bunların arasından seçilen bazı karışımların statik çekme ve eğilme özellikleri tespit edilmiştir. Kül ilavesi ile Marshall stabilite deneyi, çekme ve eğilme mukavemetleri artmış, boşluk yüzdesi iyileşmiş ve eğilme deneyinden elde edilen yorulma süreci önemli ölçüde artmıştır.

Rosner [5], kül ilave edilen numunelerin dayanımının çok daha iyi olduğunu belirtmiştir. %3-6 arasında kül ilaveli karışımların soyulmaya karşı kullanılan diğer katkılara nazaran, su hasarlarına karşı daha iyi bir dayanıma sahip olduğunu söylemiştir.

Sankaran and Rao [6], kül, kaolinit kili ve diğer toz halindeki katkıları filler olarak kullanmıştır. %2 kül ilavesinde stabiliteyi artırdığını tespit etmişlerdir. %2 kül, %5 asfalt bağlayıcılı ve %6 kül ile %4 asfalt bağlayıcılı karışımlarının suda bekletildikten sonraki dayanımlarının yüksek olduğu görülmüştür.

Suheibani [7] külü asfalt genleştirici olarak değerlendirmiştir. Asfaltın vizkositesine etkili olan kül boyutu, bir genleştirici olarak külün hacim ağırlık ölçülerini ve asfaltın mekanik özelliklerini ortaya koymuştur. Yapılan çalışmada en etkili kül boyutu 1 – 44 μm arasında belirlenmiştir. Bu boyutlardaki kül birim hacim ağırlığında en büyük artışı sağlarken, vizkosite ve boşluk üzerinde en az etkiye sahiptir. Elastisite modülü, dolaylı çekme deneyi ve sünme deneylerinin sonucunda “F” sınıfı kül ilavesinin daha iyi bir çekme mukavemeti, tekerlek izi direnci ve yorulma özelliği kazandırmaktadır.

Tons [8], asfalt genleştirici olarak “F” sınıfı külün kullanımını araştırmıştır. Asfalt çimentosu ile kül çeşitli yüzdelerle yer değiştirerek deneyler yapılmıştır. Hazırlanan numuneler üzerinde tekerlek izi direnci, termal çatlama potansiyeli, yorulma davranışı ve su hasarlarına karşı dayanımın belirlenmesi için deneyler yapılmıştır. Asfalt karışımların bazılarında asfalt çimentosunun %30 oranında kül kullanıldığı zaman çekme mukavemeti, yorulma davranışı ve tekerlek izi direncinde dikkate değer iyileşmeler saptanmıştır. Külün miktarının artması agregalar arası boşluk yüzdesi (VMA) ve hava boşluğunun azalmasına sebep olmuştur. Fakat, bu değişimler kabul edilebilir sınırlar içindedir.

Zimmer [9], külün karbon içeriğinin asfalt karışımlar üzerinde etkilerini araştırmıştır. Kül ilaveli asfalt beton karışım numunelerinde suda bekletildikten sonraki dayanımlarının daha yüksek olduğunu göstermiştir.

2.2. Bitümlü Karışımlarda Kireç Kullanımı

Asfalt karışımlarında katkı malzemesi olarak genellikle yüksek kalsiyumlu sönmüş kireç $[Ca(OH)_2]$ kullanılmaktadır (ASTM C 1097 ve AASHTO 303) [10].

Epps [10], çalışmasında basınçlı sönmüş dolomatik kirecinde ayrıca kullanabileceğini, ancak yüksek kalsiyumlu sönmüş kirece kıyasla daha büyük miktarlarda kullanmak gerektiğini belirtmiştir. Sıcak karışımlarda kireç kullanımı karayollarında asfalt çimentosunun oksidasyonuna bağlı olarak görülen deformasyonları azalttığı görülmüştür. Sönmemiş kirecin maliyeti, sönmüş kireç ile paralellik göstereceği söndürüldüğünde % 25 daha fazla üretim sağlar.

Kennedy [10], 180°F sıcaklığında çalışıldığından buharlaşma kaybı olmayacağından kirecin aktivitesinin yüksek olacağını, böylece kurutma maliyetinde önemli miktarda azalma sağlanacağını belirtmiştir. Kireç, mineral filler gibi davranarak asfalt çimentosunu ve karışımın rijitliğini artırmaktadır.

Oruç [11], asfalt emülsiyonlu karışımlara kireç ilave edilmesi durumunda çimento kadar olmasa da kireç artışına bağlı olarak stabilite değerlerinde orantılı bir artış kaydettiğini belirtmiştir. Kirecin su ile birlikte bitümün yüzey gerilimini düşürerek yayılmasına yardımcı olduğu belirtilmiştir. Stabilite değerlerinde ortalama %40 civarlarında artış gözlenirken, akma değerlerinde ise yaklaşık %30 azalma gözlemlendiği belirtilmiştir.

Topal [10], yaptığı çalışmada Nicholson Soyulma deneyinde kireç ilavesi ile soyulmada azalma gözlenmiştir. Bu durum kirecin, sıcak karışımlarda suya karşı hassasiyetini azalttığını göstermiştir. Bununla beraber, stabilite sonuçlarına bakıldığında kireç oranı artarken stabilite değerinin düştüğü gözlenmiş, fakat stabilite değerinin şartname değerinden yüksek olduğu belirtilmiştir [10].

2.3. Bitümlü Karışımlarda Çimento Kullanımı

Asfalt emülsiyonlu karışımların çimento ile modifikasyonu ve bağlayıcı özelliklerinin iyileştirilmesi ile birlikte emülgatörlerdeki yeni kimyasal formülasyonların geliştirilmesi yapılmakta olan çalışmaların başında gelmektedir[11].

Bitümlü karışımlarda çimento kullanılması yeni bir uygulama değildir. Bitümlü karışımlarda kullanılan portland çimentosu, esasen kuru agregadan bağlayıcının soyulmasını önlemek için kullanılmasının yanında ıslak agreganın da bitüm yada katranla kaplama değerini artırmak için kullanılmıştır[11].

Schmidt et al. [11], portland çimentosu ve kireci asfalt emülsiyonlu karışımların erken mukavemetine etkileri üzerinde çalışmışlardır. Agreganın asfalt emülsiyonuyla karışmadan önce çimento ilavesiyle elde edilen karışımların daha kısa sürede kesildiği, daha hızlı bir şekilde yüksek bir rijitlik modülüne ulaştığı ve su hasarına karşı daha dirençli olduğunu saptamışlardır. Bununla birlikte yorulma deneyleri uygulanan işlenmiş karışımların yorulma direncinin çimentosuz benzer karışımların yorulma direncinden daha düşük olduğu sonucuna varmışlardır. Daha öncede Terrel ve Vang işlenmiş emülsiyon karışımlarında esneklik modülündeki (Mr) gelişme oranının çimento ilavesi ile önemli bir şekilde hızlandığını göstermişlerdi.

Schmidt ve Graf [11], sıcak karışım yapılmadan 24 saat önce agregaya şerbet şeklinde çimento ve kireç eklenmesinin yüksek soyulma direnci sağladığını ve resilyans modülü üzerinde bir artış olduğunu göstermişlerdir.

Bayomy [11], yaptığı araştırmada çimento kaplı agregalarla elde ettiği bitümlü karışımın üzerindeki 28 °C ve 50 °C deki deneylerin sonucunda daha uzun yorulma ömrüne sahip, su hasarına karşı daha dirençli, tekerlek izine karşı daha yüksek performans sağladığını belirtmiştir.

Oruç [11], asfalt emülsiyonlu karışımlara ilave edilen çimento miktarı arttıkça su/çimento oranına bağlı olarak stabilite değerlerinde çok önemli artışlar sağlandığını belirtmiştir. En yüksek stabilite değerleri %3 su muhtevasında elde edilmiş olup, %4, %5 ve %6 çimento katkılı numunelerin stabilite performansları sıcak karışımlarla kıyaslanabilecek düzeylerde olduğunu belirtmiştir.

Sıcak karışımlarda çimentoyu deneyen Acar ve Tapkın[12], filler malzemesi olarak çimento ilavesi ile yaptıkları çalışmada, %5 bitüm yüzdesinde, %5-7 çimento ilavesinde stabilite değerlerini 2300 kg civarında olduğunu belirtmişlerdir. Acar ve Tapkın, çimento kullanıldığında agrega boşluk oranının (VMA) arttığını ve çimento yüzdesi arttıkça, stabilitenin de arttığını fakat akma da belirgin bir artış ya da azalış olmadığını belirtmiştir. Filler yerine kullanılan malzemenin özgül ağırlığının ve tane boyutu dağılımının farklı olmasının asfalt betonunda fiziksel bazı değişikliklere sebep olduğu ve bu değişikliklerin davranış farklılıklarında etken olabileceği belirtilmektedir. Ayrıca, karışım sırasında oluşan portland çimentosu-bitüm pastasından elasto-plastik ve adhezif davranışlar açısından farklılıklar gösterdiği ileri sürülmektedir. Portland çimentolu numunelerin elastik ve kalıcı deformasyon açısından farklı davranışlar sergilemesi de yukarıdaki sebeplere bağlı olabilir.

3. ESNEK YOL ÜST YAPILARI

Yol inşaatında, bitümlü kaplama tabakaları ile oluşturulan yapılara “Esnek Yol Üst Yapısı” denir. Esnek yol üst yapısı, tesviye sathıyla sıkı bir temas sağlayan ve trafik yüklerini, kaplama, temel ve alttemel tabakaları yoluyla taban zeminine dağıtan bir yapıdır. Bu yapının stabilitesi, kullanılan agrega ve bitümlü bağlayıcının özelliklerine bağlıdır[13].

Bitümlü kaplamaları karışım tipi kaplamalar ve yüzeysel kaplamalar olarak iki genel sınıfa ayırmak mümkündür. Kullanım amacı ve beklenen özellikler açısından sathi kaplamaların herhangi bir yük taşıma özellikleri yoktur. Karışım tipi kaplamaların ise en önemli işlevlerinden birisi trafik yüklerini taban zeminine iletmek ve üst yapıyı bozulmalardan korumaktır[14].

3.1. Bitümlü Sıcak Karışımlar

Bitümlü sıcak karışımlar agrega ile bitümlü bağlayıcı malzemeden oluşur. Bu karışımlar bağlayıcısız agrega malzemesine göre çok daha pahalı olduklarından, yol inşaatında çoğunlukla kaplama tabakalarının yapımında kullanılırlar. Ülkemiz karayollarında en çok uygulanan karışım kaplama türü asfalt betonudur[13].

Asfalt betonu, çok dikkatli şekilde oranları saptanmış bulunan iri agrega, ince agrega ve filler ile asfalt çimentosunun sabit karıştırma tesislerinde sıcaklık, nem ve bileşim bakımından çok sıkı bir kontrol altında karıştırılmasıyla elde edilen stabilite ve dayanıklılık yönünden yüksek kaliteli bir sıcak karışımdır.

Asfalt betonu, üç fazdan oluşmuş bir sistem olarak düşünülebilir.

- Katı Faz: Agrega
- Sıvı faz : Asfalt çimentosu
- Gaz faz : Boşluklar

Sisteme elastiklik veren ve kayma gerilmelerine karşı direnci sağlayan katı fazdır. Sistemi viskoelastik yapan sıvı faz kohezyonu sağlar. Gaz faz ise sistemin bazı fizik ve mekanik özellikleri etkiler.

Asfalt betonu, yol üstyapısının “kaplama” tabakasında kullanılır. “Binder” ve “Aşınma veya Yuvarlanma” tabakalarından oluşan kaplama tabakasında kullanılacak asfalt betonunun aşağıdaki koşulları sağlaması gerekir.

- Kalıcı deformasyona dirençli
- Yorulma kırılmasına dirençli
- İşlenebilir ve sıkıştırılabilir
- Alt tabakaları korumak için geçirimsiz
- Trafik ile hava ve su etkilerine dayanıklı, aşınmaz olmalı
- Üstyapının taşıma gücüne katkıda bulunabilme
- Kolaylıkla ve ucuz bir şekilde onarılabilmeli

Bitümlü karışımlar yukarıda sıralananlara ek olarak taşıt tekerleği-yol kaplaması ilişkisi açısından,

- Bütün hava koşullarında kayma direnci oluşturmalı
- Kabul edilebilir bir düzeyde yuvarlanma direncine sahip olmalı
- Trafik altında, kabul edilebilir düzeyde seyir gürültüsüne yol açmalı
- Yüzeyi, kabul edilebilir sürüş kalitesi oluşturmalıdır.

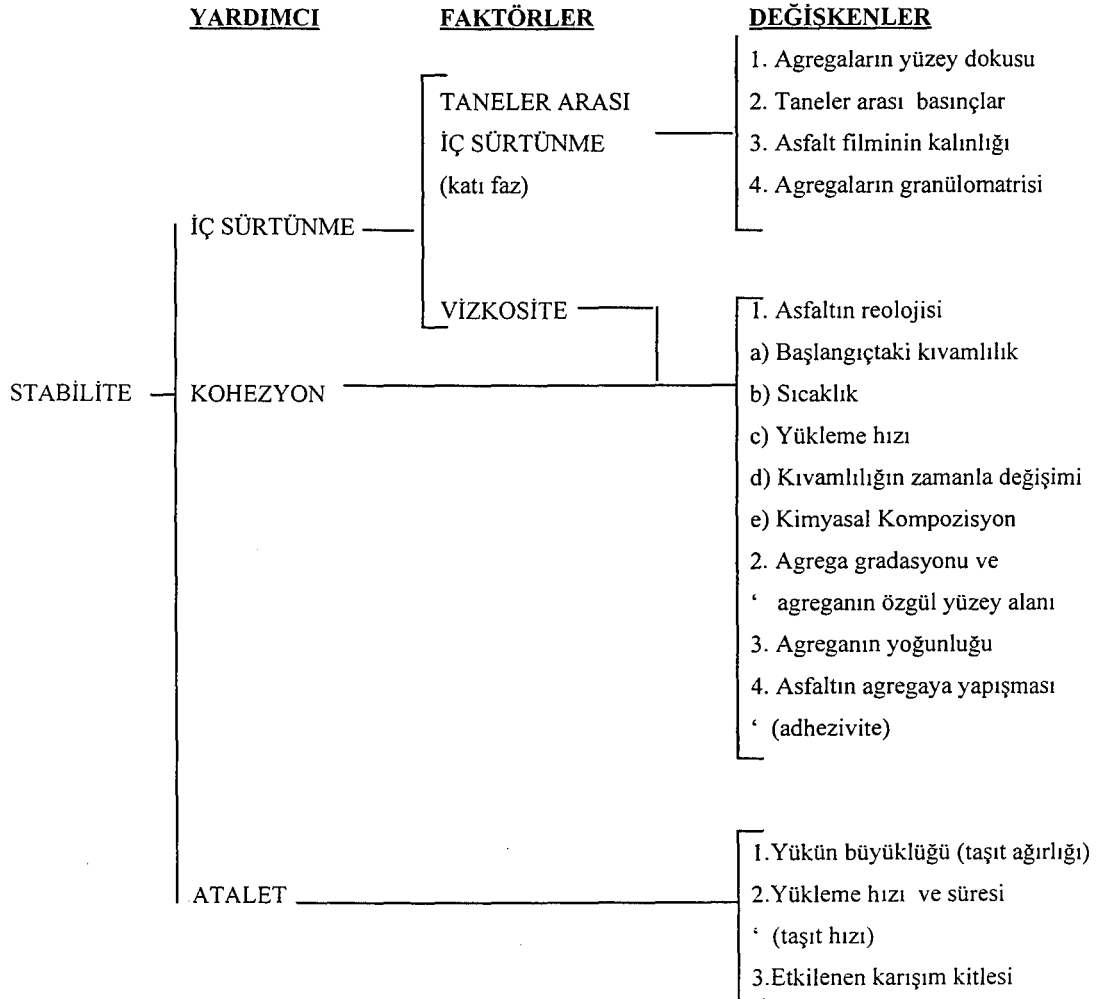
3.2. Bitümlü Karışımların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Agrega-asfalt karışımların yol kaplaması olarak kullanılabilmesi için belirli koşulları sağlamalıdır. Karışımların tasarımı sırasında, aşağıda belirtilen özellikler dikkate alınmalıdır.

- Stabilite
- Durabilite
- Geçirimsizlik
- İşlenebilirlik
- Esneklik
- Yorulmaya karşı direnç
- Kayma direnci

3.2.1. Stabilite

Asfalt kaplamanın stabilitesi, trafik yüklerine, ötelenme ve tekerlek izi oluşmayacak şekilde direnç gösterme yeteneğidir. Stabilite, trafik yüklerini karşılayacak kadar yüksek olmalıdır. Ancak çok yüksek stabilite, çok sert bir karışım demektir. Yüksek stabiliteye sahip kaplamalar trafik yükleri altında oluşan şekil değiştirmeye uyamayıp çatırlar. Bu nedenle düşük stabilite gibi çok yüksek stabilite de zararlıdır.



Şekil 3.1. Asfalt Betonun Stabilitesinin Çeşitli Faktörlerle İlişkisi[13]

Üstyapı projelendirilmesi açısından asfalt betonunun en önemli özelliği stabiledir. Stabillite, agregalar arası içsel sürtünmeye ve bitüm-agrega kohezyonuna bağlıdır. Agregalar arası içsel sürtünme agregata tanesinin şekli ve yüzey yapısı ile, kohezyon ise asfaltın yapışma özelliği ile ilgilidir. Kohezyon, yükleme hızı ve asfaltın vizkositesi arttıkça, kaplama ısı azaldıkça artar. Ayrıca asfalt yüzdesinin bir noktaya kadar artmasıyla kohezyon da artar. Ancak bitüm filminin kalınlığı daha fazla arttığında, içsel sürtünme ile birlikte stabillite azalır. Stabillitenin ilişkili olduğu faktörler Şekil 3.1' de verilmiştir.

Düşük stabilliteye neden olan etkenler ve meydana getirdiği etkiler :

- Asfalt yüzdesi fazla ise; oluklaşma, tekerlek izinde oturma ve kusma meydana gelir.
- Karışımda kum yüzdesi fazla ise; sıkıştırma sırasında ve inşaat sonrasında yumuşaklık, sıkıştırma zorluğu oluşur.
- Yuvarlak agregata, kırılmamış veya az kırılmış agregata yüzeyi; tekerlek izinde oturma görülür[14].

3.2.2. Durabilite

Bir karışımın durabilitesi, karışımdaki asfaltın özelliklerinin değişmesine (oksidasyon v.s), agreganın kırılmasına ve asfaltın agregata yüzeyinden soyulmasına karşı gösterdiği dirençtir. Bu faktörler iklim, trafik veya her ikisinin birleşimi sonucu ortaya çıkar. Yüksek durabilite genellikle üç yöntemle sağlanır:

- Yüksek asfalt yüzdesi kullanarak,
- Yoğun gradasyonlu, soyulma direnci yüksek agregata kullanarak,
- Karışımı en yüksek impermeabilite (geçirimsizlik) verecek şekilde tasarımı yapıp sıkıştırarak.

Bir bitümlü kaplamanın çevresel dayanıklılığı trafik, su, hava ve sıcaklık değişikliklerinin etkilerine karşı gösterdiği dirençtir. Tüm bunlara ilaveten bitümlü karışım trafik etkileri karşısında yeterince kararlı olması için çevresel dayanıklılık koşullarının da iyi olması gerekir[14].

Karışımın aşınmaya karşı direnci, doğal olarak agreganın aşınma özelliğine bağlıdır. Aşınma tabakalarında daha sert agregata kullanılarak daha

yüksek bir dayanıklılık sağlanabilir. Şişmeye karşı direnç de yine agreganın şişme özelliklerine bağlıdır. Dayanıklılığa etkileyen diğer önemli faktör ise nemdir.

Asfaltın oksitlenmeye karşı direncinde, asfaltın yaşlanma karakteristikleri ve bitümlü karışımdaki boşluk oranı önemli rol oynar. Oksitlenme aynı zamanda kaplamanın kırılmaya karşı direncini de etkiler. Çünkü, oksitlenme sırasında penetrasyonun düşmesi ile kaplama daha kırılabilir bir hal alır. Bu nedenle kaplamaların artmasına sebep olan asfaltın oksitlenmesini en alt seviyede tutmak için bitümlü karışımın boşluk yüzdesinin belirli sınırlar içerisinde kalması sağlanmalıdır. Üst kaplamanın dayanımını aşağıdaki nedenler etkiler,

- Düşük asfalt yüzdesi ; kuru bir görünüş, agregaların sökülmesine neden olur.
- Yetersiz sıkıştırma ve tasarım hatası nedeniyle yüksek boşluk yüzdesi; Kırılma ve ayrışmaya neden olan asfaltın erken yaşlanmasına yol açar.
- Soyulmaya karşı hassas agrega kullanımı; asfaltın agregadan soyulması ve agregaların sökülmesine neden olur.

3.2.3. Geçirimsizlik

Geçirimsizlik, asfalt kaplamanın hava veya su geçişine olan direncidir. Geçirimsizlik, karışımdaki hava boşluğu yüzdesi ile belirlenir. Karışımdaki boşlukların birbiri ile bağlantılı olması ve boşlukların yüzeye irtibatlı olması, geçirimsizliği etkileyen başlıca nedenlerdir. Karışımları geçirimsiz yapan sebepler ve etkileri şunlardır:

- Düşük asfalt yüzdesi, İnce asfalt filminin erken yaşlanmasına ve sökülme,
- Karışım dizaynında yüksek boşluk yüzdesi; su ve hava kolaylıkla karışım içine girer, oksidasyona ve agregaların ayrışmasına neden olur.

