

**T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ENDÜSTRİYEL ATIKLARIN ESNEK YOL ÜSTYAPISINDA
KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Fatma Nur EKŞİOĞLU ÜSTÜNKOL

Balıkesir, Eylül – 2006

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

ENDÜSTRİYEL ATIKLARIN ESNEK YOL ÜSTYAPISINDA
KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Fatma Nur EKŞİOĞLU ÜSTÜNKOL

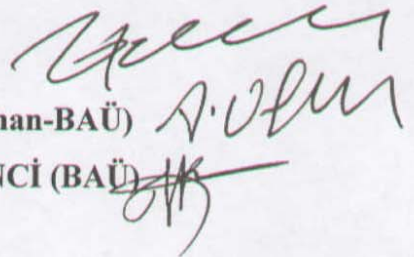
Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Ayşe TURABİ

Sınav Tarihi : 21.09.2006

Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Turgut ÖZDEMİR (BAÜ)

Yrd. Doç. Dr. Ayşe TURABİ (Danışman-BAÜ)

Yrd. Doç. Dr. Nurhayat DEĞİRMENCİ (BAÜ)



ÖZET

ENDÜSTRİYEL ATIKLARIN ESNEK YOL ÜSTYAPISINDA KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Fatma Nur EKŞİOĞLU ÜSTÜNKOL
Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

(Yüksek Lisans Tezi / Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Ayşe TURABİ)

Balıkesir, 2006

Atık olarak elde edilen çeşitli ürünlerin depolanması veya doğaya terk edilmesi çok büyük güçlükler yaratmakta, çevre kirliliği dahil topluma çok büyük sorunlar getirmektedir. Günümüzde, çeşitli ürünlerin üretimi sırasında elde edilen atıkların değerlendirilmesi üzerinde yoğun olarak çalışılmaktadır.

Bitümlü sıcak karışımlarda, sudan kaynaklanan bozulmalar önemli bir sorun olarak kabul edilmekte ve suyun verdiği zararların en aza indirilmesi amacıyla çalışmalar yapılmaktadır. Şüphesiz, sorunun aşılabilmesi için, suyun karışıma girmemesi sağlanmalıdır ancak bu çoğu kez mümkün olamamaktadır. Suyun, kaplamaya girişinin en aza indirilebilmesi ve girse bile etkisinin azaltılması için, yola serilecek karışımın, laboratuvar ortamında suya hassasiyetinin belirlenmesi amacıyla geliştirilmiş çeşitli deney yöntemleri bulunmaktadır.

Bu çalışmada mermer tozu, uçucu kül, fosfojips ve cam tozu gibi endüstriyel atıkların asfalt beton kaplama karışımlarında % 7 - % 0 arasında değişen değerlerde filler malzeme olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Optimum bağlayıcı oranının belirlenmesi için % 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5, 6.0 ve 6.5 oranlarında asfalt çimentosu kullanılarak Marshall stabilite numuneleri hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelere Marshall stabilite deneyi uygulanarak optimum bitüm yüzdesi belirlenmiştir. % 4.9 olarak bulunan optimum bitüm yüzdesi için % taş tozu - % endüstriyel atık filler değişen oranlarda kullanılarak hazırlanan numunelere Marshall stabilite deneyi uygulanmıştır. Endüstriyel atık filler kullanılan bitümlü karışımlarda Marshall stabilite ve akma değerlerinin değişimi araştırılmıştır. Suyun koheziona etkisini belirlemek amacıyla yapılan koşullandırılmış Marshall deneyinde % 0 taş tozu - % 7 endüstriyel atık filler kullanılarak stabilite ve akma değerleri açısından en elverişsiz durum incelenmeye çalışılmıştır. Deney sonuçlarına göre, kullanılan endüstriyel atık filler malzemelerin yüksek sıcaklıklarda ve değişen kür şartlarında, asfalt betonu kaplamalarda taş tozu filler yerine kullanılabileceği görülmektedir.

ANAHTAR SÖZCÜKLER : Filler / Mermer Tozu / Uçucu Kül / Fosfojips / Cam Tozu / Marshall Stabilite Deneyi

ABSTRACT

INVESTIGATION OF USAGE OF INDUSTRIAL WASTES IN FLEXIBLE PAVEMENT

Fatma Nur EKŞİOĞLU ÜSTÜNKOL
Balıkesir University, Institute of Science,
Department of Civil Engineering

(M. Sc. Thesis / Supervisor : Asist. Prof. Dr. Ayşe TURABI)

Balıkesir-Turkey, 2006

Some of the materials of waste which are produced or abandoned the nature, have created very important difficulties, including environment pollution in society. In recent years, it has been studied on the evaluation of wastes that are obtained in production of some materials.

Distress in Hot Mix Asphalt (HMA) originated with water effects are assumed as an important issue and the different Works are made to reduce the water deteriorations on HMA. Certainly, penetration of water to the mixture must be prevented, but it usually is not possible. There are different test methods made at laboratory to reduce minimum the penetration of water to the pavement, or even if penetrate, to reduce its effect and in order to estimate water susceptibility levels of HMA laying on the road surface.

In this study, the usage of the industrial waste materials such as marble dust, fly ash, phoshogypsum and glass dust with changeable ratio of 7 % - 0 %, were investigated as filler material. Marshall stability samples were prepared to determine ratio of optimum bitumen, for the use the asphalt cement with ratio of 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5, 6.0 and 6.5 %. Marshall stability test is applied on prepared materials to determine the optimum percentage of bitumen. Marshall stability test was applied on prepared samples which are used with changeable ration of stone dust % - industrial waste % filler. Marshall stability and yield worths of changing were investigated in bitumen mixture which were used industrial waste. The usage of stone dust 0 % - industrial waste 7 % filler which was prepared to determine the water cohesion effect in conditional Marshall test, the most unsuitable case were investigated for stability and yield worths. According to the test results, it has been seen that the use of industrial waste filler materials could be used instead of stone dust filler in asphalt concrete mixtures with the high heat and changing cure conditions.

KEY WORDS : Filler / Marble Dust / Fly Ash / Phoshogypsum / Glass Dust / Marshall Stability Test

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET, ANAHTAR SÖZCÜKLER	ii
ABSTRACT, KEY WORDS	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SEMBOL LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	x
ÖNSÖZ	xi
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI	4
3. YOL ÜSTYAPILARI	8
3.1 Altyapı	8
3.2 Üstyapı	9
3.2.1 Üstyapı Tipleri	9
3.2.1.1 Rijit Üstyapı	9
3.2.1.2 Yarı Rijit Üstyapı	10
3.2.1.3 Esnek Üstyapı	10
3.2.1.3.1 Esnek Üstyapı Tabakaları	10
3.3 Bitümlü Sıcak Karışımların Fizik ve Mekanik Özellikleri	13
3.3.1 Bitümlü Sıcak Karışımlardan Beklenen Fizik ve Mekanik Özellikler	13
3.3.2 Bitümlü Sıcak Karışımların Fizik ve Mekanik Özellikleri Üzerinde Fizik Bileşenlerinin ve Yapımın Etkisi	20
3.3.2.1 Asfalt Çimentosunun Tipi	21
3.3.2.2 Asfalt Çimentosunun Oranı	22
3.3.2.3 Agreganın Etkisi	23
3.4 Esnek Kaplamalarda Sudan Kaynaklanan Bozulmalar	25
3.5 Esnek Kaplamalarda Oluşan Kusurlar	29
3.5.1 Deformasyonlar	29
3.5.2 Çatlamlar	34
3.5.3 Ayrışmalar	38

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	41
4.1 Marshall Stabilite Deneyi	41
4.2 Sıkıştırılmış Kaplama Karışımın Hazırlanma Aşamaları	42
4.2.1 Hesaplamalar İçin Gerekli Kavramlar ve Formüller	42
4.2.1.1 Agregada Hacim Özgöl Ağırlığı ve Zahiri Özgöl Ağırlığı	42
4.2.1.2 Agregada Efektif Özgöl Ağırlığı	43
4.2.1.3 Farklı Bitüm Miktarlarında Karışımın Maksimum Özgöl Ağırlığı	43
4.2.1.4 Bitüm Absorpsiyonu	44
4.2.1.5 Kaplama Karışımının Efektif Bitüm Yüzdesi	44
4.2.1.6 Sıkıştırılmış Kaplama Karışımındaki VMA Yüzdesi	44
4.2.1.7 Sıkıştırılmış Karışımındaki Hava Boşluğu ve Asfaltla Dolu Boşluk Yüzdesinin Hesaplanması	45
4.3 Optimum Bitüm Yüzdesinin Belirlenmesi	45
4.4 Suyun Sıkıştırılmış Bitümlü Karışımların Kohezyonuna Etkisi (Koşullandırılmış Marshall Deneyi)	46
4.5 Kullanılan Malzeme Özellikleri	46
4.5.1 Filler Malzemenin Önemi	46
4.5.2 Mineral Agregada	47
4.5.3 Asfalt Çimentosu (Bağlayıcı, Bitüm)	48
4.5.4 Filler Malzemesi Olarak İlave Edilen Endüstriyel Atıklar	50
4.5.4.1 Mermer Tozu	50
4.5.4.2 Uçucu Kül	51
4.5.4.3 Fosfojips	52
4.5.4.4 Cam Tozu	53
4.6 Laboratuvar Çalışmaları	55
4.6.1 Optimum Bitüm Bağlayıcı Oranının Belirlenmesi	55
4.6.2 Endüstriyel Atık Fillerin Taş Tozu Filler Yerine Kullanılabilirliği	59
4.6.2.1 Endüstriyel Atık Malzemeler Kullanılarak Yapılan Marshall Stabilite Deney Sonuçları	62
4.6.2.1.1 Mermer Tozu Marshall Stabilite Deney Sonuçları	62
4.6.2.1.2 Uçucu Kül Marshall Stabilite Deney Sonuçları	64
4.6.2.1.3 Fosfojips Marshall Stabilite Deney Sonuçları	66
4.6.2.1.4 Cam Tozu Marshall Stabilite Deney Sonuçları	67
4.6.3 Koşullandırılmış Marshall Stabilite Deneyi	73
4.6.3.1 Grup A1 Numuneleri Koşullandırılmış Marshall Stabilite Deney Sonuçları	75
4.6.3.2 Grup A2 Numuneleri Koşullandırılmış Marshall Stabilite Deney Sonuçları	76
4.6.3.3 Grup B1 Numuneleri Koşullandırılmış Marshall Stabilite Deney Sonuçları	78
4.6.3.4 Grup B2 Numuneleri Koşullandırılmış Marshall Stabilite Deney Sonuçları	79
4.6.3.5 Koşullandırılmış Numunelerin Marshall Stabilite Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	81
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	89

EK A. Marshall Stabilite Deney Sonuçları Formları	93
Form A.1	94
Form A.2	95
Form A.3	96
Form A.4	97
Form A.5	98
Form A.6	99
Form A.7	100
Form A.8	101
Form A.9	102
KAYNAKLAR	103

SEMBOL LİSTESİ

<u>Simge</u>	<u>Adı</u>	<u>Tanımı/Değeri</u>	<u>Birimi</u>
t	Yükleme Süresi		
T	Isı		
σ	Gerilme		
ε	Deformasyon		
$S_{(t,T)}$	Rijitlik Modülü	$S_{(t,T)} = \sigma / \varepsilon$	
% K, % İ, % F	Agregaların ağırlıkça yüzdeleri		
G_{kb}, G_{ib}	Agregaların hacim özgül ağırlıkları		
G_{ka}, G_{ia}, G_{fa}	Agregaların zahiri özgül ağırlıkları		
G_{sb}	Agrega karışımının hacim özgül ağırlığı	$G_{sb} = \frac{\%K + \%İ + \%F}{\frac{\%K}{G_{kb}} + \frac{\%İ}{G_{ib}} + \frac{\%F}{G_{fa}}}$	
G_{sa}	Agrega karışımının zahiri özgül ağırlığı	$G_{sa} = \frac{\%K + \%İ + \%F}{\frac{\%K}{G_{ka}} + \frac{\%İ}{G_{ia}} + \frac{\%F}{G_{fa}}}$	
G_{ef}	Agrega efektif özgül ağırlığı	$G_{ef} = \frac{100}{100 + W_a - \frac{W_a}{G_b}}$	
W_a	Agreganın yüzdesi olarak bitüm		
D_T	Gevşek kaplama karışımının boşluksuz maksimum özgül ağırlığı	$D_T = \frac{100 + W_a}{\frac{100}{G_{ef}} + \frac{W_a}{G_b}}$	
G_b	Bitüm özgül ağırlığı		
P_{ba}	Absorbe edilen bitüm, agreganın ağırlıkça yüzdesi olarak	$P_{ba} = 100 \times \frac{G_{ef} - G_{sb}}{G_{sb} \times G_{ef}} \times G_b$	
P_{be}	Agreganın ağırlıkça yüzdesi olarak efektif bitüm miktarı	$P_{be} = W_a - P_{ba}$	
D_p	Sıkıştırılmış karışımın hacim özgül ağırlığı		
VMA	Agregalar arası boşluk yüzdesi	$VMA = 100 - \frac{D_p}{G_{sb}} \times \frac{100}{100 + W_a} \times 100$	
V_h	Toplam hacmin yüzdesi olarak sıkıştırılmış karışımdaki hava boşluğu	$V_h = \frac{D_T - D_p}{D_T} \times 100$	
V_f	Asfaltla dolu boşluk	$V_f = \frac{VMA - V_h}{VMA} \times 100$	

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil Numarası	Adı	Sayfa
Şekil 3.1	Normal Enine Eğimli Otoyol Kesiti	12
Şekil 4.1	Marshall Stabilitesinin Bitüm Yüzdesi ile Değişimi	55
Şekil 4.2	Pratik Özgül Ağırlığın Bitüm Yüzdesi ile Değişimi	56
Şekil 4.3	Asfaltla Dolu Boşluğun Bitüm Yüzdesi ile Değişimi	56
Şekil 4.4	Boşluğun Bitüm Yüzdesi ile Değişimi	56
Şekil 4.5	Akmanın Bitüm Yüzdesi ile Değişimi	57
Şekil 4.6	Agregalar Arası Boşluğun (VMA) Bitüm Yüzdesi ile Değişimi	57
Şekil 4.7	Hacim Özgül Ağırlığın Belirlenmesi için Gerekli Aletler	61
Şekil 4.8	Marshall Numune Sıkıştırıcısı	61
Şekil 4.9	Su Banyosu ve Marshall Deney Aleti	62
Şekil 4.10	Boşluğun Mermer Tozu Filler Oranı ile Değişimi	63
Şekil 4.11	Marshall Stabilitesinin Mermer Tozu Filler Oranı Yüzdesi ile Değişimi	63
Şekil 4.12	Akmanın Mermer Tozu Filler Oranı Yüzdesi ile Değişimi	64
Şekil 4.13	Boşluğun Uçucu Kül Filler Oranı Yüzdesi ile Değişimi	64
Şekil 4.14	Marshall Stabilitesinin Uçucu Kül Filler Oranı Yüzdesi ile Değişimi	65
Şekil 4.15	Akmanın Uçucu Kül Filler Oranı Yüzdesi ile Değişimi	65
Şekil 4.16	Boşluğun Fosfojips Filler Oranı Yüzdesi ile Değişimi	66
Şekil 4.17	Marshall Stabilitesinin Fosfojips Filler Oranı Yüzdesi ile Değişimi	66
Şekil 4.18	Akmanın Fosfojips Filler Oranı Yüzdesi ile Değişimi	67
Şekil 4.19	Boşluğun Cam Tozu Filler Oranı Yüzdesi ile Değişimi	68
Şekil 4.20	Marshall Stabilitesinin Cam Tozu Filler Oranı Yüzdesi ile Değişimi	68
Şekil 4.21	Akmanın Cam Tozu Filler Oranı Yüzdesi ile Değişimi	69
Şekil 4.22	Endüstriyel Atık Filler Katkılı Karışımlarda Boşluk Değerleri	72
Şekil 4.23	Endüstriyel Atık Filler Katkılı Karışımlarda Marshall Stabilite Değerleri	72
Şekil 4.24	Endüstriyel Atık Filler Katkılı Karışımlarda Akma Değerleri	73
Şekil 4.25	Kür Şartları ve Marshall Stabilite Deney Şeması	74
Şekil 4.26	Endüstriyel Atık Filler Katkılı Karışımlarda Grup A1 Numuneleri Marshall Stabilite Değerleri	75
Şekil 4.27	Endüstriyel Atık Filler Katkılı Karışımlarda Grup A1 Numuneleri Akma Değerleri	76
Şekil 4.28	Endüstriyel Atık Filler Katkılı Karışımlarda Grup A2 Numuneleri Marshall Stabilite Değerleri	77

Şekil 4.29	Endüstriyel Atık Filler Katkılı Karışımlarda Grup A2 Numuneleri Akma Değerleri	77
Şekil 4.30	Endüstriyel Atık Filler Katkılı Karışımlarda Grup B1 Numuneleri Marshall Stabilite Değerleri	78
Şekil 4.31	Endüstriyel Atık Filler Katkılı Karışımlarda Grup B1 Numuneleri Akma Değerleri	79
Şekil 4.32	Endüstriyel Atık Filler Katkılı Karışımlarda Grup B2 Numuneleri Marshall Stabilite Değerleri	80
Şekil 4.33	Endüstriyel Atık Filler Katkılı Karışımlarda Grup B2 Numuneleri Akma Değerleri	80
Şekil 4.34	Grup A1 ve A2 Numunelerinin Stabilite Değerlerindeki Değişim	81
Şekil 4.35	Grup A1 ve A2 Numunelerinin Akma Değerlerindeki Değişim	81
Şekil 4.36	Grup B1 ve B2 Numunelerinin Stabilite Değerlerindeki Değişim	82
Şekil 4.37	Grup B1 ve B2 Numunelerinin Akma Değerlerindeki Değişim	82
Şekil 4.38	Grup A1 ve B1 Numunelerinin Stabilite Değerlerindeki Değişim	83
Şekil 4.39	Grup A1 ve B1 Numunelerinin Akma Değerlerindeki Değişim	84
Şekil 4.40	Grup A2 ve B2 Numunelerinin Stabilite Değerlerindeki Değişim	84
Şekil 4.41	Grup A2 ve B2 Numunelerinin Akma Değerlerindeki Değişim	85
Şekil 4.42	Grup A1-A2-B1-B2 Numunelerin Stabilite Değerlerindeki Değişim	87
Şekil 4.43	Grup A1-A2-B1-B2 Numunelerin Akma Değerlerindeki Değişim	87

ÇİZELGE LİSTESİ

<u>Çizelge Numarası</u>	<u>Adı</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1	Düşük Stabilitenin Sebepleri ve Sonuçları	15
Çizelge 3.2	Düşük Stabilitenin Sebepleri ve Sonuçları	16
Çizelge 3.3	Karışımın Çok Geçirgen Olmasının Sebepleri ve Sonuçları	17
Çizelge 3.4	Düşük İşlenebilirliğin Sebepleri ve Sonuçları	18
Çizelge 3.5	Düşük Yorulma Direncinin Sebepleri ve Sonuçları	19
Çizelge 4.1	Agrega Gradasyon Değerleri	47
Çizelge 4.2	Agrega, Filler Malzeme ve Bitümün Fiziksel Özellikleri	48
Çizelge 4.3	Kullanılan, 50/70 Penetrasyon Asfalt Çimentosunun Bazı Fiziksel Özellikleri	49
Çizelge 4.4	Mermerlerin Fiziksel, Mekanik ve Teknolojik Özellikleri	50
Çizelge 4.5	Mermerlerin Kimyasal Analizleri	51
Çizelge 4.6	Uçucu Külün Kimyasal Özellikleri	52
Çizelge 4.7	Fosfojipsin Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri	53
Çizelge 4.8	Cama Ait Bazı Standart Parametreler	54
Çizelge 4.9	Camın Kimyasal Kompozisyon Aralık Değerleri	54
Çizelge 4.10	Dizayn Kriterleri	59
Çizelge 4.11	Taş Tozu - Endüstriyel Atık Malzeme Miktarı Filler Yüzde Değerleri	60
Çizelge 4.12	Değişen Filler Oranlarına Göre Endüstriyel Atık Maddelerin Marshall Stabilite Sonuç Değerleri	70
Çizelge 4.13	Koşullandırılmış Marshall Stabilite Deney Sonuçları	86

ÖNSÖZ

Bu çalışmada endüstriyel atık maddelerin; mermer tozu, uçucu kül, fosfojips ve cam tozu gibi, yol üstyapı inşaatında filler malzeme olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Bu konuda çalışma olanağını bana sağlayan, çalışmayı yöneten ve her konuda desteğini esirgemeyen sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Ayşe TURABİ 'ye, deneysel çalışmalarında bana yardımcı olan Balıkesir Üniversitesi Müh. Mim. Fakültesinde Ulaştırma Laboratuvarı teknisyeni Ali ÖZEN 'e, beni daima destekledikleri ve her zaman yanımda oldukları için aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Bu çalışmanın ilerki çalışmalara faydalı olması dileğiyle...

Balıkesir, 2006

Fatma Nur EKŞİOĞLU ÜSTÜNKOL

1. GİRİŞ

Atık olarak elde edilen çeşitli ürünlerin depolanması veya doğaya terk edilmesi çok büyük güçlükler yaratmakta, çevre kirliliği dahil topluma çok büyük sorunlar getirmektedir. Günümüzde, çeşitli ürünlerin üretimi sırasında elde edilen yan ürün veya atıkların değerlendirilmesi üzerinde yoğun olarak çalışılmaktadır. Yüksek performanslı karışımların elde edilmesinde farklı uygulamalar görülmektedir. Çeşitli katkıların kullanımı, üst performans değerinde malzeme seçimi, yüksek kalite kontrolü, farklı tasarım yöntemleri, güncel test teknikleri bu uygulamalar arasında yer almaktadır. Yollarda kullanılan yüksek performanslı bitümlü sıcak karışım üretiminde uygulanan yöntemlerden birisi endüstriyel atık maddelerin bir katkı olarak kullanımınıdır. Atık malzemelerinin değerlendirilmesi ile hem atıkların oluşturacağı çevre kirliliği önlenmekte, hem de bu atıklar kullanılarak yolların bazı özellikleri iyileştirilmektedir. Ayrıca, atıkların değerlendirilmesiyle ülke ekonomisine de katkıda bulunmaktadır.

Ülkemizde de evsel ve endüstriyel üretim işlemlerinden dolayı büyük miktarlarda atık malzeme birikimi gerçekleşmektedir. Kaynakların kısıtlı olması nedeniyle, üretim maliyetini azaltmak ve sürdürülebilir yaşam amacına yönelik olarak atık maddelerin geri kullanımı için atık maddelerin çeşitli alanlarda tekrar kullanımı çalışmaları hız kazanmıştır.

Türkiye 'de son yıllarda yol yapım maliyeti yükselmiştir. Atık maddelerin üretimine katıldıkları asfalt betonlarının performans özelliklerine katkı sağlamaları, araştırmacıları bu atık maddelerin yeniden kazanımı konusundaki çalışmalara yönlendirmiştir.

Asfalt betonunda genellikle taş tozu filler malzemesi olarak kullanılmaktadır. Ancak özellikle çevre korumanın öneminin anlaşılması ile bazı taş ocakları

kapatılmak zorunda kalmıştır. Bu nedenle belediyeler ve Karayolları filler malzemesi bulmakta zorluk çekmektedir. Bu bağlamda atıkların değerlendirilmesinde fayda görülmektedir.

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

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

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

Taiwan 'da yaklaşık 5 milyon ton atık madde üretilmekte olup, bunun % 10 'luk kısmını cam malzemeleri oluşturmaktadır. Bureau Karayolu Teşkilatı cam atık maddelerinin tekrar kullanımı konusunda araştırma programları düzenlemiştir [4]. Artan cam atıklarının depolama alanları probleminin en uygun çözümü olarak camın geri dönüşümünde fayda görülmektedir.

Bu çalışmada, farklı özelliklere sahip endüstriyel atıkların (mermer tozu, uçucu kül, fosfojips ve cam tozu) asfalt betonu aşınma tabakasındaki fiziksel ve mekanik etkileri araştırılmıştır. Optimum bitüm bağlayıcı oranının belirlenmesinden sonra laboratuvar çalışmaları iki aşamada yapılmıştır. 1. Aşama; endüstriyel atık

fillerin taş tozu filler yerine kullanılabilirliğinin araştırılmasıdır. 2. Aşama; filler olarak kullanılacak endüstriyel atıklarında suyun etkisiyle oluşan kohezyon kaybının araştırıldığı koşullandırılmış Marshall deneyidir.

Değişen bitüm oranları kullanılarak hazırlanan numunelere Marshall metodu uygulanmıştır. Deneyler sonucunda optimum bitüm muhtevası % 4.9 olarak belirlenmiştir.

1. Aşama deneylerinde, sabit bitüm miktarı ve farklı taş tozu ve endüstriyel atık filler (mermer tozu, uçucu kül, fosfojips ve cam tozu) oranları ile hazırlanan bitümlü karışımlara Marshall stabilite deneyi yapılmış, boşluk, stabilite ve akma değerlerinin değişimi incelenmiştir.

2. Aşama deneylerinde, % 0 taş tozu - % 7 endüstriyel atık filler kullanılarak hazırlanan yeni ve yaşlandırılmış numunelere suyun sıkıştırılmış bitümlü karışımların kohezyonuna etkisinin belirlenmesi amacıyla kür şartları uygulanmıştır. Numuneler, oda sıcaklığında su banyosunda 4 saat 25 ± 1 °C 'lik ve 24 saat 60 ± 1 °C 'lik su banyosunda bekledikten sonra 2 saat süreyle 25 ± 1 °C 'lik banyosunda bekletilerek kür edilmiştir. Endüstriyel atık maddelerin suyun sıkıştırılmış bitümlü karışımların kohezyonuna etkisinin belirlenmesi amacıyla koşullandırılmış Marshall deneyi yapılmış, stabilite ve akma değerlerinin değişimi incelenmiştir.

2. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI

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

Amerika 'da her yıl 240 milyonun üzerinde araba lastiği, 45 milyonun üzerinde kamyon lastiği birikmekte ve her yılda 188 milyon atık lastik stok edilmektedir. Çevre Koruma Ajansı (EPA) tarafından kurulan stok alanları yetersiz kalmaktadır. Atık birikimini önlemek için alternatif çareler düşünülmüş ve araba lastiklerinin yol dolgularında, kaplama alt malzemesi olarak, dalgakıranlar, istinad duvarları ve çarpma bariyerlerinde hafif agrega olarak ve sıcak karışım asfalt kaplamalarında modifiye malzeme olarak kullanılabilmesi ortaya çıkmıştır. Avrupa genelinde katı atıkların % 5 ile % 9 'unu plastik atıklar oluşturmaktadır. Kullanım sonrası plastik atıklar tüm plastik atıkların % 92 'sini oluşturmaktadır. Bu kullanım sonrasında atıkların % 8 'i geri dönüşümde kullanılmakta ve % 17 'si kontrollü olarak yakılmaktadır. Kömürle çalışan termik santrallerde, kömürün yanması sonucu atık olarak ortaya çıkan kül zemin stabilizasyonunda, tuğla ve çimento imali gibi bir çok alanda kullanılmaktadır. Amerika 'da termik santrallerden yılda 82 milyon ton, Kanada' da yılda 4 milyon ton kül ortaya çıkmaktadır. Ülkemizde son yıllarda hız kazanan petrol arama çalışmaları sırasında ortaya çıkan petrolü sondaj atıkları çevre kirliliği oluşturmaktadır. Bu atık malzemenin yerinde stabilizasyonu ve yol yapımında stabilize malzeme olarak kullanılması alanında çalışmalar yapılmaktadır [2].

Taiwan 'da yaklaşık 5 milyon ton atık madde üretilmekte olup, bunun % 10 'luk kısmını cam malzemeleri oluşturmaktadır. Bureau Karayolu Teşkilatı cam atık maddelerinin tekrar kullanımı konusunda araştırma programları düzenlemiştir [4].

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

B. Şengöz ve A. Topal (2002), shingle atığının esnek yol üst kaplamalarında filler malzemesi olarak kullanılmasını araştırmışlardır. Sabit bitüm içeriği ile hazırlanan karışımlara belirli oranlarda (% 1, % 2, % 3, % 4 ve % 5) shingle ekleyerek Marshall stabilite deneyi uygulamışlardır. Ayrıca, en iyi stabilite değeri veren karışımda, bağlayıcı yüzdesini % 0.5 ve % 1 azaltarak stabilite ve ekonomi yönünden değerlendirme yapmışlardır. Deneysel çalışmalar sonucunda, shingle atıklarının sıcak karışımlarda katkı olarak kullanılabileceği ve karışımın stabilite değerlerini artırdıkları belirlenmiştir [5].

Tuncan ve arkadaşları (1998), endüstriyel atıkların ve otomobil lastik atıkların sıcak karışım asfalt kaplaması üzerindeki fiziksel ve mekanik etkileri araştırılmıştır. Çalışma iki aşamada gerçekleşmiştir. Birinci bölümde, otomobil lastik atıkları ve polietilen esaslı plastik atıklar, bitüm miktarının % 5, % 10 ve % 20 'si oranında ilave edilerek kullanılmış, ikinci bölümde ise, endüstriyel atıklar olan uçucu kül, petrolü sondaj atığı, lastik tozları, mermer tozu, çimento ve kireç filler olarak kullanılmıştır. Hazırlanmış olan karışımlar üzerinde Marshall stabilite, indirek çekme dayanımı, serbest basınç dayanımı ve su hasarı deneyleri yapılmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda, kullanılan atık malzemelerin asfalt betonunda katkı malzemesi olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır [2].

Nan Su ve J. S. Chen (2002), cam atığını belirli oranlarda (% 0, % 5, % 10 ve % 15) kullanarak Marshall stabilite deneyleri uygulayarak, ASTM ve AASHTO standartlarına uygun olarak kuru/ yaş nem hasarı, kayma direnci, ışığı yansıtma, su geçirgenliği ve sıkıştırma sonuçlarına bakılmıştır. Deneysel çalışmaların sonucunda,

cam atığının asfalt betonunda katkı malzemesi olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır [4].

A. Yılmaz (2002), cüruf ve baca tozlarının esnek yol kaplamalarında taş tozu gibi doğal filler malzemeler yerine alternatif kullanım imkanının olup olmadığını araştırmıştır. Marshall stabilite tasarımı yöntemine göre hazırlanan numuneler üzerinde stabilite ve akma deneyleri yapmıştır. Deneyler sonucunda da cüruf ve baca tozlarının yol üstü yapısında yapay agrega olarak değerlendirilebileceği sonucuna varılmıştır [6].

Deniz ve arkadaşları (2005), kullanılmış otomobil lastiklerinin bitümlü sıcak karışımların performansı üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Lastik parçalarını farklı oranlarda (% 1, % 2, % 5 ve % 7) bitümlü sıcak karışıma katarak, farklı sıcaklıklarda dolaylı çekme, statik sünme, tekrarlı sünme ve Marshall stabilite deneylerine tabi tutmuşlardır. Deneysel çalışmalar sonucunda otomobil lastiklerinin belirli oranlarda bitümlü karışımlara katılması halinde, soğuk iklimlerin hakim olduğu bölgelerde kalıcı deformasyonlara karşı olumlu etki yapacağı görülmüştür [7].

Turabi ve arkadaşları (2002), fosforik asit gübre fabrikası atığı fosfojipsin, yol ve stabilizasyonunda kullanımını araştırmışlardır. İki farklı zemin örneğinde, % 0, 5, 10, 15 fosfojips katkı oranlarında, proctor değerlerinin ve plastisite indislerinin değişimini incelemişlerdir. Deney sonuçlarına göre, fosfojips katkısıyla zemin örneklerinin kuru birim ağırlıklarında artış, optimum su içeriklerinde ve plastisite indislerinde azalma görülmüştür [3].

