

T.C.
BİTLİS EREN ÜNİVERSİTESİ VE DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

MASTİK ASFALT ÜRETİMİNDE POMZA, PERLİT VE AHLAT TAŞI AGREGASININ
KULLANILABİLİRLİĞİ

Mehmet ASLAN

HAZİRAN 2018

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

MASTİK ASFALT ÜRETİMİNDE POMZA, PERLİT VE AHLAT TAŞI AGREGASININ
KULLANILABİLİRLİĞİ

Hazırlayan
Mehmet ASLAN

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Abdulrezzak BAKIŞ

Jüri Üyeleri
Prof. Dr. Hakan ÇOBAN
Dr. Öğr. Üyesi Abdulrezzak BAKIŞ
Dr. Öğr. Üyesi M. Emin ÖNCÜ

HAZİRAN 2018

Mehmet ASLAN tarafından hazırlanan “Mastik Asfalt Üretiminde Pomza, Perlit ve Ahlat Taşı Agregasının Kullanılabilirliği” adlı tez çalışması ~~10.07/2018~~ tarihinde yapılan sınavla aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Prof. Dr. Hakan ÇOBAN
(Başkan)



Dr. Öğr. Üyesi Abdulrezzak BAKIŞ
(Danışman)



Dr. Öğr. Üyesi M. Emin ÖNCÜ
(Üye)



Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun ~~01/05/2018~~ gün ve ~~33/18~~ Sayılı kararı ile onaylanmıştır.



Doç. Dr. Koray KÖKSAL
Enstitü Müdürü

ÖZET

MASTİK ASFALT ÜRETİMİNDE POMZA, PERLİT VE AHLAT TAŞI AGREGASININ KULLANILABİLİRLİĞİ

Mehmet ASLAN

Yüksek Lisans Tezi

Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Abdulrezzak BAKIŞ

Haziran 2018, 106 sayfa

Bu çalışmada, taş mastik asfalt (TMA) üretiminde; pomza, Ahlat taşı ve perlitin kullanılabilirliği araştırılmıştır. TMA üretimi ön çalışmasında; pomza, Ahlat taşı ve perlite Los Angeles aşınma testi uygulanmıştır. Aşınma kaybı oranı, pomza için % 73, Ahlat taşı için % 78 ve perlit için % 67 bulunmuştur. Ön çalışma sonuçlarına göre; pomza, Ahlat taşı ve perlit, TMA üretiminde iri agrega olarak kullanılamazlar. Çalışmanın ikinci aşamasında, TMA üretiminde; pomza, Ahlat taşı ve perlitin filler olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu ikinci aşamada 4 farklı tip TMA üretimi yapılmıştır. Bazalt-TMA üretiminde; karışımda iri agrega, ince agrega ve filler olarak bazalt kullanılmıştır. Pomza-TMA üretiminde, karışımda iri ve ince agrega olarak bazalt, filler olarak pomza kullanılmıştır. Ahlat taşı-TMA üretiminde, karışımda iri ve ince agrega olarak bazalt, filler olarak Ahlat taşı kullanılmıştır. Perlit-TMA üretiminde karışımda iri ve ince agrega olarak bazalt, filler olarak perlit kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, bazalt-TMA stabilite değeri 979 kg, akma değeri 2,88 mm bulunmuştur. Pomza-TMA stabilite değeri 940 kg, akma değeri 3,24 mm bulunmuştur. Ahlat taşı-TMA stabilite değeri 965 kg, akma değeri 3,20 mm bulunmuştur. Perlit-TMA stabilite değeri 937 kg, akma değeri 3,19 mm bulunmuştur. Çalışma sonucuna göre bu değerler, TMA şartname limitleri için yeterlidir.

Anahtar kelimeler: Karayolu, Taş Mastik Asfalt, Pomza, Perlit, Ahlat Taşı.

ABSTRACT

USABILITY OF PUMICE, PERLITE AND AHLAT STONE AGGREGATE IN MASTIC ASPHALT PRODUCTION

Mehmet ASLAN

Master Thesis

Bitlis Eren University Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

Supervisor: Dr. Lecturer Abdulrezzak BAKIŞ

June 2018, 106 pages

In this study; it was investigated the usability of pumice, Ahlat stone and perlite in stone mastic asphalt (SMA) production. In the preliminary of SMA production study; pumice, Ahlat stone and perlite were tested for Los Angeles abrasion. Los Angeles abrasion rate was found to be 73% for pumice, 78% for Ahlat stone and 67% for perlite. According to preliminary study results; pumice, Ahlat stone and perlite cannot be used as coarse aggregate and fine aggregate in SMA. In the second phase of SMA production study; it was investigated the usability of pumice, Ahlat stone and perlite as filler in SMA. In this second phase, 4 different types of SMA production were made. In the production of Basalt-SMA; basalt was used as coarse, fine aggregates and filler in the mixture. In the production of Pumice-SMA; basalt was used as coarse and fine aggregate, but pumice was used as filler. In the production of Ahlat Stone-SMA; basalt was used as coarse and fine aggregate, but Ahlat stone was used as filler. In the production of Perlite-SMA; basalt was used as coarse and fine aggregate, but perlite was used as filler. As a result of the study, Basalt-SMA stability and flow values were found to be 979 kg and 2.88 mm. Pumice-SMA stability and flow values were found to be 940 kg and 3.24 mm. Ahlat stone-SMA stability and flow values were found to be 965 kg and 3.20 mm. Perlite-SMA stability and flow values were found to be 937 kg and 3.19 mm. According to study results; these values were adequate for SMA specification limits.

Key words: Highway, Stone Mastic Asphalt, Pumice, Perlite, Ahlat Stone.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmasında, gerek tez konunun belirlenmesinde gerek çalışmamın tamamlanmasında her türlü konuda bana yardımcı olan ve değerli katkıları ile çalışmalarına yön veren hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Abdulrezzak BAKIŞ'a, çalışmalarında desteklerini esirgemeyen ve çalışma ortamı sağlayan Karayolları 9. Bölge Müdürü Şefik Solmaz'a, Karayolları 9. Bölge Müdürlüğü Araştırma ve Geliştirme Başmühendisliği çalışanı Cihan Elhakan'a, Bitlis Eren Üniversitesi Rektörlüğü ve personeline, yüksek lisans eğitimim süresince her türlü maddi ve manevi destekleri ile göstermiş oldukları sabırdan dolayı kıymetli aileme teşekkür eder, şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
SİMGELER DİZİNİ	xiv
KISALTMALAR DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ	1
1.1. Karayolu Yapısına Genel Bakış	2
1.1.1. Karayolu Alt Yapıları	2
1.1.2. Karayolu Üst Yapıları	2
1.1.2.1. Rijit Üstyapı	4
1.1.2.2. Kompozit Üstyapı	4
1.1.2.3. Esnek Üstyapı	4
1.1.2.3.1. Alt Temel Tabakası	4
1.1.2.3.2. Temel Tabakası	4
1.2. Karayolu Üstyapısının Görevleri	5
1.3. Kaplama Türü Seçimi	5
1.4. Bitümlü Karışım Tabakaları	6
1.4.1. Bitümlü Sıcak Karışımlar	6
1.5. Taş Mastik Asfalt	8
1.5.1. TMA Gelişimi	11
1.5.2. TMA Üretimi	13

1.5.3. TMA Uygulama Alanları	16
1.5.4. TMA Avantaj ve Dezavantajları	17
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	20
3. MATERYAL VE YÖNTEM	23
3.1. Agregalar.....	23
3.1.1. Yol Yapımında Kullanılan Agregaların Sınıflandırılması	23
3.1.1.1. Mineralojik Sınıflandırma	23
3.1.1.1.1. Doğal Taş Malzeme Kaynakları.....	23
3.1.1.1.2. Doğal Agregalar	25
3.1.1.1.3. Yapay Agregalar	26
3.1.1.2. Boyut Sınıflandırması.....	27
3.1.1.3. Biçim Yapısı ve Yüzey Yapısı Sınıflandırması	27
3.1.1.3. Porozite Sınıflandırması	28
3.1.2. Bitümlü Karışımlarda Kullanılan Agregaların Özellikleri.....	29
3.2. Bitüm.....	30
3.2.1. Katran.....	31
3.2.2. Asfalt.....	32
3.2.2.1. Doğal Asfalt	32
3.2.2.2. Yapay Asfalt.....	32
3.2.2.2.1. Sıvı Petrol Asfaltı.....	33
3.2.2.2.2. Asfalt Emülsiyonları	34
3.3. Bitüm Deneyleri	34
3.3.1. Penetrasyon Deneyi.....	34
3.3.2. Yumuşama Noktası	35
3.3.3. Düktilite Deneyi	36
3.3.4. Elastik Geri Dönme Deneyi	37
3.3.5. Parlama Noktası Deneyi.....	37

3.3.6. Özgül Ağırlık Deneyi.....	38
3.3.7. Depolama Stabilitesi	38
3.3.8. İnce Film Halinde Isıtma Deneyi, TFOT	38
3.3.9. Dönmeli İnce Film Etüvü Deneyi, RTFOT	38
3.3.10. Basıncılı Yaşlandırma Kabı (PAV).....	39
3.3.11. Dinamik Kesme Reometresi Aleti ile Kompleks Kesme Modülü Ve Faz Açısı Tayini Deneyi, DSR	39
3.4. Agregalar Deneyleri	39
3.4.1. Agregalardan Numune Alma	40
3.4.2. Elek Analizi.....	40
3.4.3. Agregaların Parçalanma Direncinin Tayini: Los Angeles Aşınma Deneyi	42
3.4.4. Yassılık İndeksi Deneyi, %	43
3.4.5. Soyulma Mukavemeti Deneyi.....	44
3.4.6. Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık: MgSO ₄ ile Kayıp	46
3.4.7. Cilalanma Deneyi.....	47
3.4.8. Özgül Ağırlık ve Su Emme Deneyi	48
3.5. Malzemeler.....	54
3.5.1. Agregalar.....	54
3.5.1.1. Ahlat Taşı	54
3.5.1.2. Perlit	56
3.5.1.3. Pomza	57
3.5.1.4. Bazalt.....	59
3.5.2. Polimer Modifiye Bitüm	60
3.6. Marshall Metodu ile Bitümlü Sıcak Karışımların Dizaynı	64
3.6.1. Marshall Karışım Dizaynı Aşamaları.....	65
4. BULGULAR	68
4.1. Bitüm Deneyleri	68

4.2. Agregalar Deneyleeri	69
4.2.1. Los Angeles Aşınma Deneyleeri.....	69
4.2.2. Özgöl Ağırılık ve Su Emme Deneyleeri	69
4.2.2.1. Kaba Agregaların Özgöl Ağırılık ve Su Emme Deneyleeri.....	69
4.2.2.2. İnce Agregaların Özgöl Ağırılık ve Su Emme Deneyleeri.....	70
4.2.2.3. Filler Agregaların Özgöl Ağırılık ve Su Emme Deneyleeri.....	70
4.3. Marshall Dizaynı	72
4.3.1. TMA Özgöl Ağırılık, Bitüm Absorpsiyonu	74
4.3.1.1. Kaba, İnce Agregalar ve Filler Bazalt ile Dizayn Edilen TMA	74
4.3.1.2. Kaba ve İnce Agregalar Bazalt, Filler Ahlat Taşı ile Dizayn Edilen TMA.....	75
4.3.1.3. Kaba ve İnce Agregalar Bazalt, Filler Perlit ile Dizayn Edilen TMA	76
4.3.1.4. Kaba ve İnce Agregalar Bazalt, Filler Pomza ile Dizayn Edilen TMA.....	77
4.3.2. Marshall Dizaynı Sonucu Elde Edilen Grafikler	77
4.3.2.1. Kaba İnce Agregalar ve Filler Bazalt ile Dizayn Edilen TMA Grafikleri.....	78
4.3.2.2. Kaba ve İnce Agregalar Bazalt, Filler Ahlat Taşı ile Dizayn Edilen TMA Grafikleri ..	80
4.3.2.3. Kaba ve İnce Agregalar Bazalt, Filler Perlit ile Dizayn Edilen TMA Grafikleri	82
4.3.2.4. Kaba ve İnce Agregalar Bazalt, Filler Pomza ile Dizayn Edilen TMA Grafikleri	85
5. SONUÇ	88
EKLER	92
KAYNAKLAR.....	96
ÖZGEÇMİŞ	106

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1. Yol Üst Yapısı Tip Enkesiti [20].....	3
Şekil 3.1. Agregaların Biçim Yapısı [30].....	28
Şekil 3.2. Agregaların Yüzey Yapısı [30]	28
Şekil 3.3. Çeyrekleme Yöntemi [78].....	40
Şekil 3.4. Elek Sarsma Cihazı	41
Şekil 3.5. Los Angeles Deney Aleti	43
Şekil 3.6. Su İçerisine Bırakılan Ahlat Taşı, Pomza ve Perlit Agregaları.....	49
Şekil 3.7. Doygun - Kuru Yüzey Durumuna Getirilen Ahlat Taşı ve Perlit Agregaları	50
Şekil 3.8. Etüv Cihaz Aleti	50
Şekil 3.9 Etüvden Çıkarılan Agregalar.....	51
Şekil 3.10. Filler Malzemenin Tartılması.....	53
Şekil 3.11. Filler Malzemenin Isıtılarak Vakumlanması.....	53
Şekil 3.12. Piknometrenin Su ile Doldurulması	54
Şekil 3.13. Ahlat Taşı Agregası.....	55
Şekil 3.14. Perlit Taşı Agregası.....	56
Şekil 3.15. Perlit Türkiye Rezerv Haritası [92].....	56
Şekil 3.16. Pomza Türkiye Rezerv Haritası [92].....	58
Şekil 3.17. Bazalt Türkiye Bazalt Rezerv Haritası [94]	59
Şekil 3.18. Bitüm Karıştırma Mikseri ve Hazırlanan Taş Mastik Asfalt	65
Şekil 3.19. Taş Mastik Asfalt Briketi	66
Şekil 4.1. Bazalt Agregası Gradasyon Eğrisi	73
Şekil 4.2. Kaba, İnce Agrega ve Filler Bazalt ile Dizayn Edilen TMA' nın Boşluk Oranı – Bitüm Yüzdesi Grafiği	78

Şekil 4.3. Kaba, İnce Agregası ve Filler Bazalt ile Dizayn Edilen TMA'nın Asfalt ile Dolu Boşluk Oranı – Bitüm Yüzdesi Grafiği	78
Şekil 4.4. Kaba, İnce Agregası ve Filler Bazalt ile Dizayn Edilen TMA'nın Hacim Özgöl Ağırlığı – Bitüm Yüzdesi Grafiği	79
Şekil 4.5. Kaba, İnce Agregası ve Filler Bazalt ile Dizayn Edilen TMA'nın Agregalara Arası Boşluk Oranı – Bitüm Yüzdesi Grafiği	79
Şekil 4.6. Kaba, İnce Agregası ve Filler Bazalt ile Dizayn Edilen TMA'nın Akma – Bitüm Yüzdesi Grafiği	79
Şekil 4.7. Kaba, İnce Agregası ve Filler Bazalt ile Dizayn Edilen TMA'nın Stabilite – Bitüm Yüzdesi Grafiği	80
Şekil 4.8. Kaba ve İnce Agregası Bazalt, Filler Ahlat Taşı ile Dizayn Edilen TMA'nın Boşluk Oranı – Bitüm Yüzdesi Grafiği	80
Şekil 4.9. Kaba ve İnce Agregası Bazalt, Filler Ahlat Taşı ile Dizayn Edilen TMA'nın Asfalt ile Dolu Boşluk Oranı – Bitüm Yüzdesi Grafiği	81
Şekil 4.10. Kaba ve İnce Agregası Bazalt, Filler Ahlat Taşı ile Dizayn Edilen TMA'nın Hacim Özgöl Ağırlığı – Bitüm Yüzdesi Grafiği	81
Şekil 4.11. Kaba ve İnce Agregası Bazalt, Filler Ahlat Taşı ile Dizayn Edilen TMA'nın Agregalara Arası Boşluk Oranı – Bitüm Yüzdesi Grafiği.....	81
Şekil 4.12. Kaba ve İnce Agregası Bazalt, Filler Ahlat Taşı ile Dizayn Edilen TMA'nın Akma – Bitüm Yüzdesi Grafiği	82
Şekil 4.13. Kaba ve İnce Agregası Bazalt, Filler Ahlat Taşı ile Dizayn Edilen TMA'nın Stabilite – Bitüm Yüzdesi Grafiği	82
Şekil 4.14. Kaba ve İnce Agregası Bazalt, Filler Perlit ile Dizayn Edilen TMA'nın Boşluk Oranı – Bitüm Yüzdesi Grafiği	83
Şekil 4.15. Kaba ve İnce Agregası Bazalt, Filler Perlit ile Dizayn Edilen TMA'nın Asfalt ile Dolu Boşluk Oranı – Bitüm Yüzdesi Grafiği	83
Şekil 4.16. Kaba ve İnce Agregası Bazalt, Filler Perlit ile Dizayn Edilen TMA'nın Hacim Özgöl Ağırlığı – Bitüm Yüzdesi Grafiği.....	83
Şekil 4.17. Kaba ve İnce Agregası Bazalt, Filler Perlit ile Dizayn Edilen TMA'nın Agregalara Arası Boşluk Oranı – Bitüm Yüzdesi Grafiği	84

Şekil 4.18. Kaba ve İnce Agregada Bazalt, Filler Perlit ile Dizayn Edilen TMA 'nın Akma – Bitüm Yüzdesi Grafiği	84
Şekil 4.19. Kaba ve İnce Agregada Bazalt, Filler Perlit ile Dizayn Edilen TMA 'nın Stabilite - Bitüm Yüzdesi Grafiği	84
Şekil 4.20. Kaba ve İnce Agregada Bazalt, Filler Pomza ile Dizayn Edilen TMA 'nın Boşluk Oranı – Bitüm Yüzdesi Grafiği	85
Şekil 4.21. Kaba ve İnce Agregada Bazalt, Filler Pomza ile Dizayn Edilen TMA 'nın Asfalt ile Dolu Boşluk Oranı – Bitüm Yüzdesi Grafiği	85
Şekil 4.22. Kaba ve İnce Agregada Bazalt, Filler Pomza ile Dizayn Edilen TMA 'nın Hacim Özgül Ağırlığı – Bitüm Yüzdesi Grafiği	86
Şekil 4.23. Kaba ve İnce Agregada Bazalt, Filler Pomza ile Dizayn Edilen TMA 'nın Agregalara Arası Boşluk Oranı – Bitüm Yüzdesi Grafiği	86
Şekil 4.24. Kaba ve İnce Agregada Bazalt, Filler Pomza ile Dizayn Edilen TMA 'nın Akma – Bitüm Yüzdesi Grafiği	86
Şekil 4.25. Kaba ve İnce Agregada Bazalt, Filler Pomza ile Dizayn Edilen TMA 'nın Stabilite – Bitüm Yüzdesi Grafiği	87

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>ÇİZELGE</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1. Türkiye’de Son 10 Yılda Karayolları Kaplama Çeşitleri	1
Çizelge 1.2. Taş Mastik Asfalt Aşınma Gradasyonu ve Tolerans Sınırları.....	8
Çizelge 1.3. Taş Mastik Asfalt Binder Gradasyonu ve Tolerans Sınırları	9
Çizelge 1.4. Taş Mastik Asfalt Üretiminde Kullanılan Kaba Agregası Özellikleri.....	9
Çizelge 1.5. Taş Mastik Asfalt Üretiminde Kullanılan İnce Agregası Özellikleri	10
Çizelge 1.6. İlave Mineral Filler Gradasyon Limitleri	10
Çizelge 1.7. Mineral Elyaf Özellikleri.....	11
Çizelge 1.8. TMA’nın Ülkeler Arası Gelişimi	12
Çizelge 1.10. Kaplama Türlerinin Karşılaştırılması.....	19
Çizelge 3.1. Kayaçların Sınıflandırılması.....	24
Çizelge 3.2. Bitümlerin Sınıflandırılması.....	31
Çizelge 3.3. Elek açıklıkları	41
Çizelge 3.4. Numune Ağırlığı Tablosu.....	42
Çizelge 3.5. Yassılık İndeksi Değeri İçin Minimum Malzeme Miktarı	44
Çizelge 3.6. En Yüksek Yüzey Aşınmasına Karşı Direnç Değerlerine Göre Kategoriler	48
Çizelge 3.7. Ahlat Taşı Kimyasal Özellikleri.....	55
Çizelge 3.8. Perlit Kimyasal Özellikleri.....	57
Çizelge 3.9. Pomza Kimyasal Özellikleri.....	58
Çizelge 3.10. Bazalt Kimyasal İçeriği	60
Çizelge 4.1. Bitüm Deney Sonuçları	68
Çizelge 4.2. Los Angeles Aşınma Deney Sonuçları.....	69
Çizelge 4.3. Agregası Birim Ağırlıkları ve Su Emme Yüzdeleri.....	69
Çizelge 4.4. Bazalt İnce Agregası Özgül Ağırlığı ve Su Emme Yüzdesi	70
Çizelge 4.5. Ahlat Taşı Agregası Filler Özgül Ağırlığı.....	71

Çizelge 4.6. Perlit Agregası Filler Özgül Ağırlığı.....	71
Çizelge 4.7. Pomza Agregası Filler Özgül Ağırlığı	72
Çizelge 4.8. Bazalt Agregası Filler Özgül Ağırlığı	72
Çizelge 4.9. Bazalt Agregası Elek Analizi	73
Çizelge 4.10. Taş Mastik Asfalt Briketi İçerisinde Kullanılacak Agregaların Miktarları	74
Çizelge 4.11. Kaba, İnce ve Filler Bazalt Agregalarının Özgül Ağırlıkları	74
Çizelge 4.12. TMA Dizaynı İçin Hazırlanan Karışımın Özellikleri.....	75
Çizelge 4.13. Kaba ve İnce Bazalt, Filler Ahlat Taşı Agregalarının Özgül Ağırlıkları	75
Çizelge 4.14. TMA Dizaynı İçin Hazırlanan Karışımın Özellikleri.....	76
Çizelge 4.15. Kaba ve İnce Bazalt, Filler Perlit Taşı Agregalarının Özgül Ağırlıkları.....	76
Çizelge 4.16. TMA Dizaynı İçin Hazırlanan Karışımın Özellikleri.....	76
Çizelge 4.17. Kaba ve İnce Bazalt, Filler Pomza Taşı Agregalarının Özgül Ağırlıkları	77
Çizelge 4.18. TMA Dizaynı İçin Hazırlanan Karışımın Özellikleri.....	77
Çizelge 5.1. Agregaların Deney Sonuçları	88
Çizelge 5.2. Dizayn Edilen TMA Kaplamaların Sonuçları	90

SİMGELER DİZİNİ

LA	Los Angeles Katsayısı
FI	Yassı Dane Yüzdesi
ρ_z	Zahiri Özgöl Ağırlık
ρ_h	Hacim Özgöl Ağırlık
ρ_e	Efektif Özgöl Ağırlık
AAV	Agrega Aşınma Değeri
Dp	Pratik Yoğunluk
Dt	Teorik Özgöl Ağırlık
Vh	Hava Boşluğu
VMA	Agregalar Arası Boşluk
VF	Asfaltla Dolu Boşluk

KISALTMALAR DİZİNİ

KGM	Karayolları Genel Müdürlüğü
TMA	Taş Mastik Asfalt
EAPA	Avrupa Asfalt Üstyapı Birliği
SMA	Stone Mastic Asphalt
KTŞ	Karayolları Teknik Şartnamesi
ASTM	Amerikan Malzeme Test Birliği
Pen.	Penetrasyon
AC	Asfalt Çimentosu
MTA	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
PMB	Polimer Modifiye Bitüm
BSK	Bitümlü Sıcak Karışım

1. GİRİŞ

Ulaşım, tekerleğin buluşu ile başlayan ve bugüne kadar uzanan zaman zarfında insanların yaşam standardını arttırması, ekonomik kalkınması için en önemli ihtiyaçlardan biri olmuştur. [1]. Eşyaların ve insanların belirli bir mekândan başka bir mekâna güvenli, ekonomik, hızlı ve güvenli bir şekilde taşınmasına ulaşım denilmektedir [2]. Dünya üzerinde ulaşım; karayolu, deniz yolu, hava yolu, demir yolu ve boru hatları ile yapılmaktadır. Türkiye’de yolcu ulaşımın % 95’i, yük taşımacılığının ise % 76,1 karayolu ile yapılmaktadır [3].

Ülkemizde karayolunu gelişimi 1950 yılında kurulan Karayolları Genel Müdürlüğü ile başlamıştır. 1940 yılında 44.000 km olan yol uzunluğu 2018 yılı başı itibariyle 67.119 km’ye ulaşmıştır. Bu yolların 40.183 km’si sathi kaplama, 22.950 km’si asfalt betonu, 3.986 km’si ise parke, stabilize ve toprak yollar olarak inşa edilmiştir. Yapılan yolların durumuna bakıldığında ülkemizde 2008 yılında mevcut yolların % 81,09’u sathi kaplama, % 12,90’ı beton asfaltı, % 6,01’u ise diğer yollar olarak inşa edilmişken 2018 yılında bu oranlar sathi kaplama için % 59,86; beton asfaltı için % 34,19; diğer yollar için ise % 5,95 olmuştur [4]. Her geçen gün asfalt betonu ile yapılan yol miktarı artmış ve sathi kaplama ile yapılan yol uzunluğu azalmıştır. Bununla beraber artan taşıt trafiği ağırlığı sebebiyle inşa edilen beton asfaltlı yolların onarım maliyetleri artmıştır. Bu sebeple yol mühendisleri uzun süre onarım gerektirmeyen, daha dayanıklı bir karışım elde etmek amacıyla çalışmalara başlamışlardır.

Çizelge 1.1. Türkiye’de Son 10 Yılda Karayolları Kaplama Çeşitleri

Yıl	Asfalt Kaplama	Sathi Kaplama	Parke	Stabilize	Toprak	Geçit Vermez	Toplam
2008	8.004	50.305	168	1.600	862	1.084	62.023
2009	8.681	49.782	180	1.490	783	1.303	62.219
2010	10.197	48.929	212	1.314	782	1.351	62.785
2011	11.561	47.912	212	1.077	721	1.447	62.930
2012	13.150	46.462	256	1.069	666	1.652	63.255
2013	14.870	45.294	261	852	632	1.587	63.496
2014	15.922	44.277	273	891	599	1.792	63.754
2015	17.095	43.726	262	744	631	1.820	64.278
2016	18.646	42.131	297	593	503	2.449	64.619
2017	20.793	40.183	314	668	520	2.484	64.962
2018	22.950	40.183	314	668	520	2.484	67.119

Asfalt kaplamalarında kullanılan bitümlü sıcak karışımların mühendislik özelliklerini iyileştirmenin iki temel yolu vardır. Bunlar karışım gradasyonunu değiştirmekle beraber asfalt çimento oranını değiştirmek ve bitüm veya karışıma katkı maddesi eklenmesiyle olmaktadır. Taş mastik asfalt bu temel yollardan her ikisini de kapsamaktadır. Taş mastik asfalt % 70-80 oranında kaba agrega, % 8-14 oranında filler, % 6-7 oranında modifiye edilmiş bitümlü bağlayıcı ile çok az miktarda ince agrega ve fiber malzemedir üretilir [5, 6]. Taş mastik asfalt karışımlarında kullanılan kaba agrega miktarı asfalt betonunda kullanılan agregalara göre daha fazla ve daha dayanıklıdır. Ayrıca filler yüzdesi ve yüksek asfalt içeriğine sahip olmasıyla beraber üretiminde kullanılan elyaf taş mastik asfaltı, asfalt betonundan ayıran özelliklerdendir.

1.1. Karayolu Yapısına Genel Bakış

Yolun gövdesi, üstyapı ve altyapı olarak iki bölüme ayrılmaktadır, Altyapı, toprak işleri ve sanat yapılarından oluşur. Üstyapı ise trafik yüklerini alarak azaltıp altyapıya ve dolayısıyla zemine aktaran tabaka halinde bir yapıdır [20].

1.1.1. Karayolu Alt Yapıları

Ülkemizde altyapısı toprak işleri sonunda, projede belirlenen en kesit ve kot haline getirilmiş kısımdır. Üstyapının oturduğu yarma kesimlerinde ve doğal zemin dolguları üzerinde inşa edilir. Üst yapı inşaatı öncesinde yapılan drenaj sistemleri, menfez, istinat duvarı gibi sanat yapıları altyapı kısmı içerisindedir [21].

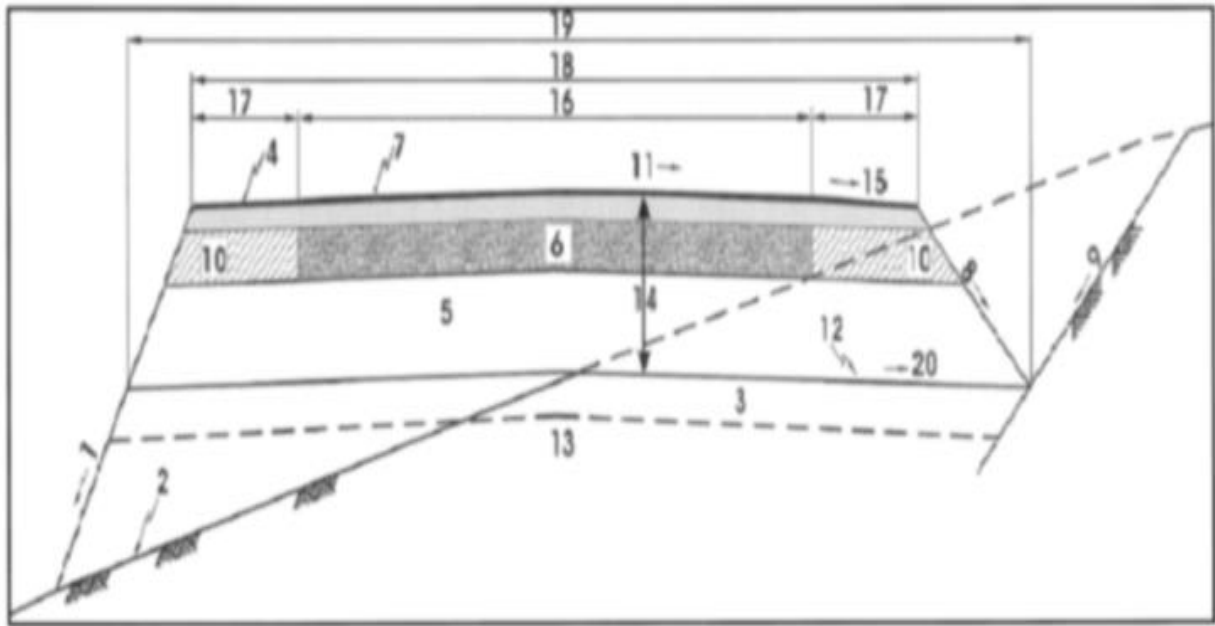
Yol altyapısı trafikten oluşacak yükleri yol üstyapısından alarak zeminde daha geniş bir alana yaymak ve istenilen kotta düzgün bir yüzey elde etmek amacıyla yapılır. Bundan dolayı altyapıda kullanılacak zeminin, trafik yüklerine, don ve su etkilerine karşı dayanıklı olması gerekmektedir [22].

1.1.2. Karayolu Üst Yapıları

Üstyapı, trafik yüklerini azaltarak geniş bir alana yayıp altyapıya aktarmak, altyapıyı çeşitli etkilerden koruyarak düzgün bir yuvarlanma yüzeyi sağlamak amacıyla altyapı üzerine inşa edilen alt temel, temel ve kaplamalardan oluşan tabakalı yol yapısıdır [23, 24].

Kaplama tabakası, üst yapının en üst tabakası olmakla beraber taşıtlara uygun bir yüzey sağlamak, trafiğin yükünü alt tabakalara aktarmak, aşındırma kuvvetlerine karşı koymak, kayma gerilimlerini azaltmak ve yapı içerisine sızan yüzeysel su miktarlarını en aza indirmek amacıyla inşa edilir. Kaplama altına inşa edilen temel tabakası, bağlayıcı veya bağlayıcısız madde ile karıştırılmış belirli granülometriye sahip malzemelerden oluşur. Üst yapının yük taşıma direncini arttırmak temel görevidir. Trafiğin hareketlerinden doğan kayma direncini karşılamak ve don olaylarına karşı koruma sağlamak amacıyla inşa edildiğinden bu etkilere karşı dayanıklı olması gerekmektedir. Alt temel ise, trafik yüklerinin tabana yayılmasını sağlamak, su geçirimsizliğini sağlamak, don ve su etkilerine karşı direnç sağlamak amacıyla alt temel üzerinde tesviye ile düzeltilen yüzeye inşa edilmektedir [23, 25].

Karayolu üst yapısı rijit, kompozit ve esnek olmak üzere üç farklı şekilde yapılabilmektedir [26].



- | | |
|----------------------|---------------------------------|
| 1- Dolgu Şevi | 11- Yolun Enine Eğimi |
| 2- Doğal Zemin | 12- Tesviye Yüzeyi |
| 3- Üstyapı Tabanı | 13- Yol Gövdesi Taban Zemini |
| 4- Banket Kaplaması | 14- Üstyapı Proje Kalınlığı |
| 5- Alttemel Tabakası | 15- Banket Eğimi |
| 6- Temel Tabakası | 16- Trafik Şeritleri Genişliği |
| 7- Kaplama Tabakası | 17- Banket Genişliği |
| 8- Hendek Şevi | 18- Yol (Platform) Genişliği |
| 9- Yarma Şevi | 19- Üstyapı Tabanı Genişliği |
| 10- Banket Temeli | 20- Taban Yüzeyinin Enine Eğimi |

Şekil 1.1. Yol Üst Yapısı Tip Enkesiti [20]

1.2.2.1. Rijit Üstyapı

Rijit kaplamalar alt temel tabakası üzerine inşa edilmiş beton plaklardan oluşmaktadır. Rijit üstyapı zeminin üstüne serilmiş granüler alttemelle veya temel üzerine yapılmış grobeton üzerine donatısız veya donatılı olarak beton plaklarla inşa edilir [23, 27].

1.2.2.2. Kompozit Üstyapı

Kompozit kaplamalar bozulmuş beton kaplamalar üzerine bitümlü sıcak karışım takviyesiyle veya zamanla bozulmuş esnek kaplamalar üzerine beton kaplama inşa edilerek elde edilir [26].

1.2.2.3. Esnek Üstyapı

Esnek kaplamalar çok tabakalı yapılardır. Alt tabakaları granüler malzemeden oluşan ve dren kabiliyeti yüksek, üst tabakaları ise bitümlü karışımlarla yapılan stabilitesi yüksek ve konforlu bir sürüş olanağı tanıyan kaplamalardır [26]. Esnek üstyapı, özellikleri belirlenmiş malzemelerden oluşan tabakalardan oluşur. Oluşan tabakaların kalınlıkları, taşıt trafiği yüklerine ve tabanın taşıma gücüne bağlı olarak hesaplanır [23, 27].