3.2.4. İşlenebilirlik

İşlenebilirlik, karışımın karıştırılması ve sıkıştırılmasındaki kolaylık olarak ifade edilir. Kaba agrega oranı yüksek olan karışımların kolay işlenebilirliği

azalır. Filler oranının yüksek oluşu da işlenebilirliği düşürür. Ancak işlenebilirliği çok iyi olan karışımlar yumuşak karışımlardır ve bunların trafik yükleri altında deformasyona uğramaları kolaydır. İşlenebilirlik problemlerinin sebepleri ve oluşturduğu etkiler şöyledir:

- Çok büyük tane boyutu; pürüzlü bir yüzey, serim zorluğuna
- Çok fazla kaba agrega; sıkıştırma zorluğuna
- Çok düşük karışım sıcaklığı; kaplanmamış agrega, düşük durabilite, pürüzlü bir yüzey, sıkıştırma zorluğuna
- Çok fazla ara boyutlu malzeme; karışımın silindir altında ötelenmesi, sıkışma zorluğuna
- Düşük filler yüzdesi; yumuşak karışım, yüksek geçirgenliğe
- Yüksek filler yüzdesi; karışım çok kuru bir görünüme, durabilite yetersizliğine ve işlenme zorluğuna neden olur[14].

3.2.5. Esneklik

Esneklik, üst yapının taban zeminindeki geçici oturma ve hareketlere karşı, çatlama neden olmadan uyum gösterebilmesidir. Bitüm yüzdesi yüksek, açık gradasyonlu karışımlar bitüm yüzdesi düşük yoğun gradasyonlu karışımlara göre daha esnektir. Ancak bazen esnekliği yüksek karışımların stabilitesi düşük olabilir[14].

3.2.6. Yorulmaya karşı direnç

Bir üst yapının yorulmaya karşı direnci, trafik yükleri altında oluşan tekrarlanan eğilmeye karşı direnç üzerinde çok etkilidir. Yetersiz sıkışma, yüksek boşluk yüzdesi, asfaltın yaşlanması ve sertleşmesi yorulma direncini azaltır. Üst yapının kalınlığı ve mukavemeti, taban zemininin taşıma gücü, üst yapı ömrünü etkileyen diğer faktörlerdendir. Yorulma direncinin sebep ve etkileri ;

- Düşük asfalt yüzdesi; yorulma çatlağını,
- Yüksek tasarım boşluğu; asfaltın çok erken yaşlanmasını takiben yorulma çatlağını,

- Yetersiz sıkışma; asfaltın çok erken yaşlanmasını takiben yorulma çatlağını,
- Yetersiz üst yapı kalınlığı; aşırı eğilmeyi takiben yorulma çatlağını oluşturur.

3.2.7. Kayma direnci

Asfalt kaplama yüzeylerinde, özellikle yağışlı havalarda araç tekerleğinin kaymasına karşı oluşan dirence kayma direnci denir. Kayma direncinin yüksek olması için hem agregaya, sert ve pürüzlü olmalı hem de asfalt kaplama yüzeyi pürüzlü olmalıdır. Maksimum tane boyutu 12,7 mm veya 9,5 mm olan açık gradasyonlu karışımların kayma direnci yüksek olur. Kayma direncini azaltan sebepler ve bunun etkileri :

- Fazla asfalt yüzdesi; kasma, düşük kayma direncine
- Agregaya gradasyonunun kötü olması; çok düzgün yüzeyli kaplama, suyun yüzeyden drene olamamasına
- Agregaya cilalanma değerinin düşük olması; düşük kayma direncine neden olur[14].

3.3. Asfalt Beton Kaplamalarda Oluşan Bozulmalar

Asfalt betonu kaplamalarındaki bozulmaları şekil değiştirme, kırılma (çatlama) ve ayrışma olarak üç ana grupta toplamak mümkündür.

Bozulmaların genel nedenleri ise temel, alttemel ve taban zemininin taşıma gücü yetersizliği, trafiğin bozucu etkileri, iklim koşulları ve asfalt betonunun özellikleri olarak sıralanabilir.

Asfalt betonunda oluşan bozulmaları ise şu nedenlere bağlamak mümkündür[15].

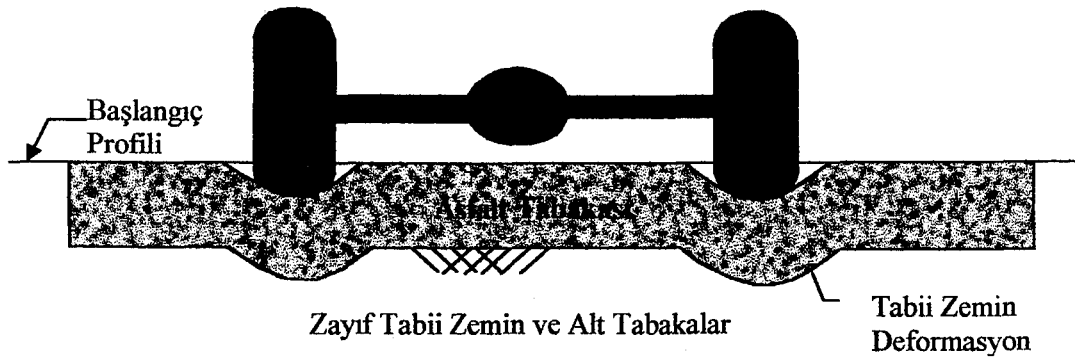
- a) Uygun malzeme kullanılması
 - İyi seçilmemiş ve iyi kontrol edilmemiş granülometri
 - Karışımda yüksek oranda yuvarlak malzeme kullanılması
 - Kalitesiz agregaya kullanılması

- Kirli agrega kullanılması
- Çabucak cilalanan agrega kullanılması
- b) Asfalt beton karışımının hatalı hazırlanması
 - Asfalt yüzdesinin hatalı olması
 - Filler yüzdesinin hatalı olması
 - Granülometrinin bozuk olması
 - Yetersiz sıkışma
 - Yetersiz sıcaklık kontrolü
- c) Asfalt betonu kaplama yapımının hatalı olması
 - Yetersiz sıkışma
 - Aşırı sıkıştırma
 - Serme-sıkıştırma sıcaklığının düşük olması
 - Yapım sırasında meydana gelen segregasyon
 - Astar veya yapıştırma tabakasının gerekli özenle yapılamaması

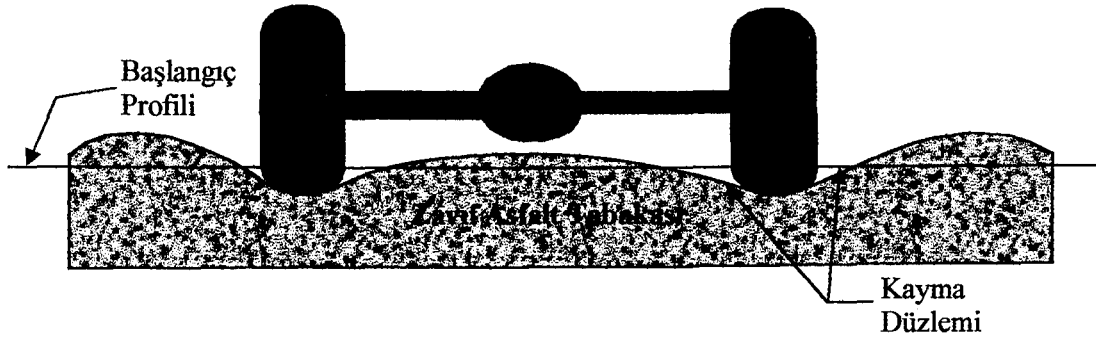
3.3.1. Kalıcı deformasyonlar

Karayollarımızda en sık görülen bozulmalardan biri olan kalıcı deformasyon, genel anlamda, kaplama yüzeyinin orjinal kotuna göre değişikliğe uğramasıdır. Kalıcı deformasyon, alt tabakaların (temel, alt temel ve taban) hareketlerine bağlı olabildiği gibi (Şekil 3.2), asfalt beton kaplamasının stabilitesinin yetersizliğinden de oluşabilmektedir (Şekil 3.3). Yük altında meydana gelen deformasyonlar, geçici (elastik) deformasyonlar ve kalıcı (plastik) deformasyonlar olmak üzere ikiye ayrılır. Stabilitate yüksek olduğu sürece toplam deformasyon az olduğu gibi bu deformasyonun geçici kısmı fazla, kalıcı kısmı çok azdır. Stabilitenin düşük olması durumunda ise durum tersinedir. Sadece kalıcı deformasyonların oluşması halinde ise stabiliteden söz edilemez. Yüksek sıcaklıklar asfaltın termoplastik özelliklerinden dolayı stabilizeyi düşürür. Yük tekrarı kalıcı deformasyonların artmasına neden olur. Yani, kalıcı deformasyonların sıcaklık etkisi ve yük tekrarı şekil değiştirmeye sebep olur [15].

Bu grubun en yaygın olarak görülen bozulma tipi olan *tekerlek izi oluşması*, asfalt betonu kaplamalarında en sık görülen, gerek teknik ve gerekse ekonomik açıdan çok önemli kabul edilen bozulma tipidir. Tekerek izi oluşması özellikle ülkemiz gibi problemlü araziye sahip, tarafığı ağır ve sıcak ülkelerde problem olmaktadır. Tekerek izleri, üstyapıyı oluşturan tabakaların hepsinde veya bir kısmında yada sadece bitümlü tabakalarda oluşan deformasyonların birikiminden meydana gelir (Şekiller 3.2 ve 3.3).



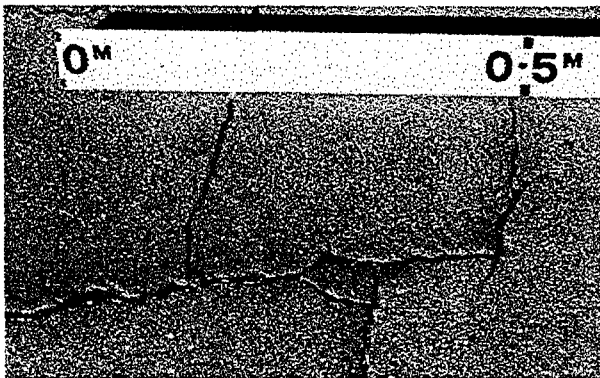
Şekil 3.2. Zayıf Taşıma Kapasiteli Taban Zeminine Bağlı Tekerek İzi Oluşumu



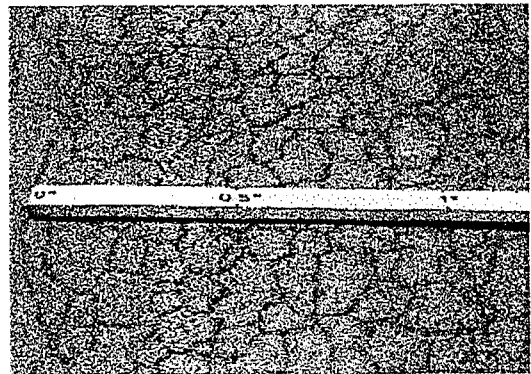
Şekil 3.3. Zayıf Bitümlü Tabakaya Bağlı Tekerek İzi Oluşumu

3.3.2. Çatlamalar

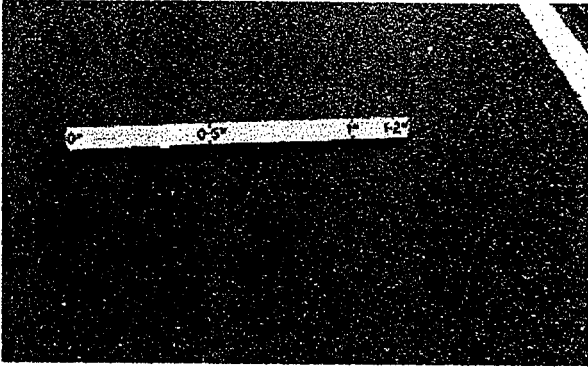
Esnek kaplamalarda en sık rastlanan ve kaplamanın performansını azaltan olumsuz etkilerden biriside çatlakların sebep olduğu bozulmalardır. Esnek kaplamalarda görülen başlıca çatlak türleri yorulma çatlakları ve termal çatlaklardır. Tekrarlı ağır trafik yüklerinin ve taşıtların ani hızlanma ve yavaşlamalarının sebep olduğu yorulma çatlakları, ilk olarak blok çatlaklar (Şekil 3.4) ve daha ileri safhasında da timsah sırtı çatlaklar (Şekil 3.5) olarak karşımıza çıkar. Termal çatlaklar ise, soğuk bölgelerde kaplamanın büzülmesi sebebiyle yolda enine olarak görülen çatlaklardır (Şekil 3.6). Diğer bir çatlak tipide, kaplama kenarından yaklaşık 30 cm içerde ve yol eksenine paralel olarak oluşan kenar çatlaklarıdır (Şekil 3.7). Genellikle banketlerin yeteri kadar yanal destek sağlamadığı kesimlerde görülür. Kenar çatlakları, drenaj yetersizliği, don, üstyapı ile banket arasında büyük nem farkı bulunması (banketlerin aniden kuruması) nedeni ile de oluşabilir. Asfalt ve diğer malzemelerde meydana gelen çatlak oluşumunu üç safhadan oluşur. Birinci safhada, malzeme içerisinde mikro çatlaklar oluşur, ikinci safhada bu çatlakların bazıları yayılarak makro çatlaklar meydana getirir, son safhada ise makro çatlaklar yayılarak asfalt kaplamalarda kırılmalara sebep olur.



Şekil 3.4. Blok Çatlaklar



Şekil 3.5. Timsah Sırtı Çatlaklar



Şekil 3.6. Termal (Enine) Çatlaklar



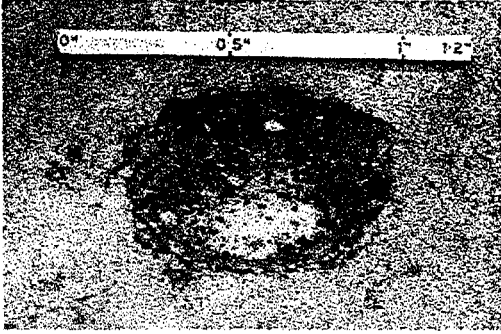
Şekil 3.7. Kenar Çatlakları

Yorulma çatlaklarının oluşum mekanizmasının anlaşılması kolay olmasına karşın oluşum sebepleri çok kolay anlaşılmamaktadır. Karışımı oluşturan malzeme özelliklerine, karışım özelliklerine, ağır trafiğin etkisine ve çevresel koşullara bağlıdır. Günümüzde, daha uzun ömürlü kaplamalar üretmek üzere performans esaslı tasarım yöntemleri kullanılmaktadır. Kaplamanın en önemli performans özelliklerinden biriside çatlakların oluşumuna sebep olan yorulma davranışı karakteristiklerinin belirlenmesi, yorulma ömrünün tahmin edilebileceği modellerin oluşturulmasıdır.

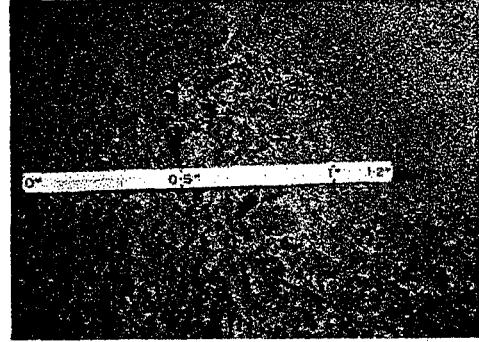
3.3.3. Ayrışmalar

Ayrışma; iklim ve trafiğin mekanik etkisi ile agrega tanelerinin kaplamadan koparak ayrılmasıdır. Bu olay asfalt betonu kaplamalı karayollarımızda çok sık görülen bir bozulmadır. Bu grup içerisinde yer alan bozulmalar arasında folluk tipi oyuklar, sökülmeler, soyulma ve kusmayı sıralayabiliriz. *Folluk tipi oyuklar*; takriben 25-75 cm çapında dairesel, folluğu andıran oyuklardır (Şekil 3.8). Folluk tipi oyuklar kaliteli bağlayıcı ve karışım kullanılması, trafiğin gerektirdiği üst yapının inşası, drenaj, özenli yapım ve özellikle yeterli sıkıştırma ile önlenebilir. *Sökülmeler*; yüzeyden alta doğru ya da kenardan içe doğru agregaların zamanla yüzeyden koparak ayrılmasıdır (Şekil 3.9). *Soyulma*; agrega tanelerini saran ince asfalt filminin su, kil ve trafiğin mekanik etkisi ile agregadan ayrılması ve dolayısıyla agrega tanelerinin çıplak kalması durumudur (Şekil 3.10). Bu sebeple soyulma olayı diğer bozulma

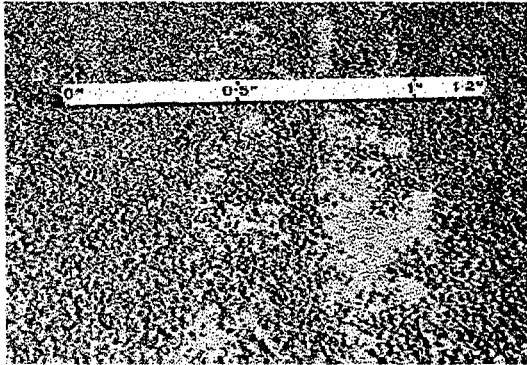
tiplerinin meydana gelmesine zemin hazırlar. *Kusma*; karışım içindeki asfaltın sıcaklık etkisi ile yükselerek yüzeye çıkması ve yüzeyde oldukça kalın bir asfalt filmi oluşturması durumudur (Şekil 3.11). Kusma sonucu yüzeydeki agregalar tamamen asfalt filmi ile kaplandığından sürtünme katsayısı düşmektedir [19].



Şekil 3.8. Folluk Tipi Oyuk



Şekil 3.9. Sökülme



Şekil 3.10. Soyulma



Şekil 3.11. Kusma

4. BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIMLARDA SU HASARI

Su tesiri olmasaydı, bitümlü kaplamalarda bağlayıcının agregaya yapışması bakımından hiçbir problem çıkmazdı. Suyun kaplamalarda görülen olumsuz etkileriyle, ya karıştırılmadan önce agregaların nemli oluşu ya da karışım serildikten sonra yağın yağmur dolayısıyla karşılaşılır. Normalde ıslak ve soğuk agregayı bitümlü bir bağlayıcı ile kaplamak mümkün değildir. Bunun için agregalar kurutucudan geçirilir ve sarılma işlemi kolaylaştırılır[16].

Sathi kaplama malzemesi için ıslak mıcır kullanımına sıkça rastlanmaktadır. Ancak bu tarz uygulamalarda agrega ve bağlayıcı arasında iyi bir yapışma sağlanamaz. Bu şartlar altında yapılan sathi kaplama trafik tarafından atılır. İlk yapışma sağlanmış olsa bile olası bir yağmur ile bağlayıcı ayrılarak agregaları gevşetecek ve trafik tarafından kolaylıkla atılmalarına sebep olacaktır. Agregaların bir kısmı söküldükten sonra, açıkta kalan bağlayıcı, trafik tarafından kaplamanın diğer kısımlarına götürülerek bozulmaların daha da artmasına sebep olacaktır. Islak havanın sebep olduğu bozulmalar agreganın ve bağlayıcının cinsine bağlı olmaksızın her türlü sathi kaplamalarda rastlanmaktadır.

Su, çeşitli yollarla kaplamanın yapısına girebilir.

- Su içeren ya da yetersiz kurutulmuş agrega,
- Çatlamış ya da geçirgen kaplamalarda yağmur yağışıyla içine geçerek sızmasıyla,
- Yer altı su seviyesinin yükselmesinden dolayı sahada hidrostatik basınç oluşumuyla,
- Yüzeyden geçişle,
- Yüzeyde su buharı oluşumuyla.

Su hasarına daha elverişli kaplama durumları;

- Tane çapı büyük ve bağlayıcısı az olan karışım tasarımı,
- Yetersiz sıkışma nedeniyle boşluk oranının fazla oluşu,
- Yetersiz yüzey drenajı,
- Yüksek ince kil içeren ve tozlu agreganın yüzeyi,
- Geçirimsiz tabaka altında su buharının yoğunlaşması.

Suyun tesiri sadece sathi kaplamalar ve geçirimli bitümlü karışımlarda görülmez. İyi sıkıştırılmış rolled asfalt veya benzeri tipteki kaplamalar geçirimsizde olsalar soyulmaya rastlanabilir. Su tesiri, kendini kaplamada çatlama ve deformasyon, bitümlü bağlayıcının yüzeye çıkma meyli (kusma), yapısal mukavemet kaybı, sökülme, yüzeysel kaplamalardan agregaların ayrılması ve yüzeysel kaplamaların alt tabakadan ayrılması olarak kendini gösterir. Bütün bu problemlerin temelinde, mikro ölçümlerde görülebilen agregaya ile bitümlü bağlayıcı arasındaki adezyon kaybıdır.

