

**T.C.  
TUNCELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MERMER, FERROKROM CÜRUFU VE CAM ATIKLARININ ASFALT  
BETON KAPLAMALARINDA FİLLER OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİNİN  
ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Yalçın TAŞGIN**

**Anabilim Dalı: Çevre Mühendisliği**

**DANIŞMAN  
Yrd. Doç. Dr. Özlem ERDEM**

**TUNCELİ-2014**

**T.C.  
TUNCELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MERMER, FERROKROM CÜRUFU VE CAM ATIKLARININ ASFALT  
BETON KAPLAMALARINDA FİLLER OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİNİN  
ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Yalçın TAŞGIN**

**(Enstitü No: 101102102)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih:21.2.2014**

**Tezin Savunulduğu Tarih:18.02.2014**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Özlem ERDEM**

**Diğer Jüri Üyeleri : Yrd. Doç. Dr. Hilal ARSLANOĞLU IŞIK**

**Yrd. Doç. Dr. Selim CEMALGİL**

**TUNCELİ-2014**

Yalçın TAŞGIN tarafından hazırlanan Mermer , Ferrokrom Cürufu ve Cam Atıklarının Asfalt Beton Kaplamalarında Filler Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Özlem ERDEM

Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. Bu tez, Tunceli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

Başkan : Yrd. Doç. Dr. Özlem ERDEM (T.Ü)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Hilal ARSLANOĞLU IŞIK (T.Ü)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Selim CEMALGİL (T.Ü)

Tarih : 21 Şubat 2014

## ÖNSÖZ

Yaptığımız çalışmada Mermer, Ferrokrom Cürufu ve Cam Atıklarının Asfalt Beton Kaplamalarında Filler Olarak Kullanılabilirliğinin araştırılmıştır. Bu tezin önerilmesinde ve yönlendirilmesinde yardımlarını esirgemiyen Hocam Tunceli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi Yrd. Doç. Dr. Özlem ERDEM'e en içten teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Araştırma ve incelemelerim de yol gösteren beni bilgilendiren Çevre Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyelerinden Yrd. Doç. Dr. Hilal ARSLANOĞLU IŞIK' a teşekkür ederim

Yalçın TAŞGIN

TUNCELİ-2014

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>II</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>III</b>
<b>ÖZET</b> .....	<b>VI</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>VIII</b>
<b>ŞEKİLLER LİSTESİ</b> .....	<b>IX</b>
<b>SEMBOLLER LİSTESİ</b> .....	<b>XII</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1. Yapı Malzemelerinin Geri Dönüşümü .....	2
1.1.1. Asfalt 'ta Geri Dönüşüm .....	2
1.1.2. Beton 'da Geri Dönüşüm.....	5
1.1.3. Mermer Sektöründe Geri Dönüşüm .....	6
1.1.4. Ahşap Malzemelerin Geri Dönüşüm .....	9
1.1.5. Cam Malzemede Geri Dönüşüm .....	10
1.1.6. Demir İçeren Metallerde Geri Dönüşüm .....	11
1.1.7. Tuğla Malzemede Geri Dönüşüm .....	12
1.2. Esnek Üstyapı Tasarım Esasları.....	13
1.2.1. Esnek Üstyapılarda Kaplama Tabakasında Kullanılan Malzeme Özellikleri.....	14
1.2.1.1. Agregalar .....	14
1.2.1.2. Bitüm (Asfalt Çimentosu).....	16
1.3. Yapısal Atıkların Esnek Üstyapıda Kullanımı ile ilgili Çalışmalar .....	17
<b>2. MATERYAL VE YÖNTEM</b> .....	<b>21</b>
2.1. Kullanılan Malzemeler .....	21
2.1.1. Mineral Agregalar .....	21
2.1.2. Mineral Filler.....	22
2.1.2.1. Kırmataş Tozu .....	22
2.1.2.2. Mermer Atıkları.....	22
2.1.2.3. Ferrokrom Cürufu .....	22
2.1.2.4. Cam Atıkları .....	23
2.1.3. Asfalt Çimentosu.....	23
2.2. Kullanılan Yöntemler .....	23

2.2.1. Mineral Agrega Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi.....	23
2.2.1.1. Kaba Agregalar İçin Özgül Ağırlık Deneyi .....	23
2.2.1.2. İnce Agregalar İçin Özgül Ağırlık Deneyi.....	24
2.2.1.3. Mineral Filler İçin Özgül Ağırlık Deneyi .....	25
2.2.2. Asfalt Çimentosunun Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi .....	26
2.2.2.1. Penetrasyon Deneyi .....	26
2.2.2.2. Asfalt çimentosu için özgül ağırlık deneyi.....	27
2.2.3. Deney Numunelerinin Hazırlanmasında Kullanılacak Agrega Gradasyonunun Belirlenmesi .....	28
2.3. Marshall Metodu İle Bitümlü Karışımların Tasarımı.....	30
2.3.1. Deney numunelerini hazırlanması.....	30
2.3.2. Marshall Stabilite ve Akma Deneyi.....	32
2.4. Kaplama Karışım Hesapları için Gerekli Bağıntılar .....	34
2.4.1. Agrega Hacim Özgül Ağırlığı ve Zahirî Özgül Ağırlığı.....	34
2.4.2. Agrega Efektif Özgül Ağırlığının Tayini.....	35
2.4.3. Farklı Bitüm Miktarlarında Karışımın Maksimum Özgül Ağırlığı.....	36
2.4.4. Sıkıştırılmış Kaplama Karışımındaki Agregalar Arası Boşluk (VMA) Yüzdesi .....	36
2.4.5. Sıkıştırılmış Kaplama Karışımındaki Hava Boşluğu ve Asfaltla Dolu Boşluk Yüzdesinin Hesaplanması .....	37
2.5. Optimum Bitüm Yüzdesinin Belirlenmesi .....	38
<b>3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....</b>	<b>40</b>
3.1. Mineral Agreganın Fiziksel Özellikleri ile İlgili Deney Sonuçları.....	40
3.2. Mineral Fillerin Zahirî Özgül Ağırlığının Belirlenmesi.....	40
3.3. Asfalt Çimentosu Özgül Ağırlık Deneyi .....	41
3.4. Numunelerde Kullanılacak Agrega Gradasyonu .....	41
3.5. Hazırlanan Numunelere Uygulanan Deneyler .....	42
3.5.1. Marshall Metodu İle Optimum Bitüm Yüzdelerinin Belirlenmesi .....	42
3.5.1.1. Filler Olarak Kırmataş Tozunun Kullanıldığı Numunelere Ait Grafikler .....	42
3.5.1.2. Filler Olarak Mermer Tozunun Kullanıldığı Numunelere Ait Grafikler .....	47

3.5.1.3. Filler Olarak Ferrokrom Cüruf Tozunun Kullanıldığı Numunelere Ait Grafikler .....	52
3.5.1.4. Filler Olarak Cam Tozunun Kullanıldığı Numunelere Ait Grafikler	56
3.5.1.5. Filler Olarak Kullanılan Numunelere Ait Karşılaştırma Grafikleri.	59
3.5.2. Optimum Bitüm Yüzdesindeki Optimum Filler Oranı.....	61
3.5.2.1. Farklı Filler Oranlarında Kırmataş Tozu İle Hazırlanan Numunelere Ait Marshall Deney Sonuçları .....	61
3.5.2.2. Farklı Filler Oranlarında Mermer Tozu İle Hazırlanan Numunelere Ait Marshall Deney Sonuçları .....	66
3.5.2.3. Farklı Filler Oranlarında Ferrokrom Cüruf Tozu İle Hazırlanan Numunelere Ait Marshall Deney Sonuçları .....	70
3.5.2.4. Farklı Filler Oranlarında Cam Tozu İle Hazırlanan Numunelere Ait Marshall Deney Sonuçları .....	73
<b>4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>	<b>78</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>79</b>

## **ÖZET**

**Yüksek Lisans Tezi**

# **MERMER, FERROKROM CÜRUFU VE CAM ATIKLARININ ASFALT BETON KAPLAMALARINDA FİLLER OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Yalçın TAŞGIN**

**Tunceli Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Yrd. Doç. Dr. Özlem ERDEM**

Günümüzde insan nüfusunun hızla artması ve mevcut kaynakların tükenmeye başlamasıyla, meydana gelen atıkların azaltılması, mevcut atıkların potansiyel bir hammadde kaynağı olarak yeniden değerlendirilmesi konuları önem kazanmaya başlamıştır. Hammaddenin en çok tüketildiği sektörlerden birisi karayolu inşaatı sektörüdür. Özellikle çeşitli evsel ve endüstriyel atıkların karayolu inşaatı sektöründe değerlendirilmesi yoluna gidilerek atık malzemelerinin değerlendirilmesiyle hem atıkların oluşturacağı çevre kirliliği önlenmekte, hem de bu atıklar kullanılarak hammadde ve ekonomik kazanç sağlanarak ülke ekonomisine de katkıda bulunmaktadır.

Bu çalışmada; mermer tozu, ferrokrom cürufu ve cam tozu atıklarının esnek üst yapılarda filler malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır ve geleneksel olarak kullanılan kırmataş tozu ile karşılaştırma yapılmıştır. Birinci aşamada değişik bitüm yüzdeleri kullanılarak Marshall stabilite deney sonuçlarına göre optimum bitüm yüzdeleri belirlenmiştir. Kırmataş tozu, mermer atıkları, ferrokrom cürufu ve cam atıkları ile değişik bitüm yüzdelerinde yapılan Marshall stabilite deney sonuçlarına göre stabilite, pratik özgül ağırlık, asfaltla dolu boşluk yüzdesi, akma ve agregalar arası boşluk yüzdesi değerlerinin değişimleri tespit edilmiştir. İkinci aşamada ise optimum bitüm yüzdesine göre değişik filler malzeme oranları kullanılarak Marshall stabilite deneyleri sonucuna göre kırmataş numuneleri sonuçları ile karşılaştırma yapılmıştır.



Deney sonuçlarına göre; kullanılan tüm atık maddeler için optimum bağlayıcı oranları % 5.78 ile % 5.99 arasında değişmektedir. En yüksek stabilite değerleri ise ferrokrom cüruf karışımında elde edilmiştir. Sonuç olarak; mermer tozu, ferrokrom cürufu ve cam tozu atıklarının esnek üst yapılarda kırmataş yerine filler malzemesi olarak kullanılabilceği tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimler:** Asfalt Beton, Mermer Atıkları, Ferrokrom Cüruf Atıkları, Cam Atıklar.

**ABSTRACT**  
**MASTER THESIS**  
**INVESTIGATION ON USABILITY OF MARBLE, FERROCHROME SLAG AND**  
**GLASSWASTES AS FILLER IN ASPHALT CONCRETE PAVEMENT**

**Yalçın TAŞGIN**  
**Tunceli University**  
**Institute of Physical Sciences**  
**Department of Environmental Engineering**

**Advisor: Asst. Prof. Dr. Özlem ERDEM**

Duetorecentin crease of human population and commence of shortage inexisting resources, reduction of waste production and recycling of existing waste stock stop produce raw material have been becoming important topics. One of the most raw material consuming sectors is road and highway construction sector. By preferring recycling of various domestic and in dustrial waste stouse them in highway constructions can both prevent the environmental pollution created by wastes and provide benefits fornational economy by producing raw material.

This studying vestigates availability of marble powder, ferro chromes lag and glass powder wastes as filler material at flexible pavements and they are compared with conventionally used crushed Stone powder. In the first step, by using various values of bitumen percentages, optimum bitumen percent values were determined according to Marshall Stability test results. Considering the results of Marshall Stability test carrie dout with crushed Stone powder, marble wastes, ferro chromes lag and waste glass with various bituminous percent ages, changes in values of stability, practical specific weight, asphalt filled porosity, flowand inter-aggregate porosity were determined. In the second step, by using varioustratios of filler materials depending on optimum bitumen ousamount, crushed stone sample results obtained from Marshall Stability tests were compared.

According to the test results; optimum binder ratios for all waste material sare changing between 5.78% and 5.99%. Highest stability values are obtained from ferro chromes lag mixture. As a result; marble powder, ferro chromes lag and glass powder wastes can be used as filler material in flexible pavements instead of crushed stone.

**Keywords:** Asphalt Concrete, Marble Wastes, Ferrochrome Slag Wastes, Glass Wastes.

## ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Bir asfalt geri dönüşüm santrali.....	4
Şekil 1.2. Yerinde asfalt geri dönüşüm ekipmanları (tren operasyonu) .....	5
Şekil 1.3. Esnek üstyapı en kesiti .....	14
Şekil 2.1. Penetrasyon deney aleti.....	27
Şekil 2.2. Elek analizi .....	29
Şekil 2.3. Mekanik asfalt karıştırıcısı .....	31
Şekil 2.4. Marshall deney numuneleri.....	32
Şekil 2.5. Hidrolik numune çıkarıcı.....	33
Şekil 2.6. Su banyosu.....	33
Şekil 2.7. Marshall deney aleti.....	34
Şekil 3.1. Kırmataş Marshall stabilitesinin bitüm yüzdesi ile değişimi .....	43
Şekil 3.2. Kırmataş pratik özgül ağırlığın bitüm yüzdesi ile değişimi .....	43
Şekil 3.3. Kırmataş asfaltla dolu boşluğun bitüm yüzdesi ile değişimi.....	44
Şekil 3.4. Kırmataş boşluğun bitüm yüzdesi ile değişimi.....	45
Şekil 3.5. Kırmataş akmanın bitüm yüzdesi ile değişimi.....	46
Şekil 3.6. Kırmataş agregalar arası boşluğun (VMA) bitüm yüzdesi ile değişimi.....	47
Şekil 3.7. Mermer tozu Marshall stabilitesinin bitüm yüzdesi ile değişimi.....	48
Şekil 3.8. Mermer tozu pratik özgül ağırlığın bitüm yüzdesi ile değişimi .....	49
Şekil 3.9. Mermer tozu asfaltla dolu boşluğun bitüm yüzdesi ile değişimi .....	49
Şekil 3.10. Mermer tozu boşluğun bitüm yüzdesi ile değişimi.....	50
Şekil 3.11. Mermer tozu akmanın bitüm yüzdesi ile değişimi.....	51
Şekil 3.12. Mermer tozu agregalar arası boşluğun (VMA) bitüm yüzdesi ile değişimi.....	51
Şekil 3.13. Ferrokrom cüruf tozu Marshall stabilitesinin bitüm yüzdesi ile değişimi.....	52
Şekil 3.14. Ferrokrom cüruf tozu pratik özgül ağırlığın bitüm yüzdesi ile değişimi .....	53
Şekil 3.15. Ferrokrom cüruf tozu asfaltla dolu boşluğun bitüm yüzdesi bitüm yüzdesi ile değişimi.....	53
Şekil 3.16. Ferrokrom cüruf tozu boşluğun bitüm yüzdesi ile değişimi.....	54
Şekil 3.17. Ferrokrom cüruf tozu akmanın bitüm yüzdesi ile değişimi.....	55
Şekil 3.18. Ferrokrom cüruf tozu agregalar arası boşluğun (VMA) bitüm yüzdesi ile değişimi.....	55
Şekil 3.19. Cam tozu Marshall stabilitesinin bitüm yüzdesi ile değişimi.....	56

Şekil 3.20. Cam tozu pratik özgül ağırlığın bitüm yüzdesi ile değişimi.....	56
Şekil 3.21. Cam tozu asfaltla dolu boşluğun bitüm yüzdesi ile değişimi .....	57
Şekil 3.22. Cam tozu boşluğun bitüm yüzdesi ile değişimi.....	57
Şekil 3.23. Cam tozu akmanın bitüm yüzdesi ile değişimi.....	58
Şekil 3.24. Cam tozu agregalar arası boşluğun (VMA) bitüm yüzdesi ile değişimi.....	58
Şekil 3.25. Karşılaştırmalı stabilite değerleri.....	60
Şekil 3.26. Karşılaştırmalı akma değerleri.....	60
Şekil 3.27. Kırmataş Marshall stabilitesinin filler yüzdesi ile değişimi .....	62
Şekil 3.28. Kırmataş pratik özgül ağırlığın filler yüzdesi ile değişimi.....	62
Şekil 3.29. Kırmataş tozu asfaltla dolu boşluğun filler yüzdesi ile değişimi.....	63
Şekil 3.30. Kırmataş boşluğun filler yüzdesi ile değişimi .....	64
Şekil 3.31. Kırmataş akmanın filler yüzdesi ile değişimi .....	65
Şekil 3.32. Kırmataş VMA %'sinin filler yüzdesi ile değişimi .....	65
Şekil 3.33. Mermer tozu Marshall stabilitesinin filler yüzdesi ile değişimi .....	66
Şekil 3.34. Mermer tozu pratik özgül ağırlığın filler yüzdesi ile değişimi .....	67
Şekil 3.35. Mermer tozu asfaltla dolu boşluğun filler yüzdesi ile değişimi.....	67
Şekil 3.36. Mermer tozu boşluğun filler yüzdesi ile değişimi .....	68
Şekil 3.37. Mermer tozu akmanın filler yüzdesi ile değişimi .....	69
Şekil 3.38. Mermer tozu VMA%'sinin filler yüzdesi ile değişimi .....	69
Şekil 3.39. Ferrokrom cüruf tozu Marshall stabilitesinin filler yüzdesi ile değişimi .....	70
Şekil 3.40. Ferrokrom cüruf tozu pratik özgül ağırlığın filler yüzdesi ile değişimi.....	71
Şekil 3.41. Ferrokrom cüruf tozu asfaltla dolu boşluğun filler yüzdesi ile değişimi .....	71
Şekil 3.42. Ferrokrom cüruf tozu boşluğun filler yüzdesi ile değişimi .....	72
Şekil 3.43. Ferrokrom cüruf tozu akmanın filler yüzdesi ile değişimi .....	72
Şekil 3.44. Ferrokrom cüruf tozu VMA%'sinin filler yüzdesi ile değişimi.....	73
Şekil 3.45. Cam tozu Marshall stabilitesinin filler yüzdesi ile değişimi .....	74
Şekil 3.46. Cam tozu pratik özgül ağırlığın filler yüzdesi ile değişimi .....	74
Şekil 3.47. Cam tozu asfaltla dolu boşluğun filler yüzdesi ile değişimi.....	75
Şekil 3.48. Cam tozu boşluğun filler yüzdesi ile değişimi.....	75
Şekil 3.49. Cam tozu akmanın filler yüzdesi ile değişimi .....	76
Şekil 3.50. Cam tozu VMA%'sinin filler yüzdesi ile değişimi .....	76

## TABLolar LİSTESİ

	<b><u>Sayfa No</u></b>
<b>Tablo 1.1.</b> Malzemelerin geri dönüşüm teknolojileri ve geri dönüştürüldükten sonraki kullanım alanları.....	3
<b>Tablo 1.2.</b> Mineral fillerin gradasyon limitleri .....	16
<b>Tablo 2.1.</b> Aşınma tabakası agrega granülometrisine ait şartname sınırları.....	29
<b>Tablo 2.2.</b> Trafik durumuna göre uygulanacak darbe sayısı .....	32
<b>Tablo 2.3.</b> Beton asfalt kaplama tabakasının dizayn kriterleri .....	39
<b>Tablo 3.1.</b> İri ve ince agrega için yapılan deneyler ve sonuçları .....	40
<b>Tablo 3.2.</b> Değişik tipteki fillerin özgül ağırlık değerleri.....	41
<b>Tablo 3.3.</b> Bitüm 70-100 ürün bilgileri .....	41
<b>Tablo 3.4.</b> Deneylerde kullanılan agrega granülometresi.....	42
<b>Tablo 3.5.</b> Farklı filler oranlarına göre hazırlanan agrega tane boyu dağılımları.....	61

## SEMBOLLER LİSTESİ

A	: Agreganın etüvde kurutulmuş ağırlığı (gr)
A <sub>f</sub>	: Etüvde kurutulmuş numune ağırlığı (gr)
B	: Agreganın doygun yüzey kuru ağırlığı (gr)
B <sub>f</sub>	: Su ile dolu piknometre ağırlığı (gr)
C	: Agreganın sudaki ağırlığı (gr)
C <sub>f</sub>	: 1/3 'ü Su ve numune ile doldurulmuş piknometre ağırlığı (gr)
D <sub>f</sub>	: Su banyosundan çıkarılıp ve kurulan numunenin ağırlığı (gr)
D <sub>T</sub>	: Kaplama karışımının boşluksuz maksimum özgül ağırlığı (kN/cm <sup>3</sup> )
D <sub>p</sub>	: Sıkıştırılmış karışımın hacim özgül ağırlığı (kN/cm <sup>3</sup> )
F	: Fillerin ağırlıkça yüzdesi
G <sub>ag</sub>	: Agreganın hacim özgül ağırlığı
G <sub>b</sub>	: Bitüm özgül ağırlığı (kN/cm <sup>3</sup> )
G <sub>ka</sub>	: Kaba agreganın özgül ağırlığı
G <sub>ia</sub>	: İnce agreganın özgül ağırlığı
G <sub>fa</sub>	: Fillerin özgül ağırlığı
G <sub>ef</sub>	: Agreganın efektif özgül ağırlığı (kN/cm <sup>3</sup> )
G <sub>sb</sub>	: Bitümün hacim özgül ağırlığı (kN/cm <sup>3</sup> )
K	: Kaba agreganın ağırlıkça yüzdesi
İ	: İnce agreganın ağırlıkça yüzdesi
W <sub>a</sub>	: Agreganın ağırlıkça yüzdesi olarak bitüm ağırlığı (gr)
VMA	: Agregalar arası boşluk yüzdesi
V <sub>h</sub>	: Toplam hacmin yüzdesi olarak sıkıştırılmış karışımdaki hava boşluğu.(%)
V <sub>f</sub>	: Asfaltla dolu boşluk (%)
VMA	: Agregalar arası boşluk yüzdesi (%)

## 1. GİRİŞ

Gelişen teknoloji ve nüfus artışının beraberinde getirdiği sorunların başında katı atık problemi gelmektedir. Dünyada çevre kirliliğine yol açan, insanların sosyal ve ekonomik faaliyetleri sonucunda işe yaramaz hale gelen ve akıcı olabilecek kadar sıvı içermeyen her türlü madde ve malzemeyi içeren maddelere katı atık denilmektedir. Bu atıkların kontrolü ve yönetimi, modern toplumların en büyük sorunlarından biridir. Atıkların yakılması veya düzenli depolama alanları oluşturularak depolanması en çok uygulanan yöntemlerdir. Ancak atıkların değerlendirilmesi de, son yıllarca üzerinde oldukça fazla durulan yöntemlerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır.

Atık yönetiminde, öncelikle atıklardan dolayı oluşabilecek çevre kirliliğinin önüne geçilebilmesi amaçlanmaktadır. İkinci olarak bu atıkları geri dönüştürebilmek için uygulanması gereken en sağlıklı yöntem belirlenmelidir. Daha faaliyet başlamadan önce, faaliyet sonucu oluşabilecek atık türleri, miktarları ve çevreye olabilecek etkilerini hesaplayarak; oluşan atığın geri kazanımı, bertaraf edilmesi ve tekrar kullanımına kadar geri dönüşümlü bir sistem stratejisi geliştirmek, yani yapısal atıkların sistemli bir şekilde yönetilmesini sağlamak gerekmektedir.

Yol üstyapısının her bir tabakasında kullanılan malzemeler, yolun öngörülen ömür ve konfor seviyesinin sağlanması bakımından büyük önem taşırlar. Esnek yol üstyapısını oluşturan bağlayıcı ve agregaların özellikleri esnek üstyapının performansını etkiler. Bu sektörde kullanılan tabii kaynakların kısıtlı olması nedeniyle malzeme maliyetleri yükselmiştir. Bu nedenle endüstriyel atıkların inşaat sektöründe kullanılması çok yönlü yarar sağlayabilecek bir konu olmuştur. Bu atıkların kullanımı ile bir taraftan sınırlı tabii kaynakların hızlı tüketimi önlenirken, diğer taraftan da atıkların sebep olduğu çevre problemlerine bir ölçüde çözüm getirilmiştir.

Bu çalışmanın amacı, her geçen gün artan ve önlem alınmadığı takdirde daha büyük sorunlara yol açacağı bilinen, yapısal atık sorununa dikkat çekip, bu atıkların içerdiği yüksek geri dönüşüm potansiyeline sahip yapı malzemelerinin geri dönüşüm teknolojileri ve potansiyellerini araştırmak, yapısal atıkların en etkin şekilde değerlendirilme yöntemlerini ortaya koymaktır.

## **1.1. Yapı Malzemelerinin Geri Dönüşümü**

Geri dönüşebilir bir malzeme söz konusu olduğu zaman; ekonomi, diğer malzemelerle uyumluluk, malzemenin özellikleri konularına dikkat etmek gerekmektedir (Tam ve Tam, 2006). Bazı yapı malzemelerinin geri dönüşümü, sağladığı çevresel yararların yanında ekonomik yararlar da sağlamaktadır (alüminyum, çelik, cam, kâğıt vb). Fakat bazılarının (örneğin beton) geri dönüşümü ek maliyet getirebilir. Geri dönüşüm konusunda duyarlı bazı ülkelerde, ekonomik getirisine bakılmaksızın çevre ve insan sağlığı adına geri dönüşüm gerçekleştirilmektedir. Aynı zamanda, günümüz şartlarında uygulamaya yönelik olsa da olmasa da bütün malzemeler için her türlü geri dönüşüm yöntemi ve deneyleri yine bu konuda gelişmiş ülkeler tarafından yapılmakta, çoğu başarıyla sonuçlanmaktadır.

Birçok malzemenin geri dönüşüm şeması yapılmasına rağmen, genel çerçevede yapısal atıkların güncel geri dönüşüm yöntemi birkaç katı atık türünü içermektedir. Günümüzde asfalt, tuğla, beton, demir içeren metaller, cam, taş, demir içermeyen metaller, kâğıt-karton, plastik, ahşabın geri dönüşümü çalışılmaktadır. Tablo 1.1'de bu malzemelerin geri dönüşüm teknolojileri ve geri dönüştürüldükten sonraki kullanım alanları verilmiştir.

### **1.1.1. Asfalt 'ta Geri Dönüşüm**

Ne yazık ki ülkemizde şu an için yaygın olarak kullanılmayan fakat Avrupa'daki birçok ülkede ve Amerika'da sıkça kullanılan geri dönüşüm uygulamalarından birisi de asfalt geri dönüşümüdür. Son yıllarda petrol ürünlerin fiyatındaki büyük artış, kaliteli agrega temininin güç olması asfalt kaplamalardaki malzemelerin yeniden değerlendirilmesine olan ilgiyi oldukça arttırmıştır. Bu uygulamanın önemli bir avantajı da yeni kaplamalarda özellikle şehir içi yollarda büyük problem olan kot artmalarını engellemesidir.

Geri dönüşüm işlemleri; kaplamanın kazınıp santrale götürüldükten sonra yeniden işleminden geçirilip tekrar kaplama malzemesi haline dönüştürülmesiyle veya aynı sıcak veya soğuk karışım asfalttaki gibi özel ekipmanlar kullanmak suretiyle, yerinde kaplamayı kazıma, gençleştirme ve yeniden kaplamanın serilmesi şeklinde gerçekleştirilir.



**Tablo 1.1.** Malzemelerin geri dönüşüm teknolojileri ve geri dönüştürüldükten sonraki kullanım alanları (Tam and Tam, 2006).

Malzemeler	Geri Dönüşüm Teknolojisi	Geri Dönüştürülmüş Ürün
Asfalt	Soğuk Geri Dönüşüm Isı Üretimi Minnesota Üretim Paralel Silindir Üretim Uzatılmış Silindir Üretim Mikrodalga Asfalt Geri Dönüşüm Sistemi Finfalt Yüzey Yenileme	Geri Dönüştürülmüş Asfalt Asfalt Agregası
Tuğla	Yakıp kül (ash) haline getirme Agrega haline getirmek için kırma	Balçık kül Dolgu malzemesi Hardcore
Beton	Agrega haline getirmek için kırma	Geri dönüştürülmüş agrega Yeni beton yapımında kullanma Nehir seti Dolgu malzemesi
Demir İçeren Metaller	Eritmek Doğrudan yeniden kullanma	Geri dönüştürülmüş çelik parçaları
Cam	Doğrudan yeniden kullanma Öğütürerek toz haline getirme Cilalama Kırıp agregaya katma Yakıp kül (ash) haline getirme	Geri Dönüştürülmüş Pencere Ünitesi Cam elyafı Dolgu malzemesi Seramik Kaldırım taşı Asfalt Geri dönüştürülmüş agrega Çimento yerine sentetik toprak
Taş	Agrega haline getirmek için kırma Kül(ash) haline getirmek için 900° C 'ye ısıtma	Isı yalıtım betonu Geleneksel çamur tuğla Sodyum silikat tuğla
Demir İçermeyen Metaller	Eritmek	Geri dönüştürülmüş metal
Kağıt/Karton	Temizleme	Geri dönüştürülmüş kağıt
Plastik	Kriyojenik öğütme ile toza dönüştürme Kırma, kesme Agrega haline getirmek için kırma Yakıp kül (ash) haline getirme	Panel Geri dönüştürülmüş plastik Plastik kereste Geri dönüştürülmüş agrega Alan doldurma drenajı Asfalt Sentetik toprak
Ahşap	Doğrudan yeniden kullanma Agregaya karıştırma Maden eritme ocağında oksijenini çıkarma Gazlaştırma ve Işıl kesim Yüksek su buharı altında şekil verme	Tek parça ahşap Mobilya ve mutfak malzemeleri Hafif geri dönüştürülmüş agrega Enerji kaynağı Kimyasal üretim Ahşap kaynaklı panel Plastik kereste Geofiber İzolasyon levhası

Eski kaplamaların ıslah edilmesinde iki ana yöntem kullanılmaktadır. Bunlardan yaygın kullanılan yöntem, kaplamanın kesici dişli buldozer ekipmanı ile veya beko ile kırılması ve asfalt santraline taşınarak 38mm veya daha küçük boyutlara sahip granüllü malzeme haline dönüştürülmesidir. Bununla birlikte yerinde öğütme metodu da tercih edilmektedir. Eski kaplama uygun derinlikte kazınarak istenen boyuta düşürülür. Kazıma derinliği şartnamelerin müsaade ettiği sınırlara ve verilmesi gereken enine eğime göre değişiklik gösterir, böylece teker izi ve diğer kaplama hasarlarına karşı önlem alınmış olunur.

Genellikle asfalt geri dönüşüm santrallerinde % 70 oranında geri dönüştürülmüş malzeme kullanılarak üretim yapılır. Yani agrega hızlı bir şekilde ısıtıldıktan sonra, geri dönüştürülmüş malzeme yeni malzemeye yarı yarıya bir oranda eklenerek sıcak gazlarla tekrar ısıtılır. Farklı bir tankta yeni asfalt eklemek suretiyle karışım tamamlanır. Sonuçta elde edilen karışım asfalt çimentosunun kalite olarak orijinale yakın olması gerekmektedir. Şekil 1.1'de bir asfalt geri dönüşüm santrali görülmektedir. Santralde karıştırılmış geri dönüşüm asfaltlarda aynı yeni asfalt betonu gibi Marshall ve Hveen karışım dizayn metotları uygulanır. Yaklaşık % 4-1,5 oranında yeni asfalta ihtiyaç vardır. Buda yeni malzeme açısından % 4-7 arasında tasarruf anlamına gelmektedir. Yeni asfalt, AC 10 (pen 85- 100) yerine AC 5 (pen 120-150) gibi, eskisine nazaran daha yumuşaktır.



Şekil 1.1. Bir asfalt geri dönüşüm santrali (URL-1).

Yerinde asfalt geri dönüşüm uygulaması; yerinde sıcak karışım, yerinde soğuk karışım olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Fakat uygulama çok küçük farklar dışında benzerlik gösterir. Sıcak karışımında eski asfaltta yumuşatma yapılırken soğuk karışımında eski asfaltta doğrudan yumuşatma yapılmaz. Yerinde sıcak karışımında sırasıyla şu işlemler yapılır:

- Eski kaplama enfraruj ısıtma yöntemi ile ısıtılır.
- Isıtma işleminden sonra 25-50 mm arasında değişen derinliklerde kazıma yapılır.
- Malzeme mikserle yerleştirilerek yeniden gençleştirici maddeler (asfalt emülsiyonu, hafif yağ v.b.) eklenir, karışım istenen kıvama eriştikten sonra serme ve sıkıştırma işlemleri yapılır. Yeni malzemeye istenirse işlenmemiş malzemede eklenebilir.

Yerinde geri dönüştürülmüş kaplama, istenirse daha sonra yeni bir sürtünme tabakası ile kaplanarak, emülsiyondan sonra küre bırakılır. Bu yöntemle üretilen kaplamalar oldukça ekonomiktir ve bu yöntem yansıma çatlaklarına karşı dirençli bir rehabilitasyon yöntemidir. Yöntemin uygulaması esnasında trafik kesintisi çok az sürer ve sıkıştırma işleminden 1 saat sonra yol trafiğe açılabilir.

Bununla birlikte bu yöntem hafif trafik hacimli yollar için önerilir. Şekil 1.2'de yerinde asfalt geri dönüşüm ekipmanlarının şematik çalışma düzeni görülmektedir. Yerinde geri dönüşüm metodu, karışım dizayn metotları kadar yaygın değildir, bununla birlikte kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır.



Şekil 1.2. Yerinde asfalt geri dönüşüm ekipmanları (tren operasyonu)

### 1.1.2. Beton 'da Geri Dönüşüm

Geri dönüştürülmüş yapı hammaddelerine olan global talep son on yılda büyük ölçüde artmıştır. Beton malzemesi inşaat sektöründe en çok kullanılan malzemedir. Mimari ve peyzaj amaçlı yapılarda çok geniş şekil, renk, doku ve kaplama seçeneklerini uygulayabilmek için betonun sağladığı olanaklardan yararlanılır. Avrupa hazır beton sektörü, 12.000'ı aşkın faal tesiste yılda yaklaşık 300 milyon metreküp beton üretmektedir.

Yıllık hazır beton tüketimi 0.3 - 1.40 metreküp/kişi seviyesindedir. Yaklaşık 720 milyon ton malzemenin ve buna tekabül eden enerjinin kullanımı kuşkusuz çevre bakımından çok önemli sonuçlar doğurmaktadır. Bir bina ya da yapının yıkılması gerektiği zaman, elde edilen eski beton, kırılarak beton agregası ya da yollarda zemin altı malzemesi olarak yeniden kullanılabilir. Betonun ağır matriksi onu, aynen veya çok az güç ve performans kaybına uğrayarak kullanılabilen ideal bir geri dönüşümlü malzeme yapmaktadır. Kullanılmadan iade edilen betonun hemen ya da daha sonra beton karışımlarında kullanılmasını mümkündür. Ayrıca, beton ürünü, yol döşemesi ya da inşaat dolgu malzemesi olarak yeniden kullanılmasını sağlayan sistemlerde bulunmaktadır. Ülkemizde bu durumun henüz uygulaması bulunmamaktadır. Ancak, Amerika Birleşik Devletlerinde her yıl 200 mil beton kaplamanın geri dönüşümü yapılmakta, kanuni yaptırımla 44 eyalette geri dönüştürülmüş beton agregası kullanılmaktadır.