1.2.2.3.1 Alt Temel Tabakası

Alt temel tabası esnek kaplamaların en alt tabakası olup düşük taşıma gücüne sahip ancak iyi dren olabilen, şişme, büzülme ve don kabarması gibi hacim değişikliklerine karşı koyabilen ve kaplamanın taşıma gücünü arttıran granüler malzemeden yapılmaktadır [10, 26]. Alt temel tabakasında genel olarak yerel malzemeler ve yol yapımı inşaatlarında kullanılmaya elverişli olan malzemeler yani inşaat atıkları, cüruf ve moloz kullanılmaya çalışılır [28].

1.2.2.3.2. Temel Tabakası

Temel tabakası esnek üstyapısında, kaplama tabakasının altına inşa edilir ve daneli veya uygun bir bağlayıcı malzeme ile karıştırılan çakıl, cüruf veya kırma taş ile işlem görmüş tabakadır. Temel olarak birden fazla tabaka yapılabilir. Temel tabakasının en önemli görevi kaplama tabakasına dayanak olarak üst yapının taşıma gücünü arttırmaktır [29]. Temel tabakaları; trafik

yüklerinden doğan kayma gerilmelerine ve don etkilerine karşı koyabilmeli, drenaja yardımcı olabildiği gibi yüksek nem oranında dengede kalabilmelidir.

Temel tabakaları trafik hacmine göre plent-miks temel, granüler temel ve çimento esaslı bağlayıcılı granüler temel olmak üzere üç farklı şekilde yapılabilir [10].

Granüler temel (GT); kırılmış çakıl, çakıl, kırmataş veya kırılmış cüruf ile ince boyutlardaki malzemenin, istenilen gradasyon ile sınırları içerisinde sürekli gradasyon oluşturacak şekilde su ile karıştırılması ile elde edilir. Taşıma gücü yeterli olan taban veya alt temel üzerine bir veya birkaç tabaka şeklinde serip sıkıştırma ile oluşturulur [10].

Plent-miks temel (PMT); belirlenmiş fiziksel şartlara uygun ve iyi derecelendirilmiş gradasyona sahip, en az üç farklı tane boyutundaki çakıl, kırılmış taş, kırılmış cüruf ve kırmataş ile ince boyutlardaki malzemenin plent içerisinde uygun miktarda su ile karıştırılıp yüzeye projesinde belirlenen enkesit, plan ve görünüşe uygun olarak bir veya birkaç tabaka şeklinde yola serilmesi ile oluşturulur [10].

Çimento esaslı bağlayıcılı granüler temel (ÇBGT); kırılmış çakıl, çakıl, kırmataş, cüruf ve ince malzeme kullanılarak içerisinde uygun oranlarda çimento ve su ile plent içerisinde karıştırılarak elde edilir ve taşıma gücü yeterli alt temel üzerine bir veya birkaç tabaka halinde serilip sıkıştırılması ile oluşan tabakadır [10]. Özellikle otoyol gibi yüksek standartlı yollarda yüksek stabiliteli bir temel olarak kullanılmaktadır.

1.2. Karayolu Üstyapısının Görevleri

Trafik yükü ile oluşan gerilmeleri karşılayarak tabakalara dağıtmak ve tabanda bulunan toprağa gelen yükün fazla olmasını önlemek, üzerinde düzgün bir yüzey elde ederek trafiğin akışını hızlandırmak ve yolun gövdesinin doğa ve çevrenin bozucu kuvvetlerine karşı koruyup don ve buzlanma etkilerine karşı korumak amacıyla inşa edilir [30].

1.3. Kaplama Türü Seçimi

Karayolu üst yapısının en üst tabakası olan kaplamaların türü seçilirken ekonomiklik, güvenlik, konfor, trafik yükü, çevre ile uyum, gürültü miktarı, estetiklik, bakım ve onarım maliyetleri gibi ölçütler esas alınarak değerlendirilme yapılır ve kaplama türü seçilir. Bu seçimler yapılırken her bölge için ayrı ayrı değerlendirme yapılmalıdır [31].

Esnek üst yapısı tabakaları düşük standartlı esnek üst yapılar (sathi kaplamalar, koruyucu sathi kaplamalar ve makadam temeller) ve yüksek standartlı esnek üst yapılar (bitümlü sıcak karışım tabakaları) olarak sınıflandırılmıştır [8, 32].

Sathi kaplamalar yolun üzerinde kullanım süresi boyunca tek yönde toplam standart dingil (8,2 ton) sayısı 2×10^6 'dan az olan yollarda uygulanır. Toplam standart dingil sayısı 2×10^6 ile 3×10^6 arasında ise bitümlü sıcak kaplama uygulanır veya ekonomikliğin istendiği ve proje ömrü kısa olduğu yollarda çift kaplı sathi kaplama yapılabilir. Eğer proje süresi boyunca toplam dingil (8,2 ton) sayısı 3×10^6 'dan fazla ise kaplama olarak asfalt betonu kullanılmalıdır [8, 32].

1.4. Bitümlü Karışım Tabakaları

Bitümlü karışımlar sabit veya hareketli asfalt plentinde tasarımına göre saptanmış iri agregası, ince agregası ve fillerin asfalt bağlayıcı ile sıcak bir şekilde karıştırılarak yola nakledildikten sonra yolda sıcak olarak sıkıştırılmalarına veya hareketli veya sabit bir plent içerisinde karıştırılarak yolda soğuk olarak sıkıştırılmalarına göre bitümlü sıcak karışımlar ve bitümlü soğuk karışımlar olarak ikiye ayrılmaktadır. Bitümlü sıcak karışımlar üretilirken hem agreganın hem de kullanılacak asfalt bağlayıcının uygun ısıya kadar ısıtılması gerekmektedir. Ülkemizde genel olarak bitümlü sıcak karışımlar kullanılmaktadır. Bitümlü soğuk karışımlar ise acil onarım işlerinde, asfalt plentinin olmadığı veya ekonomik olmadığı durumlarda kullanılmaktadır [26, 33]. Bitümlü soğuk karışımlar hem pahalı hem de düşük stabiliteli karışımları olduğunda pek fazla kullanılmamaktadır [26].

1.4.1. Bitümlü Sıcak Karışımlar

Ülkemizde bitümlü sıcak karışımlar kaplama tabakalarında aşınma, binder ve bitümlü temel tabakalarında kullanılmaktadır [26]. BSK'lar trafik yükünün ağır olduğu yollarda, otoyollarda ve havaalanları pistlerinde uygulanmaktadır [18, 20]. Bitümlü sıcak karışımlar taşıt yüklerini taşıyacak yeterli stabiliteye, çevre ve trafiğin aşındırma ve deformasyon dirençlerine karşı dirençli olmalıdır. Belli bir esnekliğe sahip olmalı kalıcı deformasyonlara karşı dirençli olmalı, kırılmalı olmamalıdır. Kayma direnci ve yorulma mukavemeti yüksek olmalıdır. Ayrıca yüzey sularının temel ve zemine sızmasını önleyici yapıda ve ekonomik olmalıdır [26, 33].

Türkiye’de kullanımını en önde gelen ve her yerde bulunan kaplama malzemesi, bitümlü sıcak kaplamalar ve sathi kaplamalardır. Bitümlü sıcak karışımlar içerisinde kullanılan agregaların gradasyonlarına göre 3 tiptir.

Kesikli Gradasyonlu; yüksek oranda iri agrega içeren ve boşluk yüzdesi az olan karışımlardır. Belli elek aralığındaki agrega miktarı yok denecek kadar azdır. Taş mastik asfalt kesikli gradasyona göre imal edilmektedir. Bu tip karışımların mukavemeti yüksek, tekerlek izi oluşumuna karşı dirençli, bitüm oranı yüksek olduğundan durabiliteleri çok yüksek karışımlardır [18, 20, 22].

Sürekli ve Yoğun Gradasyonlu Karışımlar; agrega karşımı her elek aralığındaki malzemelerin karışımından oluştuğundan boşluk oranı az veya başka bir deyişle yoğunluğu maksimumdur. Asfalt betonu, bitümlü makadam ve bitümlü temel bu gradasyona uygun imal edilmektedir. Ülkemizde BSK tiplerinden genel olarak sürekli ve yoğun gradasyonlu karışımlar kullanılmaktadır [8, 34, 35, 36].

Açık Gradasyonlu Karışımlar; boşluk oranı ve kaba agrega oranı fazla, ince agrega oranı çok az olan karışımlardır. Başka bir deyişle boşluklu ve sürekli bir gradasyona sahiptirler. Poroz asfaltlar bu gradasyona göre imal edilir ve genellikle düşük standartlı yolların temel tabakalarında kullanılır. Boşluk oranının fazla olması sebebiyle üzerine gelen yağmur veya yüzey sularını depolayıp uygun sistemlerle kaplama dışına atarak yağmurlu havalarda kayma tehlikesini azaltmaktadır [34, 35].

Tek Boyutlu (Üniform) Gradasyonlu Karışımlar; yaklaşık olarak aynı boyutlarda bulunan agregalardan oluşan karışımlardır. Düşük standartlı kaplamalarda, sathi ve koruyucu örtü tabakalarında kullanılmaktadır [26].

Bitümlü sıcak karışımların yol üst yapılarında kullanımının en fazla olmasının sebepleri servis ömrünün uzun olması, sürüş konforunun yüksek olması, stabilite, durabilite, tekrar onarım maliyetinin düşük olması, işlenebilirliği, yorulma mukavemetinin yüksek olması, geçirimsizlik ve su etkilerine karşı dayanımının yüksek olmasıdır [37]. Esnek kaplamalar her ne kadar avantajlı olsa da trafiğe açıldıktan sonra trafiğin etkisi, iklim ve çevrenin etkisi, yapım ve tasarım hatalarının etkisi ve malzeme hatalarının etkisiyle meydana gelen kusurlarla beraber dezavantajları da oluşturmaktadır. Tekerlek izi oluşumu, yüzey bozuklukları, bölgesel çökme ve oturmalar, dalgalanma veya yığılmalar, kabarmalar kaplama üzerinde meydana gelen

deformasyon; çukur oluşumu, tabaka veya parça halinde sökülmeler ve oluşan kaygan yüzeyler ayrışım; stabilite, yorulma ve yansıma çatlakları ise çatlak oluşum çeşitleridir [26].

1.5. Taş Mastik Asfalt

Taş mastik asfalt (TMA), bitümlü kaplamalarda meydana gelen tekerlek izi oluşumunu azaltmak amacıyla geliştirilen bir esnek kaplama çeşididir. Yüksek miktarda kaba agregaya (% 70-80) içeren, % 6-7 oranında bitümlü bağlayıcı ve % 8-14 oranında filler ile çok az oranda ince agregaya ve fiber malzemeden üretilir. Açık gradasyona sahip agregaya karışımı kullanılmakta beraber sıcak olarak karıştırıldıklarından sıcak karışımlar grubunda yer almaktadır [5, 6].

Mineral agregaya, filler malzeme dâhil en az 4 ayrı agregaya kümesinin belli oranlarda karıştırılmasıyla oluşan TMA, bitümlü malzeme ile karıştırıldığında agregaya, üniform olarak dağılır [10]. Agregaya karışımının tasarımının gradasyon ve tolerans limitleri aşağıda verilmiştir.

Çizelge 1.2. Taş Mastik Asfalt Aşınma Gradasyonu ve Tolerans Sınırları [10]

Elek Boyutu		TMA TİP-1		TMA TİP-2	Tolerans Limitleri
		A	B		
in, No	mm	Geçen %	Geçen %	Geçen %	%
3/4"	19,0	100	100		
1/2"	12,5	90-100	90-100	100	± 4
3/8"	9,5	50-75	50-67	90-100	± 4
No.4	4,75	25-40	25-35	25-45	± 3
No.10	2,00	20-30	20-30	20-30	± 3
No.40	0,425	12-22	12-22	12-22	± 3
No.80	0,180	9-17	9-17	9-17	± 3
No.200	0,075	8-12	8-12	8-12	± 2

Çizelge 1.3. Taş Mastik Asfalt Binder Gradasyonu ve Tolerans Sınırları [10]

Elek Boyutu		TMA Binder	Tolerans Limitleri
in, No	mm	Geçen %	%
1"	25,0	100	
3/4"	19,0	92 - 100	± 4
1/2"	12,5	73 - 83	± 4
3/8"	9,5	56 - 66	± 4
No.4	4,75	32 - 42	± 3
No.10	2,00	25 - 30	± 3
No.40	0,425	14 - 20	± 3
No.80	0,180	9 - 15	± 3
No.200	0,075	7 - 11	± 2

Kullanılan kaba agrega No.4 elek üzerinde kalan temiz, sert, dayanıklı olmalı ve kil toprakları, organik malzemeler, zararlı ve gevrek malzemeler içermemelidir. Aşınma tabakalarının kaba agregaları yüksek kaliteli magmatik kayalar, granit ve bazaltın kırılmasıyla elde edilen agregalardan oluşmalıdır [10]. Kaba agrega aşağıda verilen limit ve standartlara uygun olmalıdır.

Çizelge 1.4. Taş Mastik Asfalt Üretiminde Kullanılan Kaba Agrega Özellikleri [10]

Deney	Şartname Limitleri ^c	Deney Standardı
Parçalanma Direnci (Los Angeles), % Kayıp	≤ 25 (LA ₂₅)	TS EN 1097-2 ^a AASHTO T 96
Aşınma Direnci (Micro-Deval) ^b , % Kayıp	≤ 20 (M _{DE 20})	TS EN 1097-1
Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık, (MgSO ₄ ile kayıp), %	≤ 14 (MS ₁₄)	TS EN 1367-2
Yassılık İndeksi, %	≤ 25	BS 812
	≤ 20 (FI ₂₀)	TS EN 933-3 ^a
Cilalanma Değeri, %	≥ 50 (PSV ₅₀) ≥ 40 (PSV ₄₀) binder için	TS EN 1097-8
Kırılma, ağırlıkça, % (Tüm yüzeyi kırılmış – tüm yüzeyi yuvarlak)	≥ 100 - ≤ 0 (C ₁₀₀₀)	TS EN 933-5
Soyulma Mukavemeti (Bitüm Kaplı Yüzey), % (24 saat 60 °C suda bekletmeden sonra)	≥ 60	TS EN 12697-11 (Kısım403 EK-A)
Su Emme, %	≤ 2,0 (WA ₂₄)	TS EN 1097-6
Kil Topakları ve Ufalanabilir Daneler, %	Bulunmayacak	ASTM C 142 AASHTO T 112

^a Referans metot.
^b Gerek görüldüğünde yapılacaktır.
^c Parantez içindeki ifade, şartname değerinin TS EN 13043 'deki sınıfını gösterir.

İnce agregalar No.4 elek üzerinden geçen malzeme; sert ve dayanıklı olmalı ve gevrek, organik ve zararlı madde içermemelidir [10]. İnce agregalara aşağıda verilen limit ve standartlara uygun olmalıdır.

Çizelge 1.5. Taş Mastik Asfalt Üretiminde Kullanılan İnce Agreganın Özellikleri [10]

Deney		Şartname Limitleri	Deney Standardı
Plastisite İndeksi		N.P.	TS-1900-1
Organik Madde, %		Negatif	TS EN 1744-1 Madde 15.1
Su Emme, %		$\leq 2,0$ (WA ₂₄)	TS EN 1097-6
Metilen Mavisi, g/kg	İnce agreganın 0/2 mm kısmına	$\leq 1,5$ (MB _{1,5}) $\leq 3,0$ (MB _{3,0})*	TS EN 933-9
	Öğütülmüş magmatik agreganın 0/2 mm kısmına	$\leq 3,0$ (MB _{3,0})*	
* Magmatik kökenli kayalarda, şantiye konkasöründe üretilmiş ince agregada istenen şartname değerinin sağlanamaması durumunda bu şart aranacaktır.			

Mineraller filler gerek görülmesi halinde uygun gradasyonu yakalamak amacıyla agregaya eklenebilmektedir. İlave edilen mineral filler; taş tozu veya sönmüş kireçten oluşabilmektedir. Kullanılacak mineral filler malzeme içerisinde topak, kil, organik madde ve zararlı maddeler olmamalı ve kuru olmalıdır [10]. Mineral filler aşağıda verilen limit ve standartlara uygun olmalıdır.

Çizelge 1.6. İlave Mineral Filler Gradasyon Limitleri [10]

Elek Boyu		Geçen %
in, No	mm	
No.40	0,425	100
No.80	0,180	85-100
No.200	0,075	70-100

Taş mastik asfalt üretiminde TS EN 12591 standardına uygun olarak Pen. 40/60 veya pen. 50/70 bitüm veya uygun polimer modifiye bitüm kullanılmaktadır. Kullanılacak bitüm sınıfı bölgeler arası fark oluşturduğundan her bölge için ayrı bir bitüm sınıfı seçilebilmektedir. TMA üretiminde karışımdaki bitümün drenajını engellemek amacıyla elyaf kullanılmaktadır. TMA aşınmada ilave edilen elyaf miktarı karışım ağırlığının % 0,3-1,0'i, TMA binderde ilave edilen elyaf karışım ağırlığının % 0,2-0,8'i oranında veya imalatçı tarafından önerilen oranda karışıma

elyaf eklenmektedir. Elyaf stabilizör, selüloz veya mineral elyaf olmalıdır. Elyaf silodan otomatik sistemler karıştırıcıya eklenmektedir [10]. Kullanılacak elyaf aşağıda verilen limit ve standartlara uygun olmalıdır.

Çizelge 1.7. Mineral Elyaf Özellikleri [10]

Fiber Uzunluğu (maksimum)	6 mm
No.40 (0,425 mm) elekten geçen	% 95 (min.)
No.200 (0,075 mm) elekten geçen	% 65 (min.)

1.5.1. TMA Gelişimi

Almanya'da 1960'lı yılların sonunda geliştirilen çivili otomobil lastiklerinin kullanılmasıyla asfalt aşınma tabakalarında hasarlar oluşmaya başlamıştır. Meydana gelen bu büyük hasarlar yeni bir asfalt kaplama anlayışının gelişmesine neden olmuştur. Tekerlek izi oluşumunu önlemek amacıyla ilk olarak asfalt betonunu iyileştirme tabakaları uygulansa da istenilen başarı elde edilememiştir [38]. Bu hasarları azaltmak amacıyla ilk olarak 1966 yılında Almanya'da Splitt Mastik Asphalt üretilip kullanılmaya başlanmış daha sonra İsveç, Fransa, Hollanda ve İsviçre'de kullanılmıştır [16, 34]. Ayrıca elle serilen mastik asfalt ilk kez 1835 yılında Paris'te kaldırım kaplaması malzemesi olarak kullanılmış ve 1870 ile 1873 yılları arasında Lombard Street, Moorgate Street ve Carter Lane caddelerinde mastik asfalt kullanılmıştır [39].

1970'lerde Almanya'da çivili lastik kullanımı yasaklanmış ve malzeme maliyeti ve yapım maliyetli sebebiyle taş mastik asfalt kullanımı azalmıştır. Fakat ağır trafik yükü ile artan dingil yükü ile beraber yollarda oluşan tekerlek izi büyük bir sorun haline gelmiştir. Almanya'da üretilen TMA karışımların diğer karışımlara oranla daha az deformasyona uğramasının gözlenmesi ile TMA karışımlar tekrardan kullanılmaya başlanmış ve 1984 yılında teknik şartnamesine girmiştir ve 2001 yılına kadar Almanya'da 250 milyon m³ TMA uygulaması yapılmıştır [40].

1974 yılında İsveç'te bazı yol kesimleri EAPA (European Asphalt Pavement Association; Avrupa Asfalt Üstyapı Birliği) tarafından TMA ile kaplanmış olup alınan olumlu sonuçlarla beraber birçok Avrupa ülkesinde TMA kullanımı başlamıştır. İsveç'te ilk olarak 1974 yılında kullanılan TMA 1988 yılından bu yana standart aşınma tabakası olarak kullanılmaktadır [8, 41,

41, 43, 44]. 1982'de Danimarka'da, 1983'de Macaristan'da, 1985'te Norveç'te, 1987'de Hollanda'da, 1991'de İtalya ve Çek Cumhuriyeti'nde ve 1994 yılında Portekiz'de yüksek trafik hacmine sahip yollarda, havaalanlarında ve endüstriyel alanlarda kullanılmaya başlanmıştır [8, 45].

Çizelge 1.8. TMA'nın Ülkeler Arası Gelişimi [45]

	Toplam Uygulama alanı, Milyon m ²	2003 yılında üretilen Asfaltın %'si olarak	2003 yılında uygulanan Alan, milyon m ²
Almanya		9	58
Avusturya		10	15
Belçika		16	8,5
Çek Cumhuriyeti		10	4
Danimarka	22,4	4,3	1.4
Estonya	1,35	5	0,4
Finlandiya		6,6	
Fransa	18		4
Hırvatistan		65	
Hollanda		8,8	
İrlanda		2,5	0,74
İsveç		20	15
İzlanda		5	
Macaristan		4,95	
Norveç		3	
Polonya	33,2	9	10
Slovakya		5,7	0.65
Slovenya		5	1
Türkiye	2,72	0,01	0,012

1974 yılında İsveç'te bazı yol kesimleri EAPA (European Asphalt Pavement Association; Avrupa Asfalt Üstyapı Birliği) tarafından TMA ile kaplanmış olup alınan olumlu sonuçlarla beraber birçok Avrupa ülkesinde TMA kullanımını başlanmıştır. İsveç'te ilk olarak 1974 yılında kullanılan TMA 1988 yılından bu yana standart aşınma tabakası olarak kullanılmaktadır [8, 41, 41, 43, 44]. 1982'de Danimarka'da, 1983'de Macaristan'da, 1985'te Norveç'te, 1987'de

Hollanda'da,1991'de İtalya ve Çek Cumhuriyeti'nde ve 1994 yılında Portekiz'de yüksek trafik hacmine sahip yollarda, havaalanlarında ve endüstriyel alanlarda kullanılmaya başlanmıştır [8, 45].

EAPA'nın 2010 verilerine göre Avrupa'da en çok TMA kullanımı sıralaması; Danimarka, Lüksemburg, İsveç, Belçika, Almanya, İzlanda ve Hollanda'dır. Günümüzde ise bütün Avrupa ülkeleri TMA kullanmaktadır [8,46].

Türkiye'de TMA uygulaması ilk kez 1998 yılında KGM sorumluluğunda başlamıştır. Karayolları Genel Müdürlüğü 1977 yılında Almanların TMA şartnamesinden faydalanarak Türkiye için ilk kez TMA şartnamesini yayınlamıştır. Bu yıllarda TMA'nın maliyetinin yüksekliği, yüklenici firmaların TMA'yı bilmemesi, TMA maliyetinin birim fiyatının hesaplanmasında yaşanan zorluklar, modifiye bitüm üretimindeki ve üretimi için gerekli malzemelerin teminindeki zorluklar nedeniyle TMA çok fazla kullanılamamıştır [8, 9, 47, 48, 49]. Türkiye'de ilk TMA deneme kesimlerini sıralayacak olursak;

- Polatlı-Sivrihisar Yolu(1999)
- Ankara Bala Ayrımı-Kulu Ayrımı Devlet Yolu(1999) kesimleridir.

Bunların dışındaki uygulamaları sıralarsak;

- Pozantı-Tarsus Otoyolu
- Tarsus-Mersin Otoyolu
- Tarsus-Adana-Gaziantep Otoyolu
- Gebze-İzmir Otoyolu
- Haydarpaşa-Gebze Ekspres Yolu
- Alanya-Antalya Devlet Yolu
- İzmir Çevre Otoyolu
- Adana-Mersin-Tarsus Devlet Yoludur.

1.5.2. TMA Üretimi

Avrupa ülkelerinde beton asfalt karışımları kesikli karışım tesislerinde veya sürekli karışım tesislerinde üretilmektedir. Örneğin Almanya'da sadece kesikli karışım tesislerinin kullanılmasına izin verilmekte Fransa'da ise sürekli karışım tesislerinin kullanımının sıklığı arttığından sürekli karışım tesislerinde üretilmektedir [5].

TMA karışımları genellikle yoğun gradasyonlu beton asfalt karışımlarının üretimi ile benzeşmektedir. TMA karışımların istenilen kalitede üretimi, üretim yapılırken ki hassasiyete bağlıdır [4]. Bu nedenle TMA karışımlar harman (batch) tip karıştırıcılarda üretilmektedir. Çünkü en hassas ve en iyi sonuçlar harman tip plantten sağlanmaktadır. Bu nedenle en yüksek standartlı yol ve otoyollarda harman tip plant kullanılmaktadır [8]. İçerisinde bulunan hassas tartı, TMA içerisinde kullanılan elyaf ve diğer katkı malzemeleri ile fiber ilavesinin ölçümleri daha hassas yapılabilmektedir [16]. TMA karışımlarının kaliteleri, karışımların hazırlanma aşamalarındaki sürelerle ve sıcaklıklara bağlıdır. Aşağıdaki tabloda TMA üretimi için önerilen işlemler ve karışım zamanları verilmiştir [50].

KTŞ 408. kısımda TMA karışımların üretim şartları aşağıdaki gibi açıklanmıştır[10].

Çizelge 1.9. TMA Üretimi İçin Önerilen İşlemler ve Karışım Zamanları [50]

TMA Üretimi İçin Önerilen İşlemler ve Karışım Zamanları	
Kaba ve İnce Agregalar	15 Saniye
Filler	20 Saniye
Selüloz Fiber	15 Saniye
Bağlayıcı	15 Saniye
İlave Karıştırma Zamanı	10 Saniye
Boşaltma Zamanı	8 Saniye
Toplam Karıştırma Süresi > 53 Saniye	

Mineral agregata ile bitümlü bağlayıcı plent içerisinde 165°C ile 180°C'lik bir karışım sıcaklığı oluşacak şekilde bir sıcaklıkta karıştırılacaktır. Filler malzeme ile elyaf katkı malzemesini istenilen ağırlıkta ekleyecek donanıma sahip plent kullanılmalıdır.

Kullanılacak elyaf katkı malzemesi için kuru depolama yapılacak yeterli miktarda alan ve karışıma istenilen oranda ve üniform olarak verilmesi için uygun önlemler alınması gerekmektedir. Elyaf plentte bulunan karıştırıcıya otomatik olarak ve tartım sistemi ile doğrudan eklenmesi gerekmektedir. Elyaf üreticisinin belirttiği veya şartnamede belirtilen değerler esas alınarak elyafın karışıma ilave edilme süresi ve ilave edildikten sonraki karıştırma süreleri belirlenmelidir.

Plentte üretilen karışım üzerinde yapılacak bitüm süzülme deneyi günde en az iki kez numune alınarak yapılmalıdır. Maksimum süzülme miktar % 0,3 olmalıdır.

Sıcak karışım depolama silolarında, sıcak karışım depolanabilecektir. Karışımların depolama siloları, yalıtım donanımları ve uygun ısıtma sistemi ile döşenmiş olmalıdır. İdare'nin belirttiği zaman sınırlamalar içerisinde bekletme zamanı olmalıdır. Taş mastik asfalt ne koşulda olursa olsun depoda bir gün sonra veya gece boyunca kaplanması için bekletilmemelidir. Sericiye verilen karışım sıcaklığı en az 145°C olmalıdır ve sericiye boşaltılmadan hemen önce kamyon içerisinde ölçülmesi gerekmektedir. Karışımın serim sıcaklığı en az çevre sıcaklığı gölgede ölçümle 10°C olmalıdır.

Serilen karışım üzerine sabit ağırlığı en az 10 ton olan ve minimum iki adet çelik bandaj içeren silindir ile sıkıştırılmalıdır. Karışım sıcaklığı 145°C'ye ulaşmadan silindirleme işlemine başlanmalıdır. Lastik tekerlekli silindirler TMA üzerinde kullanılmamalıdır. Kullanılan silindirler sericiye maksimum 100 metre mesafe içerisinde çalıştırılmalıdır. Vibrasyon sıkıştırma esnasında kullanılmamalıdır. Karışımın bandajlara yapışmamasını sağlamak amacıyla, silindirlerde sulama sistemi olmalıdır. Silindir izleri kaybedilinceye kadar silindirleme işlemi yapılmaya devam edilmelidir. Karışım sıcaklığı 115°C olmadan önce silindirleme işlemi yapılmaya devam edilmelidir. Çok fazla silindirleme işlemi karışım içerisindeki bitümlü karışımı ve filleri yüzeye çıkaracağından yerinde yoğunluk sağlandığı anda silindirleme işleminin durdurulması gerekmektedir. Yüklenici sıkıştırma işlemi esnasında istenen minimum yoğunluğu elde ettiğinden emin olmak için nükleer yoğunluk ölçme aleti ile yoğunluğu takip etmelidir.

Karışımında modifiye bitüm kullanılacak ise modifiye bitüm üreticisinin önerisine göre sıkıştırma ve karıştırma sıcaklıkları ayarlanmalıdır. Eğer karışım plent içinde modifiye

edilecekse, kullanılan katkıının üretici firmasının önerilerine göre karıştırma süreleri, sıkıştırma sıcaklıkları belirlenmelidir.

Taş mastik asfaltın tabaka kalınlığı aşınma Tip-1 için 35-50 mm, aşınma Tip-2 için 25-40 mm olması gerekmektedir. Sıkışma miktarı en az % 98, en fazla % 100 olmalıdır. Sıkıştırılmış malzeme içerisindeki hava boşlukları oranı % 5'ten az olmalıdır. Taş mastik asfaltın binder tabakasının sıkıştırıldıktan sonraki kalınlığı 60-100 mm arasında olmalıdır. Sıkışma miktarı en az % 98, en fazla % 100 olmalıdır. Sıkıştırılmış malzeme içerisindeki hava boşlukları oranı % 5,5'ten az olmalıdır.

1.5.3. TMA Uygulama Alanları

TMA kaba agrega oranı yüksek, filler ve bağlayıcı içeriğe sahip boşluklu bir karışımdır. Sahip olduğu bu farklı içerik ile stabilite ve performans açısından daha üstün nitelikli bir aşınma tabakası elde edilir. Dolayısıyla TMA kalıcı deformasyonlara ve aşınmaya karşı daha dirençli, homojen ve geçirimsiz oluşu nedenleriyle yüksek kaliteli bir kaplama tabakası olarak kullanılmakla beraber sağladığı yüksek kaliteli dayanımı ve kalıcı deformasyonlara karşı yüksek performans ile çatlak oluşumuna yüksek direnç gösterir [8, 51].

TMA genellikle anayol projelerinde uygulanmaktadır. Asfalt betonuna göre pahalı görünmesine karşın kullanım ömrü yönünden daha ekonomiktir. TMA tipini seçerken maksimum dane boyutunu küçültme eğilimi vardır. Bunun nedeni kalınlık azaldığından, birim maliyetinin azalması, trafik altında daha az ses oluşması daha yüksek kayma direncidir [38].

TMA kaplamalar yüksek direnç ve performans sebebiyle havaalanlarında kullanılması yaygınlaşmaktadır. Almanya'da bulunan Fraport Havalimanı, Oslo'da Gardermon ve Güney Afrika'da Johannesburg Havaalanlarında TMA kullanılmıştır. Özellikle Fraport Havalimanı yılda 200.000'den fazla uçak iniş-kalkış miktarına sahip dünyanın en büyük havalimanlarından biridir. Burada uygulanan TMA kaplaması sasobit ile modifiye edilmiştir [8, 44].

Köprü döşemelerinde kullanılacak kaplamalar soğuma ve ısınma etkilerine karşı daha hassastır. Kış şartlarından kaynaklanan buzlanma, hızlı ve yoğun bir şekilde kendini gösterir. Dolayısıyla köprü kaplamalarından yorulma direncine karşı yüksek dayanımlı modifiyeli yüksek bağlayıcı oranına sahip mastik asfalt kullanılır. Danimarka, Hollanda ve Polonya gibi ülkelerde, ince taneli TMA kullanılmaktadır [8, 44].

Çivili lastik kullanımının yasal olduğu ülkelerde yol kaplaması olarak aşınmaya karşı dirençli TMA kullanılmaktadır [8, 52].

Kısaca belirtmek gerekirse TMA her türlü yollar için aşınma tabakası olarak uygundur ve bu yöntem ağır trafik yüküne sahip otoyollarda, şehirlerarası ekspres yollarda, havaalanları kaplamalarında ve köprü kaplamalarında kullanılabilir.

1.5.4. TMA Avantaj ve Dezavantajları

TMA yüzey performansı, çevresel etkileri, durabilitesi ve kullanım ömrü-maliyeti dikkate alındığında ve diğer bitümlü sıcak karışımları ile karşılaştırıldığında çok daha üstün özellikler sergilediği söylenebilir [40].

TMA kaplamalarında Los Angeles aşınma değeri düşük agregalar kullanıldığı ve bol miktarda kaba agrega içerdiği için deformasyona karşı dirençlidir. Aşınma tabakalarında kullanılan agregaların soyulma direncinin fazla olması sebebiyle trafik, hava, su ve sıcaklık değişikliklerinin etkilerine karşı daha dayanıklıdır. Boşluk oranı düşük karışımlar olduğundan oksitlenmeye ve yaşlanmaya karşı direnci yüksektir. Yüksek oranda bitümlü bağlayıcı içermesi sebebiyle daha esnek bir yapıya sahip olan TMA karışımları çatlamaya karşı daha dirençli ve düşük ısıda daha iyi performans göstermektedir [5, 6].

Geleneksel beton asfalt kaplamalarda agregalar arası temas yoktur ve agregalar yüzer durumdadır. Fakat TMA'da agregalar arası temas olduğundan iskelet bir yapı oluşur ve bu da iç direnci yüksek bir kaplama ortaya çıkarır. Geleneksel asfalt kaplamalara göre daha ince bir kalınlığa sahip olduğundan daha düşük maliyetli ince bir kaplama tabakası elde edilebilir. Örneğin Almanya'da yapılan TMA karışımları 25 mm – 40 mm olup, geleneksel kaplamalar 40 mm aşınma tabakası, 60 mm binder tabakası olmak üzere 100 mm kalınlığında yapılabilmektedir [5,53].

Makro dokusu yüksek bir kaplama oluşturduğunda ışık yansıtma olayı meydana gelmez. Aynı şekilde makro dokusu yüksek olduğundan akışta ve eğimde savrulmaya karşı dirençlidir. İnce tabaka halinde kullanılan TMA karışımların üstün hizmet ömrüne sahip olması ve düşük bakım ihtiyacı, maliyet bakımından avantajlıdır [5, 54]. Ayrıca uzun hizmet ömrü ve düşük bakım ihtiyacı gerektirdiğinden uzun vadede yol trafiğe daha az kapatılır ve trafik sıkışıklığı önlenir. Böylece trafikte bekleyen araç sayısı azalır ve araçlardan çıkan kötü gazların ortaya çıkma oranı azaldığından hava kirliliği azalmaktadır [8, 55].