4.1. Soyulma Olayının Mekanizması

Soyulma, stabilitenin düşmesine neden olan adezyon ve kohezyon mekanizmalarını içermektedir. Adezyon, asfalt çimentosunun agregaya yapışabilme özelliğidir. Kohezyon, bitümlü bağlayıcının dışarıdan gelen etkilere rağmen kopmadan ince film halinde uzayabilme yeteneğidir. Su agregaya yüzeyi ile asfalt filmi arasına girerek adeziviteyi düşürür. Su asfalt ile birleşerek bitümlü bağlayıcının kohezyon özelliğine etki etmekte ve stabilitenin düşmesine neden olmaktadır.

Asfalt çimentosu yağlı bir malzemedir. Agregaya daha az oranda kimyasal eğilimli, yapışkanlığı düşük ve suya karşı fazla eğilimlidir. Bundan dolayı su bitümle kolay yer değiştirir. Agregaya ile bitüm arasındaki adezyon agregaya yüzeyinin kimyası ve bitüm kaynağıyla ilgilidir.

Asfalt çimentosunun agregaya yapışabilme özelliği ile ilgili teoriler arasında;

- a) Yüzey enerjisi
- b) Kimyasal bağ
- c) Moleküler oryantasyon
- d) Mekanik faktörler yer almaktadır.

Bu teorilerden en fazla üzerinde durulan kimyasal bağ teorisidir. Bu teoriye göre asfalt ile agregaya yüzeyi arasında bir takım kimyasal reaksiyonlar oluşmaktadır. Kimyasal bağın kuvveti adezyonu etkilemektedir. Birçok çalışma agreganın doğal yapısı üzerinde durulmuştur. Asidik ve bazik karakterli agregalar

üzerinde çalışılmalar yapılmıştır. Asfaltın asidik karakterde olduğu bilinmektedir. Özellikle yeni kırılmış agregalar yüzeyinde de (+) veya (-) elektrik yükleri bulunmaktadır. İki ayrı elektrik yükü olan asfalt ve agrega arasında oluşan bağ da diğerlerine kıyasla daha kuvvetli olacaktır. Bu durum bağlayıcının emülsiyon olması halinde çok barizdir. Anyonik emülsiyonların kalker ile iyi adhezyon sağlaması bu yüzdendir. Katyonik emülsiyonların hemen her agrega ile iyi adhezyona imkan vermesi gibi bir avantajı vardır[10].

Pürüzlü ve tozlu agrega yüzeyini kaplamak zordur. Agrega yüzeyinin rutubetli ya da yüzeyi su ile ıslak olduğu halde bağlayıcı ile bağlanmasının imkansız olduğu belirtilmiştir. Bitüm, agrega yüzeyindeki sudan dolayı bağlantısı azalır veya su ile yer değiştirir. Bu durum “Aktif Adhezyon” diye bilinir.

Agrega gözeneklerindeki ıslaklık sebebiyle, agrega yüzeyi bağlayıcı ile kaplanırken parçalanarak agrega yüzeyine dağılır. Böylelikle agrega ve bitüm ortasında bir su filmi teşkil eder. Toz veya su tabakalaşması, adheziv bağ oluşumunu engeller.

Asfalt betonu karışımların trafik altındaki soyulma performansının belirlenmesi için çok çeşitli metodlar uygulanmaktadır. Bu metodlar arasında en yaygın olarak kullanılanlar;

- Boiling Water Test (ASTM D 3625)
- Static Immersion Test (AASHTO T 182)
- Lottman Test (NCHRP 246)
- Tunncliff and Roat Conditioning (NCHRP 274)
- Modified Lottman Test (AASHTO T 283)
- Immersion-Compression Test (AASHTO T 165)

Bunlar arasında AASHTO T 283 yöntemiyle diğer yöntemlere göre daha ucuz ve daha güvenilir sonuçlar elde edilmektedir.

4.2. Su Hasarını (Soyulma) Etkileyen Faktörler

Asfalt beton karışımlarında birçok değişken su hasarı oluşumunu etkiler. Birinci faktör, agregadır. İnce veya kaba agrega karışımdaki önemli faktörlerdir. Asfalt betonunda kullanılan granit, çakıl ve diğer silika içerikli agregalar neme

duyarlı ve soyulmaya eğilimlidir. Genelde kireçtaşı su hasarına karşı daha az duyarlıdır. Soyulma çoğunlukla kaba agregaya içeren karışımlarda oluşur. İnce agregaya neme daha duyarlı olduğundan iyi bir karışım yapılamazsa ince agreganın olduğu kısımda soyulma görülür.

İkinci faktör, asfalt çimentosunun yapımında kullanılan ham petrolün kaynağında ve arıtma prosesinde olduğunu düşünmek gerekir. Karışıma verilen asfalt çimentosunun tipi oluşan soyulma derecesinde farklılık göstermez. Bir başka deyişle asfalt çimentosu kaynağına nazaran agregaya tipi daha baskın bir faktördür.

Üçüncü faktör, asfalt betonu kaplama karışımının özelliğidir. Bu özelliklerden, boşluk içeriği karışımların soyulmasında büyük rol oynar. Agregaya gradasyonu ve asfalt yüzdesi karışımın yoğunluk ve boşluk oranında etkilidir. Su hasarı derecesi gözönüne alınarak önerilen boşluk oranı trafiğe ve suya bağlı olarak %6 civarında verilebilir. Boşluk oranı karışımda hasara karşı koymayı azaltır. Asfalt beton kaplama karışımında düşük boşluk oranı için %2-3 oranı en iyi orandır. Çok az suya maruz karışımlarda su hasarı yoğunluğa bağlı değildir.

Su hasarı, yağışlı iklimlerde daha fazla görülmektedir. Bu bölgelerde özel kaplamalar yapılmaktadır. Su hasarının kar veya yağmur yağışı gibi çevresel koşullardan dolayı da arttığı düşünülmektedir.

Yollarda her yıl devam eden donma-çözülme tekrarı nedeniyle kaplamanın dayanıklı olması istenir. Bir çok defa donma-çözülme olayı hasarı biriktirir veya hasarı hızlandırır.

Son faktör, trafiği taşıyan kaplamanın yapısıdır. Trafik tipi ve hacmi önemli değişkenlerdendir. Trafikteki yoğunluğu ve ağır taşıt miktarının artışıyla kaplamada oluşacak soyulma miktarı artacaktır.

Su hasarını azaltmak için üretimde farklı tiplerde malzeme kullanılır. Yıllardan beri soyulmayı önleyici sıvı katkıları kullanılır. Bu etkenler karışımda asfalt çimento kaynağı ve agregaya tipine bağlı olarak ilave edilen malzemelerdir. Genelde %0.3-1 oranında kullanılır. Toz halinde olan katkılarda mevcuttur. Portland çimentosu ve sönmüş kireç gibi toz katkıları agregaya ağırlığının %1.0-2.5 oranında kullanıldığında su hasarını önler. Son zamanlarda asfalt çimentosunun hem adhezyon hem de kohezyon özelliklerini iyileştirmek için yeni kimyasal bağ

yapıcı katkıları geliştirilmektedir. Böylelikle, nem hassasiyetinden dolayı asfalt betonu kaplama karışımlarında meydana gelen su hasarı miktarı önemli ölçüde azaltılmaktadır[17].

4.3. Soyulma Olayı İçin Alınacak Önlemler

Soyulmayı önlemek için çeşitli yollar geliştirilmiştir:

- Yeterli sıkışmayı sağlamak, sıkışma yeterli olduğunda boşluk oranı düşecek ve karışımın içine suyun nüfuzu azalacaktır. Bunun sonucunda soyulmaya karşı direnç artacaktır. Yoğun gradasyonlu asfalt karışımlarında boşluk oranı ideal olarak %7' den fazla olmamalıdır. Bu değeri geçen karışımlarda su kolayca kaplama içine nüfuz edebilmektedir.
- Neme karşı hassas agregaların kullanımını azaltmak; karışımda neme karşı hassas agregalar ortamdaki alınıp soyulmaya karşı önlem alınmış olur. Kısa vadede özellikle agrega kaynağı fazla olmayan bölgelerde bu işlem pahalı gibi gözüksede uzun vadede yolun servis ömründeki artış dikkate alınacak olursa bu işlemin ekonomik olduğu görülmektedir.
- Gerekli drenajı yapmak; gerekli drenaj yapılırsa suyun karışım üzerinde ve içinde kalma süresi azalacak dolayısıyla ile soyulma etkisi en aza inecektir.
- Asfalt agrega karışımını kapatmak; karışıma nemin penetrasyonunu engellemek için, karışımın üstü ve altı kapatılabilmektedir. Karışımın altının kapanması suyun alt tabakalara geçmesini engellemekte, üst tarafının kapanması ise nemin buharlaşmasını önleyecektir.
- Neme karşı agregaları ve asfaltı kimyasal işleme tabi tutmak; neme karşı hassas agregaları ve asfaltı birtakım işlemlerden geçirmek için karışıma katkı ilave edilir. Kimyasal sıvı katkıları ve sönmüş kireç soyulmayı önleyici başlıca katkıları arasındadır. Bu katkılardan kireç en etkili işlem olarak kabul edilmektedir. Sıvı katkı olarak kimyasal DOB kullanılmaktadır. Fakat bu işlemin pahalı olması dezavantajdır.[10]

Kirecin soyulma önleyici olarak kullanımında farklı yöntemler mevcuttur.

- Kuru sönmüş kireç; agrega asfalt ile tamamen kaplanıncaya kadar devam eder. Karıştırma işlemi drum mix veya beç tipi plantlerde yapılabilmektedir. Ancak drum mix plantlerde gaz çıkışı sırasında bir miktar kireç kaybı olabilir ve karışıma filler olarak ayrıca kireç eklemek gerekebilir.
- Sönmüş kireç bulamacı (hydrated lime slurry); agregalara kireç bulamacı ile birlikte su ilave edilerek karışım hazırlanmaktadır. Karışım sonradan fırında yüksek sıcaklıklarda kurutulmaktadır. Bu işlemin dezavantajı artan yakıt tüketimi ve azalan üretim oranıdır.
- Kuru sönmüş kireç ve su; kuru kireç ıslak agregalara karıştırılmakta veya kuru agrega kireç karışımına belli oranda su ilave edilmektedir. Genellikle su, kuru kirecin agregaların yüzeyinden ayrılamaması için işlem sırasında kireçten önce ilave edilmelidir.
- Sıcak bulamaç(hot slurry); sönmemiş kireç(CaO) kullanılmakla birlikte diğer işlemlere kıyasla bir takım avantajlar mevcuttur. Sönmemiş kirecin maliyeti sönmüş kireç ile paralellik göstermesine rağmen söndürüldüğünde %25 daha fazla üretim sağlar. Ayrıca 180°F sıcaklığında çalışıldığından buharlaşma kaybı olmaz. Bunun sonucunda kirecin reaktivitesi yüksek olur. Bu da kurutma maliyetinde önemli miktarlarda azalma sağlar.[10]

5. KULLANILAN MALZEMELER

5.1. Agrega

Agrega olarak, Şanlıurfa İli Kulaksız Köyü–Karahöyüktepe Bazalt Taş Ocağından temin edilen bazalt agrega kullanılmıştır. Bu agrega, Gaziantep–Şanlıurfa Otoyolu Birecik-Suruç Kesimi bitümlü sıcak karışım (BSK) kaplamaların yapımında kullanılmaktadır. Agrega gradasyonu olarak, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü'nün Bitümlü Sıcak Karışımlarda Aşınma tabakası için belirlenen Tip – 2 gradasyonu seçilmiştir. Kullanılan agreganın gradasyon eğrisi 90 adet elek analizinin ortalaması alınarak;

3 / 4 “ – No. 4 arası % 26

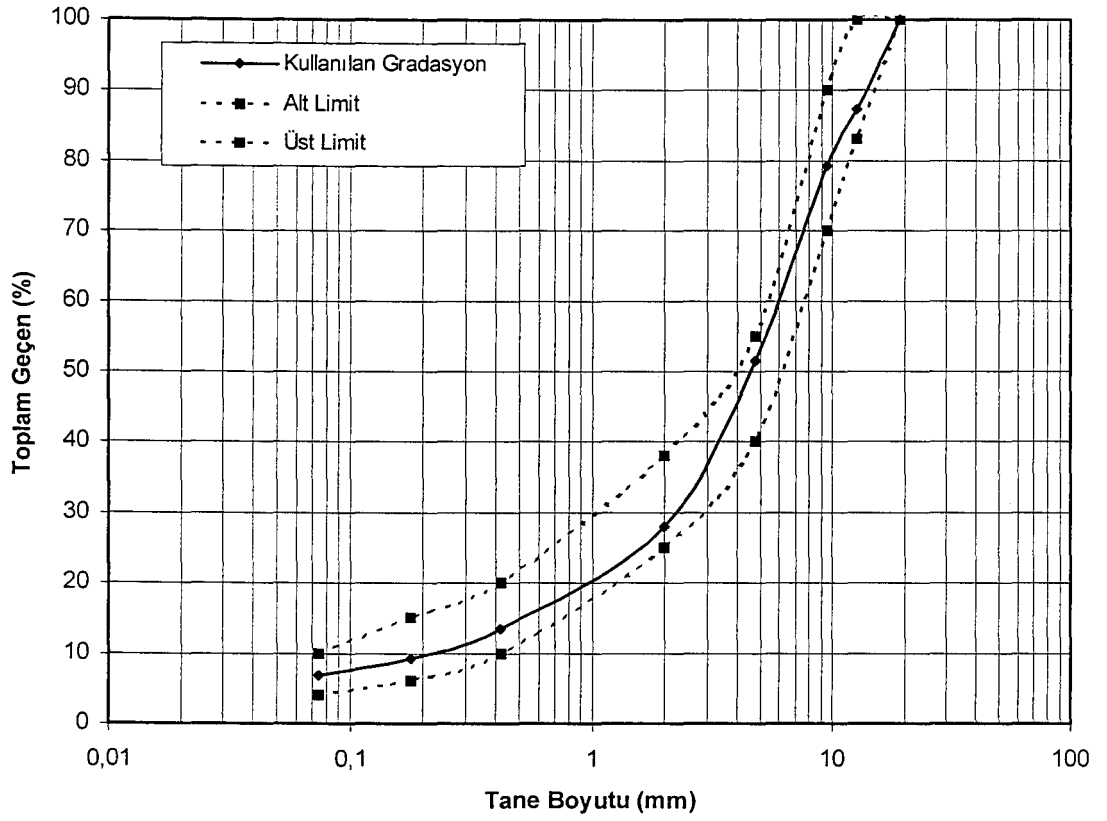
3 / 8 “ – No.10 arası % 29

No. 4 – No.200 arası %45 oranında birleştirilerek gradasyon oluşturulmuştur.

Agrega gradasyon değerleri Çizelge 5.1’de, granülometri eğrisi ise Şekil 5.1’de verilmiştir. Agreganın özgül ağırlık ve su emme değerleri Çizelge 5.2’ de verilmiştir. Agregaya ait diğer özellikler ve aşınma tabakasında kullanılabilirlik limitleri Çizelge 5.3 de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Agrega Gradasyon Değerleri

Elek No	Tane Boyutu (mm)	Toplam Geçen (%)	Aşınma tabakası Tip-2 Limitleri (%)
3 / 4 “	19,1	100	100
1 / 2 “	12,7	87,4	83-100
3 / 8 “	9,52	79,3	70-90
No. 4	4,76	51,5	40-55
No.10	2,00	27,9	25-38
No.40	0,42	13,5	10-20
No.80	0,177	9,2	6-15
No.200	0,074	6,8	4-10



Şekil 5.1. Kullanılan Agreganın Granülometri Eğrisi

Çizelge 5.2. Agreganın Yoğunluğu ve Su Emme Değerleri

Agrega sınıfı	Kuru Özgül Ağırlığı	Yüzey Kuru Özgül Ağırlığı	Zahiri Özgül Ağırlığı	Su Emme (%)
Kaba Agreg	2,868	2,889	2,931	0,8
İnce agrega	2,843	2,871	2,939	1,2
Filler	-	-	2,878	-

Çizelge 5.3. Kaba Agreganın Bazı Fiziksel Özellikleri

Özellikler	Agrega Değerleri	Limit Değerler
Los Angeles Aşınma Kaybı (%)	15,40	30
Sağlamlık (Na ₂ SO ₄ ile kayıp) (%)	0,90	10
Nicholson Soyulma (%) [AC 60/70]	75-80	50
Yassılık İndeksi (%)	27,9	30
Su Emme (%)	0,93	2

5.2. Bitümlü Bağlayıcı [Asfalt Çimentosu]

Yol üst yapılarında kullanılan asfalt çimentoları, özellik ve kıvam bakımından doğrudan doğruya bitümlü kaplamalarda kullanılmak üzere hazırlanmış petrol kökenli asfaltlardır. Asfalt çimentoları penetrasyon derecelerine göre sınıflara ayrılır. Bu çalışmada Batman Rafinerisinden temin edilen AC 60/70 kullanılmıştır. Asfalt çimentosu özellikleri Çizelge 5.4' de verilmiştir.

Çizelge 5.4. Asfalt Çimentosunun Özellikleri

Özellikler	Değerler
Bitümün Özgül Ağırlığı (gr / cm ³)	1.031
Penetrasyon	63
Düktilite (25°C, 5 m/dak)	100+
Yanma Noktası (°C)	270
Yumuşama Noktası (°C) [Bilya Halka Metodu]	51
Isıtma Kaybı (163 °C, 5 saat)	0,4
Isıtma Kaybından Sonraki Düktilite (cm)	45
Parlama Noktası (°C)	240

5.3. Katkı Malzemeleri

Bitümlü karışımların mekanik özelliklerine ve soyulma direnci etkilerinin araştırılması amacıyla kireç, portland çimentosu ve uçucu kül ilave edilmiştir.

5.3.1. Kireç

Kireç, asfalt kaplama karışımlarında mineral filler olarak da kullanılan bir malzemedir. Asfalt karışımlarında soyulma önleyici katkı malzemesi olarak genellikle yüksek kalsiyumlu sönmüş kireç [Ca(OH)₂] kullanılır. Sönmemiş kirecin maliyeti, sönmüş kireç ile paralellik göstermesine rağmen, söndürüldüğünde %25 daha fazla üretim sağlar. Bu çalışmada hacim özgül ağırlığı 2,259 gr/cm³ olan sönmüş kireç kullanılmıştır.

Kireç, kuru olarak agrega karışımına ilave edildiğinde topaklanma yapmakta, fillere karışmamaktadır. Dolayısıyla üniform bir karışım elde edilemeyeceği düşünülerek ıslak agregaya ilave edilmek suretiyle kullanılmıştır. Islak agregaya ilave edilen kireç yüzeyi sarmakta, kurutulduğunda ise yüzeyden ayrılmamaktadır.

5.3.2. Portland çimentosu

Karayolları Genel Müdürlüğü Yollar Fenni Şartnamesinde mineral filler olarak çimento da kullanılabileceği belirtilmiştir. Çalışmada Mardin Çimento Fabrikasından elde edilen ve hacim özgül ağırlığı $3,102 \text{ gr/cm}^3$ olan PÇ 32.5 Portland çimento kullanılmıştır.

Çimento, agrega karışımına kuru olarak ilave edilmiştir. Kireç gibi topaklanma problemi olmamış, filler içerisine karışmıştır. Islak yöntem denendiğinde, agregayı sarmakta fakat kurutulduğunda yüzeyden ayrılmaktadır.

5.3.3. Uçucu kül (Fly ash):

Kütahya Tunçbilek Termik Santralinden elde edilen uçucu kül kullanılmıştır. Uçucu kül, kuru olarak fillere ilave edilerek kullanılmıştır. Islak agrega üzerinde topaklanıp, kurutulduğunda yüzeyden ayrılmaktadır. Özellikleri Çizelge 5.5 de verilmiştir.

Çizelge 5.5. Uçucu Külün Özellikleri

Özellikler	Değerler	Limitler
Özgül ağırlığı (gr / cm^3)	2,12	
İncelik (μm)	45	
$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ (%)	86,53	min:70
Rutubet (%)	0,65	max:3,0
SO_3 (%)	0,22	max : 3,0
MgO (%)	4,92	max :5

6. DENEY METODLARI

6.1. Nicholson Soyulma Deneyi

Bu metod, agregaya yüzeyindeki bitüm filminin su mevcudiyetinde tutulmasını tayin için agreganın kaplanma ve statik olarak suya daldırma yöntemini anlatır. Metod, sıvı petrol asfaltlarına, emülsiyon asfaltlarına, asfalt çimentolarına ve katranlara uygulanabilir.

Soyulma, agregaya yüzeyi ile bitümlü bağlayıcı arasındaki adhezif bağın suyun etkisi ile kırılmasıdır.

6.1.1. Deneyde kullanılan cihazlar

- Elekler - Standart, 9,5 mm (3/8") ve 6,3 mm (1/4")' lik kare delikli elekler.
- Teraziler - 500 gr kapasiteli ve $\pm 0,1$ gr hassasiyetinde.
- Beher - Camdan yapılmış, 250 ml kapasiteli
- Petri kabı - 10 cm çapında camdan yapılmış
- Etüv - 25-150 °C arasında ± 1 °C hassasiyetle sabit sıcaklıkta tutulabilen etüv
- Kum Banyosu - Karıştırma sırasında cam beherlerin ve petri kaplarının içine konulduğu, homojen ısıtılabilen ve içi kum dolu banyo.

6.1.2. Deney numunesinin hazırlanması :

Agrega numunesinin 9,5 mm (3/8") elekten geçen ve 6,3 mm (1/4") elek üzerinde kalan kısmından yaklaşık 200 gr alınarak saf su ile yıkanır ve 110 °C lik etüvde sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulur. Kurutulmuş agregaya kullanılacağı zamana kadar desikatörde muhafaza edilir.