Puzinauskas (1983), filler-asfalt karışımının özellikleri, yol karışımlarının davranışı ve özellikleri üzerine mineral fillerlerin etkilerini araştırmıştır. Bu amaçla dört farklı mineral filler (kireçtaşı tozu, kaolin kili, fuller toprağı ve kısa-lif asbest) kullanmıştır. Bitüm malzemesini sabit tutmuş, üç ayrı agrega (kum, volkanik kaya ve kireçtaşı), kullanmıştır. Dört farklı mineral fillerin etkilerinin değerinin ölçülmesi için yaygın olarak kullanılan Marshall karışım tasarımı, asfalt yol karışımının fiziksel özelliklerinin belirlenmesinde kullanılmıştır [8].

Ali ve arkadaşları (1996), kül ilave edilen asfalt karışımların mekanik özelliklerini incelemiştir. Bu çalışmada, % 5 'lik bağlayıcı yüzdesinde 4 farklı kül içeriğine sahip karışımlar değerlendirilmiştir. Bu karışımlar üzerinde yapılan elastisite modülü, sünme, kalıcı deformasyon ve yorulma gibi mekanik özellikler 0, 20 ve 40 °C 'de olmak üzere üç sıcaklıkta belirlenmiştir. Soyulma potansiyelinin belirlenmesi için yorulma etkileri test edilmiştir. Yapılan bu çalışma filler olarak kullanılan külün mukavemet ve soyulma direncini iyileştirdiğini göstermiştir [9].

Güngör (1996), Afşin Elbistan uçucu külünün esnek yol üst kaplamalarında filler malzemesi olarak kullanılmasını araştırmıştır. Taş tozu, portland çimentosu ve uçucu kül fillerli karışımlara Marshall deneyi yapılmış, optimum bitüm yüzdesi, bağlayıcı ile dolu boşluk yüzdesi, boşluk yüzdesi, akma ve stabilite değerleri elde edilmiş, sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda uçucu külün esnek üst yapılarda filler malzemesi olarak kullanılabilceği kanısına varılmıştır [10].

Acar ve Tapkın (1998), esnek kaplamalarda aşınma tabakası olarak kullanılan standard karışım özelliklerini taşıyan laboratuvar Marshall numuneleri ile, karışımdaki filler yerine çeşitli oranlarda Portland çimentosu kullanılarak hazırlanmış numuneleri stabilite ve akma özellikleri açısından değerlendirmişlerdir. Bir grup numune üzerinde UMATTA test cihazı kullanılarak indirekt yorulma testi yapılarak, test sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, deneyde kullanılan Portland çimentolu karışım hem stabilite açısından hem de yorulma ömrü yönünden olumlu sonuçlar vermiştir [11].

3. YOL ÜSTYAPILARI

Karayolu, önceden belirlenen geometrik standartlara uygun olarak saptanmış olan bir güzergah boyunca, doğal zeminin istenilen yükseltilere getirilmesi ve üzerinde motorlu taşıtların istenilen hız, güvenlik ve konfor koşullarında hareketlerinin sağlanabilmesi amacıyla inşa edilen yapıların tümü olarak tanımlanabilir. Karayolu, altyapı ve üstyapı olmak üzere iki ana kısımdan oluşmaktadır [12].

3.1 Altyapı

Yapımı tamamlanmış bir karayolunda, tesviye sathıyla doğal zemin çizgisi arasındaki bölgeye “altyapı” adı verilir. Altyapı; yolun dolgu kesimlerinde, dışarıdan getirilen toprakla oluşturulmuş bir toprak gövde, yarma kesimlerinde ise doğal zemindir. Ancak, yarma kesimlerinde tesviye yüzeyini oluşturmak amacıyla yapılan dolgu çalışmaları da alt yapıya dahildir. Ayrıca; köprü, viyadük, tünel, menfez ve istinat duvarı gibi sanat yapıları da altyapı olarak kabul edilir [12].

Altyapının görevleri; istenilen kotta düzgün bir satıh sağlamak, üstyapı tarafından iletilen yükleri daha geniş bir alana yaymak ve azda olsa yolu dış etkilerden korumaktır. Yolun sayılan bu görevleri yerine getirebilmesi için, trafik yükleri, don ve su etkilerine karşı dayanıklı olması gerekir. Altyapı oluşturulurken bitkisel toprak, çürük zemin ve sıkıştırılmaya elverişli olmayan zeminler kullanılmamalıdır. Bu nedenle altyapıyı oluşturan zeminin özelliklerinin çok iyi incelenmesi gerekmektedir [13].

3.2 Üstyapı

Üstyapı, trafik yüklerini altyapının taşıyabileceği değerlere indirmek, altyapıyı korumak ve düzgün bir yuvarlanma yüzeyi sağlamak amacı ile altyapı üzerine yerleştirilen, alttemel, temel ve kaplamalardan oluşan tabakalı yol yapısıdır [12].

Kaplama, taşıtlara uygun bir yuvarlanma yüzeyi sağlamak, trafiğin aşındırma etkilerine karşı koymak ve yapıya sızan yüzeysel su miktarlarını ve temel tabakasına iletilen kayma gerilimlerini azaltmak amacı ile temel tabakası üzerine inşa edilen bir tabakadır. Kaplama altındaki temel tabakası, bağlayıcısız yada bir bağlayıcı madde ile işlem görmüş olan belirli granülometrideki malzemelerden oluşturulur. Ana görevi, üstyapının yük taşıma kabiliyetini artırmaktır. Ayrıca, trafik hareketlerinden doğan yüksek kayma gerilmelerine karşı koyabilecek, drenaja yardımcı olabilecek ve don olaylarına karşıda koruma sağlayabilecek özelliklere sahip olmalıdır. Alttemel ise, trafik yüklerinin taban üzerine yayılmasını sağlamak, ince taneli altyapıların temel tabakasına nüfuz etmesini önlemek ayrıca su ve don tesirlerine karşı direnimsizlik sağlamak, tampon bölge görevi yapmak amacı ile tesviye yüzeyi üzerine serilen tabakadır [13].

3.2.1 Üstyapı Tipleri

Üstyapılar, kaplama tabakasında kullanılan malzemelerin türlerine, özelliklerine ve yapım yöntemlerine göre rijit, yarı rijit ve esnek üstyapı olarak üç ana gruba ayrılmaktadır.

3.2.1.1 Rijit Üstyapı

Rijit üstyapılar taban zemini üzerine serilmiş granüler alttemel ve/veya temel üzerine grobeton ve onun üzerine de donatılı veya donatısız, anolar halinde serilmiş beton plakalardan oluşur. Anonun boyutları, plaka kalınlıkları ve donatı miktarları yolun

proje süresi boyunca geçecek trafik sayısına ve taban zemininin mukavemetine bağlıdır [14].

3.2.1.2 Yarı Rijit Üstyapı

Yarı rijit üstyapılarda, esnek üstyapılardan farklı olarak granüler temel veya alttemel yerine çimento bağlayıcılı granüler temel veya çimento ile stabilize edilmiş alttemel kullanılır. Bu tabakaların üzerine sırasıyla bitümlü temel, asfalt betonu binder ve aşınma tabakaları serilir. Türkiye 'de dizayn trafik değerleri çok yüksek olan devlet ve otoyollarında bu tür üstyapılar kullanılmaktadır [14].

3.2.1.3 Esnek Üstyapı

Esnek üstyapılar taban zemini üzerine serilmiş granüler alttemel ve temel tabakaları üzerine bitümlü kaplamaların serilmesi şeklinde inşa edilirler [14]. Esnek üstyapı, tesviye sathı ile sıkı bir temas sağlayan ve trafik yüklerini, kaplama, temel ve alttemel tabakaları yolu ile tabii zemine dağıtan bir üstyapı şekli olup, stabilitesi, adezyon, tane sürtünmesi ve kohezyon gibi faktörlere bağlıdır [13].

Esnek üstyapı belirli özelliklere sahip malzemelerden oluşmuş bir seri tabakayı içerir. Tabaka kalınlıkları tabanın taşıma gücü ve trafik yüklerine bağlı olarak hesaplanır [14].

3.2.1.3.1 Esnek Üstyapı Tabakaları

a) Üstyapı Tabanı

Yol üstyapısı ve banketlerin oturduğu altyapı zeminin üst yüzeyi olan tesviye yüzeyi altında kalan, yarma veya dolgularda üstyapının taşıma gücüne etkisi olabilecek bir derinliğe kadar (25~85 cm) devam eden tabakadır. Tabanın CBR

(Kaliforniya Taşıma Gücü) değeri üstyapı tabakalarının kalınlıklarını belirleyen en önemli faktörlerden birisidir.

b) Alttemel

Temel tabakasını taşımak üzere taban üzerine yerleştirilen, belirli fiziksel özelliklere sahip malzemedен oluşmuş bir üstyapı tabakasıdır.

c) Temel

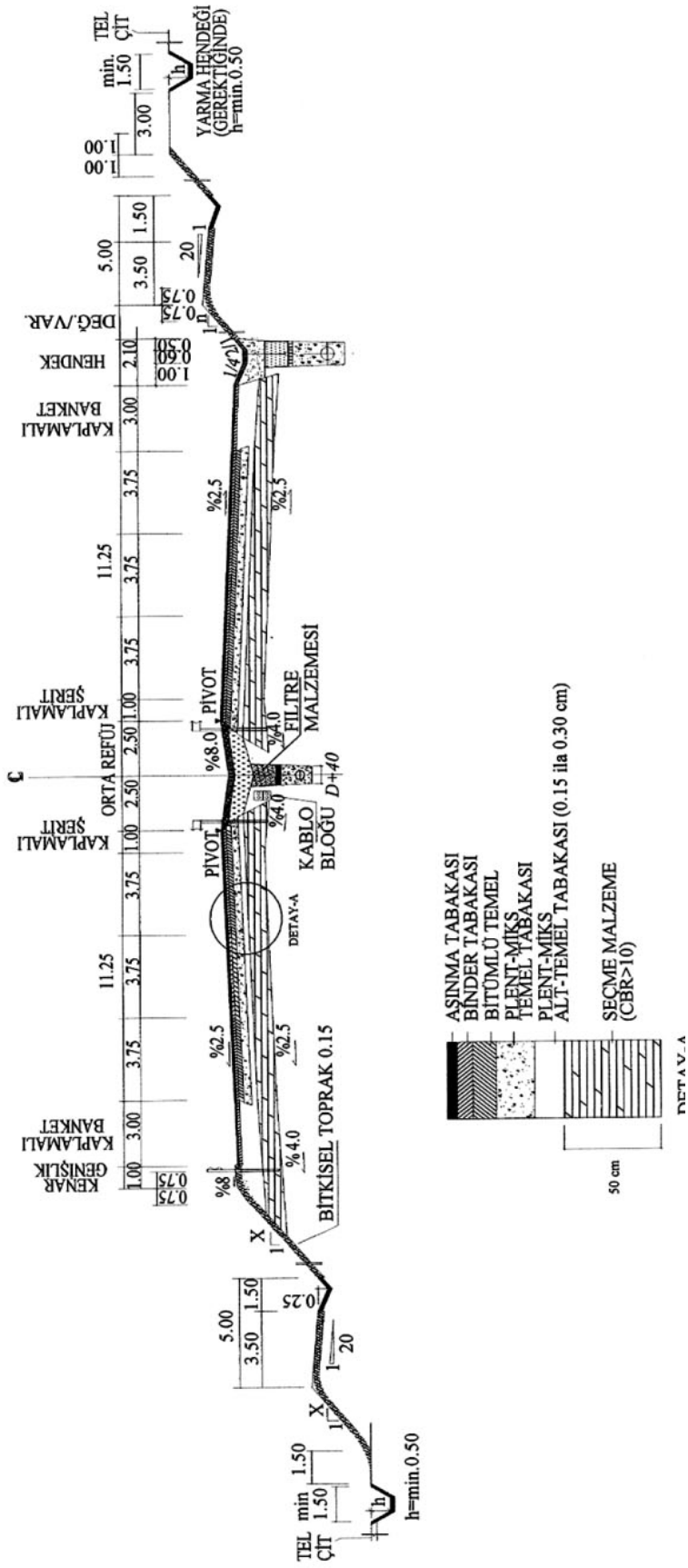
Alttemel üzerine hesaplanan bir kalınlıkta inşa edilen, belirli fiziksel özelliklere sahip malzeme ile oluşturulan iyi bir drenaj sağlamak, don etkisini azaltmak gibi fonksiyonları olan bir üstyapı tabakasıdır.

Temel ve alttemelin ana görevi, yüzeye uygulanan yükleri kendi içinde dağıtmak ve bu şekilde tabanda kesme ve oturma deformasyonlarının oluşmasını önlemektir. Karayollarında üç farklı temel tipi uygulanmaktadır.

- Granüler Temel
- Plent-Miks Temel
- Çimento Bağlayıcı Granüler Temel

d) Kaplama Tabakası

Üstyapının en üst tabakası olup, genellikle; asfalt betonu veya sathi kaplama olarak inşa edilir. Ana işlevi, trafik yüklerini taşımak (asfalt betonu için), kaymaya, trafiğin aşındırma ve iklim koşullarının ayrıştırıcı etkisine karşı koymak, seyahat konforu ve su yalıtımı sağlamaktır [15]. Esnek üstyapı tabakaları Şekil 3.1 'deki normal enine eğimli otoyol kesitinde verilmiştir.



3.3 Bitümlü Sıcak Karışımların Fizik ve Mekanik Özellikleri

İklim koşullarının ve trafiğin ortak etkileri beton asfalt kaplamaların ömürlerini inşaat mühendisliğinin diğer yapılarında (barajlar, köprüler) elde edilen düzeyin çok altına düşürmektedir. Bu nedenle, beton asfalt kaplamaların, söz konusu dış tesirler altında bozulmadan hizmet görebilmesi için hangi özelliklere sahip olması gerektiğinin ve bu özelliklere etkiyen faktörlerin incelenmesi gereklidir [16].

3.3.1 Bitümlü Sıcak Karışımlardan Beklenen Fizik ve Mekanik Özellikler

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

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

olarak belirtilebilir.

Sıralanan özellikler hakkında, temel unsurlar için şunlar söylenebilir.

a) Stabilite

Stabilite, taşıtlardan gelen sürekli dinamik yükler, uzun süreli statik yükler ile hızlanan veya yavaşlayan tekerlek tesirleri altında oluşan basınç, çekme, kesme kuvveti (makaslama) ve sökülmeğe karşı beton asfalt kaplamanın gösterdiği

dirençtir. Üstyapı projelendirilmesi açısından beton asfaltın en önemli özelliği stabilitedir [13]. Stabilite trafik yüklerini karşılayacak kadar yüksek olmalıdır. Ancak çok yüksek stabilite, çok sert bir karışım anlamına gelir ki bu tür kaplamalar trafik yükleri altında oluşan defleksiyonlara uyamayıp çatırlar. Bu nedenle düşük stabilite gibi çok yüksek stabilite de zararlıdır [15].

Bitümlü sıcak karışımın stabilitesi, kaplamanın trafik yüklerinden kaynaklanan tekerlek izi oluşumu ve toplanmaya karşı koyabilme yeteneğidir. Stabil bir kaplama, tekrarlı trafik yükleri altında orijinal şeklini ve düzgünlüğünü sürdürebilmekte, stabil olmayan bir kaplamada ise; tekerlek izleri, ondüleler, sökülmeler oluşmaktadır [17].

Stabilite, kaplamayı kullanması beklenen trafik belirlenerek tespit edilmektedir. Bunun için karışımdan beklenen stabilite değeri, karışımın serileceği yerin önceden trafik analizleri yapılmak suretiyle belirlenir.

Karışımın stabilitesi, agregalar arasındaki içsel sürtünmeye ve bağlayıcının kohezyonuna bağlıdır. Agregalar arasındaki içsel sürtünme; agregaların şekilleri ve yüzey dokuları ile ilgilidir. Kohezyon ise, yükleme hızı arttıkça (trafik hızı), asfalt bağlayıcının vizkozitesi arttıkça ya da kaplamanın sıcaklığı düştükçe artar.

Stabilite, karışımdaki bağlayıcı miktarı belli bir seviyeye kadar arttırıldıkça artar ve bu seviyenin üstüne çıkıldığında bağlayıcı agregalar üzerinde çok kalın bir film oluşturduğu için, malzemeler arasındaki içsel etkileşimin düşmesine neden olur [17]. Çizelge 3.1 'de stabiliteyi düşüren nedenler ve sonuçları görülmektedir.

Çizelge 3.1 Düşük Stabilitenin Neden ve Sonuçları [14]

Düşük Stabilite	
Neden	Sonuç
Yüksek asfalt % 'si	Oluklaşma, tekerlek izinde oturma ve kuma
Karışımında fazla kum % 'si	Sıkıştırma sırasında ve inşaat sonrasında yumuşaklık, sıkıştırma zorluğu
Yuvarlak agregas, kırılmamış yada az kırılmış agregas yüzeyi	Tekerlek izi oluşumu

b) Dayanıklılık (Durabilite)

Bir beton asfalt kaplamanın dayanıklılığı, trafik, su, hava ve sıcaklık değişikliklerinin etkilerine karşı gösterdiği dirençtir. Bütün bunlara ek olarak, bir beton asfalt kaplamanın trafik etkileri karşısında yeterince kararlı olabilmesi için dayanıklılık koşullarının da iyi olması gerekir.

Karışımın aşınmaya karşı direnci doğal olarak agreganın aşınma özelliğine bağlıdır. Aşınma tabakalarında daha sert agregas kullanılarak daha yüksek bir dayanıklılık sağlanabilir. Şişmeye karşı direnç de yine agreganın şişme karakteristiklerine bağlıdır. Dayanıklılığa etkiyen diğer önemli faktör nemdir. Mevcut nem halinde karışımın soyulmaya karşı direnci agreganın asfalt absorpsiyonu ile ilgilidir.

Asfaltın oksitlenmeye karşı direncinde, asfaltın yaşlanma karakteristikleri ve beton asfalt karışımındaki boşluk oranı önemli rol oynar. Oksitlenme aynı zamanda kaplamanın kırılmaya karşı direncine de etkir. Çünkü oksitlenme sırasında penetrasyonun düşmesi ile kaplama daha kırılğan hal alır. Bu nedenle, kırılmaların artmasında sebep olan asfaltın oksitlenmesini en alt düzeyde tutmak için beton asfalt

karışımının boşluk yüzdesinin belirli sınırlar içinde kalması sağlanmalıdır [13]. Durabiliteyi düşüren nedenler ve sonuçları Çizelge 3.2 'de verilmiştir.

Çizelge 3.2 Düşük Durabilitenin Neden ve Sonuçları [14]

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

c) Geçirimsizlik

Geçirimsizlik: Asfalt betonunun içine, hava ve su girişine karşı koyma direncidir ve karışımın içindeki hava boşluklarının oranı ile ilişkilidir. Hava boşluğu, kaplamaya su ve havanın girişine neden olsa da, bu boşlukların sayısından çok, boşlukların karakterleri, geçirimsizlik için daha önemlidir. Bu karakterleri, boşlukların boyutu, boşlukların birbiri ile bağlantı seviyeleri ve bunların kaplama yüzeyine ulaşip ulaşmadıkları olarak ifade edebiliriz [17].

Beton asfalt karışımından oluşmuş kaplama tabakasının alt tabakalara su geçirmeyecek derecede geçirimsiz olması gerekir [13]. Geçirimsizliği düşüren nedenler ve sonuçları, Çizelge 3.3 'de verilmiştir.

Çizelge 3.3 Karışımın Çok Geçirgen Olmasının Neden ve Sonuçları [14]

Geçirimsizlik	
Neden	Sonuç
Düşük asfalt % 'si	İnce asfalt filmi, kaplamanın erken yaşlanmasına, sökülmesine neden olur.
Karışımında yüksek hava boşluğu % 'si	Su ve hava kaplamaya kolayca girerek, oksidasyona ve agregaların parçalanmasına neden olur.

d) İşlenebilirlik

İşlenebilirlik, malzemeyi istenilen kıvamda, istenilen üniformlukta, sıkıştırma ile kolayca yerleştirebilmektir. Bu özellik, agrega granülometrisi, asfalt çimentosu oranı, en büyük dane boyutu, danelerin şekli ve agreganın yüzey dokusu ile çok yakından ilgilidir. No.10 elek altındaki agreganın şekli beton asfaltın özellikleri üzerinde gözle görülür şekilde etkilidir. Köşeli danelere sahip veya kırmataş parçaları içeren kumlar stabiliteyi yükseltirken, yuvarlak daneli kumlar işlenebilirliği arttırırlar. Bazı hallerde iyi derecelenmiş karışım ve yeterli silindirme olduğu halde bağlayıcı azlığı sebebiyle istenilen yoğunluk elde edilememektedir. Bu durum asfalt çimentosu oranının beton asfaltın işlenebilirliğindeki rolünü açık olarak ortaya koyar [13]. Yapılan araştırmalar sonucunda bitümlü karışım ne kadar çok işlenebilir ise o kadar kolay sıkışmakta, kolay sıkışan karışımlar da trafik altında o kadar çabuk ve kolay oluklanmaktadır. Tersine karışım ne kadar az işlenebilir yani tıkHz ise o kadar zor sıkışmakta ve trafik altında da o kadar az oluklanmaktadır [15].

İşlenebilirliği düşüren neden ve sonuçları Çizelge 3.4 'de görülmektedir. İşlenebilirlik ayrıca, elle serim yapılan yerlerde; örneğin, rögar çevrelerinde, keskin kurlarda ve makine ile sıkıştırmanın mümkün olmadığı yerlerde ekstra önem kazanmaktadır. Çünkü, bu noktalarda makine ile sıkıştırma yapılmadığından dolayı, basit sıkıştırma teknikleri kullanılır [17].

Çizelge 3.4 Düşük İşlenebilirliğin Neden ve Sonuçları [14]

Düşük İşlenebilirlik	
Neden	Sonuç
Çok fazla kaba agrega	Sıkıştırımda zorluk
Çok düşük karışım sıcaklığı	Kaplanmamış agrega, durabilite eksikliği, pürüzlü bir yüzey, sıkıştırma zorluğu
Karışımında, çok miktarda kum	Sıkıştırma esnasında karışımın hareketi
Karışımında, düşük filler	Karışım çok geçirgen
Karışımında, yüksek miktarda ince agrega	Karışım çok kuru, yetersiz durabilite

e) Fleksibilite (Esneklik)

Yolun alt tabakasındaki çökmelerden, beton asfalt kaplama tabakalarına geçecek genel deformasyona beton asfalt tabakaların çatlamadan karşı koyabilme yeteneğidir. Fleksibilite yetersizliği yol yüzeyinde çatlamalara yol açar. Mineral fillerin ve asfalt çimentosunun oranı, asfalt çimentosunun kıvamı, duktilitesi ve sıcaklığa karşı duyarlılığı fleksibiliteye tesir etmektedir. Kararlı ve esnek bir beton asfalt karışımı elde edebilmek için yazın kıvamını koruyabilen, kışın ise kırılğan hale gelmeyen ve yorulmaya karşı dayanıklı bir bağlayıcı gereklidir [13].

f) Yorulma Mukavemeti

Bitümlü sıcak karışımların yorulma mukavemeti, kaplamada çatlamalar oluşmadan tekerrür eden yükler etkisinde eğilmeye (yani kalıcı olmayan deformasyonların oluşmasına) müsaade etme yeteneğidir. Bir başka deyişle, kaplamanın sahip olduğu çekme mukavemetinin altında etkiyen trafik yüklerinin maksimum tekerrür sayısına tekabül eden mukavemet değeridir [18].

Araştırmalar, karışımdaki hava boşlukları ve asfalt çimentosunun yorulmaya karşı direnimde çok etkin olduğunu göstermektedir. Gerek yetersiz sıkıştırma, gerekse dizayn hatalarından dolayı yüksek hava boşluğuna sahip kaplamaların yorulma ömürleri, bu nedenlerle şiddetle düşmektedir. Kaplamanın, yaşlanması sonucu sertleşmesi de, yorulmaya karşı direnimini azaltmaktadır [17].

Kaplamanın kalınlığı ve dayanım karakterleri ile alttemelden sağlanan dayanım, kaplamanın ömrünü ve yükten dolayı oluşan çatlakları önlemede çok önemlidir. Kalın ve iyi destek alan kaplamalar, yük altında ince ve desteksiz kaplamalar kadar eğilmezler. Bu yüzden yorulma ömürleri daha uzundur [17]. Yorulmaya karşı direnci düşüren etkenler ise izelge 3.5 'de verilmiştir.

Çizelge 3.5 Düşük Yorulma Direncinin Neden ve Sonuçları [14]

Düşük Yorulma Direnci	
Neden	Sonuç
Düşük asfalt % 'si	Yorulma atlakları
Karışımda yüksek hava boşluğu % 'si	Erken yaşlanma ve buna bağlı yorulma çatlakları
Yetersiz sıkıştırma	Erken yaşlanma ve buna bağlı yorulma çatlakları
Yetersiz styapı kalınlığı	Büyük eğilmeler ve buna bağlı yorulma çatlakları

g) Kaymaya Karşı Direnç

Beton asfalt kaplama yüzeyinin, sürtünme ile araçların güvenli bir şekilde durmasını ve hareket etmesini sağlaması kaplamanın kaymaya karşı olan direncine bağlıdır. Bu zellik kaplamanın yüzey dokusu kadar beton asfalt karışımdaki asfalt karışımındaki asfalt imentosu oranı ve karışımın boşluk oranı ile ilgilidir. Yumuşak

agregalar fazla aşındıkları için düz bir yüzey oluştururlar. Diğer taraftan, karışımda çok fazla asfalt varsa veya yeterli boşluk yoksa, trafiğin oluşturduğu sıkıştırma tesiri ile veya sıcak havalarda agregaların genleşmeleri sonunda, asfalt dışarı çıkar ve kaygan bir yol düzeyi meydana gelir ki buna “kaplamanın terlemesi” denir. Bu sakıncanın ortaya çıkmaması için beton asfalt karışımı homojen olmalı, üretim ve kullanma sırasında segregasyona uğramamalıdır. Diğer taraftan karışımda gevrek agrega bulunmamalıdır. Çünkü gevrek malzeme tekerlek etkisiyle cilalı hale gelir. Cilalanma da kayma direnci bakımından büyük sorunlar ortaya çıkarır [13].

h) Rijitlik

Bitümlü sıcak karışımlar viskoelastik malzemeler olup mekanik özelliklerini belirlemek için “Rijitlik Modülü” kullanılmaktadır. Rijitlik modülü, elastik malzemelerin elastikiyet modülüne benzemekle beraber ısı ve yükleme hızına bağlı olarak aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$S_{(t,T)} = \sigma / \varepsilon \quad (3.1)$$

Dolayısıyla rijitliğe etki eden faktörler; ısı (T) ve yükleme süresi (t) veya hızı olup karışıma giren malzemelerin temel özellikleri ikinci derecede rol oynamaktadır. Rijitlik, bitümlü sıcak karışımların yükleme süresi (veya hızı) ve ısı etkisi altında gerilme ve deformasyon arasındaki ilişkinin ifadesidir. Yani rijitliği genel olarak; yükleme süresi azaldıkça (veya yükleme hızı arttıkça), ısı azaldıkça, karışımın yoğunluğu arttıkça ve asfaltın penetrasyonu azaldıkça artacaktır [18].

3.3.2 Bitümlü Sıcak Karışımların Fizik ve Mekanik Özellikleri Üzerinde Fizik Bileşenlerinin ve Yapımın Etkisi

Değişik bileşimde beton asfalt karışımlar yapılabildiği için, özellikleri de farklı olabilmektedir. Karışıma giren malzemelerin özellikleri, karışımın hazırlanması ve kaplamanın oluşturulma şekli beton asfalt kaplamanın davranışında

rol oynar. Bağlayıcı malzeme olan asfalt imentosu ile agrega arasında iyi bir adezyonun mevcut olduğu kabul edilmek koşuluyla, bu faktörler dört grupta toplanabilir [16].

- Asfalt imentosunun tipi,
- Asfalt imentosunun oranı,
- Agrega etkisi,
 - İri agreganın cinsi ve miktarı,
 - İnce agreganın cinsi ve miktarı,
 - Fillerin cinsi ve miktarı,
- Beton asfalt karışımının hazırlanma, yola serilme ve yolda sıkıştırılma koşulları (yapım koşulları)

3.3.2.1 Asfalt imentosunun Tipi

Beton asfaltın reolojik davranışında asfalt çimentosunun reolojik özellikleri belirgin biçimde yansımaktadır. Genellikle yollarda, trafik altında yüksek stabilite istenir. Daha düşük penetrasyonlu asfalt imentosu kullanıldığı zaman beton asfalt kaplamanın stabilite değerinin yüksek olacağı düşünülebilir. Ancak, sıcaklığın düşmesi yüzünden bağlayıcının kıvamının biraz artışı halinde trafikten gelen gerilmelerin etkisi altında yolda çatlaklar oluşabilir. Yani, daha yüksek stabilite elde etmek için çok düşük penetrasyonlu asfalt imentosu kullanılması sakıncalıdır. Diğer taraftan, beton asfalt karışımının yola serilip sıkıştırılması sırasında, asfalt çimentosunun penetrasyonunun düşük olması halinde karışımın işlenebilirliği azaldığından yeterince sıkıştırma yapılması mümkün olmaz ve bu yüzden yolda dalgalanmalar görülür.

Sert asfalt kullanarak, sıcak havada beton asfaltın deformasyona uğramaya yatkınlığının azaltılması, kalıcı tekerlek izi oluşmasına karşı kaplamanın direncinin artması sonucunu doğurur. Asfalt imentosunun sertliği arttıkça, kalıcı tekerlek izi derinliği azalmaktadır.

Çekme kopmasına karşı direnç ve deformasyonun incelenmesi, daha sert asfalt çimentosu kullanılması halinde kopmaya direncin (düşük sıcaklıklar hariç) arttığını fakat kopma deformasyonunun özellikle düşük sıcaklıklarda azaldığını göstermektedir.

Bu nedenle, mevcut iklim koşullarında, dört mevsim boyunca, yapım ve hizmet durumu da uygun olacak şekilde daima uygun bir kıvama sahip olacak asfalt çimentosunun özenle seçilmesi gereklidir [16].

3.3.2.2 Asfalt Çimentosunun Oranı

Karışımındaki asfalt çimentosu oranı gerekenden (optimum bağlayıcı oranından) çok fazla ise, karışım stabilite özelliğinden yoksun olur, rijitliği çok düşer ve trafik yüklerinin etkisiyle kaplamada derin izler oluşur. Bağlayıcı gerekenden biraz fazla olursa, özellikle ıslakken tehlikeli olan yağlı ve kaygan bir yüzey elde edilir. Karışımında yeteri kadar bağlayıcı yoksa, kaplama içindeki agregayı yerinde tutmak için gerekli bağlama, yapıştırma özelliği eksilir. Bu durumda, trafiğin etkisiyle agrega daneleri kaplamadan kopup ayrılır ve sonuç olarak yüzeyde bir takım delikler oluşur ki buna “kaplamanın sökülmesi” denir.

İyice karıştırılmış bir beton asfalt karışımındaki agrega danelerinin her biri asfalt filmi ile sarılmış ve karışımın boşluklarının bir kısmı asfaltla dolmuş durumda ise karışıma katılan asfalt doğru oranlanmış demektir. Bu miktardaki bağlayıcı ince asfalt filmlerinin yapıştırıcılık ve bağlayıcılık özelliğini sağlar ve agrega daneleri arasına fazla bağlayıcının girmesi ve bu daneleri birbirinden önemli miktarlarda ayırması sonucu plastik koşulların ortaya çıkmasını önler [16].

3.3.2.3 Agregada Etkisi

a) İri Agregada Cinsi ve Miktarı

Bir (kum-filler-bağlayıcı) karışımına az miktarda iri agregada (No.4 elek üstünde kalan agregada) katılması beton asfalt karışımının stabilitesine önemli bir etki yapmaz. Bununla beraber, ilave edilen iri agregada miktarı % 40-50 'ye çıkarılırsa, iri agregada daneleri arasında girişim hali başlar, böylece iri agregada bir sistem, iskelet oluşturur. Karışımın akmaya ve kalıcı tekerlek izi oluşmasına karşı direncinde önemli bir artış hissedilir. Bu cins bir iskeletin sağlanması için gerekli iri agregada oranı, kullanılacak iri agregadanın dane şekli ve yüzey dokusu ile de ilgilidir. Beton asfalt kaplamalarda % 55 oranında iri agregada içeren karışımların % 25 oranında iri agregada içeren veya hiç iri agregada bulunmayan karışımlardan daha az deformasyona uğradığı görülmüştür.