Kullanıldığı alanlarda birçok avantaja sahip olduğu kanıtlanan TMA'nın avantajlarını kısaca; kalıcı deformasyonlara karşı yüksek direnç, trafiğin aşındırıcı etkisine karşı yüksek mukavemet, iklim ve hava koşullarının değişimine bağlı oluşan şartlara karşı gösterdiği yüksek direnç, çok yüksek seviyede kayma direnci ve yüzey düzgünlüğü, gürültü seviyesinin düşüklüğü, uzun hizmet ömrü diye sıralayabiliriz [16].

TMA'nın bu avantajlarının bulunması nedeniyle ağır trafik yüküne sahip yollarda ki kaplamalar için en iyi seçim olarak kabul edilmektedir. Ancak kendine has bileşimi ve malzeme özellikleri sebebiyle üretim, nakliye ve serme işlemleri açısından olumsuz tarafları da vardır [8, 44, 45, 56,57].

Yüksek oranda bağlayıcı ve filler ile stabilize edici katlı kullanıldığından TMA'nın ilk yapım maliyeti yüksektir.

Filler malzemenin ekstra eklenmesi gerektiğinde plent verimliliği düşer fakat uygun plent modifikasyonu ile bu dezavantaj ortadan kaldırılabilir.

Bağlayıcının yüzeyde toplanmaması için karışımın 40⁰C'ye kadar soğumadan yolun trafiğe açılmaması gerekmektedir. Bu sebeple yolun trafiğe açılması gecikebilir.

Yüzeyde biriken kalın bağlayıcı film, kayma direncini düşürmektedir. Bunu önlemek amacıyla yol trafiğe açılmadan önce yüzeye ince bir tabaka halinde mıcır serilmesiyle veya düşük hızla seyir için sürücüler uyarı levhalarıyla önceden uyarılmalıdır. Yüzeyde biriken bağlayıcı film zamanla yok olmakta ve bu sorun ortadan kalkmaktadır.

TMA yüksek bağlayıcı içerdiğinden bitümün süzülmesi söz konusu olmaktadır. Bu sorunu önlemek amacıyla karışıma mineral elyaf eklenmektedir. Bu işlem hassas olduğundan yapılırken genellikle sorun yaratmaktadır.

Polimer bitüm kullanıldığında asfalt sıcaklığı daha yüksek olması gerekmektedir. Bu sebeple taşıma mesafelerine sınırlamalar getirilebilir.

TMA işlenebilirliği düşük ve sert bir karışım olduğundan diğer asfalt karışımlarına göre sıkıştırma işlemi daha özenli yapılmalıdır.

Yüksek yoğunluklu bağlayıcı ve içerisinde bulunan elyaftan dolayı daha yüksek sıcaklığa sahip bir karışım olmaktadır.

Taş mastik asfalt diğer karışım türleriyle değişik parametreler ile karşılaştırılması aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Çizelge 1.10. Kaplama Türlerinin Karşılaştırılması [31]

Kaplama Tipi	Ekonomik	Güvenlik	Konfor	Çevre ile Uyum	Bakım ve Onarım	Ortalama
Asfalt Betonu	8	8	10	8	8	8,4
Yüzeysel Kaplama	10	7	8	7	7	7,6
Taş Mastik Asfalt	5	8	10	8	7	7,6
Harç Tipi Kaplama	7	9	8	7	6	7,4
Geçirimli Asfalt Betonu	5	10	8	10	6	7,8
Mıhlanmış Agregalı Asfalt Betonu	7	9	7	7	7	7,4

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Taş mastik asfalt, ilk olarak Almanya'da çivili otomobil lastiklerin kullanılmaya başlamasıyla, 1960'lı yılların sonunda asfalt kaplamalarda meydana gelen hasarları azaltmak amacıyla "Mastix Asphalt" adıyla kullanılmaktaydı. İlk TMA 1968 yılında yüklenici bir firma ile Alman mühendisi Dr. Zichner tarafından geliştirilmiştir [7, 8].

1975'li yıllarda çivili lastik kullanımının yasaklanmasıyla TMA kullanımı da azalmıştır. TMA 1980'li yıllara kadar yalnız Almanya'da bilinmekte ve Avrupa ülkelerinde kullanımı az miktardaydı. 1974 yılında İsveç'te birkaç yol kesimi European Asphalt Pavement Association (EAPA) tarafından TMA ile kaplanmıştır. TMA kaplama uygulaması sonucunda olumlu sonuçlar alınması nedeniyle birçok Avrupa ülkesinde kullanılmaya başlanmış olup günümüzde Avrupa'da ki tüm ülkeler TMA kullanmaktadır.

Türkiye'de KGM, Alman TMA şartnamesinden faydalanarak ilk TMA şartnamesini 1997 yılında yayınlamıştır. İnşaat çalışmaları 1998 yılında başlamış ve 1999 yılından itibaren de kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde ise TMA ile ilgili yapım, üretim şartları ve limitleri, 2013 yılında oluşturulan Karayolları Teknik Şartnamesi içerisinde 408. Kısımda yer almaktadır [8, 9, 10].

Ülkemizde 1999 yılından sonra kullanılmaya başlanan TMA kaplamaları ile ilgili yapılan çalışmalar sınırlı sayıdadır. Ülkemizde günümüze kadar 10'u yüksek lisans tezi ve 6'sı doktora tezi olmak üzere 16 tez çalışması yapılmıştır.

Taşdemir [5], TMA karışımları ayrıntılı olarak inceleyip, karışımda kullanılan malzemelerin üzerinde durarak karışımın tasarımı, üretilmesi ve sıkıştırılması hakkında bilgiler vermiştir. Taşdemir, deney sonuçlarına göre Marshall metodunun TMA karışımlarının yoldaki stabilitesini ifade edemeyeceğini belirtmiştir. Ayrıca fiber kullanımının TMA karışımlarının mekanik özellikleri üzerinde etkisi olmadığı, Portland çimentosunun is taş tozuna göre stabiliteyi arttırdığını ortaya koymuştur.

1998 yılında gerçekleşen 2. Ulusal Asfalt Sempozyumunda ülkemizde inşa edilen geleneksel asfalt yolların artan trafik yüklerine ayak uyduramaması sebebiyle TMA karışımların uygulanması gerektiği Önal tarafından sempozyumda tartışılmıştır.

Önal vd. [11] TMA karışımları hakkında daha fazla bilgi birikim elde etmek ve oluşabilecek problemleri görmek amacıyla, Ankara yakınlarında iki farklı TMA karışımı ile deneme kesimleri oluşturmuşlardır.

2009 yılında yapılan Taş Mastik Asfalt Bilgilendirme Seminerinde, Taş mastik asfalt ile ilgili önceki deneyimler paylaşılmış, uygulamalarda karşılaşılan problem ve çözüm önerileri aktarılmıştır. Ayrıca ülkemizdeki TMA uygulamaları ve TMA şartnamesi, Avrupa ve ABD'deki TMA uygulamaları, TMA ile yapılan aşınma tabakalarının fonksiyonel özellikleri, performansı, TMA ile ilgili yeni Avrupa Standardı konuları ele alınmıştır [12].

Şanlıer ve Pamuk [13], Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından ihale edilen “Kuzey Marmara (3. Boğaz Köprüsü dâhil) Otoyolu Projesi, Odayeri - Paşaköy Kesimi İşİ” kapsamında Odayeri Kavşağı-Garipçe arasında (Proje Km: 62+000 – 87+000) yapılan Taş Mastik Asfalt (TMA) uygulamasını incelemiş ve TMA tabakaları, kalıcı deformasyonlara ve aşınmaya karşı daha dirençli, durabilitesi daha fazla ve daha homojen ve geçirimsiz olma, gibi özellikleri sebebiyle diğer bitümlü kaplamalardan daha öne çıktığını belirtmişlerdir. SMA karışımlarının yüksek oranda kaba agrega kullanılması sebebiyle içsel sürtünme dirençlerinin daha yüksek olduğunu, tekerlek izi deformasyonlarına karşı daha dirençli bir kaplama olduğunu vurgulamışlardır.

Alp [14], köprü ve viyadük yol kaplamalarında kullanılan aşınma asfalt betonu ile taş mastik asfalt tekniklerinin maliyet ve performans açısından değerlendirilmesi yapmıştır. Ülkemizde inşa edilen asfalt kaplamalarında meydana gelen bozulmaları tespit ederek taş mastik asfalt ile aşınma asfalt betonunun dinamik yükler etkisi altındaki deformasyonlarını tespit etmiştir. Aşınma asfalt betonu ile taş mastik asfalt betonunun beş yıllık ilk yapım maliyet analizleri ile bakım ve onarım maliyet analizlerini karşılaştırarak taş mastik asfalt betonu kaplamalarının köprü tabliyelerinde yaygınlaşmasının, kaplamanın hizmet ömrünü arttırarak, ülke ekonomisine de katkı sağlayacağını belirtmiştir.

Çetin [15], Marshall metoduna göre tasarlanmış numuneler üzerinde, üç eksenli kayma mukavemeti deneyi yapılmasıyla elde ettiği sonuçlara göre; kesikli tane dağılımına sahip karışımların (TMA), yüksek sıcaklıklardaki deformasyon direncinin sürekli tane dağılımına sahip karışımlardan daha iyi olduğunu ortaya koymuştur. Bitümlü bağlayıcının göstermiş olduğu deformasyon direncinin TMA karışımların davranışından daha fazla etkilendiğini göstermiştir. .

Kaşak [16], yollarda meydana gelen bozulma ve tekerlek izi oluşumuna karşı TMA kullanılması gerektiğini, TMA ile tasarım yapılan yolların onarım maliyetlerinin düşük olacağını belirtmiştir. Bununla beraber diadomit katkısının TMA karışımlarda kullanılmasının uygun olduğunu fakat bu uygunluğunun laboratuvar ortamında gerçekleştiğini ve bu sonuca varabilmek için en iyi yolun, kısa deme kesimi uygulaması yapılması ve uzun yıllar boyunca davranışının diğer fiber içerikli karışımlarla karşılaştırarak görülmesi gerektiğini belirlemiştir.

Kutluhan [17], karayolların bünyesinde kullanılan bitümlü kaplama tiplerinin arazideki tekerlek izi performansları laboratuvar ortamında incelemiştir. İnceleme sonucunda sırası ile aşınma numunelerinde, TMA numunelerinde ve binder numunelerinde en yüksek tekerlek izi miktarı olduğunu söylemiş ve tekerlek izi miktarı en az modifiye bitümlü aşınma numunelerinde olduğunu gözlemiştir. Bununla beraber bağlayıcı modifikasyonunun olumlu etkisi ve kullanılan en yüksek agrega tane boyutunun büyük olmasının tekerlek izi dayanımına yaptığını olumlu etki belirlemiştir.

Şengül [18], TMA karışımları inceleyerek, katkı maddesi olarak sönmüş kirecin kaplama performansına olan etkisi çeşitli katkı maddeleri ile araştırmıştır. Yaptığı deneyler neticesinde TMA karışımlarda sönmüş kirecin elyaf katkı maddesinin yerini rahatlıkla tutacağı ve elyaf katkısıyla beraber sönmüş kireçle beraber kullanılmasının, sadece elyaf katkısı kullanıldığında elde edilen dayanım değerinden daha olumlu olduğunu belirtmiştir.

Arslan [8], TMA içerisinde kullanılan agregaların cinsinin kaplamanın performansına ve fiziksel özelliklerine olan etkisi araştırmıştır. İstanbul ili çevresinde yer alan taş ocaklarından Çorlu ilçesinin güney batısındaki Karatepe taş ocağından temin edilen bazalt, İstanbul ili Cebeci yöresinden temin edilen dolamitli kireçtaşı ile Kocaeli ili Gölcük Halıdere mevkiinden temin edilen kumtaşı mineral agregalarından üretilen TMA karışımlarını irdelemiş ve birbirlerine olan üstünlüklerini inceleyerek ve birbirlerine alternatif olabilip olamayacaklarını araştırmıştır. Yaptığı deneyler sonucunda Cebeci - dolamitli kireçtaşı ile Gölcük - kumtaşının, Karatepe - bazaltına alternatif birer kayaç olarak TMA karışımlarında kullanılmasının negatif bir göstergesine rastlamamış ve belirli şartlarda birbirinin alternatifi olarak kullanımını uygun görmüştür.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Agregalar

Agregalar yol kaplamalarında en büyük oranda kullanılan malzemelerdir. Temel olarak yol kaplamalarının stabilitesinden sorumludur. Rijit kaplamaların hacimce % 65-70'i, ağırlıkça % 70-75'i, bitümlü sıcak karışımların hacimce % 80-85'i, ağırlıkça % 90-95'i, alttemel ve bağlayıcısız temel tabakaların tamamı agregalardan oluşur. Kaplama dayanımına etkisi ve kullanıldığı yüksek oran sebebiyle agregalar önemli bir yol malzemesidir [26].

Geçmişten günümüze yol yapımında kullanılan agregalar gün geçtikçe küçülmüştür. Örneğin; Romalılar dal şeklinde büyük taşlar, Fransızlar iri boyutlu parkeler kullanarak yol inşa etmekteydiler. Günümüzde ise küçük parkeler, küçük boyutlu makadam ve stabilize yollarda küçük boyutlu taşlar kullanılmaktadır [22].

3.1.1. Yol Yapımında Kullanılan Agregaların Sınıflandırılması

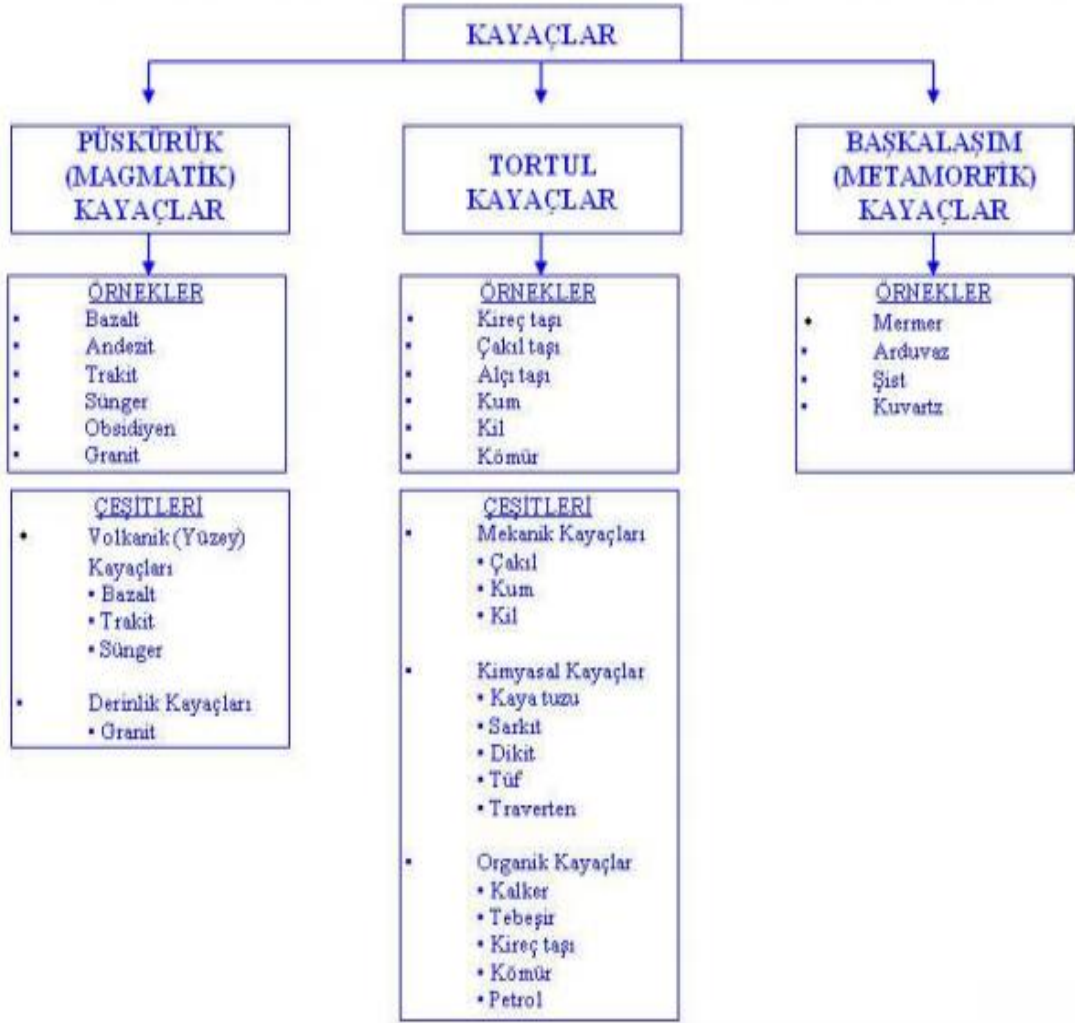
3.1.1.1. Mineralojik Sınıflandırma

Agregalar genel olarak kırma taş, dere malzemesi ve yapay taşlar olarak elde edilir. Olumsuz etkilerinden dolayı dere malzemesi sadece alttemel kaplamalarında kullanılır. Bunun sebebi su ile aşınan agregaların pürüzsüz bir yüzeye sahip olmasıdır. Ancak dere agregalarının konkasörde kırılmasıyla elde edilen kırma kum ve kırma çakıllar kaplama inşasında kullanılabilirler. Yapay taşlar genellikle yüksek fırın cürufundan elde edilmektedirler. Genellikle çok poroz ve gevrek olmaları ve yeterli üretimlerinin olmaması, üretilen yapay agregalarında çimento sanayisinde kullanılması sebepleriyle yol kaplamalarında kullanılmamaktadırlar. Yol kaplamalarında kullanılan en uygun agregalar kayaların kırılıp, kırılan kayalardan elde edilen kırmataş mineral agregalarıdır [26].

3.1.1.1.1. Doğal Taş Malzeme Kaynakları

Yol inşaatlarında kullanılan taş ve agrega malzemeleri doğal kaynaklardan veya metalürjiden elde edilen cüruflardan faydalanılarak sağlanır. Doğal kayalar, büyük bloklar halinde veya bu büyük kayalardan elde edilen malzemeler şeklinde kullanılır [26].

Çizelge 3.1. Kayaçların Sınıflandırılması [58]



Doğada doğal taş olarak sınıflandıracağımız 3 farklı kaya tipi mevcuttur.

Püskürük Kayaçlar: Yerin derinliklerinde bulunan magmanın yer içinde veya yüzeyde soğuması ile katılaşması sonucu oluşan kayaçlardır. Püskürük kayaçlar dünya kabuğunu oluşturan kaya kütesinin kaynağı olarak kabul edilir. Sert, dayanıklı ve yoğun olduklarından dolayı mükemmel bir agrega kaynağı olarak kullanılabilirler [8, 22, 29].

Kristal bünyeli olan püskürük kayaçlar kimyasal yapılarına göre asit bünyeli kayaçlar ve baz bünyeli kayaçlar olmak üzere iki sınıfa ayrılırlar. Asit bünyeli kayaçlar, bileşimlerinde serbest kuvars bulunan, açık renkli ve özgül ağırlıkları 2,75'ten az olan kayaçlardır. Baz bünyeli kayaçlar ise bileşiminde kuvars bulunmayan, koyu renkli ve özgül ağırlıkları 2,75'ten fazla olan kayaçlardır. Püskürük kayaçlara doğada; granit, diyorit, gabro ve porfirler örnek olarak gösterilebilir [18, 22, 59].

Tortul Kayaçlar: Mevcut kayaların aşınması sonucu suda erimeyen granüler malzemenin su içinde çökmesi sonucu veya deniz hayvanlarının organik olmayan atıklarının deniz tabanında birikmesiyle oluşmuştur [22]. Kuvars içeriklerinin artmasıyla sertlikleri artan bu kayaçlara örnek olarak; kalker, traverten, dolomit, jips, arduvaz, killi şist, konglomeralar, diadomit, kum taşı ve kömür verilebilir [8, 26, 60].

Tortul kayaçlar bileşimlerindeki esas minerallere göre aşağıdaki gibi sınırlandırılabilir [22].

- Kalkerliler; tebeşir, mermer, kireç taşı, dolomit
- Silisli; kum taşı, çakmak taşı
- Killiler; kil, şist, arduvaz

Metamorfik Kayaçlar: Püskürük veya tortul kayaçların yüksek ısı, basınç ve sıcaklık etkisiyle orijinal kayaların mineral ve dokusunun değişime uğraması ile oluşan kayalardır. Genellikle yüksek sertliğe sahip olan bu kayaçlara örnek olarak; mermer, gnays, mika ve serpantin verilebilir [8, 22].

3.1.1.1.2. Doğal Agregalar

Karayolu üst yapısında kullanılan doğal agregalar püskürük, tortul veya metamorfik kayaçların doğal etkiler ile parçalanması ve taşınması ile oluşan çakıl ve kum ya da dere, teras ve taş ocaklarından çıkarılarak konkasör aracılığıyla istenilen boyutlarda küçültülebilen kırmataş şeklinde kullanılır [29]. Doğal kayalardan elde edilen çakıllar tek cins veya karışık olarak kullanılabilir. Doğal agregalar elde edildikleri kayaçlara göre özellik kazanırlar.

Bütün çakılların ortak özelliği, çeşitli boyutlarda parça içermesi, içerdikleri parçaların yuvarlak veya şekilsiz olmaları ve ırmak sularının aşındırıcı etkileri sonucu pürüzsüz olmalarıdır. Bu sebeple yol inşaatlarında kullanılan çakıl agregaları konkasörden geçirilerek yüzeyleri kırılmış köseli bir malzeme elde edilerek kırmataş ile beraber kullanılır [29].

Kum ise kayaların aşınmasıyla oluşan en dayanıklı mineral danelerin son tortullarından oluşur. Kumların dane boyutu en fazla 2 mm olmak üzere toz inceliğine kadar gider. Kum içinde rastlanan mineraller kuvarstır. Kum tabakalarının birçoğu silt ve kil denilen çok ince bir malzemedir de bir kısım içerirler [29].

3.1.1.1.3. Yapay Agregalar

Yapay agregalar yüksek fırın cürufu ve izabe cürufları gibi sanayi atık ürünü veya kırılmamış olarak endüstriyel olarak üretilen agregalardır. Yapay agregaların çimento sanayisinde kullanımı ve yeterli üretimin olmaması sebepleriyle yol kaplamalarında kullanılmamaktadır [8, 22, 59, 60].

Üretilen yapay agregalar cüruf, klinker ve çimento olarak bilinmektedir.

Cüruf: Genel olarak püskürük kayalarda rastlanan minerallere benzeyen minerallerden oluşmuşlardır. Dokuları cilalı cam veya petekli gibi değişik durular gösterir. Demir çelik sanayinde atık malzeme olarak yüksek sıcaklıktaki fırınlardan elde edilir. Çelik cürufu ve yüksek fırın cürufu yolun üst tabakalarında kullanabilir. Ayrıca belirli miktarda su ile soğutularak cüruf içerisine içerisinde buhar enjekte edilmesi ile genişletilmiş ve kabartılmış duruma gelen cürufa, köpürtülmüş cüruf denilmektedir. Köpürtülmüş cüruflar gözenekli yapıya sahip olmakla beraber kırılarak hafif agrega elde edilmekte ve elde edilen bu hafif agrega hafif beton yapımında kullanılmaktadır [8, 22 61, 62].

Uçucu Kül: Termik santrallerde elektrik enerjisi elde etmek için termik yakıt olarak kullanılan kömür, değişik özelliklerde cüruf ve atık malzemelerin çıkmasına neden olmaktadır. Modern termik santrallerde, yanma nedeniyle baca tarafından çekilen gazlarla yukarıya doğru sürüklenen çok ince kül parçacıkları en önemli atık malzemedir. Bu ince kül parçacıkları elektro filtreler ve siklonlar ile yakalanmakta, atmosfere çıkışları baca gazları ile önlenmekte ve depolanmaktadır. Uçucu kül, bu şekilde atık olarak elde edilen çok ince malzemeye denilmektedir. Küresel şekile sahip olan uçucu kül parçacıklarının çapları 1-150 mm arasındadır. Uçucu küller 1100-1200⁰C'de pişirilerek erime sıcaklığına geldiklerinde uygulanan basınç ve sertleşme yöntemine bağlı olarak silindirik veya yuvarlak taneli agregalar oluşmaktadır. Hafif beton bloklar ve yapıda hafif beton elde etmek için doğal çakıl veya kırmataş agregaya göre daha hafif bu agregalar kullanılmaktadır [62].

Perlit: İçerisinde % 2-6 oranında su bulunduran camsı bir kayadır; siyah, koyu gri ve gri renklindedir. Perlitin kimyasal yapısında yaklaşık % 75 silis (SiO₂) ve % 15 alümin (Al₂O₃) bulunmaktadır. Perlitin 10-30 kat hacim büyümesi için 800-1150⁰C arasında ısıtılması gerekmektedir. Artan hacmi ile adeta patlamış mısıra benzer çok hafif bir malzeme elde edilmektedir. Genleştirilmiş perlit bu şekilde ısı işleme tabi tutularak elde edilen yoğunluğu düşük bu malzemeye denilmektedir. Beyaz renkte bulunan genleştirilmiş perlitin kullanım alanı çok geniştir. Genellikle taşıyıcılık özelliği olmayan yapı birimlerinde kullanılan perlit; beton

yapımında, kum ve çakıl yerine kullanıldığında ısı yalıtımlı perlitli beton yapımında ve hafif beton yapımında, kullanılmaktadır. [62].

Klinker: Fırınlardan atık malzemesinden oluşan ve küllerin eriyerek topaklar haline gelmesiyle oluşur. Klinker değişken bir malzeme olduğundan sadece bu iş için hazırlanmış şartnamelere uygun klinkerler yol üst yapı tabakalarında kullanılabilirler [8, 22, 61].

Çimento: Çimentonun standart granülometrik bileşimi saflığı ve bitümlü bağlayıcılarla reaksiyona girmemesi sebebiyle filler olarak kullanılmaya çok uygundur. Eklendiği bitümlü karışımlarda filler malzeme olarak kullanılır. Çimentonun filler malzeme olarak kullanılmasının sebebi çimentonun bağlayıcılık özelliğinden faydalanmak değildir [8, 22, 61].

3.1.1.2. Boyut Sınıflandırması

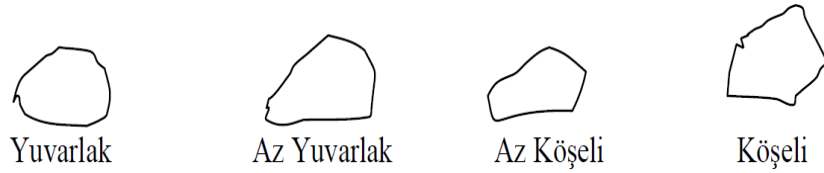
Agregalar dane boyutlarına göre;

- Kaba Agregası: No.4 (4,76 mm) elek üzerinde kalan kısım
- İnce Agregası: No.4 eleğinden geçen ve No.200 (0,0075 mm) eleğin üzerinde kalan kısım
- Filler: No.200 elekten geçen kısım olmak üzere 3 farklı boyut olarak sınıflandırılır. Filler malzemenin en az % 65' i No.200 elekten geçiyorsa bu malzeme mineral tozu veya taş unu olarak adlandırılır [26].

Bu 3 grup malzeme karışımın özelliklerini ayrı ayrı kontrol eder. Agregası yüzdesi % 40-50 olan bir karışımda iri agregası karışımın iskeletini oluşturur ve karışımın akmaya karşı direnci artar. Ayrıca bu karışım deformasyonlara karşı içerisinde % 25 agregası bulunduran karışımlara oranla daha dirençli olur. İnce agregası, iri agregaların oluşturduğu iskeletin boşluklarını doldurarak karışımın daha yoğun olmasını sağlar. Filler malzeme ise çok düşük miktarda kullanılmasına karşın karışım özelliğinin düzenlenmesinde önemli rol oynar [22].

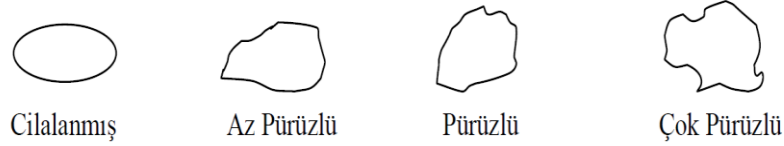
3.1.1.3. Biçim Yapısı ve Yüzey Yapısı Sınıflandırması

Agregaların dane biçimleri yol kaplamalarında kullanılan karışımların işlenebilirlik, yoğunluk, içsel sürtünme açısı, sıkışma direnci, stabilite, CBR ve kayma değeri gibi özelliklerine etki eder [10].



Şekil 3.1. Agregaların Biçim Yapısı [30]

Yuvarlak biçime sahip agregalar açısız biçime sahip agregalara nazaran işlenebilirliği daha fazla olmasına karşın stabilite açısından daha düşük direnç özelliği gösterir. Açısız köşeli agregaların temas noktalarının sayısının fazla olmasında dolayı içsel sürtünme açıları ve kenetlenme stabilitesi daha fazladır. Açısız biçimli agregalar ve yuvarlak biçimli agregalarla aynı boşluk oranına sahip iki farklı karışı hazırladığında açısız biçimli agregaların oluşturduğu karışımların CBR ve stabilite değerlerinin daha yüksek olduğu görülür [26].



Şekil 3.2. Agregaların Yüzey Yapısı [30]

Agregaların yüzey yapısı, danelerin cilalanma veya pürüzlülük durumunu ifade eder. Danelerin yüzey pürüzlülüğünü fazla olması işlenebilirliği azaltmakla beraber, içsel sürtünme açısı, stabilite, kayma mukavemeti ve asfalt ile adezyonunu arttırmaktadır. Ayrıca pürüzlülüğün fazla olması sıkışmaya karşı dirençli ve boşluk oranının fazla olduğu bir karışım oluşmasına neden olur [26].

3.1.1.3. Porozite Sınıflandırması

Agrega danelerinin porozitesi, su emme yeteneğine sahip oldukları boşluk miktarını ifade eder. Yeterli poroziteye sahip agregada danelerinin bitümün emilmesine imkân sağlayacağından dolayı bağlayıcı film tabakası ile agregada arasında kuvvetli bir adezyon oluşturup stabilitenin artmasına ve suyun etkisi ile film tabakasının soyulmasının azalmasına neden olmaktadır. Fakat aşırı poroz agregaların yoğunluklarının ve stabilitesinin düşük olmasına ve özgül ağırlıklarının az olmasına neden olmaktadır [26].

3.1.2. Bitümlü Karışımlarda Kullanılan Agregaların Özellikleri

Bitümlü karışımların özelliği içerisinde kullanılan agregaların fiziksel ve mineralojik özelliklerine bağlıdır. Ayrıca bitümlü kaplamalarda kullanılan agregaların seçiminde malzemenin varlığı, maliyeti, üretilebilirliği ve kalitesi de dikkate alınmalıdır [8, 26, 30, 63].

Bitümlü karışımlar içerisinde kullanılan agregaların gradasyonu, dane şekli ve maksimum dane boyutu gibi özellikleri stabiliteyi etkilerken, porozite ve dane yüzey dokusu ile adezyonu ve dolayısıyla stabiliteyi etkilemektedir. Ayrıca bitümlü tabakaların trafiğin aşındırıcı etkilerine daha çok maruz kalması ve daha çok gerilme alması gibi nedenlerden dolayı temel tabakalarında kullanılan agregalara göre daha iyi fiziksel özelliklere sahip olması gerekmektedir. Bitümlü karışımlarda kullanılan agregaların kullanıma uygun olup olmadığı aşağıda verilen fiziksel özellikler dikkate alınarak değerlendirilir [26].

Gradasyon: Bitümlü tabakalar farklı kalınlıklarda yapıldığından dolayı farklı gradasyonlara ve dolayısıyla maksimum dane boyutuna ihtiyaç vardır. Esnek kaplamaların tabaka kalınlığı arttıkça kullanılacak agregaların maksimum dane boyutu da artmaktadır. Genel bir kural olarak bir defada serilip sıkıştırılmış tabaka kalınlığı, karışımda bulunan maksimum agrega dane boyutunun 1,5 katından az, 3 katından fazla olmamalıdır. Dolayısıyla maksimum dane boyutu kaplamanın kalınlığına bağlı olarak değişmektedir. Ayrıca agrega numunesindeki danelerin değişik boyutlarda olması karışım içinde boşluk oranının az olmasına yol açmaktadır [8, 26, 30, 63, 64].

Sağlamlık: Kullanılacak agregalar sıkıştırma sırasında, trafik yükleri altında bozulmaya, parçalanmaya ve kırılmaya karşı dirençli olmalıdır. Yoğun gradasyona sahip agrega karışımları, açık gradasyonlu agrega karışımlarına göre bozulmaya daha az elverişlidir. Bu nedenle esnek kaplama tabakalarında daha çok gerilme olan üst tabakaların yoğun gradasyona sahip olması gerekmektedir [26, 30].

Bununla beraber agregaların donma-çözülme etkilerine karşı dayanıklılığı agreganın boşluk oranına, geçirimsizliğine, suya doygunluk derecesine ve basınç dayanımına bağlıdır. Agregada içerisinde yer alan boşlukların su ile dolması donma-çözülme olaylarının yaşanması ile agregalarda çatlama, ayrışma ve parçalanmalar yaşanır. Bu sebeple agregalar sağlamlık açısından donma-çözülme etkilerine karşı dayanıklı olmalıdır [8, 26, 30].

Porozite: Porozite özelliği asfaltın adezyonu için en önemli husustur. Çünkü porozitenin ile agrega bitüm adezyonu arasında doğru bir orantı bulunmaktadır. Ancak adezyonun % 2-

2,5'tan fazla olması durumunda agregaların asfalt bağlayıcıyı emmesiyle asfaltın bağlayıcı ihtiyacı artacaktır. Asfalt bağlayıcı miktarının karışım içerisinde artması hem ekonomik olmayacak hem de terleme ve kasma riski oluşacaktır. Bu nedenle çok poroz ve poroz olmayan agregaların bitümlü tabakalarda kullanılmaması gerekmektedir [26, 30].

Dane Şekli ve Biçimi: Dane şekli karışımın işlenebilirliğini ve stabilitesini etkiler. Yuvarlak dane biçimli agregalar işlenebilirliği arttırsa da stabiliteyi düşürmektedir. Açısal ve kübik biçimli agregalar içsel kilitlenme özelliği sağlamaktadır. Bu sebeple bitümlü karışımlar içerisinde kırmataş agregası kullanılmaktadır. Ayrıca kırılmış ve açısal agregalar her türlü karışımın stabilitesini önemli ölçüde artırmaktadır [26,30].