6.1.3. Deneyin yapılışı

Asfalt çimentoları ve katranlar ile:

Kaplama- Hazırlanan agregadan $100 \pm 0,5$ gr tartılır ve bir behere konur. Deney asfalt ile yapılıyorsa, içinde agrega olan beher $135-150^{\circ}\text{C}$ sabit sıcaklıktaki etüvde 1 saat bekletilir. Asfaltta ayrıca $135-150^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar ısıtılır. $5,0 \pm 0,1$ g bitümlü malzeme 250 ml.' lik cam behere tartılır. İçinde bitümlü malzeme bulunan cam beher kum banyosuna yerleştirilir(Şekil 6.1). Üzerine önceden etüvde ısıtılmış agrega ilave edilir(Şekil 6.2). Isıtılmış cam bagetle bütün agrega yüzeyi bitümle iyice kaplanıncaya kadar 2-3 dk karıştırılır.

Suya Daldırma – Bitümle kaplanmış agrega 15 cm çapındaki iki petri kabına eşit miktarlarda aktarılır. Cam bagetle agregaların petri kabında homojen bir şekilde dağılması sağlanır. Numuneler 15 dak oda sıcaklığında bekletildikten sonra petri kapları içi saf su ile doldurulmuş tepsilere konarak tamamen su ile örtülmeleri sağlanır, tepsilerin üzeri örtülüp, 24 saat 60°C deki etüvde bekletilir.



Şekil 6.1. Beher İçindeki Bitümün Kum Banyosunda Isıtılması

Gözle İnceleme – 24 saat sonunda etüvdeki petri kabı çıkartılır, bitümle kaplanmış agregaları sarsmadan üzerindeki su boşaltılır ve yeni saf su ilave edilerek yandan gelen ışık altında agrega yüzeyleri dikkatlice incelenir. Deney sonunda soyulmamış agrega yüzeyinin toplam agrega yüzeyine oranı, soyulmaya karşı dayanıklılık olarak verilir.



Şekil 6.2. Agreganın Bitümle Kaplanması

6.2. Bitümlü Sıcak Karışımların Marshall Metodu ile Tasarımı

Sıkıştırılmış Kaplama Karışımı Analiz Yönteminin Anahatları

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 C 854) özgül ağırlığı bulunur.
3. Kaplama karışımı içindeki agrega karışımının hacim özgül ağırlığı hesaplanır.

4. Gevşek kaplama karışımının maksimum özgül ağırlığı bulunur (ASTM D 2041).
5. Sıkıştırılmış kaplama karışımının maksimum özgül ağırlığı bulunur (ASTM D 1188 veya ASTM D 2326).
6. Agreganın efektif özgül ağırlığı hesaplanır.
7. Agreganın bitüm absorpsiyonu bulunur.
8. Kaplama karışımının efektif bitüm miktarı hesaplanır.
9. Sıkıştırılmış kaplama karışımı içindeki agregalar arası boşluk yüzdesi bulunur.
10. Sıkıştırılmış kaplama karışımı içindeki hava boşluğu yüzdesi bulunur.
11. Sıkıştırılmış kaplama karışımı içindeki asfaltla dolu boşluk yüzdesi bulunur.

Bu maddeler, tüm karışım analizleri için geçerlidir. Marshall yönteminde bu maddeler uygulandıktan sonra, gerekli stabilite ve akma deneyleri yapılmaktadır.

6.3. Agreganın Özgül Ağırlık Kavramları

Bir agreganın özgül ağırlığı, o agreganın birim hacimdeki ağırlığının, aynı hacimde ve 20-25 °C' deki suyun ağırlığına oranıdır. Tanenin hacim tanımlamasına bağlı olarak, üç adet özgül ağırlık tipi mevcuttur.

1. Zahirî özgül ağırlık
 2. Hacim özgül ağırlık
 3. Efektif özgül ağırlık
- Zahirî özgül ağırlık : Belirli bir sıcaklıkta, agreganın tanelerinin geçirimsiz boşluklarını içeren hacminin kütlesinin, aynı sıcaklık ve hacimdeki suyun kütlesine oranıdır.

$$\text{Zahirî Özgül ağırlık } [G_{sa}] = \frac{W_s}{(V_s + V_{ip})\gamma_w} \quad (6.1)$$

- Hacim Özgül ağırlık : Belirli bir sıcaklıkta, agrega tanelerinin geçirimsiz ve geçirimli boşluklarını içeren hacminin kütesinin, aynı sıcaklık ve hacimdeki suyun kütesine oranıdır.

$$\text{Hacim Özgül ağırlık } (G_{sb}) = \frac{W_s}{(V_s + V_{ip} + V_{pp})\gamma_w} \quad (6.2)$$

- Absorbsiyon : Malzeme tanelerinin boşluklarına dolan suya bağlı olarak agrega ağırlığındaki artışın, agreganın kuru ağırlığının yüzdesi olarak ifadesidir.
- Efektif Özgül ağırlık : Asfalt absorbe eden boşluklar hariç tüm boşluk hacimleri kapsar.

$$\text{Efektif Özgül ağırlık } (G_{se}) = \frac{W_s}{(V_s + V_{ip} + V_{pp} - V_{ap})\gamma_w} \quad (6.3)$$

Sıkıştırılmış asfalt kaplama tabakasındaki hava boşlukları, bitümle kaplanmış agrega taneleri arasında küçük hava cepleri şeklindedir. Asfalt karışım hesaplarında kullanılan agrega için seçilecek olan özgül ağırlık, sıkıştırılmış kaplamada hesaplanan hava boşlukları miktarını en doğru olarak veren özgül ağırlık olmalıdır. Zahiri özgül ağırlık kullanıldığı zaman, asfaltın su geçirimli tüm boşluklar tarafından absorbe edildiği kabul edilir. Hacim özgül ağırlık kullanılırsa, asfaltın su geçirimli boşluklar tarafından absorbe edilmediği kabul edilmiş olur. Efektif özgül ağırlık kavramı, agrega tarafından absorbe edilen asfalt miktarını dikkate aldığından, sıkıştırılmış asfalt kaplama karışımındaki boşluk hesabı için en doğru sonucu verir.

6.4. Kaba Agrega Su Absorbsiyonu ve Özgül Ağırlık Tayini (ASTM C 127)

Bu deney 4.75 mm (No.4) elek üzerinde kalan tane boyutundaki agregalara uygulanır.

6.4.1. Gerekli cihazlar

- Terazi - 5 kg kapasitede ve 0,5 gr hassasiyette ve numunelerin su içinde tartımına izin verecek şekilde kefenin merkezine asılabilecek çengel sistemine sahip.
- Tel Sepet - 3,35 mm (No.6) aralıklı örgüye sahip telden, çapı ve yüksekliği yaklaşık olarak eşit ve 4-7 dm³ hacmindeki silindir biçiminde yapılmış, kulplu tel sepet.
- Askı çengeli - Sepeti, terazi kefesinin merkezine asmaya uygun tel çubuk.

6.4.2. Deney numunesinin hazırlanması

4.75 mm (No.4) elek üzerinde kalan malzeme karışım gradasyonunu temsil edecek şekilde ve Çizelge 6.1' de verilen minimum miktarda tartılarak hazırlanır.

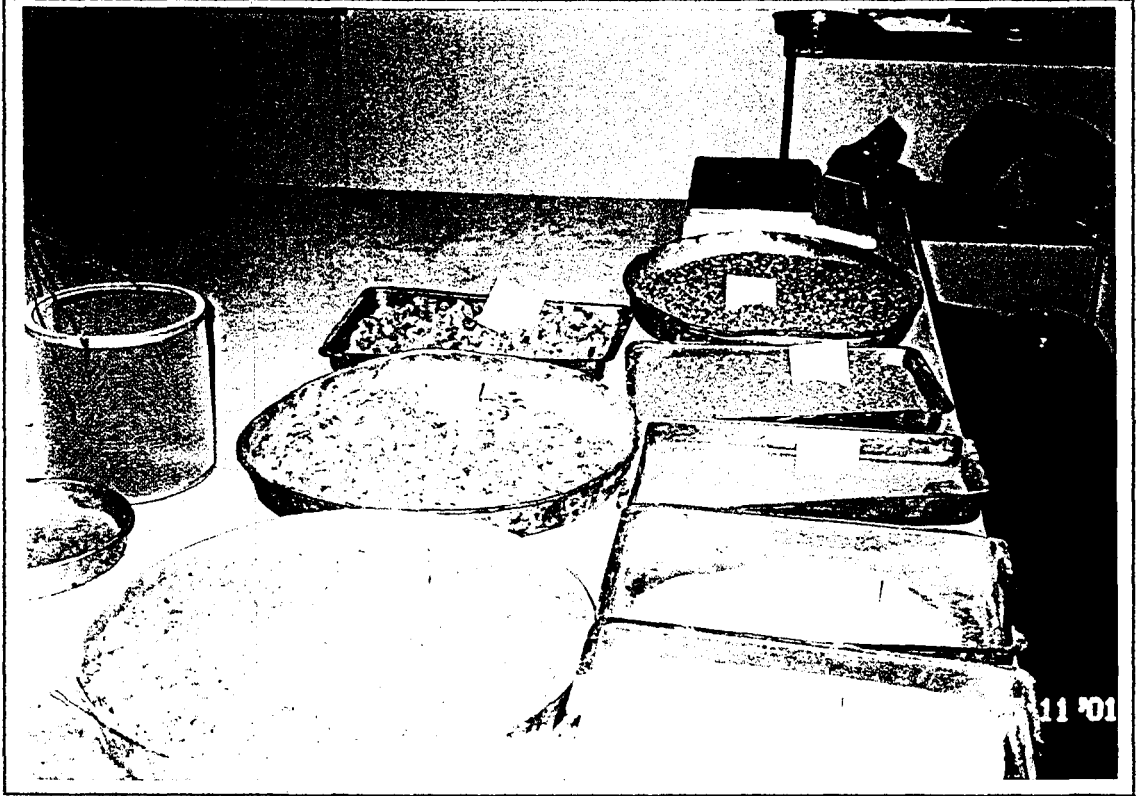
Eğer deney, malzemenin farklı boyutlarına ayrı ayrı uygulanmak istenirse, numune istenilen eleklerden elenerek ve boyutlarına göre gruplandırılarak deneye hazırlanır. Şekil 6.3' de karışım tasarımında kullanılacak malzemenin elenerek boyutlarına ayrılmış hali görülüyor.

Çizelge 6.1. Malzemelerin tane boyutuna göre minimum numune miktarları

Maksimum Tane Boyutu İnç (mm)	Minimum numune Miktarı, (kg)
2 (50)	8
1 ½ (37.5)	5
1 (25)	4
¾ (19)	3
½ (12.5)	2

6.4.3. Deney yöntemi

Deney numunesi yıkanarak bir tepsi içine konur ve suyun içinde 24 saat bekletilir. Numune su içinden çıkarılarak emici özelliği olan bir bez üzerine yayılır. Taneler üzerinde gözle görülebilecek su filmi kalmayana kadar ve büyük taneler teker teker olmak üzere kurutulur. Bu kurulama işleminde gözeneklerdeki suyun buharlaşmamasına özen gösterilmelidir. Doygun-yüzey kuru hale gelmiş numune tartılır ve tartım kaydedilir(B).



Şekil 6.3. Agregaların Elek Aralıklarına Göre Sınıflandırılmış Hali

Numune hemen tel sepete konur. $25 \pm 1^\circ\text{C}$ sıcaklıktaki ve $977 \pm 2 \text{ kg/m}^3$ yoğunluktaki suyun içine daldırılarak tartılır. İşlem sırasında tel sepet sallanarak taneler arasına suyun dolması ve havanın çıkması sağlanır. Tartım kaydedilir (C).

Numune tel sepetten bir tepsiye boşaltılarak $110 \pm 5^\circ\text{C}$ ' lik etüvde sabit ağırlığa kadar kurutulur(Şekil 6.4). Etüvden çıkarılan numune oda sıcaklığında 1-3 saat kadar soğutulur. Soğutma işleminde özellikle absortif agregalar için desikatör kullanılması uygundur. Kuru numune tartılır ve tartım kaydedilir (A).



Şekil 6.4. Malzemelerin Etüvde Kurutulması

6.4.4. Hesaplamalar

A) Agreganın hacim özgül ağırlığı aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$\text{Hacim Özgül Ağırlığı} = \frac{A}{(B - C)} \quad (6.4)$$

A : Kurutulmuş numune ağırlığı, gr

B : Doygun-yüzey kuru numune ağırlığı, gr

C : Doygun-yüzey kuru numunenin sudaki ağırlığı, gr

B) Islak Hacim Özgül Ağırlığı aşağıdaki formüle göre hesaplanır:

$$\text{Islak Hacim Özgül Ağırlığı} = \frac{B}{(B - C)} \quad (6.5)$$

C) Zahiri Özgül Ağırlık aşağıdaki formüle göre hesaplanır:

$$\text{Zahiri Özgül Ağırlığı} = \frac{A}{(A - C)} \quad (6.6)$$

D) Agreganın Absorbsiyon yüzdesi aşağıdaki formüle göre hesaplanır:

$$\text{Absorbsiyon (\%)} = \frac{(B - A)}{A} * 100 \quad (6.7)$$

6.5. İnce Agrega Su Absorbsiyonu ve Özgül Ağırlık Tayini (ASTM C 128)

6.5.1. Deneyde kullanılacak cihazlar

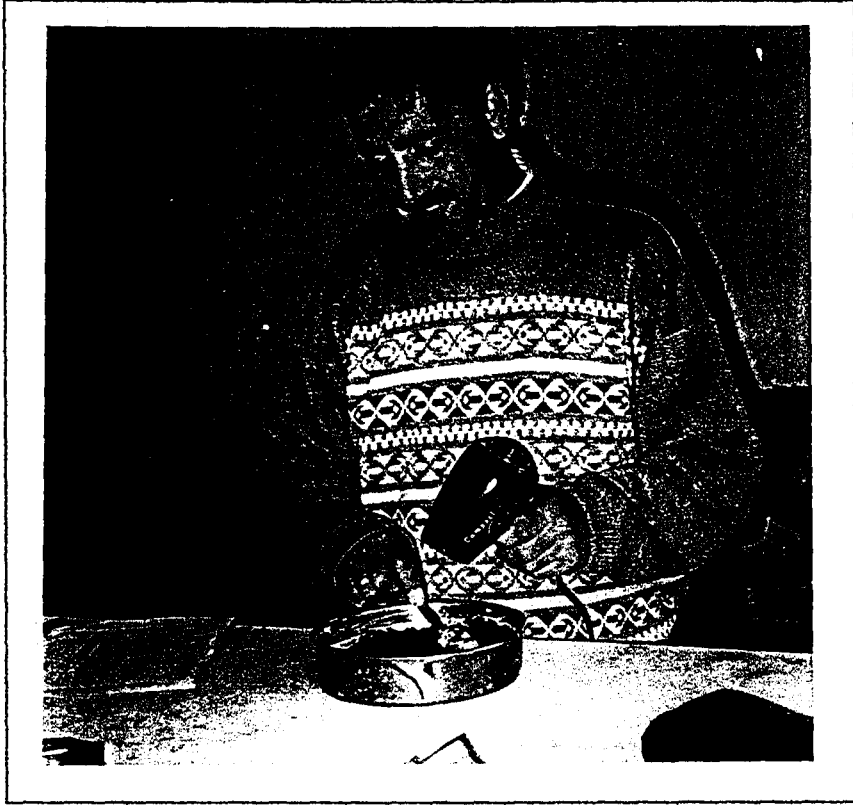
- Terazî
- Pîknometre
- Metal kalıp
- Sıkıştırma çubuğu
- Isıtıcı

6.5.2. Deney yöntemi

ASTM C 128 metodu kullanılarak ince agrega su absorpsiyonu ve özgül ağırlığı belirlenmiştir. Karışım gradasyonunu temsil edecek şekilde en az 1000 gr agrega kullanılmıştır. 200 nolu elekten yıkanan malzeme bir tepsi içine alınarak üzeri su ile kaplanır ve 24 saat bekletilir. Daha sonra ince malzeme kaybına neden olmayacak şekilde suyu süzülür ve absortif olmayan düzgün bir yüzey üzerine serilir.

Numuneyi doygun-yüzey kuru hale getirmek için sıcak hava akımı karşısında devamlı karıştırılarak kurutulma işlemine tabi tutulur(Şekil 6.5). Bu işleme malzeme serbest dökülebilir hale gelinceye kadar devam edilir. Bu anı tesbit etmek için koni metodu uygulanır. Bu metod ekler kısmında verilmiştir.

Doygun-yüzey kuru hale gelen yaklaşık 500 gr numune piknometre içine konularak tartılır(C_i).



Şekil 6.5. İnce Agreganın Yüzeyinin Kurutulması

Üzerine numune yüzeyini kaplayacak seviyede su ilave edilir. Hava kabarcıklarının çıkması için piknometre her iki yönde çalkalanır. Daha sonra piknometrenin boş kısmı işaret çizgisine kadar su ile doldurulur. $25 \pm 1^\circ\text{C}$ sıcaklıktaki su banyosunda bekletilir. Su ve malzeme sıcaklığı 25°C ' ye ulaştığında piknometre su banyosundan çıkarılıp kurulanır ve tartılır(D_i).

İnce agrega piknometreden bir tepsiye boşaltılır ve $110 \pm 5^\circ\text{C}$ ' lik etüvde sabit ağırlığa kadar kurutulur. Etüvden çıkarılan numune soğutulularak tartılır(E_i).

İnce agreganın özgül ağırlık ve su absorpsiyon yüzdesi aşağıdaki formüller kullanılarak hesaplanır:

$$\text{Hacim Özgül Ağırlığı} = \frac{E_i}{(B_i C_i) - (A_i D_i)} \quad (6.8)$$

$$\text{Zahiri Özgöl Ağırlığı} = \frac{E_i}{[(B_i + E_i - D_i)]} \quad (6.9)$$

$$\text{Absorpsiyon \% si} = \frac{(C_i - A_i - E_i)}{E_i} * 100 \quad (6.10)$$

Burada;

A_i : Piknometre ağırlığı, gr

B_i : 25 °C' deki numune ve su dolu piknometre ağırlığı , gr

C_i : Piknometre ve doymuş yüzey kuru numune ağırlığı, gr

D_i : 25 °C deki numune ve su dolu piknometre ağırlığı, gr

E_i : Kuru numune ağırlığı, gr

6.6. Mineral Filler Zahiri Özgöl Ağırlık Tayini (ASTM C 854)

6.6.1. Deneyde kullanılacak cihazlar

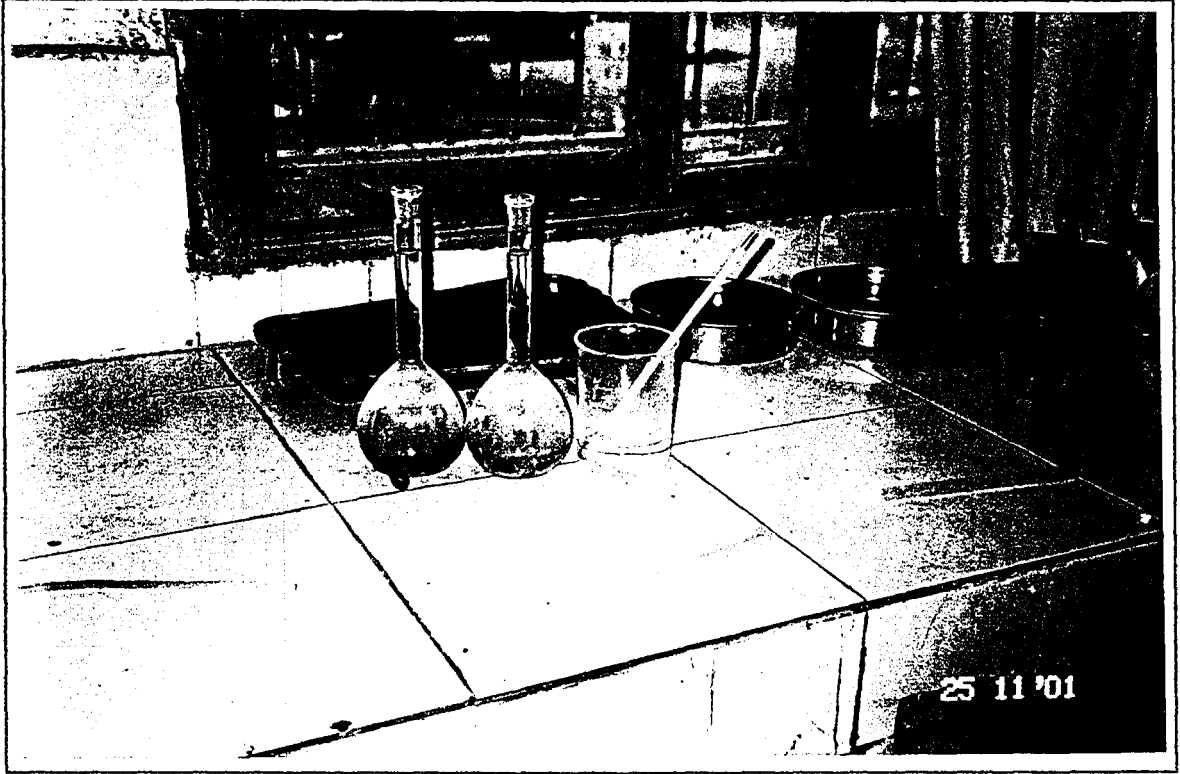
- Özgöl ağırlık şişesi (50-100 ml)
- Küçük bir huni
- Terazi (0,001-200 gr hassasiyette)
- Vakum desikatörü veya pompası
- Ayarlanır etüv (105±5 °C)
- Termostatlı su banyosu (25± 0,1 °C)

6.6.2. Deney Yöntemi

Filler malzemelerinin zahiri özgül ağırlıkları ASTM C 854 metodu kullanılarak belirlenmiştir. 110±5 °C lik etüvde sabit ağırlığa kadar kurutulan filler malzemesi şişenin 1/3' ü dolacak şekilde piknometrenin içerisine konularak tartılır (C_f).