Beton asfalt kaplamaların kompozitesini arttırmak için iri agregadanın en büyük dane boyutunu artırma eğilimi mevcuttur. Ancak bu halde tabaka kalınlığının seçilen en büyük dane boyutuna göre ayarlanması gerekir.

İri agregadanın cinsi de karışımın deformasyona direnci üzerinde rol oynar. Araştırmalar iri agregada kırılmış bazalt olan karışımların deformasyona yatkınlıklarının, iri agregada kalker olan karışımlardan daha fazla olduğunu göstermiştir. Bu sonuç söz konusu agregaların dane şekli ile ilgilidir. Gerçekte bazalt kalkere oranla daha sert ve daha yoğun yapılıdır. Birim ağırlığı kalkerinkinden daha fazladır. Buna karşılık konkasörden çıkan bazalt daneleri genel olarak uzun ve yassı şekilli olmaktadır. Bu tip danelerin kararlı bir iskelet oluşturması güçtür. Halbuki kalker daneleri daha kübik şekilli olup sıkıştırıldıktan sonra iyi bir kenetlenme sağlarlar. Danelerin köşeli olması kaplama yüzeyinin kayma direncini artırır [16].

b) İnce Agreganın Cinsi ve Miktarı

İnce agreganın, iri agreganın oluşturduğu iskeletin boşluklarını doldurarak yoğunluğun artmasını sağlar. Beton asfalt kaplamalarda (kum-filler-bağlayıcı) harcı plastik akma direncinde önemli rol oynar. Ancak bu halde de ince agreganın danelerinin yüzey dokusu ve şekli de etkilidir. Pürüzsüz bir çakıl kumu, kırma malzemeye nazaran daha küçük bir deformasyon direnci sağlar [16].

c) Fillerin Cinsi ve Miktarı

Fillerlerin birinci görevi iri ve ince agreganın oluşturduğu iskeletin boşluklarını doldurarak kompasiteyi arttırmaktır. Bu durum özellikle yuvarlanma tabakasında önemlidir. Zira, kompasite artışı çok iyi bir geçirimsizlik sağlar. Bununla beraber, fillerin karışımdaki görevi boşluk doldurmaktan daha önemlidir. Belirli bir bağlayıcı cinsi için, kaplamanın karakteristikleri, özellikle rijitliği, agreganın danelerini saran bağlayıcı filminin kalınlığına bağlıdır. Bağlayıcı filmlerinin kalınlığı azaldıkça beton asfalt karışımlarının rijitliği artar ve sıcaklığa karşı duyarlılığı azalır. Asfalt filmlerinin kalınlığı ise fillerin miktarına bağlı olarak değişmektedir. Çünkü filler, daneleri çok ince olduğu için, büyük özgül alana sahiptir. Beton asfalt karışımında, bağlayıcı malzeme, karışımda mevcut bütün danelerin yüzeyini kaplayacağı için fillerin özgül alanının büyük oluşu asfalt filmlerinin ince olması sonucunu doğurur.

Beton asfaltlarda, filler-bağlayıcı ikilisinin akma özelliğinin, incelenmesi çok büyük önem taşımaktadır. Yapılan araştırmalar, çekme, basınç ve basit kayma deneylerinde, bağlayıcının içine bir mineral filler eklenmesi yoluyla viskozitesindeki artışın iki fizik parametreye bağlı olduğunu ve bu parametrelerin fillerin mineral orijininin bağımsız bulunduğunu göstermiştir. Bu parametreler; fillerin izafi sıklığı ve sıkışmış fillerdeki boşlukların efektif boyutlarıdır. Her iki parametre de filler-bağlayıcı sistemi içindeki fillerin sıkışma derecesi ile ölçülür. Fillerin içinde sıkıştırma sonunda kalan boşlukların efektif boyutu incelik derecesi ile ilgilidir. Filler ne kadar ince olursa içindeki boşluk boyutu o kadar küçülür [16].

3.4 Esnek Kaplamalarda Sudan Kaynaklanan Bozulmalar

Bitümlü sıcak karışımlarda, sudan kaynaklanan bozulmalar önemli bir sorun olarak kabul edilmekte, suyun verdiği zararların en aza indirilmesi amacıyla önemli çalışmalar yapılmaktadır. Bu amaçla yapılmakta olan çalışmaların önemli bir kısmını ise, karışımın yola serilmeden önce, laboratuvar ortamında suya hassasiyetinin belirlenmesi oluşturmaktadır. Bitümlü sıcak karışımlarda, su etkisi ile meydana gelen temel hasar, soyulmadır. Soyulma: Genel olarak sudan dolayı, agrega yüzeyi ile asfalt arasındaki adezyon kuvvetinin kaybı olarak tanımlanmaktadır.

Çok iyi dizayn edilmiş bir yol bile, çevre ve trafik koşulları nedeniyle belirli bir süre sonra bozulmaya başlamaktadır. Bozulma: Üstyapının orijinal şartlarından (servise açıldığı esnadaki şartlar), belirli bir sapma olarak kabul edilmektedir. Türkiye koşullarında, tasarım yönteminin ve malzemenin yanlış seçimi, trafiğin hızlı ve kontrolsüz biçimde artması, iklimsel koşulların ağırlığı, yol yapımı sırasındaki projeye ve tekniğe uygunluk oluşturmayan alt yapı inşaatı, bakım ünitesinin daha az etkin çalışması ve öteki ünitelerle koordinasyon eksiklikleri başlıca bozulma nedenleridir. Bir yolun servis ömrünü uzatmanın ya da ekonomik ömrü içerisinde ondan en iyi şekilde yararlanmanın tek yolu, gerekli düzeyde sürekli bakım yapmak, yol üst yapısının mukavemetini gerekirse onarım yöntemleri ile yükseltmektir.

Sudan kaynaklanan bozulmaların temel nedeni, suyun yüzey enerjisinin asfalttan çok düşük olmasıdır. Su, bazen soyulmaya neden olmadan, alt tabakaların dayanımını düşürmekte ve böylece tekerlek izi ve sökölme gibi bozulmalara neden olmaktadır [17].

Bitümlü sıcak karışımların suya hassasiyetlerini etkileyen bir takım faktörler vardır. Bunlar aşağıdaki paragraflarda açıklanmıştır.

- Asfalt kaplamaların soyulma hassasiyetini etkileyen en önemli faktörlerden biri, karışımda kullanılan agregaların kimyasal ve mineralojik özellikleridir. Agregaların mineralojik ve kimyasal özellikleri; agregaların, yüzey enerjilerini ve kimyasal reaksiyona girme kapasitelerini etkilemektedir. Asfalt ve

agrega arasındaki bağı, agregaların kenetlenme kapasiteleri ve bağlayıcının kohezyonu sağlar. Agregaların kenetlenme özelliklerini, poroziteleri, emme kapasiteleri, yüzeylerinin temizliği, köşelilikleri vs. sebepler etkilemektedir. Karışımda kullanılan agregaların şekil özellikleri, kaplamanın soyulma mekanizmasına büyük etki etmektedir. Örneğin, yuvarlak yüzeye sahip agregalar, köşeli agregalar kadar, bitümü iyi sarmaz ve daha çabuk soyulurlar. Agregalar asfalt ile kaplandıklarında asfalt, agregaların yüzeylerindeki gözeneklere ve çatlaklara girmektedir. Bu yüzden agregaların gözenekli ve pürüzlü olmaları istenmektedir. Köşeli agregalarda kenetlenmenin iyi olmasına rağmen, soyulma daha fazladır. Bunun sebebi olarak, köşeli agregalardaki dayanıksız köşelerin kırılması gösterilmektedir. Kırılan bu noktalardan, kaplamaya su girmekte ve karışımda soyulmaya neden olmaktadır. Agregaların yüzeylerini saran kil ve su gibi maddeler, agrega ile asfalt arasında iyi bir bağ oluşmasını engellemektedirler. Agregalar arasındaki kil mineralleri, sıcak karışımın suya hassasiyetini arttırmaktadır [17].

- Asfalt kaplamaların soyulma hassasiyetini etkileyen diğer bir faktör ise asfalt bağlayıcının özellikleridir. Karışımda kullanılacak asfalt çimentosunun agregaları iyi bir şekilde kaplayabilmesi için, sıvı hale getirilmesi gerekmektedir. Bitümlü sıcak karışımlarda bu işlem, asfaltın karışıma katılmadan önce ısıtılması ile yapılmaktadır. Sıcak karışımın hazırlanması sürecinde, agrega ve bitümü iyi bağ kuracaklarını düşünerek aşırı ısıtmak ve/veya karışım süresini uzatmak çok büyük sorunlara neden olur. Agregalar parçalanır, asfalt bağlayıcı aşırı yaşlanır ve yaşlanma sonucu asfaltın esnekliği kaybolur. Bu yaşlanmış asfaltın kullanıldığı sıcak karışım yük ve çevre etkilerinden doğan kuvvetlere esneklik gösteremez, çatlar kırılabilir hale gelir [17].

- Karışımda kullanılan bağlayıcının miktarı, karışımdaki mineral agregaların arasındaki boşluk oranı (VMA) ve karışımın hava boşluğu seviyesi karışımın suya hassasiyetini önemli derecede etkilemektedir. Karışımda kullanılan asfalt miktarı arttıkça asfalt film kalınlığı artmakta buda kaplamaya suyun girişini zorlaştırmaktadır. Sıcak karışımın hava boşluğu, karışımın yetersiz şekilde sıkıştırılması durumunda artmakta bu da sıcak karışıma suyun girişini artırmaktadır.

Karışımın yeteri kadar sıkıştırılmaması, karışımın suya (neme) olan hassasiyetini artırmaktadır. Genel olarak günümüzde, yola serilip sıkıştırılmış bitümlü sıcak karışımların, hava boşluğu seviyeleri % 3-5 aralığında değişmektedir. Bu boşluk seviyelerinin altındaki değerlerde, sanılanın aksine karışım tekerlek izi oluşumuna dirençli hale gelmemekte, aşırı sıkıştırılmış, düşük hava boşluklu karışımlarda tekerlek izi oluşumu riski artmaktadır [17].

- Asfalt kaplamaların soyulma hassasiyetini etkileyen diğer bir faktör de çevre koşullarının etkisidir. Soğuk havalarda, donma-çözümlerden dolayı agregalar parçalanmakta, bu da karışımda yüzeyleri asfalt ile kaplanmayan yeni agregaların oluşmasına neden olmaktadır. Bu nedenle zeminin donma indeksi belirlenerek gerekli önlemler alınmalı örneğin dona hassas zemin sökülüp-atılarak yerine dona hassas olmayan malzeme serilmelidir [17].

- Asfalt kaplamaların soyulma hassasiyetini etkileyen diğer bir faktör de trafiğin etkisidir. Dizayn sürecinde, üzerinden geçecek trafik ve bu trafiğin kompozisyonu tam olarak belirlenmeyen kaplamalarda, bozulmalar hızlanmaktadır. Oluşan çatlaklardan giren sular ve/veya tekerlek izinin olduğu noktalarda biriken sular, kaplamaya girerek kaplamanın dayanımını düşürmekte ve bozulmaları hızlandırmaktadır. Bu nedenlerden dolayı, dizayn sürecinde, kaplamadan servis sürecinde geçmesi beklenen trafik ve kompozisyonu mümkün olduğunca doğru belirlenmeye çalışılmalıdır [17].

- Asfalt kaplamaların soyulma hassasiyetini etkileyen diğer bir faktör de drenaj sistemlerinin etkisidir. Suyun, asfalt betonunun kullanıldığı esnek üstyapılara verebileceği muhtemel zararları azaltmanın en etkin yolu, suyun, üstyapıya girmemesini sağlamaktır fakat bu çoğu zaman mümkün değildir. Kaplamaya girmiş bu suların bir şekilde ortamdan uzaklaştırılması için dizayn sürecinde, etkili bir drenaj sistemi mutlaka temin edilmelidir. Kaplamadan buharlaşarak uzaklaşmayan sular kaplamayı içten içe oymakta, kaplamayı doygun hale getirerek dayanımının azalmasına neden olmaktadır [17].

- Asfalt kaplamaların soyulma hassasiyetini etkileyen diğerk bir faktör de katkı maddelerinin etkisidir. Agregalar ve asfalt bağlayıcı arasındaki adezyon kuvvetini ve karışımın suya karşı direncini arttırmak ve böylece soyulmayı azaltmak amacıyla; karışıma kuru kireç veya portland çimentosu ilave etmek, karışıma eklenecek agregaları karışıma ilave etmeden önce kireç bulamacı ile kaplamak suretiyle karışıma soyulma engelleyici kimyasal maddeler katılmaktadır [17].

Katkı maddeleri katı ve sıvı olmak üzere ikiye ayrılmıştır.

- Katı katkı maddelerinin en önemlisi kireçtir (En az % 90 'ı No.200 elekten geçen, çok ince özellikte kireç). Diğerleri, portland çimentosu, uçucu kül vs. dir. Katı soyulma engelleyici katkı maddeleri, sıvı katkıların aksine asfalt çimentosunu değil karışımdaki agregaları modifiye etmek için kullanılırlar [17].

Kirecin, iyi bir soyulma engelleyici madde olması hakkında öne sürülen bazı görüşler vardır. Bu görüşler genel olarak, üç başlık altında toplanmaktadır.

1) Kireç, agregaların emdiği asfaltın asitli bileşenleri ile etkileşime girerek, adezyonu artırmaktadır.

2) Kirecin, karışıma sağladığı kalsiyum iyonları, agregalarda bulunan hidrojen, sodyum, potasyum ve diğer katyonların yerine geçer ve agregalar ve asfalt arasında sağlam bağ oluşur.

3) Kireç, özellikle bağlayıcı ile zayıf adezyon sağlayan silisli agregalar ile reaksiyona girerek, “kalsiyum silikat kabuğu” oluşturmaktadır. Oluşan bu kabuk, agregaların yüzeylerinde asfaltın girişi için poroz bölgeler sağlamakta ve karışımın adezyon kuvveti artmaktadır.

4) Karışımın, Elastisite (stiffness) Modülü 'nü artırmakta ve bu sayede tekerlek izi oluşumunu azaltmaktadır.

5) Karışımın Oksidasyonunu azaltmakta ve böylece karışımın yaşlanmasını düşürmektedir.

6) Karışımda oluşabilecek düşük sıcaklık çatlaklarını azaltmak olarak özetlenebilir.

- Sıvı haldeki soyulma engelleyici maddeler, yüzeyi aktif maddelerdir ve genellikle asfalt çimentosuna karıştırılırlar. Asfalt çimentosu ile karıştırıldıkları zaman, karışımın yüzey gerilimini düşürerek, karışımdaki malzemeler arasındaki adezyonun artmasını sağlarlar [17].

3.5 Esnek Kaplamalarda Oluşan Kusurlar

Esnek kaplamalar trafiğe açıldıktan sonra meydana gelen kusurlar (bozulmalar) genel olarak aşağıdaki nedenlere bağlıdır.

- Trafik etkisi
- İklim ve çevre etkisi
- Yapım ve dizayn hatalarının etkisi
- Malzeme hatalarının etkisi

Bu kusurlar başlıca üç tipde oluşmaktadır. Bunlar;

- Deformasyonlar
- Ayrışmalar
- Çatlamlar

olarak sınıflandırılabilir [18].

3.5.1 Deformasyonlar

Deformasyon, asfalt kaplama imalatından bir süre sonra görülen yapısal bozukluklardır. Bunlar kalıcı deformasyonlar (kalıcı şekil değiştirmeler) şeklinde olup yol eksenini boyunca veya belirli kesimlerde yolun tüm kesitinde veya belirli kısımlarında bölgesel şekilde görülebilmektedir.

Sürüş konforu ve emniyeti açısından önemli sakıncaları olan kusurların hizmet seviyesi düşük olduğundan dolayı ya bölgesel tamir-onarım ya da takviye tabakası yapılması gerekir.

Deformasyonlar genel olarak düşük stabiliteli bitümlü sıcak karışımların imalatından kaynaklansa da;

- Kaplama tabakalarının yetersiz sıkıştırılması
- Aşınma tabakasında aşırı filler ve asfalt kullanımı
- Alt tabakalarda ve zeminde aşırı hacim değişikliği olması
- Tabaka kalınlıklarının yetersiz oluşu
- Yetersiz drenaj

gibi nedenlere de bağlanabilir [18].

Başlıca deformasyonlar aşağıda verilmektedir.

a) Ünitiform Olmayan (Düzensiz) Yüzey Bozuklukları

Bu tip deformasyonlar genel olarak zemin ve temel tabakalarındaki oturmalarından kaynaklansa da;

- Yetersiz zemin mukavemeti
- Yetersiz temel tabakası stabilitesi veya boşluklu gradasyon
- Yetersiz drenaj
- Yüksek su seviyesi ve don derinliğinin fazlalığı
- Zeminden temel tabakalarına kil yükselmesinin olumsuz etkileri
- Banketlerin yanal desteğinin az olması
- Yetersiz kaplama kalınlığı

gibi nedenlerin de önemli etkenler olduğu göz önünde tutulmalıdır.

Bu tip kusurlar bölgesel olmayıp yolun tümünde ve/veya büyük bir kesiminde oluştuklarından dolayı bölgesel tamir veya onarım ile giderilmeleri zordur. Ayrıca bu tip kusurlar görünüm ve şekil olarak çok farklılıklar gösterdiği gibi yolun boyuna ve enine yönde farklı şekilde sistematik olmayan bir şekilde dalgalı (düzensiz olmayan ve kaba pürüzlü) yüzeyler olarak görülür. Bu tip yollarda genel olarak sürüş konforu ve emniyeti azdır [18].

b) Bölgesel Çökme (Oturmalar)

Bu tip deformasyonlar üniform olmayan (düzensiz) yüzeysel deformasyonlarda olduğu gibi, yolun tümünde veya önemli bir kesimde olmasının aksine yer yer 0.50-2.00 m yarıçaplı dairesel veya daireye yakın boyutta bölgesel çökme veya oturmalar şeklinde görülür. Bu tip kusurlar;

- Yetersiz veya üniform olmayan sıkıştırma
- Yetersiz gradasyon veya aşırı segregasyon (ayırışma)
- Kaplamada su içeriğinin aşırı artması
- Yüzeysel kaplamada parçalanmaların artmış olması
- Drenaj, zemin ve imalat problemleri

gibi nedenlerden oluşmaktadır.

Bölgesel deformasyonlar olduklarından dolayı tamiri kolay ve mümkündür. Deformasyona uğramış kesimler kazılıp atıldıktan sonra uygun bitümlü sıcak veya soğuk karışım ile doldurulup sıkıştırılarak bu tip kusurlar kolaylıkla giderilebilmektedir [18].

c) Tekerlek İzi Oluşması

Özellikle ağır taşıt trafiğinin yoğun olduğu yollarda çok sık karşılaşılan bu tip kusurlar;

- Ağır trafik yükü ve tekerrür sayısının fazlalığı,
- Ağır taşıtların yavaş hızı (tırmanma şeridi gibi),
- Yüksek hava ısısı,
- Yetersiz temel tabakası kalınlığı ve zemin mukavemeti,
- Aşırı asfalt ve filler yüzdesi veya filler/bitüm yüzdesi,
- Yüksek penetrasyonlu asfalt,
- Yuvarlak dere malzemesi,
- Yetersiz sıkıştırma,

gibi nedenlerden kaynaklanmaktadır.

Tekerlek izi deformasyonları özellikle hızlı taşıtlar için sürüş emniyeti açısından tehlikeli iken tüm hızdaki taşıtlar için de sürüş konforu açısından mahsurludur. Ayrıca yüzeysel yağmur suları bu oluklarda birikerek taşıtların sürüş emniyetini olumsuz etkiler. Bu oluklarda biriken suların donması tehlike yarattığı gibi kaplamanın içine nüfus ederek agreganın soyulmasına ve asfaltın oksidasyonunun artmasına neden olduğundan diğer tip stabilite bozukluklarının başlamasına ve/veya hızlanmasına sebep olur. Bu tip bozukluğun giderilmesi hemen hemen imkansız olmakla beraber, bazı kurumlar bu olukların yoğun beton asfalt betonu ile doldurulup sıkıştırdıktan sonra kaplamanın tümüne ince bitümlü sıcak karışım serilip sıkıştırılması şeklinde öneriler sunmaktadır [18].

d) Ondülasyonlar (Dalgalanmalar veya Yığılmalar)

Yaya geçişleri, kavşaklar, otobüs durakları, aşırı eğimli, vb. kesimlerde ondülasyon (veya dalgalanma) şeklinde görülür ve genel olarak aşağıdaki nedenlerden kaynaklanmaktadır.

- Düşük stabiliteli karışımlar,
- Yetersiz aşınma tabakası kalınlığı,
- Yüksek penetrasyonlu asfalt (veya çok düşük viskozite),

- Aşırı asfalt oranı,
- Zayıf yapıştırma tabakası,
- Binder tabakası eksikliği,
- Çok dik kesimlerde ağır taşıtların durma ve kalkma hareketi,
- Kavşaklarda, otobüs duraklarında, vb. kesimlerde frenleme ve kalkma hareketleri,

Bu tip deformasyonlar bölgesel olduklarından dolayı kusurlu kesimler kazılıp atıldıktan sonra yerine uygun bir karışım konulup sıkıştırılarak tamir edilmeleri mümkündür [18].

e) Kabarmalar

Bu tip deformasyonlar genellikle zeminin kabarması sonucu oluşur. Zeminlerin kabarması;

- İllit, montmorillenit, vb. killerin suyla temaslarında aşırı şişmeleri,
- Dona duyarlı zeminlerde don derinliğinin kaplama kalınlığından fazla veya eşit olduğu kesimlerde don kabarmasının olması,

gibi nedenlere bağlıdır.

Bu tip zeminler için kaplama altına uygun kalınlıkta dona duyarsız seçme malzeme tabakası konulması, zemin stabilizasyonu, drenaj vb. tekniklerle don kabarması ve şişme gibi olumsuz etkiler giderilebilir [18].

f) Lastik Deseni Oluşması

Bu tip deformasyonlara özellikle sıcak iklimli bölgelerdeki ağır trafik hacminin fazla olduğu yol kesimlerinde çok sıkça karşılaşılmaktadır. Bu tip deformasyonlar genel olarak;

- Ağır trafik yükleri ve tekerrür sayısının fazlalığı,
- Ağır trafiğin düşük hızlara sahip olduğu fazla eğimli kesimler,
- Düşük stabilite,
- Aşırı kasma,
- Yüksek ısı,
- Yüksek penetrasyonlu asfalt kullanımı,

gibi sebeplerden kaynaklanmaktadır.

Bu tip deformasyonlar, ağır taşıt lastiklerinin yüzeylerinde bulunan yiv (oluk) deseninin kaplama yüzeyinde iz bırakması şeklinde oluşmaktadır. Esasen bu tip deformasyon yüzeysel olup yapısal değildir. Çünkü yüzeysel pürüzlülük şeklinde görülen bu tip kusurlar sadece kanalize ağır trafik kesimlerinde oluşmaktadır. Eğer derinlikleri fazla ise bu kesimlerde biriken sular ani soğuma durumunda kaygan yüzeyler oluşturarak sürüş emniyetini tehlikeye sokabilmektedir. Ayrıca sürüş konforu için olumsuz yüzeyler oluşmakta ve yuvarlanma direnci yüksek olduğu için de taşıt işletme giderleri artmaktadır.

Lastik deseni ile tekerlek izi kusurları genellikle birlikte görülmektedir. Çünkü bu iki tip kusur genel olarak ağır taşıt trafiğinin yoğun olduğu yollarda rastlanmaktadır.

Lastik deseni kusurlarının yüksek hava ısısına sahip yol kesimlerinde oluşmasını önlemek için 85-100 Penetrasyonlu Asfalt Çimentosu (Pen. AC) yerine 60-70 Pen. AC kullanmak bir tedbir olabilir. Ancak yazları sıcak fakat kışları sert geçen bölgelerde düşük hava ısılarında düşük ısı çatlaklarının oluşması da beklenmelidir [18].

3.5.2 Çatlamalar

Asfalt betonunda oluşan çatlamaları, trafik etkisine bağlı olan çatlamalar ve trafik etkisine bağlı olmayan çatlamalar olmak üzere ikiye ayırmak mümkündür.

Trafik etkisine bağlı çatlamlar ya ağır dingil yüklerinin tek veya birkaç defa geçmesi sonucunda, yada fazla sayıda geçmesi sonucunda oluşur ki bu ikincisine “yorulma” çatlakları denir.

Birinci durumda ağır trafik yükünün oluşturduğu gerilme eğilme-çekme direncini aşmaktadır. Yorulmada ise direnç aşılmamakta, fakat dingil yüklerinin doğurduğu kalıcı deformasyonlar, tekrar sayısının fazla olmasından dolayı birikime maruz kalmaktadır.

Ağır dingil yüklerinden başka, taşıtların ani hızlanma ve yavaşlamaları da çatlamlara yol açabilmektedir. Çatlamlar trafik yüklerine bağlı olmaksızın sıcaklık ve nemin değişimi ile olabilirler. Bu etkiler tek başlarına veya dingil yükleri ile birleşerek kaplamayı çatlatabilirler [13].

Değişik çatlama tipleri görülebilir. Bunlar:

a) Timsah Sırtı Çatlaklar

Kaplamanın birbirine irtibatlı bloklar halinde çatlamasıdır. Aşırı dingil yükleri ve asfalt betonu veya diğer tabakalarda oluşan hacim değişiklikleri bu tip çatlamlara yol açabilir [13].

b) Yorulma Çatlakları

Birbiriyle irtibatlı küçük bloklar halinde ortaya çıkan çatlaklardır. Dingil yüklerinin çok sayıda geçişiyle oluşur [13].

c) Büzülme Çatlakları

Büzülme çatlakları timsah sırtı çatlamlar şeklinde ortaya çıkan çatlamlardandır. Timsah sırtı ve yorulma çatlaklarından farkı, blokların büyük

olması ve çatlakların çıkış noktalarında daha önce oluşmuş çatlaklarla dik açı oluşturmasıdır. Çatlakların genişliği oluşma zamanı hakkında fikir verir, dolayısıyla en geniş çatlaklar ilk oluşan çatlaklardır. Büzülme çatlakları asfalt betonunun kendi içinde yada temel veya tabandaki hacim değişimleri sonucunda oluşur [13].

d) Kenar Çatlakları

Kaplama kenarından yaklaşık 30 cm içerde ve yol eksenine paralel olarak oluşur. 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. Kaplama kenarına çok yakın yoğun bitki örtüsü ve ağaçlar topraktan su çekerek bu tip çatlamlara yol açabilir [13].

e) Derz Çatlakları

İki şerit arasında oluşan çatlaklardır. Yapım hatasından oluşabilir. İkinci şerit dökülürken yeterli bindirmenin yapılmaması zamanla iki şeridin birbirinden ayrılmasına yol açar. Oluşan çatlak, geçirimsizliği azalttığı gibi ayrışmalara da zemin hazırlar. Derz çatlakları kaplama ile banket arasında da oluşabilmektedir [13].

f) Enine Çatlaklar

Yol eksenine dik olarak oluşan çatlaklardır. Diğer tip çatlaklara yol açan nedenler (yetersiz üstyapı kalınlığı, yetersiz drenaj v.b.) enine çatlakları oluşturabilir. Bu nedenler dışında enine çatlaklar, sericinin uzun süren duraklamalarla alışması ve sıcaklıktaki ani düşmelerin kaplamalarda oluşturduğu gerilmeler nedeni ile meydana gelmektedir [13].

g) Yansıma Çatlakları

Genellikle rijit kaplamalar üzerine takviye tabakası olarak serilen asfalt betonu kaplamalarda görülür. Alttaki beton kaplamanın enine ve boyuna derzleri, eğer varsa diğer çatlakları üste yansır. Çimento veya kireç stabilizasyonlu temeller üzerine inşa edilen kaplamalarda da yansıma çatlakları oluşabilir. Alt tabakalarda daha önce oluşmuş çatlakların üste yansıması olarak ortaya çıktığından, enine, boyuna, blok veya köşegen şekil alabilirler.

Takviye tabakasının veya kaplamanın ince olması yansıma çatlaklarının oluşumunu kolaylaştırır. Yansıma çatlaklarının önlenmesi için, mevcut kaplamanın derz ve çatlaklarının, takviyeden önce, özenle tamir edilmesi ve takviye tabakasının en az 10 cm kalınlıkta yapılması önerilmektedir [13].

h) Öteleme (Yüzey Kayması) Çatlakları

Yüzey tabakasının, tekerlek yüklerinin oluşturduğu yatay kuvvetlerin etkisiyle alt tabaka üzerinde kayarak iç içe hilaller şeklinde çatlamaşdır. Bunlara parabolik çatlaklar da denir.

Öteleme çatlakları yüzey tabakasının alt tabakaya iyi yapışmamasından doğar. İki tabaka arasında bağ (yapışma) yetersizliğı, yapıştırma tabakasının yokluğu, yapıştırıcının çok miktarda kullanılması, yapıştırıcı malzemenin uygulanmasından sonra çok beklemeden dolayı tozlanmaya ve ıslanmaya maruz kalması yüzey kaymalarına sebep olabilir. Karışımın çekme direnci ve tabakanın kalınlığına bağılı ataleti ötelenme çatlamlarına karşı koyar. Bu bakımdan kalın tabakalarda bu tip çatlama ihtimali daha azdır [13].

3.5.3 Ayrışmalar

Agrega danelerinin iklim ve trafiğin mekanik etkisi ile kaplamadan koparak ayrılmasıdır. Ayrışma, asfalt betonu kaplamalı karayollarında çok sık görülen bir bozulmadır.

Ayrışmaya yol açan nedenler:

- a. Bağlayıcının (asfaltın) mekanik etkiyle kopması,
- b. Karışımın kötü kalitede olması,
 - Düşük asfalt yüzdesi,
 - Çok az veya çok fazla filler yüzdesi,
 - Kirli ve zayıf agrega kullanılması,
- c. Yüzey tabakasının ince olması,
- d. Granüler alttemel ve temele tabandan kil yükselmesi,
- e. Drenaj yetersizliği,
- f. Yetersiz sıkıştırma,
- g. Nemli ve soğuk havada yapım,
- h. Plentte (karışımın hazırlandığı santral) asfaltın aşırı ısıtılması,
- i. Yapım sırasında segregasyon oluşması,
- j. Ayrışmayı kolaylaştıracak derecede kuma oluşması,
- k. Kimyasal maddelerin (özellikle tuz ve yağların) etkisi,
- l. Yüzey tabakasının alt tabakaya iyi yapışmaması,
- m. Su ve kil etkisi ile soyulma,

Bu nedenlerin hiçbiri tek başına ayrışmayı başlatmaz. Ayrışma bunlardan bir kaçının bir arada bulunması halinde trafiğin mekanik etkisiyle başlar. Ayrışma olayı zamanla artar. Kaplamanın ömrünü kısaltır ve yolun seyir konforuyla seyir güvenliğini azaltır [13].

Başlıca ayrışma tipleri aşağıda verilmiştir.

a) Folluk Tipi Oyuklar

25-75 cm çapında dairesel, folluğu andıran oyuklardır. Yukarıda sayılan nedenlerden ilk altısı bu tip bozulmaların oluşumunda önemli rol oynar.