Eğer dere malzemesi kullanımı zorunluysa mutlaka kırılmalı ve en az iki yüzeyi kırılmış olmalıdır. Yassı ve uzun daneler hem stabilite açısından hem de segregasyon açısından sorun olmaktadır. Bir karışımda ağırlıkça % 50'den fazla yassı agregası kullanılmamalıdır. Ayrıca bu tip agregalar yük altında kırılma dirençlerinin düşük olması sebebiyle kullanılmaları sakıncalıdır [8, 26, 63].

Yüzey Dokusu: Agregaların yüzey dokuları bitüm ile agregası arasındaki adezyona etki eden çok önemli bir faktördür. Yüzeyi cilalı olan agregaların asfalt ile kaplanması kolaydır. Fakat adezyonu zayıf olan cilalı agregalar kolaylıkla soyulmaktadır. Bu nedenle bitümlü karışımlarda pürüzlü yüzeye sahip agregalar kullanılmakta ve hem yüksek stabilite hem de yüksek soyulma direnci elde edilmektedir [8, 26, 65].

Agregaların Temizliği: Asfalt karışımları laboratuvar ortamında hazırlarken iri agregalar yıkanır. Fakat pratikte böyle bir uygulama yapılamamaktadır. Agregaların yüksek malzeme, kil toprakları, bitki atıkları ve yabancı maddeler içermemesi gerekmektedir. Çünkü içerdiği bu yabancı maddeler bitümün agregası ile yapışmasına engel olmakta ve asfalt karışımını özelliklerini etkilemektedir [8, 30].

3.2. Bitüm

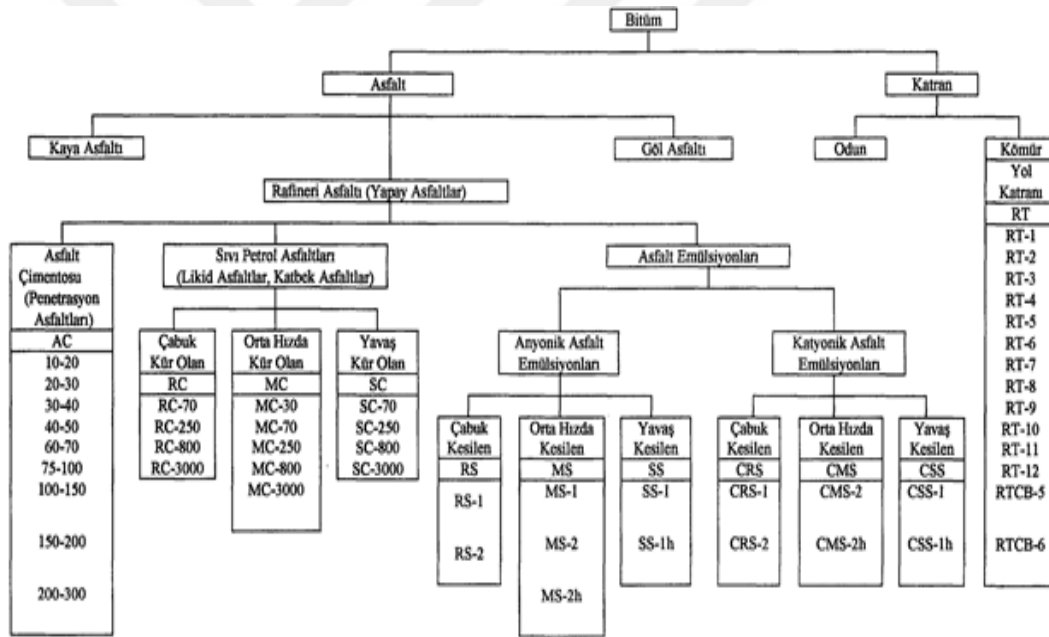
Bitüm kelimesinin İngilizce karşılığı olan bitumen'in, Sanskritçe'den geldiğine inanılmaktadır. Sanskritçe'de ziftin karşılığı 'jatu' kelimesidir ve 'jatu-krit'in kelimesinin anlamı zift yapan demektir. Burada ifade edilen zift reçineli ağaçlardan üretilmektedir. Bazı çevreler kelimenin Latince'de 'gwite-men' yani zifte ilişkin olduğunu savunurken, karşıt görüşte bulunanlar

fokurdayan zift yani 'pixtu-men' teriminden kaynaklandığını ve bu terimin zamanla bitüm şeklinde kısaltılarak ve Fransızcadan da İngilizceye geçtiğini iddia etmektedirler [39].

Bitüm, doğal kökenli veya pirojenik kökene sahip hidrokarbonların bir karışımı veya bunların her ikisinin bir birleşimi olup bunların gazı sıvı, yarı katı ve katı olabilen, metal dışı türevleri ile bir arada bulunan, yapıştırıcı özellikleri olan ve karbondisülfürde tamamen çözünen madde olarak tanımlanır [35].

Bitüm kısaca, kıvam ve kalitesi bakımından özel bir şekilde hazırlanmış olan, yumuşatılmamış veya yumuşatılmış, bitümlü kaplamaların yapımında kullanılmak üzere hazırlanan bir bağlayıcı olarak tanımlanabilmektedir. Yol üstyapısında ve kaplama yapımında kullanılan bitümlü bağlayıcıların sınıflandırılması aşağıda verilmiştir [33, 39].

Çizelge 3.2. Bitümlerin Sınıflandırılması [58]



3.2.1. Katran

Kömür ve odun gibi doğal organik maddelerin karbonize edilmesi veya havasız bir ortamda damıtılmasıyla elde edilen sıvı için kullanılan bir terimdir. Katran, genellikle ham olarak değil, damıtıldıktan sonra kullanılır. Ham katranın damıtılması sonucunda birkaç petrol türevi ve kalıntı şeklinde ayrışır. Oluşan kalıntılara zift adı verilmektedir [39,66].

Kaplamalarda kullanılan katranların kömür kökenli olması tercih edilir. Katran içerisine su ilave edilmek suretiyle katran emülsiyonları elde edilmesi ve emülsiyon halinde kullanılması

mümkündür. Günümüzde katran ve zift yol üst yapılarında, briket yapımında, elektrot bağlayıcıları ve boru emayelerinde kullanılmaktadır [39].

3.2.2. Asfalt

ASTM'ye göre kıvamı katı, yarı katı olan ve ısıtıldığında kıvamı değişerek yumuşayan, rengi siyah ile koyu kahverengine kadar değişebilen, içerisindeki ana madde olarak bitüm olan ve doğada katı veya yarı katı halde hazır halde bulunan veya petrolün damıtılmasıyla elde edilen ve değişik içeriğe sahip bitümlerin karışımında oluşan bağlayıcı malzeme olarak tanımlanmaktadır [25]. Ham petrolün damıtılması ham katrandan yol katranı elde edilmesindeki sisteme benzemektedir [25]. Asfaltlar, kökenlerine göre doğal asfaltlar ve yapay (rafineri) asfaltlar olmak üzere iki gruba ayrılabilirler.

3.2.2.1. Doğal Asfalt

Doğal asfaltlar doğa içerisinde genellikle mineral maddeler ile karışık halde bulunurlar. Bu tip asfaltlar dünyanın birçok yerinde mevcuttur. Ülkemizde ise; Bolu, Eskişehir, Hatay ve Mardin civarlarında bulunur. Doğal asfaltlar buldukları konuma göre göl asfaltı ve kaya asfaltı olarak adlandırılırlar [25, 35].

Göl asfaltı; doğal asfaltın en çok bilinen ve en geniş çapta kullanılan şeklidir. Yüzeyde birikintiler halinde bulunurlar. Göl asfaltlarının en önemlisi Trinidad'dadır. Trinidad adası, Güney Amerika'da yer alan ve Venezuela sınırları içerisinde yer alır. 10-15 milyon ton rezervi bulunmaktadır. Rafine edildikten sonra asfalt oranı yaklaşık % 55'tir. Bu malzeme uygun şekilde rafine edilmek suretiyle esnek yol kaplamalarında kullanılabilir [25, 35, 39].

Kaya asfaltı; kireçtaşı veya kumtaşı gibi kalkerli kayalar ile bitüm birikintilerinin karışmasıyla oluşmuşlardır. Bu malzeme madencilik yöntemleriyle yeraltından veya taş ocaklarından çıkarılır ve % 12'ye kadar bitüm içerebilir [35, 39].

3.2.2.2. Yapay Asfalt

Ham petrolün damıtılmasıyla elde edilen yapay asfaltlara rafineri asfaltları da denir. Ham petrol, petrol kuyularından çıkarılarak rafineriye gelir. Buradan tanklara pompalarla boşaltılır. Oradan

300 °C - 350 °C sıcaklığı bulunan ısıtma kulelerine sevk edilen ve sıcaklığı yükseltilen ham petrol bu işlemde sonra damıtma kulelerine gönderilir. Damıtma kulelerine giren malzeme sıvı ve gaz karışımıdır. Ham petrolün en hafif olan bileşenleri bu kulelerin üst kısmından çıkarak soğutucularda yoğunlaştırılıp ayrılır. Bunlar hafif damıtıkları oluşturur. Uçucu özelliği daha az olanlar aynı şekilde orta damıtıkları ve en ağır uçanlar ise ağır damıtıkları oluştururlar. Ham petrolün damıtılmasıyla elde edilen en ağır bileşen, molekül ağırlığı yüksek hidrokarbonların karışımıdır ve bu hidrokarbonların karışımı bitüm imalatı için hammadde olarak kullanılmadan önce ek bir damıtma ile vakumlu damıtmaya yapılır. Bu damıtma işlemi sonunda bitüm oluşur [33, 39].

Asfalt çimentoları; esnek kaplamalarda bağlayıcı olarak kullanılan ve 40 ila 300 penetrasyon katılığına sahip bitümlü malzemelerdir. Doğal asfaltın işlenmesi veya petrolün rafine edilmesiyle elde edilir. Kullanılmaları için ısıtılarak, uygun çözücü ile karıştırılarak ya da ufak parçacıklar halinde parçalayıp suyla karıştırılarak akıcı hollere gelmesi sağlanır. Asfalt çimentosu (AC) veya katı asfalt veya penetrasyon asfaltı (Pen. AC) veya kısaca asfalt olarak adlandırılır. Asfalt çimentolarının sınıflandırılması ve kullanılması penetrasyon değerlerine göre yapılır. Penetrasyon derecesinin yükselmesiyle asfalt çimentosu yumuşayarak bağlayıcılık özelliğini kaybeder. En sert asfalt çimentosunu AC 10–20, en yumuşak asfalt çimentosunu AC 200–300 ifade eder. Asfalt çimentosu, katbek (sıvı) asfaltlar ve asfalt emülsiyonlarının da ana maddesidir [8, 14, 39, 61,].

3.2.2.2.1. Sıvı Petrol Asfaltı

Yol inşaatlarında astar ve yapıştırma tabakalarında püskürtme şeklinde kullanılmak üzere katı asfaltların yüksek ısı derecelerine kadar ısıtılarak sıvılaşması yerine asfalt çimentosuna benzin, gazyağı veya madeni yağ gibi uygun çözücüler ekleyerek sıvılaştırılmış olan asfaltlardır. Kür süresine göre üç farklı tipte yapılırlar [26]. Asfalt çimentosuna

- Benzin ilavesi ile çabuk kür olan sıvı petrol asfaltı (RC)
- Gazyağı ilavesi ile orta hızda kür olan sıvı petrol asfaltları (MC)
- Bakiye yağ ilavesi ile yavaş kür olan sıvı petrol asfaltları (SC) üretilir [35].

Sıvı asfaltın sahip olduğu çözücünün uçarak katı haline dönüşmesine kür olma denmektedir. Sıvı asfaltların viskozlukları çözücü miktarı ile ayarlanır. Sıvı asfaltların yani katbek asfaltın çözücü miktarı arttıkça viskozluğu yani akmaya karşı direnci azalacaktır. Ayrıca her sınıfta

kendi arasında kıvam derecesini belirten kinematik viskozite değerlerine göre de sınıflara ayrılır. RC, MC ve SC harflerinden sonra gelen sayılar o tipin kinematik viskozite alt sınırını gösterir. Asfaltın viskozitesi yükseldikçe yani kıvamı arttıkça bu sayılar da büyür. Örneğin, MC-30 katbek asfaltı, MC-3000 katbek asfaltına göre daha incedir ve akıcılığı daha fazladır [8, 26].

3.2.2.2. Asfalt Emülsiyonları

Asfalt çimentosunu çok küçük parçacıklar halinde parçalayıp suda koloidal halde dağıtılması sonucu akıcı hale getirilmesiyle elde edilir. Asfalt çimentosunun su içerisinde dağılması karıştırma işlemi ile sağlanabilir. Fakat bu şekilde elde edilen emülsiyon ömrü uzun olmaz ve kısa bir süre sonra asfalt kürecikleri birbirlerine yapışıp sudan ayrılırlar. Bu durumu engellemek amacıyla emülgatör adı verilen kimyasal katkı maddeleri kullanılır. Emülgatör asfalt küreciklerinin etrafını bir film halinde sararak kendi aralarında birleşmesine engel olur. Asfalt emülsiyonu yola serildiğinde, emülgatör yoldaki agrega ve tozlar tarafından emilmesi sonucu kaybolur. Bu olaya “emülsiyonun kesilmesi” denir. Bu kesilme hızlarına göre katbek asfaltlarda olduğu gibi asfalt emülsiyonları da, çabuk kesilen RS, orta hızda kesilen MS ve yavaş kesilen SS olmak üzere üç sınıfa ayrılır. Önünde “C” harfi olan emülsiyon tipi katyonik emülsiyon olduğunu gösterir. Örneğin RS-1 anyonik, CRS-1 katyonik emülsiyondur. MS-2, MS-1’den daha viskozdur. Bazı sınıfların tanımında yer alan “h” harfi daha sert, “s” harfi ise daha yumuşak asfalt çimentosunun kullanıldığını ifade eder. Bazı anyonik emülsiyonların önüne gelen “HF” takısı ise yüzme deneyi tarafından ölçülen yüksek yüzme özelliğini göstermektedir. Ayrıca yol üstyapılarında kullanılan asfalt emülsiyonları emülgatör cinsine bağlı olarak anyonik bitüm emülsiyonları ve katyonik bitüm emülsiyonları olmak üzere iki sınıfa ayrılır. Non-iyonik ve kille stabilize edilmiş olmak üzere iki ayrı tipi de mevcut olup bu emülsiyonlar yol inşaatlarında kullanılmamaktadır [8, 25, 26, 33, 61].

3.3. Bitüm Deneyleri

3.3.1. Penetrasyon Deneyi

Bitümlü bağlayıcının sertlik veya kıvamlarının belirlenmesi amacıyla yapılır. Alınan numune etüv içerisine aşırı ısıtılmadan kolayca dökülebileceği kıvama gelecek sıcaklığa kadar ısıtılır. Numune sıcaklığı asla yumuşama noktası sıcaklığından 90°C fazla olmamalıdır. Numune etüvden çıkarılarak homojen hale gelip hava kabarcıkları yok oluncaya kadar karıştırılır.

Numunenin havasının alınması amacıyla penetrasyon kabını yüzeyinde kısık bir ateş gezdirilerek ve penetrasyon kabı etrafına hafif bir şekilde vurulur. Bu işlem hava kabarcıkları kayboluncaya kadar devam eder. Numunenin toz kapmasından koruması için üzeri kapatılır. Oda sıcaklığında 1-1,5 saat bekletilip soğutulan numune 1-1,5 saat süreyle 25°C sıcaklığa sahip su banyosunda bekletilir [30, 67, 68].

Numune kabı su banyosundan alınarak, penetrasyon cihazına içerisine yerleştirilir ve deney sırasında hareket etmeyecek şekilde, içerisinde 25°C sıcaklığa sahip su bulunan taşıma kabına bırakılır. Penetrasyon iğnesi numunenin yüzeyine denk gelecek şekilde, iğne ucu ile su içindeki görüntüsü ile birleştiği ana kadar indirilerek sıfırlanır. Tam bu noktada iğne serbest düşme yapacak biçimde bırakılır. İğnenin 5 saniye batması beklenir ve süre sonunda penetrasyon değeri göstergeden okunur. Okunan değer iğnenin numuneye batma miktarıdır [67,68].

Penetrasyon birimi santimetrenin yüzde biridir. Penetrasyon alette bulunan göstergede ki her bir bölüm 0,1 mm' yi ifade etmektedir. Örneğin; deney sonucunda okunan penetrasyon değeri eğer 200 ise, iğne asfalt içerisine 2 cm kadar batmış diye yorumlanır. Kısaca bitümün penetrasyonu 200 olduğu anlamına gelmektedir. Penetrasyon değeri kıvamla ters orantılı olmakla beraber penetrasyon değerinin yükselmesi bitümün yumuşaması demektir. Bitümün kıvamlılığı artıkça bitüm sert hale gelir [30, 67, 68].

3.3.2. Yumuşama Noktası

Bitümlü bağlayıcının hangi sıcaklıkta akmaya başladığını, yani sıcaklığa karşı duyarlılığını ölçmek amacıyla yüzük-bilye yöntemi kullanılarak yumuşama noktası denilen sıcaklığının belirlenmesidir. Alınan numune etüv içerisinde, dökülebileceği sıcaklığa kadar ve yüksek ısınmaya neden olmayacak şekilde ısıtılır Numune etüvden çıkarılarak homojen hale gelip hava kabarcıkları yok oluncaya kadar karıştırılır. Numunenin havasının alınması amacıyla penetrasyon kabını yüzeyinde kısık bir ateş gezdirilerek ve penetrasyon kabı etrafına hafif bir şekilde vurulur. Bu işlem hava kabarcıkları kayboluncaya kadar devam eder. Halkalar düz bir yüzey üzerine bir miktar sabun yayıldıktan sonra bu yüzeye bırakılır ve sabunun kalıp iç kesimlerine temas etmesi önlenmelidir [30, 67, 69].

Bitüm, kalıp içerisine kalıbın üst seviyesini aşacağı fakat kabı taşırmayacağı şekilde kalıp içerisine dökülerek yaklaşık 1 saat boyunca soğumaya bırakılır. Soğuyan bitüm numunesi halka üzerinde kalan bitümün fazlalığı ısıtılan spatula yardımıyla düzeltilir. İçerisinde 5°C sıcaklığa

sahip su bulunan beher içerisine halkalar yerleştirilir ve 15 dakika boyunca suyun sıcaklığı değişmeyecek şekilde beklenir. Bu süre sonunda bilye halka üzerine yerleştirilir. 3 dakika sonunda ısı dakikada 5°C arttırılır. Artan sıcaklık ile bitüm bilyenin ağırlığı ile çökmeye başlar. Bilyenin banyo tabanına değdiği andaki sıcaklık yumuşama noktası sıcaklığı olarak belirlenir. Deneysel 80°C' den yüksek yumuşama noktasına sahip bitümlere uygulanacaksa deney 32°C'den başlatılmalı ve deneyde saf gliserin, yerine su kullanılmalıdır. Bu deney sonucunu bulmak için hesaplama yapılmamaktadır. Aynı bitüme ait numuneler üzerinde ayrı ayrı yapılan bu deney sonucunda elde edilen sıcaklık değerlerinin ortalaması alınarak yumuşama noktası değeri bulunur [67,69].

Yumuşama noktası çok yüksek olan bitümlerin viskoziteleri de yüksek olduğundan, sıcak karışım yapıldığındaki sıcaklıkları da yüksek olmaktadır [30].

3.3.3. Düktilite Deneyi

Düktilite çekebilme veya uzama anlamlarına gelmektedir. Düktilite deneyi ile bitümlü bağlayıcının düşük sıcaklıklarda (25°C, 13°C, 7°C gibi) kohezyondan dolayı oluşan dayanımı belirlenir. Alınan numune etüv içerisinde, dökülebileceği sıcaklığa kadar ve yüksek ısınmaya neden olmayacak şekilde ısıtılır Numune etüvden çıkarılarak homojen hale gelip hava kabarcıkları yok oluncaya kadar karıştırılır. Numunenin havasının alınması amacıyla penetrasyon kabını yüzeyinde kısık bir ateş gezdirilerek ve penetrasyon kabı etrafına hafif bir şekilde vurulur. Bu işlem hava kabarcıkları kayboluncaya kadar devam eder. Halkalar düz bir yüzey üzerine bir miktar sabun yayıldıktan sonra bu yüzeye bırakılır ve sabunun kalıp iç kesimlerine temas etmesi önlenmelidir. [30, 67].

Bitüm, kalıp içerisine kalıp üst seviyesini aşacak ve kenarlarından taşırılmayacak şekilde içine dökülür ve 30 - 40 dakika süre ile soğutulmaya bırakılır. Daha sonra 30 dakika boyunca su banyosun içerisinde bekletildikten sonra briket üzerinde bulunan fazlalıklar ısıtılmış spatula ile sıyrılarak alınır. Fazlalıkları alınan bitüm briketleri 1,5 saat boyunca 25°C sıcaklıktaki su banyosunda bekletilir. Süre sonunda sudan çıkarılan kalıbın yan ve alt, üst yüzey plakaları alınır [67].

Düktilite cihazı içerisinde 25°C sıcaklıkta su bulunur. Düktilite cihazı içerisinde yer alan bölüme koyulan bitüm briketleri, 50 mm/dk. hız ile bitüm çekilir. Briketin kopma anındaki uzama miktarı cm olarak bulunur. Deformasyon enerjisi yük uzama eğrisinden hesaplanır.

Numunede kopma meydana gelmiyorsa bitümün düktilite değerinin 100+ olduğu söylenir. Deneyde bitümlü malzemenin suyun dibine çöktüğü görülüyorsa özgül ağırlığını arttırmak için suya tuz, bitümlü malzemenin suyun üzerine çıktığı görülüyorsa suyun özgül ağırlığını düşürmek için suya metil alkol atılmalıdır. Deney sonucuna ulaşmak amacıyla hiçbir hesaplama yapılmamaktadır. Bir bitüm numunesi üzerinde ayrı ayrı yapılan deneylerin sonucunda ayrı ayrı okunan kopma uzunluğu değerlerinin ortalaması cm cinsinden düktilite değeri bulunur. Deney esnasında okunabilir limit olan 100 cm uzunluğun sonuna kadar uzarsa düktilite değeri 100+ olarak alınır [30, 67].

3.3.4. Elastik Geri Dönme Deneyi

Deneyde, bitümün elastik geri dönmesi ve geri dönen bitümün elastik deformasyonu düktilite aleti kullanılarak belirlenir. Elastiklik, bitüm numunesinin, boyu 200 mm olacak şekilde 25°C sıcaklıkta ve 50 mm/dk. sabit hızda çekilip, ortadan kesilip 30 dakika beklendikten sonra, yarım iplikler arasında ölçülen ve çekilen mesafenin (200 mm) yüzdesi olarak ifade edilen değer olarak tanımlanır [30, 70, 71].

Genellikle elastomerik modifiye bitümlere uygulanan bu deney, diğer bitümlere uygulandığından az miktarda geri dönme değeri bulunur. Elastomerik modifiye bitümlerde elastik geri dönme modifiye bitüm şartnamesine göre min. % 60 olmalıdır [30].

3.3.5. Parlama Noktası Deneyi

Parlama noktası deneyi, Cleveland açık kapı ve Tagliabue kapalı kabı ile yapılmaktadır. Parlama noktası, bir maddenin geçici olarak parladığı, alev ile temasının geçici olduğu fakat yanmaya devam etmediği en düşük sıcaklıktır. Parlama noktası deneyi, bitümlü bağlayıcının uygulama esnasında ısıtıldığında oluşabilecek herhangi bir tutuşma ve alev alma riskini bilmek açısından önemlidir. Parlama noktası deneyi SC sıvı petrol asfaltlarda ve asfalt çimentolarda uygulanırken Cleveland Açık Kabı ile yapılmakta ve RC ve MC sıvı petrol asfaltlarında uygulanırken ise Tagliabue Kapalı Kabı ile belirlenmektedir [30,72].

3.3.6. Özgül Ağırlık Deneyi

Piknometre yöntemi ile bulunan özgül ağırlık, 25°C sıcaklığa sahip, hacminin havadaki ağırlığının ve aynı sıcaklığa sahip ve aynı hacimdeki havası alınmış distile suyun ağırlığına oranıdır [30,73].

3.3.7. Depolama Stabilitesi

Polimer-bitüm ayrışmasının olup olmadığını belirlemek için uygulanan bir deneydir. Modifiye bitümlerin depolanma esnasında ayrışma gösterip göstermediğini belirler. Modifiye bitüm 72 saat boyunca 180°C sıcaklığa sahip mezür içerisinde bekletilir. Bu süre sonunda alt ve üst kısmından örnekler alınır ve yumuşama noktası ve penetrasyon deneyleri arasındaki farka bakılır [30, 74].

3.3.8. İnce Film Halinde Isıtma Deneyi, TFOT

Hava ve ısının yarı katı asfalt maddeler üzerindeki etkileri ölçmek için bu deney yapılır. Deneyin amacı; yaşlanmış bitüm üzerinde fiziksel deneyler yaparak asfalta oluşan kütle kayıplarını belirlemektir. Deney sonuçları, beton asfalt tesisinde karışım hazırlanırken asfalta meydana gelebilecek sertleşmenin derecesi hakkında fikir verir [30, 75, 76].

3,2 mm kalınlığa sahip asfalt filmin 163°C sıcaklığa sahip döner tablalı (TFOT) bir etüvde 5 saat süre ile ısıtılmasından sonra penetrasyon ve düktilite değişikliklerinin saptandığı bir deneydir [75, 76].

3.3.9. Dönmeli İnce Film Etüvü Deneyi, RTFOT

Yaşlanmış bitüm üzerinde fiziksel deneyler yaparak asfalta oluşan kütle kayıplarını belirlemek amacıyla yapılan bir deneydir. Bitüm yaşlandıkça kütle kaybı yaşar ancak bazı asfaltilerde yaşlanmayla beraber okside ürün oluşumundan dolayı ağırlık artışı meydana gelir[30, 39].

Deneyde, toplam 8 şişe olmak üzere her bir şişeye 35 gram bitümlü bağlayıcı doldurularak 75 dakika boyunca düşey ekseninde dakikada 15 devir yapacak şekilde döndürülmektedir. Dönme yapılırken şişelere, akışı 4000±200 ml/dakika olacak şekilde hava deney aletinin tabanında bulunan bir hava üfleyici yardımıyla hava verilmektedir. Bu şekilde sıcaklığın etkisiyle bitüm, şişeleri tam olarak kaplayarak ince bir film tabakası oluşturmakta ve

bu sayede yaşlanmanın meydana gelişi kolaylaştırılmaktadır. Bu sürenin sonunda elde edilen numunelerden, altı şişe ise bitümlü malzemelerin yaşlandıktan sonraki fiziksel özelliklerini tespit etmek için, iki numune kütle kaybını tayin etmek için kullanılmaktadır [77].

3.3.10. Basınçlı Yaşlandırma Kabı (PAV)

Basınçlı yaşlandırma kabı (PAV) sahadaki uzun süre yaşlanmayı temsil eder. Bu test sadece sıcaklık etkilerini gösterirken karışım, hava boşlukları, agrega tipi ve agrega absorpsiyon özelliklerinin etkilerini göstermez. İşlem TFOT veya RTFOT sonrası bitümlü bağlayıcılar üzerinde yapılan işlemleri içerir. Eğer TFOT kullanıldıysa bitüm hazneleri direkt olarak PAV'a transfer edilir. Eğer RTFOT kullanıldıysa bitüm numuneleri en az iki şişe karışımı bir araya getirilerek homojen bir karışım elde edilir [8].

3.3.11. Dinamik Kesme Reometresi Aleti ile Kompleks Kesme Modülü Ve Faz Açısı Tayini Deneyi, DSR

Dinamik Kayma Reometresi deneyi, bağlayıcıların yüksek sıcaklıklarda tekerlek izi oluşumuna ve normal sıcaklıklarda yorulmaya karşı dayanımını tespit etmek amacıyla uygulanmaktadır. Bitümün davranışı, hem yükleme zamanına hem de sıcaklığa bağlı olduğu için ideal deney her iki faktörü de içermelidir. DSR, bitümün viskoz ve elastik davranışını belirlemek amacıyla kompleks kesme modülü (G^*) ve faz açısını (δ) ölçer. G^* malzeme kesme gerilmesine maruz bırakıldığında deformasyona karşı gösterdiği dirençtir. İki bileşenden oluşur: elastik (geri dönüşümlü) ve viskoz (geri dönüşümsüz). δ ise geri dönüşümlü ve geri dönüşümsüz deformasyonların göreceli miktarıdır. G^* ve δ değerleri deney sıcaklığına ve yüklemenin frekansına bağlıdır [30].

3.4 Agrega Deneyleri

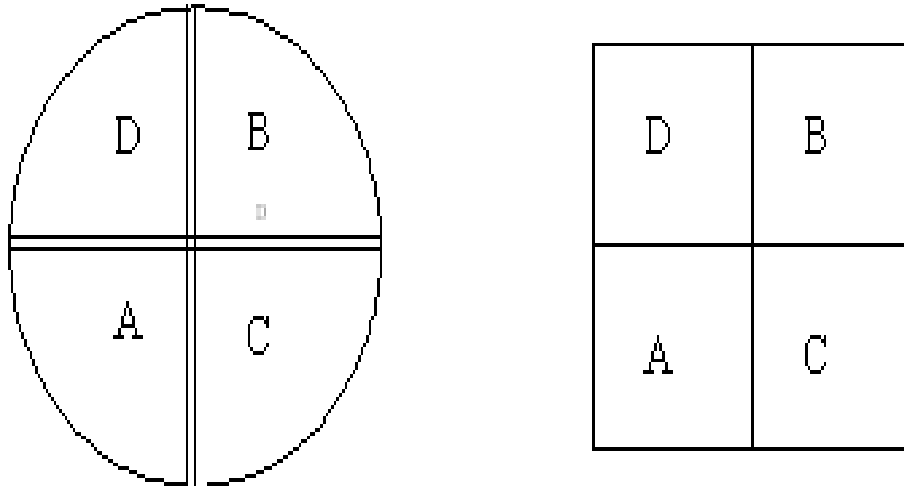
Agrega malzemesi, herhangi bir bitümlü kaplamanın ağırlıkça % 88-96'sını, hacimce % 75'inden çoğunu oluşturmaktadır. Bu bakımdan agrega malzemesinin kalite kontrol deneyleriyle denenmesi ve uygun özellikli agregaların kullanılması bitümlü kaplamanın kalitesi açısından çok önemlidir [22].

3.4.1. Agregalardan Numune Alma

Agrega karışımlarından alınan numune, esas agregaya yığınının özelliklerini gerçekçi olarak temsil edemez. Rastgele alınan numunelerle yapılan deney sonuçları gerçeği yansıtmadığından hiçbir değeri yoktur. Bu nedenle numuneler özenle seçilmelidir. Agregaya yığınınından alınan numune ağırlığı, agreganın en büyük tane boyutuna göre değişmektedir.

ASTM standartlarına göre, ince agregaya için en az 10 kg numune alınması gerekmektedir. İri agregada ise en büyük tane boyutuna bağlı olarak 10-150 kg arasında numune gerekmektedir. Ya da farklı olarak en büyük agregaya boyutunun(mm) iki katından daha fazla miktarda agregaya alınabilir. Örneğin en büyük tane boyutu 14 mm olan agregaya karışımından en az 28 kg agregaya alınmalıdır [78].

Agregalardan numune alınırken çeyrekleme yöntemi kullanılmaktadır. Çeyrekleme yönteminde numune yığılarak dairesel veya karesel bir şekil oluşturulur ve yüzeyi düzgün olacak şekilde düzeltilir. Oluşturulan daire veya kare eşit olacak şekilde 4 bölüme ayrılır. Karşılıklı iki bölüm alınarak numune oluşturulur. Eğer alınacak numune miktarı fazla ise alınan iki dilimi karıştırılarak işlem tekrarlanır [78].



Şekil 3.3. Çeyrekleme Yöntemi [78]

3.4.2. Elek Analizi

Bitümlü kaplamalarda kullanılacak agregaların, dane boyutu dağılımını bulmak için aşağıda açıklıkları verilen kare delikli elekler kullanılmaktadır [30, 79].

Çizelge 3.3. Elek açıklıkları [30, 79]

Elek Açıklığı	
mm	İnch
37.5	1 1/2
25.0	1
19.1	3/4
12.7	1/2
9.52	3/8
4.75	No.4
2.00	No.10
0.42	No.40
0.177	No.80
0.075	No.200

Agreganın dane boyutu dağılımının bulunması amacıyla bu deney yapılır. Deney sonucu bulunan gradasyon, agrega karışım oranlarının hesaplanmasında, agrega boyut sınıflandırmasında ve gradasyonun şartnameye uygunluğunun kontrolünde kullanılır. [30, 79].



Şekil 3.4. Elek Sarsma Cihazı

Deney numunesi, agreganın maksimum dane boyutuna göre Çizelge 3.4.'te verilen miktarlarda, temsili olarak bölgeç veya dörtleme metodu ile alınarak ve $110 \pm 5^\circ\text{C}$ 'lik sıcaklıktaki etüvde ya da havada kurutulur [30, 79].

Çizelge 3.4. Numune Ağırlığı Tablosu [30, 79]

Normal Maksimum Boyut.(mm.inç)	Deney Numunesi Ağırlığı, min.(kg)
4.75 (No.4)	0.50
9.5 (3/8)	1
12.5 (1/2)	2
19.0 (3/4)	5
25.0 (1)	10
37.5 (11/2)	15

Kurutulmuş numune öncelikle tartılır. Daha sonra No.200 elekten yıkanır. Yıkanan numune etüv sıcaklığı $110\pm 5^{\circ}\text{C}$ olan etüvde kurutulur. Malzemenin % 100'ün geçtiği eleklerden başlamak üzere alt eleklerden ayrı ayrı elenir. Her elek üzerinde kalanlar agrega miktarları tartılır. Her tartım sonucu elek analizi formuna yazılır. Rutubeti giderilmiş numune ağırlığı kullanılarak her elek üzerinde kalan miktarların yüzdesi ve daha sonra % geçen miktarları hesaplanır [30, 79].

3.4.3. Agregaların Parçalanma Direncinin Tayini: Los Angeles Aşınma Deneyi

Los Angeles aşınma deneyi, aşındırma ve darbeleme etkisiyle yapı ve inşaat mühendisliğinde kullanılan yapay veya doğal agrega danelerinde oluşan aşınma yüzdesinin bulunmasını sağlamaktadır [30,80].

Deney, 14 mm deney eleğinden geçerek ve 10 mm deney eleği üzerinde kalan agregalar üzerinde uygulanır ve kütesinin en az 15 kg olması gerekmektedir. İlave olarak, deney kısmının tane büyüklüğü dağılımı; % 60 ile % 70 arasında 12,5 mm deney eleğinden geçen agrega miktarı veya % 30 ile % 40 arasında 11,2 mm deney eleğinden geçen agrega miktarı, olmalıdır [80].