Piknometre yarısına kadar su doldurulur ve en az 5 dakika, yaklaşık 50 mbar vakum sağlayan desikatör içinde bırakılarak havası alınır. Daha sonra

piknometre tamamen su ile doldurularak $25 \pm 1^\circ\text{C}$ ' lik su banyosunda 60 dakika bekletilir. Su banyosundan çıkarılır(Şekil 6.6) ve kurularak tartılır(D_f). Fillerin Zahiri Özgül ağırlığı aşağıdaki formülden hesaplanır.



Şekil 6.6. Filler Malzemesi İçin Özgül Ağırlık Deneyi

$$\text{Zahiri Özgül ağırlık} = \frac{(C_f - A_f)}{(B_f - A_f) - (D_f - C_f)} \quad (6.11)$$

Burada;

A_f : Piknometre ağırlığı, gr

B_f : Su dolu piknometre ağırlığı , gr

C_f : Piknometre ve kuru numune ağırlığı, gr

D_f : Piknometre + kuru numune + su ağırlığı, gr

6.7. Asfalt Çimentosunun Özgül Ağırlığının Tayini (ASTM D 70)

ASTM D 70 metodu kullanılarak asfalt çimentosunun (bitümlü bağlayıcı) özgül ağırlığı belirlenmiştir. Yüksek viskoziteli katran ve asfaltın özgül ağırlığının belirlenmesi için piknometre yöntemi kullanılır. Bu yöntemde, ilk olarak piknometrenin kalibrasyonu yapılır. Asfalt çimentosu Buharlaştırma kaybına uğramadan yavaş yavaş ısıtılır ve yaklaşık piknometrenin yarısına kadar doldurulur. Piknometre hafifçe ısıtılır ve oda sıcaklığına ulaşınca kadar soğumaya bırakılarak tartılır. Daha sonra piknometrenin kalan kısmı su ile doldurulur. $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$ ' lik su banyosunda en az 40 dakika bekletildikten sonra temiz bir bez ile kurularak tartılır. Asfalt çimentosunun özgül ağırlığı aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır.

$$\text{Özgül Ağırlık (} G_s) = \frac{(c - a)}{(b - a) - (d - a)} \quad (6.12)$$

Burada;

a : Piknometre ağırlığı, gr

b : Su dolu piknometre ağırlığı , gr

c : Piknometre ve bitüm ağırlığı, gr

d : Piknometre + bitüm + su ağırlığı, gr

6.8. Agrega Karışımının Özgül Ağırlığının Tayini

Agrega karışımı , her biri değişik özgül ağırlıklara sahip kaba agregası, ince agregası ve mineral fillerden oluştuğundan toplam agreganın hacim veya zahiri özgül ağırlığı aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$G_{sb} = \frac{\%K + \%I + \%F}{\frac{\%K}{G_{kb}} + \frac{\%I}{G_{ib}} + \frac{\%F}{G_{fa}}} \quad (6.13)$$

$$G_{sa} = \frac{\%K + \%I + \%F}{\frac{\%K}{G_{ka}} + \frac{\%I}{G_{ia}} + \frac{\%F}{G_{fa}}} \quad (6.14)$$

Burada ;

G_{sb} : Agrega karışımının hacim özgül ağırlığı,

G_{sa} : Agrega karışımının zahiri özgül ağırlığı,

$\% K$, $\% I$, $\% F$: Agregaların ağırlıkça yüzdeleri

G_{kb} , G_{ib} : Agregaların hacim özgül ağırlığı

G_{ka} , G_{ia} , G_{fa} : Agregaların zahiri özgül ağırlıkları

6.9. Bitümlü Kaplama Karışımların Maksimum Teorik Özgül Ağırlığının Tayini

Maksimum teorik özgül ağırlık, 25 °C' deki malzeme kütlesinin malzeme ile eşit hacimdeki ve aynı sıcaklıktaki suyun kütlesine oranıdır. ASTM D 2041 metodu uygulanarak belirlenmiştir. Agrega karışım gradasyonuna uygun olarak tartılıp, hazırlanılır ve marshall yöntemine göre ısıtılarak bitümlü karıştırılır. Bitümlü karışım numunesi, taneleri kırmamaya özen göstererek ve ince agregadan oluşan toprakların boyutu 6.4 mm den küçük olacak şekilde elle tanelenerek ayrılır. Bu karışım piknometreye konularak tartılır(C). Piknometre içine malzemenin üstü su ile örtülecek şekilde su ilave edilir. Piknometreye içindeki hava alınıncaya kadar vakum uygulanır. Daha sonra piknometrenin tamamı su ile doldurularak 25±1 °C' ye ayarlı su banyosunda bekletilir. Malzeme ve suyun sıcaklığı 25 °C' ye ulaştığında piknometre kullanarak tartılır(D). Bitümlü karışımın maksimum teorik özgül ağırlığı aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanılır.

$$D_t = \frac{C_t - A_t}{(C_t - A_t) - (D_t - B_t)} \quad (6.15)$$

Burada:

A_1 : Piknometrenin boş ağırlığı, gr

B_1 : 25 °C deki su dolu piknometre ağırlığı, gr

C_1 : Piknometre + numune ağırlığı, gr

D_1 : 25 °C deki numune ve su dolu piknometre ağırlığı, gr

6.10. Sıkıştırılmış Bitümlü Kaplama Karışımların Hacim Özgül Ağırlığının Tayini

ASTM D 2041 metodu uygulanarak belirlenmiştir. Bu metod ile tayin edilen özgül ağırlık, 25°C' de malzemenin geçirimli ve geçirimsiz boşluklarını içeren hacminin kütlesinin, aynı sıcaklık ve hacimdeki suyun kütlesine oranı olarak tanımlanır. Yoğunluk ise, 25°C' deki malzemenin birim hacminin kütlesidir.

Bu yöntem, laboratuvarında hazırlanmış bitümlü karışım briketlerine ya da yolda serilip sıkıştırılmış asfalt betonundan alınan karot numunelere uygulanır.

Oda sıcaklığında bekletilen numuneler tartılır(A). Numuneler 25±1°C' lik su içine konulur. 3-5 dakika bekletilerek tartılır(C). Sudan çıkan numunelerin yüzeyi nemli bir havlu ile kurulanıp, tartılır(B). Numunenin hacim özgül ağırlığı aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır.

$$\text{Hacim Özgül Ağırlığı } (D_p) = \frac{A}{B - C} \quad (6.16)$$

Burada;

A : Kuru numunenin ağırlığı, gr

B : Doygun-yüzey kuru numune ağırlığı, gr

C : Numunenin sudaki ağırlığı, gr

Numunenin absorbe ettiği su yüzdesi aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$\text{Absorbsiyon } (\%) = \frac{B - A}{B - C} \times 100 \quad (6.17)$$

Eğer numunenin su absorpsiyonu numune hacminin %2' sinden fazla ise hacim özgül ağırlık deneyi, parafınle kaplama yöntemi ile belirlenebilir. Bu çalışmada hazırlanan numunelerin absorpsiyon yüzdesi, bu değerden küçük olduğu için yukarıda bahsedilen yöntem seçilmiştir.

6.11. Agregata Efektif Özgül Ağırlığın Tayini

Agregata tarafından absorbe edilen asfalt hacmi, absorbe edilen suyun hacminden daha azdır. Bunun sonucu olarak agreganın efektif özgül ağırlık değeri, hacim ve zahiri özgül ağırlık değerleri arasında olmalıdır. Efektif özgül ağırlık bu limitlerin dışına düştüğünde değerin yanlış olduğu varsayılmaktadır. Bu durumda ASTM D 2041' e göre yapılan teorik özgül ağırlık deneyi yeniden gözden geçirilmelidir. Bu deneyin yapılamadığı durumlarda, hacim özgül ağırlık ve zahiri özgül ağırlık değerlerin ortalaması alınarak bulunan efektif özgül ağırlık değeri hesaplarda kullanılabilir.

Agreganın efektif özgül ağırlığı aşağıdaki gibi bulunur:

$$G_{ef} = \frac{100}{\frac{100 + W_a}{D_t} - \frac{W_a}{G_b}} \quad (6.18)$$

Burada;

G_{ef} : Agregata efektif özgül ağırlığı (asfalt absorbe eden boşluklar hariç tüm boşlukları içerir.)

W_a : Agreganın yüzdesi olarak bitüm

D_t : Gevşek kaplama karışımının boşluksuz maksimum özgül ağırlığı

G_b : Bitüm özgül ağırlığı

6.12. Bitüm Absorpsiyon Yüzdesinin Hesaplanması

Bitüm absorpsiyon yüzdesi aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır:

$$P_{ba} : 100 * \frac{G_{ef} - G_{sb}}{G_{sb} - G_{ef}} * G_b \quad (6.19)$$

Burada;

P_{ba} : Agreganın ağırlıkça yüzdesi

G_{ef} : Agreganın efektif özgül ağırlığı

G_{sb} : Agreganın Hacim özgül ağırlığı

G_b : Bitüm özgül ağırlığı

6.13. Kaplama Karışımının Efektif Bitüm Yüzdesinin Hesaplanması

Efektif bitüm yüzdesi, toplam bitüm miktarının agrega tarafından absorbe edilen bitüm miktarı kadar eksiktir. Bu, toplam bitüm miktarının agrega dışını kaplayan kısmıdır ve kaplama karışımının performansına etki edecek bitüm miktarıdır.

$$P_{be} = W_a - P_{ba} \quad (6.20)$$

Burada;

P_{be} : Agreganın ağırlıkça yüzdesi olarak efektif bitüm miktarı

W_a : Agreganın ağırlıkça yüzdesi olarak bitüm

P_{ba} : Agreganın ağırlıkça yüzdesi olarak absorbe edilen bitüm

6.14. Farklı Bitüm Miktarlarında Hazırlanan Karışımın Maksimum Özgül Ağırlığının Tayini

Her bir bitüm yüzdesindeki hava boşluğu hesaplanırken, farklı bitüm yüzdelerindeki maksimum özgül ağırlığa ihtiyaç duyulur. ASTM D 2041 e göre deney yapılırken en sağlıklı sonucu alabilmek için optimuma yakın bitüm yüzdesinde hazırlanmalı ve D_t için iki veya üç deney yapılmasına çalışılmalıdır.

Bitüm miktarının değişmesi bitüm absorpsiyonunu önemli ölçüde değiştirmez, bu sebeple maksimum özgül ağırlık(D_t), aşağıdaki formülle herbir bitüm yüzdesi için ayrı ayrı hesaplanır.

$$D_t = \frac{100 + W_a}{\frac{100}{G_{ef}} + \frac{W_a}{G_b}} \quad (6.21)$$

Burada;

D_t : Kaplama karışımının boşluksuz maksimum özgül ağırlığı

W_a : Agreganın ağırlıkça yüzdesi olarak bitüm

G_{ef} : Agreganın efektif özgül ağırlığı

G_b : Bitüm özgül ağırlığı

6.15. Sıkıştırılmış Kaplama Karışımlarındaki Agregalar Arası Boşluk (VMA) Yüzdesi Tayini

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

VMA, agreganın hacim özgül ağırlığı esas alınarak hesaplanır ve sıkıştırılmış kaplama karışım hacminin yüzdesi olarak ifade edilir. Böylece VMA, sıkıştırılmış kaplama karışımın hacminden agreganın hacim özgül ağırlığı ile hesaplanan hacmin çıkarılmasıyla hesaplanır. Eğer karışım kompozisyonu agrega ağırlığının yüzdesi olarak bulunmuşsa,

$$VMA = 100 - \frac{D_p}{G_{sb}} * \frac{100}{100 + W_a} * 100 \quad (6.22)$$

Burada,

VMA : Agregalar arası boşluk yüzdesi

D_p : Sıkıştırılmış karışımın hacim özgül ağırlığı

G_{sb} : Agreganın hacim özgül ağırlığı

W_a : Agreganın ağırlıkça yüzdesi olarak bitüm

6.16. Sıkıştırılmış Kaplama Karışımındaki Hava Boşluğu ve Asfaltla Dolu Boşluk Yüzdesinin Hesaplanması

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

$$V_h = \frac{D_t - D_p}{D_t} * 100 \quad (6.23)$$

Burada;

V_h : Toplam hacmin yüzdesi olarak sıkıştırılmış karışımındaki hava boşluğu

D_t : Kaplama karışımının maksimum özgül ağırlığı

D_p : Sıkıştırılmış karışımın (briketin) hacim özgül ağırlığı

Asfaltla dolu boşluk(V_f), sıkıştırılmış kaplama karışımının bitümle dolan boşluklarını içerir.

$$V_f = \frac{VMA - V_h}{VMA} * 100 \quad (6.24)$$

Burada;

V_f : Asfaltla dolu boşluk

VMA : Agregalar arası boşluk yüzdesi

V_h : Toplam hacmin yüzdesi olarak sıkıştırılmış karışımındaki hava boşluğu

6.17. Marshall Stabilite ve Akma Deneyi

Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından kaplama tasarımında kullanılan bu deney ASTM D 1559' a göre uygulanmıştır. Numuneler bu metoda uygun

olarak hazırlanmıştır. Fillere ilave edilen malzemeler için bu metot tekrar edilmiştir. Kireç, agregaya ıslak yöntemle ilave edilmiştir(Şekil 6.7). Şekil 6.8, 6.9, 6.10, 6.11 de marshall numunelerinin hazırlanma aşamaları görülmektedir. Bu metod için, Marshall numuneleri her iki yüzeye 75 darbe vurularak hazırlanır. Marshall aleti yardımıyla bitümlü kaplama karışımlarından hazırlanan silindirik briketlerin yanal yüzlerine yükleme yapılarak plastik akmaya karşı direncin ölçümünü kapsamaktadır. ASTM D 2726' ya göre yoğunlukarı belirlenen briketler 60°C' lik su banyosunda 30–40 dakika bekletildikten sonra, 50.8 mm/dk yerdeğiştirme hızına sahip Marshall yükleme çerçevesinde 30 saniye içinde test edilir (Şekil 6.12).



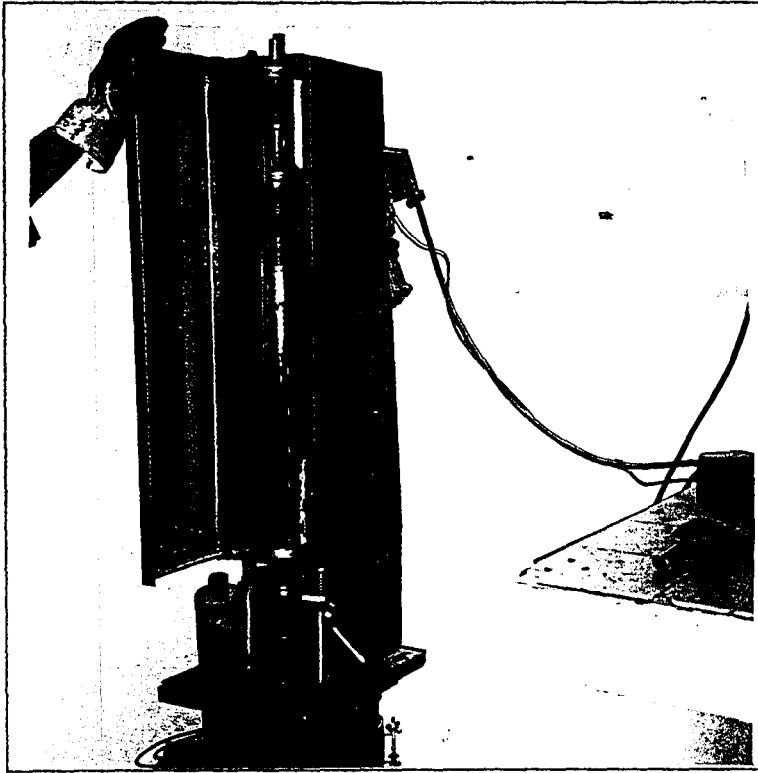
Şekil 6.7. Islak Agregat Karışımına Kireç İlavesi



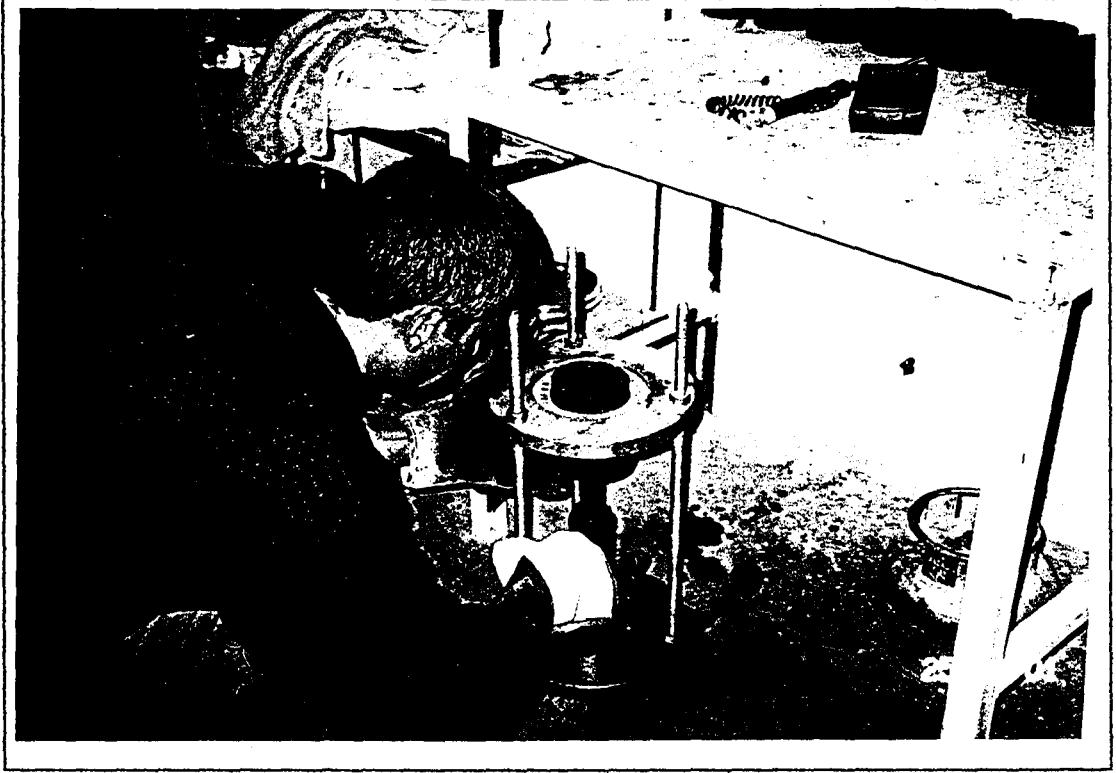
Şekil 6.8. Marshall Briketi İçin Gerekli Malzeme Tartımlarının Yapılması



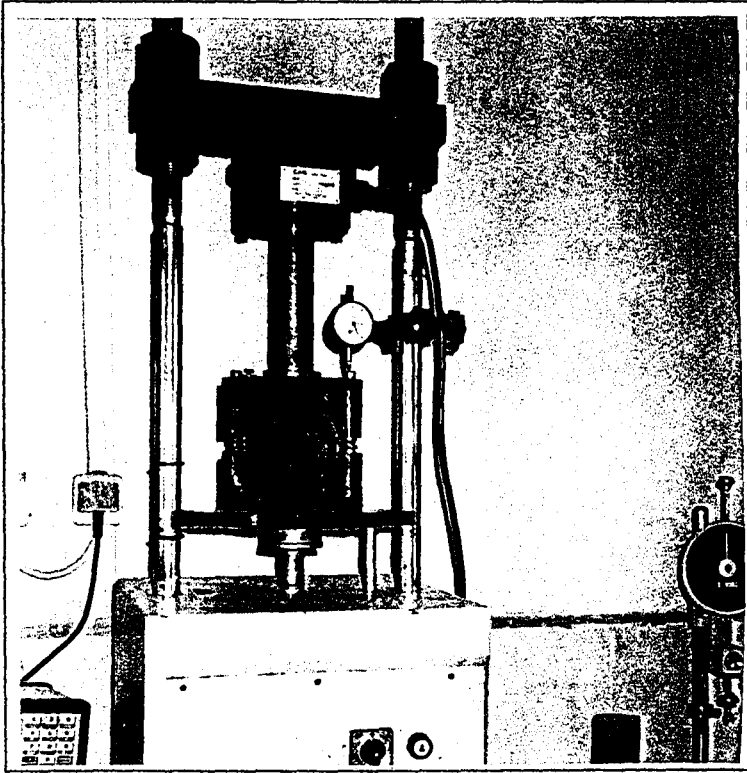
Şekil 6.9. Karıştırma İşlemi Tamamlanan Malzemenin Sıkıştırma Sıcaklığının Tespiti



Şekil 6.10. Sıkıştırma İşleminde Kullanılan Marshall Kompaktörü



Şekil 6.11. Sıkıştırılmış Numunenin Kalıptan Çıkarılması



Şekil 6.12. Marshall Stabilite ve Akma Deney Aleti

6.18. Dolaylı Çekme Mukavemet Deneyi

Karışımların çekme dayanımlarını belirlemek için statik yarma silindiri (Brazilian) testi olarak bilinen AASHTO T-283' te belirtilen Dolaylı çekme mukavemeti deney metodu uygulanmıştır[18]. Silindirik Marshall numunesi boyutundaki numuneler 25°C'lik su banyosunda 2 saat bekletilmiştir. Numune sıcaklıkları, deney sıcaklığına ulaştıktan sonra, 50,8 mm/dak yerdeğiştirme oranında çalışan Marshall test aletinde, 1,42 cm genişliğindeki şerit çubuklar vasıtası ile çizgisel yüke maruz bırakılmıştır(Şekil 6.13). Deney sonucunda elde edilen maksimum yük kullanılarak, Dolaylı çekme gerilmeleri aşağıdaki formülden hesaplanmıştır:



Şekil 6.13. Dolaylı Çekme Mukavemet Deneyi

$$S_t = \frac{2 P}{\pi t D} \quad (6.25)$$

Burada;

S_t : Dolaylı çekme gerilmesi(kg/cm²),

P : Maksimum yük (kg),

t : Numune kalınlığı (cm),

D : Numune çapı (cm).