Folluk tipi oyuklar kaliteli bağlayıcı ve karışım kullanılması, trafiğin gerektirdiği üstyapının inşası, drenaj, özenli yapım ve özellikle yeterli sıkıştırma ile önlenabilir [13].

b) Sklmeler

Yüzeyden alta doğru yada kenardan içe doğru agregaların zamanla yüzeyden koparak ayrılmasıdır [13].

c) Tabaka Halinde Sklmeler

Yüzey tabakasının ince olması, alt tabaka ile yüzey tabakası arasında yapıştırma tabakası kullanılmaması ve yapıştırmanın yetersiz olması nedeni ile oluşan bozulmalardır. Daha ziyade derz çatlakları civarında oluşur [13].

d) Soyulma

Agrega danelerini saran ince asfalt filminin su, kil ve trafiğin mekanik etkisi ile agregadan ayrılması ve dolayısıyla agregada danelerinin çıplak kalması durumudur. Soyulma, sürekli granlometreli, pratik anlamda geçirimsiz karayollarında büyük bir sorun değildir [13].

e) Kayganlık

Kaplamanın taşıtların aşındırma etkisi yada kasma nedeni ile kayan direncinin azalması, başka bir deyişle, sürtünme katsayısının düşmesidir. Özellikle kaplamanın ıslak olması halinde ve yüksek hızlarda seyir güvenliğini büyük ölçüde azaltması nedeni ile önemli bir bozulma tipidir. Kayganlık daha ziyade yüzeydeki agregaların cilalanması ile oluşur. Ancak kasma gösteren kesimler de kaygan olabilir [13].

f) Cilalanma

Agregaların aşınarak pürüzlülüklerini kaybetmesidir. Özellikle kalkerden elde edilen agregalar, başlangıçta köşeli ve pürüzlü olsalar da taşıtların aşındırma etkisiyle pürüzlülüklerini kaybederek cilalı bir hal alırlar. Kaplama ile taşıtların lastikleri arasındaki sürtünme katsayısı, özellikle kaplamanın ıslak olması halinde düşer ve 60-80 km/h 'tan yüksek hızlarda kaymalara neden olabilir [13].

g) Kasma

Karışım içindeki asfaltın sıcaklık etkisi ile yükselerek yüzeye çıkması yüzeyde oldukça kalın bir asfalt filmi oluşturması durumudur. Kasma sonucu yüzeydeki agregalar tamamen asfalt filmi ile kaplandığından sürtünme katsayısı düşmektedir.

Kasma daha ziyade asfalt yüzdesi yüksek karışımlarda ve sıcak havalarda ortaya çıkar. Çok ağır dingil yükleri altında da asfalt yüzeye çıkabilir. Asfalt yüzdesi optimum olmakla beraber, karışımda boşluk yüzdesi çok düşükse, sıcak havalarda genleşen ve boşluk bulamayan asfalt yine yüzeye çıkma eğilimi gösterecektir. Çok kalın serilen astar veya yapıştırma tabakaları da kasmaya sebep olabilir. Karayollarında bakım görmüş kesimlerde sık görülen kasma, bağlayıcı ve boşluk yüzdeleri konusunda dikkatli olunarak önlenabilir [13].

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1 Marshall Stabilite Deneyi

Bu yöntem, Marshall Stabilite deney aleti yardımıyla bitümlü kaplama karışımlarından hazırlanan silindirik briketlerin yanal yüzeylerine yükleme yaparak plastik akmaya karşı direncin ölçümünü kapsar (ASTM D 1559-89, 1992). Ülkemiz karayollarında bitümlü karışımlara uygulanan stabilite deneyi Marshall deneyidir. Bu deney esas olarak bir serbest basınç deneyi olup numune yüklendiği sırada tamamen sınırlanmaz [13].

Marshall deney numuneleri en az 24 saat oda sıcaklığında bekletildikten sonra boyları ölçülerek havada, suda ve doymuş-yüzey kuru ağırlıkları tartılır ve deneye alınır. Numuneleri istenilen sıcaklığa getirmek için 30-40 dakika su banyosunda veya 2 saat etüvde bekletilir. Banyo veya etüv sıcaklığı asfalt çimentolu briketler için 60 °C 'dir. Numune çelik bir halkanın iki segmanı arasına yerleştirilir. Akma ölçer (flowmeter) yerleştirilerek sıfırlanır. Maksimum yüke erişinceye kadar, dakikada 50.8 mm lik (2 inç) bir hızla yükleme yapılır. Maksimum yük ve akma kaydedilir. Deney numunesinin su banyosundan çıkarılıp, maksimum yük saptamasına kadar geçen süre 30 s 'den fazla olmamalıdır. Numune yüksekliği 63.5 mm 'den (2 1/2 inç) farklıysa Marshall Stabilite düzeltme katsayıları kullanılarak yüke düzeltme faktörü uygulanır (ASTM D 1559-89, 1992). Deneyde; üst segman sabittir. Alt segman yükleme hızı ise 50.8 mm/dakikadır. Basınç arttıkça stabilometrede okunan değer artarak maksimuma ulaşır, daha sonra düşmeye başlar. Bu anda numune kırılır. Stabilometrede okunan maksimum değer yardımıyla bitümlü karışımın stabilitesi saptanır. “Marshall Stabilitesi” adı verilen bu değer örneğin kırılmasını sağlayan kg cinsinden toplam yük miktarıdır. Kırılma sırasında örneğin çökme ya da hareket miktarı da ölçülür. Buna “Akma” denir. Ayrıca bu deneyle karışımın birim ağırlığı, boşluk oranı ve bağlayıcı ile dolu bulunan agrega boşluğu yüzdesi de saptanır [13].

4.2 Sıkıştırılmış Kaplama Karışımının Hazırlanma Aşamaları

Marshall tasarım yöntemine göre numunelerin hazırlanması ve hazırlanan numunelere ait bazı özelliklerin belirlenmesi için aşağıda belirtilen hususlar uygulanmalıdır [14].

1. Kaba agreganın (ASTM C 127) ve ince agreganın (ASTM C 128) hacim özgül ağırlıkları bulunur.
2. Asfalt çimentosunun (ASTM D 70) ve mineral fillerin (ASTM C 854) özgül ağırlığı tayin edilir.
3. Kaplama karışımı içindeki agrega karışımının hacim özgül ağırlığı bulunur.
4. Gevşek kaplama karışımının maksimum özgül ağırlığı bulunur (ASTM D 2041)
5. Sıkıştırılmış kaplama karışımının hacim özgül ağırlığı tayin edilir (ASTM D 1188 veya ASTM D 2326).
6. Agreganın efektif özgül ağırlığı hesap edilir.
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 hesaplanır.
11. Sıkıştırılmış kaplama karışımının Asfaltla Dolu Boşluk yüzdesi bulunur.

4.2.1 Hesaplamalar İçin Gerekli Kavramlar ve Formüller

4.2.1.1 Agreganın Hacim Özgül Ağırlığı ve Zahiri Özgül Ağırlığı

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

$$G_{sb} = \frac{\%K + \%I + \%F}{\frac{\%K}{G_{kb}} + \frac{\%I}{G_{ib}} + \frac{\%F}{G_{fa}}} \quad \text{veya} \quad G_{sa} = \frac{\%K + \%I + \%F}{\frac{\%K}{G_{ka}} + \frac{\%I}{G_{ia}} + \frac{\%F}{G_{fa}}} \quad (4.1)$$

Agrega karışımının hacim özgül ağırlığı bulunurken, filler için zahiri özgül ağırlık kullanılması fazla bir hata getirmez. Mevcut imkanlarla filler hacim özgül ağırlığı doğru olarak tayin edilememektedir [14].

4.2.1.2 Agregada Etkin Özgül Ağırlığı

$$G_{ef} = \frac{100}{\frac{100 + W_a}{D_T} - \frac{W_a}{G_b}} \quad (4.2)$$

Agrega tarafından absorbe edilen asfalt hacmi, absorbe edilen suyun hacminden daha azdır. Bunun sonucu olarak agreganın etkin özgül ağırlık değeri, hacim ve zahiri özgül ağırlık değerleri arasında olmalıdır. Etkin özgül ağırlık bu limitlerin dışına düştüğünde değerin yanlış olduğu varsayılmalıdır. Bu durumda, ASTM D 2041 'e göre yapılan D_T deneyi yeniden gözden geçirilmeli veya tekrarlanmalıdır. Bu deneyin yapılamadığı durumlarda, hacim özgül ağırlık ve zahiri özgül ağırlık değerlerinin ortalaması alınarak etkin özgül ağırlık değeri bulunabilir [14].

4.2.1.3 Farklı Bitüm Miktarlarında Karışımın Maksimum Özgül Ağırlığı

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

Bitüm miktarının değişmesi, bitüm absorpsiyonunu önemli ölçüde değiştirmedikinden, her bitüm yüzdesi için maksimum özgül ağırlık, D_T , aşağıdaki formül ile ayrı ayrı hesaplanabilir [14].

$$D_T = \frac{100 + W_a}{\frac{100}{G_{ef}} + \frac{W_a}{G_b}} \quad (4.3)$$

4.2.1.4 Bitüm Absorpsiyonu

$$P_{ba} = 100 \times \frac{G_{ef} - G_{sb}}{G_{sb} \times G_{ef}} \times G_b \quad (4.4)$$

4.2.1.5 Kaplama Karışımının Efektif Bitüm Yüzdesi

Efektif bitüm yüzdesi, toplam bitüm miktarının agrega tarafından absorbe edilen bitüm miktarı kadar eksiktir. Bu, toplam bitüm miktarının agregaların dışını kaplayan kısmıdır ve kaplama karışımının performansına etki edecek bitüm miktarıdır [14].

$$P_{be} = W_a - P_{ba} \quad (4.5)$$

4.2.1.6 Sıkıştırılmış Kaplama Karışımındaki Agregalar Arası Boşluk (VMA) Yüzdesi

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

VMA, agreganın hacim özgül ağırlığı esas alınarak hesaplanır ve sıkıştırılmış kaplama karışım hacminin yüzdesi olarak ifade edilir. Böylece VMA, sıkıştırılmış kaplama karışımının hacminden agreganın hacim özgül ağırlığı ile hesaplanan hacminin çıkarılmasıyla hesaplanabilir [14].

Eğer karışım kompozisyonu agrega ağırlığının % 'si olarak bulunmuşsa,

$$VMA = 100 - \frac{D_p}{G_{sb}} \times \frac{100}{100 + W_a} \times 100 \quad (4.6)$$

4.2.1.7 Sıkıştırılmış Karışımındaki Hava Boşluğu ve Asfaltla Dolu Boşluk Yüzdesinin Hesaplanması

Sıkıştırılmış kaplama karışımı içindeki hava boşluğu V_h , kaplanmış agrega daneleri arasındaki küçük hava boşluklarından ibarettir [14].

$$V_h = \frac{D_T - D_p}{D_T} \times 100 \quad V_f = \frac{VMA - V_h}{VMA} \times 100 \quad (4.7)$$

4.3 Optimum Bitüm Yüzdesinin Belirlenmesi

Optimum bitüm yüzdesinin tayin edilebilmesi için çeşitli bitüm yüzdelerinde hazırlanmış olan numunelere ait Marshall stabilite, pratik özgül ağırlık, asfaltla dolu boşluk yüzdesi ve boşluk oranının grafiklerinin çizilmesi gerekir. Asfalt çimentosunun Marshall stabilite değerini maksimum yaptığı değer, pratik özgül ağırlığı veren asfalt çimentosu oranı, şartnameye uygun olarak asfaltla dolu boşluk yüzdesini % 80 olarak sağlayan bağlayıcı oranı, % 4 boşluk oranını (şartnamede belirtilen % 3-5 arasındaki sınır içinde kalan) sağlayan asfalt oranı grafiklerden bulunur. Bulunan dört asfalt oranının ortalaması optimum asfalt çimentosu oranını verecektir.

Bu orana karşılık gelen akma değeri akma-bitüm grafiğinden bakılarak, şartnamede belirtilen değerlerin (10-20) arasında olup olmadığı kontrol edilir. Bu şekilde saptanan bağlayıcı oranına göre gerçekleştirilen bir beton asfalt karışımı şartnamelerde aranan özellikleri taşıyacaktır [13].

4.4 Suyun Sıkıştırılmış Bitümlü Karışımların Kohezyonuna Etkisi (Koşullandırılmış Marshall Stabilite Deneyi)

Bu metot, penetrasyon sınıflamalı asfalt içeren sıkıştırılmış bitümlü karışımlar üzerinde suyun etkisiyle oluşan kohezyon kaybının ölçümünü kapsar. Numuneler bu metoda (ASTM D 1075 'e göre) uygun olarak hazırlanır. Bu metod, sıkıştırılmış bitüm-agrega karışımlarının rutubete karşı hassasiyetini ölçer. Marshall numuneleri her iki yüzeye 75 'er darbe vurularak hazırlanır. ASTM D 2726 'ya göre yoğunlukları belirlenen briketler; Grup A1-B1 numuneleri oda sıcaklığında su banyosunda 4 saat bekletilerek 25 ± 1 °C 'lik deney sıcaklığına getirilerek, Grup A2-B2 numuneleri 24 saat 60 ± 1 °C 'lik su banyosunda, sonra 2 saat süreyle 25 ± 1 °C 'lik banyoda bekletildikten sonra 60 °C 'lik su banyosunda 30-40 dakika bekletilerek 50.8 mm/da yerdeğiştirme hızına sahip Marshall test aletinde 30 saniye içerisinde test edilir [14].

4.5 Kullanılan Malzeme Özellikleri

4.5.1 Filler Malzemenin Önemi

Mineral filler, ASTM D 242 'ye göre, tamamı 0.600 mm (No. 30) elekten geçip, ağırlıkça en az %70 'i, 0.075 mm (No. 200) elekten geçen malzeme olarak tanımlanır. Filler, toplam agreganın çok küçük bir yüzdesini oluşturmasına karşın, karışımın özelliklerinin düzenlenmesinde önemli rol oynar. Filler genellikle bitümlü karışım içerisinde %3 ile %9 oranları arasında kullanılır. Belirli bir orana kadar filler boşlukları doldurduğu için, ince agregada gradasyonunu değiştirir ve böylece agregada tanecikleri arasında daha fazla temas noktası sağlayarak daha yoğun karışımların

elde edilmesinde rol oynar. Bu durum özellikle yuvarlanma tabakasında önemlidir. Çünkü, kompasite artışı çok iyi bir geçirimsizlik sağlar. Bunun yanı sıra, bitüm ile birlikte ince agregaya karşı kayganlaştırma ve bağlayıcı etkisi göstererek harç elde etmeyi sağlar. Bahsedilen bu ikili fonksiyon, mineral fillere özgüdür ve onu diğer agregalardan ayırır [14].

4.5.2 Mineral Agregası

Bu çalışmada, Karayolları 14. Bölge Müdürlüğü' nün Balıkesir-Susurluk-Karacabey yolu yapımında kullanılmak üzere Söve taşocağı agregaları kullanılmıştır. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü Yollar Fenni Şartnamesi (YFŞ) 'nin asfalt betonu aşınma tabakası için belirlediği Tip-2 gradasyonu seçilmiştir [19]. Çalışmada kullanılan gradasyon değerleri Çizelge 4.1, filler ve bitüme ait bazı fiziksel özellikler ise Çizelge 4.2 'de verilmiştir [20].

Çizelge 4.1 Agregası Gradasyon Değerleri [19]

Elek Boyu	Ağırlıkça Geçen %	
	YFŞ Aşınma Tabakası Tip-2 Limitleri (%)	Çalışmada Kullanılan Agregası Gradasyonu (%)
19 mm (3/4")	100	100
12.5 mm (1/2")	77-100	89
9.5 mm (3/8")	66-84	75
4.75 mm (No. 4)	46-66	56
2.00 mm (No. 10)	30-50	40
0.425 mm (No. 40)	12-28	20
0.180 mm (No. 80)	7-18	13
0.075 mm (No. 200)	4-10	7

Çizelge 4.2 Agregâ, Filler Malzeme ve Bitümün Fiziksel Özellikleri [20]

Özellik	Değer
Kaba agregâ hacim özgül ağırlığı	2.681 gr/cm ³
Kaba agregâ zahiri özgül ağırlığı	2.706 gr/cm ³
İnce agregâ hacim özgül ağırlığı	2.682 gr/cm ³
İnce agregâ zahiri özgül ağırlığı	2.711 gr/cm ³
Agregâ karışım efektif özgül ağırlığı	2.696 gr/cm ³
Agregâ karışım hacim özgül ağırlığı	2.683 gr/cm ³
Filler zahiri özgül ağırlığı	2.707 gr/cm ³
Bitüm özgül ağırlığı, (G _b)	1.0375 gr/cm ³
Bitüm penetrasyonu	67

4.5.3 Asfalt Çimentosu (Bağlayıcı, Bitüm)

Bu çalışmada, bağlayıcı olarak Balıkesir Belediyesi, Asfalt Şantiyesi 'nden temin edilen 50/70 penetrasyonlu asfalt çimentosu kullanılmıştır. Bu malzemenin belirlenen bazı özellikleri Çizelge 4.3 'de verilmiştir [21].

Çizelge 4.3 Kullanılan 50/70 Penetrasyon Asfalt Çimentosunun
Bazı Fiziksel Özellikleri [21]

Özellik	İlgili Standart	Birimi	Sonuç Değer
Penetrasyon, 25 °C, 100 gr, 5 sn	EN 1426/ ASTM D 5	1/10 mm	67
Yumuşama Noktası	EN 1427/ ASTM D 36	°C	46-54
Sertleşme Direnci (Mukavemeti) (RTFOT) 163 °C' deki (a)	EN 12607-1, 12607-2 ASTM D 1754		
Kütle Değişimi (Sıcaklık Kaybı)	ASTM D 6	%	Max. 0,5
Kalan Penetrasyon (Isınmadan Önceki Penetrasyonu Paylaşırken RTFOT dan Sonra Penetrasyonda Kalan Tortu)	EN 1426/ ASTM D 5	%	Min. 50
Sertleşme Sonrası Yumuşama Noktası	EN 1427/ ASTM D 36	°C	Min. 48
Parlama Noktası	EN 22592 (ISO 2592) ASTM D 92	°C	Min. 230
Çözünürlük	EN 12592 ASTM D 2042	%wt	Min. 99
Yumuşama Noktasındaki Artış	EN 1427/ ASTM D 36	°C	Max. 9

(a) RTFOT (Silindirli İnce Film Halinde Isıtma) metodundaki testler referans alınacaktır.

4.5.4 Filler Malzemesi Olarak İlave Edilen Endüstriyel Atıklar

4.5.4.1 Mermer Tozu

Çalışmada, Balıkesir yöresinde faaliyet gösteren Şayakçı Mermer Fabrikasından alınan mermer toz atıkları mineral filler olarak kullanılmıştır. Kullanılan mermerlere ait fiziksel, mekanik ve teknolojik özellikleri Çizelge 4.4 'de, kimyasal analizleri ise Çizelge 4.5 'de verilmiştir [22].

Çizelge 4.4 Mermerlerin Fiziksel, Mekanik ve Teknolojik Özellikleri [22]

Fiziksel, Mekanik ve Teknolojik Özellikler	Birimi	Değer
Sertlik	Mohs	3-4
Birim Hacim Ağırlığı	gr/cm ³	2.68
Özgül Ağırlığı	gr/cm ³	2.74
Atmosfer Basıncında Su Emme	%	Ağırlıkça: 0.18
	%	Hacimce: 0.49
Kaynar Suda Emme	%	Ağırlıkça: 0.17
	%	Hacimce: 0.44
Porozite	%	0.49
Basınç Direnci	kg/cm ²	1238
Don Sonrası Basınç Direnci	kg/cm ²	970
Darbe Direnci	kg/cm ²	4
Eğilme Direnci	kg/cm ²	338
Elastisite Modülü	kg/cm ³	293x10 ⁴
Doluluk Oranı	%	99
Gözeneklilik Derecesi	%	0.70
Ortalama Aşınma Derecesi	cm ³ /50 cm ²	7.72
Ortalama Çekme Derecesi	kg/cm ³	42

Çizelge 4.5 Mermerlerin Kimyasal Analizleri [22]

Kimyasal Analizler	Değer %
SiO ₂	1.26
Fe ₂ O ₃	88.16
CaO	6.23
MgO	4.35

4.5.4.2 Uçucu Kül

Düşük kalorili linyit kömürlerinin yakıldığı termik santrallerde, elektrik üretimi sırasında toz halindeki kömürün yanması sonucu baca gazları ile sürüklenen ve elektro filtreler yardımı ile tutularak atmosfere çıkışı önlenen mikron boyutunda kül tanecikleri meydana gelmektedir. Endüstriyel bir atık olan ve uçabilen bu küllere ‘uçucu kül’ adı verilmektedir.

Türkiye 'de elektrik enerjisinin yaklaşık yarısının üretildiği termik santrallerde 55 milyonton/yıl düşük kalorili linyit kömürü yakılmakta, bunun sonucunda 1998 yılı verilerine göre yaklaşık 13 milyonton/yıl uçucu kül elde edilmektedir [23].

Uçucu küller ASTM C 618-84 'e göre iki başlık altında toplanmaktadır:

1. F sınıfı uçucu küller; antrasit veya bitümlü kömürün yanmasından oluşur. Özellikleri aşağıdaki gibidir.
 $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3 > \%70$
2. C sınıfı uçucu küller; normal olarak linyit ve ikincil bitümlü kömürden elde edilirler. Özellikleri aşağıdaki gibidir [24].
 $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3 > \%50$

Çalışmada kullanılan Ash Plus elektro filtre çıkışı C sınıfı uçucu kül Soma B Termik Santral 'inden temin edilmiştir. Özgül ağırlığı 2.24 gr/cm^3 'dür. Kullanılan uçucu küllere ait kimyasal özellikler Çizelge 4.6 'da verilmiştir [25].

Çizelge 4.6 Uçucu Külün Kimyasal Özellikleri [25]

Bileşen	Değer %
SiO ₂	43.19
Al ₂ O ₃	20.22
Fe ₂ O ₃	4.81
CaO	22.31
MgO	1.67
SO ₃	3.91
K ₂ O	1.19
Na ₂ O	0.61
Kızdırma kaybı	0.90

4.5.4.3 Fosfojips

Yaş yöntemle fosforik asit üretimi, fosfat kayasının sülfürik asitle reaksiyona sokulması esasına dayanır. Reaksiyonda oluşan fosforik asit ve yan ürün fosfojips süzülerek birbirinden ayrılır. Ele geçen bu yan ürün fosfojips olarak bilinir. Yaş yöntemle fosforik asit üretiminde oluşan fosfojipsin kimyasal formuna göre dihidrat, hemihidrat-dihidrat, hemihidrat ve anhidrit yöntemi olmak üzere dört ayrı üretim yöntemi vardır [26].

Çalışmada kullanılan fosfojips Bandırma Bağfaş Gübre Fabrikasından temin edilmiştir. Bandırma Bağfaş Gübre Fabrikası hemihidrat-dihidrat metoduna göre üretim yapmaktadır. Bu üretim tarzında daha az safsızlıklar bulunmakta ve fosforik

asit üretimi daha fazla olmaktadır [3]. Çalışmalarda kullanılan fosfojipse ait kimyasal ve fiziksel özellikleri Çizelge 4.7 'de verilmiştir

Çizelge 4.7 Fosfojipsin Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri [3]

Kimyasal Özellikleri		Fiziksel Özellikleri	
Eleman	%	%	
CaO	32.04	10 nolu elekte kalan	0.00
SO ₄	53.47	40 nolu elekte kalan	9.00
P ₂ O ₅ (Toplam)	0.50	60 nolu elekte kalan	16.00
P ₂ O ₅ (Çözünen)	0.11	200 nolu elekte kalan	49.04
F (Toplam)	1.30	Özgül ağırlık (gr/cm ³)	2.39

4.5.4.4 Cam Tozu

Cam, silikat ve diğer daha küçük oksitleri içine alan seçilmiş ham materyalleri katılaştırmakla yapılan, ametal inorganik bir materyaldir. Cam, parlak olmasının yanında küçük bir etkiyle kolayca kırılabilir. Bu fiziki özellik, filler malzeme haline getirmek amacıyla camın ezilmesinde kullanılmaktadır.

Deneyleerde kullanmış olduğumuz cam Balıkesir Özcam San. Ve Tic. A.Ş. 'den temin edilmiştir. Cama ait bazı standart parametreler Çizelge 4.8 'de, kimyasal kompozit parametre değerleri de Çizelge 4.9 'da verilmiştir. Sonuçlar Türkiye Şişe ve Cam Fabrikaları A.Ş., Cam Araştırma Merkezi raporlarından alınmıştır [27].

Çizelge 4.8 Cama Ait Bazı Standart Parametreler [27]

Özellik	İlgili Standart	Değer
Doğrusal Isıl Genleşme	ASTM E 228-71	$90 \times 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}$
Yoğunluk	ASTM C 693-84	2.499 g/cm^3
Yumuşama Sıcaklığı, Ts	ASTM C 338-73	$715 \text{ } ^\circ\text{C}$
Tavlama Sıcaklığı, Ta	ASTM C 336-71	$536 \text{ } ^\circ\text{C}$
Gerilme Sıcaklığı, Ts ^t	ASTM C 336-71	$500 \text{ } ^\circ\text{C}$
Kırılma İndisi, n _o		1.5188
Kırılma Modülü, S	ASTM C 158-84	100 MPa
Esneklik Modülü, E		71 GPa

Çizelge 4.9 Camın Kimyasal Kompozisyon Aralık Değerleri [24]

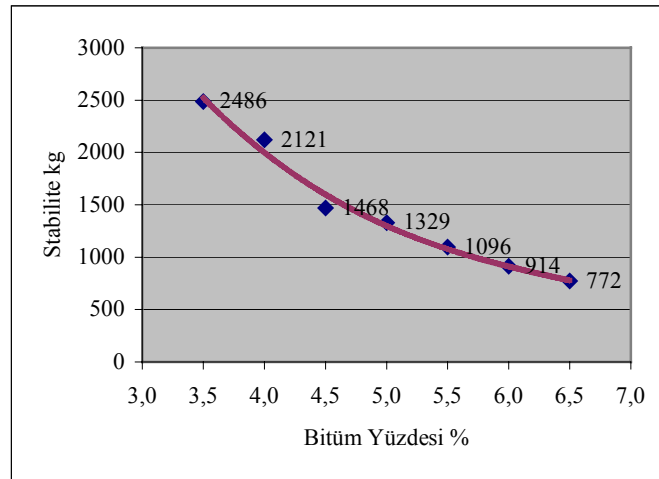
Bileşen	Ağırlık (%)
SiO ₂	71.4 - 72.2
Al ₂ O ₃	1.0 – 1.4
Fe ₂ O ₃	0.08 – 0.12
TiO ₂	0.05 – 0.13
CaO	8.0 – 8.5
MgO	4.0 – 4.3
Na ₂ O	13.6 – 14.1
K ₂ O	0.05 – 0.5
SO ₃	0.1 – 0.3

4.6 Laboratuvar Çalışmaları

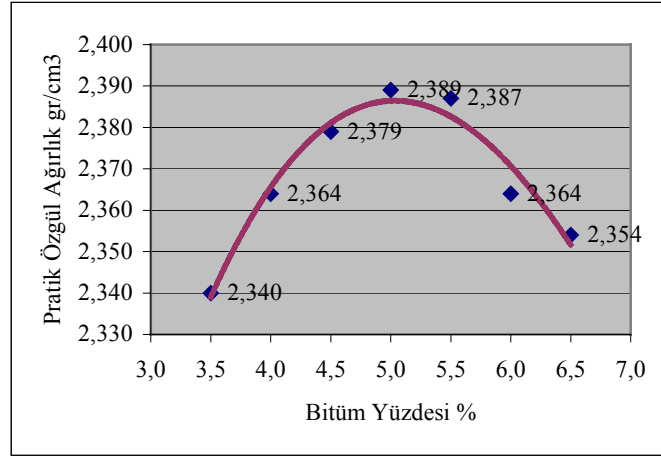
Optimum bitüm bağlayıcı oranının belirlenmesinden sonra laboratuvar çalışmaları iki aşamada yapılmıştır. 1. Aşama; endüstriyel atık fillerin taş tozu filler yerine kullanılabilirliğinin araştırılmasıdır. 2. Aşama; filler olarak kullanılabilen endüstriyel atıklarında suyun etkisiyle oluşan kohezyon kaybının araştırıldığı koşullandırılmış Marshall deneyidir.

4.6.1 Optimum Bitüm Bağlayıcı Oranının Belirlenmesi

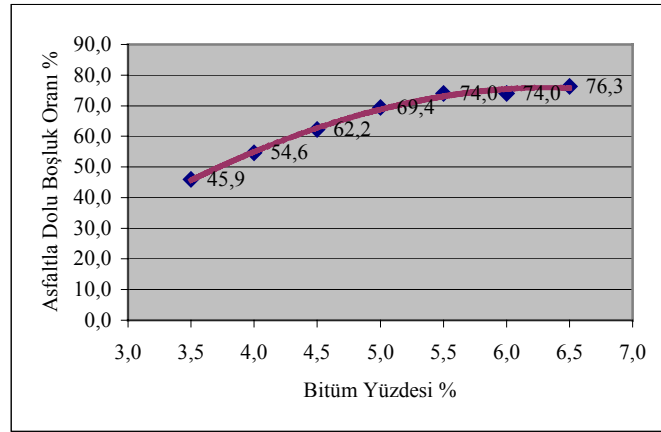
Optimum bitüm yüzdesinin tespit edilmesi için Marshall tasarım yöntemine göre numuneler hazırlanmış, agrega gradasyonu sabit tutularak % 3.5 - 4.0 - 4.5 - 5.0 - 5.5 - 6.0 ve 6.5 oranlarında bitüm oranı kullanılmıştır. Deney sonuçlarına ilişkin grafikler Şekil 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 ve 4.6 'da görülmektedir.



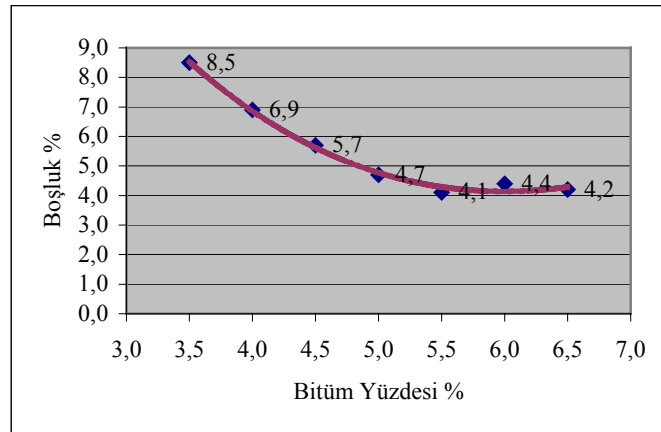
Şekil 4.1 Marshall Stabilitesinin Bitüm Yüzdesi ile Değişimi



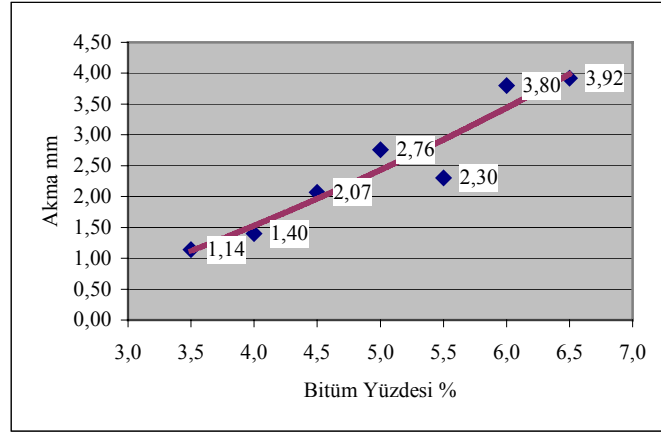
Şekil 4.2 Pratik Özgül Ağırlığın Bitüm Yüzdesi ile Değişimi



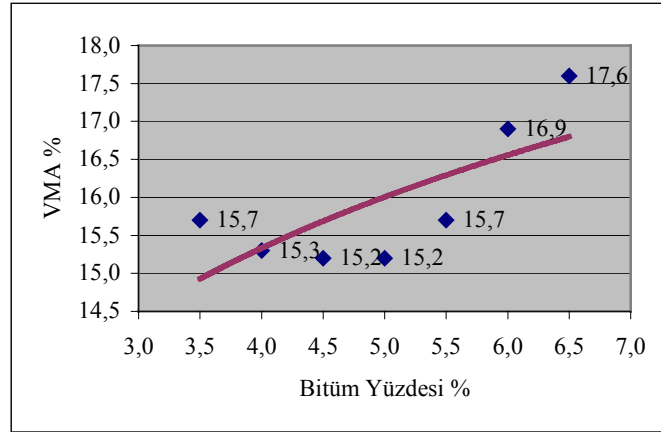
Şekil 4.3 Asfaltla Dolu Boşluğun Bitüm Yüzdesi ile Değişimi



Şekil 4.4 Boşluğun Bitüm Yüzdesi ile Değişimi



Şekil 4.5 Akmanın Bitüm Yüzdesi ile Değişimi



Şekil 4.6 Agregalar Arası Boşluğun (VMA) Bitüm Yüzdesi ile Değişimi

Marshall stabilite değeri, bitüm yüzdesine bağlı olarak azalmaktadır (Şekil 4.1). Asfalt çimentosu oranı arttıkça birim ağırlık değeri artmakta ve bir maksimumdan geçmekte, daha sonra düşmektedir (Şekil 4.2). Bunun yanında, asfaltla dolu agregaya boşluğu yüzdesi değerleri asfalt çimentosu oranının artması ile artmaktadır (Şekil 4.3). Benzer olarak, boşluk oranı da asfalt çimentosu oranının artmasıyla azalmaktadır (Şekil 4.4). Akma değerleri asfalt çimentosu oranının artması ile artmaktadır (Şekil 4.5).