Avustralya Victoria'da geri dönüştürülmüş beton agregalar çeşitli uygulamalarda çok sık kullanılmaktadır. Burada yapılan çalışmalar geri dönüştürülmüş beton agregaların normal agrega yerine veya beton üretiminin yapısal olmayan uygulamalarında kullanılabileceğini göstermiştir. Geri dönüştürülmüş beton agregaları özellikle yol inşaatı için temel dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır. Bu uygulama yıkılmış beton atıklardan faydalanmayı sağladığı gibi sektör içerisinde de önemli miktarlarda atık azalmasına imkan tanımaktadır (Sagoe-Crentsil ve Brown, 1998).

### **1.1.3. Mermer Sektöründe Geri Dönüşüm**

Üretimi ve işlenmesi esnasında meydana gelen atık miktarı % 60'lara ulaşan mermer sektörü de yeniden kullanım için önemli miktarlarda hammadde açığa çıkarmaktadır. Meydana gelen atıklar toz ve parça atıklar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Bu atıklar çeşitli şekillerde değerlendirilmektedir. Bu atıklardan inşaat sektöründeki değişik alanlarda yararlanma yöntemleriyle ilgili literatürde çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Sanayideki bazı uygulamaları günlük hayata yansımaktadır (Akbulut ve Gurer, 2003).

Mermer toz atıkları özellikle mermer işleme fabrikalarının civarında önemli çevre sorunları oluşturmaktadır. Bu nedenle bu malzemelerin yol üst yapı inşaatında değerlendirilmesi ekonomiye ve çevreye önemli bir katkı getirecektir. Filler, bitümlü karışımlarda ince agrega oranını arttırmak, boşluk miktarını azaltmak ve yüksek

sıcaklıklarda asfalt betonunun deformasyona karşı dayanımını arttırmak için kullanılır. Yapılan araştırmalar asfalta katılan mermer tozunun asfalt yaşlanmasını önemli oranlarda geciktirdiğini göstermiştir. Eklenen mermer tozu asfalt çimentosunun viskozitesinin artmasını sağlayarak teker izi deformasyonlarının azalmasında faydalı olmaktadır (Little ve Epps 2001). Mermer toz atıklarının asfalt betonu karışımında filler malzemesi olarak kullanılabilirliği üzerinde yapılan çalışmalar, taş tozu filler malzemesinin az bulunduğu veya bulunmadığı yerlerde, mermer tozunun filler malzemesi olarak bitümlü karışımlarda değerlendirilebileceğini göstermektedir (Terzi ve Karaşahin, 2003;Çetin ve Tuncan 1997). Bunun dışında mermer toz atıkları; sıva katkı malzemesi, çimento üretiminde katkı malzemesi, kireç üretiminde, kalsine dolomit üretiminde, refrakter malzeme olarak inşaat sanayinde çeşitli şekillerde kullanılmaktadır (Şentürk, 1996).

Mermer toz atıklarının kullanılabilmesi diğer önemli alanlardan biriside bozuk zemin özelliklerinin iyileştirilmesinde kimyasal katkı maddesi olarak kullanımınıdır. İlk çağlardan günümüze kadar insanlar barınma, savunma vb. amaçlarla inşa ettikleri yapıları, zemin üzerine ya da zeminin içine inşa etmişlerdir. Böylece zeminin temel ya da inşaat malzemesi olarak kullanılmasıyla ilgili çeşitli sorunlar ortaya çıkmaya başlanmıştır. Karşılaşılan problemler içerisinde zeminlerin stabilizasyonunun sağlanması işlemleri çok eski tarihlere kadar dayanmaktadır. Zeminin özelliklerinin iyileştirilmesinde katkı maddeleri olarak ilk uygulamalarda bitki köklerinden yararlanılmıştır. Günümüzde değişik kimyasal maddelerle farklı uygulamalarda bulunmaktadır.

Geçirimsizlik, kayma direnci, oturma ve benzeri özelliklerden dolayı kullanım amacına uygun olmayan zeminlerin ortaya çıkardığı problemlerin çözümünde yaygın olarak kullanılan üç yöntem bulunmaktadır. Bunlardan birincisi istenmeyen zemini kazıyarak yerine istenen özellikleri taşıyan bir malzeme koymaktır. Ancak yapılacak kazı hacminin çok yüksek olduğu durumlarda yöntem ekonomik olmamaktadır. Bu durumda akla gelen ikinci çözüm, zemini olduğu gibi kabul edip, üst yapıdaki taşıyıcı elemanların boyutlarının ve kullanılan malzemenin kalitesinin artırılmasıdır ki bu durumda maliyet oldukça yüksek olabilmektedir. Üçüncü bir yöntem ise; zemin içerisine çimento, kireç, mermer tozu, uçucu kül gibi çeşitli kimyasal maddeler katılarak zemin özelliklerinin iyileştirilmesidir. Kimyasal stabilizasyonda kullanılan kireç orta, ince ve çok ince taneli zeminlerle reaksiyona girerek plastisitesinin düşmesine, işlenebilirliğin artmasına, şişmenin azalmasına ve mukavemetin artmasına neden olmaktadır. Zemin sınıfı, CH, CL, MH, ML, MLCL, SC, SM-SC, SM, GC, GM-GC, GM olan ve silt, kil içeren ince gradasyonlu

zeminlerin kireç ile stabilize edilerek ıslah edilmeleri mümkündür. Dolayısı ile kireç stabilizasyonu killi zeminlere uygulanan bir metottur. Bu metodun amacı zeminin deformasyona olan direncini arttırmaktır. Mermer tozunun killi zeminlerde kirece benzer bir iyileştirme yaptığı yapılan literatür çalışmalarında ortaya konmaktadır (Okagbue ve Onyeobi, 1999). Dolayısıyla mermer sanayinde meydana gelen toz atıkları killi yol alt yapılarında kimyasal stabilizasyon malzemesi olarak değerlendirilmesi suretiyle çevre kirliliğinin azaltılması ve bu atıl malzemenin ekonomiye bir inşaat malzemesi olarak kazandırılması sağlanabilir.

Mermer tozunun filler katkı malzemesi olarak kullanıldığı bir diğer yapı malzemesi de betondur. Yapılan araştırmalar beton üretiminde ince malzeme oranının yaklaşık % 10'nun mermer tozu ile değiştirilmesi halinde basınç dayanımında belirli bir artış olduğunu göstermektedir(Ünal vd., 2003). Mermerin gerek üretimi sürecinde gerekse işleme tesislerinde işlenmesi sürecinde açığa çıkan boyutlu parça mermer atıkları, belirli bir boyuta kırıldıktan sonra farklı kullanım alanları bulabilmektedir. Bunlar beton ve asfalt karışımlarda agrega, yol zemini ve baraj inşaatlarında dolgu malzemesi, suni mermer plağı, karo, siman (dolgu ya da köprü yapımında kullanılan kimyasal madde)ve bir mermer süsleme sanatı olarak antik taş yapımında kullanılmasıdır. Betonda basınç dayanımını belirleyen önemli özelliklerden biriside agregaların özellikleridir (Şentürk, 1996). Mermer kökenli agregaların aşınma ve tane dayanımlarının düşük olduğu bilinmesine rağmen belirli beton sınıflarında mermer kökenli agregalar kullanılabilir. Özellikle mermer ocaklarında açığa çıkan mermer parça atıklarının agrega olarak değerlendirilmesi ile ilgili özel girişim örnekleri Afyon çevresinde görülmektedir. Bu sayede doğal kaynakların korunması sağlandığı gibi aynı zamanda atık azaltılması ve faydalanılması da gerçekleştirilmiş olmaktadır.

Asfalt yüzey kaplamasında kullanılan malzemenin % 90'dan fazlasını agregalar teşkil etmektedir. Bu nedenle yol yapımı boyunca agregalar büyük rol oynarlar. Farklı yol katmanlarında farklı agrega özellikleri aranmaktadır. Yollardaki aşınma tabakası (en üst tabaka) yol güvenliği açısından en önemli parametrelerden birini oluşturur. Yolun servis süresini güvenli bir şekilde tamamlaması için, kullanılan agregaların sürtünme katsayılarının yüksek olması ve servis ömrü boyunca cilalanmaya karşı yüksek dayanım göstermesi istenmektedir. Bunu sağlamak için asfalt karışımlarda kullanılan agregaların yüksek dayanımlı olması en çok arzu edilen özelliklerdendir. Bununla beraber ülkemizde bol miktarda bulunan kalker türü mineraller (bir tür mermer) yüzey kayma tabakasında

kullanılmaktadır(Akbulut ve Güreer, 2003). Cilalanma direncinin düşük olmasından dolayı sürtünme tabakasında kullanılması şartnamelerle sınırlansa da asfalt kaplamalardaki bir alt tabaka olan binder tabakasında kullanılabilir. Özellikle ağır trafiğe maruz olmayan şehir içi yollarda, köy yollarında kullanılması suretiyle mermer parça atıklarının hızlı bir şekilde tüketilmesi sağlandığı gibi ekonomik bir agrega kaynağı da elde edilmiş olacaktır.

#### **1.1.4. Ahşap Malzemelerin Geri Dönüşüm**

Ahşap en eski yapı malzemelerinden biridir. İnşaatta kullanılan malzemeler arasında kaynağı yenilenebilen tek malzemedir. Betonarmenin bulunmasının ardından önemini büyük ölçüde yitirmiş olan bu malzeme (en azından Türkiye'de), şimdilerde betonarme elemanlarının oluşturulmasında geçici işler dediğimiz kalıpcılıkta kullanılmaktadır. Betonarme inşaat maliyetinin %70'i kalıplara gitmektedir. Ülkemizde kalıp sistemi olarak geleneksel kalıplar ağır bastığından ahşap tüketimi bir kat daha artmaktadır; çünkü geleneksel kalıp sisteminde kullanılan çam kerestelerde düz tahtanın ömrü ortalama üç, kadrantların kullanımı ise beş yıldır.

Betona kalıplık yapma görevini tamamlayan tahtalar daha sonra yakacak olarak kullanılmaktadır. Yani bu atık malzemeyi değerlendirme de geri dönüşüm değil, geri kazanım yöntemi uygulanmaktadır. Ancak ülkemizde kullanılan bu geri kazanım yöntemi de fazlabir kazanç sağlamamaktadır. Geleneksel olarak köylerde uygulanan üç tane taşın üzerine oturtulmuş tencere gibi bir durumda yakılmakta olan odunun enerjisinin ancak yüzde onundan yararlanılmaktadır. Bunun yanı sıra karbon monoksit, parçacıklar ve kansere neden olan çeşitli maddeler açığa çıkmaktadır. Geri kazanım yönteminin daha gelişmiş uygulamaları Avrupa'da görülmektedir. Örneğin; 1994 yılı kışında Finlandiya'daki Ahlstrom Mühendislik Firması ile Sydkraft adlı İsveç Elektrik Kurumu, İsveç'in güneyindeki Varnamo Kasabası'nda yeni bir ısıtma tesisini işleme aldı. Bu çalışmada en son jet teknolojisi kullanılmıştır. Enerji kaynağı olarak da yarım milyon seneden beri mevcut bir kaynak olan odun kullanılmıştır. Varnamo tesisinde odun gaz haline getirilip bir jet motorunda yakılmakta ve böylece 6 megavatlık elektrik ve şehrin merkezi ısınması için 9 megavatlık enerji meydana getirilmekteydi. Bu sayede odunun içindeki enerjinin yüzde sekseni binaların ısıtılması, aydınlatılması ve motorların çalışması için kullanılmaktadır. Bu arada atmosfere kükürt salınımı çok az, ortaya çıkan

karbondioksit miktarı ise kesilen ağaçların yerine dikilenlerin geri alabilecekleri kadar olmaktadır. Varnamo Tesisi, en eski enerji kaynağını, yirminci yüzyıla taşıyan yeni teknoloji kuşaklarının bir ürünüdür. Çevre mühendisliği, makine mühendisliği, biyoteknoloji ve ormancılık gibi çeşitli alanlarda yapılan çalışmalarda değişik bitkilerden sıvı ve gaz yakıt üretimi araştırılmaktadır. Elde edilen yakıtlardan daha sonra elektrik enerjisi elde edilmektedir. 1992 yılındaki Çevre ve Kalkınma Konferansı (Conference on Environment and Development) için Birleşmiş Milletler tarafından hazırlanmış bir çalışma özellikle bu amaca dönük bir şekilde yetiştirilmiş bitkiler sayesinde 2050 yılı civarında bugünkü dünya enerji gereksiniminin %55'i kadarının karşılanabileceğini ortaya koymuştur. Buna benzer yaklaşımların gerçekleşmesi tarım yapılacak arazinin, suyun ve gübrelerin sağlanabilmesine bağlıdır.

Avrupa Birliği'nin yeni belirlemiş olduğu hedefler ve tanımlardan yola çıkarak geri kazanım doğru uygulandığında iyi bir yöntem olmasına rağmen geri dönüşümünde önemli kazançlar sağladığı unutulmamalıdır. Bu sebeple inşaatlarda kullanılan ahşapların yeniden değerlendirilmesinde geri dönüşüm yöntemlerinin araştırılması gerekmektedir. Bu noktada akla ilk gelende kâğıt ve karton üretimidir. Kâğıt hammaddesi olan selüloz üretimi proses gereği kimyasal bir üretilmektedir. Bu nedenle üzerlerindeki beton artıklarından arındırılmak kaydıyla inşaatlarda kullanılan tahta kalıplardan kâğıt üretilebilir. Kavak ağacı, eski kâğıtlar, paçavralar ve buğday, arpa, ay çekirdeği sapı gibi yıllık bitkiler bile kâğıt üretiminde kullanılabilirler. Üretilen kâğıt, kullanılan odunun kalitesiyle yakından ilgili olduğu için, inşaat kalıplarındaki ahşap malzemenin niteliği üretilen kâğıdın niteliğini etkileyecektir.

### **1.1.5. Cam Malzemede Geri Dönüşüm**

Cam, yer kabuğunda bolca bulunan silika(kum), soda külü ve kireç, feldispat ve iz elementlerden üretilmektedir. Bu hammaddelerden silika çok önemlidir ve temin edilmesi aslında sınırsızdır. Soda külü, tuz kullanımı ile kimyasal olarak üretilmektedir gibi doğal olarak mineral oluşumu ile de bulunabilir. Kireç ise bolca bulunabilen bir madendir (Bursa Çevre Merkezi, 2006). Ülkemizin bu kaynaklar açısından zengin olması nedeniyle, Türk cam sanayi %98 oranında yerli hammadde kullanmaktadır(Yılmaz, 2006).



Cam yapımı için kullanılan bu hammaddeler bir silo içinde karıştırılır ve büyük ocaklar içinde 26000 °F'de eritilir. Eritilen cam, 2000 °F'ye soğutulur ve üretilmek istenen camın tipine bağlı olarak şişirme, baskı veya çizim yolu ile şekillendirilir. Cam şişe üretimi için gerekli olan enerji, ısı ile sağlanmaktadır (Bursa Çevre Merkezi, 2006).

Dünya cam üretimi, 2000 yılı itibariyle yaklaşık 108 milyon ton düzeyindedir. Bunun %53'ü cam ambalaj, %29'u düz cam, %5'i cam ev eşyası, %2'si cam lifi ve %11'i de diğer ürünlere aittir. 2003 yılında 1,838 milyon ton cam üreten Türkiye'nin, dünya cam üretiminde aldığı pay % 1,5 civarındadır. Avrupa üretiminin ise % 5'ini yapmaktadır. Türk cam sanayi gerek ülke imalat sanayi ölçeğinde, gerekse dünya cam sanayi esas alındığında gelişmiş bir sanayi dalıdır (Yılmaz, 2006).

Çok yönlü bir malzeme olan cam, şeffaflığı, şeklinin bozulmaması, koku ve tat vermemesi nedeniyle birçok yerde kullanılmaktadır. Cam sanayi, inşaat, otomotiv, meşrubat, gıda, beyaz eşya, mobilya, eczacılık, elektrik-elektronik vb. birçok sektöre girdi veren önemli bir sektördür. Cam endüstrisi camı; düz cam, cam ambalaj, cam ev eşyası, cam lifleri (cam yünü gibi), cam mozaik, emniyet camları, çift cam ve diğer camlar olarak üretmektedir (Yılmaz, 2006). En fazla yapılarda kullanılan cam, pencere, kapı, raf, cephe elemanı ve cam lifi olarak kullanılmaktadır.

Cam üretiminde eski camlar kullanıldığında, yeni malzemelerin kullanıldığı duruma göre, hava kirliliğinde %20, maden atığında %80, su tüketiminde % 50 azalma olmaktadır(Bursa Çevre Merkezi, 2006). Plastik ve kağıdın aksine, camlar sınırsız olarak yeniden değerlendirilebilmektedir. Teorik olarak cam ürünler kalite kaybı olmadan %100 olarak eski camdan imal edilebilir. Kırılmış cam malzemeler diğer hammaddeler ile eriterek geri kazanılabilirler. Ocağa ne kadar kullanılmış cam ilave edilirse o oranda daha az ısı gerekir. Bunun nedeni geri kazanılan camın, kum, soda külü ve kireçten daha düşük sıcaklıkta erimesidir. Eritme ocağında tamamı kullanılmış cam ürünler eritildiğinde, enerji tüketimi %25 oranında azalmaktadır. Aynı zamanda eski cam kullanımı ile düşük erime noktasında aktif olan soda tüketimi 2/3'den daha fazla oranda azalmaktadır (Bursa Çevre Merkezi, 2006).

### **1.1.6. Demir İçeren Metallerde Geri Dönüşüm**

Metalik demirin karbon, manganez, silisyum, fosfor, kükürt, ve diğer birçok elementle alaşım, bileşim ve karışımıyla oluşan çelik, demirin allotropik (kristal yapısının

sıcaklığa bağılı olarak değişen) bir metal olması, ısıl işlem ve alaşımlama ile çok farklı özellikler kazanabilmesi sayesinde; standartlarda 2000'den fazla türüyle endüstriyel malzemeler içinde en mükemmeli ve yeniden kullanım özelliği en yüksek malzemedir. Dünya metal üretiminin %95'i demir olup demirin karbonla yaptığı alaşımlar, yani çelikler en yaygın kullanılan mühendislik malzemelerini oluşturmaktadır. Üretilen her 100 kg çeliğin 40 kg'ı yeniden kullanılan malzemededen üretilmektedir. Çelik çeşitlerinin bu denli çok olması, her biri başka özellikler isteyen yerlerde ve işlerde kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Ucuzluğu, hammadde kaynaklarının genişliği, üretim teknolojisinin gelişmişliği, çeşitlerinin ve dolayısıyla kullanım alanlarının çok yaygın oluşu çeliği dünyada en çok üretilen ve tüketilen metal durumuna getirmiştir. 20. yüzyılın başında 28 milyon ton olan dünya çelik tüketimi bu yüzyılın sonunda 780 milyon tona ulaşmıştır.

Kullanılmış çelik çöpe atılmayıp geri kazanıldığında ve kullanılmış çelikten çelik üretildiğinde;

- Enerjinin %74 ve hammaddenin %90 korunduğu,
- Su tüketiminin %40 azaltıldığı,
- Atık su kirlenmesinde %76, hava kirlenmesinde %86 ve maden atıklarında %97 azalma olduğu gözlenmiştir.

1000 kg kullanılmış çelik geri kazanılıp tekrar çelik üretiminde kullanıldığı zaman 1050 kg demir cevheri, 454 kg kok kömürü ve 55 kg kireç taşı daha az kullanmaktadır (Öztürk, 2004).

Tüm dünyada, demir içeren metallerin geri dönüşümü için çok gelişmiş bir pazar mevcuttur. Çünkü bunlar, diğerlerinden daha karlı ve geri dönüştürülebilir malzemelerdir.

### **1.1.7. Tuğla Malzemedede Geri Dönüşüm**

Tuğla ve kiremit kullanımı insanoğlunun oluşumu kadar eskiye dayanmaktadır. Tuğla üretimi hammadde hazırlanması, şekillendirme, kurutma, pişirme, ambalajlama ve sevk basamaklarından oluşmaktadır.

Tuğla ve kiremit imalatına uygun olan topraklar bütün dünya ülkelerinde yaygındır ve sınırsız rezervlere sahiptir. Ancak tuğla ve kiremit imalatında kullanılan maddelerin fabrikaların yakınlarında bulunmaması ve ayrıca bu işletmelerin çevreye zarar vermemesi için gelişmiş teknolojileri barındırmaması sorun olarak ortaya çıkabilmektedir. Ülkeler

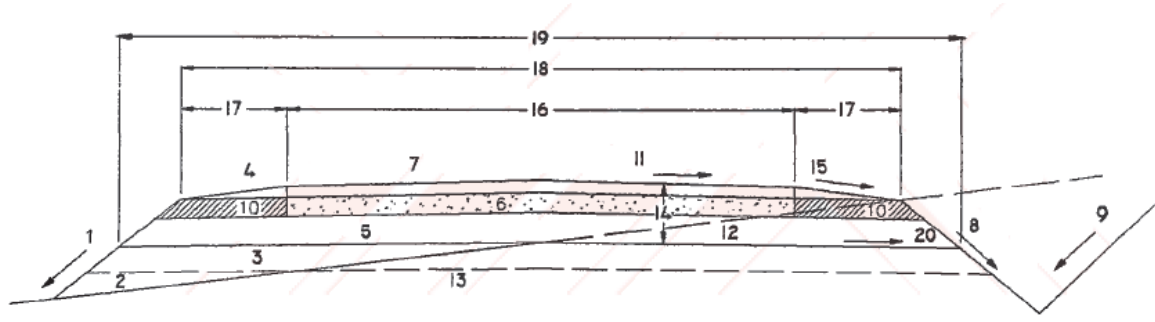
arasında tuğla-kiremit ithalatı ve ihracatı söz konusu olmasına rağmen toprakların dış ticareti yoktur denilebilir. Çünkü bunlar ulusal ve uluslararası değil mahalli pazarların hammaddeleridir. Altıncı 5 Yıllık Plan ÖİK-Yapı malzemeleri raporuna göre dünyada 1976 yılında yaklaşık 100 milyar adet tuğla üretilmişken, bu rakam 1985 yılında 80 milyar civarına düşmüştür. Bilinen rakamlara göre Türkiye, Asya ülkeleri arasında İran'dan sonra ikinci durumda görünmektedir. AET ülkeleri arasında en büyük tuğla üreticileri İngiltere ve İtalya'dır.

Tuğlanın hammaddesinin elde edilmesi oldukça kolay ve diğer malzemelere oranla ucuz olmasına rağmen, hammaddenin ve çevrenin korunması, enerji sarfiyatının engellenmesi gibi sebeplerden geri dönüşümüne önem verilmesi gerekmektedir. Özellikle ülkemizde betonla birlikte en çok kullanılan yapı malzemesi oluşu, geri dönüşümünün önemini bir kat daha arttırmaktadır.

## **1.2. Esnek Üstyapı Tasarım Esasları**

Esnek üstyapılar (asfalt kaplamalar) için uygun ve ekonomik tasarım, diğer mühendislik yapılarının analizi ve tasarımı kadar önem taşımaktadır. Yetersiz dizayn edilmiş bir üstyapı, normalden daha kısa bir süre içinde bozulacak ve onarım maliyetleri çok yüksek olacaktır. Kaynak israfına yol açacak aşırı dizayn durumunda ya da dizayn için uygun ve ekonomik olmayan malzemelerin seçilmesi halinde, doğru mühendislik standartlarına ters düşecek ve gereksiz yere sınırlı bütçenin tüketilmesi durumu ortaya çıkacaktır.

Bir asfalt kaplamanın yapısı, asfalt-agrega karışımı tabakalar ile taban ya da tabii zemin arasındaki granüllerin agrega taban tabakalarından meydana gelmektedir. Gelecekteki bakım problemlerinin azaltılması amacıyla, en ekonomik yöntem, üstyapı inşaatı öncesinde taban zemini uygun şekilde tesviye etmek ve sıkıştırmaktır. Yoğunluk gereksinimleri karayolları, havaalanı ve ağır tekerlek yükü taşıyan tesislere göre değişiklik göstermektedir. Dolayısıyla, tavsiye edilen düzeyde bir taban zemini hazırlığının gerçekleştirilmesi amacıyla, özel dizayn kılavuzlarına baş vurmaları gerekmektedir. Tipik bir esnek üstyapı enkesiti Şekil 1.3'de gösterilmiştir.



- |   |                                       |
|---|---------------------------------------|
| 1—Dolgu Şevi                                      | 11—Yolun Enine Eğimi                  |
| 2—Doğal Zemin                                     | 12—Taban Yüzeyi (Tesviye Yüzeyi)      |
| 3—Seçme Malzeme Tabakası (Gerekli Olduğu Durumda) | 13—Yol Gövdesi (Taban Zeminini)       |
| 4—Banket Kaplama                                  | 14—Üst Yapı Proje Kalınlığı           |
| 5—Alt Temel                                       | 15—Banket Eğimi                       |
| 6— Temel Tabakası                                 | 16—Trafik Şeritleri Genişliği         |
| 7—Kaplama Tabakası                                | 17—Banket Genişliği                   |
| 8—Hendek Şevi                                     | 18—Yol Genişliği (Platform Genişliği) |
| 9—Yarma Şevi                                      | 19—Üst Yapı Taban Genişliği           |
| 10—Banket Temeli                                  | 20—Taban Yüzeyinin Enine Eğimi        |

Şekil 1.3. Esnek üstyapı en kesiti (Ağar vd., 1998)

Sonuçta, tüm trafik yüklerini taşıyan tabaka tabii zemindir. Dolayısı ile bir üstyapının yapısal fonksiyonu, kaplama yüzeyi üzerindeki tekerlek yükünü taşımak ve tabii zeminin taşıma gücünü ya da üst yapının içsel mukavemetini aşmadan, bu yükü yayararak, tabii zemine aktarmaktır.

### 1.2.1. Esnek Üstyapılarda Kaplama Tabakasında Kullanılan Malzeme Özellikleri

Esnek üstyapıların kaplama tabakası agrega ve bitümlü bağlayıcı malzemeden oluşmaktadır. Kullanılan malzemelerin kalitesi ve özellikleri kaplamanın ömrünü etkilemektedir.

#### 1.2.1.1. Agregalar

Asfalt kaplama karışımındaki mineral agrega miktarı genellikle ağırlıkça % 90 ile 95, hacimce % 75 ile 85 arasındadır. Mineral agrega esas olarak kaplamanın yük taşıma kapasitesinden sorumlu olup, buna bağlı olarak asfalt kaplamsının performansı büyük oranda agregaya bağlıdır.

Mineral agregası, derecelendirilmiş atıl tane veya parçacıkların karışımından oluşan her türlü katı, atıl (inert) mineral malzeme olarak tanımlanmakta olup, kum, çakıl, kırmataş, cüruf ve taş tozu bunlara birer örnektir. Asfalt kaplama amaçlı agregalar genellikle hazırlanma kaynaklarına göre sınıflandırılmaktadırlar. Bunlar, ocak ve dere malzemesi, işlenmiş agregalar ve sentetik veya suni agregaları kapsamaktadır.

Agrega üretim sürecinde kırma, eleme ve yıkama işlemleri uygulanarak temiz ve istenen ölçüde agrega elde edilmektedir. Agregası üretiminde diğeri önemli bir süreçte, belirlenen ölçülerdeki agreganın karışmadan, kirlenmeden taşınması ve stoklanmasıdır. Asfalt yapımında agreganın etkisi çok fazladır. Uygun asfalt reçetesi hazırlanarak kullanılan agrega ile mukavemet ve maliyet etkisi ön plana çıkmaktadır. Bu nedenle agrega seçimi en önemli etkidir. Agregası seçiminde değerlendirilecek kıstaslar; ölçüsü, mukavemet değeri, dış kenar yapısı ve yüzey pürüzlülüğü, aşınma ve kayma direnci, birim ağırlığı ve boşluğu, su emme özelliğı ve yüzey nem oranıdır.

Yol yapımında ise agrega boyutu temel yapıyı belirler. Küçük boyut kullanımı zeminde bozulmalara, büyük boyut kullanımı ise segregasyona neden olacaktır.

Agreganın parçacık ölçüsüne göre dağılımını derecelendirmek (gradatiton), en belirleyici fiziki özelliktir. Özellikle asfalt yapımında gradasyon; sertlik, kararlılık, mukavemet, geçirgenlik, işlenebilirlik, yorulma direnci, sürtünme direnci ve suya dayanımı özellikleri ile birlikte değerlendirilmektedir. Buna göre karışım reçetesi belirlenir.

Kaba agrega; 4.75 mm ( No.4) elek üzerinde kalan agregasıdır. Kaba agrega bitümlü karışımlarda bir iskelet oluşturarak deformasyon direncini etkiler. Uzun ve yassı şekilli bazalt tanelerinin kararlı bir iskelet oluşturması güçtür. Daha kübik şekilli olan kalker taneleri sıkıştırıldıktan sonra iyi bir kenetlenme sağlarlar. Tanelerin köşeli olması kaplama yüzeyinin kayma direncini artırır.

İnce agrega; 4.75 mm (No.4) - 0.075 mm (No.200) elek arasında kalan agregasıdır. İnce agrega, kaba agreganın oluşturduğu iskeletin boşluklarını doldurarak yoğunluğın artmasını sağlamaktadır. İnce agrega danelerinin yüzey dokusu ve şekli, deformasyon üstünde etkilidir. Pürüzsüz bir çakıl kumu, kırma malzemeye nazaran daha düşük bir deformasyon direnci sağlamaktadır. Deformasyon direncinin düşük olduğu kaplamalar daha kolay deforme olmaktadır.

Filler (dolgu), asfalt yapımında önemli bir malzemedir. No.200 elekten geçen yaklaşık % 65 oranındaki mineral malzemesi filler olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca taş tozu,

silika, portland çimentosu, bazı doğal minerallerde filler olarak kullanılmaktadır. Mineral filler içindeki istenmeyen şekilli parçaların oranının artması mineral fillerin kalitesini düşürmektedir. Mineral fillerin gradasyon limitleri Tablo 1.2'de verilmiştir.

**Tablo 1.2.** Mineral fillerin gradasyon limitleri

Elek Boyutu	% Geçen (Yıkama Yoluyla)
0.600 mm (No. 30)	100
0.300 mm (No. 50)	95-100
0.075 mm (No. 200)	70-100

Filler kimyasal bakımdan atıl olmalıdır yani bitümlü malzeme ile reaksiyona girmemelidir. Ayrıca bitümlü karışımın yapıldığı sıcaklıkta bir değişikliğe uğramamalı, bağlayıcıya karşı iyi bir yüzey adezyonu göstermelidir (Umar ve Ağar, 1991).

Mineral fillerin uygun seçilmesinin asfalt karışımlar üzerine etkisi aşındaki gibi özetlenebilir:

1. Karışımlar terleme sakıncası yaratmadan, kohezyon ve geçirimsizliği artıracak biçimde gerekli oranda bağlayıcı kullanılmasını sağlar.
2. Sıkışmaya ve suya karşı direnci artırır.
3. Isı değişimleri ile karışımın kıvamında doğacak değişimleri azaltır.
4. Esneklik modülü değeri (kısa-sürelili elastik tepki) mineral fillerin katılma etkisini yansıtmaz (Umar ve Ağar, 1991).

Sadece mineral filler malzemesinin kimyasal olarak bitümlü malzeme ile reaksiyona girmemesi yeterli değildir. Aynı zamanda mineral filler malzemesinin içerisinde toprak, kil, organik ve zararlı maddeler de bulunmamalı ayrıca kolayca akacak kadar da kuru olmalıdır. Taş tozu, mermer tozu, kalker tozu, portland çimentosu ve sönmüş kireç çok sık kullanılan mineral filler malzemeleridir.

### **1.2.1.2. Bitüm (Asfalt Çimentosu)**

Bitüm, temel olarak hidrokarbonlar ve türevlerini içeren, trikloretilen içerisinde çözülebilen, uçucu olmayan ve ısıtıldığında gittikçe yumuşayan, viskoz bir sıvı veya katı madde olarak tanımlanmaktadır. Bitüm, petrolün rafinaj işlemi sırasında elde edilebildiği

gibi doğal bir birikinti olarak (Trinidad Gölü) veya içerisinde mineral maddelerle birlikte doğal bir şekilde ortaya çıkmış asfaltın bir bileşiği olarak da bulunabilmektedir.

AC ile gösterilen asfalt çimentoları, kıvamlılığını gösteren ve 10-300 arasında değişen penetrasyon derecesine göre sınıflandırılırlar.

Bitümlü karışımların içsel sürtünme direnci ve stabilitesi agregalar tarafından sağlanırken, bitümlü bağlayıcılar karışımdaki kohezyondan sorumludur. Yol üstyapı karışımlarında ideal bir bağlayıcıdır. Bağlayıcıların en önemli özelliği viskoziteleridir. İyi karıştırılmış bir beton asfalt karışımındaki agrega tanelerinin her biri asfalt filmi ile sarılmış ve karışımın boşluklarının bir kısmı asfalt ile dolmuş durumda ise karışıma katılan asfalt doğru oranlanmış demektir.

### **1.3. Yapısal Atıkların Esnek Üstyapıda Kullanımı ile ilgili Çalışmalar**

Endüstriyel atık malzemeler, endüstriyel işlemler sonucu oluşmaktadır. Termik santrallerde oluşan küller, demir çelik endüstrisinde oluşan yüksek fırın ve çelikhane cürufaları, çimento endüstrisinin yan ürünü olan fırın tozları, mermer endüstrisinde oluşan mermer toz atıkları, hurda otomobil lastikleri, cam endüstrisinden elde edilen cam kırıkları endüstriyel katı atık sınıfına girmektedir. Endüstriyel atıkların çoğu karayollarında taban zemininden kaplama tabakasına kadar her tabakada kullanılma olanağına sahiptir. Karayollarında kullanılan geleneksel malzemeler yerine atık malzemeler kullanılması ile daha düşük maliyetlerle, daha yüksek performansta ve çevre dostu yollar yapılabilir (Çağlar, 2007).

Terzi 2000 yılında yaptığı çalışmada; mermer toz atıklarının asfalt betonunda filler malzemesi olarak kullanımını ve plastik deformasyona olan etkilerini araştırmıştır. Bu amaçla, filler olarak kullanılan mermer tozlu Marshall numuneleri hazırlanmıştır. Deneysel çalışma sonucunda, taş tozu yerine mermer tozu kullanılmasının hem Marshall deneyi sonuçları hem de plastik deformasyon deney sonuçları dikkate alındığında önemli bir farklılık göstermediği tespit edilmiştir. Dolayısıyla, mermer tozunun filler malzemesi olarak bitümlü karışımlarda kullanılabileceği kanaati oluşmuştur.