6.19. Su Hasarı Deneyi

Bu metot, laboratuvarında sıkıştırılmış bitümlü karışımların hızlandırılmış su etkileri nedeniyle oluşan çap düzlemindeki çekme mukavemeti değişiminin ölçümünü ve bu deney için numune hazırlanmasını kapsar. Deney sonuçları bitümlü karışımların uzun süreli soyulma hassasiyetini tahmin etmekte ve mineral agregalara katılan sönmüş kireç gibi pulvarize maddelerinin yada asfalt çimentosuna eklenen soyulma direncini arttırıcı katkı malzemelerinin değerlendirilmesinde kullanılabilir.

Laboratuvarında sıkıştırılmış bitümlü karışımların hızlandırılmış olarak suya koşullandırma ve doyumluk etkilerini değerlendirmek için uygulanır. Bu metot;

- Karışım dizayn deneyiyle bağlantılı olarak bitümlü karışımları test etmek için,
- Karışım plantlerinde üretilen bitümlü karışımları test etmek için,
- Herhangi bir yaştaki üstyapıdan alınan karotları test etmek için kullanılabilir.

Geri kalan dolaylı çekme özelliklerinin sayısal indisleri, laboratuvarında sıkıştırılmış ve hızlandırılmış olarak suya koşullandırılarak doyurulmuş numunelerin geri kalan dolaylı çekme özellikleri ile kuru numunelerin aynı özelliklerini karşılaştırarak elde edilir .

Asfalt, soyulma mukavemetlerini arttırıcı katkı malzemeli asfalt ve kireç katılmış agrega gibi her değişik karışım durumu için altı adet deney numunesi test edilir. Her karışım grubu ikiye ayrılarak yarısı dolaylı çekme mukavemeti deneyi için kuru şartta denenir. Diğer kısmı ise, vakum tatbikinden sonra donma ve suya doyum hale getirilir ve dolaylı çekme mukavemet deneyine tabi tutulur. Geri

kalan dolaylı çekme mukavemetinin sayısal indisleri, kuru ve koşullandırılmış durumlarda yapılan iki farklı deney sonuçlarından hesaplanır.

Su hasarı deneyi için hazırlanan Marshall numuneleri özgül ağırlıkları birbirine yakın, en az 3 adet briket içeren 2 gruba ayrılmıştır. Bunlardan 1 grubun AASHTO T-283' e göre dolaylı çekme mukavemetleri, diğer bir grubun ise koşullu dolaylı çekme mukavemetleri belirlenmiştir.

AASHTO T-283 deney metodu ile laboratuvarında sıkıştırılmış bitümlü karışımların hızlandırılmış su etkileri nedeni ile çap düzleminde oluşan çekme dayanımının değişimi belirlenir. Fillere ilave edilen katkı malzemelerinin uzun süreli soyulma hassasiyetini tahmin etmekte de kullanılmaktadır. Bu metotta, her iki karışım grubu ikiye ayrılmış ve bunlardan yarısı (koşulsuz numuneler) dolaylı çekme mukavemeti deneyi için kuru şartta denenmiştir. Diğer kısmı ise (koşullu numuneler) yaklaşık 5 dakika vakum tatbik edilerek doygun hale getirilmiştir. Vakumla doyurulmuş numuneler plastik bir film tabakası ile iyice sarılarak, her biri içerisinde 10 ml su bulunduran plastik torbalara konulmuştur. Numuneler 16 saat -18°C 'de derin dondurucuda (Şekil 6.14) ve 24 saat 60°C ' deki su banyosunda bekletilmiştir(Şekil 6.15). 2 saat 25°C ' deki su banyosunda bekletilen numuneler dolaylı çekme mukavemeti deneyine tabi tutulmuştur(Şekil 6.16). Şekil 6.17 de deneye tabi tutulmuş numunelerin fotoğrafı görülmektedir.

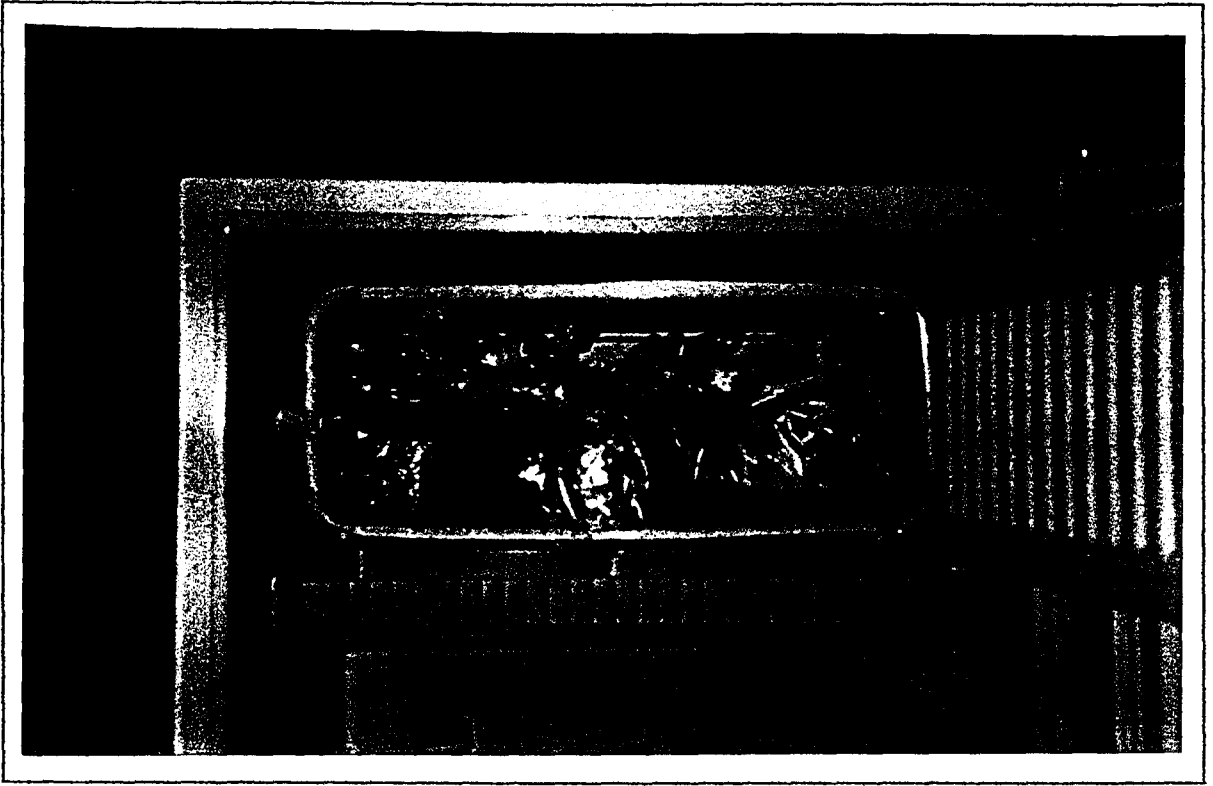
Asfalt karışımların suyun etkisine karşı direncinin sayısal indeksi, donma/çözülme koşullandırmasından sonraki dayanımın orijinal dayanıma oranı olarak ifade edilir ve aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\text{Çekme Dayanım yüzdesi (\%)} = \frac{S_2}{S_1} \quad (6.26)$$

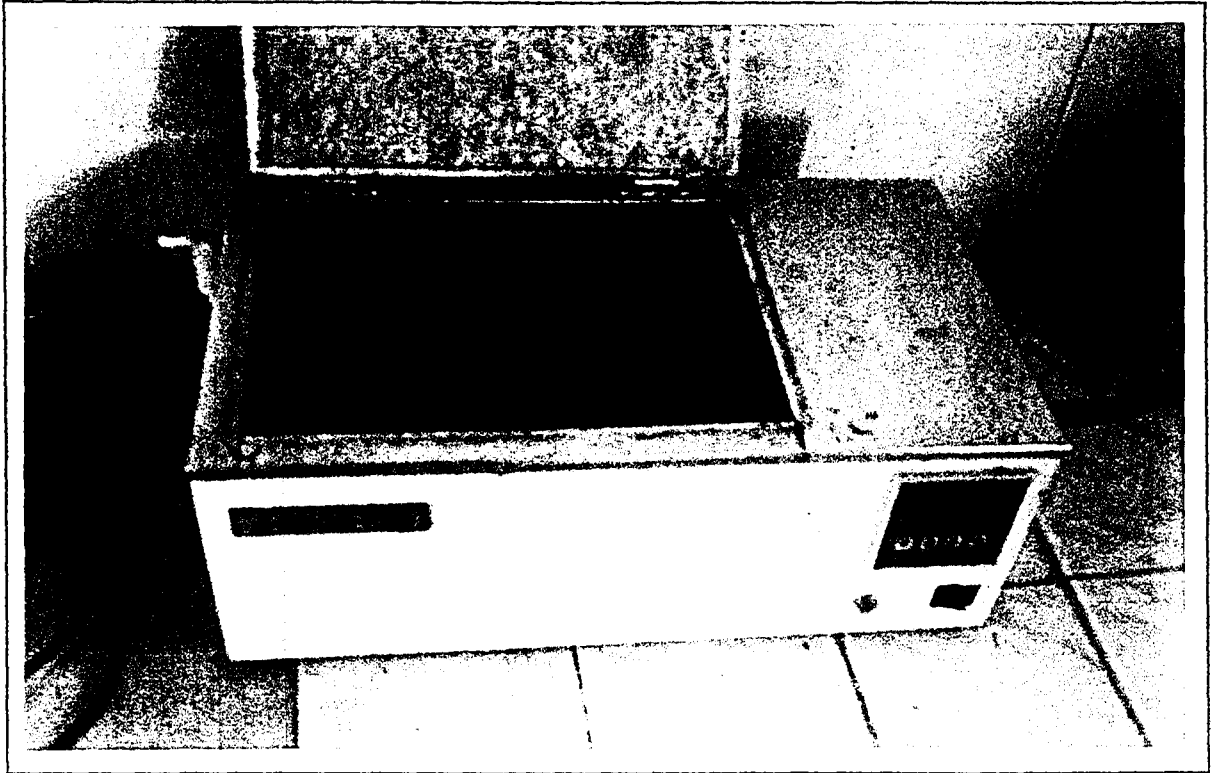
Burada;

S_1 : Koşulsuz grubun ortalama çekme dayanımı (kg/cm^2)

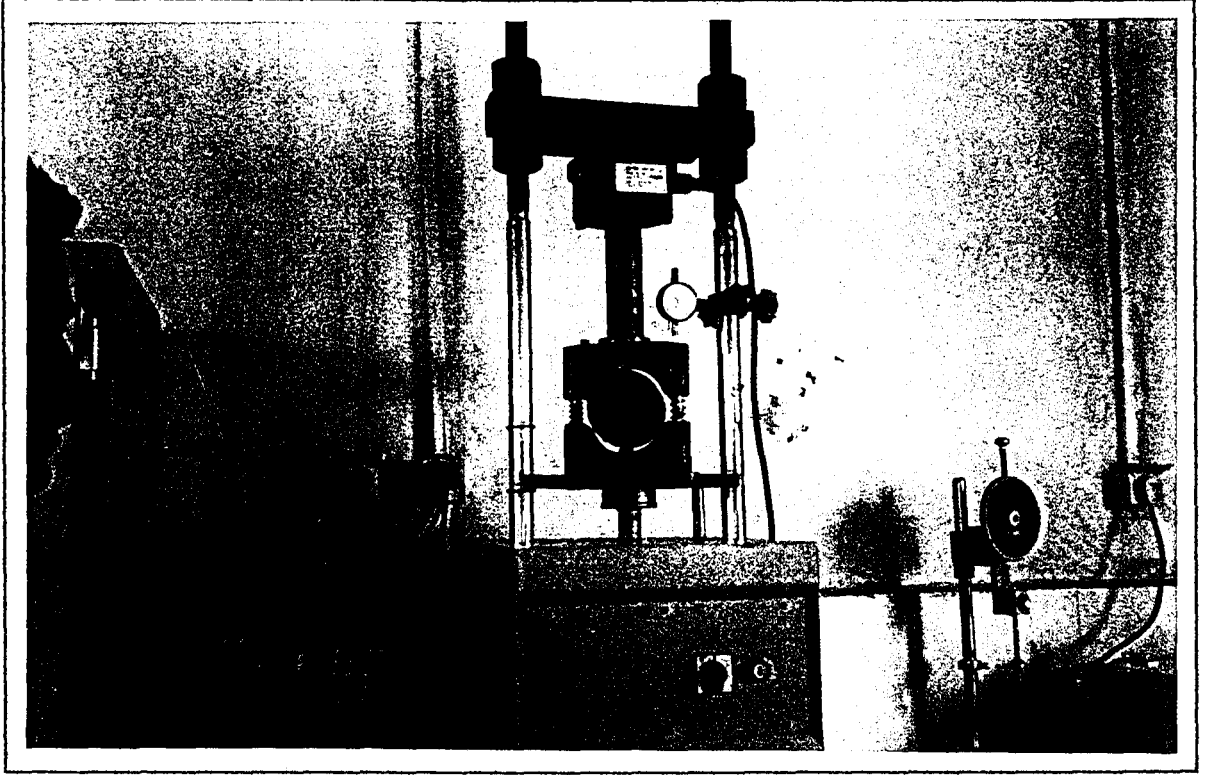
S_2 : Koşullu grubun ortalama çekme dayanımı (kg/cm^2)



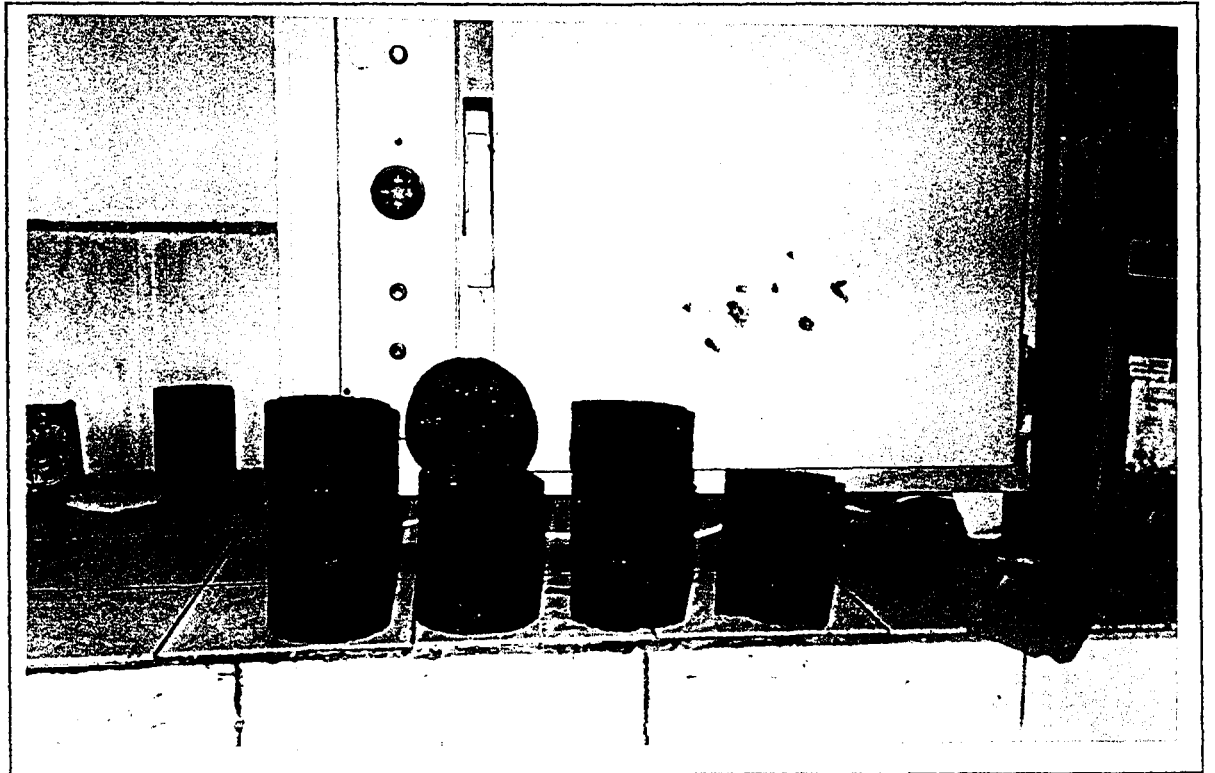
Şekil 6.14. Derin Dondurucuda Bekletilen Numuneler



Şekil 6.15. Su Banyosunda Bekletilen Koşullu Numuneler



Şekil 6.16. Koşullu Numunelerin Dolaylı Çekme Mukavemetinin Belirlenmesi



Şekil 6.17. Koşullu Numunelerin Deney Sonrası Durumu

7. DENEY SONUÇLARI

7.1. Nicholson Soyulma Deneyi

Nicholson Soyulma Deneyi, katkısız agrega üzerinde yapıldığında sonuç %30 iken, %1 oranında kireç ilavesiyle %90, %1 oranında kül ilavesiyle %50, %1 oranında çimento ilavesiyle %50 olarak iyileştirdiği görülmüştür. %1 ilave oranında soyulma mukavemetini artıran en iyi toz katkı kireçtir.

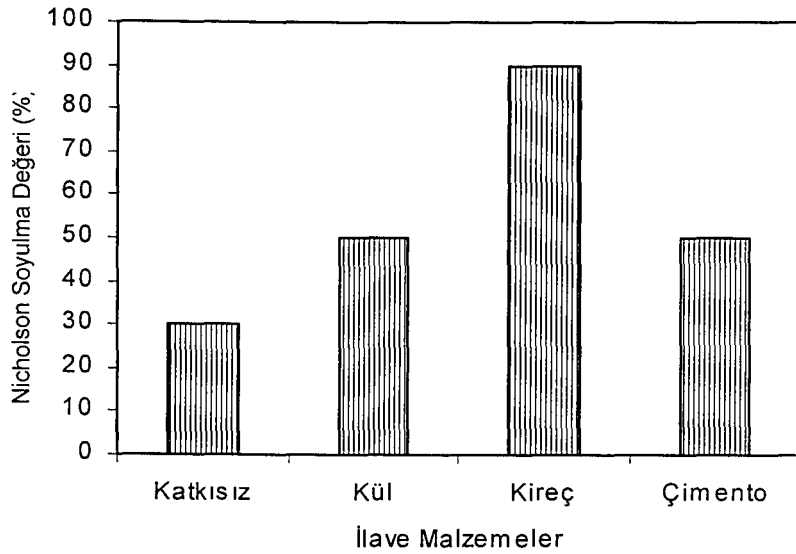
Çizelge 7.1. %1 İlave Oranında Nicholson Soyulma Deney Sonuçları

Karışım Cinsi	Kuru Yöntem	Islak Yöntem
Katkısız	% 30	% 30
%1 Kireç İlaveli Agregası	% 90	% 50
%1 Çimento İlaveli Agregası	% 50	% 53
%1 Kül İlaveli Agregası	% 50	% 52

Nicholson deney sonuçları Çizelge 7.1' de verilmiştir. Sonuçlar dikkate alındığında kireç, ıslak yöntem uygulamasıyla en iyi sonucu vererek soyulmaya karşı dayanıklılığı artırmıştır. Diğer toz katkılarda, ıslak yöntem kullanıldığında kayda değer bir değişim görülmemiştir. Bu nedenle kireç, karışıma ıslak yöntemle, kül ve çimento ise, karışıma kuru yöntemle ilave edilerek çalışmaya devam edilmiştir.

Kireç, agreganın yüzeyini sarıp agreganın nemini azaltarak adheziv bağ oluşumu sağlamaktadır. Bağın oluşumu, bağlayıcı ile suyun yer değişimini engelleyerek soyulmayı azaltmaktadır. Çimento ve uçucu kül ilavesi de kireç kadar olmasa da nemi azaltarak soyulmayı önlemektedir.

Deney sonuçları Şekil 7.1 de grafik halinde verilmiştir.