Akma değeri beton asfalt kaplamaların trafik yükleri altındaki davranışlarını belirleyen, beton asfaltların plastiklik ve esneklik özelliklerini yansıtan bir değeridir.

Marshall numunelerinin kırıldığı yük deformasyonunu temsil eden akmanın değeri sıkışmış karışımların iç sürtünmesinin bir ölçüsüdür ve akma değeri ile iç sürtünme arasında doğrusal ters bir ilişki vardır. Şartnamelerde belirtilen en yüksek akma değeri, karışımın plastikliğini ve kullanılabilir en yüksek bağlayıcı yüzdesini, en alt değeri ise karışımın gevrekliğini ve dayanıklılığını kontrol eder. Şartnamelerde akmanın 10-20 (1/100 inç 'lik akma 1 birim sayılır) arasında olması istenir [13].

Asfalt çimentosunun karışımlarda % 3.5 olması halinde Marshall stabilite değeri maksimum olmaktadır (Şekil 4.1). Birim ağırlık karışımlarda % 5.2 görülmektedir (Şekil 4.2). Şartnameye uygun olarak, asfaltla dolu boşluk yüzdesini % 80 olarak sağlayan bağlayıcı oranı karışımlarda % 5.9 olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.3). % 4 boşluk oranını (şartnamede belirtilen % 3-5 arasındaki sınır içinde kalan) sağlayan asfalt oranının karışımlarda % 5.14 olduğu görülmektedir (Şekil 4.4). Bu şekilde bulunan dört asfalt oranının ortalaması optimum asfalt çimentosu oranını verecektir.

$$\text{Taş tozu için optimum bağlayıcı oranı:} = \frac{3.5 + 5.2 + 5.9 + 5.14}{4} = 4.9$$

Bu orana karşılık gelen akma değeri Şekil 4.5 'den bakıldığında şartnamede belirtilen değerler arasındadır. Bu şekilde saptanan bağlayıcı oranına göre gerçekleştirilen bir beton asfalt karışımı şartnamelerde aranan özellikleri taşıyacaktır. Asfalt betonu karışımların dizaynında Yollar Fenni Şartnamesi 'nde Çizelge 4.10 'da verilen dizayn kriterleri esas alınmaktadır [19].

Çizelge 4.10 Dizayn Kriterleri [19]

ÖZELLİKLER	AĞIR TRAFİKLİ YOLLAR, OTOYOLLAR, TIRMANMA ŞERİTLERİ	
	AŞINMA	
	Min.	Max.
Briket Yapımında Uygulanacak Darbe Sayısı	75	–
Marshall Stabilesi, kg	900	–
Boşluk, %	3	5
Asfaltla Dolu Boşluk, %	75 <u>65*</u>	85 <u>75*</u>
Akma, mm (10 ⁻² inç)	2 (8)	4 (16)
Filler / Bitüm Oranı	–	1.5
Agregalar Arası Boşluk, (VMA)	<u>14*</u>	–

* KGM 'nin 2002 yılı Aşınma Tabakası Teknik Şartnamesi Değerleri (1986 şartnamesine göre değişen değerler koyu ve altı çizgili olarak yazılmıştır).

4.6.2 Endüstriyel Atık Fillerin Taş Tozu Filler Yerine Kullanılabilirliği

Çalışmalarda kullanılan mermer tozu, uçucu kül ve fosfojips sadece eleme işlemine tabi tutularak No 200 elekten geçen malzeme filler olarak kullanılmıştır. Cam atıkları kırılmış ve ince olan kısmı No 200 elekten elenerek filler olarak kullanılmıştır. Mermer tozu, uçucu kül, fosfojips ve cam tozu atıkların taş tozu filler yerine kullanılabilmesi için taş tozu – endüstriyel atık yüzdeleri Çizelge 4.11 'de verilen değişen filler oranları kullanılmıştır. Bitüm yüzdesi sabit tutularak farklı taş tozu – endüstriyel atık filler oranlarında hazırlanmış karışımlara stabilite ve akma deneyi uygulanmıştır.

Çizelge 4.11 Taş Tozu - Endüstriyel Atık Malzeme Miktarı Filler Yüzde Değerleri

Filler %	Taş tozu %	Atık Madde%
7	7	0
7	5	2
7	4	3
7	3	4
7	2	5
7	0	7

Farklı taş tozu – endüstriyel atık oranlarında hazırlanan toplam % 7 oranındaki filler malzeme tartılarak tepsilere ayrılan 1200 gr 'lık agregaya karışımı 105 °C sıcaklıktaki fırında 4 saat bekletilmiştir. Etüvde ısıtılan optimum bitüm yüzdesindeki bağlayıcı karıştırma kabına boşaltılan agregaya ilave edilerek karışım hazırlanmıştır. Karıştırma işleminden sonra kalıplara yerleştirilen karışım otomatik kompaktör kullanılarak sıkıştırılmıştır (Şekil 4.8). Numunelerin her iki yüzüne, ağır trafikli yollar ve otoyolların tasarımında kullanılan 75 vuruş uygulanmıştır. Sıkıştırmadan sonra 101.6 mm çapında ve 60-65 mm yüksekliğindeki numuneler oda sıcaklığında 24 saat bekletildikten sonra hidrolik numune çıkarıcı kullanılarak kalıplardan çıkarılmıştır. Her bir karışım grubu için (mermer tozu, uçucu kül, fosfojips, cam tozu atıkları ve taş tozu) 3 'er adet numune hazırlanmıştır.

Bu numunelerin bir bölümü açık hava oda sıcaklığında 3 gün süre ile kür edilmiştir. Daha sonra numunelerin ASTM D 2726 'ya göre hacim özgül ağırlıkları belirlenmiştir (Şekil 4.7).

Hacim özgül ağırlıkları belirlenen numuneler 60 °C 'lık su banyosunda 30 dakika bekletildikten sonra, 50.8 mm/da yerdeğiştirme hızına sahip Marshall test aletinde 30 saniye içerisinde test edilmiştir (Şekil 4.9).



Şekil 4.7 Hacim Özgöl Ağırlığın Belirlenmesi için Gerekli Aletler



Şekil 4.8 Marshall Numune Sıkıştırıcısı

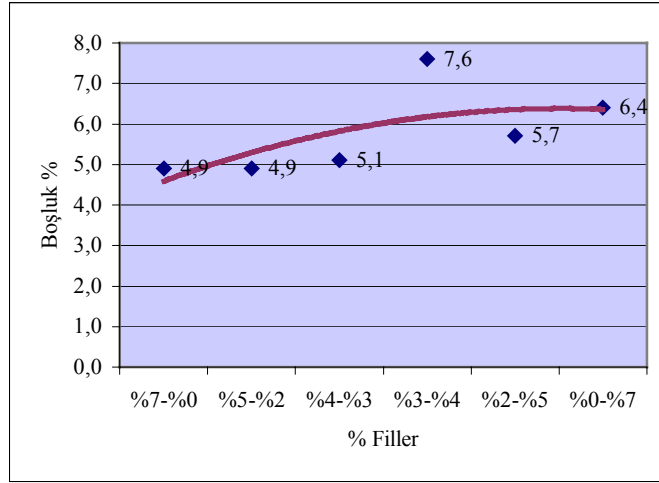


Şekil 4.9 Su Banyosu ve Marshall Deney Aleti

4.6.2.1 Endüstriyel Atık Malzemeler Kullanılarak Yapılan Marshall Stabilite Deney Sonuçları

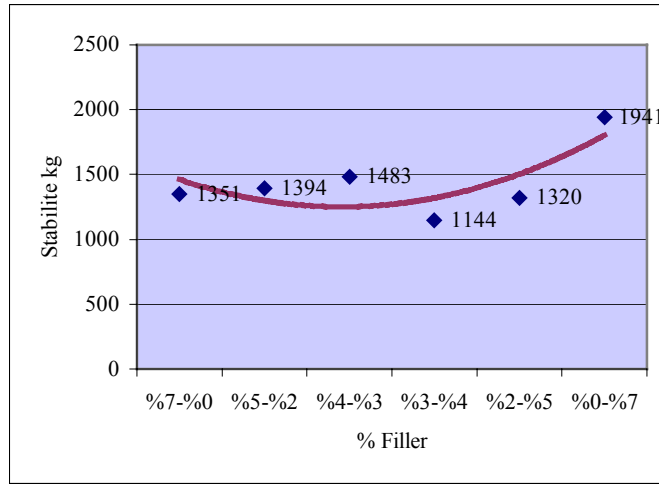
4.6.2.1.1 Mermer Tozu Marshall Stabilite Deney Sonuçları

Mermer tozu atığı ile değişen filler yüzdelerinde yapılan Marshall stabilite deney sonuçlarına göre boşluk, stabilite ve akma değerlerinin değişimi Şekil 4.10, 4.11, 4.12 'de verilmiştir.



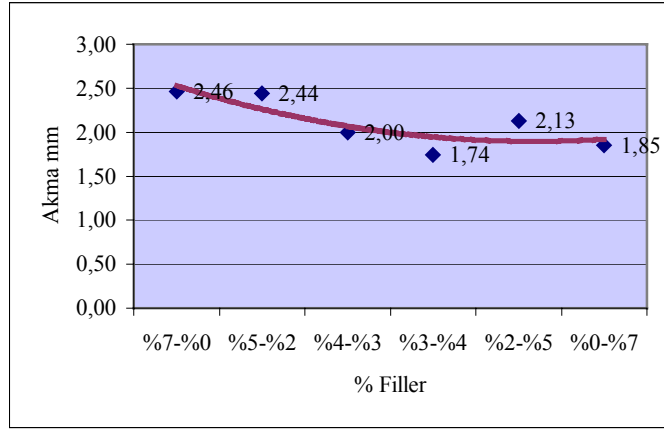
Şekil 4.10 Boşluğun Filler Yüzdesi ile Değişimi

Taş tozu filler yerine mermer tozu filler kullanılarak yapılan Marshall stabilite deney sonuçlarında, mermer tozu filler yüzdeleri arttıkça boşluk değeri artmaktadır.



Şekil 4.11 Marshall Stabilitesinin Filler Yüzdesi ile Değişimi

Taş tozu filler yerine mermer tozu filler kullanılarak yapılan Marshall stabilite deney sonuçlarında, mermer tozu filler yüzdeleri arttıkça stabilite değeri belli bir orana kadar azaldıktan sonra artmaktadır.

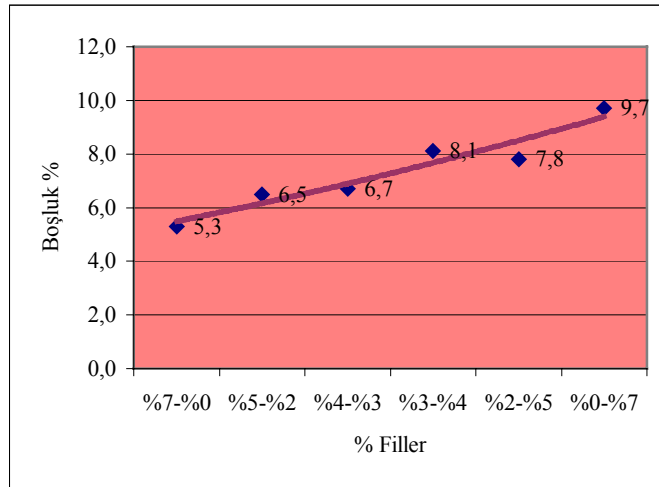


Şekil 4.12 Akmanın Filler Yüzdesi ile Değişimi

Taş tozu filler yerine mermer tozu filler kullanılarak yapılan Marshall stabilite deney sonuçlarında, mermer tozu filler yüzdeleri arttıkça akma değeri azalmaktadır.

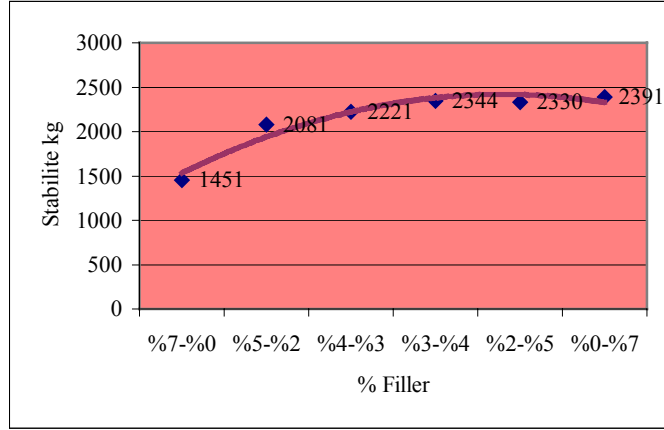
4.6.2.1.2 Uçucu Kül Marshall Stabilite Deney Sonuçları

Uçucu kül atığı ile değişen filler yüzdelerinde yapılan Marshall stabilite deney sonuçlarına göre boşluk, stabilite ve akma değerlerinin değişimi Şekil 4.13, 4.14, 4.15 'de verilmiştir.



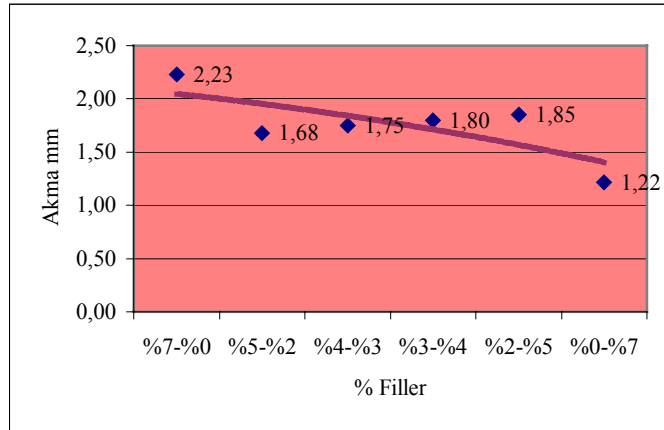
Şekil 4.13 Boşluğun Filler Yüzdesi ile Değişimi

Taş tozu filler yerine uçucu kül filler kullanılarak yapılan Marshall stabilite deney sonuçlarında, uçucu kül filler yüzdeleri arttıkça boşluk değeri artmaktadır.



Şekil 4.14 Marshall Stabilitesinin Filler Yüzdesi ile Değişimi

Taş tozu filler yerine uçucu kül filler kullanılarak yapılan Marshall stabilite deney sonuçlarında, uçucu kül filler yüzdeleri arttıkça stabilite değeri artmaktadır.

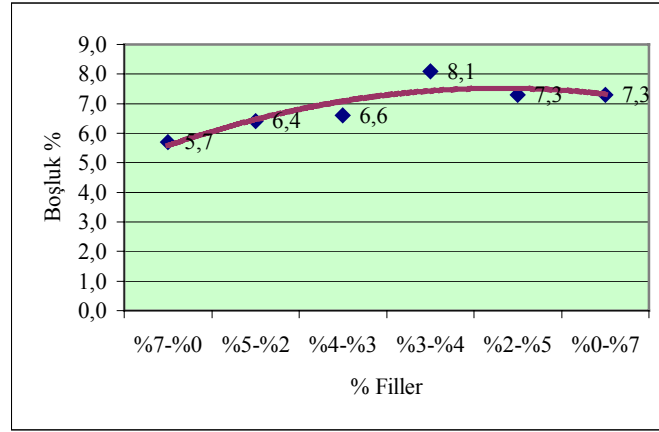


Şekil 4.15 Akmanın Filler Yüzdesi ile Değişimi

Taş tozu filler yerine uçucu kül filler kullanılarak yapılan Marshall stabilite deney sonuçlarında, uçucu kül filler yüzdeleri arttıkça akma değeri azalmaktadır.

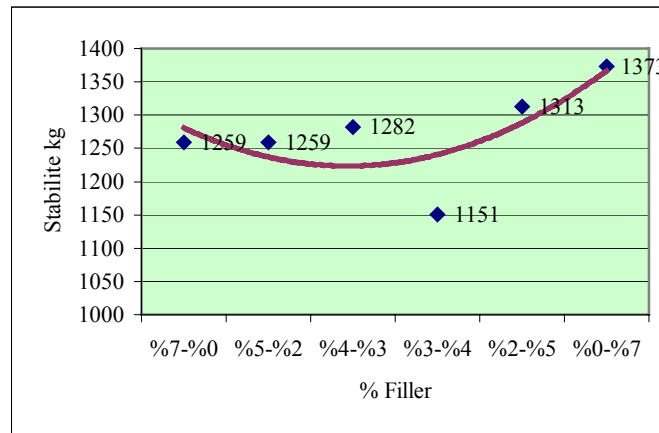
4.6.2.1.3 Fosfojips Marshall Stabilite Deney Sonuçları

Fosfojips atığı ile değişen filler yüzdelерinde yapılan Marshall stabilite deney sonuçlarına göre boşluk, stabilite ve akma değerlerinin değişimi Şekil 4.16, 4.17, 4.18 'de verilmiştir.



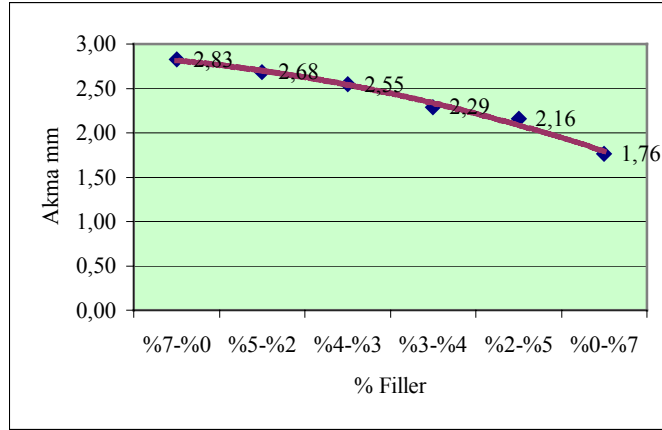
Şekil 4.16 Boşluğun Filler Yüzdesi ile Değişimi

Taş tozu filler yerine fosfojips filler kullanılarak yapılan Marshall stabilite deney sonuçlarında, fosfojips filler yüzdeleri arttıkça boşluk değeri belli bir değere kadar arttıktan sonra azalmaktadır.



Şekil 4.17 Marshall Stabilitesinin Filler Yüzdesi ile Değişimi

Taş tozu filler yerine fosfojips filler kullanılarak yapılan Marshall stabilite deney sonuçlarında, fosfojips filler yüzdeleri arttıkça stabilite değeri belli bir değere kadar azaldıktan sonra artmaktadır.

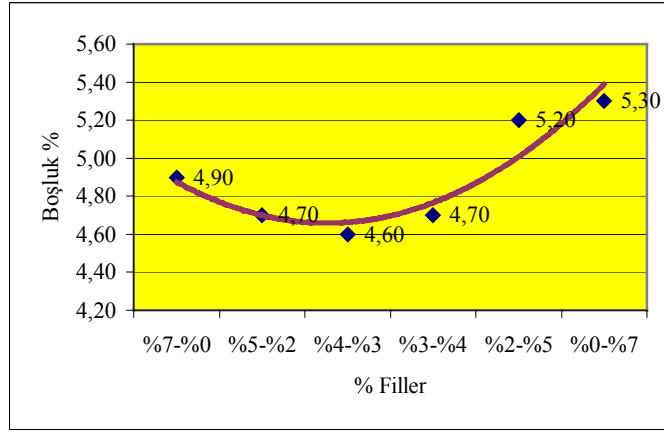


Şekil 4.18 Akmanın Filler Yüzdesi ile Değişimi

Taş tozu filler yerine fosfojips filler kullanılarak yapılan Marshall stabilite deney sonuçlarında, fosfojips filler yüzdeleri arttıkça akma değeri azalmaktadır.

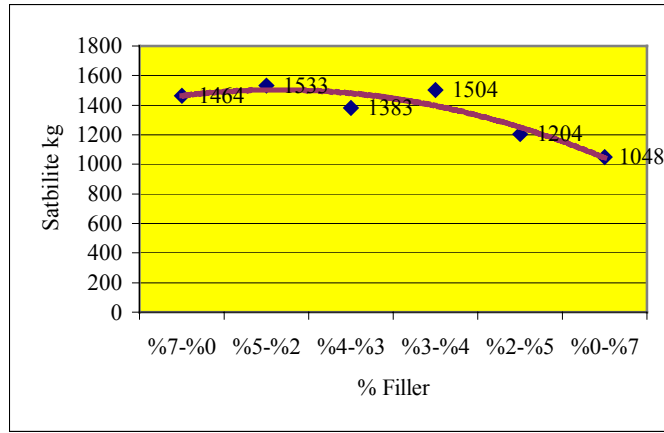
4.6.2.1.4 Cam Tozu Marshall Stabilite Deney Sonuçları

Cam tozu atığı ile değişen filler yüzdelerinde yapılan Marshall stabilite deney sonuçlarına göre boşluk, stabilite ve akma değerlerinin değişimi Şekil 4.19, 4.20, 4.21 'de verilmiştir.



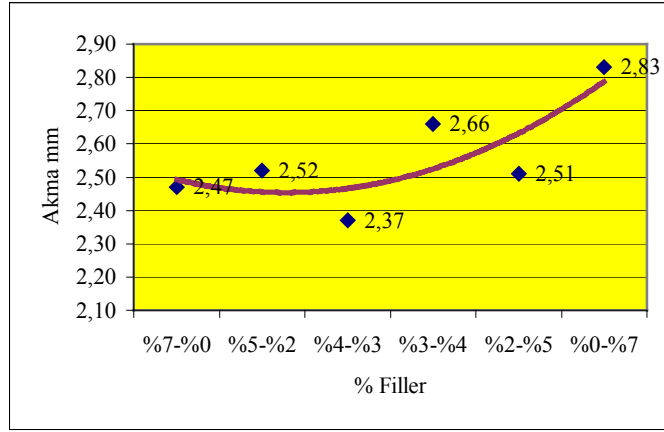
Şekil 4.19 Boşluğun Filler Yüzdesi ile Değişimi

Taş tozu filler yerine cam tozu filler kullanılarak yapılan Marshall stabilite deney sonuçlarında, cam tozu filler yüzdeleri arttıkça boşluk değeri belli bir orana kadar azaldıktan sonra artmaktadır.



Şekil 4.20 Marshall Stabilitesinin Filler Yüzdesi ile Değişimi

Taş tozu filler yerine cam tozu filler kullanılarak yapılan Marshall stabilite deney sonuçlarında, cam tozu filler yüzdeleri arttıkça stabilite değeri belli bir orana kadar arttıktan sonra azalmaktadır.



Şekil 4.21 Akmanın Filler Yüzdesi ile Değişimi

Taş tozu filler yerine cam tozu filler kullanılarak yapılan Marshall stabilite deney sonuçlarında, cam tozu filler yüzdeleri arttıkça akma değeri belli bir orana kadar azaldıktan sonra artmaktadır.

Mermer tozu, uçucu kül, fosfojips ve cam tozu Marshall stabilite sonuç değerleri toplu halde Çizelge 4.12 'de verilmiştir.

Çizelge 4.12 Değişen Filler Yüzdelerine Göre Endüstriyel Atık Maddelerin
Marshall Stabilite Sonuç Değerleri

Endüstriyel Atıklar		Filler Yüzdesi (% taş tozu - % endüstriyel atık)					
		%7-%0	%5-%2	%4-%3	%3-%4	%2-%5	%0-%7
Mermer Tozu	Pr.Öz.Ağ.gr/cm ³	2.386	2.386	2.381	2.317	2.367	2.347
	Boşluk %	4.9	4.9	5.1	7.6	5.7	6.4
	VMA %	15.2	15.2	15.4	17.7	15.9	16.6
	Asf. Dol. Boş. %	67.8	67.9	66.9	56.7	64.4	61.2
	Stabilite kg	1351	1394	1483	1144	1320	1941
	Akma mm	2.46	2.44	2.00	1.74	2.13	1.85
Uçucu Kül	Pr.Öz.Ağ.gr/cm ³	2.376	2.346	2.342	2.305	2.314	2.265
	Boşluk %	5.3	6.5	6.7	8.1	7.8	9.7
	VMA %	15.6	16.6	16.8	18.1	17.8	19.5
	Asf. Dol. Boş. %	66.1	61.1	60.4	55.1	56.3	50.2
	Stabilite kg	1451	2081	2221	2344	2330	2391
	Akma mm	2.23	1.68	1.75	1.80	1.85	1.22
Fosfojips	Pr.Öz.Ağ.gr/cm ³	2.366	2.348	2.344	2.306	2.326	2.326
	Boşluk %	5.7	6.4	6.6	8.1	7.3	7.3
	VMA %	15.9	16.6	16.7	18.1	17.4	17.3
	Asf. Dol. Boş. %	64.3	61.4	60.7	55.2	58.0	58.1
	Stabilite kg	1259	1259	1282	1151	1313	1373
	Akma mm	2.83	2.68	2.55	2.29	2.16	1.76
Cam Tozu	Pr.Öz.Ağ.gr/cm ³	2.386	2.392	2.393	2.390	2.378	2.375
	Boşluk %	4.9	4.7	4.6	4.7	5.2	5.3
	VMA %	15.2	15.0	15.0	15.1	15.5	15.6
	Asf. Dol. Boş. %	67.9	69.0	69.2	68.6	66.4	65.9
	Stabilite kg	1464	1533	1383	1504	1204	1048
	Akma mm	2.47	2.52	2.37	2.66	2.51	2.83

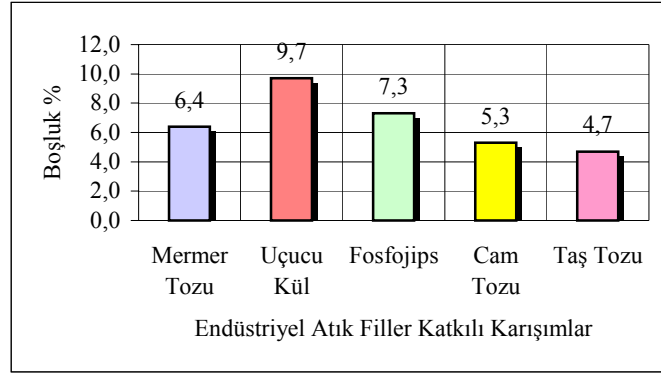
Deney sonuçlarına göre, genel olarak farklı taş tozu ve endüstriyel atık filler yüzdeleri ile hazırlanan bitümlü karışımlardan Marshall stabilite değerleri şartname limitlerine yakın değerler almıştır. Sonuçların değerlendirilmeleri boşluk, stabilite ve akma değerleri ile yapılmıştır.

Boşluk oranları, mermer tozu, uçucu kül, fosfojips ve cam tozu atıkları filler yüzdeleri arttıkça artmaktadır. Stabilite değerleri, uçucu kül ve fosfojips atıkları filler yüzdeleri arttıkça artmaktadır. Cam tozu atığı stabilite değeri filler yüzdesi arttıkça azalmaktadır. Mermer tozu atığı stabilite değerini % 7 taş tozu - % 0 endüstriyel atık ve % 4 taş tozu - % 3 endüstriyel atık filler yüzdeleri aralığında arttırmakta, % 3 taş tozu - % 4 endüstriyel atık ve % 2 taş tozu - % 5 endüstriyel atık filler yüzdelerinde azalmaktadır. Tamamı mermer tozu filler yüzdesinde ise stabilite değeri oldukça yüksek bir değer almıştır. Mermer tozu, uçucu kül ve fosfojips atıkları filler yüzdesi arttıkça akma değerleri azalmakta, cam tozu atığı akma değeri ise filler yüzdesi arttıkça artmaktadır.

1. Aşama deney sonuçlarında, % 7 taş tozu yerine kullanılan endüstriyel atık fillerlerden şartnameye en uygun en yakın değerler % 4 taş tozu - % 3 endüstriyel atık filler ve % 3 taş tozu - % 4 endüstriyel atık filler yüzdelerinde karşımıza çıkmaktadır. Su etkisiyle oluşan kohezyon kaybını belirlemek amacıyla yapılan 2. Aşama deneylerde % 0 taş tozu - % 7 endüstriyel atık filler yüzdesi kullanılarak en elverişsiz durumdaki stabilite ve akma değerleri incelenmiştir.

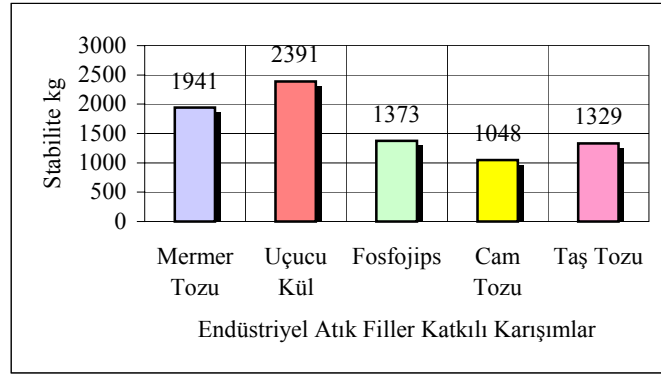
% 0 Taş Tozu - % 7 Endüstriyel Atık Filler Kullanılarak Yapılan Marshall Stabilite Deneyi Boşluk, Stabilite ve Akma Değerlerinin Değişimi

% 0 taş tozu - % 7 endüstriyel atık filler kullanılarak yapılan Marshall stabilite deney sonuçları Şekil 4.22, 4.23, 4.24 'de verilmiştir.



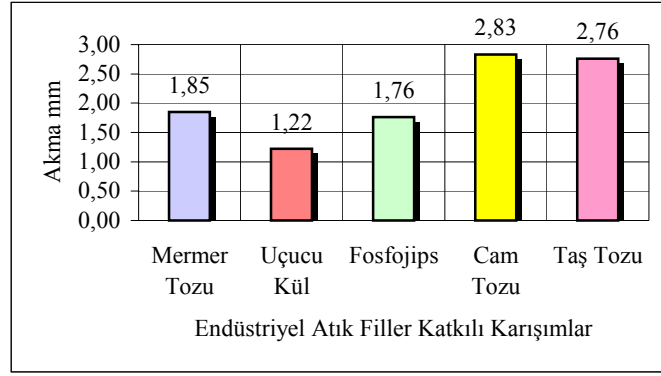
Şekil 4.22 Endüstriyel Atık Filler Katkılı Karışımlarda Boşluk Değerleri

Endüstriyel atık filler kullanılarak hazırlanan Marshall stabilite deney sonucunda en yüksek boşluk değeri uçucu kül fillerde görülmektedir. Fosfojips ve mermer tozu filler boşluk değerleri birbirine yakın ve uçucu kül fillerden oldukça düşüktür. Taş tozu filler boşluk değerine en yakın değeri cam tozu filler boşluk değeri vermiştir.



Şekil 4.23 Endüstriyel Atık Filler Katkılı Karışımlarda Marshall Stabilite Değerleri

Stabilite değerleri olarak en iyi sonucu uçucu kül ve mermer tozu filler değerleri vermiştir. Uçucu kül ve mermer tozu fillerler taş tozu fillerden oldukça yüksek bir stabiliteye sahiptirler. Fosfojips filler stabilite değeri ise taş tozu filler stabilite değerine yakın değer vermiştir. Endüstriyel atık fillerler arasında en düşük stabiliteyi cam tozu değerleri vermiş olmasına rağmen, cam tozu stabilite değerleri de şartname limitlerinin üzerinde sonuç vermiştir.