Numuneyi tambura yerleştirilmeden önce tamburun içinin temiz olup olmadığı kontrol edilir. Makine içerisine önce dikkatlice 11 adet küresel çelik bilye konulur Her biri 45-49 mm çapa, 440-445 g kütleyle sahip olan ve toplam yükü 4690-4860 g arasında olan 11 adet çelik küresel bilye deney aletinin tambur kısmına konur. Daha sonra hassas terazi ile tartılan 5000 ± 5 g deney numunesi tambur içine konulur. Deney aletinin kapağı kapatılır ve makina 31-33 devir/dakika arasında sabit hızda 500 devir döndürülür [30, 81].



Şekil 3.5. Los Angeles Deneş Aleti

Deneş sonucunda agregaların kaybını önlemek için tamburun açıklığı tam tepsinin üzerine getirilerek agregalara tepsiye dökülür. Tambur içerisinde ince tanelerin kalmamasına dikkat edilerek tambur temizlenir. Bilyeler agrega kaybı olmamasına dikkat edilerek tepside alınır. Tepsi üzerine kalan malzeme, 1,6 mm elek kullanılarak elenip yıkanır. 1,6 mm elekte kalan kısım, etüve 110±5°C'ye bırakılır. Agregalar sabit kütleğe gelinceye kadar kurutulur [30, 81].

Los Angeles kat sayısı LA aşağıdaki eşitlikten hesaplanır:

$$\text{Los Angeles Katsayısı}(\%) = \frac{500 - m}{500} \quad (3.1)$$

m: 1,6 mm elek üzerinde kalan fraksiyon (g)

Sonuç olarak malzemelerin üzerine metal kürelerin düşmesi sonucu aşınan malzemenin, deneşde kullanılan malzemeye göre ağırlıkça yüzdesi aşınma kaybı olarak verilir. TMA karışımlarında kullanılacak agregaların Los Angeles katsayısının ≤ 25 olması istenir [81].

3.4.4. Yassılık İndeksi Deneş, %

Kalınlığı, nominal boyutunun 0,6'sından daha küçük olan agrega danelerinin yassı olarak tanımlanmasına dayanan bir metottur. Yassılık indeksi belirlenirken, belli açıklıktan geçen malzeme ağırlığın toplam numune ağırlığına oranının yüzdesi olarak ifade edilir. Agrega

numunelerinin yassılık indeksi, belirli açıklıkları olan bir şablon kullanarak ayrılan yassı danelerin ağırlığının, toplam numune ağırlığına oranının yüzdesi olarak ifade edilir [30, 82].

Yassılık indeksi hesaplanacak numunenin öncelikle elek analizi yapılır. Tüm elek aralıkları göz önüne alınarak standartta belirtilen miktarlarda malzeme numune olarak alınır.

Çizelge 3.5. Yassılık İndeksi Değeri İçin Minimum Malzeme Miktarı [30]

Elek Açıklığı		Her Fraksiyon İçin Deneye Alınacak Minimum Malzeme Miktarı (kg)
mm	inch	
63 - 50	2 1/2 - 2	25
50 - 37,5	2 - 1 1/2	18
37,5 - 25	1 1/2 - 1	8
25 - 19	1 - 3/4	2,5
19 - 12,5	3/4 - 1/2	1
12,5 - 9,5	1/2 - 3/8	0,5
9,5 - 6,3	3/8 - 1/4	0,250

Her bir numune grubundaki agregalar, kendi dane çapını gösteren açıklık baz alınarak yassılık indeksi şablonunda bulunan açıklıktan tek tek geçirilir. Elek aralıklarına göre belirlenen ilgili açıklıktan geçmeyen ve geçen numune ağırlıkları belirlenir. M_1 deneyde kullanılan toplam malzeme ağırlığını (g), M_2 deneyde belirlenen yassı malzeme ağırlığını (g) göstermek üzere, yassı dane yüzdesi FI aşağıdaki formüle göre hesaplanır [80];

$$FI = \frac{M_2}{M_1} \times 100 \quad (3.2)$$

Burada;

M_1 : Her tane büyüklüğü fraksiyonundaki tanelerin toplam kütlesi, g

M_2 : Her tane büyüklüğü fraksiyonunun çubuklar arası açıklığı $D_i/2$ olan çubuklu eleklerden geçen tanelerinin toplam kütlesi, g

Toplam yassılık indeksi (FI), en yakın tam sayıya yuvarlatılarak kaydedilir.

3.4.5. Soyulma Mukavemeti Deneyi

Sıcaklık ve su etkisiyle agrega ile bitüm arasındaki adezyonundaki azalmanın belirlenmesi için bu deney yapılır. Agregalardaki soyulma miktarı, bitümlü bağlayıcı türüne ve agrega cinsine

bağlıdır. Eğer soyulma mukavemeti arttırılmak isteniyorsa kullanılacak asfalt çimentosu içerisinde katkı maddeleri eklenebilir. Eklenecek katkı maddesi miktarları deneyle belirlenir. [30].

6,3-10 mm boyutları arasında olan 600 gr kırılmış agrega numunesi 6,3mm'lik elekten geçirilir. Elek aralığında kalan numune $100\pm 5^{\circ}\text{C}$ sıcaklıktaki etüv içerisinde sabit ağırlığa erişinceye dek kurutulur. Yıkanıp kurutulan malzemeden 150 tane agrega numunesi bir kapta, içerisinde yeterince bitümlü bağlayıcı ayrı bir kapta bekletilmek üzere, karıştırma kabı ile birlikte belirtilen sıcaklıklara uygun biçimde;

B 50/70 için $150\pm 5^{\circ}\text{C}$

B 70/100 için $145\pm 5^{\circ}\text{C}$

B 100/150 için $140\pm 5^{\circ}\text{C}$

B 160/220 için $135\pm 5^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta ısıtılır [10].

Isıtılan karıştırma kabı içerisinde agrega numunesi bırakıldıktan sonra agrega numunesi ağırlığının % 5'i ağırlığında daha önceden ısıtılan bitüm numunesi agrega üzerine boşaltılır. Bitüm ile agrega karıştırma kabı içerisinde agregaların etrafının tamamen bitümle sarılincaya kadar karıştırılır. Elde edilen karışım uygun çaptaki düztabana sahip iki adet petri kabına eşit miktarda olacak şekilde yerleştirilir. Bitümle kaplanmış agregalar birbirinden tamamen ayrı olacak şekilde cam baget ile hafif darbeler vurularak sıkışması ve düzeltilmesiyle yerleştirilmelidir. Petri kapları 1 saat boyunca laboratuvar sıcaklığında bekletilir. Daha sonra saf su ile dolu yeterli derinliğe sahip tepsi içerisinde batmış şekile gelecek ve petri kaplarının en az 3 cm üzerine kadar olan bölgesi su ile dolacak şekilde yerleştirilerek 60°C 'lik etüvde 24 saat süreyle bekletilmeye konur. 24 saatin sonunda petri kabı su dışına çıkarılarak suyu değiştirilir. Ayrıca petri kabı yan taraftan gelen bir ışık altında gözle incelenir [10].

Deneyin sonunda deneyde kullanılan tüm agrega danelerinin soyulmamış yüzeylerinin (kahverengimsi, saydam kısımlar soyulmamış kabul edilir) bütün yüzeye oranı, şartnameye uygun biçimde belirlenen en yakın % 5'e yuvarlanarak elde edilen bu sonuç, soyulmaya karşı dayanıklılık olarak ifade edilir [10].

Aynı asfalt sınıfında fakat menşei farklı olarak yer alan yer alan asfalt çimentoları ile aynı agrega ile birlikte deney yapıldığında bile agregalardaki soyulma miktarı değişkenlik göstermektedir. Bu nedenle, şantiyeye gelen her bitümlü bağlayıcı partisi üzerinde soyulma deneyi yapılmalıdır. Soyulma mukavemetinin artması gerekiyorsa katkı maddesi kullanılmalı, kullanılan katkı maddesi miktarının doğru oranda bulunması gerekmektedir. Ayrıca yolda

uygulanan bitümlü bağlayıcı ile deneyde kullanılan bitümlü bağlayıcının özellikleri aynı olmalıdır [10, 30].

3.4.6. Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık: MgSO₄ ile Kayıp

Uzun bir zaman boyunca hava tesirleri etkisinde kalan agregaların donma ve çözülme etkilerine karşı mukavemetlerinin ölçülmesi için kullanılan ve bu etkileri çabuklaştıran bir deneydir. Bu deney 10 mm ila 14 mm tane büyüklüğü arasında kalan agregalarla yapılan bu deneyde numune ağırlığı en az 500 gram kütleyle sahip iki farklı deney numunesi üzerinde yapılır [30, 80, 83].

Her iki deney numunesi de 24 ± 1 saat boyunca $110\pm 5^{\circ}\text{C}$ ' lik etüvde kurutulur. Kurutulan numuneler laboratuvar sıcaklığına getirilerek her iki deney numunesi ayrı ayrı 10 mm ve 14 mm göz açıklıklı eleklerle elenir. Elek aralığında kalan yaklaşık 500 gramlık bir kütleyle sahip numune elde edinceye kadar eleme devam eder. Deney numuneleri tozdan arınıncaya kadar yıkanır. Yıkanan numuneler süzülerek etüvde kurutulur. Kullanılan agreganın istenilen elek aralığında olması önemlidir ve bu sebeple etüvden alınan numuneler tekrardan eleme işlemine tabi tutulur. Deney numunelerinden $420\pm 0,1$ gram ile $430\pm 0,1$ gram aralığında deney numunesi alınarak tartılır ve kütleleri kaydedilir (M_1) [80, 83].

Deney numuneleri çalışma ortamında ortaya çıkabilecek malzeme sıçramalarını en aza indirmek için belirlenmiş iki tel sepete aktarılır ve sepetlerin sallantıda olmaması için gerekli önlemler alınmalıdır. Sepetlerdeki agregalar $17\pm 0,5$ saat doygun magnezyum sülfat çözeltisi kap içerisine 20 mm' lik çözelti ile kaplanacak şekilde bırakılır. Deney aşamalarında sepetlerde bulunan agrega tanelerinin kaybolmamasına özenle dikkat edilmelidir. Kirlenme olmaması ve buharlaşmadan sakınmak için kabın kapağı kapalı tutulmalıdır. Daldırma işlemi sonunda sepetler çözeltiden çıkarılarak $2\pm 0,25$ saat süzölmeye bırakılır. Süre dolduktan hemen sonra her sepet 24 ± 1 saat boyunca $110\pm 5^{\circ}\text{C}$ ' lik etüvde kurutulur. $5\pm 0,25$ saat boyunca laboratuvar sıcaklığına erişmesi için soğutma işlemi uygulanır. Bir sonraki daldırma işlemine başlanmadan önce, kap tabanında toplamış tuz çökeltileri çözülerek çözelti iyice karıştırılır. 30 dakika boyunca beklemeye bırakılır. Kaptaki çözeltinin yoğunluğu kontrol edilerek yoğunluğu belirlenmiş aralığın dışında ise çözelti hazırlanmış doygun yeni MgSO₄ çözeltiyle değiştirilir [80, 83].

Su içerisine kayaç tanelerinin aşırı şekilde etrafa sıçrayıp dağılması durumunda çözelti için ölçülen yoğunluk ve süspansiyon halindeki ince taneler veya iyon değişimi gibi etkilerden

dolayı tam olmayabilir böyle bir durumun ortaya çıkması durumunda çözelti yeni bir çözelti ile değiştirilir [80, 83].

Aynı işlemler 5 defa çalışma periyodu 48 ± 2 saat süre ile tekrar edip uygulanmalıdır. Son işlemin bitirilmesinden sonra agrega soğutulur. Her bir sepet içindeki agrega magnezyum sülfattan temizlenene kadar musluk suyu ile yıkayıp temizlenmelidir. Deney numunesi kurutularak, 10 mm lik elekte elle elenir ve agrega elek üstü kütlesi (M_2) 0,1 gram doğrulukla yazılır [80, 83].

Her deney numunesinin magnezyum sülfat değeri kütlece yüzde olarak (MS) aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanır ve her değer 0,1 doğrulukla yazılır [80, 83].

$$MS = \frac{100 (M_1 - M_2)}{M_1} \quad (3.3)$$

Burada;

M_1 : Deney numunesinin ilk kütlesi, $\pm 0,1$ gram doğrulukla.

M_2 : Deneyden sonra 10 mm' lik elekte kalan agreganın nihai kütlesi, $\pm 0,1$ gram doğrulukla.

İki farklı sepete konulan agregalar ile oluşturulan numunelerin sonuçların ortalama değeri hesaplanır ve en yakın tam sayıya yuvarlatılarak kaydedilir. Bu deneyde oluşan etki doğada agrega üzerinde meydana gelen yaklaşık 500 dönme ve çözülme olayına denk gelmektedir. [30, 80].

3.4.7. Cilalanma Deneyi

Agregaların yüzeylerinin aşınmasına karşı koyduğu direnç TS EN 1097-8'e uygun olarak tayin edilmelidir. TS EN 1097-8'ye göre bu deney, agreganın, trafik yükleri altında aşınma ile sürtünme etkisiyle ne dereceye kadar cilalanacağı belirlenmek amacıyla yapılır. Deneyde laboratuvar ortamında gerçek yol yüzeyine benzeyen koşullar yaratarak, agreganın cilalanma değeri bulunur. Kullanılan agrega 10 mm 'lik elekten geçerek 10-14 mm 'lik yassılık eleğinde kalan agregalardır. Deneyde kullanılan agregalardan briketler hazırlanır. Deneyde cilalandırma makinesi kullanılır. Briket hızlandırılmış aşınmaya maruz bırakılır. Cilalandırma makinesinin 14 adet numune yerleştirilebilen 40,6 cm çapında bir tablası vardır Bu tabla üzerine

numuneler yerleştirilir ve 6 saat boyunca 20,3 cm çapında, 5 cm genişliğinde ve 3,16 kg/cm² iç basınca sahip tekerleğin aşındırıcı etkisi altında tutulurlar. Bu arada tekerlek ile numuneler arasına ince aşındırıcı malzeme konur. Lastik tekerlek ile numuneler arasındaki normal basın.5 kg/cm²'dir ve tekerleğin dönme hızı dakikada 315-325 devirdir. Böylece sürtünme aleti ile cilalanma değeri ölçülür [22, 30, 80, 84].

Yüzey aşınmasına karşı direnç, Çizelge 3.6.'da belirtilen ilgili kategoriye uygun olarak beyan edilir [80].

Çizelge 3.6. En Yüksek Yüzey Aşınmasına Karşı Direnç Değerlerine Göre Kategoriler [80]

Agrega aşınma değeri	Kategori, AAV
≤ 10	AAV ₁₀
≤ 15	AAV ₁₅
≤ 20	AAV ₂₀
Ara değerler ve 20'den büyük değerler	AAV _{beyan}
Serbest	AAV _{NR}

Cilalanma değeri sert ve pürüzlü agregalarda, (bazalt, granit vb.) yüksek, çok sert olmayan ve pürüzlülüğü az olan agregalarda (kalker gibi) cilalanma değeri düşüktür. Yapılan kaplamalarda kullanılan agregaların cilalanma değeri yüksek ise yapılan kaplamanın pürüzlülüğü fazla ve bununla beraber kaymaya karşı direnci fazla olur. Fakat kaymaya karşı direnç karışım tipi ve gradasyona da bağlıdır [30].

3.4.8. Özgül Ağırlık ve Su Emme Deneyi

Agreganın özgül ağırlığı, o agreganın birim hacimdeki ağırlığının, aynı hacimde ve 25⁰C'deki suyun ağırlığına oranıdır. Agregaların kütlesi, deney numunesi kısmını belirledikten sonra, doygun ve yüzeyi kurutulmuş hâlde ve tekrar etüvde kurutulmuş hâlde tartarak ölçülür. Agregaların hacmi ise, tel sepet içinde ölçüm veya piknometre ile tartımlar yoluyla, yer değiştiren suyun kütlesinden bulunur. Agregalarda tane yoğunluğu ve su emme oranının tayini için iki farklı metot mevcuttur [30,85]. Bu metotlar;

a) Tel sepet metodu: 63 mm göz açıklıklı elek ile 31,5 mm göz açıklıklı elek arasında kalan agregalara uygulanır

b) Piknometre metotları: 31,5 mm göz açıklıklı elek ile 0,063 mm göz açıklıklı elek arasında kalan agregalara uygulanır.

Piknometre metoduna alternatif olarak, tel sepet metodu, 4 mm elekten ile 31,5 mm elek arasında kalan agregalar için, alternatif olarak kullanılabilir. Sonuçlar arasında anlaşmazlık olması durumunda piknometre metodu, referans metot olarak doğru kabul edilmeli ve kullanılmalıdır [85].

Danenin, hacim tanımlamasına bağlı olarak, üç tane özgül ağırlık türü vardır [30];

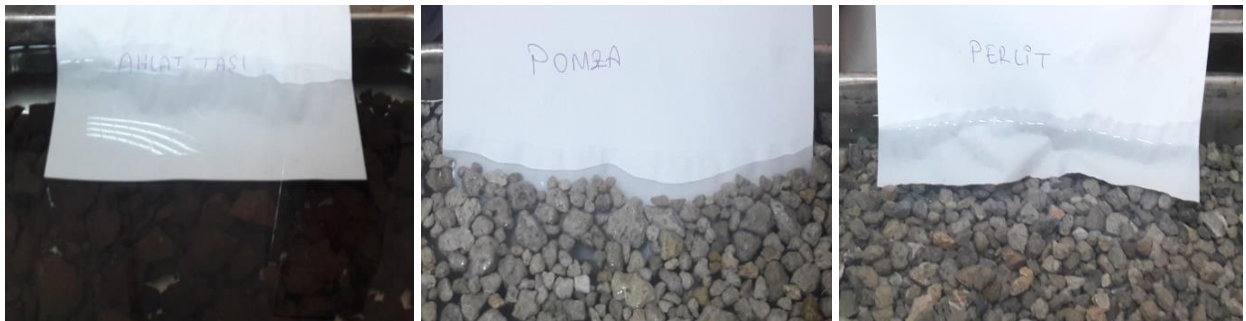
1-Zahiri Özgül Ağırlık (ρ_z): Sıcaklığı belli bir agreg a grubunun geçirimsiz boşluklarını dâhil birim hacminin havadaki ağırlığının, aynı sıcaklık sahip ve aynı hacimdeki havası alınmış distile edilmiş suyun ağırlığına oranı diye tanımlanır.

2- Hacim Özgül Ağırlığı (ρ_h): Sıcaklığı belli bir agreg a grubunun geçirgen olan ve olmayan tüm boşluklarını içeren birim hacminin havadaki ağırlığının, aynı sıcaklığa sahip ve hacminin havadaki ağırlığının, aynı sıcaklıktaki ve aynı hacimdeki havası alınmış distile edilmiş suyun ağırlığına oranı diye tanımlanır.

3- Efektif Özgül Ağırlık (ρ_e): Sıcaklığı belli bir agreg a grubunun asfalt geçirimli boşlukları hariç geçirimli ve geçirimsiz tüm boşluklarını içeren birim hacminin havadaki ağırlığının, aynı sıcaklık ve hacimdeki havası alınmış distile suyun ağırlığına oranı diye tanımlanır.

İri Agreganın Özgül Ağırlık Tayini

Malzemenin No.4 elek üzerinde kalan kısmından minimum 2 kg alınarak iyice yıkanır ve 24 saat su içinde bırakılır.



Şekil 3.6. Su İçerisine Bırakılan Ahlat Taşı, Pomza ve Perlit Agregaları

Numune su içinden çıkarılarak emici özelliği olan bir bez üzerine yayılır. Daneler üzerinde gözle görülebilecek su filmi kalmayana kadar ve büyük daneler teker teker olmak üzere

kurutulur. Bu kurulama işleminde gözeneklerdeki suyun buharlaşmamasına özen gösterilir. Doygun-yüzey kuru hale gelmiş numune tartılır ve tartım kaydedilir (B) [85].



Şekil 3.7. Doygun - Kuru Yüzey Durumuna Getirilen Ahlat Taşı ve Perlit Agregaları

Numune, hemen tel sepete içine yerleştirilir. Tel sepetin bulunduğu su seviyesi, sepetin üst noktasından en az 50 mm yukarıda olacak şekilde $25\pm 1^{\circ}\text{C}$ sıcaklığa sahip ve $977\pm 2 \text{ kg/m}^3$ yoğunluktaki su içeren su tankına daldırılır. Su içerisine daldırmadan hemen sonra sepet içerisindeki agrega numuneleri arasına hapsolan havayı uzaklaştırmak için, tankın tabanından 25 mm yukarıya kaldırılarak ve 25 defa ve saniyede bir kez olmak üzere bu yükseklikten düşürülür. Agrega numuneleri arasına sıkışan hava boşlukları uzaklaştırıldıktan sonra tartım kaydedilir (C) [85].

Sudan çıkarılan numune bir tepsiye boşaltılıp $110\pm 5^{\circ}\text{C}$ sıcaklığa sahip etüvde değişmez ağırlığa ulaşmaya kadar kurutulur. Etüvden çıkartılarak oda sıcaklığında 1-3 saat soğutulur. Kuru numune tartılır ve tartım kaydedilir (A) [85].



Şekil 3.8. Etüv Cihaz Aleti



Şekil 3.9 Etüvden Çıkarılan Agregalar

İri agreganın özgül ağırlığı aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\text{Hacim Özgül Ağırlık} = \frac{A}{(B - C)} \quad (3.4)$$

$$\text{Doğgun Yüzey Kuru Hacim Özgül Ağırlık} = \frac{B}{(B - C)} \quad (3.5)$$

$$\text{Zahiri Özgül Ağırlık} = \frac{A}{(A - C)} \quad (3.6)$$

Burada;

A: Etüvde kurutulmuş deney numunesi kısmının kütlesi, (g).

B: Doğgun-yüzey kuru numune kütlesi, (g).

C: Doğgun-yüzey kuru numunenin sudaki görünür kütlesi, (g).

Agreganın absorpsiyon yüzdesi aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanır:

$$\text{Absorpsiyon \%} = \frac{B - A}{A} \times 100 \quad (3.7)$$

İnce Agreganın Özgül Ağırlığının Tayini

Karışım gradasyonu temsil edecek şekilde tartılarak 1000 gr veya daha fazla agrega karışımı hazırlanır. No.200 elekten yıkanarak tepsi içerisine konur [85].

24 saat boyunca üzeri su ile kaplanmasıyla bekletilir. Malzeme kaybına neden olmayacak bir şekilde suyu süzülün numuneyi doğgun-yüzey kuru hale getirmek için, sıcak hava akışı karşısında devamlı karıştırarak yüzeyi kurutma işlemi yapılır. Bu işlem malzeme karıştırılırken

serbest dökülebilir hale gelene kadar devam edilir. Sonra, bu malzemeden 500 gr alınarak (A) ağırlığındaki piknometreye yerleştirilir. Piknometre ile birlikte tartılır (C). Üzerine, numune seviyesini geçecek kadar su ilave edilir. Malzemenin hava kabarcıkları ya piknometre çalkanarak veya vakumlanarak alınır. Bu işleme hava kabarcığı çıkmayana kadar devam edilir. Piknometre üzerinde bulunan işaret çizgisine kadar su ilave edilen piknometre $25\pm 1^{\circ}\text{C}$ 'ye ayarlı su banyosuna yerleştirilir. Piknometre, içindeki su ve malzeme 25°C 'ye ulaştıktan sonra su banyosundan çıkartılarak su seviyesinin işaret çizgisinde olup olmadığı kontrol edilir. Hemen kurulularak tartılır ve tartım 0,1 hassasiyetinde kaydedilir (D). Piknometre içerisindeki ince agrega bir kaba boşaltılarak $110\pm 5^{\circ}\text{C}$ 'lik etüvde değişmez ağırlığa erişinceye kadar kurutulur. Numuneler etüvden çıkartılarak oda sıcaklığında soğutulur ve tartılır. Tartım 0,1 gr hassasiyetinde kaydedilir (E) [85].

$$\text{Hacim Özgül Ağırlık} = \frac{E}{B + C - A - D} \quad (3.8)$$

$$\text{Doğgun Yüzey Kuru Hacim Özgül Ağırlık} = \frac{C - A}{B + C - A - D} \quad (3.9)$$

$$\text{Zahiri Özgül Ağırlık} = \frac{E}{B + E - D} \quad (3.10)$$

Burada;

A: Piknometre ağırlığı, (g).

B: 25°C 'deki su dolu piknometre ağırlığı, (g).

C: Piknometre ve doğgun-yüzey kuru numune ağırlığı, (g).

D: 25°C 'deki numune ve su dolu piknometre ağırlığı, (g).

E: Kuru numune ağırlığı, (g).

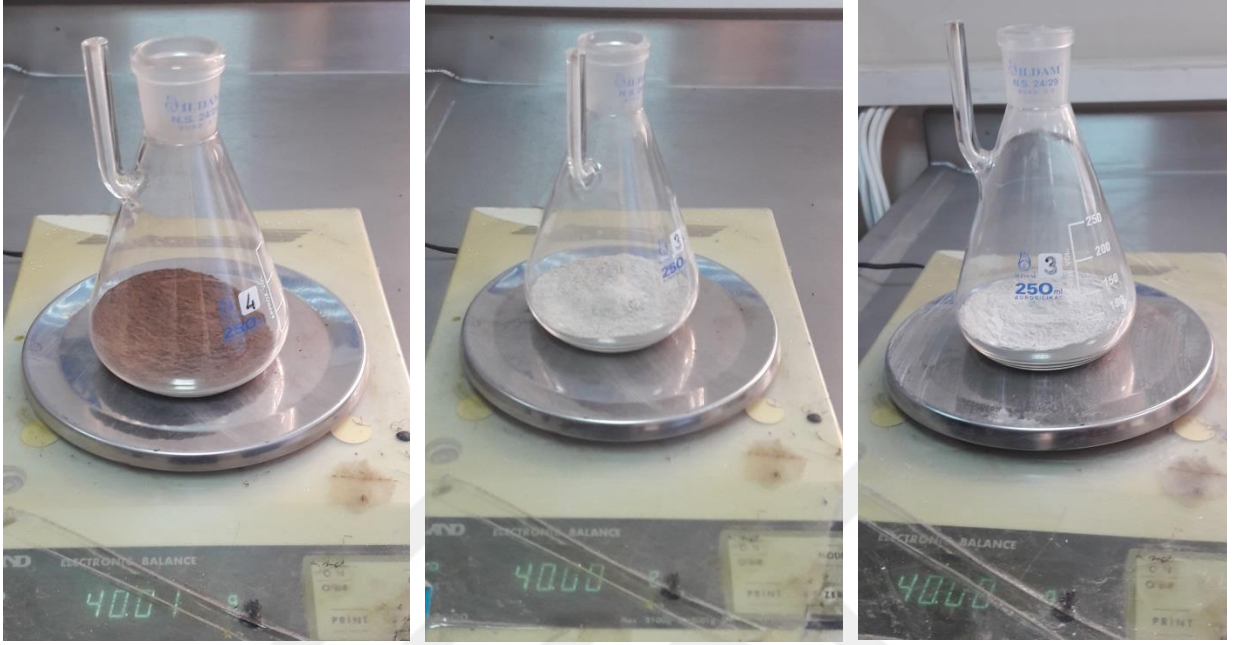
Agreganın absorpsiyon yüzdesi aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanır:

$$\text{Absorpsiyon \%} = \frac{C - A - E}{E} \times 100 \quad (3.11)$$

Filler Agreganın Özgül Ağırlığının Tayini

Malzemenin No.200 eleğinden geçen kısmı kullanılır. Piknometre ağırlığı tartılarak (A), kaydedilir. Daha sonra piknometre 25°C sıcaklığa sahip su ile tamamen doldurularak tartılır(B).

Bu işlem sonunda piknometre içerisindeki su boşaltılarak piknometre etüvde kurutulur. $110\pm 5^{\circ}\text{C}$ 'de etüvde bulunan filler malzemesi yaklaşık 40 gram alınarak piknometreye huni yardımıyla konulup tartım yapılır (C) [85].



Şekil 3.10. Filler Malzemenin Tartılması

Piknometre içinde bulunan filler malzemeyi tam kaplayacak şekilde veya 1 cm geçecek şekilde 25°C 'ye getirilmiş su ile doldurulur. Desikatör aracılığıyla veya ısıtarak numune içindeki hava vakumlanır [85].



Şekil 3.11. Filler Malzemenin Isıtılarak Vakumlanması

Havası alınan numunenin bulunduğu piknometre tamamen su ile doldurularak 25°C sıcaklığa sahip su banyosunda 24 saat bekletilir. 24 saatin sonunda su banyosundan çıkarılan piknometre kurularak tartılır (D) [85].



Şekil 3.12. Piknometrenin Su ile Doldurulması

$$\text{Zahiri Özgöl Ağırlık} = \frac{C - A}{(B - A) - (D - C)} \quad (3.12)$$

3.5. Malzemeler

TMA üretiminde agrega olarak Ahlat taşı, perlit, ponza ve kontrol numunesi olarak bazalt taşı agregası ile bitüm olarak pen. 50-70 bitüm ile mineral filler malzeme kullanılarak elde edilen modifiye bitüm kullanılacaktır.

3.5.1 Agrega

3.5.1.1. Ahlat Taşı

Ahlat taşı volkanik kökenli bir kayadır. Ahlat taşını teşkil eden ignimbritler Nemrut volkanının ürünleridir. Ahlat taşları kül rengi, açık kahverengi ve koyu kahverengi renklerde bulunurlar [86,88]. Van Gölü kıyılarından başlayarak Bitlis'in Ahlat ilçesinin çevresine kadar oldukça geniş bir alanda Ahlat taşı rezervi ve işletmeleri bulunmakta ve rezerv sorunu bulunmamaktadır [87].



Şekil 3.13. Ahlat Taşı Agregası

Ahlat taşları toprak altından çıkarıldıkları zaman bölgesel olarak yumuşak yerlere sahip olup açık havada bekletilmeleriyle sertleşmektedirler. Yumuşak durumda bulunan Ahlat taşına el veya çeşitli makinelerle farklı şekiller verilebilmektedir. Ahlat taşının en büyük fiziksel özelliği yüzeye çıkarıldıktan sonra kolay işlenebilmesidir. Bunu sağlayan Ahlat taşının gözenekli yapısıdır. Taneler arası çok düşük kılcal boşlar barındırırlar. Bununla beraber su emme potansiyellerinin yüksek olması yağışlı ortamlarda dayanımının düşmesine neden olmaktadır [86, 88]. Ahlat taşının kimyasal içeriği aşağıdaki tabloda verilmiştir [87].

Çizelge 3.7. Ahlat Taşı Kimyasal Özellikleri [87]

Bileşen	Ağırlık %'si
Na ₂ O	5,51
MgO	0,24
Al ₂ O ₃	16,01
SiO ₂	64,11
K ₂ O	4,48
CaO	1,64
TiO ₂	0,44
Fe ₂ O ₃	4,91

Konut yapımında, cami minarelerinde, yalıtım malzemesi olarak ve binalarda dış cephe kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadırlar. Selçuklular döneminde Ahlat taşından yapılmış mezar taşları ve kümbetler günümüzde kullanılmakta ve özelliklerini hala devam ettirip korumaktadırlar. Ayrıca Ahlat ilçesinde Ahlat taşından inşa edilmiş 3-4 katlı yığma yapılar

günümüzde mevcuttur. Ahlat taşının basınç dayanımının düşük olmasından dolayı rijit üst yapı ve bina gibi yapıların taşıyıcı kısımlarında beton agregası olarak kullanılmamaktadır [86, 88].

3.5.1.2. Perlit

Doğal olarak oluşan ve esası silis olan perlit, volkanik bir kayadır. Perlit kelimesi bazı perlit tiplerinin kırıldığında inci parlaklığı alması ve küçük boyutlu küreler elde edilmesi nedeniyle inci manasına gelen perle kelimesinden türemiştir. Ülkemizde, dünya üzerindeki olası perlit rezervinin % 74'ü bulunmaktadır [89, 90, 91].



Şekil 3.14. Perlit Taşı Agregası

Ülkemizdeki rezerv durumu yeterince fazla olmakla beraber MTA verilerine göre perlit rezerv yerleri aşağıdaki şekilde verilmiştir.[92]



Şekil 3.15. Perlit Türkiye Rezerv Haritası [92]

Perlit kayaçlarının çeşitleri olmakla beraber, bu çeşitlerin yapıları ve renkleri birbirinden farklı özellikler gösterebilmektedir. Bu sebeple perlit göze tanımak hiç kolay değildir. Rengi parlak siyahtan saydam açık griye kadar değişebilen ham perlit, genleştirildiğinde tamamen beyazlaşmaktadır. % 2 ile % 6 oranında değişen içeriğindeki su perlitin en önemli özelliğidir ve içeriğindeki su perlitin karalılığını sağlamaktadır [5]. Perlit taşının kimyasal içeriği ve fiziksel özellikleri aşağıdaki tabloda verilmiştir [90, 93].

Çizelge 3.8. Perlit Kimyasal Özellikleri [93]

Bileşen	Ağırlık %'si	Bileşen	Ağırlık %'si
SiO ₂	71,0-75,0	SO ₃	0,0-0,2
Al ₂ O ₃	12,5-18,0	FeO	0,0-0,1
Na ₂ O	2,9-4,0	Cr	0,0-0,1
K ₂ O	0,5-5,0	Ba	0,0-0,05
CaO	0,5-2,0	PbO	0,0-0,03
Fe ₂ O ₃	0,1-1,5	NiO	Eser
MgO	0,02-0,5	Cu	Eser
TiO ₂	0,03-0,2	B	Eser
H ₂ O	2,0-5,0	Be	Eser
MnO ₂	0,0-0,1	Serbest Silis	0,0-0,2

Dünya'da ve Türkiye'de perlitin en yaygın kullanım alanı inşaat sektöründedir. İnşaat sektöründe perlit, sıva yapımında, hafif yalıtım betonu üretiminde, hafif yapı elemanları üretiminde, ısı ve yalıtımı malzemesi olarak, dolgu malzemesi olarak ve özel amaçlı beton imalatlarında kullanılmaktadır. Ayrıca toprağın fiziksel özelliklerini arttırması sebebiyle tarım alanında kullanılan perlit farklı ihtiyaçlara karşın gıda, ilaç ve kimya sanayinde de kullanılmaktadır [94].