Alataş'ın (2005) yaptığı bir çalışmada ise; bitümlü sıcak karışımlarda kullanılan kalker agregasının yerine demir çelik üretiminde yan ürün olarak açığa çıkan Ereğli Demir Çelik Fabrikası (E.D.Ç.F.) çelikhane cürufunun kullanılabilirliği araştırılmıştır. Çelikhane

cürufu, atıl olarak stok sahalarında depolandığı için ekonomik açıdan faydalanılamamaktadır. Bu durum aynı zamanda çevre kirliliğine de sebep olmaktadır. Bu çalışma ile çelikhane cürufunun asfalt betonunda kullanılarak değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Sonuçta E.D.Ç.F. çelikhane cüruflarının kaplamanın optimum bitüm oranına ve diğer fiziksel özelliklerine etkisi incelenmiş ve cürufun agrega olarak kullanıma elverişli olduğu sonucuna varılmıştır (Alataş, 2005)

Muniandy ve arkadaşlarının 2009 yılında yaptıkları bir çalışmada; mastik asfalt karışımlarında endüstriyel ve yan ürün atıkları olan çelik cürufu, seramik atıkları, uçucu kül atıkları, kalker ve defolu seramik malzemelerinin filler olarak kullanılıp kullanılmayacağını araştırmışlardır. Taramalı elektron mikroskobu (SEM), enerji ayıran X-Ray (EDX) kullanılarak kimyasal ve fiziksel testler uygulanmıştır. Bu testler sonucunda atık malzemelerin boyut ve şekil analizleri, gradasyon ve özgül ağırlıkları belirlenmiş ve bu değerler Malezya'da stonemastik asfaltta yaygın bir şekilde filler malzemesi olarak kullanılan kalker tozları ile karşılaştırılmıştır. Bölgesel endüstriyel atıkların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin AASHTO PP41'e (Designing of Stone Matrix Asphalt) göre ve AASHTO M17' da (Bituminous Paving Mixtures) belirtilen sınır değerler içinde kaldığı tespit edilmiştir. Bu atık maddelerin Stone mastik asfaltta mineral filler olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Bir diğer çalışmada; siyah karbonun asfalt betonunda filler olarak kullanılabilirliğini araştırılmıştır. Bunun için aynı agrega gradasyonuna sahip kalker ve siyah karbon fillerini içeren asfalt betonu karışımları hazırlanmış ve optimum bitüm oranları Marshall stabilite testi ile belirlenmiştir. Siyah karbon ve kontrol karışımlarının mekanik özellikleri; Marshall stabilitesi, indirek çekme rijitlik modülü, sünme sertliği ve indirek çekme direnci testleri yapılarak değerlendirilmiştir. Bitümlü sıcak karışımlarda karışımın ana bileşenlerinden biri olarak dikkate alınan kalker filler malzemesi yerine aynı amaçla siyah karbon kullanılmasının, asfalt betonunun performansını geliştirdiği, özellikle de sıcak karışımın stabilitesini ve durabilitesini artırarak ötelenme ve tekerlek izi oluşumu ile ilgili sorunları azalttığı deney sonuçlarında görülmüştür. Sonuç olarak, siyah karbonun asfalt betonu karışımlarda filler olarak kullanılmasının, karışımların mekanik özelliklerini önemli ölçüde geliştirdiği ve bitümlü sıcak karışımlarda kullanılabilirliği tespit edilmiştir (Ahmetzade vd., 2008).

Bitümlü sıcak karışımlarda genellikle mineral filler olarak kullanılan kırmataş yerine alternatif olarak çimento atıklarının kullanılabilirliğinin araştırıldığı bir diğer çalışmada



mineral agregata olarak çimento atıklarının sıcak asfalt karışımlardaki mekanik özellikleri incelenmiştir. Numuneler üzerinde Marshall deneyi, indirek çekme deneyi ve serbest basınç deneyleri uygulanmıştır. %5 bitüm yüzdesi kullanılmış ve kırmataşın ağırlık olarak %0, %25,%50, %75 ve %100 oranında çimento atığı mineral filler olarak eklenmiş ve numuneler üretilmiştir. Çimento oranının artmasıyla stabilite, birim hacim ağırlığında artış ve akma, boşluk ve agregalar arası boşluk oranında azalma gözlemlenmiştir. Çimento atık yüzdesinin artmasıyla indirek çekme ve serbest basınç deneylerinde artış gözlemlenmiştir. Çimento atıklarının asfalt karışımlarda kırmataş mineral agregata yerine kullanılabilmesi sonucuna varılmıştır(Ahmed 2006).

Kandhalve arkadaşlarının 1998 yılında yaptıkları bir çalışmada; No:200 elekten geçen doğal kum, kireç taşı, dolomit(beyaz mermer), granit, yanmış fırın atıkları ve sert kireç kullanarak hazırlanan asfalt karışımlarının performansını belirlemek amacıyla bazı karakter testleri uygulamışlardır. Bu numuneler üzerinde agregalar arası boşlukları, tane büyüklüğü analizi ve metilen mavisi testlerini içeren 6 test yapılmıştır. Karışımlar ağırlıkça ince agregata/asfalt oranı 0,8 ve 0,15 oranı ile hazırlanmıştır. Karışım doğrulama testleri kalıcı deformasyon ve yorulma çatlaklarını değerlendirmek için Superpa ve kesme testleri ve farklı ince agregata oranında farklı malzemeler içeren 12 karışımda nem hassasiyetini belirlemek için Hamburg tekerlek izi testi ve AASHTO T 283 testlerini yapılmıştır. Bu çalışma ile asfalt yol karışımlarının performansı ile çok ilgili olan filler deneyleri belirlenmeye çalışılmıştır.

Yılmaz (2002) yaptığı çalışmada ise cüruf ve baca tozlarının esnek yol kaplamalarında taş tozu gibi doğal filler malzemeler yerine alternatif kullanım imkânının olup olmadığını araştırmıştır. Marshall stabilite tasarımı yöntemine göre hazırlanan numuneler üzerinde stabilite ve akma deneyleri yapmıştır. Deneyler sonucunda da cüruf ve baca tozlarının yol üst yapısında yapay agregata olarak değerlendirilebileceği sonucuna varılmıştır.

Yapılan diğer bir çalışmada; Isparta Belediyesi' nin asfalt betonu üretiminde kullandığı kaba agregalar, ince agregalar ve filler malzemeleri kullanılarak Marshall numuneleri hazırlanmış ve hazırlanan numuneler Marshall stabilite deney aletinde kırılmıştır. Benzer olarak İSBAS şirketinden de pomza numunesi alınmış ve Isparta Belediyesi' nin kullandığı normal filler yerine pomzadan elde edilen filler kullanılmıştır. Deney sonuçlarına göre, pomza filler olarak kullanıldığında bağlayıcı olarak daha fazla bitüm kullanılması gerektiği halde, normal fillere göre daha büyük stabilite değeri elde edilmiştir (Karaşahin vd. 1997).

Kül ilave edilen asfalt karışımların mekanik özelliklerini incelendiği bir diğer 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( Ali vd., 1996).

Bitümlü karışımlarda filler malzemesi olarak kullanılan taş tozu ve porland çimentosunun yanı sıra sülfürik asit üreten fabrikaların yan ürünü olan pirit kalsinesininde kullanılabilirliğinin araştırıldığı bir çalışmada; Marshall stabilite tasarımı yöntemine göre hazırlanan numuneler üzerinde stabilite ve akma deneyleri yapmıştır. Ayrıca elektron mikroskobu ile fotoğrafları çekilmiş ve enerji dağılımlı X-ışını tekniğiyle kimyasal yapıları belirlenmiştir. Sonuç olarak fabrikasyon yan ürünü olan pirit kalsinesinin geleneksel olarak kullanılan filler malzemeler gibi esnek üstyapılarda kullanılabileceği sonucuna varılmıştır (Lav ve Süttaş 1993).

## **2. MATERYAL VE YÖNTEM**

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. Hem filler malzemesinin kolayca temin edilebilmesi hem de kaynaklarımızın tükenmesinin önüne geçilebilmesi amacıyla atıkların değerlendirilmesi önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, Tunceli ve civarındaki mermer, ferrokrom cürufu ve cam atıklarının asfalt betonunda filler malzeme olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Çalışmada mermer, ferrokrom cürufu ve cam atıkları öğütülerek 200 nolu elek altında kalan malzemeler bitümlü karışımın içerisinde kullanılmıştır.

Bu çalışma dört aşamalı olarak planlanmıştır. Birinci bölümde; yapı malzemelerinin geri dönüşümü esnek üst yapılar, esnek üst yapılarda kullanılan malzemeler, daha önce konuyla ilgili yapılmış olan çalışmalar, çalışmanın amacı ve önemi hakkında bilgi verilmiştir. İkinci bölümde; çalışmada kullanılan malzemelerin özellikleri, seçilen agrega gradasyonu, uygulanan deneylerin özellikleri, numune hazırlanması ve çalışmada kullanılan bağıntılardan bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde; uygulanan deneylere ait sonuç ve grafikler verilmiştir. Dördüncü bölümde ise elde edilen sonuçların değerlendirilmesi ve öneriler bulunmaktadır.

### **2.1. Kullanılan Malzemeler**

Çalışmada mineral agrega olarak kırmataş, mineral filler olarak kırmataş, ferrokrom cürufu, cam ve mermer atık tozu ve asfalt çimentosu ile ilgili bilgiler verilmiştir.

#### **2.1.1. Mineral Agregalar**

Kullanılan agregaların temiz, sağlam, sert ve dayanıklı tanelerden oluşmasına ve bütün malzemedeki kil toprakları, bitkisel maddeler ve diğer zararlı maddelerin bulunmamasına dikkat edilmiştir. Bu çalışmada, Elazığ Belediyesi Asfalt Şantiyesinden temin edilmiş olan kırmataş mineral agrega olarak kullanılmıştır.

### **2.1.2. Mineral Filler**

Çalışmada mineral filler olarak kırmataş tozu, mermer atıklarının tozu, cam atık tozu ve ferrokrom cüruf tozu kullanılmıştır.

#### **2.1.2.1. Kırmataş Tozu**

Kalker cinsi (kaya) malzemelerin kırılmasıyla elde edilen kırmataş tozunun temiz, sağlam ve dayanıklı tanelerden oluşmasına dikkat edilmiştir. Kırmataş içinde yumuşak ve dayanıksız parçalar, kil, organik ve diğer zararlı maddelerin serbest ve taneleri sarmış halde bulunmaması gerekmektedir. Kırmataş bünyesinde toz veya yabancı maddelerin, ağırlık olarak % 1'den fazla olmaması gerektiği göz önünde tutularak kırmataş tozu kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan kırmataş tozu malzemesi Elazığ Belediyesi asfalt şantiyesinden temin edilen agregaların elenmesi sonucu elde edilmiştir.

#### **2.1.2.2. Mermer Atıkları**

Çalışmada, Tunceli ve civarında faaliyet gösteren mermer fabrikasından alınan mermer parçaları, Elazığ Karayolları laboratuvarında öğütülmüş ve öğütülen atıklar 200 nolu elekte elenerek kullanılmıştır.

#### **2.1.2.3. Ferrokrom Cürufu**

Bu çalışmada, kullanılan ferrokrom cüruf malzemesi Elazığ Ferrokrom Fabrikaları'ndan temin edilmiş olup, Elazığ Karayolları Laboratuvarında No:200 eleğinden geçecek şekilde öğütülerek mineral filler malzemesi olarak kullanılmıştır.

Elazığ Ferrokrom Fabrikasında yılda yaklaşık olarak 100.000 ~ 150.000 ton ferrokrom cürufu açığa çıkmaktadır. Bu cürufun büyük bir kısmı kullanılmamakta, atık sahalarında stoklanmaktadır. Bu atıkların yeniden kullanılmasının ülkemiz ekonomisine sağlayacağı faydalar ve çevre kirliliğinin önlenmesi açısından yapacağı katkılar oldukça önemlidir.

#### **2.1.2.4. Cam Atıkları**

Bu çalışmada, evsel atık olan cam şişeler ve pencere camları kullanılmıştır. Atık cam şişeler Elazığ Karayolları laboratuvarında öğütülerek 200 nolu elekten geçirilerek kullanılmıştır.

#### **2.1.3. Asfalt Çimentosu**

Çalışmada bağlayıcı olarak kullanılan bitüm Elazığ Belediyesi asfalt şantiyesinden temin edilmiştir. Bitümün penetrasyon derecesi 70-100'dür.

### **2.2. Kullanılan Yöntemler**

Çalışmada kullanılan malzemelerin fiziksel özelliklerini belirlemek amacıyla yapılan deney yöntemleri ve deneyler sırasında kullanılan cihazlar hakkında bilgiler aşağıda verilmiştir. Deney numunelerinin hazırlanabilmesi ve ilgili deneylerin yapılabilmesi için Elazığ Karayolları laboratuvarlarında bulunan Marshall deney aleti, Marshall sıkıştırıcısı, Marshall numune kalıpları, su banyosu, etüv, hassas terazi ve elek serisi kullanılmıştır.

#### **2.2.1. Mineral Agrega Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi**

Deney numunelerinin hazırlanmasında kullanılan mineral agreganın fiziksel özelliklerinin tayininde kaba ve ince agregalar için özgül ağırlık deneyleri yapılmıştır.

##### **2.2.1.1. Kaba Agregalar İçin Özgül Ağırlık Deneyi**

Kaba agreganın özgül ağırlığının saptanmasına ilişkin cihaz ve yöntemler AASHTO T 85 ile ASTM C 127 de özetlenmektedir. Yöntem kısaca aşağıdaki özetlendiği şekildedir.

1. Tamamıyla yıkanmış 4.75 mm (No. 4) elekten kalan yaklaşık 5 kg ağırlığında agrega malzemesi etüvde sabit ağırlığa gelene kadar kurutulur.
2. Kurutulmuş numune 24 saat süreyle suya batırılır.
3. Agrega sudan çıkartılarak, agrega yüzeyi nemli görünse bile, yalnızca görünebilir tüm su film tabakaları kalkana dek yüzey kurutulur.
4. Yüzeyi kuru durumdaki numunenin ağırlığı ölçülür.
5. Doymun haldeki yüzeyi kuru numune, bir tel sepete yerleştirilerek suya batırılmış durumdaki ağırlığı belirlenir.
6. Daha sonra numune sabit bir ağırlığa erişinceye kadar etüvde kurutulur ve ağırlık kaydedilir.

$$\text{Hacim Özgül Ağırlık}(kN/cm^3) = \frac{A}{B-C} \quad (2.1)$$

$$\text{Zahiri Özgül Ağırlık}(kN/cm^3) = \frac{A}{A-C} \quad (2.2)$$

$$\text{Su emme yüzdesi} (\%) = \frac{B-A}{A} \times 100 \quad (2.3)$$

Burada:

A: Agreganın etüvde kurutulmuş ağırlığı (gr),

B: Agreganın doymun yüzey kuru ağırlığı (gr),

C: Agreganın sudaki ağırlığı (gr),

Kaplama tabakası üstyapının trafik yüklerine doğrudan maruz kalan bölümüdür. Üstyapıda oluşan basınç ve çekme gerilmelerinin en üst seviyede olması nedeniyle kaplama tabakası diğer tabakalara göre daha yüksek bir elastisite modülüne sahip olmalıdır.

### 2.2.1.2. İnce Agregalar İçin Özgül Ağırlık Deneyi

İnce agregaların zahiri ve hacim özgül ağırlıklarının belirlenmesinde kullanılan cihaz ve yöntemler AASHTO T 84 ile ASTM C 128 de tanımlanmaktadır. Kullanılan yöntem kısaca aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

1. Yaklaşık olarak 1000 gr ince agrega sabit bir ağırlığa ulaşınca kadar etüvde kurutulur.
2. Malzeme 24 saat süreyle su içinde tutulur.
3. Daha sonra numune düz bir yüzeye serilerek hafifçe ılık hava akımına maruz bırakılır.
4. Malzeme numunesinin içine hafifçe sıkıştırıldığı tersyüz edilmiş bir koni kaldırıldıktan sonra malzemenin çöktüğü anda doymun yüzey kuru koşullar elde edilmiş demektir.
5. Doymun yüzey kuru haldeki malzemedan alınan 500'grlık bir numune deney piknometresine yerleştirilir. Daha sonra, şişe belirlenmiş bir yöntemle göre su ile doldurularak tartılır.
6. Şişeden ince agrega çıkartılır ve sabit bir ağırlığa ulaşınca kadar etüvde kurutulduktan sonra tartılır.

$$\text{Hacim Özgül Ağırlık}(kN/cm^3) = \frac{A}{B-C+500} \quad (2.4)$$

$$\text{Zahiri Özgül Ağırlık}(kN/cm^3) = \frac{A}{B+A-C} \quad (2.5)$$

$$\text{Su emme yüzdesi} (\%) = \frac{500-A}{A} \times 100 \quad (2.6)$$

Burada:

A: Etüvde kurutulmuş numune ağırlığı (gr),

B: Su ile dolu piknometre ağırlığı (gr),

C: Kalibas çizgisine kadar su ve numune ile doldurulmuş piknometre ağırlığı (gr),

### 2.2.1.3. Mineral Filler İçin Özgül Ağırlık Deneyi

Filler malzemelerinin zahiri özgül ağırlıkları ASTM C 854 metodu kullanılarak belirlenmiştir.  $110 \pm 5$  °C'lik etüvde sabit ağırlığa kadar kurutulan filler malzemesi, şişenin üçte biri dolacak şekilde piknometrenin içerisine konularak tartılır ( $C_f$ ). Piknometre yarısına

kadar su doldurulur ve en az 5 dakika, yaklaşık 50 m bar vakum sağlayan desikatör içerisinde bırakılarak havası alınır. Daha sonra piknometre tamamen su ile doldurularak  $25 \pm 1$  °C'lik su banyosunda en az 60 dakika bekletilir. Su banyosundan çıkarılır ve kurularak tartılır ( $D_f$ ). Fillerin zahiri özgül ağırlığı aşağıdaki formülden hesaplanır.

$$\text{Zahiri Özgül Ağırlık} \left( \frac{kN}{cm^3} \right) = \frac{(C_f - A_f)}{(B_f - A_f) - (D_f - C_f)} \quad (2.7)$$

Burada:

$A_f$ : Etüvde kurutulmuş numune ağırlığı (gr),

$B_f$ : Su ile dolu piknometre ağırlığı (gr),

$C_f$ : 1/3 'ü Su ve numune ile doldurulmuş piknometre ağırlığı (gr),

$D_f$ : Su banyosundan çıkarılıp ve kurularak numunenin ağırlığı (gr),

## 2.2.2. Asfalt Çimentosunun Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi

### 2.2.2.1. Penetrasyon Deneyi

Bitümlü bağlayıcıların kıvamlılığı penetrasyon deneyi ile tayin edilmektedir. Penetrasyon; standart bir iğnenin belirli yük altında, belirli bir süre içinde, belli sıcaklıktaki bağlayıcıya dikey doğrultuda batma uzunluğudur. Penetrasyon birimi 0.01 cm'dir. Penetrasyon cihaz göstergesindeki her taksimat 0.1 mm'ye eşittir. Penetrasyon değeri 500 kadar olan bitümlü bağlayıcılarda numuneye 25 °C sıcaklıkta 5 saniye süre ile 100 gr bir yük uygulanmaktadır. Penetrasyon değeri 500'ün üzerinde olan numuneler için deney 15 °C'de yapılmakta ve yükleme şartları değişmektedir. Burada penetrasyon değeri 500'e kadar olan bitümlü bağlayıcılara uygulanan deney yöntemi anlatılmaktadır.





**Şekil 2.1.** Penetrasyon deney aleti

Normal yol işlerinde kullanılan asfaltların penetrasyonu 30 ile 300 arasında değişmektedir. Penetrasyonu aynı olan iki asfalttan yumuşama noktası yüksek olan sıcaklığa daha dayanıklıdır (Umar ve Ağar, 1991).

#### **2.2.2.2. Asfalt çimentosu için özgül ağırlık deneyi**

Bir bağlayıcının özgül ağırlığı bunun belli bir hacminin ağırlığının, aynı hacimde su ağırlığına oranıdır. Bir bağlayıcının özgül ağırlığının bilinmesi başlıca iki fayda sağlayacaktır. Birincisi; çoğu yerde ağırlıkla hacim arasındaki bağıntı değerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bitümlü kaplamalara ait şartnamelerde oranlar ağırlıkça yüzde cinsinden belirtilmektedir. Buna karşılık bağlayıcılar çok defa hacimce ölçülür. Sıcak karışımlarda ise bağlayıcının genleşme katsayısının belirlenmesi fayda sağlamaktadır. Böylece herhangi bir sıcaklıktaki özgül ağırlık hesaplanabilir. İkincisi; hidrokarbonlu bağlayıcının cinsinin bilinmesi açısından özgül ağırlık değerinin bilinmesi yararlıdır (ASTM D70- 03,2003).

Özgül ağırlık tayini için piknometre metodu kullanılmaktadır. Bu metotta, önce boş piknometre kabı kuru olarak tartılır, daha sonra su ile doldurulur ve tekrar tartılır. Piknometre kabı boşaltılır, kurutulur, içine uygun miktarda bağlayıcı genellikle yüksekliğin 2/3'üne kadar ya küçük parçalar halinde veya eritilmiş malzeme akıtılarak konur. Eğer ısıtılmış malzeme akıtılacak ise malzeme içinde hava kabarcıkları kalmamasına dikkat edilmelidir. Piknometre içinde kalan boşluk su ile doldurulur ve tartılır. Deneyde kullanılacak su saf su olmalıdır. Deney, genellikle 25 °C 'de yapılır. Farklı sıcaklıklarda yapılacaksa 25 °C' ye çevirmek için çeşitli abaklardan yararlanılır (Umar ve Ağar 1991).

$$\text{Özgöl Ağırlık(kN/cm}^3) = \frac{C-A}{B-A-(D-C)} \quad (2.8)$$

Burada;

A: Piknometre ağırlığı (gr),

B: Su ile dolu piknometre ağırlığı (gr),

C: Piknometre ve asfalt ağırlığı (gr),

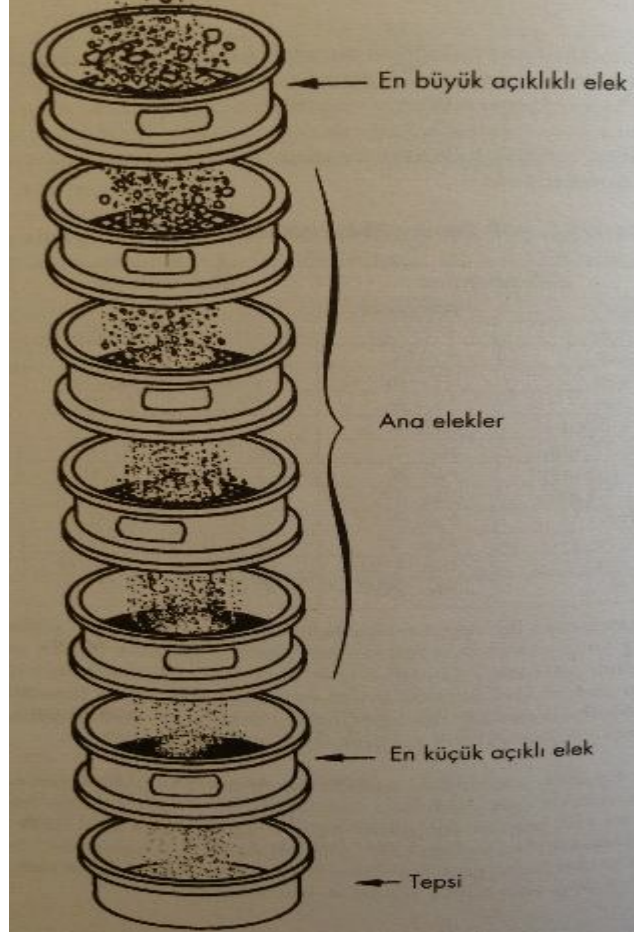
D: Piknometre, asfalt ve su ağırlığı (gr),

### **2.2.3.Deney Numunelerinin Hazırlanmasında Kullanılacak Agrega Gradasyonunun Belirlenmesi**

Asfalt kaplama karışımındaki mineral agreganın miktarı genellikle ağırlıkça yüzde 90 - 95, hacimce yüzde 75 - 85 arasındadır. Mineral agreganın esas olarak kaplamanın yük taşıma kapasitesinden sorumlu olup, buna bağlı olarak asfalt kaplamanın performansı büyük oranda agregaya bağlıdır. Dolayısıyla, değişik boyutlardaki agreganın danelerinin hangi oranlarda bulunması gerektiği şartnamelerde alt ve üst limitlerle belirtilmiştir. Her katman için ayrı ayrı gradasyon geliştirilmiştir.

Ülkemizde karayolu kırmataşlarında 1", 3/4", 1/2", 3/8", No:4, No:10, No:40, No:80, No:200 standart elekleri kullanılmaktadır. Elekler büyükten küçüğe doğru sıralanır ve malzeme en üst elekten başlanarak elenir. Elek üstü kalan malzemeler yığılımlı olarak 0,1 gr hassasiyetinde bir terazi ile tartılır. Daha sonra yüzde geçenler, toplam yüzde kalanlar ve belli boyutlardaki yüzdelere toplam ağırlığın % 0,1'i hassasiyetinde hesaplanır. Şekil 3.2'de elek analizinde kullanılan elekler ve dizilişleri görülmektedir.

Agreganın granülometrisine ve diğer özelliklerine ait şartname sınırları ise Tablo 2.1'de verilmektedir.



Şekil 2.2. Elek analizi (İsfalt 2001).

Tablo 2.1. Aşınma tabakası agrega granülometrisine ait şartname sınırları(Anonim,2000).

Elek No	Elek Boyu		Tip 1	Tip 2
	İnch	mm		
1	% "	19 mm	100	
2	^ "	12.5 mm	83-100	100
3	3/8"	9.5 mm	70-90	80-100
4	No. 4	4.75 mm	40-55	55-72
5	No. 10	2.00 mm	25-38	36-53
6	No. 40	0.425 mm	10-20	16-28
7	No. 80	0.180 mm	6-15	8-16
8	No. 200	0.075 mm	4-10	4-10

## 2.3. Marshall Metodu İle Bitümlü Karışımların Tasarımı

Bu metot, Birleşik Devletler, Mississippi Devlet Otoyolları Departmanında çalışan Bruce Marshall tarafından geliştirilip formüle edilmiştir. Prensip olarak yöntem, Marshall Stabilité deney aleti yardımıyla bitümlü kaplama karışımlarından hazırlanan silindirik briketlerin yanıl yüzeylerine yükleme yaparak plastik akmaya karşı direncin ölçümünü kapsamaktadır. Bu yöntem maksimum boyutu 25 mm (1 inç) veya daha az olan agregalar ve penetrasyon veya viskozite derecesi belli asfalt çimentoları kullanılarak hazırlanmış yalnızca sıcak karışım asfalt kaplamalara uygulanmaktadır (ASTM D 1559-89, 1992). Dünyanın birçok yerinde olduğu gibi ülkemiz karayollarında da karışım dizaynlarında bu yöntem kullanılmaktadır.

Marshall Metodunda öncelikle deney numuneleri hazırlanır. Deney numunelerinin hazırlanmasında kullanılacak malzemelerin şu işlemlerden geçmesi gerekmektedir:

- Karışımında kullanılacak malzemeler proje şartnamelerinde istenilen özelliği sağlamalıdır.
- Agregalar karışım gradasyonunun şartname gradasyonuna uygun olması sağlanmalıdır.
- Kullanılacak malzemelerin yoğunluk ve boşluk analizleri, karışımında kullanılacak agregaların hacim özgül ağırlıkları ve asfalt çimentosunun özgül ağırlıkları tespit edilir.

### 2.3.1. Deney numunelerini hazırlanması

Deney numuneleri hazırlanırken ilk olarak tasarım için kullanılan gradasyonda elek üstü malzeme yüzdesine göre miktarı belirlenen agregalardan 1150'grlık karışım hazırlanarak sabit ağırlığa gelene kadar 105-110 °C' de kurutulur.

Her agregalar ve bitüm kombinasyonlarından en az üç adet numune hazırlanmıştır. Her üçlü seri için bitüm kombinasyonları % 4, % 4,5, % 5, % 5,5, % 6 ve % 6,5 şeklinde kullanılmıştır. Dolayısıyla ile her farklı filler malzemesi için 18 numune hazırlanmıştır.

Hazırlanan agregalar karışımları ve bitüm etüve konularak sıcaklıklarının 150-160 °C'ye gelmesinin sağlanabilmesi amacıyla 3-4 saat süre ile etüvde bekletilir. Sıkıştırma işlemine başlamadan yarım saat öncesinde ise numune kalıpları, tokmak başlığı, karıştırma kabı, spatula, metal numune küreği gibi metal aparatlar da etüv içerisine yerleştirilerek ısıtılmalıdır.

Isıtma işleminden sonra agrega ve asfalt çimentosu tamamıyla üniform bir asfalt dağılımına sahip karışımı meydana getirmek için karıştırıcı ile homojen bir dağılım elde edilene kadar

3-5 dakika karıştırılır. Şekil 2.3.'de deneylerde kullanılan mekanik asfalt karıştırıcısı görülmektedir.



Şekil 2.3. Mekanik asfalt karıştırıcısı

Asfalt çimentosu ve sıvı petrol asfalt,  $170 \pm 20$  °C'de viskozite oluşacak şekilde ısıtılmıştır. Karışım kalıbın içine yerleştirilmeden önce kalıbın tabanına, ölçüsüne göre kesilmiş filtre kâğıdı yerleştirilmiştir. Numuneler 101,6 mm (4 inç) çapında ve 76,2 mm (3 inç) yüksekliğindeki numune kalıbında, 457,2 mm (18 inç)'den düşen 4536 g (10 lb) ağırlığındaki özel bir tokmakla sıkıştırılmıştır. Şekil 2.4.'de deneylerde kullanılan numuneler görülmektedir.



Şekil 2.4. Marshall deney numuneleri

Sıkıştırma uygulanacak numunelerin her iki yüzeyine trafik durumuna göre darbe uygulanmaktadır. Trafik durumuna göre uygulanacak darbe sayısı Tablo 2.2.'de görülmektedir.

Tablo 2.2. Trafik durumuna göre uygulanacak darbe sayısı

Trafik Durumu	Eşdeğer Dingil Yüğü (EAL)	Darbe Sayısı
Hafif	$<10^4$	35
Orta	$10^4 \sim 10^6$	50
Ağır	$>10^6$	75

### 2.3.2. Marshall Stabilite ve Akma Deneyi

Oda sıcaklığına kadar soğumuş olan briket numune kalıptan bir numune çıkarma krikosu yardımı ile çıkarılarak, en az 24 saat laboratuvar sıcaklığında bekletilir. Bir kumpas yardımıyla yükseklikleri ölçülen numunelerin havada, 25 °C suda ve yüzey kuru suya doymun durumdaki tartımları yapılır. Şekil 2.5.' de numune çıkarmaya yarayan hidrolik numune çıkarıcı görülmektedir.



Şekil 2.5. Hidrolik numune çıkarıcı

Numuneler stabilite ve akma deneyine tabi tutulmadan önce  $60 \pm 1$  °C'lik su banyosunda 30-40 dakika bekletilir. Şekil 2.6.'da su banyosunda deney için bekleme alınmış numuneler görülmektedir.



Şekil 2.6. Su banyosu

Numune çelik bir halkanın iki segmanı arasına yerleştirilir. Akma ölçer (flowmeter) yerleştirilerek sıfırlanır. Maksimum yüke erişinceye kadar, dakikada 50.8mm'lik (2 inç) bir hızla yükleme yapılır. Maksimum yük kaydedilir. Akma ölçer boşaltılır ve akma değeri ölçülür. 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. Basınç arttıkça stabilometrede okunan değer

artarak maksimuma ulaşır, daha sonra düşmeye başlar. Bu anda numune kırılır. Stabilometrede okunan maksimum değer yardımıyla bitümlü karışımın stabilitesi belirlenir "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 agreganın boşluğu yüzdesi de saptanır (Umar ve Açar, 1991). Şekil 2.7'de Marshall deney aleti görülmektedir.



Şekil 2.7. Marshall deney aleti

## 2.4. Kaplama Karışım Hesapları için Gerekli Bağlıntılar

### 2.4.1. Agreganın Hacim Özgül Ağırlığı ve Zahirî Özgül Ağırlığı

Agreganın karışımı, değişik özgül ağırlıklara sahip kaba agreganın, ince agreganın ve mineral fillerden oluştuğu için, toplam agreganın hacim veya zahirî özgül ağırlığı aşağıdaki gibi hesaplanır



$$G_{ag} = \frac{\% K + \% \dot{I} + \% F}{\frac{\% K}{G_{ka}} + \frac{\% \dot{I}}{G_{ia}} + \frac{\% F}{G_{fa}}} \quad (2.9)$$

Burada:

$G_{ag}$ : Agrega karışımının hacim özgül ağırlığı (kN/cm<sup>3</sup>),

K: Kaba agreganın ağırlıkça yüzdesi

$\dot{I}$ : İnce agreganın ağırlıkça yüzdesi

F: Fillerin ağırlıkça yüzdesi

$G_{ka}$  : Kaba agreganın özgül ağırlığı

$G_{ia}$ : İnce agreganın özgül ağırlığı

$G_{fa}$ : Fillerin özgül ağırlığı

#### 2.4.2. Agrega Efektif Özgül Ağırlığının Tayini

Efektif özgül ağırlığın hesaplanmasına ilişkin yöntem, herhangi bir AASHTO veya ASTM şartnamesi ile belirtilmemiştir. Bununla birlikte hesaplamalarda, asfalt karışımların maksimum özgül ağırlığının tayini için elde edilen veriler (ASTM D 2041) kullanılabilir.

Kullanılan yöntem, kabul edilen karışım yöntemleri uygulamak suretiyle belli bir miktardaki agrega ve asfaltın karıştırılmasını kapsamaktadır. Karışım soğutulduktan sonra, karışımın ilk önce havada, daha sonra suya batırılmış halde tartılması ile malzemenin mutlak hacmi belirlenmekte ve ağırlıklar arasındaki fark kaydedilmektedir. Bu deneyin yapılamadığı durumlarda, hacim özgül ağırlık ve zahiri özgül ağırlık değerlerinin ortalaması alınarak bulunan efektif özgül ağırlık değeri kullanılabilir.