Şekil 4.24 Endüstriyel Atık Filler Katkılı Karışımlarda Akma Değerleri

Uçucu kül filler akma değerleri şartname limitlerinden çok düşük bir değere sahiptir. Cam tozu filler en yüksek akmaya sahiptir. Mermer tozu ve fosfojips fillerlerde akma değerleri şartname limitlerinden düşük ama şartname limitlerine oldukça yakın bir değere sahiptir.

4.6.3 Suyun Sıkıştırılmış Bitümlü Karışımların Kohezyonuna Etkisi (Koşullandırılmış Marshall Stabilitate Deneyi)

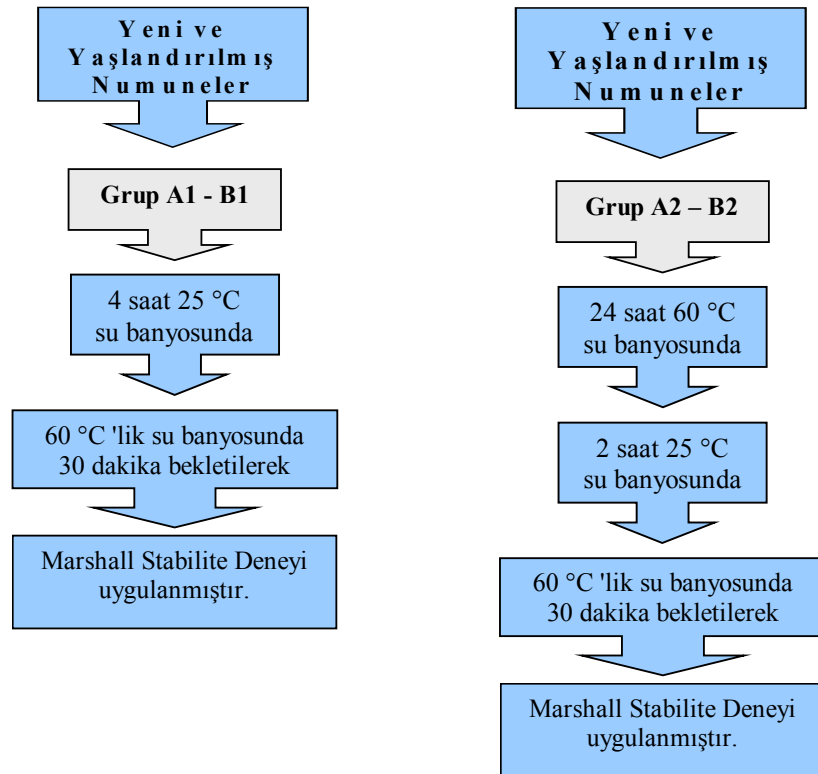
% 0 taş tozu - % 7 endüstriyel atık filler kullanılarak hazırlanan YFŞ Tip 2 gradasyonundaki 1200 gr 'lık agrega karışımı 105 °C sıcaklıktaki fırında 4 saat bekletilmiştir. Etüvde ısıtılan optimum bitüm yüzdesindeki bağlayıcı karıştırma kabına boşaltılan agregaya ilave edilerek karışım hazırlanmıştır. Karıştırma işleminden sonra kalıplara yerleştirilen karışım otomatik kompaktör kullanılarak sıkıştırılmıştır. Numunelerin her iki yüzüne, ağır trafikli yollar ve otoyolların tasarımında kullanılan 75 vuruş uygulanmıştır. Sıkıştırmadan sonra 101.6 mm çapında ve 60-65 mm yüksekliğindeki numuneler oda sıcaklığında 24 saat bekletildikten sonra hidrolik numune çıkarıcı kullanılarak kalıplardan çıkarılmıştır. Her bir karışım grubu için (taş tozu, mermer tozu, uçucu kül, fosfojips, cam tozu atıkları) 3 'er adet numune hazırlanmıştır. Bu numuneler normal şartlarda 90 gün süre ile bekletilerek kür edilen numuneler (yaşlandırılmış numuneler) ve normal şartlarda 3 gün süre kür edilen numuneler (yeni numuneler) olmak üzere iki gruba ayrılmışlardır. Yeni numuneler A, yaşlandırılmış numuneler B olarak gruplandırılmıştır. Numunelerin ASTM D 2726 'ya göre hacim özgül ağırlıkları

belirlenmiştir. A ve B grubu olarak gruplandırılan numunelere suyun sıkıştırılmış bitümlü karışımların kohezyonuna etkisinin belirlenmesi amacıyla kür şartları uygulanmıştır.

Grup A yeni numuneleri Grup A1 ve Grup A2 olarak ayrılmıştır. Grup A1 numuneleri oda sıcaklığında su banyosunda 4 saat 25 ± 1 °C 'lik deney sıcaklığına getirilerek kür edilmiştir. Grup A2 numuneleri ise 24 saat 60 ± 1 °C 'lik su banyosunda bekledikten sonra 2 saat 25 ± 1 °C 'lik su banyosunda bekletilmiştir.

Grup B yaşlandırılmış numuneleri Grup B1 ve Grup B2 olarak ayrılmıştır. Grup B1 numuneleri oda sıcaklığında su banyosunda 4 saat 25 ± 1 °C 'lik deney sıcaklığına getirilerek kür edilmiştir. Grup B2 numuneleri ise 24 saat 60 ± 1 °C 'lik su banyosunda bekledikten sonra 2 saat 25 ± 1 °C 'lik su banyosunda bekletilmiştir.

Kür şartları ve Marshall stabilite deney şeması aşağıda Şekil 4.25 'de verilmiştir.

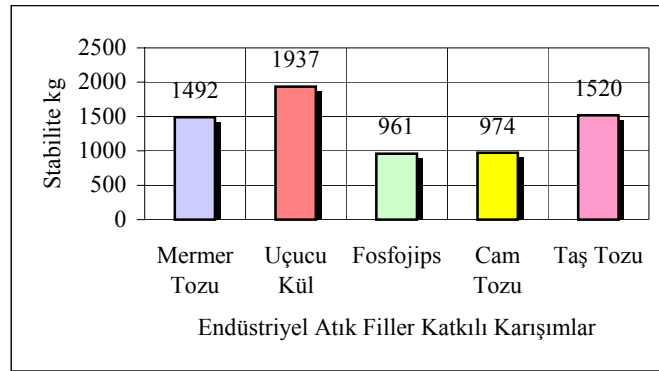


Şekil 4.25 Kür Şartları ve Marshall Stabilite Deney Şeması

Suyun kohezyonuna etkisinin belirlenmesi amacıyla uygulanan kr şartlarından sonra numuneler 60 °C 'lik su banyosunda 30 dakika bekletildikten sonra, 50.8 mm'da yerdeğiştirme hızına sahip Marshall test aletinde 30 saniye içerisinde test edilerek stabilite ve akma değerlerinin değişimi incelenmiştir.

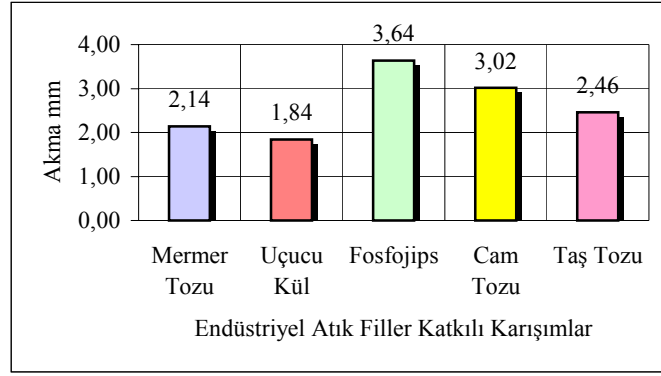
4.6.3.1 Grup A1 Numuneleri Koşullandırılmış Marshall Stabilite Deney Sonuçları

Grup A1 numuneleri; normal şartlarda 3 gün süre ile kr edilen (yeni numuneler) numunelerin oda sıcaklığında su banyosunda 4 saat 25 ± 1 °C 'lik deney sıcaklığına getirilerek kr edilmeleri sonucu oluşturulmuştur. Kr şartlarından sonra numunelere Marshall stabilite deneyi uygulanarak stabilite ve akma değerleri elde edilmiştir. Deney sonuçları Şekil 4.26 ve 4.27 'de verilmiştir.



Şekil 4.26 Endüstriyel Atık Filler Katkılı Karışımlarda Marshall Stabilite Değerleri

Grup A1 numuneleri koşullandırılmış Marshall stabilite deney sonuçlarında en yüksek stabiliteyi uçucu kül ve mermer tozu filler değerleri vermiştir. Fosfojips ve cam tozu filler stabilite değerleri ise Şartname limitlerinin üzerinde çıkmasına rağmen taş tozu filler değerinden düşük bir sonuç vermiştir.

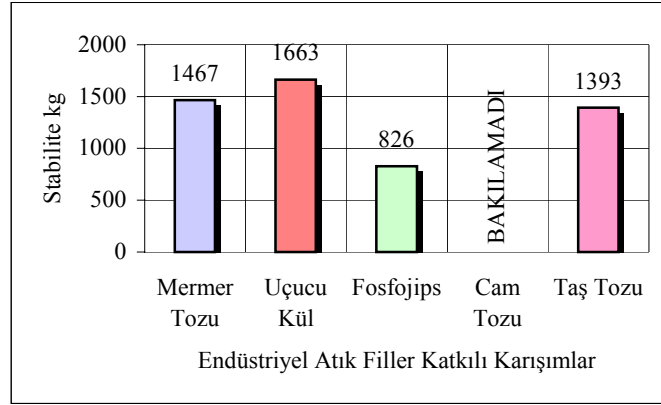


Şekil 4.27 Endüstriyel Atık Filler Katkılı Karışımlarda Akma Değerleri

Grup A1 numuneleri koşullandırılmış Marshall stabilite deney sonuçlarında fosfojips ve cam tozu filler akma değerleri taş tozundan oldukça yüksek değer vermiştir. En düşük akma değeri sonucunu uçucu kül filler değeri vermiştir. Mermer tozu filler akma değerleri ise şartname limitleri arasındadır.

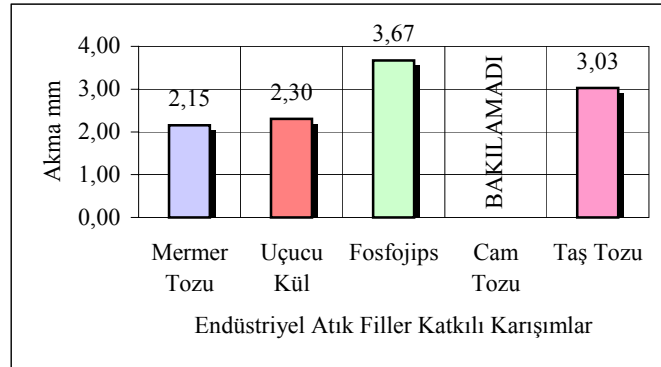
4.6.3.2 Grup A2 Numuneleri Koşullandırılmış Marshall Stabilite Deney Sonuçları

Grup A2 numuneleri; normal şartlarda 3 gün süre ile kür edilen (yeni numuneler) numunelerin 24 saat 60 ± 1 °C 'lik su banyosunda bekledikten sonra 2 saat 25 ± 1 °C 'lik su banyosunda bekletilerek kür edilmeleri sonucu oluşturulmuştur. Kür şartlarından sonra numunelere Marshall stabilite deneyi uygulanarak stabilite ve akma değerleri elde edilmiştir. Deney sonuçları Şekil 4.28 ve 4.29 'da verilmiştir.



Şekil 4.28 Endüstriyel Atık Filler Katkılı Karışımlarda Marshall Stabilite Değerleri

Grup A2 numuneleri koşullandırılmış Marshall stabilite deney sonuçlarında uçucu kül ve mermer tozu filler stabilite değerleri taş tozu filler stabilite değerinden yüksek değer vermiştir. Fosfojips filler stabilite değeri ise şartname limiti olan 900 kg Marshall stabilite değerine yakındır (Çizelge 4. Dizayn Kriteri). Cam tozu filler stabilite değeri sonuçlarına bakılamamıştır.

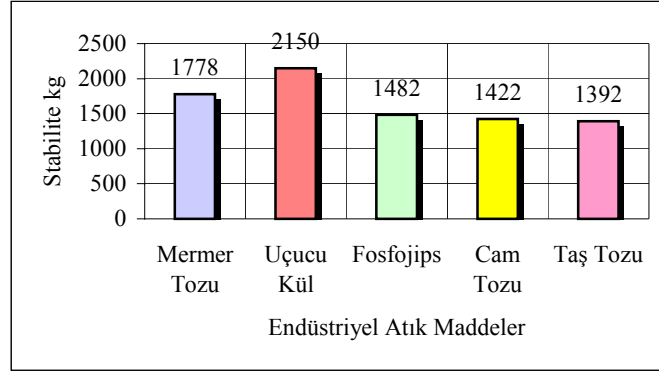


Şekil 4.29 Endüstriyel Atık Filler Katkılı Karışımlarda Akma Değerleri

Grup A2 numuneleri koşullandırılmış Marshall stabilite deney sonuçlarında uçucu kül ve mermer tozu filler akma değerleri taş tozu filler akma değerine yakın sonuç vermiştir. Fosfojips filler akma değerleri ise taş tozu filler akma değerinden yüksek çıkmıştır. Cam tozu filler akma değeri sonuçlarına bakılamamıştır.

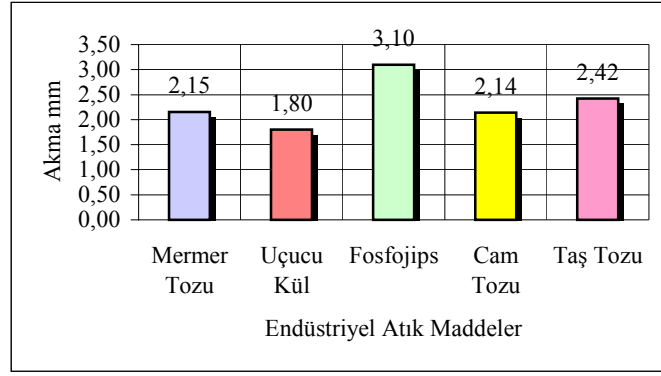
4.6.3.3 Grup B1 Numuneleri Koşullandırılmış Marshall Stabilite Deney Sonuçları

Grup B1 numuneleri; normal şartlarda 90 gün süre ile bekletilerek kür edilen (yaşlandırılmış numuneler) numunelerin oda sıcaklığında su banyosunda 4 saat 25 ± 1 °C 'lik deney sıcaklığına getirilerek kür edilmeleri sonucu oluşturulmuştur. Kür şartlarından sonra numunelere Marshall stabilite deneyi uygulanarak stabilite ve akma değerleri elde edilmiştir. Deney sonuçları Şekil 4.30 ve 4.31 'de verilmiştir.



Şekil 4.30 Endüstriyel Atık Filler Katkılı Karışımlarda Marshall Stabilite Değerleri

Grup B1 numuneleri koşullandırılmış Marshall stabilite deney sonuçlarında uçucu kül, mermer tozu filler stabilite değerleri taş tozu filler stabilite değerinden oldukça yüksek çıkmıştır. Fosfojips ve cam tozu filler stabilite sonuç değerleri ise taş tozu filler değerine yakın ve taş tozu fillerden yüksek çıkmıştır.

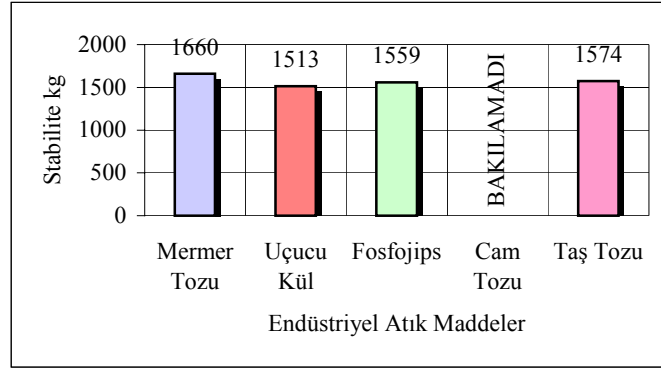


Şekil 4.31 Endüstriyel Atık Filler Katkılı Karışımlarda Akma Değerleri

Grup B1 numuneleri koşullandırılmış Marshall stabilite deney sonuçlarında fosfojips filler akma değeri taş tozu filler akma değerinden yüksek çıkmıştır. Mermer tozu ve cam tozu filler akma değerleri taş tozu filler akma değerine yakındır. Uçucu kül filler akma değeri ise düşük, ancak şartname limitlerine yakın sonuç vermiştir.

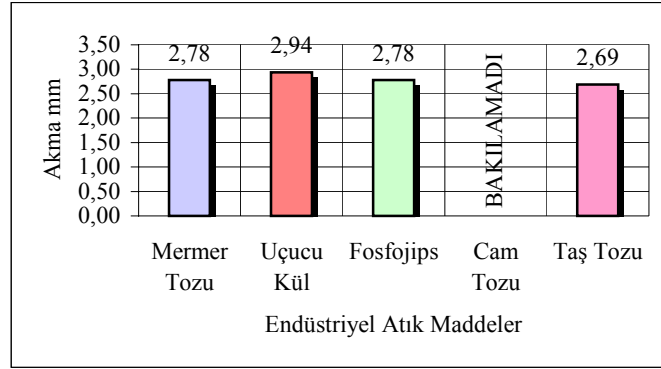
4.6.3.4 Grup B2 Numuneleri Koşullandırılmış Marshall Stabilite Deney Sonuçları

Grup B2 numuneleri; normal şartlarda 90 gün süre ile bekletilerek kür edilen (yaşlandırılmış numuneler) numunelerin 24 saat 60 ± 1 °C 'lik su banyosunda bekledikten sonra 2 saat 25 ± 1 °C 'lik su banyosunda bekletilerek kür edilmeleri sonucu oluşturulmuştur. Kür şartlarından sonra numunelere Marshall stabilite deneyi uygulanarak stabilite ve akma değerleri elde edilmiştir. Deney sonuçları Şekil 4.32 ve 4.33 'de verilmiştir.



Şekil 4.32 Endüstriyel Atık Filler Katkılı Karışımlarda Marshall Stabilite Değerleri

Grup B2 numuneleri koşullandırılmış Marshall stabilite deney sonuçlarında en yüksek stabiliteyi mermer tozu filler değeri vermiştir. Diğer atık maddelerin stabilite değerleri taş tozu filler stabilite değerine yakın sonuç vermişlerdir. Cam tozu filler stabilite değerlerine bakılamamıştır.

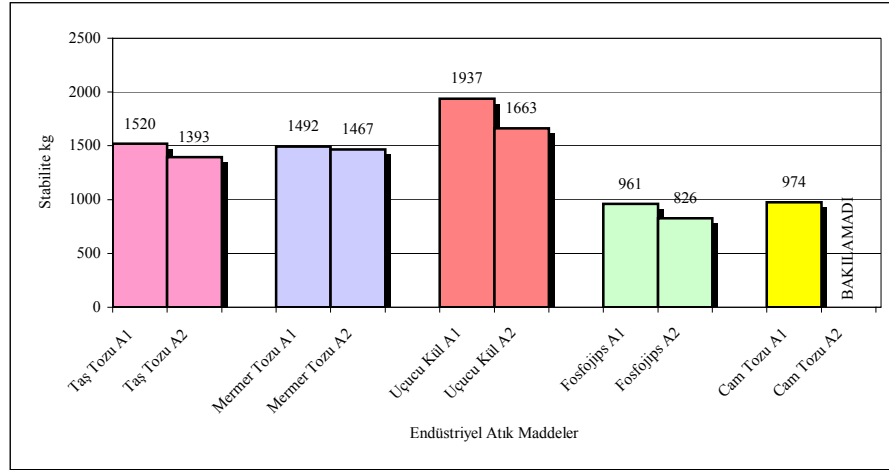


Şekil 4.33 Endüstriyel Atık Filler Katkılı Karışımlarda Akma Değerleri

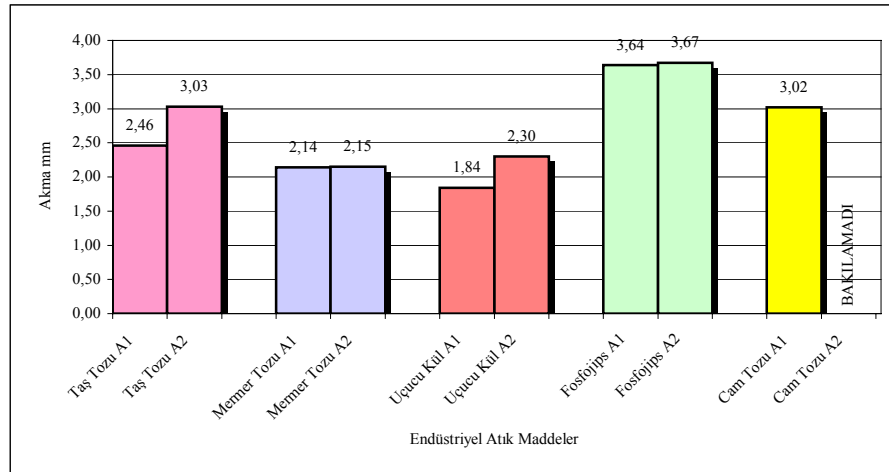
Grup B2 numuneleri koşullandırılmış Marshall stabilite deney sonuçlarında atık maddelerin hepsi akma değeri bakımından taş tozu filler yakın ve şartname limit değerlerinin üzerinde sonuç vermişlerdir. Cam tozu filler akma değerlerine ise bakılamamıştır.

4.6.3.5 Koşullandırılmış Numunelerin Marshall Stabilite Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

- 4 saatlik ve 24 saatlik kür şartları uygulanarak hazırlanan A grubu yeni numunelerin Marshall stabilite ve akma deney sonuçları Şekil 4.34 ve 4.35 'de verilmiştir.



Şekil 4.34 Grup A1 ve A2 Numunelerinin Stabilite Değerlerindeki Değişim

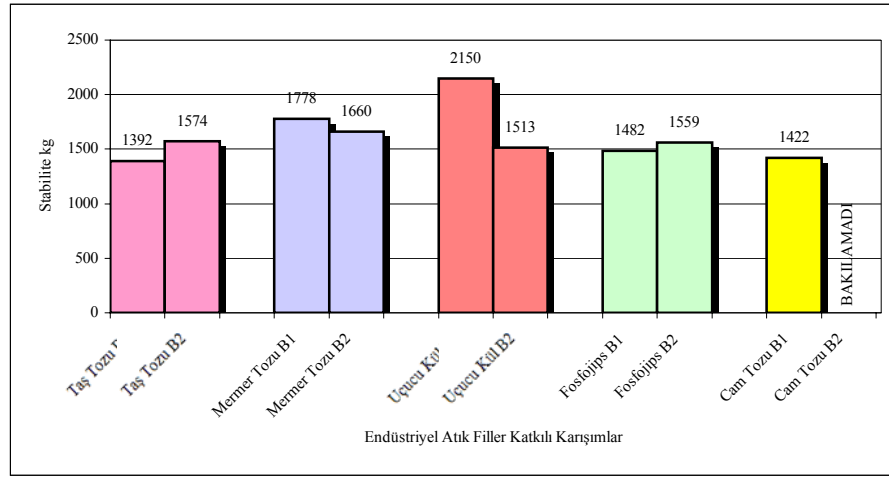


Şekil 4.35 Grup A1 ve A2 Numunelerinin Akma Değerlerindeki Değişim

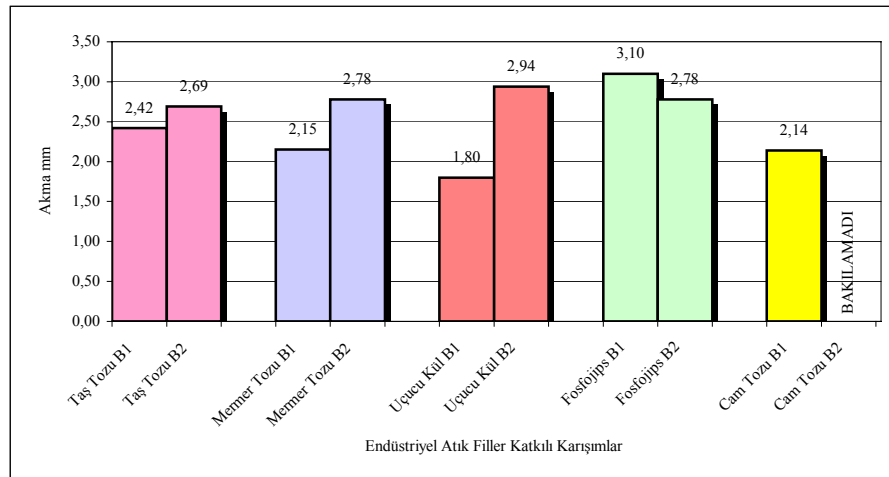
Cam tozu fillerin 4 saatlik kür şartlarında stabilite ve akma değeri sonuçları şartname limitlerini sağlamıştır. Cam tozu fillerin 24 saatlik kür şartlarında stabilite ve akma değerlerine bakılamamıştır. Mermer tozu, uçucu kül, fosfojiips ve taş tozu

filler numunelerinin stabilite değerlerinde 4 saatlik kr Şartlarına göre 24 saatlik kr Şartları değerlerinde azalma, akma değerlerinde ise artma grlmŐtir.

- **4 saatlik ve 24 saatlik kr Şartları uygulanarak hazırlanan B grubu yaşlandırılmış numunelerin Marshall stabilite ve akma deney sonuĥları Şekil 4.36 ve 4.37 'de verilmiştir.**



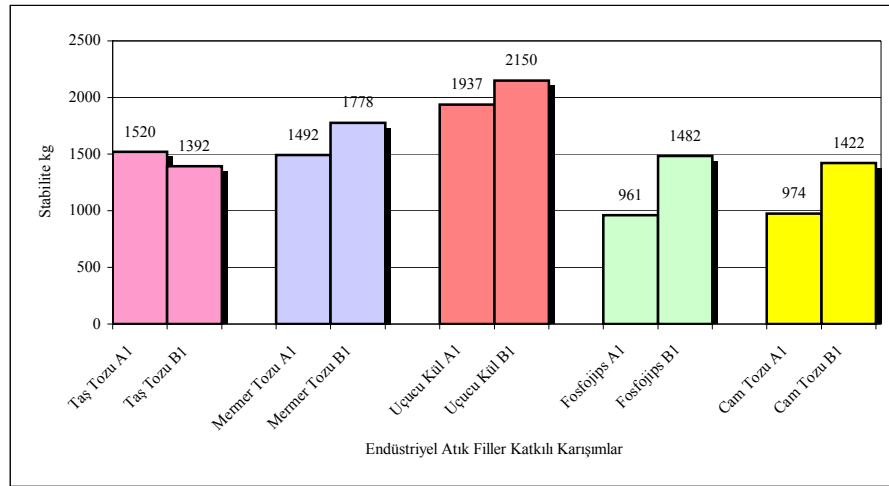
Şekil 4.36 Grup B1 ve B2 Numunelerinin Stabilite Değerlerindeki Değişim



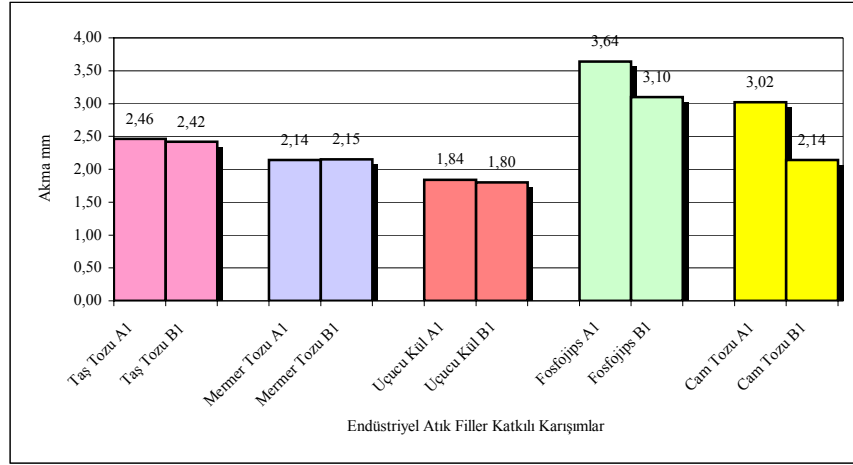
Şekil 4.37 Grup B1 ve B2 Numunelerinin Akma Değerlerindeki Değişim

Cam tozu fillerin 4 saatlik kür şartlarında stabilite ve akma değeri sonuçları şartname limitlerini sağlamıştır. Cam tozu fillerin 24 saatlik kür şartlarında stabilite ve akma değerlerine bakılamamıştır. Taş tozu ve fosfojips filler stabilite değerlerinde 4 saatlik kür şartlarına göre 24 saatlik kür şartları stabilite değerlerinde artma, mermer tozu ve uçucu kül filler stabilite değerlerinde ise azalma görülmüştür. Fosfojips filler dışında diğer endüstriyel atık ve taş tozu filler numunelerinin akma değerlerinde 4 saatlik kür şartlarına göre 24 saatlik kür şartları değerlerinde artma görülmüştür.

- **4 saatlik kür şartları uygulanarak hazırlanan A grubu yeni ve B grubu yaşlandırılmış numunelerin Marshall stabilite ve akma deney sonuçları Şekil 4.38 ve 4.39 'da verilmiştir.**



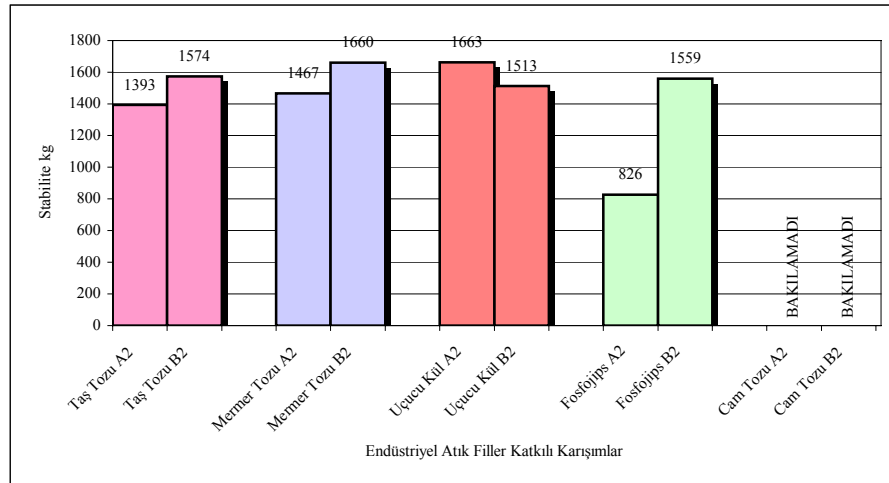
Şekil 4.38 Grup A1 ve B1 Numunelerinin Stabilite Değerlerindeki Değişim



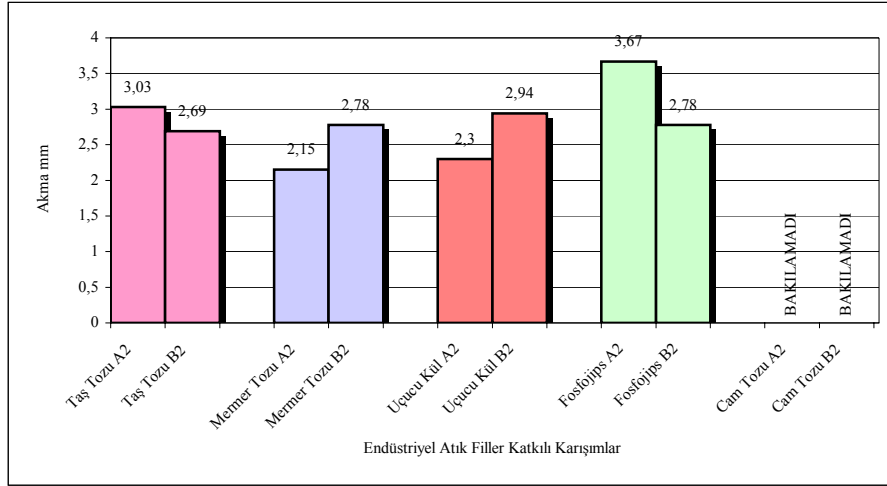
Şekil 4.39 Grup A1 ve B1 Numunelerinin Akma Değerlerindeki Değişim

Taş tozu filler dışında diğer endüstriyel atık filler numunelerinin stabilite değerlerinde yeni numunelere göre yaşlandırılmış numunelerin stabilite değerlerinde artma görülmüştür. Akma değerlerinde ise azalma görülmüştür.