3.5.1.3. Pomza

Pomza püskürük piroklastik bir kayaçtır. Çok poroz volkanik cam olarak da adlandırılabilir [95]. İtalyancada ponza, Almancada bimsstein, İngilizcede pumice olarak adlandırılmaktadır. Dilimizde süngertaşı, kisir, köpüktaşı, topuktaşı olarak adlandırıldığı gibi bilimsel yazılarda dünyaca kabul görmüş olan pümis (pumice), pümisit (pumicite) olarak da adlandırılabilir. Pümis, iri - çakıl boyutuna, pümisit ise kum ve altındaki daha ince tane boyutlarına denilir [90].

Rezerv durumu olarak pomza taşının özellikle Orta Anadolu ve Doğu Anadolu bölgesinde oldukça büyük rezervleri bulunmaktadır ve Türkiye'deki pomza rezervi yeterli

durumdadır [95]. MTA verilerine göre Türkiye'deki pomza rezervi aşağıdaki şekilde verilmiştir [92].



Şekil 3.16. Pomza Türkiye Rezerv Haritası [92]

Sünger görünümüne sahip, boşluk oranı fazla, camsı doku gösteren ve esaslı silikaya dayanan pomza taşının birim hacim ağırlığı 1 g/cm^3 'den az volkanik bir doğal hafif agregadır. Gözeneklerinin birbirinden bağımsız ve bağlantısız olması özelliğinden dolayı pomza agregasının ısı ve ses iletkenliği oldukça düşük yalıtım betonları üretilebileceği gibi taşıyıcı hafif betonların üretimine olanak sağlamaktadır. Gözle görülebilecek boyutlardan mikroskobik boyutlara kadar sayısız gözenek içerir ve gözeneklerin her biri diğerinden camsı bir zarla ayrılmış durumdadır [96, 97]. Pomzanın kimyasal ve fiziksel özellikleri aşağıdaki tabloda verilmiştir [90, 95, 97].

Çizelge 3.9. Pomza Kimyasal Özellikleri [97]

Bileşen	Ağırlık %'si
SiO ₂	60,0-75,0
Al ₂ O ₃	13,0-15,0
Fe ₂ O ₃	1,0-3,0
CaO	1,0-2,0
MgO	1,0-2,0
Na ₂ O+K ₂ O	7,0-8,0
TiO ₂	Eser
SO	Eser
Cl	Eser

Birim hacim ağırlığının düşük olması, yüksek ısı ve ses yalıtımı, iklimlendirme özelliği, kolay sıva tutması, akustik özelliğinin çok iyi olması, deprem yük ve davranışları karşısındaki elastik davranışı ve alternatiflerine göre daha ekonomik oluşu gibi üstün özelliklerinden dolayı inşaat ve yapı endüstrisinde pomzanın geniş bir kullanım alanı bulmaktadır [94].

Dünyada ve ülkemizde en yaygın kullanım alanı inşaat sektörüdür. Türkiye’de üretilen pomzanın %90’ı yurt içindeki inşaatlarda malzeme olarak kullanılmaktadır. Perlitin kullanıldığı alanların genellikle tümünde pomza kullanılmaktadır. Genleştirmek için enerji ve yatırım gerekmediğinden, inşaat sektöründeki kullanımı son yıllarda hızla artmaktadır. Sertliği 5-6 olan pomza çok kırılğan bir malzemedir. Kırılması esnasında camsı, midye kabuğuna benzer şekilde kırılır ki keskin kenarlı yapısı en ince boyutuna indirildiğinde bile kaybolmamaktadır. Pomza gerek doğal, gerek doğal olmayan madeni eşyaları ve yumuşak metalleri cilalamakta ve çok hafif aşındırıcı olarak sınıflandırılmaktadır [90,94].

3.5.1.4. Bazalt

Bazalt püskürük kaya türlerinden biridir. Magma akıntılarının soğuyup büzülmesiyle oluşan bazalt siyah renkli ve çok sert bir malzemedir. Ülkemizde bazalt birçok bölgede bulunmaktadır. Afyon, Kars, Ardahan, Elazığ, Eskişehir, Gaziantep, Şanlıurfa, Van, Kayseri, Diyarbakır, Konya, Nevşehir ve Doğu Anadolu’da bol miktarda rezervi bulunmaktadır [98, 99, 100].



Şekil 3.17. Bazalt Türkiye Bazalt Rezerv Haritası [94]

Yer kabuğunda % 33'e varan değerleriyle en bol bulunan kayalardır. Magnezyum, kalsiyum, sodyum, potasyum, silikon ve demir oksit içeriğine sahip olan bazaltların kimyasal içerikleri bulunduğu coğrafyaya bağlı olarak değişiklik göstermektedir [100].

Çizelge 3.10. Bazalt Kimyasal İçeriği [100]

Bileşen	Ağırlık %'si
SiO ₂	45,0-50,0
Al ₂ O ₃	13,0-18,0
Fe ₂ O ₃	2,0-5,0
FeO	5,0-9,0
CaO	7,0-18,0
MgO	4,0-9,0
Na ₂ O	3,0-5,0
K ₂ O	0,5-2,5
P ₂ O ₅	0,1-1,0
H ₂ O	0,0-0,5
TiO ₂	0,0-3,0
MnO	0,0-0,20

Bazalt su emmeye, paslanmaya, dona, darbeye ve sürtünmelere karşı çok dayanıklıdır ve aşırı camı niteliği olmamakla beraber renk değiştirmezler. Bu sebeple de uzun süre yapıda leke ve kılcal çatlaklar oluşmaz. Ayrıca asitlere karşı dayanıklıdır. Tüm bu özellikleri sebebiyle kullanım alanı yaygındır. Siyah volkanik kayalar denilen bazaltlar ocaklardan kırmataş olarak çıkarılırlar. Kırmataş olarak yol yarmalarında ve duvar yapımında kullanılırlar. Mıçır boyutunda kırılarak barajlarda dolgu malzemesi olarak ve çimento harcı olarak kullanılırlar. İzolasyon amaçlı ve kıyı koruma yapılarında bloklar halinde kullanılırlar. Ayrıca yoğunlukları sebebiyle yapı taşı olarak kullanılmaları uygundur [101, 102, 103].

3.5.2. Polimer Modifiye Bitüm

Esnek üstyapıların çoğunluğunda geleneksel bitümlü malzemeler istenen düzeyde performans sağlamaktadır. Bununla beraber yollarla beraber istekler her geçen gün değişmekte ve istenen performanslar artmaktadır. Her geçen gün artan araç sayısı ile yollara etki eden dingil

ağırlıklarında artış görülmektedir. Bu sebeplerle ortaya çıkan sorunlarla başa çıkabilmek amacıyla yolda kullanılan bitümlere eklenen katkılarla modifiye bitüm üretimi yapılmaktadır [12].

Bitüm içerisine asbest, özel filler, mineral fiberler, koruyucu kauçuklar ve çeşitli kimyasal maddeler eklenerek modifiye bitümler üretilir. Modifiye edici maddelerin etkili olabilmesi ve hem kolay hem de ekonomik olması gerekmektedir. Bu sebeple kullanılan modifiye edici maddelerin;

- Kolay bulunması
- Bitümle karışabilmesi
- Bitümle karıştırma sıcaklıklarında bozulmaması
- Karıştırma ve serme sıcaklıklarında bitümü fazla viskoz, serme, sıkıştırma ve hizmet sıcaklıklarında ise çok rijit veya kırılğan hale gelmemesi
- Yüksek hizmet sıcaklıklarında akmaya karşı direnci iyileştirmesi
- Ekonomik olması gerekmektedir [12].

Asfalt çimentosu, bir asfalt karışımının hacim olarak en fazla % 15'ini oluşturmakla beraber bir yolun ömrü boyunca çok önemli rol oynamaktadır. Asfalt çimentosunun visko-elastik ve termo-plastik davranışlar sergilemesi, bitümü alçak sıcaklıklarda kırılğan, yüksek sıcaklıklarda ise plastik ve sıvı hale getirmesine neden olur. Yol üst yapılarının performansının yükseltilmesi için kullanılan asfalt çimentosunun performansının yükseltilmesi gerekir. Değişik servis şartlarına dayanıklı hale getirilmesi için asfalt çimentosunun, polimer adı verilen kimyasal katkı maddeleri ile iyileştirilmesi gerekir [104].

Modifiye bitüm, normal bitüme (asfalt çimentosuna) eklenen kimyasal katkılar ile bitümün kimyasal yapısının, fiziksel ve mekanik özelliklerinin değiştirilmesi ile hazırlanan bitümlerdir. Polimer modifiye bitüm ya özel mobil ünitelerde ya da işyerinden uzakta merkezi bir plentte kullanımdan önce, şantiyede üretilir. [30].

Polimer modifiye bitüm içerisinde kullanılan asfalt çimentosunun kimyasal ve yapısal özelliklerinin kullanılan polimer ile uyumluluğu, içeriğinde kullanılan katkıların tipi ve miktarı, üretim şartları ve üretim teknikleri üretiminde etkili olmaktadır.

Modifiye bitümlerin ve karışımların kullanım amaçları aşağıda özetlenmiştir [30].

- Düşük sıcaklıklarda daha yumuşak karışımlar hazırlayarak çatlak miktarlarını düşürmek.
- Yüksek sıcaklıklarda daha sert karışımlar hazırlayarak ve tekerlek izinde oturma miktarını düşürmek.
- Üretim sıcaklıklarında viskoziteyi azaltmak.
- İşlenebilirliği arttırmak ve sıkışmayı iyileştirmek.
- Karışımın stabilitesini ve dayanımını artırmak.
- Karışımındaki agrega kopmasını azaltmak ve agreganın aşınma dayanımını iyileştirmek
- Düşük sıcaklıkta oluşan kaplama çatlaklarını azaltmak.
- Karışımın yorulma dayanımını iyileştirmek.
- Marjinal asfalt çimentolarının kalitesini yükseltmek.
- Yaşlanmış asfalt bağlayıcıları gençleştirmek
- Marjinal agregaların kullanımını sağlamak.
- Asfalt bağlayıcının kullanım ömrünü uzatmak.
- Agrega üzerindeki asfalt filmi daha kalın hale getirmek.
- Asfalt çimentosunun agrega yüzeyinden soyulma miktarını düşürmek ve yapışmayı iyileştirmek.
- Asfalttaki kusmayı azaltmak.
- Geliştirilmiş çatlak dolgusu oluşturmak.
- Oksidasyona, yakıt döküntülerine ve yaşlanmaya karşı dayanım artırmak
- Kaplama tabakalarının kalınlığı azaltarak maliyeti düşürmek
- Kaplamayı ömür-döngü maliyeti azaltmak
- Kaplamaların fiziksel kimyasal ve mekanik tüm performansını geliştirmek

Bunlarla beraber PBM, yansıma çatlaklarının ve tekerlek izi oluşumunun önlenmesi, yorulmaya ve soyulmaya karşı direncin kazandırılması, yüzey pürüzlülüğünün elde edilmesi, yol yapım mevsiminin uzatılması, emilim kapasitesinin minimize olması, tabaka alanlarının küçültülmesi, su yalıtımının yapılması ve açık gradasyonlu asfaltın betona yapıştırılması amaçlarıyla da kullanılmaktadır [104].

Uygun modifiye bitüm seçimi için, karışımın kullanılacağı bölgenin iklim koşulları ve yapılacak yolun trafiği dikkate alınarak, kaplamanın iyileştirilmek istenilen özelliklerine uygun modifiyenin olması gibi özellikler göz önünde bulundurulur. Değişik modifiye edici katkıları kullanılarak da istenilen özellikleri sağlayan modifiye bitüm üretimi yapılabilmektedir [30].

Viskoelastik bir madde olan bitüm, yüksek yüklemelerde (hızlı taşıtlar) elastiklik ve yüksek dayanıklılık gösterirler. Yüklemeler düşük yerlerde ise (yavaş ve duran taşıtlar) dayanıklılığı da düşük olmaktadır. Aynı zamanda termoplastik bir malzeme olan bitümün, ısıtıldığında kıvamı değişmektedir. Bu özelliğinden dolayı dayanıklılığı düşük sıcaklıklarda fazla ve yüksek sıcaklıklarda dayanıklılığı azdır. Polimer bitümün ilave amaçlarında biride bitümün olumsuz özelliklerini iyileştirerek olumlu özelliklerini korumaktır [104]. Kullanılan katkıları, termoplastikler, termosetler ve elastomerler olarak üç gruba ayırmak mümkündür.

Elastomerler, az bir kuvvet uygulaması ile önemli ölçüde şekil değiştiren ve uygulanan kuvvetin kaldırılması ile kısa sürede ilk şekil ve boyutuna geri dönebilen büyük moleküllü maddelerdir. Bitümü daha güçlü duruma getiren elastomerler, böylece karışım ağır yükler altında kırılmadan esnetebilmektedir. Bitüm modifikasyonunda kullanılan başlıca elastomerler; doğal kauçuk, polibütadien, izobütan izopren kauçuk, etilen propilen di-monomer, stiren etilen bütilen stiren, stiren-bütan kauçuk ve stiren bütan stiren blok kopolimer olarak verilebilir [104, 105, 106].

Termoplastikler, genellikle elektriksel ve kimyasal özellikleri iyi, sürtünme katsayıları düşük, su absorpsiyonları çok az olan ve kolay işlenebilen reçinelerdir. Bitüme ilaveleri ile bitüm sert hale gelir ve oluşan modifiye bitümün fazla esnemenen büyük yüklere dayanabilmesini sağlar. Ayrıca normal servis sıcaklıklarında bitümün viskozitesini ve sertliğini de artırır. Bitüm modifikasyonunda kullanılan bazı termoplastikler polietilen, polipropilen, polivinil klorür, polistiren ve etilen vinil asetat olarak verilebilir [105, 106].

Termosetler, ısıtıldıklarında termoplastikler gibi yumuşamayıp erimedikleri gibi, sertleşirler. Sıcaklıkları daha da arttırıldıklarında ise parçalanmaya uğrarlar. Termoset polimerler

yüksek sıcaklıklarda hep sert kalırlar, akışkan hale gelmezler. En önemli termosetler, alkidler, fenolikler, termoset poliesterler, epoksiler ve poliüretanlardır [106].

Bitüm modifikasyonunda seçim yapılırken modifikasyondan ne beklenildiğinin iyi bilinmesi ve polimerin buna göre seçilmesi gerekir [104].

3.6. Marshall Metodu ile Bitümlü Sıcak Karışımların Dizaynı

Marshall deneyi, ilk olarak Mississippi Eyaleti Karayolları İdaresi Bitümlü Malzemeler Mühendisi olan Bruce Marshall tarafından ortaya konmuştur. Amerika Birleşik Devletleri Askeri Mühendislik Birimi olan U.S. Corps Of Engineers tarafından 1948 yılında Marshall deney yöntemine belirli bazı özellikler eklenmiş ve sonuç olarak karışım tasarımı için bazı ölçütler ortaya koymuştur. Bu tarihten itibaren deneyin bazen yönteminde bazen de sonuçlarının yorumlanmasında bazı değişiklikler yapılarak birçok ülkede kuruluşlar ve idari birimler tarafından kabul görmüştür [39].

Bitümlü sıcak karışım (BSK) agregaların kurutularak, iyi bir karıştırma işlemi geçirerek ve işlenebilirlik için ısıtılması sonucu, asfalt çimentosunun ise uygun bir akıcılığa gelmesi amacıyla ısıtılmasıyla agregaya ve bitümün bir tesiste karıştırılması ile hazırlanan karışımlara denilmektedir. Marshall tasarımı ülkemizde Karayolları teknik şartnamesinde belirtilen fiziksel özelliklere sahip agregaların, belirtilen gradasyon aralıkları ile elde edilen agregaya gruplarının karıştırıldıktan sonra elde edilmek istenen bitümlü sıcak karışımda kullanılacak asfalt miktarının belirlenmesi amacıyla yapılmaktadır. Asfalt kaplamaların karışım tasarımının amaçlarını sıralayacak olursak;

- Üstyapıyı sağlam (durabil) bir hale getirmek için gerekli olan bitüm miktarını belirlemek
- Oluşturulan kaplama tabakasının trafik yükleri altında deformasyon göstermeyecek yeterli dayanıma sahip olmasını sağlamak
- Sıkıştırılan tabakada, trafik altında oluşabilecek çok az miktarda sıkışmaya; kasma, akma ve stabilite düşüklüğü olmadan sağlayacak, ancak tabakanın içinde rutubet ve fazla hava barındırmayacak ölçüde boşluğu sağlamak.
- Serim esnasında uygun işlenebilirliğe sahip segregasyona uğramayan, ekonomik bir karışım elde etmek ve agregaya gradasyonunun belirlenmesidir [30].

Bitümlü sıcak karışım tabakalarının yapımında kullanılacak agregalar kaba, ince ve orta olmak üzere en az üç ayrı dane grubunun karışımından oluşmak zorundadır. Agregalar gruplarının kırılmaları agreganın kullanılacağı tabakanın gradasyonunu sağlayacak biçimde konkasörde yapılmalıdır. Üretimin başladığı günden üretilen agregalar ile uygun karışım gradasyonunun elde edilip edilmeyeceğini belirlemek için karışım oranlarının hesabının yapılması gerekmektedir. Şartname gradasyonunu sağlamak amacıyla üç ya da daha fazla agregalar grubunun karıştırılması için gereken oranlar değişik metodlarla yapılabilmektedir. Karayolları laboratuvarlarında genel olarak deneme-yanılma metodu kullanılmaktadır [30].

3.6.1. Marshall Karışım Dizayn Aşamaları

Yaş metoduna göre agregalar gruplarının yaş göre elek analizini yapılarak, şantiye sonuçları ile karşılaştırılır ve esas tasarım gradasyonları belirlenir. Agregalar karışım oranlarının hesaplanması, karışım gradasyonunun ilgili şartname gradasyon limitleri içerisinde kalacak şekilde, hesaplanması gerekmektedir. Briket agregası ve agregalar özgül ağırlıkları ve tartımı için gerekli hesaplamalar yapılır. Karışım gradasyonuna uygun hazırlanan agregalar üzerinde kaba agregalar özgül ağırlık ve ince agregalar özgül ağırlık deneyleri ile filler zahiri özgül ağırlık deneyi yapılır. Briketler, beklenen optimum bitüm ile optimum bitümün ± 0.5 ve ± 1.0 bitüm değerlerinde, her bitüm yüzdesi için en az 3 briket olmak üzere, şartnameye göre, 2x75 ya da 2x50 darbe uygulanarak sıkıştırılır[30].



Şekil 3.18. Bitüm Karıştırma Mikseri ve Hazırlanan Taş Mastik Asfalt

Yapılan karışımın maksimum teorik özgül ağırlık tayini için, beklenen optimum bitüm yüzdesinde, iki adet numune hazırlanarak deneyi yapılır. Briketlerin yüksekliklerini ölçülür. Daha sonra briketlerin hacim özgül ağırlıklarını belirlenerek briketler üzerinde Marshall stabilite ve akma deneyinin yapılır [30].



Şekil 3.19. Taş Mastik Asfalt Briketi

Marshall formuna işlenen tüm deney ve ölçüm sonuçlarına göre, her bitüm yüzdesi için briketlerin ortalama yükseklikleri, D_p 'ler (pratik yoğunluk) hesaplandıktan sonra, D_t (teorik özgül ağırlık), V_h (hava boşluğu), VMA (agregalar arası boşluk), V_f (asfaltla dolu boşluk), briket yüksekliğine göre düzeltilmiş stabilite ve ortalama stabilite ve akma değerleri hesaplanır [30].



Şekil 3.20. Briket Görünümleri, Kuru, Suda ve Doymun- Kuru Yüzey

Bitüm %'si – Dp grafiği,

Bitüm %'si – Boşluk grafiği,

Bitüm %'si – VMA grafiği,

Bitüm %'si – Vf grafiği çizilir.

Karışımında en uygun bitüm yüzdesi belirlenirken, genellikle hava boşluğu değeri göz önünde alınır. Şartnamede aşınma tabakası için boşluk oranı % 4, binder tabakası için boşluk oranı % 4-5, bitümlü temel tabakası için % 5-6 boşluk olması istenmektedir [30].

Şartname ölçütlerine bakılırken boşluk esas alınarak diğer değerlerin şartname ölçütlerine uygun olup olmadığı kontrol edilir. Bitüm miktarı karışımın kullanılacağı bölgenin iklim koşullarında göz önünde bulundurularak belirlenir [30].

4. BULGULAR

4.1. Bitüm Deneyleri

Taş mastik asfalt üretiminde TS EN 12597, Bitümler ve Bitümlü Bağlayıcılar- Kaplama Sınıfı Bitüm- Özellikler, standardına uygun 40/60 veya 50/70 Pen. bitüm ve Kısım 412 Bitümlü Bağlayıcılar bölümündeki limitlere uygun polimer modifiye bitüm kullanılması gerekmektedir. Bitüm içerisinde bitüm drenajını engellemek için karışım ağırlığının aşınma tabakasında % 0,3-1,0' ü kadar, binder tabakasında % 0,2- 0,8' ü kadar elyaf karışıma ilave edilecektir.

Ahlat taşı, perlit ve pomza agregaları kullanılarak yapılacak olan taş mastik asfalt karışımına 50/70 Pen. bitüm içerisine aşınma tabakasının temel alınarak tasarım yapılacağından karışıma % 0,3 oranında elyaf eklenecektir.

50//70 penetrasyona sahip bitüm için yapılan deneyler, sonuçları ve şartname limitleri Çizelge 4.1' de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Bitüm Deney Sonuçları

<i>Rapor Tarihi: 15.05.2015</i>		<i><u>Batman Rafinerisi</u></i>	<i><u>50/70 Pen. Bitüm</u></i>	
Sıra	Deney Adı	Deney Sonuçları	Şartname Limitleri	
			Min.	Maks.
1	Penetrasyon, (25°C, 100 g, 5 sn.) 1 mm (TS 118 EN 1426)	63	50	70
2	Yumuşama Noktası °C (TS 120 EN 1427) (Saf Su Kullanılarak)	52,8	46	54
3	Parlama Noktası, °C	250	230	
4	Bitüm Özgül Ağırlığı, g/cm ³	1,03		

Deneyler sonucunda özgül ağırlığı 1,03 gr/cm³, penetrasyonu 63 mm, parlama noktası 230°C ve yumuşama noktası 52,8°C olan batman bitümünün şartname limitlerine uyduğu ve taş mastik asfalt üretiminde kullanılabileceği görülmektedir.

4.2. Agrega Deneyleri

4.2.1. Los Angeles Aşınma Deneyi

14 mm eleğinde geçen ve 10 mm elek üzerinde kalan agregaların kullanıldığı 15 kg ağırlığındaki agregaların Los Angeles deneyi sonucu 1,6 mm elekten geçen agrega miktarları % kayıp olarak Çizelge 4.2.'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Los Angeles Aşınma Deney Sonuçları

Deney Adı	Agregalar				Şartname Limitleri	Deney Standardı
	Ahlat Taşı	Perlit	Pomza	Bazalt		
Parçalanma Direnci (Los Angeles), % Kayıp	78	67	73	14	≤ 25(LA25)	TS EN 1092-2 AASHTO T 96

Deney sonuçlarına göre şartname limitlerine uymayan agregaların taş mastik asfalt tasarımında kullanılmaması gerekmektedir.

4.2.2. Özgül Ağırlık ve Su Emme Deneyleri

4.2.2.1. Kaba Agregaların Özgül Ağırlık ve Su Emme Deneyleri

Deney No.4 elek üzerinde kalan agregalara yapılmıştır. Deney sonuçları Çizelge 4.3.'te verilmiştir.

Çizelge 4.3. Agrega Birim Ağırlıkları ve Su Emme Yüzdeleri

KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞININ ve SU ABSORBSİYONUNUN HESAPLANMASI	Ahlat Taşı	Perlit	Pomza	Bazalt	Şartname Limitleri	Deney Standardı
Havadaki ağırlık, g	1161,5	1015,0	1007,9	1634,4	-	-
D.Y.K havada ağırlık, g	1365,3	1065,9	1235,6	1656,9	-	-
D.Y.K suda ağırlık, g	661,9	557,1	562,4	1061,8	-	-
Hacim Özgül Ağırlık, g/cm ³	1,651	1,995	1,497	2,746	-	-
Zahiri Özgül Ağırlık, g/cm ³	2,325	2,217	2,262	2,854	-	-
Su Absorpsiyonu, %	17,55	5,01	22,59	1,38	≤ 2,0 (WA242)	TS EN 1097-6

Deney sonuçlarında görüleceği üzere Ahlat taşı, perlit, pomza taşlarının kaba agregalarının su emme yüzdeleri (absorbsiyon) şartname limitlerini aşmasından dolayı taş mastik asfalt üretiminde kullanılmamaları gerekmektedir. Kontrol numunesi olarak kullanılacak bazalt ise şartname limitlerini sağladığından taş mastik asfalt üretiminde kullanılmasında nu aşamada sakınca bulunmamaktadır.

4.2.2.2. İnce Agregaların Özgül Ağırlık ve Su Emme Deneyleri

Deney No.4 elekten geçen ve No.200 elek üzerinde kalan agrega üzerinde yapılmıştır. TMA içerisinde kaba agrega olarak kullanılacak bazalt agregalarının No.4 elekten geçen ve No.200 elek üzerinde kalan agregaları üzerinde yapılmıştır.

Çizelge 4.4. Bazalt İnce Agregası Özgül Ağırlığı ve Su Emme Yüzdesi

İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIKLARI ve SU ABSORBSİYONUN HESAPLANMASI	Bazalt (Numune 1)	Bazalt (Numune 2)	Ortalama
Piknometre ağırlığı, g	122,3	117,8	-
Piknometre + su ağırlığı, g	422,6	422,3	-
Piknometre + DYK ağırlık, g	223,9	219,3	-
Piknometre + numune + su ağırlığı, g	487,8	487,6	-
Kuru numune ağırlığı, g	100,0	100,0	-
Hacim Özgül Ağırlık, g/cm³	2,746	2,758	2,752
Zahiri Özgül Ağırlık, g/cm³	2,872	2,879	2,876
Su Absorpsiyonu, %	1,59	1,53	1,56

4.2.2.3. Filler Agregaların Özgül Ağırlık ve Su Emme Deneyleri

Deney No.200 elek üzerinden geçen filler malzeme üzerinde yapılmıştır.

Çizelge 4.5. Ahlat Taşı Agregası Filler Özgül Ağırlığı

FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞININ HESAPLANMASI	Ahlat Taşı (Numune 1)	Ahlat Taşı (Numune 2)
Piknometre ağırlığı, g	118,450	119,820
Piknometre + su ağırlığı, g	427,520	430,560
Piknometre + kuru ağırlık	158,450	159,820
Piknometre + numune + su ağırlığı, g	451,750	454,820
Zahiri Özgül Ağırlık, g/cm³	2,536	2,541
Ortalama, g/cm³	2,539	

Çizelge 4.6. Perlit Agregası Filler Özgül Ağırlığı

FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞININ HESAPLANMASI	Perlit (Numune 1)	Perlit (Numune 2)
Piknometre ağırlığı, g	118,450	119,820
Piknometre + su ağırlığı, g	427,520	430,560
Piknometre + kuru ağırlık, g	158,450	159,820
Piknometre + numune + su ağırlığı, g	451,970	454,950
Zahiri Özgül Ağırlık, g/cm³	2,572	2,562
Ortalama, g/cm³	2,567	

Çizelge 4.7. Pomza Agregası Filler Özgül Ağırlığı

FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞININ HESAPLANMASI	Pomza (Numune 1)	Pomza (Numune 2)
Piknometre ağırlığı, g	118,450	119,820
Piknometre + su ağırlığı, g	427,520	430,560
Piknometre + kuru ağırlık, g	158,450	159,820
Piknometre + numune + su ağırlığı, g	450,980	453,970
Zahiri Özgül Ağırlık, g/cm³	2,418	2,411
Ortalama, g/cm³	2,415	

Çizelge 4.8. Bazalt Agregası Filler Özgül Ağırlığı

FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞININ HESAPLANMASI	Bazalt (Numune 1)	Bazalt (Numune 2)
Piknometre ağırlığı, g	122,630	126,900
Piknometre + su ağırlığı, g	420,680	432,380
Piknometre + kuru ağırlık, g	162,630	166,900
Piknometre + numune + su ağırlığı, g	446,490	458,225
Zahiri Özgül Ağırlık, g/cm³	2,819	2,826
Ortalama, g/cm³	2,822	

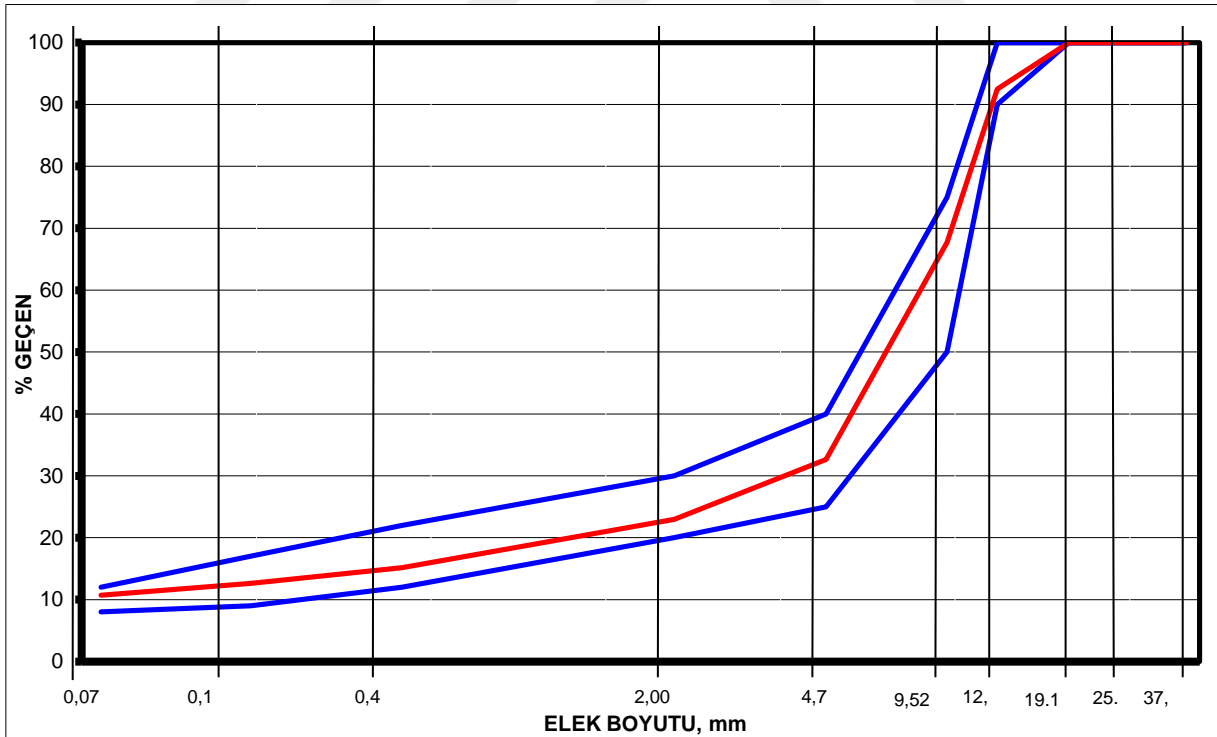
4.3. Marshall Dizaynı

Ahlat Taşı, perlit ve pomza agregalarının aşınma değerleri ve kaba agregalar birim ağırlıkları şartname limit ve toleranslarına uymadığından taş mastik asfalt içerisinde kullanılması uygun değildir. Bu sebeple taş mastik asfalt dizaynında kaba ve ince agregalar olarak bazalt taşı agregası filler malzeme olarak ise Ahlat taşı, pomza, perlit ve bazalt kullanılacaktır.

Bazalt taşı agregası üzerinde yapılan elek analizinde Çizelge 4.9. 'daki sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 4.9. Bazalt Agregası Elek Analizi

ELEK AÇIKLIĞI		MLZ-1 - MLZ-5					(%)	DÜZELTİLMİŞ	SMA 12.5/0 (%)
mm	in.	1 % geçen	2 % geçen	3 % geçen	4 % geçen	5 % geçen	KARIŞIM GRADASYONU	DİZAYN GRADASYONU	
37,5	1 1/2"	100	100	100	100	100	100	100,0	
25,4	1"	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100 100
19,1	3/4"	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100 100
12,7	1/2"	42,2	100,0	100,0	100,0	100,0	92,5	92,5	90 100
9,52	3/8"	2,0	64,5	100,0	100,0	100,0	67,7	67,7	50 75
4,76	No.4	0,3	1,1	100,0	100,0	100,0	32,6	32,6	25 40
2,00	No.10	0,0	0,4	61,4	100,0	100,0	23,0	23,0	20 30
0,42	No.40	0,0	0,0	29,8	100,0	100,0	15,2	15,2	12 22
0,177	No.80	0,0	0,0	21,3	94,2	100,0	12,6	12,6	9 17
0,075	No.200	0,0	0,0	16,3	84,8	100,0	10,7	10,7	8 12



Şekil 4.1. Bazalt Agregası Gradasyon Eğrisi

Çizelge 4.9.'da görüldüğü üzere 5 farklı bant üzerinden alınan malzeme ile yapılan elek analizi sonucunda bazalt agregası ile tasarlanan taş mastik asfalt içerisindeki kaba agregası oranı % 67,4, ince agregası oranı % 21 ve filler oranı % 10,7 olarak bulunmuştur. Hazırlanan briketler 1200 gram ağırlığında olacağından kullanılacak malzeme miktarı elek analizi tablosuna göre Çizelge 4.10' de verilmiştir.

Çizelge 4.10. Taş Mastik Asfalt Briketi İçerisinde Kullanılacak Agregası Miktarları

ELEK AÇIKLIĞI		DİZAYN GRADASYONU	KALAN %		BRİKET 1200
mm	in.				
37,5	1 1/2"	100,0	0,0		
25,4	1"	100,0	0,0	(1 1/2"-1") arası	0,0
19,1	3/4"	100,0	0,0	(1"-3/4") arası	0,0
12,7	1/2"	92,5	7,5	(3/4"-1/2") arası	90,2
9,52	3/8"	67,7	24,8	(1/2"-3/8") arası	297,0
4,76	No.4	32,6	35,1	(3/8"-#4) arası	421,1
2,00	No.10	23,0	9,7	(#4-#10) arası	116,3
0,42	No.40	15,2	7,8	#10'dan geçen	275,5
0,177	No.80	12,6	2,5		
0,075	No.200	10,7	2,0		
0,000	No.∞	0,0	10,7		
		TOPLAM	100,0		
				TOPLAM	1200,0

4.3.1. TMA Özgül Ağırlık, Bitüm Absorpsiyonu

4.3.1.1. Kaba, İnce Agregası ve Filler Bazalt ile Dizayn Edilen TMA

Kaba, ince ve filler bazalt ile tasarlanan TMA' ya ait hesap sonuçları Çizelge 4. 11 ve Çizelge 4.12' te verilmiştir.