Agreganın efektif özgül ağırlığının hesaplanmasında kullanılan formül aşağıdaki gibidir:

$$G_{ef} = \frac{100}{\frac{100+W_a}{D_t} - \frac{W_a}{G_b}} \quad (2.10)$$

Burada:

$G_{ef}$ : Agreganın efektif özgül ağırlığı ( $kN/cm^3$ ),

$W_a$ : Agreganın ağırlığının yüzdesi olarak bitüm ağırlığı (gr),

$D_T$ : Kaplama karışımının boşluksuz maksimum özgül ağırlığı ( $kN/cm^3$ ),

$G_b$ : Bitüm özgül ağırlığı ( $kN/cm^3$ ).

### 2.4.3. Farklı Bitüm Miktarlarında Karışımın Maksimum Özgül Ağırlığı

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

Bitüm miktarının değişmesi bitüm absorpsiyonunu önemli ölçüde değiştirmedeği için, maksimum özgül ağırlık,  $D_T$ , aşağıdaki bitüm yüzdesi ile her bitüm yüzdesi için ayrı ayrı aşağıdaki formülle hesaplanabilir.

$$D_T = \frac{100 + W_a}{\frac{100}{G_{ef}} - \frac{W_a}{G_b}} \quad (2.11)$$

Burada:

$D_T$ : Kaplama karışımının boşluksuz maksimum özgül ağırlığı ( $kN/cm^3$ )

$W_a$ : Agreganın ağırlığının yüzdesi olarak bitüm ağırlığı (gr)

$G_{ef}$ : Agreganın efektif özgül ağırlığı ( $kN/cm^3$ )

$G_b$ : Bitüm özgül ağırlığı ( $kN/cm^3$ )

### 2.4.4. Sıkıştırılmış Kaplama Karışımındaki Agregalar Arası Boşluk (VMA) Yüzdesi

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

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

Eğer karışım kompozisyonu agrega ağırlığının yüzdesi olarak bulunmuşsa, aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$VMA = (100 - \frac{D_T}{G_{ef}}) \left( \frac{100}{100 + W_a} \right) 100 \quad (2.12)$$

Burada:

VMA: Agregalar arası boşluk yüzdesi,

$D_p$  : Sıkıştırılmış karışımın hacim özgül ağırlığı ( $\text{kN/cm}^3$ ),

$G_{ag}$  : Agreganın hacim özgül ağırlığı ( $\text{kN/cm}^3$ ),

$G_{sb}$  : Bitümün hacim özgül ağırlığı ( $\text{kN/cm}^3$ ),

$W_a$  : Agreg ağırlığının yüzdesi olarak bitüm ağırlığı (gr).

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

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

$$V_h = \left( \frac{D_T - D_p}{D_T} \right) 100 \quad (2.13)$$

Burada:

$V_h$ : Toplam hacmin yüzdesi olarak sıkıştırılmış karışımındaki hava boşluğu (%),

$D_p$ : Sıkıştırılmış karışımın (briketin) hacim özgül ağırlığı ( $\text{kN/cm}^3$ ),

$D_T$ : Kaplama karışımın maksimum özgül ağırlığı ( $\text{kN/cm}^3$ ),

Asfaltla dolu boşluk ( $V_f$ ), sıkıştırılmış kaplama karışımın bitümlle dolan boşluklarını içerir.

$$V_f = \left( \frac{VMA - V_h}{VMA} \right) 100 \quad (2.14)$$

Burada:

$V_f$ : Asfaltla dolu boşluk (%),

VMA: Agregalar arası boşluk yüzdesi (%),

$V_h$ : Toplam hacmin yüzdesi olarak sıkıştırılmış karışımdaki hava boşluğu (%).

## 2.5. Optimum Bitüm Yüzdesinin Belirlenmesi

Optimum bitüm yüzdesini belirlemek için farklı bitüm yüzdelerinde hazırlanmış olan numunelere ait pratik özgül ağırlık, stabilite, akma, boşluk, asfaltla dolu boşluk yüzdesi, mineral agregalar içindeki boşluk grafikleri çizilir. Daha sonra yoğunluk ve stabilite eğrilerinin en büyük değerlerine karşı gelen bitüm yüzdeleri, şartnamede tasarım yapılan tabakaya uygun olarak belirtilen kriterlere göre asfaltla dolu boşluğu %75-85 arasına karşılık gelen, boşluk oranı %3-5 arasına karşılık gelen bitüm yüzdeleri grafiklerden okunarak bulunan değerlerin aritmetik ortalamaları alınarak optimum bitüm yüzdeleri tayin edilir.

Daha sonra kontrol için optimum bitüm miktarlarının şartnamelerde belirtilen akma ve %VMA'ları sağlayıp sağlamadığı kontrol edilir. Bu şekilde saptanan bağlayıcı oranına göre gerçekleştirilen bir beton asfalt karışımı şartnamelerde aranan özellikleri taşıyacaktır (Umar ve Açar, 1991). Tablo 2.3'de Marshall Metodu ile dizayn kriterleri görülmektedir.

**Tablo 2.3.** Beton asfalt kaplama tabakasının dizayn kriterleri (Anonim,2000).

Özellikler	Hafif ve Orta Trafikli Yollar				Ağır Trafikli Yollar, Otoyollar, Tırmanma Şeritleri			
	Binder		Aşınma		Binder		Aşınma	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Briket yapımında uygulanacak darbe sayısı	50	-	5	-	75	-	75	-
Marshall Stabilitesi (kg)	600	-	750	-	750	-	900	-
Boşluk %	4	6	3	5	4	6	3	5
Asfaltla dolu boşluk %	65	75	75	85	65	75	75	85
Akma (mm)	2,5	4,6	2,5	4,6	2	4	2	4
Filler/bitüm oranı	-	-	-	-	-	1,4	-	1,5
Asfalt çimentosu ağırlıkça (%)	3,5	6,5	4	7	3,5	6,5	4	7

### 3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

#### 3.1. Mineral Agreganın Fiziksel Özellikleriyle İlgili Deney Sonuçları

Çalışmada kullanılan kaba ve ince agreganın özgül ağırlığının belirlenmesi için yapılan deneyler ve sonuçları Tablo 3.1.'de verilmiştir. Kaba agregası için özgül ağırlık limit değerinin minimum  $2.6 \text{ gr/cm}^3$  olması gerekmektedir (TS 3526, 1980). Deney sonuçlarına göre kullandığımız örneğin  $2.654 \text{ gr/cm}^3$  hacim özgül ağırlığı değeri ile limit değerin üzerinde olduğu saptanmıştır. Çakıl için su emme oranı miktarının maksimum % 2.5 olması gerekmektedir (TS 3526, 1980). Deney sonuçlarına göre kullandığımız örneğin % 0.75 ile değeri limit değerin altın da olduğu bulunmuştur. İnce agregası için özgül ağırlık limit değeri minimum  $2.25 \text{ gr/cm}^3$  olması gerekmektedir (TS 3529, 1980). Deney sonuçlarına göre kullandığımız örneğin  $2.716 \text{ gr/cm}^3$  özgül ağırlığı değeri ile limit değerin üzerinde olduğu belirlenmiştir.

İnce agregası için su emme oranı miktarının maksimum % 2,5 olması gerekmektedir (TS 3526, 1980) Deney sonuçlarına göre kullandığımız örneğin su emme oranı %1,66 olup limit değerin altındadır.

**Tablo 3.1.** İri ve ince agregası için yapılan deneyler ve sonuçları

Özellik	Değer	Standart
İri agregası hacim özgül ağırlığı	2,654	ASTM C 127
İri agregası zahiri özgül ağırlığı	2,700	ASTM C 127
İri agregası su absorpsiyonu %	%0,75	ASTM C 127
İnce agregası hacim özgül ağırlığı	2,716	ASTM C 128
İnce agregası zahiri özgül ağırlığı	2,683	ASTM C 128
İnce agregası su absorpsiyonu %	%1,66	ASTM C 128

#### 3.2. Mineral Fillerin Zahiri Özgül Ağırlığının Belirlenmesi

Çalışmada mineral filler için şartnamede belirtilmiş olan % 4 ve % 10 değerinin ortalaması alınarak % 7 oranında kırmataş tozu, mermer atıklarının tozu, ferrokrom cüruf tozu ve cam tozu kullanılmıştır. Kullanılan mineral fillerin özgül ağırlık ve su emme oranı deneyi sonuçları Tablo 3.2.'de verilmiştir.

**Tablo 3.2.** Değişik tipteki fillerin özgül ağırlık değerleri

Filler tipi	Özgül Ağırlık Değeri	Standart
Kalker kökenli filler	2,58 gr/cm <sup>3</sup>	ASTM C 854
ferrokrom Cüruf	2,70 gr/cm <sup>3</sup>	ASTM C 854
Mermer	2,64 gr/cm <sup>3</sup>	ASTM C 854
Cam	2,46 gr/cm <sup>3</sup>	ASTM C 854

### 3.3. Asfalt Çimentosu Özgül Ağırlık Deneyi

Çalışmada, Elazığ Belediyesi asfalt şantiyesinden temin edilen bitüm malzemesi kullanılmıştır. Bitümün özgül ağırlığı 0,990 gr/cm<sup>3</sup> olarak bulunmuştur. Bitüm özellikleri Tablo 3.3.'de verilmiştir.

**Tablo 3.3.** Bitüm 70-100 ürün bilgileri ([www.tupras.com.tr](http://www.tupras.com.tr))

Özellik	Birim	Değer	Sınır	Deney yöntemi
Penetrasyon 25 °C'ta, 100 g, 5 saniye	x 0.1 mm	70/100		TS EN 1426
Yumuşama Noktası (ring andballmetod)	°C	43-51		TS EN 1427
Sertleşmeye karşı direnç (a) 163°C 'ta				TS EN 12607-1 veya TS EN 12607-2
Kütle değişimi (Isıtmadaki kayıp)	%	0.8	En çok	TS 121 veya TS EN 12607-1 veya TS EN 12607-2
Kalıcı penetrasyon	%	46	En az	TS EN 1426
Sertleştirmeden sonra yumuşama noktası	°C	45	En az	TS EN 1427
Parlama Noktası	°C	230	En az	TS EN ISO 2592
Çözünürlük	% Ağırlık	99	En az	TS EN 12592
Yumuşama noktası yükselmesi	°C	9	En çok	TS EN 1427

### 3.4. Numunelerde Kullanılacak Agregada Gradasyonu

Çalışmada kullanılan agregada gradasyonu Karayolları Genel Müdürlüğünün aşınma tabakası Tip-1 limitlerine göre seçilmiştir. Kullanılan gradasyon değerleri Tablo 3.4.'de verilmiştir.

**Tablo 3.4.** Deneylerde kullanılan agrega granülometresi

Elek Boyu	KGM Aşınma Tabakası Tip-1 Limitleri (%geçen)	Çalışmada kullanılan (%geçen)
19mm (3/4")	100	100
12.5mm (1/2")	83-100	90
9.5mm (3/8")	70-90	76
4.75mm(No.4)	40-55	46,5
2.00mm(No.10)	25-38	29,5
0.425mm(No.40)	10-20	17
0.180mm (No.80)	6-15	11
0.075 (No.200)	4-10	7

### 3.5. Hazırlanan Numunelere Uygulanan Deneyler

Uygun gradasyonda ve belirlenen bitüm oranlarında hazırlanmış numunelere iki aşamalı deney uygulanmıştır. Birinci aşamada kırmataş tozu, mermer tozu, ferrokrom cüruf tozu ve cam tozu ile hazırlanmış numunelerin optimum bitüm yüzdeleri belirlenmiştir. İkinci aşamada ise her farklı filler cinsi için belirlenen optimum bitüm yüzdelerinde filler oranı % 5, 6, 7, 8, ve 9 olan numuneler hazırlanıp Marshall deneyleri uygulanmıştır.

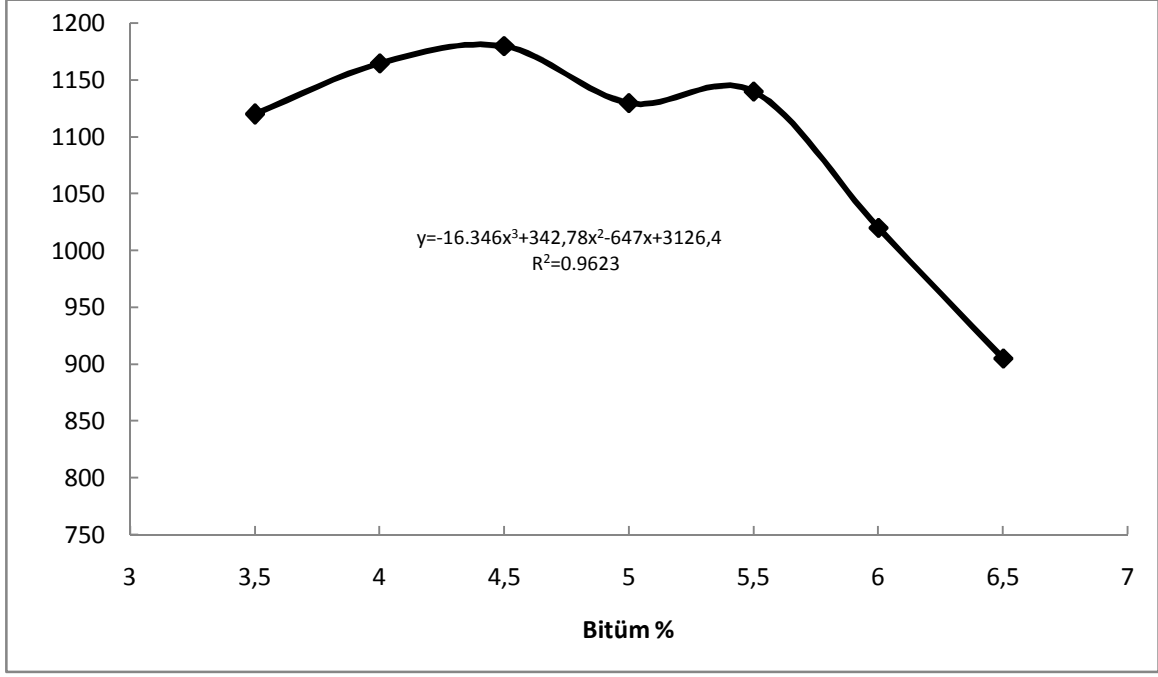
#### 3.5.1. Marshall Metodu İle Optimum Bitüm Yüzdelerinin Belirlenmesi

Optimum bitüm yüzdesinin tespit edilmesi için 4 farklı filler malzemesiyle agrega gradasyonu sabit tutularak % 4,0-4,5-5,0-5,5-6,0 ve 6,5 oranlarında bitüm oranı kullanılarak numuneler hazırlanmıştır.

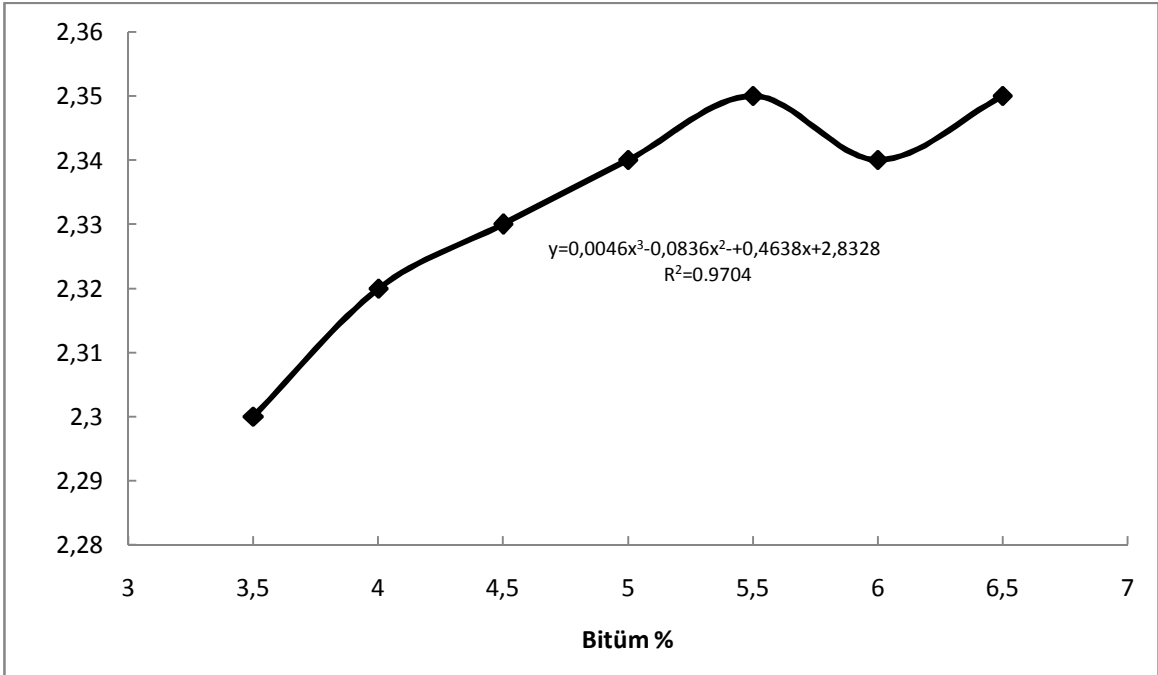
##### 3.5.1.1. Filler Olarak Kırmataş Tozunun Kullanıldığı Numunelere Ait Grafikler

Kırmataş tozu ile değişen bitüm yüzdelerinde yapılan Marshall stabilite deney sonuçlarına göre stabilite ve pratik özgül ağırlığın bitüm yüzdesi ile değişimi sırasıyla Şekil 3.1. ve Şekil 3.2.'de görülmektedir.





Şekil 3.1. Kırmataş Marshall stabilitesinin bitüm yüzdesi ile değişimi



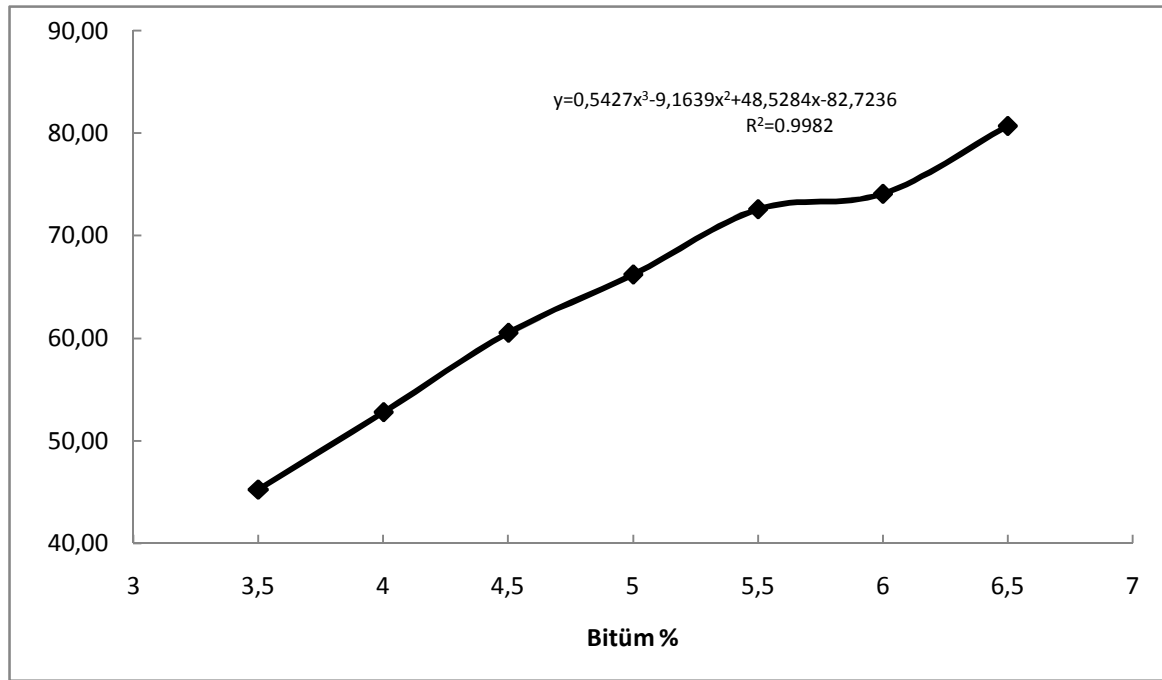
Şekil 3.2. Kırmataş pratik özgül ağırlığın bitüm yüzdesi ile değişimi

Şekil 3.1.'de görüldüğü gibi Marshall stabilite değeri bitüm yüzdesinin artmasıyla birlikte azalmaktadır. Marshall stabilite değeri bitüm oranının % 4,5 olduğu karışım numunesinde maksimum olmaktadır.

Buna karşılık olarak birim ağırlık değeri de bitüm oranı arttıkça Şekil 3.2.'de de görüleceği gibi artmaktadır. Maksimum birim ağırlık değeri % 6,5 bitüm oranına karşılık gelmektedir.

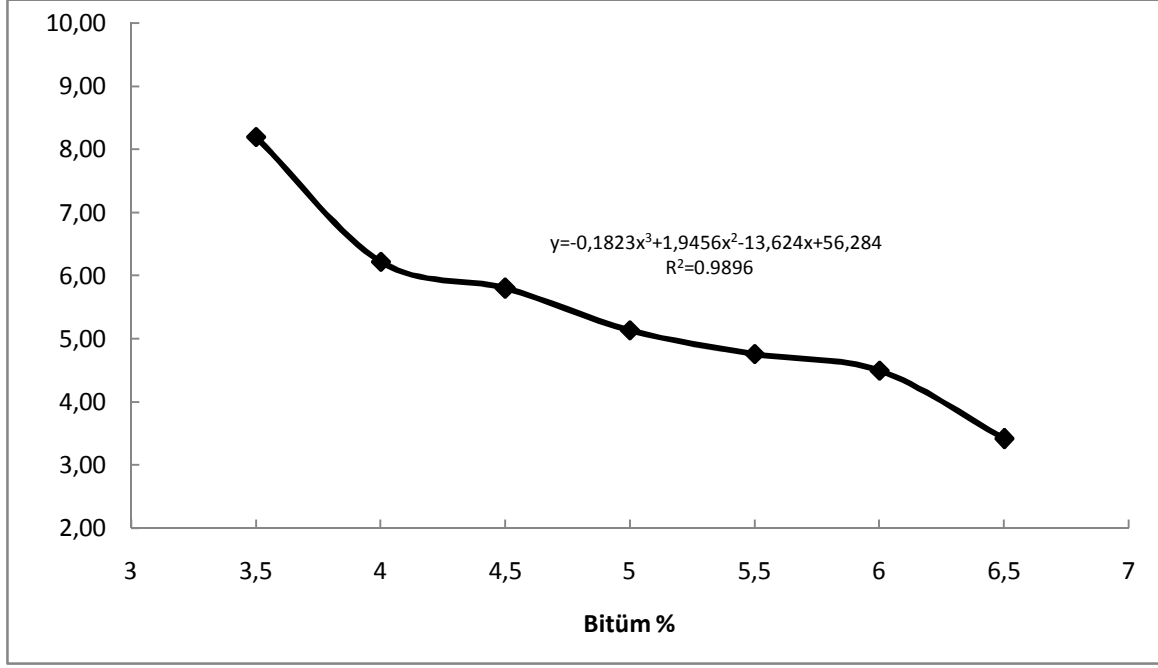
Bağlayıcı ile dolu agrega boşluğu yüzdesi değerlerinin, asfalt çimentosu oranının artması ile arttığı ise Şekil 3.3.'de görülmektedir. Şartnameye uygun olarak, asfaltla dolu boşluk yüzdesini % 80 olarak sağlayan bağlayıcı oranı karışımlarda % 6,30 olarak tespit edilmiştir.

Agregaları saran film tabakası kalınlığı çok ve hava boşluğu düşükse bu asfaltın kusmasına sebep olmaktadır.



Şekil 3.3. Kırmataş asfaltla dolu boşluğun bitüm yüzdesi ile değişimi

Film kalınlığının gerekenden fazla olması, kaplamanın deformasyon direncinin azalmasına, film kalınlığının gerekenden az olması ise, kaplamanın kırılğan olmasına neden olmaktadır. Şekil 3.4.'de kırmataş boşluğun bitüm yüzdesi ile değişimi görülmektedir.



Şekil 3.4. Kırmataş boşluğun bitüm yüzdesi ile değişimi

Asfalt karışımlarda trafik yükleri altında sıkışmayı sağlamak için uygun bir hava boşluğu yüzdesi olmalıdır. Hava boşluğu yüzdesinin az olması sıcaklığın artmasıyla asfalt karışımının kusmasına ve stabilite kaybına neden olmaktadır. Yapılan çalışmada, boşluk oranının asfalt çimentosu oranının artmasıyla azaldığı gözlenmiştir. % 4 boşluk oranını (şartnamede belirtilen % 3-5 arasındaki sınır içinde kalan) sağlayan asfalt oranının karışımlarda % 6,22 olduğu görülmektedir (Şekil 3.4.). Bu şekilde bulunan dört asfalt oranının ortalaması optimum asfalt çimentosu oranını verecektir.

$$\text{Kırmataş tozu için optimum bağlayıcı oranı} = \frac{4,50 + 6,50 + 6,30 + 6,18}{4} = 5,87$$

Şekil 3.5.'de kırmataş akmanın bitüm yüzdesi ile değişimi görülmektedir. Akma değeri beton asfalt kaplamaların trafik yükleri altındaki davranışlarını belirleyen, beton asfaltların plastiklik ve esneklik özelliklerini temsil eden bir değerdir.

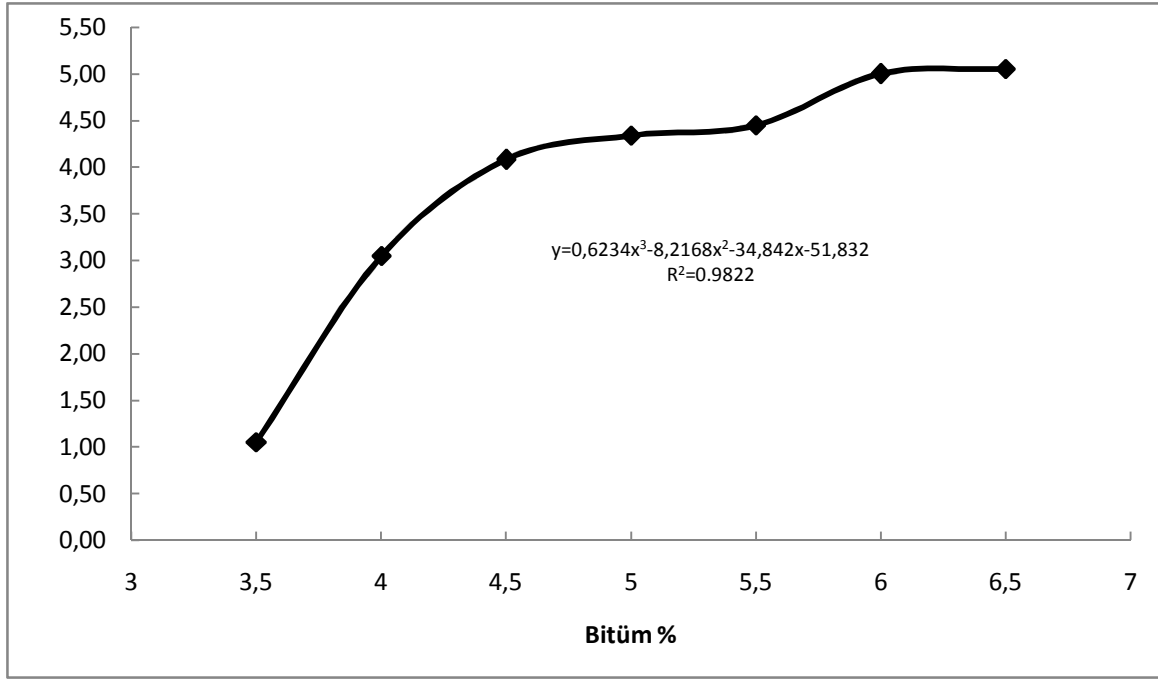
Marshall numunelerinin kırıldığı yüke tekabül eden deformasyonu temsil eden akmanın değeri sıkışmış karışımların iç sürtünmesinin bir ölçüsüdür ve akma değeri ile iç sürtünme arasında doğrusal ters bir ilişki vardır.

Şartnamelerde belirtilen en yüksek akma değeri, karışımın plastikliğini ve kullanılabilir en yüksek bağlayıcı yüzdesini, en alt değeri ise karışımın gevrekliğini ve dayanıklılığını

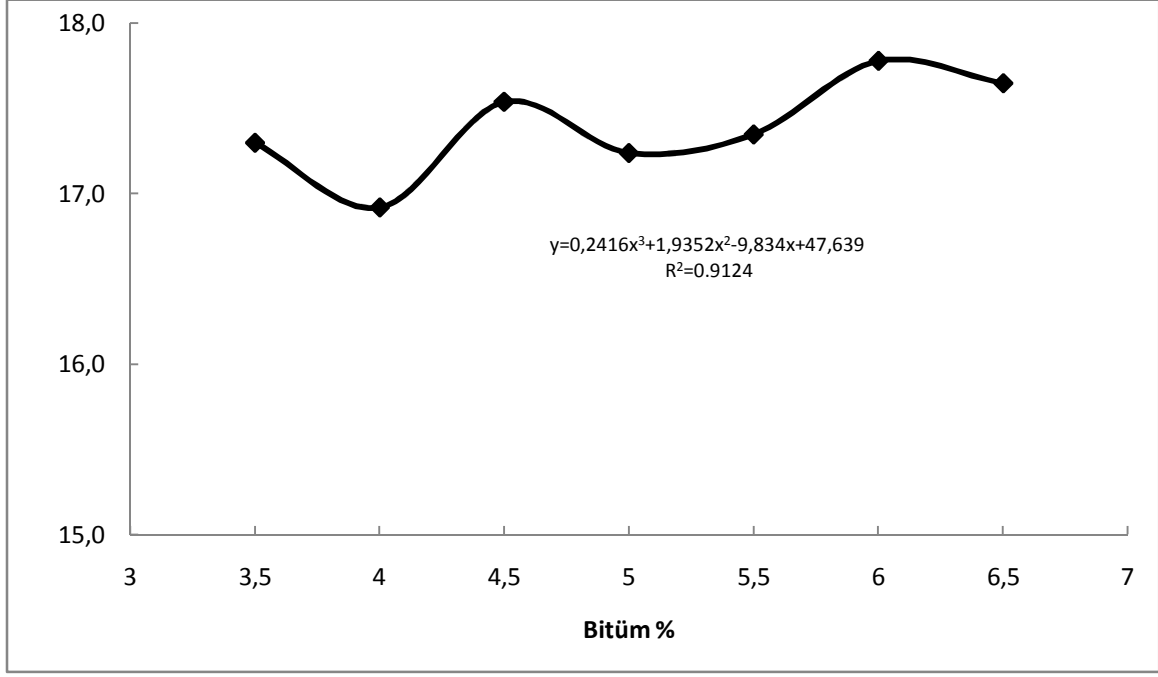
kontrol eder (Umar ve Ağar, 1991). Yapılan çalışmada; akma değerleri asfalt imentosu oranının artması ile artmaktadır.

Kırmataş tozu için optimum bağlayıcı dozu olan 5,87'ye karşılık gelen akma değeri (4,43) Şekil 3.5.'den bakıldığında Şartnamede belirtilen değerler arasındadır (Tablo 2.5.). Bu Şekilde saptanan bağlayıcı oranına göre gerçekleştirilen bir beton asfalt karışımı Şartnamelerde aranan özellikleri taşıyacaktır.

Şekil 3.6.'da kırmataş agregalar arası boşluğun (VMA) bitüm yüzdesi ile değişimi görülmektedir.



Şekil 3.5. Kırmataş akmanın bitüm yüzdesi ile değişimi

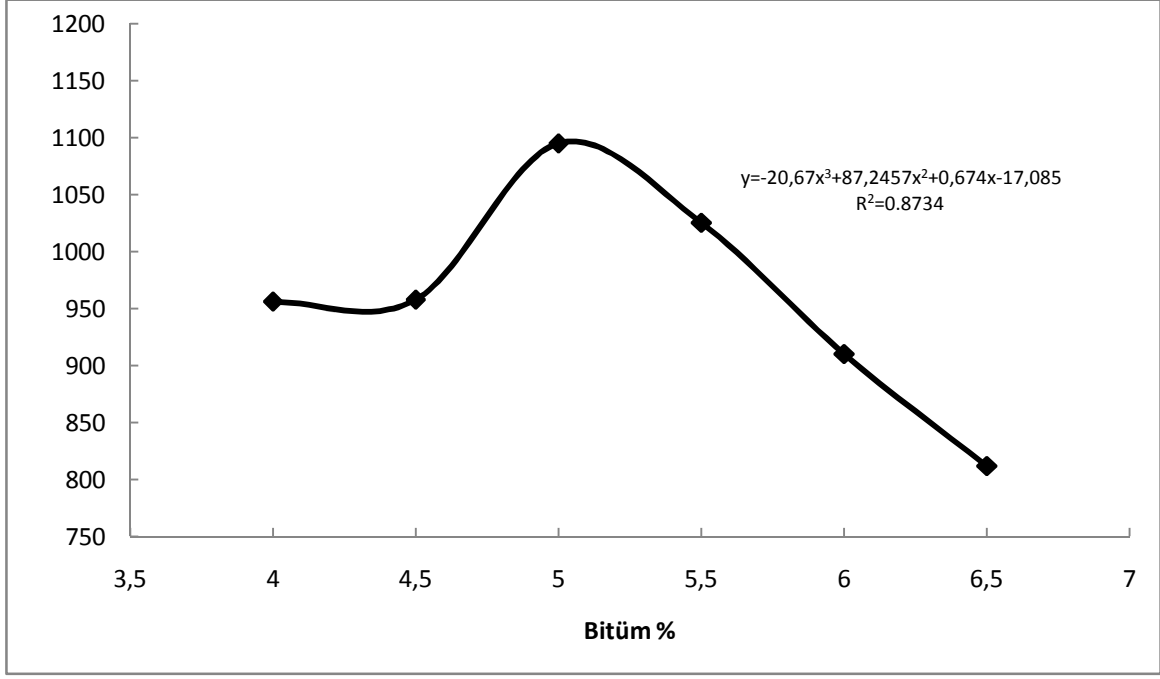


Şekil 3.6. Kırmataş agregalar arası boşluğun (VMA) bitüm yüzdesi ile değişimi

### 3.5.1.2. Filler Olarak Mermer Tozunun Kullanıldığı Numunelere Ait Grafikler

Filler olarak kullanılan mermer tozu ile değişen bitüm yüzdelerinde yapılan Marshall stabilite deney sonuçlarına göre stabilite değerlerinin bitüm %'si ile değişimi Şekil 3.7.'de görülmektedir.