- **24 saatlik kür şartları uygulanarak hazırlanan A grubu yeni ve B grubu yaşlandırılmış numunelerin Marshall stabilite ve akma deney sonuçları Şekil 4.40 ve 4.41 'de verilmiştir.**



Şekil 4.40 Grup A2 ve B2 Numunelerinin Stabilite Değerlerindeki Değişim



Şekil 4.41 Grup A2 ve B2 Numunelerinin Akma Değerlerindeki Değişim

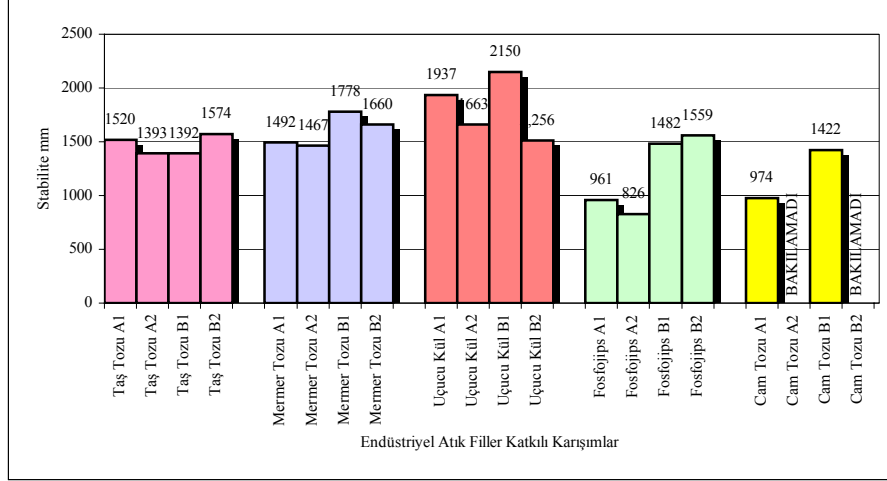
Cam tozu filler 24 saatlik kür şartları uygulanmış yeni ve yaşlandırılmış numunelerin stabilite ve akma değerlerine bakılamamıştır. Taş tozu, mermer tozu ve fosfojips filler stabilite değerlerinde artma görülmüştür. Uçucu kül filler stabilite değerinde ise azalma görülmüştür. Mermer tozu ve uçucu kül filler akma değerlerinde artma, fosfojips ve taş tozu fillerde ise azalma görülmüştür.

Koşullandırılmış Marshall stabilite deney sonuç değerleri toplu halde Çizelge 4.13 'de verilmiştir.

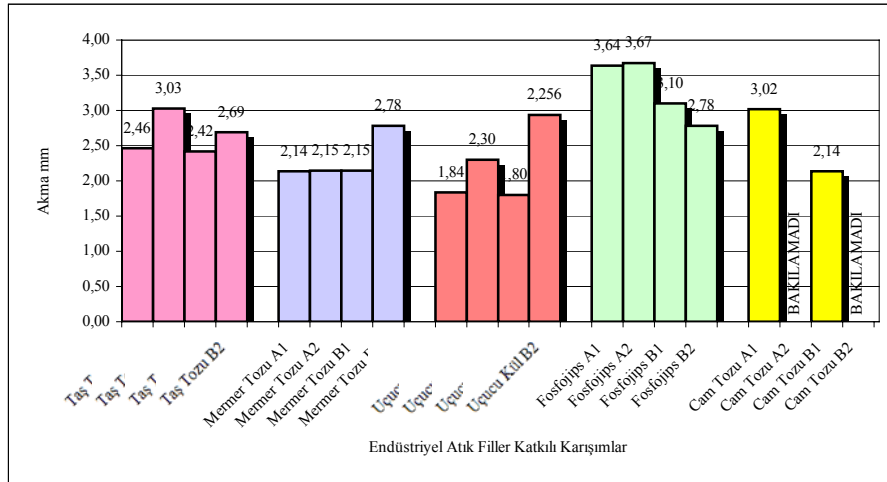
Çizelge 4.13 Koşullandırılmış Marshall Stabilite Deney Sonuçları

Endüstriyel Atıklar		Koşullandırılmış Numuneler			
		Grup A1	Grup A2	Grup B1	Grup B2
Taş Tozu	Pr.Öz.Ağ.gr/cm ³	2.376	2.371	2.325	2.389
	Boşluk %	5.3	5.5	7.3	4.8
	VMA %	15.6	15.8	17.4	15.1
	Asf. Dol. Boş. %	66.1	65.2	57.9	68.5
	Stabilite kg	1520	1393	1392	1574
	Akma mm	2.46	3.03	2.42	2.69
Mermer Tozu	Pr.Öz.Ağ.gr/cm ³	2.339	2.342	2.346	2.368
	Boşluk %	6.8	6.6	6.5	5.6
	VMA %	16.9	16.8	16.7	15.9
	Asf. Dol. Boş. %	60.0	60.5	61.0	64.6
	Stabilite kg	1492	1467	1778	1660
	Akma mm	2.14	2.15	2.15	2.78
Uçucu Kül	Pr.Öz.Ağ.gr/cm ³	2.269	2.315	2.281	2.256
	Boşluk %	9.6	7.7	9.1	10.1
	VMA %	19.4	17.8	18.9	19.8
	Asf. Dol. Boş. %	50.7	56.4	52.2	49.2
	Stabilite kg	1937	1663	2150	1513
	Akma mm	1.84	2.30	1.80	2.94
Fosfojips	Pr.Öz.Ağ.gr/cm ³	2.328	2.331	2.336	2.344
	Boşluk %	7.2	7.1	6.9	6.6
	VMA %	17.3	17.2	17.0	16.7
	Asf. Dol. Boş. %	58.3	58.8	59.5	60.7
	Stabilite kg	961	826	1482	1559
	Akma mm	3.64	3.67	3.10	2.78
Cam Tozu	Pr.Öz.Ağ.gr/cm ³	2.341	2.373	2.357	2.372
	Boşluk %	6.7	5.4	6.1	5.4
	VMA %	16.8	15.7	16.3	15.7
	Asf. Dol. Boş. %	60.3	65.5	62.8	65.4
	Stabilite kg	974	0	1422	0
	Akma mm	3.02	0.00	2.14	0.00

- A grubu yeni ve B grubu yaşlandırılmış numunelerin 4 saatlik ve 24 saatlik kür şartlarındaki Marshall stabilite ve akma değerlerindeki değişim Şekil 4.42 ve 4.43 'de gösterilmiştir.



Şekil 4.42 Grup A1-A2-B1-B2 Numunelerinin Stabilite Değerlerindeki Değişim



Şekil 4.43 Grup A1-A2-B1-B2 Numunelerinin Akma Değerlerindeki Değişim

Asfalt betonu mermer tozu, uçucu kül, fosfojips ve cam tozu endüstriyel atık filler kullanılarak hazırlanan karışımlarda yeni ve yaşlandırılmış numuneler 4 saatlik ve 24 saatlik kür şartları koşullandırılmış Marshall stabilite deney sonuçları (cam tozu filler 24 saatlik kür şartları dışında) Çizelge 4.10 'da verilen dizayn kriterlerini sağlamaktadır.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Aynı gradasyon ve optimum bitüm muhtevsındaki, agrega içerisinde doğal filler ile doğal filler yerine endüstriyel atık maddeler kullanılarak hazırlanan numunelere Marshall stabilite ve koşullandırılmış Marshall stabilite deneyleri uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar iki aşamalı olarak değerlendirilmiştir.

1. Aşama deney sonuçlarına göre, genel olarak farklı taş tozu - endüstriyel atık filler yüzdeleri ile hazırlanan bitümlü karışımlardan Marshall stabilite değerleri şartname limitlerine yakın değerler almıştır. Sonuçların değerlendirilmeleri boşluk, stabilite ve akma değerleri ile yapılmıştır.

- Mermer tozu, uçucu kül, fosfojips ve cam tozu filler yüzdelerinin artması ile boşluk yüzdesi değerleri artmaktadır.
- Uçucu kül ve fosfojips filler yüzdeleri arttıkça stabilite değerleri artmaktadır. Cam tozu filler yüzdesi arttıkça stabilite değeri azalmaktadır. Mermer tozu filler stabilite değeri, % 7 taş tozu- % 0 endüstriyel atık ve % 4 taş tozu- % 3 endüstriyel atık filler yüzdeleri aralığında artmakta, % 3 taş tozu - % 4 endüstriyel atık ve % 2 taş tozu - % 5 endüstriyel atık filler yüzdelerinde azalmaktadır. Tamamı mermer tozu filler yüzdesinde ise stabilite oldukça yüksek bir değer almaktadır.
- Mermer tozu, uçucu kül ve fosfojips filler yüzdesi arttıkça akma değerleri azalmaktadır. Cam tozu filler yüzdesi arttıkça akma değeri artmaktadır.
- Mermer tozu ve cam tozu filler katkısıyla hazırlanmış karışımların boşluk yüzde değerleri şartname limitleri olan % 3 - % 5 arasında, uçucu kül ve fosfojips boşluk değerleri ise şartname limitlerinin oldukça üzerinde kalmaktadır. Mermer tozu, uçucu kül, fosfojips ve cam tozu filler katkılı

karışımların stabilite değerleri şartname alt sınır değeri olan 900 kg 'ın üzerinde değer almışlardır. Mermer tozu, fosfojips ve cam tozu filler katkılı karışımların akma değerleri şartname limitleri olan 2 mm – 4 mm arasında kalmaktadır. Uçucu kül filler akma değerleri şartname limitlerinin altında kalmaktadır. Bu değerler uçucu külün artan filler oranlarında gevrek bir malzeme gibi davrandığını göstermektedir.

- Genel olarak atık filler oranı arttıkça cam tozu atığı dışında bütün endüstriyel atıklarda boşluk oranı ve stabilite değerleri artmakta, akma değerleri ise azalmaktadır.
- % 4 taş tozu –% 3 endüstriyel atık madde içeren karışımların boşluk, stabilite ve akma değerleri sınırlar içinde kalmıştır. % 7 endüstriyel atık - % 0 taş tozu atık madde ilaveli karışımların akma değerleri sınırların altında olup, sınır değere yakın sonuç vermiştir.

2. Aşama deney sonuçları; % 0 taş tozu - % 7 endüstriyel atık filler oranı kullanılarak su etkisiyle oluşan kohezyon kaybını belirlemek amacıyla hazırlanan bitümlü karışımlarda, koşullandırılmış Marshall stabilite değerleri şartname limitlerine yakın değerler almıştır. Sonuçların değerlendirilmeleri stabilite ve akma değerleri ile yapılmıştır.

- Mermer tozu, uçucu kül, fosfojips ve taş tozu filler ile hazırlanan yeni numunelerinin stabilite değerlerinde 4 saatlik kür şartlarına göre 24 saatlik kür şartları değerlerinde azalma, akma değerlerinde ise artma görülmüştür.
- Cam tozu filler ile hazırlanan yeni numunelerin stabilite ve akma değeri sonuçları 4 saatlik kür şartlarında şartname limitlerini sağlamıştır.
- Yüksek sıcaklıklarda, 24 saatlik kür şartlarında yeni ve yaşlandırılmış cam tozu filler ile hazırlanan numuneler ayrışmalara uğradığından stabilite ve akma değerlerine bakılamamıştır.

4 Saatlik Kür Şartlarına Göre Hazırlanan Yeni ve Yaşlandırılmış Numunelerin Değerlendirilmesi

- 4 saatlik kür şartları uygulanarak hazırlanan yeni ve yaşlandırılmış numunelerin stabilite değerleri şartname alt limit sınırı olan 900 kg 'nun üzerinde sonuç vermişlerdir. Akma değerleri bakımından uçucu kül filler akma değeri dışında diğer bütün endüstriyel atık filler akma değerleri şartname limitleri olan 2 mm – 4 mm arasında sonuç vermişlerdir. Uçucu kül filler akma değeri ise şartname limitinden düşük ancak şartname limitlerine oldukça yakın sonuç vermiştir.

24 Saatlik Kür Şartlarına Göre Hazırlanan Yeni ve Yaşlandırılmış Numunelerin Değerlendirilmesi

- 24 saatlik kür şartları uygulanarak hazırlanan yeni ve yaşlandırılmış numunelerin stabilite değerleri (cam tozu filler hariç) şartname limitlerinin üzerinde sonuç vermişlerdir. Fosfojips filler kullanılarak hazırlanan yeni numunelerin stabilite değeri ise şartname limitine yakın değer vermiştir. Akma değerleri bakımından cam tozu filler sonuçlarına bakılamamıştır. Uçucu kül filler akma değeri şartname değerine yakın, diğer bütün endüstriyel atık fillerlerin akma değerleri ise şartname limitleri arasında sonuç vermişlerdir.

Deneysel çalışmalarda Marshall stabilite deney sonuçları açısından en uygun endüstriyel atık filler oranının % 4 taş tozu - % 3 endüstriyel atık filler olduğu belirlenmiştir. Koşullandırılmış deneysel çalışma sonuçlarında da koşullandırılmış numunelerin Marshall stabilitelelerinde önemli ölçüde bir artış olduğu ve endüstriyel atık malzeme kullanılarak hazırlanan karışımların akma değerleri bakımından da şartnameye uygun malzeme oldukları görülmektedir. % 0 taş tozu - % 7 endüstriyel atık filler oranında dahi şartname limitleri sağlanmaktadır.

Deney sonuçları endüstriyel atık filler malzemelerin bitümlü sıcak karışımlarda taş tozu filler yerine % 7 oranında kullanılabilceğini göstermektedir. Bitümlü sıcak karışımlarda mermer tozu, uçucu kül, fosfojips ve cam tozu endüstriyel atık fillerler kullanılarak üretilen kaplama tabakalarının iyi bir dayanıma sahip olacağı düşünülmektedir.

Endüstriyel işletmeler genellikle atıklardan herhangi bir maddi gelir beklememektedir. Gereksiz yere saha işgal eden bu atıklardan kurtulmak istemektedirler. Dolayısıyla, yol üstü yapı işlerinde, taşıma maliyeti de dikkate alınarak, filler olarak endüstriyel atıkların kullanılmasıyla, hem ekonomik kazanç sağlanabilecek, hem de çevre kirliliği yaratan bu malzemeler bu sayede değerlendirilebilecektir.

EK A. Marshall Stabilite Deney Sonuçları Formları

- Marshall Stabilite Deney Sonuçları (From A.1)
- Mermer Tozu Marshall Stabilite Deney Sonuçları (From A.2)
- Uçucu Kül Marshall Stabilite Deney Sonuçları (From A.3)
- Fosfojips Marshall Stabilite Deney Sonuçları (From A.4)
- Cam Tozu Marshall Stabilite Deney Sonuçları (From A.5)
- Grup A1 Numuneleri Koşullandırılmış Marshall Stabilite Deney Sonuçları (From A.6)
- Grup A2 Numuneleri Koşullandırılmış Marshall Stabilite Deney Sonuçları (From A.7)
- Grup B1 Numuneleri Koşullandırılmış Marshall Stabilite Deney Sonuçları (From A.8)
- Grup B2 Numuneleri Koşullandırılmış Marshall Stabilite Deney Sonuçları (From A.9)

Form A.1 Marshall Stabilité Deney Sonuçları

MARSHALL DENEY FORMU

BİTİM ÖZGÜL AĞIRLIĞI (Gb) : 1.0375
 AGREGA KURU ÖZGÜL AĞIRLIK (Gsb) : 2.683
 AGREGA EFEKTİF ÖZGÜL AĞIRLIK (Gef) : 2.696

BRIKET NO	BITİM YÜZDESİ	HAVADAKİ AĞIRLIK			SUDAKİ AĞIRLIK			DOYGUN YÜZEY KURU AĞIRLIK			HACİM		PRATİK ÖZGÜL AĞIRLIK		Max TEORİK ÖZGÜL AĞIRLIK		BOŞLUK % (Df-Dp) 100/Dt	VMA %	ASFALT DOLU BOŞLUK % (ΔMA-Vh)/100 Vh/A	BRIKET YÜKSEKLİĞİ			STABİLİTE FAKTÖRÜ	DÜZELTİLMİŞ STABİLİTE	AKMA		
		A	C	B	V	Dp	Dt	100+Wa/100+Gef	100+Wa/Gsb	B-C	V	AV	Max	100+Wa/100+Gef	100+Wa/Gsb	1				2	3	ORT				kg	mm
1		1238.0	717.0	1246.0	529.0	2.340														64.2	64.8	64.3	64.4	2537	0.978	2481	0.92
2		1236.0	715.0	1243.0	528.0	2.341														64.0	64.3	64.0	64.1	2494	0.985	2457	1.46
3	3.5	1230.5	711.0	1237.0	526.0	2.339														64.0	63.8	64.3	64.0	2551	0.988	2520	1.04
4		1239.0	719.0	1242.5	523.5	2.367									2.558	15.7	45.9			63.3	63.5	63.4	63.4	2284	1.003	2291	1.37
5		1240.0	719.0	1244.0	525.0	2.362									2.540	15.3	54.6			63.8	63.8	63.8	63.8	2210	0.993	2195	1.80
6	4.0	1256.0	733.5	1257.0	523.5	2.389									2.522	15.2	62.2			63.4	63.3	63.5	63.4	1287	1.003	1291	1.40
7		1246.5	723.0	1249.5	526.5	2.368									2.505	15.2	69.4			64.0	64.0	64.0	64.0	1545	0.988	1526	2.68
8		1245.0	722.0	1247.5	525.5	2.369									2.489	15.7	74.0			63.3	63.5	63.4	63.4	1581	1.003	1586	1.85
9	4.5	1257.0	731.5	1258.5	527.0	2.379									2.505	15.2	69.4			63.5	63.3	63.4	63.4	1370	1.003	1374	2.07
10		1264.5	736.5	1265.5	529.0	2.390									2.472	16.9	74.0			63.9	63.5	63.8	63.7	1173	0.995	1167	3.17
11		1250.0	728.0	1251.0	523.0	2.390									2.505	15.2	69.4			63.0	63.5	64.0	63.5	1447	1.000	1447	2.64
12	5.0	1256.0	731.0	1257.0	526.0	2.389									2.489	15.7	74.0			63.9	63.6	63.7	63.7	1090	0.995	1085	3.06
13		1254.5	730.5	1255.5	525.0	2.390									2.387	15.7	74.0			63.4	63.4	63.5	63.4	1145	1.003	1148	1.74
14		1252.0	728.5	1253.5	525.0	2.385									2.489	15.7	74.0			63.1	63.3	63.9	63.4	1053	1.003	1056	2.09
15	5.5	1257.0	727.0	1259.5	532.5	2.361									2.472	16.9	74.0			63.8	63.8	63.8	63.8	946	0.993	939	4.06
16		1263.0	731.5	1265.5	534.0	2.365									2.472	16.9	74.0			63.9	64.2	64.4	64.2	925	0.983	909	3.73
17		1259.5	729.5	1262.0	532.5	2.365									2.456	17.6	76.3			63.7	64.3	64.0	64.0	904	0.988	893	3.61
18	6.0	1261.5	729.0	1262.5	533.5	2.365									2.456	17.6	76.3			64.7	64.5	64.4	64.5	791.0	0.975	771	3.80
19		1261.0	726.5	1262.5	536.0	2.353									2.456	17.6	76.3			64.8	64.6	64.0	64.5	812.0	0.975	792	4.63
20		1265.0	727.0	1266.5	539.5	2.345									2.456	17.6	76.3			64.9	65.0	64.5	64.8	779.0	0.968	754	2.21
21	6.5	1265.0	727.0	1266.5	539.5	2.354									2.456	17.6	76.3									772	3.92

Bitüm Öz. Ağ. (Gb) : 1.0375
 Bitüm Penetrasyonu : 67
 Agregá Bitüm Abs. (Pb) : 0.19
 Agr. Kar. Ef. Öz. Ağ. (Gefhd) : -
 Agr. Kar. Ef. Öz. Ağ. (Gefjh) : 2.696
 Düzayın Ef. Öz. Ağ. : 2.696

Kaba Agregá %'si (%K) : 44
 İnce Agregá %'si (%I) : 49
 Filler %'si : 7

Karış Hac. Öz. Ağ. (Gsb) : 2.683
 Karış. Zah. Öz. Ağ. (Gsa) : 2.708

Kaba Agr. Hac. Öz. Ağ. (Ghk) : 2.681
 Kaba Agr. Zah. Öz. Ağ. (Gkz) : 2.706
 İnce Agr. Hac. Öz. Ağ. (Gih) : 2.682
 İnce Agr. Zah. Öz. Ağ. (Giz) : 2.711
 Filler Zah. Öz. Ağ. (Gp) : 2.707
 Biriketteki Agregá Mik. (gr) : 1200

Karışım Gradasyonu %
 100 : 7
 90 : 13
 80 : 20
 70 : 40
 60 : 56
 50 : 75
 40 : 89

Dt = (100+Wa)/(100+Gef+Wa/Gb)
 Vh = ((Df-Dp)/Dt).100
 VMA = 100-(Dp/Gsb).((100/(100+Wa)).100
 Vf = ((VMA-Vh)/VMA).100

Form A.2 Mermer Tozu Marshall Stabilite Deneyi Sonuçları

MERMER TOZU MARSHALL DENEY FORMU

BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI (Gb) 1.0375
 AGREGA KURU ÖZGÜL AĞIRLIK (Gsb) 2.683
 AGREGA EFEKTİF ÖZGÜL AĞIRLIK (Gef) 2.696

BRIKET NO	FILLER YUZDESİ	BITÜM YUZDESİ	HA/VAD-AKI AĞIRLIK	SUDAKI AĞIRLIK			DOYGUN YUZEY KURU AĞIRLIK	HACİM B-C	PRACTİK ÖZGÜL AĞIRLIK	BOŞLUK %	VMA %	ASFALT DOLU BOŞLUK %	BRIKET YUKSEKLİĞİ			STABİLİTE FAKTÖRÜ	DUZELTİLMİŞ STABİLİTE	AKİMA	
				A	C	B							1	2	3				ORT
				Wb	Wa	Wb							kg	kg	kg				kg
1			1241.5	722.0	1244.5	522.5	2.376						63.3	63.3	63.3	1376	1.005	1383	2.86
2			1248.5	729.0	1250.0	521.0	2.396						62.6	63.0	63.3	1451	1.013	1470	2.38
3	%7	4.9	1244.5	723.0	1245.0	522.0	2.384						63.2	63.3	63.7	1197	1.003	1201	2.13
4			1253.0	730.0	1254.0	524.0	2.386	2.509	4.9	15.2	67.8		62.7	63.0	63.7	1445	1.010	1459	2.42
5			1239.5	720.5	1240.5	520.0	2.384						62.5	63.0	63.6	1310	1.013	1327	2.34
6	%5	4.9	1251.5	727.5	1252.5	525.0	2.384						63.3	63.4	63.5	1392	1.003	1396	2.56
7			1250.5	727.0	1251.5	524.5	2.384	2.509	4.9	15.2	67.9		63.3	63.5	64.0	1560	0.998	1557	2.05
8			1249.0	724.0	1250.0	526.0	2.375						63.3	63.3	63.3	1533	1.005	1541	2.13
9	%4	4.9	1247.5	725.0	1248.5	523.5	2.383						63.0	64.3	63.5	1355	0.998	1352	1.83
10			1245.5	712.5	1250.0	537.5	2.317	2.509	5.1	15.4	66.9		63.9	64.8	64.7	1337	0.978	1308	1.57
11			1251.0	716.0	1255.5	539.5	2.319						65.0	65.0	64.9	1165	0.963	1122	1.82
12	%3	4.9	1247.5	712.5	1251.5	539.0	2.314						65.1	65.0	65.0	1042	0.963	1003	1.84
13			1256.0	723.5	1258.5	535.0	2.348						65.0	64.6	64.5	1195	0.970	1159	1.67
14			1246.0	724.5	1247.0	522.5	2.385						63.3	63.3	63.3	1459	1.005	1466	2.39
15	%2	4.9	1240.5	718.5	1242.5	524.0	2.367						63.2	63.5	63.4	1330	1.003	1334	2.33
16			1239.5	710.0	1242.5	532.5	2.328	2.509	5.7	15.9	64.4		64.3	64.3	64.3	1952	0.980	1913	1.83
17			1251.0	721.5	1253.5	532.0	2.352						64.2	64.8	64.1	1854	0.980	1817	1.66
18	%0	4.9	1248.0	722.0	1250.5	528.5	2.361						63.8	63.5	63.8	2103	0.995	2092	2.07
							2.347	2.509	6.4	16.6	61.2					1941		1.85	

Di = (100+Wa)/(100/Gef+Wa/Gb)

Vh = (Dt-Dp)/Dt . 100

VMA = 100-(Dp/Gsb) . (100/(100+Wa)) . 100

Vf = (VMA-Vh)/VMA . 100

optimum bitüm bağlayıcı: 4.9

Form A.3 Uçucu Kül Marshall Stabilite Deney Sonuçları

UÇUCU KÜL MARSHALL DENEY FORMU

BITÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI (Gb) 1,0375
 AGREGA KURU ÖZGÜL AĞIRLIK (Gsb) 2,683
 AGREGA EFEKTİF ÖZGÜL AĞIRLIK (Gef) 2,696

BRİKET NO	FİLLER YÜZDESİ	BITÜM YÜZDESİ	HAVADAKİ AĞIRLIK	SUDAKİ AĞIRLIK	DOYGUN YÜZEY KURU AĞIRLIK	HACİM		PRATİK ÖZGÜL AĞIRLIK	MaxTEORİK ÖZGÜL AĞIRLIK	BOŞLUK %	VMA %	ASFALT DOLU BOŞLUK %	BRİKET YÜKSEKLİĞİ			DÜZELTME FAKTÖRÜ	DÜZELTİLMİŞ STABİLİTE	AKMA	
						B-C	V						1	2	3				ORT
			A	C	B	Dp	Dp			Vh	VMA	Vf	1	2	3	ORT	kg	mm	
1			1238,5	717,0	1242,0	525,0	2,359						62,4	62,8	62,7	62,6	1437	1,023	1470
2			1247,5	725,5	1249,0	523,5	2,383						63,3	63,3	63,3	63,3	1490	1,005	1497
3	%7	4,9	1238,5	721,0	1240,0	519,0	2,386						63,0	63,0	63,5	63,2	1374	1,008	1385
							2,376	2,509	2,509	5,3	15,6	66,1							1451
4			1253,5	717,0	1256,0	539,0	2,326						64,2	64,3	64,3	64,2	2053	0,983	2018
5			1245,5	720,5	1246,5	526,0	2,368						64,7	63,8	64,8	64,4	2153	0,978	2106
6	%5	4,9	1230,0	708,0	1232,5	524,5	2,345						63,3	64,0	64,3	63,9	2141	0,990	2120
							2,346	2,509	2,509	6,5	16,6	61,1							2081
7			1239,5	711,0	1244,0	533,0	2,326						64,5	64,8	64,6	64,6	2317	0,973	2254
8			1258,0	728,0	1261,0	533,0	2,360						63,8	63,9	64,1	63,9	2245	0,990	2223
9	%4	4,9	1241,0	713,0	1243,5	530,5	2,339						64,0	63,9	64,8	64,2	2223	0,983	2185
							2,342	2,509	2,509	6,7	16,8	60,4							2221
10			1248,5	710,5	1252,0	541,5	2,306						65,2	65,2	65,6	65,3	2550	0,956	2438
11			1256,0	716,0	1259,0	543,0	2,313						65,2	65,0	65,3	65,2	2386	0,958	2286
12	%3	4,9	1234,0	701,0	1238,5	537,5	2,296						64,2	64,6	64,2	64,3	2356	0,980	2309
							2,305	2,509	2,509	8,1	18,1	55,1							2344
13			1231,0	700,0	1234,0	534,0	2,305						63,8	63,8	64,8	64,1	2361	0,985	2326
14			1263,0	721,5	1266,5	545,0	2,317						65,0	65,6	65,0	65,2	2357	0,958	2258
15	%2	4,9	1237,0	707,5	1241,0	533,5	2,319						64,0	64,1	64,1	64,1	2443	0,985	2406
							2,314	2,509	2,509	7,8	17,8	56,3							2330
16			1251,5	706,0	1256,0	550,0	2,275						66,6	67,0	66,5	66,7	2549	0,930	2371
17			1233,0	694,0	1238,5	544,5	2,264						65,6	66,0	66,5	66,0	2553	0,943	2407
18	%0	4,9	1245,5	697,5	1250,0	552,5	2,254						66,0	66,6	66,0	66,2	2550	0,939	2394
							2,265	2,509	2,509	9,7	19,5	50,2							2391

$Dt = (100 + Wa) / (100 / Gef + Wa / Gb)$
 $Vh = (Dt - Dp) / Dt \cdot 100$
 $VMA = 100 - (Dp / Gsb) \cdot (100 / (100 + Wa)) \cdot 100$
 $Vf = (VMA - Vh) / VMA \cdot 100$

optimum bitüm bağlayıcı: 4,9

Form A.4 Fosfojips Marshall Stabilite Deney Sonuçları

FOSFOJIPS MARSHALL DENEY FORMU

BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI (Gb) 1,0375
 AGREGA KURU ÖZGÜL AĞIRLIK (Gsb) 2,683
 AGREGA EFEKTİF ÖZGÜL AĞIRLIK (Gef) 2,696

BRIKET NO	FILLER YUZDESİ	BITÜM YUZDESİ	HAVADAKİ AĞIRLIK	SUDAKİ AĞIRLIK			DOYGUN YÜZEY KURU AĞIRLIK	HACİM	PRATİK ÖZGÜL AĞIRLIK	M _{teorik} ÖZGÜL AĞIRLIK	BOŞLUK %	VMA %	ASFALT DOLU BOŞLUK %	BRIKET YÜKSEKLİĞİ			STABİLİTE	DÜZELTME FAKTÖRÜ	DÜZELTİLMİŞ STABİLİTE	AKMA	
				A	C	B								1	2	3					ORT
1			1247,0	720,5	1251,0	530,5	2,351							64,2	63,3	63,5	63,7	1262	0,995	1256	2,72
2			1259,5	732,0	1263,5	531,5	2,370							64,4	64,8	64,5	64,6	1286	0,973	1251	2,94
3	%7	4,90	1249,0	726,5	1252,0	525,5	2,377							63,8	64,0	63,9	63,9	1284	0,990	1271	2,82
4			1249,5	722,0	1252,0	530,0	2,366		2,509	5,7	15,9	64,3		63,3	64,0	63,8	63,7	1383	0,995	1376	2,85
5			1252,5	722,5	1256,0	533,5	2,348							63,8	64,3	64,3	64,1	1167	0,985	1149	3,02
6	%5	4,90	1235,5	712,5	1240,5	528,0	2,340		2,509	6,4	16,6	61,4		64,0	63,6	63,3	63,6	1254	0,998	1251	2,18
7			1248,5	719,5	1251,5	532,0	2,347							63,7	63,7	63,6	63,7	1248	0,995	1242	2,22
8			1238,0	713,0	1240,0	527,0	2,349							63,2	63,5	63,6	63,4	1229	1,003	1233	3,27
9	%4	4,90	1247,5	716,0	1250,0	534,0	2,336							64,0	63,8	64,7	64,2	1395	0,983	1371	2,17
10			1227,0	698,5	1232,5	534,0	2,298		2,509	6,6	16,7	60,7		64,6	65,0	65,0	64,9	1059	0,968	1025	2,30
11			1236,5	705,0	1240,5	535,5	2,309							63,8	64,4	64,0	64,1	1370	0,985	1349	2,20
12	%3	4,90	1221,0	697,5	1226,0	528,5	2,310							63,7	64,0	63,8	63,8	1087	0,993	1079	2,38
13			1246,0	712,5	1250,0	537,5	2,318		2,509	8,1	18,1	55,2		64,7	64,3	64,3	64,4	1405	0,978	1374	2,34
14			1229,0	703,5	1232,5	529,0	2,323							63,3	64,0	64,0	63,8	1275	0,993	1266	2,17
15	%2	4,90	1250,0	718,5	1253,5	535,0	2,336							64,0	63,9	63,8	63,9	1312	0,990	1299	1,97
16			1234,0	718,0	1239,0	521,0	2,369		2,509	7,3	17,4	58,0		64,0	64,2	63,7	64,0	1357	0,988	1341	1,67
17			1236,0	708,5	1239,5	531,0	2,328							65,0	64,8	65,0	64,9	1567	0,968	1517	1,66
18	%0	4,90	1236,0	699,5	1241,0	541,5	2,283		2,509	7,3	17,3	58,1		63,5	63,8	65,0	64,1	1281	0,985	1262	1,96
							2,326		2,509	7,3	17,3	58,1								1373	1,76