Çizelge 4.11. Kaba, İnce ve Filler Bazalt Agregalarının Özgül Ağırlıkları

Malzeme	g/cm ³
Bazalt Kaba Agregasının Hacim Özgül Ağırlığı, Gkh	2,746
Bazalt Kaba Agregasının Zahiri Özgül Ağırlığı, Gkz	2,854
Bazalt İnce Agregasının Hacim Özgül Ağırlığı, Gih	2,752
Bazalt İnce Agregasının Zahiri Özgül Ağırlığı, Giz	2,876
Bazalt Fillerin Zahiri Özgül Ağırlığı, Gfz	2,822

$$\text{Agrega Zahiri Özgöl Ağırlığı (Gsa)} = \frac{100}{\frac{\text{Kaba Agregası \%}}{G_{kz}} + \frac{\text{İnce Agregası \%}}{G_{iz}} + \frac{\text{Filler \%}}{G_{fz}}} \quad (4.1)$$

$$\text{Agrega Hacim Özgöl Ağırlık (Gsb)} = \frac{100}{\frac{\text{Kaba Agregası \%}}{G_{kh}} + \frac{\text{İnce Agregası \%}}{G_{ih}} + \frac{\text{Filler \%}}{G_{fz}}} \quad (4.2)$$

$$\text{Agrega Efektif Özgöl Ağırlığı (Gef)} = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2} \quad (4.3)$$

$$\text{Agreganın Bitüm Absorbisyonu (Pba)} = \frac{100 \times (G_{ef} - G_{sb}) \times G_b}{G_{ef} \times G_{sb}} \quad (4.4)$$

Çizelge 4.12. TMA Dizaynı İçin Hazırlanan Karışımın Özellikleri

Bitüm Penetrasyonu (25°C, 100 g, 5 s) 0,1 mm	63
Bitüm Özgöl Ağırlığı, Gb, , g/cm ³	1,030
Agreganın Bitüm Absorbisyonu, Pba, %	0,66
Agreganın Efektif Özgöl Ağırlığı, Gef, g/cm ³	2,805
Agreganın Hacim Özgöl Ağırlığı, Gsb, g/cm ³	2,755
Agreganın Zahiri Özgöl Ağırlığı, Gsa, g/cm ³	2,855

4.3.1.2. Kaba ve İnce Agregası Bazalt, Filler Ahlat Taşı ile Dizayn Edilen TMA

Kaba, ince bazalt agregaları ve Ahlat taşı filleri ile dizayn edilen TMA' ya ait hesap sonuçları Çizelge 4. 13 ve Çizelge 4.14' te verilmiştir.

Çizelge 4.13. Kaba ve İnce Bazalt, Filler Ahlat Taşı Agregalarının Özgöl Ağırlıkları

Malzeme	g/cm ³
Bazalt Kaba Agreganın Hacim Özgöl Ağırlığı, Gkh	2,746
Bazalt Kaba Agreganın Zahiri Özgöl Ağırlığı, Gkz	2,854
Bazalt İnce Agreganın Hacim Özgöl Ağırlığı, Gih	2,752
Bazalt İnce Agreganın Zahiri Özgöl Ağırlığı, Giz	2,876
Ahlat Taşı Fillerin Zahiri Özgöl Ağırlığı, Gfz	2,539

Çizelge 4.14. TMA Dizaynı İçin Hazırlanan Karışımın Özellikleri

Bitüm Penetrasyonu, (25°C, 100 g, 5 s) 0,1 mm	63
Bitüm Özgül Ağırlığı, Gb, g/cm ³	1,030
Agreganın Bitüm Absorpsiyonu, Pba, %	0,66
Agreganın Efektif Özgül Ağırlığı, Gef, g/cm ³	2,772
Agreganın Hacim Özgül Ağırlığı, Gsb, g/cm ³	2,724
Agreganın Zahiri Özgül Ağırlığı, Gsa, g/cm ³	2,821

4.3.1.3.Kaba ve İnce Agregaya Bazalt, Filler Perlit ile Dizayn Edilen TMA

Kaba, ince bazalt agregaları ve perlit taşı filleri ile tasarlanan TMA' ya ait hesap sonuçları Çizelge 4. 15. ve Çizelge 4.16.' de verilmiştir.

Çizelge 4.15. Kaba ve İnce Bazalt, Filler Perlit Taşı Agregalarının Özgül Ağırlıkları

Malzeme	g/cm ³
Bazalt Kaba Agreganın Hacim Özgül Ağırlığı, Gkh	2,746
Bazalt Kaba Agreganın Zahiri Özgül Ağırlığı, Gkz	2,854
Bazalt İnce Agreganın Hacim Özgül Ağırlığı, Gih	2,752
Bazalt İnce Agreganın Zahiri Özgül Ağırlığı, Giz	2,876
Perlit Fillerin Zahiri Özgül Ağırlığı, Gfz	2,567

Çizelge 4.16. TMA Dizaynı İçin Hazırlanan Karışımın Özellikleri

Bitüm Penetrasyonu, (25°C, 100 g, 5 s) 0,1 mm	63
Bitüm Özgül Ağırlığı, Gb, g/cm ³	1,030
Agreganın Bitüm Absorpsiyonu, Pba, %	0,65
Agreganın Efektif Özgül Ağırlığı, Gef, g/cm ³	2,775
Agreganın Hacim Özgül Ağırlığı, Gsb, g/cm ³	2,7727
Agreganın Zahiri Özgül Ağırlığı, Gsa, g/cm ³	2,825

4.3.1.4. Kaba ve İnce Agregalar Bazalt, Filler Pomza ile Dizayn Edilen TMA

Kaba, ince bazalt agregaları ve perlit taşı filleri ile tasarlanan TMA' ya ait hesap sonuçları Çizelge 4. 17. ve Çizelge 4.18.' da verilmiştir.

Çizelge 4.17. Kaba ve İnce Bazalt, Filler Pomza Taşı Agregalarının Özgül Ağırlıkları

Malzeme	g/cm ³
Bazalt Kaba Agreganın Hacim Özgül Ağırlığı, Gkh	2,746
Bazalt Kaba Agreganın Zahiri Özgül Ağırlığı, Gkz	2,854
Bazalt İnce Agreganın Hacim Özgül Ağırlığı, Gih	2,752
Bazalt İnce Agreganın Zahiri Özgül Ağırlığı, Giz	2,876
Pomza Fillerin Zahiri Özgül Ağırlığı, Gfz	2,415

Çizelge 4.18. TMA Dizaynı İçin Hazırlanan Karışımın Özellikleri

Bitüm Penetrasyonu, (25°C, 100 g, 5 s) 0,1 mm	63
Bitüm Özgül Ağırlığı, Gb, g/cm ³	1,03
Agreganın Bitüm Absorpsiyonu, Pba, %	0,68
Agreganın Efektif Özgül Ağırlığı Gef, g/cm ³	2,757
Agreganın Hacim Özgül Ağırlığı, Gsb, g/cm ³	2,708
Agreganın Zahiri Özgül Ağırlığı, Gsa, g/cm ³	2,804

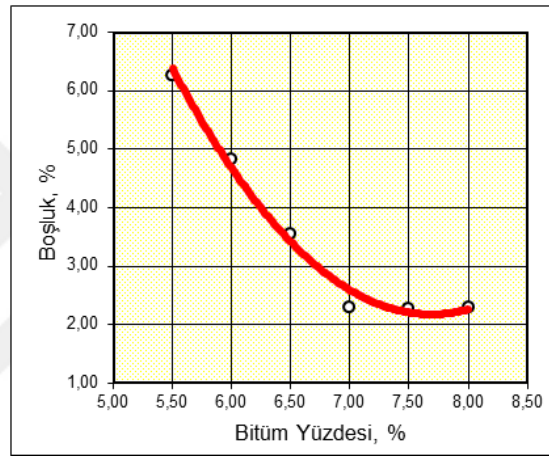
4.3.2. Marshall Dizaynı Sonucu Elde Edilen Grafikler

Marshall dizaynı için kaba ve ince agregalar bazalt olmak üzere bazalt filleri, Ahlat taşı filleri, perlit filleri ve pomza filleri kullanılarak karışımlar hazırlanır. Hazırlanan karışımlara % 5-6 oranında başlanarak % 7,5-8 oranında bitüm eklenerek her eklenen oran için 3 adet TMA briketi uygun sıkıştırma ile hazırlanır. Hazırlanan briketlerin yükseklikleri ve hacim özgül ağırlıkları hesaplanarak bitüm yüzdesi, agregalar arası boşluk oranı, asfaltla dolu boşluk ve hava boşlukları bulunur. Şartnameye göre en uygun bitüm yüzdesi bulunurken karışım içerisindeki hava miktarının % 2-4 aralığında olması gerekmektedir. Grafikten elde edilen hava boşluğu değerinin şartnamede yer alan limitlerin ortasındaki değer olan 3 bulunarak hava boşluğu oranına göre

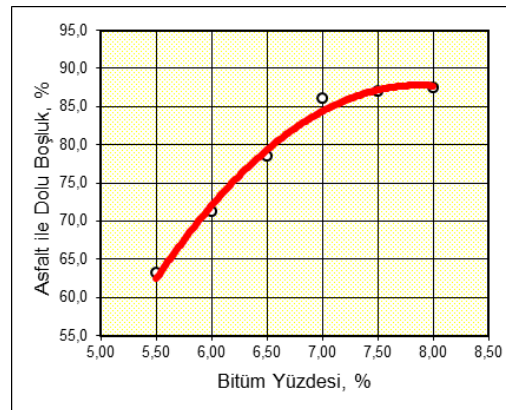
bulunan optimum bitüm oranı ile tasarlanan TMA briketleri sonucunda elde edilen agregalar arası boşluk oranı, asfaltla dolu boşluk oranı ve en uygun bitüm miktarı grafikten okunur.

4.3.2.1. Kaba İnce Agrega ve Filler Bazalt ile Dizayn Edilen TMA Grafikleri

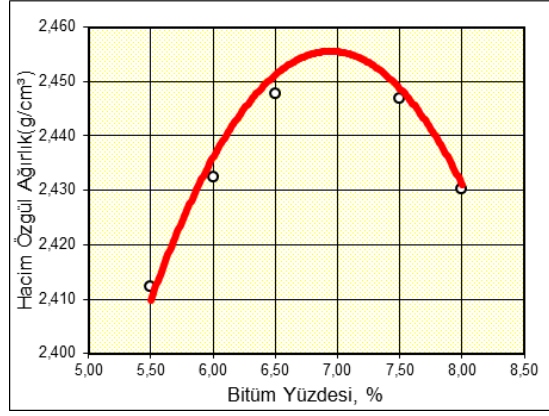
Bazalt filleri içeren karışıma % 5,5'ten başlanarak % 8 oranına kadar her defasında % 0,5 oranında bitüm arttırılarak 18 briket elde edilmiştir. Briketlerin yükseklikleri ölçülerek; havada kuru ağırlık, sudaki ağırlık, doymun yüzey ağırlık, hacim ve hacim özgül ağırlıkları tartılarak hesaplanarak EK-1' de bulunan çizelgeye kaydedilir. Hesaplamalarda bulunun ortalama değerler esas alınarak grafikler çizilir.



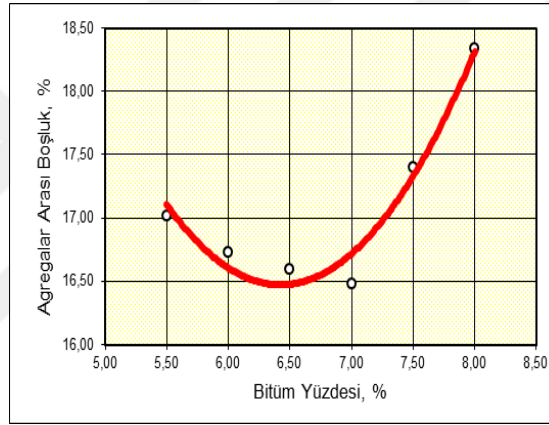
Şekil 4.2. Kaba, İnce Agrega ve Filler Bazalt ile Dizayn Edilen TMA'nın Boşluk Oranı – Bitüm Yüzdesi Grafiği



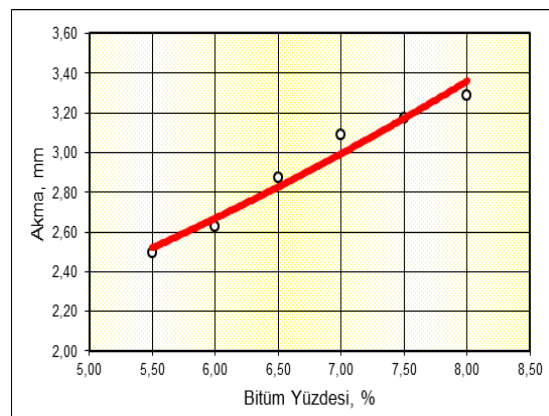
Şekil 4.3. Kaba, İnce Agrega ve Filler Bazalt ile Dizayn Edilen TMA'nın Asfalt ile Dolu Boşluk Oranı – Bitüm Yüzdesi Grafiği



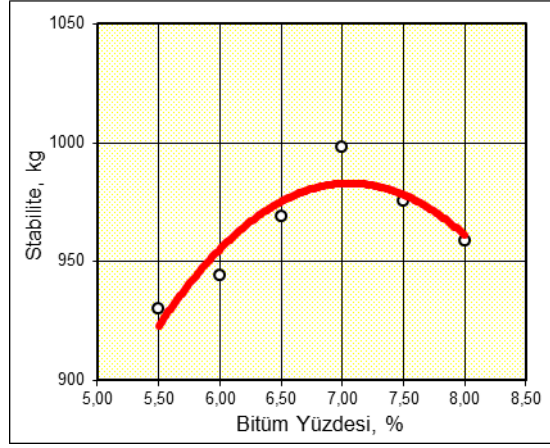
Şekil 4.4. Kaba, İnce Agrega ve Filler Bazalt ile Dizayn Edilen TMA' nın Hacim Özgü Ağırlığı – Bitüm Yüzdesi Grafiği



Şekil 4.5. Kaba, İnce Agrega ve Filler Bazalt ile Dizayn Edilen TMA' nın Agregalara Arası Boşluk Oranı – Bitüm Yüzdesi Grafiği



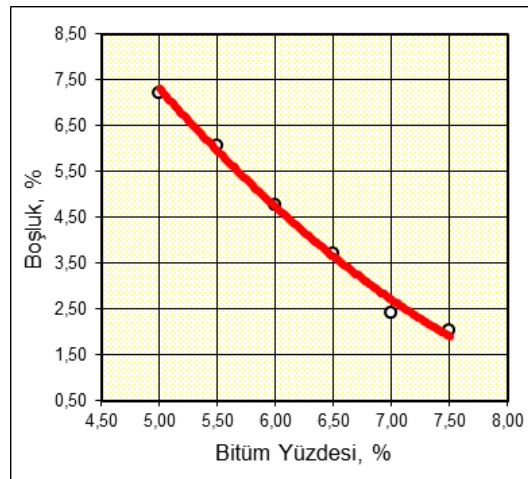
Şekil 4.6. Kaba, İnce Agrega ve Filler Bazalt ile Dizayn Edilen TMA' nın Akma – Bitüm Yüzdesi Grafiği



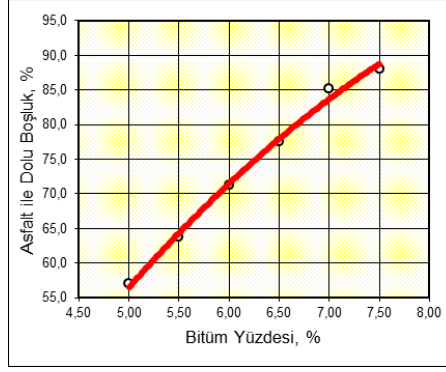
Şekil 4.7. Kaba, İnce Agreg ve Filler Bazalt ile Dizayn Edilen TMA' nın Stabilite – Bitüm Yüzdesi Grafiği

4.3.2.2. Kaba ve İnce Agreg Bazalt, Filler Ahlat Taşı ile Dizayn Edilen TMA Grafikleri

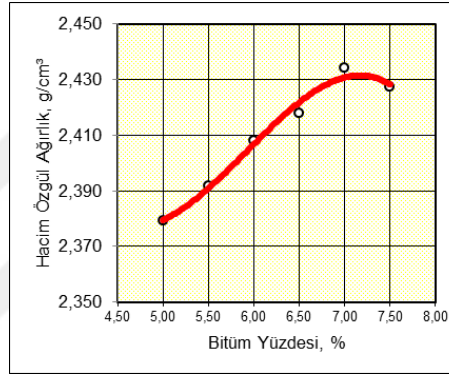
Ahlat taşı filleri içeren karışıma % 5'ten başlanarak % 7,5 oranına kadar her defasında % 0,5 oranında bitüm artırılarak 18 briket elde edilmiştir. Briketlerin yükseklikleri ölçülerek; havada kuru ağırlık, sudaki ağırlık, doymun yüzey ağırlık, hacim ve hacim özgül ağırlıkları tartılarak hesaplanarak EK-2' de bulunan çizelgeye kaydedilir. Hesaplamalarda bulunun ortalama değerler esas alınarak grafikler çizilir.



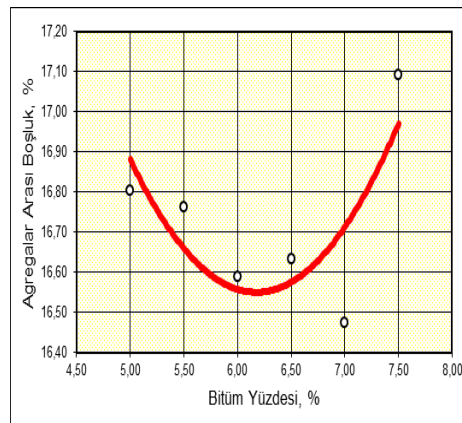
Şekil 4.8. Kaba ve İnce Agreg Bazalt, Filler Ahlat Taşı ile Dizayn Edilen TMA 'nın Boşluk Oranı – Bitüm Yüzdesi Grafiği



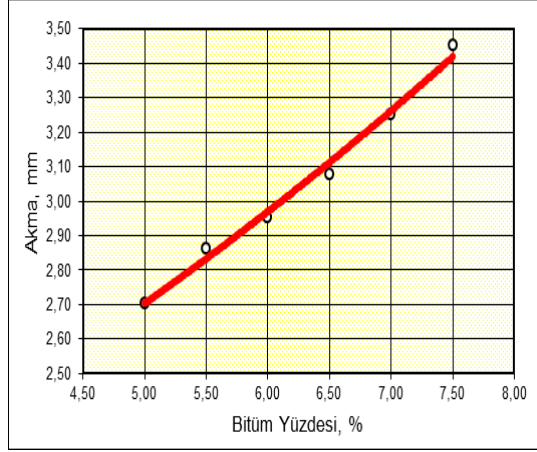
Şekil 4.9. Kaba ve İnce Agrega Bazalt, Filler Ahlat Taşı ile Dizayn Edilen TMA 'nın Asfalt ile Dolu Boşluk Oranı – Bitüm Yüzdesi Grafiği



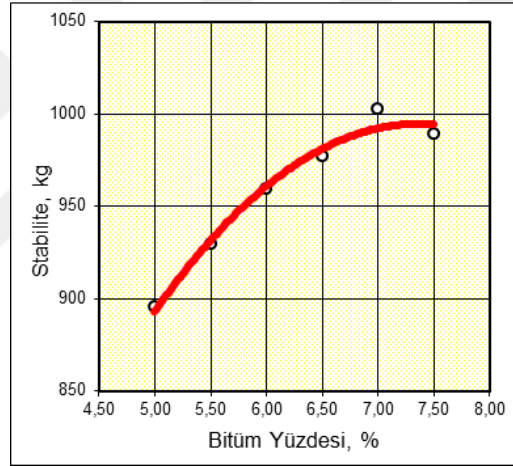
Şekil 4.10. Kaba ve İnce Agrega Bazalt, Filler Ahlat Taşı ile Dizayn Edilen TMA 'nın Hacim Özgü Ağırlığı – Bitüm Yüzdesi Grafiği



Şekil 4.11. Kaba ve İnce Agrega Bazalt, Filler Ahlat Taşı ile Dizayn Edilen TMA 'nın Agregalara Arası Boşluk Oranı – Bitüm Yüzdesi Grafiği



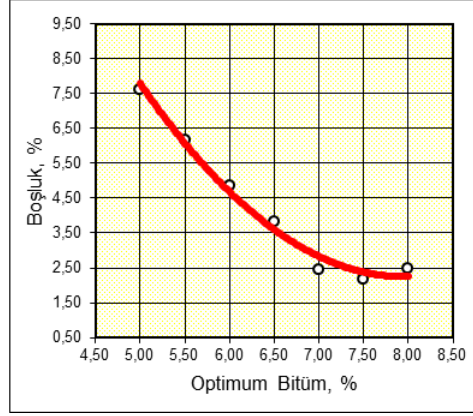
Şekil 4.12. Kaba ve İnce Agrega Bazalt, Filler Ahlat Taşı ile Dizayn Edilen TMA'nın Akma – Bitüm Yüzdesi Grafiği



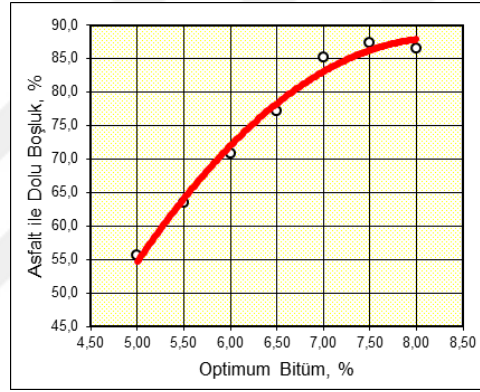
Şekil 4.13. Kaba ve İnce Agrega Bazalt, Filler Ahlat Taşı ile Dizayn Edilen TMA'nın Stabilite – Bitüm Yüzdesi Grafiği

4.3.3.3. Kaba ve İnce Agrega Bazalt, Filler Perlit ile Dizayn Edilen TMA Grafikleri

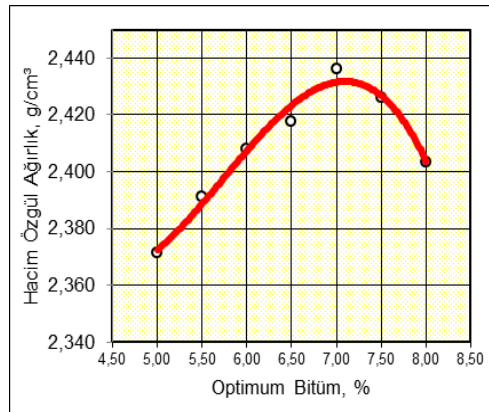
Perlit filleri içeren karışıma % 5'ten başlanarak % 8 oranına kadar her defasında % 0,5 oranında bitüm arttırılarak 21 briket elde edilmiştir. Briketlerin yükseklikleri ölçülerek; havada kuru ağırlık, sudaki ağırlık, doygun yüzey ağırlık, hacim ve hacim özgül ağırlıkları tartılarak hesaplanarak EK-3' de bulunan çizelgeye kaydedilir. Hesaplamalarda bulunun ortalama değerler esas alınarak grafikler çizilir.



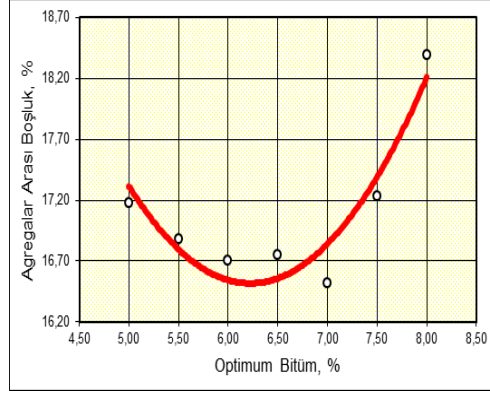
Şekil 4.14. Kaba ve İnce Agrega Bazalt, Filler Perlit ile Dizayn Edilen TMA 'nın Boşluk Oranı – Bitüm Yüzdesi Grafiği



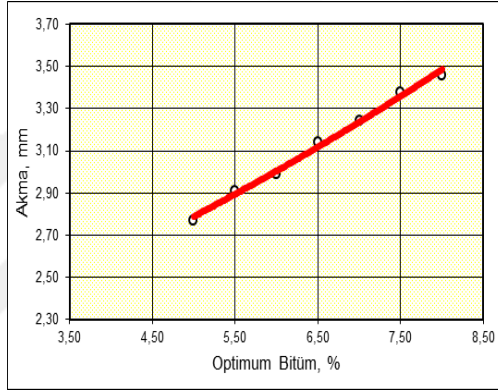
Şekil 4.15. Kaba ve İnce Agrega Bazalt, Filler Perlit ile Dizayn Edilen TMA 'nın Asfalt ile Dolu Boşluk Oranı – Bitüm Yüzdesi Grafiği



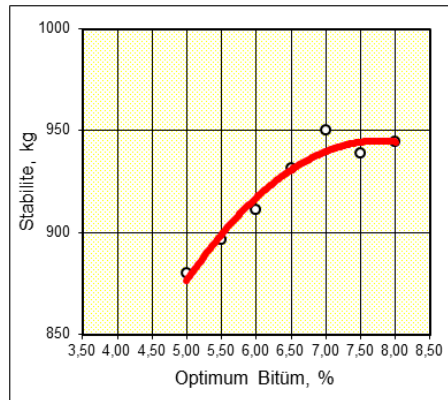
Şekil 4.16. Kaba ve İnce Agrega Bazalt, Filler Perlit ile Dizayn Edilen TMA 'nın Hacim Özgü Ağırlığı – Bitüm Yüzdesi Grafiği



Şekil 4.17. Kaba ve İnce Agregalar Arası Boşluk Oranı – Bitüm Yüzdesi Grafiği



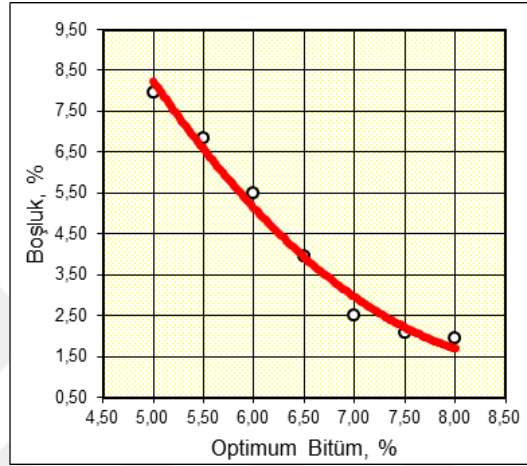
Şekil 4.18. Kaba ve İnce Agregalar Arası Akma – Bitüm Yüzdesi Grafiği



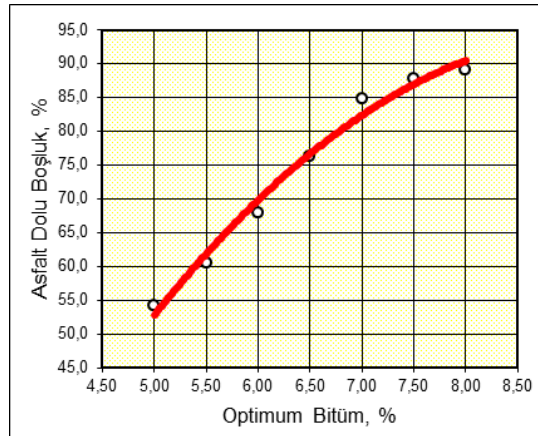
Şekil 4.19. Kaba ve İnce Agregalar Arası Stabilite – Bitüm Yüzdesi Grafiği

4.3.3.4. Kaba ve İnce Agrega Bazalt, Filler Pomza ile Dizayn Edilen TMA Grafikleri

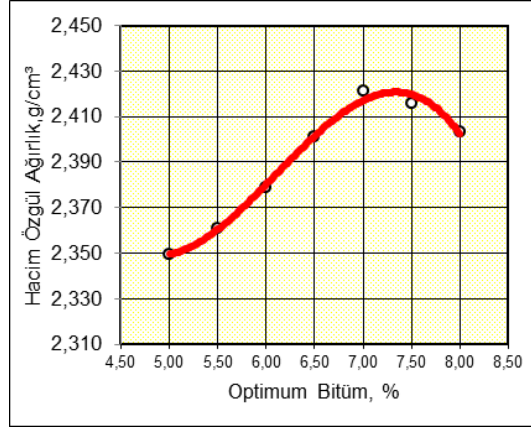
Pomza filleri içeren karışıma % 5'ten başlanarak % 8 oranına kadar her defasında % 0,5 oranında bitüm arttırılarak 21 briket elde edilmiştir. Briketlerin yükseklikleri ölçülerek; havada kuru ağırlık, sudaki ağırlık, doygun yüzey ağırlık, hacim ve hacim özgül ağırlıkları tartılarak hesaplanarak EK-4' de bulunan çizelgeye kaydedilir. Hesaplamalarda bulunun ortalama değerler esas alınarak grafikler çizilir.



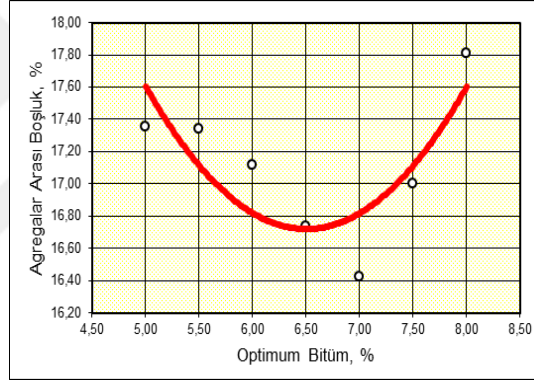
Şekil 4.20. Kaba ve İnce Agrega Bazalt, Filler Pomza ile Dizayn Edilen TMA'nın Boşluk Oranı – Bitüm Yüzdesi Grafiği



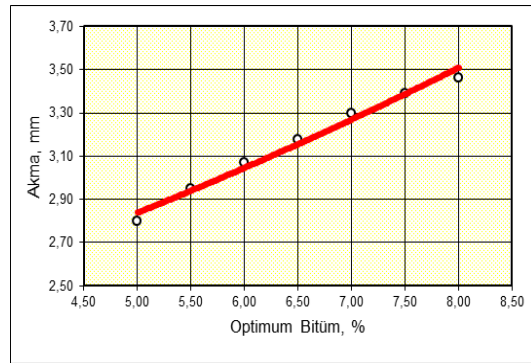
Şekil 4.21. Kaba ve İnce Agrega Bazalt, Filler Pomza ile Dizayn Edilen TMA'nın Asfalt ile Dolu Boşluk Oranı – Bitüm Yüzdesi Grafiği



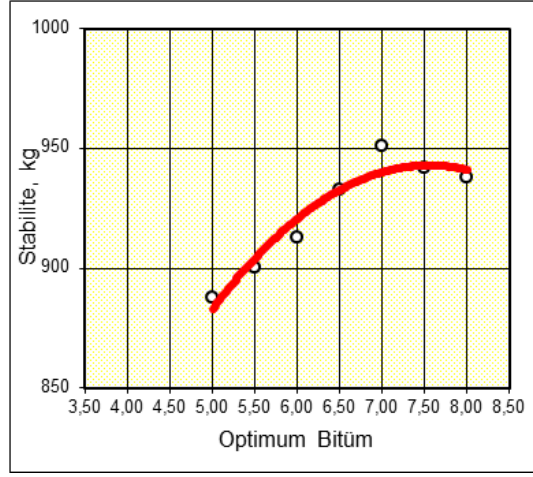
Şekil 4.22. Kaba ve İnce Agrega Bazalt, Filler Pomza ile Dizayn Edilen TMA 'nın Hacim Özgül Ağırlığı – Bitüm Yüzdesi Grafiği



Şekil 4.23. Kaba ve İnce Agrega Bazalt, Filler Pomza ile Dizayn Edilen TMA 'nın Agregalara Arası Boşluk Oranı – Bitüm Yüzdesi Grafiği



Şekil 4.24. Kaba ve İnce Agrega Bazalt, Filler Pomza ile Dizayn Edilen TMA 'nın Akma – Bitüm Yüzdesi Grafiği



Şekil 4.25. Kaba ve İnce Agrega Bazalt, Filler Pomza ile Dizayn Edilen TMA 'nın Stabilite – Bitüm Yüzdesi Grafiği

5. SONUÇ

Ülkemizde en çok kullanılan kaplama türü bitümlü sıcak kaplamalardır. Yol kaplamaların yüksek maliyetleri, yapılan kaplamaların kaliteli ve doğru üretimini mecbur kılmakta ve her geçen gün gelişen teknolojiyle beraber ülkemizde farklı kaplama çeşitlerinin üretimi ve kullanımı görülmektedir. Diğer kaplama çeşitlerinden farkı daha dayanıklı agrega kullanımı ve yüksek oranda kaba agrega kullanılması olan taş mastik asfaltın ilk yapım maliyetinin yüksek olması dezavantaj gibi görünse de dayanımı, kullanım ömrü ve onarım maliyeti düşünüldüğünde ülkemizde kullanımının artması gerekmektedir. Taş mastik asfalt içerisinde kullanılan agregalar yeni bilgi ve bulgular ışığında gün geçtikçe değişmeye ve taş mastik asfalt gelişmeye devam edecektir.

Ahlat Ovakışla mevkiinden çıkarılan ahlat taşı, Erzincan Ekşisu Mevkiinden çıkarılan perlit, Ahlat Ovakışla mevkiinden çıkarılan pomza ve Diyarbakır Karacadağ mevkiinden çıkarılan bazalt agregaları üzerinde yapılan deney ve incelemelerin sonuçları ile kullanılacak agregaların şartname limitleri ahlat taşı, perlit, pomza ve bazalt için Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1.Agrega Deney Sonuçları

DENEY	Ahlat Taşı	Perlit	Pomza	Bazalt	Şartname Limiti
Los Angeles Aşınma, % Kayıp	78	67	73	14	$\leq 25(LA_{25})$
Kaba Agrega Hacim Özgül Ağırlık, g/cm ³	1,651	1,995	1,497	2,746	-
Kaba Agrega Zahiri Özgül Ağırlık, g/cm ³	2,325	2,217	2,262	2,854	-
Kaba Agrega Su Absorbsiyonu, %	17,55	5,01	22,59	1,39	$\leq 2,0 (WA_{242})$
İnce Agrega Hacim Özgül Ağırlık, g/cm ³	-	-	-	2,752	-
İnce Agrega Zahiri Özgül Ağırlık, g/cm ³	-	-	-	2,876	-
İnce Agrega Su Absorbsiyonu, %	-	-	-	1,56	$\leq 2,0 (WA_{242})$
Filler Özgül Ağırlığı, g/cm ³	2,539	2,567	2,415	2,822	-

Kaba agregaya üzerinde yapılan deneylerin sonuçlarına göre maksimum şartname limiti % 25 olması istenen aşınma kaybı: Ahlat taşı agregaları için % 78; perlit agregaları için % 67; pomza agregaları için % 73; maksimum şartname limiti % 2 olması istenen su absorpsiyon yüzdesi: Ahlat taşı agregaları için % 17,55; perlit agregaları için % 5,01; pomza agregaları için % 22,59 ve bazalt taşı için % 1,39 bulunmuştur. Kaba agregaya deney sonuçlarından anlaşılacağı üzere TMA içerisinde Ahlat taşı agregası, perlit agregası ve pomza agregalarının kullanılmaması gerekmektedir. Bazalt taşının ise düşük oranda su emmesi sebebiyle kullanılması mümkün görünmektedir.