Şekil 7.1. Nicholson Soyulma Deney Sonuçları

7.2. Marshall Metodu ile Karışım Tasarımı Sonuçları

7.2.1. Agrega ve bitüme ait deney sonuçları

Kullanılan malzemelerin karışım tasarımı için belirlenen özellikleri Çizelge 7.2' de verilmiştir.

Çizelge 7.2. Agrega ve Bitüme Ait Özellikler

Özellikler	Sonuçlar
Bitüm Özgül Ağırlığı (G_b)	1,031
Bitüm Penetrasyonu	64
Kaba Agreganın Hacim Özgül Ağırlığı	2,868
Kaba Agreganın Zahiri Özgül Ağırlığı	2,931
İnce Agreganın Hacim Özgül Ağırlığı	2,843
İnce Agreganın Zahiri Özgül Ağırlığı	2,939
Filler Agrega Hacim Özgül Ağırlığı	2,878
Kaba Agrega Yüzdesi (%K)	48,5
İnce Agrega Yüzdesi (%I)	44,7
Filler Yüzdesi (%F)	6,8
Bitümlü Kaplama Karışımın Maksimum Teorik Özgül Ağırlığı, (Dt)	2,629

(6.13) nolu eşitlikten,

$$\text{Agrega karışımının hacim özgül ağırlığı, } G_{sb} = \frac{100}{\frac{48,5}{2,868} + \frac{44,7}{2,843} + \frac{6,8}{2,878}} = 2,857$$

(6.14) nolu eşitlikten,

$$\text{Agrega karışımının zahiri özgül ağırlığı, } G_{sa} = \frac{100}{\frac{48,5}{2,931} + \frac{44,7}{2,939} + \frac{6,8}{2,878}} = 2,930$$

(6.18) nolu eşitlikten,

$$\text{Agrega karışımının efektif özgül ağırlığı, } G_{ef} = \frac{100}{\frac{100 + 5,9}{2,629} - \frac{5,9}{1,031}} = 2,894$$

(6.19) nolu eşitlikten,

$$\text{Agreganın Bitüm Absorbsiyonu(\%), } P_{ba} = 100 * \frac{2,894 - 2,857}{2,857 * 2,894} * 1,031 = \%0.461$$

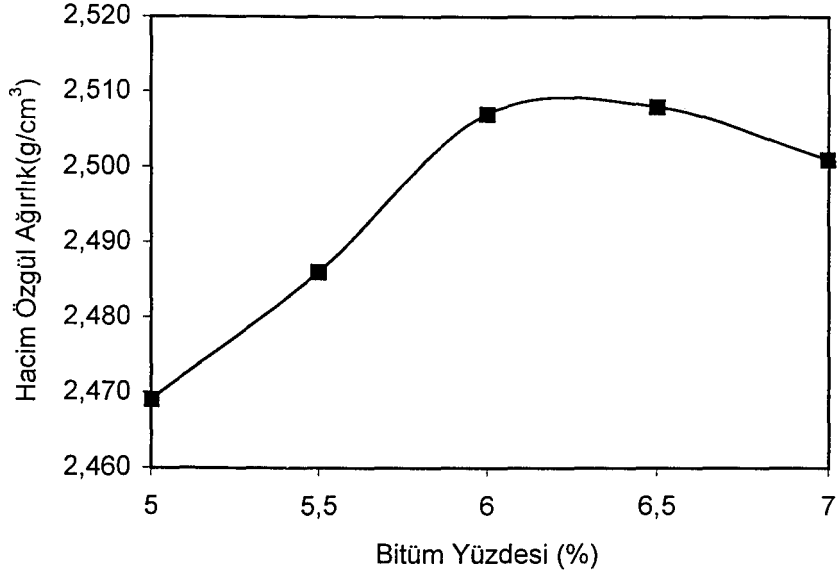
olarak hesaplanmıştır.

7.1.2. Marshall Stabilite Deney Sonuçları

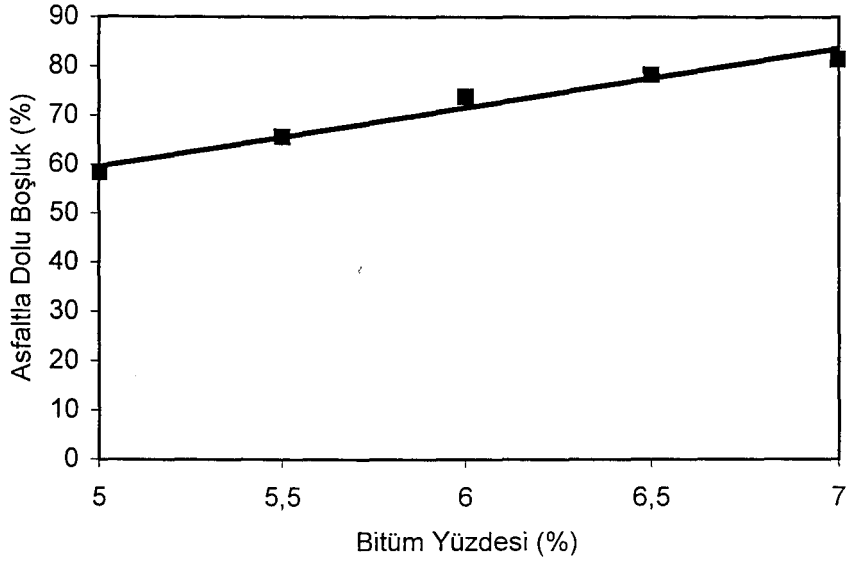
ASTM D 1559' a göre Marshall stabilite ve akma deneyi yapılmış, stabilite ve akma değerleri belirlenmiştir. Çizelge 7.3' de sonuçlar ve Karayolları Fenni Şartnamesi' nde belirtilen aşınma tabakası tasarım kriterleri verilmiştir. Bu değerlerin tespit edildiği grafikler Şekil 7.2, 7.3, 7.4, 7.5, 7.6, 7.7' de verilmiştir.

Çizelge 7.3.Marshall Stabilite ve Akma Değerleri

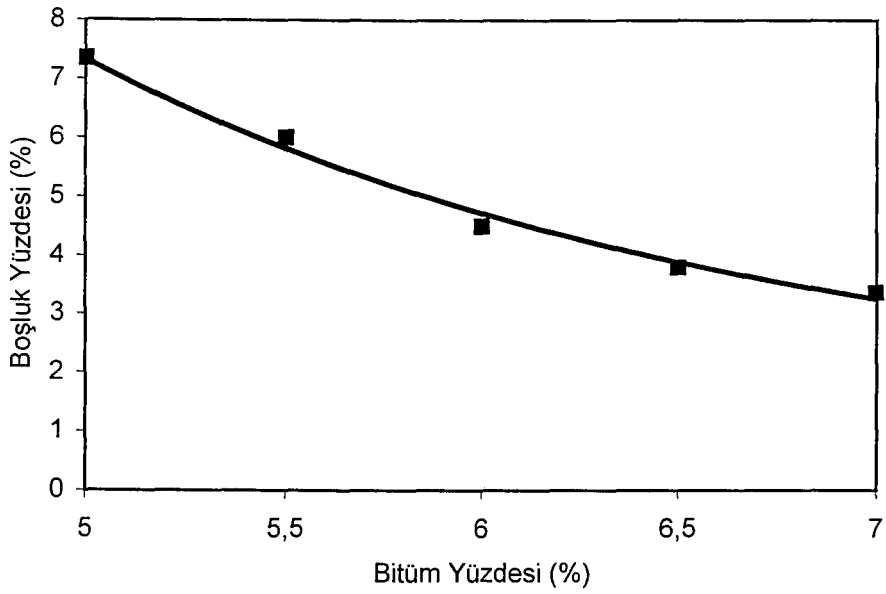
Özellikler	Sonuçlar	Aşınma Tabakası İçin Tasarım Kriterleri
Optimum bitüm muhtevası (%)	5,9	4.0 – 7.0
Hacim özgül ağırlık (gr/cm ³)	2,511	-
Boşluk (%)	4	3-5
Asfaltla dolu boşluk (%)	70	65-75
Akma (mm)	3	2-4
Marshall stabilitesi (kg)	1100	900



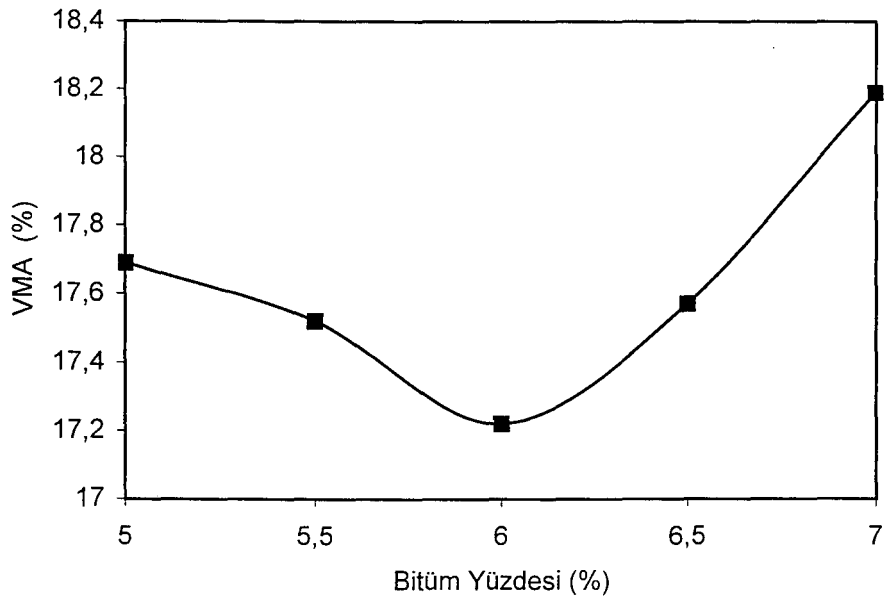
Şekil 7.2. Hacim Özgül Ağırlığın Bitüm Yüzdesi ile Değişimi



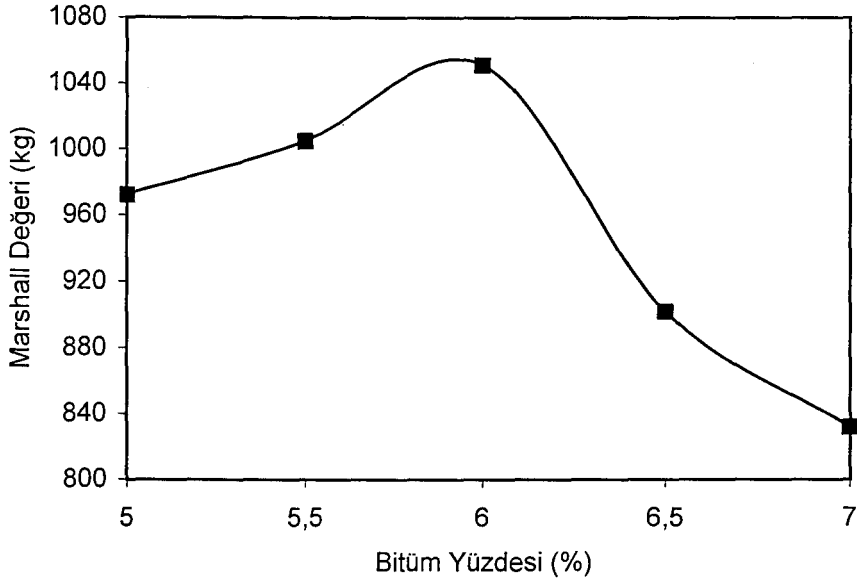
Şekil 7.3. Asfaltla Dolu Boşluğun Bitüm Yüzdesi ile Değişimi



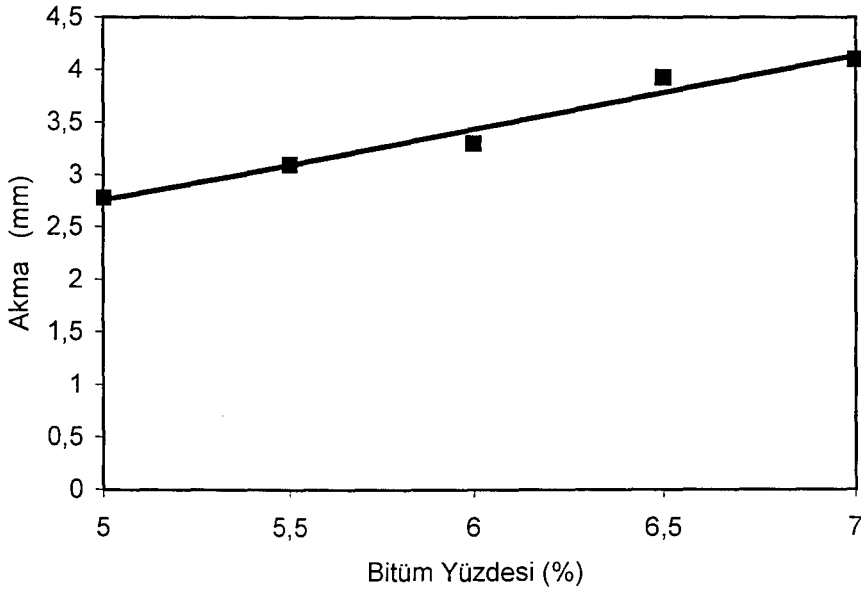
Şekil 7.4. Boşluğun Bitüm Yüzdesi ile Değişimi



Şekil 7.5. Agregalar Arası Boşluğun (VMA) Bitüm Yüzdesi ile Değişimi



Şekil 7.6. Marshall Stabilitesinin Bitüm Yüzdesi ile Değişimi



Şekil 7.7. Akmanın Bitüm Yüzdesi ile Değişimi

7.3. İlave malzemelerin Marshall Stabilitesine Etkisinin Araştırılması

Kül,kireç ve çimento, karışım gradasyonunda agregaya ağırlığının % 0,5, 1, 1,5, 2 oranında, filler % si olan 6,8 değeri değişmeyecek şekilde yer değiştirerek kullanılmıştır. Kireç, ıslak yöntemle kaba agregaya ilave edilip, ince agregaya ile birleştirilerek karışım hazırlanmıştır. Kül ve çimento ise kuru olarak karışıma ilave edilmiştir. Katkılı karışımlarda Marshall metoduyla optimum bitüm %5,9 olarak belirlenmiş ve tüm karışımlarda kullanılmıştır. Numuneler üzerinde Marshall Stabilite ve Akma deneyi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 7.4' de verilmiştir.

Çizelge 7.4. Katkı İlave Oranları ile Marshall Stabilite ve Akma Değerleri

Katkı Cinsi	Katkı Oranı (%)	Hacim Özgül Ağırlığı (gr/cm ³)	Asfaltla Dolu Boşluk (%)	Boşluk (%)	VMA (%)	Marshall Stabilite Değeri (kg)	Akma (mm)
KÜL	0,5	2,51	73,42	4,53	17,04	1169	3,93
	1,0	2,517	74,66	4,26	16,81	1111	3,98
	1,5	2,48	68,55	5,67	18,03	993	3,97
	2,0	2,475	67,8	5,86	18,2	1067	4,13
KİREÇ	0,5	2,509	73,29	4,56	17,07	960	3,38
	1,0	2,523	75,74	4,03	16,61	1192	4
	1,5	2,516	74,47	4,3	16,84	1070	3,63
	2,0	2,497	71,27	5,02	17,47	947	3,78
ÇİMENTO	0,5	2,512	73,78	4,45	16,97	1070	3,67
	1,0	2,522	75,54	4,07	16,64	1126	3,63
	1,5	2,517	74,66	4,26	16,81	1096	3,7
	2,0	2,507	72,93	4,64	17,14	1055	3,4

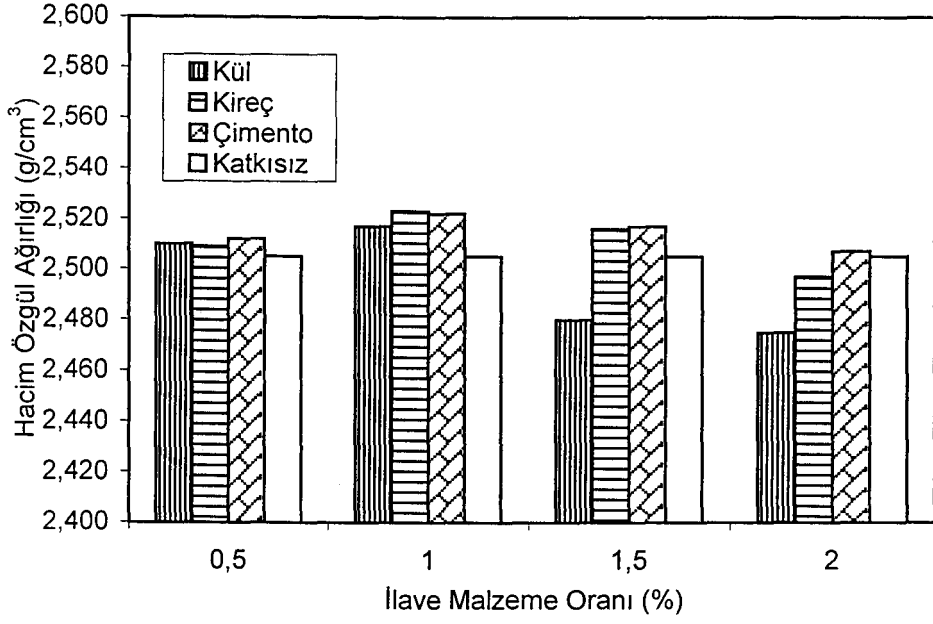
İlave katkıları Şekil 7.8, 7.9, 7.10, 7.11, 7.12, 7.13' de gösterilen grafiklere bakıldığında en iyi sonucu %1-1,5 oranları arasında verdiği görülmektedir. En iyi sonuç Marshall stabilitesi sonuçlarında, 1192 kg ile %1 kireç ilavesinde, 1111 kg ile %1 kül, 1126 kg ile %1 çimento ilavesinde alınmıştır. Bu durumda, Marshall Stabilite değeri katkısız numunelere göre uçucu kül içeren briketlerde %4 artmış, çimento içeren briketlerde %6 artmış, kireç içeren briketlerde ise %8 artmıştır.

Marshall stabilitesinde değerler şartname değerinden yüksek olup, katkı ilavesi ile iyileştiği görülmüş fakat önemli bir artış görülmemiştir.

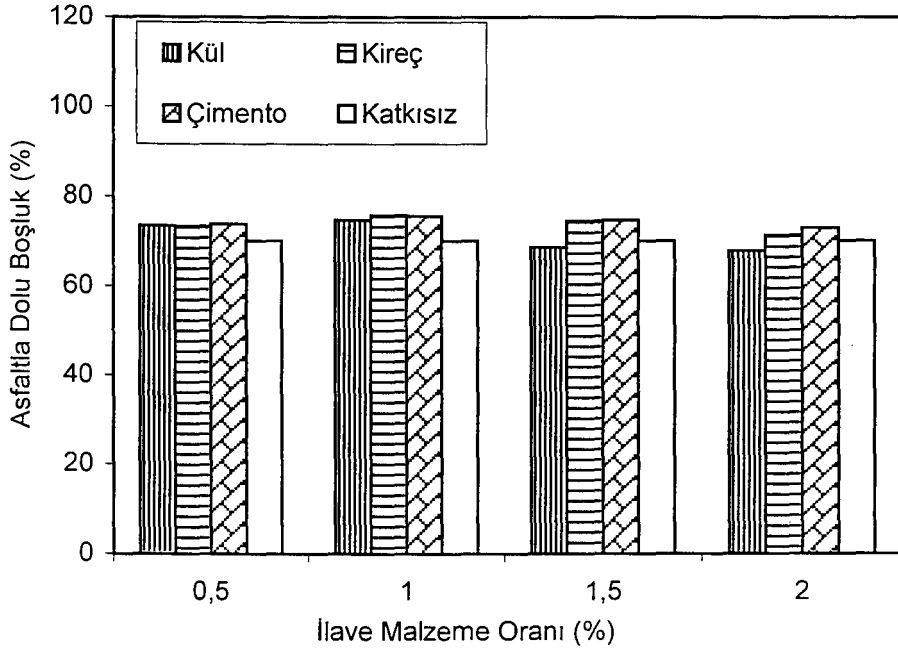
Kireç ve çimento ilavesinde %0.5-1 ilave oranında hacim özgül ağırlığı, Marshall stabilitesi, asfaltla dolu boşluk ve akma artarken, boşluk ve VMA azalmaktadır.

Kl ilavesinde %0.5-1 ilave oranında hacim özgül ağırlığı, asfaltla dolu boşluk artarken, boşluk ve VMA azalmaktadır. Marshall stabilitesi ve akma da önemli bir artış görülmemektedir.