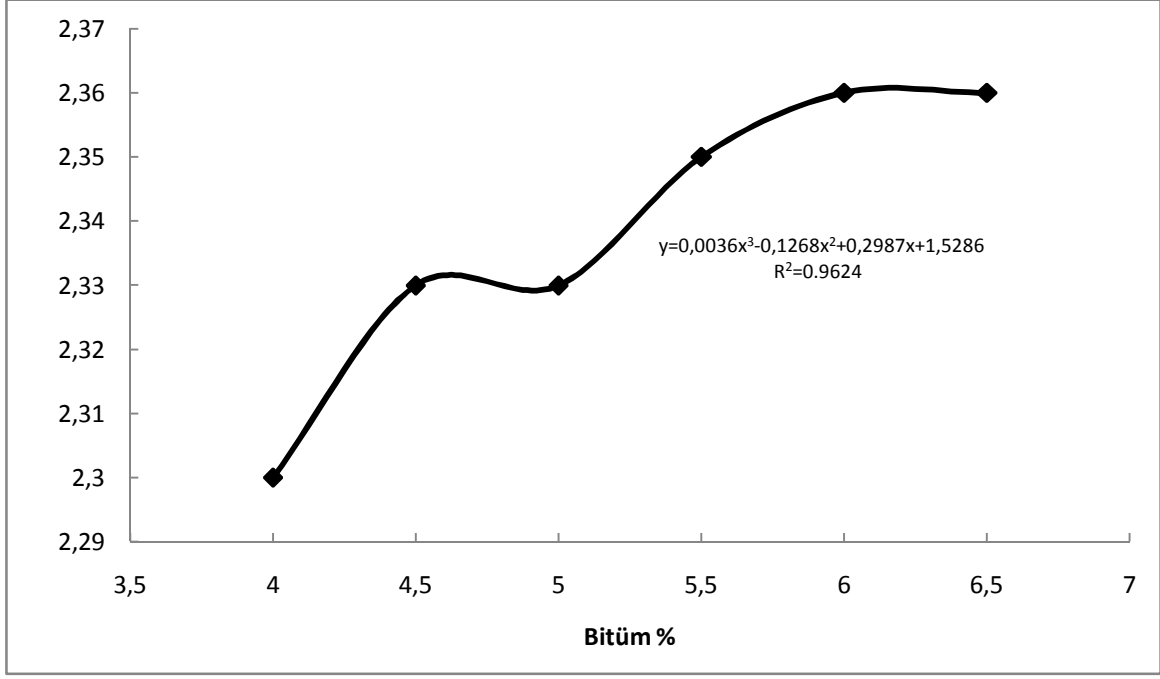
Marshall stabilite değeri bitüm oranının % 5,00 olduğu karışım numunesinde maksimum, % 6,5 olduğu karışım numunesinde ise minimum olmaktadır.



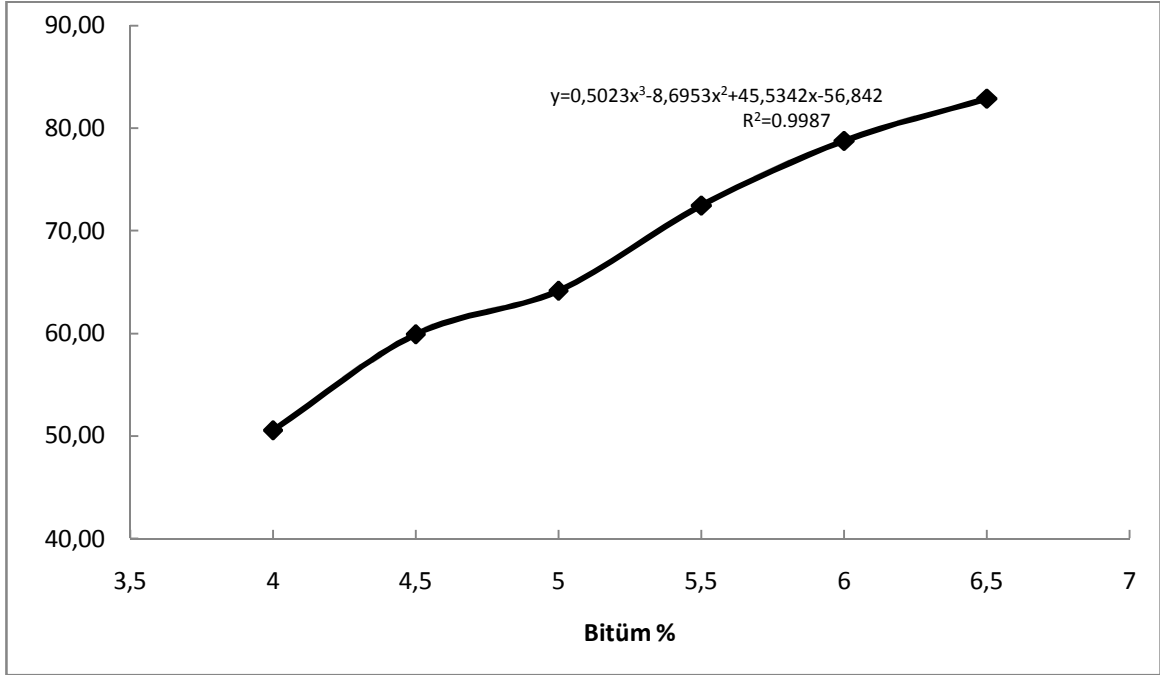
**Şekil 3.7.** Mermer tozu Marshall stabilitesinin bitüm yüzdesi ile değişimi

Şekil 3.8.'de ise mermer tozunun pratik özgül ağırlığının bitüm yüzdesi ile değişim görülmektedir. Maksimum birim ağırlık değeri % 6,5 bitüm oranına karşılık gelmektedir. % 6,5 bitüm oranında tespit edilen pratik özgül ağırlık  $2,36 \text{ gr/cm}^3$ 'dür.

Şekil 3.9.'da ise mermer tozu asfaltla dolu boşluğun bitüm yüzdesi ile değişimi görülmektedir. Şartnameye uygun olarak, asfaltla dolu boşluk yüzdesini % 80 olarak sağlayan bağlayıcı oranı karışımlarda % 6,15 olarak tespit edilmiştir



Şekil 3.8. Mermer tozu pratik özgül ağırlığın bitüm yüzdesi ile değişimi

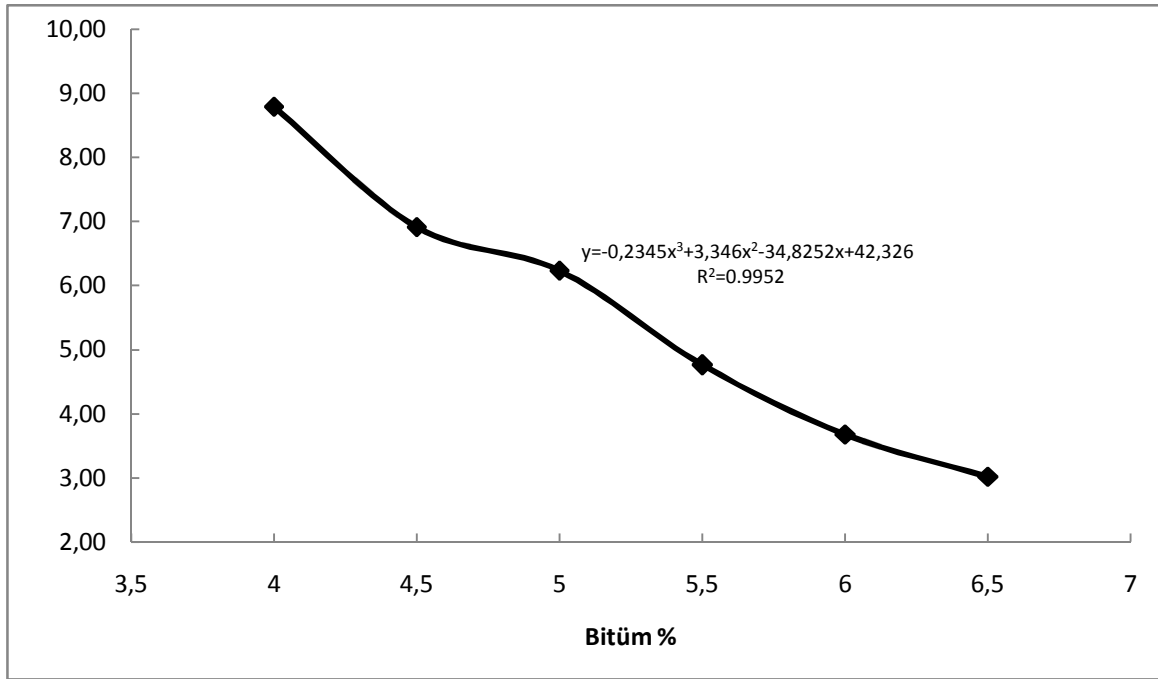


Şekil 3.9. Mermer tozu asfaltla dolu boşluğun bitüm yüzdesi ile değişimi

Şekil 3.10.'da % 4 boşluk oranını (şartnamede belirtilen % 3-5 arasındaki sınır içinde kalan) sağlayan asfalt oranının karışımlarda %5,85 olduğu görülmektedir (Şekil 3.10.). Bu şekilde bulunan dört asfalt oranının ortalaması optimum asfalt çimentosu oranını verecektir.

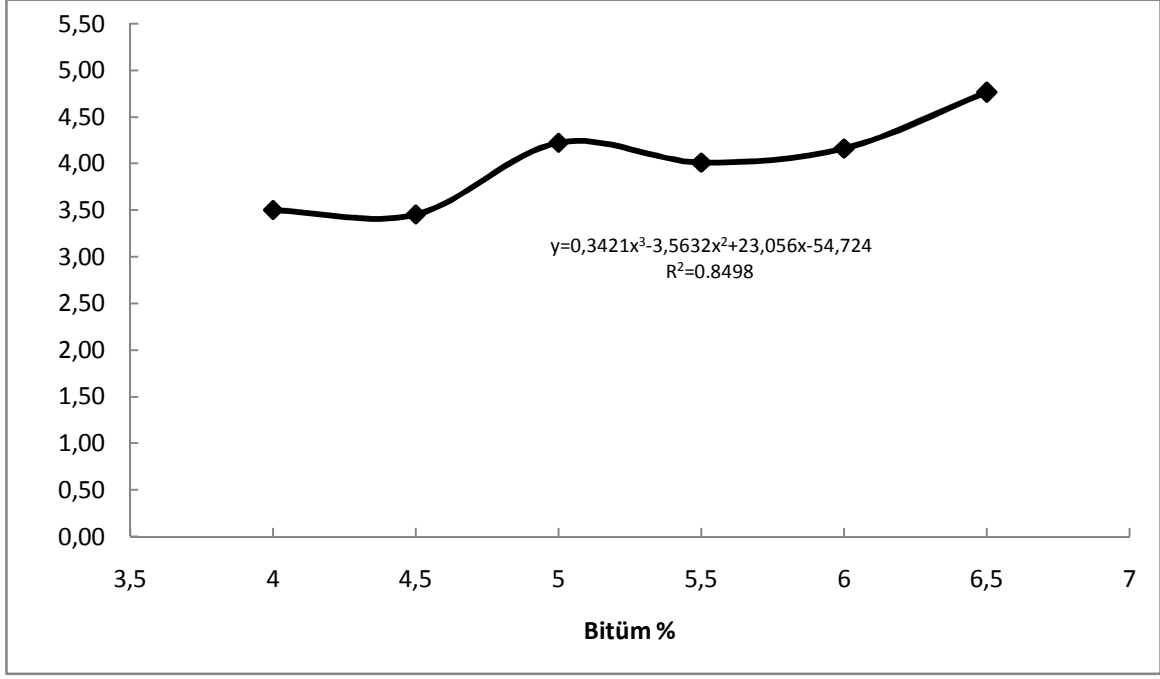
$$\text{Mermer tozu için optimum bağlayıcı oranı} = \frac{5,00 + 6,50 + 6,15 + 5,85}{4} = 5,87$$

Bu orana karşılık gelen akma değeri 4,12 mermer tozu akmanın bitüm yüzdesi ile değişimi grafiğinden (Şekil 3.11.)'den bakıldığında şartnamede belirtilen değerler arasındadır (Tablo 2.5.). Bu şekilde saptanan bağlayıcı oranına göre gerçekleştirilen bir beton asfalt karışımı şartnamelerde aranan özellikleri taşıyacaktır.



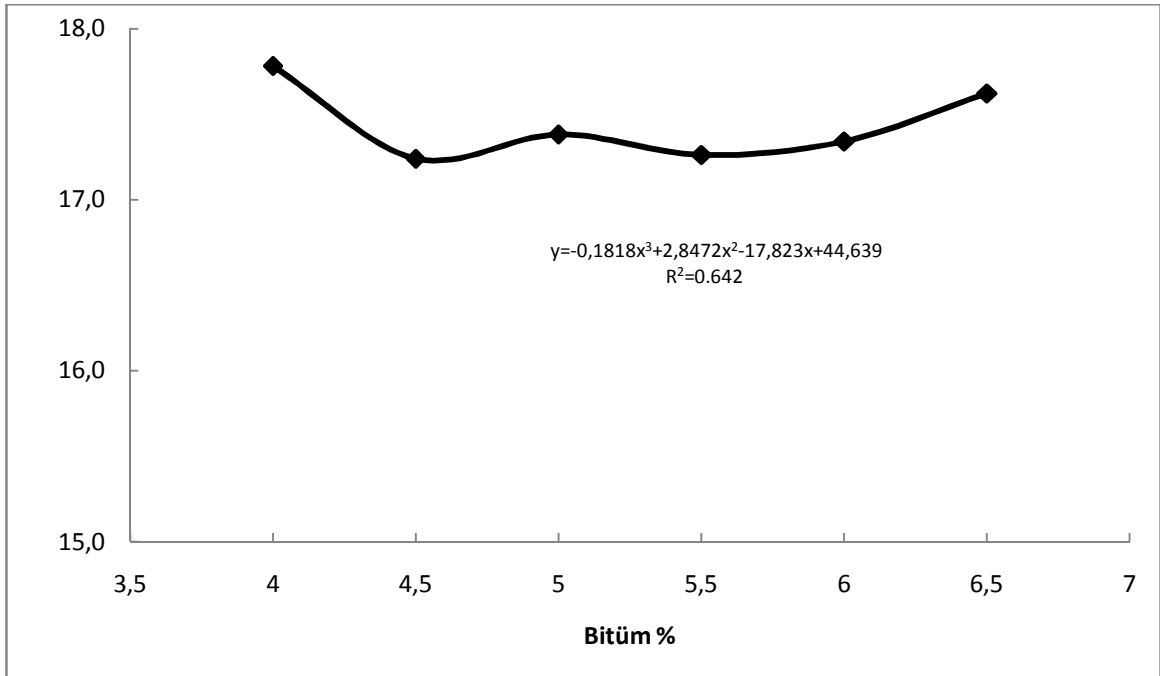
Şekil 3.10. Mermer tozu boşluğun bitüm yüzdesi ile değişimi





Şekil 3.11. Mermer tozu akmanın bitüm yüzdesi ile değişimi

Mermer tozu agregalar arası boşluğun (VMA) bitüm yüzdesi ile değişimi Şekil 3.12.'de görülmektedir. Tüm bitüm yüzde oranlarına göre agregalar arası boşluk değerleri % 17 ile 18 arasında değişmektedir.

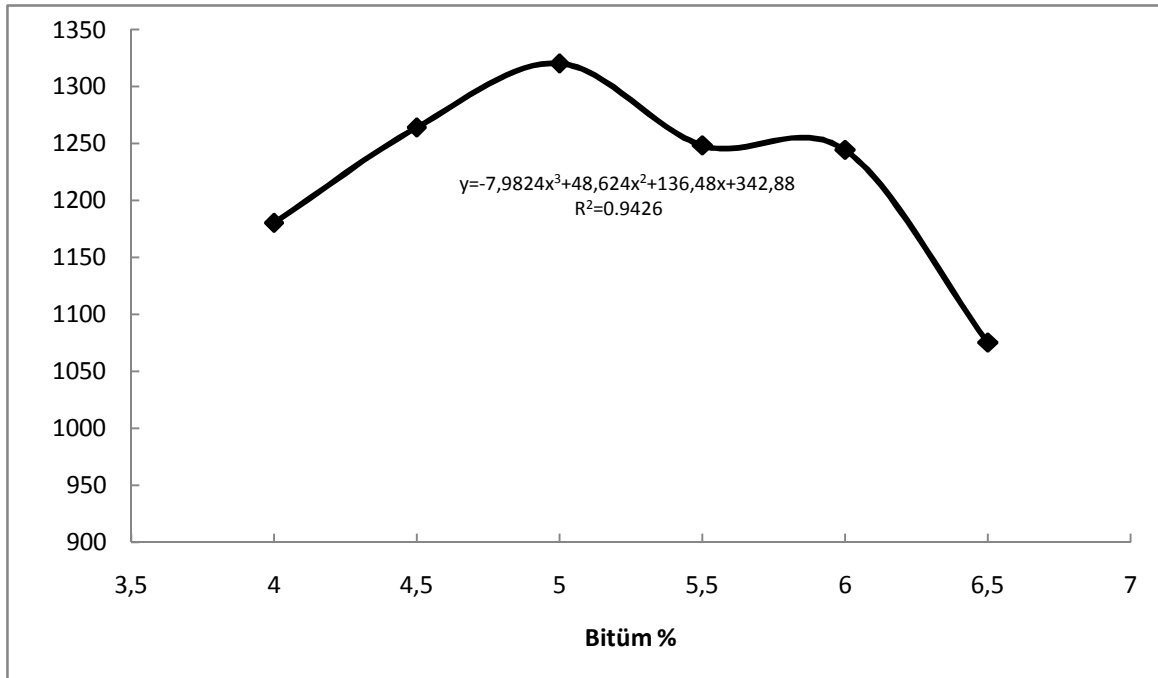


Şekil 3.12. Mermer tozu agregalar arası boşluğun (VMA) bitüm yüzdesi ile değişimi

### 3.5.1.3. Filler Olarak Ferrokrom Cüruf Tozunun Kullanıldığı Numunelere Ait Grafikler

Filler olarak kullanılan ferrokrom cüruf tozu ile değişen bitüm yüzdesinde yapılan Marshall stabilite deney sonuçlarına göre stabilite ve pratik özgül ağırlık değerleri sırasıyla Şekil 3.13. ve Şekil 3.14.'de verilmiştir.

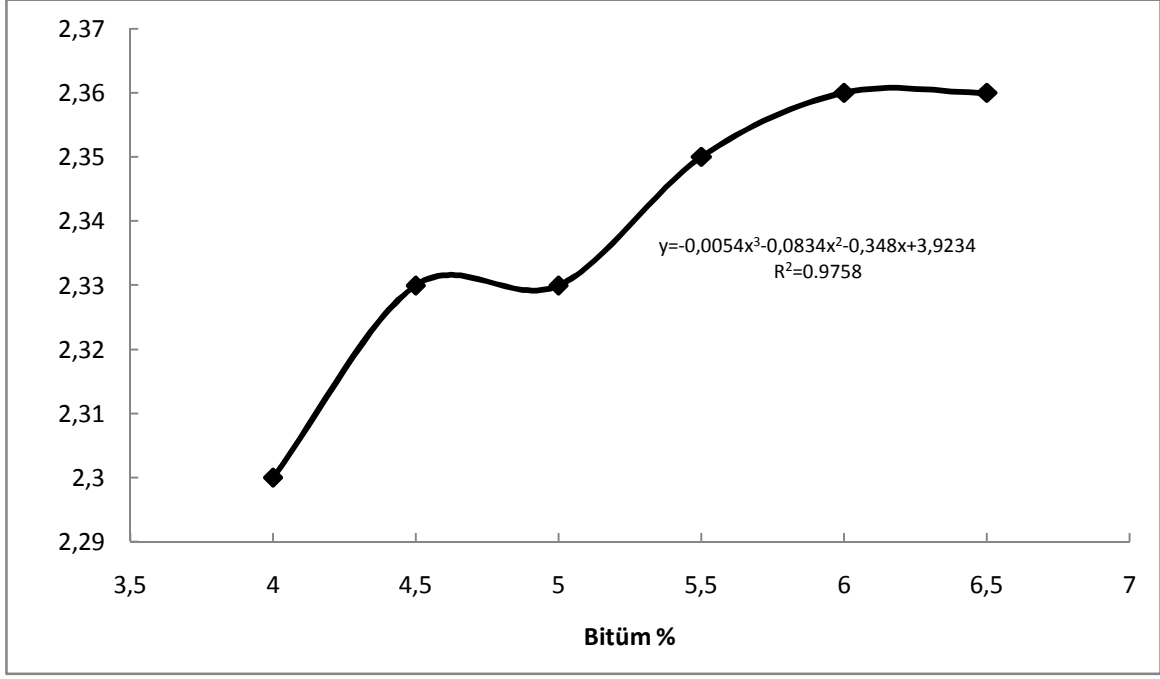
Ferrokrom cüruf tozu Marshall stabilitesinin bitüm yüzdesi ile değişimi incelendiğinde maksimum stabilitenin % 5 bitüm oranında 1320 kg, minimum stabilitenin % 6,5 bitüm oranında 1075 kg olduğu görülmektedir.



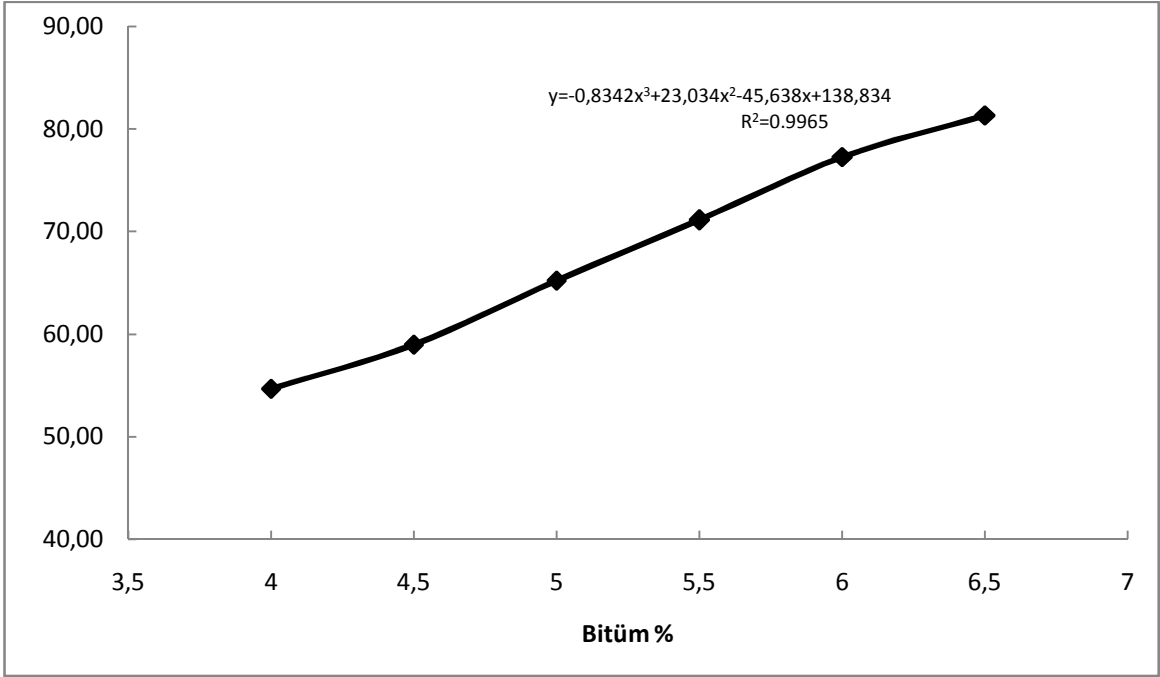
Şekil 3.13. Ferrokrom cüruf tozu Marshall stabilitesinin bitüm yüzdesi ile değişimi

Ferrokrom cüruf tozu pratik özgül ağırlığın bitüm yüzdesi ile değişimi Şekil 3.14.'de görülmektedir. Maksimum birim ağırlık değeri % 6,50 bitüm oranına karşılık gelmektedir.

Şartnameye uygun olarak, asfaltla dolu boşluk yüzdesini % 80 olarak sağlayan bağlayıcı oranı karışımlarda % 6,33 olarak tespit edilmiştir (Şekil 3.15.).



Şekil 3.14. Ferrokrom cüruf tozu pratik özgül ağırlığın bitüm yüzdesi ile değişimi



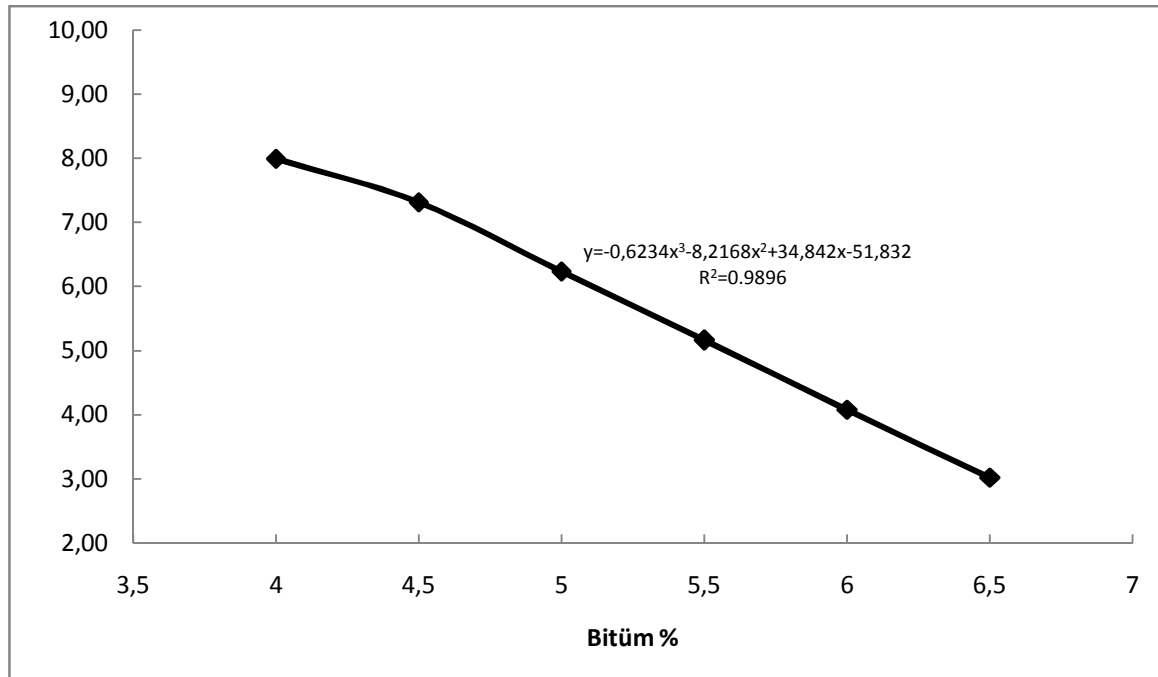
Şekil 3.15. Ferrokrom cüruf tozu asfaltla dolu boşluğun bitüm yüzdesi bitüm yüzdesi ile değişimi

Şekil 3.15.'de asfaltla dolu boşluk yüzdesini (% 80) sağlayan bağlayıcı oranı % 6,33 olarak tespit edilmiştir.

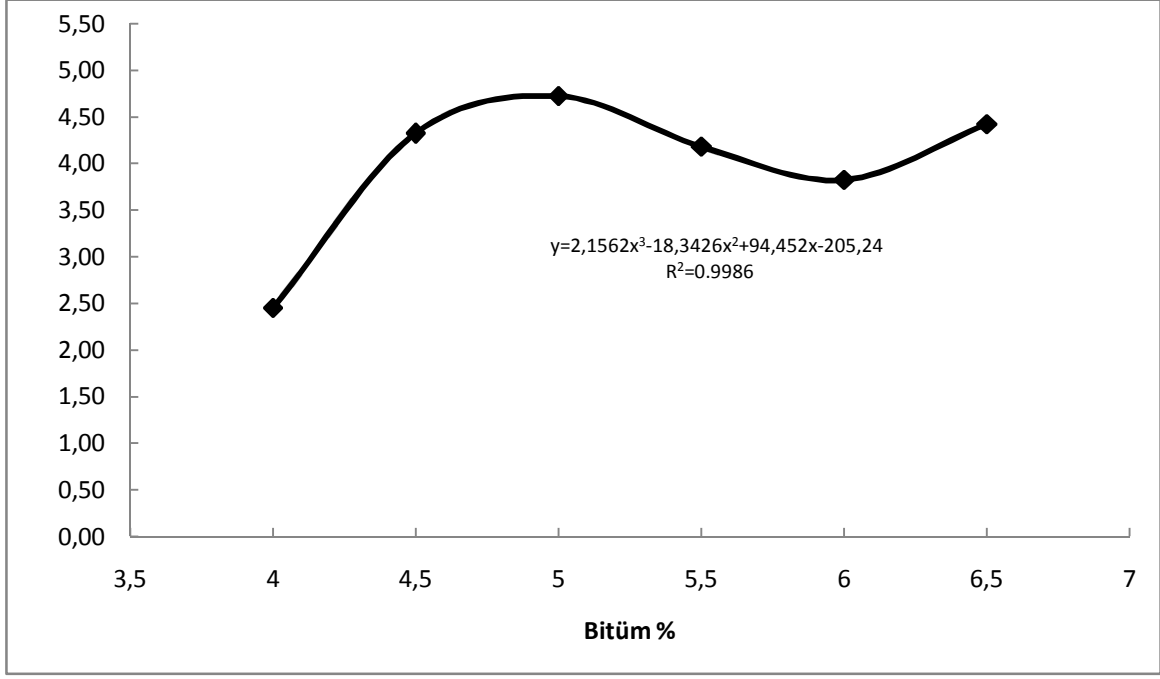
Boşluk oranı 3,8'i sağlayan bağlayıcı oranının karışımlarda % 6,16 olduğu görülmektedir (Şekil 3.16.). Bu şekilde bulunan dört asfalt oranının ortalaması optimum asfalt çimentosu oranını verecektir.

$$\text{Ferrokrom cüruf tozu için optimum bağlayıcı oranı} = \frac{5,00+6,50+6,33+6,16}{4} = 5,99$$

Bu orana karşılık gelen akma değeri 3,82, akmanın bitüm %'si ile değişimi grafiği Şekil 3.17.'den bakıldığında şartnamede belirtilen değerler arasındadır (Tablo 2.5.). Bu şekilde saptanan bağlayıcı oranına göre gerçekleştirilen bir beton asfalt karışımı şartnamelerde aranan özellikleri taşıyacaktır.

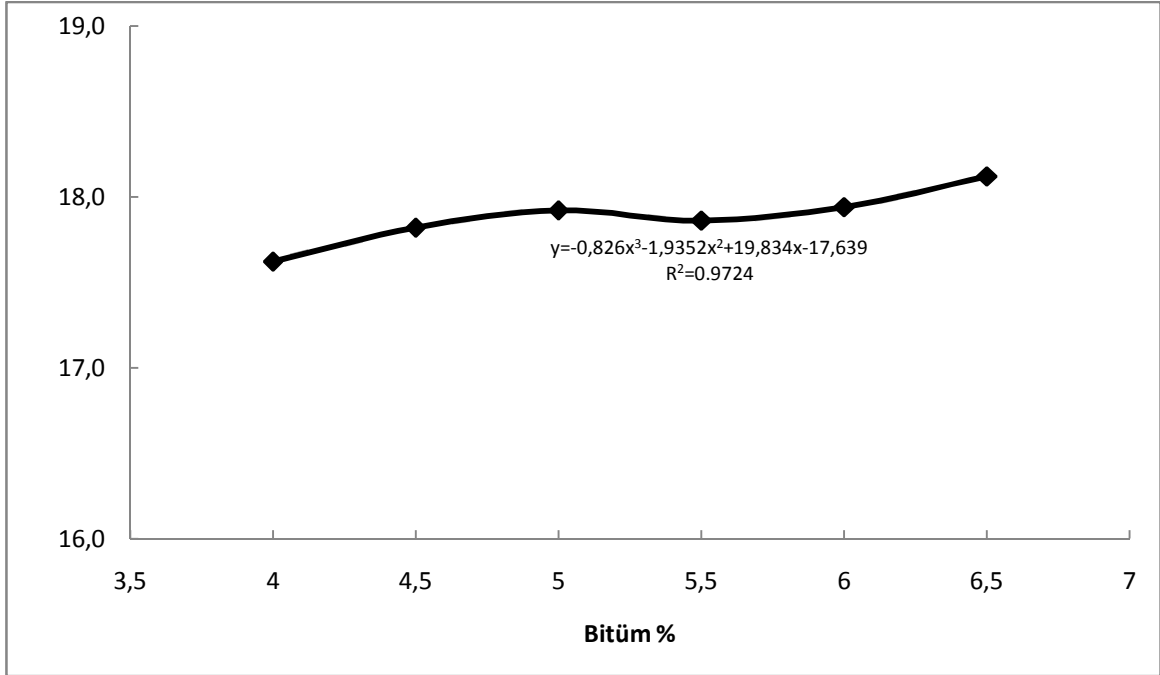


Şekil 3.16. Ferrokrom cüruf tozu boşluğun bitüm yüzdesi ile değişimi



Şekil 3.17. Ferrokrom cüruf tozu akmanın bitüm yüzdesi ile değişimi

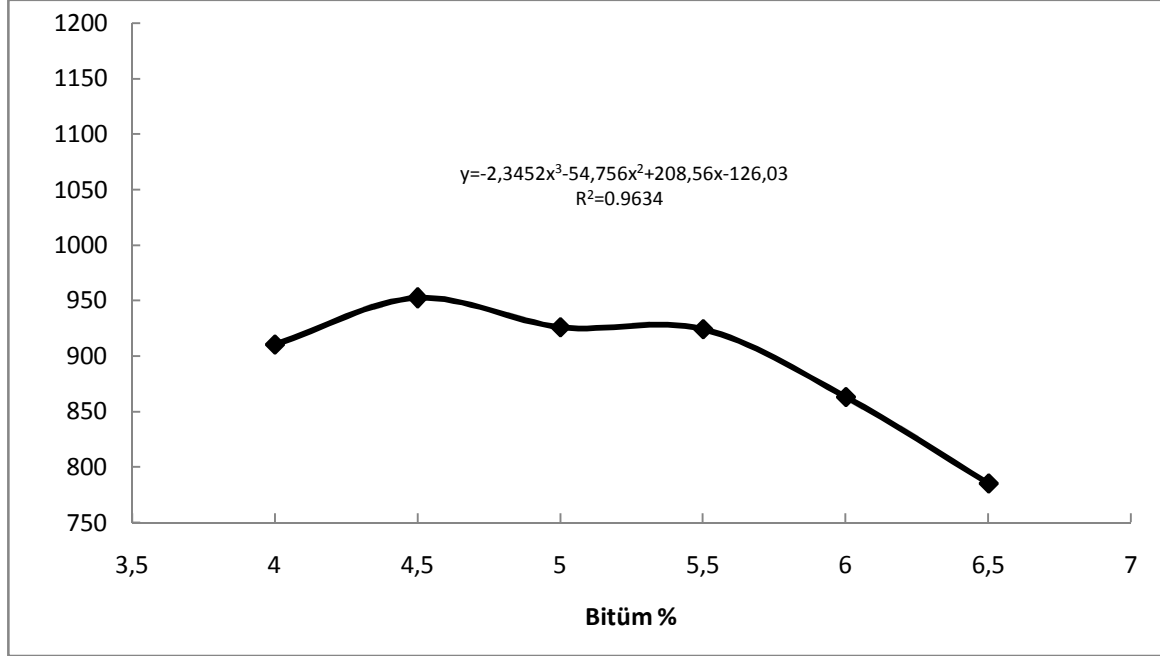
Şekil 3.18.'de ferrokrom cüruf tozu agregalar arası boşluğun (VMA) bitüm yüzdesi ile değişimi görülmektedir. En yüksek boşluk % 6,5 bitüm oranında elde edilmiştir.