İnce agregalar üzerinde yapılan deney sonuçlarına göre maksimum şartname limiti % 2 olan su absorpsiyonu yüzdesi bazalt taşı için % 1,56 bulunmuş olup şartname limitini aşmadığı görülmektedir. Filler agregaya üzerinde yapılan birim ağırlık deney sonuçları ise Ahlat taşı filleri için 2,539 gr/cm³; perlit filleri için 2,567 gr/cm³; pomza filleri için 2,415 gr/cm³ ve bazalt filleri için 2,822 gr/cm³ bulunmuştur.

Elde edilen sonuçlara göre yapılan TMA tasarımında bazalt agregaları kaba agregaya ince agregaya ve filler olarak kullanılmış, kaba agregaya ve ince agregaya olarak kullanılmayan Ahlat taşı agregaları, pomza agregaları ve perlit agregaları ise TMA karışımı içerisinde filler olarak kullanılmıştır.

Kaba ve ince agregaya olarak kullanılmayan Ahlat taşı agregası, pomza agregası ve perlit agregalarının; kaba ve ince agregaların bazalt agregaları olmak koşulu ile filler olarak kullanılmasıyla ve içerisine % 0,3 oranında fiber katılarak hazırlanan bitümün oranı % 5 oranından başlanarak her defasında % 0,5 artırılarak eklenen ve her eklendiğinde 3 farklı numune hazırlanarak elde edilen TMA kaplama numuneleri boşluk oranı % 3 olacak şekilde bulunan optimum bitüm oranına göre dizayn edilen TMA numunelerinin tasarım sonuçları Çizelge 5.2.' de verilmiştir.

TMA üretim şartnamesinde yer alan ve boşluk oranı limiti % 2 - % 4 aralığında olması istenen TMA kaplaması için boşluk oranı % 3 olarak dizayn edilen TMA kaplamalarda, bazalt taşı filleri içeren taş mastik asfaltın en uygun bitüm oranı, bazalt filleri içeren taş mastik asfalt kaplamada % 6,65; Ahlat taşı filleri içeren taş mastik asfalt kaplamada ve perlit filleri içeren taş mastik asfalt kaplamada % 6,80; pomza filleri içeren taş mastik asfalt kaplamada ise % 6,90 olması gerektiği görülmektedir.

Çizelge 5.2. Dizayn Edilen TMA Kaplamaların Sonuçları

Özellikler	Bazalt Filleri İçeren TMA	Ahlat Taşı Filleri İçeren TMA	Perlit Filleri İçeren Tma	Pomza Filleri İçeren TMA	TMA Aşınma Şartname Limiti
Optimum Bitüm, %	6,65	6,80	6,80	6,90	Tip 1- % 5,8
TMA Hava Boşluğu, V _h , %	3,00	3,00	3,00	3,00	%2 - %4
TMA Pratik Yoğunluğu, D _p , gr/cm ³	2,435	2,428	2,429	2,412	-
TMA Agregalara Arası Boşluk Oranı, VMA, %	16,50	16,50	16,70	16,70	% min. 16
TMA Asfaltla Dolu Boşluk Oranı, V _f , %	81,30	82,50	81,00	82,00	-
Akma, mm	2,88	3,2	3,19	3,24	%2 - %4
Düzeltilmiş Marshall Stailitesi, kg	979	965	937	940	-

Çizelge 5.2 'de görüldüğü üzere taş mastik asfalt üretim şartnamesini sağlayan ve hava boşluk oranı % 3 olarak belirlenerek bulunan optimum bitüm oranına göre dizayn edilen taş mastik asfalt kaplama numunelerinin minimum şartname limiti 5,8 olan en uygun bitüm yüzdesi; bazalt fillerini içeren taş mastik asfalt kaplama için % 6,65; Ahlat taşı fillerini ve perlit taşı fillerini içeren taş mastik asfalt kaplama için % 6,80; pomza fillerini içeren taş mastik asfalt kaplama için % 6,90 bulunmuş olup şartname limitlerini sağladığı görülmektedir. Aynı şekilde taş mastik asfalt kaplama numunelerinin minimum şartname limiti % 16 olan agregalara arası boşluk oranı; bazalt fillerini ve Ahlat taşı fillerini içeren taş mastik asfalt kaplama için % 16,50; pomza fillerini ve perlit fillerini pomza fillerini içeren taş mastik asfalt kaplama için % 16,70 olduğu ve bu değerlerin minimum şartname limitleri dahilinde olduğu görülmektedir.

Ayrıca taş mastik asfalt kaplama numunelerinin minimum şartname limiti 2-4 mm olan akma değerleri; bazalt fillerini içeren taş mastik asfalt kaplama için 2,88 mm; Ahlat taşı fillerini içeren taş mastik asfalt kaplama için 3,20 mm; perlit taşı fillerini içeren taş mastik asfalt kaplama için 3,19 mm ve pomza fillerini içeren taş mastik asfalt kaplama için 3,24 mm bulunmuş olup bu değerlerin şartname limitlerine uygun olduğu görülmektedir. Taş mastik asfalt şartnamesinde yer

verilmeyen ve asfalt betonu dizayn limitlerinde yer alan binder tabakası için minimum 750 kg, aşınma tabakası için 900 kg olarak belirlenen Marshall stabilitesi değerleri düzeltilerek bazalt filleri içeren taş mastik asfalt kaplama için 979 kg; Ahlat taşı filleri içeren taş mastik asfalt kaplama için 965 kg; perlit taşı filleri içeren taş mastik asfalt kaplama için 937 kg ve pomza filleri içeren taş mastik asfalt kaplama için 940 kg bulunmuştur.

Sonuç olarak bazalt filleri içeren taş mastik asfaltın bitüm oranı en düşük ve pratik yoğunluğu en yüksek taş mastik asfalt, pomza filleri içeren taş mastik asfaltın bitüm oranı en yüksek ve pratik yoğunluğu en düşük taş mastik asfalt, Ahlat taşı filleri içeren taş mastik asfaltın asfaltla dolu boşluk oranı en yüksek taş mastik asfalt ve filler olarak bazalt ve ahlat taşı filleri kullanılarak üretilen taş mastik asfaltın agregaları arası boşluk oranı en düşük taş mastik asfalt olduğu görülmektedir. Optimum bitüm oranına göre belirlenen akma ve stabilite değerleri için akma değeri en yüksek olan numunenin pomza filleri içeren taş mastik asfalt, en düşük akma değerine sahip numunenin perlit filleri içeren taş mastik asfalt olduğu, stabilite değeri en yüksek numunenin bazalt filleri içeren taş mastik asfalt numunesi olduğu görülmektedir. Kaba ve ince agregalar içerisinde bazalt, Ahlat taşı, perlit ve pomza filleri kullanılarak üretilen taş mastik asfaltın şartname limitleri içerisinde kaldığı için taş mastik asfalt içerisinde filler olarak bu malzemelerin kullanılmasının uygun olduğunu söylemek mümkündür.

EKLER

EK-1. Kaba, İnce ve Filler Bazalt ile Dizayn Edilen TMA Kaplama Verileri

No	BİTÜM	Sıcaklık	YÜKSEKLİKLER,mm			Havadaki Ağırlık,g	Sudaki Ağırlık,g	Doy.Yüz Ağırlık,g	Hacim V cm ³	Hacim Dp	Maks.Ted. Dp	Ağ. %	Boşluk Vh	% VMA	Asf.Dol. Vf	Akma mm	Stabilite kg	Düzltm. Faktörü	Düzeltm. Stabilite kg
			1	2	3														
1	5,50	66,0	135	65,8	65,7	65,6	65,7	1235,6	730,5	1242,1	511,6	2,415				2,49	965	0,950	916
2	5,50	66,0	135	65,3	65,2	65,3	65,3	1236,0	730,5	1243,0	512,5	2,412				2,44	984	0,959	943
3	5,50	66,0	135	65,4	65,4	65,4	65,4	1234,8	732,0	1244,3	512,3	2,410				2,56	973	0,956	930
4	6,00	72,0	135	66,4	66,3	66,2	66,3	1240,3	735,0	1244,3	509,3	2,435				2,69	1010	0,937	946
5	6,00	72,0	135	66,1	66,0	66,2	66,1	1238,0	733,5	1242,5	509,0	2,432				2,58	997	0,941	938
6	6,00	72,0	135	66,0	66,0	66,0	66,0	1239,4	733,9	1244,0	510,1	2,430				2,62	1005	0,943	948
7	6,50	78,0	135	66,3	66,3	66,2	66,3	1248,6	742,0	1251,5	509,5	2,451				2,88	1025	0,938	961
8	6,50	78,0	135	66,4	66,4	66,5	66,4	1250,6	742,4	1253,4	511,0	2,447				2,79	1042	0,934	973
9	6,50	78,0	135	66,3	66,1	66,2	66,2	1257,5	745,9	1260,2	514,3	2,445				2,95	1035	0,939	972
10	7,00	84,0	135	65,8	65,9	65,9	65,9	1248,2	743,5	1250,1	506,6	2,464				3,11	1059	0,946	1002
11	7,00	84,0	135	66,0	66,0	65,9	66,0	1256,2	747,9	1258,1	510,2	2,462				3,07	1062	0,944	1002
12	7,00	84,0	135	66,1	66,2	66,3	66,2	1248,7	743,4	1250,6	507,2	2,462				3,08	1055	0,939	991
13	7,50	90,0	135	66,0	66,1	66,2	66,1	1236,0	732,0	1237,5	505,5	2,445				3,17	1040	0,941	979
14	7,50	90,0	135	65,7	65,6	65,7	65,7	1245,1	738,0	1246,7	508,7	2,448				3,21	1045	0,950	993
15	7,50	90,0	135	66,8	66,8	66,7	66,8	1245,8	738,2	1247,1	508,9	2,448				3,14	1030	0,927	955
16	8,00	96,0	135	66,1	66,2	66,2	66,2	1247,2	735,0	1248,1	513,1	2,431				3,36	1025	0,940	963
17	8,00	96,0	135	66,1	66,2	66,1	66,1	1245,0	734,3	1246,4	512,1	2,431				3,27	1010	0,940	960
18	8,00	96,0	135	65,9	66,0	65,8	65,9	1248,6	736,0	1250,0	514,0	2,429				3,24	1018	0,945	962
6,65	OPTİMUM BİTÜM SONUÇLARI (Grafikten)																		
6,65	OPTİMUM BİTÜM SONUÇLARI (Hesapla Geff deneyle)																		
6,65	OPTİMUM BİTÜM SONUÇLARI (Hesapla Geff hesapla)																		
SMA DIZAYN KRİTERLERİ																			
												(2-4)	min16	-			-		min750

EK-2. Kaba, İnce Bazalt Agregası ve Filler Ahlat Taşı ile Dizayn Edilen TMA Kaplama Verileri

No	BİTÜM	Sıcaklık	YÜKSEKLİKLER,mm			Havadaki		Sudaki		Doy.Yüz	Hacim	Hacim	Maks.Ted	%	%	Ast.Dol	Akma	Stabilite	Düzltm.	Düzeltm			
			1	2	3	ortlm	A	C	B												V	Dp	Dt
1	5,00	60,0	135	65,4	65,3	65,2	65,3	1234,1	723,3	1241,6	518,3	2,381					2,75	930	0,958	891			
2	5,00	60,0		65,4	65,2	65,3	65,3	1230,2	720,1	1237,6	517,5	2,377					2,66	934	0,958	895			
3	5,00	60,0		65,2	65,1	65,0	65,1	1236,7	724,4	1244,2	519,8	2,379					2,70	936	0,962	901			
												2,379					2,70	933		895			
4	5,50	66,0	135	64,9	64,8	65,0	64,9	1235,6	725,4	1241,7	516,3	2,393					2,87	951	0,967	919			
5	5,50	66,0		65,0	65,2	65,1	65,1	1238,4	726,7	1244,8	518,1	2,390					2,84	974	0,962	937			
6	5,50	66,0		65,1	64,9	64,9	65,0	1237,2	726,2	1243,5	517,3	2,392					2,88	966	0,965	932			
												2,392					2,88	966		932			
7	6,00	72,0	135	64,6	64,6	64,5	64,6	1239,9	730,3	1245,2	514,9	2,408					2,94	983	0,974	957			
8	6,00	72,0		64,7	64,7	64,8	64,7	1240,1	730,1	1245,4	515,3	2,407					2,93	998	0,970	968			
9	6,00	72,0		64,9	65,0	64,8	64,9	1242,1	731,6	1247,1	515,5	2,410					2,99	985	0,967	952			
												2,408					2,95	989		959			
10	6,50	78,0	135	64,3	64,2	64,4	64,3	1245,0	734,1	1249,0	514,9	2,418					3,04	995	0,980	975			
11	6,50	78,0		64,6	64,5	64,5	64,5	1242,6	732,8	1246,5	513,7	2,419					3,08	997	0,975	972			
12	6,50	78,0		64,3	64,2	64,3	64,3	1246,4	734,6	1250,2	515,6	2,417					3,11	1004	0,981	985			
												2,418					3,08	999		977			
13	7,00	84,0	135	64,0	64,1	64,2	64,1	1248,4	739,2	1251,9	512,7	2,435					3,22	1015	0,985	999			
14	7,00	84,0		64,2	64,3	64,1	64,2	1250,2	740,1	1253,6	513,5	2,435					3,28	1019	0,982	1001			
15	7,00	84,0		64,0	64,2	64,2	64,1	1249,6	739,5	1253,2	513,7	2,433					3,26	1024	0,984	1007			
												2,434					3,25	1019		1003			
16	7,50	90,0	136	63,9	63,8	63,9	63,9	1255,3	740,2	1257,4	517,2	2,427					3,38	1007	0,990	997			
17	7,50	90,0		64,2	64,1	64,0	64,1	1252,1	737,1	1252,5	515,4	2,429					3,46	996	0,985	981			
18	7,50	90,0		64,0	63,9	63,8	63,9	1254,3	739,6	1256,7	517,1	2,426					3,51	1001	0,989	990			
												2,427					3,45	1001		989			
6,80				OPTİMUM BİTÜM SONUÇLARI (Grafiğin)										2,428	2,501	3,00	16,6	82,5		Fill/Bit	Stb/akm		
6,80				OPTİMUM BİTÜM SONUÇLARI (Hesapla Geff. deneyle)										2,428	2,501	2,93	16,5	82,2		0,00			0
6,80				OPTİMUM BİTÜM SONUÇLARI (Hesapla Geff. hesapla)										2,428	2,502	2,95	16,5	82,2		0,00	1,57		0
				SMADIZAYN KRİTERLERİ												(2-4)	min16	-	(2-4)				min750

KAYNAKLAR

- [1] Ulaşan ve Erişen Türkiye, 2010. Türkiye Cumhuriyeti Ulaştırma Bakanlığı Yayınları, Ankara.
- [2] Bek A, 2007. 2004 Yılında İstanbul-Ankara Devlet yolunda meydana gelen ölümlü, yaralanmalı trafik kazalarının hava durumu, yol satıh durumu ve yoldaki yön durumuna bağlı olarak incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [3] Keçeci A, 2006. Türkiye’de Karayolu Taşımacılığı. http://www.mfa.gov.tr/turkiye_de-karayolu-tasimaciligi-.tr.mfa (Erişim Tarihi: 22.02.2018).
- [4] Karayolları Genel Müdürlüğü, 2018. Devlet ve İl Yolları Envanteri, Yol Ağı Uzunluğu, Ankara.
- [5] Taşdemir Y, 1998. Stone Taş Mastik Asfalt Karışımların Etüdü. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [6] Kennhpohl JA, 1993. Stone Mastic Asphalt Trials in Ontario, Transportation Research Record, No 1427.
- [7] Yardım MS, Arslan, F, 2013. Türkiye’de Taş Mastik Asfalt Kaplama Kullanımı ve Literatür Üzerine Bir Değerlendirme. 6. Ulusal Asfalt Sempozyumu, 27-28 Kasım 2013, Ankara.
- [8] Arslan F, 2014. Taş Mastik Asfalt Karışımlarda İstanbul Çevresindeki Cebeci - Dolamitli Kireçtaşı, Gölcük - Kumtaşı ve Karatepe - Bazalt Kullanımının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [9] Karayolları Genel Müdürlüğü, 2007. İç genelge No: 2007/95.
- [10] Karayolları Teknik Şartnamesi, 2013. Karayolları Genel Müdürlüğü, Yayın No: 276, Ankara.
- [11] Önal MA, Orhan F, Demir Ş, 2000. SMA Deneme Çalışmaları. 3. Ulusal Asfalt Sempozyumu, 16-17 Kasım 2000, Ankara, s: 120-125.

- [12] Asfalt Mütcaahhitleri Derneği Bülteni, Taş Mastik Asfalt Bilgilendirme Semineri, Ağustos 2009.
- [13] Şanlıer İ, Pamuk Ş, 2009. Kuzey Marmara Otoyolu Projesi Kapsamında Taş Mastik Asfalt (TMA) Uygulamaları ve Performanslarının Karşılaştırılması. 5. Ulusal Asfalt Sempozyumu, Ankara, s: 199-209
- [14] Alp B, 2018. Aşınma Asfalt Betonu ve Taş Mastik Asfalt Tekniđinin Köprü Uygulamalarında Kullanılması ve Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Başakşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [15] Çetin A, 2008. Bitümlü Sıcak Karışımların Deformasyon Direncinin Üç Eksenli Kayma Mukavemeti Deneyi İle İncelenmesi. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [16] Kaşak S. 2007. Taş Mastik Asfalt Karışımında Katkı Maddesi Olarak Fiber Yerine Diatomit'in Uygulanabilirliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [17] Kutluhan S, 2008. Bitümlü Sıcak Karışımlarda Tekerlek İzi Oluşumunun Modellenmesi. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [18] Şengül CE, 2011. Sönmüş Kireç ile SBS ve Elyaf Türü Katkı Maddelerinin SMA Karışımlarının Performansı Üzerine Etkileri. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- [19] <http://www.kgm.gov.tr/sayfalar/kgm/sitetr/kurumsal/yolagi.aspx> (Erişim Tarihi:22.02.2018)
- [20] Sağlık A, Güngör AG, 2008. Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi. Karayolları Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara.
- [21] Yayla N, 2011. Karayolu Mühendisliği. 15-23, içinde: Karayolu Elemanları İle İlgili Genel Tanımlamalar. Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [22] Umar F, Yayla N, 1988. Yol Üst Yapısı. 108-199, içinde: Esnek Yol Üstyapısında Kullanılan Malzemeler. İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.

- [23] Ekşioğlu Üstümkol F, 2006. Endüstriyel Atıkların Esnek Yol Üstyapında Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
- [24] Ilıcalı M, Tayfur S, Özen H, Sönmez İ, Eren K, 2001. Asfalt Uygulamaları. İstanbul Asfalt Fabrikaları Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi, İstanbul.
- [25] Umar F, Ağar E, 1985. Yol Üstyapısı. 122-137, içinde: Bitümlü Bağlayıcılar. İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İstanbul.
- [26] Tunç A, 2007. Yol Malzemeleri ve Uygulamaları. 57-140, içinde: Bitümlü Bağlayıcılar, Esnek Üstyapılar. Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.
- [27] Önal A, Kahramangil M, 1993. Bitümlü Karışımlar Laboratuvarı El Kitabı. Karayolları Genel Müdürlüğü, Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- [28] Saltan M, 1999. Esnek Üstyapıların Analitik Değerlendirilmesi. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- [29] Savaşer K, 2000. Asfalt Beton Karışımlarında Polimer Katkı Malzemesi Etkisinin Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [30] Orhan F, 2012. Bitümlü Karışımlar Laboratuvarı Çalışmaları. Araştırma ve Geliştirme Dairesi Başkanlığı, Üstyapı Geliştirme Şubesi Müdürlüğü, Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara.
- [31] Ergün M, İyınam Ş, 1999. Kent içi Yollarda Uygun Kaplama Tipi Seçimi. 2. Ulusal Kentsel Altyapı Sempozyumu, 10-11 Aralık, Adana, s: 198-205.
- [32] Sağlık A, Güngör AG, 2008. Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi. Karayolları Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara.
- [33] Taşçı A, 2010. Piroliz Edilmiş Atık Araç Lastiklerinden Elde Edilen Atık Yağ ve Karbon Siyahı ile Modifiye Edilmiş Bitümlü Bağlayıcının Reolojik Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

- [34] Öztürk D, 2008. Türkiye’de Poroz Asfaltın Uygulanabilirliği. Yüksek Lisans Tezi, On Dokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- [35] Orhan F, 2011. Bitümlü Karışımlar Laboratuvarı Çalışmaları. Karayolları Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara.
- [36] Karayolları Teknik Şartnamesi, 2006. Karayolları Genel Müdürlüğü. Yayın No: 276, Ankara.
- [37] Kök BV, Yılmaz M, Kuloğlu N, 2012. Asfaltitin Bitüm ve Bitümlü Sıcak Karışımların Mekanik Özelliklerine Etkisi, 23(111): 5813-5826.
- [38] Akpolat, M, 2014. Ilık Karışım Katkısının Bitüm ve Taş Mastik Asfalt Kaplamaya Etkisinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [39] Whiteoak D, 2004. Shell Bitüm El Kitabı. 25-193, içinde: Bitüm Özellikleri ve Kalitesi. İstanbul Büyükşehir Belediyesi, İsfalt Yayınları, İstanbul.
- [40] Tayfur S, 2001. Taş Mastik Asfalt (SMA) Kaplamalar İçin Uygun Karışımın Araştırılması ve Bir Hizmet Ömrü Modeli Geliştirilmesi. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [41] Celaya BJ, ve Haddock JE, 2006. Investigation of Coarse Aggregate Strength for Use in Stone Matrix Asphalt. FHWA, Joint Transportation Research Program, Washington.
- [42] Han S, Graf K, Kohl A, 2009. Tas Mastik Asfalt / Uzun Ömürlü Üstyapılar. 5. Ulusal Asfalt Sempozyumu, 18-19 Kasım 2009, Ankara, s: 40-49.
- [43] Brown ER, Mallick RB, Haddock JE, Bukowski J, 1994, Performance of Stone Matrix Asphalt (SMA) Mixtures in the United States. Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists, 66: 426-457.
- [44] Blazejowski K, 2011. Stone Matrix Asphalt Theory and Practice. Second Edition, Taylor and Francis Group, Newyork.
- [45] Campell C, 1999. The Use of Stone Mastic Asphalt on Aircraft Pavements, Research / Professional Practice Projects. School of Engineering and Technology, Final Report, Melbourne.

- [46] European Asphalt Pavement Association. Uses of Asphalt, http://www.eapa.org/usr_img/asphalt/2010.pdf, (Erişim Tarihi: 14.01.2013)
- [47] Sönmez İ, 2009. Taş Mastik Asfalt Bilgilendirme Semineri. Ankara.
- [48] Güngör AG, 2009. Taş Mastik Asfalt Bilgilendirme Semineri. Ankara.
- [49] Tuğlu H, Kazankıran H, 2004. Ülkemizde Uygulanan Aşınma Tabakası Şartnameleri, Problemler ve İlk Yaygın SMA Uygulaması. 4. Ulusal Asfalt Sempozyumu, 25-26 Kasım 2004, Ankara, s: 49-69.
- [50] Drüschner L, Shafer V, 2000. Taş Mastik Asfalt. Çevirmen: Çetinkaya, R. 2009. Deutcher Asphaltverband e V. Schieffelings weg 653123 Bonn.
- [51] Yardım MS, Arslan F, 2013. Türkiye’de Taş Mastik Asfalt Kaplama Kullanımı ve Literatür Üzerine Bir Değerlendirme. 6. Ulusal Asfalt Sempozyumu, 27-28 Kasım 2013, Ankara.
- [52] NAPA, 1999. Designing and Constructing SMA Mixtures- State-of-the-Practice. Quality Improvement Series: 122, Maryland.
- [53] The Argument for Asphalt, 1998. Heavy Duty Pavement. EAPA Technical Document.
- [54] Ağar E, 1986. Yolların Yüzey Özellikleri ve Çevre. Sosyal ve Ekonomik Gelişmemizde Ulaştırma Sempozyumu, 3-5 Ekim 1986, İstanbul, s: 63-71.
- [55] Heavy Duty Surfaces,1998. EAPA. Çevirmen: Temren Z, 2005. Ağır Yüklere Maruz Üstyapılar / Taş Mastik Asfalt – SMA. Asfalt Mütcaahhitleri Derneği Yayınları, Ankara.
- [56] Temren Z, 2009. Taş Mastik Asfalt Dizaynı, Üretimi Ve Uygulamaları. Asfalt Mütcaahhitleri Derneği Yayınları, Ankara.
- [57] Svehinsky G, Ishai I, Sousa JB, 2011. Developing Warm Sma Paving Mixes Using Activated Mineral Stabilizers and Bitumen Flow Modifiers. 2nd International Conference on Warm Mix Asphalt, October 2011, St. Louis Missouri, s: 2-17
- [58] Okuyucu D, 2015. Kayaçların Mühendislik Özellikleri. İnşaat Mühendisleri için Jeoloji, Erzurum Üniversitesi Yayınları, Erzurum.

- [59] Çetin S. 2007. Afyonkarahisar Bölgesi Volkanik Kayaçların Sıcak Karışım Asfalt Kaplamalarında Agregada Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Afyonkarahisar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Afyon.
- [60] Uz B, Bacak G, Yılmaz, M, 2003. İstanbul ve Civarı Agregalarının Petrografik Özellikleri ve Beton Dayanımına Etkileri. III. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, 3-4 Aralık 2003, İstanbul, s: 121-132.
- [61] Ceylan, S, 2006. Bitümlü Sıcak Karışımlarda Filler Olarak Carboniferous- Triassic Kayaç Tozlarının Kullanılması ve Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [62] Bedirhanoglu İ, 2011. Yapı Malzemesi Ders Notları. Dicle Üniversitesi, Diyarbakır.
- [63] Topal A, Şensöz B, 2000. Bitümlü Karışımlarda Kullanılan İnce Daneli Agregaların Köşeliliğinin Belirlenmesi ve Kullanılabilirliğinin Saptanması. 3. Ulusal Asfalt Sempozyumu, 16-17 Kasım 2000, Ankara, s: 184-193.
- [64] Muratoğlu Ö, 2006. Batı Karadeniz Bölgesi Taş Ocağı Agregalarının Durabilite Özelliklerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- [65] Sönmez İ, Yılmaz M, Tuğrul A, 2009. Farklı Agregada ve Üretim Prosesleri ile Üretilen Karışımların Özelliklerinin Karşılaştırılması. 5. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, 1-2 Aralık 2009, İstanbul, s: 299-308.
- [66] Abraham H, 1945. Asphalts and Allied Substances, Their Occurrence, Modes of Production, Uses in the Arts and Methods of Testing. Fifth Edition, January, 1945. Vol.1 D van Nostrand Company.
- [67] Kırac N, 2015. Bitüm Deneyleri Notları, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Anabilim Dalı. Eskişehir.
- [68] TS EN 1426, 2015. Bitüm ve Bitümlü Bağlayıcılar, İğne Batma Derinliği Tayini, TSE, Ankara.
- [69] TS EN 1427, 2015. Bitüm ve Bitümlü Bağlayıcılar, Yumuşama Noktası Tayini, Halka ve Bilye Yöntemi, TSE, Ankara.

- [70] Demir M, 2011. SBS, EVA ve Reaktif Terpolimer Kullanılarak Bitüm Modifikasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [71] TS EN 13398, 2018. Bitüm ve Bitümlü Bağlayıcılar, Modifiye Bitümün Elastik Geri Kazanımının Belirlenmesi, TSE, Ankara.
- [72] TS 1171, 2006. Parlama Noktası Tayini, Tag Kapalı Kap Cihazı İle TSE, Ankara.
- [73] TS EN 15326+A1, 2010. Bitüm ve Bitümlü Bağlayıcılar, Yoğunluk ve Özgül Kütle Tayini, Kapiler Kapaklı Piknometre Yöntemi, TSE, Ankara.
- [74] TS EN 13399, 2018. Bitüm ve Bitümlü Bağlayıcılar, Modifiye Bitümün Depolama Stabilitésinin Belirlenmesi, TSE, Ankara.
- [75] <http://arastirmateknisyenleri.com/forum/showthread.php?tid=1245> (Erişim Tarihi: 12.03.2018)
- [76] TS EN 12607-2, 2015. Bitüm ve Bitümlü Bağlayıcılar, Isı ve Hava Etkisi Altında Sertleşme Direncinin Tayini, Bölüm 2: TFOT yöntemi, TSE, Ankara.
- [77] TS EN 12607-1, 2015. Bitüm ve Bitümlü Bağlayıcılar, Isı ve Hava Etkisi Altında Sertleşme Direncinin Tayini, Bölüm 2: RTFOT yöntemi, TSE, Ankara.
- [78] Dane Büyüklüğü ve Birim Ağırlık, 2013. İnşaat Teknolojisi Dersi, Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara.
- [79] TS EN 933-1, 2012. Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler, Bölüm 1: Tane Büyüklüğü Dağılımı Tayini, Eleme Metodu, TSE, Ankara.
- [80] Ünsal A, Şen H, 2008. Beton ve Beton Malzemeleri Laboratuvar Deneyleri. Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı Malzeme Laboratuvarı, Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara.
- [81] TS EN 1097-2, 2015. Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler, Bölüm 2: Parçalanma Direncinin Tayini İçin Yöntemler, TSE, Ankara.
- [82] TS EN 933-3, 2015. Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler, Bölüm 3: Tane Şekli Tayini, Yassılık Endeksi, TSE, Ankara.

- [83] TS EN 1367-2, 2010. Agregaların Termal ve Bozunma Özellikleri İçin Deneyler, Bölüm 2: Magnezyum Sülfat Deneyi, TSE, Ankara.
- [84] TS EN 1097-8, 2015. Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler, Bölüm 8: Taş Parlatma Değerinin Tayini, TSE, Ankara.
- [85] TS EN 1097-6, 2015. Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri için Deneyler, Bölüm 6: Tane Yoğunluğunun ve Su emme Oranının Tayini, TSE, Ankara.
- [86] Bakış A, 2016. Rijit Yol Kaplama Beton İnşasında Ahlat Taşının Kullanılabilirliği. Bitlis Eren Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi, 5(2): 164-171.
- [87] Kazancı N, Gürbüz A, 2014. Jeolojik Miras Nitelikli Türkiye Doğal Taşları. Türkiye Jeoloji Bülteni, 57(1): 19-44.
- [88] Şimşek O, Erdal M, 2004. Ahlat Taşının (İgnimbrit) Bazı Mekanik ve Fiziksel Özelliklerinin Araştırılması. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 17(4): 71-78.
- [89] Gökçe HS, Şimşek O, Durmuş G, Demir İ, 2010. Ham Perlit Agregalı Hafif Beton Özelliklerine Alternatif Genleştirilmiş Perlit Kullanımının Etkisi. Politeknik Dergisi, 13(2): 159-163.
- [90] Öztürk M, 2012. Pomza ve Perlit İçerikli Hafif Betonun Fiziksel ve Mekanik Özelliklerin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- [91] Bulgurcu H, 2009. Genleşmiş Perlit İçeren Çimento ve Alçı Bağlayıcı Yapı Malzemelerinin Isıl ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. 17. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, 24-27 Haziran 2009, Sivas, s: 59-64.
- [92] <http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/maden-yataklari> (Erişim Tarihi: 20.03.2018)
- [93] Azizi S, 2007. Perlit Katkılı Hafif Betonların Mekanik Özellikleri ve Isı Yalıtımı. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [94] <http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/maden-kullanim-alanlari> (Erişim Tarihi: 20.03.2018)

- [95] Türkel S, Kadiroğlu B, 2007. Pomza Agregalı Taşıyıcı Hafif Betonun Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 13(3): 353-359.
- [96] Oğuz C, Türker F, 1997. Pomza Betonda Fiziksel ve Mekanik Özellikler Arasındaki İlişkiler. 1. Isparta Pomza Sempozyumu, Isparta, s: 81-87.
- [97] Özkan ŞG, Twicer G, 2011. Pomza Madenciliğine Genel Bakış. 4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 18-19 Ekim 2001, İzmir, s: 200-207.
- [98] Ndepete CP, 2017. Bazalt Fiber Katkısının Siltli Zeminlerde Kayma Direncine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [99] Swink M, 2002. Continuous Filament Basalt: Unique Fiber Capable Of Leadership İn High Temperature Applications. Techtextil North Amerika Symposium, Atalanta, GA, USA, s: 1-16.
- [100] Yılmaz Ş, 2015. Cam-Seramik Üretim Teknolojileri Ders Notu. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya.
- [101] Erçin Kahveci A, Kadayıfçı A, 2013. Diyarbakır Yöresi Bazalt Taşının Yapısal Özelliklerinin İncelemesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, International Technologic Science, Isparta, 5(3): 56-59.
- [102] Erkan, T, 1995. Magmatik Petrografi. Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendislik Bölümü Raporu, 44s. Ankara.
- [103] Akıllı A. 2012. Bazalt Agregasının Mekanik Özelliklerinin Yol Üstyapısında Kullanımı Açısından İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- [104] Polimer Modifiye Bitüm, Enfalt Emülsiyon ve Asfalt Tesisleri Anonim Şirketi, İstanbul.
- [105] Lu X, Isacson U, 2001. Modification of Road Bitumens with Thermoplastic Polymers, 20: 77-86.

[106] Demir M, 2011. SBS, EVA ve REAKTİF Termopolimer Kullanılarak Bitüm Modifikasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.



ÖZGEÇMİŞ

03.09.1992 tarihinde Diyarbakır'da doğdum. İlköğretimi önce İnönü İlköğretim Okulu'nda daha sonra Şehit Polis Mehmet Elçin İlköğretim Okulu'nda, liseyi Ziya Gökalp Lisesi'nde tamamladım. 2015 yılında Bitlis Eren Üniversitesi Mühendislik – Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldum. 2017 yılında Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı Ulaştırma Programı'nda yüksek lisansa başladım. Halen aynı bilim dalında yüksek lisans eğitimine devam etmekteyim.

Mehmet ASLAN