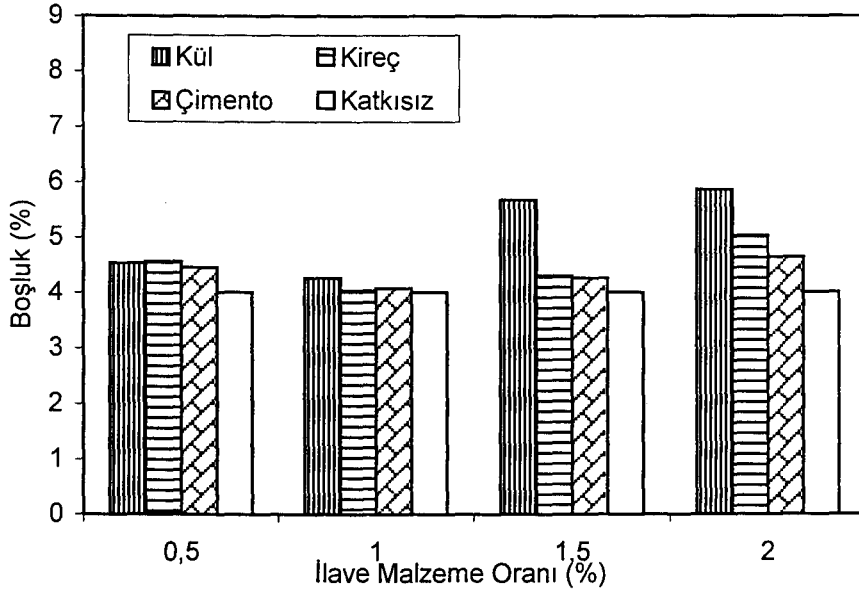
Katkı maddeleri katkısız karışıma göre akmayı artırmıştır. Fakat akma değerleri katkı oranının artışıyla değişmemektedir. En fazla artış kl içerikli numunelerde görülmektedir. Tüm numunelerde akma değerleri şartname limitleri içerisindedir.



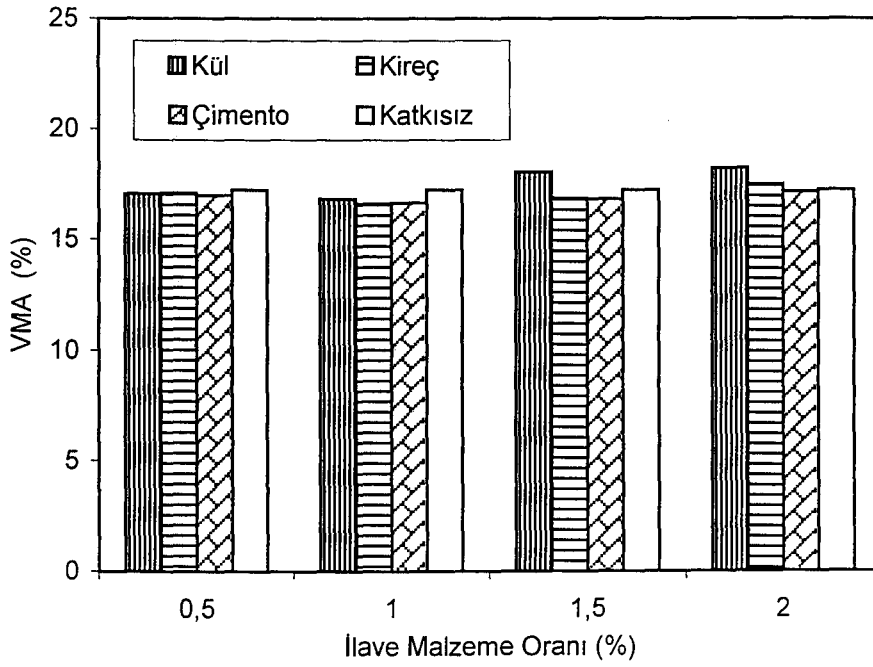
Şekil 7.8. İlave Malzemelerin Hacim Özgü Ağırlığına Etkisi



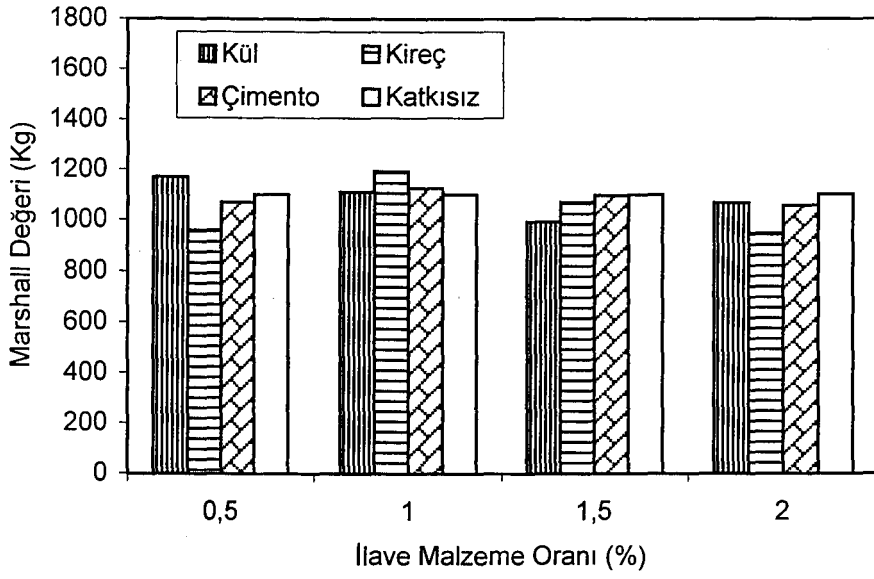
Şekil 7.9. İlave Malzemelerin Asfalt Dolu Boşluk Oranına Etkisi



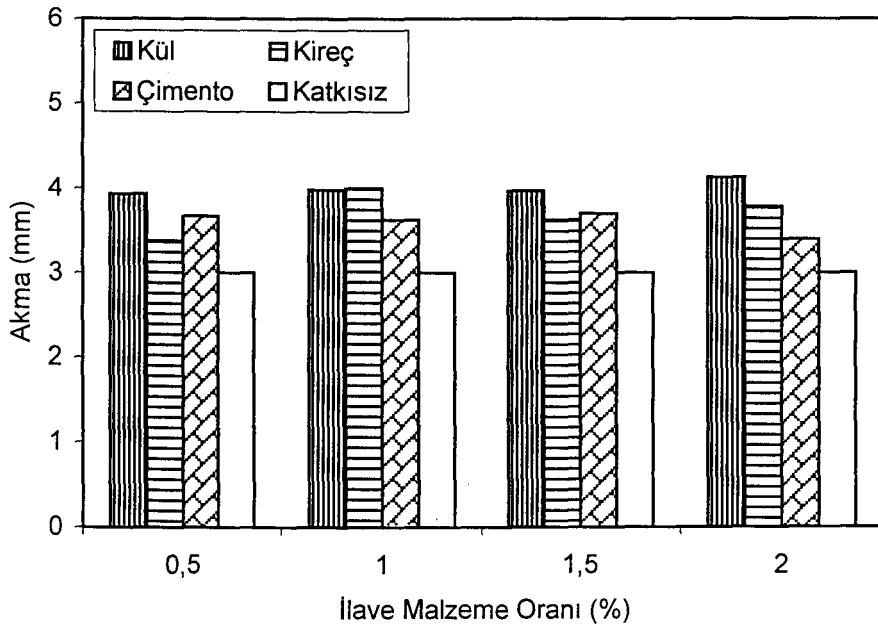
Şekil 7.10. İlave Malzemelerin Boşluk Yüzdesine Etkisi



Şekil 7.11. İlave Malzemelerin VMA'ya Etkisi



Şekil 7.12. İlave Malzemelerin Marshall Stabilitesine Etkisi



Şekil 7.13. İlave Malzemelerin Akmaya Etkisi

7.4. Dolaylı Çekme Mukavemeti Deneyine Etkisinin Araştırılması

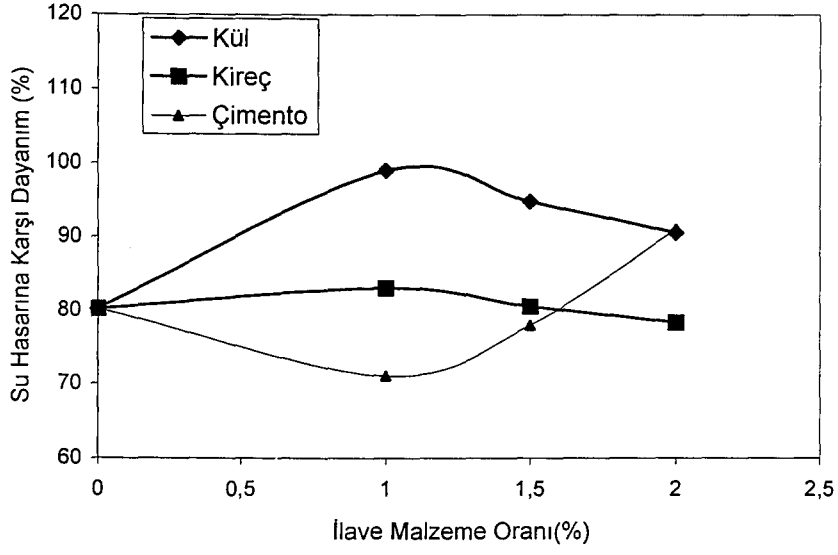
Bu çalışmada, Marshall deney sonuçları ele alındığında %0,5 ilave oranında diğer oranlardan farklı bir sonuç alınmamış, dolayısıyla bu oran kullanılmamıştır. Dolaylı çekme mukavemet deneyi için %1-2 aralığı dikkate alınarak katkılar %1, %1,5, %2 oranında ilave edilip karışıma etkisi araştırılmıştır. Deneyler %1 ilave oranında yapılmış ve sonuçları Çizelge 7.6' da verilmiştir.

Çizelge 7.6. Katkı Karışımlara Ait ile Dolaylı Çekme Mukavemeti Değerleri

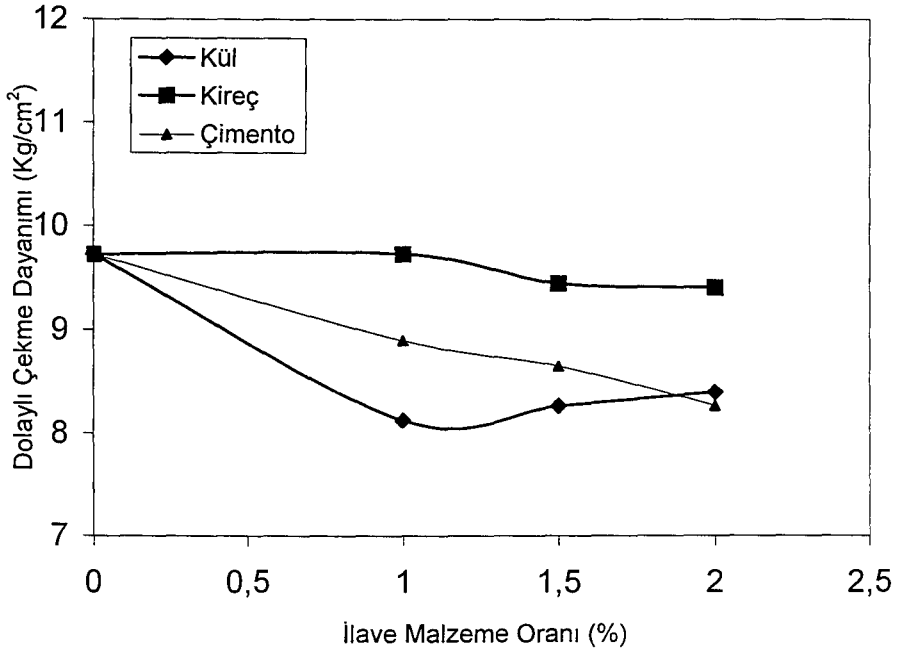
Katkı Cinsi	Katkı Oranı (%)	Hacim Özgül Ağırlığı (gr/cm ³)	Dolaylı Çekme Mukavemeti (kg/cm ²)
Katkısız	0	2,505	9,724
Kül	1,0	2,480	8,124
	1,5	2,474	8,262
	2,0	2,482	8,393
Kireç	1,0	2,504	9,728
	1,5	2,492	9,445
	2,0	2,476	9,405
Çimento	1,0	2,477	8,894
	1,5	2,473	8,645
	2,0	2,465	8,261

Şekil 7.14' de Dolaylı çekme dayanımında en iyi sonucu kireç ilaveli numuneler vermiştir. Çimento ilaveli numunelerde sürekli bir düşüş görülürken kül ilaveli numuneler en düşük değeri %1 oranında vermekte, ilave oranı arttıkça dayanım artmaktadır. Katkısız numunelere en yakın sonucu %1 kireç ilaveli numuneler vermektedir. Katkısız numunelere göre katkılı numunelerin dolaylı çekme dayanımı düşüktür.

Özellikle kireç ilavesinde beklenenin aksine katkısız numunelere göre dolaylı çekme mukavemeti değeri düşük çıkmıştır.



Şekil 7.14. Su Hasarına Karşı Dayanımın Katkı Malzemesi Oranları İle Değişimi



Şekil 7.15. Dolaylı Çekme Dayanımının Katkı Malzemesi Oranlarıyla Değişimi

7.5. Su Hasarına Karşı Dayanıma Etkisinin Araştırılması

Kül ve kireç ilaveli numunelerde %1 ilave oranında sırasıyla %99, %83 ile en iyi su hasarı değerleri elde edilmiştir. %1 değerinden sonra her iki katkı tipinde, su hasarı değerlerinde sırasıyla %8, %5 oranında bir düşüş görülmektedir. Şekil 7.15' de grafik ve Çizelge 7.7' de değerler verilmiştir.

Çimento ilaveli numuneler %1 oranında en düşük değerde olup, ilave oranı arttıkça numune dayanımı da artmaktadır. %2 oranında dayanım %91' e ulaşmaktadır. Bu sonuç, çimentonun ilave oranının artırılabilceğini göstermektedir. Bütün katkıların, etkilerinin karşılaştırılarak belirlenmesi için aynı oranlar kullanılmıştır.

Çimento ve kül ilaveli karışımlar, su ile karşılaştığında ilave edilen malzeme suyla reaksiyona girerek adheziv bağı kuvvetlendirdiği bundan dolayı da çizgisel yük altında daha fazla yüke dayanarak su hassasiyetini azalttığı görülmektedir.

Su hasarına karşı dayanımın % 70 olması istenmektedir. Deney sonuçlarına bakıldığında, katkısız numunelerin sonucu %80 dir. Katkıların hepsi tüm oranlarında bu koşulu sağlamıştır.

Çizelge 7.7. Katkı Karışımlara Ait Su Hasarı Değerleri

Katkı Cinsi	Katkı Oranı (%)	Hacim Özgül Ağırlığı (gr/cm ³)	Dolaylı Çekme Mukavemeti (kg/cm ²)	Koşullu Dolaylı Çekme Mukavemeti (kg/cm ²)	Su Hasarı (%)
Katkısız	0	2,505	9,724	7,800	80
Kül	1,0	2,480	8,124	8,042	99
	1,5	2,474	8,262	7,835	95
	2,0	2,482	8,393	7,597	91
Kireç	1,0	2,504	9,728	8,079	83
	1,5	2,492	9,445	7,610	81
	2,0	2,476	9,405	7,365	78
Çimento	1,0	2,477	8,894	6,322	71
	1,5	2,473	8,645	6,741	78
	2,0	2,465	8,261	7,517	91

8. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

- Nicholson Soyulma deneyi sonucunda ilave edilen katkılardan kireç, soyulmaya karşı dayanımda en iyi sonucu vermiştir. Kirecin agrega yüzeyine tutunarak adhezif bağ oluşturduğu görülmektedir.
- Katkılı karışımların marshall stabilite ve akma deneyi sonuçları şartname limitleri arasında kalmakta fakat karışıma etkinin belirlenmesinde Marshall stabilite ve akma deney sonuçları yeterli olmamaktadır.
- Marshall numunelerinde hacim özgül ağırlık artarken, Marshall stabilitesi de artmaktadır. Marshall stabilite deneyinde katkısız karışıma göre stabiliteyi %1 katkı oranında kireç ilavesinde %8, uçucu kül ilavesi %4, çimento ilavesi ise %6 artırarak iyileştirdiği görülmüştür.
- Katkılı numunelerin dolaylı çekme mukavemeti katkısız numunelere göre daha düşük değerler vermiştir. Kireç ilaveli karışımın değeri katkısız karışımın değeri civarında iken, kül ve çimento ilaveli karışımlar düşük değer vermiştir. Çimento ve kireç ilaveli numunelerde oran arttıkça dolaylı çekme değeri düşmektedir. Uçucu küllü numunelerde oran arttıkça çekme dayanımı da artmaktadır. Özellikle kireç ilavesinden beklenen sonuç alınamamıştır.
- Su hasarına karşı dayanımda %1 oranında uçucu kül ilaveli briketler % 99 değeri ile en yüksek dayanımı vermektedir. Kireç ilaveli numuneler %1 oranında %83 değerini verirken, çimento ilaveli numuneler %2 oranında %91 değerini vermiştir. Uçucu kül ve kireç ilavesinde iyi sonucu % 1 oranında , çimento ilavesinde ise %2 oranında elde edilmiştir.
- Kullanılan oranda çimento ilaveli karışımlarda su hasarı dayanımının ilave oranı arttıkça çimento ilavesinde karışımın su hasarı değerlerinin artış eğiliminde olması, bu katkının ilave oranının %2' den daha büyük olabileceğini göstermektedir.
- Su hasarına karşı çimento kullanımı düşünülürse ilave oranının yüksek olmasından dolayı maliyeti artıracaktır. Fakat uçucu külün bulunamayacağı bölgede, çevresel koşullarda dikkate alınarak kireç ile arasında bir seçim yapılabilir.

- Bu çalışmada en iyi sonuçların elde edildiği uçucu külün, atık bir malzemenin değerlendirilmesi açısından da düşünüldüğünde, asfalt kaplama karışımlarında kullanılması yerinde bir karar olacaktır.

KAYNAKLAR

1. ALI, N., CHAN, J.S., SIMMS, S., BUSHMAN, R. ve BERGAN A.T., *Mechanistic Evaluation of Fly Ash Asphalt Concrete Mixtures*, J. of Materials in Civil Engineering, ASCE, No.1, 19-25,(1996).
2. CROSS, A.S., ve FAGER, G.A., *Fly Ash in Cold Recycled Bituminous Pavement*, 73rd . Annu. Meeting, Transportation Research Board, Washington, D.C., (1994).
3. HENNING, N.E., *Evulation of Lignite Fly Ash as Mineral Filler and Antistrip Agent of Asphalt Concrete*. Report No. Item(2)-73, Twin City Testing and Engineering Laboratory, St. Paul, Minnesota, (1974).
4. MAZLUMDAR, M., ve RAO, S.K., *Effect of Fly Ash on Engineering Properties of Sand-Asphalt-Sulfur Paving Mixes*. In Transportation Research 1417, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 144-149, (1994).
5. ROSNER, J.G., CHEHOVITS, J.G. ve MORRIS, G.R., *Fly Ash as a Mineral Filler and Antistrip Agent for Asphalt Concrete*. Challenge of Change-6th Int. Ash Utilization Symp. Proc., U.S. Dept. of Energy, Morgantown, (1982).
6. SANKARAN, K.S.; ve RAO, D.R., *The Influnce of the quality of Filler in Asphaltic Paving Mixtures*. Indian Roads Congr., **35**, 141-151, (1973)
7. SUHEIBANI, A., *The use of Fly Ash as an Asphalt Extender*, PhD Thesis, Univ. of Michigan, University Microfilm International, Ann Arbor, Michigan, (1986).
8. TONS, E. , *Fly Ash As an Asphalt Reducer in Bituminous, Base Courses*. Rep. Prepared by the University of Michigan, The Board of Water and Light, Consumer Power co., and Detroit Edison Co., Michigan, (1986).
9. ZIMMER, F.V. , *Fly Ash as Bitüiminous Filler*. U.S. Department of Interio, Bureu of Mines, Washington, D.C., (1970).
10. ŞENGÖZ, B., TOPAL, A. ve TANYEL, S., *Kirecin Asfalt Kaplamalarda Kullanımı*. 3. Ulusal Asfalt Sempozyumu, Ankara, 82-89, (2000).

11. ÇELİK F. ve ORUÇ Ş. *Asfalt Emülsiyonlu Karışımlarda Kireç ve Çimento Kullanımının Soğuk Karışım Değişkenlerinden Opt. Su ve Bitüm muht. Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi*, 3. Ulusal Asfalt Sempozyumu ANKARA, 254-264, (2000).
12. ACAR, S.O. ve TAPKIN, S. *Portland Çimentosu Kullanılarak Hazırlanan Marshall Numunelerinin Özelliklerinin İncelenmesi*, Asfalt'98 2. Ulusal Asfalt Sempozyumu, Ankara, 95-104, (1998).
13. ÖNAL, M.A. ve KAHRAMANGİL, M., *Bitümlü Karışımlar Laboratuvar el Kitabı*. T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü, Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara, 1-200, (1993).
14. ÇETİN, A., *Endüstriyel Atıkların Asfalt Beton Kaplama Karışımında Değerlendirilmesi* Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir. Ağustos-1997.
15. ÇETİN A., TUNCAN A. VE TUNCAN M., *Uygulanan Asfalt Kaplamalara Genel Bakış*, 3. Kentsel Altyapı Ulusal Sempozyumu, Eskişehir, 193-199, (2000).
16. ÖNAL, M.A. ve KARACA, S., *Asfalt Betonu ve Diğer Sıcak Karışım Tipleri için Karışım Dizayn Metotları*. T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü, Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara, 1-107, (1990).
17. SCHEROCMAN, J.A. , MESCH, K.A. ve PROCTOR, J.J., *The Effect of Multiple Freeze-Thaw Cycle Conditioning on the Moisture Damage in Asphalt Concrete Mixtures*, Carstab Division of Morton Thiokol, Inc., Cincinnati, 55-86 p.213, (1980).