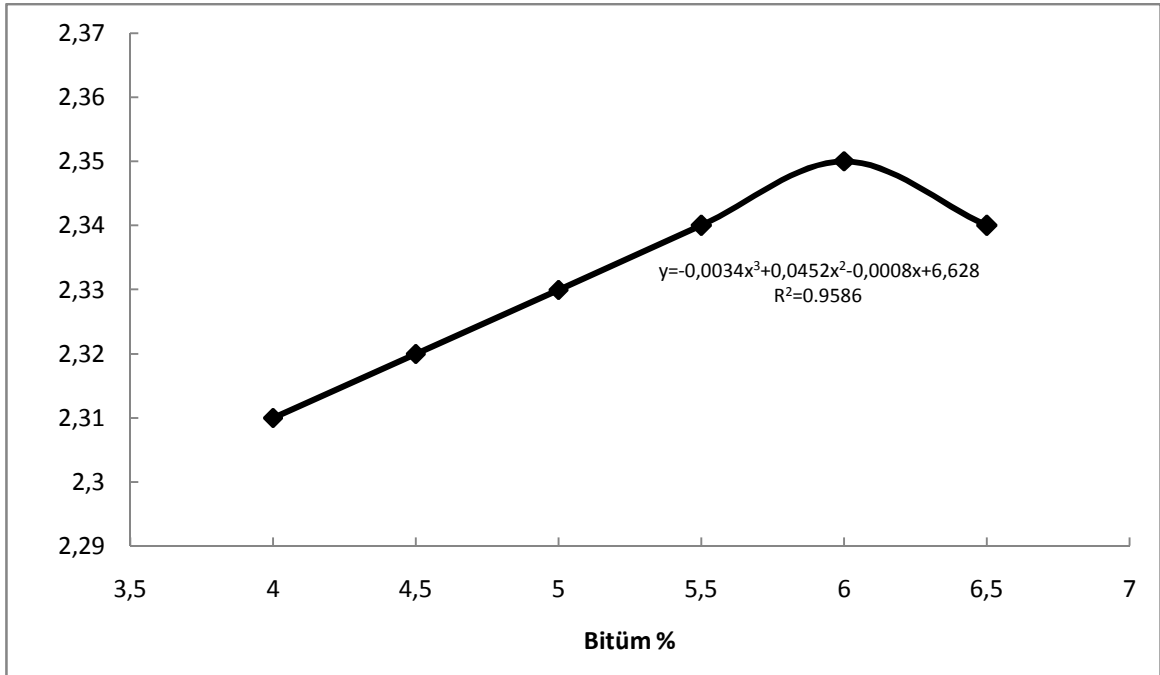
Şekil 3.18. Ferrokrom cüruf tozu agregalar arası boşluğun (VMA) bitüm yüzdesi ile değişimi

### 3.5.1.4. Filler Olarak Cam Tozunun Kullanıldığı Numunelere Ait Grafikler

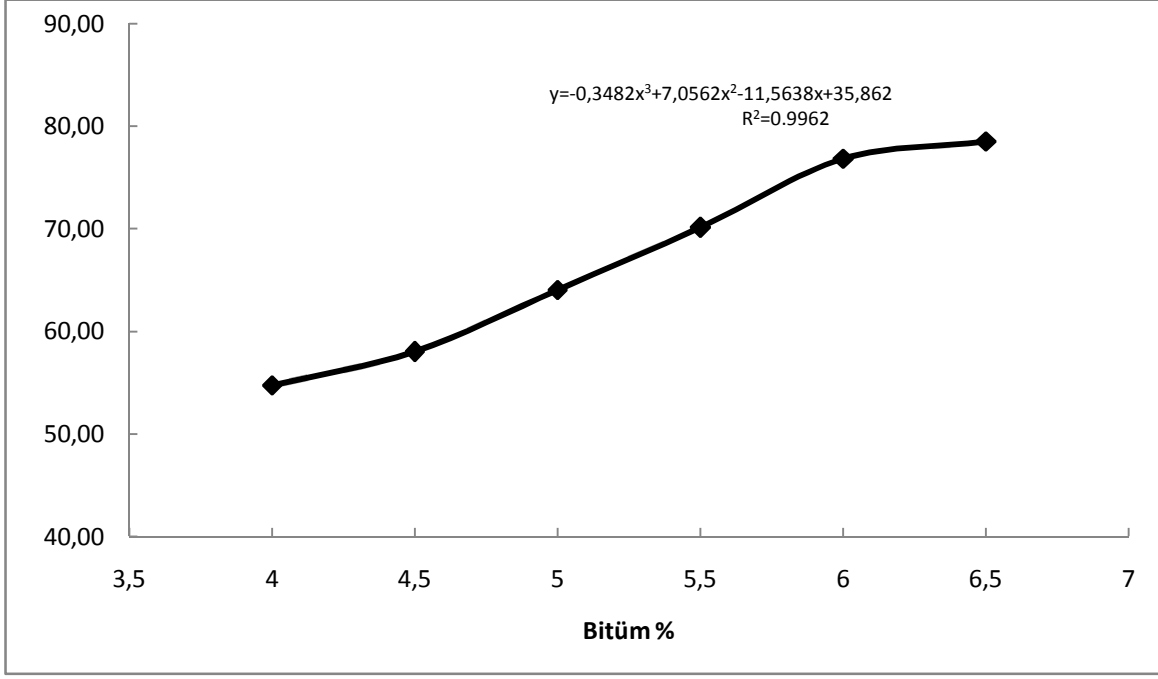
Filler olarak kullanılan cam tozu ile değişen bitüm yüzdelinde yapılan Marshall stabilite deney sonuçlarına göre stabilite, pratik özgül ağırlık, asfaltla dolu boşluk yüzdesi, boşluk yüzdesi, akma ve VMA % değerlerinin değişimi Şekil 3.19., 3.20., 3.21., 3.22., 3.23. ve 3.24.' de verilmiştir.



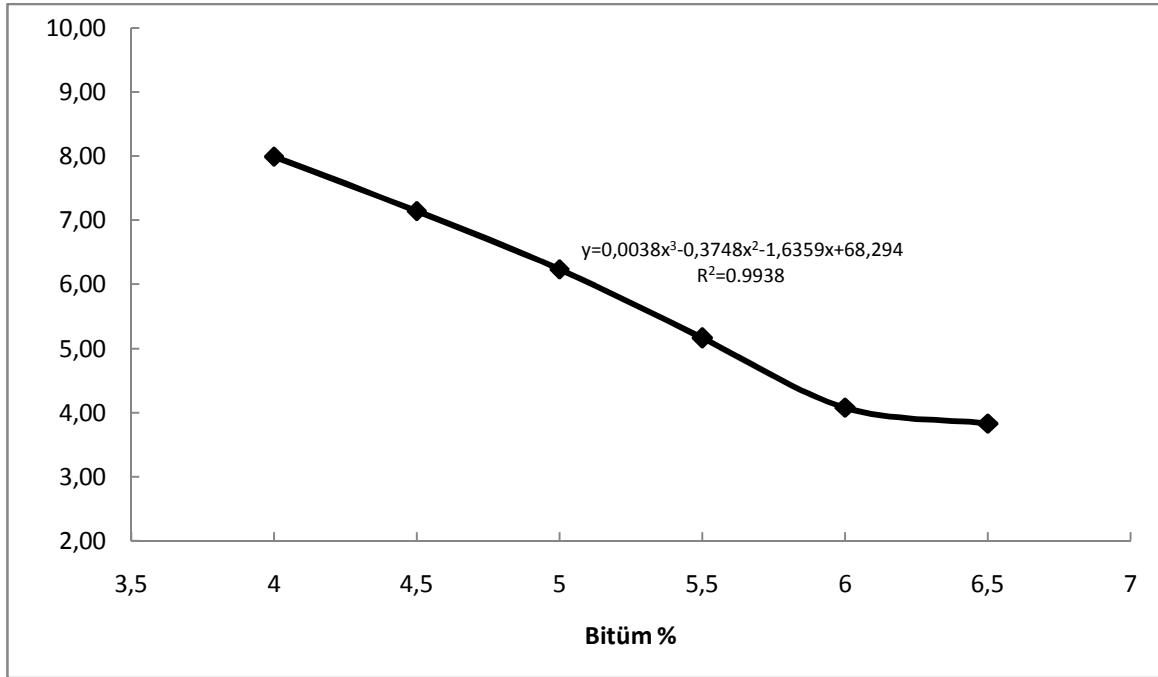
Şekil 3.19. Cam tozu Marshall stabilitesinin bitüm yüzdesi ile değişimi



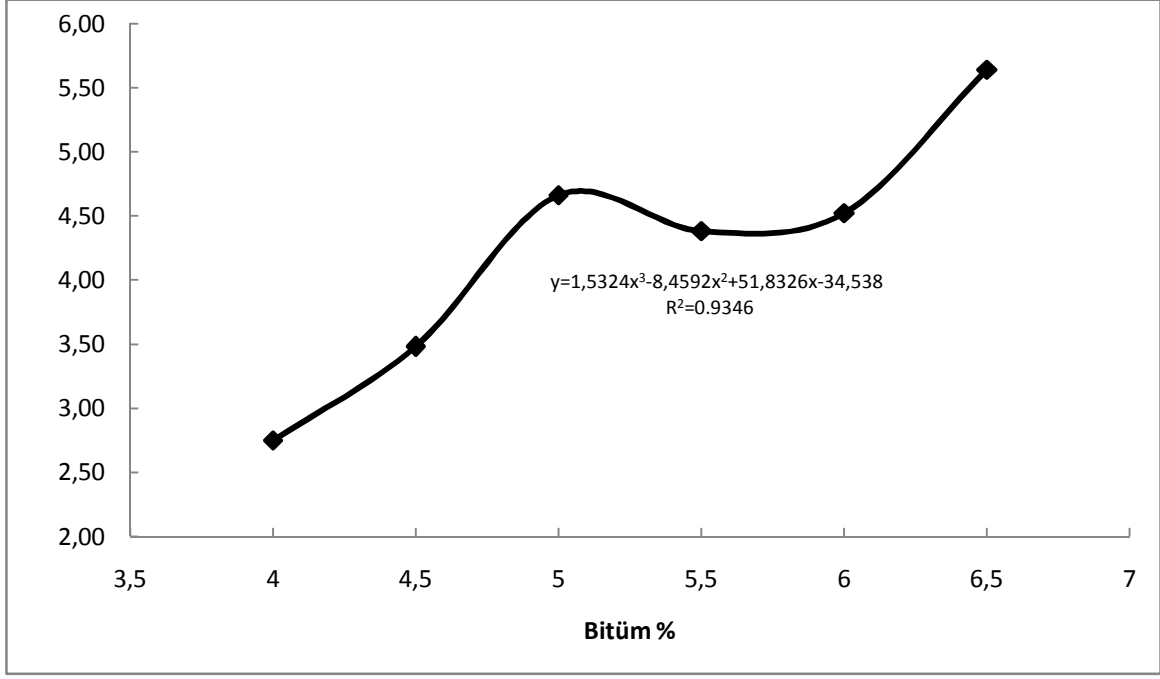
Şekil 3.20. Cam tozu pratik özgül ağırlığın bitüm yüzdesi ile değişimi



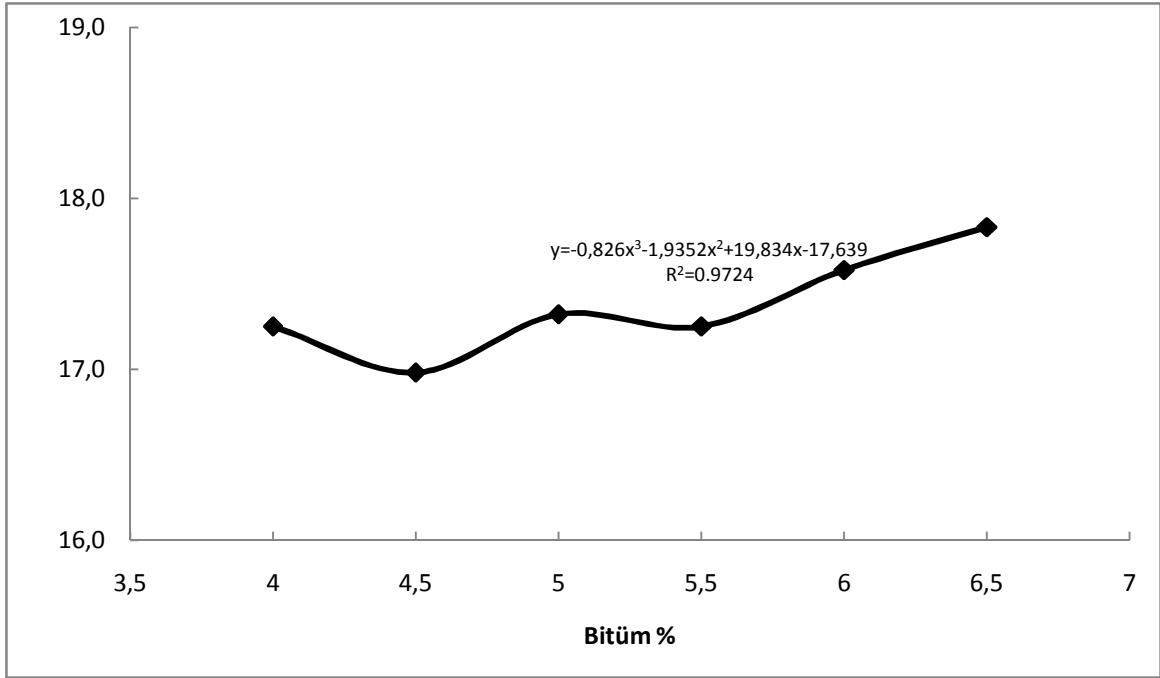
Şekil 3.21. Cam tozu asfaltla dolu boşluğun bitüm yüzdesi ile değişimi



Şekil 3.22. Cam tozu boşluğun bitüm yüzdesi ile değişimi



Şekil 3.23. Cam tozu akmanın bitüm yüzdesi ile değişimi



Şekil 3.24. Cam tozu agregalar arası boşluğun (VMA) bitüm yüzdesi ile değişimi

Şekil 3.19.'da görüldüğü gibi camın filler olarak kullanıldığı numunelerde bitüm yüzdesinin artmasıyla birlikte stabilite belli bir değere kadar artmakta ve daha sonra maksimum değere ulaştıktan sonra azalmaktadır. Marshall stabilite değeri bitüm oranının % 4,50 olduğu karışım numunesinde maksimumdur.



Bitüm miktarı arttıkça birim hacim ağırlığın arttığı ise Şekil 3.20.'de görülmektedir. Maksimum birim ağırlık değeri % 6,00 bitüm oranına karşılık gelmektedir.

Şekil 3.21.'de görüldüğü gibi asfaltla dolu boşluk yüzdesi bitüm oranının artması ile artmaktadır. Şartnameye uygun olarak, asfaltla dolu boşluk yüzdesini % 80 olarak sağlayan bağlayıcı oranı karışımlarda % 6,50 olarak tespit edilmiştir.

Boşluk oranı asfalt çimentosu oranının artmasıyla azalmaktadır % 4 boşluk oranını (şartnamede belirtilen %3-5 arasındaki sınır içinde kalan) sağlayan asfalt oranının karışımlarda % 6,13 olduğu görülmektedir (Şekil 3.22.).

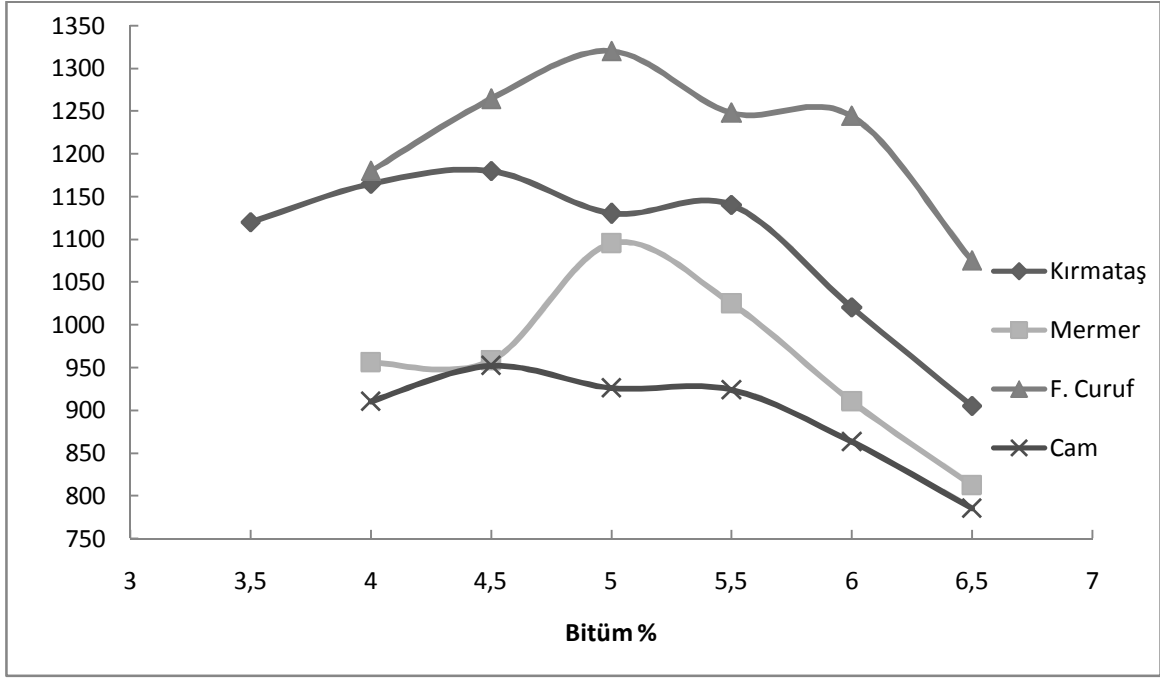
Bu şekilde bulunan dört asfalt oranının ortalaması optimum asfalt çimentosu oranını verecektir.

$$\text{Cam tozu için optimum bağlayıcı oranı} = \frac{4,50 + 6,00 + 6,50 + 6,13}{4} = 5,78$$

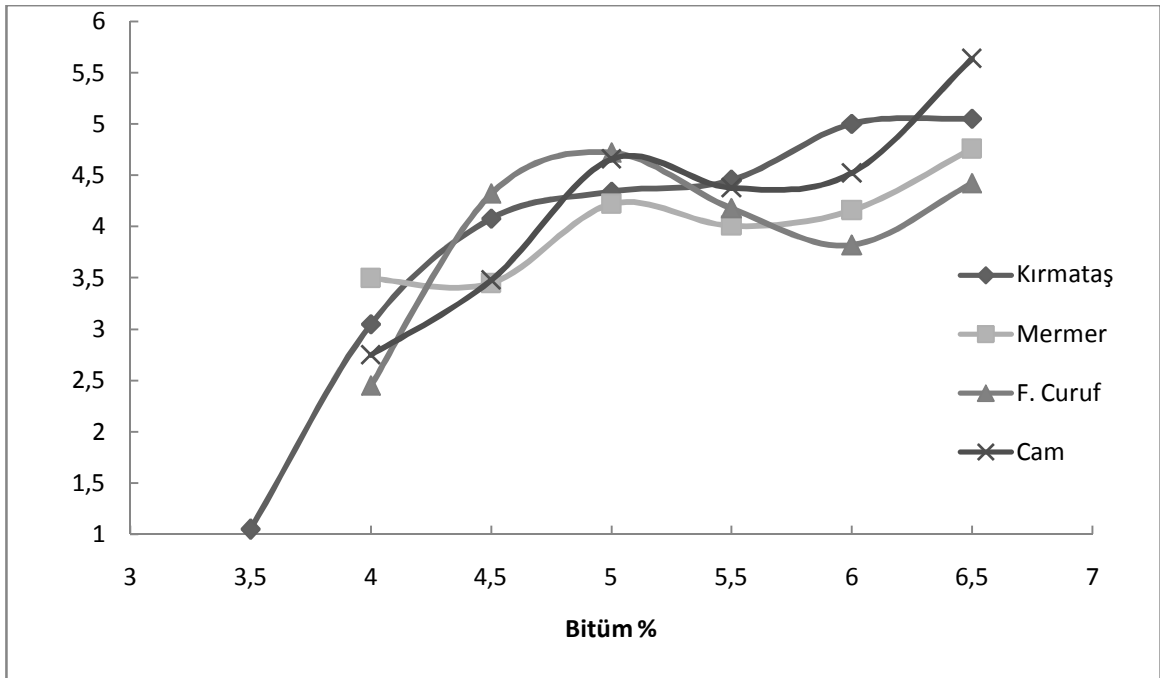
Asfalt çimentosu oranının artması ile akma değerlerinin arttığı gözlenen Şekil 3.23.'de 5,78'e karşılık gelen akma değeri 4,45'dir Bu değer şartnamede belirtilen değerler arasındadır (Tablo 2.5.). Bu şekilde saptanan bağlayıcı oranına göre gerçekleştirilen bir beton asfalt karışımı şartnamelerde aranan özellikleri taşıyacaktır.

### **3.5.1.5. Filler Olarak Kullanılan Numunelere Ait Karşılaştırma Grafikleri**

Marshall deneyi sonuçlarına göre en yüksek stabilite değeri ferrokrom cüruf karışımlarında elde edilmiştir. Kırmataş tozu karışımlarında stabilite değeri mermer tozu ve cam tozu karışımlarından yüksektir. Bütün karışımlarda stabilite değerleri şartname değerlerinin üstündedir. Akma değerleri her filler cinsi için bitüm yüzdesinin artması ile artmaktadır ve şartname değerlerini sağlamaktadır. Şekil 3.25 ve Şekil. 3.26'de karşılaştırmalı stabilite ve akma değerleri görülmektedir.



Şekil 3.25. Karşılaştırmalı stabilite değerleri



Şekil 3.26. Karşılaştırmalı akma değerleri

### 3.5.2. Optimum Bitüm Yüzdesindeki Optimum Filler Oranı

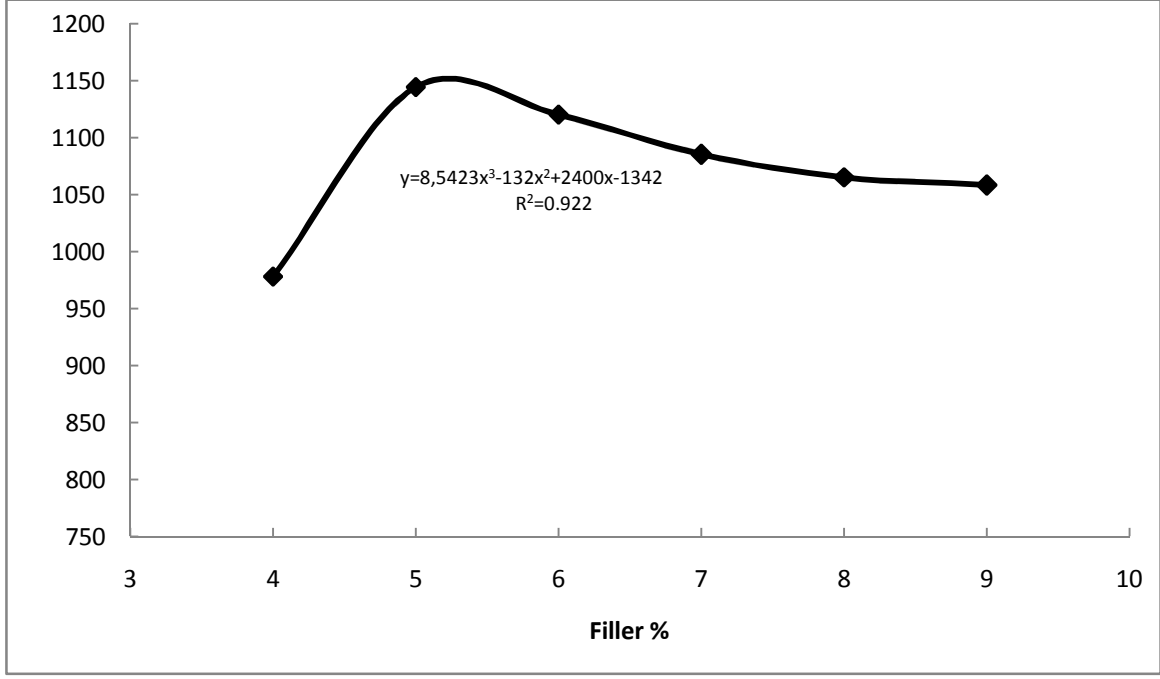
Her farklı filler çeşidi için belirlenen optimum bitüm yüzdelерinin bulunarak farklı filler oranlarında hazırlanmış karışımlar stabilite ve akma deneyine tabi tutulmuştur. Bitüm yüzdesi sabit tutularak, farklı filler oranlarında (% 5, % 6, % 7, % 8 ve % 9) hazırlanan numuneler için kullanılan agrega tane boyu dağılımları Tablo 3.5.'de verilmiştir.

**Tablo 3.5.** Farklı filler oranlarına göre hazırlanan agrega tane boyu dağılımları

Elek No	Filler Yüzdesi					
	4	5	6	7	8	9
	Ağırlıkça Geçen					
19mm (3/4")	100	100	100	100	100	100
12.5mm (1/2")	94	94	94	94	94	94
9.5mm (3/8")	78	78	78	78	78	78
4.75mm(No.4)	51	51	51	51	51	51
2.00mm(No.10)	34	34	34	34	34	34
0.425mm(No.40)	18	18	18	18	18	18
0.180mm(No.80)	16	15	14	13	12	11
0.075 (No.200)	4	5	6	7	8	9

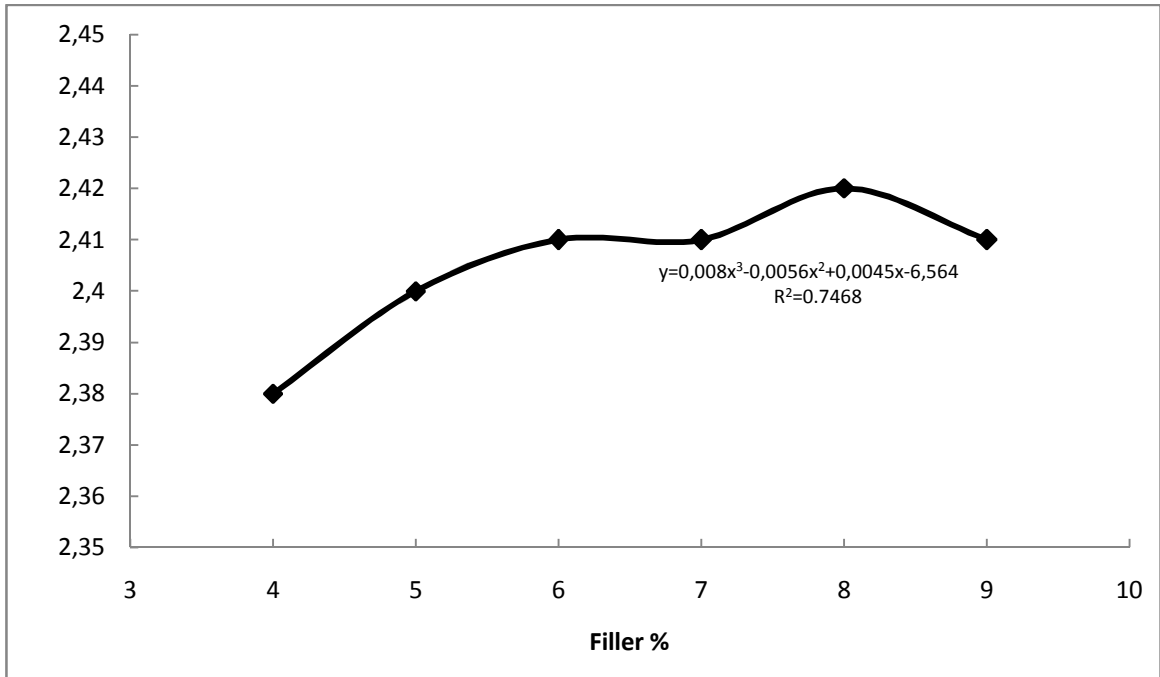
#### 3.5.2.1. Farklı Filler Oranlarında Kırmataş Tozu İle Hazırlanan Numunelere Ait Marshall Deney Sonuçları

Kırmataş tozu ile değişen filler yüzdelерinde yapılan Marshall stabilite deney sonuçlarına göre stabilite, değerleri Şekil 3.27.' verilmiştir.



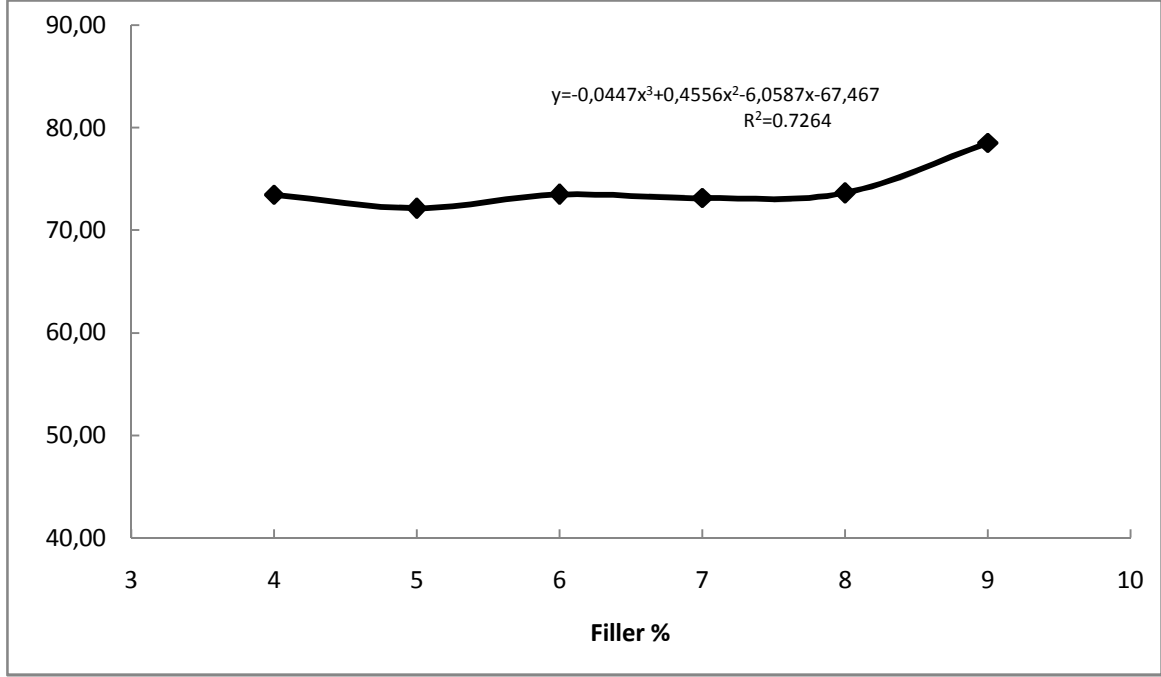
Şekil 3.27. Kırmetaş Marshall stabilitesinin filler yüzdesi ile değişimi

Kırmetaş tozu filler oranının artması ile stabilite değerinde azalma olmuştur (Şekil 3.27.). Filler miktarı gereğinden fazla olursa, filler malzemesi birbiri üzerinden kayıp bağlayıcı gibi görev yapmakta ve bu durum stabiliteyi olumsuz etkilemektedir. Bu durumun önlenmesi için kullanılacak filler miktarı da optimum oranda olmalıdır. Marshall stabilite değeri filler oranının % 5,0 olduğu karışım numunesinde maksimum olmaktadır.