Df = (100+Wa)/(100/Gef+Wa/Gb)
 Vh = ((Df-Dp)/Dt) 100
 VMA = 100 - (Dp/Gsb) (100/(100+Wa)) 100
 Vf = ((VMA-Vh)/VMA) 100

optimum bitüm bağlayıcı: 4,9

Form A.5 Cam Tozu Marshall Stabilite Deney Sonuçları

CAMTOZU MARSHALL DENEY FORMU

BITÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI (Gb) 1.0375
 AGREGA KURU ÖZGÜL AĞIRLIK (Gsb) 2.683
 AGREGA EFEKTİF ÖZGÜL AĞIRLIK (Gef) 2.696

BRIKET NO	FILLER YÜZDESİ	BITÜM YÜZDESİ	HAVADAKİ AĞIRLIK	SUDAĞI AĞIRLIK			DOYGUN YÜZEY AĞIRLIK	HACİM	PRATİK ÖZGÜL AĞIRLIK	Max TEORİK ÖZGÜL AĞIRLIK	BOŞLUK %	VMA %	ASFALT DOLU BOŞLUK %	BRIKET YÜKSEKLİĞİ			STABİLİTE FAKTORU	DUZELTİM STABİLİTE	DUZELTİM AKMA	
				A	C	B								1	2	3				ORT
				Wb										V						kg
1	%7	4.90	1252.0	728.5	1254.0	525.5	2.382	2.379	2.509	4.9	15.2	67.9	61.2	61.1	61.3	61.2	1420	1.062	1508	2.39
2	%7	4.90	1251.5	727.0	1253.0	526.0	2.386	2.386	2.509	4.9	15.2	67.9	61.2	61.1	61.4	61.2	1378	1.062	1463	2.09
3	%7	4.90	1252.0	730.0	1252.5	522.5	2.386	2.386	2.509	4.9	15.2	67.9	61.2	61.1	61.2	61.2	1337	1.062	1420	2.93
4	%6	4.90	1243.0	725.5	1244.0	518.5	2.397	2.397	2.509	4.7	15.0	69.0	60.2	60.6	60.5	60.4	1428	1.087	1552	2.17
5	%6	4.90	1245.5	724.0	1246.0	522.0	2.386	2.386	2.509	4.7	15.0	69.0	60.7	61.1	60.6	60.8	1338	1.074	1437	2.85
6	%6	4.90	1249.0	728.0	1250.0	522.0	2.393	2.393	2.509	4.7	15.0	69.0	60.6	60.7	60.7	60.7	1494	1.078	1611	2.54
7	%4	4.90	1252.0	729.5	1251.5	522.0	2.398	2.398	2.509	4.6	15.0	69.2	60.7	60.7	60.7	60.7	1291	1.078	1392	2.59
8	%4	4.90	1247.0	727.5	1247.5	520.0	2.398	2.398	2.509	4.6	15.0	69.2	60.6	60.3	60.5	60.5	1326	1.084	1437	2.25
9	%4	4.90	1244.5	724.5	1247.0	522.5	2.382	2.382	2.509	4.6	15.0	69.2	62.8	62.6	62.6	62.7	1293	1.020	1319	2.26
10	%3	4.90	1247.0	726.5	1248.0	521.5	2.393	2.393	2.509	4.6	15.0	69.2	60.6	60.8	60.4	60.6	1344	1.081	1453	2.67
11	%3	4.90	1251.5	729.0	1252.5	523.5	2.391	2.391	2.509	4.7	15.1	68.6	60.8	60.8	60.8	60.8	1481	1.074	1591	3.05
12	%3	4.90	1242.5	722.5	1243.0	520.5	2.387	2.387	2.509	4.7	15.1	68.6	60.8	60.6	60.3	60.6	1358	1.081	1468	2.25
13	%2	4.90	1246.0	724.5	1248.0	523.5	2.380	2.380	2.509	4.7	15.1	68.6	62.9	63.0	63.2	63.0	1154	1.013	1169	2.38
14	%2	4.90	1244.5	722.5	1247.0	524.5	2.373	2.373	2.509	5.2	15.5	66.4	63.2	63.1	63.2	63.2	1171	1.008	1180	2.47
15	%2	4.90	1241.5	721.5	1243.0	521.5	2.381	2.381	2.509	5.2	15.5	66.4	62.5	62.7	62.7	62.6	1233	1.023	1261	2.67
16	%0	4.90	1246.0	723.0	1249.0	526.0	2.369	2.369	2.509	5.3	15.6	65.9	62.6	62.6	62.6	62.6	1049	1.023	1073	2.86
17	%0	4.90	1247.0	725.0	1250.0	525.0	2.375	2.375	2.509	5.3	15.6	65.9	62.5	62.5	62.5	62.5	1019	1.025	1044	2.85
18	%0	4.90	1249.0	725.5	1250.0	524.5	2.381	2.381	2.509	5.3	15.6	65.9	62.4	62.9	62.8	62.7	1006	1.020	1026	2.78
19	%0	4.90	1249.0	725.5	1250.0	524.5	2.375	2.375	2.509	5.3	15.6	65.9	62.4	62.9	62.8	62.7	1006	1.020	1026	2.78
20	%0	4.90	1249.0	725.5	1250.0	524.5	2.375	2.375	2.509	5.3	15.6	65.9	62.4	62.9	62.8	62.7	1006	1.020	1026	2.78
21	%0	4.90	1249.0	725.5	1250.0	524.5	2.375	2.375	2.509	5.3	15.6	65.9	62.4	62.9	62.8	62.7	1006	1.020	1026	2.78
22	%0	4.90	1249.0	725.5	1250.0	524.5	2.375	2.375	2.509	5.3	15.6	65.9	62.4	62.9	62.8	62.7	1006	1.020	1026	2.78
23	%0	4.90	1249.0	725.5	1250.0	524.5	2.375	2.375	2.509	5.3	15.6	65.9	62.4	62.9	62.8	62.7	1006	1.020	1026	2.78
24	%0	4.90	1249.0	725.5	1250.0	524.5	2.375	2.375	2.509	5.3	15.6	65.9	62.4	62.9	62.8	62.7	1006	1.020	1026	2.78
25	%0	4.90	1249.0	725.5	1250.0	524.5	2.375	2.375	2.509	5.3	15.6	65.9	62.4	62.9	62.8	62.7	1006	1.020	1026	2.78
26	%0	4.90	1249.0	725.5	1250.0	524.5	2.375	2.375	2.509	5.3	15.6	65.9	62.4	62.9	62.8	62.7	1006	1.020	1026	2.78
27	%0	4.90	1249.0	725.5	1250.0	524.5	2.375	2.375	2.509	5.3	15.6	65.9	62.4	62.9	62.8	62.7	1006	1.020	1026	2.78
28	%0	4.90	1249.0	725.5	1250.0	524.5	2.375	2.375	2.509	5.3	15.6	65.9	62.4	62.9	62.8	62.7	1006	1.020	1026	2.78
29	%0	4.90	1249.0	725.5	1250.0	524.5	2.375	2.375	2.509	5.3	15.6	65.9	62.4	62.9	62.8	62.7	1006	1.020	1026	2.78
30	%0	4.90	1249.0	725.5	1250.0	524.5	2.375	2.375	2.509	5.3	15.6	65.9	62.4	62.9	62.8	62.7	1006	1.020	1026	2.78
31	%0	4.90	1249.0	725.5	1250.0	524.5	2.375	2.375	2.509	5.3	15.6	65.9	62.4	62.9	62.8	62.7	1006	1.020	1026	2.78
32	%0	4.90	1249.0	725.5	1250.0	524.5	2.375	2.375	2.509	5.3	15.6	65.9	62.4	62.9	62.8	62.7	1006	1.020	1026	2.78
33	%0	4.90	1249.0	725.5	1250.0	524.5	2.375	2.375	2.509	5.3	15.6	65.9	62.4	62.9	62.8	62.7	1006	1.020	1026	2.78
34	%0	4.90	1249.0	725.5	1250.0	524.5	2.375	2.375	2.509	5.3	15.6	65.9	62.4	62.9	62.8	62.7	1006	1.020	1026	2.78
35	%0	4.90	1249.0	725.5	1250.0	524.5	2.375	2.375	2.509	5.3	15.6	65.9	62.4	62.9	62.8	62.7	1006	1.020	1026	2.78
36	%0	4.90	1249.0	725.5	1250.0	524.5	2.375	2.375	2.509	5.3	15.6	65.9	62.4	62.9	62.8	62.7	1006	1.020	1026	2.78
37	%0	4.90	1249.0	725.5	1250.0	524.5	2.375	2.375	2.509	5.3	15.6	65.9	62.4	62.9	62.8	62.7	1006	1.020	1026	2.78
38	%0	4.90	1249.0	725.5	1250.0	524.5	2.375	2.375	2.509	5.3	15.6	65.9	62.4	62.9	62.8	62.7	1006	1.020	1026	2.78
39	%0	4.90	1249.0	725.5	1250.0	524.5	2.375	2.375	2.509	5.3	15.6	65.9	62.4	62.9	62.8	62.7	1006	1.020	1026	2.78
40	%0	4.90	1249.0	725.5	1250.0	524.5	2.375	2.375	2.509	5.3	15.6	65.9	62.4	62.9	62.8	62.7	1006	1.020	1026	2.78
41	%0	4.90	1249.0	725.5	1250.0	524.5	2.375	2.375	2.509	5.3	15.6	65.9	62.4	62.9	62.8	62.7	1006	1.020	1026	2.78
42	%0	4.90	1249.0	725.5	1250.0	524.5	2.375	2.375	2.509	5.3	15.6	65.9	62.4	62.9	62.8	62.7	1006	1.020	1026	2.78
43	%0	4.90	1249.0	725.5	1250.0	524.5	2.375	2.375	2.509	5.3	15.6	65.9	62.4	62.9	62.8	62.7	1006	1.020	1026	2.78
44	%0	4.90	1249.0	725.5	1250.0	524.5	2.375	2.375	2.509	5.3	15.6	65.9	62.4	62.9	62.8	62.7	1006	1.020	1026	2.78
45	%0	4.90	1249.0	725.5	1250.0	524.5	2.375	2.375	2.509	5.3	15.6	65.9	62.4	62.9	62.8	62.7	1006	1.020	1026	2.78
46	%0	4.90	1249.0	725.5	1250.0	524.5	2.375	2.375	2.509	5.3	15.6	65.9	62.4	62.9	62.8	62.7	1006	1.020	1026	2.78
47	%0	4.90	1249.0	725.5	1250.0	524.5	2.375	2.375	2.509	5.3	15.6	65.9	62.4	62.9	62.8	62.7	1006	1.020	1026	2.78
48	%0	4.90	1249.0	725.5	1250.0	524.5	2.375	2.375	2.509	5.3	15.6	65.9	62.4	62.9	62.8	62.7	1006	1.020	1026	2.78
49	%0	4.90	1249.0	725.5	1250.0	524.5	2.375	2.375	2.509	5.3	15.6	65.9	62.4	62.9	62.8	62.7	1006	1.020	1026	2.78
50	%0	4.90	1249.0	725.5	1250.0	524.5	2.375	2.375	2.509	5.3	15.6	65.9	62.4	62.9	62.8	62.7	1006	1.020	1026	2.78
51	%0	4.90	1249.0	725.5	1250.0	524.5	2.375	2.375	2.509	5.3	15.6	65.9	62.4	62.9	62.8	62.7	1006	1.020	1026	2.78
52	%0	4.90	1249.0	725.5	1250.0	524.5	2.375	2.375	2.509	5.3	15.6	65.9	62.4	62.9	62.8	62.7	1006	1.020	1026	2.78
53	%0	4.90	1249.0	725.5	1250.0	524.5	2.375	2.375	2.509	5.3	15.6	65.9	62.4	62.9	62.8	62.7	1006	1.020	1026	2.

**Form A.6 Grup A1 Numuneleri Koşullandırılmış
Marshall Stabilite Deney Sonuçları**

KOŞULLANDIRILMIŞ MARSHALL DENEY FORMU

BITÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI (Gb) 1,0375
AGREGA KURU ÖZGÜL AĞIRLIK (Gsb) 2,683
AGREGA EFEKTİF ÖZGÜL AĞIRLIK (Gef) 2,696

BRIKET NO	BITÜM YÜZDESİ	HAVA/DAKI AĞIRLIK	SUDAKI AĞIRLIK	DOYGUN YÜZEY KURU AĞIRLIK	HACİM	PRATİK ÖZGÜL AĞIRLIK	BOŞLUK %	VMA %	ASFALT DOLU BOŞLUK %	BRIKET YÜKSEKLİĞİ			STABİLİTE	DÜZELTME FAKTÖRÜ	DÜZELTİLMİŞ STABİLİTE	AKİMA	
										1	2	3					ORT
Wa	Wb	A	C	B	V	Dp	Vh	VMA	Vf				kg	kg	mm		
Mermer Tozu (Grup A1)																	
1		1246.5	718.5	1248.5	530.0	2.352				64.0	63.9	63.8	63.9	1606	0.990	1590	2.02
2		1252.5	720.5	1255.0	534.5	2.343				64.4	64.3	64.5	64.4	1400	0.978	1369	1.84
3	4.90	4.67	1251.5	717.0	1256.0	2.322				64.9	64.8	64.6	64.8	1567	0.968	1517	2.56
Uçucu Kül (Grup A1)																	
4		1249.0	698.0	1251.0	553.0	2.259	2.509	16.9	60.0	66.8	66.9	67.0	66.9	2088	0.925	1931	1.72
5		1250.0	700.5	1252.5	552.0	2.264				66.5	67.0	67.3	66.9	1997	0.925	1847	1.71
6	4.90	4.67	1252.0	705.5	1254.0	2.283				66.6	66.9	67.3	66.9	2197	0.925	2032	2.10
Fosfojips (Grup A1)																	
7		1240.0	713.5	1244.0	530.5	2.337	2.509	19.4	50.7	63.8	63.7	63.5	63.7	1327	0.995	1320	2.77
8		1249.5	718.0	1254.5	536.5	2.329				64.9	64.5	64.7	64.7	793	0.970	769	4.03
9	4.90	4.67	1250.0	715.0	1254.5	2.317				64.6	64.8	64.8	64.7	817	0.970	792	4.11
Cam Tozu (Grup A1)																	
10		1252.5	721.0	1257.0	536.0	2.337	2.509	17.3	58.3	64.8	64.6	64.5	64.6	980	0.973	954	2.64
11		1253.5	724.0	1258.0	534.0	2.347				64.5	64.6	64.4	64.5	1158	0.975	1129	3.14
12	4.90	4.67	1255.5	725.5	1262.0	2.340				65.3	65.3	65.0	65.2	876	0.958	839	3.27
İtaştozu (Grup A1)																	
13		1248.5	726.5	1253.0	526.5	2.371	2.509	16.8	60.3	63.2	62.3	62.7	62.7	1553	1.020	1584	2.39
14		1253.5	730.5	1257.5	527.0	2.379				64.3	64.5	63.8	64.2	1443	0.983	1418	2.69
15	4.90	4.67	1245.0	725.5	1249.0	2.378	2.509	15.6	66.1	63.1	63.3	63.3	63.2	1544	1.008	1556	2.30
2.376																	

DI= (100+Wa)/(100/Gef+Wa/Gb)

Vh= ((Dt-Dp)/Dt).100

VMA= 100-(Dp/Gsb). (100/(100+Wa)).100

Vf= ((VMA-Vh)/VMA).100

optimum bitüm bağlayıcı: 4.9

**Form A.7 Grup A2 Numuneleri Koşullandırılmış
Marshall Stabilite Deney Sonuçları**

KOŞULLANDIRILMIŞ MARSHALL DENEY FORMU

BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI (Gb) 1,0375
 AGREGA KURU ÖZGÜL AĞIRLIK (Gsb) 2,683
 AGREGA EFEKTİF ÖZGÜL AĞIRLIK (Gef) 2,696

BRIKET NO	BİTÜM YUZDESİ	HAYADAKI AĞIRLIK	SUDAKI AĞIRLIK	DOYGUN YÜZEY KURU AĞIRLIK			HACİM	PRACTİK ÖZGÜL AĞIRLIK	İBRET. TEORİK ÖZGÜL AĞIRLIK	BOŞLUK %	VMA %	ASFALT DOLU BOŞLUK %	BRIKET YÜKSEKLİĞİ			STABİLİTE DÜZELTME FAKTÖRÜ	DÜZELTİLMİŞ STABİLİTE	AKMA		
				A	C	B							V	Dp	Dt				Vh	Vf
Mermer Tozu (Grup A2)																				
1		1246,5	720,0	1251,0	531,0	2,347							64,8	64,6	1419	0,973	1381	2,27		
2		1249,5	719,5	1254,5	535,0	2,336							65,0	65,0	1596	0,963	1537	1,93		
3	4,90	1251,5	722,5	1256,5	534,0	2,344							64,5	64,3	1513	0,980	1483	2,26		
Uçucu Kül (Grup A2)																				
4		1250,5	718,0	1255,0	537,0	2,329		2,509	6,6	16,8	60,5		65,0	64,9	1771	0,963	1467	2,15		
5		1249,5	713,0	1255,5	542,5	2,303							65,8	65,5	1835	0,953	1749	2,30		
6	4,90	1253,0	717,0	1259,0	542,0	2,312							65,7	65,8	1620	0,947	1534	2,56		
Fosfojips (Grup A2)																				
7		1240,5	713,0	1244,0	531,0	2,336		2,509	7,7	17,8	56,4		64,3	64,1	782	0,983	1663	2,30		
8		1248,0	714,0	1252,0	538,0	2,320							64,4	64,3	788	0,980	772	3,77		
9	4,90	1249,0	717,5	1252,0	534,5	2,337							64,3	64,2	953	0,983	937	3,91		
Cam Tozu (Grup A2)																				
10		1245,0	723,0	1247,5	524,5	2,374		2,509	7,1	17,2	58,8		63,0	63,0	63,2	SONUÇ ALINAMADI	826	3,67		
11		1244,5	721,0	1246,5	525,5	2,368							63,2	63,0	63,2	SONUÇ ALINAMADI				
12	4,90	1242,0	720,5	1243,0	522,5	2,377							62,8	63,5	63,3	63,2	SONUÇ ALINAMADI			
Taştozu (Grup A2)																				
13		1252,0	728,5	1256,0	527,5	2,373		2,509	5,4	15,7	65,5		63,9	63,7	63,7	1454	0,995	1447	2,88	
14		1257,0	731,5	1261,5	530,0	2,372							63,9	64,2	64,3	1365	0,985	1345	3,60	
15	4,90	1251,5	728,5	1257,0	528,5	2,368		2,509	5,5	15,8	65,2		63,8	63,7	63,7	1395	0,995	1388	2,60	
																2,371	2,509		1393	3,03

Dt= (100+Wa)/(100/Gef+Wa/Gb)
 Vh= ((Dt-Dp)/Dt).100
 VMA= 100-(Dp/Gsb).(100/(100+Wa)).100
 Vf= ((VMA-Vh)/VMA).100
 optimum bitüm bağlayıcı : 4,9

**Form A.8 Grup B1 Numuneleri Koşullandırılmış
Marshall Stabilite Deney Sonuçları**

BITÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI (Gb) 1,0375
AGREGA KURU ÖZGÜL AĞIRLIK (Gsb) 2,683
AGREGA EFEKTİF ÖZGÜL AĞIRLIK (Gef) 2,696

KOŞULLANDIRILMIŞ MARSHALL DENEY FORMU

BRIKET NO	BITÜM YÜZDESİ	HAVADAKİ AĞIRLIK			SUDAKİ AĞIRLIK	DOYGUN YÜZEY KURU AĞIRLIK			M _{teorik} ÖZGÜL AĞIRLIK	BOŞLUK %	VMA %	ASFALT DOLU BOŞLUK % [(VMA-Vh)/100] VMA	BRIKET YÜKSEKLİĞİ			STABİLİTE	DÜZELTME FAKTÖRÜ	DÜZELTİLMİŞ STABİLİTE	AKMA			
		A	C	B		V	Dt	Vh					Vf	1	2					3	ORT	kg
Mermer Tozu (Grup B1)																						
1		12560	721.5	1258.0	536.5	2,341							64.0	64.8	65.0	64.6	1788	0.973	1740	2.34		
2		1255.0	724.5	1258.0	533.5	2,352							64.3	64.3	64.3	64.3	1788	0.980	1752	2.20		
3	4.90	4.67	124.10	714.5	1244.0	529.5	2,344						63.8	63.5	63.8	63.7	1851	0.995	1842	1.91		
Uçucu Kül (Grup B1)																						
4		1247.5	706.0	1250.5	544.5	2,291		2,509	6.5	16.7	61.0		65.8	66.3	66.5	66.2	2265	0.939	2177	1.80		
5		1252.0	708.0	1257.0	549.0	2,281							66.0	66.3	65.8	66.0	2268	0.943	2139	1.85		
6	4.90	4.67	1233.0	693.5	1236.0	542.5	2,273	2,509	9.1	18.9	52.2		65.0	65.0	65.3	65.1	2275	0.960	2184	1.75		
Fosfojips (Grup B1)																						
7		1250.0	720.0	1255.5	535.5	2,334							65.0	65.5	65.3	65.3	1596	0.956	1526	3.14		
8		1238.5	712.0	1242.5	530.5	2,335							64.0	64.3	64.5	64.3	1608	0.980	1576	3.30		
9	4.90	4.67	1231.0	706.5	1233.0	526.5	2,338						63.3	64.0	64.0	63.8	1354	0.993	1345	2.85		
Cam Tozu (Grup B1)																						
10		1256.5	727.0	1260.5	533.5	2,355							64.3	64.3	64.8	64.5	1409	0.975	1374	2.13		
11		1254.0	727.0	1256.0	529.0	2,371							63.5	64.0	65.0	64.2	1490	0.983	1465	2.22		
12	4.90	4.67	1234.5	710.5	1237.0	526.5	2,345	2,509	6.9	17.0	59.5		63.5	63.5	63.3	63.4	1422	1.003	1426	2.08		
Taştozu (Grup B1)																						
13		1270.0	731.5	1272.5	541.0	2,348		2,509	6.1	16.3	62.8		65.3	65.3	66.0	65.5	1307	0.953	1246	2.63		
14		1245.5	710.5	1248.0	537.5	2,317							64.8	64.3	65.3	64.8	1671	0.968	1618	1.80		
15	4.90	4.67	1250.0	711.0	1252.0	541.0	2,311	2,509	7.3	17.4	57.9		65.0	65.3	65.3	65.2	1370	0.958	1312	2.84		
																		2,325	2,509	7.3	17.4	57.9

Dt= (100+Wa)/(100(Gef+Wa/Gb))

Vh= ((Dt-Dp)/Dt).100

VMA= 100-(Dp/Gsb). (100/(100+Wa)).100

Vf= ((VMA-Vh)/VMA).100

optimum bitüm bağlayıcı: 4.9

**Form A.9 Grup B2 Numuneleri Koşullandırılmış
Marshall Stabilite Deney Sonuçları**

BITÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI (Gb) 1,0375
 AGREGA KURU ÖZGÜL AĞIRLIK (Gsb) 2,683
 AGREGA EFEKTİF ÖZGÜL AĞIRLIK (Gef) 2,696

KOŞULLANDIRILMIŞ MARSHALL DENEY FORMU

BRIKET NO	BITÜM YUZDESİ	HAVADAKİ SUDAKİ AĞIRLIK			DOYGUN YÜZEY KURU AĞIRLIK			HACİM	PRAKİK ÖZGÜL AĞIRLIK	İBRETÖRİK ÖZGÜL AĞIRLIK	BOŞLUK %	VMA %	ASFALT DOLU BOŞLUK %	BRIKET YÜKSEKLİĞİ			STABİLİTE	DÜZELTİME FAKTÖRÜ	DÜZELTİLMİŞ STABİLİTE	AKİMA								
		Wa	Wb	A	C	B	V							Dp	Dt	Vh					VMA	VF	1	2	3	ORT	kg	mm
Mermer Tozu (Grup B2)																												
1			1252.0	724.5	1254.5	530.0	2.362							64.3	65.8	65.5	65.2	1750	0.958	1677	2.68							
2			1231.0	713.5	1232.5	519.0	2.372							62.5	62.8	64.0	63.1	1630	1.010	1646	2.55							
3	4.90	4.67	1263.0	731.5	1264.5	533.0	2.370							64.3	65.3	65.3	65.0	1720	0.963	1656	3.12							
Uçucu Kül (Grup B2)																												
10			1245.5	694.5	1249.0	554.5	2.246		2.509		5.6	15.9	64.6	67.5	67.3	68.0	67.6	1761	0.908	1599	3.32							
11			1251.0	707.0	1257.0	550.0	2.275							67.3	67.3	67.5	67.4	1629	0.913	1487	2.58							
12	4.90	4.67	1230.5	686.5	1234.0	547.5	2.247		2.509		10.1	19.8	49.2	66.1	67.1	66.9	66.7	1561	0.930	1452	2.92							
Fosfojips (Grup B2)																												
7			1227.0	707.0	1229.5	522.5	2.348							63.0	63.5	63.0	63.2	1557	1.008	1569	3.05							
8			1239.5	711.0	1242.5	531.5	2.332							64.0	64.8	64.5	64.4	1827	0.978	1787	2.69							
9	4.90	4.67	1241.0	716.0	1244.0	528.0	2.350		2.509		6.6	16.7	60.7	63.5	64.5	64.5	64.2	1344	0.983	1321	2.61							
Cam Tozu (Grup B2)																												
4			1269.5	738.5	1271.0	532.5	2.384		2.509					64.8	65.0	65.0	64.9	SONUÇ ALINAMADI										
5			1244.5	720.5	1246.5	526.0	2.366							63.3	63.8	64.3	63.8	SONUÇ ALINAMADI										
6	4.90	4.67	1240.5	718.0	1242.0	524.0	2.367		2.509		5.4	15.7	65.4	64.5	64.0	63.8	64.1	SONUÇ ALINAMADI										
Taştozu (Grup B2)																												
13			1252.0	730.0	1253.5	523.5	2.392							63.4	63.5	63.4	63.4	1500	1.003	1505	2.63							
14			1249.0	728.5	1251.0	522.5	2.390							63.3	63.6	63.2	63.3	1696	1.005	1704	2.63							
15	4.90	4.67	1252.5	729.5	1254.5	525.0	2.386		2.509		4.8	15.1	68.5	63.5	63.6	63.7	63.6	1516	0.998	1513	2.80							
													2.389	2.509	4.8	15.1	68.5	1574	2.69									

DE= (100+Wa)/(100/Gef+Wa/Gb)
 Vh= ((Dt-Dp)/Dt) .100
 VMA= 100-(Dp/Gsb) .(100/(100+Wa)) .100
 VF= ((VMA-Vh)/VMA) .100

optimum bitüm bağlayıcı: 4.9

KAYNAKLAR

- [1] Terzi, S., Mermer toz atıkların asfalt betonunda filler malzemesi olarak kullanılmasının araştırılması, M.Sc. Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, (2000).
- [2] Tuncan, A., Çetin, A., Tuncan, M., "Lastik atıkların asfalt betonu kaplamaların mekanik özelliklerine etkileri", 2. *Ulusal Asfalt Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, Ankara, (1998), 139.
- [3] Turabi, A., Okucu, A., Değirmenci, N., "Fosforik asit üretim atığı fosfojipsin stabilizasyon malzemesi olarak kullanım olanaklarının araştırılması", 4. *Mühendislik Mimarlık Sempozyumu*, Balıkesir, (2002), 93.
- [4] Su, Nan, Chen, J. S., Engineering properties of asphalt concrete made with recycled glass, Department of Construction Engineering, National Yunlin University of Science and Technology, Taiwan, (2002), 259.
- [5] Şengöz, B., Topal, A., "Bitümlü çatı örtüsü (shingle) atıklarının bitümlü sıcak karışımlarda değerlendirilmesi", 4. *Mühendislik Mimarlık Sempozyumu*, Balıkesir, (2002), 169.
- [6] Yılmaz, A., "Bir elektrometalurji tesisinin atıklarının yol üstyapısında kullanılabilirliğinin araştırılması", 4. *Mühendislik Mimarlık Sempozyumu*, Balıkesir, (2002), 201.
- [7] Deniz, M.T., Sönmez, İ., Yıldırım, S. A., Eren, B. K., "Kullanılmış otomobil lastiklerinin bitümlü sıcak karışım performansına etkisi", 6. *Ulaştırma Kongresi*, İstanbul, (2005), 349.
- [8] Puzinauskas, V.P., "Filler in asphalt mixtures", *The Asphalt Institute, Research Report*, Maryland, USA, (1983).
- [9] Ali, N., Chan, J.S., Simms, S., Bushman, R., Bergan, A.T., "Mechanistic evaluation of fly ash asphalt concrete mixtures", *Journal of Materials in Civil Engineering*, ASCE, (1996).
- [10] Güngör, M.M., Afşin Elbistan uçucu külünün esnek yol kaplamalarında filler olarak kullanımı üzerine bir araştırma, M.Sc. Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, (1996).
- [11] Acar, S.O., Tapkın, S., "Portland çimentosu kullanılarak hazırlanan Marshall numunelerinin özelliklerinin incelenmesi", 2. *Ulusal Asfalt Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, Ankara, (1998), 95.

- [12] Ilıcalı, M., Tayfur, S., Özen, H., Sönmez, İ. ve Eren, K., Asfalt ve uygulamaları, İstanbul Asfalt Fabrikaları Sanayi ve Ticaret A.Ş., İstanbul, (2001).
- [13] Umar, F., Ağar, E., Yol üstyapısı, İ.T.Ü İnşaat Fakültesi, İstanbul, (1985).
- [14] Önal, A. ve Kahramangil, M., Bitümlü karışımlar laboratuvar el kitabı, K.G.M Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara, (1993).
- [15] Cüre, S., Kalite kontrolü, M.Sc. Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, (2005).
- [16] Ağar, E., Esnek yol üstyapılarının projelendirilmesi yüksek lisans ders notları, İ.T.Ü İnşaat Fakültesi, İstanbul, (1997).
- [17] Balta, İ., Bitümlü sıcak karışımların sudan kaynaklanan bozulmalara karşı duyarlılığı, M.Sc. Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, (2004).
- [18] Tunç, A., Yol malzemeleri ve uygulamaları, Atlas Yayın, İstanbul, (2001).
- [19] Yollar Fenni Şartnamesi, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı KGM, Yayın No: 170/2, Ankara, (2000).
- [20] Karayolları Genel Müdürlüğü 14. Bölge Müdürlüğü Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı Raporu, (1996).
- [21] <http://www.tupras.com.tr>, (2005).
- [22] Şayakçı Mermer San. Tic. A.Ş., (2005).
- [23] Aruntaş, H., Y., Uçucu küllerin inşaat sektöründe kullanım potansiyeli, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Ankara, Cilt 21, No 1, 193-203, (2006).
- [24] Zor, T., "Uçucu küller ve betonda kullanımı", 2. *Uluslararası Konferans*, Eskişehir, (1986).
- [25] SEAŞ Genel Müdürlüğü, Soma B Termik Santrali, (2005).
- [26] Işıldak, Ö., Fosfojips içeren portland çimentosunun hidrasyonu üzerine bazı piriz hızlandırıcı kimyasal katkıların etkileri, M.Sc. Tezi, Ondokuz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun, (1993).
- [27] Türkiye Şişe ve Cam Fabrikaları A. Ş. Araştırma Merkezi Cam Teknoloji Grubu Raporu, (2005).