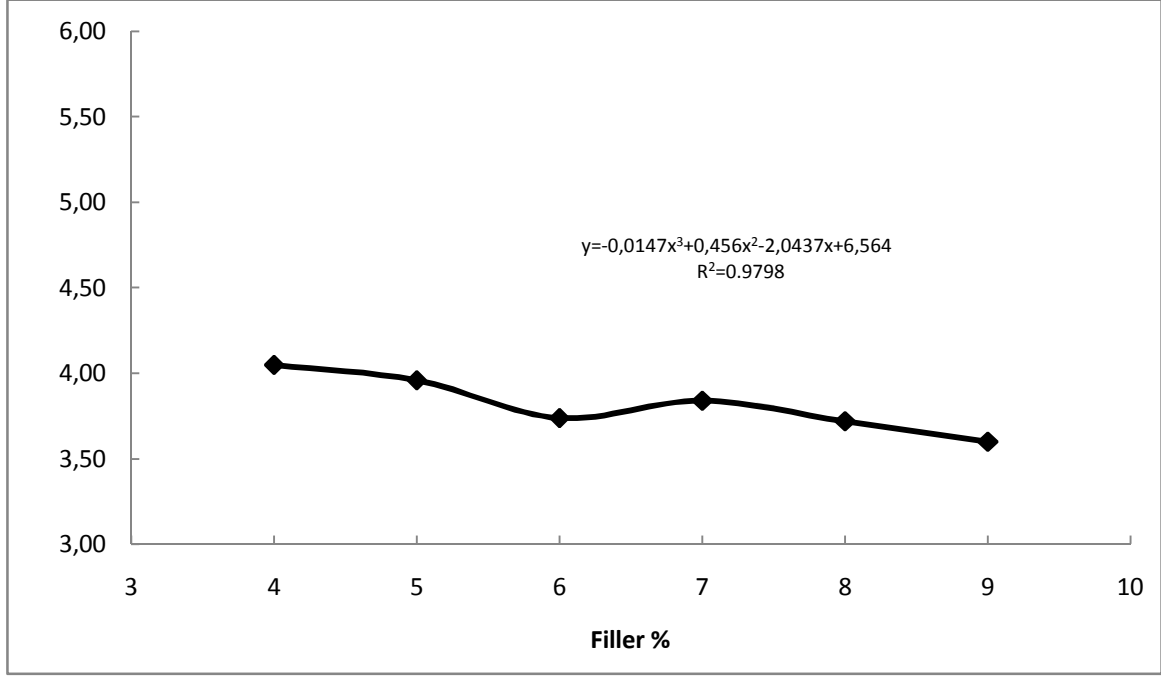
Şekil 3.28. Kırmetaş pratik özgül ağırlığın filler yüzdesi ile değişimi

Filler oranlarının artması ile birlikte birim ağırlık değerleri de Şekil 3.28.'de görüldüğü gibi artmıştır. Maksimum birim ağırlık değeri % 9,0 filler oranına karşılık gelmektedir



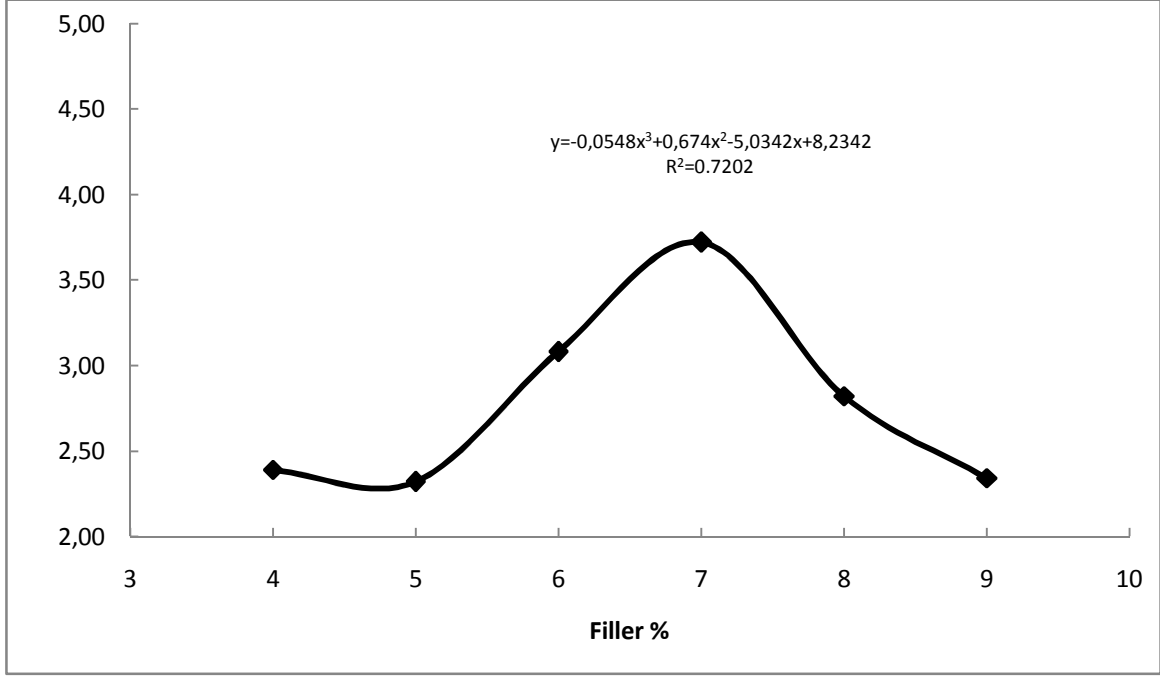
Şekil 3.29. Kırmataş tozu asfaltla dolu boşluğun filler yüzdesi ile değişimi

Asfaltla dolu boşluk yüzdesi % 74,42- 72,10 arasındadır. Agregalar arası boşlukların filler ile dolması sebebiyle bu oran şartname değerlerinden düşük çıkmıştır (Şekil 3.29.). Buda bitümlü karışımın işlenebilirliğini ve esnekliğini azaltmaktadır.



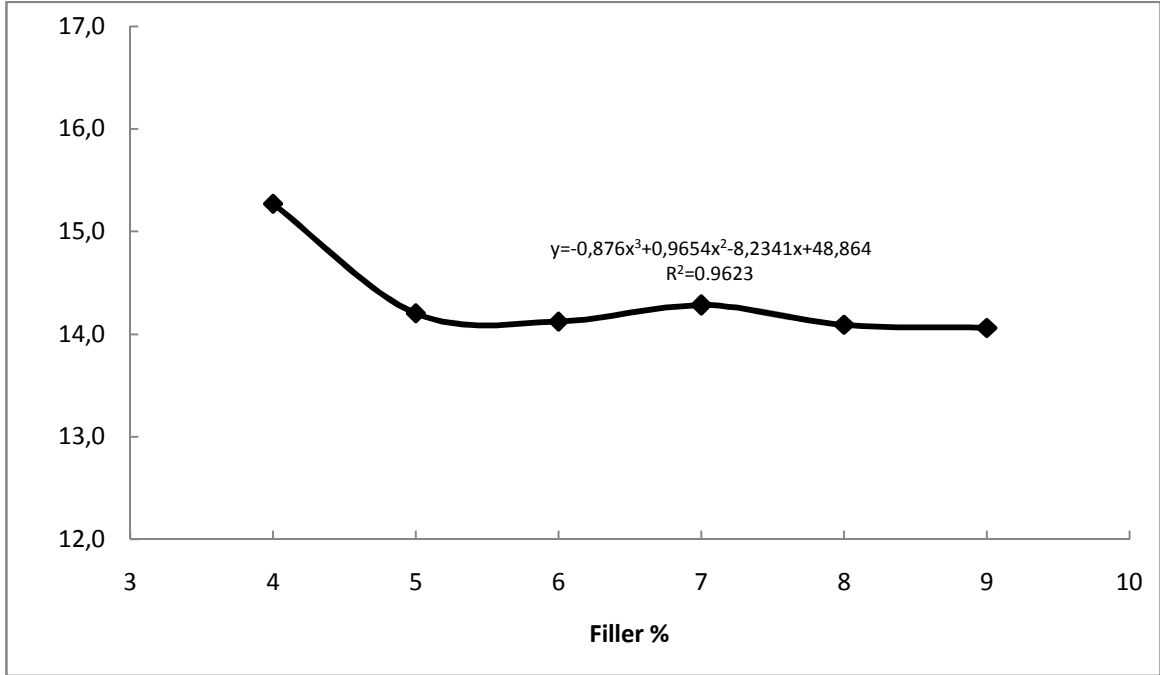
**Şekil 3.30.** Kırmataş boşluğun filler yüzdesi ile değişimi

Filler oranlarının artması ile boşluk yüzdesi değerleri azalmaktadır (Şekil 3.30.). Filler malzemelerin inceliği ve tane boyutu bu durumda etkili olmaktadır. Tane boyutu küçüldükçe, agregalar arası boşlukların filler ile doldurulma imkânı artmaktadır. Şartnamede boşluk oranını % 3-5 arasında olmalıdır. Yapılan çalışmada kırmataş için boşluk oranı değerleri % 3,64-4,05 arasındadır. Üst sınır konulmasının nedeni, boşluk oranının artması stabilite ve birim ağırlığın düşmesine, geçirimsizliğin ise artmasına yol açar. Diğer taraftan, sıcak aylarda bağlayıcı hacminin artması ile boşlukların tamamen dolması, agreganın bağlayıcı ile yağlanmış hale gelmesi ve bağlayıcının kusması nedeniyle boşluk oranı için bir alt sınır konulmuştur (Umar ve Ağar, 1991).



Şekil 3.31. Kırmataş akmanın filler yüzdesi ile değişimi

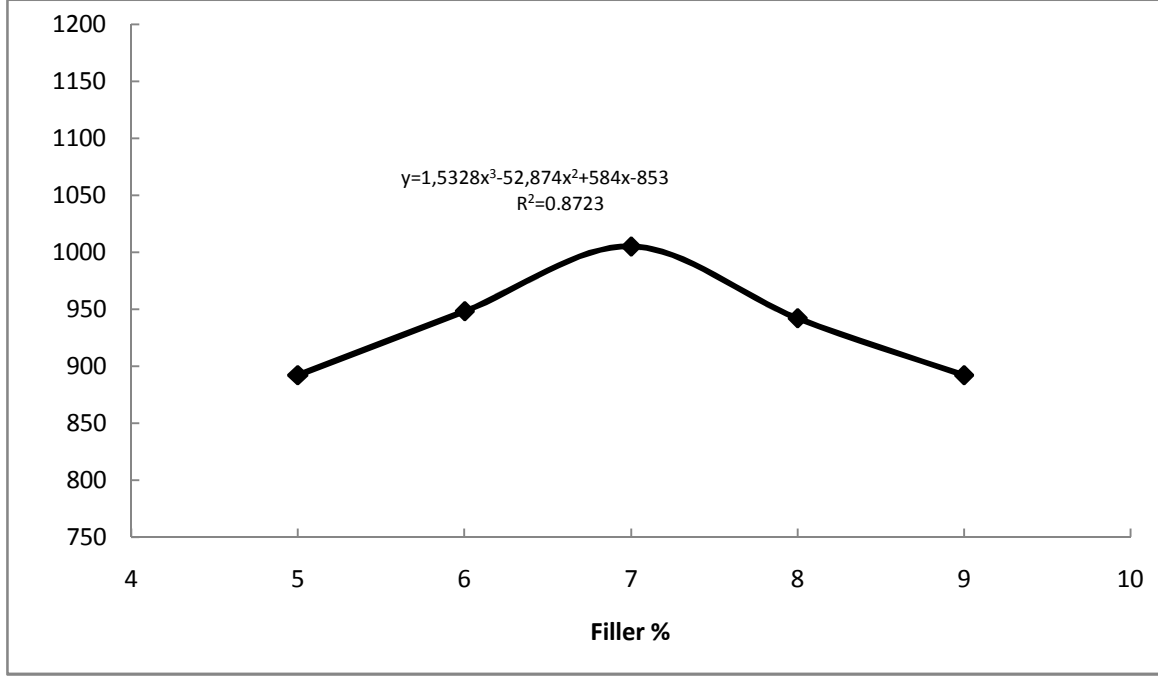
Şekil 3.31.'de kırmataş tozu filler ile üretilen numunelerin akma değerlerinin değişimi görülmektedir. Kırmataş ile yapılan çalışmada filler oranının artması ile birlikte akma değeri de artış göstermektedir. Şekil 3.32.'de ise kırmataş agregalar arası boşluk yüzdesinin filler yüzdesi ile değişimi görülmektedir.



Şekil 3.32. Kırmataş VMA %'sinin filler yüzdesi ile değişimi

### 3.5.2.2. Farklı Filler Oranlarında Mermer Tozu İle Hazırlanan Numunelere Ait Marshall Deney Sonuçları

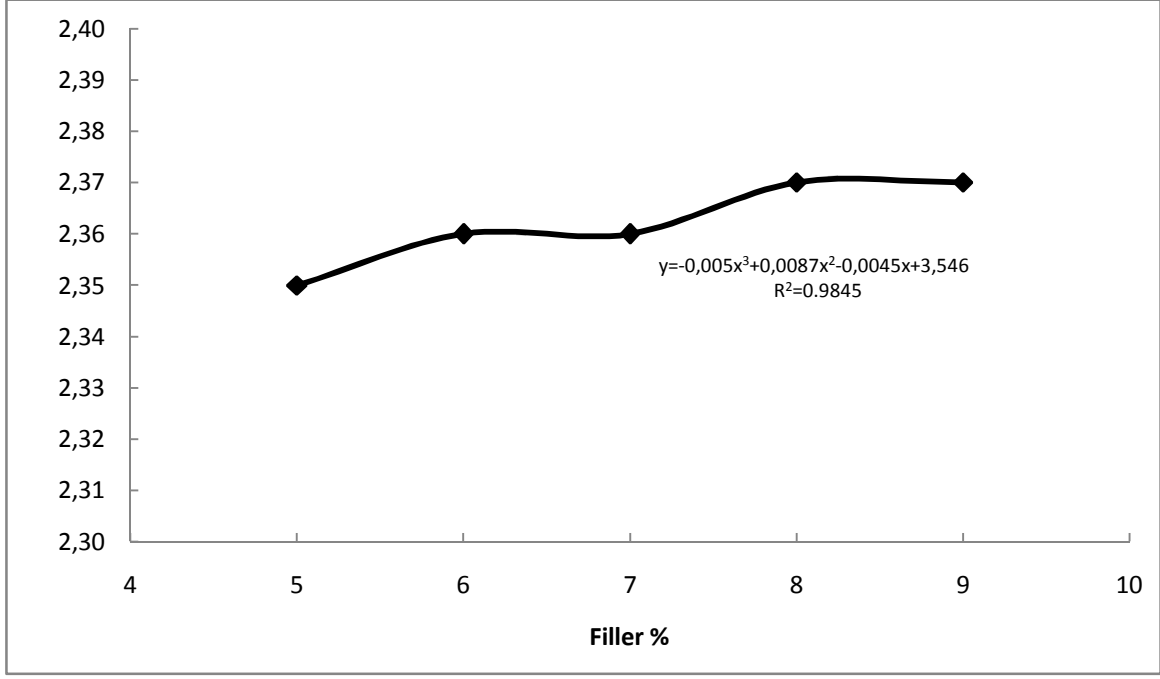
Mermer tozu ile değişen filler yüzdelерinde yapılan Marshall stabilite deney sonuçlarına göre stabilite, pratik özgül ağırlık, asfaltla dolu boşluk yüzdesi, boşluk yüzdesi, akma ve VMA % Şekil 3.33., 3.34., 3.35., 3.36., 3.37. ve 3.38'de verilmiştir.



Şekil 3.33. Mermer tozu Marshall stabilitesinin filler yüzdesi ile değişimi

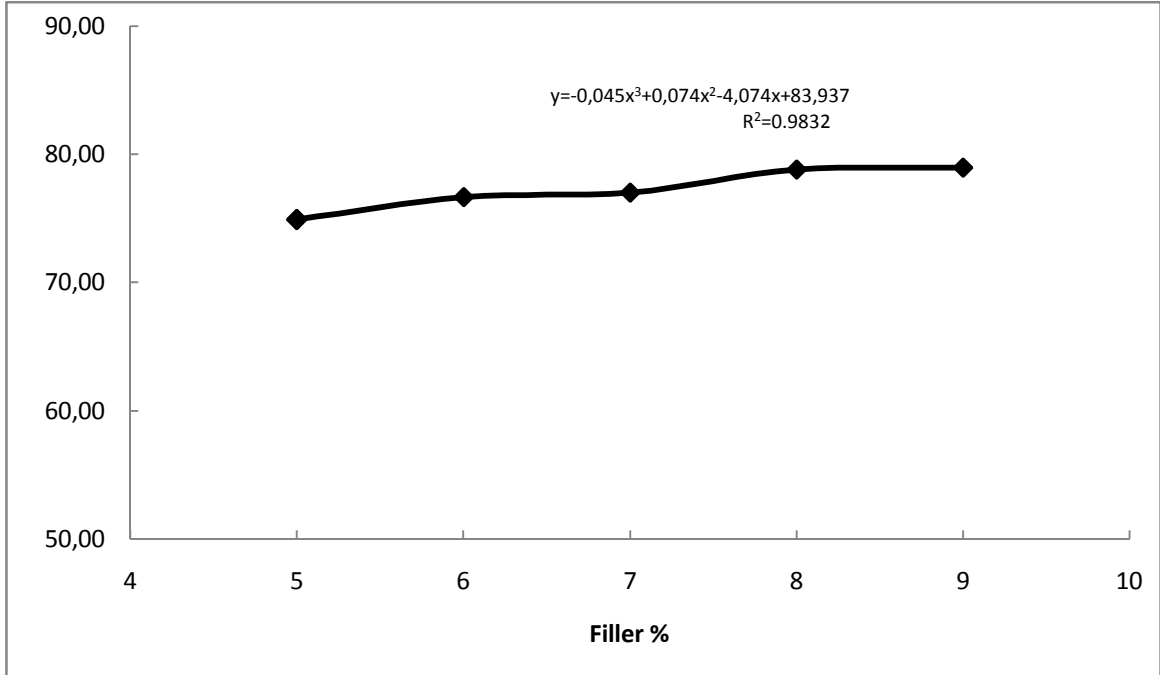
Kırmataş tozu yerine filler olarak mermer tozunun kullanılması sonucu filler yüzdesinin artmasıyla stabilite önce artış göstermiş daha sonra azalmıştır (Şekil 3.33.). Mermer tozunun kullanıldığı numunelerde kırmataş tozunun kullanıldığı numunelere göre stabilite değeri düşük olmasına karşın şartname sınır değerlerinden fazladır. Marshall stabilite değeri filler oranının % 7,00 olduğu karışım numunesinde maksimum olmaktadır.





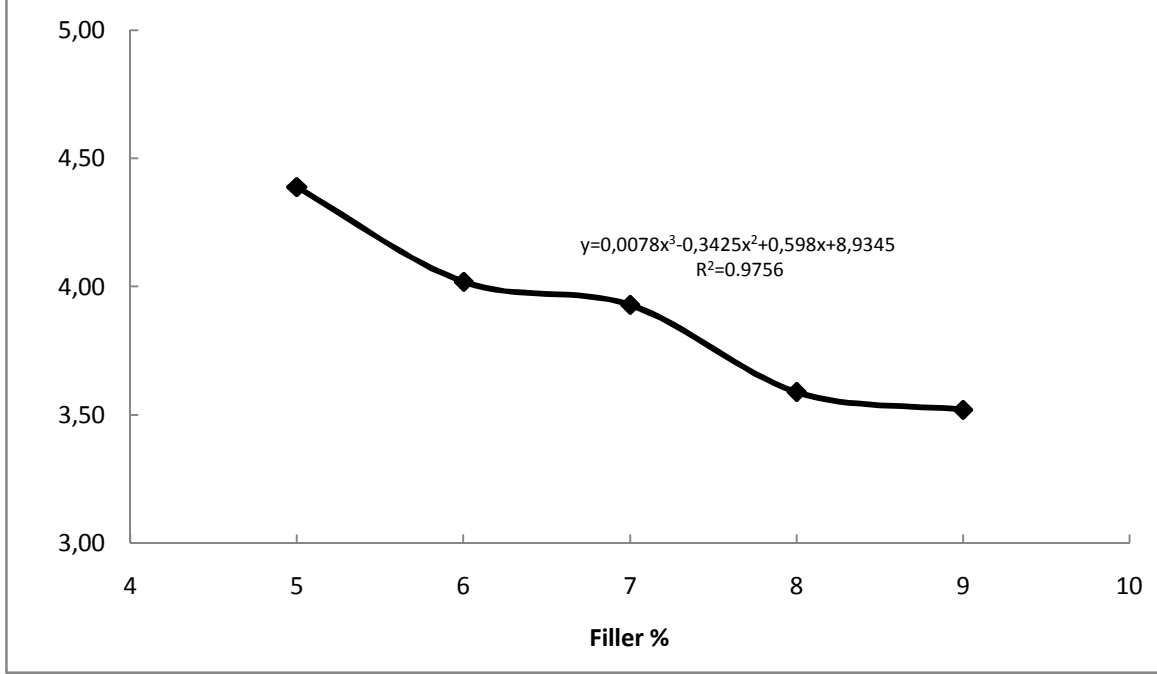
Şekil 3.34. Mermer tozu pratik özgül ağırlığın filler yüzdesi ile değişimi

Şekil 3.34.'de görüldüğü gibi mermer tozu filler oranlarının artması ile birlikte birim ağırlık değerleri de artmıştır. Maksimum birim ağırlık değeri % 9,00 filler oranına karşılık gelirken minimum birim ağırlık değeri ise % 5,00 filler oranına karşılık gelmektedir.



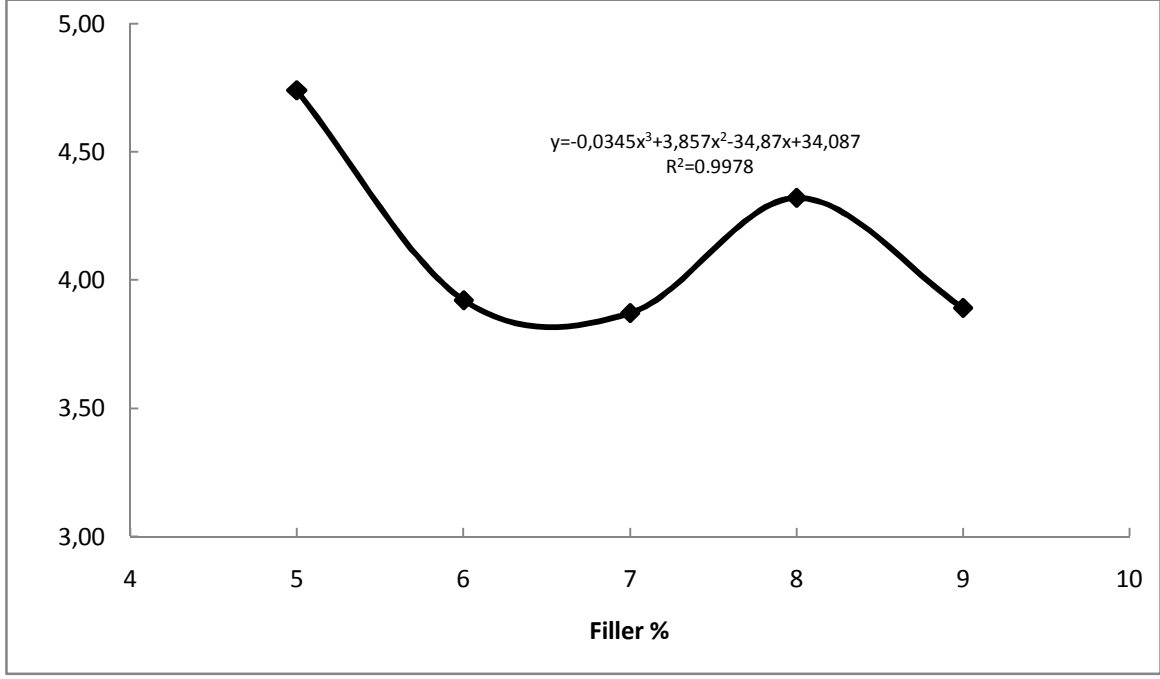
Şekil 3.35. Mermer tozu asfaltla dolu boşluğun filler yüzdesi ile değişimi

Mermer tozunun kullanıldığı numunelerde asfaltla dolu boşluk yüzdesi filler yüzdesinin artmasıyla artmıştır (Şekil 3.35.). Asfaltla dolu boşluk yüzdesini % 74,88-78,94 arasındadır.



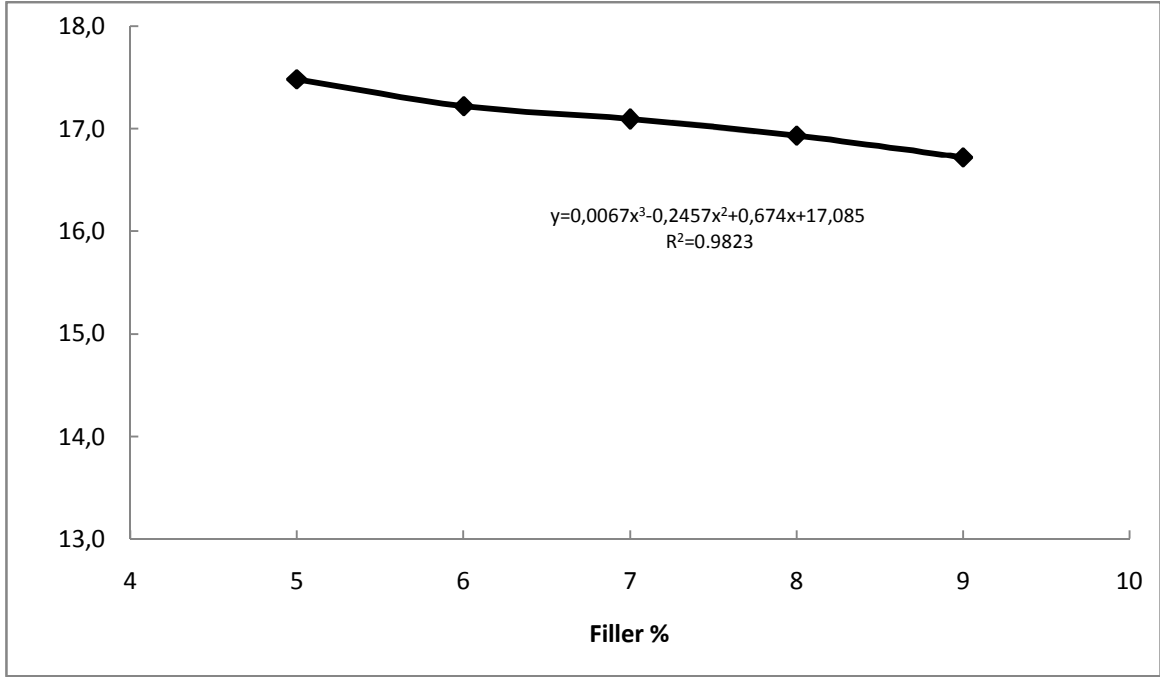
Şekil 3.36. Mermer tozu boşluğun filler yüzdesi ile değişimi

Filler oranlarının artması ile boşluk yüzdesi değerleri azalmaktadır (Şekil 3.36.). Kırmataş tozu ile karşılaştırıldığında mermer tozu ile hazırlanan numunelerde boşluk yüzdesi önce daha fazladır ve daha sonra azalmaktadır. Yapılan çalışmada mermer tozu boşluğun filler yüzdesi ile değişim oranının % 4,39- 3,52 arasında olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 3.37. Mermer tozu akmanın filler yüzdesi ile değişimi

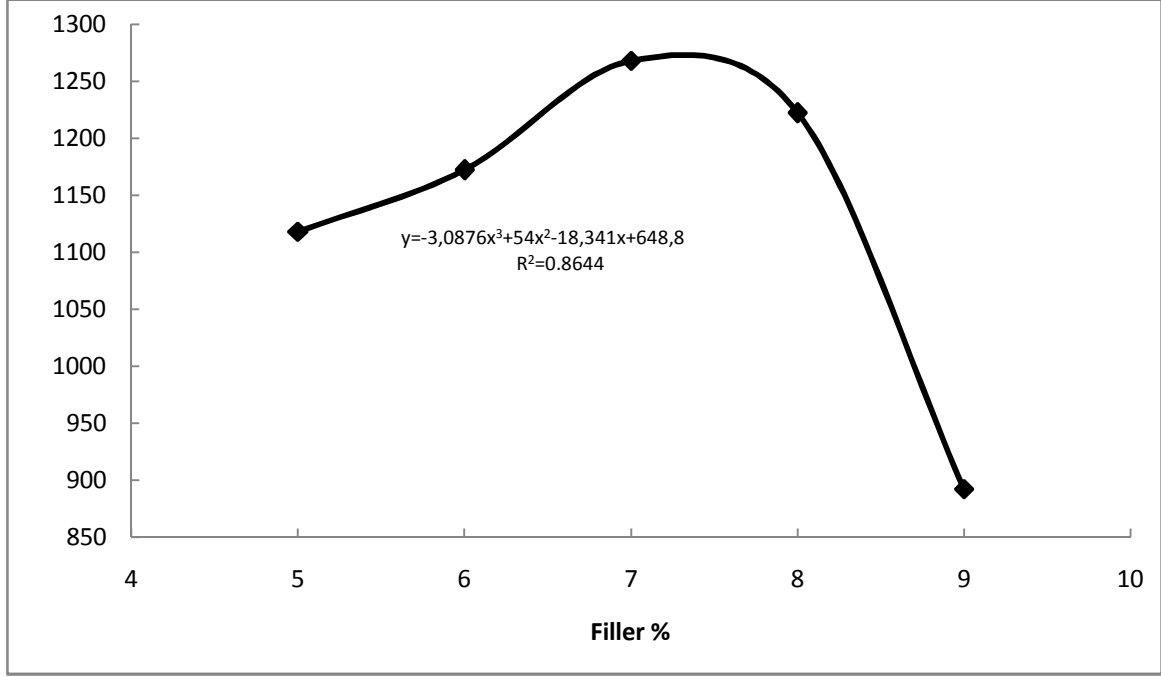
Mermer tozu filler ile üretilen numunelerin akma değerleri filler oranının artması ile öncelikle azalma göstermiştir (Şekil 3.37.). Şekil 3.38’de görüldüğü gibi mermer tozu numunelerinde VMA % değeri filler yüzdesinin artmasıyla azalmaktadır.



Şekil 3.38. Mermer tozu VMA%'sinin filler yüzdesi ile değişimi

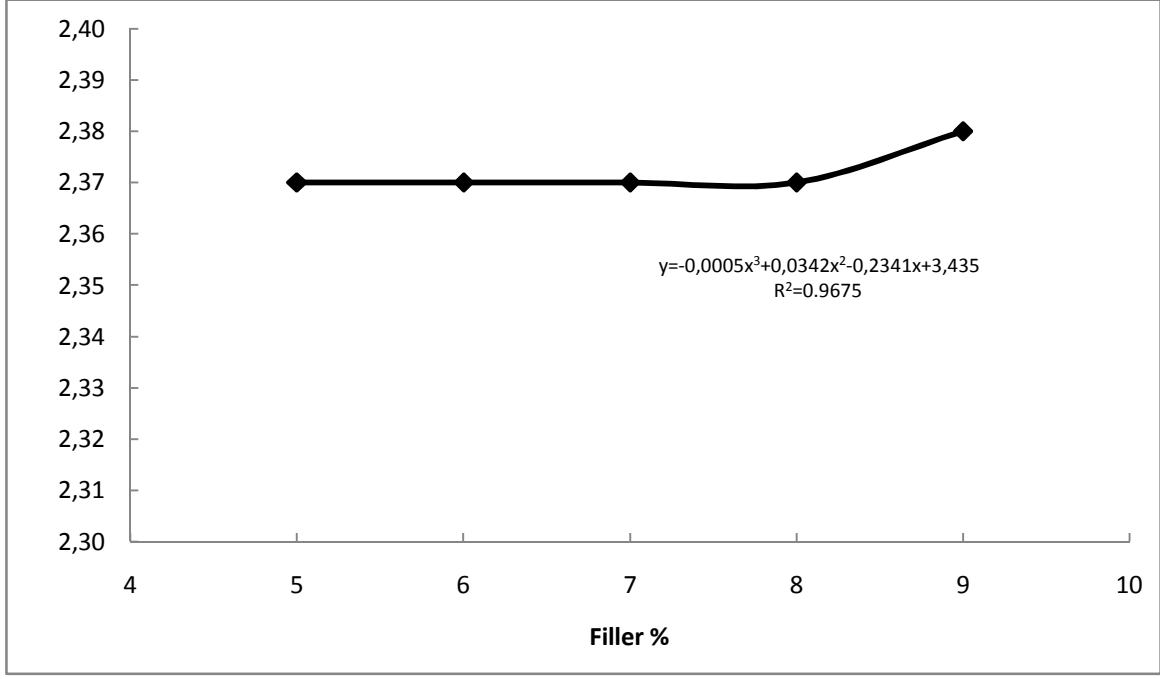
### 3.5.2.3. Farklı Filler Oranlarında Ferrokrom Cüruf Tozu İle Hazırlanan Numunelere Ait Marshall Deney Sonuçları

Ferrokrom cüruf tozu ile değişen filler yüzdelerinde yapılan Marshall stabilite deney sonuçlarına göre stabilite, pratik özgül ağırlık, asfaltla dolu boşluk yüzdesi, boşluk yüzdesi, akma ve VMA % Şekil 3.39., 3.40., 3.41., 3.42., 3.43. ve 3.44.'de verilmiştir.



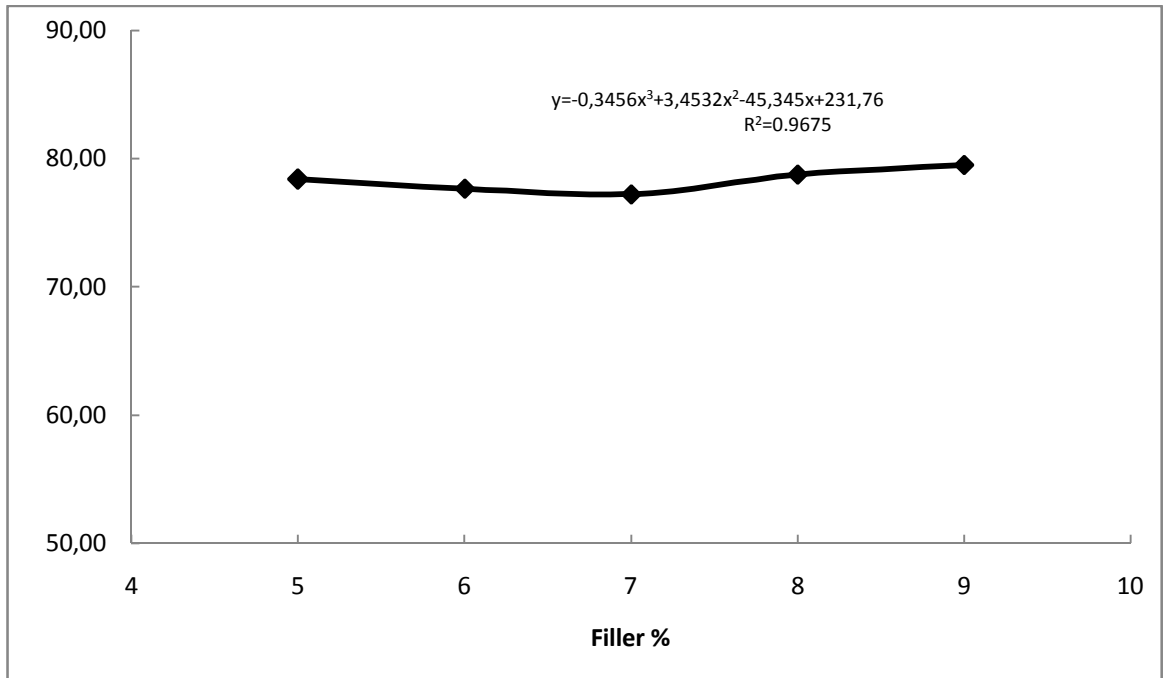
Şekil 3.39. Ferrokrom cüruf tozu Marshall stabilitesinin filler yüzdesi ile değişimi

Kırmataş tozu yerine filler olarak ferrokrom tozunun kullanılması sonucu filler yüzdesinin artmasıyla stabilite önce artış göstermiş daha sonra azalmıştır (Şekil 3.39.). Ferrokrom cüruf tozunun kullanıldığı numunelerde kırmataş tozunun kullanıldığı numunelere göre stabilite değeri daha fazladır. Marshall stabilite değeri filler oranının % 7,00 olduğu karışım numunesinde maksimum olmaktadır.

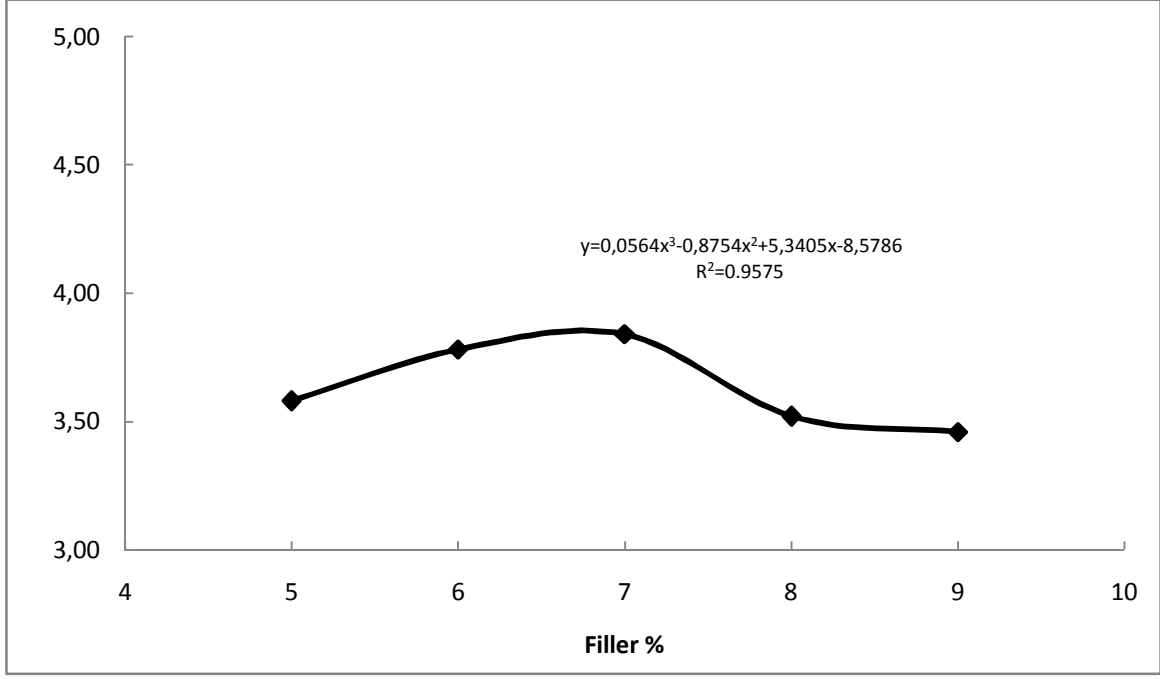


Şekil 3.40. Ferrokrom cüruf tozu pratik özgül ağırlığın filler yüzdesi ile değişimi

Ferrokrom cüruf tozu filler oranlarının artması ile birlikte birim ağırlık değerleri de artmıştır (Şekil 3.40). Maksimum birim ağırlık değeri % 9,00 filler oranına karşılık gelmektedir. Ferrokrom cüruf tozunun kullanıldığı numunelerde asfaltla dolu boşluk yüzdesi filler yüzdesinin artmasıyla önce azalmış daha sonra artmıştır (Şekil 3.41.). Asfaltla dolu boşluk yüzdesini %77,22- 79,05 arasındadır.

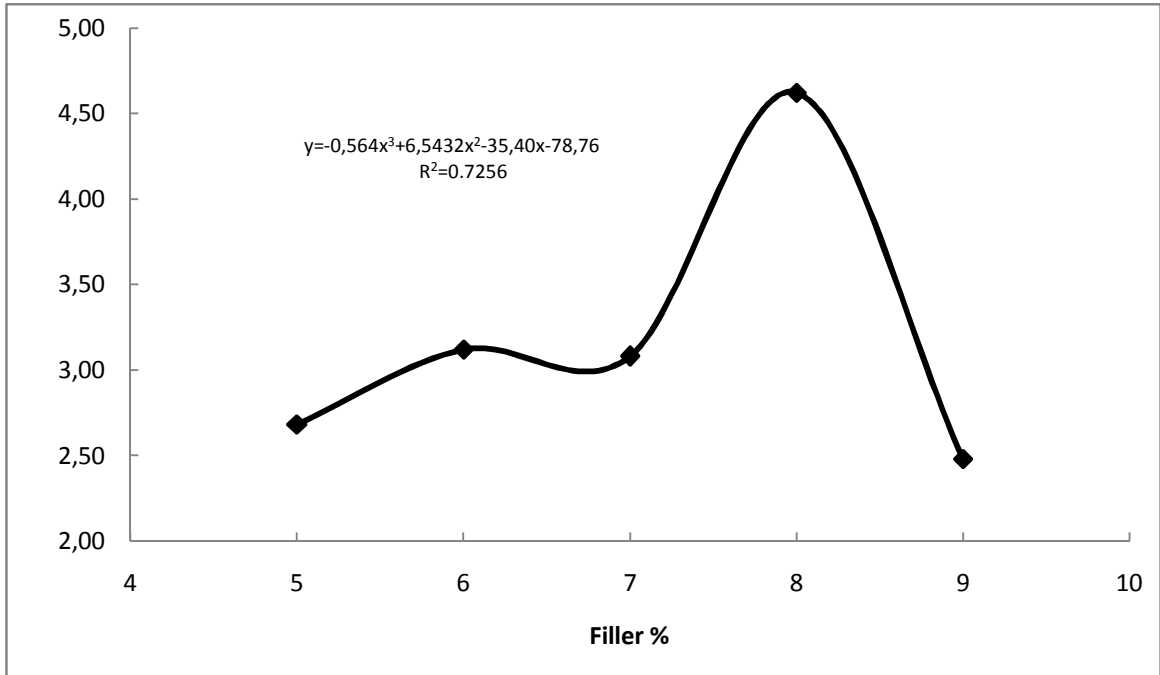


Şekil 3.41. Ferrokrom cüruf tozu asfaltla dolu boşluğun filler yüzdesi ile değişimi



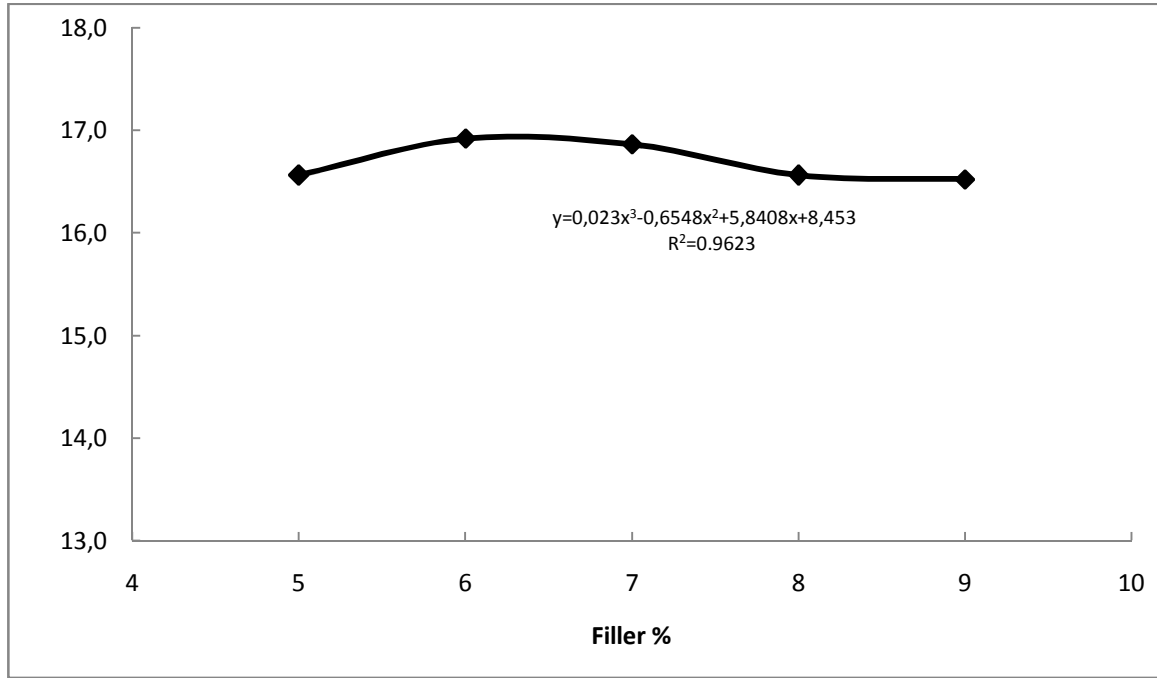
Şekil 3.42. Ferrokrom cüruf tozu boşluğun filler yüzdesi ile değışimi

Filler oranlarının artması ile boşluk yüzdesi değeri azalmaktadır (Şekil 3.42.). ferrokrom cüruf tozu ile hazırlanan numuneler kırmataş tozu ile karşılaştırıldığında boşluk yüzdesi filler oranının artmasıyla daha da azalmaktadır. Boşluk oranı değeri ise %3,84-3,46 arasında değışmektedir



Şekil 3.43. Ferrokrom cüruf tozu akmanın filler yüzdesi ile değışimi

Ferrokrom cüruf tozu filler ile üretilen numunelerin akma değerleri filler oranının artması ile artmış ve belirli bir yüzdeden sonra düşmüştür (Şekil 3.43.).

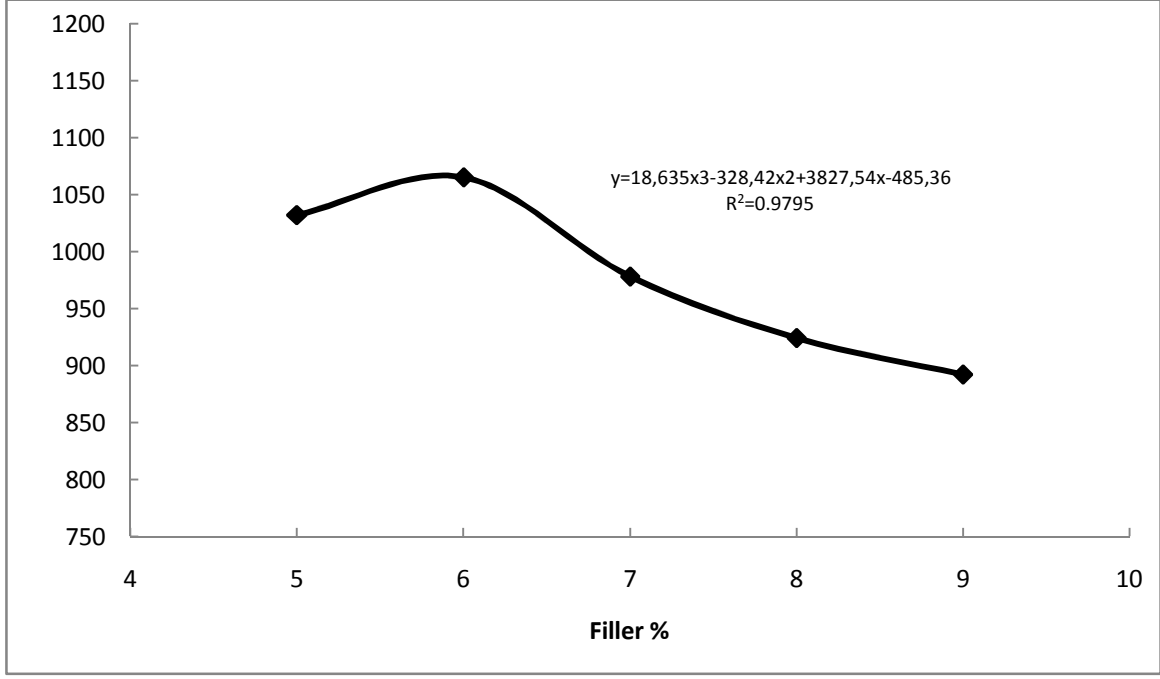


Şekil 3.44. Ferrokrom cüruf tozu VMA%'sinin filler yüzdesi ile değişimi

Ferrokrom cüruf tozu numunelerinde VMA % değeri filler yüzdesinin artmasıyla azalmaktadır.

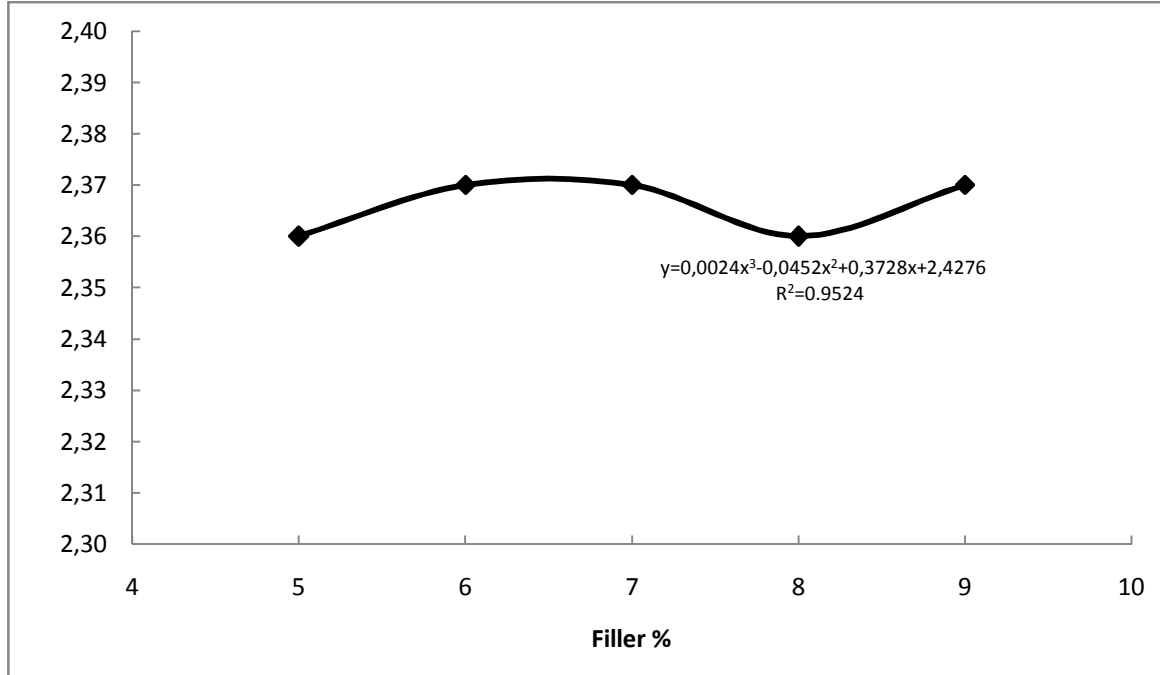
#### 3.5.2.4. Farklı Filler Oranlarında Cam Tozu İle Hazırlanan Numunelere Ait Marshall Deney Sonuçları

Cam tozu ile değişen filler yüzdelerinde yapılan Marshall stabilite deney sonuçlarına göre stabilite, pratik özgül ağırlık, asfaltla dolu boşluk yüzdesi, boşluk yüzdesi, akma ve VMA % Şekil 3.45., 3.46., 3.47., 3.48., 3.49. ve 3.50.'da verilmiştir.



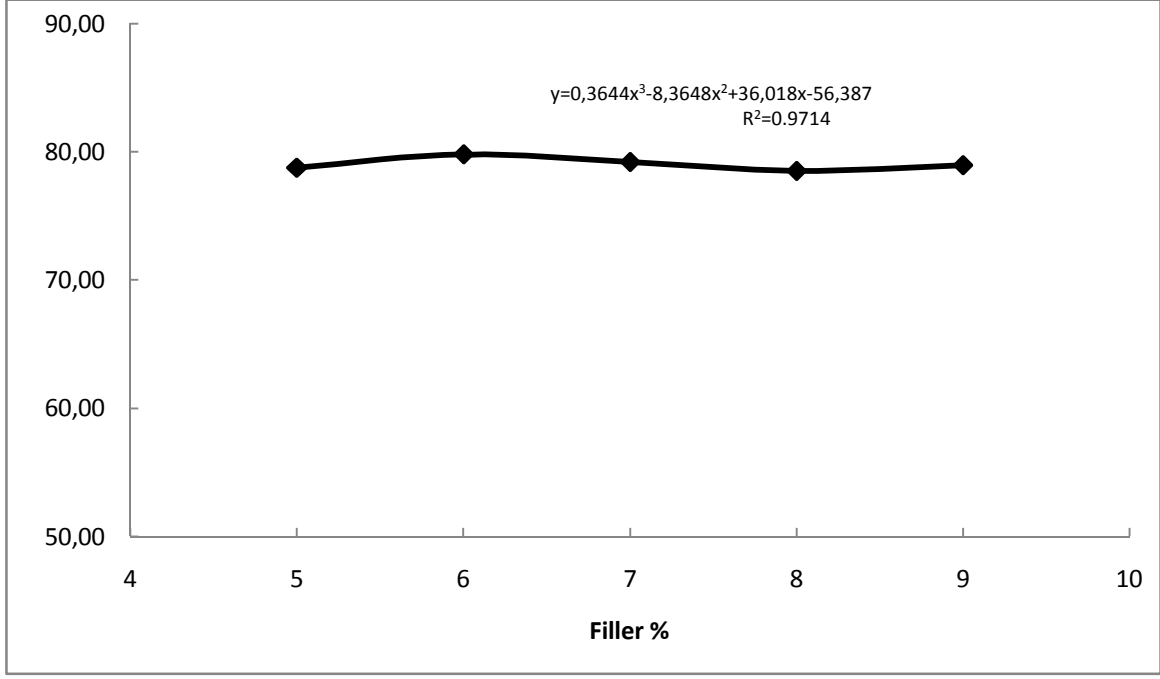
Şekil 3.45. Cam tozu Marshall stabilitesinin filler yüzdesi ile değişimi

Kırmataş tozu yerine filler olarak cam tozunun kullanılması sonucu filler yüzdesinin artmasıyla stabilite önce artış göstermiş daha sonra azalmıştır (Şekil 3.45.). Cam tozu filler oranlarının artması ile birlikte birim ağırlık değerleri de artmıştır (Şekil 3.46.)



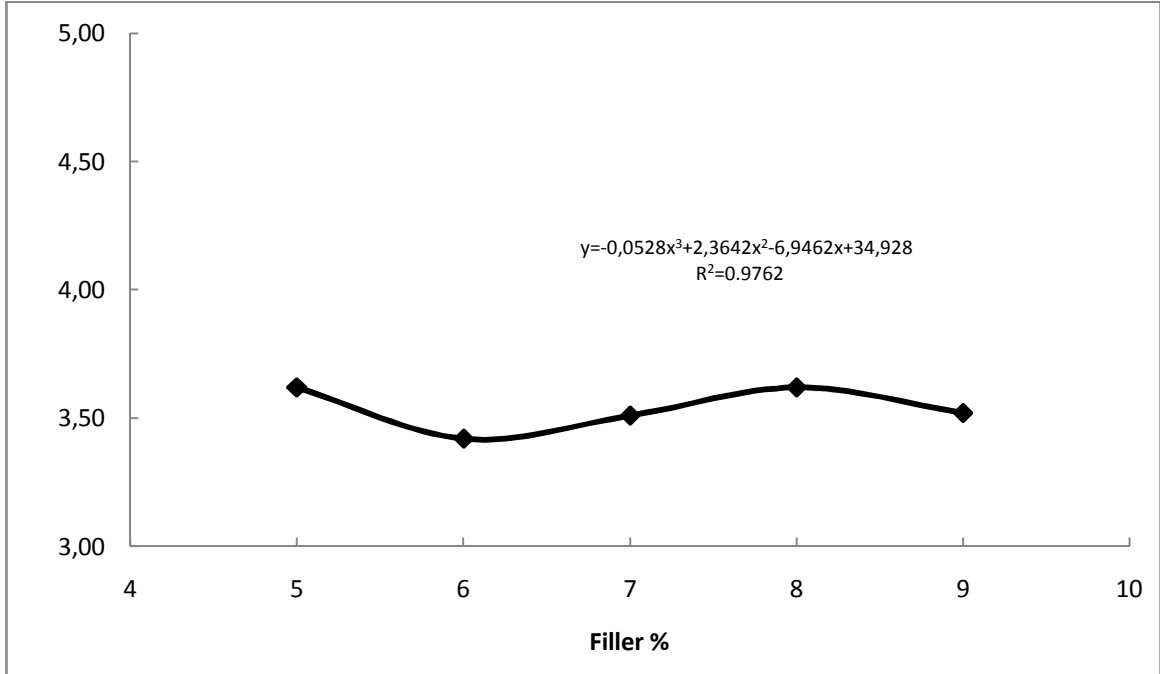
Şekil 3.46. Cam tozu pratik özgül ağırlığın filler yüzdesi ile değişimi





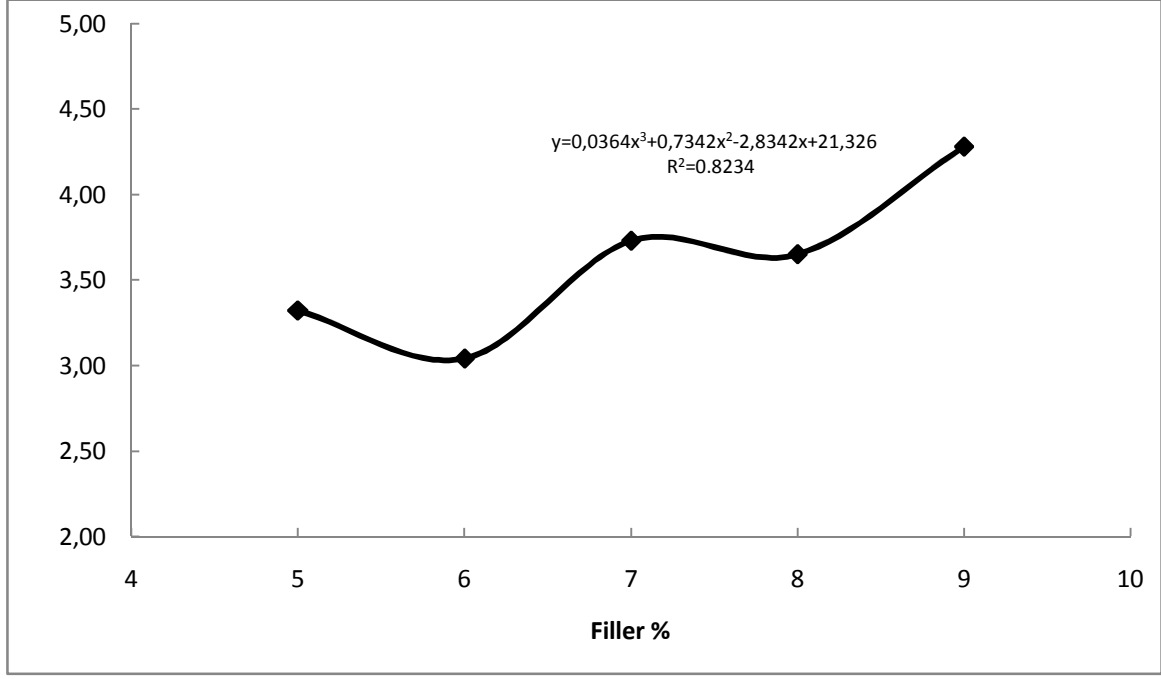
Şekil 3.47. Cam tozu asfaltla dolu boşluğun filler yüzdesi ile değişimi

Cam tozu kullanılan numunelerde asfaltla dolu boşluk oranı yüzdesi filler oranının artmasıyla kırmataş tozuna göre daha fazla artış göstermiştir (Şekil 3.47.).



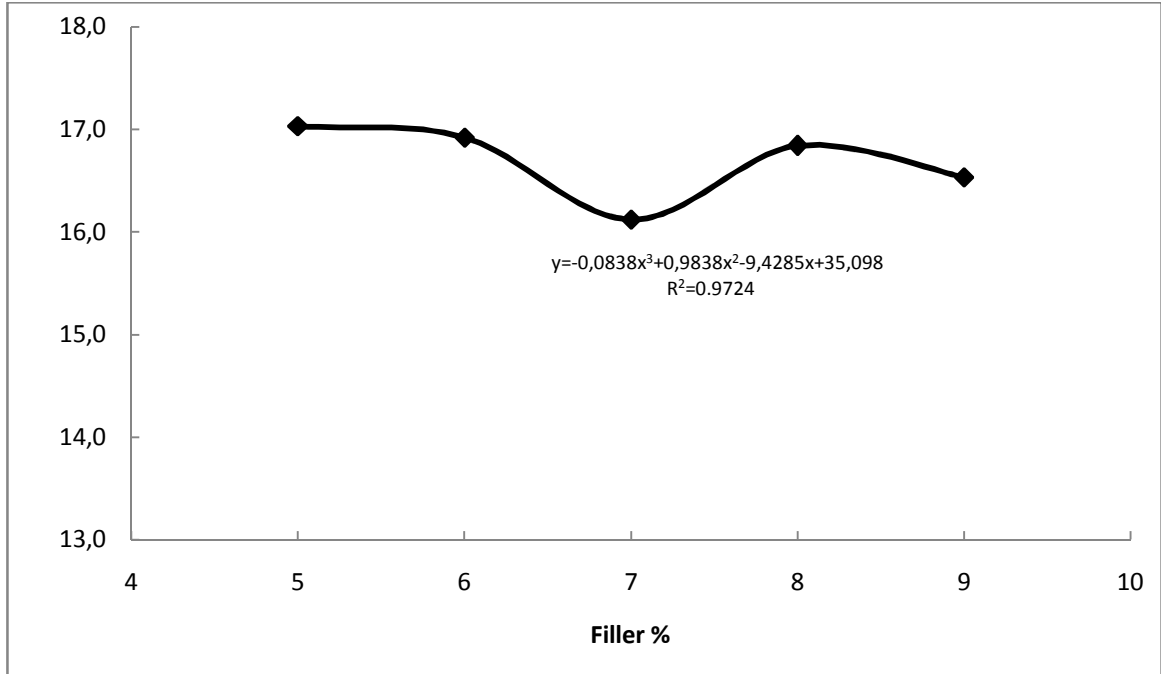
Şekil 3.48. Cam tozu boşluğun filler yüzdesi ile değişimi

Filler oranlarının artması ile boşluk yüzdesi değerleri azalmaktadır (Şekil 3.48.). Kırmataş tozu ile karşılaştırıldığında da cam tozu ile hazırlanan numunelerde boşluk yüzdesi daha azdır.



Şekil 3.49. Cam tozu akmanın filler yüzdesi ile değişimi

Cam tozu filler ile üretilen numunelerin akma değerleri filler oranının artması ile birlikte artış göstermiştir (Şekil 3.49.). Cam tozu kullanılan numunelerde akma değeri daha fazladır.



Şekil 3.50. Cam tozu VMA%'sinin filler yüzdesi ile değişimi

Cam tozu ile değişen filler yüzdelerinde yapılan Marshall stabilite deney sonuçlarına göre; Marshall stabilite değeri filler oranının %6,00 olduğu karışım numunesinde maksimum

olmaktadır. Maksimum birim ağırlık değeri % 9,00 filler oranına karşılık gelmektedir. Asfaltla dolu boşluk yüzdesini % 78,22- 79,78 arasındadır. Boşluk oranı değerleri % 3,42- 3,62 arasındadır. Cam tozu numunelerinde VMA %değeri filler yüzdesinin artmasıyla azalmaktadır.

#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

- Kaynaklarımızın sınırlı olduğu dünyamızda geri dönüşüm uygulamalarının özellikle inşaat sektöründe potansiyel bir hammadde kaynağı olduğu unutulmamalıdır. Dünyadaki en büyük hammadde ihtiyacı olan sanayilerin başında inşaat sektörü gelmektedir. Dolayısıyla geri dönüşümden; enerji, hammadde tüketilmesinin azaltılması, atık sınırlanması ve faydalanılması bakımından en büyük oranda yarar sağlanacak sektör inşaat sektörüdür.

- Karayollarında orta trafik hacimli yollarda, asfalt kaplamalarının aşınma tabakalarında mineral filler olarak kırmataş tozuna alternatif olarak mermer tozu, ferrokrom cürufu ve cam tozunun kullanılıp kullanılmayacağı araştırılmıştır.

- Deneyleerin birinci kısmında farklı filler malzemelerin kullanıldığı karışımların optimum bitüm oranları tespit edilmiştir. Elde edilen optimum bağlayıcı oranları kırmataş tozu, mermer tozu, ferrokrom cüruf tozu ve cam tozu karışımlarında sırasıyla %5,87, %5,87, %5,99 ve %5,78'dir. Optimum bitüm değerleri geleneksel olarak kullanılan fillere yakın sonuçlar vermiştir.

- Deneyleerin ikinci aşamasında ise belirlenen her farklı filler malzemesi için tespit edilen optimum bitüm yüzdeleri sabit tutularak %5, 6, 7, 8 ve 9 filler yüzdesi ile hazırlanan bitümlü karışımlardan Marshall deneyleeri yapılmıştır.

- Deneyleerin sonucuna göre en yüksek stabilite değeri 1320 Kg ile ferrokrom cüruf karışımında elde edilmiştir. Kırmataş tozu karışımında stabilite değeri mermer tozu ve cam tozu karışımlarından yüksektir. Bütün karışımların stabilite değeri şartname değeriinin üstündedir.

- Artan filler oranı ile numunelerde gerçekleşen boşluk oranlarında azalma gözlemlenmiş olup, boşluk yüzdesinin azalması kaplamanın gereksiz yere sertleşmesi ve sökülmesini önlemek açısından önemlidir. Boşluk yüzdesindeki azalma kaplamaya bir esneklik özelliği kazandırmaktadır.

- Sonuç olarak; Mermer tozu, Ferrokrom cüruf tozu ve Cam tozu asfalt betonda filler olarak kullanılabilineceği kanaatine varılmıştır.

## KAYNAKLAR

- Acar, S., Tapkın, S., 1998. Portland çimentosu kullanılarak hazırlanan Marshall numunelerinin özelliklerinin incelenmesi. 2. Ulusal Asfalt Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 95-104.
- Acar, Tapkın, 1998. Portland Çimentosu kullanılarak hazırlanan Marshall numunelerinin özelliklerinin İncelenmesi. 2.Ulusal Asfalt Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 95-104.
- Ahmed, H., Othman, A., Mahmoud, A., Effect of using waste cement dust as a mineral filler on the mechanical properties of hot mix asphalt. <http://www.aun.edu.eg>
- Ahmed, H.,Othman, A., Mahmoud, Effeçh of
- Ahmetzade, P., Alataş, T., Geçkil, T., 2008. asfalt betonunda siyah karbonun filler olarak kullanımı. <http://e-imo.imo.org.tr/Portal/Web/new/uploads/file/yayin/19-4-1,PervizAhmedzade.pdf>
- Akbulut, H. ve Gürer, C., 2003. Mermer Atıklarının Çevresel Etkileri ve Yol Katmanlarında Tekrar Kullanım imkanları, Türkiye IV. Mermer Sempzoyumu Bildiriler Kitabı, 18-19 Aralık 2003, Afyon.
- ASTM C 117-90 1992 Standard Test Method for Materials Finerthan 75cm(No 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing Annual Book of ASTM Standards USA
- ASTM C 127-88 1992 Test Method for Specific Gravithand Adsorption of Coarse Aggregate. Annual Book of ASTM Standards USA
- ASTM C 128-88 1992 Test Method for Specific Gravithand Adsorption of Fine Aggregate. Annual Book of ASTM Standards USA
- ASTM C 131-89 1992 Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregates by Abrasionand Impact in the Los Angeles Machine. Annual Book of ASTM Standards USA
- ASTM C 136-84a 1992 Standard Method for Sieve Analysis of fineand Coarse Aggregate .Annual Book of ASTM Standards USA
- ASTM D 113-86 1992 Standard Test Method for Ductility of Bituminius Materials .Annual Book of ASTM Standards USA
- ASTM D 1559-89 1992 Standard Test Method for Resistanceto Plastic Flow of Bituminius Mixtures Using Marsahl Apparatus . Annual Book of ASTM Standards USA.
- ASTM D 242 1992 Standard Specification For Mineral Filler for Bituminius Paving Mixtures. Annual Book of ASTM Standards USA
- ASTM D 5-86 1992 Standard Test Method for Penetration of Bituminius Materials. Annual Book of ASTM Standards USA
- Ceylan, S., 2006. Bitümlü Sıcak Karışımlarda Filler Olarak Carboniferous-Triassic Kayaç Tozlarının Kullanılması ve Etkisi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 72s, Konya.
- İSFALT, Asfalt El Kitabı, 2002, İstanbul.
- İSFALT, Asfalt ve Uygulamaları Kitabı, 2001 İstanbul
- Kandhal, P. S., Lynn. C., Parker, F., 1998. Characterization tests for mineral filler srelated to performance of asphalt paving mixtures. <http://www.eng.auburn.edu.tr>.
- Karashaşin, M., Tiğdemir, M., Fincanoğlu, A., Saltan, M., 1997. Asfalt betonu karışımında pomzanın filler malzemesi olarak değerlendirilmesi. I. İsparta Pomza Sempozyumu
- LASFALT, Atık Lastiklerden Geleceğin çevreci yollarına.

- Lav, A., Süttaş Ş, İ., 1993. Pirit kalsinesinin esnek yol kaplamalarında filler olarak değerlendirilmesi. İnşaat Mühendisleri Odası Teknik Dergi, Cilt 4.
- Little, N. D., Epps, J. A., 2001. The Benefits of Hydrated Lime in Hot Mix Asphalt, National Lime Association, USA.
- Okagbue, CO. & Onyeobi, T.U.S., 1999. Potensial of marble dust to Stabilise Red Tropical. SoilsFor Road Construction, Engineering Geology, Elsevier Science, Vol:53, pp 371-380.
- Öztürk, M., 2004. Kullanılmış Çeliğin Geri Kazanılması, Ankara, [www.cevreorman.gov.tr/belgeler/celik.doc](http://www.cevreorman.gov.tr/belgeler/celik.doc)
- Sagoe-Crentsil, K. & Brown, T., 1998. Guide for Specification of Recycled Concrete Aggregates (RCA) for Concrete Production-Final Report, CSIRO, Building, Construction and Engineering, Victoria, Australia.
- Şentürk, A., Gündüz, L., Tosun, Y. İ., Sanışık, A., 1996. Mermer Teknolojisi, S.D.Ü., Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Isparta.
- Tam, Vivian, W. Y., Tam, C. M., 2006. 'A Review On the Viable Technology for Construction Waste Recycling', Resources Conservation and Recycling, Avustralya ve Hong Kong, sayı. 47 (3), s. 209–221.
- Terzi, S., 2000. Mermer Toz Atıkların Asfalt Betonunda Filler Malzemesi Olarak Kullanılmasının Araştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 62s, Isparta.
- Terzi, S., Kardeşin, M., 2003. Mermer Toz Atıklarının Asfalt Betonu Karışımında Filler Malzemesi Olarak Kullanımı, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Teknik Dergi.
- Umar, F., Açar, 1991. Yol Üstyapısı, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- URL 1, 2014. [www.cesanas.com](http://www.cesanas.com).
- Ünal, O., Demir, İ., Ergün, A., 2003. Mermer Tozu (Havuz Çökeltisi) Atıklarının Beton Üretiminde Kullanılmasının Araştırılması, AKÜ Bilimsel Araştırma Projeleri.
- Üstükoç, F., 2006. Endüstriyel Atıkların Esnek Yol Üstyapısında Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 104s, Balıkesir.